

共創の場形成支援プログラム COI-NEXT

カーボンネガティブの
限界に挑戦する炭素耕作型拠点

2024 Annual Report



炭素循環型社会実現のための
カーボンネガティブの限界に挑戦する炭素耕作拠点

目次

前書き	3
カーボンネガティブの限界に挑戦する炭素耕作拠点組織図	5
拠点運営体制	6
ビジョン～拠点が目指すもの～	7
ターゲットと研究課題	10
琉球大学との拠点間連携	14
2024 年度の主要な活動.....	17
課題 1 研究成果 執筆者リスト	48
課題 2 研究成果 執筆者リスト	116
課題 3 研究成果 執筆者リスト	180
課題 4 研究成果 執筆者リスト	201
課題 5 研究成果 執筆者リスト	223
拠点パンフレット	258

前書き

私たちは、生活に必要な食料・エネルギー・材料のほとんどを、植物が光合成によって固定した炭素に依存しています。人類は農業の発明によって大量の食料を得ることに成功し、狩猟社会から耕作社会への移行を遂げました。しかし、エネルギーや材料については、古代に固定された炭素資源である化石燃料に依存した「炭素狩猟型社会」にとどまっています。化石燃料というパンドラの箱を開けたことで、現代文明の発展と引き換えに、CO₂増加による地球温暖化という深刻な課題がもたらされました。

地球規模での CO₂固定は、基本的に光合成によってのみ可能です。しかし、農業などによる CO₂固定量には限界があり、固定された炭素も十分に活用されていません。日本国内において、農業や森林における光合成で固定される CO₂の量は、全体の排出量の 1/10 以下に過ぎません。さらに、農業で固定された炭素の多くは、食料として消費される以外、有効活用されていないのが現状です。森林で固定された炭素も、木材や紙として利用されるものを除き、多くが未利用のまま放棄されています。これらの課題に正面から取り組み、新たな技術と社会の構築を進めることが急務です。

太陽光、風力、水力発電などの技術によって、炭素を介さない「エネルギー耕作」は可能です。しかし、航空機や船舶の燃料、プラスチックなどの材料は、今後も炭素への依存が避けられません。このため、バイオマスを活用した「炭素耕作」による炭素循環が不可欠です。また、大気中に放出された CO₂を回収する唯一の方法も炭素耕作です。私たちは、炭素耕作を通じて、炭素狩猟社会から炭素耕作社会への「新たな産業革命」の実現に挑戦します。

炭素耕作の本質は、バイオマスの積極的な生産・価値化・循環再利用です。バイオマスの固定量を大幅に増加させるとともに、炭素の蓄積量を高める栽培法を開発し、カーボンネガティブの特性を実現します。さらに、バイオマスの付加価値を高め、経済的理由により放棄された未利用地を全面的にバイオマス生産地へと転換します。

炭素耕作を実現するには、まずバイオマスの生産量を増加させる必要があります。しかし日本は耕作面積が限られ、食料自給率も低いという課題を抱えています。本拠点では、日本で最も生産量の多い農産物である「米」、国土の約 70%を占める「森林資源」、さらには周囲を海に囲まれた日本の優位性を活かせる可能性が高い「藻類」を活用した炭素耕作を推進します。

まず、CO₂固定能力とバイオマス生産能力の高い稲の品種を開発し、「炭素耕作型稲作」の確立を目指します。この稲は、食料安全保障の観点からも有用です。森林については、炭素固定速度を最重視した「短伐期・高効率型」の新たな林業を創出します。加えて、藻類を用いた「炭素耕作漁業」の確立にも取り組みます。

たとえば稲が固定する炭素のうち、米として利用されるのは約30%に過ぎません。残りの約70%は、稲わらや籾殻などに含まれています。炭素耕作では、これらの固定炭素を無駄なく利用・貯留する技術を確認します。また稲作や林業における温室効果ガスの排出、化学肥料の使用も大きな課題です。本拠点では、それらを解明する調査研究を進めるとともに、温室効果ガスの排出削減および肥料成分のリサイクル技術の開発を行います。

炭素耕作では、農林業からエネルギー・材料への変換とリサイクル技術をすべて連携させる必要があります。本拠点では、これらの相互連携技術の共創を目指し、包括的な研究開発を推進します。

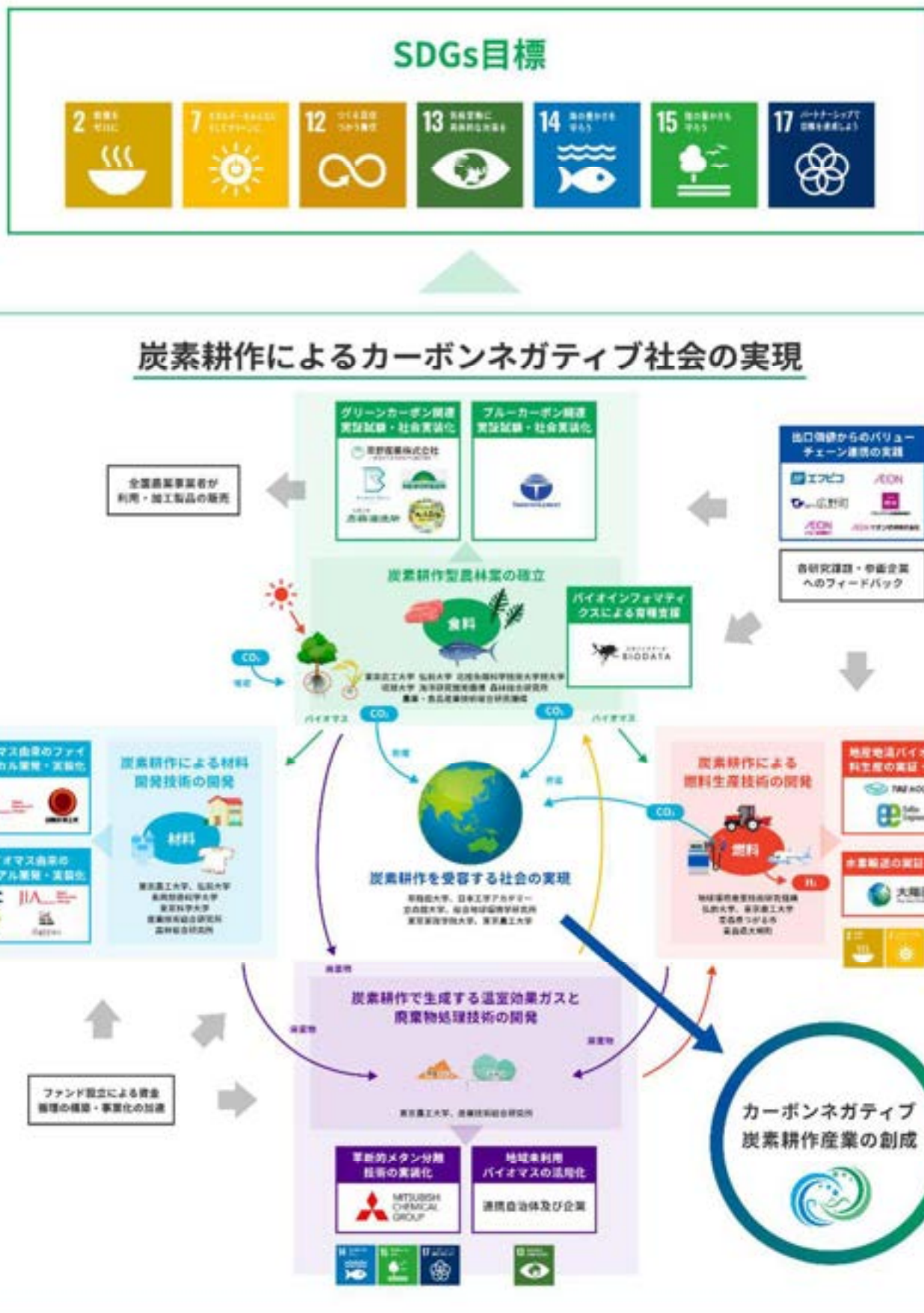
また炭素耕作を社会に実装するには、地域全体での効率的な物質循環の取り組みが不可欠です。本拠点は、多摩地域に加え、国内各地での研究開発および事業活動を展開します。さらにタイやインドネシアなど東南アジア地域との連携を通じて、国際的な拠点へと成長を目指します。グローバル市場における価値創出も重要であり、農林資源を活用した新産業において、国際標準の策定をリードし、さらに地域社会の課題解決・価値創出活動を発展させ、国際社会にも広がる価値創出と産業連携の実現を図ります。社会との対話を通じて、持続可能な資源循環型社会のあり方を示していきます。

とりわけ、次世代の産業創出に向けた技術シーズの開発、人材育成、民間資金の導入、連携体制の構築などを担い、実践の場としての拠点形成を進めます。

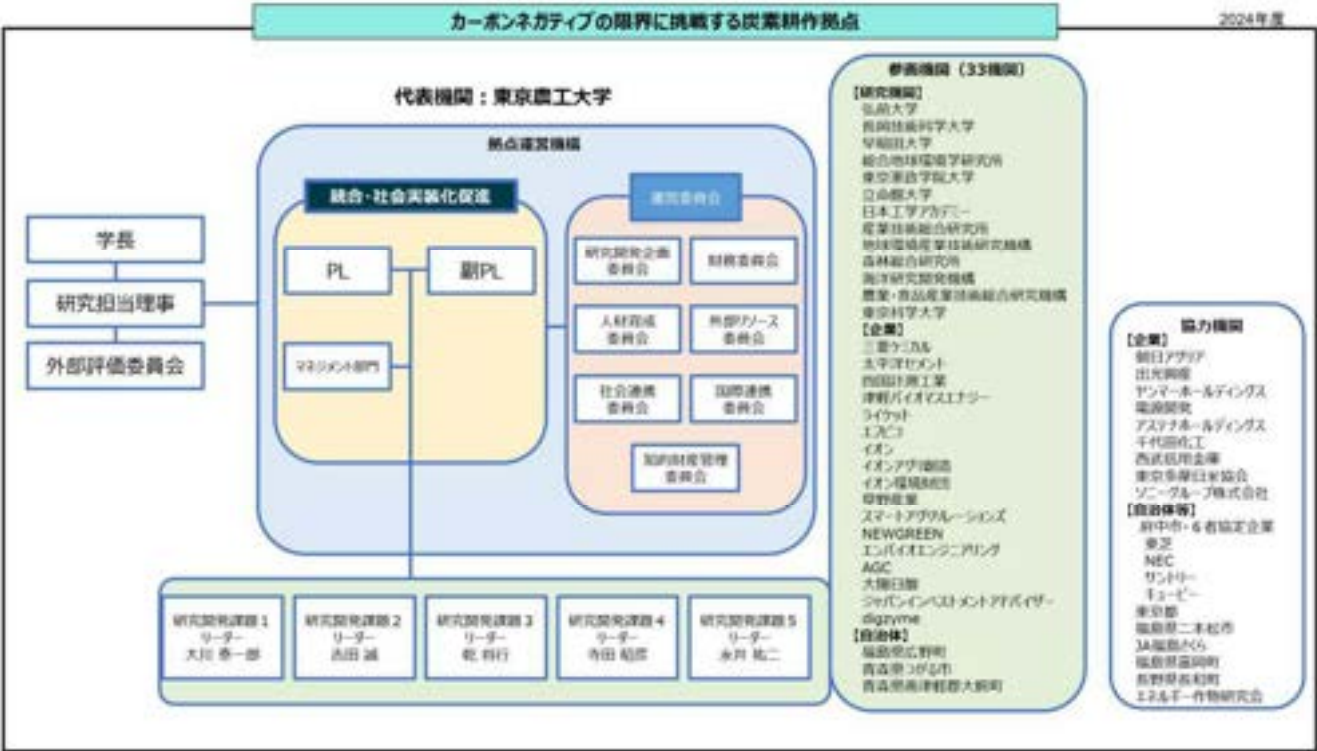
本拠点は、2023年度より「本格型」に昇格しました。本年度も、昨年度に引き続き、各研究開発課題において多くの成果を挙げることができました。また国際化および社会実装の重要性が高まる中、国際連携を強化するため、タイ・インドネシア・ドイツにおいてワークショップを開催しました。さらに、琉球大学との拠点連携を通じて、東南アジアで応用可能な稲作技術の開発を進めるとともに、西表島などが抱える多様な課題の解決に向け、「炭素耕作」の手法を活用した取り組みを開始しています。

今後も、こうした活動が本拠点のさらなる発展と「炭素耕作」の実現へとつながるよう、引き続き尽力してまいります。

カーボンネガティブの限界に挑戦する炭素耕作拠点組織図



拠点運営体制



ビジョン～拠点が目指すもの～

拠点ビジョン：炭素耕作によるカーボンネガティブ社会の実現

拠点ビジョン策定のもととなる SDGs

- SDG2: 飢餓をゼロに
- SDG7: エネルギーをみんなにそしてクリーンに
- SDG12: つくる責任 つかう責任
- SDG13: 気候変動に具体的な対策を
- SDG14: 海の豊かさを守ろう
- SDG15: 陸の豊かさを守ろう
- SDG17: パートナリーシップで目標を達成しよう。

拠点ビジョンの内容

人類は、食料、エネルギー、材料のほとんどを、光合成によって固定された炭素に依存しています。農業の創出により、狩猟社会から耕作社会への変革を遂げることに成功しましたが、現代社会は、いまだにエネルギーや材料の多くを古代に固定された炭素資源である化石燃料に依存する「炭素狩猟型社会」です。化石燃料という“パンドラの箱”を開けた結果、現代文明の発展と引き換えに、CO₂の増加による地球温暖化という深刻な問題がもたらされています。

地球規模での CO₂固定は、基本的に光合成によってのみ可能です。しかし排出量に対して農業などで固定される CO₂の量は限られており、さらに固定された炭素も十分に活用されていないのが現状です。日本国内において、農業や森林による光合成で固定される CO₂の量は、排出量の 1/10 以下にとどまります。加えて、農業で固定された炭素の多くは、食料として消費される以外には有効活用されておらず、森林で固定された炭素も、木材や紙として利用されるものを除いて多くが未利用のまま放棄されています。こうした課題に正面から取り組み、新たな技術と社会の構築を進めることは急務です。

光合成による CO₂固定と、それに伴う炭素の循環および貯留を達成するためには、エネルギーや材料の生産も視野に入れた「炭素耕作」の実現が不可欠です。これは、欧米と比較して日本が対応の遅れている分野でもあります。本拠点では、バイオマスの持つカーボンニュートラル特性を最大限に活用し、さらにはネガティブエミッションへの貢献を可能とする、全く新しい炭素循環のコンセプトを実現します。これにより、バイオマスを基盤としたカーボンネガティブ社会の加速的な実現を目指します。

目指す将来の拠点像：

炭素耕作の本質は、バイオマスの積極的な生産・価値化・循環的な再利用にあります。これによりバイオマスの固定量を大幅に増加させるとともに、炭素の蓄積量を高める栽培法の開発を通じて、カーボンネガティブな特性を実現します。さらにバイオマスの付加価値化を強力に推進し、経済的理由から放棄され未利用となっている土地を、バイオマスの生産地として再活用していきます。

日本は耕作面積に制約があり、食料自給率も低いという課題を抱えています。炭素耕作を実現するためには、バイオマスの生産量を増やすことが不可欠です。本拠点では、日本で最も生産量が多い農産物である米、国土の約70%を占める森林の木材、そして海に囲まれた地理的特性を活かした藻類を用いた炭素耕作を推進していきます。

まずCO₂固定能力とバイオマス生産能力の高い稲の品種を開発し、「炭素耕作型稲作」の確立を目指します。この稲は食料安全保障の観点からも有用です。また炭素固定速度を重視した、短伐期かつ高効率な新たな林業の創出にも取り組みます。さらに藻類を活用した炭素耕作型の水産業の確立を図ります。

たとえば、稲が固定する炭素のうち米として利用されるのは全体の約30%にすぎません。残りの約70%は稲わらや籾殻などに含まれています。固定された炭素を無駄なく活用・貯留する技術の確立が、炭素耕作には求められています。

また稲作や林業における温室効果ガスの排出や、化学肥料の使用も大きな課題です。本拠点では、こうした問題の実態を明らかにする調査研究を進め、温室効果ガス排出の削減および肥料成分のリサイクル技術の開発を行います。

炭素耕作の実現には、農林業からの生産物をエネルギーや材料に変換、そしてそれらをリサイクルする技術の連携が不可欠です。本拠点では、これらの相互連携技術の共創を目指し、包括的な研究開発を推進します。さらに、炭素耕作の社会実装には、地域全体での効率的な物質循環の取り組みが必要不可欠です。

本拠点では、多摩地域に加え、国内各地において研究開発や事業活動を展開するだけでなく、タイやインドネシアをはじめとする東南アジア諸国との連携を通じて国際的な展開を図ります。本拠点の価値を高めるためには、国際市場での価値創出が重要であり、農林資源を基盤とした新産業分野において、グローバルスタンダードを創出・牽引していくことを目指します。

以上のように、本拠点では地域社会の課題解決や価値創出活動をさらに発展させ、国際社会へと波及可能な価値や産業連携の創出を実現します。そして社

会との対話を通じて、持続可能な資源循環型社会の在り方を提示していきます。特に次世代の産業創出に資する技術シーズの開発、人材育成、民間資金の導入、そして連携体制の構築を担い、価値創出の実践の場としての拠点形成を進めていきます。

ターゲットと研究課題

ターゲット

(a) ターゲット 1：炭素耕作型農林業の確立

・ターゲット設定の背景

炭素耕作による炭素循環のためには、農林業による CO₂固定量を増加させることが必要である。しかし従来の次世代バイオマス生産技術は、農林業従事者に新たな負荷を強いるものが多く、これを軽減しつつ大量生産を可能とする技術を開発する必要がある。このため食料や木材の生産という本来の農林業の延長線上に、生産者目線での新たな炭素耕作のための生物的生産性向上技術を確立（SDGs 2.4）することが必要である。

・達成すべき目標

日本をはじめ東アジア、東南アジアで栽培面積の最も多い稲を対象に、炭素耕作に適した CO₂固定量の多い品種を創出する。また極めて大きく安定な CO₂貯留能力を持つ（SDGs 15）森林を有効に利用すべく、早生でバイオマス生産量が多く、リグニン改変による変換効率の高い樹木品種を開発する。微細藻類が陸生多細胞生物と比較して高いバイオマス生産性を示すことから、油や医薬品などの有効成分を産生する微細藻類を開発する（SDGs 14）。生産現場への配慮として、従来の生産技術や機器が活用できることに配慮し、新たな水管理システム、自動作業ロボットなど DX によるスマート農林業を取り入れた持続的な炭素耕作技術の開発を推進（SDGs 2.3、8.3、8.9）し、現地実証により社会実装することを目標とする。

(b) ターゲット 2：炭素耕作による材料開発技術の確立

・ターゲット設定の背景

一般的なバイオマスによる材料開発では、利用しやすい成分の材料化が試みられているため、バイオマスのポテンシャルを十分に活かしきっていないと言えない。またバイオマスの価値を極限まで高めることは、バイオマスが社会実装される上で極めて重要である。そこで炭素耕作では、関連産業の持続可能な産業基盤を維持するため、ほとんど全ての成分を無駄なく効率的に利用する技術を確立（SDGs 9.4、12.5）し、化石資源の代替（SDGs 7.a）を担うとともに、炭素耕作によるバイオマスの付加価値創出（SDGs 9.b）を実現する。

・達成すべき目標

草本系・木質系のグリーンバイオマス及びブルーカーボンである微細藻類を対象とし、それらが含む全成分を材料や化学品に変換することで、化石資源由来

の化学品を代替するための技術を開発する。またバイオマスの最大限の高付加価値化を目指し、バイオマスからファインケミカルおよび医薬品を製造するための技術も開発する。

(c) ターゲット 3：炭素耕作による燃料生産技術の確立

・ターゲット設定の背景

炭素循環型社会では、炭素耕作で生産されたバイオマスを化石資源に代わるエネルギー源として利用する。バイオマスは安定的な再生可能エネルギーとなり得るが、大量調達が難しいことが課題である。そのため、特にエネルギー事業者・大規模需要者が求める多様なバイオマスから高い効率で燃料を生産する技術の確立と、バイオマス利用の特性を生かした地域生活者のための地産地消エネルギーシステムの構築が、エネルギー戦略的に重要となる（SDGs 7、11. a）。

・達成すべき目標

水素は究極のクリーンエネルギーとして期待されている。「水素基本戦略」においても、水素社会の実現のために CO₂フリー水素製造技術の中長期的な開発が必要とされている。本研究では、多様なバイオマスを原料とした水素生産プロセスの開発を中長期的な課題とし、これと共通の基盤技術を利用した液体燃料生産プロセスの開発を短中期的な課題とする。多様なバイオマス燃料供給システムの基盤技術を確立し、社会実装の実現性が高いシステムを選抜する。

(d) ターゲット 4：炭素耕作で生成する温室効果ガス削減と廃棄物処理技術の確立

・ターゲット設定の背景

持続可能な耕作に基づく炭素循環型社会実現のためには、炭素耕作の場において温室効果ガス削減を達成した上での作物の生産を達成するとともに、材料や燃料生産に利用した後の利用困難な廃棄物の処理、廃棄物から有価物を産生する新しい静脈流のサプライチェーンの確立が、循環を担う事業者・自治体にとって課題となる。そこには窒素やリンなどの持続的な耕作に重要な成分も含まれているが、温室効果ガスのメタンや亜酸化窒素（N₂O）生成の原因でもある。炭素耕作をベースとする温室効果ガス削減と循環型社会の実現には、水田からの温室効果ガス削減技術の構築と新たな環境的価値を創出する革新的な廃棄物リサイクルシステムの構築（SDGs 12. 3～5）が必須である。

・達成すべき目標

課題 1 と連携し、水田土壌の耕作中に排出されるメタンおよび N₂O の排出削減のための栽培技術を確立する。メタンは固定した炭素から嫌氣的条件で、N₂O は過剰な窒素から好氣的条件で生成する。炭素耕作のために開発した稲の水田

を対象に、メタンと N_2O の生成機構を詳細に解析し、従来から研究が行われている水管理に加え、炭素の回収と施肥の最適化により温室効果ガス発生を削減する。炭素耕作で排出されるバイオマス由来の廃棄物のメタン発酵特性を評価し、生ごみ、畜産業・食品産業からの廃棄物を混合した共発酵型のメタン回収プロセスの開発を行う。さらにメタン発酵後の残渣の炭化による緩効性肥料の開発を進め、廃棄物からのバイオガス回収と残渣の有効利用が可能な革新的廃棄物処理システムの構築を目指す (SDGs 7、15.1)。

(e) ターゲット 5 : 炭素耕作を受容する社会の実現

・ターゲット設定の背景

現代社会のサプライチェーンは循環圏域が大きくなり、地域社会の認識を大きく超えてしまっている。全てが経済性の繋がりを主体とした循環であり、さまざまなアクターの繋がりが見えてこない。炭素耕作を受容する社会は、経済性主導のみでは実現は難しく、新しい社会的価値の創出(データに基づく炭素耕作社会の価値の評価指標の設定 (SDGs 13、14、15) と、社会における価値の認識と共有 (SDGs 17.17、19)) が不可欠である。このため上述の関係アクターに加えて、生活者市民、特に将来世代を入れた価値の議論 (SDGs 10.2) が必要である。

・達成すべき目標

炭素耕作社会を構築するに際しての、事業計画や政策決定に資する各種データの取得とこれに基づくさまざまな価値観を持つ主体による対話の場を構築する。そしてバイオマス利活用の社会実装の促進のため、技術主導だけではない、社会ニーズに基づく研究デザイン、社会実験のための基盤を構築する。特に持続的な地域構築のための関係者の連携 (SDGs 11.a、11.b)、循環の認識と連携を広げる新しい教育 (SDGs 4.7、13.3) などに注力する。



琉球大学との拠点間連携

本拠点は、「炭素耕作によるカーボンネガティブ社会の実現」をビジョンに掲げ、5つのターゲットに基づいて研究開発を推進しています。中でも最も基盤となるのが、炭素耕作型農林業の確立です。現在は、日本国内において稲・木材・藻類を対象とした技術開発を進めており、国内での技術の確立と社会実装を目指しています。また、高温多湿で豊富なバイオマス資源を有する東南アジア諸国への展開も視野に入れています。しかし東南アジアは日本とは環境条件が大きく異なるため、日本で開発された技術をそのまま適用することは困難です。そのため現地の大学や研究機関と連携し、共同で研究開発を行う計画を立てています。ただし研究開発資金の確保などの課題があり、実施までには一定の時間を要する見込みです。一方、亜熱帯気候に位置する沖縄は、東南アジアと類似した環境条件を有しており、沖縄での研究開発を通じて、東南アジアに適用可能な技術の開発が期待されます。こうした背景から本拠点では、拠点間連携の追加予算を活用し、琉球大学の「農水一体型サステイナブル陸上養殖のグローバル拠点」との連携のもと、以下の2つの研究開発を進めています。

環境にやさしい稲作技術の開発

稲は、東南アジアで最も栽培面積の広い主要作物であり、化学肥料や農薬の使用削減が重要な課題となっています。加えて水田での稲作は、温室効果ガスであるメタンや亜酸化窒素の発生源となるという環境上の問題も抱えています。本拠点では、こうした課題に対応すべく、環境負荷を低減し、温室効果ガスの排出を抑制する稲作技術の開発に取り組んでいます。沖縄における実証実験を通じて、東南アジアでの適用が可能な持続可能な稲作技術の確立を目指しています。

藻類を用いた有用物質の生産技術の開発

海洋微細藻類は、さまざまな有用物質を生産する可能性を秘めた生物資源です。本拠点では藻類の培養技術の開発を進めており、すでにラボスケールでの培養技術は確立されています。実用化に向けては、東京農工大学のキャンパス内に培養施設を設置していますが、東京では気温や日射量の変動が大きく、安定した実験の実施が困難です。さらに培養に必要な海水の確保も課題となっています。将来的には、年間を通じて気温が安定し、日射量も豊富な東南アジアでの展開が期待されていることから、これに先立ち、東南アジアに類似した環境を持つ沖縄において、現地適応型の培養技術の開発を進めることとしました。具体的には、琉球大学が保有する海洋微細藻類の培養に利用可能なタンク

を用いた実証実験を実施しています。また陸上養殖に必要なオメガ脂肪酸やアスタキサンチンを生産する海洋微細藻類株は東京農工大学が保有しており、これらの株を活用することで、琉球大学の拠点が掲げるビジョンの実現を加速・強化することが期待されます。

沖縄では、稲作および海洋微細藻類の研究開発を、年間を通じて実施できるため、本州で行う場合に比べ、少なくとも2倍のスピードで進展することが期待されています。これにより本拠点が掲げるターゲット「炭素耕作型農林業の確立」の達成が加速されると見込まれます。

炭素耕作型稲作技術の開発に関しては、以前から共同研究を行っている西表島の大浜農園において、実験を継続しています。その過程で、世界自然遺産である西表島における多様な課題に対して、炭素耕作拠点の技術が有効に貢献できる可能性が明らかになりました。西表島では観光と並んで農業も主要産業の一つとなっており、豊富な水資源と温暖な気候を活かして、古くから稲作が盛んに行われてきました。水田は西表島の生態系の一部を形成しており、島に生息する生物にとっても重要な役割を果たしています。しかし同島が世界自然遺産に指定されたことにより、農業は生態系攪乱の要因と見なされ、除草剤や農薬の使用が制限されています。そのため雑草の繁茂やジャンボタニシによる稲の食害が深刻な問題となっており、さらに放棄農地の増加に伴って土壌流出などの環境影響も懸念されています。また西表島では畜産業も盛んで、黒毛和牛の子牛生産が行われていますが、排泄物処理の問題があり、河川や海の富栄養化を引き起こす原因となっています。さらに離島ゆえに農産物の販売価格が低く、農業の維持が困難という問題に直面しています。一方、観光客は増加していますが、観光客が消費する食品の中に西表島産農産物はほとんど使用されておらず、地域経済との結びつきが希薄であるという現状も課題です。

こうした諸問題の解決に向けて本拠点は、これまでの連携に加え、炭素耕作拠点の技術を総動員し、世界自然遺産にふさわしい環境配慮型農業と資源循環の確立、ならびにそれを支える社会実装の基盤構築を目指しています。具体的には、西表島の大浜農園の協力のもと、アイガモロボなどを活用した炭素耕作型稲作を実践しており、そこで生産された米を用いて石垣島の高嶺酒造で泡盛の製造を行っています。2025年度中には、「世界自然遺産由来泡盛」として、イオン琉球および西表島内のホテルなどで販売を開始する予定です。また畜産排泄物と大浜農園の稲わらを活用した乾式メタン発酵によるメタン生産、およびその発酵残渣の利用技術の開発にも取り組んでいます。藻場に関しては、自治体からの許可を得て、大浜農園前の海岸にて実験を行っています。さらに稲作と泡盛製造の取り組みは、西表島以外の沖縄の離島でも展開する計画です。

これらの取り組みを、西表島を含む竹富町全体へと広げていくため、シンポジウムを西表島で開催しました。詳細は、YouTube (https://www.youtube.com/@TUAT_COI-NEXT) でご覧いただけますので、ぜひご視聴ください。

2024 年度の主要な活動

日時	活動内容
4 月 19 日	Bioeconomy Hub Japan 2024 プラネタリーヘルス ～バイオによるイノベーションがプラネタリーヘルス をどう実現するか～
6 月 2 日－3 日	西表島、竹富町 訪問
6 月 20 日	共創の場形成支援プログラム (COI-NEXT) 2024 年度第 3 領域合同シンポジウム
6 月 27 日－30 日	西表島 稲刈り & 視察
7 月 24 日	サイトビジット
7 月 29 日－8 月 1 日	東南アジア ワークショップ
8 月 7 日	COI-NEXT/BX・GX 国際教育研究拠点連携ワークショップ
8 月 21 日	プラチナ森林産業イニシアティブとの合同ワークショ ップ
8 月 31 日	共創・地域共創本格型拠点領域横断ワークショップ
9 月 6 日－8 日	福島 稲刈りイベント
10 月 14 日－15 日	ドイツ ワークショップ
10 月 22 日	大浜農園 大浜一将氏 講演会
12 月 4 日－10 日	石垣島、西表島 訪問
12 月 8 日－10 日	カーボンネガティブの限界に挑戦する炭素耕作型拠 点」令和 6 年度拠点会議
12 月 12 日	ASEAN 地域でのバイオものづくりに関する国際シンポ ジウム
1 月 29 日	農林水産省「知」の集積による産学連携支援事業 令和 6 年度アグリ技術シーズセミナーin 沖縄
2 月 5 日	COI-NEXT 拠点面談
2 月 11 日－17 日	大阪・関西万博プレイベント「わたしとみらい、つなが るサイエンス展」パネル展示
2 月 16 日－20 日	インドネシア 訪問
2 月 26 日－28 日	東京農工大学・琉球大学 COI-NEXT 連携強化支援プロジ ェクト 西表シンポジウム
3 月 20 日	SATREPS” 天然ゴム農園に眠る無限の可能性 “ゴム種子” による G X の実現へ” の Plenary Session prior to the 1st JCC meeting

Bioeconomy Hub Japan 2024 プラネタリーヘルス

～バイオによるイノベーションがプラネタリーヘルスをどう実現するか～

2025 年 4 月に行われる Bioeconomy Hub Japan 2025 のプレイベントとして開催されました。本拠点は組織委員会の母体となっているバイオコミュニティ関西のメンバーであることから、養王田 PL が出席し、議論に参加しました。COI-NEXT 第 3 領域のアドバイザーである春日文子 長崎大学教授が基調講演をされています。

◆概要

現在、全国 8 箇所の認定バイオコミュニティが、内閣府のバイオ戦略に基づきバイオエコノミー社会の実現に向けて活動しています。本シンポジウムでは、バイオによるイノベーションがプラネタリーヘルスという地球規模の社会課題をどう解決するか、日本はどのような貢献ができるかについて、環境・エネルギー、持続的食料システム、グローバルヘルスの各分野の第一人者が集まり議論を交わしました。

主催：Bioeconomy Hub Japan 組織委員会

後援：公益社団法人 2025 年日本国際博覧会協会

◆プログラム

13:00 開会挨拶：Bioeconomy Hub Japan 組織委員会 委員長 澤田 拓子

13:05 来賓挨拶：内閣府 科学技術・イノベーション推進事務局 審議官 川上 大輔 氏

13:10 基調講演：京都大学名誉教授 井村 裕夫 氏

13:40 基調講演：長崎大学 プラネタリーヘルス学環熱帯医学・グローバルヘルス研究科 教授 春日 文子 氏

14:10 休憩

14:20 スピーカーからの話題提供

講演① 環境・エネルギー

公益財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE）理事長 山地 憲治 氏

講演② 環境・エネルギー

株式会社カネカ 常務執行役員 R&B 本部長 上田 正博 氏

講演③ 持続的食料システム

東京大学 名誉教授 東京農業大学 客員教授 阿部 啓子 氏

講演④ 持続的食料システム

味の素株式会社 執行役 ビジネスモデル変革担当 グリーン事業推進部長
柏原 正樹 氏

講演⑤ グローバルヘルス

国立感染症研究所 獣医科学部 部長 前田 健 氏

講演⑥ グローバルヘルス

国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター ライフサイエンス臨床医学ユニット フェロー 辻 真博 氏

16:20 休憩

16:30 パネルディスカッション

モデレーター：坂田 恒昭、近藤 昭彦 氏、小川 順 氏

パネリスト：山地 憲治 氏、上田 正博 氏、阿部 啓子 氏、柏原 正樹 氏、前田 健 氏、辻 真博 氏

17:55 閉会挨拶：Bioeconomy Hub Japan 組織委員会 副委員長 諸富 隆一

共創の場形成支援プログラム（COI-NEXT）2024 年度第 3 領域合同シンポジウム

6 月 20 日 ANA クラウンプラザホテル金沢にて、合同シンポジウム＜オンライン併催＞が開催されました。

本シンポジウムでは、「循環が創るネイチャーポジティブ社会 2024」をテーマに、COI-NEXT の第 3 領域で取り組む共創分野、地域共創分野の本格型の拠点長が参集し、各拠点の取組紹介やパネルディスカッションが行われました。

本学からは養王田正文プロジェクトリーダーが本拠点の取組紹介を行い、課題 5 のリーダーである永井祐二上席研究員（早稲田大学）がパネルディスカッションのパネリストとして登壇しました。

「社会実装から文化創造へ ～社会変容に向けた、研究者の役割ってなに？～」と題したパネルディスカッションでは、ネイチャーポジティブ社会への変容に向け、各拠点で取り組まれている事例が紹介されるとともに、研究者や大学に地域が期待すること、社会変容実現のために必要な教育や科学的アプローチ、プロジェクトに関わる研究者自身の変容していくこと等、多岐にわたる観点で意見交換が行われ、大変有意義な時間となりました。

本拠点は、COI-NEXT の拠点活動をより効果的なものとし、社会変容に貢献できるよう、さらなる拠点間共創を推進し、他拠点との連携を図ってまいりたいと思います。



東南アジア ワークショップ

日本から13名の研究者がインドネシア、タイを訪問し、7月29日および30日にインドネシア大学にて、8月1日にタイカセサート大学にて『COI-NEXT 国際ワークショップ』を開催しました。

インドネシア、タイから8名の研究者を招いて昨年11月に東京農工大で開催したワークショップに続き、さらに議論を深め、今後の連携の可能性なども探る機会として開催しました。東南アジアと日本におけるバイオマス利活用に関する今後のあり方や研究の方向付けについて議論しています。

インドネシア大学では、バンドン工科大学、ボゴール農科大学の研究者も加わり、バイオマス資源としての木質材料や稲の利用、高価値化技術、藻類の利用、パーム油を資源とした技術開発などが紹介され、それぞれの地域に特徴ある実装についても議論を深めました。

タイのカセサート大学でも連携について議論し、また SATREPS のプロジェクトとして、現在は放置されている「パラゴムノキの種子」からのオイル採取・利用に関する研究開発内容の共有と実験設備の見学を行い、議論を深めました。

今後も本拠点では、バイオマス利活用の国際展開を推進するために両国と積極的に連携を進めていきます。





COI-NEXT/BX・GX 国際教育研究拠点連携ワークショップ

8月7日、COI-NEXT／BX・GX 国際教育研究拠点連携ワークショップが、海洋研究開発機構 横須賀本部にて開催されました。

COI-NEXT「カーボンネガティブの限界に挑戦する炭素耕作拠点」は、産学官連携による新たな価値の共創拠点として、また BX・GX 国際教育研究拠点は博士課程人材の育成を目的とした教育研究拠点として、それぞれ異なる役割を担って活動しています。

一方で、COI-NEXT の課題 1「炭素耕作技術の開発」および課題 3「炭素耕作による燃料生産技術の確立」と、BX・GX 国際教育研究拠点が取り組む課題の概要やコア技術には共通点が多く、両拠点のポテンシャルを相乗的に活かすことが可能です。

本ワークショップでは、双方の取り組みに対する理解を深めるとともに、具体的な連携の可能性について議論が行われました。



2024年度COI-NEXT/BX・GX国際教育研究拠点 連携ワークショップ in JAMSTEC

開催概要

COI-NEXT「カーボンネガティブの限界に挑戦する炭素耕作拠点」は産学官連携による新たな価値の共創拠点として、BX・GX国際教育研究拠点は博士課程育成の教育研究拠点として、それぞれが異なる役割を持って活動しています。一方で、COI-NEXTの研究開発課題1「持続可能な炭素耕作技術の開発」および研究開発課題3「炭素耕作による燃料生産技術の開発」と、BX・GX国際教育研究拠点で取り組む課題の概要、コア技術等是一致的しています。両拠点のポテンシャルを相乗的に活かすため、双方の取り組みの理解向上と、具体的な連携可能性について議論することを目的としたワークショップです。

開催日時

令和6年 8月7日(水)

13:00~18:00

開催形式

海洋研究開発機構 横須賀本部からオンライン配信

対象

教職員・学生

プログラム

開会挨拶

13:00-13:10

開催概要説明

13:10-13:20

COI-NEXT プロジェクトリーダー
養王田正文

BX・GX国際教育拠点拠点長
田中剛

COI-NEXT研究開発課題1: 持続可能な炭素耕作技術の開発

13:20-14:05

「ブルーカーボンとしての藻類・海草の可能性」
東京農工大学 大学院工学研究院 教授 田中剛
「山と海で作られるリグニンの牙城を攻略する」
東京農工大学 大学院農学研究院 教授 梶田真也
「土壌における炭素隔離機構とその社会実装に向けて」
東京農工大学 大学院農学研究院 准教授 杉原創

COI-NEXT研究開発課題3: 炭素耕作による燃料生産技術の開発

14:20-15:05

「炭素耕作による燃料生産技術の開発」
地球環境産業技術研究機構 バイオ研究グループ
グループリーダー / 主席研究員 乾将行
「酸性官能基を付与させた炭素系固体酸触媒による稲わらの糖化プロセス」
東京農工大学 大学院工学研究院 助教 神谷憲児
「バイオマス由来糖類からの高効率バイオ燃料生産技術の開発」
地球環境産業技術研究機構 バイオ研究グループ 副主席研究員 寺本陽彦

海洋研究開発機構における地球炭素動態理解への取り組み

16:20-17:05

「二酸化炭素問題の(あまり知られていない)科学的基礎」
海洋研究開発機構 海洋機能利用部門 部門長 大河内直彦
「炭素の行き着く先としての深海堆積物」
海洋研究開発機構 地球環境部門 グループリーダー代理 土屋正史

総合討論

養王田正文 田中剛 大河内直彦

17:10-17:55

閉会挨拶

17:55-18:00

海洋研究開発機構 海洋機能利用部門 部門長
大河内直彦

参加申込フォーム <要事前申込> 下記URLまたはQRコードから

<https://forms.gle/t4u4Q2Lhsqy2cvkF8>

8/2(金) 17:00 締切

お問合せ先

石川 彰人 (東京農工大学 BX・GX国際教育研究拠点)

aishikawa@go.tuat.ac.jp

主催: 東京農工大学 共催: 海洋研究開発機構(JAMSTEC)



東京農工大学 COI-NEXT 拠点・プラチナ森林産業イニシアティブ合同ワークショップ

8月21日に、東京農工大学小金井キャンパス 140 周年記念会館にて、東京農工大学 COI-NEXT 拠点・プラチナ森林産業イニシアティブ合同ワークショップを開催し、オンラインを含めて 78 名が参加しました。

本ワークショップでは、プラチナ森林イニシアティブの参画企業・団体等から 4 名の講演者にご発表いただくとともに、本拠点の参画研究者 6 名から拠点活動における研究内容や最新の研究成果について発表を行いました。プラチナ森林産業イニシアティブの掲げる、「森林資源の多面的・循環的なフル活用による、脱炭素化、経済安全保障強化、経済構造改革、地方創生及び森林文化の醸成の同時実現」と本拠点の目指す「炭素耕作によるカーボンネガティブの実現」は親和性が高く、ワークショップでは活発な質疑応答や議論がなされ、有意義な時間となりました。

また、ワークショップ後にはエリプスホールにて情報交換会を開催し、参加者間で研究や事業の内容について意見交換を行いました。



福島 稲刈イベント

9月6日～8日に福島県東部の浜通り地域にて稲刈りイベントが行われました。COI-NEXTメンバー35名が参加し、富岡町・山本育男町長にもご参加いただきました。イベント会場となった協力農家・渡辺 伸氏の圃場では、稲の栽培に、参画機関である㈱NEWGREENが提供する「アイガモロボ」が導入されており、今年も高い収量を得ました。また稲刈りの後は、高温耐性の高い稲品種の栽培やソーラーシェアリングによる米の収量確保の可能性についての講演会も開かれ、近年の高温障害による米の不作や、福島での営農持続性といった課題に対して、今後の検討がなされました。その他、東京電力福島第一原子力発電所の構内の視察や、東京電力廃炉資料館、大規模太陽光発電の現地、震災遺構の浪江町立請戸小学校等の見学も行いました。

今回は稲刈りの体験に併せて、福島復興の現状や事故処理の進捗を自分の目で確かめるという目的がありました。このイベントを通じ、さまざまな課題を抱えるこの地域で復興と共に行われる稲作は、まさに炭素耕作社会のモデルになるべきであると再認識しました。ソーラーパネルで収益を上げながら営農を持続可能なものにしようというソーラーシェアリングの取り組みは、まだ下で育つ作物などに課題もあるようですが、本プロジェクトの新しいテーマとしての可能性も確認できました。



ドイツ ワークショップ

10月に、ドイツで国際ワークショップを開催しました。日本から14名の研究者がドイツを訪問し、2024年10月14日、15日にUFZ(Helmholtz - Centre for Environmental Research)にて、『Carbon Cultivation 国際ワークショップ』を開催しました。また17日にTUM (Technical University of Munich) を訪問し、意見交換、交流を行いました。

UFZは二酸化炭素の低減に関する技術、及び政策について総合的に議論することができる研究機関であり、最新のドイツでの状況、バイオ技術によるアプローチの紹介がありました。例えば炭素貯留についてのドイツでの政策含めた課題と対応について、また土壌への炭素隔離に関する研究の状況などが紹介されました。またリグニンの利用の研究、バイオ燃料生産の研究などでの成果を伺いました。

日本からは拠点の各課題における研究の内容を紹介し、Q&Aを通じた活発な意見交換を行いました。またキャンパス見学の機会もいただき、研究現場の環境に触れることができました。

TUMでは、3つのグループに分かれて、農学系のFreisingキャンパス、工学系のGarchingキャンパス、及び新設したStraubingキャンパス(Biotechnology and Sustainability)を訪問・見学し、交流を行いました。

環境に対して高い意識を持つドイツの研究機関での意見交換・交流は、炭素耕作を推進する当拠点の活動に対して強い刺激と共感を得られるものであり、今後も積極的に連携を進めていきます。

Joint Workshop on Carbon Cultivation

October 14th & 15th 2024



'The 21st Century Industrial Revolution: Advancing from a Carbon Hunting to a Carbon Cultivation Society' – Prof. Masafumi YOHDA (<https://sp.coinext.tuat.ca.jp/en/>)



Carbon Cultivation Innovation Hub Challenging the Limits of Carbon Negativity





Program October 14th

Welcome (Monday 9:00–9:30)

YOHDA, Masafumi, Tokyo University of Agriculture and Technology
BÖHNING-GAESE, Katrin, Scientific Director UFZ
ADRIAN, Lorenz, UFZ Dept. Molecular Environmental Biotechnology

Session 1: Social Acceptability (Monday 9:30–11:30)

- 9:30 Challenges of social implementation of biomass utilization
NAGAI, Yuji
Waseda University
- 9:50 A comprehensive assessment of carbon dioxide removal options for Germany
BORCHERS, Malgorzata, FÖRSTER, Johannes, THRÄN, Daniela
UFZ, Dept. Bioenergy
- 10:10 The development of next-generation rice varieties for carbon cultivation
OOKAWA, Taiichiro
Tokyo University of Agriculture and Technology
- 10:30 Regional assessment of biomass-based carbon dioxide removal and introduction of "Carbon Cascadia": A CDR removal game
OTTO, Danny, MATZNER, Nils
UFZ, Dept. Urban and Environmental Sociology
- 10:50 Current state of CDR regulations
BAUST, Constanze
UFZ, Dept. Environmental and Planning Law

Session 2: Sustainable Carbon Cultivation (Monday 12:30–14:30)

- 12:30 Development of cellulose materials from hardwoods maintaining hierarchical structure
HORIYAWA, Yoshiki
Tokyo University of Agriculture and Technology
- 12:50 Biomass waste recycling and greenhouse gas mitigation
RIYA, Shohei
Tokyo University of Agriculture and Technology
- 13:10 Role of root hairs in soil C sequestration in a 5 years maize monoculture
ROLDÁN, María Martín, BLAGODATSKAYA, Evgenia, *et al.*
UFZ; Dept. Soil Ecology
- 13:30 Microbial necromass as a significant source of soil organic matter: origin, pathways and implications for C sequestration
MILTNER, Anja, KÄSTNER, Matthias, *et al.*
UFZ, Dept. Molecular Environmental Biotechnology
- 13:50 Reducing lignocellulosic recalcitrance by introduction of chemically labile linkages into the lignin backbone
KAJITA, Shinya
Tokyo University of Agriculture and Technology



Program October 14th (continued)

Session 3: Carbon-Based Materials (Monday 15:30–17:30)

- 15:30 Properties of multilayer paperboard prepared from plant fiber
KOSE, Ryota
Tokyo University of Agriculture and Technology
- 15:50 BIOWIN: AI-supported biotechnology for resource-efficient active compound and bio-nylon production
BÜHLER, Bruno
UFZ, Dept. Microbial Biotechnology
- 16:10 Glucose-free platform chemical production by the engineered catabolic pathway of *Pseudomonas* sp. NGC7
SONOKI, Tomonori
Hirosaki University
- 16:30 How methyltransferases can contribute to CO₂-neutral production of methylated chemicals
DEOBALD, Darja
UFZ, Dept. Molecular Environmental Biotechnology
- 16:50 The catabolic system of lignin-derived aromatic compounds in *Shingobium lignivorans* SYK-6 and its application to lignin valorization
MASAI, Eiji
Nagaoka University of Technology
- 17:10 Tapping new feedstocks for biological synthesis using electrochemical hydrogenations: production of adipic acid from lignin-derived phenols
MOREJÓN, Micjel C., SAEDI, Navid, FRANZ, Alexander, SEIBERT, Lea, KARANDE, Rohan, HARNISCH, Falk
UFZ, Dept. Microbial Biotechnology

Program October 15th

Session 4: Carbon-Based Fuel Production (Tuesday 9:30–11:30)

- 9:30 Development of technologies to enhance biomass production of marine microalgae
ARAKAKI, Atsushi
Tokyo University of Agriculture and Technology
- 9:50 Kolbe electrolysis: An alternative approach for the economic and efficient production of bio-based aviation fuel from wastes
RÖHRING, Katharina, HARNISCH, Falk, *et al.*
UFZ, Dept. Microbial Biotechnology
- 10:10 Advance in production technologies of sustainable aviation fuel from bio-oil
QIAN, Eike Weihua
Tokyo University of Agriculture and Technology
- 10:30 Genetic engineering for establishing biohydrogen production technology
TERAMOTO, Haruhiko
Research Institute of Innovative Technology for the Earth, Kyoto
- 10:50 BISON: a biohybrid solar energy collector
KRÖMER, Jens, LAI, Bin
UFZ, Dept. Microbial Biotechnology
- 11:10 A New wave of biomass ecosystems and lifestyle changes in Japan
YOSHIKAWA, Narumi
Research Institute for Humanity and Nature, Kyoto



List of participants



1	Shaohei Riya	32	Eike Weihua Qian
2	Yuji Nagai	33	Shinya Kajita
3	Narumi Yoshikawa	34	Hauke Harms
4	Bruno Bühler	35	Katharina Röhring
5	Masafumi Yohda	36	Johannes Förster
6	Lorenz Adrian	37	Antonis Chatzinotas
7	Yoshinori Sato	38	Felicitas Ehme
8	Atsushi Arakaki	39	Carsten Vogt
9	Haruhiko Teramoto	40	Uwe Kappelmeyer
10	Taiichiro Ookawa	41	Johannes Lambrecht
11	Minh Ganther		
12	Marie Eberwein	not on picture	Falk Harnisch
13	Marvin Amadeus Itzenhäuser		Andreas Schmidt
14	Jens Krömer		Chinami Maeda
15	Jesica Soder-Walz		Kousuke Hara
16	Tomonori Sonoki		Flavio Bastos Campos
17	Anja Miltner		Navid Saeidi
18	Eiji Masai		María Martín Roldán
19	Bin Lai		Kazuma FUJII
20	Yoshiki Horikawa		Kumar Taufik
21	Hryhoriy Stryhanyuk		Shuting Li
22	Evgenia Blagodatskaya		Yiduan HU
23	Akshda Mehrotra		Muzi Li
24	Ryota Kose		Jesica Maiara Soder Walz
25	Nadine Hellmold		Sebastian Elze
26	Sarya Derado		Yu Liu
27	Darja Deobald		Benjamin Scheer
28	Matthias Kästner		Nadiia Yamborko
29	Lyn Katinka Möhrlein		Mohammad Jafar Sheikhi
30	Fabian Brandenburg		
31	Mika Tarkka		

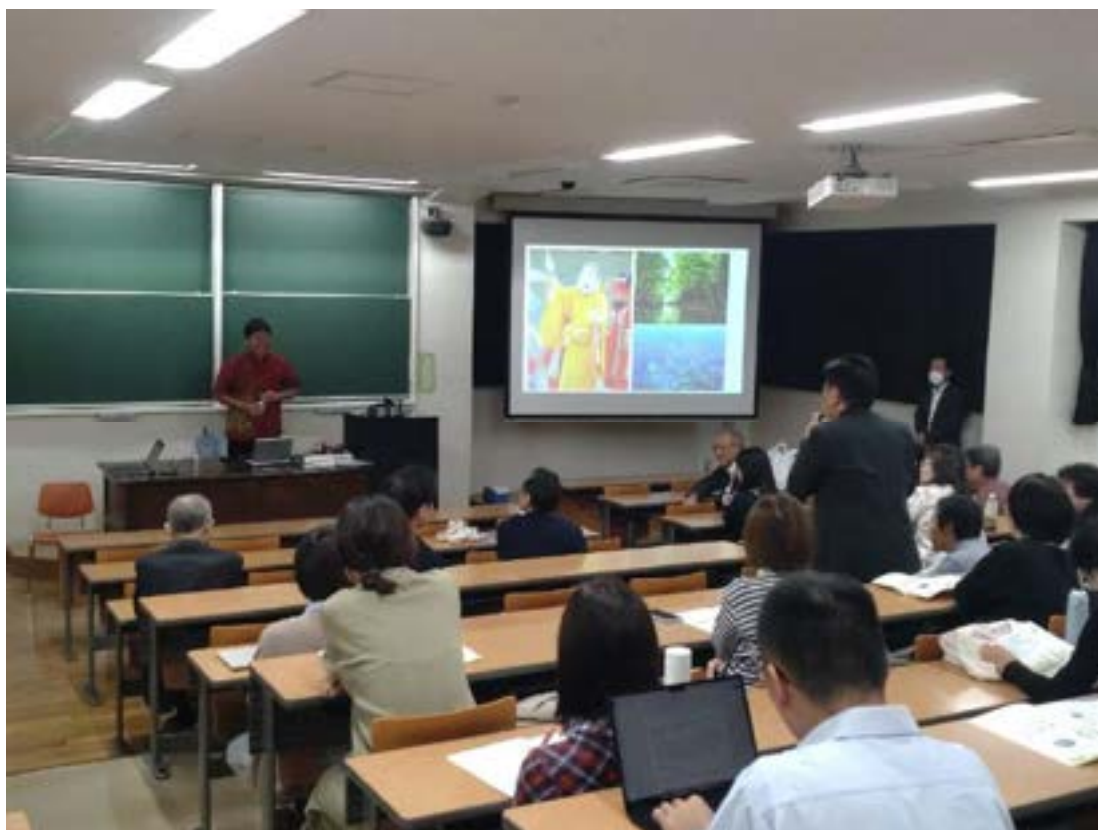
大浜農園 大浜一将氏 講演会

本拠点では、2024 年度より、COI-NEXT 連携強化支援において、世界自然遺産である西表島が抱える様々な課題を、本拠点の技術を用いて解決するための取組を実施しています。ご講演いただいた大浜農園の大浜一将氏は、西表島の大自然と多様ないきもの、そして人々の営みがいつまでも豊かであり続けられるように、農薬に頼らない栽培方法で、自然にも人にも優しいお米づくりを続けておられます。

本イベントには、教員、企業関係者、学生、大学職員等約 50 名が参加し、大浜様のご講演「～平均時給 10 円の稲作農家が、世界自然遺産の離島で行う自然と共存する仕組み作り～」のお話を熱心に聴講しました。

講演では、西表島の豊かな自然環境を維持しつつ、そこで暮らす人々の災害等の備えにもなり、各産業の振興につながる仕組みとして必要な「地産地消」、「資源循環」、「有機農業」の現状と課題、その解決を目指す取組が紹介されました。講演後は活発な質疑応答がなされ、離島における資源循環の在り方や、米作りに携わる方々を取り巻く現状について意見が交わされ、大変有意義な時間となりました。

今後も、本拠点では、その地域で暮らす人々や生産者と一体的に連携し、炭素耕作技術推進とそれを受容する社会の実現を目指していきます。



講演会

平均時給**10円**の稲作農家が、
世界自然遺産の離島で行う
自然と共存する仕組み作り



講演者：大浜農園 大浜一将 氏

今夏の米不足、米価格の高騰は大きなニュースになっており、「令和の米騒動」と呼ばれています。この講演会を機会に、米作りをとりまく現状の課題や、自然と共生する米作りについて考えてみませんか。

日時

令和6年10月22日(火)16:30~17:30

会場

東京農工大学農学部1号館11号教室

申込
締切

令和6年10月16日(水)

申込
方法

参加申込フォーム(QRコード)から
お申込みください。

【URL】 <https://forms.gle/tUWiFaycMLnLtydG8>

※申し込みは先着順です。100名を超えた場合は×切とし、
お断りさせていただく場合がございます。



カーボンネガティブの限界に挑戦する炭素耕作型拠点」令和6年度拠点会議

昨年の弘前大学での開催に続き、本年は「栃木 JIMINIE 倶楽部 自然の家みかも」にて12月8日（日）～12月10日（火）の3日間、約120名の拠点メンバーが一堂に会する拠点会議を開催しました。全体ミッションを「ビジョン実現のための課題の認識と共有」と位置付けています。

初日は、グリーンエルム株式会社 代表取締役社長 西野文貴氏による「原点回帰の森づくり～NPの実現に向けて～」と題した講演をいただき、苗木の出荷事業のご紹介以外にも、森の防潮堤、鎮守の森プロジェクト、など生態、景観、防災に関わる樹木、森の重要性について学びました。

続いて、本拠点の活動報告として、養王田プロジェクトリーダーより拠点全体の報告、および各課題リーダーによる研究紹介、進捗状況が紹介され、各課題研究の内容と進捗を共有しました。

2日目は、拠点活動に参加している学生、企業メンバー等によるポスターセッションを行い、40件を超えるテーマについて発表されました。各自、内容を分かりやすく工夫して説明し、全てのポスターの前で熱のこもったディスカッションが行われました。

午後は、課題横断型テーマという設定で、課題を跨って議論に参加できる形式でディスカッションを行いました。

3日目にはその内容を踏まえ、来年度以降に向けた取り組みについて各テーマのリーダーから報告しました。

今回は、事前に学生参加者を対象に、現在の研究に関する、あるいは将来に向けた考えや質問などのアンケートを実施し、それに対する教員、社会人からのアドバイスを募るというイベントを行い、内容は情報交換会の中で紹介されました。通常のキャンパスライフの中には無い経験として内容も充実し、有意義なものになりました。

本イベントを通じ、拠点で進めている各課題について、具体的な項目について担当者からの説明および横断的なディスカッションも行われ、学生を含む拠点メンバーによる研究の現在地が共有されて、炭素耕作につながる成果に向けた進展と今後の活動の方向性を確認することが出来たと感じられました。

今後も拠点の更なる発展、研究活動、社会実装に向けた活動の加速のため、このようなイベントを継続的に行って参ります。



ASEAN 地域でのバイオものづくりに関する国際シンポジウム

12月12日に都市センターホテルで開催された“ASEAN 地域でのバイオものづくりに関する国際ワークショップ (ERIA-APRC Research Exchange and Innovation Workshop on Biomanufacturing)”において COI-NEXT での取り組みについて養王田 PL が講演を行いました。

東アジア・ASEAN 経済研究センター (ERIA) は、2024 年に ERIA 行政大学院 (ERIA School of Government) を設立し、政府機関、学术界、産業界、社会団体と連携して、ガバナンスに関する中核的な拠点の形成を進めています。さらに、文部科学省 (MEXT) および科学技術振興機構 (JST) は、2024 年からの 5 年間にわたり、「日 ASEAN 科学技術イノベーション協力事業 (NEXUS)」を通じて、国際共同研究や人材交流・育成を通じた持続的な研究協力の強化に取り組む予定です。

こうした背景のもと、ASEAN 諸国と日本との間で科学技術分野における協力を一層推進するため、ERIA およびアジア太平洋研究センター (APRC) は、両地域が関心を寄せる新興かつ重要な分野において、研究者間の国際交流の機会を創出することを目的に、一連の研究交流ワークショップを開催しています。

今回のワークショップのテーマは、カーボンニュートラル社会の実現に向けて世界的に注目されている「バイオマニュファクチャリング

(Biomanufacturing)」でした。ASEAN 諸国と日本の研究者が、生物由来の素材を活用した製品製造や、微生物などの生物の機能を利用した有用物質の生産に関する研究成果を紹介しました。さらに「バイオマニュファクチャリング」の産業化を通じて、経済成長と持続可能な社会の両立を目指す「バイオエコノミー」の実現に向け、今後取り組むべき研究開発上の課題や社会的課題について、活発な意見交換が行われました。



農林水産省「知」の集積による産学連携支援事業 令和 6 年度アグリ技術シーズ セミナーin 沖縄

農林水産省「知」の集積による産学連携支援事業令和 6 年度アグリ技術シーズ
セミナーin 沖縄” 沖縄の技術シーズを生かした地域産業活性化” において養
王田 PL が特別講演を行いました。

沖縄の技術シーズを活かした地域産業活性化

**参加
無料**

アグリ技術シーズセミナーは、農林水産・食品分野で、新たな産学連携を推進するため、最新の研究情報等の発信を行うセミナーです。

今回、「沖縄の技術シーズを活かした地域産業活性化」をテーマとしてハイブリッド形式により開催し、産学の機関から最新の技術シーズ等についてご紹介します。セミナー終了後には会場参加者を対象としたコーディネーターによる個別相談会も実施します。

参加費は無料です。多数の皆様のご参加をお待ちしております。

日時 令和7年1月29日(水)
14:00 ~ 17:30

会場 那覇商工会議所 2階 ホール
(那覇市久米2-2-10 中小企業振興会館)

形態 ハイブリッド形式 (会場開催+Zoom Webinarによるオンライン配信)

申込締切 令和7年1月28日(火) 正午
(先着順)

定員 会場：40名 個別相談：3件
オンライン：100名

申込方法 (公社)農林水産・食品産業技術振興協会の産学連携支援サイトをご参照ください。
<https://agri-renkei.jp/2025/01/16/6847/>



プログラム

司会：塚原 正俊 氏 (沖縄農業研究会 農林水産省産学連携支援コーディネーター)

【挨拶】 14:00~14:10

(公社)農林水産・食品産業技術振興協会(JATAFF) 産学連携事業部長 佐藤 龍太郎
沖縄農業研究会 会長 川満 芳信 氏 (琉球大学 農学部 亜熱帯農林環境科学科 客員教授)

【特別講演】

「炭素耕作による世界自然遺産の島の持続的発展」 14:10~14:50
養王田 正文 氏 (東京農工大学大学院工学研究院 卓越教授)

【シーズ紹介】

1) 「琉球大学が進める農水一体型サステナブル陸上養殖プロジェクトの進捗について」 14:50~15:15

平塚 悠治 氏 (琉球大学 研究推進機構 共創拠点運営部門 特命准教授)

2) 「沖縄本島中部地区でのエコフィード (食品残渣の飼料化) の取り組み」 15:15~15:40
伊村 嘉美 氏 (琉球大学 農学部 亜熱帯地域農学科 准教授)

< 休憩 >

3) 「パインアップル新品種『沖農P22』の開発について」 15:45~16:10
前川 龍太 氏 (沖縄県農業研究センター 名護支所 果樹班 主任研究員)

4) 「ユネスコ無形文化遺産に登録された泡盛の伝統的酒造りと新奇的な黒麹菌を使った泡盛の開発」 16:10~16:35
外山 博英 氏 (琉球大学 農学部 亜熱帯生物資源科学科 教授)

5) 「資源が循環し産業が繋がる西表島」 16:35~17:00
池村 一輝 氏 (株式会社西表でしか 代表)

【個別相談会】 ※会場参加者対象 17:00~17:30
コーディネーターが競争的研究資金への申請に関する相談や技術相談に対応いたします。

大阪・関西万博プレイベント「わたしとみらい、つながるサイエンス展」パネル展示

2025 EXPO 大阪・関西万博のプレイベントである、「わたしとみらい、つながるサイエンス展」（東京都開催）に、本拠点より乾 将行リーダー（課題3担当）のパネル展示が出展されました。イベント詳細はホームページ（https://www.mext.go.jp/a_menu/expo_watashitomirai/index.html）からご確認ください。



インドネシア 訪問

養王田 PL が、2025 年 2 月 16 日から 20 日までインドネシアを訪問しました。2 月 17 日にはインドネシア大学(UI)においてゲストレクチャーを行い、同大学化学工学科のメンバーと、COI-NEXT における連携について議論しました。

18 日から 19 日にかけては、中村暢文工学部長、斎藤広隆農学研究院評議員、平野雅文工学府評議員、梅林健太工学府国際交流委員会委員長、ウレット・レンゴロ教授、堀切友紀子グローバル教育院准教授と合流し、インドネシアの教育・研究機関を訪問しました。2 月 18 日には、インドネシア財務省傘下の教育基金管理機関 (LPDP) および国立研究イノベーション庁 (BRIN) を訪問し、インドネシアの学生に対する政府奨学金制度や留学支援に関する意見交換を行いました。特に、BRIN 長官の Handoko 博士をはじめ、人材育成および国際交流に関わるスタッフとの直接面談は、今後の交流促進に向けた重要な布石となりました。2 月 19 日の午前中には、UI 本部および同大学工学部を訪問しました。本部では副学長の Sudibandriyo 教授らと面談し、長年にわたる工学部との連携に加えて、ダブルディグリープログラムによる学生交流の強化について協議しました。また工学部では、学部長代理の Kusuma 教授、協力・起業担当マネージャーであり本学で博士号を取得した Dr. Sahlan 准教授、化学工学科長の Susanto 教授らと会合し、今後も学生の相互派遣を強化する方針を確認しました。2026 年 4 月に開始予定のリサーチインターンシップに関しても詳細を確認しました。同日の夜には、UI の新学長である Hermansyah 教授および新 FTUI 学部長の Kurniawan 教授と会食し、懇親を深めました。さらに、2 月 20 日に Economic Research Institute for ASEAN and East Asia (ERIA) の相沢伸広教授を訪問し、今後のインドネシアとの連携体制のさらなる拡大に向けた議論を行いました。



東京農工大学・琉球大学 COI-NEXT 連携強化支援プロジェクト 西表シンポジウム

2025 年 2 月 26 日（水）から 28 日（金）にかけて、東京農工大学・琉球大学 COI-NEXT 連携強化支援プロジェクト 西表シンポジウムを行いました。

26 日の情報交換会を皮切りに、27 日に沖縄県八重山郡竹富町 中野わいわいホールにて、COI-NEXT 連携強化支援プロジェクトシンポジウム、そして 28 日にはシンポジウムのテーマを踏まえた現地視察を行いました。27 日のシンポジウムには、大学等研究機関だけでなく、企業、自治体、地元の方々からご参加をいただき、現地の課題を意識した社会実装連携について議論しました。

シンポジウムでは、ご来賓挨拶、本拠点養王田プロジェクトリーダーによる趣旨説明に続き、本学と琉球大学による連携プロジェクトの紹介を行いました。また昼食休憩時間には、多くのゴミが漂着する中野ビーチにも足を運び、現地開催ならではの「西表が抱える課題」の一つを実際に見ることもできました。

続いて午後からは「西表の一次産業、流通の課題」「資源循環の課題」「ネイチャーポジティブの課題」「地域での研究展開と大学の役割」という 4 つのテーマで、他拠点との連携によるパネルディスカッションを行いました。西表島だけでなく島嶼地域が抱える共通の課題や、地域の特性に基づく諸課題について議論が展開され、炭素耕作社会の実現を目指す取組が、地域との共創の場として効果的に形成され始めていること、現場の抱える課題を解決するために有効であること等を確認しました。シンポジウムでは多くの質問も寄せられ、シンポジウム後に開催された交流会では、地元の方や拠点関係者が、積極的に交流を深めることもでき、大変有意義なイベントとなりました。

最終日となる 28 日は、午前中に「西表でしか」の堆肥事業および経産牛の取組を見学、午後にはマングローブ林を視察し、西表の現在地を体感できる貴重な機会を得ました。

今回のシンポジウムは、炭素耕作社会実現のための取組が、地域の課題解決につながる可能性が高いことを、大きな期待とともに感じられる機会となりました。今後も他拠点連携及び地域連携を深めていき、COI-NEXT の活動をより効果的に推進してまいります。

東京農工大学COI-NEXT

カーボンネガティブの限界に

挑戦する炭素耕作拠点*

東京農工大学・琉球大学COI-NEXT

連携強化支援プロジェクト

シンポジウム

*科学技術振興機構(JST)

共創の場形成支援プログラム(COI-NEXT)

共創分野・本格型 令和5年度昇格プロジェクト

世界自然遺産の島の 炭素耕作による持続的発展

今回は“世界自然遺産”として認定されており、豊かな自然環境に恵まれる一方、環境破壊やオーバーツーリズム等の課題を抱え、農業においてもその環境に関連した様々な制約を受けている「西表島」で開催します。
西表島では、これまでも東京農工大学・琉球大学・早稲田大学・北陸先端科学技術大学院大学が連携して行うCOI-NEXT連携強化支援プロジェクトで、農業、畜産、水産業、また流通や販売、ひいては島にとって重要な観光業にもつながる、資源循環や価値創造に向けた技術開発と当該技術の適用を目指した活動を実施してきました。
そこで、本シンポジウムでは、本拠点を含めた炭素循環型社会の実現に取り組むCOI-NEXT拠点による社会実装のための拠点横断型研究会を中心に、大学等研究機関、企業、自治体等からの登壇者が集結し、現地の課題を意識した社会実装連携について議論します。



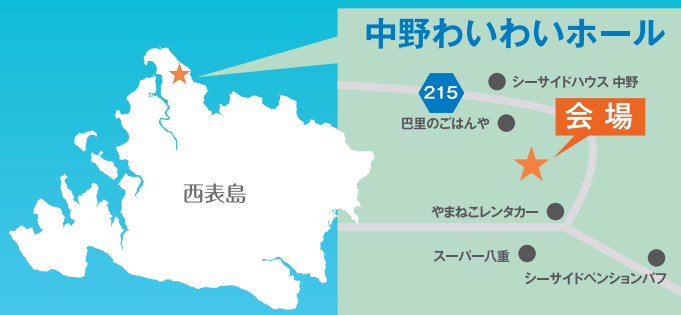
参加費
無料

どなたでも
参加できます

2025.2.27 (木) 10:30~16:50

会場 (八重山郡竹富町上原 330)

沖縄県八重山郡竹富町 西表島 中野わいわいホール



参加申込方法

締切日: **2月13日(木)**

URLまたはQRコードよりお申し込みください。

<https://forms.gle/Cm7Po4MQnTtS66DN6>



Webサイト

詳細はWebサイトをご覧ください。

<https://sp.coi-next.tuat.ac.jp/category/news/>

お問い合わせ先

国立大学法人東京農工大学
研究支援課 東京農工大学COI-NEXT 事務局
E-Mail: tuat_coi-next-groups@go.tuat.ac.jp
TEL: 042-367-5703



東京農工大学COI-NEXT

カーボンネガティブの限界に挑戦する炭素耕作拠点*

東京農工大学・琉球大学COI-NEXT連携強化支援プロジェクトシンポジウム

*科学技術振興機構(JST)

共創の場形成支援プログラム(COI-NEXT)
共創分野・本格型 令和5年度昇格プロジェクト

PROGRAM

※時間は予定です。やむを得ない事情により変更する場合があります。 ※シンポジウム終了後17:00より交流の部を行う予定です。

【総合司会】須田桃子(東京農工大学 特任教授)

■午前の部(10:30~12:20)

10:30~ 主催者挨拶

東京農工大学 学長 千葉 一裕

来賓挨拶

竹富町 町長 前泊 正人

文部科学省科政局産業連携
地域振興課長 池田 一郎

科学技術振興機構 共創の場形成支援
プログラム第3領域 プログラムオフィサー
岸本 喜久雄

琉球大学 学長 西田 睦

イオン琉球株式会社 社長室長兼エリア
政策担当・取締役 銘苅 尚一郎

11:00~ 趣旨説明

東京農工大学COI-NEXT プロジェクトリーダー/
東京農工大学卓越教授

養王田 正文

11:20~ プロジェクト紹介

炭素耕作型稲作の課題と西表島での取り組み

東京農工大学農学研究院 教授 大川 泰一郎

株式会社星砂 大浜農園 代表 大浜 一将

株式会社NEWGREEN 副社長 中村 哲也

沖縄におけるコメの付加価値化と品種開発

琉球大学農学部 教授 福田 善通

有限会社高嶺酒造所 代表 高嶺 聡史

株式会社バイオジェット 代表取締役 塚原 正俊

陸上養殖とブルーカーボン

琉球大学理学部教授 竹村 明洋

東京農工大学 卓越教授 田中 剛

■午後の部(13:30~16:50)

13:30~ COI-NEXT拠点連携

ディスカッション

「地域から見える社会課題を考える」

テーマ1「西表の一次産業、流通の課題」

【モデレーター】

琉球大学 特命教授 羽賀 史浩

【パネリスト】

竹富町役場農林水産課 主幹兼係長 與那城 博

イオン琉球株式会社 社長室長兼エリア
政策担当・取締役 銘苅 尚一郎

総合地球環境学研究所 特任教授 吉川 成美

株式会社星砂 大浜農園 代表 大浜 一将ほか

テーマ2「資源循環の課題」

【モデレーター】

琉球大学農学部 教授 平良 東紀

【パネリスト】

東京農工大学工学研究院 教授 寺田 昭彦

西表でしか代表 池村 一輝ほか

<休憩(10分)>

テーマ3「ネイチャーポジティブの課題」

【モデレーター】

東京農工大学 特任教授 永井 祐二

【パネリスト】

イオン環境財団 里山グルーブマネージャー 山岸 正晴

西表財団 事務局長 徳岡 春美

星野リゾート 西表島ホテル 総支配人 細川 正孝

環境省石垣自然保護官事務所 上席自然保護官 山本 以智人ほか

総括トーク「地域での研究展開と大学の役割」【モ
デレーター】

東京農工大学 特任教授 須田 桃子

【パネリスト】

名古屋大学 特任准教授 Karolin Jiptner

東京農工大学COI-NEXT副プロジェクトリーダー/
東京農工大学 特任教授

佐藤 嘉記ほか

昼休憩(12:20~13:30)

16:45~ 閉会挨拶

主催





SATREPS” 天然ゴム農園に眠る無限の可能性 “ゴム種子” によるGXの実現へ” の Plenary Session prior to the 1st JCC meeting

課題2メンバーの兼橋 真二 東京農工大学准教授が主催する地球規模課題
対応国際科学技術協力プログ SATREPS” 天然ゴム農園に眠る無限の可能性 “ゴム
種子” によるGXの実現へ” の Plenary Session prior to the 1st JCC meeting
が2025年3月20日にバンコクで開催されました。養王田 PL が参加し、本拠点
の紹介を行いました。



Annex



SATREPS PROJECT
**"Utilization Technology of Rubber Seeds for
 Green Products to Mitigate Global Warming and
 Plastic Pollution"**



Plenary Session prior to the 1st JCC meeting

Date: 20th (Thu) March, 2025

Time: 9:00 ~ 12:00 (Thailand time), 11:00 ~ 14:00 (Japan time)

Venue: Siam Meeting room 3, 9th Floor, Mercure Bangkok Siam

No.	Time (Thai)	Time (Japan)	Contents	Speaker
1	09:00~9:05	11:00~11:05	Opening Remarks	Dr. Shinji Kanehashi Principal investigator in Japan side
2	09:05~9:15	11:05~11:15	Introduction	Dr. Shinji Kanehashi
3	09:30~9:45 09:45~10:00 10:00~10:15 10:15~10:30 10:30~10:45	11:30~11:45 11:45~12:00 12:00~12:15 12:15~12:30 12:30~12:45	Presentation of progress situation and future plan of each subject	Representatives of Subject 1 Representatives of Subject 2 Representatives of Subject 3 Representatives of Subject 4 Representatives of Subject 5
4	10:45~11:00	12:45~13:00	Coffee Break	
5	11:00~11:15	13:00~13:15	Introduction of COI-NEXT	Dr. Masafumi Yohda, TUAT
6	11:15~11:50	13:15~13:50	Discussion	All participants
7	11:50~12:00	13:50~14:00	Closing Remarks	Dr. Suwabun Chirachanchai Principal investigator in Thai side



TUAT
 Thai University of Agriculture and Technology



課題 1 研究成果 執筆者リスト

【草本系バイオマス】

次世代イネ品種の炭素耕作生産技術の開発

東京農工大学大学院農学研究院・教授 大川 泰一郎

炭素耕作に適した温室効果ガス削減微生物の単離と利用技術開発

東京農工大学大学院農学研究院・教授 岡崎 伸

持続可能な炭素耕作技術に資するバイオ肥料の解析及び開発

東京農工大学大学院農学研究院・教授 大津 直子

土壌生態系で炭素耕作を推進するために必要な作物残渣形質の探索

東京農工大学大学院グローバルイノベーション研究院／農学研究院

・教授 杉原 創

水田におけるアイガモロボ導入によるメタン抑制

弘前大学農学生命科学部・准教授 加藤 千尋

有機水田における自動抑草ロボット「アイガモロボ®」

(IGAM2 実証試験機体) による雑草抑制効果と水稻生育への影響評価

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

西日本農業研究センター・研究員 浅見 秀則

有機水稻作に有望な水稻形質の分子基盤解明と品種の開発

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

高度分析研究センター・ユニット長 稲垣 言要

【木質系バイオマス】

カーボンネガティブに資する新しい早生樹の育苗・造林技術の開発

東京農工大学大学院農学研究院・教授 戸田 浩人

早生樹の成長・材質特性解析による適木選抜手法の開発

東京農工大学大学院農学研究院・教授 半 智史

リグノセルロース系バイオマスの利用性に優れた樹木新種開発

東京農工大学大学院農学研究院・教授 梶田 真也

【海洋系バイオマス】

海洋微細藻類の炭素固定能及び物質生産機能の強化に向けた基盤技術の開発

東京農工大学大学院工学研究院・卓越教授 田中 剛

炭素耕作拠点形成に資する海洋炭素循環の追跡

国立研究開発法人 海洋研究開発機構 超先鋭研究開発部門

超先鋭研究開発プログラム・主任研究員 豊福 高志

海草藻場由来の炭素貯留量の増加に関わる統合的研究

東京農工大学大学院農学研究院・教授 梅澤 有

植物ホルモンによる海産種子植物の成長制御機構の解明と応用

東京農工大学大学院農学研究院・教授 笠原 博幸

海洋ラン藻由来のストレス耐性関連タンパク質の探索と機能解析

東京農工大学大学院工学研究院・准教授 山田 晃世

ヤイトハタ飼料における微細藻類の利用に関する基礎研究：魚体組成への影響

琉球大学理学部海洋自然科学科生物系・教授 竹村 明洋

次世代イネ品種の炭素耕作生産技術の開発

大川 泰一郎

東京農工大学大学院農学研究院・教授

研究協力者

安達 俊輔、中村 哲也

研究の目的

イネは日本、東アジア、東南アジアで広く栽培されており、莫大な量の CO₂ を固定し、バイオマスを生産している。SDGsのもと、籾殻や稲わらなど未利用のバイオマスの有効利用、化学肥料や農薬の削減、水田からのメタンなど温室効果ガスの削減が求められている。イネが固定する炭素のうち、約 30%は米、70%は籾殻、稲わら、根に含まれている。根とともに籾殻や稲わらは土壌にすき込んで利用され、メタン生成の主な要因となっている。化学肥料や農薬の削減下でイネのバイオマス生産量を高めるとともに、メタン生成の少ない品種など次世代の炭素耕作イネ品種を開発する必要がある。しかしながら、これまでこのような品種はほとんど開発されていない。また、メタンは水田の還元条件で生成され、酸化的な条件に制御することにより、メタン発生を抑制することができる。

本研究課題では、(1) 化学肥料、農薬削減下、節水栽培下で高いバイオマス生産、深水抵抗性、倒伏抵抗性、窒素利用効率の次世代のイネ品種のゲノム育種による開発、(2) アイガモロボの土壌攪拌機能による雑草抑制、メタン生成に及ぼす影響の検討、を目的とする。

本年度の成果

(1) 化学肥料削減下で高いバイオマス生産、窒素利用効率をもつ品種を開発するため、イネ 186 品種のゲノムワイドアソシエーション解析 (GWAS) を行い、高いバイオマス生産と窒素利用効率に関わる染色体領域を検出した。また、高いバイオマス生産、窒素利用効率をもつ「京都旭」と農工大育成の「さくら福姫」との交配から育成した組換え自殖系統を用いて QTL 解析を行い、深水抵抗性と倒伏抵抗性の QTL を検出し、優良系統を選抜した。また、多収品種との交配から選抜した「モンスター農工大 1 号」と「タカナリ」の交配後代から育成したモンスターライス新系統は、メタン抑制のための節水管理条件、畑での栽培で、葉面積を拡大し高いバイオマス生産を示すことがわかった。

(2) 次世代シーケンサーを用いた DNA マーカーによる遺伝子型解析、効率的で高精度のマーカー選抜のため、開発した Targeted Amplicon Sequencing 法を用いて、窒素利用効率、倒伏抵抗性などの農業形質の量的形質遺伝子座 (QTL) 解析を実施し、QTL の検出に成功した。

(3) 除草剤などの農薬削減のため、雑草抑制効果のある深水管理下でも深水抵抗性を示すイネを開発するため、深水抵抗性の GWAS を実施し、深水抵抗性の染色体領域を第 3,4 染色体に検出し、それらの候補遺伝子を特定した。

(4) アイガモロボによる土壌攪拌が水田雑草抑制、メタン生成に及ぼす影響の検討を滋賀県、沖縄県の水稲有機栽培の生産現場で実施した ((株) NEWGREEN)。その結果、アイガモロボによりメタン発生速度が低下し、菌叢解析よりメタン資化細菌の割合が増加することがわかった。

2024 年度の業績

原著論文

1. Marina Iwasa, Shunsuke Adachi, Taiichiro Ookawa (2024) “Optimum water depth for suppressing late watergrass growth with minimizing rice growth inhibition under different temperature conditions” Plant Production Science, 28, 38-43
<https://doi.org/10.1080/1343943X.2024.2424523>

総説・本

なし

国際学会発表

なし

国内学会発表

1. ○大川泰一郎：多収性水稲品種間の交雑より育成した極長稈・極強稈のモンスターライス“第 65 回日本育種学会シンポジウム（招待講演）、2024 年 9 月 29 日、広島大学、広島
2. ○小林勇太、由良桃子、安達俊輔、大川泰一郎：水稲育成系統「モンスターライス 7 号」の陸稲栽培適性” 日本作物学会関東談話会第 113 回講演会、2024 年 12 月 6 日、宇都宮大学、栃木
3. ○由良桃子、小林勇太、中村哲也、高木昌宏、安達俊輔、大川泰一郎：メタン抑制のための節水栽培におけるモンスターライスのバイオマス生産特性“日本作物学会第 259 回講演会、2025 年 3 月 29 日、日本大学、神奈川

メールアドレス: ookawa@cc.tuat.ac.jp

ホームページ: <https://web.tuat.ac.jp/~crop/>

Development of carbon-cultivation technology for the next generation rice varieties

Taiichiro OOKAWA

Professor, Institute of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology

Co-researcher

Shunsuke ADACHI, Tetsuya NAKAMURA

Purpose

Rice is widely cultivated in Japan, East and South-East Asia, and fixes enormous amounts of CO₂ and produces biomass. Under the SDGs, there is a need to make effective use of unutilized biomass such as rice husk and straw, reduce chemical fertilizers and pesticides, and reduce greenhouse gases such as methane from paddy fields. Of the carbon fixed by rice, about 30 % is contained in the rice grain and 70 % in the husk, straw and roots. With roots, husk and straw are ploughed into the soil, and used as the main source of methane production. There is a need to increase rice biomass production under reduced chemical fertilizers and pesticides, and to develop the next-generation rice varieties for carbon cultivation. However, such varieties have not been developed yet. In addition, methane is produced under reductive conditions in paddy fields, and methane production can be suppressed by controlling oxidative conditions. The objectives of this research are (1) to develop the next generation of rice varieties with high biomass production, deep water and lodging resistance and nitrogen use efficiency under reduced chemical fertilizer and pesticide uses and water-saving cultivation by genome breeding, and (2) to study the effects of the soil stirring function of Aigamorobo on weed suppression and methane production.

Achievement of this year

- (1) To develop varieties with high biomass production and nitrogen use efficiency under reduced chemical fertilizer use, genome-wide association analysis (GWAS) of 186 rice varieties was conducted to detect chromosomal regions associated with high biomass production and nitrogen use efficiency. In addition, QTL analysis was conducted using recombinant inbred lines bred from a cross between ‘Kyoto Asahi’ with high biomass production and nitrogen use efficiency, and ‘Sakura Fukuhime’ bred by the Tokyo University of Agriculture and Technology, to detect QTL for deep water and lodging resistance, and selected superior lines. In addition, the new Monster Rice lines bred from a cross between ‘Monster Nokodai No. 1’ and ‘Takanari showed high leaf area expansion and biomass production under water-saving management conditions for methane suppression.
- (2) Genotyping with DNA markers using a next-generation sequencer for efficient and accurate marker selection and quantitative trait loci (QTL) analysis of agronomic traits such as nitrogen use efficiency

and lodging resistance were conducted using the Targeted Amplicon Sequencing method, and QTLs associated with these traits were detected.

(3) To develop rice varieties with deep water resistance under deep water management for weed suppression, GWAS for deep water resistance was conducted, and chromosomal regions of deep water resistance were detected on chromosomes 3 and 4, and their candidate genes were identified.

(4) The effects of soil stirring by Aigamorobo on paddy weed suppression and methane production were investigated at organic rice production sites in Shiga and Okinawa prefectures (NEWGREEN Co., Ltd.). The results from microbiome analysis showed that Aigamorobo reduced the rate of methane emission, and increased the proportion of methanotrophic bacteria .

炭素耕作に適した温室効果ガス削減微生物の単離と利用技術開発

岡崎 伸

東京農工大学大学院農学研究院・教授

研究協力者

前田 浩子

研究の目的

農業生産はメタン (CH_4) や一酸化二窒素 (N_2O) など温室効果ガスの主要な発生源となっている。メタンや一酸化二窒素の合成や分解は微生物が担っており、農業生産においては、これらの微生物機能の適切な管理、利用により、温室効果ガスの発生を削減しつつ、作物を健全に育てることが重要である。一酸化二窒素は二酸化炭素の 265 倍もの温室効果係数を持つ温室効果ガスで、その排出源の 59%が農業由来とされている。農地からの一酸化二窒素発生量は、施肥管理とくに窒素肥料の影響を強く受け、過剰な窒素の投入が発生量を増加させる。

一方、農地生態系の作物は様々な微生物と共存して生きており、その中には植物に栄養分を供給する微生物や、病害抵抗性や乾燥耐性などを引き出す有用な微生物も存在する。したがって、低肥料投入、かつ微生物機能を最大限に生かす作物栽培を実現することで、温室効果ガスを削減しつつ、安心安全な農業生産が実現できると期待される。

イネの根圏には一酸化二窒素を削減する微生物および窒素固定により大気窒素を養分化する微生物も存在する。しかしながら、これらの微生物の生態やイネ品種との相性、一酸化二窒素削減活性や窒素固定活性の発現条件など、多くについては未解明である。そこで本研究では、イネと共生する一酸化二窒素削減微生物、および窒素固定微生物に着目し、その生態と機能を理解し、最大限に有効活用するための技術開発を目的とした。

本年度の成果

これまで 2022 年度、2023 年度、2024 年度の 3 年度にわたって行ったイネ根圏微生物叢の解析をおこなった。168 品種の日本のイネを 60 日間有機栽培条件下で栽培し、イネ根面土壌の採取と生育調査を実施した。イネ根面土壌から細菌 gDNA を抽出し、16S rRNA アンプリコンシーケンス解析によりイネ根面に存在する細菌叢を解析した。3 年度それぞれの菌叢解析結果から、根面に多く存在する細菌についてゲノムワイド関連解析(GWAS)を行い、イネ品種間の DNA 配列の違いと細菌存在相対量(形質)との関連を解析し、細菌の共生関係に寄与すると推測されるイネ遺伝子領域の探索を試みた。その結果、3 年間を通して相対存在量が高く、イネの生育と有意な相関を示した窒素固定細菌 *Geobacteraceae* が検出された。さらに、GWAS 解析により *Geobacteraceae* の相対存在量に関わる有意な一塩基多

型 (SNP) が認められた。当該染色体領域には病原微生物や環境ストレス耐性を制御する遺伝子が確認され、イネ根面における *Geobacteraceae* の存在にイネの免疫応答や環境ストレス応答が関連していることが示唆された。*Geobacteraceae* 属細菌は、過去の知見から一酸化二窒素分解や窒素固定という、イネの栄養獲得に大きく貢献する特徴を有していることが明らかになっている。これらの微生物は有機栽培下のイネの生育に寄与する可能性が示唆され、本属細菌を用いて土壌窒素肥沃度を高め、イネの収量を確保する新たな水田管理技術に展開できると期待される。

2024 年度の業績

原著論文

1. Taheri P, Dastogeer, KM, Ratu STN, Agyekum DV, Yasuda M, Fujii Y, and *Okazaki S. (2024). Diversity and plant growth promotion potential of endophytic fungi isolated from hairy vetch in Japan. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1476200.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1476200>
2. Piromyou P, Pruksametanan N, Nguyen HP, Songwattana P, Wongdee J, Nareephon P, Greetatorn T, Teamtisong K, Tittabutr P, Boonkerd N, Sato S, Boonchuen P, Okazaki S and Teaumroong N. NopP2 effector of *Bradyrhizobium elkanii* USDA61 is a determinant of nodulation in *Vigna radiata* cultivars. *Scientific Reports* 14.1 (2024): 24541.
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-75294-4>

総説・本

1. 福永 省吾, 岡崎 伸, ダイズ Rj 遺伝型と根粒共生, 土と微生物, 2024, 78 巻, 2 号, p. 39-45, 公開日 2024/10/31, Online ISSN 2189-6518, Print ISSN 0912-2184, https://doi.org/10.18946/jssm.78.2_39, https://www.jstage.jst.go.jp/article/jssm/78/2/78_39/_article/-char/ja

国際学会発表

1. Ratu STN, Fukunaga S, and Okazaki S. "Symbiotic variations among *Bradyrhizobium* strains triggering Nod Factors (NFs)-independent nodulation in soybean plants. 22nd International Congress on Nitrogen Fixation, September 9th-13th 2024, In Rabat, Morocco.
2. Dominic V. A. Agyekum, Khondoker M. G. Dastogeer, and Shin Okazaki. Deciphering the rhizosphere microbiome composition of nature farming soybean (*Glycine max* L.) with different nodulation phenotypes. 22nd International Congress on Nitrogen Fixation, September 9th-13th 2024, In Rabat, Morocco.
3. Dominic V. A. Agyekum, Khondoker M. G. Dastogeer, and Shin Okazaki. Deciphering the rhizosphere microbiome composition of nature farming soybean (*Glycine max* L.) with different

nodulation phenotypes. The 14th Asian Symposium of Microbial Ecology (ASME) convened from September 18-20, 2024, Taipei, Taiwan.

4. Shogo Fukunaga, Safirah Tasa Nerves Ratu, Shusei Sato, Shin Okazaki. The effect of the type III secretion system on symbiotic phenotypes between soybean (*Glycine max*) and *Bradyrhizobium elkanii* strain. The 14th Asian Symposium of Microbial Ecology (ASME) convened from September 18-20, 2024, Taipei, Taiwan.

5. Ratu STN, Fukunaga S, and Okazaki S. Symbiotic Variations Among *Bradyrhizobium* Strains Inducing Nodulation in Soybean Plants Independent of Nod Factors. 19th Australian Nitrogen Fixation Conference, 3rd – 5th October 2024, Brisbane, Australia.

国内学会発表

1. 泉 真隆, Dang Khanh, Lai Khoa, Le Tung, 宮崎 翔, 川出 洋, 森 美穂子, 櫻井 望, 岡崎 伸. *Methylobacterium* 属細菌による植物白化作用の分子機構解析. 植物微生物研究会 (8月28日(水)～30日(金)) オンライン

2. 福永 省吾, Safirah Tasa Nerves Ratu, 佐藤 修正, 岡崎 伸. ダイズに Nod-Factor 非依存的な根粒形成を誘導する *Bradyrhizobium elkanii* 系統の共生表現型. 植物微生物研究会 (8月28日(水)～30日(金))

オンラインメールアドレス: sokazaki@cc.tuat.ac.jp

ホームページ: <https://www.plant-microbiology.jp>

Isolation and Utilization Technology Development of Greenhouse Gas Reduction Microorganisms Suitable for Carbon Farming

Shin OKAZAKI

Professor, Tokyo University of Agriculture and Technology

Co-researcher

Hiroko MAEDA

Purpose

Agricultural production is a major source of greenhouse gases such as methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O). Microorganisms play a crucial role in the synthesis and decomposition of methane and nitrous oxide. Proper management and utilization of these microbial functions are important in reducing greenhouse gas emissions while promoting healthy crop growth. Nitrous oxide, with a greenhouse gas coefficient 265 times that of carbon dioxide, is a significant emission, with 59% originating from agriculture. Nitrous oxide emissions from agricultural land are strongly influenced by fertilizer management, particularly nitrogen fertilizers, with excessive nitrogen input leading to increased emissions.

On the other hand, crop ecosystems in agricultural land coexist with various microorganisms, including those that supply nutrients to plants and those that enhance disease resistance and drought tolerance. Therefore, achieving low fertilizer input while maximizing microbial functionality in crop cultivation is expected to reduce greenhouse gas emissions and achieve safe and secure agricultural production.

Microorganisms in the rhizosphere of rice plants include those that reduce nitrous oxide and those that convert atmospheric nitrogen into nutrients. However, much remains unknown about the ecology of these microorganisms, their compatibility with rice varieties, and the conditions under which nitrous oxide reduction and nitrogen fixation activities are expressed. Therefore, this study focuses on microorganisms symbiotic with rice for nitrous oxide reduction and nitrogen fixation, aiming to understand their ecology and functions and develop technologies for their effective utilization.

Achievement of this year

We conducted microbiome analysis of rice rhizosphere using samples collected from rice plants cultivated in 2022, 2023, and 2024. A total of 168 varieties of Japanese rice were cultivated under organic farming conditions for 60 days, and growth assessments were performed, and soil samples from the rice rhizosphere were collected. DNA was extracted from the rice rhizosphere soil, and the bacterial community present on the rice roots was analyzed using 16S rRNA amplicon sequencing.

Based on the results of the microbiome analyses conducted over the three years, genome-wide association studies (GWAS) were performed on the bacterial taxa that were predominantly present in the rhizosphere. This aimed to elucidate the relationship between DNA sequence variations among rice varieties and the relative abundance of bacteria (traits), thereby exploring rice genomic regions that may contribute to bacterial symbiosis. Notably, the nitrogen-fixing bacteria *Geobacteraceae*, which exhibited a consistently high relative abundance over the three years and showed a significant correlation with rice growth, were detected. Furthermore, GWAS analysis identified significant single nucleotide polymorphisms (SNPs) associated with the relative abundance of *Geobacteraceae*. Genes controlling pathogenic microorganisms and environmental stress resistance were confirmed within the relevant chromosomal regions, suggesting a link between the presence of *Geobacteraceae* in the rice rhizosphere and the rice plant's immune and environmental stress responses. Previous studies have reported that *Geobacteraceae* possess traits that significantly contribute to rice's nutrient acquisition through processes such as denitrification and nitrogen fixation. These microorganisms are suggested to play a role in promoting rice growth under organic cultivation conditions, indicating potential for developing innovative paddy management techniques that enhance soil nitrogen fertility and secure rice yields.

持続可能な炭素耕作技術に資するバイオ肥料の解析及び開発

大津 直子

東京農工大学大学院農学研究院・教授

研究協力者

安掛 真一郎、安田 美智子、前田 真澄

研究の目的

(1) 限りある資源を用い、作成時に多量のエネルギーを要する化学肥料の代替として、植物成長促進機能を有する微生物を保持したバイオ肥料が注目されている。乾燥や高温に耐性のある芽胞を形成する微生物は、輸送や保存性に優れたバイオ肥料の開発のために有用である。当研究室では、*Bacillus pumillus* TUAT1 株の芽胞を保持した水稲用バイオ肥料「ゆめバイオ」を朝日アグリア株式会社と共同で開発してきた。本バイオ肥料施肥で 15%収量増加、肥料 30%減でも同様の収量増加効果が発現することを確認している。本バイオ肥料を、様々な環境で安定的に効果を発揮させたり、さらい効果を向上させたりするためには、*Bacillus pumillus* TUAT1 株の植物に対する作用機構を明らかにすることが重要である。本株は、芽胞体を植物に接種した方が、栄養体を接種するよりも効果が高い。このメカニズムを解明することは必須である。また、水稲以外の作物に最適な芽胞形成植物成長促進株を得て、それらにより畑作物に適したバイオ肥料を作成することも、農業上とても重要である。

(2) 日本の圃場、畑圃場に多い特に黒ぼく土はリン吸着力が強く、施肥したリンは、リン酸鉄、リン酸アルミニウム、リン酸カルシウム、または不溶な有機態リンとして植物が吸収できない状態となってしまう。日本は化学リン肥料を全量輸入に頼っており、またリン肥料の原料となるリン鉱石採掘には環境汚染の問題が伴うことから、土壌に吸着したリンを作物に吸収させる技術が必要である。その方法の一つがリン溶解菌の利用である。本研究では、リン溶解能の強い菌株単離のために、リンを多く含む活性汚泥に着目し、活性汚泥から農業および水処理両方に貢献できる微生物の単離を目指している。

本年度の成果

(1) 昨年度までに農工大圃場の陸稲、ダイズ、トウモロコシ、ワタ、ソルガム、サトイモの根圏、福島圃場の陸稲、ラッカセイ、サトイモの根圏より芽胞形成細菌 94 株を単離した。コロニー形態観察、低 pH 耐性、高 pH 耐性、塩ストレス耐性に基づき、27 株を選抜し、16S-rRNA 遺伝子配列に基づく同定を行った。本年度はさらに、リンや鉄の溶解活性等植物生育促進に関わる要素を調べその結果から 13 株を選抜し、コムギに対して接種試験を行ったところ、11 株について、通常条件下だけでなく、高温、乾燥条件下において生育を促進した。既存の *Bacillus pumillus* TUAT1 株は乾燥条件下で生育を促進できないため、これら

単離株は新規の効果を持つと分った。さらに、トウモロコシについても乾燥や高温条件下で生育を促進すると分かった。特に効果の高い3株については、全ゲノム解析を行った。これら3株を組み合わせて接種したところ、単独接種よりも効果は高くなく、単離株は単独で十分な効果を発揮できると分かった。

(2) 昨年度までに活性汚泥より、カルシウム態リン溶解活性の高い菌を選抜し、16S-rRNA 遺伝子配列に基づき同定した。液体培地中に懸濁したカルシウム態リンの溶解を経時的に調べたところ、培地中の水溶性リンは3日目にピークに達し、その後減少した。この減少は、土壌より単離したリン溶解菌では見られない。本年度は全ゲノム解析を行い、リン溶解に関する遺伝子の他、ポリリン酸蓄積を担う遺伝子も存在することを明らかにした。選抜した株が、リンを溶解した後菌体内にリンをポリリン酸として吸収、蓄積した可能性が考えられた。

2024 年度の業績

原著論文

- Aoudi, Y., Agake, S. I., Habibi, S., Stacey, G., Yasuda, M., and Ohkama-Ohtsu, N. (2024). "Effect of Bacterial Extracellular Polymeric Substances from *Enterobacter* spp. on Rice Growth under Abiotic Stress and Transcriptomic Analysis." *Microorganisms*, 12(6).
- Yue, Z., Yuan, K., Seki, M., Agake, S.-I., Matsumura, K., Okita, N., Naoi, W., Naoi, K., Toyota, K., Tanaka, H., Sugihara, S., Yasuda, M., & Ohkama-Ohtsu, N. (2024). Comparative Analysis of Japanese Soils: Exploring Power Generation Capability in Relation to Bacterial Communities. *Sustainability*, 16(11), 4625. <https://doi.org/10.3390/su16114625>
- Satoh, K., Takeda, K., Nagafune, I., Chik, W. D. W., Ohkama-Otsu, N., Okazaki, S., Yokoyama, T., & Hase, Y. (2024). Isolation and Characterization of High-Temperature-Tolerant Mutants of *Bradyrhizobium diazoefficiens* USDA110 by Carbon-Ion Beam Irradiation. *Microorganisms*, 12(9), 1819. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12091819>
- Wongkaew, A., Nakamura, S. I., Rai, H., Yokoyama, T., Nakasathien, S., and Ohkama-Ohtsu, N. (2024). "Phloem-specific overexpression of AtOPT6 alters glutathione, phytochelatin, and cadmium distribution in *Arabidopsis thaliana*." *Plant Sci*, 348, 112238.

総説・本

大津直子, 丸山明子 (2024) "第4章 植物の必須栄養素 2. イオウ" 馬建鋒, 信濃卓郎, 高野順平 (編), 植物栄養学第3版, 文栄堂出版, p. 96-104.

国際学会発表

○Zihan Yue, Michiko Yasuda, Sijia Song, Koki Toyota, Keisuke Matsumura, Naohisa Okita, Naoko Ohkama-Ohtsu, "Study on the Effects of Charging Paddy Field Soil on Soil Chemical Properties and

Microbial Communities," 2024 The 14th Asian Symposium of Microbial Ecology, 9月、台湾
○Aoudi Yosra, Agake Shin-ichiro Agake, Safiullah Habibi, Michiko Yasuda, Naoko Ohkama-Ohtsu. "Plant Growth Promotion by Purified Extracellular Polymeric Substances Under Abiotic Stresses" The 14th Asian Symposium of Microbial Ecology, 2024 年9月、台湾
○Shafiqullah Aryan, Shin-ichiro Agake, Yui Yamamoto, Ritsuko Kuwana, Hiromu Takamatsu, Michiko Yasuda, and Ohtsu-Ohkama Naoko "Unraveling the crucial role of the sporulation cycle as plant growth-promoting bacteria" The 14th Asian Symposium of Microbial Ecology, 2024 年9月、台湾

国内学会発表

○斎藤愛理、安田美智子、安掛真一郎、寺田昭彦、大津直子 「バイオ肥料資材化に向けたリン溶解菌の選抜と機構解明」 日本土壤肥料学会福岡大会 2024 年9月3日

特許

特願 2024-177139 乾燥環境下で植物生育促進作用を有する新規芽胞形成細菌、植物生育促進剤、及び植物の栽培方法

大津(大鎌)直子, 安掛真一郎, アリアン シャフィキュラ, 登坂(安田)美智子, ハビビ サフィウラ

メールアドレス: nohtsu@cc.tuat.ac.jp

ホームページ: <http://web.tuat.ac.jp/~plantnut/>

**Analysis and development of biofertilizers that contribute
to sustainable carbon cultivation technology**

Naoko OHTSU

Professor, Tokyo University of Agriculture and Technology

Co-researcher

Shin-ichiro AGAKE, Michiko YASUDA, Masumi MAEDA

Purpose

(1) Biofertilizers that retain microorganisms with plant growth-promoting activities are attracting attention as an alternative to chemical fertilizers that use limited resources and require large amounts of energy during creation. Microorganisms that form spores tolerant to drought and high temperatures are useful for the development of biofertilizers with excellent transport and storage properties. Our laboratory has developed "Yume Bio," a biofertilizer for paddy rice that retains spores of *Bacillus pumillus* TUAT1 strain, in collaboration with Asahi Agraria Corporation. We have confirmed that application of this biofertilizer increased yield by 15%, and a similar yield-increasing effect was observed with a 30% reduction in chemical fertilizer. In order to make this biofertilizer more stable and effective in various environments and to improve its efficacy, it is important to clarify the mechanism of action of *B. pumillus* TUAT1 strain on plants. This strain is more effective when inoculated with spore forms on plants than when inoculated with vegetative cells. It is essential to elucidate this mechanism. It is also very important in agriculture to obtain optimal spore-forming plant growth-promoting strains for crops other than paddy rice, and to create suitable biofertilizers for field crops with these strains.

(2) Andosol, which is common in Japanese fields and field plots, is a particularly strong adsorbent of phosphorus, and fertilized phosphorus cannot be absorbed by plants as iron phosphate, aluminum phosphate, calcium phosphate, or insoluble organic phosphorus. Since Japan relies on imports of all chemical phosphorus fertilizers and the mining of phosphate rock, the raw material for phosphorus fertilizers, is accompanied by the problem of environmental pollution, technology is needed to allow crops to absorb phosphorus adsorbed in the soil. One of the methods is the use of phosphorus-dissolving bacteria. To isolate strains with strong phosphorus-dissolving ability, this study focuses on activated sludge, which contains large amounts of phosphorus, and aims to isolate phosphate-solubilizing bacteria from activated sludge that can contribute to both agriculture and water treatment.

Achievement of this year

(1) We isolated 94 strains of spore-forming bacteria from the rhizospheres of upland rice, soybean, maize, cotton, sorghum, and taro in the Agriculture and Technology University field, and upland rice, laccase, and taro in the Fukushima field by the last fiscal year. Twenty-seven strains were selected based on observation of colony morphology, low pH tolerance, high pH tolerance, and salt stress tolerance, and identified based on 16S-rRNA gene sequences. In this year's study, 13 strains were selected based on the results of the investigation of factors related to plant growth promotion, such as phosphorus and iron solubilizing activity, and inoculation tests were conducted on wheat. The 11 isolates were found to have a novel effect, since the existing *Bacillus pumillus* TUAT1 isolate was unable to promote growth under dry conditions. In addition, the maize isolates were found to promote growth under dry and hot conditions. The whole genome analysis was performed on the three isolates that were particularly effective. When these three isolates were inoculated in combination, they were found to be no more effective than inoculation alone, and the isolates were found to be sufficiently effective on their own.

(2) Bacteria with high calcium-form phosphate solubilizing activity were selected from activated sludge by last year and identified based on 16S-rRNA gene sequences. The dissolution of calcium-form phosphorus suspended in liquid medium was examined over time, and soluble phosphorus in the medium reached its peak on the third day and then decreased. This decrease was not seen in phosphorus dissolving bacteria isolated from soil. This year, we performed whole genome analysis and found that in addition to genes related to phosphate solubilization, genes responsible for polyphosphate accumulation were also present. It is possible that the selected strains absorbed and accumulated phosphorus as polyphosphate in their bodies after phosphorus dissolution.

土壌生態系で炭素耕作を推進するために必要な作物残渣形質の探索

杉原 創

東京農工大学大学院グローバルイノベーション研究院／農学研究院・教授

研究協力者

LYU HAN

研究の目的

炭素耕作を全球規模で技術化し、社会実装するために必要な知見として、安定的かつ効率的に炭素を土壌へ隔離するために必要な各種情報が挙げられる。具体的には、作物残渣等の形で土壌に炭素基質が添加された際に、土壌に蓄積しやすい（逆に言えば分解抵抗性の高い）作物残渣形質を解明することである。一般的に、土壌中で作物残渣が分解されるときの規定因子として、炭素：窒素比や、リグニン含量およびその窒素との割合、等の指標が報告されている。しかし、日本に固有の温暖・湿潤な気候条件や黒ボク土などの炭素固定能が高い土壌環境条件あるいは水田等の特殊な土地利用条件下で、前述した作物残渣形質のどの項目が具体的にどの程度、残渣の分解特性に影響を及ぼすかについての圃場レベルでの検証はされていない。この原因の一つに、日本国内における ^{13}C -標識残差を用いた圃場レベルでの埋設実験がほぼ行われていないことが挙げられる。そこで本課題では、当研究室が有する日本国内でも希少な技術である、 ^{13}C -標識残差作成技術を確立・利用し、自作したトウモロコシやダイズ、イネ等の標識残差を用いて圃場での埋設実験を行い、具体的にどのような作物形質がどれだけ分解特性に影響を与えるのか、について定量的に解明することを第一の目的とした。

次に、分解されて土壌に新たに蓄積した残渣由来炭素の存在形態についても、従来は一律に議論されることが多かったが、実際には、すぐに分解される画分や安定的に隔離される画分などのように、異なる存在形態で土壌に存在していることが近年の研究から明らかになっている。そこで本課題では、物理分画法によって易分解性～難分解性画分に分けたうえで、各画分に存在する標識残差由来の ^{13}C 量を測定することで、土壌中に隔離された炭素の安定性を含めて評価・検討することを第二の目的とした。

本年度の成果

昨年度に実施した圃場埋設試験（自作した ^{13}C で標識したトウモロコシ残差を、部位別に一定量添加した土壌を用意し、特殊なパイプ内に充填し、農工大内学内圃場に埋設）の成果をまとめて、国際会議で発表し、その成果を現在投稿論文として取りまとめている。主な成果としては、黒ボク土において、根残渣は葉残渣よりも長期的にも土壌中に多く残存

し、根残渣は 450 日後でも約 3 割は土壌中に残存すること、また、マクロ団粒とミクロ団粒への蓄積量が増え、S+C 画分への蓄積量が減ること、等が判った。また、作物残渣の化学的性質が微生物代謝を介して各団粒画分への蓄積量に影響していることが示唆された。加えて新たに水田転換畑を用いて類似の実験設定で圃場埋設試験を開始し、その結果についても分析・解析を加えている。この成果の一部として、作物残渣の質（C/N 比、リグニン含量）が炭素隔離に与える影響を評価した結果、質が高い（低 C/N 比、低リグニン含量）作物残渣の場合、土壌に混和してから速やかに安定的な画分へ移行・隔離される一方で、質が低い作物残渣の場合、土壌に混和してから一定期間を経てから徐々に安定的な画分へ移行・隔離されることが判り、隔離の量だけでなく、その隔離特性に作物残渣の質が強く影響を与えていることを定量的に示した。また、次年度以降の作物残渣形質の探索に向けて、作成が困難なイネの ^{13}C -標識残渣の作成にも着手している。

以上の成果は、本研究課題が目指している炭素隔離型作物品種の育成という方向性が非常に有望であることを土壌科学の観点からも改めて支持するものである。今後、さらに実験および解析を進めることで、炭素隔離に重要な残渣形質を具体的に特定することができれば、その具体的な形質を強化するような育種方針を掲げることが可能となる。

2024 年度の業績

原著論文

なし

総説・本

なし

国際学会発表

1. ○Hideaki YASUNO, Han LYU, Haruo TANAKA and Soh SUGIHARA: “Effect of residue quality on in-situ soil organic matter accumulation in cropland Andosols under different land management in Japan.” SOM2024, May 26-31 2024, Benguerir, Morocco
2. ○Hideaki YASUNO, Han LYU, Haruo TANAKA and Soh SUGIHARA: “Effect of soil depths on plant residue decomposition using ^{13}C -labeled residues in Andosols, Japan.” ISMOM2024, Oct 15-18 2024, Tsukuba, Japan
3. ○Le Van Dang, Shoji Matsuura, Rota Wagai, Hideaki Yasuno, Han Lyu, Haruo Tanaka, Soh Sugihara: “Influence of plant litter quality on soil carbon accumulation patterns in the converted upland from lowland paddy in Japan using ^{13}C -labeled residues.” ISMOM2024, Oct 15-18 2024, Tsukuba, Japan

国内学会発表

なし

メールアドレス: sohs@cc.tuat.ac.jp

ホームページ: <https://tuatsoil.jp/>

<https://sites.google.com/site/sugihara0901/>

Characteristics of crop residues to promote carbon cultivation in soil ecosystems

Soh SUGIHARA

Professor, Tokyo University of Agriculture and Technology

Co-researcher

LYU HAN

Purpose

It is important to identify the controlling factors to improve the soil-plant C dynamics, in terms of soil C sequestration, i.e., Carbon cultivation. We will elucidate the characteristics of crop residues that tend to accumulate in the soil efficiently (or conversely, are highly resistant to decomposition). Indicators such as C:N ratio, lignin content, and its ratio with N have been reported as controlling factors when crop residues decompose/accumulate in soil. However, in Japan's unique climate and soil conditions, such as warm and humid climate conditions, volcanic soils which has a high C fixation capacity, or paddy fields, it has not been well documented/verified at the field level, whether the indicated crop characteristics are really important or not, or how differed between the crop residue quality. Thus, it is necessary to note which of the above-mentioned crop residue traits specifically affects the decomposition characteristics of the residue in Japan. Therefore, in this research, we utilized our laboratory's ^{13}C -labeled residual generation technology, which is a rare technology even in Japan, and conducted field burial experiments using the ^{13}C -labeled residues. This study aimed to quantitatively elucidate the extent to which crop traits influence decomposition characteristics.

Achievement of this year

We We make the ^{13}C -labelled residue (Maize, Soy bean, etc.) ourselves and conduct the two field incubation study in TUAT fields using (1) Andosols cropland soils, and (2) converted cropland soils from paddy field. In both, We mixed various plant residue materials (different C/N ratio and lignin contents) with soil, and buried it with a special pipe in an experimental field of TUAT. In the first experiment, we found that the residual rates were not significantly different between the land management, but root-derived C of soil was 1.2~1.4 times higher than leaf throughout the experimental period. In the second experiment, we found crop residue quality clearly control the accumulation pattern such as low C/N ratio and lignin contents residue rapidly accumulated in stable fraction while high C/N ratio and lignin contents residue firstly accumulated in labiel fraction and then move to the stable fraction steadily. These results indicate that land management and residue quality affect the incorporation of residue-derived C into soil aggregates.

水田におけるアイガモロボ導入によるメタン抑制

加藤 千尋

弘前大学農学生命科学部・准教授

研究の目的

メタン (CH_4) は地球温暖化への寄与が同じ量の二酸化炭素 (CO_2) のおよそ 28 倍 (IPCC 第 5 次評価報告書) であり、二酸化炭素に次いで地球温暖化に及ぼす影響が大きい温室効果ガスである。メタンは水田、湿地、家畜を含む動物の消化管など嫌気的条件下においてメタン生成菌によって発生する。近年、大気中メタン濃度は地球規模で急増し、現在は 1,800 ppb を超えている (環境省, 2025)。我が国の CH_4 排出量 (2022 年度) は CO_2 換算で 2990 万トンであり、そのうち農業が全体の 82%、なかでも稲作は全体の 44% を占めている (環境省, 2023)。水田の CH_4 排出削減として中干しの延長が J クレジットの方法論としても認められているが、さらなるメタン排出削減や、中干しに適さない地域などあらゆる場所に適用可能なメタン削減技術の確立が望まれる。

そこで本研究では、自動抑草ロボット「アイガモロボ」(株式会社 NEWGREEN) の利用に着目した。アイガモロボは湛水した水田においてスクリューの水流で土を巻き上げることで水を濁らせ、雑草を抑制、また、表層に種子を埋没させてさらなる雑草を抑制する。土の巻き上げによって酸素が供給され、表層土壌が酸化的条件となりメタン排出抑制につながる事が期待される。本研究では寒冷な秋田市山間部を対象にアイガモロボの使用が水田のメタン排出量に及ぼす影響を検討することを目的とし、アイガモロボ使用の有無によるメタンガスフラックスと微生物叢の相違を検討した。

本年度の成果

昨年度に 本研究では対象圃場内にアイガモロボが走行するアイガモ区と走行しないコントロール区を設けた。圃場は砂質埴壌土 (SCL) であり、炭素量 4.08% 程度、C/N 比は約 13.2 であった。対象圃場において、2024 年 5 月 25 日に代かき、同 30 日に田植えが行われ、6 月 1 日から 29 日までアイガモロボを走行させた。6 月 15 日以降 7 月末まで 2 週間ごとに 4 回、水田から放出されるメタンガスフラックスを測定した。また、同じ日にアイガモ区とコントロール区それぞれの表層深さ 3mm 程度と 5 mm 程度の土壌を採取した。土壌は冷凍保存後、16S rRNA v4 領域のアンプリコンシーケンス解析を行った。

土壌中のメタン生成菌が全体に占める割合は処理区や土壌深さに関わらず 6 月から 7 月にかけて増加した。アイガモ区の表層はその増加率が最も低く、メタン生成菌の増加が抑制される傾向があった。一方、メタンガスフラックスは 4 回の測定日すべてにおいてアイガモ区、コントロール区の間に有意差は確認されなかった。アイガモロボの使用有無によってメタン生成菌の増加傾向に変化があったものの、メタンガスフラックスには有意差が確認さ

れなかったのは、圃場土壌の理化学性や水温環境などが要因として考えられ、さらなる検討が必要である。

2024 年度の業績

原著論文

なし

総説・本

なし

国際学会発表

なし

国内学会発表

なし

メールアドレス: chihirok@hirosaki-u.ac.jp

ホームページ: -----

Controlling methane emissions by using a weed suppression robot “Aigamo Robo” in rice paddies

Chihiro KATO

Associate Professor, Faculty of Agriculture and Life Science, Hirosaki University

Purpose

Methane (CH₄) is a greenhouse gas that contributes to global warming approximately 28 times more than carbon dioxide (CO₂) (IPCC IR5), and is the second most influential greenhouse gas after carbon dioxide. Methane is produced by methanogens under anaerobic conditions, such as in paddy fields, wetlands, and the digestive tracts of animals including livestock. In recent years, the concentration of methane in the atmosphere has increased rapidly on a global scale, and it is currently over 1,800 ppb (Ministry of the Environment, 2025). Japan's CH₄ emissions (in FY2022) were 29.9 million tons in CO₂ equivalent, of which 82% was from agriculture, and rice cultivation accounted for 44% of the total (Ministry of the Environment, 2023). The extension of mid-season drainage is recognized as a J-Credit methodology for reducing CH₄ emissions from rice paddies, but further reductions in methane emissions and the establishment of methane reduction technologies that can be applied in all locations, including areas that are not suitable for mid-season drainage, are desired.

In this study, we focused on the use of the automatic weed suppression robot “Aigamorobo” (NEWGREEN, INC). Aigamorobo works by raising up the soil in flooded rice paddies using a screw water jet to muddy the water and suppress weeds, and also buries seeds in the surface layer to suppress further weed growth. The raising up of the soil provides oxygen, and it is hoped that this will lead to the creation of oxidative conditions in the surface soil and suppress methane emissions. The objective of this study was to investigate the effect of using the Aigamorobo on the amount of methane emissions from rice paddies in the mountainous area of Akita City, which has a cold climate, and we examined the differences in methane gas flux and microbial flora with and without the use of the Aigamorobo.

Achievement of this year

In this study, we set up the “control” plot where the Aigamorobo did not enter, and the “Aigamo” plot where the Aigamorobo ran around the plot. The soil of the study field was sandy clay loam (SCL), with a carbon content of around 4.08% and a C/N ratio of around 13.2. In the target field, the soil was plowed on May 25, 2024, and rice was planted on May 30, and the Aigamorobo was driven from June 1 to 29. The methane gas flux emitted from the paddy field was measured four times every two weeks from June 15 to the end of July. On the same days, soil samples were taken from the surface layer (approx. 3 mm and 50 mm deep) in the Aigamo and control plots. After being frozen, the soil samples were subjected to 16S rRNA v4 region amplicon sequencing analysis.

The proportion of methanogens in the soil increased from June to July, regardless of the treatment plot or soil depth. The increase was lowest in the surface layer of the Aigamo plot, indicating a tendency for the growth of methanogens to be suppressed. On the other hand, there was no significant difference in methane gas flux between the Aigamo and control plots on all four measurement days. Although the use of the Aigamorobo did change the trend in the increase in methane-producing bacteria, there was no significant difference in methane gas flux, and further investigation is needed to determine the factors involved, such as the physical and chemical properties of the field soil and the water temperature environment.

有機水田における自動抑草ロボット「アイガモロボ®」(IGAM2 実証試験機体)による 雑草抑制効果と水稻生育への影響評価

浅見 秀則

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 西日本農業研究センター・研究員

研究の目的

国内の有機栽培面積の拡大に向けては、作付面積の4割を占める水稻の有機栽培への転換が必須である。しかし、水稻有機栽培では直接労働時間に占める雑草防除の割合が約3割(10.0時間/10a)を占めており、雑草防除に要する労力やコストは非常に大きいことから省力安定的な除草技術の確立が求められている。株式会社NEWGREEN(旧有機米デザイン株式会社)が開発した水田用自動抑草ロボット「アイガモロボ®」(以下、IGAM1)はソーラー自家発電で駆動し、GPSによる自動無人航行を可能にしている。価格も安価(50万円/台)であることから、省力や省エネルギーの観点からも有機水稻栽培の新たな抑草技術として期待されている。これまでに、2023年に500台が市販されたIGAM1については雑草抑制効果や水稻の増収効果を報告している(中村ら 日本作物学会紀事 2024, 浅見ら 日本雑草学会第62回, 63回大会講演要旨集)。一方で、IGAM1は1圃場あたり1台の投入を想定し、かつ1台あたりの推奨導入面積が30~70a程度で中~大規模水田での使用を想定していたことから、特に中山間地域に多い小面積圃場では費用対効果の低下が導入時の経営的な課題であった。そこで、ロボットがカバーできる圃場面積や抑草効果を落とすことなく、本体価格をIGAM1の半額程度にすることを目標に小規模水田向け改良小型版(IGAM2)が2024年に開発された。本研究ではIGAM2の実証試験機体を用いてIGAM1と同様、雑草抑制効果や水稻収量に関する定量的なデータを収集することを目的として試験場内圃場および近畿・中国・四国地域の有機水稻生産者圃場で実証試験を行った。

本年度の成果

試験は滋賀県、高知県、広島県、岡山県、島根県、鳥取県の無農薬圃場(8~120a, 平均32a, 中央値21a)計18地点で実施し、水稻の栽培管理は生産者慣行とした。各地点ではIGAM1稼働圃場、IGAM2稼働圃場および生産者の慣行除草(対照)圃場の計3圃場で試験を実施した。供試品種は「コシヒカリ」、「ミルキークイーン」、「朝日」、移植日は4/6~6/23であった。ロボットは移植後3週間、1日最大10時間(6~16時)稼働させ、その他の追加除草の要否、実施回数、実施時期は生産者の判断で適宜実施した。ロボット稼働期間中の平均土壌堆積層厚はIGAM1が3.3cm(1.1~7.4cm)、IGAM2が4.8cm(2.0~8.9cm)であり、圃場間差は大きいものの、IGAM2稼働時の田面水および作土表層の攪拌に伴う土壌堆積量はIGAM1と比較しても多い傾向であった。IGAM2の抑草効果はIGAM1と同程度であり、IGAM2圃場の移植40日後の平均残草量(地上部乾物重)は

22.22 g m⁻² で、対無除草区比で 36%減少した。草種別ではノビエが 84%減、コナギが 23%減、カヤツリグサが 64%減、一年生広葉雑草が 69%減、オモダカが 78%減、クログワイが 62%減であり、多年生雑草を含む幅広い水田雑草種に対する抑草効果が確認された。IGAM2 の稼働による水稻生育および収量・品質への影響は IGAM1 と同程度で、移植 40 日後のイネの平均草丈および茎数は IGAM1 圃場では 54.3 cm, 277 本 m⁻², IGAM2 圃場では 52.6 cm, 283 本 m⁻² でいずれも有意差は認められなかった。また、IGAM2 および IGAM1 圃場の平均精玄米収量はそれぞれ 440 g m⁻², 442 g m⁻² であり、IGAM2 の稼働による水稻玄米品質（整粒率）の低下は認められなかった。以上から、IGAM2 の雑草抑制効果は IGAM1 と同程度であり、水稻生育・収量に対する悪影響も認められなかったことから、IGAM1 から IGAM2 への置き換えは可能と考えられた。本試験では IGAM1 の稼働条件設定を IGAM2 に適用したが、投入期間や稼働頻度、圃場条件等を IGAM2 向けに最適化することで効果の改善が期待できる。

2024 年度の業績

原著論文

なし

総説・本

なし

国際学会発表

なし

国内学会発表

1. ○浅見 秀則、中村 哲也、藤井 宏美、川嶋 桂: 水田用自動抑草ロボット「アイガモロボ®」による雑草抑制効果と水稻生育への影響：第 3 報 複数の生産者圃場における改良型小型ロボの実証結果 日本雑草学会第 64 回大会、2025 年 3 月 24 日、信州大学、長野

メールアドレス: asami.hidenori591@naro.go.jp

ホームページ: <https://researchmap.jp/asa52>

Effects of ‘Aigamorobo®’(IGAM2; a trial product), an automatic weed suppression robot for organic paddy fields, on weed suppression and paddy rice growth

Hidenori ASAMI

**Researcher, Western Region Agricultural Research Center,
National Agriculture and Food Research Organization**

Purpose

To expand organic farming in Japan, converting rice cultivation to organic methods is essential, as it covers 40% of the total cultivated area. However, weed control poses a major challenge, consuming about 30% of labor time (10.0 h 10a⁻¹). Therefore, labor-saving weeding technologies are crucial. NEWGREEN, INC. (formerly Yukimai Design Co., Ltd.) developed the “Aigamorobo®” (IGAM1), a solar-powered autonomous weeding robot with GPS navigation. It offers a cost-effective weeding solution for organic rice farming, reducing labor and energy consumption. In 2023, 500 robots (IGAM1) were released, proving effective in suppressing weeds and increasing rice yields. However, IGAM1 was designed for medium to large-scale paddy rice fields, with a coverage range of 30 to 70 a per robot. This made it less cost-effective for small fields, particularly in hilly and mountainous regions in Japan. Therefore, NEWGREEN, INC developed IGAM2 in 2024, a smaller, more affordable version aimed at small-scale paddy rice fields. Priced at approximately half of IGAM1, IGAM2 targets comparable weeding efficiency and field coverage. In this study, demonstration tests were conducted using IGAM2 (trial product) to gather quantitative data on weed suppression and rice yields at research center of NARO and organic rice farms in the Kinki, Chugoku, and Shikoku regions. The purpose of this study was to evaluate the performance of IGAM2.

Achievement of this year

Field experiments were conducted at 18 organic rice fields in Hiroshima, Okayama, Shimane, Tottori, Kochi and Shiga prefectures, with field sizes ranging from 8 to 120 a (average 32 a, median 21 a). Rice cultivation management followed local farming practices. At each site, experiments were conducted with three field types: IGAM1-operated, IGAM2-operated, and farmer-managed conventional weed control fields (control). The robots operated for three weeks post-transplanting, up to 10 hours per day. Additional weeding, if needed, was carried out at the farmer's decision. During operation, the average soil deposition layer was 3.3 cm (1.1–7.4 cm) for IGAM1 and 4.8 cm (2.0–8.9 cm) for IGAM2, and IGAM2 tended to generate more soil accumulation compared to IGAM1. IGAM2 demonstrated similar weed suppression effectiveness to IGAM1. Forty days after transplanting, the average biomass in IGAM2 fields was 22.22 g m⁻², representing a 36% reduction compared to control. Specific weed reduction rates in IGAM2 fields were as follows: *Echinochtoa* spp. (84%), *Monochoria*

vaginalis var. *plantaginea* (23%), *Cyperus microiria* (64%), annual broadleaf weeds (69%), *Sagittaria trifolia* (78%), and *Eleocharis kuroguwai* (62%). Weed suppression of paddy field weed species including perennial weeds was confirmed. Regarding rice growth and yield, IGAM2 showed no significant differences compared to IGAM1. Forty days after transplanting, the average rice plant height and number of stems were 52.6 cm and 283 m⁻² in IGAM2 fields, compared to 54.3 cm and 277 m⁻² in IGAM1 fields. The rice yield averaged 440 g m⁻² for IGAM2 and 442 g m⁻² for IGAM1, with no adverse effects on rice quality. These findings suggest that IGAM2 can achieve weed suppression comparable to IGAM1 without compromising rice growth, yield, or quality. Furthermore, by optimizing operational parameters such as operating period, frequency, and field conditions specific to IGAM2, further performance improvements can be expected.

有機水稻作に有望な水稻形質の分子基盤解明と品種の開発

稲垣 言要

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 高度分析研究センター・ユニット長

研究の目的

有機水稻作では雑草防除の労力が大きく、省力的な雑草抑制や除草労務軽減の技術開発が求められている。雑草防除に有効な深水管理に適する水稻や、草型を改変することにより雑草抑制力を強化させた水稻の開発と活用をめざす本プロジェクトにおいて、われわれは開張型イネに着目して研究を進める。本形質を示すイネは、有機水稻作において難防除雑草に位置付けられる多年生雑草の抑制に有効である可能性が示されているためである。本研究ではアイガモロボ等の機械除草や、深水管理などの他の化学農薬に頼らない雑草抑制効果と、この開張型イネを組み合わせることで、省力的でかつメタンガスなどの温室効果ガスの排出量削減にも寄与する除草技術を確立することを最終的に目指して研究を進める。

開張型イネは、開張と多分げつの表現型を同時に示し、これにより土壌被覆を大きく増やして雑草の成長を強く抑制している。しかし現在の開張型イネは、多分げつの形質が過剰に出ており、稈径の低下により易倒伏性である。抑草能力を維持したまま易倒伏性を克服するため、開張と多分げつのそれぞれの表現型発現の制御機構の分子基盤を解明し、開張性を維持したまま、分げつ数を抑制する技術の開発を目指す。また、強稈などの形質導入による耐倒伏性付与も同時に進めることで、抑草能力に優れた有望な水稻品種の開発を目指す。

本年度の成果

開張型イネにおいて、開張性を誘導する主要遺伝子として **Prostrate growth 1 (Prog1)** を同定している。Prog1 は C2H2 型の zinc-finger を 1 つ持つ転写因子で **ethylene-responsive element binding factor-associated amphiphilic repression (EAR) motif** を C 末端に持つことが知られている。この EAR motif は、Topless と名付けられた転写抑制装置との相互作用を仲立ちする領域として知られることから、その相互作用を **Yeast-two hybrid** 法で解析した。

Prog1 近傍には、これと同様に分げつの開張に関わることが示されている **RICE PLANT ARCHITECTURE DOMESTICATION (RPAD)** と呼ばれる野生イネに特有の染色体領域が存在することが知られている。我々が開発した開張型イネも RPAD 様の配列を持っていることが示唆されていたので、本年は、その配列の解析を目指し、ロングリードシーケンサー (**PacBio Sequel II**) を用いて HiFi モードで配列解析を行った。現在、その配列についてアノテーション付与を行っている。

2024 年度の業績

原著論文

なし

総説・本

1. 浅見秀則、稲垣言要 "形態の違い総合的雑草管理における作物形態を活用した雑草管理の可能性" IPM のイノベーション in press 日本農薬学会設立 50 周年記念出版

国際学会発表

なし

国内学会発表

なし

メールアドレス: inagaki.noritoshi908@naro.go.jp

ホームページ: <https://www.naro.go.jp/laboratory/naac/introduction/chart/03/index.html>

Elucidation of the molecular basis of rice traits promising for organic rice cultivation and development of cultivars using the mechanism.

Noritoshi INAGAKI

**Unit Leader, Research Center for Advanced Analysis,
National Agriculture and Food Research Organization**

Purpose

Farmers engaged in organic rice cultivation require a lot of effort for weed control and demand the development of technology that can suppress weeds in a labor-saving manner. In this project, our objective is to develop and utilize rice cultivars suitable for deep water management in paddy fields, which is effective in weed control. Furthermore, we try to construct and characterize rice cultivars that can enhance weed control by modifying their plant type. In this context, we focus on tiller spreading rice because such rice effectively covers the soil surface to intercept sunlight for invading weed growth, which is especially effective on perennial weeds difficult to control in organic rice cultivation. We will combine tiller spreading rice with mechanical weeding using Aigamo Robo, and other effects of weed control that do not depend on chemical pesticides, such as deep water management. This will not only contribute to the establishment of labor-saving weed control technology, but also reduce methane gas emissions from paddy fields which has a risk to accelerate global warming.

Tiller spreading rice simultaneously exhibits inclined and increased tiller phenotypes, effectively covering the soil and strongly suppressing weed growth. However, current spreading rice has an excessive number of tiller traits and is prone to lodging due to a reduction in the culm diameter. To overcome this tendency while maintaining a substantial weed suppression ability, our aim is to develop a technology that suppresses the number of tillers while maintaining spreading ability by elucidating the molecular basis of the control mechanisms for the expression of spreading and multiple tiller phenotypes. Furthermore, our objective is to develop promising rice cultivars with a spreading habit and substantial weed suppression ability by simultaneously promoting the induction of traits that give strong culm to impart resistance to lodging.

Achievement of this year

We have identified Prostrate growth 1 (Prog1) as the main gene inducing spreading trait in our developed rice cultivar showing spreading phenotype. Prog1 is a transcription factor with one C₂H₂-type zinc finger and is known to have an ethylene-responsive element binding factor-associated amphiphilic repression (EAR) motif at its C-terminus. The EAR motifs are known to mediate interaction with a transcriptional repressor, Topless, and it is thought that this interaction forms a transcriptional repression complex that represses the expression of genes under Prog1 control. We

further analyzed the interaction between Progl and the Topless protein using the yeast-two-hybrid assays.

A chromosomal region unique to wild rice, called RICE PLANT ARCHITECTURE DOMESTICATION (RPAD), which has also been shown to be involved in tiller spreading, is known to exist near the Progl locus. Since it was suggested that the spreading rice we developed also has a RPAD-like sequence, we aimed to analyze the sequence using a long-read sequencer (PacBio Sequel II) in HiFi mode. We are currently annotating the sequence.

カーボンネガティブに資する新しい早生樹の育苗・造林技術の開発

戸田 浩人

東京農工大学大学院農学研究院・教授

研究の目的

バイオマス生産効率が高く、世界で活発に造林されている早生樹ユーカリ属であるが、これまでの日本のユーカリ造林は、冬季の低温、台風、土壌条件など立地環境の違いから失敗している。日本の風土に適した有望なユーカリ属の種を選択し、その効率的な育苗法と造林技術を開発する。また、森林における炭素蓄積は樹木だけでなく林地（土壌）への蓄積量が多い。ユーカリで含有量の多いポリフェノールが窒素無機化などの有機物分解を遅延させることから、ユーカリ造林における林地への土壌炭素蓄積の効果も期待される。具体的には、日本に未導入で低温や風害への耐性を有するユーカリの種子から、①マルチキャビティコンテナでユーカリ育苗に適する培地や施肥の方法を確立、②育苗した数種のユーカリ苗を山地へ造林し気象・土壌など環境条件と成長の関係を把握、③植栽時期や林地の地ごしらえ・下刈り・施肥の方法などを検証、④成長良好なユーカリ種や病虫獣害に抵抗性のあるユーカリ種（特に植栽木を食害するニホンジカが忌避する種）の選定、⑤選定したユーカリ種のなかでさらに成長良好な株から挿し木によるクローン苗（品種）を生産する技術の開発、さらに、⑥ユーカリの落葉や根の分解と土壌炭素蓄積に及ぼす影響を明らかにする。以上の研究を通して、ユーカリ造林による林地も含めた年間の炭素蓄積効果を把握するとともに、従来とくらべて著しく短い伐期で木質系資源を利活用する林業による、カーボンネガティブへの貢献をシミュレーションできる基礎データを提示する。

本年度の成果

昨年度にひきつづき、栃木県佐野市の東京農工大学フィールドミュージアム（FM）唐沢山のユーカリ植栽試験地（2023年春植栽）の成長観察および新たに2024年4月に落葉広葉樹二次林伐採地においてユーカリ8種の植栽試験を実施し、初期成長及び活着に及ぼす土壌理化学性の影響を調査した。これらの調査から、日本の気候にも適合するに有望な5種を見出し、その2024年12月時の樹高成長は、スギ・ヒノキの5倍以上の樹高成長であった。有望な1種についてアーバスキュラ菌根菌と外生菌根菌の感染を調査し、日本の森林土壌で有効な共生関係がみられること、特に外生菌根菌は土壌体積含水率へ有意に反応していることを確認、旺盛な光合成の蒸散に必要な水分が日本の気候と土壌では潤沢であり、外生菌根菌によっても補完されていることが示唆された。皆伐地に加えて強度列状間伐地など開空度の異なる立地への試験植栽で、少なくとも樹冠開空度30%以上の明るさがユーカリの生育に必要であることがわかった。また、FM津久井等、シカ密度が高い植栽試験地において、シカ食害を受けにくい数種のユーカリを把握した。有望なユーカリ3種

とシラカシのポット実験で成長期の蒸散量が在来常緑広葉樹であるシラカシよりもユーカリで5~10倍高く、光合成が盛んであり、それは気孔コンダクタンスの高さにあることを確認した。さらに、ユーカリ葉のアレロパシー活性を調査し、水溶性成分で高い活性があること、樹種による活性の違いがユーカリ葉に多く含まれるポリフェノールの量とその組成によることを確認した。

2024年度の業績

原著論文

なし

総説・本

なし

国際学会発表

なし

国内学会発表

1. 永嶋春輝・戸田浩人・崔東壽・松下泰幸・浅田隆之：ユーカリ属8樹種の葉におけるアレロパシー活性、第136回日本森林学会大会、2025年3月22日、北海道大学、札幌
2. 李文昊・儘田祐介・戸田浩人・崔東壽・浅田隆之：Relationship between eucalypt growth and soil physico-chemical properties in northern Kanto、2025年3月22日、北海道大学、札幌
3. 儘田祐介・李文昊・戸田浩人・崔東壽・浅田隆之：北関東におけるユーカリの菌根菌感染率への影響要因、2025年3月22日、北海道大学、札幌

メールアドレス: today@cc.tuat.ac.jp

ホームページ: <https://sites.google.com/site/tuatzorin/>

**Development of new fast-growing tree seedling and silviculture technology
that contributes to carbon negativity**

Hiroto TODA

Professor, Tokyo University of Agriculture and Technology

Purpose

The genus *Eucalyptus* is a fast-growing tree with high biomass production efficiency and is actively planted in the world. However, past *eucalyptus* plantations in Japan have failed due to differences in site conditions, such as low winter temperatures, typhoons, and soil conditions. We will select promising species of *Eucalyptus* suited to the Japanese climate and develop efficient seedling cultivation methods and afforestation techniques. In addition, carbon accumulation in forests is not only in trees but also in forest land (soil). Since polyphenols, which are abundant in *eucalyptus*, delay the decomposition of organic matter such as nitrogen mineralization, it is expected that *eucalyptus* plantations will have an effect on soil carbon accumulation in forest lands. Specifically, from seeds of eucalyptus species that have not yet been introduced to Japan and are resistant to low temperatures and wind damage, we will (1) establish a suitable medium and fertilization method for *eucalyptus* seedlings in multi-cavity containers, (2) plant several species of *eucalyptus* seedlings in mountain areas to understand the relationship between environmental conditions such as weather and soil and growth, (3) verify planting seasons and methods for preparing the ground, weeding, and fertilization of forest areas, (4) Selection of *eucalyptus* species with good growth potential and those resistant to pests and diseases (especially those that repel Japanese deer that feed on planted trees), (5) Development of technology to produce clonal seedlings (varieties) from cuttings of selected eucalyptus species with even better growth potential, and (6) To clarify the effects of decomposition of fallen leaves and roots and their effects on soil carbon accumulation. Through the above studies, we will understand the annual carbon accumulation effect of eucalyptus plantations, including forest lands, and present basic data to simulate the contribution to carbon negativity by forestry that utilizes woody resources with a significantly shorter harvest rotation compared to the conventional method.

Achievement of this year

Continuing from the previous year, we observed the growth of a *eucalyptus* planting trial site (planted in spring 2023) at the TUAT Field Museum (FM) Karasawayama in Sano City, Tochigi Prefecture. In April 2024, eight new *eucalyptus* species were planted in a clear-cut area of FM Karasawayama's secondary deciduous broadleaf forest to investigate the effects of soil physicochemical properties on initial growth and establishment. Based on these studies, we found five promising species that are also suited to Japan's climate, and their tree height growth in December 2024 was more than five times that

of cedar and cypress. We investigated the infection of one promising species with *Arbuscular mycorrhizal* fungi and ectomycorrhizal fungi and found that the symbiotic relationship is effective in Japanese forest soils, especially that ectomycorrhizal fungi respond significantly to soil volumetric moisture content. The results suggest that the moisture required for transpiration during vigorous photosynthesis is plentiful in the Japanese climate and soil, and is also supplemented by ectomycorrhizal fungi. Test plantings on sites with varying degrees of openness, such as strong row thinning in addition to clearcut sites, showed that a brightness of at least 30% canopy openness is necessary for eucalyptus growth. In addition, several species of *eucalypts* that are less susceptible to deer feeding damage were identified in planting test sites with high deer density, such as FM Tsukui. Pot experiments with three promising *eucalyptus* species confirmed that transpiration during the growing season is 5 to 10 times higher in *eucalyptus* than in the native evergreen broadleaf shirakashi (*Quercus myrsinifolia*) and photosynthesis is more active, which is due to higher stomatal conductance. High allelopathic activity was found in water-soluble components of *Eucalyptus* leaves. It was confirmed that the difference in allelopathic activity among *Eucalyptus* species was due to the amount and composition of polyphenols abundant in the leaves.

早生樹の成長・材質特性解析による適木選抜手法の開発

半 智史

東京農工大学大学院農学研究院・教授

研究の目的

炭素耕作による炭素循環のためには農林業による CO₂ 固定量を増加させることが必要である。我々のグループでは、森林での CO₂ 固定量を増加させるため、高い炭素固定能力をもつ早生樹を利用した持続可能な炭素耕作技術を開発する。木質系炭素耕作の促進モデルを確立するためには、早生樹林業の炭素固定量及び期間の最大化が重要である。その実現のためには、単に成長の良い樹木を育成して単伐期でのサイクルを回すだけでなく、エネルギー利用と比べてより炭素固定期間の長い用途である材料利用への展開が必須となるが、早生樹の材料利用に関連した材質特性の評価は不十分である。また、望ましい形質をもった樹木を得るためには、育苗から植林を経て、得られた樹木から適木を選抜することで、優良樹種の選抜および育種を行うが、ネガティブエミッション効果の最大化を目的とした適木選抜手法を開発する必要がある。したがって本研究では、成長特性解析により高いバイオマス生産能力の樹木を選抜し、木材への炭素固定量を最大化するとともに、材質特性解析により材料利用に適した樹木を選抜するため利用目的に応じた選抜項目の検討を行い、木材への炭素固定期間を最大化する。これらの組み合わせによるネガティブエミッション効果の最大化を実現する新たな視点からの適木選抜手法を開発することを目的としている。ネガティブエミッション効果を最大化する早生樹を選抜するため、東京農工大学の FM 唐沢山および FM 津久井にて実証試験を実施する。適木の選抜の際には、バイオマス利用に関わる選抜指標である成長特性（年間成長速度や成長期間）、組織構造と細胞形態、細胞壁の占める割合である密度、どのような化学成分がどれくらい含まれているのかという化学特性について解析を行い、選抜を実施する。

本年度の成果

昨年度から継続して、東京農工大学 FM 唐沢山にて 2023 年 4 月末に植栽したユーカリ属 3 樹種（略号で Ben, Fas, Nit）について成長特性の解析を行なった。各樹種 10 個体について樹高と地際直径の経時的な測定を行った。そのうち 5 個体は解析のため 2023 年 11 月初旬に試料採取を行った。また、形成層側から髄側にかけて 3 つの領域（形成層側、中間、髄側）で撮影した顕微鏡写真の画像解析により、1 領域あたり 50 細胞を用いて木部繊維の細胞壁厚を測定した。さらに、樹幹の地際から約 30 cm の箇所から切り出した 0.1（放射方向）×1（接線方向）×1 cm（軸方向）の試料を用いて、X 線回折により 1 個体あたり 1 箇所のマイクロフィブリル傾角（MFA）を測定した。伸長成長量には樹種間で統計的に有意な差はなかったが、肥大成長量は樹種間で有意に異なっていた。いずれも平均値では Ben

が最も大きく、Fas が最も小さかった。成長量の経時変化に着目すると、いずれの樹種も 10 月頃から冬季にかけて伸長成長が極めて緩やかになり、4 月以降に再び活発になることが明らかになった。一方、肥大成長の場合は Ben を除き、伸長成長ほど顕著な季節変動は認められなかった。木部繊維の細胞壁厚は、同一年輪内における放射方向での変動傾向は認められなかった。材質特性の一つである MFA は樹種間で有意な差が認められず、平均値は約 11~12°であった。以上より、本研究の生育環境におけるユーカリの成長量には樹種間差があるが、いずれの樹種も木部繊維の細胞壁厚に放射方向での変動傾向は認められないこと、MFA には樹種間に有意な差がないことが明らかになった。植栽から 2 年目となる 2025 年 4 月末に採取を行う予定にしており、今年度に検討した測定手法や条件を適用することで、炭素固定および炭素貯留を最大化するための適木選抜を実施する。

2024 年度の業績

原著論文

なし

総説・本

なし

国際学会発表

なし

国内学会発表

○石井佑樹、石橋和真、猪グスタフ貴裕、松原諒汰、浅田隆之、戸田 浩人、崔 東寿、Omari Abdulhaq、曹 越、赤間 宥紀、吉田 誠、堀川祥生、船田 良、半 智史：ユーカリ 3 樹種の生育初期における成長特性および材質特性の樹種間比較、第 75 回日本木材学会大会、2025 年 3 月 19 日、仙台国際センター、仙台

メールアドレス: nakaba@cc.tuat.ac.jp

ホームページ: <http://web.tuat.ac.jp/~tokusei/>

Development of new selection method of fast-growing trees by growth and wood property

Satoshi NAKABA

Professor, Tokyo University of Agriculture and Technology

Purpose

For carbon cycle by the carbon cultivation, it is necessary to increase CO₂ fixation by agriculture and forestry. Our group develop sustainable carbon cultivation technology using fast-growing trees with high CO₂ fixation capacity to increase amount of CO₂ fixed in forests. For establishment of facilitation model for carbon cultivation of woody biomass, it is important to maximization of amount and duration of carbon fixation of fast-growing forestry. To achieve this, it is essential not only to grow trees with high growth potential and cycle them in a single harvesting period, but also to expand into the use of materials, an application with a longer carbon fixation period than energy use. In addition, in order to obtain trees with desirable characteristics, it is necessary to develop a suitable tree selection method to maximize the negative emission effect, which is carried out by selecting suitable trees from the trees obtained through seedling cultivation and afforestation. In the present research project, in order to maximize carbon fixation in wood by selecting trees with high biomass production capacity based on growth characteristic analysis, and to maximize the period of carbon fixation in wood by considering selection items according to the purpose of use in order to select trees suitable for material use based on material characteristic analysis. Our goal is development of a new suitable tree selection method to maximize the negative emission effect by combining these characteristics analyses.

Achievement of this year

We analyzed growth characteristics of three *Eucalyptus* species (Ben, Fas, and Nit) that were planted at FM Karasawayama of Tokyo University of Agriculture and Technology, at the end of April 2023. Ten individual trees in each species were used for time course measurement of height and stem diameter. In addition, five individual trees were extracted at November 2023. The cell wall thickness of wood fibers was determined by image analysis of micrographs taken in three regions from the cambial side to the pith side. In addition, the microfibril angle (MFA) was measured at one location per individual by X-ray diffraction. There were no statistically significant differences in the amount of elongation growth between species, but the amount of radial growth differed significantly between species. In both cases, Ben had the largest mean value and Fas the smallest. Focusing on time-course changes in growth rate, elongation growth of all species became very slow from October to the winter season and became active again from April onwards. On the other hand, in the case of radial growth, with the exception of Ben, the seasonal variation was not as pronounced as that of elongation growth. The cell wall thickness of the wood fibers showed no tendency to vary in the radial direction within

the same annual ring. The MFA did not differ significantly between species. These results indicate that although there are differences in the amount of growth among species, there is no radial variation trend in the cell wall thickness of wood fibers, and there are no significant differences in MFA between species. The trees will be sampled at the end of April 2025, the second year after planting, and the measurement methods and conditions studied this year will be applied to select suitable trees to maximize carbon fixation and carbon sequestration.

リグノセルロース系バイオマスの利用性に優れた樹木新種開発

梶田 真也

東京農工大学大学院農学研究院・教授

研究協力者

高田 昌嗣、高田 直樹

研究の目的

毎年世代を回す単年生の草本植物とは異なり、開花によって枯死することがない多年生の木本植物は、光合成を通じて固定した二酸化炭素を安定して貯留する能力に秀でている。また、木本の植物体における固形分密度は、成長は早い空隙の多いイネ科単子葉よりも格段に大きく、固形分の主体である経年木質部（木材）の含水率が比較的低いために収穫後に腐敗により劣化する危険性が低い。これらのことは、収穫後の長期の保管や長距離の輸送に有利な性質であり、各種産業用の原料に適した性質である。

一方、木質は芳香族高分子であるリグニンを重量比で 20~30% も含むため、一般に稲ワラなど他のバイオマスよりも形状が堅牢で固く、物理化学的な加工も比較的手間がかかるのが難点である。発酵による液体燃料生産や繊維等の化成品代替物製造の主な原料となる多糖を木質から効率よく回収するためには、通常、高温高压下で多糖とリグニンを分離する必要がある。カーボンネガティブ社会を実現するためには、単位時間あたりの成長量が大きな草本や木本植物を創出し、植物バイオマス自体の増産を行うことに加えて、バイオマスの加工に際して排出される温室効果ガスの排出を抑えることも重要である。更に、加工の効率化には、加工に使う方法と加工される原料の改良の双方向からの取り組みが可能である。

上記のような背景の下、我々は木質に含まれるリグニンの分子構造を改変することで、バイオマスの加工性の向上に寄与することを目的に研究開発を実施している。

本年度の成果

昨年度、ポプラのモノリグノール生合成の最終段階に関与するシンナミルアルコールデヒドロゲナーゼ（CAD）の遺伝子へゲノム編集を用いて変異導入を行った。昨年度中に CAD 遺伝子の両アレル（アレル 1 またはアレル 2）のいずれかに変異を導入した組換え個体を 3 系統作出した。今年度は次世代シーケンサーによる解析で、このうちの 하나가アレル 2 に 13 塩基の欠失を持つことを明らかにし、さらにこの系統が持つ正常なアレル 1 を対象に base editor を用いて更に変異の導入を試みた。PAM として CAD 遺伝子上の NG、または NGG 配列を認識するゲノム編集用ベクターを作成し、上記のアレル 2 に変異を持つ個体へ遺伝子を導入した。これにより得られた数百のカルスから個別に全 DNA を回収

し、CAD 遺伝子の一部を PCR で増幅後、サンガー法で配列解析を行った。その結果、複数の塩基置換変異体が得られた。これらを更に培養して茎葉体（シュート）を再生させた後、葉の一部を使って上記と同様の DNA 解析を実施したところ、一部のシュートは単一のミスセンス変異を持つ葉であることが強く推察された。

2024 年度の業績

原著論文

1. N. Wang, M. Takada, S. Sakamoto, R. Vanholme, G. Goeminne, H. Kim, S. Nagano, N. Takata, N. Kamimura, M. Uesugi, A. Izumi-Nakagawa, E. Masai, N. Mitsuda, W. Boerjan, J. Ralph, S. Kajita. Effects of FERULOYL-COA 6'-HYDROXYLASE 1 overexpression on lignin and cell wall characteristics in transgenic hybrid aspen. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1543168 (DOI, 10.3389/fpls.2025.1543168).
2. J.P.T. Madigal, M. Terasaki, M. Takada, S. Kajita. Synergetic effect of fungal pretreatment and lignin modification on delignification and saccharification: A case study of a natural lignin mutant in mulberry. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*, 18,13 (DOI, 10.1186/s13068-025-02611-y).

総説・本

木材科学講座 10 バイオマス、宮藤久士、河本晴雄、梶田真也、亀井一郎（編著）、海青社、2025 年 3 月

国際学会発表

1. Masami Terasaki, Masatsugu Takada, Mikiko Uesugi, Shinya Kajita. The impact of syringyl to guaiacyl ratio on lignin higher-ordered structure in transgenic poplars. 2nd International Lignin Symposium, Kyoto, September 9, 2024 他 5 件

国内学会発表

1. 堀之内翔太、王娜寧、上杉幹子、高田昌嗣、梶田真也、遺伝子組換え技術でリグニン分子に導入したスコボレチン構造が発光特性に及ぼす影響、第 75 回日本木材学会大会、盛岡、2025 年 3 月
他 5 件

メールアドレス: kajita@cc.tuat.ac.jp

ホームページ: <https://web.tuat.ac.jp/~kajita/home.html>

Development of novel woody plants with superior characterization for lignocellulose utilization

Shinya KAJITA

Professor, Tokyo University of Agriculture and Technology

Co-researcher

Masatsugu TAKADA, Naoki TAKATA

Purpose

Unlike annual herbaceous plants, which have a single-year generation cycle, perennial woody plants have an excellent ability to stably store carbon dioxide fixed through photosynthesis. In addition, the solid density in woody plants is much higher than that of grass monocots, which grow quickly but have many voids, and the moisture content of aged wood (wood), which is the main solid content, is relatively low. There is a low risk of deterioration due to rot after harvest. These properties of woody biomass are advantageous for long-term storage after harvesting and long-distance transportation, and are properties suitable for use as raw materials for various industries.

On the other hand, since wood contains 20 to 30% of its weight in lignin, an aromatic polymer, it is generally more durable and harder in shape than other biomass such as rice straw, and is difficult to handle due to physical and chemical treatments. For efficient recovery of polysaccharides from wood, which are the main raw materials for the production of liquid fuels through fermentation and for the production of chemical substitutes such as fibers, it is usually necessary to separate polysaccharides and lignin under high temperature and pressure. In order to realize a carbon-negative society, in addition to creating herbaceous and woody plants that grow fast and increasing the production of plant biomass itself, it is also necessary to reduce greenhouse gases emitted during biomass processing. Furthermore, it is possible to improve the efficiency of processing from both the methods used for processing and the raw materials to be processed. Under the background described above, we are conducting research and development with the aim of contributing to improving the processability of biomass by modifying the molecular structure of lignin contained in wood biomass.

Achievement of this year

This fiscal year, we introduced mutations into the gene for cinnamyl alcohol dehydrogenase (CAD), which is involved in the final step of monolignol biosynthesis in poplar, using genome editing technology. In our previous study, three transgenic poplar plants in which have indel mutations in either allele 1 or allele 2 of the CAD gene has been generated. One of these plants has a deletion of 13 nucleotides in the allele 2. We attempted to introduce further mutations using base editor on the normal allele 1 of this line. Vector for genome editing that recognizes the NG or NGG sequence on the CAD

gene as PAMs have been constructed and they have used for generation further transgenic plants with the mutation in the allele 2. DNA was individually prepared from several hundred calluses obtained by the transformation procedure and a part of the CAD gene was amplified by PCR using the resultant DNAs, followed by sequence analysis using the Sanger method. As a result of our analysis, several base substitution mutants were obtained. After further cultivation of regenerate shoots, DNA sequencing analysis was also performed using some of the leaves from the callus. DNAs prepared from some shoots contain a single missense mutation.

海洋微細藻類の炭素固定能及び物質生産機能の強化に向けた基盤技術の開発

田中 剛

東京農工大学大学院工学研究院・卓越教授

研究協力者

新垣 篤史、吉野 知子、石川 彰人、村田 智志

研究の目的

本研究は、海洋微細藻類の高効率炭素固定能とバイオマス利用技術の開発を通じて、持続可能な循環型社会の実現に貢献することを目的とする。

海洋微細藻類は地球上の一次生産の約 50%を担い、陸上高等植物と比較して単位面積あたり約 10 倍の高い CO₂固定能及びバイオマス生産能を有する。さらに、固定した CO₂をオイル等の多様な有価物へ効率的に変換する機能を有する。このように微細藻類は物質生産ホストとして高いポテンシャルを有するにもかかわらず、広域海洋環境を活用した微細藻類の大規模培養システムの実用化には至っていない。また、従来研究の多くは限られたモデル株を用いた基礎的検証に留まり、実用的な非モデル微細藻類の応用研究は十分に進展していない。亜熱帯から冷帯まで多様な気候帯を有する我が国においては、各地域の環境条件に適応した微細藻類株の選抜と最適培養法の確立も不可欠である。

当研究グループは、モデル微細藻類を用いた研究において屋外大型培養槽での実証試験を実施し、バイオマス生産及び有価物生産に関する基盤技術を確立してきた。また、高オイル蓄積能や高多糖生産能など、優れた炭素固定特性を持つ複数の非モデル微細藻類株を独自に選抜している。本研究では、これら候補株からパイロットスケールでの産業利用に適した株を選定し、その基礎生物学的特性を解明する。さらに、遺伝子組換え等の分子工学的手法を駆使した分子育種技術を確立し、バイオマス生産能の飛躍的向上を図る。加えて、各株に最適化したスケールアップ培養系の構築と、各サイト特有の環境条件に適応した培養プロトコルの最適化によるバイオマス生産性の向上を目指す。これにより、50 t/ha/year 以上の炭素貯留を実現し、持続可能な資源循環型社会構築に貢献する。

本年度の成果

本年度は特に CO₂固定能及びバイオマス生産能の高い緑藻株のゲノム解析を行った。その結果、総塩基長約 900 Mbp、2,606 コンティグからなるドラフトゲノムを得た (BUSCO による Complete スコアは約 99%)。予測された 54,974 遺伝子のうち 29,573 遺伝子 (53.8%)に機能アノテーションが付与された。同株は機能性食品や化粧品の原料として利用されるグリコシルセラミドを高含有することがわかっている。微細藻類においてはじめて、その合成に関わる候補遺伝子群を同定した。

次に、エレクトロポレーション法を用いた高オイル生産株の形質転換法の確立を行った。同株の内在性遺伝子のプロモーター配列を抗生物質耐性遺伝子のプロモーターとして利用することで、形質転換効率が向上することが確認された。また、6カ月の継代培養後においても、導入した遺伝子が細胞内に保持されていることを確認した。同株は、機能性食品等への利用が期待される共役脂肪酸の前駆体物質を産生する。今後、同株への異性酵素遺伝子の導入により、高生産株の構築を検討する。

微細藻類培養において、大気中 CO₂の水への溶解効率は重要な技術的課題である。この課題の対応のため、CO₂溶解を促進する鉱物資材の微細藻類培養への応用可能性を検証した。昨年度の研究では、真核微細藻類の培養液に CO₂溶解促進資材を添加することで顕著な増殖促進効果を確認した。本年度は研究対象を拡大し、原核微細藻類である藍藻についても同様の検証を実施した結果、約 1.3 倍の生育促進効果が認められ、本鉱物資材が系統的に異なる多様な微細藻類の培養に適用可能であることが実証された。さらに、淡水性藍藻においても同等の増殖促進効果が確認されたことから、本資材の効果が培地の塩濃度に依存せず、幅広い培養条件下で利用できる可能性が示された。

2024 年度の業績

原著論文

1. Tsuyoshi TANAKA, Seiichiro MORIYA, Tomomi NONOYAMA, Yoshiaki MAEDA, Marshila KAHARA, Tomoko YOSHINO, Mitsufumi MATSUMOTO, and Chris BOWLER (2024) “Lipid droplets-vacuoles interaction promotes lipophagy in the oleaginous diatom *Fistulifera solaris*” *Algal Research*, 79, 103481 doi: 10.1016/j.algal.2024.103481

総説・本

なし

国際学会発表

1. ○Tsuyoshi TANAKA: Metabolic engineering of marine oleaginous microalgae for biofuel and chemical production, 13th International CeBiTec Research Conference, Sep 17 2024, Bielefeld University, UK

国内学会発表

1. ○熊久保涼太、佐川健人、村田智志、石川彰人、吉野知子、田中剛: “有用物質生産に向けた高オイル生産緑藻 NKG400014 株の遺伝子組み換え技術の確立” 第 24 回マリンバイオテクノロジー学会大会、2024 年 5 月 25 日、筑波大学春日キャンパス、茨城

メールアドレス: tsuyo@cc.tuat.ac.jp

ホームページ:<https://web.tuat.ac.jp/~ttanaka/index.html>

Development of Basic Technologies to Enhance Carbon Fixation and Bioproduction Functions of Marine Microalgae

Tsuyoshi TANAKA

Distinguished Professor, Tokyo University of Agriculture and Technology

Co-researcher

Atsushi ARAKAKI, Tomoko YOSHINO, Akito ISHIKAWA, Satoshi MURATA

Purpose

This research aims to contribute to the establishment of a recycling-oriented society through carbon fixation and biomass utilization with marine microalgae.

Marine microalgae are responsible for about 50% of primary production on the earth and show high CO₂ fixation capacity than higher plants on land (approximately 10 times higher in terms of unit area). Furthermore, they can convert atmospheric CO₂ into a variety of substances and are expected to be used as hosts to produce oil and other valuable resources. Despite the high potential of microalgae, large-scale cultivation has yet to be realized using a wide range of marine areas. In addition, most conventional research has been conducted using model microalgal strains, while studies on the use of practical non-model microalgae have been limited. Furthermore, Japan has diverse environments, and thus there is a need to select microalgal strain that grow predominantly in these environments, and to establish their cultivation technologies.

This research group has investigated the cultivation of marine microalgae using large outdoor ponds and developed basic technologies for biomass production as well as valuable compound production. In addition, the group has obtained several candidate microalgal strains with superior carbon fixation capacity. In this study, we will select candidate strains that are available for biomass production and production of useful substances on a pilot scale. To maximize the material production potential of the microalgae, we will establish molecular engineering techniques and attempt to improve the biomass production potential. In addition, we aim to improve biomass productivity by constructing scale-up cultivation systems for each strain and optimizing culture conditions according to the cultivation site. The goal is to achieve carbon sequestration of 50 t/ha/year or more.

Achievement of this year

We conducted genome analysis of a marine green alga with high CO₂ fixation and biomass production capabilities. As a result, we obtained a draft genome consisting of approximately 910 Mbp total base length and 2,606 contigs (with a BUSCO Complete score of approximately 99%). Among the 54,974 predicted genes, 29,573 genes (53.8%) were functionally annotated. This strain is known to contain

high levels of glycosylceramide, which is used as a raw material for functional foods and cosmetics. For the first time in microalgae, we identified candidate genes involved in glycosylceramide synthesis. Next, we established a transformation method for a high oil-producing strain using electroporation. We confirmed that utilizing the promoter sequence of an endogenous gene as a promoter for the antibiotic resistance gene improved transformation efficiency. Additionally, we verified that the introduced gene was retained in the cells even after 6 months of subculturing. This strain produces precursor substances for conjugated fatty acids, which are expected to be used in functional foods. In the future, we plan to construct high-producing strains by introducing isomerase genes into this strain. In microalgae cultivation, the dissolution efficiency of atmospheric CO₂ into water is an important technical challenge. To address this issue, we investigated the potential application of mineral materials that promote CO₂ dissolution in microalgae cultivation. In last year's research, we confirmed a significant growth-promoting effect by adding the materials to the culture medium of eukaryotic microalgae. This year, we expanded our research target and conducted similar verification on cyanobacteria, which are prokaryotic microalgae. As a result, a growth-promoting effect of approximately 1.3 times was observed, demonstrating that this material can be applied to the cultivation of various microalgae that are systematically different. Furthermore, since equivalent growth-promoting effects were confirmed in freshwater cyanobacteria, it was suggested that the effect of this material does not depend on the salt concentration of the medium and can be used under a wide range of cultivation conditions.

炭素耕作拠点形成に資する海洋炭素循環の追跡

豊福 高志

国立研究開発法人 海洋研究開発機構 超先鋭研究開発部門
超先鋭研究開発プログラム・主任研究員

研究協力者

大河内 直彦、岩館 有希、長井 裕季子、川野 潤

研究の目的

人類の活動によって生じる二酸化炭素の循環において、海洋が担うリザーバー（貯蔵庫）としての機能は非常に重要である。海洋は年間約 25 億トンの二酸化炭素を吸収する。これは人間によって排出される二酸化炭素の約三分の一に相当する。海中でのこの炭素は、生物の光合成プロセスを通じて有機物に転換され、さらには石灰化生物によって炭酸カルシウムの形で堆積することで長期的に保存される。このような海洋における炭素循環を把握することは、炭素耕作管理の観点からも重要である。

本研究では、海洋における炭素循環の解明を目指して 2 つのアプローチを用いている。第一に、有機物の分子毎同位体分析を通じた手法である。生物学的プロセスによって炭素や窒素が利用される際には特徴的な同位体シグネチャが残される。そのため、有機物の炭素・窒素の同位体を高精度に解析することで、海洋中での元素循環過程を詳細に追跡することが可能である。第二に、二酸化炭素の海洋中での挙動を理解するためには、海水の pH 値の精密な分析が不可欠である。海水に溶け込んだ二酸化炭素は水と反応し、水素イオンを放出し、重炭酸イオン、炭酸イオンの形をとるが、これらの反応は pH に強く依存する。顕微鏡レベルでの pH イメージング技術を用いて局所的な pH 環境を可視化することにより、サブミクロンスケールにおける生物学的プロセスと二酸化炭素の存在形態の推定を試みる。これらの手法を確立し適用することにより、海洋における炭素固定の効率性やその影響を定量的に評価する体制の構築を目指す。

本年度の成果

本年度は、有機物の分子毎同位体分析の手法を整備するため、炭素および窒素の動態を高精度で捉えるための基盤の構築を発展させた。特に、炭素と密接に関連する親生物元素である窒素の循環過程に着目し、食物網の評価、窒素資源の利用、魚類の回遊パターンの追跡、古代の食生活の復元など、多様な応用可能性について整理した（Sun et al., 2024）。これらの知見は、炭素耕作におけるバイオマス量やその動態の解析にも新たな示唆を与えるものである。

また、海洋における石灰化生物である底生有孔虫に着目し、殻形成の生態やその速度を定

量的に観察した結果を報告した (Nagai et al., 2024)。さらに、炭酸カルシウムを始めとする pH 依存性のある鉱物結晶の溶解・形成過程に伴う局所的な pH およびイオン濃度の可視化技術について、方法論を整理し、サブミクロンスケールでの生物学的石灰化過程の理解に資する総説をまとめた (Kawano & Toyofuku, 2025)。これらの成果は、海洋における炭素固定の効率性や、生物地球化学的プロセスに与える影響の定量的な評価に向けた重要な基盤となる。

2024 年度の業績

原著論文

Nagai, Yukiko, Uematsu, K., Mamo, B., & Toyofuku, T. (2024). The calcitic test growth rate of *Spirillina vivipara* (Foraminifera). *Biogeosciences*, 21(7), 1675–1684. <https://doi.org/10.5194/bg-21-1675-2024>

総説・本

Kawano, Jun, & Toyofuku, Takashi (2025). Visualization of pH and ionic concentration for dissolving/forming crystals. In: Ishikawa, F., Ohfuji, H., Kawano, J., Tohei, T. (eds) *Engineering Crystal Habit. Topics in Applied Physics*, vol 152. Springer, Singapore.

国際学会発表

なし

国内学会発表

Y. Sun, N. O. Ogawa, Y. Takano, N. F. Ishikawa, T. M. Blattmann, J. Kuroda, H. Kawahata, N. Ohkouchi * Carbon isotopic compositions of 16 proteinogenic amino acids and their enantiomers for biogeochemical studies, 日本地球惑星科学連合 2024 年大会, 千葉県千葉市幕張メッセ, 2024/5/30, 国内.

志賀有紗, 松林順, 小川奈々子, 大河内直彦, 岩井紀子, 水晶体安定炭素・窒素同位体比を用いたカエルの成長履歴の復元可能性の検証, 日本生態学会第 71 回全国大会, 横浜国立大学 (横浜市), 2024/3/16, 国内.

豊福 高志, 長井 裕季子, 川野 潤, 鈴木 道生, Enhancing Our Understanding of Protozoa through Laboratory Observations: Insights from Calcareous Foraminifera Experiments, 日本地球惑星科学連合 2024 年大会, 千葉県千葉市幕張メッセ, 2024/5/31, 国内.

メールアドレス: toyofuku@jamstec.go.jp

ホームページ: <https://researchmap.jp/Takashi-Toyofuku>

Tracking the marine carbon cycle for the formation of carbon cultivation centers.

Takashi TOYOFUKU

**Senior Researcher, Super-cutting-edge Grand and Advanced Research (SUGAR) Program,
Institute for Extra-cutting-edge Science and Technology Avant-garde Research (X-star),
Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology**

Co-researcher

Naohiko OHKOUCHI, Yuki IWADATE, Yukiko NAGAI, Jun KAWANO

Purpose

The ocean plays a critical role as a reservoir in the global carbon cycle, which is significantly impacted by human activities. It absorbs approximately 2.5 billion tons of carbon dioxide annually, accounting for about one-third of anthropogenic CO₂ emissions. Within the ocean, absorbed carbon is transformed into organic matter through biological photosynthesis and further sequestered in the form of calcium carbonate deposits by calcifying organisms, contributing to long-term carbon storage. Understanding the carbon cycle in marine environments is thus crucial for advancing carbon farming management strategies.

This study aims to elucidate the dynamics of the oceanic carbon cycle through two main approaches. The first approach involves compound-specific isotope analysis of organic matter. Biological processes leave characteristic isotopic signatures when carbon and nitrogen are utilized, enabling detailed tracing of elemental pathways in the marine environment. The second approach focuses on the behavior of carbon dioxide in seawater, where dissolved CO₂ reacts with water to form hydrogen ions, bicarbonate, and carbonate ions in a pH-dependent manner. Precise measurements of seawater pH are therefore essential to infer the speciation of carbon dioxide. At JAMSTEC, we employ high-resolution pH imaging techniques at the microscopic level to visualize local pH variations, allowing us to investigate biological processes and the forms of carbon dioxide at the submicron scale. By establishing and applying these methodologies, we aim to build a framework for quantitatively evaluating the efficiency of carbon fixation in the ocean and its broader biogeochemical impacts.

Achievement of this year

We advanced the development of a framework for high-precision tracing of carbon and nitrogen dynamics, in order to establish compound-specific isotope analysis methods for organic matter. In particular, we focused on the biogeochemical cycling of nitrogen, a bio-essential element closely linked to carbon, and organized the diverse applications of this research, including the evaluation of food webs, the utilization of nitrogen resources, the tracking of fish migration patterns, and the

reconstruction of ancient dietary habits (Sun et al., 2024). These findings offer new insights into the analysis of biomass quantity and dynamics in the context of carbon farming management.

Additionally, we reported observations on the ecology and calcification rates of benthic foraminifera, providing quantitative data on their shell formation processes (Nagai et al., 2024). Furthermore, we reviewed methodologies for visualizing local pH and ionic concentration changes associated with the dissolution and formation of pH-dependent mineral crystals, including calcium carbonate, and compiled a summary that contributes to the understanding of biogenic calcification processes at the submicron scale (Kawano & Toyofuku, 2025). Collectively, these achievements lay an important foundation for the quantitative evaluation of carbon fixation efficiency in the ocean and its impact on biogeochemical processes.

海草藻場由来の炭素貯留量の増加に関わる統合的研究

梅澤 有

東京農工大学大学院農学研究院・教授

研究協力者

成澤 才彦 松下 泰幸 笠原 博幸 津川 裕司

研究の目的

「海洋生物の作用によって海中に吸収・固定される炭素」を意味する「ブルーカーボン」は、森林に代表される「グリーンカーボン」に比べて、未だ十分に理解・活用が進んでいない「生態系による CO₂ 吸収源」である。代表的な「ブルーカーボン」である海草帯は、都市域や工業地帯の拡大に伴って浅海域の埋め立てが進んだ 1960-1970 年代に大きく面積を減少させ、富栄養化や巨大台風の増加によっても衰退が進んできている。全国各地で NPO/NGO や省庁等の行政主導によって海草帯の再生事業が行われてきているが、環境が悪化した浅海域での単純な植え付けでは、実質的な藻場の増加を見込めない現状がある。本研究では、維管束植物や樹木の研究で蓄積されてきた知見・技術を活かして、浅海域の海草藻場における CO₂ 貯留量の増加を下記の 3 つの観点で進める。1 つ目として、海草による CO₂ 吸収量を増加させるために、根圏が発達し成長が早く攪乱に強い種苗生産を行うとともに、より深い水深帯も含めた海草藻場の造成を目指す。特に、追加テーマとして、ウミガメによる食害で劣化が進む亜熱帯海域の海草藻場の保全再生も念頭に入れる。2 つ目として、海草中の忌避物質、構造物質量、地下茎割合を増加させる環境条件を把握し、生産された海草由来の有機物の分解量が抑制される藻場造成についての知見を集積する。3 つめとして、海洋で生産された有機物がそのまま海洋で分解されて CO₂ へと帰帰するフラックスを抑えるために、未利用の海洋資源としての海草体を、エネルギーや肥料、餌料・飼料として有効利用していく方策を、試行実験を通じて明らかにしていく。これらの 3 つの研究軸をそれぞれ進めていき、最終的に、海草藻場由来の炭素貯留量を増加させるシステムを作り上げることを目的とする。

本年度の成果

【1. 亜熱帯域の海草による緩衝植生帯としての評価】

・亜熱帯海域の海草の主要種であるリュウキュウスガモ (*Thalassia hemprichii*) を用いた、屋外水槽での培養実験により、海草が作り出す生態系（微細藻類を含む）が、陸域から過剰に供給される窒素、リンを昼夜問わず取り込んで有機物を生成するいっぽうで、堆積物中での無機化により、低濃度の栄養塩を持続的に放出する機構を持っていることを明らかにした。また、海草の堆積物中では、炭酸塩堆積物の溶解によりアルカリ度の高い海

水を生成しており、隣接するサンゴ礁群集による石灰化の促進に寄与していることも示した。

【2. ウミガメの捕食被害からの回復に向けた基礎研究】

・ウミガメによる捕食を模してリュウキュウスガモ (*Thalassia hemprichii*) の葉を切除した場合には、初期の1週間では、窒素供給の大小による成長量の有意な違いはみられなかった。しかしながら、葉から栄養塩を取り込むことができるまでに回復すると、窒素・リンの負荷量が多い海域のほうが、光合成色素を増加させ、有意に高い成長量をみせた。ウミガメの捕食からの回復には、陸域由来の栄養塩負荷も重要な役割を果たす。

【3. 気候変動への温帯域海草藻場の保全】

・浅海域の高水温化・強光阻害による海草の劣化からの保全として、深い海域でのアマモ (*Zostera marina*) の生理的適応メカニズムを調べた。深場のアマモは光合成色素含有量を増加させており、光量の減衰した光環境への適応が示唆された。メタボローム解析の結果、深場の個体では複数のフラボノイド類化合物の蓄積が、浅場の個体では成長に寄与するスクロースなどの糖類の蓄積が確認された。抗酸化作用や抗菌作用を持つ代謝物の増加が、海草の被食・分解性を低下させる効果を持つ場合、深場での海草造成は、低い成長・拡大というデメリットを、高いCO₂貯留特性という効果で補う可能性も示唆された。

2024年度の業績

原著論文

なし

総説・本

梅澤有・宮島利宏・茅根創・小池勲夫 (2025) パラオ堡礁サンゴ礁ラグーンにおける栄養塩動態と基礎生産. 月刊海洋 57(4): 185-193

国際学会発表

1. Miyata T., Umezawa Y.*, Horikawa Y., Watanabe M., Wada S., Nakaoka M., Kuwae T. The effect of different nitrogen loading on the chemical composition and decomposition characteristics of seagrass (*Zostera marina*), AOGS 2024, Pyeongchang, Korea.

2. Todoroki Y., Matsuzawa Y., Nakamukai S., Kasahara H., Ohkama-Ohtsu N., Umezawa Y., Tsugawa H. Elucidating plant specialized metabolome of *Zostera marina* and *Oryza sativa* for investigating functional molecules in environmental adaptation. Metabolomics2024, Osaka, Japan.

国内学会発表

1. 梅林奎輔, 梅澤有, 佐藤允昭, 宮田達, 上羽涼太郎, 鈴木健斗, 呂晗, 杉原創, 宮島利宏: サンゴ礁生態系の海草藻場における鉱物・有機物粒子の捕集・保持力の評価. 2024年5月,

日本地球惑星科学連合 2024 年大会, 幕張

2. 鈴木健斗, 梅澤有, 上羽遼太郎, 梅林奎輔, 宮田達, 栗原晴子, 宮島利宏: 亜熱帯海域における海草藻場の栄養塩吸収・放出特性の評価. 2024 年 5 月, 日本地球惑星科学連合 2024 年大会, 幕張

3. 梅林奎輔, 梅澤有, 佐藤允昭, 宮田達, 上羽涼太郎, 呂晗, 杉原創, 木村匡, 宮島利宏: サング礁海草藻帯における陸起源物質の捕捉機能とその生態系影響. 2024 年 10 月, 第 26 回日本サング礁学会, 宮崎

4. 梅林奎輔, 梅澤有, 佐藤允昭, 宮田達, 上羽涼太郎, 呂晗, 杉原創, 大津直子, 中村友里, 宮島利宏: 陸域起源物質に対する海草の環境応答. 日本生態学会 2024 年大会 2025 年 3 月, 札幌

メールアドレス: umezawa@me.tuat.ac.jp

ホームページ: https://yuumezawa.com/index_j.htm

Integrated research on increasing carbon sequestration from seagrass-derived organic matter

Yu UMEZAWA

Professor, Tokyo University of Agriculture and Technology

Co-researcher

Kazuhiko NARISAWA, Yasuyuki MATSUSHITA, Hiroyuki KASAHARA, Hiroshi TSUGAWA

Purpose

Blue carbon, which means "carbon absorbed and fixed in the ocean by marine organisms," is a "carbon sink in natural ecosystem" that has not yet been fully understood and utilized compared to "Green carbon," which is represented by forests. The seagrass zone, a typical "Blue carbon," greatly decreased in area during the 1960s and 1970s, when shallow water areas were reclaimed in conjunction with the expansion of urban and industrial areas and has been declining due to eutrophication and the increase in giant typhoons. Although seagrass bed restoration projects have been conducted in various parts of Japan under the leadership of NPO/NGOs and government ministries and agencies, simple planting in shallow water areas where the environment has deteriorated is not expected to substantially increase seagrass beds. In this study, we will utilize the knowledge and techniques accumulated in previous research on vascular plants and trees to promote the increase of CO₂ storage in seagrass beds in shallow water areas from the following three perspectives. First, to increase CO₂ absorption by seagrasses, we aim to produce seedlings with a well-developed rhizome and roots, fast growth, and high resistance to disturbance, as well as to create seagrass beds, including those in deeper water zones. In particular, as an additional topic, the conservation and restoration of seagrass beds in subtropical waters, which are deteriorating due to feeding damage by sea turtles, will also be taken into consideration. Second, we aim to understand the environmental conditions that increase the amounts of repellent substances, structural substances, and the percentage of rhizomes in seagrass, and to accumulate knowledge on the creation of seaweed beds where the amount of decomposition of organic matter derived from the produced seagrass is suppressed. Third, to reduce the flux of organic matter produced in the ocean back to CO₂ through decomposition, we will identify through trial experiments measures to effectively utilize seagrass leaves as "unused marine resources" for energy, fertilizer, food, and feed. Each of these three research axes will be pursued to create a system that increases seagrass bed-derived carbon sequestration.

Achievement of this year

【1. Evaluation of subtropical seagrasses as a buffer vegetation zone】

- In culture experiments at outdoor aquariums using *Thalassia hemprichii*, a major species of seagrass

in subtropical waters, it was found that the seagrass ecosystem (including epiphytic algae) takes up excessive terrestrial nitrogen and phosphorus both during day and night, while continuously releasing low concentrations of nutrients through mineralization in sediments. We also showed that in seagrass sediments, dissolution of carbonate sediments produces seawater with higher alkalinity, which contributes to the enhancement of calcification by the adjacent coral reef community.

【2. Research on the recovery of seagrass from sea turtle predation damage.】

- When seagrass (*Thalassia hemprichii*) leaves were excised to mimic predation by sea turtles, no significant differences in growth in response to nutrient supplies were observed during the initial weeks. However, once the seagrass recovered to the point where they were able to take up nutrients from the leaves, they showed significantly higher growth with increased photosynthetic pigments in areas with higher nutrient loadings. Nutrient loads from terrestrial sources also play an important role in recovery from predation by sea turtles.

【3. Conservation of temperate seagrass beds from climate change】

- Physiological adaptation mechanisms of eelgrass (*Zostera marina*) in relatively deeper waters were investigated as a conservation measure against the degradation of seagrasses due to high water temperature and strong photoinhibition in shallow waters. *Z. marina* inhabiting deeper water increased photosynthetic pigment content, suggesting adaptation to a light environment with attenuated light levels. Furthermore, the search for secondary metabolites revealed the accumulation of multiple flavonoid compounds in *Z. marina* inhabiting deeper water and the accumulation of sugars such as sucrose, which contribute to growth in those in shallow water. If the increase in metabolites with antioxidant and antimicrobial properties has the effect of decreasing microbial decomposition rate of seagrasses, it was suggested that seagrass bed development in deeper habitats may compensate for the disadvantages of lower growth rates with the effect of higher CO₂ sequestration properties.

植物ホルモンによる海産種子植物の成長制御機構の解明と応用

笠原 博幸

東京農工大学大学院農学研究院・教授

研究の目的

海産種子植物が形成する藻場は、魚介類の生息場や産卵場となるほか、海洋生態系が吸収する二酸化炭素（ブルーカーボン）の固定に重要な役割を果たしている。しかし、藻場は沿岸海域の干拓や様々な要因によって著しく減少しており、その再生は長年にわたる大きな課題となっている。一方、植物生理学・生化学的な観点からの海産種子植物の成長や環境適応の制御機構についてはほとんど研究されていない。海産種子植物の成長や環境適応のしくみを理解することにより、藻場の再生に向けた大量繁殖や移植技術の開発が期待できる。

陸上植物の成長や環境適応は植物ホルモンによって制御されている。植物進化において陸上から海洋に戻った種子植物を祖先とする海産種子植物も、同様に植物ホルモンの制御を受けていると考えられる。近年、代表的な海産種子植物であるアマモのゲノム配列が解読され、様々な植物ホルモンの生合成や不活化、受容体、転写制御因子、輸送体などに関連した遺伝子が存在していることが明らかになった。一方、陸上植物に存在する植物ホルモン関連遺伝子の中にはアマモで確認されないものも存在することから、海水環境へ適応する過程で海産種子植物が独自の成長制御機構も獲得している可能性が高い。本研究では、アマモとその近縁種であるコアマモをモデル植物として植物ホルモンによる成長や環境適応の制御機構を解明し、さらにそれを応用して海産種子植物の繁殖技術確立することにより、藻場の再生を目指す。

本年度の成果

海産種子植物の根部成長促進機構の解明を目的として、アマモとコアマモに含まれる植物ホルモンの一斉分析を行なった。富津干潟で採取したアマモとコアマモの個体を葉部・根部・地下茎・未熟種子の各組織に分け、それらに含まれる植物ホルモンを質量分析計を用いて分析した。その結果、陸上植物が合成する様々な植物ホルモンが両方の植物から検出された。また、植物組織によって含まれる植物ホルモンの濃度に違いが見られた。さらに、アマモとコアマモの根部には、植物ホルモンの一種で細胞増殖に重要な役割をもつサイトカイニンが高濃度で蓄積していることが明らかになった。

窒素源処理によるコアマモ地下茎の分げつへの影響を調べたところ、窒素源処理によりコアマモの分枝数が増加することが明らかになった。また、植物ホルモンの定量分析の結果、窒素源処理によりサイトカイニン量も地下茎で増加していることが分かった。以上の結果、陸上植物と同様に海産種子植物も様々な植物ホルモンを合成しており、また根の分

げつ制御においてサイトカイニンが重要な役割を果たしていることが示唆された。

2024 年度の業績

原著論文

1. Chia-Yun LEE, Christopher P. HARPER, Soon Goo LEE, Yunci QI, Taylor CLAY, Yuki AOI, Joseph M. Jez, Hiroyuki Kasahara, Joshua A. V. BLODGETT, Barbara N. KUNKEL (2024)
“Investigating the biosynthesis and roles of the auxin phenylacetic acid during *Pseudomonas syringae*-*Arabidopsis thaliana* pathogenesis.” *Frontiers in Plant Science*. 15, 1408833. doi:
<https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1408833>.

総説・本

なし

国際学会発表

なし

国内学会発表

なし

メールアドレス: kasahara@go.tuat.ac.jp

ホームページ: <http://web.tuat.ac.jp/~aplantbiochem/index.html>

Elucidating the growth regulation mechanism in marine angiosperms by plant hormones and its application

Hiroyuki KASAHARA

Professor, Tokyo University of Agriculture and Technology

Purpose

Seagrass beds formed by marine angiosperms play a crucial role in carbon dioxide fixation. However, these seagrass beds have decreased due to land reclamation in coastal areas and various other factors, and their restoration has remained a major challenge for many years. On the other hand, there has been little research on the restoration based on the clarification of growth and environmental adaptation mechanisms of marine angiosperms from the perspectives of plant physiology. By understanding the growth and environmental adaptation mechanisms of marine angiosperms, it is expected that we can develop mass propagation and transplantation techniques aimed at the restoration of seagrass beds. The growth and environmental adaptation of terrestrial plants are regulated by plant hormones. Recently, the genome sequence of *Zostera marina*, a representative marine angiosperm, has been analyzed, revealing the presence of genes associated with the biosynthesis, inactivation, receptors, transcription factors, and transporters of various plant hormones. This suggests that marine angiosperms, which evolved from seed plants, are similarly regulated by plant hormones. In this study, we aim to elucidate the growth and environmental adaptation mechanisms of marine angiosperms by plant hormones, using *Zostera marina* and *Zostera japonica* as model plants. Furthermore, we aim to establish propagation techniques for marine angiosperms, ultimately contributing to the restoration of seagrass beds.

Achievement of this year

To elucidate the growth promotion mechanism of the roots in marine angiosperms, we performed a comprehensive analysis of plant hormones in *Zostera marina* and *Zostera japonica*. Plant materials of *Zostera marina* and *Zostera japonica* collected in Futtsu Bay were divided into leaf, root, rhizome, and immature seed tissues, and the plant hormones contained in these tissues were analyzed using mass spectrometry. The results revealed that various plant hormones synthesized by terrestrial plants were detected in both *Zostera* species. Additionally, differences in the concentration of plant hormones were observed depending on the plant tissue. Furthermore, it was found that cytokinin, a plant hormone that plays a crucial role in cell proliferation, accumulated at high concentrations in the roots of both *Zostera* species.

When examining the effect of nitrogen source treatment on the tillering of *Zostera japonica* rhizomes, it was revealed that the number of branches increased with the nitrogen source treatment. Quantitative

analysis of plant hormones further showed that cytokinin levels also increased in the rhizomes with the nitrogen treatment. These results suggest that, similar to terrestrial plants, marine angiosperms synthesize various plant hormones, and that cytokinin plays an important role in regulating root tillering.

海洋ラン藻由来のストレス耐性関連タンパク質の探索と機能解析

山田 晃世

東京農工大学大学院工学研究院・准教授

研究協力者

養王田 正文

研究の目的

高い増殖能を持つ海洋ラン藻、*Synechococcus* sp. NKBG15041c のゲノムからストレス耐性関連遺伝子の1つとして BAW97512 に注目した。この遺伝子にコードされたタンパク質は MoxR family ATPase と高い相同性を持つことが確認されている。MoxR family ATPase は AAA+ (ATPases Associated with diverse cellular Activities) タンパク質の1種であり、多種多様な細菌・古細菌に存在する一方で、その機能についてはシャペロン様の機能を持つことが示唆されているのみである。今年度は主にこの株の MoxR family ATPase に着目し、その機能と構造を明らかにすることで、ストレス耐性への影響に関する新たな知見を獲得することを目的にした。

本年度の成果

Synechococcus sp. NKBG15041c のゲノムライブラリから大腸菌の耐塩性、耐熱性を向上させるタンパク質をコードする遺伝子の1つとして MoxR AAA+ ATPase をコードすると考えられる遺伝子を見出した。この遺伝子がコードするタンパク質は MRP サブファミリーに属するため、SyMRP と命名した。SyMRP は弱い ATPase 活性を示し、クエン酸合成酵素の熱凝集を抑制する効果を示した。SyMRP のシャペロン活性は ATP 依存性を示し、安定したヘキサマーを形成していた。しかしながら、ATP に依存した立体構造の変化は認められなかった。AlphaFold 3 で予測されたヘキサマー構造は平面リング構造であったが、原子間力顕微鏡等で観察した構造はリング構造ではなかった。また、SAXS プロファイルには対称リング構造に存在するピークは認められなかった。このため、SyMRP は独特な構造をとって機能している可能性が考えられ、*Synechococcus* sp. NKBG15041c のストレス耐性に重要な役割を担っている可能性が考えられた。

2024 年度の業績

原著論文

Molecular characterization of the MoxR AAA+ ATPase of *Synechococcus* sp. Strain NKBG15041c
Kota Mano, Kentaro Noi, Kumiko Oe, Takahiro Mochizuki, Ken Morishima, Rintaro Inoue, Masaaki Sugiyama, Keiichi Noguchi, Kyosuke Shinohara, Masafumi Yohda, Akiyo Yamada

(2024) Int J Mol Sci, 25(18):9955 doi: 10.3390/ijms25189955.

総説・本

なし

国際学会発表

なし

国内学会発表

○山田晃世、養王田正文

Synechococcus sp. NKBG15041c 由来の MoxR family ATPase の機能と構造

東京農工大学-国立精神・神経医療研究センター 第8回合同シンポジウム、2024年8月23
日、国立精神神経センター教育研修棟 ユニバーサルホール、東京

メールアドレス: yamaden@cc.tuat.ac.jp

ホームページ: <http://web.tuat.ac.jp/~yohda/index.html>

**Molecular characterization of the MoxR AAA+ ATPase of *Synechococcus* sp. strain
NKBG15041c**

Akiyo YAMADA

Associate Professor, Tokyo University of Agriculture and Technology

Co-researcher

Masafumi YOHDA

Purpose

We focused on BAW97512 as one of the stress-resistance-related genes in the genome of the highly proliferative marine cyanobacterium, *Synechococcus* sp. NKBG15041c. The protein encoded by this gene has been confirmed to have high homology with MoxR family ATPase. MoxR family ATPase is a type of AAA+ (ATPases Associated with diverse cellular Activities) protein found in a wide variety of bacteria and archaea. However, its function has only been suggested to have chaperone-like activity. This year, we primarily focused on the MoxR family ATPase of this strain, aiming to elucidate its function and structure to gain new insights into its impact on stress resistance.

Achievement of this year

Stress-tolerance-related gene from a genome library of *Synechococcus* sp. NKBG15041c was isolated. The expression of the gene in *E. coli* confers resistance against various stresses. The gene encodes a MoxR AAA+ ATPase, which was designated SyMRP since it belongs to the MRP subfamily. The recombinant SyMRP showed weak ATPase activity and protected citrate synthase from thermal aggregation. Interestingly, the chaperone activity of SyMRP is ATP-dependent. SyMRP exists as a stable hexamer, and ATP-dependent conformation changes were not detected via analytical ultracentrifugation (AUC) or small-angle X-ray scattering (SAXS). Although the hexameric structure predicted by AlphaFold 3 was the canonical flat-ring structure, the structures observed by atomic force microscopy and transmission electron microscopy were not the canonical ring structure. In addition, the experimental SAXS profiles did not show a peak that should exist in the symmetric-ring structure. Therefore, SyMRP seems to form a hexameric structure different from the canonical hexameric structure of AAA+ ATPase. SyMRP may play an important role in the stress resistance in *Synechococcus* sp. NKBG15041c

ヤイトハタ飼料における微細藻類の利用に関する基礎研究：魚体組成への影響

竹村 明洋

琉球大学理学部海洋自然科学科生物系・教授

研究協力者

SEONG Taekyoung、ZHU Yafan、岸本 祐作

研究の目的

近年、持続可能な養殖技術の発展に伴い、従来の魚粉依存型飼料の代替原料として、微細藻類の利用が注目されている。微細藻類は、高い栄養価を有するだけでなく、オメガ-3系脂肪酸（特に eicosapentaenoic acid; EPA）を含み、魚類の成長や健康に良好な影響を与える可能性がある。本研究では、東京農工大学の微細藻類ライブラリーのうち、EPA を産生する微細藻類をヤイトハタ（Malabar grouper, *Epinephelus malabaricus*）の飼料に添加し、その有用性を評価することを目的とする。本年度は以下の2点について検証した。

- (1) 微細藻類を添加した飼料がヤイトハタの成長に与える影響の評価
- (2) 微細藻類由来の脂肪酸（特に EPA）が魚体内に蓄積されるかの検証

本年度の成果

本研究は、ヤイトハタの飼料に東京農工大学で培養された微細藻類を添加し、魚体および筋肉の脂肪酸組成や成長への影響を評価することを目的として、2週間の短期給餌試験を実施したものである。実験に使用した微細藻類は、C14:0 4.7%、C16:0 28.6%、C16:1 50.8%、C18:1 4.2%、EPA（C20:5）8.3%の脂肪酸プロファイルを持ち、特に EPA の含有量による生理的な影響が期待された。

実験区は、基礎飼料のみを給餌するコントロール群と、基礎飼料に微細藻類を 0.8%添加した MA 飼料群の2群で構成された。各群には12尾のヤイトハタを収容し、65Lの閉鎖循環システムを用いて飼育を行った。試験開始時の平均魚体重は約 64.6 ± 0.2 g であり、給餌量は魚体重の2%とした。

2週間の給餌試験の結果、生存率および増体率などの主要な成長指標において、両群間で有意な差は認められなかった。したがって、短期間の給餌条件では、微細藻類の添加による即時的な成長効果は確認されなかった。しかし、今回使用した微細藻類に含まれる EPA などの特定の脂肪酸が、魚体や筋肉にどのように蓄積されるかを明らかにするために、2025年3月末に東京海洋大学にて魚体および筋肉の脂肪酸組成を分析する追加実験を実施する予定である。

2024年度の業績

原著論文

なし

総説・本

竹村明洋・千住智信・Zhu Yafan・仲泊明徒 (2024) “資源循環型共生社会実現に向けた「農水一体型サステイナブル陸上養殖」” 循環式陸上養殖第二弾, 緑書房.

国際学会発表

Akihiro TAKEMURA, Yafan ZHU, Kodai FUKUNAGA, Yuji HIRATSUKA (2025) “Closed-Recirculating Aquaculture System (C-RAS) for Sustainable Management of Fish Farming and Marine Ecosystem” International Symposium on Marine Litter and Coastal Ecosystem Nexus (MariNEX), Jan 30 2025, Khulna, Bangladesh.

国内学会発表

竹村明洋 (2024) “琉球大学の取り組み「資源循環型共生社会実現に向けた農水一体型サステナブル陸上養殖のグローバル拠点」” 日本水産増殖学会第 22 大会シンポジウム、2024 年 11 月 30 日、沖縄タイムスビル、沖縄

メールアドレス: takemura@cs.u-ryukyu.ac.jp

ホームページ: <https://coinext2.skr.u-ryukyu.ac.jp>

**Studies on the use of microalgae in the diet of the Malabar grouper, *Epinephelus malabaricus*:
Effects on fish body composition**

Akihiro TAKEMURA
Professor, University of the Ryukyus

Co-researcher

Taekyoung SEONG, Yafan ZHU, Yusake KISHIMOTO

Purpose

In recent years, with the advancement of sustainable aquaculture technology, the use of microalgae as an alternative ingredient to traditional fishmeal-based feed has gained attention. Microalgae not only possess high nutritional value but also contain omega-3 fatty acids, particularly eicosapentaenoic acid (EPA), which may have beneficial effects on fish growth and health. This study aims to evaluate the effectiveness of adding EPA-producing microalgae from the Tokyo University of Agriculture and Technology's microalgae library to the diet of Malabar grouper (*Epinephelus malabaricus*). In this year, we examined the following two aspects:

- (1) The impact of microalgae-supplemented feed on the growth of Malabar grouper.
- (2) The accumulation of microalgae-derived fatty acids (particularly EPA) in the fish body.

Achievement of this year

This study conducted a two-week short-term feeding trial to evaluate the effects of adding microalgae cultured at Tokyo University of Agriculture and Technology to the diet of Malabar grouper (*Epinephelus malabaricus*) on fish body composition, muscle fatty acid profile, and growth. The microalgae used in the experiment had a fatty acid profile of C14:0 (4.7%), C16:0 (28.6%), C16:1 (50.8%), C18:1 (4.2%), and EPA (C20:5) (8.3%). Given its EPA content, potential physiological effects were anticipated. The experimental setup consisted of two groups: a control group fed a basic diet and an MA feed group supplemented with 0.8% microalgae. Each group contained 12 fish housed in a 65L closed recirculating system. At the start of the trial, the average fish weight was approximately 64.6 ± 0.2 g, and the feeding rate was set at 2% of body weight. After the two-week feeding trial, there were no significant differences between the groups in key growth indicators such as survival rate and weight gain. Therefore, no immediate growth-promoting effects from microalgae supplementation were observed under short-term feeding conditions. However, to determine how specific fatty acids, including EPA, from the microalgae accumulate in fish body and muscle, an additional experiment will be conducted at Tokyo University of Marine Science and Technology in late March 2025 to analyze the fatty acid composition.

課題 2 研究成果 執筆者リスト

微生物の植物分解能を利用したバイオマス変換システムの開発

東京農工大学大学院農学研究院・教授 吉田 誠

形態維持型セルロース材料を用いた木材の構造と機械的特性の関係解明

東京農工大学大学院農学研究院・教授 堀川 祥生

低環境負荷で軽量かつ高強度な多層板紙の開発

東京農工大学大学院農学研究院・准教授 小瀬 亮太

リグニン有効利用を核とした非可食バイオマスの全成分有効利用技術の開発

弘前大学地域戦略研究所・准教授 吉田 暁弘

Sphingobium lignivorans SYK-6 株をプラットフォームとした

(4S)-3-carboxymuconolactone 生産株の開発

長岡技術科学大学工学研究院・教授 政井 英司

Pseudomonas 属細菌を用いた

4S-3-carboxymuconolactone の高濃度生産系の開発

国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所・研究員 荒木 拓馬

植物構成成分からの高機能物質の開発

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 化学プロセス研究部門
・主任研究員 長畑 律子

バイオマスを原料とした深共晶溶媒の創製

東京農工大学大学院農学研究院・教授 松下 泰幸

次世代医薬品候補となる中分子の液相合成技術に関する研究

東京農工大学大学院グローバルイノベーション研究院／農学研究院

・教授 岡田 洋平

バイオマスマテリアルインフォマティクス技術の開発

東京農工大学大学院工学研究院・教授 山中 晃徳

生物由来タンパク質を原料とした新規バイオプラスチックの創製

東京農工大学大学院工学研究院・教授 中澤 靖元

バイオマス由来骨格を導入した脂肪族ポリカルボナート材料の創製

東京農工大学大学院工学研究院・教授 中野 幸司

硫酸化セルロースナノファイバー上での導電性高分子ポリ(3,4-エチレンジオキシチオフェン)の重合とその導電特性に関する調査

東京農工大学大学院工学研究院・教授 下村 武史

カシューナッツ殻油を原料とすることを特徴とした高分子合成

東京農工大学大学院工学研究院・教授 荻野 賢司

3-カルボキシムコノラクトンを用いた導電性ゲルの作製およびポリマー合成

東京科学大学物質理工学院・教授 道信 剛志

微生物の植物分解能を利用したバイオマス変換システムの開発

吉田 誠

東京農工大学大学院農学研究院・教授

研究協力者

小嶋 由香 築田 理華子

研究の目的

植物バイオマスはその豊富な賦存量から、化石資源の代替資源としてのポテンシャルは極めて大きい。植物バイオマスは、木材や紙パルプなどとして古くから利用されてきた。それに加えて、近年、バイオ燃料やバイオベースポリマーなどへの用途も注目されてきている。しかしながら、そのような用途でバイオマスを利用するためには、その難分解性の細胞壁を効率的に変換するシステムの開発が喫緊の課題である。

自然界において植物は、様々な微生物により分解される。特に、植物体の乾燥重量の 90% 程度を示す細胞壁を分解する主要な生物種として真菌類が知られている。このことはすなわち、植物腐生性の真菌類が植物細胞壁を効率よく分解するメカニズムを有していることを示唆している。本研究では、それらの植物腐生性真菌類が有する植物細胞壁構成成分の分解機構を利用して、高効率のバイオマス変換技術を開発することを目指す。具体的には、植物腐生性真菌類が生産するセルロース分解酵素、ヘミセルロース分解酵素、リグニン分解酵素をそれぞれ単離および機能を明らかにし、さらにはそれらの酵素を適切に組み合わせることで、効率的な糖化システムを開発することを目指す。さらに、それらの酵素が高い特異性をもって基質に作用するという特性を利用して、酵素を用いた植物細胞壁成分の改質技術についても開発することを目指す。

本年度の成果

我々は、植物腐生性真菌類の中でも、樹木を単独で完全分解できる唯一の生物種である木材腐朽菌に着目し、研究を行ってきている。木材腐朽菌は、その腐朽した木材の特徴に基づき、白色腐朽菌と褐色腐朽菌に大別されるが、特に、褐色腐朽菌は木材中のセルロースおよびヘミセルロースなどの植物細胞壁多糖類を極めて効率良く分解する能力を有することが知られていることから、その糖化プロセスの有用なツールになり得ると考え、本研究の最も主要なターゲットとした。

木材腐朽菌による木材細胞壁の分解過程を経時的にモニタリングすることは、分解挙動の制御に必須であるが、これまでそのほとんどは細胞壁構成成分の化学的な変化をベースにしており、分解挙動の把握には形態学的な構造変化の理解も重要であるにもかかわらず、その技術開発は遅れている。特に、腐朽過程をモニタリングするためには電子顕微鏡など

による観察が必須であるが、腐朽過程において材には急激な強度低下が生じることから、電子顕微鏡に耐えうるサンプルを調整することが極めて難しい（調整過程で形態学的特徴が失われる、または変化する）。これを解決するために本研究では、ブロードイオンビーム（BIB）-ミリング法を用いた SEM 分析を腐朽材観察に世界で初めて適用し、それによって、これまでに観察できなかったような腐朽材の形態学的特徴をモニタリングする技術の開発に成功した（Scientific Reports (2024) 14:32003）。

また、近年、我々の研究室で見出した褐色腐朽菌由来の新規セルロース結合ドメイン CBM104 について、それがこれまでに知られているセルロース結合ドメインとは異なるセルロースの結晶面を認識にしている可能性を見出すとともに（Carbohydrate Polymers (2025) 347: 122651）、その CBM104 を様々なタンパク質に付加したものを遺伝子工学的に作出することに成功し、様々な機能を有するタンパク質をセルロース表面上に強く吸着および局在させる技術の開発に成功した。

2024 年度の業績

原著論文

1. A cellulose-binding domain specific for native crystalline cellulose in lytic polysaccharide monooxygenase from the brown-rot fungus *Gloeophyllum trabeum*. Yuka Kojima , Naoki Sunagawa, Satomi Tagawa, Tomohiro Hatano, Moeri Aoki, Tatsuki Kurei, Yoshiki Horikawa, Masahisa Wada, Ryo Funada, Kiyohiko Igarashi, Makoto Yoshida*. Carbohydrate Polymers (2025) 347: 122651
2. Micromorphological features of brown rotted wood revealed by broad argon ion beam milling. Rikako Tsukida, Tomohiro Hatano, Yuka Kojima, Satoshi Nakaba, Yoshiki Horikawa, Ryo Funada, Barry Goodell, Makoto Yoshida*. Scientific Reports (2024) 14:32003

総説・本

なし

国際学会発表

なし

国内学会発表

なし

メールアドレス: ymakoto@cc.tuat.ac.jp

ホームページ: <https://web.tuat.ac.jp/~ymakoto/>

Development of biomass conversion technology using plant cell wall-degrading mechanisms in microorganisms

Makoto YOSHIDA

Professor, Tokyo University of Agriculture and Technology

Co-researcher

Yuka KOJIMA, Rikako TSUKIDA

Purpose

Plant biomass has tremendous potential as an alternative to fossil resources due to its large abundance. Plant biomass has long been used as wood and paper pulp. In addition, recent years have seen a great deal of interest in the use of plant biomass as biofuels and bio-based polymers. However, in order to utilize biomass for such applications, the development of an efficient system to convert its cell walls into the chemicals is an urgent issue.

In nature, plants are decomposed by various microorganisms. In particular, fungi are known to be the major species that degrade cell walls, which represent about 90% of the dry weight of plant bodies. This implies that plant-saprophytic fungi have an efficient mechanism to degrade plant cell walls. The study aims to develop a highly efficient biomass conversion technology using the degradation mechanism of plant cell wall components in those fungi. Specifically, we aim to isolate cellulolytic, hemicellulolytic, and ligninolytic enzymes produced by plant-saprophytic fungi, clarify their functions, and develop an efficient saccharification system by appropriately combining these enzymes. Furthermore, we aim to develop a technology for the modification of plant cell wall components such as cellulose using these enzymes by taking advantage of their high specificity in acting on substrates.

Achievement of this year

Wood rotting fungi have been well known as the only species of microorganisms that can completely decompose wood alone. Wood rotting fungi are broadly classified into white-rot fungi and brown-rot fungi based on the characteristics of their decayed wood. In particular, since brown-rot fungi are known to be extremely efficient degraders of plant cell wall polysaccharides such as cellulose and hemicellulose in wood, we considered the fungi to be the major target in this research because they could be a useful tools for the saccharification process.

Time-resolved monitoring of the degradation of wood cell walls by wood-decay fungi is critical for understanding and ultimately controlling the degradation process. However, most previous studies have primarily focused on chemical alterations in cell wall components, while morphological changes—equally important for elucidating the degradation behavior—have received considerably

less attention. As a result, the development of techniques for visualizing such structural changes has lagged behind. In particular, microscopic observation techniques such as electron microscopy are essential for monitoring the decay process. However, during decay, wood rapidly loses mechanical strength, making it extremely difficult to prepare samples that can withstand electron microscopy (as the preparation process may damage or alter the morphological features). To overcome this challenge, in this study, we successfully applied Scanning Electron Microscopy (SEM) using Broad Ion Beam (BIB) milling for the first time in the world to observe decayed wood. This enabled the development of a monitoring technique capable of visualizing morphological features of decayed wood that had previously been unobservable (Scientific Reports (2024) 14:32003).

Furthermore, we discovered that CBM104, a novel cellulose-binding domain derived from brown-rot fungi and recently identified in our laboratory, potentially recognizes a crystalline face of cellulose that differs from those recognized by known cellulose-binding domains (Carbohydrate Polymers (2025) 347: 122651) . We also successfully engineered various proteins fused with CBM104 using genetic engineering techniques, thereby developing a technology that enables strong adsorption and localization of functional proteins on the cellulose surface.

形態維持型セルロース材料を用いた木材の構造と機械的特性の関係解明

堀川 祥生

東京農工大学大学院農学研究院・教授

研究の目的

セルロースは木材の主要成分であると同時に、地球上で最も多く存在する有機化合物である。貯蔵多糖であるデンプンと同様にグルコースをモノマーとするが、 $\beta(1\rightarrow4)$ 結合によって重合した構造多糖であり、セルロース分子が水素結合および疎水性相互作用によってパッキングされた結晶構造を形成した結果、卓越した固体としての物性を発現している。

我々、人類はこのバイオマス資源を従来の紙製品だけでなく、さらに微細な繊維であるナノファイバーを次世代ナノ素材として位置づけ、未知なる機能の実現のため、鋭意研究開発が進められている。しかし、パルプにしてもナノファイバーにしても一旦分散すると構造制御が非常に困難である。例えばセルロース繊維を配向させることは現代の技術ではほぼ不可能である。一方、樹木に目を向けるとセルロース繊維が配向したシートが幾重にも重なって細胞壁を形成し、その細胞が整然と並ぶことで組織構造を形作ることによって木材が産生される。この木材が樹木という巨大な体躯を支え、樹種によっては 1000 年以上もの生活を保障している。つまりさらなるセルロース材料の物性を引き出すために高次構造を活かすにはボトムアップよりもトップダウンによるアプローチが課題解決への最短距離だと考えた。そこで本研究では独自の前処理技術を組み込むことで階層構造を維持しながら単一成分から構成される木材調製技術を確立し、その機械的特性の理解を目的とした。さらに樹種特性の有無を可視化するため、調製方法が確立済みである針葉樹材に加え、昨年度に達成した複数の広葉樹材についても圧縮評価を行った。

本年度の成果

針葉樹材のスギとアカマツ、広葉樹材のブナ(散孔材)、キリ(半環孔材)、ケヤキ(環孔材)の立方体ブロック(各辺 10 mm)を試料とし、物性試験機を用いて未処理材および白い木材の圧縮試験を繊維方向で実施した。ひずみ速度は 1 mm/min に設定し、試験は応力が圧縮強度を再び超えた段階(ひずみ約 70–80 %)で終了した。未処理材の圧縮試験で得られた応力-ひずみ曲線(SS カーブ)の挙動は、降伏点に到達後緩やかに応力が減少した。ブロックの破壊挙動を巨視的に観察すると、どの樹種材でも降伏点に至るまでは特に目立った変形が見られなかった。降伏点を過ぎた後、キンクバンドがブロックの中央部で発生した。一方、白い木材は明らかに異なるパターンを示した。しかし、一次限データでの比較は定性的にしか議論できないため、SS カーブデータを主成分分析に供し、スコアプロットを作成した。針葉樹材であるスギおよびアカマツでは降伏点通過後に応力が最大値から半分以下にまで激減した。第 2 主成分軸の正の方向に位置しているブナとキリも針葉

樹材と同様に応力が減少したが、その減少量は最大応力の半分程度にとどまった。白い木材の中では最も第1主成分の正の方向に位置しているケヤキでは、他の樹種と異なり降伏点通過後も応力が微減または緩やかに増加し続けた。以上の結果から、白い木材試料を扱うことで化学成分の影響を排除した構造情報と機械的特性の関係の可視化に成功した。さらに、組織構造に基づく樹種特性は確かに存在し、特にケヤキ材における未処理材と類似した力学特性挙動の発現を明らかにした。

2024 年度の業績

原著論文

Kurei T., Miyabayashi M., Kozono T., Horikawa Y. (2024) Alcoholysis-induced changes in cell wall surfaces: Structural insights for the effective delignification of lignocellulosic biomass. *International Journal of Biological Macromolecules*, 280, 135496
doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.135496

総説・本

なし

国際学会発表

○Shunsuke SAKAI, Masaumi MIYABAYASHI, Satoshi NAKABA, Ryo FUNADA, Tatsuki KUREI, Yoshiki HORIKAWA: Optimization of “colorless woods” preparation methods and evaluation of their compressive properties, 10th Pacific Regional Wood Anatomy Conference (10th PRWAC), Sep 10 2024, Asahikawa, Japan

国内学会発表

○酒井俊輔、半 智史、船田 良、暮井達己、堀川祥生: “白い木材”の最適な調製条件と圧縮特性の解析、セルロース学会第31回年次大会、2024年7月11日、くまもと森都心プラザ、熊本

メールアドレス: horikaw@cc.tuat.ac.jp

ホームページ: <https://sites.google.com/go.tuat.ac.jp/biosf>

Visualization of the relationship between structure and mechanical characteristics using colorless wood

Yoshiki HORIKAWA

Professor, Tokyo University of Agriculture and Technology

Purpose

Cellulose is the most abundant organic compound on earth as well as a major component of wood. Like starch, a storage polysaccharide, it has glucose as its monomer, but it is a structural polysaccharide polymerized by $\beta(1\rightarrow4)$ bonds, forming a crystal structure in which cellulose molecules are packed by hydrogen bonds and hydrophobic interactions. As a result, it has excellent physical properties as a solid. We, human beings, are using this biomass resource not only for conventional paper products, but also for next-generation nanofibers, which are even finer fibers, and their unpredictable functionality is driving research and development. However, once dispersed, whether pulp or nanofibers, it is extremely difficult to control their structure, and it is almost impossible with modern technology to orient cellulose fibers, for example. On the other hand, if we look at a tree, cell walls are formed by overlapping sheets of oriented cellulose fibers, and these cells are lined up in an orderly manner to form a tissue structure that produces wood. This wood supports the huge body of the tree and, depending on the species, guarantees a life span of more than 1,000 years. In other words, in order to utilize the higher-order structure of cellulose materials to extract further physical properties, we thought that a top-down approach, rather than a bottom-up approach, would be the shortest distance to solving the problem. Therefore, in this study, we established a wood preparation technique consisting of a single component while maintaining the hierarchical structure by incorporating our original pretreatment technology, and aimed to understand the mechanical properties of the wood. In addition to cedar, a softwood for which the preparation method has already been established, we also worked on compression evaluation of several hardwoods that were achieved in the previous year.

Achievement of this year

Cubical blocks (10 mm on each side) of softwoods Japanese cedar and Red pine and hardwoods *Fagus* (diffuse-porous), *Paulownia* (semi-ring-porous), and *Zelkova* (ring-porous) were used as specimens, and compression tests of untreated and colorless wood were conducted in the fiber direction. The behavior of the stress-strain curve (SS curve) obtained from the compression test of the untreated material showed a gradual decrease in stress after reaching the yield point. After the yield point, kink bands occurred in the center of the blocks. On the other hand, the colorless wood showed a quite different pattern. However, because comparisons based on primary data can only be discussed

qualitatively, the SS curve data were subjected to principal component analysis to produce score plots. In the case of softwoods, the stresses drastically decreased from the maximum value to less than half of the maximum value after passing the yield point. *Fagus* and *Paulownia*, which are located in the positive direction of the second principal component axis, also showed a similar reduction in stress as the softwood, but the reduction was only about half of the maximum stress. Unlike the other species, the stress of *Zelkova*, which is the most positively position of the first principal component among the colorless wood, continued to decrease slightly or increase slowly even after the yield point was passed. Based on these results, we succeeded in visualizing the relationship between structural information and mechanical properties without the influence of chemical components by using colorless wood samples. Furthermore, it was clarified that wood species characteristics do indeed exist, especially the mechanical property of colorless wood from *Zelkova* showed similar to that of untreated wood.

低環境負荷で軽量かつ高強度な多層板紙の開発

小瀬 亮太

東京農工大学大学院農学研究院・准教授

研究の目的

植物由来天然ポリマーを大量に用いた炭素耕作材料の代表例が、紙・板紙である。世界の生産規模は約 4 億トンであり、国内でも 2200 万トンの生産量がある。近年、デジタル技術の発達によって印刷・情報用紙の需要は低下しているが、e-コマースの進展によって段ボールなどの板紙の生産量が増加している。さらに、マイクロプラスチックによる海洋汚染の主要な原因は、石油系プラスチックが生分解されにくいことであるが、紙・板紙はセルロースを主成分とし、その分子構造を維持しているため、石油系プラスチックよりも海洋での分解が進みやすく、海洋汚染リスクは相対的に低いと考えられる。以上のことから、マス規模が大きく、炭素耕作のコンセプトに則って製造可能で、さらには、海洋汚染に対する低環境負荷という条件を備えた板紙は、炭素耕作材料の一つとして有望である。本研究では、板紙の新規用途として電子機器筐体等の構造材料を念頭に置き、軽量かつ高強度な板紙の技術を開発する。技術開発に際し、板紙の環境性能を維持するために、化学薬品を使用せず、セルロースの分子構造を保持することを制約条件とした。本プログラムにおけるこれまでの研究成果として、厚さ 2 mm のアルミニウム板の曲げ剛性を上回る多層板紙の作製に成功し、製造方法の改善により曲げ剛性を維持しつつ軽量化できる可能性を見出している。本年度は、多層板紙の軽量化を志向し、また、具体的な数値目標として 3 mm 厚のポリプロピレン板よりも軽量で、かつ同等以上の曲げ剛性を達成することを目指した。この目標を達成するために、多層板紙の外層の密度を高く、中間層の密度を低くするアプローチを試みた。

本年度の成果

厚さ方向に密度の異なる多層板紙を作製するための原料として、低密度層用に針葉樹漂白クラフトパルプ(NBKP)、広葉樹漂白クラフトパルプ(LBKP)を、高密度層用にセルロースナノファイバー(CNF)を用いた。まず、NBKP、LBKP および CNF の単独シートを作製し、これらを裁断して試験片とし、寸法・質量を測定後、曲げ試験を行った。各シートの測定値を基に、低密度層と高密度層の最適な坪量 (g/m^2) を算出し LBKP シートを内層に、CNF シートを外層に配置する 3 層構造を設計した。設計に基づき 3 層板紙を作製し、試験片を作製後、寸法・質量測定および曲げ試験を行い、厚さ 3 mm の PP 板と強度物性を比較した。

LBKP シートは坪量の増加に伴い、わずかに密度が低下する可能性を示し、NBKP シートの密度は坪量の増加によって低下した。また LBKP シートの曲げ弾性率は坪量の増加に伴

い上昇し、NBKP シートの曲げ弾性率のばらつきは減少した。また、両シートの厚さは坪量と比例し、その相関は高く、近似直線の R^2 値は 0.99 以上であった。CNF シートは、坪量約 400 g/m² の場合の方が坪量約 700 g/m² の場合の時よりも、シート密度と曲げ弾性率が高かった。各シートの坪量、密度、曲げ弾性率から、厚さ 3 mm のポリプロピレン板と同じ曲げ剛性を維持した状態かつラボレベルで作製可能な各シートの坪量の組み合わせと配置を検討した。最適化計算された LBKP シートおよび CNF シートの坪量に準じて作製した多層板紙の坪量は 3 mm 厚のポリプロピレン板よりも 19% 軽く、同等の曲げ剛性を示した。

2024 年度の業績

原著論文

なし

総説・本

なし

国際学会発表

なし

国内学会発表

2024 年度の成果を 2025 年度に発表予定

メールアドレス: kose@cc.tuat.ac.jp

ホームページ: <https://sites.google.com/go.tuat.ac.jp/kose-lab>

Development of lightweight and high-strength multilayer paperboard with low environmental impact

Ryota KOSE

Associate Professor, Tokyo University of Agriculture and Technology

Purpose

Paper and paperboard are prime examples of carbon cultivation materials utilizing plant-derived natural polymers, with a global production of 400 million tonnes and 22 million tonnes domestically. While demand for printing paper has declined due to digitalization, the growth of e-commerce has increased the need for paperboard, such as corrugated board. Moreover, unlike petroleum-based plastics, which contribute to marine pollution due to poor biodegradability, paperboard primarily consists of cellulose and retains its molecular structure even in product form. This composition lowers its environmental impact, particularly in marine settings.

Given its large production scale, compatibility with carbon cultivation principles, and reduced marine pollution risk, paperboard is seen as a promising material for sustainable development. This study explores the potential of paperboard as a lightweight and high-strength material for structural materials such as electronic equipment housings.

To maintain the material's environmental benefits, no chemical additives are used, and the cellulose's molecular structure is preserved. Previous research successfully produced multilayer paperboard with bending stiffness exceeding that of 2 mm thick aluminum. Furthermore, improvements in manufacturing techniques suggested the potential for reducing weight while maintaining stiffness.

This year's focus is on further light-weighting the multilayer paperboard while achieving mechanical performance equivalent to or better than a 3 mm thick polypropylene (PP) board. To achieve this, a layered structure was designed in which the outer layers are denser, using cellulose nanofibers (CNF), while the inner layers have lower density, using bleached kraft pulp from softwood (NBKP) and hardwood (LBKP). This approach aims to optimize the strength-to-weight ratio by leveraging the material properties of each layer.

Achievement of this year

To produce multilayer paperboard with density gradients through its thickness, softwood bleached kraft pulp (NBKP) and hardwood bleached kraft pulp (LBKP) were used for low-density layers, and cellulose nanofibres (CNF) for high-density layers. Single-layer sheets of each material were first prepared, trimmed into test specimens, and evaluated for size, mass, and bending performance.

From the measured values, optimal basis weights (g/m^2) were calculated for each layer. A three-layer structure was designed with LBKP as the inner layer and CNF as the outer layers. The fabricated

multilayer paperboard was tested and its mechanical performance compared to a 3 mm-thick polypropylene (PP) board.

Results showed that LBKP density slightly decreased with increasing basis weight, while NBKP density decreased more clearly. The bending modulus of LBKP increased with basis weight, and NBKP showed reduced variability. The thickness of both sheets was highly proportional to basis weight, with R^2 values exceeding 0.99. Interestingly, CNF sheets with a basis weight of 400 g/m² exhibited higher density and bending modulus than those at 700 g/m².

Based on these findings, the optimal sheet combination and arrangement were determined to match the bending stiffness of a 3 mm-thick PP board. The resulting multilayer paperboard achieved equivalent stiffness while being 19% lighter, indicating its potential as a sustainable, high-performance alternative to petroleum-based materials.

リグニン有効利用を核とした非可食バイオマスの全成分有効利用技術の開発

吉田 暁弘

弘前大学地域戦略研究所・准教授

研究協力者

園木 和典、樋口 雄大

研究の目的

近年、カーボンニュートラルの実現や持続可能な社会の構築の達成に向けて、化石資源の代替として持続可能なバイオマスが注目されている。上記目標の達成には食用作物の非可食部などの未利用系バイオマスの利用といったバイオマス資源の拡大が求められている。耕作面積が限られる日本国内においてエネルギーや材料用の新規バイオマス栽培は困難であり、また人口増加が著しいASEAN 諸国でも食料生産が優先される。このような現状から、これら地域で特に非可食部の利用実現のインパクトは大きい。

我が国の主食であるコメの栽培においても、稲わら、もみ殻が非可食部として発生する。稲わらは家畜飼料やすき込み・堆肥として利用されているが、一部地域の焼却処理による大気汚染が地域課題として取り上げられている。また、温室効果係数が二酸化炭素の 28 倍と大きいメタンについて、国内での発生量の 42%が水田へのすき込みに起因している。このような現状からも、稲わらの有効利用によるすき込み回避は重要である。

上記視点から、今年度、我々のグループは、稲作廃棄物を有効利用のターゲットとした。稲作廃棄物の稲わら、もみ殻はいずれもリグノセルロース系バイオマスであり、セルロース、ヘミセルロース、リグニンを主要な構成成分とする。また、他のバイオマスにはない特徴として、シリカの含有率が高いことが挙げられる。これらのうち、有効利用の技術的な難易度が最も高いリグニンの有効利用を核として、残る成分としてセルロースとシリカの回収に取り組んだ。リグニンは多様な構造様式を持つ芳香族高分子であり、仮に分解して単環芳香族化合物とすることができても雑多な混合物となり有効利用が困難である。本研究では、「触媒的なリグニンのアルカリ酸化分解とセルロース・シリカの回収両立」と「代謝制御した微生物によるリグニン分解物のバイオ変換による単一化合物生産」を組み合わせることでバイオマスの全成分有効利用に取り組んだ。

本年度の成果

「触媒的なリグニンのアルカリ酸化分解とセルロース・シリカの回収両立」について、今年度は以下の 2 種のアプローチを検討した。

- i)稲わら中のセルロースを可溶化して分離した後、残存したリグニンを酸化分解する
- ii)稲わら中のリグニンを酸化分解して可溶化した後、残存したセルロースを回収する

アセチル化によるセルロースの可溶化でアプローチ i)を試行したところ、セルロースは高収率で回収を実現できたものの、リグニンから単環フェノール化合物を有意な収率で得ることはできなかった。これは、リグニンもセルロースと同時にアセチル化されており、酸化分解に対する反応性が変化したためと考えられる。続いて実施したアプローチ ii)では、銅触媒によるバイオマスを直接酸化分解し、リグニンの分解物をまず分離回収した。この際、酸化分解条件によりセルロースの回収率が変化することが明らかになった。具体的には、条件を過酷にするほどリグニンの分解率は向上するものの、セルロースの回収率が低下するトレードオフの関係であった。そこで条件最適化を行ったところ、単環フェノールをリグニン中の炭素ベースで 15%程度の収率で得ながら、90%以上のセルロースを回収可能な条件を見いだした。

さらに、今年度は ii)のアプローチへの連結に適したシリカ回収プロセスを検討した。物質 X を使用することで、バイオマスから溶出させた単環フェノールを損なうことなく、シリカを選択的に回収可能であった。回収したシリカは 99.8%の純度を示し、特に Ca や K については原料バイオマスの焼成灰に比較して 1/20 以下に大幅に低下していた。

「代謝制御した微生物によるリグニン分解物のバイオ変換による単一化合物生産」では、*Pseudomonas* sp. NGC7 株をプラットフォーム微生物に用いて、protocatechuate 4,5-dioxygenase 遺伝子, cis,cis-muconate cycloisomerase 遺伝子, carbon catabolite repression control protein 遺伝子および hydroxycinnamic acid-catabolizing operon transcriptional regulator 遺伝子の破壊, protocatechuate decarboxylase 遺伝子, flavin prenyltransferase 遺伝子および acetophenone-derivatives converting enzymes 遺伝子の導入, そして 4-hydroxybenzoate hydroxylase 遺伝子と vanillate O-demethylase 遺伝子のプロモーター領域の改良を行い, cis,cis-muconate (ccMA) 生産基本株を作出した。ccMA 生産基本株は、もみ殻を直接アルカリ水酸化銅酸化分解して調製したリグニン分解物から理論収量の ccMA を生産できる能力を獲得した。作出した基本株は、一部の遺伝子をプラスミドで導入しているので、次年度は全ての遺伝子群をゲノムへ導入したプラスミドフリーの ccMA 生産株へと改良し、その ccMA 生産能力を評価するとともに、収量増に向けた培養条件の検討を進めていく。

2024 年度の業績

原著論文

1. A. Yoshida, I. Kurnia, Y. Higuchi, Y. Osaka, C. Yasuta, C. Sakamoto, M. Tamura, T. Takamatsu, N. Kamimura, E. Masai, T. Sonoki, “Direct catalytic oxidation of rice husk lignin with hydroxide nanorod-modified copper foam and muconate production by an engineered *Pseudomonas* sp. NGC7.” *J. Biosci. Bioeng.*, 2024, 138, 431-438. DOI: 10.1016/j.jbiosc.2024.07.016
2. M. Kamada, C. Yasuta, Y. Higuchi, A. Yoshida, I. Kurinia, C. Sakamoto, A. Takeuchi, Y. Osaka, K. Muraki, N. Kamimura, E. Masai, T. Sonoki, “Engineering a vanillate-producing strain of

Pseudomonas sp. NGC7 corresponding to aromatic compounds derived from the continuous catalytic alkaline oxidation of sulfite lignin.” *Microbial Cell Factories*, 2024, 23, 313. DOI: 10.1186/s12934-024-02590-z

総説・本

なし

国際学会発表

1. T. Takamatsu, A. Yoshida, “Direct catalytic oxidation of lignin in lignocellulosic biomass using a copper mesh catalyst: Optimization of reaction conditions for maximizing useful monoaromatic phenols and cellulose recovery”, *International Symposium on Energy, Environmental and Material Science* (2024 年 5 月弘前大学岩木ホール)

国内学会発表

1. 池田和磨, 児玉直哉, 大川全, 樋口 雄大, 上村 直史, 政井 英司, 園木和典「バニリン酸アナログの分解抑制を解消してバガスアルカリ加水分解物からバニリン酸を選択的に生産する分子機構の解明」第 76 回日本生物工学会大会 (2024 年 9 月東京工業大学)
2. 本城芽衣, 佐藤壮太, 樋口雄大, 入山就, 高松翼, 吉田暁弘, 若村修, 園木和典. 「リグニンのアルカリ酸化分解物から 4-ヒドロキシ安息香酸を生産する微生物株の作出」 日本農芸化学会 2025 年大会(2025 年 3 月札幌コンベンションセンター)
3. 村木香渚美, 羽柴祐希, 樋口雄大, 吉川琢也, 逢坂優太, 渡辺利樹, 吉田暁弘, 上村直史, 政井英司, 竹内大介, 園木和典「サトウキビバガス由来オルガノソルブリグニンからのバニリン酸生産系の構築」日本農芸化学会 2025 年大会(2025 年 3 月札幌コンベンションセンター)
4. 池田和磨, 児玉直弥, 大川全, 樋口雄大, 上村直史, 政井英司, 園木和典「バガスアルカリ加水分解物からのバニリン酸生産においてシリング酸の分解が抑制される分子機構の解析。」日本農芸化学会 2025 年大会(2025 年 3 月札幌コンベンションセンター)
5. Yuelin Wang, Saori Ozeki, Yudai Higuchi, Zen Ookawa, Naofumi Kamimura, Eiji Masai, Hiroyuki Kurihara, Tomonori Sonoki 「An engineered *Pseudomonas* sp. NGC7 strain enables glucose-free 4-hydroxybenzoate production.」日本農芸化学会 2025 年大会(2025 年 3 月札幌コンベンションセンター)

メールアドレス: ayoshida@hirosaki-u.ac.jp

ホームページ: [https://www.iri.hirosaki-](https://www.iri.hirosaki-u.ac.jp/sections/sustainableenergy/energyconversionengineering/yoshida-akihiro)

[u.ac.jp/sections/sustainableenergy/energyconversionengineering/yoshida-akihiro](https://www.iri.hirosaki-u.ac.jp/sections/sustainableenergy/energyconversionengineering/yoshida-akihiro)

Development of total utilization technologies of non-edible biomass based on lignin utilization

Akihiro YOSHIDA

Associate Professor, Hirosaki University

Co-researcher

Tomonori SONOKI, Yudai HIGUCHI

Purpose

In recent years, biomass utilization has attracted attention as an alternative to fossil resources in the pursuit of carbon neutrality and the development of a sustainable society. To achieve these goals, it is essential to expand the use of biomass resources, such as underutilized biomass including non-edible parts of food crops. In Japan, since arable land is limited, cultivating new biomass crops for energy and materials is hard to realize. Similarly, in ASEAN countries, where rapid population growth is occurring, food production is prioritized. Given this situation, the utilization of non-edible parts of crops in these regions would have a particularly significant impact. Moreover, in Japan, rice straw and husks are generated as by-products during the production of rice, the country's staple food. Although a portion of these residues is used for livestock feed or compost, most of the rice straw is plowed back into the soil. This plowed-in rice straw becomes a significant source of methane emissions, accounting for 42% of the total agricultural methane emissions in Japan. This is one of the reasons why the effective utilization of agricultural biomass waste should be promoted.

From these perspectives, our group focused this fiscal year on the effective utilization of rice cultivation waste. Both rice straw and rice husks, which are by-products of rice farming, are lignocellulosic biomass primarily composed of cellulose, hemicellulose, and lignin. A distinctive feature of these materials, compared to other types of biomass, is their high silica content. Among these components, lignin poses the greatest technical challenge for effective utilization. Therefore, we centered our efforts on the utilization of lignin, while also working on the recovery of cellulose and silica as the remaining components.

Achievement of this year

I: Catalytic oxidative lignin depolymerization combined with cellulose and silica recovery

In this fiscal year, we examined the following two approaches:

- i) Separation of rice husk cellulose by solubilization followed by catalytic depolymerization of the remaining lignin
- ii) Utilization of rice husk lignin by catalytic oxidation followed by recovery of remaining cellulose

Initially, we examined approach (i), which involved solubilizing cellulose through acetylation. Although cellulose was efficiently recovered, the utilization of lignin was not achieved, as the acetylation process altered its reactivity. Consequently, we proceeded to examine approach (ii). As a first step, lignin in rice husks was directly oxidized using a copper catalyst in the presence of oxygen. It was found that the cellulose recovery rate and the yield of aromatic phenols produced by lignin oxidation had a trade-off relationship. At optimized conditions, 15% of aromatic phenols and 90% of cellulose recovery were achieved. Conjunction of silica recovery process for approach (ii) was also investigated, and it was found that the addition of material X enables the recovery of high-purity silica.

II: Bioproduction of platform chemicals from lignin-derived aromatics.

An engineered *Pseudomonas* sp. NGC7-based cis,cis-muconate (ccMA)-producing strain capable of producing ccMA from a variety of aromatics in the lignin stream derived from rice husk lignin was constructed. The genes for protocatechuate dioxygenase and ccMA cycloisomerase were deleted, the ones for protocatechate decarboxylation, acetophenone-derivatives conversion were introduced, and the expression of the genes for 4-hydroxybenzoate hydroxylase and vanillate O-demethylase were improved. The resulting ccMA-producing strain demonstrated ccMA production from the lignin stream with theoretical yield. Further tunings in gene expression and culture condition for efficient ccMA production will be investigated.

Sphingobium lignivorans SYK-6 株をプラットフォームとした (4S)-3-carboxymuconolactone 生産株の開発

政井 英司

長岡技術科学大学工学研究院・教授

研究協力者

上村 直史、藤田 雅也

研究の目的

木質の主要成分の一つであるリグニンを化学処理により低分子化することで多様な芳香族化合物が得られる。これら低分子芳香族化合物から微生物代謝能を利用してポリマー原料を生産することが、低炭素化社会実現の観点から注目されている。真菌の *protocatechuate* (PCA) 3,4-開裂経路の中間代謝物である (4S)-3-carboxymuconolactone (4S-3CML) は、新たなポリマー原料として期待され、特にリグニンから誘導される前例のないキラル化合物を構成要素とする新規材料が創出される可能性がある。これまでに *Pseudomonas putida* PpY1100 株を宿主とした竹や稲わら由来の主に *p*-coumarate および *ferulate* から 4S-3CML を生産する株が森林総合研究所との共同研究により作製されている。本研究では、木質バイオマスのアルカリ酸素蒸解によって得られる黒液に含まれる雑多なリグニン由来芳香族化合物から 4S-3CML を生産する微生物株を開発することを目的とした。黒液に含まれるリグニン由来の芳香族化合物から高収率で 4S-3CML を生産するために、広範なリグニン由来の二量体及び単量体化合物の分解能を有し、その代謝系のほとんどが遺伝子・酵素レベルで明らかにされている *Sphingobium lignivorans* SYK-6 株の代謝工学を実施する。得られた細菌株を用いて、森林総合研究所において黒液等に由来するリグニン由来芳香族化合物からの 4S-3CML の高効率生産系及び培養法を確立する。発酵生産で得られた 4S-3CML を原料にキラリティーが制御された新規機能性ポリマーの開発を東京科学大学にて行う。

本年度の成果

これまでに、4S-3CML 生産株として *S. lignivorans* SYK-6 株の PCA 4,5-dioxygenase (LigAB) 遺伝子破壊株 (Δ *ligAB* 株) に 4S-3CML 生産のために必要な酵素遺伝子を発現するプラスミド pCML02-BO を導入した Δ *ligAB*(pCML02-BO) 株を作出した。しかし、この生産株では、培養の進行に伴い生産された 4S-3CML が分解されることが課題であった。本年度は、4S-3CML を高収率かつ安定的に生産できるシステムの開発を目的とした。4S-3CML の化学的安定性を評価した結果、アルカリ性 pH で分解され、pH 6.8 以下で安定であることを見出した。また、SYK-6 株が 4S-3CML の分解能を有することが示されたことから、分解に関与する酵素遺伝子の探索を行った。真菌で報告されている 4S-3CML 分解酵素遺伝子のア

ミノ酸配列情報を基に 9 個の候補遺伝子を選定した。各候補遺伝子の破壊株の解析から、分解に関わる遺伝子を絞り込んだ。SLG_31320 と SLG_27270 の両方が破壊された株において最も分解能が低下したことから、両遺伝子が破壊された生産株である $\Delta ligAB$ 31320 27270(pCML02-BO)株を用いて生産試験を行った。5 mM の PCA および vanillic acid を基質とした場合に、それぞれ最大 97%および 98%のモル収率で 4S-3CML が生産され、最大モル収率に達した 12 h 後でも 93%以上の収率が維持された。スギ蒸解黒液の組成に合わせて vanillin、vanillic acid、および acetovanillone を混合したモデル黒液からは最大 71%のモル収率で 4S-3CML が生産された。

2024 年度の業績

原著論文

1. Ryo Kato, Eugene Kuatsjah, Masaya Fujita, Alissa C. Bleem, Shojiro Hishiyama, Rui Katahira, Toshiya Senda, Gregg T. Beckham, Naofumi Kamimura, and Eiji Masai (2025) “Metabolic modification of *Sphingobium lignivorans* SYK-6 for lignin valorization through the discovery of an unusual transcriptional repressor of lignin-derived dimer catabolism” *Green Chemistry*, 27(5), 1540-55 doi: 10.1039/d4gc05328a
2. Marco N. Allemann, Ryo Kato, Dana L. Carper, Leah H. Hochanadel, William G. Alexander, Richard J. Giannone, Naofumi Kamimura, Eiji Masai, Joshua K. Michener (2025) “Laboratory evolution in *Novosphingobium aromaticivorans* enables rapid catabolism of a model lignin-derived aromatic dimer” *Applied and Environmental Microbiology*, 91(2), e02081-24 doi: 10.1128/aem.02081-24
3. HongYang Yu, Naofumi Kamimura, Ryo Kato, Michelle Jane Genoveso, Miki Senda, Eiji Masai, Toshiya Senda (2025) “Discovery of a distinct type of methylenetetrahydrofolate reductase family that couples with tetrahydrofolate-dependent demethylases” *Communications Biology*, 8, 323 doi: 10.1038/s42003-025-07762-0

国際学会発表

1. Mitsuru Kawazoe, Shojiro Hishiyama, Masaya Fujita, Naofumi Kamimura, Eiji Masai: Discovery of PhcR, a transcriptional regulator that controls the catabolic system of a β -5-type lignin-derived dimer in *Sphingobium lignivorans* SYK-6, 2nd International Lignin Symposium, Sep 9 2024, Kyoto, Japan
2. Ryo Kato, Alissa Bleem, Eugene Kuatsjah, Rui Katahira, Shojiro Hishiyama, Masaya Fujita, Gregg T. Beckham, Naofumi Kamimura, Eiji Masai: Uncovering the regulatory system for catabolism of lignin-derived dimeric compounds in *Sphingobium lignivorans* SYK-6 that contributes to biological lignin valorization, 2nd International Lignin Symposium, Sep 9 2024, Kyoto, Japan

国内学会発表

3. ○川添 充、菱山 正二郎、藤田 雅也、上村 直史、政井 英司: “*Sphingobium lignivorans* SYK-6 株のリグニン由来 β -5 型二量体代謝系遺伝子群を包括的に制御する PhcR の発見” 環境バイオテクノロジー学会 2024 年度大会、2024 年 5 月 30 日、KITEN ビル コンベンションホール、宮崎
4. ○加藤 諒、Alissa Bleem、Eugene Kuatsjah、片平 類、菱山 正二郎、藤田 雅也、Gregg T. Beckham、上村 直史、政井 英司: “細菌におけるリグニン由来二量体芳香族化合物の代謝制御システムの解明と物質生産への応用” 環境バイオテクノロジー学会 2024 年度大会、2024 年 5 月 30 日、KITEN ビル コンベンションホール、宮崎
5. ○西 瑞穂、上村 直史、政井 英司: “木質バイオマスからのポリマー原料発酵生産株の変換能強化” 第 64 回新潟生化学懇話会、2024 年 7 月 13 日、新潟大学、新潟
6. ○水出 暁登、加藤 諒、上村 直史、政井 英司: “リグニン由来芳香族分解菌の代謝改変に基づく有価物生産系の開発” 第 64 回新潟生化学懇話会、2024 年 7 月 13 日、新潟大学、新潟
7. ○小林 未歩、加藤 諒、金 易介、藤田 雅也、道信 剛志、上村 直史、政井 英司: “リグニン由来 PDC ポリマー分解酵素の探索” 第 64 回新潟生化学懇話会、2024 年 7 月 13 日、新潟大学、新潟
8. 廣谷 悠真、○原田 真登、川添 充、藤田 雅也、上村 直史、政井 英司: “リグニン由来芳香族化合物からのピリジン系ポリマー原料生産系の開発” 第 64 回新潟生化学懇話会、2024 年 7 月 13 日、新潟大学、新潟
9. ○井口 猛、大川 全、樋口 雄大、園木 和典、藤田 雅也、政井 英司、上村 直史: “*Pseudomonas* sp. NGC7 株におけるシナピン酸代謝系遺伝子群の転写制御システム” 第 64 回新潟生化学懇話会、2024 年 7 月 13 日、新潟大学、新潟
10. ○赤木 桃果、加藤 諒、菱山 正二郎、片平 類、Gregg T. Beckham、上村 直史、政井 英司: “*Sphingobium lignivorans* SYK-6 株におけるリグニン由来 β -1 型芳香族二量体の新規代謝システム” 第 64 回新潟生化学懇話会、2024 年 7 月 13 日、新潟大学、新潟
11. ○川島 萌、碓 耀斗、荒木 拓馬、鈴木 悠造、上村 直史、政井 英司: “木材蒸解黒液からのポリマー原料 4S-3-カルボキシムコノラクトン発酵生産系の開発” 第 64 回新潟生化学懇話会、2024 年 7 月 13 日、新潟大学、新潟
12. ○水出 暁登、加藤 諒、藤田 雅也、荒木 拓馬、鈴木 悠造、大塚 祐一郎、中村 雅哉、道信 剛志、上村 直史、政井 英司: “*Sphingobium lignivorans* SYK-6 株の代謝改変に基づくパルプ廃液からのポリマー原料生産系の開発” 日本農芸化学会 2025 年度大会、2025 年 3 月 8 日、札幌コンベンションセンター、札幌

メールアドレス: emasai@vos.nagaokaut.ac.jp

ホームページ: <https://whs.nagaokaut.ac.jp/mme-lig/index.html>

Development of a (4S)-3-carboxymuconolactone-producing strain using *Sphingobium lignivorans* SYK-6 as a platform

Eiji MASAI

Professor, Nagaoka University of Technology

Co-researcher

Naofumi KAMIMURA, Masaya FUJITA

Purpose

The chemical decomposition of lignin, one of the major components of wood, yields a mixture of miscellaneous aromatic compounds. The production of building blocks for bio-based polymers from these lignin-derived aromatic compounds using microbial metabolic activities is attracting attention from the perspective of realizing a low-carbon society. (4S)-3-carboxymuconolactone (4S-3CML), an intermediate metabolite of the fungal protocatechuate (PCA) 3,4-cleavage pathway, is a promising polymer building block that could potentially create new materials composed of a chiral compound derived from lignin. We have previously created an engineered *Pseudomonas putida* strain that produces 4S-3CML from p-coumarate and ferulate extracted from bamboo and rice straw in collaboration with the Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI). This study aimed to develop a bacterial strain that produces 4S-3CML from miscellaneous lignin-derived aromatic compounds in black liquor obtained by oxygen-alkali cooking of woody biomass. To produce 4S-3CML in high yield, we performed metabolic engineering using *Sphingobium lignivorans* SYK-6 as a platform strain. SYK-6 can degrade a wide range of lignin-derived dimeric and monomeric compounds, and most of its metabolic systems have been characterized. Efficient production of 4S-3CML from lignin-derived aromatic compounds in black liquor using our developed strain will be established by the FFRPI. Development of new functional polymers using 4S-3CML obtained by fermentation will be carried out at the Institute of Science Tokyo.

Achievement of this year

We previously constructed a strain that produces 4S-3CML by introducing the plasmid pCML02-BO, which expresses the genes necessary for 4S-3CML production, into an *S. lignivorans* SYK-6 strain where the PCA 4,5-dioxygenase gene was disrupted (*AligAB*). However, the 4S-3CML produced by this strain was degraded as the culture progressed. This study aimed to develop a bioproduction system for high-yield and stable 4S-3CML production from lignin-derived aromatic compounds. Evaluation of the chemical stability of 4S-3CML revealed that it degrades under alkaline pH conditions but is stable below pH 6.8. Because SYK-6 exhibited 4S-3CML-degrading activity, a search was conducted

for genes involved in 4S-3CML degradation. Nine candidate genes were selected based on similarity to the amino acid sequences of 4S-3CML-degrading enzymes found in fungi. Analysis of the disruption strains of each candidate gene narrowed down the genes involved in 4S-3CML degradation. Because degradation was most significantly reduced in a strain with both SLG_31320 and SLG_27270 disrupted, 4S-3CML production was examined using $\Delta ligAB$ 31320 27270(pCML02-BO). When 5 mM PCA and vanillic acid were used as substrates, the production of 4S-3CML achieved maximum molar yields of 97% and 98%, respectively. These yields remained above 93% even 12 h after reaching their peak. In the case of a model of Japanese cedar black liquor prepared by mixing vanillin, vanillic acid, and acetovanillone, the maximum molar yield of 4S-3CML was 71%.

***Pseudomonas* 属細菌を用いた 4S-3-carboxymuconolactone の高濃度生産系の開発**

荒木 拓馬

国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所・研究員

研究協力者

鈴木 悠造、中村 雅哉

研究の目的

近年、木材の主要成分の一つであるリグニンを化学分解して得られる低分子芳香族化合物から、微生物変換によりポリマー原料を生産する技術に注目が集まっている。真菌の *protocatechuate* 3,4-開裂経路の中間代謝物である 4S-3-carboxymuconolactone (4S-3CML)は、新たなポリマー原料として期待され、特にリグニンから誘導される前例のないキラル化合物を構成要素とする新規材料が創出される可能性がある。これまでに *Pseudomonas putida* PpY1100 株を宿主とした竹や稲わら由来の主に *p-coumarate* および *ferulate* から 4S-3CML を生産する微生物株が作出されている (Suzuki et al., *Bioresour. Technol.*, 363:127836, 2022)。本研究では、作出した微生物株を用いて、黒液中のリグニン由来芳香族化合物を原料とした 4S-3CML の高濃度生産系を開発することを目的とした。*P. putida* PpY1100 株を用いた以前の研究から、高濃度生産系を確立するためには、以下の2点が重要であることが示されている。(1) 宿主細胞内のエネルギー生産を担う一次代謝活性を高いレベルで維持するために、原料の芳香族化合物に加えて、*glucose* 溶液を連続的に流加する。(2) 原料や *glucose* 溶液の流加による発酵液の体積増加を抑えるために、高濃度の基質溶液を短時間で流加する (Otsuka et al., *Bioresour. Technol.*, 377:128956, 2023)。すなわち、4S-3CML をより高濃度で生産するためには、発酵阻害が起こらない範囲で原料溶液をなるべく速い速度で流加する必要がある。今年度は、針葉樹由来の黒液中に含まれる主要な芳香族化合物である *vanillic acid* (VA)および *vanillin* (VN)を原料として、これらの最適な流加速度を調査した。

本年度の成果

初期培養液量を 250 mL としたジャーファーメンターを用いて、原料溶液の最適な流加速度を調査した。まずは、VA を原料とした 4S-3CML 生産試験を実施した。発酵槽に 58.8% w/v *glucose* 溶液を 2.04 mL/h (1.2 g/h *glucose*)の速度で流加し、OD660 が 20 付近になるまで微生物株を培養した。その後、VA と *glucose* の混合溶液を所定の流加速度 (0.3–1.2 g/h VA; 1.2 g/h *glucose*) で流加し、4S-3CML の生産量をモニターした。1.2 g/h の速度で VA を流加した場合は、4S-3CML が 15.6 g/L まで生産されたものの、流加開始直後から VA が急速に蓄積し、著しい発酵阻害が観察された。0.6 g/h まで VA の流加速度を下げると、4S-3CML が 26.6 g/L まで生産されたものの、流加開始 12 h 後に VA が蓄積し始めた。0.45 g/h

まで VA の流加速度をさらに下げると、VA や中間代謝物は蓄積することなく、4S-3CML 濃度は流加開始 48 h で 54.3 g/L まで達した。以上の結果から、VA の最適な流加速度は、初期培養液量 250 mL あたり 0.45 g/h であることが示された。一方、VN を原料とした 4S-3CML 生産試験では、最適な流加速度は 0.3 g/h であることが示され、4S-3CML 濃度は 40.7 g/L まで達した。以上より、VA および VN の最適な流加速度を明らかにし (0.45 g/h VA; 0.3 g/h VN)、それぞれ 54.3 g/L および 40.7 g/L の 4S-3CML 生産濃度を達成した。今後は、実際の木材から得られる黒液を原料として、その最適な流加条件を確立する必要がある。

2024 年度の業績

原著論文

なし

総説・本

1. ○鈴木悠造: “微生物変換で木材からつくりだすバイオマスプラスチック” 季刊森林総研究の森から、65 巻、16-17 ページ、2024 年

国際学会発表

なし

国内学会発表

1. ○鈴木悠造, 荒木拓馬, 大塚祐一郎, 中村雅哉, 藤田雅也, 上村直史, 政井英司: “木質バイオマス成分リグニン由来の基幹物質 2-ピロン-4,6-ジカルボン酸(PDC)とその誘導体の製造プロセス開発” 日本プロセス化学会サマーシンポジウム、2024 年 7 月 4 日、長崎ブリックホール、長崎

メールアドレス: atakuma@ffpri.affrc.go.jp

ホームページ: <https://www.ffpri.affrc.go.jp/ffpri.html>

**Development of a process to produce 4*S*-3-carboxymuconolactone
at high concentration using *Pseudomonas putida***

Takuma ARAKI

Researcher, Forestry and Forest Products Research Institute

Co-researcher

Yuzo SUZUKI, Masaya NAKAMURA

Purpose

In recent years, attention has focused on technologies to produce a polymer building block through microbial conversion of low-molecular-weight aromatic compounds obtained by chemical decomposition of lignin, one of the major components of woody biomass. 4*S*-3-carboxymuconolactone (4*S*-3CML), an intermediate of the fungal protocatechuate 3,4-cleavage pathway, is a promising polymer building block that could potentially create novel materials composed of a chiral compound derived from lignin. We have previously created an engineered *Pseudomonas putida* PpY1100 that produces 4*S*-3CML from *p*-coumarate and ferulate extracted from bamboo and rice straw (Suzuki et al., *Bioresour. Technol.*, 363:127836, 2022). This study aims to develop a process to produce 4*S*-3CML at high concentration from lignin-derived aromatic compounds contained in black liquor using the engineered strain. Our previous study using *P. putida* PpY1100 showed that the following two points are important to establish a production process at high concentration: (1) continuously feeding the glucose solution to maintain a high level of primary metabolic activity, which is responsible for energy production within host cells; (2) feeding a high-concentration substrate solution in a short period of time to suppress the increase in volume of the fermentation liquid due to the addition of the raw material and glucose solution (Otsuka et al., *Bioresour. Technol.*, 377:128956, 2023). That is to say, to produce 4*S*-3CML at higher concentration, it is necessary to feed the raw material solution as quickly as possible without fermentation inhibition. This year, we investigated the optimal feeding flow rates of vanillic acid (VA) and vanillin (VN), which are the major aromatic compounds contained in black liquor derived from softwood.

Achievement of this year

The optimal feeding flow rates of raw material solutions were investigated using a jar fermenter with an initial culture volume of 250 mL. First, 4*S*-3CML production from VA was verified. The engineered strain was grown until an OD₆₆₀ of approximately 20 was obtained through feeding 58.8% w/v glucose solution to the fermentor at a flow rate of 2.04 mL/h (1.2 g/h glucose). A mixture solution of VA and glucose was then continuously fed into the fermenter at a prescribed flow rate (0.3–1.2 g/h

VA; 1.2 g/h glucose), and the production of 4S-3CML was monitored. With feeding VA at a flow rate of 1.2 g/h, VA was accumulated rapidly just after the start of feeding it, and significant fermentation inhibition was observed, although the 4S-3CML concentration reached 15.6 g/L. With reducing a flow rate of VA to 0.6 g/h, VA accumulation began at 12 h after the start of feeding it, although the 4S-3CML concentration reached 26.6 g/L. With reducing a flow rate of VA to 0.45 g/h, 4S-3CML concentration reached 54.3 g/L at 48 h after the start of feeding it without the accumulations of VA and the intermediate. These results show that the optimal feeding flow rate of VA is 0.45 g/h per an initial culture volume of 250 mL. On the other hand, in 4S-3CML production test using VN as the raw material, the optimal feeding flow rate was shown to be 0.3 g/h, and the 4S-3CML concentration reached 40.7 g/L at 48 h after the start of feeding it. Thus, the optimal feeding flow rates of VA and VN were determined (0.45 g/h VA; 0.3 g/h VN), and 4S-3CML production with concentrations of 54.3 g/L and 40.7 g/L were achieved, respectively. In the future, it will be necessary to establish the optimal conditions for feeding black liquor which is obtained from actual wood, as a raw material.

植物構成成分からの高機能物質の開発

長畑 律子

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 化学プロセス研究部門・主任研究員

研究協力者

平 敏彰、斎藤 優子、竹内 和彦、工藤 真紀

研究の目的

我々のグループでは、マイクロ波により反応場にエネルギーを直接届ける技術および界面化学技術を駆使し、収率や品質の向上、及び製造工程の環境負荷を軽減するなどのアプローチにより高効率な物質変換技術を開発することを目的とする。

本課題では、バイオマス全成分の石油代替化学品への変換技術の開発とバイオマスからファインケミカルおよび医薬品を製造するための技術の開発の2つの研究テーマを設定し、研究を推進することで、バイオマスの価値を最大化する技術へと昇華させ、さらに社会実装を達成することを目指す。

将来バイオマスから得られることが期待されるビルディングブロックの中には、構造的に反応性が低いまたは不安定な物質も多く、いかにして安定的・効率的に使える材料に転換するかが課題となっている。例えば、現在までに実用化もしくは将来早い段階で実用化可能と思われるバイオポリエステルやバイオポリアミドの原料は、糖を原料に合成された脂肪族モノマーが多いが、これらを使用して実用強度を有する高分子量のポリマー材料を製造することは難しい場合も多い。産総研は、このような課題を解決するため、マイクロ波エネルギーを効率的に物質に届ける技術を駆使し、反応が難しい植物バイオマス由来物質からポリエステルなどを製造する技術とノウハウを有しており（特許第 6128579 号他）、本テーマでの材料合成にもその技術を活用することとしている。また、独自の界面化学技術を有しバイオサーファクタントの研究を長年行ってきた強みを活かし、抗ウイルス・抗菌・抗カビ等の高度な機能を付与した新規界面活性剤の開発も行う。

本年度の成果

微生物が生産する二次代謝物には化学合成では量産が困難な特異な構造を有するものが多く、多様な生理活性の発現も期待できることから、これらを活用した機能性化学品製造技術の開発ならびにその用途開拓は重要である。本年度は、糸状菌が生産する多価カルボン酸を、バイオポリエステル・ポリグリセリン・石油系ポリエステルに化学的に組み込む検討を行い、新規の機能性ポリマー材料を得た。また、同様の多価カルボン酸を用い、ポリマー添加剤等として有用な機能性エステルの合成も行った。これらの製造工程では、マイクロ波加熱を活用することにより、高効率に機能性ユニットをポリマー中に固定すること

ができた。得られた新規化学品の評価は NMR、ゲル浸透クロマトグラフィー等により行い、従来技術と比較しても著しく高い組み込み率で機能性ユニットを挿入できたことを確認した。

次に、フィルム状に成型した本ポリマーの表面におけるカビ発育阻害効果を JIS Z 2911:2018 「カビ抵抗性試験方法」に準じて評価した。その結果、作成したフィルム表面において、4 週間後においても顕著なカビの発育阻害効果が認められたことから、糸状菌が生産する多価カルボン酸を原料に機能性ポリマーを合成することに成功し、その顕著な抗カビ効果を明らかにした。

微生物が生産する二次代謝物には界面活性剤としての利用も期待される。本年度は、枯草菌が生産する環状ペプチドを用いた洗浄液や除菌液の開発にも取り組んだ。化学合成した環状ペプチド類縁体との構造-機能相関を評価することで、微生物発酵生産物の界面活性剤としての機能面での優位性を明らかにした。

2024 年度の業績

原著論文

T. Taira, R. Moriyama, K. Sakai, H. Sakai, T. Imura, Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Asp., 2024, 702, 13498. doi: 10.1016/j.colsurfa.2024.134989.

総説・本

なし

国際学会発表

なし

国内学会発表

なし

メールアドレス: nagahata-ritsuko@aist.go.jp

ホームページ: <https://www.aist.go.jp>

Development of High Functional Materials from Plant Biomass

Ritsuko NAGAHATA

Senior Researcher, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

Co-researcher

Toshiaki TAIRA, Yuko SAITO, Kazuhiko TAKEUCHI, Maki KUDO

Purpose

We aim to develop highly efficient material conversion technologies. Our approach includes research and development of microwave technology toward direct energy delivery to reaction vessel as well as surface control technology to improve yield and quality, leading to reduce negative environmental impacts on manufacturing process.

In this project, we are implementing two research themes to achieve goals such as maximizing the value of biomass and its social implementation: the development of technology for replacing all petroleum-based chemical products with natural biomass-based chemical products, and manufacturing fine chemicals and pharmaceuticals from biomass resources.

A challenge to be solved in developing highly efficient biomass conversion technologies is how to convert biomass-based building blocks into some intermediate with high reactivity and stability. For example, the raw materials of biopolyesters and biopolyamides that have already been commercially available are mostly sugar-derived aliphatic monomers. Although further increase in production is expected, production of high molecular weight polymer materials with practical strength presents many challenges. To assist in surmounting such challenges, AIST make full use of our original technology and know-how to produce polyesters and other materials from plant biomass-derived materials such as making full use of technology to efficiently deliver microwave energy. We will use this technology to synthesize materials for this theme. In addition, we will also develop novel surfactants with advanced functions such as antiviral, antibacterial, and antifungal properties by utilizing their unique surface properties.

Achievement of this year

Microbial secondary metabolites exhibit unusual structures and numerous biological activities. We have synthesized functional polymers via chemical incorporation of polyvalent carboxylic acids produced by filamentous fungi into biopolyester, polyglycerin, and petroleum-based polyesters. We have also synthesized polymer additives with the same polyvalent carboxylic acid. Microwave heating was utilized to fix functional units in the polymers with high efficiency, which were confirmed by nuclear magnetic resonance (NMR) and gel permeation chromatography (GPC) analysis. The mold

growth inhibition effect on the thin polymer film was then evaluated according to JIS Z 2911:2018. We confirmed that the thin films prepared with the synthesized polymers exhibited significant inhibition of mold growth even after 4 weeks.

Secondary metabolites are also expected to be used as surfactants. We developed novel formulation of cleaning product with disinfectant ability using a bio-derived cyclic peptide. Structure-function relationship analysis revealed functional advantages of microbial fermentation products as surfactants.

バイオマスを原料とした深共晶溶媒の創製

松下 泰幸

東京農工大学大学院農学研究院・教授

研究協力者

富永 洋一、木村 謙斗

研究の目的

本研究の目的は、深部共晶溶媒 (DES) を創製し、その有用性および構造・物性を調べることである。今年度は構造及び物性について解析した。DES は水素結合や分子間相互作用については広く研究されているが、その超分子構造の均一性についてはまだ十分に検討されていない。DES の構造が、抽出、吸着、触媒作用などの用途における化学反応性や効率に決定的な影響を与えることを考えると、これらの構造をより深く理解することは、DES の性能を向上させ、グリーン溶媒としての有用性を拡大するために不可欠である。

本研究では、水素結合供与体(HBD)としてコニフェリルアルコール(CA)を、水素結合受容体(HBA)として塩化コリン(ChCl)またはトリメチルグリシン(ベタイン:Bet)を用いて、天然深部共晶溶媒(NADES)を調製した。CA はリグニンの主要なモノリグノール成分であり、ChCl は低コストで生分解性、生体適合性のある化合物であり、Bet は天然に存在する浸透溶媒であり、砂糖製造の副産物である。これらの成分を利用することで、構造特性を調整した環境に優しい溶媒の創製に焦点を当てた。

調製された NADES は、様々な物理化学的手法を用いて分析され、そのマクロおよびミクロ構造が特徴付けられた。この調査を通じて、特定の HBD と HBA の組み合わせが DES 内の超分子組織にどのような影響を与えるかについて、より深い理解を得ることを目指す。

本年度の成果

本研究では、第一級モノリグノールであるコニフェリルアルコール (CA) をベースとした天然深部共晶溶媒 (NADES) の調製と特性評価に成功し、リグニン由来のモノマーを NADES 構成成分として用いた初めての研究を行った。CA ベースの NADES は、塩化コリン (ChCl) とのモル比 2:1 と 3:1 で調製され、それぞれ-24.6°Cと-16.8°Cのガラス転移点 (T_g) を示した。含水率の測定値は、従来の NADES 系で報告されている値と一致していた。

時間領域核磁気共鳴(TD-NMR)分析により、20°Cから 90°Cの間に分子移動度の異なる領域があり、構造の不均一性が明らかになった。フーリエ変換赤外分光法(FT-IR)とプロトン核磁気共鳴(¹H NMR)分析により、主に CA の γ-ヒドロキシル基が関与する強い水素結合が、

移動度の低いドメインの安定化に寄与していることが確認された。熱を加えると、より弱い水素結合が徐々に破壊され、水素結合したクラスターと分散した分子体の両方がほぼ等しい割合で構成される構造に再編成された。

ベタイン(Bet)ベースの DES との比較から、CA ベースの NADES はより低い T_g 値を示し、特に DES 4 と DES 5 では T_m が識別できないことから、優れた熱安定性が示唆された。さらに、水素結合ネットワークの温度依存性が明らかにされ、強い相互作用が持続する一方で、CH-OH 基を含む弱い相互作用は破壊された。これらの知見は、CA ベースの NADES の超分子組織について重要な洞察を与えるとともに、非 OH プロトンが関与する相互作用をさらに解明するためには、中性子散乱やコンピューターシミュレーションなどの高度な特性評価法が必要であることを示している。

2024 年度の業績

原著論文

なし

総説・本

なし

国際学会発表

なし

国内学会発表

池田 皓介、宮崎 岳樹、木村 謙斗、富永 洋一、松下 泰幸. 天然由来深共晶溶媒の物性特性と構造解析. 第 75 回 日本木材学会大会, 2025 年 3 月 20 日, 仙台 (口頭)

メールアドレス: Fx7789@go.tuat.ac.jp

ホームページ: <https://web.tuat.ac.jp/~plant-biomass-chem/>

Creation of deep eutectic solvents from biomass

Yasuyuki MATSUSHITA

Professor, Tokyo University of Agriculture and Technology

Co-researcher

Yoichi TOMINAGA, Kento KIMURA

Purpose

The purpose of this study is to create deep eutectic solvents (DES) and to investigate their usefulness and structural and physical properties. In this year, we analyzed the structure and physical properties. While DES have been extensively studied for their hydrogen bonding and molecular interactions, the uniformity of their supramolecular structures remains insufficiently explored. Given that the structure of DES critically influences their chemical reactivity and efficiency in applications such as extraction, adsorption, and catalysis, a deeper understanding of these structures is essential to enhance their performance and expand their utility as green solvents.

In this research, natural deep eutectic solvents (NADES) were prepared using coniferyl alcohol (CA) as the hydrogen bond donor (HBD) and choline chloride (ChCl) or trimethylglycine (betaine: Bet) as the hydrogen bond acceptors (HBAs). CA is a primary monolignol component of lignin, while ChCl is a low-cost, biodegradable, and biocompatible compound, and Bet is a naturally occurring osmolyte and a by-product of sugar manufacturing. By utilizing these components, the study focuses on forming environmentally friendly solvents with tailored structural properties.

The prepared NADES were analyzed using various physicochemical techniques to characterize their macro- and microstructures. Through this investigation, the study seeks to provide a better understanding of how specific HBD and HBA combinations influence the supramolecular organization within DES, thereby contributing to the development of more efficient and sustainable solvent systems.

Achievement of this year

In this study, natural deep eutectic solvents (NADES) based on coniferyl alcohol (CA), a primary monolignol, were successfully prepared and characterised, representing the first investigation employing lignin-derived monomers as NADES constituents. The CA-based NADES, formulated at molar ratios of 2:1 and 3:1 with choline chloride (ChCl), exhibited glass transition temperatures (T_g) of -24.6°C and -16.8°C , respectively, without observable melting points (T_m), indicating an amorphous structural nature. Water content measurements were consistent with values reported for conventional NADES systems.

Time-domain nuclear magnetic resonance (TD-NMR) analysis revealed structural heterogeneity, with distinct regions of molecular mobility between 20°C and 90°C. Fourier-transform infrared spectroscopy (FT-IR) and proton nuclear magnetic resonance (^1H NMR) analyses confirmed that strong hydrogen bonding, primarily involving the γ -hydroxyl group of CA, contributed to the stabilization of less mobile domains. Upon thermal elevation, weaker hydrogen bonds were progressively disrupted, resulting in a reorganisation into a structure comprising both hydrogen-bonded clusters and dispersed molecular entities in approximately equivalent proportions.

Comparison with betaine (Bet)-based DESs indicated that CA-based NADES exhibited lower T_g values and, particularly in DES 4 and DES 5, the absence of discernible T_m , suggesting superior thermal stability. Furthermore, the temperature dependence of the hydrogen bonding network was elucidated, wherein strong interactions persisted while weaker interactions involving CH–OH groups were disrupted. These findings provide significant insight into the supramolecular organisation of CA-based NADES and highlight the necessity of advanced characterisation methods, such as neutron scattering and computer simulations, for further elucidation of interactions involving non-OH protons.

次世代医薬品候補となる中分子の液相合成技術に関する研究

岡田 洋平

東京農工大学大学院グローバルイノベーション研究院／農学研究院・教授

研究の目的

広く医薬品として用いられてきた低分子に対して、近年では抗体などの生体高分子を活かしたバイオ医薬品の研究開発が進められている。バイオ医薬品は薬効が高く副作用が少ないことが大きなメリットとなるものの、低分子医薬品と異なり化学合成による大量供給が不可能であるため、製造コストが高くなってしまうことがデメリットとなっている。このような背景を踏まえて、現在では低分子と高分子の中間サイズの化合物群である「中分子」が次世代の医薬品候補として注目を集めており、研究開発が進められている。中分子医薬品を牽引している化合物群はペプチドや核酸、およびこれらの誘導体であり、一般にこれらの化合物は不溶性の樹脂を担体として用いる固相法で合成されている。しかしながら、固相法では液相法と比べて過剰量の試薬や溶媒が必須であるため、グリーンケミストリーの観点からは課題を残している。特に医薬品候補として研究開発を進める上では高純度品として大スケールで製造する必要がある、環境への負荷を低減することが極めて重要となる。本研究では、ペプチドや核酸、およびこれらの誘導体をターゲットとして、環境に優しい持続可能な製造法としての液相合成技術に関する研究を推進することを目的としている。現在も広く用いられている固相法から脱却し、グリーンケミストリーに資する手法で中分子を合成することを目指す。

本年度の成果

ペプチドや核酸、およびこれらの誘導体は不溶性の樹脂を担体として用いる固相法で合成されている。これは、樹脂上でアミノ酸やヌクレオチドを順次繋ぎ合わせていく手法であり、反応終了後は樹脂を溶媒で洗い流すだけで後段の工程に進むことができるため、極めて効率的なプロセスが実現される。しかしながら、反応が不溶性の樹脂上に限定されるために過剰量の試薬や溶媒が必須であり、特にグリーンケミストリーの観点から、改善の余地を残している。このような背景を踏まえて、我々は可溶性の「タグ」を担体として用いる液相法によってペプチドや核酸、およびこれらの誘導体を合成する技術の研究開発を推進してきた。この方法では、特に疎水性のベンジルアルコールならびにその誘導体を可溶性のタグとして用いることで、ペプチドや核酸、およびこれらの誘導体を液相で効率的に合成することができる。本年度は昨年度までに引き続き、新しい可溶性の担体の設計・合成の研究開発を進めるとともに、ペプチドと核酸の合成プロセスの探索を進めた。その結果、我々および関連する研究に取り組んでいる国内外のグループが用いているタグの機能を大幅に高めた新しいものを創出することに成功している。現在は、我々が新たに創出し

た新たなタグの優位性を検証するために、類縁化合物の設計・合成、ならびに機能性の評価を進めているところである。

2024 年度の業績

原著論文

1. Tatsuya SUDO, Masahiko SAGAWA, Sota ADACHI, Yusuke KATO, Yuki NAKANISHI, Tatsuya NAKAMURA, Shohei YAMASHITA, Hidehiro KAMIYA, Yohei OKADA (2024) “Understanding Flexdispersion: Structure-Function Relationship Studies of Organic Amphiphilic Ligands.” *Chemistry A European Journal*, 30, e202304324, DOI: 10.1002/chem.202304324. Highlighted as a Front Cover.
2. Masahiro ITO, Koichiro TONE, Genki Horiguchi, Takami KOSEKI, Hidehiro KAMIYA, Yohei OKADA (2024) “Understanding particle adhesion of sewage sludge incineration ash at high temperatures: effect of physical characteristics.” *Journal of the Energy Institute*, 115, 101691, DOI: 10.1016/j.joei.2024.101691.
3. Tsuyoshi FUJIMOTO, Genki Horiguchi, Hidehiro KAMIYA, Yohei OKADA (2024) “Understanding adhesion induced by calcium compounds at 900 °C using model particles.” *Powder Technology*, 444, 120008, DOI: 10.1016/j.powtec.2024.120008.
4. Shingo SHINJO-NAGAHARA, Yohei OKADA, Goki HIRATSUKA, Yoshikazu KITANO, Kazuhiro CHIBA (2024) “Improved Electrochemical Peptide Synthesis Enabled by Electron-Rich Triaryl Phosphines.” *Chemistry A European Journal*, 30, e202402552, DOI: 10.1002/chem.202402552.
5. Sota ADACHI, Yohei OKADA (2024) “Electrochemical radical cation aza-Wacker cyclizations.” *Beilstein Journal of Organic Chemistry*, 20, 1900–1905, DOI: 10.3762/bjoc.20.165.

総説・本

なし

国際学会発表

なし

国内学会発表

なし

メールアドレス: yokada@cc.tuat.ac.jp

ホームページ: <https://web.tuat.ac.jp/~yokada/index.html>

Liquid Phase Synthesis of Middle Molecules as Therapeutic Candidates

Yohei OKADA

Professor, Tokyo University of Agriculture and Technology

Purpose

In contrast to small molecules that have been widely used as pharmaceuticals, biopharmaceuticals that utilize biopolymers such as antibodies have been studied in recent years. The major advantage of biopharmaceuticals is that they are highly effective and have few side effects, however, unlike small-molecule drugs, they cannot be supplied in large quantities through chemical synthesis and therefore, their disadvantage is that their manufacturing costs are high. In this context, “middle molecules”, which are the compounds with molecular weights between small molecules and polymers, are currently attracting attention as next-generation drug candidates. In general, the middle molecules are peptides, nucleic acids, and their derivatives, and are synthesized using a solid phase method using insoluble resins as supports. However, it has problems from a green chemistry perspective because it requires excess reagents and solvents compared to traditional liquid phase methods. It is necessary to synthesize them on large scales with high purities when they are studied as drug candidates. The purpose of this research is to establish efficient liquid phase synthesis technology, targeting peptides, nucleic acids, and their derivatives. The aim is to break away from solid phase methods that are still widely used in the related fields

Achievement of this year

Peptides, nucleic acids, and their derivatives are synthesized by solid phase methods using insoluble resins as supports. In this method, amino acids or nucleosides have sequentially connected each other on resins, and after the reaction completions, the resins can be simply washed away with a solvent before the next step, making it an extremely efficient process. However, since the reactions are restricted onto the insoluble resins, excess reagents and solvents are essential, leaving a room for improvements. In this context, we have been developing the liquid phase synthesis method that can be applied to peptides, nucleic acids, and their derivatives using soluble “tags” as supports. In this method, peptides, nucleic acids, and their derivatives can be efficiently synthesized in liquid phases, by using hydrophobic benzyl alcohol and its derivatives as soluble tags. This year, we designed and synthesized some new soluble tags and optimized the synthesis process of peptides and nucleic acids. As a result, we have succeeded in creating new tags that have improved functions as compared with the tags used previously by us and other groups in this field. Currently, to verify the superiority of the new tags, we have been preparing related compounds and evaluating the functions.

バイオマスマテリアルインフォマティクス技術の開発

山中 晃徳

東京農工大学大学院工学研究院・教授

研究の目的

我が国が必要とする稲や小麦などの作物の収量増加、樹木などのバイオマス由来の材料開発は、トライアルアンドエラーが必要であり、これには膨大な時間と労力を必要とする。これを効率化するためには、物理モデルに基づく数値シミュレーションによる予測が有効である。特に、少子高齢化が進行する我が国においては、数値シミュレーションを活用したデジタルツインの構築が必要である。そこで、本研究では作物の生産性向上やバイオマス材料の高機能化に資する数値計算技術、特にマテリアルズインフォマティクス技術を開発することを目的とする。マテリアルズインフォマティクス技術には、さまざまな手法やアルゴリズムの適用が考えられるが、本研究ではベイズ推論に基づく最適計算手法やデータ同化手法を応用することに焦点をあて、作物成長の予測、バイオマス由来材料の特性向上に貢献することを目指す。本研究におけるインフォマティクス技術の具体的な応用先は、稲の生長予測モデルである SIMRIW と土壌炭素貯留を計算する有機炭素動態モデル RothC である。本年度は、SIMRIW にはベイズ最適化に基づくデータ同化アルゴリズム DMC-TPE を適用し、水稻成長を高精度に予測するためのモデルパラメータ推定技術を構築することを目的とした。さらに、RothC に対しては、本年度新たに開発した多目的データ同化（DMC-MOTPE）を適用し、複数の土壌有機炭素測定データから、炭素貯留量を高精度に予測するため数値計算技術を開発した。

本年度の成果

水稻の生長予測モデルである SIMRIW へのベイズ最適化に基づくデータ同化アルゴリズム DMC-TPE を適用することにより、ドローンによるリモートセンシングで測定される葉面積指数（土地の単位面積あたりの葉の総面積）のみから、水稻の生長を高精度に予測するための各品種ごとのパラメータを推定可能であることを実証した。今後は、この成果を本 COI-NEXT 拠点において実施している各地の水稻栽培データに適用することで、同じ品種であっても気候条件等の違いによる水稻の生育の違いを明らかにすることができ、収量増加への対応策を示唆することができると期待される。ただし、水稻の栽培は複数の条件そして目的に合わせて実施されることから、従来の DMC-TPE では対応することができない。そこで、複数の目的関数に合わせて最適化が可能な多目的データ同化（DMC-MOTPE）を新たに開発した。この DMC-MOTPE を有機炭素動態モデル RothC による土壌炭素貯留量変化の数値シミュレーションに適用し、数値実験により土壌炭素量の時間変化を高精度に予測することが可能となった。この DMC-MOTPE に基づく多目的データ同化

技術は、水稻成長や土壌炭素変化の数値シミュレーションのみならず、さまざまな数値シミュレーションモデルへの応用が容易であり、本 COI-NEXT 拠点で実施される各種数値シミュレーションの展開することも可能である。

2024 年度の業績

原著論文

なし

総説・本

なし

国際学会発表

なし

国内学会発表

1. ○富田 一輝, 山中 晃徳, “ベイズ最適化による土壌有機炭素シミュレーションのパラメータ推定”, 日本機械学会関東支部 第 30 期総会・講演会, 2024 年

メールアドレス: a-yamana@cc.tuat.ac.jp

ホームページ: <http://web.tuat.ac.jp/~yamanaka/index.html>

Development of Informatics Technologies for Biomass-Based Materials

Akinori YAMANAKA

Professor, Tokyo University of Agriculture and Technology

Purpose

Increasing the yield of crops, such as rice and wheat, as well as the development of biomass-derived materials from trees and other sources, necessitates extensive trial and error, requiring substantial time and effort. To streamline these processes, predictive modeling through numerical simulations based on physical models proves to be highly effective. Particularly in Japan, where the population is aging and declining, the construction of digital twins utilizing numerical simulation is of increasing importance. Accordingly, the objective of this research is to develop numerical computation techniques that contribute to the enhancement of crop productivity and the functionalization of biomass materials, with a particular focus on materials informatics technologies. While various methodologies and algorithms can be applied within the realm of materials informatics, this study focuses on the application of optimal computation methods and data assimilation techniques based on Bayesian inference. The goal is to improve the prediction accuracy of crop growth and to enhance the properties of biomass-derived materials. In this research, the informatics techniques are specifically applied to the rice growth prediction model SIMRIW and the organic carbon dynamics model RothC, which calculates soil carbon sequestration. In this year 2024, we aimed to apply the DMC-TPE, a data assimilation algorithm based on Bayesian optimization, to SIMRIW in order to establish a parameter estimation technique for the accurate prediction of rice growth. Furthermore, for RothC, we developed and applied a newly proposed multi-objective data assimilation method (DMC-MOTPE) to achieve high-precision predictions of carbon sequestration based on multiple soil organic carbon measurement datasets.

Achievement of this year

By applying the DMC-TPE, a data assimilation algorithm based on Bayesian optimization, to SIMRIW, a rice growth prediction model, we demonstrated that it is possible to estimate cultivar-specific parameters required for accurately predicting rice growth using only leaf area index (LAI) data obtained through drone-based remote sensing. This achievement indicates the potential to clarify how differences in climatic and environmental conditions affect the growth of rice, even within the same cultivar, by applying this method to regional rice cultivation data collected at the COI-NEXT site. Such analysis is expected to provide valuable insights for strategies aimed at increasing crop yields. However, since rice cultivation is carried out under diverse conditions and for various objectives, the conventional DMC-TPE algorithm is not sufficient to account for such variability. Therefore, we

developed a new multi-objective data assimilation method, DMC-MOTPE, which enables optimization with respect to multiple objective functions. This newly developed DMC-MOTPE was applied to the numerical simulation of soil carbon sequestration using the organic carbon dynamics model RothC. Numerical experiments demonstrated that the method enables high-precision prediction of temporal changes in soil carbon content. The multi-objective data assimilation technique based on DMC-MOTPE is not limited to simulations of rice growth or soil carbon dynamics but is readily applicable to a wide range of numerical simulation models. As such, it holds promise for broader deployment in various simulation initiatives carried out within the COI-NEXT site.

生物由来タンパク質を原料とした新規バイオプラスチックの創製

中澤 靖元

東京農工大学大学院工学研究院・教授

研究協力者

秋岡 翔太

研究の目的

カイコなどの生物が生産するタンパク質を原料とし、種々の機能化を検討することで新規バイオプラスチック材料を開発する。

現在、プラスチック（樹脂）製品に利用されている合成樹脂材料の多くは非分解性であり、土壌や海への流出による生態系への悪影響が懸念されている。これに対応すべく、既存の石油資源由来の合成樹脂材料に替わる生分解性樹脂の研究開発が積極的に進められているが、既に実用化されている生分解性樹脂材料の生産量は全体の1%に満たない。さらに、市場に流通している生分解性樹脂の一部は、海水中で分解しにくく、その大部分が残存し続けることが実証されている。したがって、環境流出後にも生態系への悪影響の少ない新規生分解性樹脂材料が求められている。一方で、シルクなどの生物由来の天然繊維は生産プロセスが分業化されており、原料から製品に至るまでに低品位繭、屑糸、半端物などが排出されている。これらのシルクタンパク質（シルクフィブロイン）の廃棄物を有効活用する策として、シルクフィブロイン水溶液をキャストして風乾することによりフィルムを作製する方法や、シルクフィブロインを金型に充填し加熱圧縮成形することにより樹脂様成形体を作製する方法が挙げられる。しかし、このシルクフィブロインフィルムや樹脂は、シルクフィブロインが形成する特徴的な結晶構造のために機械的特性が制御しにくく、応用範囲に限られる。そのため、本研究では、シルクフィブロインの機械的特性の制御を目的とし、シルクフィブロインへ分子修飾を行うことにより構造改変を試み、その効果を検証することとした。

また、シルクフィブロイン単一材料の構造改変だけでなく、シルクフィブロインに柔軟性高分子材料を複合化した材料についても、機械的特性の制御法を検討した。

本年度の成果

本年度は、シルクタンパク質（シルクフィブロイン）の機械的特性を制御するための分子改変手法を確立し、それらの機械的特性及び構造解析を実施した。

シルクフィブロイン（シルクフィブロイン）は、一次構造の大半が Gly（G：グリシン）と Ala（A：アラニン）の反復配列から構成されている。この反復配列は水素結合や疎水性相互作用を介して結晶構造を形成し、これがシルクフィブロイン特有の機械的特性に繋が

っている。とくに、反復配列中に側鎖が比較的小さな Ser (S:セリン) が存在する結晶領域(GAGAGS)、側鎖に嵩高い芳香環をもつ Tyr (Y:チロシン) が存在する半結晶領域(GAGAGY)はシルクフィブロインの約 8 割を占めており、この領域が機械的特性と深くかかわっている。そこで、シルクフィブロインに含まれる Ser や Tyr 特異的に分子修飾を行うことにより結晶構造形成を阻害することができれば、シルクフィブロインの機械的特性の制御につながると考えた。そこで、様々な炭素数のカルボン酸無水物を用いて局所的にアシル鎖を導入することにより上記を検証した。また、シルクフィブロインと柔軟性高分子材料の複合化において、両者の混和性の向上のために、高分子材料に予めシルクフィブロインの結晶領域の反復配列を模したモデルペプチドを修飾することにより、複合材料の機械的特性の改良を目指した。結果として、アシル化により修飾したシルクフィブロインは、フィルムと樹脂の両材料形態において構造および機械的特性が変化し、導入したアシル鎖の鎖長依存的に変化する傾向が示された。さらに、シルクフィブロインとポリウレタンの複合材料について、ポリウレタンにシルクフィブロインの反復配列モデルペプチドを修飾することにより、ポリウレタンの混合量を変えずに材料の構造的変化を伴う機械的特性の改良に成功した。

2024 年度の業績

原著論文

なし

総説・本

なし

国際学会発表

なし

国内学会発表

1. ○桑原桃花、秋岡翔太、中澤靖元: アシル化反応によるシルクフィブロインの構造改変と熱特性制御、第 73 回高分子学会年次大会、2024 年 6 月 5 日、仙台国際センター、宮城
2. ○宮腰真歩、秋岡翔太、中澤靖元: 癒着防止材を指向したシルク/カルボキシメチルセルロース複合材料の創製、2024 年繊維学会年次大会、2024 年 6 月 12 日、タワーホール船堀、東京
3. ○村上美雨、秋岡翔太、中澤靖元: 薬剤徐放制御に向けたポリエチレングリコール修飾によるシルクフィブロインの構造改変、2024 年 6 月 12 日、2024 年繊維学会年次大会、タワーホール船堀、東京
4. ○秋岡翔太、中澤靖元: 高次構造の異なるシルクフィブロイン粉末から作製した樹脂様成形

体、プラスチック成形加工学会 第35回年次大会、2024年6月19日、タワーホール船堀、東京

5. ○秋岡翔太、松本祐里、桑原桃花、中澤靖元: 資源利活用を指向したシルクフィブロイン成形体の機能改変、資源・素材学会: 資源・素材2024(秋田)ー2024年度資源・素材関係学協会合同秋季大会ー、2024年9月11日、秋田大学 手形キャンパス、秋田

6. ○秋岡翔太、松本祐里、中澤靖元: 組織工学材料を指向したシルクフィブロイン/ポリウレタン複合材料、第73回高分子討論会、2024年9月26日、新潟大学 五十嵐キャンパス、新潟

7. ○松本祐里、秋岡翔太、野口恵一、中澤靖元: 新規先天性心疾患修復パッチを目指したシルクフィブロイン/ポリマー複合材料のペプチド導入による高機能化、第33回ポリマー材料フォーラム、2024年11月15日、みやこめっせ、京都

8. ○桑原桃花、秋岡翔太、中澤靖元: アシル化反応を用いたシルクフィブロインの構造改変による物性制御、2024年 繊維学会秋季研究発表会、2024年11月19日、京都テルサ、京都

9. ○秋岡翔太、松本祐里、中澤靖元: 分子修飾によるシルクフィブロイン-生分解性ポリマー複合材料の創製と物性改変、2024年 繊維学会秋季研究発表会、2024年11月29日、京都テルサ、京都

メールアドレス: y-nakazawa@go.tuat.ac.jp

ホームページ: <https://sites.google.com/go.tuat.ac.jp/nakazawa-lab>

Fabrication of Novel Bioplastics from Bio-Based Proteins

Yasumoto NAKAZAWA

Professor, Tokyo University of Agriculture and Technology

Co-researcher

Shota AKIOKA

Purpose

We aimed to develop novel bio-based plastic materials (films and resins) from proteins produced by silkworms and to evaluate their properties.

Most synthetic resins currently used in products are non-degradable and have negative impacts on ecosystems when released into soil and oceans. Therefore, the development of biodegradable resins to replace petroleum-based synthetic resins is essential. However, biodegradable resins currently account for less than 1% of total resin production, and some of them do not degrade in seawater. In light of these challenges, there is a need for new biodegradable resins that have no negative environmental impact, even after being released into natural environments.

Meanwhile, the production of natural fibers such as silk involves multiple processing steps, during which low-grade cocoons, waste threads, and semi-finished products are generated as waste. To effectively utilize these silk protein (silk fibroin) wastes as resin materials, it is possible to fabricate thin films and resin-like moldings by casting a silk fibroin solution and air-drying it, or by filling silk fibroin into a mold and hot-pressing it. However, the mechanical properties of silk fibroin films and resins are difficult to control due to their crystalline structure, limiting their applications.

In this study, we fabricated silk fibroin films and resins with modified molecular structures to control their mechanical properties. Additionally, we investigated methods to regulate the mechanical properties of silk-based composite materials through molecular modification.

Achievement of this year

We established a molecular modification method for silk protein (silk fibroin) to control its mechanical and structural properties.

The primary structure of silk fibroin is largely composed of repeating amino acid sequences of glycine (Gly, G) and alanine (Ala, A). These sequences form crystalline structures through hydrogen bonding and hydrophobic interactions, which give silk fibroin its unique mechanical characteristics.

In particular, the crystalline region (GAGAGS), which contains serine (Ser, S) with a small side chain, and the semi-crystalline region (GAGAGY), which contains tyrosine (Tyr, Y) with a bulky aromatic ring, together account for approximately 80% of silk fibroin. These regions are closely related to its

material properties. Therefore, inhibiting crystal structure formation in silk fibroin through side-chain modification could enable control over its physical properties.

In this study, modified regenerated silk fibroin (SF) films and resins were fabricated via acylation of the crystalline regions using various carboxylic anhydrides. Additionally, to improve the miscibility between silk fibroin and flexible polymers in composite materials, the flexible polymer was modified with model peptides that mimic the repetitive sequences of silk fibroin's crystalline regions.

The results showed that silk fibroin modified by acylation exhibited changes in both structural and mechanical properties in film and resin forms, depending on the acyl chain length. Furthermore, in silk fibroin–polyurethane composites, polyurethane modified with a model peptide of silk fibroin successfully enhanced mechanical properties and induced structural changes in the material, without altering the amount of polyurethane used.

バイオマス由来骨格を導入した脂肪族ポリカルボナート材料の創製

中野 幸司

東京農工大学大学院工学研究院・教授

研究の目的

エポキシドと二酸化炭素（CO₂）との交互共重合によって脂肪族ポリカルボナートが得られる。本共重合は、自然界に豊富に存在する CO₂ を原料として有効利用するという点で、非常に重要なポリマー合成技術である。本研究では、このポリマー合成技術とバイオマスとの融合によって新たなポリマー材料を創製することを目的に、以下の研究を実施する。

(1)セルロースと脂肪族ポリカルボナートを融合したポリマー材料の開発：ポリプロピレンカルボナート（PPC）は、汎用的なモノマーであるプロピレンオキシドから得られる脂肪族ポリカルボナートである。高い透明性やガスバリア性、生分解性などの特長を示すが、ガラス転移温度（T_g）や力学的強度が低く”軟らかい”材料である。そこで本研究では、”軟らかい”PPC に対して”硬い”セルロースを組み合わせることで、PPC の弱点を補完した新規ポリマー材料の創製を目指す。

(2)バイオマス由来骨格を側鎖に組み込んだ脂肪族ポリカルボナートの開発：脂肪族ポリカルボナートの物性は、用いるエポキシドモノマー、すなわち側鎖構造によって制御できる。例えば、メチル基を側鎖とする PPC の T_g が 30 °C 程度であるのに対し、シクロヘキセンオキシドを用いて得られる脂肪族ポリカルボナートの T_g は 100 °C 程度に向上する。本研究では、リグニンなどのバイオマスから得られる骨格を置換基として組み込んだエポキシドと CO₂ との共重合により、バイオマス由来骨格を側鎖に組み込んだ新規脂肪族ポリカルボナートの開発を目指す。

本年度の成果

(1)セルロースと脂肪族ポリカルボナートを融合したポリマー材料の開発：

酢酸セルロース CA を主鎖、PPC を側鎖とするグラフト共重合体を設計した。コバルトサレン錯体を触媒、酢酸セルロースを連鎖移動剤に用いて、プロピレンオキシドと CO₂ との交互共重合をおこなった。得られたポリマーの分子量は、連鎖移動剤として用いた酢酸セルロースの分子量よりもはるかに大きく、PPC 鎖の生成も確認できたことから、目的のグラフト共重合体が生成していることがわかった。また、連鎖移動剤となる酢酸セルロースの添加量や置換度を変化させて共重合をおこなうことで、側鎖 PPC の差長や置換数が異なるグラフト共重合体の合成にも成功した。

次に、PPC に対してグラフト共重合体を添加したブレンド材料を調製し、その力学的性質の評価をおこなった。その結果、PPC 単体に比べてブレンドフィルムの引張強度が向上することがわかった。また、グラフト共重合体の添加量や、添加するグラフト共重合体中の

PPC 鎖の長さが増加するにつれて、引張強度が向上し増加することもわかった。

(2) バイオマス由来骨格を側鎖に組み込んだ脂肪族ポリカルボナートの開発

リグニンの酸化分解により製造可能なアセトバニロンを置換したアセトバニロングリシジルエーテルを合成し、二酸化炭素との交互共重合をおこなった。エポキシドとしてアセトバニロングリシジルエーテルのみを用いた場合には、共重合が進行せず、環状カルボナートが生成するのみであった。一方、アセトバニロングリシジルエーテル、プロピレンオキシド、CO₂ の三元共重合をおこなったところ、アセトバニロングリシジルエーテルが主鎖に組み込まれたポリマーが生成した。得られたポリマーの構造解析の結果、エポキシドが連続して開環することによって生じるエーテル結合を含むポリ（エーテルーカルボナート）が生成していることがわかった。

2024 年度の業績

原著論文

なし

総説・本

なし

国際学会発表

1. Tatsuya HIGUCHI, Shota HAYAKAWA, and ○Koji NAKANO: Synthesis and Properties of ABA-type Triblock Copolymers consisting of Polycarbonates and Polycycloalkenes, International Symposium on Fiber Science and Technology 2024, Nov 26, 2024, Kyoto, Japan
2. ○Kaito SHIOBARA, Ayano IIDA, and Koji NAKANO: Synthesis, Physical Properties, and Application of Aliphatic Polycarbonate-Cellulose Graft Copolymers, International Symposium on Fiber Science and Technology 2024, Nov 28, 2024, Kyoto, Japan
3. ○Yudai NISHIKAWA, Yuji KANAO, and Koji NAKANO: Block Copolymers Consisting of Aliphatic Polycarbonates and Poly(amino acid)s: Precision Synthesis and Physical Properties, International Symposium on Fiber Science and Technology 2024, Nov 28, 2024, Kyoto, Japan

国内学会発表

1. ○岡本一星、渡辺主税、中野幸司：“脂肪族ポリカルボナートを主鎖に持つグラフト共重合体の合成と物性” 日本化学会第 105 春季年会、2025 年 3 月 28 日、関西大学、大阪

メールアドレス: k_nakano@cc.tuat.ac.jp

ホームページ: <https://web.tuat.ac.jp/~nakano/index.html>

Development of Aliphatic Polycarbonate-based Polymer Materials with Biomass-derived Skeletons

Koji NAKANO

Professor, Tokyo University of Agriculture and Technology

Purpose

The alternating copolymerization of epoxides and carbon dioxide (CO₂) gives aliphatic polycarbonates. This copolymerization is an extremely important polymer synthesis process from the point of view of utilizing abundant CO₂ as a raw material. In this study, we aim to develop new polymer materials by combining this polymer synthesis process with biomass.

(1)Development of novel polymer materials consisting of cellulose and aliphatic polycarbonates: The alternating copolymerization of propylene oxide, a widely used monomer, with CO₂ gives poly(propylene carbonate) (PPC). PPC is highly transparent materials and exhibits characteristics such as high gas barrier properties and biodegradability. However, it has a low glass transition temperature (*T_g*) and poor mechanical strength, making it a relatively "soft" material. In this work, we aim to develop novel polymer materials, which complement the disadvantages of PPC, by combining "soft" PPC and "hard" cellulose.

(2)Development of aliphatic polycarbonates with biomass-derived skeletons in their side chains: The physical properties of aliphatic polycarbonates can be controlled by the epoxide monomers employed, in other words, by the structure of the side chains. For example, the *T_g* of PPC, which has a methyl group as the side chain, is around 30 °C, while the *T_g* of the cyclohexene-derived aliphatic polycarbonates increases to approximately 100 °C. In this work, we aim to develop novel aliphatic polycarbonates by the copolymerization of CO₂ with epoxides which has biomass-derived skeletons.

Achievement of this year

(1)Development of novel polymer materials consisting of cellulose and aliphatic polycarbonates: The graft copolymers with cellulose acetate as the main chain and PPC as the side chain were designed. The copolymerization of propylene oxide with CO₂ was carried out by using the cobalt-salen complex as a catalyst and cellulose acetate as a chain transfer agent. The molecular weight of the resulting polymer materials was found to be much higher than that of the starting cellulose acetate. The formation of the PPC chain was also confirmed. These results clearly show the successful synthesis of the target graft copolymers. A series of graft copolymers with the different PPC chain length and degree of substituent were also prepared by changing the amount of cellulose acetate and/or the degree of substituent of the starting cellulose acetate.

The PPC/graft copolymer blend films were prepared and found to show higher tensile strength than

the parent PPC. The tensile strength becomes higher with increase in the amount of the graft copolymer and the PPC chain length in the graft copolymer.

(2)Development of aliphatic polycarbonates with biomass-derived skeletons in their side chains: Acetovanillone glycidyl ether was prepared and applied to the copolymerization with CO₂. The copolymerization of acetovanillone glycidyl ether with CO₂ did not proceed and gave only the corresponding cyclic carbonate. In contrast, the terpolymerization of acetovanillone glycidyl ether, propylene oxide, and CO₂ afforded terpolymers containing the acetovanillone glycidyl ether-derived skeleton. The resulting terpolymers were found to containing the ether linkage via the successive ring-opening of epoxides as well as the carbonate linkage.

硫酸化セルロースナノファイバー上での 導電性高分子ポリ(3,4-エチレンジオキシチオフェン)の重合とその導電特性に関する調査

下村 武史

東京農工大学大学院工学研究院・教授

研究の目的

近年、バイオマス資源を機能性ポリマーに組み込む研究が国内外で注目を集めている。ポリ(3,4-エチレンジオキシチオフェン)：ポリ(スチレンスルホン酸)(PEDOT:PSS)は、最も商業的に成功した導電性ポリマーとして知られている。他の導電性ポリマーとは異なり、PEDOT:PSSは、電気伝導性をもたらす疎水性のPEDOTと、水媒体への安定した分散を可能にする親水性のPSSとの間でイオン複合体を形成するため、水に安定して分散する。PSSは非導電性ではあるが、PEDOT:PSSに親水性を付与し、加工性を向上させる上で重要な役割を果たしている。さらに、PSSはスルホン酸基を含んでおり、これは負電荷をもつ解離基として働き、半導体であるPEDOTの主鎖上の正電荷を安定化させ、アクセプタードーパントとして機能する。また、PEDOT:PSSでは、石油由来のPSSが70 wt%以上を占めるため、これをバイオマス由来資源に置き換えられる可能性がある。本研究では、PSSを硫酸化セルロースナノファイバー(s-CNF)に置き換え、PEDOT:s-CNFを合成し、他のスルホン酸による追加ドーピングの効果を含め、そのドーピング状態と導電性の関係を調べた。PEDOT:PSSでは、重合時にPSS分子がEDOT分子を取り囲み、水分散剤とPEDOTのドーパントという2つの役割を果たしているが、s-CNFを用いた場合の具体的な役割についてはまだ不明な点も多い。PEDOT:s-CNFのドーピングメカニズムを総合的に理解することは、導電性を向上させるために必要であると考えられる。

本年度の成果

硫酸化セルロースナノファイバー上に重合したPEDOT(PEDOT:s-CNF)の合成に成功し、PEDOT:s-CNFの導電性とドーピング状態の関係を調査した。その結果、PEDOTの重合が進むにつれて導電性が向上し、最大で1.5 mS cm⁻¹程度の導電性が得られた。しかし、過剰な重合は電気伝導率を低下させることも明らかとなった。X線光電子分光法とゼータ電位測定法の結果はPEDOT重合が過剰状態に進むにつれて、ドーピング濃度が減少することを示しており、これはPEDOTモノマーの添加量を増やすにつれて、ドーパントとしての機能しているs-CNF上の硫酸基の枯渇に起因することがわかった。一方、過剰重合によるゼータ電位シールド効果の減少は、硫酸基の枯渇のみに起因するものではなく、当初はs-CNFの硫酸基の負電荷の周辺に局在していたPEDOTの正電荷キャリアが、凝集または結晶化したPEDOT分子内を拡散することでシールド効果が緩和されたためと考えられた。次に、スルホン基を含む追加のドーパントの組み込みを実施し、導電性向上に大

きく寄与することを確認した。ドーパントとして p-トルエンスルホン酸 (PTSA) を添加することで導電率が上昇し、約 10 mS cm^{-1} に達することがわかった。しかし、PTSA 濃度が高くなると、その強い酸性により s-CNF 上の硫酸基の解離度が低下し、逆にドーピング効率が低下するという課題が発生した。高い導電率を得るためには、s-CNF の硫酸基の密度を高める必要があり、より高い DS 値が有利と考えられる。この結果により、PEDOT:PSS の PSS をバイオマス由来材料で置き換える可能性を明らかにすることができた。また、PSS の代わりにリグニンスルホン酸 (SL) を用いて PEDOT:SL の合成にも成功し、導電率が発現することを確認した。

2024 年度の業績

原著論文

1. Naofumi TAKAHASHI, Atsuya OGO and Takeshi SHIMOMURA (2025) "Polymerization of poly(3,4-ethylenedioxythiophene) on sulfated cellulose nanofiber and its conducting property". Materials, 18, 1273 (14pages) doi: 10.3390/ma18061273

総説・本

なし

国際学会発表

1. ○Takeshi SHIMOMURA, Naoki OKADA, Kohei SATO and Shinji KANEHASHI: Thermoelectric property and anomalous large Seebeck coefficient of cryogels incorporating poly(3-hexylthiophene) nanofiber, ISF2024, Nov 26 2024, Kyoto, JAPAN

国内学会発表

1. ○下村 武史、後藤 春香: 導電性高分子 PEDOT:PSS の超臨界乾燥を用いたエアロゲルの作製と熱電特性評価、72 回応用物理学会春季学術講演会、2025 年 3 月 16 日、東京理科大学野田キャンパス、千葉

メールアドレス: simo@cc.tuat.ac.jp

ホームページ: <https://web.tuat.ac.jp/~simo/>

**Polymerization of conducting polymer, poly(3,4-ethylenedioxythiophene),
on sulfated cellulose nanofiber and its conducting property**

Takeshi SHIMOMURA

Professor, Tokyo University of Agriculture and Technology

Purpose

Recent research on incorporating biomass resources into functional polymers has garnered significant attention. Poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(styrene sulfonate) (PEDOT:PSS) is the most commercially successful conducting polymer. Unlike other conducting polymers, PEDOT:PSS is stably dispersed in water because it forms an ionic complex between hydrophobic PEDOT, which provides electrical conductivity, and hydrophilic PSS, which ensures stable dispersion in aqueous media. Although PSS is non-conductive, it plays a crucial role in imparting hydrophilic properties to PEDOT:PSS, enhancing its processability. Additionally, PSS contains sulfonic acid groups that serve as negatively charged dissociating groups, stabilizing the positive charge on the semiconducting PEDOT backbone and acting as an acceptor dopant. In PEDOT:PSS, over 70 wt% of petroleum-derived PSS has an opportunity for partial substitution with biomass-based resources. In this study, we replaced PSS to sulfated cellulose nanofiber (s-CNF) and synthesized PEDOT:s-CNF, and examined the relationship between its doping state and conductivity, including the effect of additional doping with other sulfonic acids. In PEDOT:PSS, PSS molecules surround EDOT molecules during polymerization, serving dual roles as a water dispersant and a dopant for PEDOT; however, the specific role of s-CNF in this context remains unclear. A comprehensive understanding of the doping mechanism in PEDOT:s-CNF is necessary to enhance its conductivity.

Achievement of this year

PEDOT polymerized on sulfated cellulose nanofiber (PEDOT:s-CNF) was successfully synthesized, and the relationship between conductivity and the doping state of PEDOT:s-CNF was investigated. The results indicate that conductivity increases as PEDOT polymerization progresses and the optimal amount of EDOT monomer required to maximize conductivity ($\sim 1.5 \text{ mS cm}^{-1}$) is determined by the amount of sulfate groups of s-CNF. However, excessive polymerization reduces electrical conductivity. Based on X-ray photoelectron spectroscopy and zeta potential measurements, the doping concentration decreases as PEDOT polymerization progresses to an excess state. This decrease is attributed to the depletion of sulfate groups, which act as dopants, on s-CNFs, occurring as a consequence of the addition of PEDOT monomers. On the other hand, the reduction in zeta potential shielding at the excessive polymerization could not be solely attributed to the depletion of sulfate groups. The positive carriers in PEDOT, initially localized around the negative charge of the sulfate

groups of s-CNF, migrated in aggregated or crystallized PEDOT molecules, thereby relaxing the shielding effect. Enhancing the degree of sulfate group substitution on s-CNFs and incorporating additional dopants containing sulfonic groups improved conductivity. Specifically, adding p-toluenesulfonic acid (PTSA) as a dopant increased conductivity, reaching approximately 10 mS cm⁻¹. However, at higher PTSA concentrations, the strong acidity of sulfonic groups reduced the degree of sulfate group dissociation, leading to a decline in doping efficiency. To achieve high conductivity, increasing the density of sulfate groups is necessary, so s-CNFs with high DS value also had an advantage. The results has indicated the possibility of replacing PSS of PEDOT:PSS with bio-based materials. We also confirmed the synthesis of PEDOT:SL using sulfonated lignin (SL) instead of PSS and the development of conductivity.

カシューナッツ殻油を原料とすることを特徴とした高分子合成

荻野 賢司

東京農工大学大学院工学研究院・教授

研究協力者

兼橋 真二

研究の目的

近年、合成ポリマーの大量生産による石油資源の枯渇が懸念され、植物をはじめとする再生可能なバイオマス为原料とするバイオベースポリマーの開発が注目されている。カシューナッツの殻から得られる植物油 (CNSL) は、非可食部のバイオマスであり、バイオベースポリマーの原料として適していると考えられる。カシューナッツの殻はカシューナッツの生産拠点に集約されており、CNSL は殻を圧搾するという簡単なプロセスで得られる。また、CNSL の主成分がカルダノールであることから精製が容易であり、安価で安定的に原料を得ることが可能である。本研究の目的は、CNSL の主成分であるカルダノールを様々な高分子原料への物質変換し、様々な高分子を合成することである。カルダノールはメタアルキル置換フェノールであり、1) フェノール性水酸基、2) フェノール性化合物の特徴である求電子置換反応、3) 側鎖に含まれる2重結合の酸化開裂による官能基導入等を利用して高分子原料を合成する。1) では水酸基に求核置換反応を利用することでアミノ基やエポキシ基を導入する。一例として環状酸無水物と反応させ高分子半導体を合成する。2) ではカルダノールまたは水素化カルダノールの芳香族置換反応によるカップリング反応によりビスフェノールを合成、エポキシ樹脂やポリカーボネート、ポリエステル、ポリアリレートを合成する。3) では主としてオゾンを利用した酸化分解により、C15 の側鎖を C8 のアルデヒド、カルボン酸、アルコールに変換し、フェノール性水酸基を合わせた2官能モノマーを合成し、さまざまなポリマーの原料とする。これまでに市販され、報告されている高分子類似体と特徴的な構造的な違いや物性を強調できる高分子合成を計画し、環境問題に資するばかりではなく、それぞれの分野での分子設計に新しい指針をあたえることを目指す。

本年度の成果

2024 年度は2つの材料を設計、合成した。1つ目はカルダノールの水酸基を利用した求核置換反応及びその後の段階的な反応によりアミノ基を導入したカルダノールを合成した。これとナフタレンテトラカルボン酸無水物と反応させてN-アルキルナフタレンイミドを合成、電子輸送材料を合成した。通常、 π 共役系高分子の溶解性を確保するため、アルキル基は分岐したものが利用されるが、本研究のように芳香環をアルキル鎖中に導入するこ

とで、側鎖のコンフォメーションの自由度が増し、溶解性を確保することができ、さらに直鎖状アルキル基の特性も反映し、高分子鎖のパッキングが向上し、電子移動度の向上も達成できた（原著論文で報告）。2つ目はビスフェノール合成時に見出した新規物質を利用したモノマー合成である。カルボニル化合物としてアセトンを用いた場合には、ビスフェノール誘導体を經由した環状二量体が主生成物となった。この環状二量体をベースにした高分子は、芳香族環を含む多環構造に加え長い鎖状の炭素骨格を持つというユニークな構造があり、柔軟性、耐熱性、耐水性などの様々な物性を示すことが予測され、炭素骨格による閉環構造を持つことからより強固な耐久性のある素材の創製が期待できる。さらに、メソーゲンジャケット型の高分子液晶に類似した構造を有することから、液晶性の発現も見込める。本年度は環状2量体の合成の最適条件を確立するとともに、1つのフェノール性水酸基を利用した求核置換反応、エステル化反応によりアクリレートモノマーの合成に成功した（2025年6月の繊維学会年次大会で発表予定）。

2024年度の業績

原著論文

Cheng, J.; Fu, H.; Qiao, Y.; Xue, X.; Sudprasert, P.; Ogino, K. Synthesis and Electron-Transporting Properties of N-Type Polymers with Cardanol-Based Side Chains. *Micromachines* 2024, 15, 1475. <https://doi.org/10.3390/mi15121475>

総説・本

なし

国際学会発表

なし

国内学会発表

なし

メールアドレス: kogino@cc.tuat.ac.jp

ホームページ: <https://web.tuat.ac.jp/~oginolab/>

Synthesis of Polymers Utilizing Cashew Nut Shell Liquid as a Raw Material

Kenji OGINO

Professor, Tokyo University of Agriculture and Technology

Co-researcher

Shinji KANEHASHI

Purpose

In recent years, there has been concern about the depletion of petroleum resources due to the mass production of synthetic polymers, and the development of bio-based polymers made from renewable biomass such as plants has been attracting attention. Cashew nut shells (CNSL) are a non-edible biomass and are considered to be suitable as a raw material for bio-based polymers. Cashew nut shells are concentrated at cashew nut production centers, and CNSL is obtained by a simple process of squeezing the shells. In addition, since the main component of CNSL is cardanol, it is easy to purify and it is possible to obtain the raw material cheaply and stably. The purpose of this study is to convert cardanol, the main component of CNSL, into various polymer raw materials and synthesize various polymers. Cardanol is a meta-alkyl substituted phenol, and polymer raw materials are synthesized using 1) phenolic hydroxyl groups, 2) electrophilic substitution reactions that are characteristic of phenolic compounds, and 3) introduction of functional groups by oxidative cleavage of double bonds in the side chain. In 1), amino groups and epoxy groups are introduced into the hydroxyl groups by using nucleophilic substitution reactions. As an example, a polymer semiconductor is synthesized by reacting it with a cyclic acid anhydride. In step 2), bisphenols are synthesized by coupling reactions through aromatic substitution reactions of cardanol or hydrogenated cardanol, and epoxy resins, polycarbonates, polyesters, and polyarylates are synthesized. In step 3), C15 side chains are converted to C8 aldehydes, carboxylic acids, and alcohols by oxidative decomposition mainly using ozone, and bifunctional monomers combining phenolic hydroxyl groups are synthesized to be used as raw materials for various polymers. It is planned to synthesize polymers that can emphasize the characteristic structural differences and physical properties compared with polymer analogues that have been reported and are commercially available to date, with the aim of not only contributing to environmental issues but also providing new guidelines for molecular design in each field.

Achievement of this year

In FY2024, two materials were designed and synthesized. The first was the synthesis of cardanol with an amino group introduced by a nucleophilic substitution reaction using the hydroxyl group of cardanol and subsequent stepwise reactions. This was reacted with naphthalenetetracarboxylic

anhydride to synthesize N-alkylnaphthalene imide, and an electron transporting material was synthesized. Normally, branched alkyl groups are used to ensure the solubility of π -conjugated polymers, but by introducing aromatic rings into the alkyl chain as in this study, the degree of freedom of the side chain conformation is increased, ensuring solubility. In addition, the properties of linear alkyl groups are also reflected, improving the packing of the polymer chain and achieving improved electron mobility (reported in the original paper). The second was the synthesis of a monomer using a new substance discovered during the synthesis of bisphenol. When acetone was used as the carbonyl compound, a cyclic dimer via a bisphenol derivative was the main product. This cyclic dimer-based polymer has a unique structure that has a long chain-like carbon skeleton in addition to a polycyclic structure containing an aromatic ring, and is predicted to exhibit various physical properties such as flexibility, heat resistance, and water resistance. The closed ring structure of the carbon skeleton is expected to lead to the creation of stronger and more durable materials. Furthermore, since it has a structure similar to mesogen jacket-type polymer liquid crystals, it is expected to exhibit liquid crystal properties. This year, we established the optimal conditions for the synthesis of the cyclic dimer, and succeeded in synthesizing an acrylate monomer followed by a nucleophilic substitution reaction and esterification reaction using one phenolic hydroxyl group (to be presented at the Fiber Society Annual Meeting in June 2025).

3-カルボキシムコノラク톤を用いた導電性ゲルの作製およびポリマー合成

道信 剛志

東京科学大学物質理工学院・教授

研究協力者

磯辺 篤

研究の目的

長岡技術科学大学と森林総合研究所の共同研究により、リグニンの化学処理により得られる低分子芳香族化合物から、微生物代謝能を利用して(4*S*)-3-カルボキシムコノラク톤(4*S*-3CML)を生産するシステムが開発された。4*S*-3CMLは2つのカルボン酸を持つバイオマス由来分子であり、(1)水素結合による強力な分子間相互作用を誘起する添加剤、および(2)重合に適した二官能性モノマーとしての特性を持つ。また、本分子はキラル炭素を含むため、ポリ乳酸に続くバイオマス由来のキラル高分子創出に貢献し得る鍵分子となる可能性がある。しかしながら、これまでに4*S*-3CMLを用いた有用材料の開発は報告されていない。本研究では、4*S*-3CMLの新たな利用法として以下の2つのアプローチを検討した。一つ目は4*S*-3CMLを導電性ゲルの添加剤として用いる手法である。導電性ゲルは高い柔軟性と導電性を併せ持ち、フレキシブルデバイスへの応用が期待されている。特に、ポリビニルアルコール(PVA)とポリエチレンジオキシチオフェン：ポリスチレンスルホン酸(PEDOT:PSS)から構成される導電性ゲルに対し、これらと相互作用する分子を添加することで、強度や導電性の向上が報告されている。本研究では、4*S*-3CMLの官能基がPVAやPEDOT:PSSと相互作用する可能性について検討を行った。二つ目は、ポリエステル合成のためのモノマーとしての活用である。近年、環境問題への対応として、プラスチック製造において石油由来原料からバイオマス由来原料への転換が求められている。本研究では、4*S*-3CMLと α,ω -アルキレンジオールを重合させることでバイオマスポリエステルを合成し、その物性を評価した。

本年度の成果

4*S*-3CMLを添加したPVAとPEDOT:PSSの導電性ゲルは、4*S*-3CMLの添加量によって機械的強度を調整できることが明らかとなった。特に、PEDOT:PSS水溶液に対して5wt%の4*S*-3CMLを添加すると、引張強度が2.5 MPaから5.2 MPaへ増加し、破断伸びも247%から522%へ向上した。この機械強度の向上について赤外分光測定を用いて考察した結果、PVA結晶の増加および4*S*-3CMLとPVA間の水素結合形成が主な要因と結論付けた。一方、4*S*-3CMLを5wt%以上添加すると、PVA同士の絡み合いが阻害されるためゲルの機械強度は低下した。さらに、ゲルの導電性評価より、4*S*-3CMLの添加が導電性の向上にも寄

与することが分かった。ESR スペクトルおよび UV-vis-NIR 吸収スペクトルの結果から、PEDOT:PSS 中のラジカル濃度が増加していることが示唆され、これにより PEDOT から 4S-3CML への電子移動が生じ、p ドーピングが進行していると考えられる。また、4S-3CML とエチレングリコールを用いた塊状重合により対応するポリエステルを合成した。このポリエステルは熱分解温度が 193°C と高く、優れた耐熱性を示した。さらに、リグニン由来のバイオマスポリマーに着想を得て、本ポリエステルの金属板への接着性を評価したところ、アルミニウム板に対して優れた接着性を示すことが確認された。以上の結果から、4S-3CML は導電性ゲルの添加剤として、またバイオマスポリマーの原料として有望であることが明らかになった。

2024 年度の業績

原著論文

なし

総説・本

なし

国際学会発表

なし

国内学会発表

なし

メールアドレス: michinobu.t.aa@m.titech.ac.jp

ホームページ: <https://michinobu.mat.mac.titech.ac.jp/jp/index.html>

Development of conductive gels and polymers using 3-carboxymuconolactone

Tsuyoshi MICHINOBU

Professor, Institute of Science Tokyo

Co-researcher

Atsushi ISOBE

Purpose

Through a collaborative study between Nagaoka University of Technology and the Forestry and Forest Products Research Institute, a system to produce 4*S*-3-carboxymuconolactone (4*S*-3CML) using microbial metabolism from a low-molecular-weight aromatic compound obtained by chemical treatment of lignin was developed. 4*S*-3CML is a biomass-derived molecule containing two carboxyl groups and possesses the characteristics of (1) an additive that induces strong intermolecular interactions through hydrogen bonding, and (2) a bifunctional monomer suitable for polymerization. Additionally, since this molecule contains a chiral carbon, it has the potential to serve as a key compound in the development of biomass-derived chiral polymers, following in the footsteps of polylactic acid (PLA). However, to date, no studies have reported the development of functional materials using 4*S*-3CML. This study explores two novel approaches for utilizing 4*S*-3CML. The first approach involves using 4*S*-3CML as an additive for conductive gels. Conductive gels exhibit both high flexibility and electrical conductivity, making them promising materials for flexible devices. In particular, previous reports have shown that adding molecules capable of interacting with polyvinyl alcohol (PVA) and poly(3,4-ethylenedioxythiophene):polystyrene sulfonate (PEDOT:PSS) can enhance both the mechanical strength and conductivity of conductive gels. This study investigates the potential interactions between the functional groups of 4*S*-3CML and PVA or PEDOT:PSS. The second approach explores the use of 4*S*-3CML as a monomer for polyester synthesis. In recent years, the transition from petroleum-based raw materials to biomass-derived raw materials has been increasingly emphasized to address environmental issues in plastic production. In this study, 4*S*-3CML was polymerized with α,ω -alkylene diols to synthesize biomass-derived polyesters, and their physical properties were evaluated.

Achievement of this year

It was found that the mechanical strength of the PVA/PEDOT:PSS conductive gel containing 4*S*-3CML could be adjusted by varying the amount of added 4*S*-3CML. In particular, when 5wt% of 4*S*-3CML was added to the PEDOT:PSS aqueous solution, the tensile strength increased from 2.5 MPa to 5.2 MPa, and the elongation at break improved from 247% to 522%. Infrared spectroscopy analysis

was conducted to investigate the reason for the enhanced mechanical strength, leading to the conclusion that the increase in PVA crystallinity and the formation of hydrogen bonds between 4*S*-3CML and PVA were the main contributing factors. On the other hand, when more than 5wt% of 4*S*-3CML was added, the entanglement of PVA chains was hindered, resulting in a decrease in the mechanical strength of gels. Furthermore, the electrical conductivity measurements revealed that the addition of 4*S*-3CML also contributed to improved conductivity. ESR spectra and UV-vis-NIR absorption spectra suggested an increase in radical concentration within PEDOT:PSS, indicating that electron transfer from PEDOT to 4*S*-3CML occurred, leading to the progression of p-doping. Additionally, bulk polymerization of 4*S*-3CML with ethylene glycol produced the corresponding polyester. This polyester exhibited a high thermal decomposition temperature of 193°C, demonstrating excellent thermal stability. Inspired by lignin-derived biomass polymers, its adhesion properties to metal plates were also evaluated. Preliminary findings confirmed that the polyester exhibited excellent adhesion to aluminum plates. These results suggest that 4*S*-3CML is a promising material both as an additive for conductive gels and as a raw material for biomass-based polymers.

課題 3 研究成果 執筆者リスト

バイオマスガス化による水素製造及び新規触媒によるバイオオイルの改質

弘前大学地域戦略研究所・教授 官 国清

バイオ水素生産技術／バイオ液体燃料生産技術の開発

公益財団法人 地球環境産業技術研究機構 バイオ研究グループ

・グループリーダー／主席研究員 乾 将行

バイオマス糖化／水蒸気改質

／水素化改質によるバイオオイルからの液体燃料の製造

東京農工大学大学院工学研究院・教授 銭 衛華

バイオマスガス化による水素製造及び新規触媒によるバイオオイルの改質

官 国清

弘前大学地域戦略研究所・教授

研究の目的

バイオマスガス化はバイオマスからの水素製造に最も多く用いられている技術である。しかし、バイオマスガス化の時、多くのタールが発生し、ガス化炉の効率が低下するだけでなく、タールの低温凝縮によるガス化システムの配管閉塞などのトラブルになる。本研究ではバイオマスの熱分解とバイオマスチャーのガス化を分離することによりバイオマスガス化の際に生じるタールによる問題の回避を実現することを目的とし、新規バイオマスガス化炉を設計・試作する。また、草本系バイオマス（稲わらや、籾殻、ジャイアントミスカンサス、ネピアグラスなど）から高効率な水素生産を実現するため、ガス化しにくい草本系バイオマスとガス化しやすいバイオマス（例えば、海草やバナナ皮など）共ガス化技術も開発する。また、より低温ガス化を実現するために、触媒を利用した触媒ガス化も行う。

また、低コストの農林業バイオマス残渣からバイオ液体燃料への変換技術として、常圧下でのバイオマス熱分解は技術的にも容易で、バイオマス残渣をさまざまな製品へ変換することができることから、バイオ燃料においてとりわけ有望な技術の一つである。しかしながら、熱分解により得られるバイオオイルは複雑な組成と高い分子内の酸素含有率を持ち、また含水量も高く、直接燃料として使用することができない。この問題を解決するために、接触熱分解や水素化脱酸素などバイオオイルの素含有量を低減するアップグレード技術が研究されているが、これらの方法は最終的なアップグレードがされたバイオオイルの収率が低く、さらにはコークス生成による触媒の急速な失活など多くの問題があり、実用化には至っていない。そこで、本研究では、バイオオイルの接触分解脱酸素化における高活性、高選択性及び高耐久性を有する多孔質触媒を調製し、高品質・高収率のバイオ燃料（バイオ燃料の酸素含有量：＜10wt%）生産技術を開発する。

本年度の成果

本年度では、前年度に引き続き、草本系バイオマス（つまり、研究開発課題1から提供されるさくら福姫とモンスター農工大1号2種類の稲わらと籾殻、赤材桑木と通常の桑木、青森産ジャイアントミスカンサスなど）を更に低温で水素生成量を向上できるために、アルカリ触媒や鉄、ニッケルベース触媒を用いた水蒸気共ガス化特性を調べた。また、バッチ型流動層反応器を用い、上記バイオマスから得られたチャーのガス化実験も行った。バイオマス熱分解とチャーを分離した新規ガス化炉を設計・試作した。結果としては、原料稲わらに鉄を担持された稲わらのバイオ炭を添加して水蒸気共ガス化の時、バイオ炭の添

加量が多いほど、ガス化効率を高めた。特に添加量が 50% になった場合、水素ガス生成量が約 66% 増加した。触媒があった場合、すべてのバイオマス原料に対して、より低いガス化温度でバイオマス全量 (100%) 水蒸気ガス化条件を明らかにした。また、メソポーラスシェルを備えた中空ゼオライト触媒の調製方法を改良したほか、触媒の活性及び耐久性を改善するために、中空ゼオライト触媒に金属を担持し、触媒性能を評価した。特に、バイオマス熱分解から得られたバイオオイル中は大量な水を含むことを考慮して、ナノサイズ中空 HZSM-5 ゼオライト触媒合成と表面処理 (Desilication) による表面疎水性触媒を得た。また、新規階層構造を有するコア@シェル触媒多孔質触媒も開発した。その上、研究開発課題 1 から提供されるさくら福姫とモンスター農工大 1 号 2 種類の稲わらと籾殻や青森産ジャイアントミスカンサスの快速熱分解から得られたバイオオイルの改質を行った結果、既存の触媒と比べて、触媒の脱酸素性能及び芳香族炭化水素への選択性を高めた。

2024 年度の業績

原著論文

- ① Yushani Alahakoon, Aghietyas Choirun Az Zahra, Pattreeya Panpian, Lianfeng Zhu, Viridi Chaerusani, Penglong Jia, Dong-Jin Kang, Abuliti Abudula, and Guoqing Guan, “Inherent potassium-induced synergy and transformation during steam co-gasification of Giant Miscanthus with Napier grass biochar,” *International Journal of Hydrogen Energy*, 106(2025)1417-1428. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.02.018>
- ② Aghietyas Choirun Az Zahra, Hirozumi Okura, Viridi Chaerusani, Alahakoon Mudiyanselag Yushani Wimansika Alahakoon, Jenny Rizkiana, Dong-Jin Kang, Abuliti Abudula, and Guoqing Guan, “Optimizing Hydrogen Gas Production from Genetically Modified Rice Straw by Steam Co-Gasification,” *Waste Management*, 184(2024)132-141. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.05.031>

総説・本

- ① 官国清、“バイオマス水蒸気ガス化による水素製造” 第 2 章第 1 節 in 『バイオマスのガス化技術動向』、B5 判・195 頁、ISBN978-4-7813-1862-2、シーエムシー出版、pp29-37。2025 年 3 月 3 日。 https://www.cmcbooks.co.jp/products/detail.php?product_id=115843

国際学会発表

- (1) Yushani Alahakoon, Aghietyas Choirun Az Zahra, Lianfeng Zhu, Dong-Jin Kang, Suwadee Kongparakul, Chantip Samart, Katsuki Kusakabe, Abuliti Abudula, and Guoqing Guan, [Keynote speak] “Influence of biochar inherent potassium for the synergy during steam co-gasification of Napier grass (*Pennisetum purpureum*) biochar and Giant miscanthus (*Miscanthus giganteus*),” The 35th International Symposium on Chemical Engineering (ISChE 2024) at Okinawa Prefectural

Municipal Autonomy Hall, Naha, Japan. November 29-December 1, 2024

- (2)Pattreeya Panpian, Chaerusani Viridi, Az Zahra Aghietyas Choirun, Penglong Jia, Dong-jin Kang, Suwadee Kongparakul, Chanatip Samart, Katsuki Kusakab, Abuliti Abudula, and Guoqing Guan, “Catalytic deoxygenation of genetically modified rice straw (Monster TUAT) bio-oil using hybrid meso-microporous HZSM-5@AlKIT-6,” The 35th International Symposium on Chemical Engineering (ISChE 2024) at Okinawa Prefectural Municipal Autonomy Hall, Naha, Japan. November 29-December 1, 2024.
- (3)Guoqing Guan [Invited Talk], “Production of hydrogen from biomass wastes using a co-gasification process,” The 50th International Congress on Science, Technology and Technology-based Innovation (STT50), The Empress Hotel, Chiang Mai, Thailand, November 25-27.
- (4)Guoqing Guan, (Keynote Speak) “Development of heterostructure catalysts for bio-oil upgrading,” 16thGlobal Chinese Chemical Engineers Symposium (GCCES-2024) in Qingdao, China, August 10-14, 2024.
- (5)Guoqing Guan, (Keynote Speak) “Catalytic Upgrading of Bio-oil Derived from Fast Pyrolysis of Biomass,” 3rd International Conference on Advanced Materials and Characterization(AMC2024), Bangkok, Thailand, July 23-26, 2024.
- (6)Viridi Chaerusani, Pattreeya Panpian, Penglong Jia, Az Zahra Aghietyas Choirun, Abuliti Abudula and Guoqing Guan, “Ex-situ catalytic upgrading of bio-oil derived from rapid pyrolysis of cedar over copper impregnated hollow HZSM-5,” 8th International Symposium on Fuel and Energy (ISFE2024), Higashi-Hiroshima, July 1-2, 2024.
- (7)Aghietyas Choirun Az Zahra, Viridi Chaerusani, Alahakoon Mudiyansele Yushani Wimansika Alahakoon, Dong-Jin Kang, Abuliti Abudula and Guoqing Guan, “Hydrogen rich gas production by steam co-gasification of GMO rice straw with its Fe-promoted biochar,” 8th International Symposium on Fuel and Energy (ISFE2024), Higashi-Hiroshima, July 1-2, 2024.
- (8)(Keynote Speak) Guoqing Guan, “Development of Zeolite-based Catalysts for Bio-oil Upgrading,” 24th International Symposium on Analytical and Applied Pyrolysis (Pyro2024), Beijing, China, May 19-23, 2024.
- (9)(Best Poster Presentation Award) Yushani Alahakoon, Aghietyas Choirun Az Zahra, Viridi Chaerusani, Dong-Jin Kang, Samart Chanatip, Swadee Kongparakul, Abuliti Abudula, and Guoqing Guan, “Transformation Behavior of Potassium During Steam Co-gasification of Biomass & Biochar,” 2024 International Symposium on Energy, Environmental and Material Science (ISEEMS-2024), Hirosaki, Aomori, Japan, May 11, 2024.
- (10)(Excellent Oral Presentation Award) Aghietyas Choirun Az Zahra, Hirozumi Okura, Viridi Chaerusani, Dong-Jin Kang, Abuliti Abudula, and Guoqing Guan, “Enhancing synergy in raw biomass steam co-gasification with biochar,” 2024 International Symposium on Energy, Environmental and Material Science (ISEEMS-2024), Hirosaki, Aomori, Japan, May 11, 2024.

- (11)Tomoki Jin, Okura Hirozumi, Aghietyas Choirun Az Zahra, Lianfeng Zhu, Dong-Jin Kang, Abuliti Abudula, and Guoqing Guan, “Steam co-gasification of Giant Miscanthus and rice husks for hydrogen-rich fuel gas production,” 2024 International Symposium on Energy, Environmental and Material Science (ISEEMS-2024), Hirosaki, Aomori, Japan, May 11, 2024.
- (12)Okura Hirozumi, Aghietyas Choirun Az Zahra, Lianfeng Zhu, Dong-Jin Kang, Abuliti Abudula, and Guoqing Guan, “Steam gasification of Napier grass for hydrogen-rich fuel gas production,” 2024 International Symposium on Energy, Environmental and Material Science (ISEEMS-2024), Hirosaki, Aomori, Japan, May 11, 2024.
- (13)Pattreeya Panpian, Chaerusani Viridi, Az Zahra Aghietyas Choirun, Penglong Jia, Dong-jin Kand, Chanatip Samart, Suwadee Kongparakul, Abulati Abudula, and Guoqing Guan, “Deoxygenation of bio-oil from GMO rice straw using the meso-microporous catalyst of HZSM-5@AIKIT-6,” 2024 International Symposium on Energy, Environmental and Material Science (ISEEMS-2024), Hirosaki, Aomori, Japan, May 11, 2024.
- (14)Penglong Jia, Viridi Chaerusani, Pattreeya Panpian, Lianfeng Zhu, Wei Huang, Wenhao Lian, Jingxuan Yang, Abuliti Abudula, and Guoqing Guan, “Catalytic upgrading of bio-oil derived from Giant Miscanthus with Mesoporous HZSM-5 Zeolites,” 2024 International Symposium on Energy, Environmental and Material Science (ISEEMS-2024), Hirosaki, Aomori, Japan, May 11, 2024.
- (15)Viridi Chaerusani, Pattreeya Panpian, Jia Penglong, Az Zahra Aghietyas Choirun, Abuliti Abudula, and Guoqing Guan, “Ex-situ catalytic upgrading of bio-oil derived from pyrolysis of biomass over copper impregnated hollow HZSM-5,” 2024 International Symposium on Energy, Environmental and Material Science (ISEEMS-2024), Hirosaki, Aomori, Japan, May 11, 2024.
- (16)Lianfeng Zhu, Xueer Pan, Penglong Jia, Chao Wang, Guangwen Xu, Abuliti Abudula, and Guoqing Guan, “Experimental study on biochar gasification in a visualized steam fluidized bed: impact analysis of pyrolysis temperatures and steam flow rate,” 2024 International Symposium on Energy, Environmental and Material Science (ISEEMS-2024), Hirosaki, Aomori, Japan, May 11, 2024.

国内学会発表

- (1)朱 蓮峰, Penglong Jia, Yushani Alahakoon, Viridi Chaerusani, 姜 東鎮,阿布 里提,官 国清, “可視化流動床を用いた草本系バイオマス由来チャーの水蒸気ガス化,” 第 20 回バイオマス科学会議, 京都大学、2024 年 12 月 18－19 日。
- (2)Penglong Jia, Rui Yang, 朱蓮峰, Viridi Chaerusani, Pattreeya Panpian, 姜 東鎮, 阿布 里提, 官 国清, “バイオオイルアップグレードにおける中空構造 HZSM-5 触媒再利用性の向上,” 第 20 回バイオマス科学会議, 京都大学、2024 年 12 月 18－19 日。
- (3)パンピアン パットライヤ,チャエルサニヴィルディ,アッザーラアギティアスホイレン, リュウ カホウ,姜東鎮,阿布里提,官国清, “Deoxygenation of bio-oil from GMO rice straw using

the meso-microporous catalyst of HZSM-5@AIKIT-6,” 化学系学協会東北大会/Joint Meeting of the Tohoku Area Chemistry Societies,秋田大学手形キャンパス, 2024 年 9 月 14 日 - 15 日.

(4)アラハ クウンユシャニ,アッザーラアギティアスホイレン,Lianfeng Zhu,姜東鎮,阿布里提,官 国清, “Steam Co-gasification of Napier Grass (*Pennisetum purpureum*) Biochar and Giant Miscanthus (*Miscanthus giganteus*) to study the effect of Inherent Potassium for Co-gasification,” 化学系学協会東北大会/Joint Meeting of the Tohoku Area Chemistry Societies,秋田大学手形キャンパス, 2024 年 9 月 14 日 - 15 日.

(5)Jia Penglong, Chaerusani Viridi, Panpian Pattreeya, Zhu Lianfeng, 阿布 里提, 官 国清, 姜 東鎮, “Upgrading of Bio-Oil from Giant Miscanthus (GM) Through Catalytic Fast Pyrolysis Over Hollow Mesoporous ZSM-5 Zeolites,” 化学工学会第 55 回秋季大会, 北海道大学 札幌キャンパス, 2024 年 9 月 11 日 - 13 日.

(6)Zhu Lianfeng, Pan Xueer, Jia Penglong, Yushani Alahakoon, 阿布 里提, 官 国清, 姜 東鎮, “Impact of temperature and steam flow rate on GM biochar gasification in a visualized fluidized bed,” 化学工学会第 55 回秋季大会, 北海道大学 札幌キャンパス, 2024 年 9 月 11 日 - 13 日.

(7)ユシャニ アラハクウン、アギティアス ホイレン アッザーラ、ヴィルディ チャエルサニ、朱蓮峰、姜 東鎮、阿布 里提、官 国清、“ネピアグラスバイオ炭とジャイアントミスカンサスの水蒸気共ガス化中の固有カリウムの挙動、” 第 33 回日本エネルギー学会大会、早稲田大学、東京、2024 年 8 月 7-8 日。

(8)Pattreeya Panpian, Chaerusani Viridi, Az Zahra Aghietyas Choirun, Penglong Jia, Abulati Abudula, Guoqing Guan、“HZSM-5@AIKIT-6 触媒を用いた稲わら由来バイオオイルの脱酸素化、” 第 33 回日本エネルギー学会大会、早稲田大学、東京、2024 年 8 月 7-8 日。

メールアドレス: guan@hirosaki-u.ac.jp

ホームページ: [https://www.iri.hirosaki-](https://www.iri.hirosaki-u.ac.jp/sections/sustainableenergy/energyconversionengineering/guan-guoqing)

[u.ac.jp/sections/sustainableenergy/energyconversionengineering/guan-guoqing](https://www.iri.hirosaki-u.ac.jp/sections/sustainableenergy/energyconversionengineering/guan-guoqing)

Hydrogen Production from Biomass Gasification and Upgrading Bio-oil Derived from Biomass Pyrolysis

Guoqing Guan

Professor, Institute of Regional Innovation, Hirosaki University

Purpose

Biomass gasification is the most commonly used technology for hydrogen production from biomass. However, during biomass gasification, a large amount of tar is generated, which not only reduces the efficiency of the gasifier, but also causes problems such as pipe blockages in the gasification system due to low-temperature condensation of tar. In this research, we will design a new biomass gasifier with the aim of avoiding the problems caused by tar that occur during biomass gasification by separating biomass pyrolysis and biomass char gasification in the system. In addition, to achieve highly efficient hydrogen production from herbaceous biomass (e.g., rice straw, rice husks, giant miscanthus, Napier grass, etc.), we will combine herbaceous biomass that is difficult to gasify and biomass that is easy to gasify (e.g., seaweed and banana peel etc.) to develop a co-gasification technology. On the other hand, as a low-cost technology for converting agricultural and forestry biomass residue into bio-liquid fuel, biomass pyrolysis under normal pressure is technically easy. However, bio-oil obtained by pyrolysis has a complex composition, especially with high intramolecular oxygen content and water content, thus it cannot be used directly as a transportation fuel. To solve this problem, upgrading technologies to reduce the oxygen content of bio-oil, such as catalytic pyrolysis and hydrodeoxygenation, are being investigated, but these methods do not improve the yield of the final upgraded bio-oil, and also have many problems such as low efficiency and rapid deactivation of the catalyst due to coke formation, thus it has not been put into practical use. Therefore, in this study, we will prepare porous heterostructure catalysts with high activity, high selectivity, and high durability for catalytic cracking deoxygenation of bio-oil, and our objective is to produce high-quality and high-yield biofuel (oxygen content of biofuel < 10wt%) by creating novel catalysts.

Achievement of this year

In this fiscal year, we continuously investigated the steam co-gasification characteristics of herbaceous biomass (i.e., Sakura Fukuime and Monster Tokyo University of Agriculture and Technology No. 1(Monster TUAT-No. 1) red and normal mulberry woods provided by R&D Project 1, and Giant Miscanthus from Aomori) using alkali catalysts and iron and nickel-based catalysts in order to further improve the amount of hydrogen produced at low temperatures. We also conducted gasification experiments of char obtained from the above biomass using a batch-type fluidized bed reactor. We designed and fabricated a novel gasifier with an auger-type pyrolyzer and a fluidized-bed reactor for

char gasification. As a result, when rice straw biochar supported by iron was added to the raw rice straw for steam co-gasification, the gasification efficiency increased with the amount of biochar added. In particular, when the amount added was over 50%, the amount of hydrogen gas produced increased by about 66%. When a catalyst was present, we clarified the conditions for complete gasification at a lower gasification temperature for all biomass feedstocks. Meanwhile, we improved the preparation method of hollow zeolite catalysts with mesoporous shells, and in order to improve the activity and durability of the catalysts, we loaded metals onto hollow zeolite catalysts and evaluated their catalytic performance. In particular, considering that bio-oil obtained from biomass pyrolysis contains a large amount of water, we designed and synthesized catalysts with hydrophobic surface by synthesizing nano-sized hollow HZSM-5 zeolite catalysts and surface treatment (desilication). We also developed a core@shell catalyst porous catalyst with a novel hierarchical structure. As a result, we improved the deoxygenation performance and aromatic hydrocarbon selectivity of the catalysts compared to those existing catalysts.

バイオ水素生産技術／バイオ液体燃料生産技術の開発

乾 将行

公益財団法人 地球環境産業技術研究機構 バイオ研究グループ
・グループリーダー／主席研究員

研究協力者

寺本 陽彦 肥後 明佳

研究の目的

（１）バイオ水素生産技術の開発

有機物から微生物を使って水素を生産するプロセス（バイオ水素生産）は、光エネルギーに依存しない暗発酵と光エネルギーに依存した光発酵に分けられる。これらを組み合わせることによって、代表的な糖類であるグルコース 1 モルから理論的には最大で 12 モルの水素を作ることができる。CO₂ 循環によるゼロエミッション型の水素生産技術として期待されているが、経済性あるプロセスとして確立するためには、生産性を大幅に向上させる必要があるとされている。当研究グループではシャープ株式会社との共同研究開発において、ギ酸をベースとした高速バイオ水素生産プロセスを開発し、従来の発酵水素生産を 1 ～ 2 桁上回る生産速度を示している。しかしながら、このギ酸を介した水素生産経路ではグルコース 1 モルあたり水素 2 モルの生産が上限となる。そこで、現在、水素収率の向上を目指して、遺伝子工学により新規高収率暗発酵水素生産微生物の創製に取り組んでいる。また、暗発酵で副生する酢酸から光発酵によりさらに水素を生産させるため、光発酵を行う光合成細菌の改良を進めている。

（２）バイオ液体燃料生産技術の開発

当研究グループでは、アミノ酸生産に古くから利用されている有用工業微生物であるコリネ型細菌を用いた代謝工学技術の開発と独自の増殖非依存型バイオプロセス（RITE Bioprocess）の開発を進めてきた。これらの技術の組み合わせにより、非可食バイオマス由来糖類の高効率利用を可能とし、発酵阻害物質耐性と C6&C5 混合糖同時利用について高い優位性を示す高生産バイオプロセスを確立している。本研究では、これまでに確立した混合糖高効率利用エタノール生産コリネ型細菌を用いて多様な実バイオマス糖化液からのエタノール生産試験を行い、社会実装に向けた RITE Bioprocess の技術優位性を示すことを目標とする。

本年度の成果

（１）バイオ水素生産技術の開発

代謝工学による水素生産大腸菌の改良を進めた。大腸菌は嫌気発酵条件においてピルビン

酸からギ酸を介して水素を生産するが、解糖系で生成する NADH を水素生産に利用できない。本研究では、異種水素生成酵素（ヒドロゲナーゼ）による NADH からの水素生産系の強化を試みた。水素生産／利用系と NADH 再酸化系を欠失させた大腸菌を宿主として、NADH からの水素生産反応を触媒する異種ヒドロゲナーゼを導入し、得られた株の水素生成能を評価した。活性中心を構成する金属が異なる 2 種類のヒドロゲナーゼ（[NiFe]-ヒドロゲナーゼと [FeFe]-ヒドロゲナーゼ）について検討を進めたところ、これらの酵素の導入により NADH から水素生産が可能となることを示し、いずれの場合も遺伝子工学による鉄利用系の強化と培地への鉄の添加により水素生産能が向上することを明らかにした。後者の[FeFe]-ヒドロゲナーゼをベースに構築した水素生産系は前者と比較して Fe 要求性が著しく高いことが示された。

（２）バイオ液体燃料生産技術の開発

長野県長和町エネルギー作物研究会から提供されたバイオマスを原料としたバイオエタノール生産について検討を進めた。ジャイアントミスカンサスやエリアンサスのアルカリ前処理・酵素糖化条件の最適化により糖化効率が大幅に向上することを確認するとともに、得られた糖化液を基質としたエタノール生産試験において、試薬糖液を基質した場合と同等以上の生産濃度・対糖収率を示している。また、エタノール生産プロセスの改良に取り組み、モデル混合糖試薬を基質とした生産試験において、菌体触媒調製工程における酸素濃度の調節が触媒活性に大きく影響することを見出した。

2024 年度の業績

原著論文

なし

総説・本

なし

国際学会発表

なし

国内学会発表

1. ○乾 将行:“カーボンニュートラルの実現を目指したバイオものづくり技術の開発” 有機デバイス研究会 第 137 回研究会 「サステナビリティへの道」、2024 年 5 月 31 日、静岡大学、静岡
2. ○乾 将行:“カーボンニュートラルに貢献するバイオものづくり技術の開発” 未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウム in 関西、2024 年 9 月 19 日、大阪科学技術センター、大阪

3. ○乾 将行: “バイオリファイナリー研究／技術開発の最新動向 ～RITEにおける取組み～”
バイオリファイナリーの技術／開発動向と取組み・展望（株式会社技術情報センター）、
2025 年 2 月 27 日、東京・新お茶の水・連合会館、東京
4. ○乾 将行: “バイオものづくりの現状と展望 ～自動車業界への影響について” 第 382 回
科学技術展望懇談会（株式会社テクノバ）、2025 年 2 月 28 日、丸の内トラストタワーN
館、東京
5. ○寺本 陽彦、清水 哲、須田 雅子、乾 将行: “大腸菌を宿主とした異種ヒドロゲナーゼに
よる NADH からの水素生産系の開発” 日本農芸化学会 2025 年度大会、2025 年 3 月 6 日、
札幌コンベンションセンター、札幌

メールアドレス: inui@rite.or.jp

ホームページ: <http://www.rite.or.jp/>

Development of biohydrogen production and liquid biofuel production technologies

Masayuki INUI

**Group leader/Chief Researcher, Research Institute of Innovative Technology for the Earth,
Molecular Microbiology and Biotechnology Group**

Co-researcher

Haruhiko TERAMOTO Akiyoshi HIGO

Purpose

(1) Biohydrogen production

Hydrogen fermentation is divided into light-independent dark fermentation and light-dependent photofermentation. The biological hydrogen production technology offers the advantage of operating at ambient conditions, resulting in minimal environmental impact. Furthermore, it enables the development of a zero-emission process through CO₂ recycling, using biomass as the feedstock. Our research group, in collaboration with Sharp Corporation, has achieved a high-speed hydrogen production process utilizing a dark fermentation hydrogen production pathway involving formic acid. The hydrogen production rate achieved by our process is one to two orders of magnitude higher than that of conventional fermentation processes. On the basis on this achievement, we are working on improving hydrogen yield by introducing heterologous hydrogen-producing enzymes (hydrogenases) through metabolic engineering. Additionally, we are working on metabolic engineering of a photosynthetic bacterium for photofermentative hydrogen production from acetate, a by-product of the dark fermentative hydrogen production.

(2) Liquid biofuel production

Our research group has been advancing the development of metabolic engineering technologies using a coryneform bacterium, an industrially valuable microorganism with a long history of application in amino acid production. In conjunction with this, we have also developed a proprietary growth-independent bioprocess known as RITE Bioprocess. The combination of these technologies enables the highly efficient utilization of non-edible biomass-derived sugars, establishing a high-yield bioprocess that demonstrates significant advantages in terms of fermentation inhibitor tolerance and simultaneous utilization of C₆&C₅ mixed sugars. Building upon these foundational technologies, in this project, we are constructing an ethanol production process from a wide range of non-edible biomass feedstocks and obtaining proof-of-concept data to move towards practical applications.

Achievement of this year

(1) Biohydrogen production

We proceeded metabolic engineering of *Escherichia coli* for dark fermentative hydrogen production. Although *E. coli* produces hydrogen via formate from pyruvate, it cannot use NADH generated from glycolysis to produce hydrogen. In this study, we tried to enhance the NADH-dependent hydrogen production system based on heterologously expressed hydrogenase. We used an *E. coli* strain with inactivation of hydrogen production/utilization and NADH reoxidation pathways to evaluate hydrogen production in vivo based on heterologous hydrogenase introduced. It was demonstrated that introduction of either of two different types of hydrogenases, [NiFe]-hydrogenase and [FeFe]-hydrogenase, enabled hydrogen production from NADH, and that genetic engineering for enhancement of Fe utilization and addition of Fe to the culture medium were effective for improvement of the hydrogen production. Notably, the Fe requirement in the [FeFe]-hydrogenase-based hydrogen production system was extremely high compared to the [NiFe]-hydrogenase-based one.

(2) Liquid biofuel production

We have been examining the use of biomass provided from Study Group on Energy Crops in Nagawa Town, Nagano as a feedstock for biological ethanol production. We have optimized conditions for alkali pretreatment and enzymatic saccharification of some energy crops, such as *Miscanthus* and *Erianthus* species, resulting in a marked increase in the saccharification efficiency. Then our RITE bioprocess for the production of ethanol from the sugar mixtures obtained have demonstrated high titer and yield comparable to the production from reagent sugar mixture. We also examined improvement of the bioprocess using the reagent sugar mixture as a substrate, and found that adjusting the O₂ concentration during the microbial catalyst preparation process markedly affected the ethanol-producing activity.

バイオマス糖化／水蒸気改質／水素化改質によるバイオオイルからの液体燃料の製造

銭 衛華

東京農工大学大学院工学研究院・教授

研究協力者

神谷 憲児

研究の目的

バイオマス糖化

リグノセルロース系バイオマス廃棄物を糖化し、微生物による水素生産を目指すものである。従来の酵素法は酵素コストが高いという課題があるが、当グループでは、繰り返し使用可能な固体酸触媒を用いることで大幅なコスト削減を図っている。特に、稲わらを用いた2段階水熱糖化プロセスにより、約70%の単糖収率を達成している。実用化に向けては、より高活性・高安定性の触媒開発や、バイオマスの種類に応じた反応条件の最適化が重要となる。バイオマスには陸上由来や水生由来の多様なものがあり、それぞれの成分や反応性が異なるため、それに対応した技術が必要である。本研究では、稲わらや建築廃材など多様なバイオマス廃棄物に柔軟に対応可能な、固体酸触媒を用いた水熱糖化システムの開発を行う。

水蒸気改質

水素は従来から工業用途で使用されてきたが、近年はグリーンエネルギーとしての重要性が高まっており、持続可能な供給方法の開発が進められている。現在主流の天然ガスからの水素製造はCO₂排出の課題があり、草本質系バイオマス由来のバイオオイルからの水素製造が注目されている。しかし、バイオオイルには含酸素化合物が多く含まれており、従来のNi系触媒ではシンタリングやコーク堆積が起こり、触媒劣化が課題である。これに対して、当研究グループでは、活性金属凝集を抑制するコアシェル型Ni触媒を開発し、CeO₂添加によりコーク生成も抑制することで高耐久性を実現した。ただし、この触媒は活性がやや低いという課題が残る。そこで本研究では、高比表面積を持つメソポーラスシリカSBA-15を触媒担体として用い、触媒と原料の接触面積を増やすことで水素収率向上とコーク堆積抑制を目指す。具体的には、SBA-15表面にAl₂O₃およびNiナノ粒子をゾル法で導入した触媒と、P123を用いた包括法でNi粒子を固定化した新規Ni系触媒の2種類を設計・開発する。

水素化改質によるバイオオイルからの液体燃料の製造

現在、地球温暖化対策としてCO₂排出削減が喫緊の課題となっており、バイオジェット燃料をはじめとするバイオ燃料の製造が求められている。草本質系バイオマスから得られるバイオオイルは、その有力な原料候補とされる。当研究グループでは、水素化処理と異性

化・クラッキングを同時に行える二機能触媒を用い、植物油や脂肪酸を一段階でバイオジェット燃料に変換する改良 HEFA 法を開発してきた。しかし、生産コストや原料確保の面で課題が残っており、より低コストな原料と効率的な製造法の開発が急務である。これまでに、廃棄物であるココナツコプラ由来のバイオオイルを用い、多機能触媒による水素化改質を行い、新たなバイオジェット燃料の製造法を構築したが、燃料収率の向上が今後の課題となっている。そこで本研究では、ゼオライトにアルカリ土類金属酸化物と遷移金属を担持した多機能触媒を設計し、ラウリン酸などのモデル化合物を用いて反応機構と各活性種の役割を解明する。また、流通式反応装置を用いた連続プロセスにより、ココナツコプラ由来のバイオオイルからの高効率なバイオジェット燃料製造を目指す。

本年度の成果

バイオマス糖化

本研究では、 Fe_3O_4 ナノ粒子をメソ孔テンプレートとして用い、リグニンを炭化処理し調製した多孔質炭素系固体酸触媒の開発を行った。 Fe_3O_4 除去前後の BET・SEM 分析から、比表面積が大幅に向上し、細孔形成が確認された。細孔有り触媒は、水熱糖化反応で原料液化率 80%、C6 糖収率 44% と、細孔無しの 1.7 倍の性能を示した。スルホン化の検討では濃硫酸とクロロスルホン酸を比較した結果、濃硫酸がより高いスルホ基導入効果と糖化性能を示した。濃硫酸処理では、200°C が最適温度であり、糖化性能と安定性のバランスが良好であった。特に 200°C・12 時間処理触媒は、3 回のリサイクル後も高い C6 糖収率 (67%) を維持し、クロロスルホン酸処理触媒に比べリサイクル性も優れていた。また、実バイオマスである稲わらを用いた二段階水熱糖化では、150°C での 120 分処理で C5 糖収率 96%、180°C での 15 分処理で最適な C6 糖収率と低い副生成物が得られ、段階的反應条件の有効性が確認された。以上から、 Fe_3O_4 をテンプレートとした細孔制御と、濃硫酸によるスルホ基導入は、再利用可能で高性能な固体酸触媒調製法として、バイオマス糖化に非常に有効であることが示された。

水蒸気改質

昨年度に引き続き、メソポーラスシリカ SBA-15 を基材とした Ni 触媒の水蒸気改質反応に取り組んだ。高活性を示した $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SBA-15}$ 触媒を基に、 H_2 収率向上を目的として助触媒 Ru を導入した $\text{Ni-Ru}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SBA-15}$ 触媒を新たに開発した。Ni-Ru バイメタルナノ粒子は NaBH_4 による還元法で調製し、ゾル法により SBA-15 表面に固定化させ、焼成し触媒とした。Ru 添加により H_2 収率の大幅な向上は見られなかったが、モデル原料である酢酸の転化率は約 10% 向上し、活性の改善が確認された。また、生成ガス中の CO が減少し、CO の水性ガスシフト反応による CO_2 への変換が促進されたと推察される。Ni 含有量の変化に関する実験では、Ni を含まない場合は転化率が低く、Ni と Ru を組み合わせたバイメタル触媒が高い活性を示した。さらに、2023 年度に高い H_2 収率を示した $\text{Ni}(\text{acac})_2$ 前駆体由来触媒に CeO_2 を添加し、その効果を検討した。Ce 添加量 0.2wt% の触媒は H_2 収率が 90% 以上と最も高く、

炭素析出も 1%未満に抑制された。一方、Ce 添加量が 1wt%以上になると H₂収率はかえって低下した。DTG 分析の結果からも、Ce 微量添加による炭素析出抑制効果が明確に確認された。以上より、Ni-Ru バイメタル化および CeO₂の微量添加は、触媒活性向上とコーク抑制に有効であり、SBA-15 ベースの水素製造用触媒の高性能化に貢献する結果が得られた。

水素化改質によるバイオオイルからの液体燃料の製造

本年度は、ゼオライト触媒の改良を継続し、Mg 種導入手法や Si/Al 比の変化によって酸特性を微細に調整し、水素化改質性能の最適化を図った。モデル化合物ラウリン酸メチルおよび実バイオオイルであるココナッツオイルを用いて、調製した触媒の性能評価を実施した。まず、Si/Al 比の異なるゼオライトを合成し、2023 年度に検討した Mg 種の導入を、従来の担持法に加えてイオン交換法でも実施した。これらのゼオライトに Pt 系金属を担持し触媒とした。触媒の比表面積（約 340 m²/g）は Si/Al 比に依存せず一定だったが、ブレンステッド酸量は Si/Al 比と相関があり、酸点を制御することが可能だった。触媒性能評価では、ラウリン酸メチルを用いた水素化改質で、Si/Al 比が低い触媒はブレンステッド酸が多く、異性化およびクラッキング反応が優位に進行した。しかし、Mg 種の導入により異性化活性を維持しつつ、クラッキング反応を抑制できた。また Si/Al 比の増加は、酸量減少を通じて金属サイトの活性や還元性を低下させ、脱酸素反応性の減衰につながることを示唆された。さらに、Mg 導入法の比較では、MgO 担持では Pt 金属サイトの電子状態が変化し、水素化脱酸素反応が主となり H₂消費量が多くなるのに対し、Mg イオン交換では Pt サイトの状態は変化せず、脱炭酸反応が優位になり、H₂消費量が抑制される傾向が確認された。実オイルであるココナッツオイルを用いた水素化改質では、2.5% MgO を担持した Pt 系ゼオライト触媒により、約 40.2%のジェット燃料収率、55.3%の異性化率を達成し、持続可能な航空燃料（SAF）への高効率な転換が可能であることを示した。

2024 年度の業績

原著論文

Shaohua She, Luh Putu Pitrayani Sukma, Mingming Peng, Hisakazu Shirai, Yuto Suzuki, Kenji Kamiya, Eika W. Qian, Hierarchically Structured Macro-Mesoporous Carbon Catalysts for Saccharification of Cellulose, Green Carbon, 10.1016/j.greenca.2024.11.006

総説・本

なし

国際学会発表

○Eika W. Qian, Mingming Peng, Hisakazu Shirai, Kenji Kamiya, Production of higher olefins in hydrodeoxygenation of methyl palmitate over reduced transition metal oxide catalysts, 18th ICC,

France, 2024

○Toshiya Tsunakawa, Mingming Peng, Kenji Kamiya, Eika W. Qian, Effect of acidity of zeolites on deoxygenation and isomerization over Pt-based bifunctional catalysts, The 2nd China-Japan Symposium on Catalysis, Shanghai, 2024

○Xinyu Wei, Mingming Peng, Kenji Kamiya, Eika W. Qian, Isomerization of Oleic Acid Using Micro/mesoporous ZSM-22 in Flow Reactor, The 2nd China-Japan Symposium on Catalysis, Shanghai, 2024

○Eika. W. Qian, Mingming Peng, Toshiya Tsunakawa, Kenji Kamiya, Design of Multifunctional Catalysts in Hydrotreating of Non-edible Vegetable Oil, 12th Singapore International Chemistry Conference, Singapore, 2024

国内学会発表

○Silmina, Meng Shen, Kenji Kamiya, Eika W. Qian, Bio-oil steam reforming using Ni nanoparticle encapsulated on Al₂O₃/SBA-15 catalyst, 石油学会 第 72 回研究発表会, 東京, 2024

○渡辺 ひかる, 余 少樺, 神谷 憲児, 銭 衛華, 固体超強酸を用いたリグノセルロース系バイオマスの水熱糖化, 第 28 回 JPIJS ポスターセッション, 東京, 2024

○高田俊平, 余 少樺, 渡辺ひかる, 神谷 憲児, 銭 衛華, 炭素系固体酸触媒表面の酸性官能基の制御, 第 33 回日本エネルギー学会大会, 東京, 2024

メールアドレス: whqian@cc.tuat.ac.jp

ホームページ: <http://web.tuat.ac.jp/~eqianlab.html>

**Saccharification of lignocellulosic biomass/ Production of hydrogen from bio-oil
via steam reforming/ Production of Liquid Fuel from Bio-oil via Hydrogenation**

Eika Weihua Qian

Professor, Tokyo University of Agriculture and Technology

Co-researcher

Kenji KAMIYA

Purpose

Saccharification of lignocellulosic biomass

This study aims to produce hydrogen via microorganism fermentation by saccharifying lignocellulosic biomass waste. While conventional enzymatic methods face the challenge of high enzyme costs, saccharification cost is significantly reduced by using reusable solid acid catalysts. Especially, a two-step hydrothermal saccharification process using rice straw has achieved a monosaccharide yield of approximately 70%. For practical application, it is essential to develop catalysts with higher activity and stability, as well as to optimize reaction conditions according to the type of biomass used. Biomass comes from a wide variety of terrestrial and aquatic sources, each with different components and reactivity, necessitating tailored technologies. This research focuses on developing a hydrothermal saccharification system using solid acid catalysts that can flexibly accommodate various types of biomass waste, such as rice straw and woody biomass.

Production of hydrogen from bio-oil via steam reforming

Hydrogen has long been used for industrial processes, but in recent years its importance as a green energy source has increased, driving the development of sustainable production methods. Currently, hydrogen production from steam reforming of natural gas is mainstream. However, it poses issues due to CO₂ emissions. As an alternative, hydrogen production from bio-oil derived from lignocellulosic biomass is gaining attention. Nevertheless, bio-oil contains a high proportion of oxygenated compounds, which causes problems such as sintering and coke deposition when using conventional Ni-based catalysts, leading to catalyst deactivation. Our research group has developed a core-shell type Ni catalyst that suppresses the aggregation of active metal particles and incorporates CeO₂ to reduce coke formation, therefore achieving high durability. However, these catalysts still have a problem of low activity compared to conventional catalysts. To address this, the present study aims to improve hydrogen yield and suppress coke deposition by increasing the contact area between the catalyst and the feedstock, using mesoporous silica SBA-15, which has a high specific surface area, as the catalyst support. Specifically, two types of novel Ni-based catalysts are being designed and developed: one that introduces Al₂O₃ and Ni nanoparticles onto the SBA-15 surface via a sol-gel

method, and another that immobilizes Ni particles using a co-condensation method with P123 as a structure-directing agent.

Production of Liquid Fuel from Bio-oil via Hydrogenation

Reducing CO₂ emissions has become an urgent global challenge in the fight against climate change, and the production of biofuels, including biojet fuel, is increasingly in demand. Bio-oil derived from lignocellulosic biomass is considered a promising feedstock for this purpose. Our research group has developed an improved HEFA (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids) method that enables the one-step conversion of vegetable oils and fatty acids into biojet fuel using a bifunctional catalyst capable of simultaneous hydrogenation, isomerization, and cracking. However, challenges remain in terms of production costs and feedstock availability, making the development of lower-cost raw materials and more efficient production methods a pressing issue. We have previously established a novel method for biojet fuel production by hydro-upgrading bio-oil derived from waste coconut copra using multifunctional catalysts. However, the jet fuel yield is still low. In this study, we aim to design a multifunctional catalyst by supporting alkaline earth metal oxides and transition metals on zeolite. Using model compounds such as lauric acid, we will investigate the reaction mechanism and clarify the roles of individual active species. Furthermore, we aim to establish a high-efficiency biojet fuel production process from coconut copra-derived bio-oil using a continuous flow reactor system.

Achievement of this year

Saccharification of lignocellulosic biomass

In this study, we developed a porous carbon-based solid acid catalyst by carbonizing lignin using Fe₃O₄ nanoparticles as a mesoporous template. BET and SEM analyses before and after Fe₃O₄ removal revealed a significant increase in specific surface area and the formation of well-defined pores. The porous catalyst exhibited a liquefaction rate of 80% and a C6 sugar yield of 44% in hydrothermal saccharification, demonstrating 1.7 times higher performance than the non-porous counterpart. In the sulfonation study, a comparison between concentrated sulfuric acid and chlorosulfonic acid showed that sulfuric acid introduced sulfonic groups more effectively and yielded better saccharification performance. A treatment temperature of 200 °C was found to be optimal, offering a good balance between catalytic activity and stability. Notably, the catalyst treated with sulfuric acid at 200 °C for 12 hours maintained a high C6 sugar yield (67%) even after three cycles of reuse, exhibiting superior recyclability compared to the catalyst treated with chlorosulfonic acid. Furthermore, in a two-step hydrothermal saccharification process using real biomass (rice straw), a C5 sugar yield of 96% was achieved with a 120-minute treatment at 150 °C, while an additional 15-minute treatment at 180 °C resulted in an optimal C6 sugar yield with minimal by-product formation, confirming the effectiveness of the staged reaction conditions. These findings demonstrate that pore structure control using Fe₃O₄ as a template, combined with sulfonic group introduction via concentrated sulfuric acid, is a highly

effective approach for preparing reusable, high-performance solid acid catalysts for biomass saccharification.

Production of hydrogen from bio-oil via steam reforming

Continuing from FY2023, we investigated the steam reforming reaction using Ni catalysts supported on mesoporous silica SBA-15. Based on the highly active Ni#Al₂O₃/SBA-15 catalyst, we newly developed a Ni-Ru#Al₂O₃/SBA-15 catalyst by introducing Ru as a promoter to enhance hydrogen (H₂) yield. The Ni-Ru bimetallic nanoparticles were synthesized via reduction with NaBH₄ and immobilized on the SBA-15 surface through a sol-gel method, followed by calcination to obtain the final catalyst. Although the addition of Ru did not result in a significant increase in H₂ yield, the conversion rate of acetic acid, used as a model compound, improved by approximately 10%, indicating enhanced catalytic activity. Furthermore, a reduction in CO concentration in the product gas was observed, suggesting that the water-gas shift reaction was promoted, converting CO into CO₂. Experiments on varying Ni content revealed that catalysts lacking Ni showed low conversion rates, whereas bimetallic Ni-Ru catalysts exhibited high activity. In addition, we investigated the effect of CeO₂ addition to the Ni(acac)₃-derived catalyst, which demonstrated high H₂ yields in FY2023. The catalyst with 0.2wt% CeO₂ exhibited the highest H₂ yield, exceeding 90%, while carbon deposition was suppressed to below 1%. Conversely, H₂ yield decreased when the CeO₂ content exceeded 1wt%. Thermogravimetric (DTG) analysis clearly confirmed the carbon deposition suppression effect of trace Ce addition. These results demonstrate that Ni-Ru bimetallic formation and trace CeO₂ addition are effective in enhancing catalytic activity and suppressing coking, contributing to the development of high-performance SBA-15-based catalysts for hydrogen production.

Production of Liquid Fuel from Bio-oil via Hydrogenation

In FY2024, we continued to improve zeolite catalysts by fine-tuning their acid properties through the introduction of Mg species and variations in the Si/Al ratio, aiming to optimize hydro-upgrading performance. The catalytic performance was evaluated using both a model compound, methyl laurate, and real bio-oil derived from coconut oil. First, zeolites with different Si/Al ratios were synthesized. In addition to the conventional impregnation method, Mg species were also introduced via ion-exchange. Pt-based metals were then supported on these zeolites to create the final catalysts. While the specific surface area of the catalysts (approximately 340 m²/g) remained consistent regardless of the Si/Al ratio, the amount of Brønsted acid sites correlated with the Si/Al ratio, indicating that acid site properties could be controlled. In performance evaluation using methyl laurate in hydro-upgrading, catalysts with lower Si/Al ratios possessed more Brønsted acid sites, promoting isomerization and cracking reactions. However, the introduction of Mg species allowed the suppression of cracking reactions while maintaining isomerization activity. Increasing the Si/Al ratio reduced the overall acid site density, which in turn decreased the activity and reducibility of the metal sites, suggesting a decline in deoxygenation performance. Furthermore, when comparing Mg introduction methods, MgO

impregnation altered the electronic state of Pt metal sites, promoting hydrogenation-type deoxygenation and increasing H₂ consumption. In contrast, Mg ion-exchange did not affect the Pt site properties, favoring decarboxylation reactions and resulting in lower H₂ consumption. In hydro-upgrading using real coconut oil, the Pt-based zeolite catalyst loaded with 2.5% MgO achieved a jet fuel yield of approximately 40.2% and an isomerization rate of 55.3%, demonstrating the potential for highly efficient conversion to sustainable aviation fuel (SAF).

課題 4 研究成果 執筆者リスト

余剰メタンを基質とするアップサイクリング技術の開発

東京農工大学大学院工学研究院・教授 寺田 昭彦

家畜排せつ物のメタン発酵と発酵残さの炭化を組み合わせたプロセスの設計

東京農工大学大学院工学研究院・教授 伏見 千尋

発酵残渣・炭化物施用による水管理を融合した水稻栽培における

温室効果ガスの削減

バイオマス利用残渣と畜産廃棄物の混合廃棄物等からの

高効率バイオガス回収技術の確立

メタン発酵残渣の炭化による吸着剤としての利用技術の確立

東京農工大学大学院工学研究院・准教授 利谷 翔平

温室効果ガス・栄養塩を考慮した物質循環モデルの構築

国立研究開発法人 産業技術総合研究所・上級主任研究員 林 彬勸

余剰メタンを基質とするアップサイクリング技術の開発

寺田 昭彦

東京農工大学大学院工学研究院・教授

研究協力者

大川 泰一郎

研究の目的

本研究課題では、水田で廃棄物として残存する稲わらを有機物源とし、畜産業から排出される窒素を高濃度に含む畜産廃水を混ぜ込んだ、乾式メタン発酵装置から回収される余剰バイオガスの有効利用を目指したアップサイクリング技術の開発を行う。従来水田に鋤き込まれ、メタン排出の温床となっている稲わらを畜産廃水と混ぜ合わせ、メタン発酵に必要な有機炭素源と窒素限を補完しあうことにより、水田・畜産業を繋ぐ持続可能な地産地消型のシステム構築が開発されてきた。一方、このシステムで中核を担う乾式メタン発酵では、回収されるバイオガスの供給分が過多になり、十分な利用ができないまま廃棄される可能性が指摘されている。そこで、余剰バイオガス利用の裾野を広げ、新しいバイオリファイナリー技術の構築に向け、余剰メタンをメタン酸化細菌への供給と、メタン酸化細菌のユニークな代謝機能による有価物産生の概念を新たに考案した。メタン酸化細菌の一部には、細胞内にタンパク質を高密度に蓄積する種や、バイオプラスチックや適合溶出の原料となるような物質産生を担う種が存在している。このような有用種を有効利用することにより、廃棄物から価値の高い物質を産生するようアップサイクリング技術の開発に繋げられる潜在性がある。したがって本研究では、水田と畜産業を繋ぐ地産地消の循環型システムに新たな付加価値を創出するため、メタン酸化細菌を用いたアップサイクリング技術の開発とその実現可能性評価の検討に取り組む。

本年度の成果

本年度は、メタン酸化細菌によるタンパク質産生の更なる収率向上に向けた検討と、新たなアップサイクリング技術の確立に向けた生体溶質の産生の評価を実施した。水田土壌および根圏のバイオマスを植種源として昨年度まで集積培養していたバイオマスを基に、窒素源を硝酸イオンからアンモニアに変更し、メタンと酸素の混合ガスを供給することによりタンパク質収率を評価した。窒素源をアンモニアに変更することにより、収率が 20% から 70% に上昇した。次に、供給ガスの組成をバイオガスに近づけるために、CO₂を導入した。その結果、収率は 50% に減少したものの、既往の研究と同等のタンパク質収率を得ることができた。供給メタン当たりのタンパク質生成速度は CO₂ を供給ガスに添加後に徐々に上昇することが示され、集積された微生物群集が効率的にタンパク質に変換できている

ことを示した。さらに、微生物群集で蓄えられたタンパク質のアミノ酸組成についても解析を進めた。

次に、メタン酸化細菌の他の有価物回収の可能性として、適合溶質として知られる環状アミノ酸であるエクトインの産生を目指した。高塩濃度下で獲得された *Methylovibrio* 属の単離菌を獲得した。ゲノム解析により、エクトインを産生可能な代謝経路を有していることが明らかになった。さらに、塩分濃度 6%において最大のエクトイン収率が得られることを実証した。細胞内に蓄積されたエクトインは真水を供給するバイオミルキングの工程で、効率的に細胞外へ抽出可能であった。一方、エクトインから水素化を経てヒドロキシエクトインが産生することが確認され、エクトインの収率向上に向けた単離菌株の培養条件の検討が必要となった。

2024 年度の業績

原著論文

Xu, T., Yasuda, S., Oba, K., Kuroiwa, M., Riya, S., Zhou, Y., Duan, J., Hori, T., Ookawa, T., Zhan, X. and Terada, A. 2025. Single cell protein production potential of enriched microbial populations from rice paddy soils and roots: Insights into protein yield enhancement by Methylophilaceae. *Bioresource Technology* 427, 132397. 10.1016/j.biortech.2025.132397

総説・本

なし

国際学会発表

なし

国内学会発表

藤井 一磨、小笠原 瑠里、黒岩 恵、利谷 翔平、寺田 昭彦

新奇メタン酸化細菌のエクトイン生産能力とバイオミルキングによる抽出方法の検討
第 59 回日本水環境学会年会、札幌、2025 年 3 月 19 日

メールアドレス: akte@cc.tuat.ac.jp

ホームページ: <https://web.tuat.ac.jp/~tuatebel/>

**Development of an upcycling bioprocess using excessive biogas
from dry anaerobic digestion of rice straw and livestock liquid manure**

Akihiko TERADA

Professor, Tokyo University of Agriculture and Technology

Co-researcher

Taiichiro OOKAWA

Purpose

This study develops an upcycling process by excessive biogas mainly consisting of methane, which is derived from the anaerobic digestion of rice straw and livestock manure as carbon and nitrogen sources. By mixing rice straw after rice cultivation, which is traditionally plowed in rice paddy soil, causing methane emission, with livestock manure, dry-anaerobic thermophilic digestion compensates for the insufficient nitrogen in rice straw from livestock manure while minimizing liquid residue, constructing an innovative sustainable recycling system. Nevertheless, better use of excessive biogas has remained a challenge, currently purging the second largest greenhouse gas to the atmosphere. Hence, this study advocates using excessive biogas as a feedstock for biorefinery, converting methane into value-added products by using the metabolic functions of methane-oxidizing bacteria (MOB). Among phylogenetically and functionally diversified MOB, some are capable of intracellularly accumulating proteins, precursors of bioplastics, and compatible solutes. Harnessing these invaluable MOB could lead to the development of an innovative upcycling technology. This study, therefore, develops an upcycling technology by applying unique metabolic MOB potential and investigates the feasibility of this approach based on material and energy balances. The challenges potentially open an avenue for implementing a sustainable recycling system bridging the livestock industry and rice paddy field, both of which are major sources of environmental pollution and greenhouse gas emissions.

Achievement of this year

The study conducted in this fiscal year aimed to explore a method for improving the yield of single-cell protein (SCP) by methane-oxidizing bacteria (MOB) and to evaluate the feasibility of producing compatible solutes by halophilic MOB, with the ultimate goal of establishing a novel upcycling technology. By using enriched microbial communities inoculated from rice paddy soils and rice plant roots, SCP yields were evaluated by switching nitrate to ammonium as a sole nitrogen source in the medium. Feeding the gas mixture of methane and oxygen with ammonium increased the SCP yields from 20% to 70%. Additionally, the composition of the gas mixture was changed by adding CO₂ to mimic biogas from anaerobic digestion. While introducing CO₂ into the gas mixture decreased the

SCP yields from 70% to 50%, the yields remained stable after the change in the gas mixture composition, with values comparable to those in previous studies. SCP production yields per unit CH₄ consumption rates were raised steadily, suggesting that the enriched microbial communities efficiently converted nitrogen and methane into SCP.

This study also investigated the feasibility of ectoine production by halophilic MOB, a cyclic amino acid that functions as a compatible solute. The genome analysis revealed that the isolate belonging to the genus *Methylovibrio*, obtained under high saline conditions, possesses the metabolic pathways for ectoine production from methane. The physiological assay unraveled the optimum NaCl concentration of 6% to maximize the ectoine yield. It was possible to extract the intracellularly accumulated ectoine into its cell exterior by applying freshwater, as a procedure termed biomilking. On the contrary, hydrogenation of ectoine was observed by the isolate, decreasing an ectoine yield. Hence, attaining a high purity and yield of ectoine warrants a future intensive investigation.

家畜排せつ物のメタン発酵と発酵残さの炭化を組み合わせたプロセスの設計

伏見 千尋

東京農工大学大学院工学研究院・教授

研究の目的

2021年4月時点で、家畜排せつ物は日本で年間8000万トン排出されており、日本の廃棄物バイオマスの30%を占めている。家畜排せつ物は悪臭や水質汚染といった畜産環境問題を引き起こすため、適切な処理が必要である。家畜排せつ物の処理方法を比較すると、メタン発酵（AD）ではバイオガスのエネルギー利用が可能であり、炭化ではバイオ炭を得ることができる。一方でどちらにも課題が存在する。本研究では課題解決のためにADプロセスと、ADの発酵残さの炭化プロセスを組み合わせることに着目した。ADの課題である発酵残さの処理については、炭化によるバイオ炭生産で改善でき、炭化の課題である原料の乾燥処理にはADで得られたバイオガスによる熱電併給（CHP）が利用可能である。この分野ではADの発酵残さを炭化した際に得られるバイオ炭の特性や利用を評価することを目的とした研究が多い。しかし、実用化を検討するにあたってエネルギー収支等の計算を行うためのモデルの開発が求められる。現在、ADや炭化に関するシミュレーションの研究は各プロセス単独で行われているものが多い。そこで、本研究では、プロセスシミュレータ Aspen Plus® V12 を用いて、家畜排せつ物のAD、ADで得られるバイオガスによるCHP、発酵残さの炭化の3つのプロセスを包括したプロセスのシミュレーションモデルの設計を行った。

本年度の成果

先行研究を基にAD、バイオガスのCHP、発酵残さの炭化の個別のモデル設計を行った。ADモデルは2つの反応器を用いて設計した。家畜排せつ物の加水分解の反応器と、酸生成・酢酸生成・メタン生成の段階は反応器の2つを仮定して、模擬した。バイオガスのCHPモデルでは、バイオガスと燃焼用の空気を加圧して混合した後に、燃焼器で燃焼するモデルとした。燃焼後のガスによって発電し、熱交換器で熱を回収した。発酵残さの炭化モデルでは、始めに発酵残さを乾燥し、次に生成物として熱分解ガス・バイオオイル・バイオ炭が得られるモデルとした。その後、熱分解ガスとバイオオイルを空気と混合して燃焼するものとした。燃焼後のガスの排熱は熱交換器で回収することにした。上記3つのプロセスを包括したシミュレーションモデルを設計した。

続いて、ADの運転条件を統一して、炭化とCHPの出口の熱量に対する発酵残さの乾燥後の含水率と炭化温度の影響を評価した。乾燥後の含水率を4段階、炭化温度を3段階で変化させた。その結果、炭化温度300、500、700℃では、乾燥後の含水率が30%の時に出口の熱量が最も多かった。含水率が高くなるほど、出口の熱量が低下したが、その変化

は単調ではなかった。これは含水率が増加すると、相対的に固体分の量が減り、生成物の組成が変化するためであると考えられる。300、500、700 °C において、で含水率 30–60% の範囲において、出口の熱量の最大値はそれぞれ 49.8、73.3、94.0 W であり、温度が高いほど得られる熱量が多くなることが分かった。

2024 年度の業績

原著論文

なし

総説・本

なし

国際学会発表

なし

国内学会発表

なし

メールアドレス: cfushimi@cc.tuat.ac.jp

ホームページ: <https://web.tuat.ac.jp/~cfushimi/>

Process design to integrate methane fermentation of livestock waste and carbonization of fermentation residues

Chihiro FUSHIMI

Professor, Tokyo University of Agriculture and Technology

Purpose

As of April 2021, 80 million tons of livestock wastes are generated annually in Japan, accounting for 30% of Japan's biomass waste. Livestock excreta causes environmental problems in livestock production, such as bad odor and water pollution, and thus needs to be treated appropriately. Comparing the treatment methods of livestock wastes, anaerobic fermentation (AD) enables the use of biogas as energy, and carbonization of the solid residue yields biochar.

In this study, we focused on the combination of the AD process and the carbonization process of the AD fermentation residue in order to solve these problems: the treatment of the fermentation residue, which is a problem of AD, can be improved by producing biochar through carbonization, and the drying process of the raw material, which is a problem of carbonization, can be done by combining heat and power (CHP) from the biogas obtained in AD. The drying process of the raw material, which is a problem in carbonization, can be achieved by combined heat and power (CHP) using biogas obtained from AD. Many studies in this field have aimed to evaluate the characteristics and utilization of biochar obtained from carbonization of AD fermentation residues. However, in considering practical applications, development of models to calculate energy balance and other parameters is required. Currently, most simulation studies on AD and carbonization are conducted for each process independently. Therefore, in this study, by using a process simulator Aspen Plus® V12, we designed a simulation model that encompasses three processes: AD of livestock waste, CHP by biogas obtained from AD, and carbonization of fermentation residue.

Achievement of this year

Separate model designs for AD, CHP for biogas, and carbonization of fermentation residues were conducted based on previous related studies. The AD model was designed using two reactors. The reactor for hydrolysis of livestock waste and the stages of acid production, acetic acid production, and methanogenesis were simulated by assuming two reactors. In the CHP model of biogas, biogas and air for combustion were mixed under pressure and then combusted in a combustor. The gas from the combustion process was used to generate electricity, and the heat was recovered in a heat exchanger. In the carbonization model of fermentation residue, fermentation residue is first dried and then pyrolysis gas, bio-oil, and biochar are obtained as products. The pyrolysis gas and bio-oil are then mixed with air and combusted. The waste heat from the gas after combustion is recovered by a heat

exchanger. A simulation model was designed to encompass the above three processes.

We evaluated the effect of moisture content after drying and carbonization temperature of the fermentation residue on the heat value at the outlet of carbonization and CHP under uniform AD operating conditions. The moisture content after drying was varied and the carbonization temperature. The results showed that at carbonization temperatures of 300, 500, and 700 °C, the highest exit heat value was obtained at 30% moisture content after drying. As moisture content increased, the heat value at the exit decreased, but the change was not monotonic. At 300, 500, and 700 °C, and in the range of 30-60% moisture content, the maximum values of the outlet calorific value were 49.8, 73.3, and 94.0 W, respectively. It was found that the higher the temperature, the higher the heat value obtained.

発酵残渣・炭化物施用による水管理を融合した水稻栽培における温室効果ガスの削減
バイオマス利用残渣と畜産廃棄物の混合廃棄物等からの
高効率バイオガス回収技術の確立
メタン発酵残渣の炭化による吸着剤としての利用技術の確立

利谷 翔平

東京農工大学大学院工学研究院・准教授

研究協力者

大川 泰一郎

研究の目的

①課題 1 において開発されたモンスター農工大 1 号は、地上部バイオマス量が一般的な食用品種であるコシヒカリよりも高いため、バイオマスエネルギー原料や再生可能原料を高収量に栽培できる可能性がある。しかし、モンスター農工大 1 号が栽培される水田は、二酸化炭素の約 30 倍の温室効果をもつメタンの主要な発生源である。本研究では、モンスター農工大 1 号の栽培において土壌から発生するメタンを削減するために、水管理およびメタン発酵残渣の炭化物の施用の効果を明らかにすることを目的とした。

②各課題において発生するバイオマス廃棄物と畜産廃棄物から、高効率にバイオガスを生産できる乾式メタン発酵の開発を目指す。そのためには、原料の発酵しやすさや、阻害物質の蓄積による阻害を考慮する必要がある。畜産廃棄物（ふん尿）に含まれているアンモニウムは、メタン発酵リアクターに高濃度に蓄積することで、発酵を阻害することが知られている。一方、稲わらと豚ふん尿の乾式メタン発酵残渣炭化物には、アンモニウムを吸着する作用があり、メタン発酵槽に入れることで阻害を緩和することが期待される。本研究では、豚ふんの連続乾式メタン発酵における残渣炭化物による発酵阻害緩和作用を明らかにすることを目的とする。

③バイオマス利用残渣と畜産廃棄物のメタン発酵残渣を有効利用するために、メタン発酵残渣から炭化物吸着剤を開発し、その利用技術の確立を目指す。メタン発酵の原料である畜産廃棄物には、肥料でもあるアンモニウムやリン酸が豊富に含まれている。本研究では、メタン発酵残渣炭化物を吸着剤として畜産廃棄物からアンモニウムやリン酸を回収し、緩効性肥料としてモンスター農工大 1 号等作物の肥料や土壌改良材としての利用可能性を検討する。今年度は、稲わらと豚ふん尿の高温乾式メタン発酵残渣に、リン酸吸着能の高い卵殻を混合した炭化物を作製し、アンモニウムおよびリン酸を同時に吸着できるかどうか評価した。

本年度の成果

①モンスター農工大1号をポット栽培した。栽培管理方法として、2種類の水管理（常時湛水および中干し）それぞれに対し、乾式メタン発酵残渣炭化物（5 t/ha）を添加する・しないとした。常時湛水系では、栽培初期を除き、土壌の酸化還元電位が、メタン生成に適した-200 mV を維持した。それに対し、中干し系では栽培途中に1週間程度土壌面を大気暴露させる中干しを実施したところ、酸化還元電位が+300 mV 程度に上昇し、土壌がメタン生成にくい酸化的雰囲気になった。定期的にクローズドチャンバー法で、メタン排出速度（フラックス）を定量した結果、栽培期間中の平均メタンフラックスは常時湛水、水管理、常時湛水+炭化物、水管理+炭化物で、それぞれ、19.5、15.5、37.9 および 22.7 mg/m²/h だった。以上より、水管理はメタン削減効果があることが分かった。一方、炭化物の施用はメタンフラックスを増加させる可能性が示唆された。

②ラボスケールの半回分式メタン発酵装置を立ち上げ、豚ふんと炭化物を数日おきに供給、発酵物を抜き出しながら発酵を行った。炭化物は、300、500 および 700°Cで調製した乾式メタン発酵残渣炭化物と、比較として市販の活性炭を用いた。約30日間の連続運転の結果、メタン収量は炭なし、300°C、500°C、700°Cおよび活性炭で、それぞれ 204、156、185、188 および 191 mL/g VS であり、炭化物の添加の有無および炭化物の種類によってメタン収量におおきな差異が見られなかった。現段階では基質負荷量（原料投入量）が 2.0 g VS/kg/day と小さかったことから、阻害の影響が見られなかったとも考えられる。今後、負荷量を上げて影響を調査する予定である。

③稲わらと豚ふん尿の高温乾式メタン発酵残渣、卵殻、および発酵残渣と卵殻混合物を、それぞれ 300、500 および 700°Cで炭化し、得られた炭化物のアンモニウムおよびリン酸の吸着能を評価した。

発酵残渣炭化物のアンモニウムおよびリン酸吸着量は、それぞれ 13.4～16.6 mg N/g および 0～3.7 mg P/g だった。卵殻炭化物のアンモニウムおよびリン酸吸着量は、それぞれ 1.7～3.5 mg N/g および 21.7～23.1 mg P/g だった。これは昨年と同様の結果であり、残渣炭化物はアンモニウム、卵殻炭化物はリン酸吸着に適している。一方、発酵残渣と卵殻混合物の炭化物は、卵殻に対する残渣混合比（残渣/卵殻）が3の場合、アンモニウムおよびリン酸吸着量は、それぞれ 11.9 mg N/g および 13.6 mg P/g となり、残渣と卵殻を混合して得られた炭化物は、両方のイオンを吸着できる性質を持つことが分かった。

2024 年度の業績

原著論文

なし

総説・本

なし

国際学会発表

・ S. Riya, K. Ishida, A. Terada, Enhancing the solid-state mono anaerobic digestion of pig manure using digestate biochar, 18th IWA World Conference on Anaerobic Digestion, Istanbul, Türkiye, 2-6 June, 2024.

国内学会発表

・ 崎原洸太, 黒岩恵, 寺田昭彦, 利谷翔平, 乾式メタン発酵残渣を用いて作製した炭化物による栄養塩吸着性能評価, 第 59 回日本水環境学会年会, 北海道, 3/17-3/19, 2025

メールアドレス: sriya@cc.tuat.ac.jp

ホームページ: <https://web.tuat.ac.jp/~tuatabel/>

**Mitigation of greenhouse gas emission in the rice cultivation
by digestate biochar and water management
Development of the efficient biogas production technique from the biomass waste
Development of the digestate-derived biochar for adsorption**

Shohei RIYA

Associate Professor, Tokyo University of Agriculture and Technology

Co-researcher

Taiichiro OOKAWA

Purpose

① The rice (*Oryza sativa* L.) cultivar, Monster Nokodai 1 has higher above-ground biomass compared with Koshihikari, a conventional food rice. Therefore, Monster Nokodai 1 cultivation is expected to produce more feedstock for bioenergy or bio-based materials. However, greenhouse gas (for example methane, CH₄) emission from the Monster Nokodai 1 cultivation has not been investigated. Because rice cultivation is well known as a strong source of CH₄, CH₄ emission by their cultivation may compensate the reduction of greenhouse gas by bioenergy or bio-based materials. The objective of this study is to evaluate the water management and biochar application for the strategy to mitigate CH₄ emission from the Monster Nokodai 1 cultivation.

② The goal of this study is to develop stable solid-state anerobic co-digestion of biomass waste and livestock manure. This year, effect of digestate-derived biochar on alleviating ammonia inhibition in continuous mono digestion of pig manure was investigated for the stable solid-state anaerobic digestion.

③ In order to use digestion residue (digestate) effectively, production and use of digestate-derived biochar for nutrient (ammonium and phosphorus) recovery was studied. Digestate-derived biochar can adsorb ammonium, is not capable of adsorbing phosphorus. In order to add the capacity to adsorb phosphorus, biochar production from the mixture of the digestate and the eggshell was studied, which can adsorb phosphorus.

Achievement of this year

① The rice (*Oryza sativa* L.) cultivar, Monster Nokodai 1 was cultivated in the pots under the 2 kinds of water management (continuous flooding (CF), and midseason aeration (MA)), and with/without biochar at 5 t/ha. During cultivation, soil redox potential (Eh) in the continuous flooding were around -200 mV, in which the soil is suitable for CH₄ production. On the other hand, In the pots subjected to midseason aeration for a week, soil Eh increased to +300 mV, suggesting soil is oxidized

and the activity of the CH₄ production would be decreased. Methane emission rate (flux) from each pot was measured at regular interval. The average CH₄ fluxes were 19.5, 15.5, 37.9 and 22.7 mg/m²/h for CF, MA, CF+biochar, and MA+biochar, respectively. These suggest that the water management is effective in the CH₄ mitigation, while biochar application would increase the CH₄ fluxes.

② The lab scale semi-continuous anaerobic digesters were prepared, and pig manure and biochar were added at organic loading rate of 2.0 g VS/kg/day. Biochar evaluated were digestate-derived biochar produced at 300, 500, and 700°C, and commercial activated carbon. From the 30 days continuous operation, the CH₄ yields were 204, 156, 185, 188, and 191 mL/g VS for 300, 500, 700°C and activated carbon, respectively, suggesting biochar application has no significant impact on CH₄ production. In the future study, higher organic loading rate will be subjected to the reactor.

③ Ammonium and phosphorus (PO₄³⁻) adsorptions were evaluated for digestate biochar, eggshell biochar, and digestate+eggshell biochar produced at 300, 500, and 700°C. Ammonium and phosphorus adsorption for the digestate biochar were 13.4–16.6 mg N/g, and 0–3.7 mg P/g, respectively. For eggshell biochar, these values were 1.7–3.5 mg N/g, and 21.7–23.1 mg P/g. These suggest digestate biochar is suitable for ammonium adsorption, while eggshell biochar is suitable for P adsorption. On the other hand, ammonium and phosphorus adsorption of digestate+eggshell biochar produced at 700°C were 11.9 mg N/g, and 13.6 mg P/g, respectively. Therefore, digestate+eggshell biochar is capable of adsorbing both ammonium and phosphorus.

温室効果ガス・栄養塩を考慮した物質循環モデルの構築

林 彬勲

国立研究開発法人 産業技術総合研究所・上級主任研究員

研究協力者

李 友仁、一杉 佑貴

研究の目的

本研究は炭素耕作をベースとする GHG 削減と循環型社会の実現のため、水田からの GHG 削減技術開発と新たな価値を創出する革新的な廃棄物リサイクルシステムの構築を目的とする。具体的には、水稻栽培中に発生する温室効果ガスのフットプリントの査定と、①で開発する発酵残渣及び炭化物の施用と水管理を融合した新技術、②④で開発する高効率バイオガス回収やアップサイクリングによる有価物創出の新技術がもたらすメリット・実現可能性を明らかにするための技術評価とシステム評価を実施する。水稻栽培から廃棄物循環利活用までといった炭素耕作において、これまで窒素・リンも含めた物質循環モデルの構築、廃棄物管理や環境影響を包括する評価は行われていない。本研究は、温室効果ガス排出を組み込んだ物質循環モデルを構築し、課題 1 の IoT 水田耕作から課題 4 の革新的な廃棄物リサイクルシステムまで一貫通貫の技術評価を実施する。その際、LCA の視点からの温室効果ガス評価や、環境リスクトレードオフの視点からの統合評価を通し、水田耕作由来の廃棄物からの有価物創出、という上流から下流のサプライチェーンにおける温室効果ガス排出のホットスポット、栄養塩の循環フローや潜在リスクの構図を明らかにする。なお、これらの研究開発は、府中市及びサントリー、キューピー、東芝、NEC と農工大学の 6 者協定とも連携しつつ実施し、地域での廃棄物活用の実証と社会実装に取り組む。

本年度の成果

2024 年度においては、昨年度の研究成果を踏まえ、具体的には以下 2 つの主な研究を実施した。得られた関連研究成果は論文 1 報、新聞報道 1 件、国内招待講演 1 件、国際学会 1 つ、国内学会 2 つでした。

(1) 炭素耕作新技術を導入した養豚業の GHG 排出ポテンシャル評価

養豚業は GHG 排出のホットスポット産業である。養豚業由来の GHG を削減するため、従来にない炭素耕作新技術の技術開発と技術導入が注目を集まっている。本研究では、図 1 に示したフレームワークで、伝統の養豚業をベースケースにして、研究拠点で開発した 4 つの炭素耕作技術（農工大水稻新種、乾式メタン発酵、残渣肥料化、タンパク質生産）を養豚業に導入した場合、それぞれの GHG 削減ポテンシャルを評価した。その結果、4 つの新技

術を導入した場合、タンパク質 1 キログラム当たりの GWP を 81.8%から 93.8%も大幅に削減できることを明らかにした (Table 1)。この研究成果は学術誌の投稿論文としてまとめているが、結果の一部は 2024 年度の日本 LCA 学会で発表した。

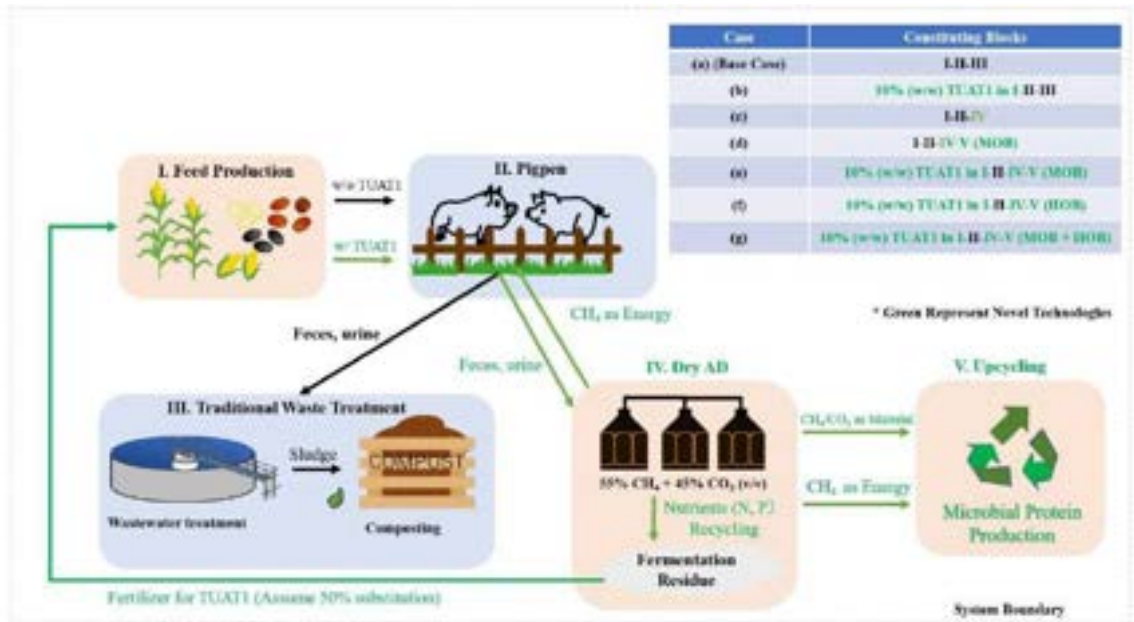


図 1 養豚業における炭素耕作技術導入 GHG 評価の枠組み
(システム境界&評価シナリオ)

Scenario	Waste receiver	GWP (kg-CO ₂ eq)	GWP variation
a (Base)	Wastewater treatment + Composting	69.24	0.0%
b	TUAT1 + Wastewater treatment + Composting	66.45	-4.0%
c	Dry AD	86.23	24.5%
d	Dry AD + MP production (MOB)	12.56	-81.9%
e	TUAT1 + Dry AD + MP production (MOB)	12.23	-82.3%
f	TUAT1 + Dry AD + MP production (HOB)	9.02	-87.0%
g	TUAT1 + Dry AD + MP production (MOB&HOB)	4.33	-93.8%

Table 1 伝統的な養豚業 (a) と各炭素技術導入したシナリオ(b-g)におけるGHG削減割合

(2) 食糧生産過程における廃棄からみた N・P 資源回収&CO₂削減のポテンシャル試算
バイオマスからの N・P 資源回収は炭素耕作技術開発、特に廃棄物処理技術開発においての重要な課題である。本研究ではこれまであまり取り上げてこなかった「食卓に届く食糧の生産輸送の過程における廃棄量」に焦点を当て、e-Stats 食糧需給 DB などから 52 種類の食糧の生産輸送過程における年間廃棄総量およびその廃棄総量に含まれる N・P の総量を試算した。さらに、この年間廃棄総量の N・P を循環利用に回した場合の CO₂ 削減ポテンシャルを解析した。図 2 には本研究の解析手順と使ったデータを示した。その結果、52 種類

の食糧のうち、特に魚介類と葉茎菜類からの N・P の回収は優先的に考えるべきということを示した（図 3）。また、2022 年の廃棄総量分の N・P を肥料に転用した場合、約 188 万トン相当の CO₂ 排出量が削減できると試算した。さらに、188 万トンの CO₂ は、約 23 万人の国民年間排出量に相当し、埼玉県春日部市または東京都台東区の年間排出量に相当する（2022 年）ことがわかった（図 4）。この研究成果は学術誌の投稿論文をめざして、追加的な解析を行っているが、結果の一部は 2024 年度の日本水環境学会の年会で発表した。



図 2 解析手順および使用データ

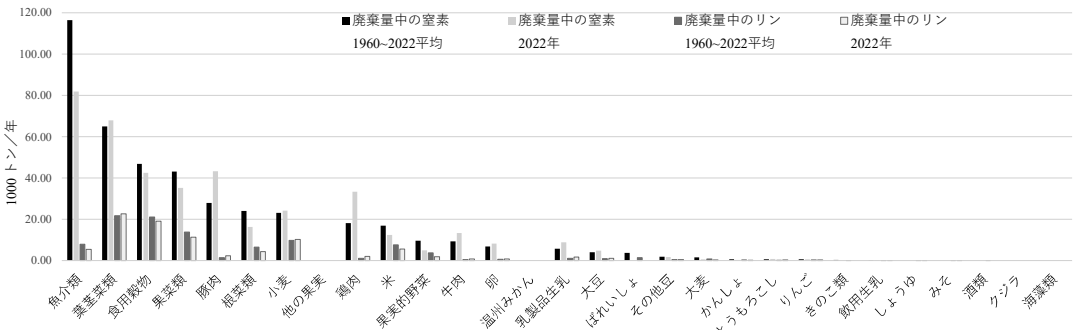


図 3 各大分類の食糧についての年間廃棄量に相当する窒素とリンの回収ポテンシャル

NとPの廃棄量 (1000トン)	廃棄量中の窒素 1960-2022平均	廃棄量中の窒素 2022年	廃棄量中のリン 1960-2022平均	廃棄量中のリン 2022年	ア熊窒素 (TAN) 濃度	
452.17	424.20	109.15	97.75	ア熊窒素・リン に相当するCO2 分の合計		
NとPの廃棄量に 相当するCO2分 (1000トン)	廃棄量中の窒素 1960-2022平均	廃棄量中の窒素 2022年	廃棄量中のリン 1960-2022平均	廃棄量中のリン 2022年	1960-2022平均	2022年
1417.68	1329.99	609.99	546.26	2027.67	1876.25	226054
2022年では国民一人当たりCO2排出量は、8.3トン/年/人を用いて計算した相当人口数						

図 4 2022 年における窒素・リンの回収可能量&CO₂ 削減ポテンシャル試算

2024 年度の業績

原著論文

Yu-jen Lee, Bin-Le Lin, Kazuya Inoue (2024) Inorganic PM2.5 reduction in Kanto, Japan: The role of ammonia and its emission sources control strategies, *Environmental Pollution*,
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123926>.

国内招待講演

林 彬勒（2024）アンモニア利活用に伴う環境リスクトレードオフ評価、化学工学会
関東支部若手の会、東京農工大学、2024/12/20

新聞報道

林 彬勒、アンモニア燃料評価--窒素循環改変の視点から、日刊工業新聞、2025/4/17

国際学会発表

Yue Zhang, Bin-Le Lin, Yuki Ichisugi, Hirotaka Tahara, Tomohiko Ihara. Nitrogen cycle in Tokyo's
Sewage System: Assessing the Potential of Recycling Nitrogen Resource, the Joint Conference of
ISEH, ICEPH & ISEG on Environment and Health, 2024/08/11 to 2024/08/18, University of
Galway, Ireland,

国内学会発表

林 彬勒、戸張直子. 食糧生産関連過程における廃棄からみた N,P 資源回収&CO2 削減の
ポテンシャル試算、第 59 日本水環境学会年会、2025/3/17、北海道大学
李 友仁、一杉佑貴、利谷翔平、寺田昭彦、林 彬勒. Evaluation of the Carbon Negative
Potential in Pig Husbandry with Novel Technologies、日本 LCA 学会年会、2025/3/5、広島県立
大学。

メールアドレス: binle-lin@aist.go.jp

ホームページ: <https://orcid.org/0000-0002-6132-344X>

**Assessment of carbon cultivation technologies and development
of a material circulation model that considers greenhouse gases and nutrients.**

Bin-Le LIN

**Chief Senior Researcher, Research Institute of Science for Safety and Sustainability,
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)**

Co-researcher

Yu-jen LEE, Yuki ICHISUGI

Purpose

It is essential to assess the footprint of greenhouse gases generated during rice cultivation and clarify the benefits and feasibility of the new carbon cultivation technologies developed in this project shown below: (1) the new technologies combining the application of fermentation residue and carbides with water management and (2) the new technologies for creating valuable resources through highly efficient biogas recovery and upcycling.

However, no material cycle model that includes nitrogen and phosphorus has been developed, and a comprehensive evaluation of the environmental impacts, including rice cultivation to waste recovery and upcycling, has yet to be conducted.

This research will build a material cycle model incorporating greenhouse gas emissions and conduct a comprehensive technological assessment from IoT paddy cultivation (Task 1) to an innovative waste recycling system (Task 4). In doing so, through the examination of greenhouse gas emissions from the perspective of LCA and integrated evaluation from the standpoint of environmental risk trade-offs, we will identify hot spots of greenhouse gas emissions, nutrient circulation flows, and potential risks in the supply chain from upstream to downstream, such as the creation of valuable resources from the waste of rice cultivation.

To demonstrate the social implementation of the newly developed carbon cultivation technologies, we will conduct these R&D activities in collaboration with Fuchu City, Suntory, Kewpie, Toshiba, NEC, and the University of Agriculture and Technology.

Achievement of this year

In FY2024, based on the research results from the previous year, we conducted the following two main studies. The related research results obtained were one paper, one newspaper report, one domestic invited lecture, one international conference, and two domestic conferences.

(1) Evaluation of GHG emission potential in the pig farming industry that has introduced new carbon cultivation technology

The pig farming industry is a GHG emission hotspot industry. In order to reduce GHG emissions from the pig farming industry, there is a lot of attention being paid to the development and introduction of new carbon cultivation technologies that have never been seen before. In this study, we used the framework shown in Figure 1, and based on the traditional pig farming industry as the base case, we evaluated the GHG reduction potential of each of the four carbon cultivation technologies (new rice varieties developed at TUAT, dry methane fermentation, residue fertilizer production, and protein production) when introduced into the pig farming industry. As a result, it was found that the introduction of the four new technologies would significantly reduce the GWP per kilogram of protein by 81.8% to 93.8% (Table 1). The results of this research have been compiled as a paper for submission to an academic journal, and some of the results were presented at the 2024 Japan LCA Society Conference.

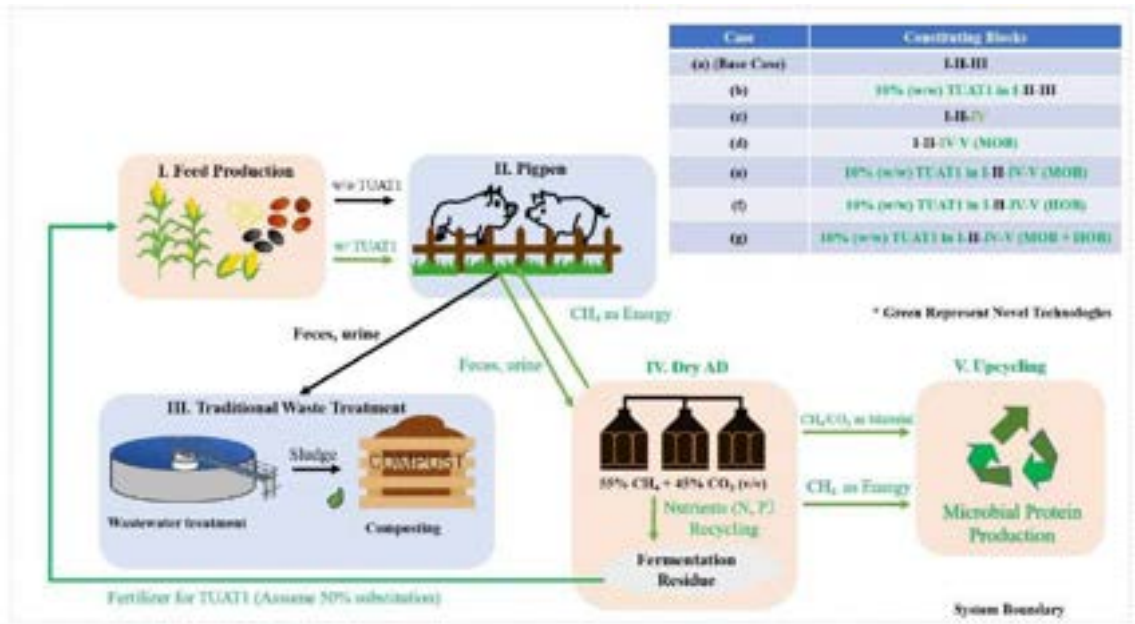


Figure 1 Framework for GHG assessment of the introduction of carbon cultivation technology in the pig farming industry (system boundaries & assessment scenarios).

NとPの廃棄量 (1000トン)	廃棄量中の窒素 1960-2022平均	廃棄量中の窒素 2022年	廃棄量中のリン 1960-2022平均	廃棄量中のリン 2022年		
	452.17	424.20	109.15	97.75		
NとPの廃棄量に 相当するCO2分 (1000トン)	廃棄量中の窒素 1960-2022平均	廃棄量中の窒素 2022年	廃棄量中のリン 1960-2022平均	廃棄量中のリン 2022年	廃棄量・リン に相当するCO2 分の合計 1960-2022平均	廃棄量・リン に相当するCO2 分の合計 2022年
	1417.68	1329.99	609.99	546.26	2027.67	1876.25
2022年では国民一人当たりCO2排出量は、8.3トン/年/人を用いて計算した相当人口数						226054

Table 1 Percentage of GHG reduction in traditional pig farming (a) and scenarios with the introduction of various carbon cultivation technologies (b-g)

(2) Potential estimates for N and P resource recovery and CO₂ reduction from the perspective of waste in the food production process

The recovery of N and P resources from biomass is an important issue in the development of carbon cultivation technology, particularly in the development of waste treatment technology. In this study, we focused on the amount of waste generated in the production and transportation processes of food that reaches our tables, an issue that has not been much discussed until now, and estimated the total amount of waste generated in the production and transportation processes of 52 types of food, as well as the total amount of N and P contained in that waste, using the e-Stats Food Supply and Demand Database and other sources. In addition, we analyzed the potential for reducing CO₂ emissions if the N and P in this total annual waste were to be recycled. Figure 2 shows the analysis procedure and data used in this study. As a result, we showed that the recovery of N and P from seafood and leafy vegetables should be prioritized among the 52 types of food (Figure 3). In addition, we estimated that if the N and P from the total amount of waste in 2022 were diverted to fertilizer, it would be possible to reduce CO₂ emissions by approximately 1.88 million tons. Furthermore, we found that 1.88 million tons of CO₂ is equivalent to the annual emissions of approximately 230,000 people, and is equivalent to the annual emissions of the city of Kasukabe in Saitama Prefecture or the city of Taito in Tokyo (in 2022) (Figure 4). We are currently conducting additional analysis with the aim of submitting a paper to an academic journal, and some of the results were presented at the annual meeting of the Japan Society on Water Environment in 2024.



Figure 2 Analysis procedure and data used

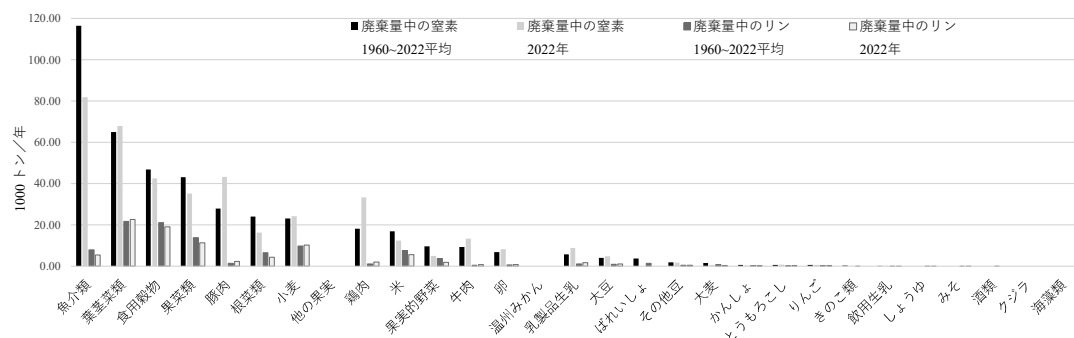


Figure 3 Recovery potential for nitrogen and phosphorus equivalent to the annual amount of food waste for each category

NとPの廃棄量 (1000トン)	廃棄量中の窒素 1960-2022平均	廃棄量中の窒素 2022年	廃棄量中のリン 1960-2022平均	廃棄量中のリン 2022年		
	452.17	424.20	109.15	97.75		
NとPの廃棄量に 相当するCO2分 (1000トン)	廃棄量中の窒素 1960-2022平均	廃棄量中の窒素 2022年	廃棄量中のリン 1960-2022平均	廃棄量中のリン 2022年	廃棄量・リン に相当するCO2 分の合計 1960-2022平均	廃棄量・リン に相当するCO2 分の合計 2022年
	1417.68	1329.99	609.99	546.26	2027.67	1876.25
2022年では国民一人当たりCO2排出量は、8.3トン/年/人を用いて計算した相当人口数						226054

Figure 4: Estimated recoverable amounts of nitrogen and phosphorus and CO₂ reduction potential in 2022

課題 5 研究成果 執筆者リスト

炭素耕作社会を体現するミニマムな循環フレームの実装

東京農工大学大学院工学府・特任教授 永井 祐二

次世代型の木質バイオマス利用の方向性

-木質バイオマス利用の経験に基づき-

早稲田大学人間科学学術院人間科学部・教授 平塚 基志

脱炭素化に資するバイオマス利活用研究の地域実装に向けた

統合的マネジメントの適用

早稲田大学理工学術院環境総合研究センター・主任研究員 中野 健太郎

環境三社会統合及び実装戦略の中核イオングループとの連携手法の研究開発

早稲田大学理工学術院環境総合研究センター・上級研究員 岡田 久典

炭素耕作社会実現に向けた社会受容性における技術デザインの考察

日本工学アカデミー・会員 佐伯 ともこ

世界農業遺産認定地域のバイオ炭に関する社会的受容性

および価値創出に関する考察

立命館大学日本バイオ炭研究センター・客員教授 大和田 順子

「サステナブルブランドを基軸とした価値の共創

ー 生産から消費を繋ぐ炭素耕作の社会技術デザイン」

総合地球環境学研究所 基盤研究部 上廣環境日本学センター

・センター長／特任教授 吉川 成美

東京家政学院大学大学院における人間生活学の視座からの

社会的受容性の評価手法開発

東京家政学院大学大学院人間生活学研究科・教授 江川 賢一

炭素耕作社会を体現するミニマムな循環フレームの実装

永井 祐二

東京農工大学大学院工学府・特任教授

研究協力者

中野 健太郎、岡田 久典

研究の目的

本研究課題の目的は、炭素耕作社会を実現すべく、拠点で取り組まれている技術要素が地域社会への実装が可能であるかを検討し、その技術の社会受容性を向上させる要素を分析することで、実装を加速する手法を構築することである。

具体的な取り組みとしては、対象となる実装地域で、バイオマス賦存量等の調査、地域の特性を分析に基づき、炭素耕作の循環フレームを明確にし、多様な価値に根ざした経済循環を実現することにある。

こうした分析において、我々は炭素耕作社会を実現するミニマムユニットの抽出と、それを軸とした資源循環フレームを構築することが重要であると考えに至った。本来の資源循環は地域資源の有効活用を積み上げることで成立してきたものであり、それが社会の成熟と共に資源循環フレームが経済優先のフレームに移行したのではないかと考えている。

加えて本研究課題では、研究課題 1~4 の技術要素の実装であり、各技術要素を繋ぐような実装モデルを構築し、これを軸に他の研究課題の開発を促進していくことが役割であると考えている。上述のロジックと一致して、研究開発要素のミニマムな循環フレームを構築し、これに他の研究要素を派生させていくことで、拠点全体の研究開発をアクセラレートしようと考えている。

本年度の成果

2024 年度は、その一つのモデルとして、世界自然遺産の西表島においての自然米の生産から、隣接離島での泡盛造りを実践し、あわせて流通小売と協働した販売体制の構築に取り組んだ。沖縄の離島における限られた空間と資源の中での資源循環の構築を通じて、炭素耕作社会の意義と技術要件を明確にするとともに、環境と調和した生産・消費・廃棄（再資源化）などの連携を実践しようというものである。

また同時に、拠点に参加する研究者や学生が参加する分野横断的な地域ワークショップを開催し、社会課題への理解を深め、これに基づく泡盛のコンセプトを議論し、派生的な研究課題の抽出にも取り組んだ。これらの取り組みについては、関連するアクターを招い

でのシンポジウムに発展させた。

当初は、資源が限定された離島においては、資源循環が容易に可視化され、炭素耕作社会のモデルをつくりやすいという想定であった。しかし、改めて実装の取り組みを行う中で、資源循環の課題が明確となった。特に、社会的隘路（制度的制約、経済的制約）が確認された。元来、離島内に閉じた生産や消費であった資源循環が、容易な島外との物流の発生と原料の島外資源への依存（肥料や農業資材、燃料など）、もしくはバイオマス生産とそれを活用した島外における加工生産が生じることで、2次産業の残渣が1次産業に還元されないなどの課題を生んでいることが明確になった。これは、社会の成熟と共に生産体制の効率化、大規模輸送による物流の拡大、そして消費流通の発達などによる副産物といえる。

また環境的側面では、そうした社会変遷の過程で、輸送のための道路開発や、肥料などに起因する特定の栄養素の集約や偏在化を生み、生態系環境の攪乱要因になっている。これらの課題解決が、まさに炭素耕作社会の構築への取り組みになり得ると考える。

今後、その隘路の明確化と共に、その課題解決を社会との対話を通じた制度改革や地域の仕組みづくり、あるいは新しい価値創出を通じた経済的なアプローチでの改善を目指していく。

2024 年度の業績

原著論文

1. 中野健太郎, 永井祐二, 岡田久典, LEE Kwang h o, 小野田弘士 “脱炭素化に資するバイオマス利活用研究の地域実装に向けた統合的マネジメントの適用” 国際 P2M 学会研究発表大会予稿集, 2024.Autumn, 83-98 doi: 10.20702/iappmproc.2024.autumn.0_83

総説・本

なし

国際学会発表

なし

国内学会発表

なし

メールアドレス: yu-ji@toki.waseda.jp

ホームページ: <https://researchmap.jp/7000010171>

**Implementation of a minimum resource circulation frame
that realizes a carbon-cultivated society**

Yuji NAGAI

Project Professor, Tokyo University of Agriculture and Technology

Co-researcher

Kentaro NAKANO, Hisanori OKADA

Purpose

The objective of our research project is to examine the feasibility of implementing the technological elements that are being worked on at the center into local communities in order to realize a carbon-cultivated society, and to analyze the elements that will improve the social acceptability of the technology in order to build a method to accelerate the implementation.

Specifically, we will clarify the circulation frame of carbon cultivation in the target implementation areas based on surveys of biomass abundance and analysis of regional characteristics, and realize an economic circulation rooted in various values.

In this analysis, we have come to believe that it is important to identify minimum units that will realize a carbon-cultivated society, and to construct a resource circulation frame around these units. Originally, resource circulation was established through the effective utilization of local resources, but as society has matured, the resource circulation frame has shifted to an economic priority frame. In particular, we believe that the trend of a society dependent on petroleum resources may have been an element that drove the economic priority.

In addition, we believe that the role of this research project is to implement the technological elements of research projects 1 through 4, and to build an implementation model that connects the core technological elements, and to use this as the axis to promote the development of other research projects. Consistent with the logic described above, we intend to accelerate the R&D of the entire center by building a minimal circulating frame of R&D elements and deriving other research elements from this frame.

Achievement of this year

In FY2024, as an example of this model, we started with the production of natural rice on Iriomote Island, a World Natural Heritage site, and then practiced Awamori production on a neighboring island, and at the same time built a sales system in cooperation with distributors and retailers. Through the construction of a resource cycle within the limited space and resources of the remote islands of Okinawa, the project aims to clarify the significance and technical requirements of a carbon-cultivated

society, as well as to practice coordination of production, consumption, and disposal (recycling) in harmony with the environment.

At the same time, inter-disciplinary regional workshops were held with the participation of researchers and students participating in the program at the center to deepen their understanding of social issues, discuss the concept of awamori based on this understanding, and identify additional derivative research projects. These efforts were expanded into a symposium that brought together relevant actors. Initially, we thought that on remote islands with limited resources, it would be easy to visualize the resource cycle and create a model for a carbon-cultivated society. However, in the process of implementation efforts, the problems of resource circulation became apparent. In particular, social bottlenecks (institutional and economic constraints) were identified. Resource circulation, which was originally limited to production and consumption within the remote islands, is now faced with the problem that residues from secondary industries are not returned to primary industries due to the easy logistics to and from off-island sources, dependence on off-island sources for input materials (fertilizer, agricultural materials, fuel, etc.), or the production of biomass and its utilization for processing and production off-island. This is a result of the maturation of the society and the production system. This is a by-product of the increased efficiency of the production system as society matures, the expansion of logistics through large-scale transportation, and the development of consumer distribution.

On the environmental aspect, the process of social transition has led to the development of roads for transportation and the concentration and uneven distribution of certain nutrients caused by fertilizers and other substances, which have become a factor in disturbing the ecological environment. We believe that resolving these issues could be the key to building a carbon-cultivated society.

In the years ahead, along with clarifying the bottlenecks, we will aim to improve the solution of these issues through institutional reforms and the creation of local mechanisms through dialogue with society, and also through economic approaches through the creation of new value.

次世代型の木質バイオマス利用の方向性 -木質バイオマス利用の経験に基づき-

平塚 基志

早稲田大学人間科学学術院人間科学部・教授

研究協力者

大久保 敏宏 小松原 和恵

研究の目的

バイオマスのうち木質由来については、エネルギー利用を目的とした用途が拡大している。他方、バイオマスプラスチックとしての利用は限定的であり、さらなる用途の拡大が木質バイオマスのポテンシャルを拡大すると考えられている。本研究では、1) 再生可能エネルギーとしての木質バイオマスの利活用を次世代型として提案すること、そして2) 木質バイオマスを中心としたバイオマス由来のプラスチックの有効利用について提案することの2つを目的としている。

本年度の成果

木質バイオマス利用のあり方を検討するため2012年以降の日本の木質バイオマス発電を対象とした81本の論文を抽出した。燃料供給、GHG排出量・排出削減量、地域への影響の3つの課題に着目し、いずれかに言及のあった36本を分析した。燃料供給ではサプライチェーンへの影響、利用可能量、調達コストといった複数のテーマが確認され、既存の用材供給量と燃料材需要は相互に影響し合う関係があると考えられた。GHG排出量・排出削減量では燃焼時の排出量の扱いによってGHG排出量・排出削減量の算定方法及び結果が異なっており、木質バイオマスのカーボンニュートラリティに関する議論の決着やカーボンニュートラルの成立条件の整理が急がれる。地域への影響では木質バイオマスの利活用は柔軟な受容性が示された一方、レジリエンスをテーマにして副次的効果を検証した研究はなく、地域特性を踏まえた包括的な木質バイオマスの利活用を分析していくことが望まれる。木質バイオマス利用は持続可能な社会の構築へ貢献する場合もあるが、課題も存在することから、多面的な視点からサプライチェーンと木質バイオマス利用のあり方を検討する必要がある。

2024年度の業績

原著論文

なし

総説・本

なし

国際学会発表

なし

国内学会発表

なし

メールアドレス: hiratsuka@waseda.jp

ホームページ: <https://hiratsuka.w.waseda.jp/>

Perspectives of using woody biomass for various uses: from experiences of past decade

Motoshi HIRATSUKA

Professor, Faculty of Human Sciences, Waseda University

Co-researcher

Toshihiro OHKUBO, Kazue KOMATSUBARA

Purpose

The use of wood-based biomass for energy purposes is expanding. On the other hand, its use as biomass plastics is limited, and it is expected that further expansion of applications will increase the potential of woody biomass. This study has two objectives: 1) to propose the next generation of utilization of wood biomass as a renewable energy source, and 2) to propose effective use of biomass-derived plastics, mainly woody biomass.

Achievement of this year

To consider the future of using forest biomass for bioenergy, 81 papers published since 2012 on woody biomass power generation in Japan were reviewed. The focus was placed on three issues: fuel supply, greenhouse gas (GHG) emissions and emission reductions, and regional impacts. An analysis was carried out on 36 papers examining at least one of these topics. In the context of fuel supply, various themes were examined, such as the impact on supply chains, availability, and procurement costs. It was found that the supply of conventional wood materials and the demand for fuelwood are interrelated. The methods and results for calculating GHG emissions and reductions differed, based on how emissions during combustion were treated. This indicates a need for clarification in the debate on the carbon neutrality of woody biomass and the conditions required for achieving carbon neutrality. With respect to regional impacts, while the local community's acceptance of woody biomass use was noted, no studies focused on resilience when exploring the secondary effects. Consequently, a comprehensive analysis of woody biomass use, considering regional characteristics, is desirable. Although the use of woody biomass has the potential to contribute to a sustainable society, it may also have adverse effects. It is, therefore, necessary to explore its use and the associated supply chains from multiple perspectives.

脱炭素化に資するバイオマス利活用研究の地域実装に向けた統合的マネジメントの適用

中野 健太郎

早稲田大学理工学術院環境総合研究センター・主任研究員

研究協力者

永井 祐二、岡田 久典、李 洸昊、小野田 弘士

研究の目的

バイオマス技術開発の社会実装は、生産から利用に至る形態や関わるステークホルダーが多いために社会的プロセスが複雑であることや、同等の化石資源利用機器と比較して経済的な優位性を実現することが難しいことによって進まないことが課題である。また、地域において技術を社会実装するためには地域の資源量や供給能力が事業フェーズの規模感とマッチしているかが重要である。

我々早稲田大学の研究チームはプログラム&プロジェクトマネジメントの手法を活用した。本拠点を複数プロジェクトのまとまりであるプログラムとして、各研究開発課題の研究シーズの調査と地域のステークホルダー分析、プログラム全体の構造化を通じたプログラム統合マネジメントを適用する。これにより、各課題の技術開発が連携し、地域のステークホルダーとも協調しながら地域実装を実現するプログラムへと導く指針となることを目指す。また、本拠点のように複数ステークホルダーが協働する研究開発から社会実装を範囲とする性質の取り組みにおける留意点を明らかにすることを目的とする。

具体的には、技術成熟度と社会成熟度評価をプログラム全体に実施することで研究開発プロジェクト群の目指す実装段階を明らかにし、生み出す出発物質・最終物質を把握することで、ライフサイクルマネジメントによる研究開発プロジェクト群の相互接続構造と、モデル地域をプラットフォームとしたステークホルダーとの関係性を明確にすることが目標である。

本研究の手法は、我々の参画するプログラムへの解決手法として研究したものであるが、多くのステークホルダーが関わるバイオマス産業や複数主体による研究開発体制にとって役立つことを念頭に置いている。

本年度の成果

本研究では、TRL と SRL の 2 つの成熟度と、そのレベルによる社会実装段階を視覚的に示した価値指標マネジメントとプログラム戦略マネジメントを組み合わせた研究プロダクト・ポートフォリオを提示した。

本プログラムの研究開発プロジェクト 16 件からのアンケート回答から、TRL, SRL の現状と目標とする時点でのレベルを示した。現在の TRL は平均値 3.1、中央値 3、目標達成

としたときの TRL の平均値 5.7、中央値 6 であった。現在の SRL の平均値は 2.1、中央値 1 である。これは、イネ等の最終製品に直結しやすい研究開発課題に SRL の高いプロジェクトがある一方で、課題特定がなされた段階のプロジェクトが多いことが考えられる。目標達成としたときの SRL の平均値 4.7、中央値 4 と、小型スケールからパイロットスケールでの地域実証を想定していると考えられる。

研究開発プロジェクト群の出発物質・最終物質・副産物についてのアンケート回答結果からは、それぞれのバイオマス起点と物質の接続関係を示した。研究開発によって生み出される各種バイオマスの成果物質の相互接続・循環構造を示すことで、価値を創出していくプログラム構造と成果物のプロセスを示すマテリアルのライフサイクルマネジメントの提示手法を開発した。

以上により本プログラム全体の構造化および社会的受容性分析を行い、本プログラムのライフサイクルの流れ、研究開発状況と地域のプロファイリングを行った。これらの調査結果から、各地域モデルでの地域実装に必要な圃場や山林の面積の規模を追記し、モデル地域の位置づけを加えた。これまで各地域の資源量等の検討を行ってきたが、本プログラムの技術開発の志向する産業規模の議論ができていなかった。本研究によって、各モデル地域のターゲットとする実装規模を明らかにすることができた。

2024 年度の業績

原著論文

なし

総説・本

- ・ジャーナル記事「博士論文および JST・COI-NEXT 炭素耕作社会実現の取組への P2M 活用」、P2M マガジン 21 巻 p.40-45、2024 年 6 月 14 日、
https://doi.org/10.20702/iaptwombulletin.21.0_40

国際学会発表

なし

国内学会発表

- ・パネル討論登壇「ラウンドテーブル 2：P2M で語る地域活性化と地域環境問題」、国際 P2M 学会 2024 年春季研究発表大会、会場：千葉工業大学、2024 年 4 月 20 日、
https://doi.org/10.20702/iappmproc.2024.Spring.0_RT_02
- ・学会口頭発表「脱炭素化に資するバイオマス利活用研究の地域実装に向けた統合的マネジメントの適用」、国際 P2M 学会 2024 年秋季研究発表大会、会場：青山学院大学、2024 年 11 月 9 日、
https://doi.org/10.20702/iappmproc.2024.Autumn.0_83

(国際P2M学会誌「脱炭素化に資するバイオマス利活用研究の地域実装に向けた統合的マネジメントの適用」として投稿し、2025年4月発行の学会誌に査読論文として掲載予定)

- ・シンポジウム口頭発表「環境課題をコンセプトとした商品づくりと消費者参加のしくみ」、早稲田大学 AEONTOWA リサーチセンター報告会 SATOYAMA フォーラム inWASEDA、会場：早稲田大学 121 号館コマツ記念ホール、2025 年 2 月 11 日
- ・シンポジウム口頭発表「研究報告：沖縄県西表島での資源循環の構築」、イオン環境財団 SATOYAMA フォーラム 2024、会場：国連大学ウ・タントホール、2025 年 2 月 18 日

メールアドレス: k.nakano@aoni.waseda.jp

ホームページ: <https://researchmap.jp/nakanokentaro/>

**Integrated management for regional implementation of biomass research
that contributes to decarbonization**

Kentaro NAKANO

Researcher, Environmental Research Institute, Waseda University

Co-researcher

Yuji NAGAI, Hisanori OKADA, Kwang Ho LEE, Hiroshi ONODA

Purpose

The social implementation of biomass technology is a challenge because of the complexity of the social process due to the many forms from production to utilization and the many stakeholders involved, as well as the difficulty of achieving economic advantages compared to fossil resource utilization equipment. In addition, it is important that the amount of local resources and supply capacity match the scale of the commercialization phase in order to implement the technology in the local community.

In this project, we utilized a program and project management approach. We applied program integration management by surveying the research seeds of each R&D subject, analyzing local stakeholders, and structuring the entire program. The goal is to provide a guideline that will lead to the program that realizes regional implementation by linking the technological development of each project and cooperating with local stakeholders. The program also aims to clarify points to be considered when collaborating with multiple stakeholders in the process from R&D to social implementation, as is the case in this program.

Specifically, we will conduct a Technology Readiness Level (TRL) and Social Readiness Level (SRL) assessment of the entire program to clarify the implementation stage that the R&D project group is aiming for. Furthermore, by understanding the starting materials and final materials produced, the goal is to clarify the interconnected structure of the R&D project group through life cycle management and the relationship with stakeholders using the demonstration area as a platform. The methodology of this research was studied as a solution approach to the program we are participating in, but with the intention of being useful for the biomass industry and multi-stakeholder R&D frameworks involving many stakeholders.

Achievement of this year

This study presented a research product portfolio that combines value indicator management and program strategy management with two evaluation scales, TRL and SRL, and a visual representation of the social implementation stages according to these levels.

Based on the questionnaire responses from 16 R&D projects in this program, the current status of TRL and SRL and their levels at the target point in time are shown. The mean and median of the current TRL were 3.1 and 3, respectively, and the mean and median of the TRL when the target was set to be achieved were 5.7 and 6, respectively. The mean and median of the current SRLs are 2.1 and 1, respectively. While there are projects with high SRL in R&D issues that can easily be linked directly to final products such as rice, the opposite is thought to be a factor in the large number of projects that are in the process of identifying issues. The average and median SRL when the target is assumed to be achieved is 4.7 and 4, respectively. Many of the projects are considered to be envisioned for regional demonstration on a small to pilot scale.

The results of the questionnaire responses regarding the starting materials, final materials, and by-products of the R&D project groups show the connection between each biomass starting point and material. By showing the interconnected and circulating structure of the various biomass outcome materials produced by the R&D, a life cycle management presentation method was developed to show the program structure and the process of the outcome materials that create value.

Through the above, structuring of this entire program and social acceptability analysis were conducted, and profiling of the material life cycle flow of this program, research and development status and regions were conducted. Based on the results of these studies, the scale of the area of fields and forests required for regional implementation in each regional model was added, and the positioning of the model regions was added. Although we have studied the amount of resources in each region, we have not been able to discuss the scale of industry oriented to the technological development of this program. Through this study, we were able to clarify the scale of implementation targeted for each model region.

環境三社会統合及び実装戦略の中核イオングループとの連携手法の研究開発

岡田 久典

早稲田大学理工学術院環境総合研究センター・上級研究員

研究の目的

社会に受容されるバイオマス関連技術(社会技術含む)の新しい価値の要素の明確化をはかり、研究開発成果の社会実装を図るために既存の低炭素型バイオマス生産現場で創出される価値をわが国が実施すべき国際的な政策動向、わが国の産業・地域連関動向、社会的価値創出理論等をベースに科学的に分析し、サプライチェーン企業との価値認識のマッチングを図る。

とりわけ、カーボンネガティブの定義を形成するための環境三社会(カーボンニュートラル・サーキュラーエコノミー・ネイチャーポジティブ)統合理論の整理、わが国及び東南アジア諸国の諸制度運用と連動した実装戦略の中核であるイオングループとの連携手法の研究開発を行う。

(ア) 環境三社会統合については、プログラム・プロジェクトマネジメント及び社会価値創出の標準理論である、P2M 理論を活用して研究を行う。国際、わが国の環境戦略の方向性(短期的な政治的バイアス等は排除し)を把握した上で、スキーム→システム→サービスの3S モデル及びロジックモデルを適用して、新しい社会価値の要素の明確化と社会実装への戦略を明確とする。

2. 早稲田大学とイオン環境財団の協働リサーチセンター「AEONTOWA リサーチセンター」が 2020 年より稼働しており、全国各地と連携した研究開発・社会実装を進めている。

本研究では、イオン環境財団の全面的協力もふまえて、「AEONTOWA リサーチセンター」を連携して地域活性学会等における地域産業の振興についての研究成果もベースとして、全国都道府県市町村などの自治体のニーズを明確化する。さらに、わが国を代表する環境志向型地域生活産業グループであり、国内の各産業の重要な顧客という側面もあるこれらのサプライチェーンのポテンシャルを把握し、統合社会実装に結びつける戦略を構築していく。

本年度の成果

本研究は、各種の情報収集、早稲田大学における授業・ゼミナール、研究会、地域活性学会及び国際 P2M 学会等における分科会等に各分野の専門家、市町村長、行政担当者を招聘し、対話を行うことによって実施した。この結果、社会に受容されるバイオマス関連技術(社会技術含む)の新しい価値の要素の明確化をはかり、研究開発成果の社会実装を図るための基本的な知見を得ることが出来た。

さらに、カーボンネガティブの定義を形成するための環境三社会(カーボンニュートラル・サーキュラーエコノミー・ネイチャーポジティブ)統合理論の整理を進めた。また、わが国及び東南アジア諸国の諸制度運用と連動した実装戦略の中核であるイオングループとの連携手法の研究開発の基礎的知見を整理した。

(ア) 環境三社会統合については、国際 P2M 学会等において、プログラム・プロジェクトマネジメント及び社会価値創出の標準理論である、P2M 理論をベースとした戦略 3S モデルの作成を開始した(スキーム→システム→サービス)。 2. 早稲田大学とイオン環境財団の協働リサーチセンター「AEONTOWA リサーチセンター」が 2020 年より稼働しており、全国各地と連携した研究開発・社会実装を進めている。

2. AEONTOWA リサーチセンターとの協働研究として、専門家や地域の実践者などを招聘した研究会を年間 15 回実施した。テーマは①豊かな自然環境を守り育む地域マネジメント、②地域の伝統文化を守り育む地域マネジメント、③被災地の地域再生に資する地域マネジメント、④地域のなりわいを育む地域マネジメント、⑤都市生活を再構築する地域マネジメント、⑥社会デザインと地域一都市連携のきっかけとなる地域マネジメント等であり、多くの知見を集約することが出来た。これらの成果は AEONTOWA リサーチセンターが活発に行っている全国各地における調査研究・実践などから得られた知見からの専門家のアドバイスが反映されている。

2024 年度の業績

原著論文

なし

総説・本

なし

国際学会発表

なし

国内学会招待講演

- 岡田久典・大和田順子 環境分野の研究開発実装におけるプログラム・プロジェクトマネジメント (1) 国際 P2M 学会春季大会 千葉工業大学 2024/4/2
- 岡田久典・大和田順子 地域活性学とサステイナブル分野の研究開発的統合と実装 (地域活性学会域額連携部会) 地域活性学会年次大会 名古屋市立大学 2024/9/8
- 岡田久典・大和田順子・中野健太郎 環境分野の研究開発実装におけるプログラム・プロジェクトマネジメント (2) 国際 P2M 学会秋季大会 青山学院大学 2024/11/9

メールアドレス: okadahisanoris@aoni.waseda.jp.

ホームページ: -----

**Three Environmental Social Systems(CN(Negative),CE,NP) Integration. &
Core Social-Regional Implementation strategy Collaboration with AEON Group**

Hisanori OKADA

Senior Researcher, Environmental Research Institute, Waseda University,

Purpose

Aim to clarify the elements of new value for biomass-related technologies (including social technologies) that are accepted by society, and to scientifically analyze the value created at existing low-carbon biomass production sites based on international policy trends that Japan should implement, trends in industry and regional linkages in Japan, and theories of social value creation in order to implement the results of research and development in society, and to match the value recognition with supply chain companies. In particular, we will organize the integrated theory of the three environmental societies (carbon neutral, circular economy, and nature positive) to form a definition of carbon negative. We will conduct research and development on collaboration methods with the AEON Group, which is the core of the implementation strategy linked to the operation of various systems in Japan and Southeast Asian countries.

1. Regarding the integration of the three environmental societies, we will conduct research using the P2M theory, which is the standard theory of program project management and social value creation. After grasping the direction of international and Japanese environmental strategies (excluding short-term political biases, etc.), we will apply the 3S model of scheme → system → service and logic model to clarify the elements of new social value and the core strategy for social implementation. 2. The AEONTOWA Research Center, a collaborative research center between Waseda University and the AEON Environmental Foundation, has been in operation since 2020 and is working on research and development and social implementation in collaboration with various regions across the country. In this study, with the full cooperation of the AEON Environmental Foundation, we will work with the AEONTOWA Research Center to clarify the needs of local governments, including prefectures, cities, towns, and villages across the country, based on the results of research on the promotion of local industries at the Society for Regional Revitalization and other organizations. Furthermore, we will grasp the potential of these supply chains, which are some of Japan's leading environmentally conscious regional consumer industry groups and also serve as important customers for various domestic industries, and develop a strategy to link them to integrated social implementation.

Achievement of this year

This research was carried out by collecting various information, inviting experts in various fields, mayors of municipalities, and administrative officials to classes and seminars at Waseda University,

research groups, and subcommittees at the Society for Regional Revitalization and the International P2M Society, and engaging in dialogue. As a result, we were able to clarify the elements of new value in biomass-related technologies (including social technologies) that are accepted by society, and obtain basic knowledge for social implementation of research and development results. Furthermore, we proceeded with the organization of the environmental three societies (carbon neutral, circular economy, nature positive) integration theory to form a definition of carbon negative. We also organized basic knowledge on research and development of collaboration methods with the AEON Group, which is the core of the implementation strategy linked to the operation of various systems in Japan and Southeast Asian countries.

1. Regarding the environmental three societies integration, we have begun creating a strategic 3S model based on P2M theory, which is the standard theory for program/project management and social value creation, at the International P2M Society and other organizations (scheme → system → service).
2. The AEONTOWA Research Center, a collaborative research center between Waseda University and the AEON Environmental Foundation, has been in operation since 2020, and is working on research and development and social implementation in collaboration with various parts of the country. 2. As part of collaborative research with the AEONTOWA Research Center, we held 15 study sessions throughout the year, inviting experts and local practitioners. The themes were: 1) Regional management that protects and nurtures a rich natural environment, 2) Regional management that protects and nurtures local traditional culture, 3) Regional management that contributes to the revitalization of disaster-stricken areas, 4) Regional management that nurtures local livelihoods, 5) Regional management that reconstructs urban life, and 6) Regional management that serves as a catalyst for social design and regional-urban collaboration, and we were able to consolidate a great deal of knowledge. These results reflect the advice of experts based on knowledge gained from the research and practice that the AEONTOWA Research Center is actively conducting throughout the country.

炭素耕作社会実現に向けた社会受容性における技術デザインの考察

佐伯 とも子

日本工学アカデミー・会員

研究協力者

佐村 秀夫、神本 正行、野村 正勝、坂西 欣也

研究の目的

バイオマス利活用の国内および海外における出口動向としてエネルギー利活用、マテリアル利活用の調査を関連団体などの動向調査、連携組織との情報交換などをおして引き続き行う。

炭素耕作社会を実現するためには、バイオマス利活用のための技術要素を開発するだけでなく、その技術について地域社会への実装が可能であるかどうかを検討し、その技術の社会受容性を向上させることが求められる。

そこで、バイオマス利活用の社会受容性を向上させ、カーボンネガティブ実現を加速するために、炭素循環型の新しい技術デザインの検討を行う。また、地域の特徴を生かし地域課題の解決と地域活性化に資するバイオマス利活用モデルについて調査研究し考察する。今年度は、地域の特徴を活かし、地域課題の解決と地域活性化に資するための調査・検討の項目を見出す。さらに、他の課題の開発技術の中、地域の特徴を生かし地域課題の解決と地域活性化に資するために優先的に連携する課題の開発技術を選定する。

バイオマス利活用モデルの提案をする地域モデルとしては、青森・弘前モデル、福島浜通りモデルの2地域について検討する。

福島浜通りモデルでは、復興を目的とするバイオマス利活用事業の場合に特徴的な技術要素、とその他の周辺技術、社会デザインを見出すため、バイオマス事業、その他事業での、事業地としての選定理由、その他の工夫など評価する項目を選定する。

また、バイオマス利活用事業において、資源と地域を結びつける技術要素として、トレーサビリティに基づく価値創出が挙げられ、そのためのデータの可視化について調査研究を行う。

本年度の成果

1) バイオマス利活用の出口動向

マテリアル製造では、多くの化学系企業が、石油化学からの脱却を目指して懸命に取り組んでいて、経済産業省なども積極的な支援政策を打ち出しており、今後の展開が期待される。木造都市に向けた検討が EU はじめ内外で進められ、日本の新しい山林利活用のシステム構築にもつながると期待できる。

エネルギー創生を目指す利活用でも、バイオマス発電・熱利用等種々検討が進められ、今後、他の再生可能エネルギーとの役割分担、バイオマス・エネルギーの位置づけの明確化が求められる。

2)社会受容性

研究者、事業者との情報交換を通して、地域の特徴を活かし、地域課題の解決と地域活性化に資するための調査・検討の項目として、バイオマス資源ポテンシャル、バイオマス利活用で生み出される新たな価値や利害関係者の得られるベネフィット、他の再生可能エネルギーや周辺技術などを選定した。

a) 青森・弘前モデルでの検討

再生可能エネルギー分野の技術者、県・市町村、事業者との情報交換を行い、県、市町村、地域に関する調査・検討の項目として、下記の項目を選定し調査を開始した。

①CO2 排出量削減目標とその内訳、②バイオマスおよび再エネの導入ポテンシャル、並びにそれらの利用状況と将来見通し、③事業立地候補地、④地域課題の解決と地域活性化に資するバイオマス利活用の事例。

b) 福島浜通りモデルでの検討

バイオマス事業、その他事業での、事業地としての選定理由、そのための工夫などを評価する観点を抽出するため、文献調査を行うとともに、技術者、事業者にアンケート、ヒアリングを行なった。評価の観点として、①製品、②製造販売事業者、③事業立地地域などとの関連、④製品購入のための工夫、を選定した。

c) データの可視化

バイオマス発電の安定稼働と利用環境の改善を目指す事例において、木質バイオマス燃料のサプライチェーンの需給管理と品質可視化、GHG 管理を通じてデジタル伝票の有用性を確認した。

2024 年度の業績

原著論文

なし

総説・本

なし

国際学会発表

なし

国内学会発表

なし

メールアドレス: saiki.tm@gmail.com

ホームページ: <https://researchmap.jp/read0200934>

A Study on Technical Design in Social Acceptability for the Realization of a Carbon-Cultivated Society

Tomoko SAIKI

Member, Engineering Academy of Japan

Co-researcher

Hideo SAMURA, Masayuki KAMIMOTO, Masakatsu NOMURA, Kinya SAKANISHI

Purpose

We continue to conduct surveys on energy utilization and material utilization as exit trends for biomass utilization in Japan and overseas through trend surveys of related organizations and information exchange with partner organizations.

In order to realize a carbon-cultivating society, it is necessary not only to develop technological elements for biomass utilization, but also to examine whether the technology can be implemented in local communities and to improve the social acceptability of the technology. Therefore, in order to improve the social acceptance of biomass utilization and accelerate the realization of carbon negative, we will study the design of a new technology for carbon circulation. In addition, we investigate and consider biomass utilization models that contribute to solving regional issues and regional revitalization by taking advantage of the characteristics of the region.

In this fiscal year, we will find items for investigation and consideration that will contribute to solving regional issues and revitalizing the region by taking advantage of the characteristics of the region. In addition, among the development technologies of other Tasks, we will select development technologies for issues that will be prioritized in collaboration in order to contribute to solving regional issues and revitalizing the region by taking advantage of the characteristics of the region.

As a regional model for proposing biomass utilization models, we consider two regions: the Aomori-Hirosaki model and the Fukushima-Hamadori model. In the Fukushima Hamadori model, in order to find the technical elements characteristic of the biomass utilization project for the purpose of reconstruction, the peripheral technologies for it, and the social design for it, issues to evaluate the reasons for selecting as a business site, the ingenuity for that purpose and so on in case of the biomass business and other businesses, will be selected.

In addition, in the biomass utilization business, value creation based on traceability is pointed as a technological element that connects resources and the region, and we conduct research on data visualization for this purpose.

Achievement of this year

1) Exit trends for biomass utilization

Many chemical companies are working hard to manufacture materials from biomass in an effort to move away from petrochemicals. The Ministry of Economy, Trade and Industry and so on have put forward active support policies, and future developments are expected.

Studies are being conducted both domestically and internationally toward wooden cities, which are expected to lead to the creation of a new system for utilizing forests in Japan.

Various studies are being conducted regarding the utilization of biomass for energy creation. In the future, it will be necessary to clarify the division of roles with other renewable energies and the positioning of biomass energy.

2) Social acceptability

Through the exchange of information with researchers and business persons, we selected items for investigation and consideration that will contribute to solving regional issues and revitalizing the region by taking advantage of the characteristics of the region. The items included the potential of biomass resources, the new value created by the use of biomass and the benefits to be obtained by stakeholders, and other renewable energies and peripheral technologies.

a) The Aomori-Hirosaki model

We have exchanged information with engineers in the field of renewable energy, prefectures, municipalities, and businesses to find important items to be investigated and considered for the prefectures, municipalities and regions. The selected items, which we have started to investigate, are as follows:

①CO₂ emission reduction targets and their breakdown, ②Introduction potential of biomass and renewable energy, as well as their current usage and future outlook, ③ Available business locations, ④Examples of biomass utilization contributing to solving regional issues and regional revitalization.

b) The Fukushima Hamadori model

We conducted a literature survey, as well as questionnaires and interviews with engineers and businesses.

We have selected the followings for the viewpoint of evaluating the reasons for selection of a business site and the ingenuity to achieve it in biomass businesses and other businesses:

①Product, ②Manufacturer and distributor, ③ Relationship with the region where the business is located, ④ Ingenuity for purchasing products

c) Data Visualization

In a case study aimed at stable operation of biomass power generation and improvement of the usage environment, we have confirmed the usefulness of digital slips through supply and demand management, quality visualization, and GHG management of the supply chain of woody biomass fuels.

世界農業遺産認定地域のバイオ炭に関する社会的受容性および価値創出に関する考察

大和田 順子

立命館大学日本バイオ炭研究センター・客員教授

研究協力者

真造 賢二、瀧川 昇、長瀬 一也、平 喜之

研究の目的

第5グループでは「地域におけるバイオマスの価値創出と地球規模の価値をつなげる」ことを目指している。立命館大学日本バイオ炭研究センターでは、2025年度は「世界農業遺産」認定地域（和歌山県「みなべ田辺の梅システム」）のうち、みなべ町の「SDGs未来都市」認定後の取り組みを中心に調査研究を行った。

なお、本研究「世界農業遺産認定地域のバイオ炭に関する社会的受容性および価値創出に関する考察」の目的は、拠点の実装対象地域への汎用性を検討しつつ、研究対象地域において以下を明らかにすることである。

①地域における農業の歴史・文化、農業生物多様性の特徴等（世界農業遺産5つの基準に関する内容）を活かした持続可能な地域づくり計画の立案手法

今年度は、みなべ町「SDGs未来都市計画」策定プロセスの分析をプロジェクト&プログラムマネジメント（P2M）の管理手法を適用し行う。

②地域住民による地域バイオマスや生物多様性を活用した価値創出のための地域実装プロセスの構築

昨年度に引き続き、みなべ町の梅剪定枝のバイオ炭化と、それによる価値創出の地域実装プロセスを構築する。

③都市部住民との関係構築（関係人口）による価値創出プロセス

みなべ町における「梅収穫ワーケーション」や、「SDGs未来都市」計画および「自治体SDGsモデル事業」を通じた大学生のフィールドワーク（アクティブ・ラーニング）による価値創出

④地域で行われている上記取組等をSDGsの観点から地球規模の価値とつなげること

みなべ町SDGs未来都市計画、特に「自治体SDGsモデル事業」の推進支援、ロジックモデルの推進管理を行う。

本年度の成果

みなべ町は、2024年度の本研究を通じて行った準備・調査を踏まえ、内閣府の「SDGs未来都市」に申請した。その計画は5月に認定され、「自治体SDGsモデル事業」にも選定され予算を獲得した。筆者は計画の策定から推進まで支援している。2024年度は以下

のような取り組みが行われた。

①プラットフォーム形成事業：「SDGs 未来都市」計画の推進を評価する指標として町全体のウェルビーイング指標を策定する。デジタル庁の地域幸福度（Well-Being）指標に準拠した町民アンケート調査を実施することで町独自のデータを把握した。

②みなべ梅ラーニングコモンズ：学習する組織みなべ町を実現するため、「OECD ラーニング・コンパス 2030」に準拠した学習する機会「みなべ梅ラーニングコモンズ」を設けた。2024 年度は梅と健康、バイオ炭、生物多様性など8つの探究テーマを設定した。町民、役場職員、町外の専門家等が参加し、企画から活動まで行った。

③バイオ炭定量化事業：今年度は中型の炭化炉が導入され、梅剪定枝のバイオ炭化の実証が行われた。さらに町内の農家（901 人）を対象とした調査を実施した。

これらの取り組みの中で、本年度の本研究の成果としては、まず、昨年度の予備調査を踏まえ、みなべ町が「SDGs 未来都市」認定ならびに「自治体 SDGs モデル事業」に選定されたことを挙げたい。

次に、同町の「SDGs 未来都市」計画やバイオ炭の取り組みについて、自治体（兵庫県講演）、日中韓の世界農業遺産地域（東アジア農業遺産学会）にて紹介できたこと。書籍にて「集落の価値を高め磨くツールとは」と題し、みなべ町や世界農業遺産地域の特徴を紹介したこと。また、国際 P2M 学会での口頭発表ならびに、論文投稿を行ったことである。論文では「SDGs 未来都市」計画立案プロセスにおけるプロジェクト&プログラムマネジメント（P2M）の管理手法の適用法と有効性を論じた。併せて、SDGs 未来都市のフレームワークと P2M の管理手法を組み合わせ、農山漁村地域における SDGs の実践に効果的であると考えられる新たな統合フレームワークについて提案した。

2024 年度の業績

原著論文

なし

総説・本

新川達郎監修『コミュニティ・デザイン新論』、第6章 集落の価値を高め磨くツールとは？ 2024 年9月、さいはて社

国際学会発表

なし

国内学会発表

・学会口頭発表「SDGs 未来都市」計画策定と P2M ～和歌山県みなべ町を事例として」、

国際 P2M 学会、会場：青山学院大学、11/9

（その後、論文「SDGs 未来都市」計画策定と P2M ～和歌山県みなべ町を事例）として投稿し、2025 年 4 月発行の学会誌に査読論文として掲載予定）

・口頭発表「SDGs 未来都市構想によるみなべ町の持続可能な地域づくりの推進」、東アジア農業遺産学会、会場：岐阜県庁、8/8

・ワークショップ：COI-NEXT インドネシア・タイワークショップにて報告、7/30

・ワークショップ：SDGs 研究部会にて「SDGs 未来都市・和歌山県みなべ町「みなべ梅ラーニングコモンズ」」報告、会場：名古屋大学、地域活性学会 SDGs 分科会、9/8

・招待講演「農山漁村における SDGs の取組と活用事例」兵庫県農林水産部主催ひょうご農林水産 SDGs セミナー、会場：神戸市産業振興センター、7/10

・招待講演「SDGs 未来都市と P2M～世界農業遺産認定地域を事例に～」、国際 P2M 学会セミナー、会場：早稲田大学、7/21

なし

メールアドレス: jowada@fc.ritsumei.ac.jp

ホームページ: <https://researchmap.jp/owadajunko>

A Study on the Social Acceptance and Value Creation of Biochar in Globally Important Agricultural Heritage Systems (GIAHS) designated sites.

Junko OWADA

Visiting Professor, Japan Biochar Research Center, Ritsumeikan University

Co-researcher

Kenji SHINZOU, Noboru TAKIGAWA, Kazuya NAGASE, Yoshiyuki TAIRA

Purpose

The purpose of this study is to examine the applicability of the research outcomes to other target areas while clarifying the following points in the study region:

1. Methods for planning sustainable community development that leverage the region's agricultural history, culture, and agrobiodiversity—elements aligned with the five criteria of the Globally Important Agricultural Heritage Systems (GIAHS).
2. Processes for implementing regional initiatives led by local residents to create value through the use of regional biomass and biodiversity.
3. Processes of value co-creation through relationship-building between urban residents and rural communities.
4. Strategies to link local practices and initiatives with global values from the perspective of the Sustainable Development Goals (SDGs).

Achievement of this year

In FY2023, based on preparatory research conducted through this study, Minabe Town applied for the Japanese Cabinet Office's "SDGs Future City" initiative. In May 2024, the town was officially recognized as an SDGs Future City and selected for the "Municipal SDGs Model Project," securing related funding. The author supported the process from planning through implementation. In FY2024, the following initiatives were undertaken:

1. **Development of a SDGs Platform:** A town-wide well-being index was developed to evaluate progress on the SDGs Future City plan. A resident survey based on the Digital Agency's well-being indicators was conducted to obtain original data specific to Minabe Town.
2. **Minabe Ume Learning Commons:** Aiming to establish Minabe as a learning community, the town introduced the "Minabe Ume Learning Commons" based on the OECD Learning Compass 2030. In FY2024, eight themes—including ume and health, biochar, and biodiversity—were explored. Residents, municipal staff, and external experts collaborated from planning to implementation.

3. Biochar Quantification Project: A medium-scale carbonization furnace was introduced, and a demonstration project on biochar production from pruned ume branches was conducted. A survey targeting 901 farmers was also implemented.

This year, our study highlighted Minabe Town's selection as an "SDGs Future City" and a "Municipal SDGs Model Project." We presented its initiatives on biochar and SDGs planning at domestic and international conferences, published related insights in a book.

Additionally, the results were presented at the P2M Conference and submitted as a paper, proposing a new integrated framework that combines the SDGs Future City model with Project & Program Management (P2M) methodologies to enhance sustainable development in rural communities.

「サステナブルブランドを基軸とした価値の共創
— 生産から消費を繋ぐ炭素耕作の社会技術デザイン」

吉川 成美

総合地球環境学研究所 基盤研究部 上廣環境日本学センター・
センター長／特任教授

研究の目的

本研究は、炭素耕作を基軸とした炭素循環型社会の構築に向けて、技術・価値・社会の連関を再構築し、「生産から消費までを繋ぐ価値創出のストーリー」を明確化・社会実装することを目的とする。とりわけ、経済的価値に加えて、生物多様性、文化、健康、食料安全保障といった「**Regenerative Agriculture**」の理念に根ざした多元的価値に着目し、それらを活かした「炭素耕作のブランド構築」と、サーキュラーエコノミーの視点を踏まえた持続可能な地域社会のあり方を探究する。

さらに、社会に受容される技術の条件を明らかにするため、地域における共創の対話の場を通じて、サステナブルデザインの観点から、炭素耕作を中心とした技術群とその価値の見える化・共有化を図る。あわせて、炭素耕作のブランディングを深化させることで、地域と市場を結びつける新たな価値の創出と社会的受容の拡大をめざし、炭素耕作を受容する社会の実現へとつなげていく。

本年度の成果

本研究は、炭素耕作を基盤とする炭素循環型社会の構築を目指し、技術・価値・社会の連携を再構築して「生産から消費までを繋ぐ価値創出のストーリー」を明確化・社会実装することを目的としています。特に、**Regenerative Agriculture** に基づく多元的価値（生物多様性、文化、健康、食料安全保障）を重視し、炭素耕作のブランド構築とサーキュラーエコノミーの視点から持続可能な地域社会の実現を探究するものである。

2025 年度の主要な成果の一つとして、「第 9 回サステナブルブランド会議 2025 東京・丸の内」におけるセッション「食とエネルギーの自給への挑戦と豊かな地方再生」が挙げられる。

本セッションでは、本研究の対象者、株式会社フェイガーの石崎貴紘氏、ファブリック株式会社のネマニ蓮美氏、一般社団法人置賜自給圏推進機構の渡部務氏より「炭素耕作」に関する食とエネルギー自給の実践的取り組みによる知見を共有し、「炭素耕作」を新たなコンセプトとして提示し、価値創出の物語としてブランド構築を試み、今後の社会実装と市場接続に向けた基盤を豊かな地方の未来像として議論した。

その後、企業・自治体・研究機関から「炭素耕作」に関する問い合わせが複数寄せられており、これらの新しい価値をどのように評価・可視化するかについて、ブランド基準の

構築や評価指標に関する協議や連携の打診が相次いでいる。こうした社会的反響は、「炭素耕作」に関する技術・価値・社会の連携をさらに深め、ブランドとして確立する重要な基盤となりつつある。

さらに、来年度に向けては「炭素耕作」をテーマにしたセッション構築の具体的な検討を行い、より多くのステークホルダーとの対話と共創を促進することを目指している。また「炭素耕作ブランド構築」をテーマとした連載記事の執筆依頼があり、実践事例を通じて社会的意義を伝え、社会的受容性の向上を狙いたい。今後も地域の共創の場を通じて、技術と価値の共有化を進め、地域と市場を結びつける新たな価値創出と社会的受容の拡大を目指して、「炭素耕作を受容する社会の実現」へとつなげていく。

2024 年度の業績

原著論文

なし

総説・本

なし

国際学会発表

なし

国内学会発表

なし

発表

○Narumi Yoshikawa, “Sustainable Branding that Connects Agriculture and Food: Visualizing the Narrative,” October 3, 2024, Global Ethics Day, Research Institute for Humanity and Nature.

メールアドレス: narumin@chikyu.ac.jp

ホームページ: <https://ujes.jp/>

**Co-Creation of Value Based on Sustainable Branding:
Social Technology Design for Carbon Farming that Connects Production and Consumption**

Narumi YOSHIKAWA

**Head and Professor, Uehiro Research Center for Human and Nature,
Research center for Human and Nature**

Purpose

This research aims to reconstruct the interrelationships among technology, values, and society to build a carbon-circulating society centered on carbon farming, and to clarify and socially implement a "value creation story that connects production and consumption." It focuses on the multifaceted values rooted in the philosophy of "Regenerative Agriculture"—including biodiversity, culture, health, and food security—beyond mere economic value, and explores how these can contribute to the branding of carbon farming and the design of sustainable regional societies from a circular economy perspective.

Furthermore, to clarify the conditions under which technologies are accepted by society, the research promotes visualization and sharing of the values associated with carbon farming technologies through co-creative dialogue in local communities, viewed through the lens of sustainable design. By deepening the branding of carbon farming, the project seeks to create new values that connect local regions with markets and expand social acceptance—ultimately aiming to realize a society that embraces carbon farming.

Achievement of this year

This research aims to build a carbon-circulating society grounded in carbon farming by reconstructing the connections between technology, values, and society, and by clarifying and socially implementing a "value creation story that connects production and consumption." It emphasizes the multifaceted values rooted in "Regenerative Agriculture" including biodiversity, culture, health, and food security—while exploring the realization of sustainable regional communities through the branding of carbon farming and the perspective of a circular economy.

One of the major achievements in FY2025 was the session titled "Challenges Toward Local Self-Sufficiency in Food and Energy and the Regeneration of Vibrant Rural Areas" held at the 9th Sustainable Brands Conference 2025 in Tokyo/Marunouchi. In this session, key stakeholders involved in this research—Mr. Takahiro Ishizaki of Fager Inc., Ms. Hasumi Nemani of Fabric Inc., and Mr. Tsutomu Watanabe of the Okitama Local Self-Sufficiency Promotion Organization—shared practical insights into self-sufficiency initiatives in food and energy through the lens of carbon farming. The concept of "carbon farming" was presented not merely as a technology or practice but as a narrative

of value creation, marking the beginning of efforts to develop it as a brand and laying the foundation for future social implementation and market integration by envisioning prosperous rural futures.

Following the session, there has been a notable increase in inquiries from companies, local governments, and research institutions regarding carbon farming. These inquiries reflect strong interest in how to evaluate and visualize new values related to carbon neutrality and carbon negativity, leading to discussions and proposals on establishing brand standards and evaluation indicators. This social response is becoming an essential foundation for deepening the integration of technology, values, and society around carbon farming and for establishing it as a recognized brand.

Looking ahead, the team is moving forward with concrete planning for a dedicated session on carbon farming for next year, aiming to further promote dialogue and co-creation with a wider range of stakeholders. In addition, the team received a request to write a series of articles on “carbon farming brand development” for the Japan Agricultural Newspaper. These articles will introduce practical case studies and communicate the social significance of carbon farming, contributing to greater public understanding and acceptance. Through ongoing community-based dialogue and shared design efforts, the project will continue to foster value co-creation that connects regions and markets, ultimately working toward the realization of a society that embraces carbon farming.

東京家政学院大学大学院における人間生活学の視座からの社会的受容性の評価手法開発

江川 賢一

東京家政学院大学大学院人間生活学研究科・教授

研究の目的

社会に受容される技術の新しい価値（健康・栄養など人間科学分野）の要素の明確化に取り組む。特に、炭素耕作社会における地域の多様な価値の候補となる健康や栄養に基づく価値、および少子高齢化社会に備え創出される価値を検討する。

本年度の成果

「炭素耕作社会」が実装される地域社会を想定し、社会的受容性の評価に資する健康と環境の相関という観点から、アメリカスポーツ医学会（ACSM）、日本健康教育学会、日本体力医学会、日本公衆衛生学会、生涯スポーツ・体力づくり全国会議 2025 に参加して、運動、栄養、健康価値に関する情報を収集した。今年度は疾病予防の観点から我が国が世界をリードしている総合健診に分野において、国内、国際学会における研究動向を調査した（The 29th Biennial Meeting of The International Health Evaluation and Promotion Association 2025、日本総合健診医学会第 53 回大会）。運動行動と環境の相互作用を解明する運動生態学の視座を確立するために、第 72 回日本生態学会大会において若手研究者との交流を通じて議論を深めた。COI-NEXT 琉球大学拠点との共創を含めて、社会的受容性の評価尺度の開発を進めていく研究者ネットワークを構築した。

2024 年度の業績

原著論文

なし

総説・本

なし

国際学会発表

なし

国内学会発表

江川賢一（2025）ヒトの健康寿命を延伸するための運動生態学研究:プラネタリーヘルスの視座から 第 72 回 日本生態学会大会自由集会「誰でも 5 分でアピール!生態学ライトニングトーク@札幌」

メールアドレス: egawa@kasei-gakuin.ac.jp

ホームページ: -----

Development of Evaluation Methods for Social Acceptability from the Perspective of Human Life Studies at Tokyo Kasei Gakuin University Graduate School

Ken'ichi EGAWA

Professor, Graduate School of Human Life Sciences, Tokyo Kasei Gakuin University

Purpose

To work on clarifying the elements of new values of technology (in human science fields such as health and nutrition) that are acceptable to society. In particular, we will examine values based on health and nutrition, which are candidates for various local values in a carbon-neutral society, and values created in preparation for an aging society with a declining birthrate.

Achievement of this year

Assuming that local communities will implement a “carbon cultivation society,” we participated in the annual meeting of the American College of Sports Medicine (ACSM), the Japanese Society for Health Education, the Japanese Society of Physical Fitness Medicine, the Japanese Society of Public Health, and the National Conference on Lifelong Sports and Physical Fitness 2025 to obtain information necessary for social acceptability assessment. The latest research trends in exercise, nutrition, and health values were reviewed from the perspective of the correlation between health and the environment, which contributes to the assessment of social acceptability.

This year, we explored research trends at domestic and international conferences in the field of comprehensive health checkups, where Japan is leading the world in terms of disease prevention (The 29th Biennial Meeting of The International Health Evaluation and Promotion Association 2025, The 53rd Annual Meeting of the Japanese Society of Comprehensive Health Examination Medicine). In order to establish the perspective of exercise ecology, which elucidates the interaction between exercise behavior and the environment, discussions were deepened through exchanges with young researchers at the 72nd Annual Meeting of the Ecological Society of Japan.

A network of researchers was established to promote the development of evaluation scales for social acceptability, including co-creation with the COI-NEXT University of the Ryukyus Center.

カーボンネガティブの 限界に挑戦する 炭素耕作拠点



21世紀の産業革命：
炭素狩猟社会から炭素耕作社会への進化



拠点プロジェクトリーダー
東京農工大学 准教授
養王田 正文

炭素耕作による カーボンネガティブ社会の実現

目指す社会

目標：2050年に、イネ、樹木、藻類の炭素耕作により、それぞれ、1200万トン、2900万トンおよび300万トン相当の炭素貯留と、その利用による産業の創成を実現。



SDGs目標



本拠点の目指すもの

炭素耕作の本質は、バイオマスの積極的な生産・価値化・循環再利用化です。

バイオマスの固定量を大きく増大させるとともに、炭素蓄積量を増大させる栽培法の開発によりカーボンネガティブ特性の付与を実現します。

さらに、バイオマスの高付加価値化を強力に推進し、経済性から放棄され未利用となっている土地を全面的にバイオマス生産地へと転換します。本拠点では、米、木材、藻類の技術を中心とした炭素耕作を推進します。



CO₂固定能力・バイオマス生産能力の高い品種を開発する。
食料危機への安全保障としても有用。



炭素固定速度を最重要視した短伐期
高効率の新しい林業を創出する。



周囲が海で囲まれている日本にとって
大きな可能性のある藻類を用いた炭素
耕作による燃料生産技術確立する。



カーボンネガティブ実現に向けた 研究開発ターゲット



① 炭素耕作型農林業の確立

研究開発リーダー 大川 泰一郎 東京農工大学大学院農学研究院 教授



東京農工大学 太平洋セメント
海洋開発機構 草野産業 NEWGREEN
スマートアグリ・ソリューションズ
星妙 大須磨園 高級酒造所
北陸先端科学技術大学院大学 弘前大学
琉球大学 農業・食品産業技術総合研究機構
森林総合研究所

⑤ 炭素耕作を受容する 社会の実現

研究開発リーダー
永井 祐二
早稲田大学環境総合研究
センター-研究院 教授



早稲田大学 日本工学アカデミー
立命館大学 東京農工大学
東京家政学院大学 エフビコ
イオン イオンアグリ創造
イオン環境財団 イオン琉球
総合地球環境学研究所 福島県双葉郡広野町



研究課題

1

② 炭素耕作による材料開発技術の確立

研究開発リーダー
吉田 誠
東京農工大学大学院
農学研究院 教授



東京農工大学 産業技術総合研究所
長岡技術科学大学 弘前大学
森林総合研究所 ライケット
AGC 西田建設工業
日本バイオデータ 東京工業大学
ジャパンインベストメントアドバイザー

研究課題

2

カーボンネガティブ
の限界に挑戦する
炭素耕作拠点



研究課題

4

研究課題

3



④ 炭素耕作で生成する温室効果 ガス削減と廃棄物処理技術の 確立

研究開発リーダー 寺田 昭彦
東京農工大学大学院工学研究院 教授



東京農工大学
産業技術総合研究所
三菱ケミカル



③ 炭素耕作による燃料生産技術の確立

研究開発リーダー 乾 将行
公益財団法人地球環境産業技術研究機構
バイオ研究グループ グループリーダー/主席研究員



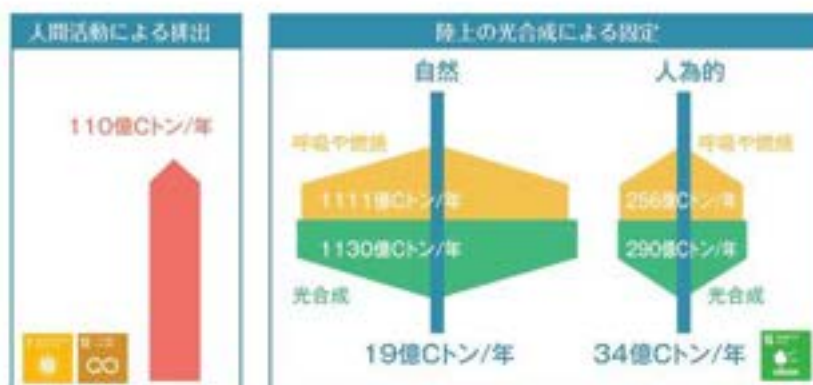
弘前大学 東京農工大学
地球環境産業技術研究機構
津軽バイオマスエナジー
大陽日酸
エンバイオエンジニアリング
青森県つがる市
青森県南津軽郡大鰐町



炭素耕作 Carbon Cultivationとは？

バイオ技術により炭素(CO₂)を固定し、材料、エネルギーを生産、価値化、循環再利用する

人類は農業の発明により狩猟社会から耕作社会に変革し、大量の食料獲得に成功したが、エネルギーと材料は古代に固定された炭素資源である化石燃料に依存した狩猟型炭素社会が続いている。化石燃料を利用した現在の文明の発展により、CO₂増加の課題をかかえてしまった。CO₂固定は光合成でのみ可能だが、日本の農業や森林で固定されるCO₂の量は排出量のわずか1/10以下。しかも固定された炭素の多くは有効に利用されていない。この課題に取り組む新たな技術と社会作りが急務となった。我々は、炭素狩猟社会から炭素耕作社会に進化させる“21世紀の産業革命実現”に挑戦する。

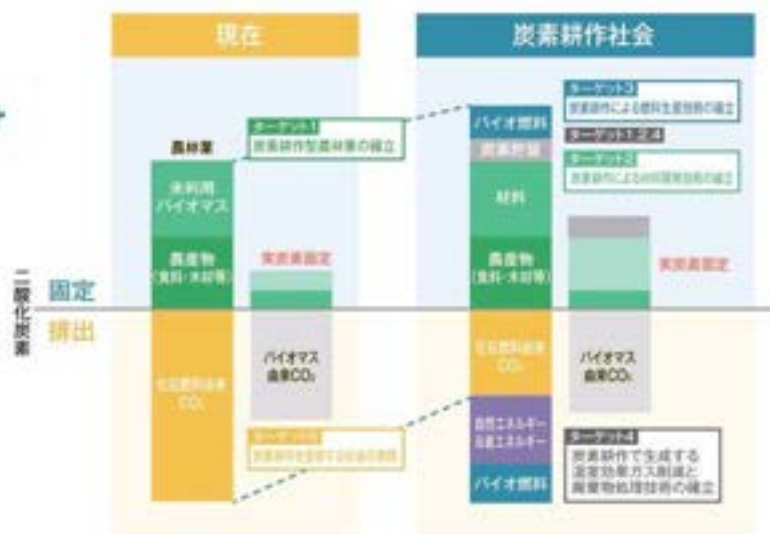


大気中に排出される膨大な二酸化炭素を吸収できるのは光合成のみ。

IPCC Climate Change 2021より推計

人類が放出するCO₂の量は、炭素換算で年間110億トンと推算されている。一方、陸上の光合成で固定されるCO₂は、自然界では1130億トン、農業や林業などの人為的なものが、290億トンと推算されている。そのほとんどが呼吸や燃焼により再びCO₂として放出され、自然界で19億トン、農業や林業などで34億トンが固定されていると推算されている。大気中のCO₂を吸収する様々な技術が提案されているが、排出される膨大なCO₂を吸収する手段は光合成以外にはありえない。

カーボンネガティブ実現の 考え方と各ターゲットの位置づけ



イネ、樹木及び藻類による光合成で固定した炭素を材料と燃料で利用し、利用できなかったバイオマスを処理して肥料にするとともに、余剰の炭素を貯留する。このサイクルを社会が受容し、実現するための手段を構築する。サイクルを回すには、それぞれの段階において社会実装を実現することが必要なので、様々な企業が参画して社会実装を進める。



研究課題 2

炭素耕作による材料開発技術の開発

バイオマスが有する化石資源の代替としてのポテンシャルは絶大です。

本研究課題では、バイオマスを原料として、化石資源に由来する材料の代わりとなる様々な材料を開発します。特に、高い環境調和性を有したバイオマス材料の設計及び化学品開発を目指します。主な対象はイネや木質などの植物バイオマスとし、その中心的な構成成分であるセルロース、ヘミセルロース、リグニンの有用物質への変換技術を開発します。また、東南アジアに豊富に存在するオイルパーム、さらには藻類バイオマスをも対象とし、それらのバイオマスから抽出した植物油脂の変換技術開発も行います。これらのグリーンプロダクツの社会実装を見据え、産学連携による研究開発の加速化、対象とする未利用資源を豊富に有する海外新興国(特にASEAN)との協業展開にも取り組みます。



研究課題 3

炭素耕作による燃料生産技術の開発

水素は燃焼時に水しか生成しないこと、再生可能エネルギーを含む多様なエネルギー源からの生産・貯蔵・運搬が可能で、電力、運輸、熱・産業プロセスのあらゆる分野に利用することで脱炭素化が可能などから、究極のクリーンエネルギーとして期待されています。ただし現行の主要な水素製造技術は化石エネルギーを原料とするため、これに由来するCO₂を排出するという重要な課題があり、社会実装に向けてCO₂フリー水素の生産コストを大幅に低減する必要があります。

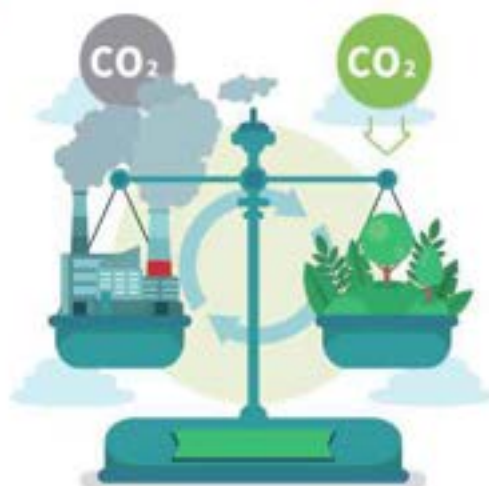
本研究課題では、バイオマスを原料としたCO₂フリー水素生産プロセスの開発を中長期的課題、これと共通の基盤技術を利用した液体燃料生産プロセスの開発を短期的な課題として、研究開発を行います。



研究課題 4

炭素耕作で生成する温室効果ガス削減と 廃棄物処理技術の開発

バイオマス耕作において、各技術工程から排出される廃棄物を適切にリサイクルすることは、持続可能性や環境保全の観点で重要な課題といえます。本研究課題では、課題1、2、3において排出される再利用が困難な廃棄物を畜産業廃棄物と混合した共発酵技術の開発を行い、効率的なメタン回収技術の確立を目指します。次に、メタン発酵後の残渣を炭化し、緩効性肥料に変換する技術を開発するとともに、その効果を評価します。これらの要素技術を組み合わせ、地域循環共生圏確立の加速化に貢献できるような、畜産業や農業をベースとする持続可能なシステムを開発することを目指します。



研究課題 5

社会的受容性の評価手法開発



バイオマスは生産、加工、利用が地域から都市へ、国内から国外へ広範囲に資源が循環され、一部には備蓄できるものと、そうでないものを含むことから、よりその社会的プロセスが複雑化しています。また、バイオマスにおけるカスケード利用のプロセスにおいては経済合理性を有さない場合もあります。本研究課題では、これらの背景を踏まえ、「炭素耕作社会」を地域社会の持続性という観点でバックキャストिंगして、社会に受容される技術開発として評価する手法を開発します。また、我が国の技術を、バイオマス資源が豊富なアジア各国に広め、我が国を含めた広域での循環圏を構築するにあたり、アジア各国の地域社会が抱える課題を明確にし、アジアでの炭素循環（食・エネルギーと人の循環）の必然性に係るロジックを構築します。これらのロジックに基づき、地域循環圏フレームを構築し、新しい価値の創出につなげていきます。

拠点運営機構の体制

代表機関：東京農工大学



参画機関 研究機関 弘前大学 長岡技術科学大学 早稲田大学 東京工業大学 立命館大学
北陸先端科学技術大学院大学 琉球大学 農業・食品産業技術総合研究機構
総合地球環境学研究所 東京家政学院大学 日本工学アカデミー
産業技術総合研究所 地球環境産業技術研究機構 森林総合研究所
海洋研究開発機構

企 業 三菱ケミカル 太平洋セメント スマートアグリ・リレーションズ
四国計測工業 津軽バイオマスエナジー ライケット イオンアグリ創造
エフピコ イオン イオン環境財団 イオン琉球 草野産業
NEWGREEN 日本バイオデータ エンバイオ・エンジニアリング
AGC 大陽日酸 ジャパンインベストメントアドバイザー 星砂 大浜農園
高嶺酒造所

自治体 福島県双葉郡広野町 青森県つがる市 青森県南津軽郡大鰐町

協力機関 朝日アグリア 出光興産 ヤンマーホールディングス 電源開発
アステナホールディングス 千代田化工 西武信用金庫
東京多摩日米協会
府中市・6者協定企業 東芝 NEC サントリー キュービー
東京都 福島県二本松市 JA福島さくら 福島県双葉郡富岡町
長和町エネルギー作物研究会



国立大学法人 東京農工大学

カーボンネガティブの限界に挑戦する炭素耕作拠点



E-mail: tuat_col-next-groups@go.tuat.ac.jp
<https://sp.conext.tuat.ac.jp>



拠点活動の社会実装と社会貢献

本拠点は、光合成のポテンシャルを最大限に活用する炭素耕作によるカーボンネガティブの限界に挑戦します。特に稲作において、メタン生成の抑制、CO₂固定による寄与に加え、地域経済活性化、持続的な発展を目指します。この活動の場として西表島に注目しました。西表島は「世界自然遺産」として認定されているため、環境に関連して数々の制約を受けます。本プロジェクトでは、農業、畜産、水産業、また流通や販売、ひいては島にとって重要な観光業にもつながる、資源循環、価値創造に向けた、拠点の技術の適用を狙います。

活動の背景

- 1 イネは、東南アジアで最も広く栽培されている作物である
- 2 稲作において化学肥料や農薬の利用削減が重要な課題である
- 3 水田での稲作は、温室効果ガスであるメタンや窒素化合物の排出源となる

西表島で抱える具体的課題

農業における代表的課題

- 地産地消**
島の農畜水産物を、島で食べられる仕組みを作ること
- 資源の循環**
島にある牛糞や生ゴミ等から堆肥等の肥料を産出し、それで農作物が作られる仕組みを作ること
- 有機農業**
農薬や化学肥料を減らしていく事で、生物多様性やサンゴを保全、価値創造に繋げる仕組みを作ること

資源循環に関する課題

牛糞の野積み問題、化学肥料のサンゴへの影響、農業の生物多様性への影響、生ゴミ処理の機械化等



有機農業が現状抱える課題

有機農業に使用する堆肥が無いこと、農業を使わない生産に関する技術や知識の不足、機械が無いこと、実際には化学肥料、農薬に頼る農業が主流になってしまっていること



生態系のバランスに関する課題

- 漁場の復活 NP*効果の検証**
この10年で西表の漁場がほぼ消滅している
- ウミガメの食害 ○サンゴの減少
- 漁場の消滅 ○養魚場の流出
- 漁業の不振



※ネイチャーポジティブ

流通経済に関する課題

- 地域資源循環 経済性確保**
地域の生産物は一度島外に出てから一般流通にのっている
- 自然米の生産 ○流通コストの課題
- 地域米の流通 ○肥育牛の価格暴落
- 地域ブランド牛



循環素材に関する課題

- 低環境負荷 易循環素材**
- 海洋ゴミなどの課題
- 島内のゴミ処理の課題



少子高齢化に関する課題

- 新しい概念の流通の構築**
- 地域商店の維持
- 買い物難民の課題



資源管理に関する課題

- 観光と環境の両立**
- 観光業の活性化
- オーバーツーリズム



これらの課題に対するソリューションを創出するべく、本拠点が注力する活動内容は

- ①炭素耕作型イネ栽培技術の開発
- ②農業および畜産廃棄物を有効活用する島嶼型循環農業システムの開発
- ③海洋微細藻類を利用した養殖魚餌料用オメガ脂肪酸の供給
- ④海藻藻場の再生
- ⑤炭素耕作社会における新たな価値の創出の検討に代表されます。特に項目⑤についての具体的な計画は、西表島での安定した米の生産、収量の向上を目指す技術導入、地産地消を目指した酒(泡盛)の生産、および流通においてその価値が消費者にも認められる社会形成を目指すものです。

炭素耕作による島嶼地域の課題解決に向けて ～西表島プロジェクト～

島での稲作の課題に着目した議論から、畜産や海洋を含めた循環における課題、これに対する地域現場のニーズが確認されました。そこから新たな研究テーマの広がりを構想しています。



活動の具体的内容の紹介

育苗研究

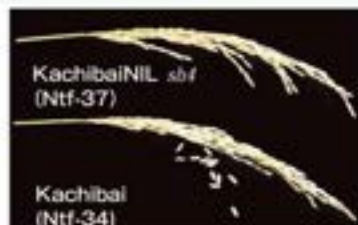
西表島での稲作に向けた育種

東京農工大学にて台風・高温に強い水稲品種を開発、栽培実証を行い、「さくら福姫」を品種登録しました。現在西表島で本品種を栽培中です。



カーチバイの改良

高温で育ち、台風・高温に強い品種としてカーチバイ(インド型品種)が導入された品種で、安定した多収性を示すを選定し、更に課題の脱粒性を改良します。



カーチバイの脱粒性改良

アイガモロボ

農工大拠点は、株式会社NEWGREENと共同で、水田の自動抑草ロボット「アイガモロボ」を活用した稲作技術を開発し、西表島での実証を行っています。

アイガモロボとは？

太陽光エネルギーで動作し、GPS機能により自動で水田上を動き回り、水をスクリーで攪拌することにより、農薬を使用せずに雑草の生育を抑制します。温暖地の水田で問題となっているスクミリンゴガイ(ジャンボタニシ)による水稲の食害を抑制します。また、メタンガスの排出量を半減できることが実証実験で確認されています。



水田で稼働中のアイガモロボ



抑草のポイント

水のにごりにより雑草の光合成を抑制する

スクリーの水の流れで土を巻き上げ、水田全体をにごらせて、太陽光を遮ることで、雑草が光合成をしにくい圃場環境を作ります。

トロトロ層に種子を埋没させる

巻き上げられた土が堆積してトロトロ層(やわらかい土の層)が形成され、雑草の種子が出芽出来ない深さに埋没します。



西表産の原材料を用いた泡盛製造・販売

米、水、酵母など全ての材料を西表産とした泡盛の製造およびその価値を創出した販売

西表島産の原材料を用いた事の価値

自然環境・領土の課題を考慮、解決した事に価値を見出し、理解につなげる

社会に認められ、買っていただけるものに育てる



泡盛の醸造工程



畜産残渣処理

メタン抑制技術

炭素耕作で生成する温室効果ガスの削減と廃棄物処理技術の確立は、本研究のテーマです。具体的には、畜産業や農業をベースとした持続可能なシステム開発として、以下の内容を実施します。

- 発酵残渣・炭化物施用による水管理を融合した水稲栽培における温室効果ガスの削減
- バイオマス利用残渣と畜産廃棄物の混合廃棄物等からの高効率バイオガス回収技術の確立
- メタン発酵残渣の炭化による吸着剤としての利用技術の確立
- メタン・窒素・リンを用いたアップサイクリング技術の確立
- 温室効果ガス・栄養塩を考慮した物質循環モデルの構築



開発するシステム技術は、西表島の資源循環に関する課題、有機農業の実現に向けた課題の解決に大きく寄与します。

※本パンフレットの「研究課題4」の項目にも説明があります。

生物多様性の先にある価値を創出する

大きな社会変革のためには地域の課題抽出から考えることが求められること。そこに積み上げ型の循環をデザインすることが肝要

地域資源の好循環モデル商品の開発

試験販売を通じた消費者ニーズのフィードバック

循環にまつわるストーリーを消費者に伝えることで価値が創出する。生産・製造・流通そして消費者の連携が重要である。

地域資源循環を消費者に伝える方法についての研究

価値創出の広告手法の開発

日本各地の仕組みづくり(OECM)のために世界自然遺産やユネスコエコパークでの実証が先行事例として効果的であること。

消費生活から地域のネイチャーポジティブへ

顧客価値と地球環境価値を接続させるロジックモデルの構築

社会ニーズの分析

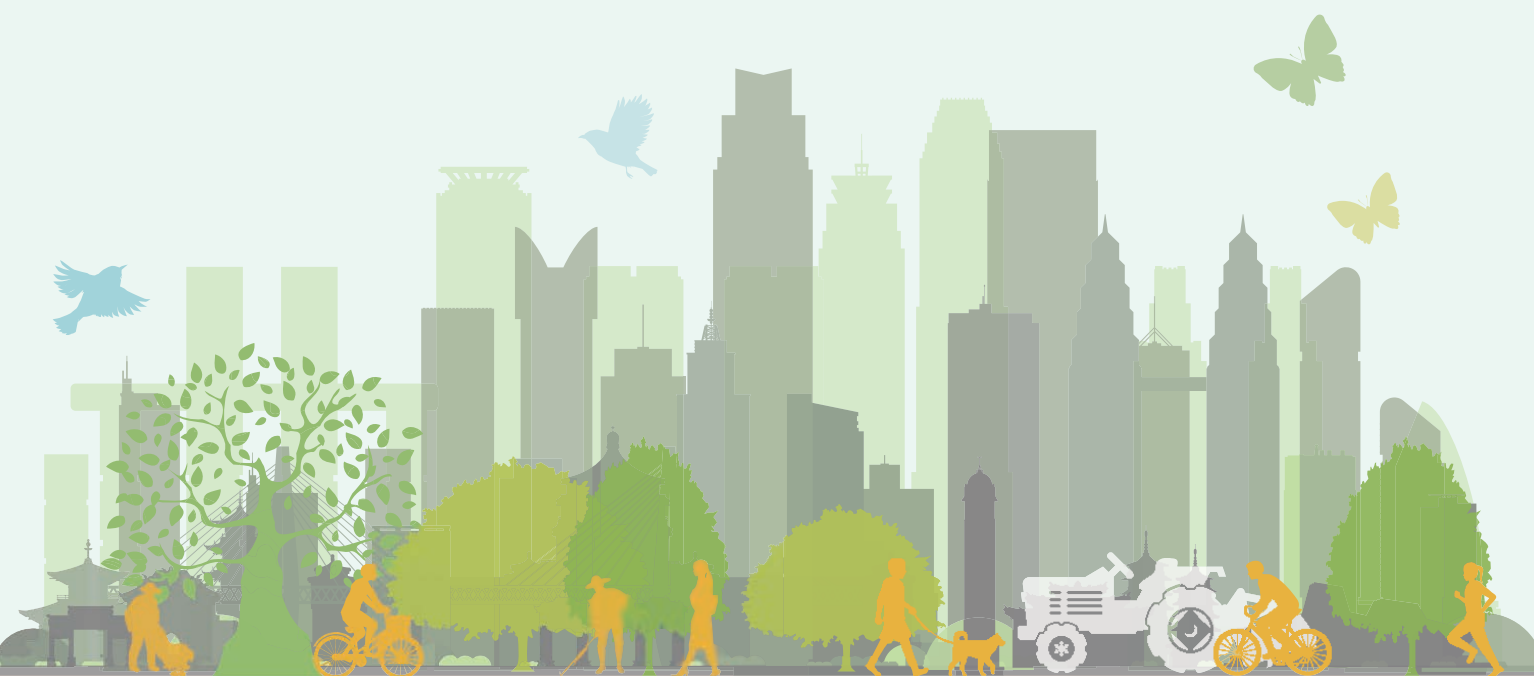
分野横断型アプローチ

新しい価値観の創出

あるべき社会像の共有

A Carbon Cultivation Hub Challenging the Limits of Carbon Negativity

The 21st Century Industrial Revolution:
Advancing from a Carbon Hunting to a Carbon
Cultivation Society

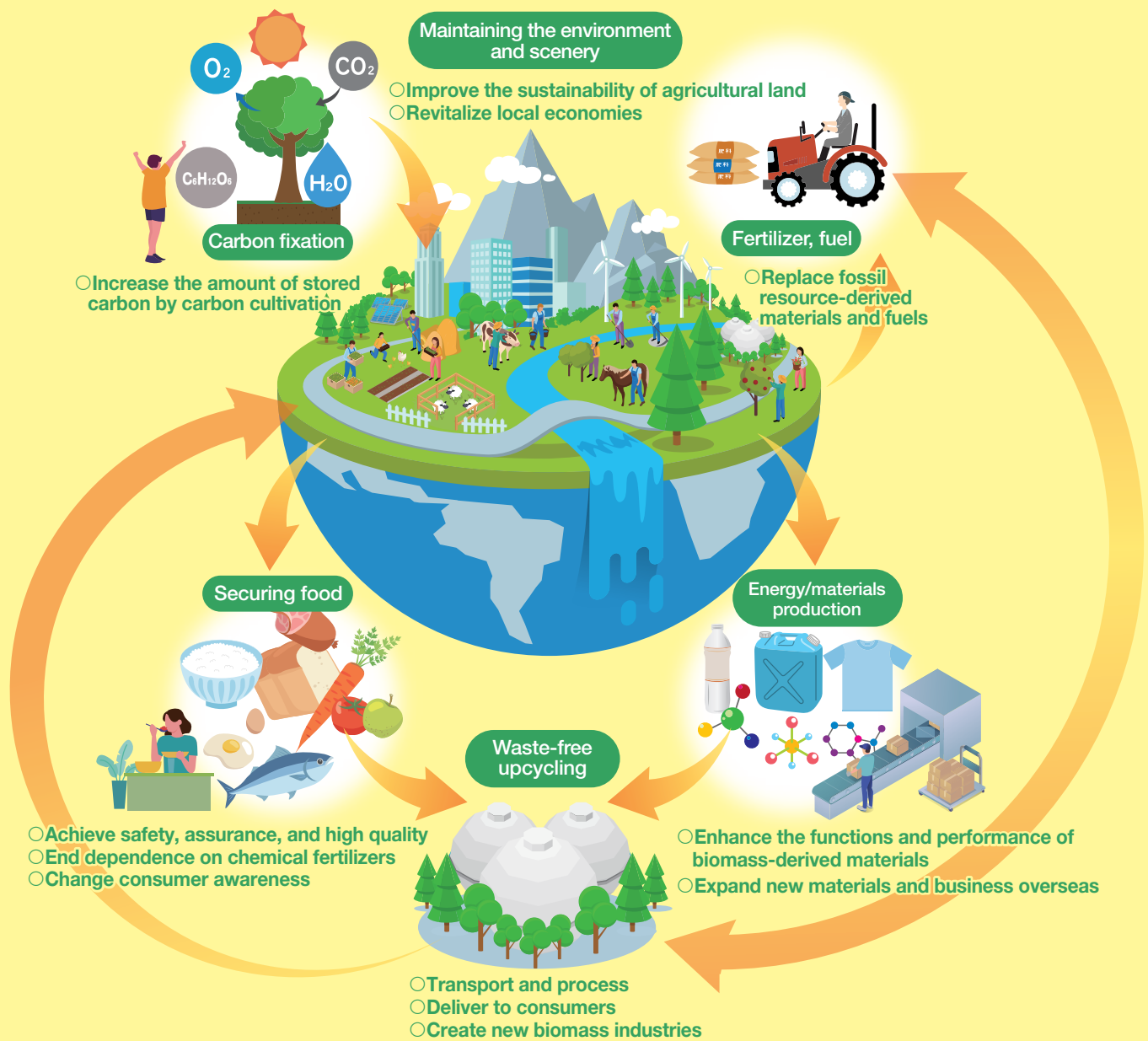


Project Leader
Distinguished Professor,
Tokyo University of Agriculture
and Technology
Masafumi Yohda

Realizing a Carbon-Negative Society through Carbon Cultivation

Aimed-for Society

Goals: By 2050, through carbon cultivation, storing the equivalent of 12 million tons of carbon from rice, 29 million tons from forests, and 3 million tons from algae, and creating industries from their use.



Sustainable Development Goals (SDGs)



Aims of the Hub

The essence of carbon cultivation is the active production, value creation, and recycling/reuse of biomass.

The Hub aims to give biomass carbon-negative characteristics by developing cultivation methods that greatly increase the amounts of fixed and accumulated carbon in biomass.

A further aim is to strongly promote creation of high added value of biomass, leading to the full conversion of land that was abandoned and underutilized for economic reasons into land for biomass production. The Hub will promote carbon cultivation mainly with technologies relating to rice, tree, and algae.

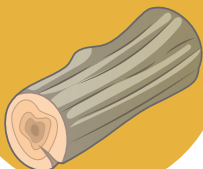
Rice



We will develop rice varieties with high CO₂ fixation and biomass production capacity.

This rice will also be beneficial for achieving food security in the event of a food crisis.

Wood

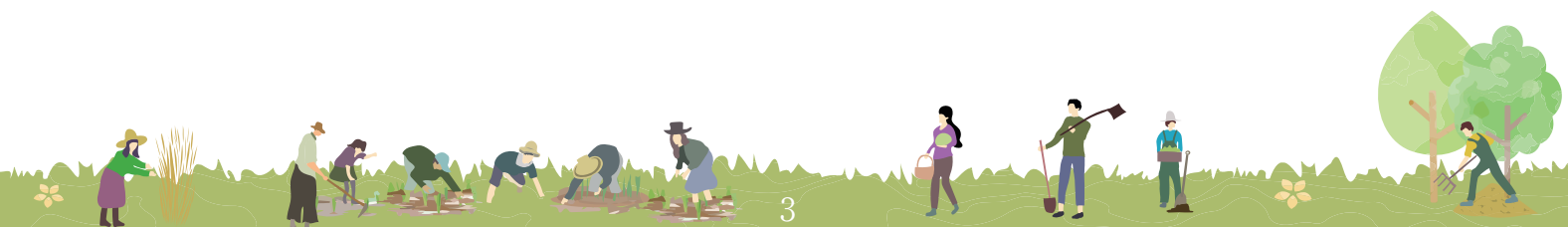


We will create a new short-cutting cycle, high-efficiency forestry industry that prioritizes the rate of carbon fixation.

Algae



We will establish technology for producing fuel by carbon cultivation using algae, which has high potential for Japan, surrounded by oceans.



R&D targets to realize carbon negativity



① Establishing carbon cultivation agriculture and forestry industries

R&D Leader **Taiichiro Ookawa**

Professor, Institute of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology



Tokyo University of Agriculture and Technology/TAIHEIYO CEMENT CORPORATION/Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology/KUSANO CO., LTD./NEWGREEN CO., LTD./Smart Agri Relations Co., Ltd./Ohama farm/TAKAMINE SYUZOSHO Co., Ltd./Japan Advanced Institute of Science and Technology/Hirosaki University/University of the Ryukyus/National Agriculture and Food Research Organization (NARO) /Forestry and Forest Products Research Institute/

⑤ Realizing a society that accepts carbon cultivation

R&D Leader **Yuji Nagai**

Professor, Environmental Research Institute, Waseda University



Waseda University/The Engineering Academy of Japan/Ritsumeikan University/Tokyo University of Agriculture and Technology/Tokyo Kasei Gakuin University/FP Corporation/AEON/ AEON Agri Create/AEON Environmental Foundation/AEON RYUKYU CO., Ltd./Research Institute for Humanity and Nature/Hirono Town, Futaba District, Fukushima Prefecture



Project 1

② Establishing technologies for developing materials based on carbon cultivation

R&D Leader **Makoto Yoshida**
Professor, Institute of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology



Tokyo University of Agriculture and Technology/National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)/Nagaoka University of Technology/Hirosaki University/Forestry and Forest Products Research Institute/Riket/AGC Inc./Shikoku Instrumentation Co., Ltd./Nihon BioData Corporation/Institute of Science Tokyo/Japan Investment Adviser Co., Ltd.



Project 5

A Carbon Cultivation Hub Challenging the Limits of Carbon Negativity



Project 4

Project 3

④ Establishing technologies for reducing greenhouse gases and treating wastes generated in carbon cultivation

R&D Leader **Akihiko Terada**

Professor, Institute of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology



Tokyo University of Agriculture and Technology/National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)/Mitsubishi Chemical Corporation



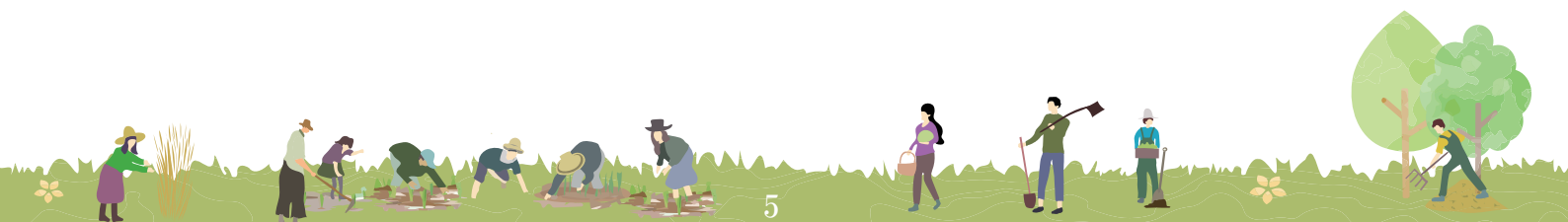
③ Establishing technologies for producing fuel based on carbon cultivation

R&D Leader **Masayuki Inui**

Research Institute of Innovative Technology for the Earth Group Leader/Chief Researcher, Molecular Microbiology and Biotechnology Group



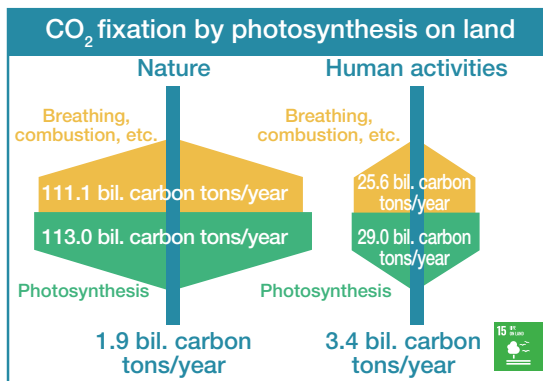
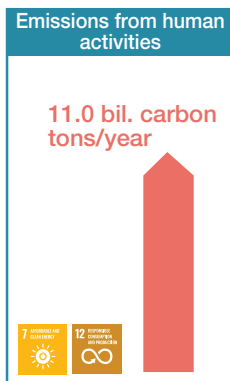
Hirosaki University/Tokyo University of Agriculture and Technology/Research Institute of Innovative Technology for the Earth/Tsugaru Biomass Power Generation/TAIYO NIPPON SANSO CORPORATION/EnBio Engineering, Inc./Tsugaru City, Aomori Prefecture/Owani Town, Minamitsugaru District, Aomori Prefecture



What is Carbon Cultivation?

Applying biotechnology to capture (fixate) carbon (CO₂) and produce, give value, and recycle/reuse materials and energy

Humans transformed from a hunting society to a cultivating society by inventing agriculture, and succeeded in acquiring large amounts of food. Modern society, however, is still a carbon hunting society, dependent on fossil fuels--carbon resources fixed in the earth in ancient times--for its energy and materials. The development of modern civilization by use of fossil fuels has led to serious issues from increases in atmospheric CO₂. CO₂ fixation is possible only through photosynthesis, but the amount of CO₂ fixed by agriculture and forests in Japan is less than one tenth the emission amount. What's more, much of the fixed carbon is not being effectively used. Creating new technologies and societies for tackling these issues is an urgent need. The challenge we are taking on in the Hub is "realizing a 21st century industrial revolution" that will advance humankind from a carbon hunting to a carbon cultivation society.

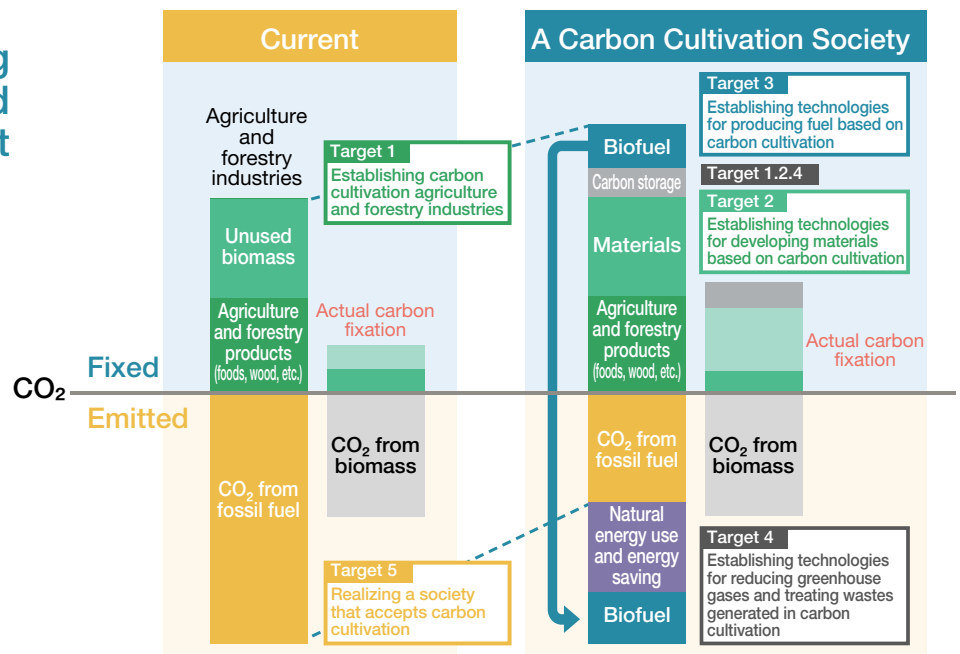


The amount of CO₂ emitted by humans annually is estimated to be 11.0 billion carbon tons equivalent. As for the amount of CO₂ fixed by photosynthesis on land, this is estimated to be 113.0 billion carbon tons in nature, and 29.0 billion carbon tons by agriculture, forestry and other human activities. Most of this amount ends up being released again as CO₂ by such activities as breathing and combustion, leaving an estimated 1.9 billion carbon tons fixed in the natural world and 3.4 billion carbon tons by agriculture, forestry and the like. While various technologies have been proposed for absorption of CO₂ in the atmosphere, photosynthesis remains the only means for absorbing the huge amount emitted.

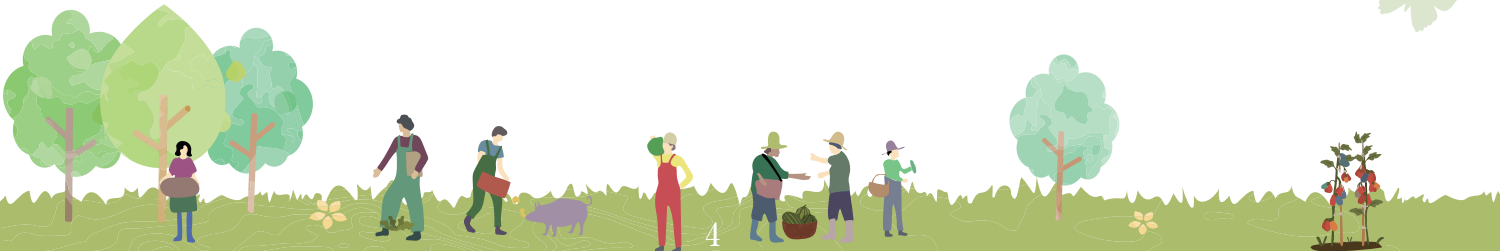
Absorption of the vast amounts of CO₂ emitted into the atmosphere can only be done by photosynthesis.

Excerpted from IPCC Climate Change 2021

Approach to achieving carbon negativity and position of each target



Carbon fixed by photosynthesis in rice, trees and algae will be used as materials and fuel. Unused biomass will be processed into fertilizer, and excess carbon will be stored. Measures will be devised for gaining public acceptance of this cycle and implementing it. Since achieving this cycle will require social implementation at each stage, various companies will participate in the implementation processes.



Research Projects

The amount of CO₂ captured (fixed) in agriculture and forestry will be increased and CO₂ emissions from fossil resources will be reduced by energy saving and the usage of natural energy and also fuel from biomass, while CO₂ emissions originating from biomass will be reduced by conversion to materials and carbon storage. The Hub will challenge the limits of carbon negativity by means of carbon cultivation, making maximum use of the potential of photosynthesis.

Specific examples of social implementation:

- Create new biomass industries in the agriculture, forestry and fisheries industries and replace fossil resources-dependent industry
- Suppress methane generation in rice farming, promote CO₂ fixation, and revitalize regional economies (Increasing rice production will also contribute to food security.)
- In the forestry industry, increase the amount of stored carbon by carbon cultivation using fast-growing trees
- Create regional biomass industry clusters to produce replacements for plastic from fossil resources (Healthy forests lead to disaster prevention/mitigation.)
- In the fisheries industry, make use of idle fishing port facilities to build large-scale plants for culturing marine microalgae
- Promote carbon storage and alternative fuel production

Five targets have been set to realize this vision.

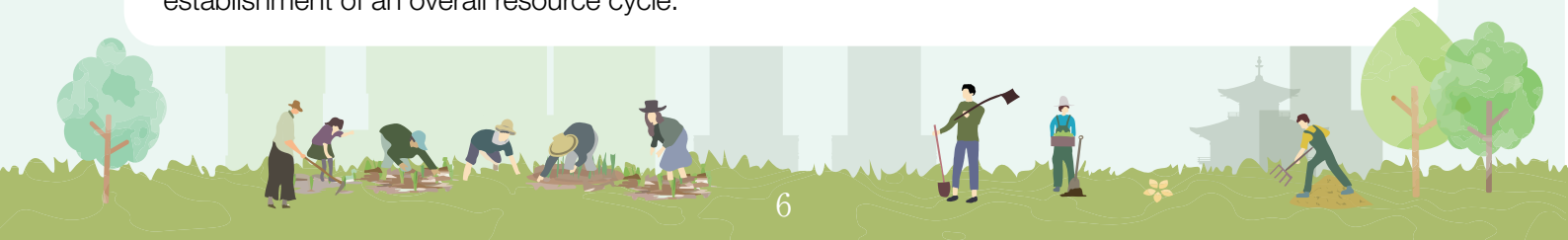
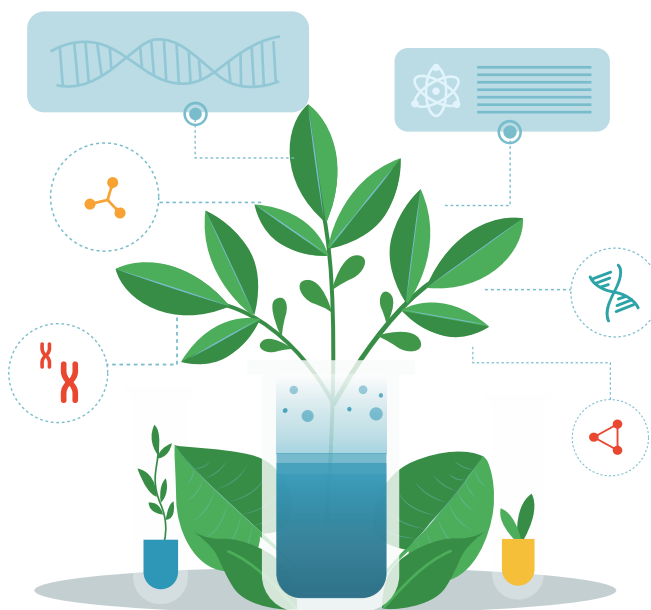
○Establishing carbon cultivation agriculture and forestry industries ○Establishing technologies for developing materials based on carbon cultivation ○Establishing technologies for producing fuel based on carbon cultivation ○Establishing technologies for reducing greenhouse gases and treating wastes generated in carbon cultivation ○Realizing a society that accepts carbon cultivation

Based on these targets, five research projects and goals have been set.

Project 1

Development of Sustainable Carbon Cultivation Technology

We aim for efficient biomass utilization contributing to carbon neutrality, with rice and trees as targets for land-based green carbon, and microalgae as targets for ocean-based blue carbon. Although these targets each have high CO₂-fixation and storage capacity, practices such as cascading use of biomass, use of biomass plastic and other biomass resources, use in animal feed and fertilizer use by resource recycling have not sufficiently progressed, while issues for trees include the depletion of natural forests and illegal logging in regions such as Southeast Asia. In this research project, we will undertake the development of sustainable biomass materials cultivation systems, from the biomass production for land-based green carbon and ocean-based blue carbon to the cascade utilization and the establishment of an overall resource cycle.



Project 2

Development of Carbon Cultivation-Based Materials Development Technology

Biomass has enormous potential for replacing fossil resources.

In this research project, we will undertake development of various materials, with biomass as their raw material, to replace materials made from fossil resources. A particular aim is to design biomass materials with high environmental friendliness and develop chemicals. We will develop conversion technologies for cellulose, hemicellulose, and lignin, which are the main constituents of the plant biomass, such as rice and woody materials, at which this research is directed, to useful substances. We will also seek to develop conversion technologies for vegetable oils and fats extracted from biomass, directed at oil palms abundant in Southeast Asia as well as at algae biomass. With a view to the social implementation of these green products, we will accelerate research and development through industry-academia collaboration, and increase cooperation with emerging countries (especially ASEAN) having abundant unutilized resources that are targets of this research.



Project 3

Development of Carbon Cultivation-Based Technologies for Producing Fuel



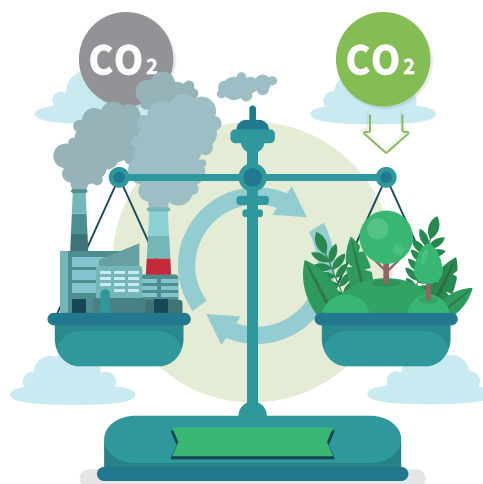
Hydrogen is expected to be the ultimate clean energy, since it produces only water during combustion; it can be produced, stored, and transported from diverse energy sources, including renewable energy; and it can be used for decarbonization in all kinds of sectors, including power, transportation, and heat and industrial processes. Currently, however, major hydrogen production technologies use fossil fuels, and the resulting CO₂ emissions are a critical challenge. For its social implementation, it will therefore be necessary to greatly reduce the cost of producing CO₂-free hydrogen.

A medium- to long-term theme in carrying out the R&D for this research project will be to develop CO₂-free hydrogen production processes with biomass as raw material, while a short- to medium-term theme will be to develop liquid fuel production processes making use of the same basic technologies as the long-term theme.

Project 4

Development of Technologies for Reducing Greenhouse Gases and Treating Wastes Generated in Carbon Cultivation

A key issue in biomass cultivation from the standpoints of sustainability and environmental protection is the proper recycling of wastes generated in each of the technological processes. An aim of this research project will be to develop a co-fermentation technology that mixes difficult-to-recycle wastes from Projects 1, 2, and 3 with livestock industry wastes, and to establish an efficient methane recovery technology. We will further seek to develop technology that carbonizes methane fermentation residues, converting them to slow-release fertilizer, and to assess the effectiveness of this technology. Combining these underlying technologies, we will aim to develop sustainable systems based on the livestock industry and agriculture that are instrumental in accelerating the establishment of a “regional circular and ecological sphere”.



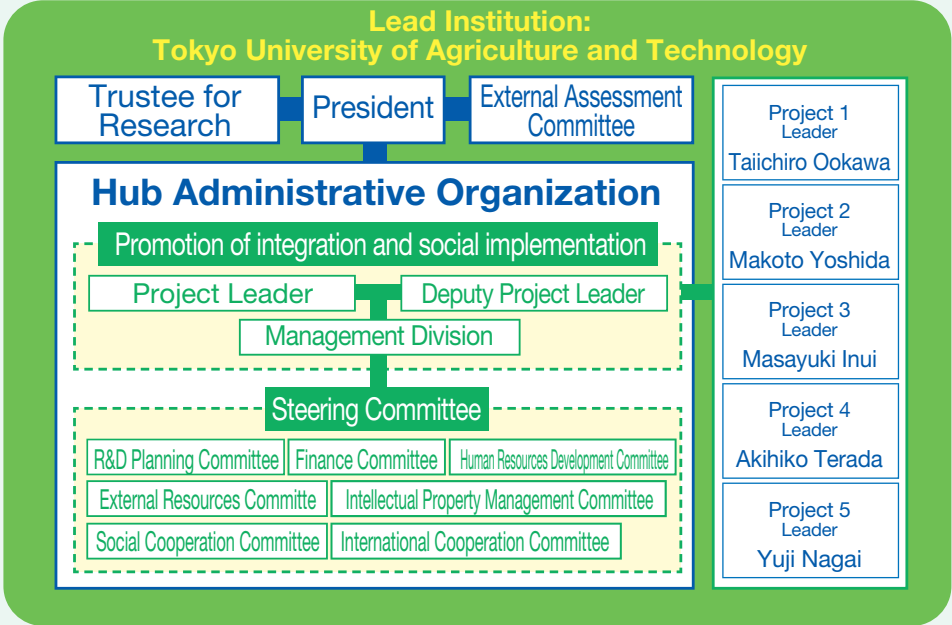
Project 5

Development of Evaluation Methods for Social Acceptability



In biomass production, processing, and use, resources circulate over a broad scope from rural to urban areas, and from inside to outside the nation. While some of these can be stockpiled, others cannot, which complicates the social processes. A further issue is that in some cases, the processes involved in cascading use of biomass may lack economic rationality. On the basis of this background, the project will seek to devise methods to evaluate the social acceptability of the developed technologies, by back casting “carbon cultivation society” in regard to local sustainability. Furthermore, in spreading Japanese technology to Asian countries with abundant biomass resources and creating a wide-area circular sphere that includes Japan, we will seek to clarify the issues faced by local communities in Asian countries, and to devise logics pertaining to the inevitability of the carbon cycle (cycle of food, energy, and people) in Asia. Based on these logics, we will build a regional circular sphere framework that leads to creation of new value.

Organizational Structure for Hub Administration



National University Corporation Tokyo University of Agriculture and Technology

A Carbon Cultivation Hub Challenging the Limits of Carbon Negativity



E-mail: tuat_coi-next-groups@go.tuat.ac.jp
<https://sp.coinext.tuat.ac.jp/en/>



東京農工大学

Social implementation and contribution of TUAT Hub activities

Through carbon cultivation techniques that maximize the potential of photosynthesis, particularly in rice cultivation, the TUAT Hub project aims to suppress methane production, contribute to CO₂ fixation, energize the local economy, and promote sustainable development.

The focus area for this activity is Iriomote Island, which is a World Natural Heritage Site and therefore subject to a number of environmental restrictions. The project aims to apply the hub's technologies in a variety of dimensions on the island: resource circulation and value creation in agriculture, livestock farming, fisheries, distribution and sales, and even tourism, an important industry. Underlying factors shaping the activity include the facts that:

(1) Rice is the most widely cultivated crop in Southeast Asia.

(2) Reducing the use of chemical fertilizers and pesticides is an important issue.

(3) Rice paddies face the issue of emissions of greenhouse gases such as methane and nitrous oxide.

Specific issues for Iriomote Island agriculture

(1) Local production and consumption

Creating a system where the island's agricultural, forestry, and fishery products can be consumed locally

(2) Resource circulation

Creating a system to produce fertilizer, such as compost from cow dung and food waste, and use it to grow crops

The problem of piled-up cow dung, the impact of chemical fertilizers on coral, and the impact of pesticides on biodiversity

Making food waste-processing activities work effectively

(3) Organic farming

Reducing the use of pesticides and chemical fertilizers, preserving biodiversity and coral reefs, and creating value

Difficulties in obtaining compost to use, a lack of technology and knowledge regarding non-pesticide production,

and a lack of necessary machinery

How the project can help find solutions to the issues

(1) Developing rice varieties and cultivation technologies suitable for carbon cultivation

(2) Developing an island-type recycling agriculture system that effectively utilizes agricultural and livestock waste

(3) Supplying omega fatty acids for farmed fish feed using marine microalgae

(4) Restoring seagrass beds

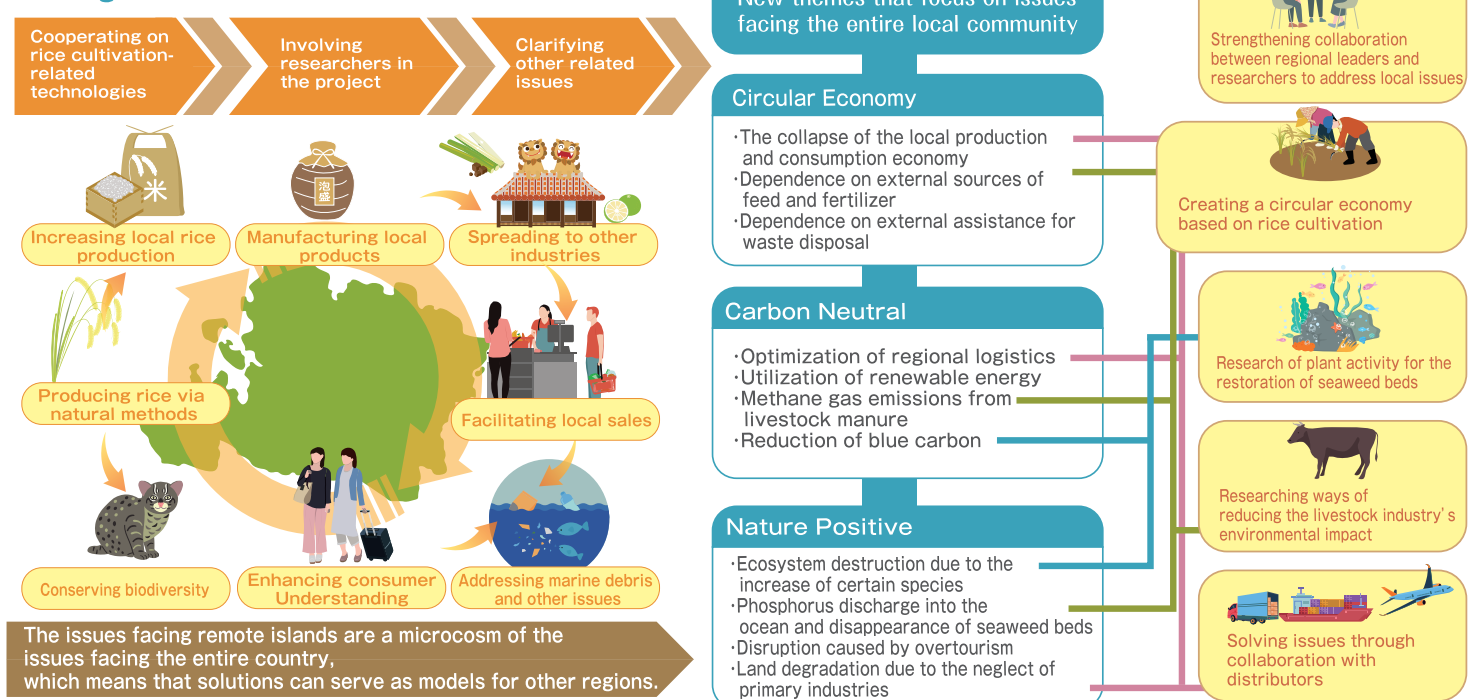
(5) Exploring the creation of new value in a carbon cultivation society

In particular, the plan for item (5) aims to improve and stabilize rice yields on Iriomote Island, produce alcohol (Awamori) for local consumption, and create a society in which distribution efforts communicate the value of these products more fully and broadly.

Activities aimed at solving problems in island regions through carbon cultivation - Iriomote Project -

Discussions focusing on the challenges of rice cultivation on the island identified issues in circulation (including livestock farming and the marine environment) and corresponding local needs. Based on these insights, we envision expanding into new research themes.

Solving issues with a focus on rice cultivation⇒



Specific activities

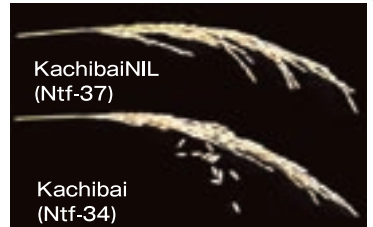
Breeding research

Breeding for rice cultivation on Iriomote Island

TUAT has registered "Sakura Fukuhime" as a rice variety resistant to typhoons and high temperatures and is cultivating it on Iriomote Island.

Improving Kachibai

Kachibai (introduced from an Indian variety) has been selected as a variety resistant to high temperatures and typhoons, and is being worked to improve its shedding properties.



Improving the shedding properties of Kachibai

Aigamo Robot

The TUAT hub, in collaboration with NEWGREEN Co., Ltd., is developing rice-cultivation technology using the Aigamo Robot ("duck" robot) and conducting demonstrations on Iriomote Island.

What is the Aigamo Robot?

Powered by solar energy and equipped with GPS, the Aigamo Robot moves around rice paddies automatically and agitates the water with a screw, suppressing weed growth.

It also minimizes damage to rice caused by apple snails, a problem in paddies in warm regions. Demonstration experiments have confirmed that methane gas emissions can be halved.



The Aigamo Robot operating in a rice paddy



Key points for weed control

Muddying the water to inhibit weed photosynthesis

The screws churn the soil to make the rice paddy cloudy, thereby blocking sunlight, and creating an environment that makes it difficult for weeds to photosynthesize.

Forming a layer of soft soil

The churned soil accumulates and forms a layer of soft soil, burying weed seeds and preventing them from sprouting.

Manufacture and sale of Awamori using ingredients from Iriomote Island

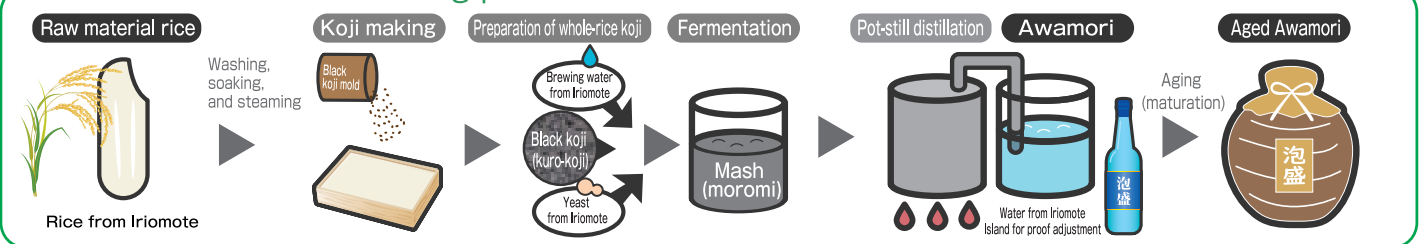
The project creates value by producing Awamori using exclusively Iriomote-sourced ingredients, including rice, water, and yeast.

The value of using materials from Iriomote Island

Exploring and resolving issues related to the natural environment and circulation, finding value in those solutions, and linking the results to social understanding

▶ Cultivating products that resonate with society and lead to expanded sales

The Awamori manufacturing process



Livestock waste processing

Methane emission-suppression technology

The goal of this research is to reduce greenhouse gases produced by carbon cultivation and establish waste disposal technologies. Specifically, we will take the following steps to develop sustainable systems based on livestock farming and agriculture:

- Reduce GHG emissions in rice cultivation by incorporating water management with fermentation residue and charcoal application
- Develop high-efficiency biogas-recovery technology from mixed waste, such as biomass utilization residues and livestock waste
- Use carbonized methane fermentation residue as an adsorbent
- Establish upcycling technology using methane, nitrogen, and phosphorus
- Develop a material circulation model that takes GHG and nutrients into account

The system technology to be developed will help solve issues related to resource circulation and the realization of organic farming on Iriomote Island.

Creating value beyond biodiversity

Achieving major social change hinges on identifying local issues. It is essential to design a cumulative cycle on the local level.

Satoyama-style circulation design rooted in the local community

Developing products that serve as a model for the virtuous cycle of local resources

Generating feedback on consumer needs through test sales

Efforts to help consumers understand the story behind circulation can produce value. In doing so, cooperation and coordination among production, manufacturing, distribution, and consumption is key.

Creation of BtoC value that supports circulation

Researching methods to help consumers understand local resource circulation

Developing value-creating advertising methods

Demonstrations at World Heritage sites and UNESCO Biosphere Reserves can be effective as precedent cases for creating frameworks (OECM) throughout Japan.

From consumer lifestyles to local nature positivity

Developing a logic model that connects customer value and global environmental