

ミッション2：「太陽エネルギー変換・高度利用」

三谷友彦

京都大学 生存圏研究所

1. 研究組織

代表者氏名：三谷友彦（京都大学 生存圏研究所）

共同研究者：今井友也（京都大学 生存圏研究所）

渡辺隆司 (京都大学 生存圏研究所)

篠原真毅 (京都大学 生存圏研究所)

飛松裕基（京都大学 生存圏研究所）

畑 俊充（京都大学 生存圏研究所）

渡邊崇人（京都大学 生存圏研究所）

西村裕志 (京都大学 生存圏研究所)

2. ミッション概要

本ミッションは、図1に示すように太陽エネルギーを変換して高度利用するために、マイクロ波応用工学やバイオテクノロジー、化学反応などを活用して、太陽エネルギーを直接に電気・電波エネルギーや熱などに変換する研究を進め、さらに、光合成による炭素固定化物であるバイオマスを介して、高機能な物質・材料に変換して有効利用する研究にも取り組む。期間内においては、特に高機能物質への変換を重点化し、要素技術のみでなく全体システムへの展開を目指す。

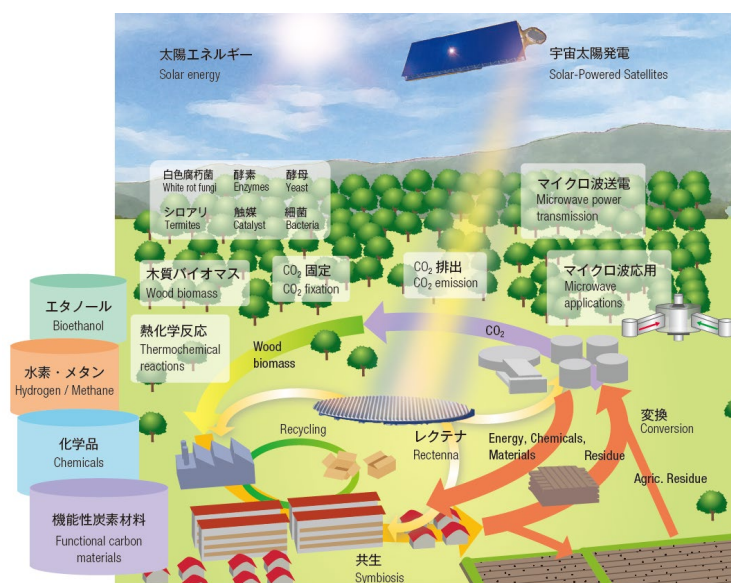


図 1：ミッション 2 概要図

3. 今年度の取り組み

昨年度から継続して、「太陽エネルギー変換・高度利用」に資する、基礎的あるいは萌芽段階の研究課題の育成に主眼を置き、ミッション2活動の推進を図った。

主要テーマ① マイクロ波を利用した化学プロセスに関連する融合研究

- ・バイオリファイナリーへ向けた生体触媒、人工触媒の開発
- ・化学反应用マイクロ波加熱容器の研究開発

主要テーマ② : バイオマス生物変換に関連する研究

- ・バクテリアセルロース合成酵素の複合体構成に関する研究
- ・木質ペレット由来ガス化残渣の賦活による活性炭の製造

4. 今年度の研究成果

1) バイオリファイナリーへ向けた生体触媒、人工触媒の開発

渡辺隆司¹、徳永有希^{1,2}、岡野啓志¹、斎藤香織¹、西村裕志¹、永田崇³、近藤敬子³、片平正人³、入江俊一⁴ (¹京大生存研、²三重大院生物資源、³京大エネ研、⁴滋賀県大環境)

リグノセルロース系バイオマス変換の鍵となる高効率なリグニン分解のため、セルロースを酸化的に解重合する溶解性多糖モノオキシゲナーゼ (LPMO) の反応解析を行った。即ち、選択的白色腐朽菌 *Ceriporiopsis subvermispora* 由来の LPMO を酵母で発現し、分解物を GPC、HPLC、Maldi-TOF-MS を解析した。また、セルロース分解においてリグニンが LPMO の電子供与体として機能するか否かを解析するため、人工リグニンおよびミルドウッドリグニンの存在下および非存在下で LPMO をセルロースと反応させ、セルロースおよびリグニンの分解挙動を解析した。また、*C. subvermispora* 由来のマンガンペルオキシダーゼによる lignin モデルの解析を進めた。

成果発表：学会発表3件（国内3件）

- ・井関優侑、奥岡奈宜、橋爪知弘、近藤敬子、永田崇、片平正人、渡辺隆司、*Ceriporiopsis subvermispora* 由来溶解性多糖モノオキシゲナーゼのセルロース解重合反応の解析、第73回 日本木材学会大会(福岡大会)、2023/3/14-3/16.
- ・K.S.K. Teo, K.Kondo, T. Watanabe, T. Nagata, M. Katahira, molecular level elucidation of a *Ceriporiopsis subvermispora* manganese peroxidase-catalyzed conversion of phenolic lignin model dimer、第73回 日本木材学会大会(福岡大会)、2023/3/14-3/16.
- ・内田貴己、徳永有希、永田崇、近藤敬子、片平正人、渡辺隆司、*Trichoderma reesei* Cel7A のセルラーゼ糖質結合モジュールと人工リグニンの相互作用解析、第73回 日本木材学会大会(福岡大会)、2023/3/14-3/16

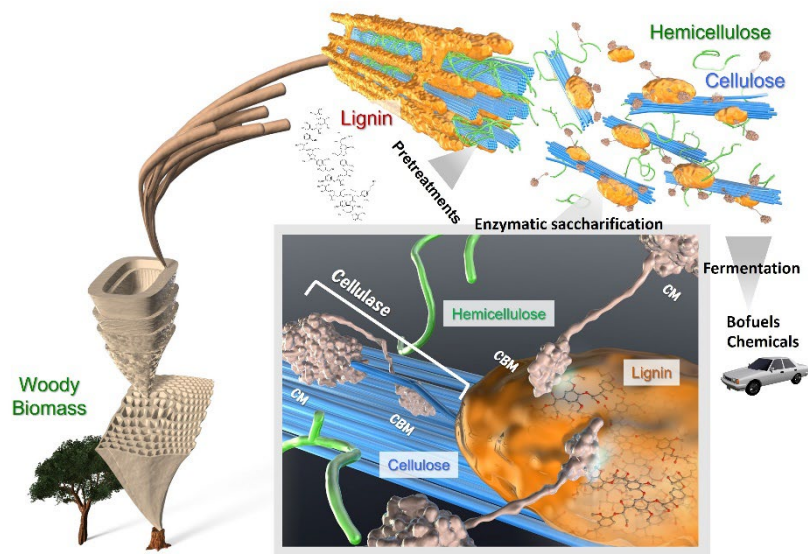


図 2：バイオリファイナリーへ向けた生体触媒、人工触媒の開発

2) 化学反应用マイクロ波加熱容器の研究開発

三谷友彦、豊永雄郎、鈴木健斗、高原麦、勝田慎平、篠原真毅（京大生存研）

昨年度に引き続き、電磁界結合と呼ばれる物理現象を利用した、金属の囲いがなくても安全に利用できる開放型マイクロ波加熱装置の設計開発を行った。今年度は、リピーターを利用したマイクロ波加熱装置の 2 次元方向の拡張に関する研究を行った。図 3 は研究成果の一例であり、電磁界シミュレーションにおいて純水あるいはエタノールをマイクロ波照射した際の電界強度分布を表している。また、加熱領域の拡張を目指した 0 次モード共振器を利用した電磁界結合型マイクロ波加熱、および軌道角運動量(OAM: Orbital Angular Momentum)モードを利用した照射型マイクロ波加熱の基礎研究を実施した。さらに、同一装置内で 2 周波数帯でのマイクロ波加熱を実現するための基礎研究を行った。上記を含めたマイクロ波加熱応用研究の業績により、研究代表者は日本電磁波エネルギー応用学会・学会賞を受賞した。

成果発表：学会発表 10 件（国際会議 6 件（うち基調講演 1 件）、国内 4 件）

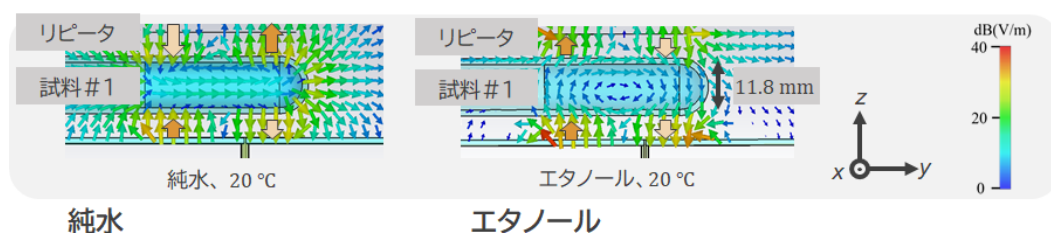


図 3：リピーターを利用したマイクロ波加熱装置の 2 次元方向の拡張に関する研究

3) バクテリアセルロース合成酵素の複合体構成に関する研究

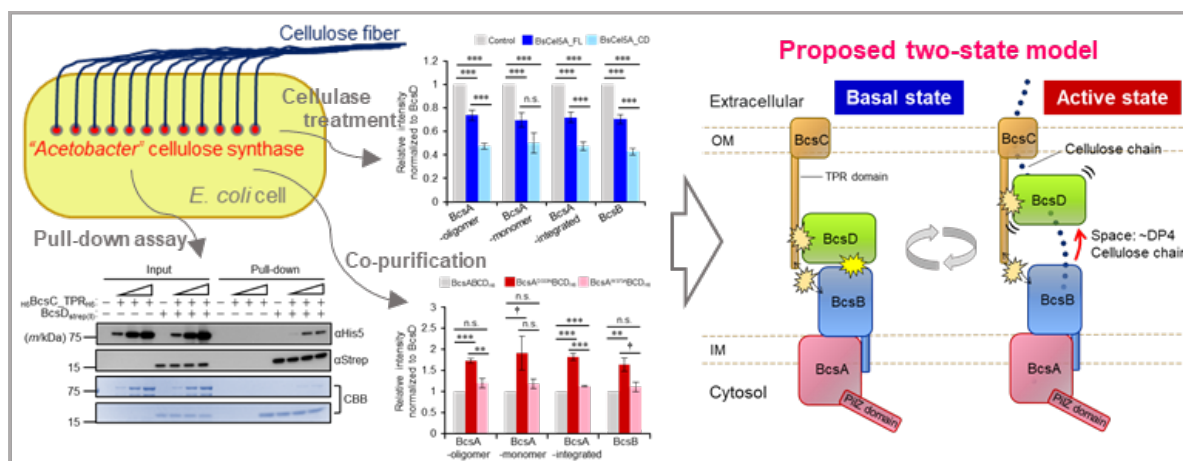
近藤辰哉 1,2、鹿島騰真 1、中村由衣 3、野島慎吾 3、姚関 3、今井友也 1

(1: 京都大学生存圏研究所、2: 農研機構、3: 北海道大学大学院生命科学院)

バクテリアのセルロース合成酵素複合体 (Bcs 複合体) は複数のサブユニットからなるヘテロ複合体であり、そのサブユニット構成によりいくつかのタイプに分けられる。酢酸菌のように高結晶性セルロースを生産するバクテリアの Bcs 複合体は type I に分類され、セルロース分子鎖を集積し結晶性繊維の形成に寄与する BcsD を持つことが特徴となる。そこで我々は大腸菌再構成系を使い、BcsD 周辺のサブユニット間相互作用を調査した。その結果、BcsD は Bcs 複合体の心臓部である BcsAB 複合体と直接相互作用するモードと、合成中のセルロース鎖を介して間接的に BcsAB 複合体と相互作用するモードの二つが存在することを確認した。この結果に基づき、Bcs 複合体にはセルロース合成活性化状態とセルロース合成休止状態の二状態が存在し、この二状態間ではサブユニット間相互作用のモードが切り替わるモデルを提案した。

成果発表: 論文発表 1 件、学会発表 2 件 (国内 2 件)

Kondo, T., Nakamura, Y., Nojima, S., Yao, M., & Imai, T. (2022). The BcsD subunit of type I bacterial cellulose synthase interacts dynamically with the BcsAB catalytic core complex. *FEBS Letters*, **596**(23), 3069-3086. <https://doi.org/10.1002/1873-3468.14495>



Kondo, T., et al. 2022, <https://doi.org/10.1002/1873-3468.14495>

図 4: バクテリアセルロース合成酵素の複合体構成に関する研究

4) 木質ペレット由来ガス化残渣の賦活による活性炭の製造

畑 俊充 1、本間千晶 2 (1 京大生存研、2 道総研林産試)

小規模ガス化発電設備の導入が進んでいるが、木質ペレットのガス化により得られる

熱分解残渣の利用が進んでいない状況である。バイオマス発電等で発生する燃焼灰と異なり、多量の炭素が含まれていることから、細孔が発達している特徴を活かした用途開発が望まれている。そこで、熱電併給プラントで発生するガス化熱分解残渣に水熱抽出と CO₂ 賦活を適用し、これらの残渣の新規用途開発に有用な特性を見出すことを本研究の目的とした。0℃、大気圧下における CO₂ 吸着量を調べたところ、CO₂ 賦活前後のガス化残渣およびガス化熱分解残渣の CO₂ 吸着量はそれぞれ 52 と 47cc/g、比表面積は 535 と 492m²/g となった。熱水抽出を行った残渣の CO₂ 吸着量はそれぞれ 54 と 64cc/g、比表面積は 658 と 669m²/g となり、熱水抽出の方が CO₂ 賦活よりも比表面積・CO₂ 吸着量とも大きな値が得られた。

成果発表： 学会発表 1 件（国内 1 件）



図 5：木質ペレット由来ガス化残渣の賦活による活性炭の製造

5. まとめと今後の展開

ミッション 2 では、主に「マイクロ波を利用した化学プロセスに関連する融合研究」および「バイオマス生物変換に関連する研究」を軸とした基礎研究から応用研究までを幅広く実施し、ミッション 2 が着目する研究領域を多面的に捉えてミッション研究を推進した。太陽エネルギーの高度利用は、生存圏科学を醸成する上でも重要なミッションであるとともに、持続可能な開発目標(SDGs)においてもエネルギー、インフラ・産業・イノベーション、陸上資源等に貢献する。今後も、ミッション 2 で掲げた目標を複眼的に俯瞰的に捉えながら研究所内外の研究者間で議論を深める予定である。