

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紹介して、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

- ・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

- ・セルロースと PET の比較研究
- ・細胞壁架橋構造抑制ゲノム編集イネのバイオマス分解特性

4. 今年度の研究成果

1) 化学反应用マイクロ波加熱容器の研究開発

三谷友彦、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、マイクロ波加熱装置の設計開発を行った。今年度は、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、OAM モードの時間的切り替えによって均一な平均電力密度面積が拡大することを示した。図 2 は、平均電力密度分布のシミュレーション結果の一例である。本研究成果は原著論文として発表した。また、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い、国際会議での発表において最優秀発表賞を受賞した。さらに、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導波管内でのマイクロ波加熱装置を試作し、加熱範囲が一次元方向に伸長されることを実証した。

成果発表：論文発表 1 件

鈴木健斗，三谷友彦，篠原真毅，“マイクロ波加熱に向けた OAM モード切り替えによる電力密度均一化手法”，日本電磁波エネルギー応用学会論文誌，vol.7, pp.25-34, Dec. 2023.

受賞 1 件 Shimpei Katsuta: Young Researcher Best Presentation Award, “Feasibility Study on Dualband Electromagnetic Coupling-Type Microwave Heating Systems”, Joint Workshop Thailand-Japan Microwave (TJMW) & Asian Wireless Power Transfer Workshop (AWPT) 2023, Bangkok, Thailand, Dec.13-15, 2023.

学会発表 5 件（国際会議 3 件、国内 2 件）、セミナー講演 3 件

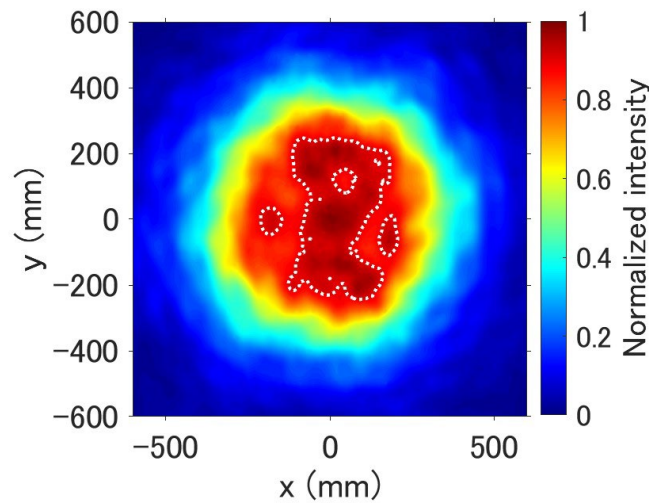


図 2: OAM モードの時間的切り替えを用いた平均電力密度分布のシミュレーション結果。コンター図は最大値で規格化しており、白点線は最大値の 90% の等値線である。

2) セルロースと PET の比較研究

田所大輔 1、今井友也 1

(1 : 京大生存圏研究所)

ポリプロピレンやポリエチレンテレフタレート (PET) などの合成高分子の難分解性は、マイクロプラスチックや海洋プラスチック問題の本質的な原因となっている。これら汎用高分子の分解性は、持続可能な高分子利用にとって大変重要な観点だが、近年、PET を加水分解する酵素 (PETase) が発見され、その PET 廃棄物処理への応用研究が盛り上がってきている。しかしその実用化のためには、分解効率のさらなる向上が求められている。

本研究では、PET 廃棄物処理法として PETase を利用するシステムの実用化を目指して、PET と同様の固体高分子であるセルロースの生分解システムを参考にして研究を進める。生存圏研究所マテリアルバイオロジー分野研究室では、セルラーゼやキチナーゼによりセルロースやキチンの高分子固体構造が崩壊する過程について研究を進めてきた実績があり [1-5]、「セルロースと PET」、「セルラーゼと PETase」の比較により、本質的な研究を進める。

今年度は実験基盤として用いる PETase (既報の改良型 PETase である「FAST PETase」[6]) の大腸菌発現系の構築を行ない、得られた組換え体タンパク質の PET 分解活性の確認を行った。今後、分解を受けた PET の構造解析を進め、PETase の分解機序の解明と、それを踏まえて PETase の改変を行う予定である。

成果発表： なし（来年度に1件学会発表予定あり）

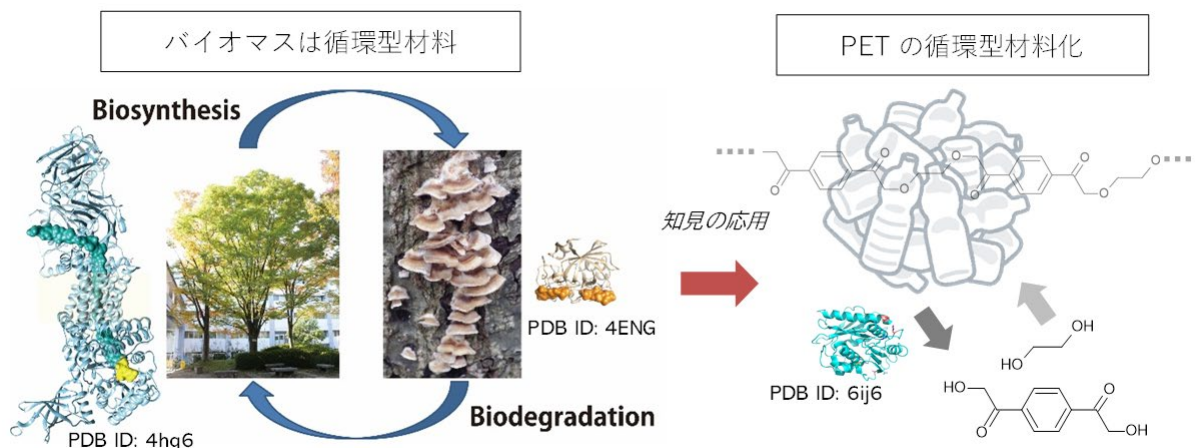


図3 セルロースからまなぶPETの循環型材料化

1. T. Imai, *et al. FEBS Lett* (1998), **432**, 113–116
2. T. Imai, *et al. FEBS Lett* (2002), **510**, 201–205
3. Y. Horikawa, *et al. Polymer Degradation and Stability* (2013), **98**, 2351–2356
4. Y. Horikawa, *et al. Cellulose* (2017), **24**, 1–9
5. P. A. Penttilä, *et al. Carbohydrate Polymers* (2018), **190**, 95–102
6. H. Lu, *et al. Nature* (2022), **604**, 662–667

3) 細胞壁架橋構造抑制ゲノム編集イネのバイオマス分解特性

山本 千莉 1、Ji Pingping 1、Laura E. Bartley 1,2、梅澤俊明 1、飛松 裕基 1

(1 京大生存研、2 ワシントン州立大学)

イネ科植物の細胞壁を構成するリグノセルロースはフェルラ酸 (FA) を介して高度に架橋されている。このような FA を介した架橋構造の形成はリグノセルロースの酵素反応や化学反応に対する抵抗性を高めるため、草本系 (イネ科) バイオマス利用の重要な阻害要因であると考えられている。当研究グループでは、イネの細胞壁架橋構造の形成に寄与する複数の FA 生合成遺伝子を同定し、それらのゲノム編集による機能破壊や遺伝子発現抑制によって、細胞壁架橋構造の形成が抑制された変異株や組換え株の作出に成功している。本研究では、これら細胞壁架橋構造抑制イネの性状評価を、特にバイオマス分解特性を中心に進めている。FA 生合成遺伝子をゲノム編集により破壊あるいは RNA 干渉により遺伝子発現抑制した細胞壁架橋構造抑制イネを大量栽培し、細胞壁の酵素糖化性を調べた。その結果、細胞壁架橋構造抑制イネの細胞壁は、アルカリ処理による前処理の有無に関わらず、野生型と比較して、高い酵素糖化性を示すこと

が分かった（図 4）。現在、各種化学処理による細胞壁分解特性の解析を進めている。

成果発表： 学会発表 3 件（国内 3 件）

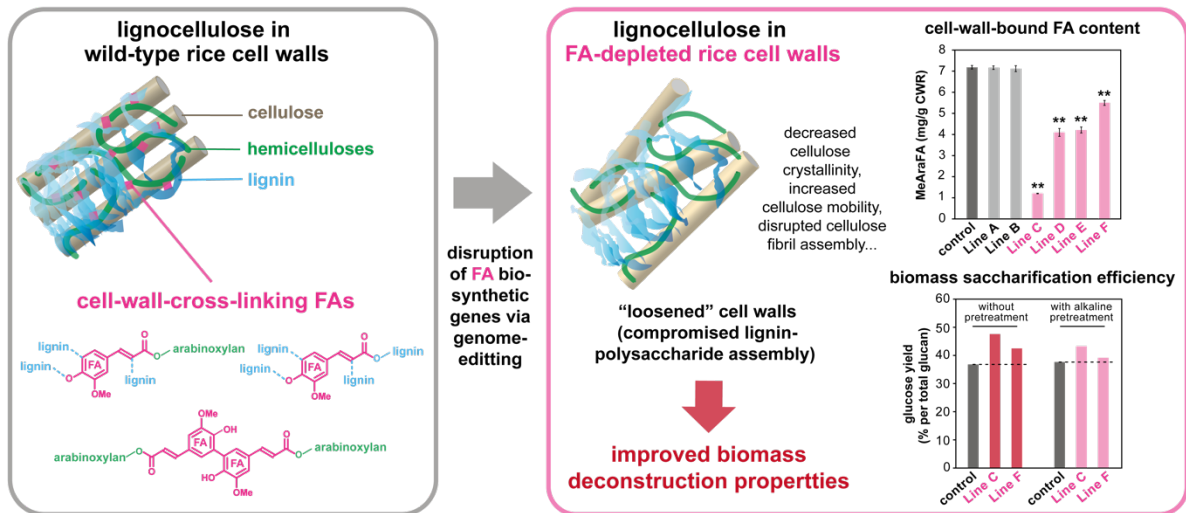


図 4：バイオマス分解特性を高めた細胞壁架橋構造抑制イネの作出

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。