2025年度（第50回）学術研究振興資金　学術研究報告

学　校　名	**名　　城　　大　　学**	研究所名等	
研 究 課 題	プラズマ処理バイオマスを用いた農業革命 －プラズマ処理バイオマス中の植物成長調整物質の同定－	研 究 分 野	農　　学
キ ー ワ ー ド	①植物バイオマス②プラズマ処理③稲わら④バイオスティミュラント		

〇研究代表者

氏　　名	所　　属	職　　名	役　割　分　担
志　水　元　亨	名 城 大 学 農 学 部	准　教　授	研究統括、プラズマ処理稲わら中の活性物質の特定

〇研究分担者

氏　　名	所　　属	職　　名	役　割　分　担
伊　藤　昌　文	名 城 大 学 理 工 学 部	教　　授	未利用植物バイオマスのプラズマ処理条件最適化
加　藤　雅　士	名 城 大 学 農 学 部	教　　授	微生物に対する研究
塚　越　啓　央	名 城 大 学 農 学 部	教　　授	植物に対する研究

プラズマ処理バイオマスを用いた農業革命
－プラズマ処理バイオマス中の植物成長調整物質の同定－

1. 研究の目的

気候変動や国際情勢の不安定化は、日本の食料安全保障にとって大きなリスク要因となっている。水耕栽培農法は、気候に依存しない安定した作物生産や、土地・水資源の効率的利用が可能であることから、これらのリスクを克服する持続可能な食料生産システムとして注目されている。一方で、本農法では養液を介して栽培を行うため、微生物の繁殖による病害や腐敗を抑制する目的で農薬の使用が不可欠であり、農薬を含む養液の廃棄処理が環境負荷の観点から課題となっている。

我々はこれまでに、大気圧プラズマ処理[注 1)]を施した未利用バイオマス資源である稲わら（以下、プラズマ処理稲わら）をモデル植物シロイヌナズナの培地に添加することで、根毛および側根形成が顕著に促進されるとともに、地上部の成長が促進されクロロシスが抑制されることを見出した。また同条件において、大腸菌の生育が抑制されることも明らかにしている。これらの結果は、プラズマ処理によってバイオマス中に生成した物質が、植物成長促進と微生物抑制という二つの機能を同時に発揮している可能性を示唆するものである。しかしながら、これらの効果を担う活性本体およびその作用機構については未解明であった。

本研究では、プラズマ処理稲わら中に生成する低分子化合物群に着目し、植物の成長促進機構、ならびに微生物の生育抑制機構を分子レベルで解明することを目的とする。最終的には、稲わらに加えて廃材や食物残渣などの非可食バイオマス資源にも対象を拡張し、プラズマ処理によって得られる機能性物質を水耕栽培および露地栽培へ適用することで、新規な植物成長促進剤かつ微生物制御資材としての実用化を目指す（図 1）。

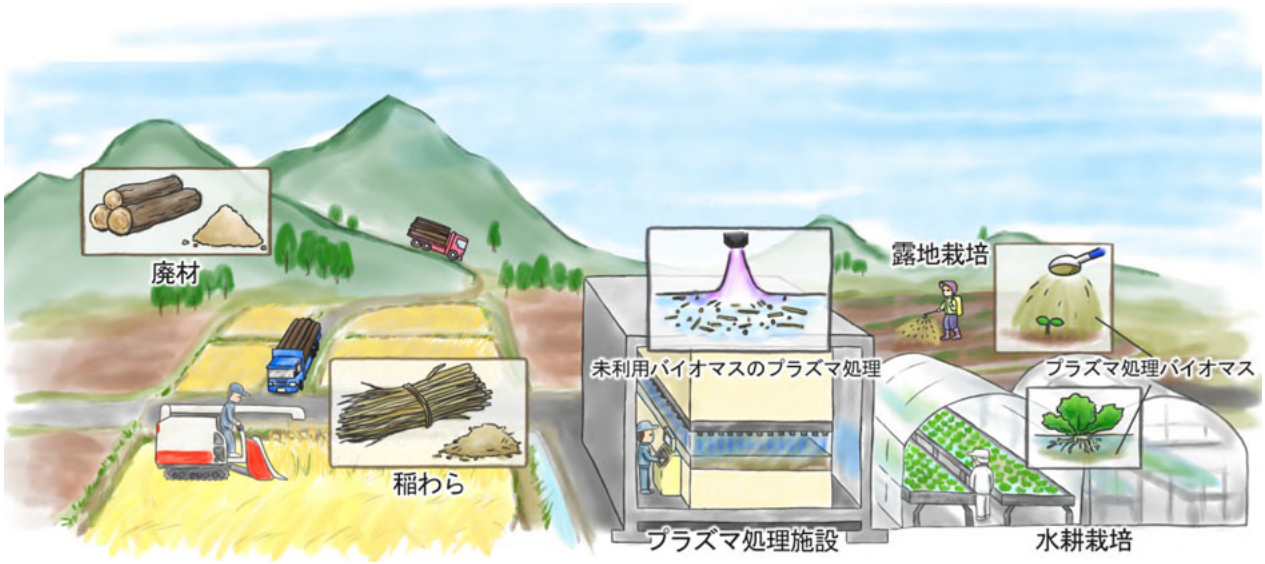


図 1. プラズマ処理バイオマスを活用した農業革命

本研究で用いるプラズマ処理バイオマスは未利用資源を原料とすることから、環境負荷が低く、資源循環型社会の実現にも寄与する。さらに、植物成長促進と微生物抑制を同一濃度域で達成可能な天然由来資材として、日本の農業生産体系に革新をもたらすことが期待される。

（注 1）大気圧プラズマ処理：大気圧プラズマ発生装置により生成した高速電子の衝突により、酸素・窒素分子が解離し、高反応性ラジカル種を生成する処理技術

2. 研究の計画

本研究では、プラズマ処理稲わらに由来する生理活性物質の同定と作用機構の解明を目的として、（1）植物に対する研究、（2）微生物に対する研究、（3）生理活性物質の特定、（4）プラズマ発生装置の改良、の 4 つの柱に基づき研究を推進した（図 2）。

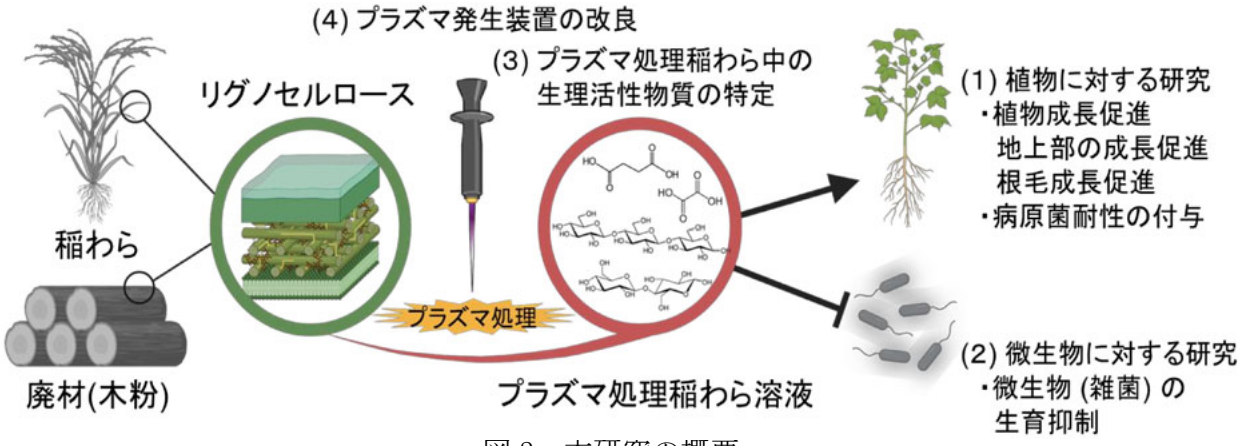


図 2. 本研究の概要

（1）植物に対する研究では、モデル植物であるシロイヌナズナを用い、プラズマ処理稲わらの添加による根毛や側根形成および地上部成長への影響を定量的に評価した。さらに、稲わらの主要構成成分であるセルロースおよびセルロースの構成糖であるグルコースを個別にプラズマ処理した試料を用いることで、活性の起源を段階的に切り分ける実験系を構築した。また、網羅的遺伝子発現解析（RNA-seq）を行い、プラズマ照射試料がシロイヌナズナのどのような遺伝子ネットワークに作用し、成長促進や根系発達に関わるかゲノムワイドに解析を進めた。

（2）微生物に対する研究では、大腸菌をモデル微生物として用い、プラズマ処理稲わら添加条件における増殖挙動を評価した。特に、植物成長促進効果が確認された濃度域において微生物抑制効果が維持されるかを検証することで、本資材の二機能性（植物の成長促進および微生物の生育抑制）の成立条件を明確化することを目指した。

（3） 生理活性物質の同定に関しては、プラズマ処理セルロースおよびグルコース溶液を対象として、GC-MS によるメタボローム解析を行い、生成する低分子化合物の同定を進めた。得られた候補化合物については、市販試薬を購入し、植物および微生物に対する作用を評価することで活性寄与成分の特定を行った。また、クロマトグラフィーによる分画と生物活性評価を組み合わせることで、複数成分の寄与および相乗効果の解析も進めた。

（4）プラズマ発生装置の改良では、稲わらなどの不溶性リグノセルロース系バイオマスに対する処理効率の向上を目的として、電極構造および放電条件の最適化を行った。稲わらのプラズマ処理によって生成する低分子化合物の生産効率を従来比で約 2 倍に向上させることを目標とした。

加えて、実用化を見据えた検証として、水耕栽培系を構築し、プラズマ処理稲わらの添加が植物成長および養液中微生物動態に及ぼす影響を評価した。これにより実際の栽培環境における効果を統合的に検証する研究計画とした。

3. 研究の成果

本研究により、プラズマ処理バイオマスに由来する生理活性物質が植物および微生物に対して顕著な作用を示すことが明らかとなった。

（1）植物に対する効果として、プラズマ処理稲わらを添加した培地において、シロイヌナズナの根毛および側根形成が顕著に促進されるとともに、地上部の成長促進およびクロロシスの抑制が再現性よく確認された。さらに、稲わらの主要構成成分であるセルロースおよびグルコースを個別にプラズマ処理した場合にも同様の成長促進効果が確認されたことから、活性因子の一部が稲わらに含まれるセルロースの分解・酸化生成物であることが示唆された。加えて、RNA-seq による網羅的遺伝子発現解析の結果、オーキシン応答に関与する遺伝子群および側根形成・根毛

分化に関与する遺伝子群の発現が顕著に誘導されることが明らかとなり、本資材が植物の成長制御ネットワークを活性化することが示唆された。

(2) 微生物に対する効果としては、大腸菌培養系において、プラズマ処理稲わらを添加することで顕著な生育抑制が確認された。特に、植物成長促進効果が発現する条件下においても微生物の増殖が抑制されることが示され、同一条件下で植物成長促進と微生物抑制が同時に達成されることが明らかとなった。この結果は、本資材が従来の農業資材にはない二機能性を有することを示す重要な知見である。

(3) メタボローム解析の結果、プラズマ処理稲わらおよびグルコース中には、有機酸および糖酸化物が生成していることが明らかとなった。これらの候補化合物を個別に評価した結果、いくつかの化合物が根毛成長を促進することが確認され、候補化合物およびその構造類似体が活性因子の一つであることが示された。一方で、単一化合物では地上部成長の促進効果が十分に再現されなかったことから、複数成分の組み合わせによる相乗効果の関与が示唆された。

(4) プラズマ処理装置の改良に関しては、電極構造の最適化および放電条件の制御により、ラジカル生成効率の向上に成功した。その結果、稲わらの変換効率が従来比で約 3.1 倍向上し、生理活性物質の生成量の増加を達成した。この改良により、本技術のスケールアップおよび実用化に向けた基盤が強化された。

さらに、水耕栽培系においても、プラズマ処理稲わらの添加により地上部のバイオマス増加が確認され、実際の栽培環境においても有効性が維持されることが示された。また、養液中における微生物増殖の抑制も確認されており、農薬使用量の低減につながる可能性が示唆された。

以上の成果により、プラズマ処理バイオマスから生成する低分子化合物群が、植物成長促進と微生物抑制という二つの機能を同時に担う新規農業資材として有望であることが示された。また、活性本体が単一物質ではなく複数成分からなる機能性混合物である可能性が高いことが明らかとなり、今後の機構解明および資材設計に重要な指針を与える結果となった。

4. 研究の反省・考察

本研究は概ね順調に進展し、プラズマ処理バイオマス中の活性本体の一端を明らかにすることができた。しかしながら、いくつかの課題も明らかとなった。

まず、単一化合物では、プラズマ処理稲わら全体と同等の成長促進効果（特に地上部成長）は完全に再現できなかった。このことは、活性が単一成分ではなく、複数成分の相乗効果によって発現している可能性を示唆している。したがって、今後は単一化合物の評価に加え、複合系としての再構成実験が重要となる。また、微生物の生育抑制機構については作用機序の分子レベルでの理解には至っていない。今後はトランスクリプトーム解析や代謝経路解析を通じて、より詳細な機構解明が必要である。さらに、実用化に向けては、原料バイオマスの種類やプラズマ処理条件に依存した生成物組成のばらつきが課題となるため、再現性の高い製造プロセスの確立が不可欠である。

一方で、本研究により、未利用バイオマスから環境負荷の低い方法で生理活性物質を生成し、それを農業資材として利用するという新たな概念の有効性が示された点は大きな成果である。今後、作用機構の解明および実証試験を進めることで、持続可能な農業の実現に資する革新的技術としての展開が期待される。

5. 研究発表

(1)学会誌等

① Bactericidal properties of tryptophan and pyrrole solutions irradiated by oxygen radicals. Daiji Kitagawa, Kenta Shimizu, Takuya Watanabe, Motoyuki Shimizu, Masashi Kato, Hiromasa Tanaka, Kenji Ishikawa, Masaru Hori, Masafumi Ito, 2026, Japanese Journal of Applied Physics, 65, 056001-05600.

② Functional characterization of a novel p-coumarate 3-hydroxylase from Trametes versicolor. Link Hamajima, Reini Mori, Ryoga Tsurigami, Yuki Yoshida, Hiroyuki Kato, Mika Hayasaka, Hiromitsu Suzuki, Masashi Kato, Motoyuki Shimizu, 2026, Applied and Environmental Microbiology, e0230125.

(2)口頭発表

① Bactericidal effect of rice straw solutions prepared at different concentrations. Kenta Shimizu, Shoto Nakashima, Motoyuki Shimizu, Hironaka Tsukagoshi, Masashi Kato, Masafumi Ito, SPlasma2026IC-PLANT, 2026 May.

② Plasma activated organic solutions with bactericidal and plant-growth effects. Masafumi Ito, Daiji Kitagawa, Kenji Ishikawa, Motoyuki Shimizu, Yasuhiro Nishikawa, Hironaka Tsukagoshi, Masashi Kato, Hiroshi Hashizume, Hiromasa Tanaka, Masaru Hori, AI2EAR Seminar & Workshop 2026 in Nagoya, 2026 May.

③ 大気圧空気グロープラズマを用いた稲わら殺菌効果の濃度依存性 (Concentration dependence of the bactericidal effect of rice straw using atmospheric-pressure air glow discharge). 清水 健太, 中島 生人, 志水 元亨, 塚越 啓央, 加藤 雅士, 伊藤 昌文, 第73回応用物理学会, 2026年3月.

④ プラズマ照射非可食性バイオマスは植物成長を促進させるか？ 髙木 雪州, 大口 凌平, 鈴木 孝征, 吉田 有希, 志水 元亨, 伊藤 昌文, 塚越 啓央, 第67回日本植物生理学会年会, 2026年3月.

(3)出版物

なし