

氏名	張 楠		
学位の種類	博士 (生物工学)		
学位記番号	博 甲 第 9 4 8 5 号		
学位授与年月日	令和2年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	生命環境科学研究科		
学位論文題目	Development of Intermittent Illuminated Anaerobic Digestion System for Mitigating Ammonia Inhibition (アンモニア阻害抑制のための光照射メタン発酵システムの開発)		
主査	筑波大学教授	博士 (生物工学)	楊 英男
副査	筑波大学教授	博士 (農学)	北村 豊
副査	筑波大学准教授	博士 (理学)	内海 真生
副査	筑波大学准教授	博士 (理学)	山田 小須弥

論 文 の 要 旨

本審査対象論文は、アンモニア阻害抑制のための光照射メタン発酵システムの研究開発に関するものである。

著者は第1章で、世界人口の増加と共に、農家一軒あたりの飼養規模の拡大などで畜産廃棄物による様々な環境問題が発生し、畜産廃棄物を処理する手法として嫌気性消化プロセスの開発が注目されていると述べている。しかし、畜産廃棄物に含まれているアンモニアは、嫌気性消化の最終代謝産物としてメタン生成菌に対して毒性を示すという問題があり、多くの場合は全体のプロセスが失敗する原因になることが知られている。一方、従来のメタン発酵は暗条件で行われており、光メタン発酵技術はメタン発酵の効率化に有効と検証されたが、アンモニア阻害抑制のための光メタン発酵に関する研究はまだ検討されていないと著者は指摘している。そこで本研究では、高濃度アンモニア条件でのメタン発酵における光照射効果を初めて取り組むと述べている。著者は、まず高濃度のアンモニアを基質として、光照射条件における光メタン発酵のアンモニア阻害の軽減効果を検討している。さらに、バイオリクターにおける微生物に与える光の定量化を試み、その光メタン発酵における最適な光量子範囲を突き止め、長期間使用可能、高効率、低コスト、操作が簡単なアンモニア阻害抑制システムの開発を進めることを目的としている。

第2章では、光照射による高アンモニア有機性廃棄物 ($[\text{NH}_4^+] = 3000\text{mg/L}$) を基質として、間歇光照射条件で光メタン発酵を行い、嫌気性消化におけるアンモニア阻害を軽減することを目的とする光メタン発酵システムの開発に関する研究を行っている。その結果、アンモニア阻害条件における光照射した発酵プロセスのメタン生成量は暗条件に比べ、1.4倍高い効果が得られ、光照射発酵リアクターのATP濃度は、暗条件に比べ、1.2倍高かったという結果が得られた。また、当研究室の先行研究より固定床材料として有効なPN固定床を用いた光メタン発酵効果についても検討した。微生物固定床と光照射の組

み合わせの結果、メタン収率は 496 ml/g-DOC removal が得られ、コントロールに比べ 2 倍以上高いことがわかった。また、固定床における微生物の ATP 測定及び SEM 観察の結果、光照射した固定床バイオリアクターが最も高い微生物活性を持ち、より多くの微生物が固定化されていることを明らかにした。さらに、実用可能性を検討するために高濃度アンモニア態窒素濃度 (3000mg/L) 含有培地を基質とした固定床半連続性発酵を 55°C で 118 日間行った。間歇光照射した場合には、暗条件に比べ、より安定したシステムの運転と高いメタン濃度、メタン生産量と有機物分解率が得られた。このことから、微生物固定床と光照射の組み合わせにより、高効率、低コスト、操作が簡単なアンモニア阻害抑制のためのシステムが構築できると述べている。

第 3 章では、前章で明らかにしたアンモニア阻害の抑制に有効である光メタン発酵において、最適な光照射条件の定量化に関する検討を行っている。本研究では、光照射に関わる重要なファクターである光照射強度 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) と照射時間 ($\text{min}\cdot\text{day}^{-1}$) とバイオリアクターの体積 (L) を考慮し、光メタン発酵システムの光照射条件定量化可能な光量子 ($\mu\text{mol}\cdot\text{day}^{-1}\cdot\text{L}^{-1}$) 概念を提案する。光量子範囲の変化によって対応するメタン収率の値を求め、光量子範囲 ($1.16\times 10^4 - 1.86\times 10^4 \mu\text{mol}\cdot\text{day}^{-1}\cdot\text{L}^{-1}$) 内は暗条件に比べ 3 倍以上のメタン収率が得られ、光メタン発酵における最適光量子範囲を突き止めた。さらに、著者は最適光量子範囲の光メタン発酵リアクターのメタン生成微生物に関連する酵素 F_{420} に注目し、適切な光量子で照射した場合、 F_{420} の濃度は他の条件と比べ、きわめて高い F_{420} 濃度が得られた。適切な光量子での照射により、メタン菌を刺激し、活性化され、高アンモニア条件においてもメタン発酵効率が促進された。以上の知見を踏まえ、著者は異なった高濃度アンモニア条件とスケールアップしたバイオリアクターの光メタン発酵を行い、その有効性を確認した。その結果、最適光量子範囲は適応し、高濃度アンモニア態窒素条件下でメタン発酵システムの構築に最も重要であることを明らかにした。また、 $1.25\times 10^4 \mu\text{mol}\cdot\text{day}^{-1}\cdot\text{L}^{-1}$ の光量子条件下で 108 日間連続運転を行い、間歇光照射した場合は暗条件に比べ、安定したシステムの運転を実現し、すべての運転期間中コントロールに比べ、3 倍以上高いメタン収率が得られた。よって、微生物固定床と最適光量子照射の組み合わせにより、高効率アンモニア阻害抑制のための光メタン発酵システムの構築が実現できた。

以上を総括すると、著者は、長期間にわたって安定かつ高効率なアンモニア阻害抑制可能な光メタン発酵システムの開発を進め、これらの知見により、高アンモニア性基質によるバイオエネルギー生産促進が可能となり、今後、環境・エネルギー分野への貢献が期待できる。

審 査 の 要 旨

本論文において、著者は、高アンモニア条件下で、間歇性光メタン発酵のメタン生成促進効果を初めて検討し、これまでのメタン発酵におけるアンモニア阻害抑制方法と異なり、斬新なアンモニア阻害抑制可能な光メタン発酵方法を発見した。また、光量子を用いて光メタン発酵の最適光照射条件を定量化することは世界初であり、高効率かつ操作簡単なアンモニア阻害抑制可能な光メタン発酵システムの構築が実現可能となる。

得られた知見に基づき、微生物固定床と最適光量子照射の組み合わせにより、高効率アンモニア阻害抑制のための光メタン発酵システムの構築に関する重要な学術的知見を見出した。これらは、嫌気性発酵における新規アンモニア阻害抑制方法の学術的発展に大きく貢献するとともに、さらなる高効率メタン発酵システム構築の可能性を広げ、エネルギー・環境分野等への応用にも寄与しうるものと評価できる。

令和 2 年 1 月 16 日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士 (生物工学) の学位を受けるのに十分な資格を有するものとして認める。