

2025 年 5 月 1 日

報道機関 各位

国立大学法人東北大学

強力な温室効果ガス N_2O を高速除去できる バイオプロセスを開発

【発表のポイント】

- 一酸化二窒素 (N_2O) を除去する新たなプロセスを開発しました。
- 本プロセスは N_2O を高速で除去可能であり、高濃度 N_2O に対しても高い処理性能を有しています。
- N_2O の除去に微生物反応を利用しており、環境への負荷が低く、廃水処理プロセス由来の温室効果ガス削減などへ寄与することが期待できます。

【概要】

N_2O は二酸化炭素 (CO_2) の 273 倍の地球温暖化係数を持つ強力な温室効果ガスで、温暖化効果への寄与率は 6%程度と見積もられています。また、21 世紀最大のオゾン層破壊物質としても知られる環境負荷の高い物質です。人為起源の N_2O 排出量のうち廃水・廃棄物由来が全体の 5%程度を占め、その中には廃水処理プロセスからの排出が含まれます。廃水処理プロセスからの N_2O の排出量削減に関する研究の多くは発生抑制に着眼点がおかれています。一方で、発生した N_2O の除去に関する研究は多くありません。

東北大学大学院環境科学研究科の久保田健吾 准教授と前田稜太 大学院生らは、大学院生命科学研究科の南澤究 特任教授と共同で、スポンジ担体を吊るした Down-flow Hanging Sponge (DHS) ^(注 1) リアクターを用いた微生物反応による N_2O 除去プロセスを開発しました (図 1)。本プロセスは廃水処理プロセスのなかでも特に窒素処理における無酸素槽から発生する N_2O を標的としており、実験では無酸素環境で 5-300 ppm の濃度域では 3 分程度、2,000 ppm と高濃度の場合でも 18 分で 94%以上の N_2O 除去を達成しました。本技術は廃水処理プロセスからの N_2O 排出量を低減でき、持続可能な社会の構築に貢献できるものです。

本成果は 2025 年 4 月 25 日に化学工学分野の専門誌 Chemical Engineering Journal に掲載されました。

【詳細な説明】

研究の背景

温室効果ガスやオゾン層破壊物質としての性質を持つ N_2O の大気中濃度は直線的に増加し続けており、国連環境計画では 2050 年までにその排出量を 40% 削減する方策を提唱するなど、排出量削減は世界中で喫緊の課題とされています。人為的な N_2O 発生源としては、農業分野が大半を占めますが、廃水・廃棄物処理分野も無視することはできません。例えば、従来の硝化脱窒法と比較して消費電力を 40% 程度削減することが可能な省エネルギーな窒素処理プロセスとして知られる「部分硝化-嫌気性アンモニア酸化プロセス」^(注 2) の無酸素槽からは高濃度の N_2O が発生していることが報告されています（実験室リアクターで ~1,300 ppm、実規模リアクターで ~4,000 ppm）。これらの背景を踏まえ、本研究では、無酸素環境から発生する高濃度 N_2O を標的とする N_2O 除去プロセスの開発を行いました（図 1）。

今回の取り組み

本研究グループでは、5、40、300 あるいは 2,000 ppm の N_2O を含む窒素ガスを DHS リアクターに連続的に供給しました。また微生物が N_2O を N_2 に還元するために必要な有機物として、嫌気性消化汚泥の脱離液（廃水）を用いました。その結果、300 ppm までの濃度域では 3 分程度、2,000 ppm では 18 分でリアクターに供給した N_2O の 94% 以上を除去することに成功しました。 N_2O を処理している微生物群の 16S rRNA 遺伝子^(注 3) および N_2O の除去に関連する *nosZ* 遺伝子^(注 4) の解析を行った結果、 N_2O 還元微生物である *Azonexus*（アゾネクサス）属細菌が高い割合で優占して存在していることを明らかにしました。これらのことから、本プロセスではアゾネクサス属細菌が N_2O の除去に重要な役割を果たしていることが考えられました。さらに、微生物群がもつ N_2O 消費速度を測定し、微生物反応速度の解析を行った結果、気相中の N_2O がスポンジ担体の液相に溶解する速度が本プロセスの N_2O 除去速度を決定する重要な要因になっていることを明らかにしました。

本プロセスでは N_2O の除去に微生物反応を利用しているため、化学物質などを使用する必要がありません。また、DHS リアクターは気相の N_2O がスポンジ担体の液相に気液平衡作用で自然に溶存するため、電力消費を伴う曝気を行う必要がなく、本プロセスは省エネルギーな技術にもなっています。

今後の展開

本研究成果は、廃水処理プロセスから発生する N_2O を除去可能であり、廃水処理事業などに関連する温室効果ガスの削減に寄与できます。本システムは高速で N_2O 除去が可能であるため、小規模なリアクターで N_2O 対策が可能であるという利点があります。今後は、実用化のために N_2O 濃度が変動する実際の

廃水処理プロセスでの実証試験や、空気に含まれる N_2O を削減可能な技術開発を行う必要があります。また N_2O 除去微生物に関する知見を応用することで、廃水処理のみでなく人為起源 N_2O 排出量の 55%程度を占める農業分野への展開も考えられます。

DHS リアクターを用いた N_2O 除去バイオプロセスを開発

N_2O の高速な除去を達成

- 5–300 ppm: 3 分程度で 94% 以上除去
- 2,000 ppm: 18 分程度で 99% 以上除去

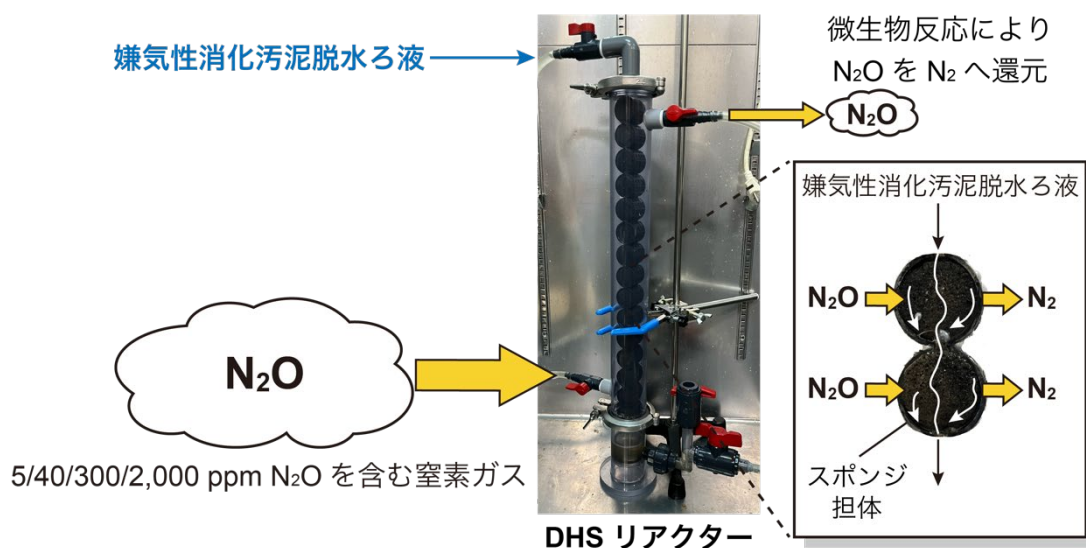


図 1. DHS リアクターを用いた N_2O 除去バイオプロセス

【謝辞】

本研究は、内閣府のムーンショット型研究開発事業のプロジェクト JPNP18016、科研費 JSPS KAKENHI Grant Number JP19KK0371、JP21H01460、JP24KJ0429、東北大学変動地球共生学卓越大学院プログラム (SyDE) の支援により実施されました。また本論文は「東北大学 2025 年度オープンアクセス推進のための APC 支援事業」により オープンアクセス となっています。

【用語説明】

- 注1. Down-flow Hanging Sponge (DHS) : 下降流スポンジ懸垂。スポンジ担体を懸垂し、上部から廃水を流入させスポンジに生息する微生物の働きによって廃水を処理する。気液平衡により気相の物質が液相に溶け込むため、曝気などが不要で省エネルギーなプロセスである。
- 注2. 部分硝化-嫌気性アンモニア酸化プロセス : 廃水中に含まれるアンモニ

ウムの一部を亜硝酸にまで酸化し（部分硝化）、それを無酸素環境で脱窒する（嫌気性アンモニア酸化プロセス）ことで、廃水中に含まれる窒素を除去する。従来型の硝化-脱窒プロセスに比べてエネルギー消費量が少ないなどの利点がある。

注3. 16S rRNA 遺伝子：タンパク質合成を担うリボソームを構成する RNA の 1 つをコードしている遺伝子。生物共通の遺伝子マーカーとして、培養に依存しない微生物の系統分類に広く用いられている。

注4. *nosZ* 遺伝子：一酸化二窒素（ N_2O ）を窒素ガスに還元するタンパク質をコードしている遺伝子。 N_2O を還元できる微生物を探索する時に用いられている。

【論文情報】

タイトル：Mitigating nitrous oxide emission by a down-flow hanging sponge bioprocess enabling the removal of high concentration N_2O

著者：Ryota Maeda, Mikiko Sato, Kiwamu Minamisawa, Kengo Kubota*

*責任著者：東北大学大学院環境科学研究科 准教授 久保田健吾

掲載誌：Chemical Engineering Journal

DOI：10.1016/j.cej.2025.162885

URL：https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.162885

【問い合わせ先】

（研究に関すること）

東北大学 大学院環境科学研究科

准教授 久保田健吾

TEL: 022-795-5011

Email: kengo.kubota.a7@tohoku.ac.jp

（報道に関すること）

東北大学大学院環境科学研究科

情報広報室

TEL: 022-752-2241

Email: kankyo.koho@grp.tohoku.ac.jp