



技術戦略研究センターレポート

TSC Foresight

2021年6月

温室効果ガス N₂O の抑制分野の 技術戦略策定に向けて

Vol. **105**

はじめに	2
1 章 解決すべき社会課題と実現したい将来像	4
1-1 社会課題と将来像の定義	4
1-2 解決・実現のための方法	6
1-3 環境分析とベンチマーキング	11
2 章 解決・実現手段の候補	21
2-1 解決・実現のための課題	21
2-2 分析から得られた具体的実現手段の候補	21
2-3 技術開発の方向性	25
3 章 おわりに	27

TSC とは Technology Strategy Center (技術戦略研究センター) の略称です。

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
技術戦略研究センター (TSC)

温室効果ガス N₂O の抑制分野の技術戦略策定に向けて

はじめに

世界の平均地上気温は、産業革命が始まった18世紀後半から上昇し続けている。国連気候変動に関する政府間パネル (IPCC: Intergovernmental Panel on

Climate Change) は、こうした気温上昇の原因として人為起源で排出された温室効果ガス (GHG: Greenhouse Gas) の可能性が極めて高いと報告している*1。そのなかで亜酸化窒素 (N₂O) は、主要なGHGの一つと考えられている。図1はIPCCが報告した人為起源によるGHGの年間発生の内訳であり、GHGとしての発生量 (CO₂換算) ではN₂Oが第3位 (6%) を占めている*2。

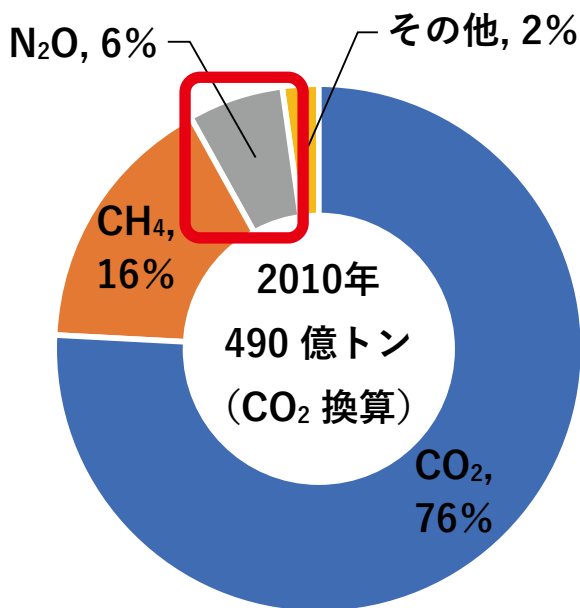


図1 人為起源のGHG発生内訳 (CO₂換算) (IPCC第5次報告書による)

出典: Climate Change 2014 Synthesis Report (IPCC, 2014) に基づきNEDO技術戦略研究センター作成 (2020)

*1 IPCCの気候変動に関する第5次報告書 (Climate Change 2013: The Physical Science Basis) .
<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

*2 IPCCの報告に基づく人為発生のN₂Oは年間約1,100万トンと計算されている。

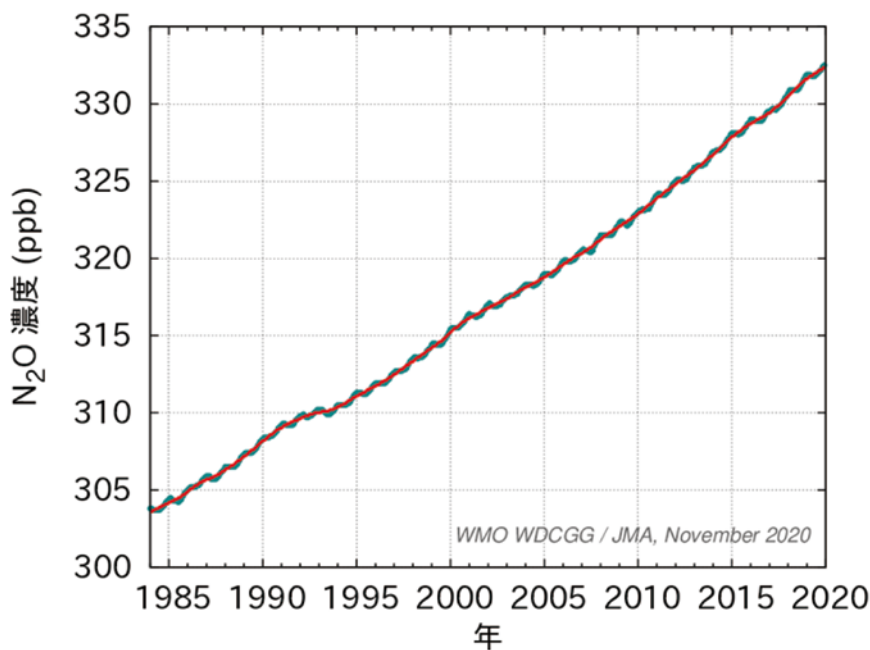
温室効果ガス N₂O の抑制分野の技術戦略策定に向けて

N₂Oは大気中で長く滞留し、地表から放出された熱を吸収する能力も高いことから、CO₂の約300倍の強い温室効果を有するといわれている。大気中のN₂O濃度は2019年では約332.0 ppbであり、CO₂濃度^{※3}に比べてわずかではあるものの、増加の一途をたどっている(図2)^{※4}。CO₂同様、大気中のN₂Oの増加を抑制する対策が必要と考えられている。

20世紀に大気窒素から合成されるアンモニアを原料とする肥料を使用することで食料増産が可能になった反面、窒素分(余剰窒素)が地表を移動するうちに、様々な場所で微生物等が持つ酵素反応や種々の代謝作用(以下、バイオ作用と称する)により化学変化し、その中

でN₂Oが発生することとなった。このように、N₂Oの発生が農業生産と深く関係していることから、N₂Oの問題は人類の「食料」に深く関係する問題であるとの認識が特に欧州において広がっている。

「2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする」^{※6}ことを宣言した日本としては、CO₂の排出削減はもとよりN₂Oの発生抑制についても取り組む必要がある。あわせて、N₂O抑制への取組が、場合によっては食料の安定供給にマイナスの影響を及ぼしかねないといったトレードオフの問題を含め、日本はいち早く解決に向けた技術開発を国家的課題として取り組む必要がある。



* 温室効果ガス世界資料センター (WDCGG) が収集したデータを基に解析した結果。青色は月平均濃度。赤色は季節変動を除去した濃度を示す。

図2 大気中のN₂O濃度の全球平均経年変化

出典：気象庁ウェブサイト^{※5} (2020)

※3 二酸化炭素濃度の経年変化. 気象庁.

https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/co2_trend.html

※4 地球全体の二酸化炭素の経年変化. 気象庁, 2020.

https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/n2o_trend.html

※5 地球全体の二酸化炭素の経年変化. 気象庁, 2020.

https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/n2o_trend.html

※6 第二十三回国会における菅内閣総理大臣所信表明演説. 首相官邸. 2020-10-26.

https://www.kantei.go.jp/jp/99_suga/statement/2020/1026shoshinhyomei.html

1章 解決すべき社会課題と 実現したい将来像

1-1 社会課題と将来像の定義

抑制の対象とすべき人為起源の N₂O 発生について、その内訳については種々報告されている。図3は IPCC が報告した大気中の N₂O 濃度に基づく発生内訳 (N₂O 換算) である。図3の中で農業は59%で最大を占め、河川(湖沼)・河口・海岸は9%を占めていることがわかる。

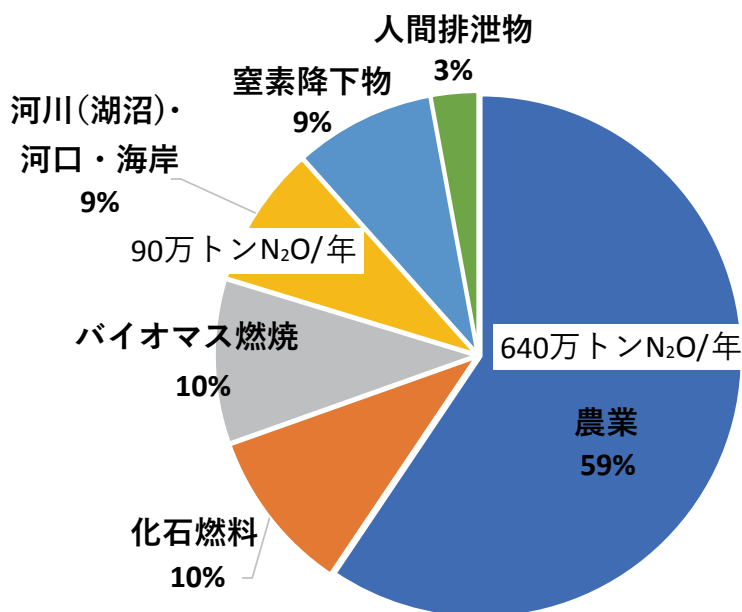


図3 IPCC 第5次報告書に基づく N₂O 発生内訳 (2006/2011 時点)

出典：IPCC 第5次報告書 (2014) 記載のデータに基づき NEDO 技術戦略研究センター作成 (2021)

温室効果ガス N₂O の抑制分野の技術戦略策定に向けて

(1) 農業分野

農業分野を更に詳細に分析するため、国連食糧農業機関 (FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations) のデータ^{※7}に注目する。図4はFAOが積み上げ式で集計した農業分野における N₂O 発生の内訳 (N₂O 換算) である。化学肥料 (世界: 31.2%、日本: 32.0%)、作物残渣 (世界: 9.9%、日本: 9.8%)、家畜糞・堆肥 (土壌) (世界: 8.5%、日本: 14.9%)、泥炭地耕地 (世界: 5.7%、日本: 7.6%) が農耕地由来で、家畜糞・堆肥 (牧草地) (世界: 38.4%、日本: 20.6%)、家畜糞・堆肥 (製造) (世界: 6.3%、日本: 15.1%) が牧畜由来の N₂O 発生である。

世界の N₂O 発生要因の中で多くを占める家畜糞・堆肥 (牧草地) であるが、日本国内では牧草地に家畜を放牧する形態が少ないため割合としては少ない。このような傾向を考慮し、日本としては、国内のみならず世界的にみても比率の高い農耕地、特に化学肥料や作物残渣

から発生する N₂O の抑制に注力することが重要と考えられる^{※8}。

(2) 河川 (湖沼)・河口・海岸分野 (以下、河川・湖沼分野と略す)

図3では河川・湖沼分野からは年間約90万トンの N₂O が発生しているとされている^{※9}。河川や湖沼における N₂O 発生については農耕地に比べ観測データが不足しているが、例えば Reading^らは、オーストラリア南部の都市 Coffs Creek における河川や河口付近の N₂O 発生をモニタリングし、河川に流入する窒素分が N₂O 発生の原因であること、N₂O が常時発生しているわけではなく、間欠的に発生していることを報告している^{※10}。

我々が目指すべき将来像は、食料の安定供給や、河川・湖沼の環境を維持・向上しながら、気候変動に影響を与える N₂O の発生を抑制することを通じて、人間社会と地球環境との調和を実現する持続可能な社会である。

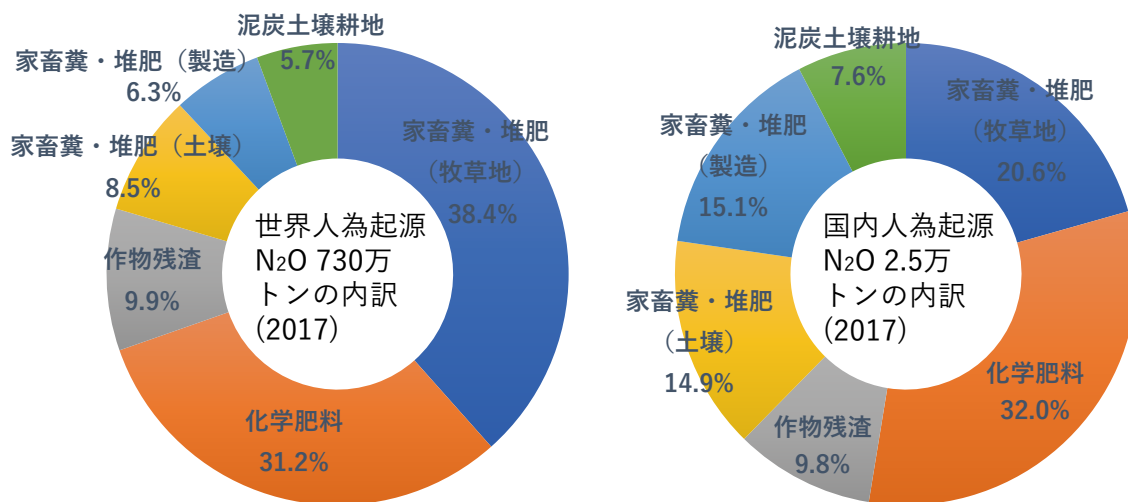


図4 農業分野における N₂O 発生内訳 (2017)

出典: FAO 公表の GHG インベントリに基づき NEDO 技術戦略研究センター作成 (2021)

※7 <http://www.fao.org/faostat/en/#data>

※8 農耕地で開発された技術を牧草地に展開するという可能性は排除しない。

※9 河川・湖沼からの N₂O 発生については IPCC の第5次報告書で第4次報告書に比べ大幅に小さく評価されたが、発生量が過小に見積もられているという議論がある点を付記しておく。

※10 N₂O の間欠的発生を示す論文: Reading, M. J. et al. Shifting nitrous oxide source/sink behaviour in a subtropical estuary revealed by automated time series observations Estuarine, Coastal and Shelf Science. Vol.194, 2017, pp 66-76.

温室効果ガス N₂O の抑制分野の技術戦略策定に向けて

1-2 解決・実現のための方法

農耕地や河川・湖沼において、バイオ作用によって N₂O が発生するメカニズムについて簡単に説明する。図5は農耕地における N₂O 発生を示す概念図である。同様な化学反応は、農耕地だけでなく河川・湖沼でも起きていると考えられている。

地中に窒素化合物が供給される方法は大きく分けて

2種類ある。一つは、人類史以前の太古の時代から既に存在していた、微生物による大気中窒素の固定反応（「窒素固定」と称する）である。もう一つは、窒素を含む化学肥料（「窒素肥料」と称する）の投入である。20世紀初頭に発明されたハーバー・ボッシュ法と呼ばれる化学プロセスは、高温高压条件において窒素分子からアンモニアを合成することを可能にした。これによって製造された窒素肥料を農耕地に散布することで20世紀の農業生産は飛躍的に拡大した。

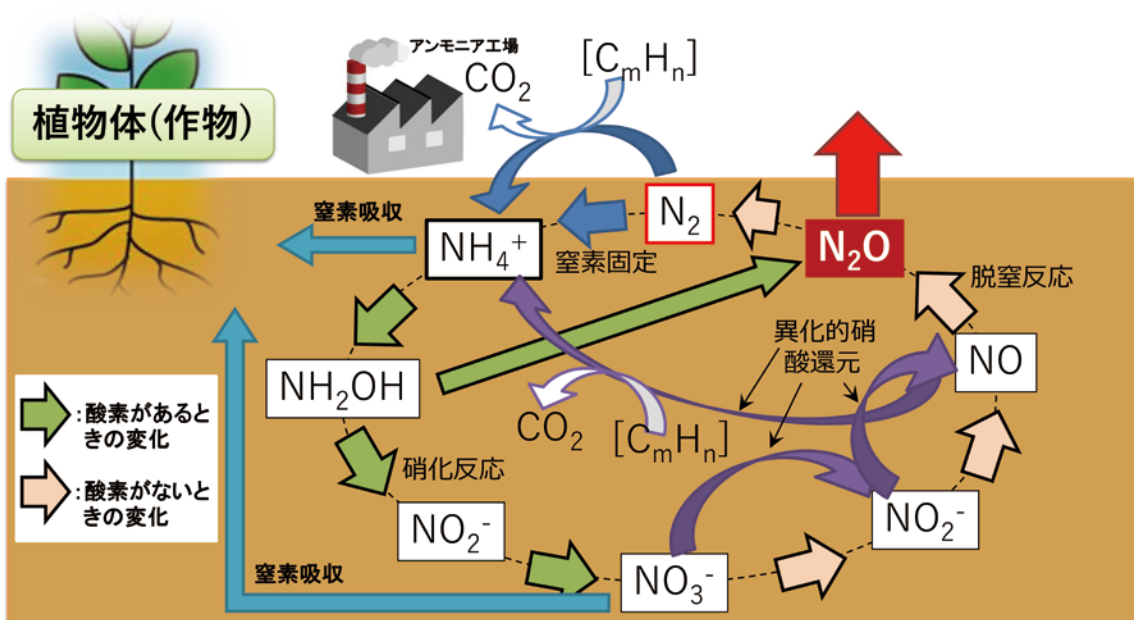


図5 農耕地（土壌）におけるバイオ作用による N₂O 発生メカニズム

出典：東北大学南澤教授の監修のもと NEDO 技術戦略研究センター作成（2021）

温室効果ガス N₂O の抑制分野の技術戦略策定に向けて

地中の窒素成分は残念ながら作物に即座に吸収されるわけではなく、吸収率は多くて約半分と言われている。吸収されなかった窒素成分はバイオ反応による酸化あるいは還元を受け、種々の物質に変化する。窒素化合物の変化の状態は、生息する微生物の種類のほか、土壤に含まれる水分や酸素、地温等によって変化するが、大別すれば、地中に酸素がある場合には硝酸に向かう反応（「硝化反応」と称する）、地中に酸素がない場合には硝酸から酸素が奪われていく反応（「脱窒反応」と称する）、の2方向の反応経路に整理することができる。N₂O はこれら硝化反応、脱窒反応の両方の過程において発生し、特に脱窒反応では反応の最終段階で N₂O を経由する下記の反応が存在することが知られている。



ただ、この化学反応を担う酵素の活性がしばしば低下することがあり、そのような場合には、N₂O は水に溶けにくいいため微生物が迅速に N₂ に転化できないと N₂O は大気中に揮散してしまう。これが N₂O 発生の一つのメカニズムと考えられている。

土壤における濃度の測定が難しいので、より精密な定量値が報告されている河川・湖沼のデータを基に説明する。河川や湖沼に存在する種々の窒素化合物の大まかな濃度関係は図6のとおりである。

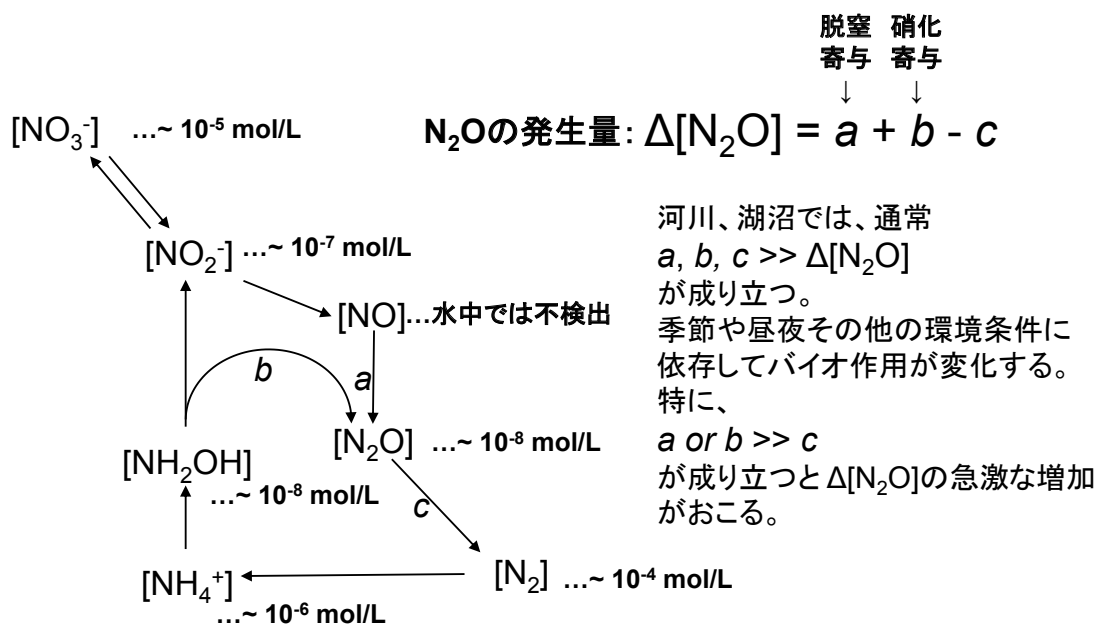


図6 河川・湖沼における窒素化合物の濃度と化学変化過程

出典：京都大学木庭教授の情報を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2019)

温室効果ガス N₂O の抑制分野の技術戦略策定に向けて

河川・湖沼中の N₂O は、濃度が 10⁻⁸ mol/L レベルで非常に希薄であり、この程度の濃度では大気に放出されることはない^{※11}。しかし、硝酸イオン (NO₃⁻) の濃度が高い等の一定の条件のもとでは、硝酸イオンを脱窒反応で N₂ にまで還元し酸素源として用いる微生物の働きにより、硝酸イオンから酸素原子が順次奪われてく反応の途中で多くの N₂O が生じる場合がある。その際に、N₂O を N₂ に転化する微生物の働きが弱い等の条件が重なると脱窒反応が進まなくなり、その場合に N₂O が大気中に放出されること (N₂O の発生) が起こるといわれている。さらに、水中にアンモニウムイオン (NH₄⁺) が存在する場合は NH₄⁺ の酸化もまた同時に起こっており、その反応の途中においても N₂O が発生する。この場合の N₂O の単位時間単位体積当たりの発生量 (図 6 中の Δ[N₂O]) は、アンモニウムイオンの酸化 (図 6 中の b) と硝酸イオンの還元 (図 6 における a) によるそれぞれの発生量の和と、N₂O の還元による減少量 (図 6 中の c) との差で表される。a、b および c は季節や昼夜その他の環境条件によっても刻々と影響を受けるため、それに伴って N₂O の発生量が変化していると考えられている。土壌中の窒素化合物についても、概ね河川・湖沼と同様な挙動を示しているものと推定される。

上記のような理解に基づき、本レポートでは N₂O 抑制を実現させるための方法を検討した。その際、前述した N₂O 発生の特徴や手法の適用にかかわる障壁を極力小さくする観点から以下の四つの要件を考慮した。すなわち、

- (ア) ごくわずかな濃度の N₂O の発生源が面的に広く分布している状況を効果的に抑制できること。
- (イ) 発生した N₂O を濃縮や移送することなく現場で処理できること。
- (ウ) 農耕地への適用については、グローバル展開も見

据えて、従来の農業生産活動の範囲で導入できること。

- (エ) 河川・湖沼への適用については、河川や湖沼の整備計画の一環として実施できること。

窒素肥料を削減すれば発生する N₂O は減少することから、例えば、窒素肥料削減方法の中には水耕栽培や植物工場といった方法が考えられる^{※12}が、地球規模で考えると土壌栽培は今後も農業の主流として存続するはずであり、水耕栽培や植物工場が 2050 年までに土壌栽培に取って代わることは考えにくい。したがって本レポートでは土壌栽培を前提とした解決方法に焦点を当てることとする。

このような考え方に立ち、次の四つの解決方法を提案して環境分析とベンチマーキングを行った。

【N₂O 抑制を実現するための方法】

① 窒素肥料の抑制 (機能性肥料の利用等)

単純に肥料を減らすと農産物の減収につながるため、施肥効果を高めて施肥量を抑制する視点から、肥料を樹脂等で被覆して土壌への浸透速度を制御する被覆肥料が開発されている。このようないわゆる機能性肥料を更に多機能化することが考えられる。また、大豆などマメ科の植物には根に窒素固定を行う根粒菌と呼ばれる微生物が共生しており、窒素肥料をほとんど必要としないことが知られている。さらに日本の水田にも窒素固定を行う微生物が存在することが最近の研究で明らかになっており^{※13}、このような窒素固定微生物の機能を最大化あるいは適用できる品種を拡大することが考えられる。

② バイオ作用の抑制 (硝化反応の抑制等)

肥料が作物に吸収されずに土壌へ浸透していくことの抑制と同じ意味で、肥料のバイオ作用による変化を抑制

※11 N₂O は水に溶けにくい性質を持つが、大気中の濃度が約 300 ppb の場合、水に約 10⁻⁸ mol/L 程度溶解することを意味する。

※12 水耕栽培では発生する N₂O が増加するという報告があるため、窒素肥料が削減できても N₂O の抑制には寄与しないという可能性がある。

※13 増田曜子ほか. 水田土壌における鉄還元菌窒素固定の発見と応用. 科学と生物. vol.58, no.3, 2020, p.143-150.

温室効果ガス N₂O の抑制分野の技術戦略策定に向けて

することによって植物に窒素化合物が吸収される効率を高めようとする技術が開発されている。具体的には、硝化抑制剤等の使用によって窒素肥料が植物の吸収に必要なだけの硝酸イオンに変化するようバイオ作用を制御し、過剰な硝酸イオンが土壌に残って N₂O 発生の原因となることを防ぐ。ただ、植物は種によって硝酸イオンの吸収の仕方が異なるので、N₂O 抑制のためとはいえ硝化抑制剤を過剰に用いると生育に影響の出る作物もある。したがって、投入量やタイミングを含め、硝化抑制剤の処方植物の種類や栽培方法と強く関係していることを考慮する必要がある。現状の硝化抑制剤の機能に対し、効力を高める（制御する）、あるいは適用先を拡大するといった方法が考えられる。

③ バイオ作用の促進（脱窒反応の促進、別代謝経路の利用等）

N₂O を N₂ に転化する反応（「N₂O → N₂ 転化」と称する）を担う微生物の力を高める、あるいは上記反応を進める能力が高い生物を農耕地に添加するといったことが考えられる。大豆では既に N₂O を N₂ に転化する能力の高い根粒菌（あるいは根粒菌と共生する微生物群）が微生物資材として販売されている。また研究では、N₂O を N₂ に転化する酵素を遺伝子に持つ微生物がいろいろ

な種から見出されている。このようないわゆる外来微生物は、単純に農耕地に添加しても元々土壌に生きている微生物（土着微生物）との競争に打ち勝てないことが知られている。有用な微生物を発見あるいは機能を遺伝子改変等により人工的に強化し、そのような有用微生物を農耕地で安定に成育させるといったことが考えられる。

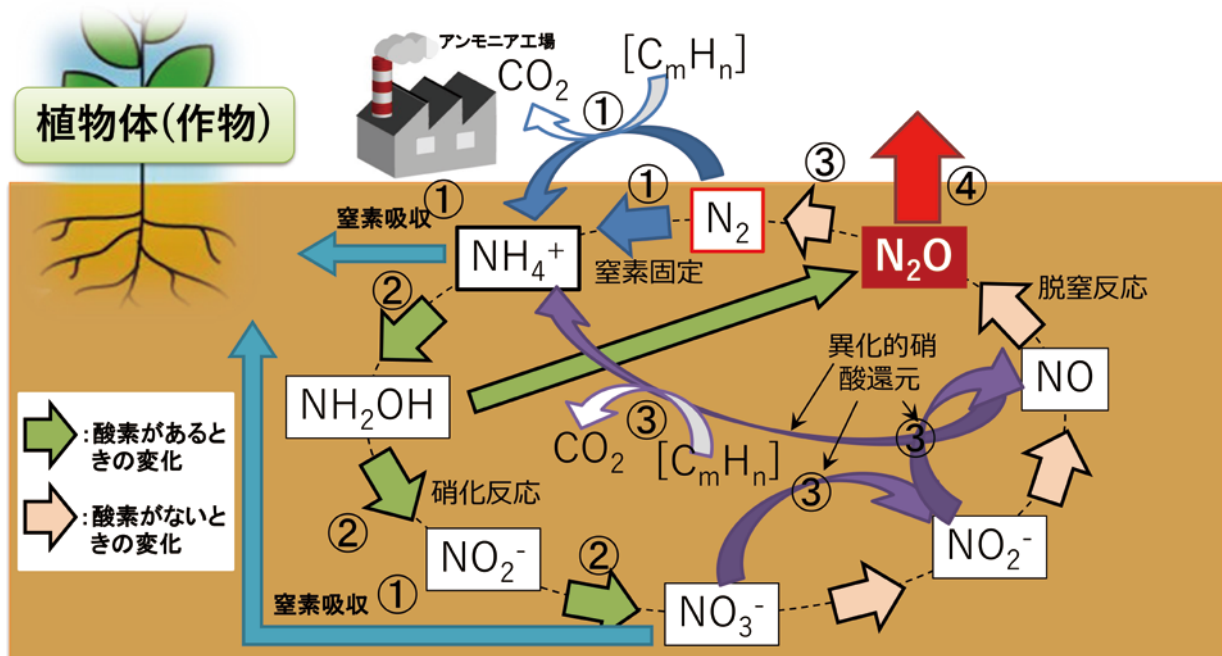
④ 発生した N₂O の吸収・転化

大気中に拡散した N₂O は非常に希薄であることから、一旦大気に放出された N₂O を化学吸着により回収あるいは他の窒素化合物へ転化することは現時点では技術的に困難であり実現できていない。しかし、間欠的に発生した N₂O の濃度^{*14}で機能を発揮する触媒、吸着剤等が開発されれば、それを利用して N₂O を N₂ に転化する、あるいは吸着して大気放出を抑制する等の可能性が出てくる。そこで、排ガス等の浄化技術を本課題に適用するべく更に進化させ、土壌中で N₂O が発生し、大気に拡散する前の比較的高濃度な段階で適用することで大気への拡散を未然に阻止することはあり得ると考えられる。

①～④の解決方法について、図5の概念図にマッピングしたものを図7に改めて示す。図5の反応経路にいずれかの解決方法が関与していることを示している。

*14 間欠的に N₂O が発生する場所をホットスポットと呼び、発生している瞬間をホットモーメントと呼ぶ。ホットスポット/ホットモーメントでは、大気濃度の100倍程度の濃度の N₂O が放出される場合があると言われている。

温室効果ガス N₂O の抑制分野の技術戦略策定に向けて



* 図中の番号①～④は本文の解決方法①～④に対応

図7 農耕地（土壌）における N₂O 抑制の方法まとめ

出典：東北大学南澤教授の監修のもと NEDO 技術戦略研究センター作成（2021）

温室効果ガス N₂O の抑制分野の技術戦略策定に向けて

1-3 環境分析とベンチマーキング

(1) N₂O 抑制に関連する政策動向

各国のGHG抑制関連政策を表1にまとめる。主要国の政策では、CO₂以外のGHGに対する対策の重要性と目標が言及されている。特に欧州では「欧州グリーンディール (A European Green Deal) *15」で2050年におけるGHGニュートラルを宣言し、その一環として「農場から食卓まで戦略 (Farm to Fork Strategy) *16」を公表し、農業関係のGHG削減に向け食物の環境負荷の大きさを付加価値税に反映させる取組等を検討している。フランスでは食物の環境負荷 (GHG 排出を含む) を評価し、「エコ・スコア (eco-score)」という形で表示

することが決められた。日本も「革新的環境イノベーション戦略*17」や「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略*18」が2020年に公表され、「2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする」ことが発表された。

研究開発の分野では、欧州で Horizon 2020 の援助を受けて土壌機能の理解および活用を目的とした国際研究プログラムがスタートした (EJP SOIL *19)。しかし研究対象に CO₂ 固定 (sequestration) はあるものの N₂O 抑制は含まれていない。日本はムーンショット型研究開発事業 (以下、ムーンショット事業) で窒素の新しい循環を課題に掲げ、2020年に N₂O 抑制分野の技術開発をスタートさせた。

表1 各国のGHG抑制関連政策

国	政策	シナリオが目指す主なビジョン	シナリオにおける数値目標
日本	革新的環境イノベーション戦略	<ul style="list-style-type: none"> 5分野16課題39テーマを選定しアクションプラン等を作成 上記5分野のなかにゼロエミ農林水産業を掲げ、農畜産業からのN₂O排出削減 アクセラレーションプランとしてムーンショット型研究開発制度が記載 	2050年におけるGHG排出80%抑制
	グリーン成長戦略	<ul style="list-style-type: none"> N₂Oの発生に係る土壌微生物の生態解明 GHGと水質汚濁物質を削減する生物的硝化抑制 (BNI) 能強化品種の開発 	2050年においてカーボンニュートラルを目指す
米国	長期戦略 (~2050)	<ul style="list-style-type: none"> 家畜の管理、肥料化の改善、飼料改良、化学肥料からの転換等 森林拡大 	土壌部門での貯蔵: 2050年排出量比23~45%以上 非CO ₂ 排出量: 2005年比▲10~30%
欧州	EU Green Deal (Horizon 2020/Europe)	<ul style="list-style-type: none"> 欧州グリーンディールの制定(「農場から食卓まで戦略」により肥料の使用削減) 食品の環境負荷を付加価値税に反映検討 (trace-SOIL) 土壌のCO₂等吸収能力に着目しGHG固定技術への応用を目指す 	2050年までに気候中立の実現 2030年までに化学肥料20%削減 2030年までに農地の25%を有機農地に 畜産をGHG抑制ターゲットに(-7%)
ドイツ	長期戦略 (~2050)	<ul style="list-style-type: none"> 過剰となる窒素分の削減 廃棄物系バイオマスのエネルギー利用は多様な分野に貢献 森林の吸収源効果の維持・向上 	農業部門排出量(80シナリオ): 1990年比▲42%
フランス	長期戦略 (~2050)	<ul style="list-style-type: none"> 窒素サイクルの最適化、省資源農法の拡大、有機肥料への転換 食品の環境負荷表示「エコ・スコア」にCO₂排出量考慮 家畜排せつ物のメタン発酵 木材需要の増加、副産物・廃棄物系バイオマスの利用による高付加価値化 	農業部門排出量: 2010年比▲1/2
カナダ	長期戦略 (~2050)	<ul style="list-style-type: none"> バイオ製品の供給 森林の管理方法の変更 	(5つのシナリオごとに部門内での分類が異なるため割愛)
中国	第13次5か年 (~2020)	<ul style="list-style-type: none"> アンモニア性窒素の排出総量削減 化学肥料や農業の使用量の伸び率をゼロにする取り組み 	アンモニア性窒素の排出総量: 2015年比▲10%

出典：政府公表資料等に基づき NEDO 技術戦略研究センター作成 (2018)

*15 https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

*16 https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/actions-being-taken-eu/farm-fork_en

*17 革新的環境イノベーション戦略, 概要版, 2020.

<https://www.nedo.go.jp/content/100904224.pdf>

*18 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略を策定しました. 経済産業省, 2020.

<https://www.meti.go.jp/press/2020/12/20201225012/20201225012.html>

*19 <https://projects.au.dk/ejpsoil/>

温室効果ガス N₂O の抑制分野の技術戦略策定に向けて

(2) N₂O 抑制に関連する市場動向

当該技術の実用化形態として機能性肥料が想定されるため、機能性肥料の一つである緩効性肥料の市場を例に考える。MarketsandMarkets 社の調査によれば、緩効性肥料の市場は世界で24億ドル（2020年）、32億ドル（2025年）と、年率6.3%の着実な伸びが期待され、地域内訳としてはアジア太平洋地域が最大市場で

ある^{※20}。

図8にアジア諸国における N₂O 発生量の比較と国ごとの発生内訳を示したが、アジアには日本より N₂O 発生の多い国が多く存在し、日本と N₂O 発生内訳が類似していることから、日本において開発した技術をアジア地域に展開するといったシナリオが考えられる。

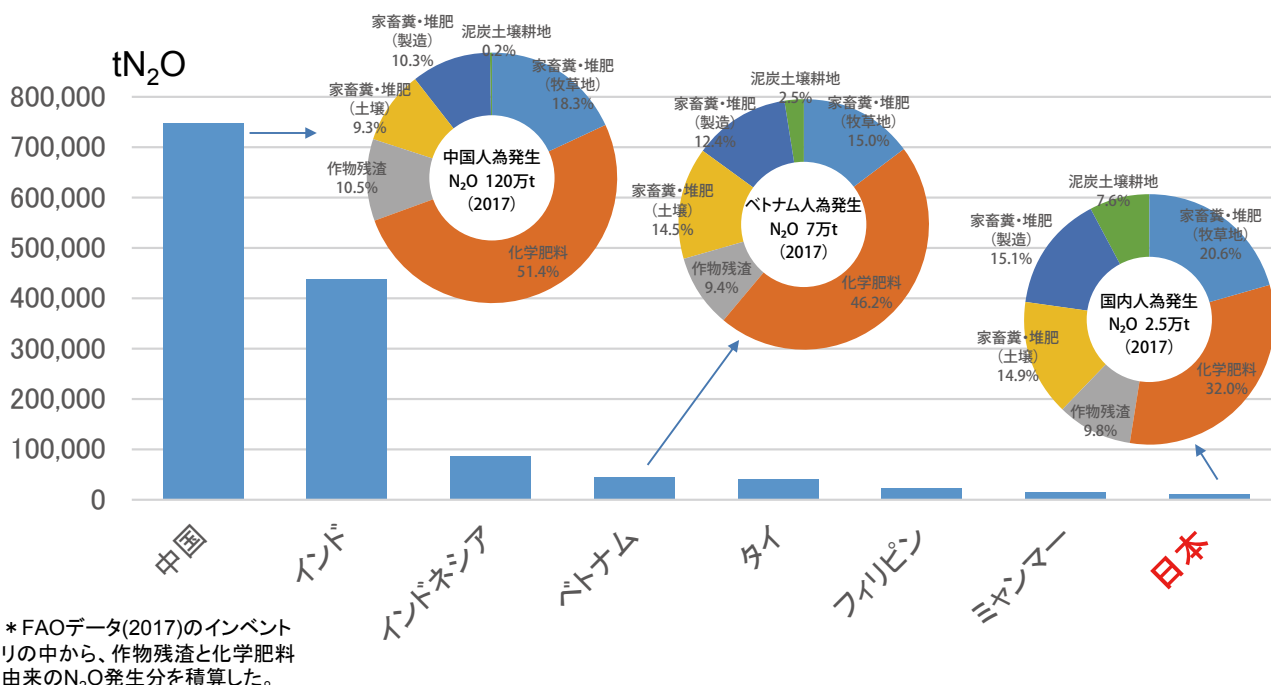


図8 農耕地由来の N₂O 発生量 (アジア諸国の比較と国ごとの N₂O 発生内訳)

出典：FAO データ (2017) に基づき NEDO 技術戦略研究センター作成 (2021)

※20 MarketsandMarkets 社ウェブサイト, 2020.

<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/controlled-release-fertilizers-market-136099624.html>

温室効果ガス N₂O の抑制分野の技術戦略策定に向けて

河川・湖沼分野における市場を予想することは難しいが、市場形成の可能性のある分野としては環境ビジネス分野が考えられる。土壌や水質浄化に係わる環境ビジネスは国内0.5兆円、海外4.3兆円（2030年）と推定される^{※21}。日本の市場は飽和しているといわれているが、環境問題がクローズアップされると、関連する市場が誘起されてくる可能性がある。

図9はN₂Oに関係する環境負荷要因の例として、指定湖沼における硝酸イオンなど全窒素濃度の年次推移を

示したものである。

図9には種々の環境基準を同時に記載したが、日常生活で不快感を生じない限度と言われている1.0 mg/Lの基準を超えている湖沼が日本にはまだまだ多く存在し、さらに、ここ10年来改善があまり進んでいないことがわかる。湖沼の窒素濃度が高いと図6に示した反応経路でN₂Oが発生する可能性が高まると考えられる。このように河川・湖沼におけるN₂O抑制は、現に起こっている窒素関連の環境問題のひとつと捉えることができる。

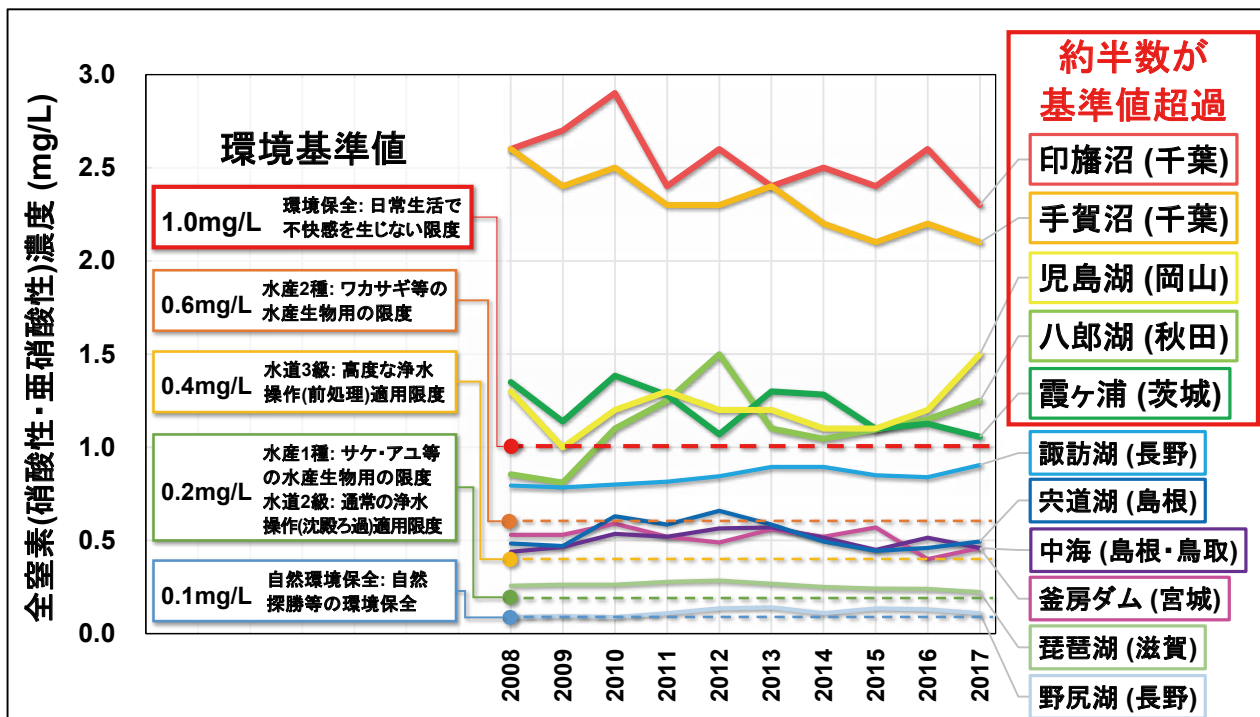


図9 日本指定湖沼における全窒素濃度の年次推移

出典：環境省 平成29年度公共用水域水質測定結果に基づき NEDO 技術戦略研究センター作成 (2019)

※21 令和元年度 環境産業の市場規模・雇用規模等に関する報告書 (環境省、2019) に基づき NEDO 技術戦略研究センター試算 (2019)

温室効果ガス N₂O の抑制分野の技術戦略策定に向けて

(3) N₂O 抑制に関連する技術動向

【特許】2009～2018年に出願された特許の調査では、N₂O 抑制技術は200～250件レベルのコンスタントな出願件数で推移していることが判明している（図10 (a)）。出願人国籍では中国が36%を占める中、日本は第3位（15%）であった（図10 (b)）。

N₂O 抑制技術の主な用途としては、排ガス処理、排水/汚泥/廃棄物/バイオマス処理、農業分野がある（図10 (c)）。

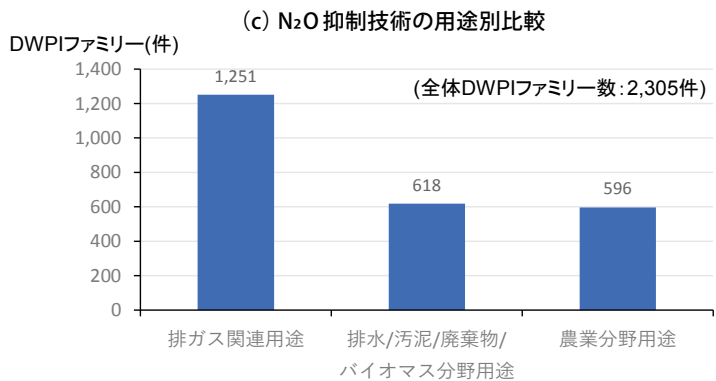
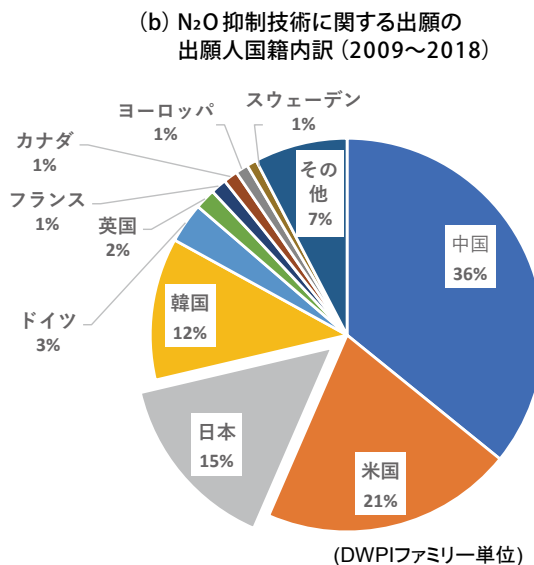
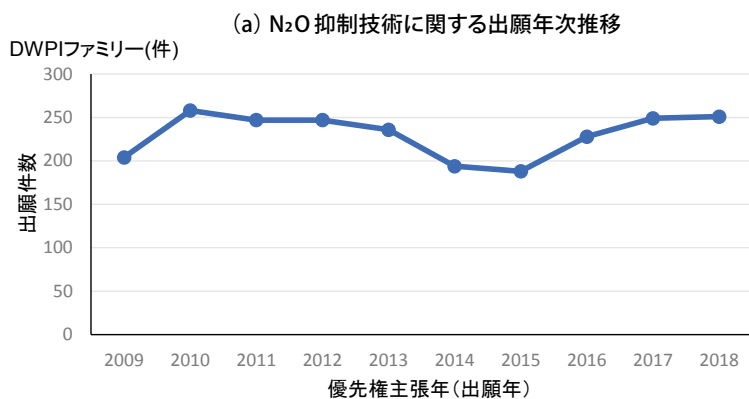


図10 N₂O 抑制技術（農業以外も含む）の特許出願調査結果

温室効果ガス N₂O の抑制分野の技術戦略策定に向けて

農業分野の N₂O 抑制技術の出願について見てみると、農業関連の N₂O 抑制技術は若干の増加が見られ（図 11 (a)）、用途別に細分すると、肥料、土壌改良、農薬、栽培 / 飼育、培養 / 発酵に分けられる。さらにそれぞれの用途分野において国別に比較すると、中国国籍の出願がどの分野も多いが、なかでも肥料および土壌改良の出願が特に多いという特徴がある（図 11 (b)）。

農業分野の N₂O 抑制技術に関する出願人の上位ランキングを表 2 に示す。他の多くの特許出願に見られるように中国科学院が 1 位を占めるが、第 2 位に BASF がランクインしていることが注目される。

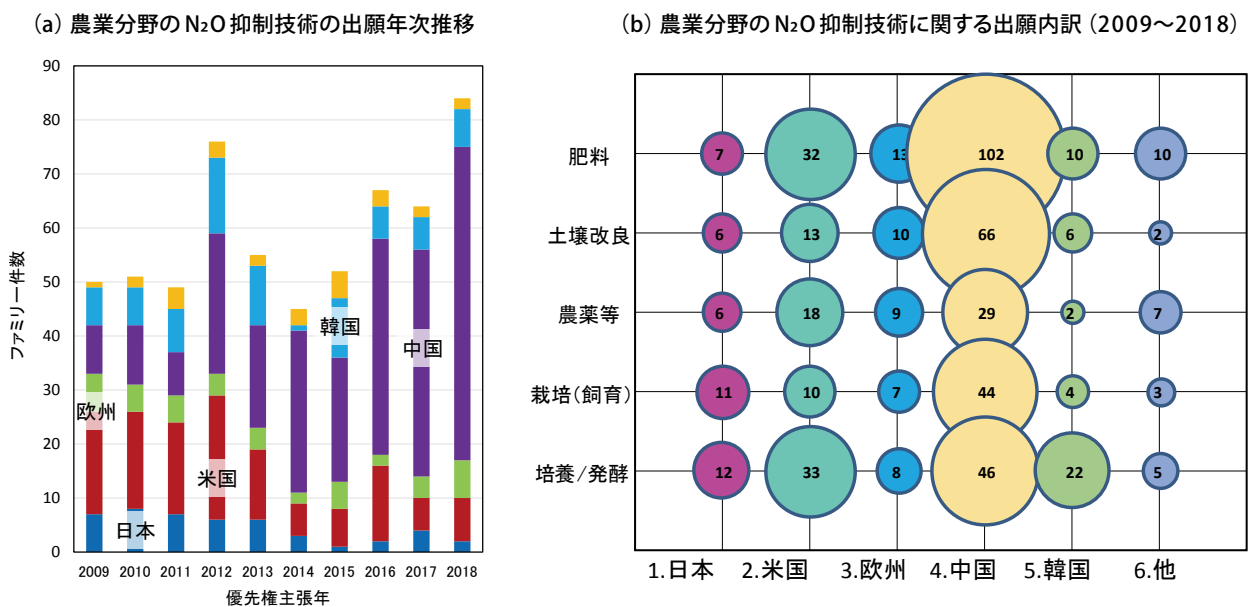


図 11 農業分野の N₂O 抑制技術の特許出願調査結果

表 2 農業分野の N₂O 抑制技術に関する出願人のランキング (2009 ~ 2018)

順位	出願人	出願*
1	Chinese Academy of Science (中)	25
2	BASF SE (欧)	18
3	Inst. Agro Food Sci. & Technology Chinese (中)	15
4	Univ. Nanjing Information Sci. & Technology (中)	12
5	Korea Institute of Science & Technology (韓)	9
6	Univ. China Agricultural (中)	8
7	Guangxi Nanning Rongweide New Energy Technology Co. Ltd. (中)	7
8	China Petroleum & Chemical Corp. Inc. (中)	5
9	Guangxi Zhuang Autonomous Region Inst. (中)	5
10	Univ. Myongji Ind. & Acad. Coop. Found. (韓)	5

* 出願件数の単位はファミリー数

温室効果ガス N₂O の抑制分野の技術戦略策定に向けて

一方、河川・湖沼分野における N₂O 抑制技術は廃液/汚泥/廃棄物/バイオマス処理と関係が深いと考えられる。廃液/汚泥/廃棄物/バイオマス処理でも中国国籍の出願が多いが、日本国籍の出願については2011年以降出願が漸減していることがわかる(図12)。

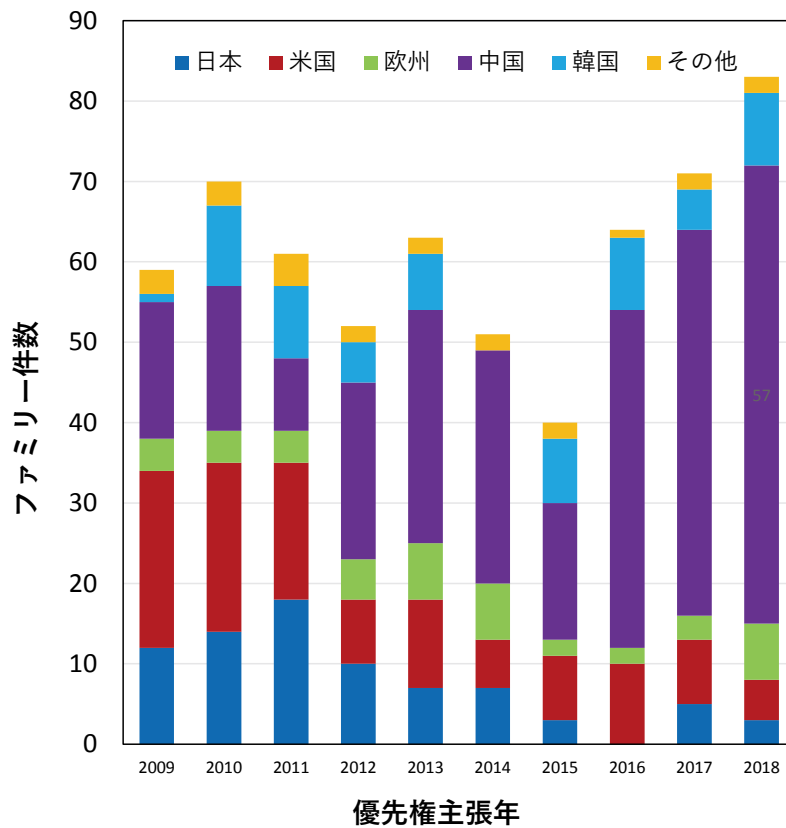


図12 N₂O抑制技術(廃液/汚泥/廃棄物/バイオマス処理関連)の国別特許出願年次推移(2009~2018)

温室効果ガス N₂O の抑制分野の技術戦略策定に向けて

【論文】N₂O抑制技術に係わる学術論文全体では、欧州、米国、中国に水をあけられているが、バイオテクノロジー・応用微生物学、材料関連、ナノテクノロジーの分野においては、ある程度の競争力を有していると言える。(図13)。

農業分野におけるN₂O抑制関係の学術論文は図14に示すとおり年々増加している。国別の内訳では、米国、中国に続き日本は9位である(特許のように欧州を一つとみると日本は6位)。カナダやオーストラリア、オランダなどの農業国が上位を占めている点に特徴がある。

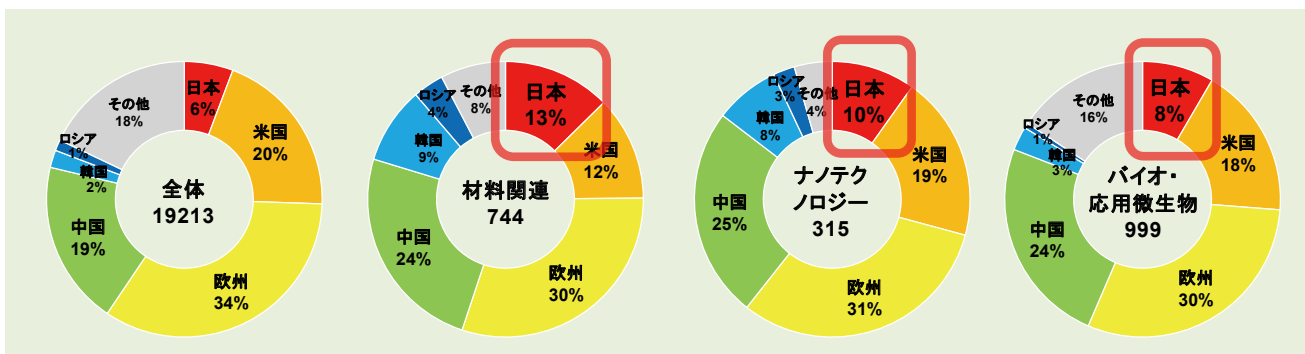


図13 N₂O抑制技術に係わる学術論文の国別比較 (2001～2019年出版)

出典：NEDO技術戦略センター作成 (2019)

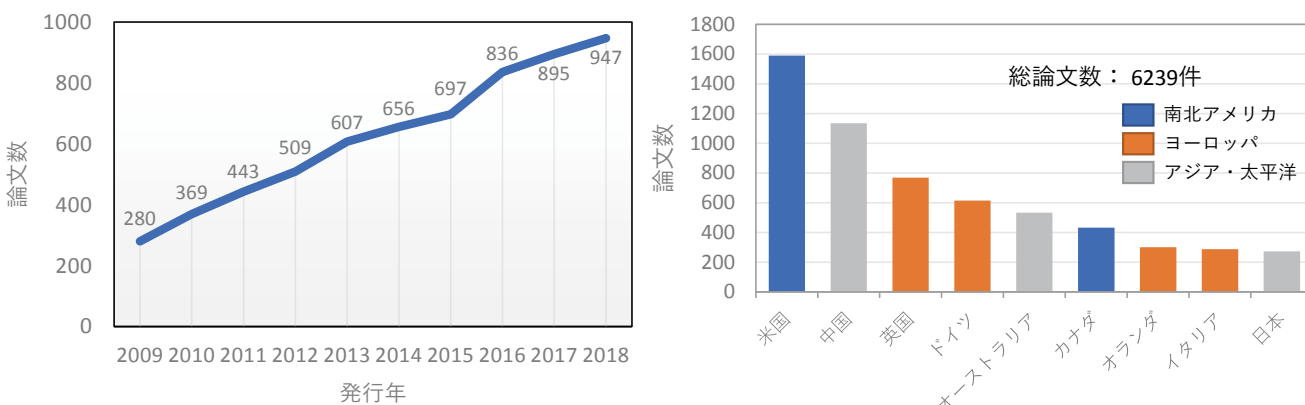


図14 農業分野におけるN₂O抑制技術の学術論文の年次推移と国別比較

温室効果ガス N₂O の抑制分野の技術戦略策定に向けて

(4) N₂O 抑制のベンチマーキングと分析まとめ

【国別比較】日本は論文シェアにおいて材料技術、バイオ技術等に強みを有する。

欧州は環境規制や国際ルール作りにおいて強みを有しており、N₂Oを含むGHG排出に関してEU域内、域外（食品の輸出入等）において種々の政策的アプローチをとってこることが予想される。

中国は国内に広大な農耕地を有し、N₂O抑制の最大の適用先になると考えられる。中国は農業を重要視しており、化学肥料は抑制するもののそれに代わる機能性肥料等の開発を独自に進めている。

米国は、中国に次ぐ数の特許を出願し、学術論文でも日本を大きく上回っており、技術的には日本より優位にあると考えられる。ただ、米国企業においてはJohnson Matthey、General Motorsなどが排ガス関連分野に多数の特許を出願しているのに対し、農業分野について

は、世界有数のバイオ系企業が存在していながら、農業分野の出願人上位にそれらがランクインしていないことは注目に値する。このことは、現在のところ当該分野に対する企業の注目度合いが必ずしも高くないことを示唆している。

【技術別比較】表3に農業分野以外も含めた既存あるいは現在検討中のN₂O抑制技術をまとめて示す。

工業生産で発生する窒素酸化物（NO_x等）抑制技術に比べると、N₂O抑制効果は概して小さく、特に農業関係の従来技術は食料生産と強くリンクしている関係で、抑制率が最大でも40%以下にとどまっているのが現状である。表3に挙げる抑制技術の中では、触媒などを用いる工業的なN₂O抑制法は80%以上の高い抑制率を達成しているが、触媒を用いた手法では動作に高温の条件が必要とされ、農耕地を含む環境で直接適用するには低温動作を目指した技術開発が必要である。

表3 既存のN₂O抑制技術とその効果

N ₂ O発生源		抑制技術	推定抑制率
汚水処理	廃水処理	排出ガスのN ₂ /N ₂ O比を大きくするプロセス最適化	40%
	活性汚泥燃焼技術	プロセス改良（アフターバーナーまたはエアステージング）	80%
農業用土壌 （土壌に施用された肥料）		緩効（徐放）性技術（被覆肥料等）	19%～24%
		土壌微生物活性を抑制する阻害剤（硝化抑制剤等）	34%～38%
		「精密農業」による農業窒素効率の最適化	36%～40%
耕作された泥炭土壌		農業利用の放棄	92%
畜産業	放牧牛	土壌微生物活性を抑制する阻害剤	24%
	畜糞肥料の取り扱い	固体肥料システムから液体肥料システムへの移行	50%
工業	アジピン酸およびグリオキサールの生産	触媒還元または熱還元	95%
		Twin reduction device technology	99%
	硝酸およびカプロラクタムの生産	触媒還元または熱還元	80%
		利用可能な最高のテクノロジー	94%

出典：Technical opportunities to reduce global anthropogenic emissions of nitrous oxide (Environ. Res. Lett. 13 (2018) 014011) を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2019)

温室効果ガス N₂O の抑制分野の技術戦略策定に向けて

本レポートで提案した四つの N₂O 抑制方法について、「環境負荷」「規制との関係」「国内外の動向」という観点でベンチマーキングを行った結果を表4にまとめる。

「環境負荷」については、硝化抑制剤（方法②）の作物への残留は考慮すべき課題である。緩効性肥料の材料（方法①）や吸着剤、触媒等（方法④）の中に生分解性に乏しい材料があると、土壌に使用した場合に残留が懸念される^{※22}。また、微生物系の資材（方法①および③）は、在来生物との競合が予想される。

「規制との関係」では、肥料（方法①）や硝化抑制剤（方法②）は日本では肥料取締法の規制を受けており、もし仮に遺伝子組換え微生物を活用する場合（方法①および③）にはいわゆるカルタヘナ法^{※23}の適用を受ける。現状遺伝子組換え微生物の環境での生育は認められて

おらず、研究開発の如何によっては ELSI（倫理的・法的・社会的課題：Ethical, Legal and Social Issues）面での議論や社会受容に向けた施策が必要である。農業資材（方法④）の一部は土地改良材として日本では地力増進法の適用を受ける場合がある。

「国内外の動向」では、方法①②は欧米や中国が既に注目しているが N₂O の抑制に注目した検討はあまりなされていない。方法③は、大豆に共生する根粒菌やアナモックス菌を中心に国内外で研究されており、農耕地において N₂O 抑制に効果がみられる研究例がある。方法④は、工業由来（排水・排ガス）の N₂O 抑制で効果をあげており国内外で研究が進められているものの、農耕地や河川・湖沼環境において機能を発揮するにはさらなるブレークスルーが必要である。

表4 N₂O 抑制方法のベンチマーキング

抑制方法	具体的手段	環境負荷	規制との関係	国内外の動向（(日):日本）
①窒素肥料の抑制	緩効性(徐放性)肥料	成分の一部が土壌残留	肥料取締法	中国が重視 欧州の追い上げ
	(窒素固定)微生物資材	在来生物との競合	カルタヘナ法*	国内外にベンチャー存在 欧米大企業が注目
②バイオ作用の抑制	硝化抑制剤	作物への吸収	肥料取締法	現状は海外剤優位 (日)ドラッグデザイン技術適用
③バイオ作用の促進	微生物資材	在来生物との競合	カルタヘナ法*	根粒菌やアナモックス菌を中心に 国内外で研究
④発生したN ₂ Oの吸収・転化	(吸着剤、触媒)土壌改良剤	成分の一部が土壌残留	(地力増進法)	(日)排水・排ガス関係の吸着剤 や触媒からの展開の可能性

* 遺伝子組換え生物等のみが対象となる

※22 農業資材の環境負荷の例として、農耕地に残留する農業用フィルムが耕作の妨げとなり、日本では回収が義務づけられている。

※23 カルタヘナ法：日本では「遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律」および関連する政令が該当する。

温室効果ガスN₂Oの抑制分野の技術戦略策定に向けて

【分析のまとめ】今までの分析結果を総合しN₂O抑制に必要と考えられる1-2で提示した、要件(ア)～(エ)の観点からN₂O抑制方法をまとめた結果を表5に示す。

要件(ア)(イ)を実現するためには、N₂Oがバイオ作用により発生することを考慮すると、方法③バイオ作用促進を活用するのが技術的には最も可能性があると考えられる。ただ、農耕地における要件(ウ)を同時に実現するには、方法③だけでなく方法①あるいは方法②を作物に

応じて併用することが、本技術をグローバルに展開する上で必要と考えられる。

一方、河川・湖沼分野においては、要件(エ)を実現する上ではN₂O抑制の効果を少なくともシーズン単位で長期持続させる必要がある。方法③における効果を持続させる技術開発に加えて、環境技術との関連が深い方法④の可能性も追求することが技術の実現性を高める上で有効と考えられる。

表5 N₂O抑制方法の分析まとめ

解決方法	要件(ア)	要件(イ)	要件(ウ)	要件(エ)
①窒素肥料の抑制			○ 農業への適用例有	×
②バイオ作用の抑制			○ 農業への適用例有	
③バイオ作用の促進	○ 抑制効果が期待できる	○ 抑制効果が期待できる		○ 抑制効果が期待できる
④発生したN ₂ Oの吸収・転化				○ 安定性期待できる

N₂O抑制技術に必要とされる要件(再掲)

- (ア)ごくわずかな濃度のN₂Oの発生源が面的に広く分布している状況を効果的に抑制できること
- (イ)発生したN₂Oを濃縮や移送することなく現場で処理できること
- (ウ)農耕地への適用については、グローバル展開も見据えて、従来の農業生産活動の範囲で導入できること
- (エ)河川・湖沼への適用については、河川や湖沼の整備計画の一環として実施できること

注)表中の○は今後の技術開発で特に期待が持てることを示す。×は明らかに適用が困難であることを示す。

2章 解決・実現手段の候補

2-1 解決・実現のための課題

農業分野では N_2O 抑制の効果を高めると同時に、海外展開を想定した多様な種類の作物や生育環境にも適応できる、持続可能な食物生産技術の開発が課題である。従来の栽培スタイル（施肥や薬剤の噴霧等）と大きく異なる手段を用い、かつ従来を大きく超えない栽培コストで実現できる技術とすることで、農家が実際に使用する上での様々な障壁を可能な限り下げることが重要である。また、河川・湖沼においては、 N_2O 抑制のコストを誰が支払うかという基本的な問題がある。そのためにも、 N_2O 抑制効果を高めることはもとより、効果の持続性や N_2O 抑制にかかるエネルギーやコストを最小化することが、当該技術の社会実装には必要と考えられる。

2-2 分析から得られた具体的実現手段の候補

農耕地においては、 N_2O の発生源である土壌微生物を新たに開発された微生物で置換する、あるいは土着微生物と共生して N_2O を N_2 に転化する反応（「 $N_2O \rightarrow N_2$ 転化」と称する）を新たに開発された微生物で補う、といった抑制手段を想定している。一旦発生して拡散した N_2O の処理を前提とした手段より N_2O の捕捉が容易と考えられ、 N_2O 抑制技術の実現可能性が高まると考えられる。

一方で農耕地は作物を生育させるため、多量の窒素源を供給することが必要となり、窒素源が多量にある中で N_2O への転化を完全に抑制しなければならないという非農耕地とは異なる困難さがある。さらに、農家は省力化を指向し施肥の回数をできるだけ少なくすることを要望するため結果として農耕地に窒素源が大量に存在する時期がある。そのため方法③を N_2O 抑制の主体とはするものの、方法①や方法②を併用して、窒素肥料の投入量を削減する、あるいは投入した窒素肥料が作物に吸収される前に農耕地から流出するのを避ける必要があると考えられる。

河川・湖沼においては、農耕地から流出した硝酸イオン等が N_2O 発生の原因となっていること、河川・湖沼にも農耕地と類似の機能を持つ微生物が存在することを考慮すると、 $N_2O \rightarrow N_2$ 転化を促進する手段は実現可能性があると考えられる。ただし、河川・湖沼では抑制に係わるコストが環境保全費用に追加されることになるので、より効果の持続性やコストに配慮した手段が必要になると考えられる。

温室効果ガス N₂O の抑制分野の技術戦略策定に向けて

(1) 【農業分野】有望な微生物の活用

(方法①および方法③の併用)

大豆の系でよく知られているように、根粒菌との共生で窒素肥料を大幅に削減することができる。東北大学では根粒に着目し、N₂O → N₂ 転化能力の高い根粒菌を発見した^{※24}。これらの微生物は根粒の中において植物と共生しながら生育する。このような微生物を植物の根の周りに安定的に定着させることにより、窒素肥料の抑制（方法①）とバイオ作用の促進（方法③）を同時に実現することを目指している（図15）。現在は大豆などマメ科の植物のみが根粒菌と共生できるが、このような微生物を他の作物の根の周りで定着させることができれば、農耕地の中でバイオ作用に伴い発生する N₂O を現場で速やかに N₂

に転化することが可能となると考えられる。

微生物の持つ N₂O → N₂ 転化作用をまずマメ科作物に広く展開し、次に、自立生息微生物等をベースに N₂O → N₂ 転化作用をマメ科以外の作物にも展開できる技術を開発するというシナリオが考えられる。その際の課題は、土壤に外来微生物を接種（inoculation）した場合の影響を予測することが難しく、結果としてほとんどの外来微生物が土着微生物に駆逐される現状を打開することである^{※25}。土壤や土壤微生物の機能に対する詳細な研究とともに、外来微生物の定着を助けたり、環境中の生物等の捕食から外来微生物を保護したりする担体の開発が重要と考えられる。

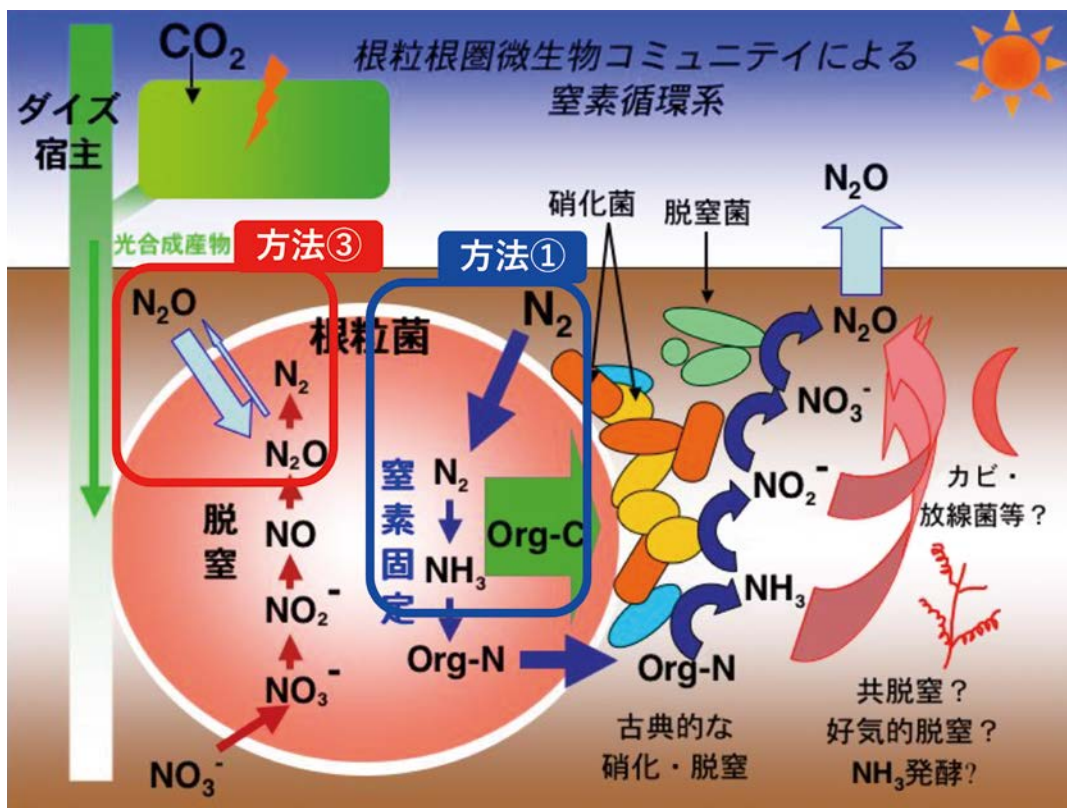


図15 根粒菌を用いて肥料抑制とN₂O抑制を同時に行う技術例

出典：東北大学ウェブサイト^{※26} (2019) にNEDO技術戦略研究センター加筆

※24 Itakura, M. et al. Mitigation of nitrous oxide emissions from soils by Bradyrhizobium japonicum inoculation. Nature Climate Change. vol. 3, issue 3, 2013, p. 208-212.

※25 外来微生物の環境での定着についての総説：Trabelsi, D. and Mhamdi, R. Hindawi. Microbial Inoculants and Their Impact on Soil Microbial Communities: A Review. BioMed Research International. Vol.2013, Article ID 863240. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/863240>

※26 <https://www.ige.tohoku.ac.jp/chiken/research/researchs/4-1.htm>

温室効果ガス N₂O の抑制分野の技術戦略策定に向けて

(2) 【農業分野】次世代硝化抑制剤の開発

(方法②の適用)

方法②の一手段として、硝化抑制剤の使用が考えられる。現状の硝化抑制剤を使用する場合、研究レベルでも概ね50%程度のN₂O抑制効果にとどまっている(図16右図)。従来の硝化抑制剤はアンモニアモノオキシゲナーゼ(AMO)と呼ばれる酵素を阻害する剤が一般的であったが、AMOは結晶構造解析が成功しておらず、先進的な薬剤開発手法を用いることができないという問題があった。

硝化抑制剤によるN₂O抑制効果を工業分野並みに、すなわち80%以上に高めるとともに、広範な微生物に抑制作用が及ぶ薬剤を開発できれば、農耕地におけるN₂Oの抑制と収穫量の維持向上の両立が現実味を帯びると考えられる。

一つの可能性として、農業・食品産業技術総合研究機構(農研機構)では図16左図のようにヒドロキシルアミデヒドロゲナーゼ(HAO)に着目し、酵素の立体構造解析に成功した^{※27}。さらに、メタゲノム解析により培養や単離が困難な多くの種類の微生物についてHAO類似タンパク質の遺伝子を突き止め、解析されたHAO立体構造を基に一連のHAO類似タンパク質の構造を推定した。これらのタンパク質(酵素)をターゲットとして、ドラッグデザイン的手法を適用した次世代硝化抑制剤の候補を提案した^{※28}。

このような基礎研究で得られた成果を実際の農耕地において確認し、さらに海外を含む多様な作物へ展開し、次世代の硝化抑制剤を世界に先駆けて実用化する取組が重要と考えられる。

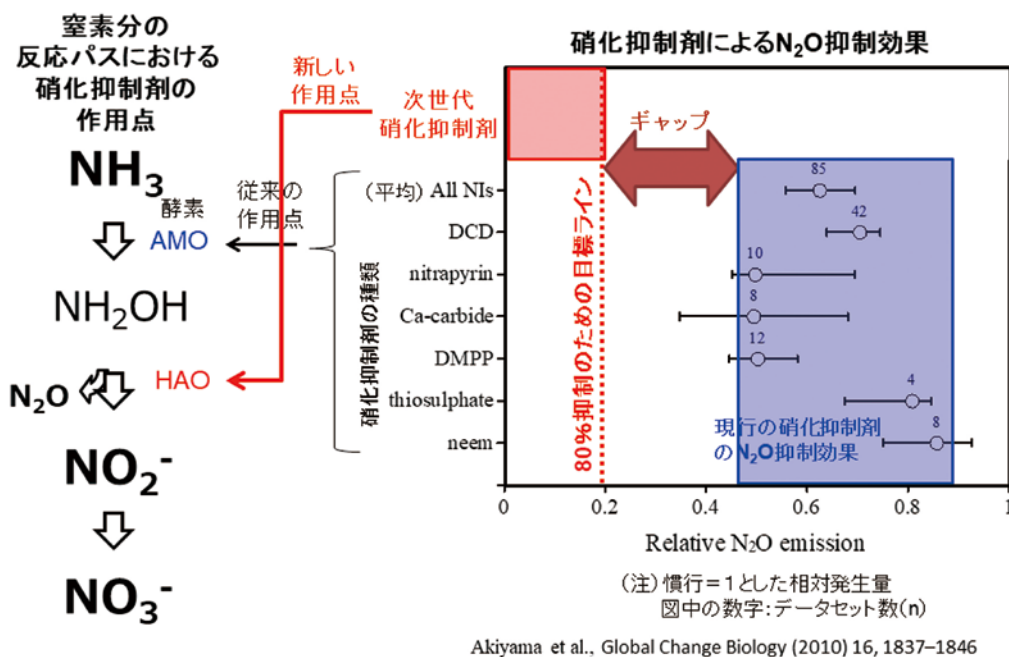


図16 硝化抑制剤の現状と次世代硝化抑制剤の性能目標

出典: 農研機構の情報を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2021)

※27 イノベーション創出強化研究推進事業: 窒素肥料の利用効率向上と環境負荷低減化に向けた新世代サステナブル硝化抑制剤の開発. 生物系特定産業技術研究支援センター. <http://www.naro.affrc.go.jp/laboratory/brain/innovation/results/2018/28004A.html>

※28 酵素などのターゲットの分子構造をコンピュータ上で構成し、計算科学を適用して候補分子との結合構造を予測しながら最適な分子構造を探索する計算科学的手法。

温室効果ガス N₂O の抑制分野の技術戦略策定に向けて

(3) 【河川・湖沼分野】河川・湖沼の浄化設備への機能追加 (方法③あるいは方法④の適用)

日本の河川においては、過去の公害問題の経験から、環境に負荷を与える各種化学物質のモニタリングおよび各河川の水質保全計画が河川整備計画の一環として定められている。N₂O 抑制にかかるエネルギーやコストを最小化する意味では、河川や湖沼の水を引き込んで浄化する既存の施設があれば、そこに機能追加されるようなシステムを考えるのが望ましい。例えば図 17 に示すように湖水を浄化施設に引き込んで浄化する中で方法③や方法④を用いて N₂O の抑制を同時に行う。N₂O だけでなく、硝酸イオンや亜硝酸イオンから N₂O を経由せずにアンモ

ニウムイオンに転化する(異化的硝酸還元:方法③)、あるいは N₂O を吸着剤で捕捉する(方法④)など、ここでも複数手段の併用が考えられる。触媒を用いる場合のエネルギーについては環境から得ることが最も好ましく、必要に応じて太陽エネルギーを用いること等を検討することが可能性として考えられる。N₂O 抑制作用を担う微生物、酵素、触媒、吸着剤等の開発に加え、これらを河川・湖沼の環境中で安定的に存在させ、環境中に存在する数々の阻害因子(微生物を捕食する環境中の生物や触媒を失活させるような物質等)から保護する担体の開発が重要と考えられる。

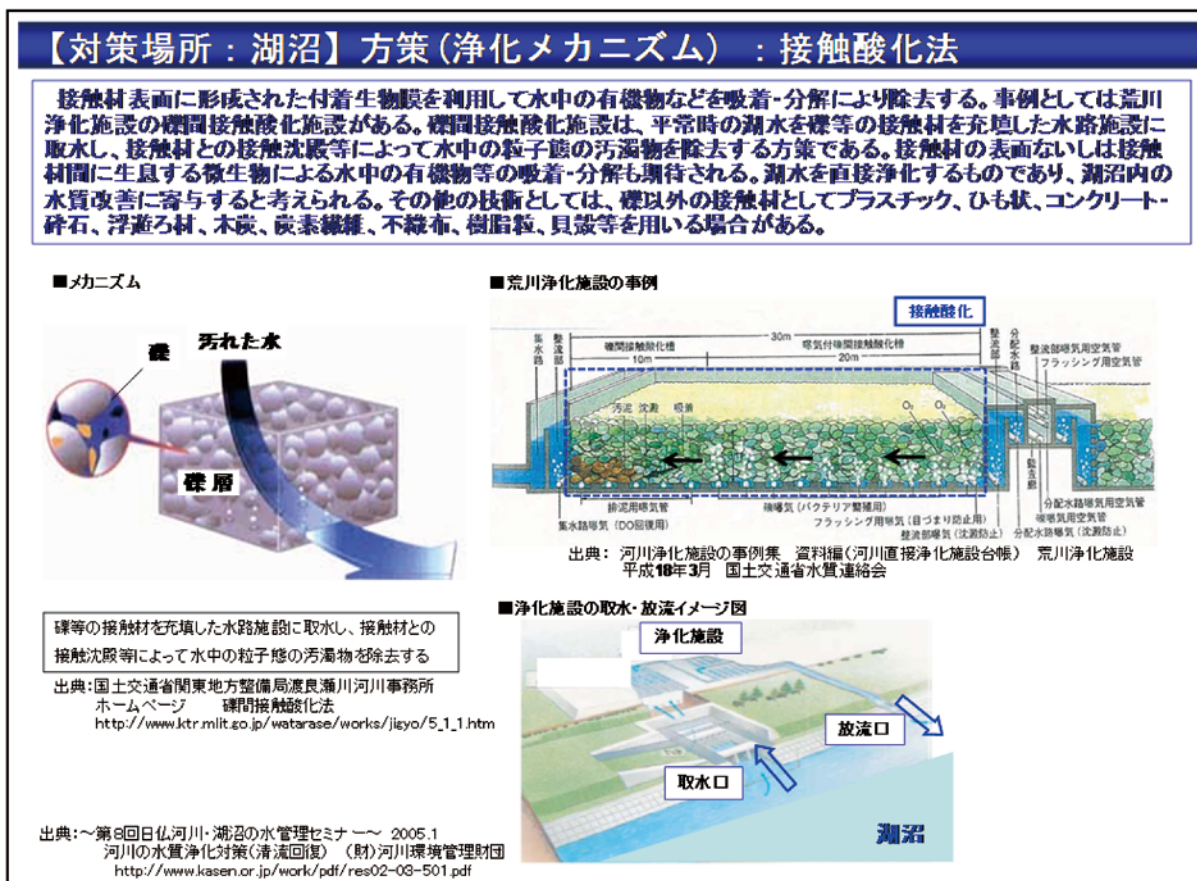


図 17 湖沼における水質浄化施設の例

出典：国土交通省関東地方整備局資料 (2014)

温室効果ガス N₂O の抑制分野の技術戦略策定に向けて

2-3 技術開発の方向性

農耕地において N₂O 抑制に係わる要素技術を確立するためには、N₂O → N₂ 促進作用の高い微生物を発見あるいは人為的に開発し、人の手で培養できる技術を確立することや、高温において高い N₂O → N₂ 転化性能を示す触媒あるいは N₂O 吸着性能を示す吸着剤等を、環境中で性能発揮できるよう改良することが求められる。それに加え、これら N₂O 抑制を担う微生物や触媒、吸着剤等を N₂O 抑制の現場、すなわち種々の農耕地や河川・湖沼環境に定着させる担体の開発が求められる。微生物に関連する基礎的技術の開発だけでなく、微生物あるいは環境と担体の相互作用を総合的に取り扱う新たな

基盤技術の開発が求められる。非常にチャレンジングな課題であるため、技術の確立には幅広い学際領域の共創を要すると考えられ、産学官の英知を結集する必要がある。

2019年にムーンショット事業において、N₂Oについても CO₂と同様に新たな資源循環を形成することによりGHGの削減を目指す基礎的技術の開発テーマが取り上げられており、本レポートで重要視する技術開発課題の一部が検討されている。図18に示すように、ムーンショット事業では現状実験室レベルで検討されている技術を10年かけてパイロット実証レベルにまで持って行くことが目標とされる。前述の観点から、今後の研究開発活動および開発成果が期待されている。

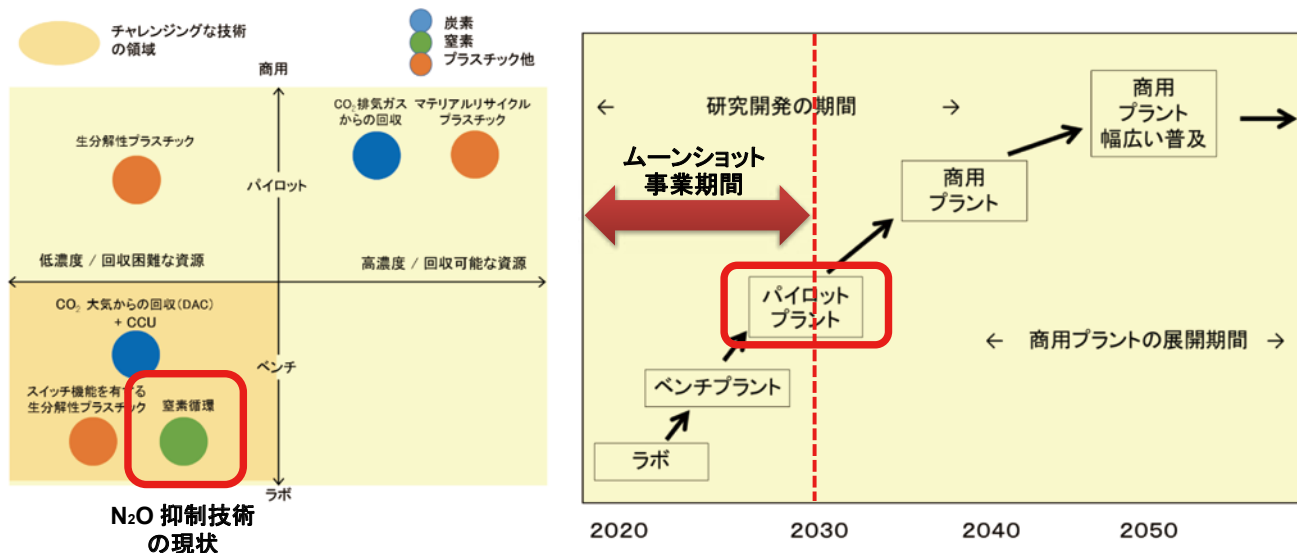


図18 ムーンショット事業(目標4) テーマの位置づけとスケジュール

出典：【ムーンショット目標4】「2050年までに、地球環境再生に向けた持続可能な資源循環を実現」
 研究開発構想(経済産業省、2020)にNEDO技術戦略研究センター加筆(2021)

温室効果ガス N₂O の抑制分野の技術戦略策定に向けて

ムーンショット事業にて採択されている東北大-農研機構他の研究計画の概要を図19に示す*29。東北大-農研機構他の研究開発概要によれば、これまでに取り組んできた根粒菌などの N₂O 無害化微生物とイネ根圏の CH₄ 無害化微生物に関する研究を発展させ、当該事業ではこれらの微生物の温室効果ガス削減能力を圃場レベルで最大化することを目指している。しかし、最大のボトルネックは、外部から接種した微生物は、複雑な団粒構造を持った土壤生態系の頑健性により排除されることである。そこで、最新の研究手法と若手研究者の異分野融合によって、土壤微生物の完全解明と植物・微生物系土壤の人工デザインの挑戦的な基盤研究を企画し、目標の実現を目指す、としている。ムーンショット事業は非常に挑戦的な目標を設定し、事業期間が長い点が特徴で

ある。

N₂O 抑制技術を社会実装するためには、同事業の成果を最大限活用することはもちろんであるが、環境中で N₂O → N₂ 転化性能を示す触媒あるいは N₂O 吸着性能を示す吸着剤等、また N₂O 抑制の現場の環境に微生物等を定着させる担体などについても有望な技術シーズを発掘し、2050年を目標として N₂O 抑制技術の社会実装を着実に進めていくことが求められる。

また河川・湖沼においては、農耕地向けに開発された微生物の利用の可能性や、より長期の N₂O 抑制効果を目指し、環境で作用する触媒や吸着剤等を検討する方向性が考えられる。有効な微生物もしくは物質が見つければ、それを従来の河川・湖沼の浄化施設等に設置する検討が考えられる。

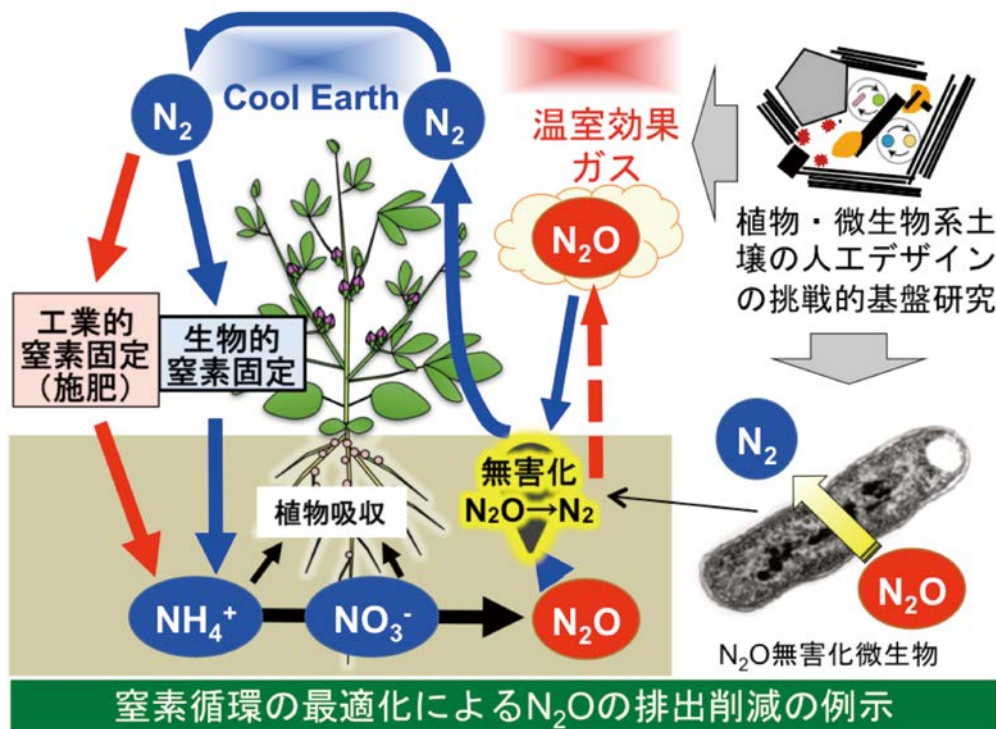


図19 ムーンショット事業(目標4)に採択された N₂O 抑制テーマ

出典:「資源循環の最適化による農地由来の温室効果ガスの排出削減」(PM: 南澤教授) 研究開発概要 (2020)

*29 資源循環の最適化による農地由来の温室効果ガスの排出削減, 研究開発概要.
<https://www.nedo.go.jp/content/100923465.pdf>

3章 おわりに

本レポートでは、材料技術、バイオ作用を司る微生物、さらには排ガス処理や水処理技術・資材等の産業技術も活用し、農業分野ではアジア太平洋地域ひいてはグローバルに適用可能な N₂O 抑制と食料生産の両立技術を目指す方向性を、河川・湖沼分野では微生物の活用に加え、吸着剤や触媒等を開発して環境浄化施設に実装する方向性を示した。

技術戦略研究センターでは2021年3月に公表した「NEDO 総合指針 増補版」^{※30}において農耕地の N₂O 抑制による CO₂ 削減ポテンシャルを試算した。世界の農耕地発生 N₂O を 80% 削減できる技術を想定すると、CO₂ 換算で 8.8 億トン/年が削減されると試算された。このことから、N₂O 抑制技術が世界の農耕地に普及すれば大きな温室効果ガスの削減が実現すると期待される。

本レポートにおいて提案した、農業分野や河川・湖沼分野での N₂O 抑制技術の実用化は、いずれも難易度が高く、実現には困難が予想される。また、地球規模の N₂O 抑制を実現するためには、日本国内の社会実装だけでは不十分であり、国際協力に基づく技術展開が必要不可欠である。非常にチャレンジングな課題ではあるが、日本がイニシアチブをとることができれば日本の貢献を世界に示す好機となる可能性は高く、今後の技術開発の進展が期待される。

※30 技術戦略研究センターレポート TSC Foresight, 持続可能な社会の実現に向けた技術開発総合指針 2020, 増補版. NEDO, 2021.
https://www.nedo.go.jp/library/tsc_future.html

技術戦略研究センターレポート

TSC Foresight Vol.105

温室効果ガス N₂O の抑制分野の技術戦略策定に向けて

2021年6月30日発行

TSC Foresight Vol.105 温室効果ガス N₂O の抑制分野 作成メンバー

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
技術戦略研究センター（TSC）

■ センター長 岸本 喜久雄

■ センター次長 西村 秀隆

■ ナノテクノロジー・材料ユニット

・ユニット長 藤本 辰雄

・研究員 岡田 明彦

森 孝博

・フェロー 川合 知二

大阪大学産業科学研究所 招へい教授、
東京都市大学特別教授

北岡 康夫

大阪大学共創機構副本部長／教授

井上 貴仁

国立研究開発法人産業総合研究所
材料・化学領域研究戦略部イノベーションコーディネータ

三島 良直

国立研究開発法人日本医療研究開発機構理事長

● 本書に関する問い合わせ先
電話 044-520-5150（技術戦略研究センター）

● 本書は以下 URL よりダウンロードできます。
<https://www.nedo.go.jp/library/foresight.html>

本資料は技術戦略研究センターの解釈によるものです。
掲載されているコンテンツの無断複製、転送、改変、修正、追加などの行為を禁止します。
引用を行う際は、必ず出典を明記願います。