

# 浄化槽分野における温暖化対策

## 一消費エネルギー削減と温室効果ガス発生抑制の両立一

水環境担当 木持 謙

### 1 はじめに

私たちが生きていく上で、汚水と廃棄物の発生は避けられません。台所、風呂、洗濯などから出る生活排水を浄化し、公共用水域への汚濁負荷を削減するために、浄化槽や下水道等が重要な役割を担っています。一方、生活排水対策は、水環境保全の目的だけでなく、温暖化防止の対応といった面も考慮する必要があります。温暖化対策を図る上では、人為起源の温室効果ガス(Greenhouse Gases: GHGs)の排出抑制や省エネルギー等による低炭素社会の構築が必要不可欠です。污水处理の過程で発生するGHGsにはCO<sub>2</sub>(二酸化炭素)、CH<sub>4</sub>(メタン)、N<sub>2</sub>O(亜酸化窒素)があります。いずれも1997年に我が国で開催された地球温暖化防止京都会議(COP3)で排出削減対象に定められました。本研究は、これからますます重要となってくるであろう小規模分散型生活排水処理システムとしての浄化槽について、節電によりCO<sub>2</sub>発生を抑制した条件で、水質浄化能力への影響及びCH<sub>4</sub>やN<sub>2</sub>Oの発生量変化を測定し、総合的に温暖化対策への効果を評価しました。

### 2 生活排水処理における温暖化対策の必要性

#### 2.1 生活排水処理に伴い発生する温室効果ガスとその特徴

生物学的排水処理は、排水中の有機汚濁物質を微生物の力で、無機の炭素化合物や窒素化合物に分解しますが、酸素供給を伴う好気条件での酸化反応と、酸素供給を行わない嫌気条件での還元反応の工程があり、これらを目的に応じて組み合わせて行います。通常、好気条件では、空気をポンプで送り込み(ばっ気)酸素を供給します。このため、污水处理には多くの電力を使用し、下水道は我が国の年間消費電力量の約0.7%を占める大口需要家といわれ、また、浄化槽による処理でもエアポンプ他に電力が必要です。従って、CO<sub>2</sub>排出を削減するため、電力消費の抑制が正に求められています。しかし、電力消費を抑制することで、污水处理効率が悪化したり他の悪影響を伴っていたりでは困ります。節電条件では、酸素供給量が減少することによる影響を考える必要があります。

有機汚濁物質の炭素成分は好気条件ではCO<sub>2</sub>に分解されますが、嫌気条件ではCH<sub>4</sub>を生成します。有機汚濁物質中の窒素成分は好気条件では硝酸イオン(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)に分解されますが、酸素が不十分であるとN<sub>2</sub>Oや生物に有害なアンモニアを生成します。水質浄化の観点からは、窒素化合物は好気工程でいったん酸化させ、次いで嫌気工程で還元させて、最終的にN<sub>2</sub>ガスとして大気中に揮散除去するのが理想です(図1)。前者はアンモニア態窒素(NH<sub>4</sub>-N)を硝酸態窒素(NO<sub>3</sub>-N)に変えるので硝化、後者は窒素ガスとして系外に放出する反応で脱窒といいます。硝化では酸素不足の場合うまく酸化できずに、

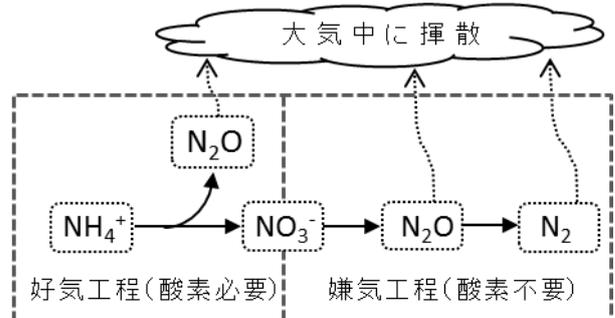


図1 窒素除去工程におけるN<sub>2</sub>O発生・放出

逆に脱窒では酸素が存在すると還元が阻害されてN<sub>2</sub>O発生量が増えてしまいます。

これらCH<sub>4</sub>とN<sub>2</sub>Oの単位質量あたりの温室効果を引き起こす力（地球温暖化係数、Global Warming Potential: GWP）をCO<sub>2</sub>の値と比較すると、CH<sub>4</sub>は21倍、N<sub>2</sub>Oに至っては310倍にもなりますから、節電の条件下でも、CH<sub>4</sub>やN<sub>2</sub>Oの発生を抑制することは、温暖化対策上、非常に大きな意味があります<sup>1)</sup>。したがって、生成したN<sub>2</sub>Oを嫌気工程でN<sub>2</sub>に還元し、その際に発生したCH<sub>4</sub>を好気工程でCO<sub>2</sub>に酸化することがポイントになります。

こうした特性を考慮しつつ、下水道分野では、運転操作条件の最適化等による汚濁物質除去反応の効率化やN<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub>発生抑制が研究されています。実際、従来の標準活性汚泥法と呼ばれる好気工程のみの処理技術に比較し、嫌気工程の組み込みと適正制御により、硝化→脱窒の反応がスムーズに進み、窒素除去率が大幅に向上することに加え、N<sub>2</sub>O発生量の大幅な削減が可能です<sup>2)</sup>。

## 2. 2 排水処理から環境中へのCH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>Oの排出量の推計

排水処理で発生するCH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>Oの環境中への排出量はどのように見積もられているのでしょうか。排水処理は汚泥の発生を伴いますが、汚泥処理の過程からもCH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>Oが発生します。我が国では、排水の種類を生活排水と産業排水に大別し、かつ排水処理と汚泥処理の両工程からの排出を考慮し、排出量を算出しています<sup>3)</sup>。これによると2012年度では、「排水の処理と放出」という排出源区分からのCH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O排出量は、日本におけるGHGs総排出量の0.2%にあたります。さらに、我が国における浄化槽水洗化率（合併+単独）は、2013年度末時点で約21%（公共下水道は約72%）であり、一見すると浄化槽分野からのCH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O排出は大きな問題ではないようにも取れます。しかしながら、例えばN<sub>2</sub>O発生特性は水質浄化特性と密接な関係があり、好都合なことにN<sub>2</sub>Oを削減しつつ水質浄化性能の向上が可能であることから、両者を視野に入れることは大きな意義があります。

## 3 浄化槽の電力消費量削減実験

### 3. 1 実験の概要

下水道分野では、ばっ気風量や排水処理工程の適正化による消費電力削減や前述のGHGs発生抑制等の対策が進んでいますが、県内に約53万基（平成27年3月末現在）<sup>4)</sup>も設置されている浄化槽でも取組み強化が必至です。実際、浄化槽はエアポンプが24時間稼働することから、一般家庭の全電力消費量の1~2割に達する事例もあり、昨今の電力供給量の逼迫に起因する省エネルギー化の必要性はもとより、家計の面からも無視できません。そこで、本研究では通常24時間運転するエアポンプ（33W）を、タイマーによるオン/オフ（45分/15分）の間欠ばっ気運転で、電力消費量25%カット時の水質浄化性能に与える影響やCH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O発生特性を検討しました。

5人家族を想定した小型高度合併処理浄化槽（窒素も高効率で除去可能な浄化槽）の実験装置2基（実験装置AおよびB）を、屋外地上に設置して実験を行いました。実験装置は、夾雑物除去槽（約1m<sup>3</sup>）、嫌気槽（約

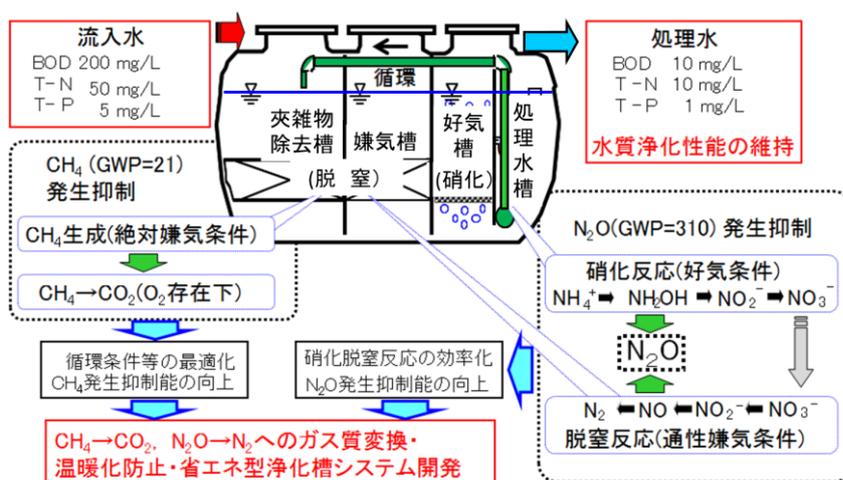


図2 浄化槽におけるGHGsの発生・放出とその抑制

1m<sup>3</sup>）、好気槽（約 0.5m<sup>3</sup>）、処理水槽（約 0.2m<sup>3</sup>）から構成され、窒素除去のため処理水槽から夾雑物除去槽に槽内水の循環が行われています。実験装置 A で間欠ばっ気運転を行い、実験装置 B は比較対照系とし、連続ばっ気運転を行いました。各実験装置に 5℃前後に保冷した実生活排水を流入させ、流入および処理水質、ばっ気に伴い大気中へ放出される CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O、処理水に溶存した形で処理系外へ出て行く CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O を解析しました（図 2）。実験は、気温・水温等の季節変動を考慮して 1 年間行いました。

### 3. 2 水質浄化性能への影響と N<sub>2</sub>O および CH<sub>4</sub> 発生・放出特性

実験開始から 1 年間の観測で、有機物に関する処理水質は、実験装置 A（間欠ばっ気）と B（連続ばっ気）とにほとんど差は見られず、かつ年間を通じて良好な水質浄化性能が維持されていました。

一方、窒素の処理水質は、開始時～秋季と翌年春季は両者の間にほとんど差はなかったのですが、冬季には特に間欠ばっ気運転で処理水質が悪化し、高濃度の NH<sub>4</sub>-N 蓄積が観察されました。窒素除去率向上と N<sub>2</sub>O 発生抑制にはスムーズな微生物反応が必須ですが、微生物活性は水温に依存するため低水温時には低下します。間欠ばっ気運転は、好気工程に供給する酸素量を抑制しているため、冬季には、連続ばっ気に比較して、酸素供給量の影響が大きく現れた可能性があります。しかしながら、処理性能の改善については、冬季（＝低水温期）には連続ばっ気運転とすることで対応可能と考えられます。なお、今回の実験は装置が屋外の地上設置だったため、保温等を行っても、外気温の影響を受けやすかった（夏季は高水温、冬季は低水温）と考えられます。通常、浄化槽は地下に埋設しますし、実使用条件下では流入水温もはるかに高いため、かなりの程度影響が緩和されると期待されます。

同期間の実験装置 A、B からの N<sub>2</sub>O 放出特性を図 3（a）に示します。大部分が大気中への放出であり、ばっ気に伴い揮散した結果と考えられました。開始～秋季にかけては連続ばっ気運転の方が放出速度は小さかったが、冬季には急激に増大して間欠ばっ気運転と逆転し、春季には両者の差は縮小したものの間欠ばっ気運転の方が小さめで推移しました。前述のように、冬季には、間欠ばっ気運転では硝化そのものが進行せず（故に N<sub>2</sub>O は発生しない）、連続ばっ気運転では阻害されながらも硝化は進行した結果、N<sub>2</sub>O 発生量が増大したと考えられました。

次に、各実験装置からの CH<sub>4</sub> 放出特性を図 3（b）に示します。N<sub>2</sub>O と同様に、CH<sub>4</sub> 放出は大部分が大気中へのものであり、ばっ気による結果と考えられました。N<sub>2</sub>O との違いは、夏季に間欠ばっ気運転で放出速度が大きくなったことと、翌年春季に間欠・連続の双方ともに大きな放出速度を観察したことです。前者については、夏季には高水温になり、微生物活性の向上と酸素供給効率の低下が相まって、浄化槽内が嫌気的な環境になりがちだった可能性が考えられます。

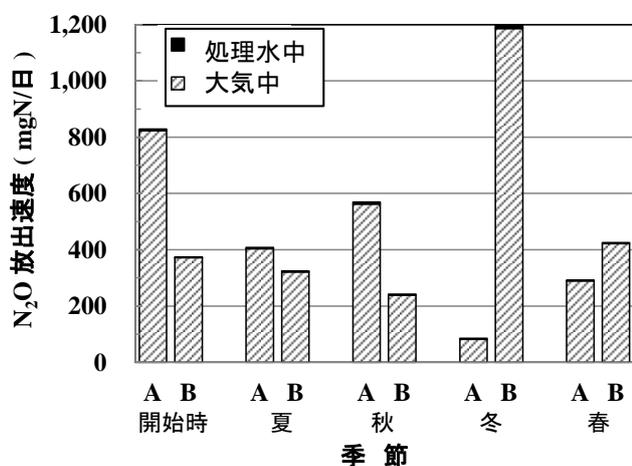


図 3 (a) 各実験装置からの N<sub>2</sub>O 放出速度

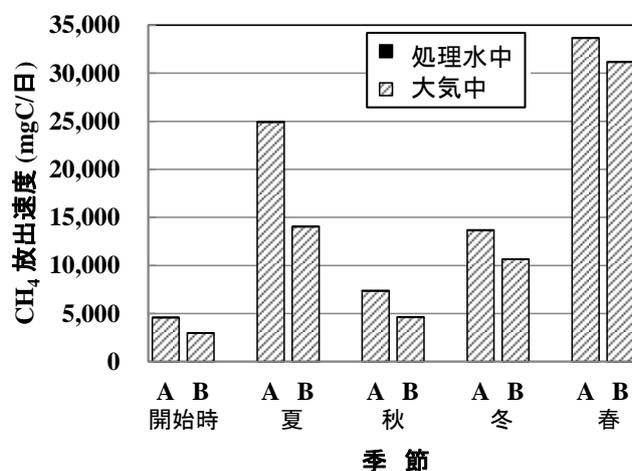


図 3 (b) 各実験装置からの CH<sub>4</sub> 放出速度

### 3. 3 間欠ばっ気運転導入による CO<sub>2</sub> 換算での N<sub>2</sub>O および CH<sub>4</sub> 放出量

石炭火力発電を仮定して算出したエアポンプ電力消費量由来の CO<sub>2</sub> 放出量と、GWP 値を基に水処理に伴う CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 放出量を CO<sub>2</sub> 換算した値を合計し、全体としての CO<sub>2</sub> 放出量を比較してみました。この実験では 33W のエアポンプを使用しました。これを基に電力消費量由来の CO<sub>2</sub> 放出量を計算すると、連続ばっ気では 250kg CO<sub>2</sub>/年、間欠ばっ気ではその 75% の 187kg CO<sub>2</sub>/年となり、間欠ばっ気運転で 63kg CO<sub>2</sub>/年を削減できることとなります。

一方、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 放出量を各実験装置で算出し、連続ばっ気を基準に差を比較すると、表 1 になりました。ここで、水質浄化性能維持の目的で、冬季の 3 ヶ月を連続ばっ気運転にした場合を考えてみます。水質が良好だった夏～秋および翌春のトータルで間欠ばっ気が 53kg CO<sub>2</sub> 程度増、一方この 9 ヶ月間の節電による CO<sub>2</sub> 削減量は 63×9 ヶ月/12 ヶ月で約 47kg ですから、間欠ばっ気の導入により結果的に 5～6 kg CO<sub>2</sub> が増加する計算になりました。

表 1 N<sub>2</sub>O および CH<sub>4</sub> 放出量の比較 (CO<sub>2</sub> 換算)

	ΔN <sub>2</sub> O (A-B) kgCO <sub>2</sub>	ΔCH <sub>4</sub> (A-B) kgCO <sub>2</sub>	ΔCH <sub>4</sub> +ΔN <sub>2</sub> O 合計 kgCO <sub>2</sub>
夏(3ヶ月)	+ 3.7	+ 28.0	+ 31.6
秋(3ヶ月)	+ 14.5	+ 7.1	+ 21.6
冬(3ヶ月)	- 49.4	+ 7.8	- 41.7
春(3ヶ月)	- 5.9	+ 6.3	+ 0.4
年間合計	- 37.1	+ 49.1	+ 12.0

## 4 今後の展望

本研究では、現在市販されている浄化槽の実機を用いて節電運転を実施したこと、また、浄化槽を屋外に設置したため冬期に外気温低下の影響を大きく受けたことなどから、間欠ばっ気運転による年間を通した総合的な CO<sub>2</sub> 削減は認められませんでした。しかし、夏季の日中の電力消費量削減が特に重要という状況下で、間欠ばっ気運転の電力供給オフの時間帯は、ある地域の浄化槽全体で見ればバラバラであろうことから、間欠ばっ気運転の導入によって、その地域でピーク電力消費量の削減効果が見込めることとなります。

また、本研究とは別に、研究室内で行った小規模実験では、良好な水質浄化能を維持しつつ、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 放出量を増大させることなく、間欠ばっ気により消費エネルギー削減を可能にしています<sup>5)</sup>。今後の技術開発により詳細な浄化槽内の好気・嫌気条件のコントロールが可能になれば、省エネ条件で、総合的にも温暖化防止の実現が期待できます。

## 謝辞

本研究は、環境省・環境研究総合推進費「高度省エネ低炭素社会型浄化槽の新技术・管理システム開発(K2403)」の補助を受けて行われました。

## 文献

- 1) IPCC: Climate Change 2007 - 4th Assessment Report, Cambridge University Press, Cambridge, UK (2007).
- 2) Y. Kimochi *et. al.*: *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 86 (2), pp. 202-206 (1998).
- 3) 温室効果ガスインベントリオフィス編: 日本国温室効果ガスインベントリ報告書, pp. 7-62~7-73 (2015).
- 4) 埼玉県環境部水環境課発表データ.
- 5) 稲森悠平ほか: 高度省エネ低炭素社会型浄化槽の新技术・管理システム開発、平成 24 年度環境研究総合推進費補助金総合研究報告書(2013).