

下水処理場における異なる運転条件下の 環境影響評価

埼玉県環境科学国際センター
立命館大学理工学部
日本大学理工学部

○見島伊織
吉川直樹、天野耕二
吉田征史

1. はじめに

下水処理場においては、電力消費による CO₂ や窒素除去過程での N₂O などの温室効果ガス、処理水として窒素などの栄養塩の排出が多いことが知られている。埼玉県内の下水処理場では、運転条件が硝化抑制から硝化促進に変更され、電力使用量、N₂O 排出量が変化した。これまでに、硝化抑制運転や硝化促進運転の条件における N₂O や曝気の電力由来の CO₂ を含む温室効果ガスの排出量の相違や種々の運転指標などを説明変数とした N₂O 排出量に関する統計解析などを行ってきた。しかしながら、硝化条件の違いによって、処理水窒素濃度の組成が大きく変動することに起因する環境影響評価は未解明なままであった。硝化抑制運転においては処理水窒素のほとんどが NH₄-N であるが、この NH₄-N の一部は水環境中で強い生態毒性を持つ NH₃ になることが知られている。よって、硝化抑制運転や硝化促進運転などの各条件において、温室効果ガス排出による地球温暖化、栄養塩の排出による富栄養化、NH₄-N 排出による生態毒性評価などを行うことが重要となる。これにより、環境影響を多面的かつ統合的に評価し、環境影響が最小となる条件を検討する必要がある。本研究では、硝化抑制運転や硝化促進運転といった運転条件に変更があった下水処理場を対象として、地球温暖化や富栄養化への環境影響を算定して単一指標に落とし込み、それぞれの運転条件においてどのような環境影響があるかを比較検討した。

2. 方法

(1) 調査対象施設

埼玉県内の標準活性汚泥法を用いた下水処理場の 1 つの系（実流量 26000m³/d 程度）において調査を実施した。本処理場においては、東日本大震災後の電力不足の影響で、一時的に硝化抑制運転が行われ、その後は硝化促進運転に切り替えられた。この 2 つの条件を対象として、詳細な環境影響評価を行うこととした。最終沈殿池越流水を処理水として定期的に採取し、処理水の窒素組成などの分析を行った。

(2) 温室効果ガスの推計

反応タンクから排出されたガスは集気管を経て脱臭処理されているため、脱臭塔の前段でガスの一部を吸引し、N₂O 計に供し N₂O を連続的に測定した。N₂O 計の

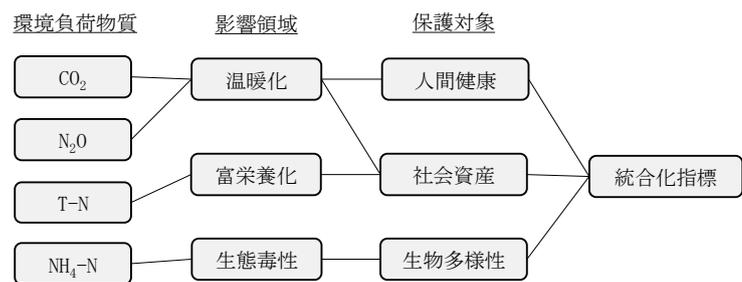


図-1 環境影響の評価対象

表-1 環境負荷物質の被害係数

	保護対象	被害係数	単位
CO ₂	人間健康	1.31E-07	DALY/kg-CO ₂
N ₂ O	人間健康	3.91E-05	DALY/kg-N ₂ O
CO ₂	社会資産	3.23E-01	円/kg-CO ₂
N ₂ O	社会資産	1.45E+02	円/kg-N ₂ O
T-N	社会資産	8.25E+01	円/kg-T-N
NH ₄ -N	生物多様性	1.69E-11	種/kg-NH ₄ -N

データがない期間においては、真空瓶でガスを採取し、ECD-ガスクロマトグラフィーに供して測定した。これらの N_2O の濃度に曝気風量を乗じ、 N_2O 排出量を算定した。曝気由来の CO_2 排出については、まず、電力使用量の情報をもとにして処理場全体の曝気由来の電力使用量を求めた。次いで、全流入量に対する対象系への流入量の比率および環境省から公表されている排出係数 ($t-CO_2/kWh$) を乗じて、対象系の曝気由来の CO_2 として算定した。

(3) 環境影響評価手法

水処理系の窒素および電力消費に特化して、わが国で開発された LCA による環境影響評価手法である LIME2¹⁾に基づいて単一指標での環境影響を実施した。ただし、 NH_4-N の生態系への影響については LIME2 に搭載されていないため、LIME2 の手法をベースに新たに推計を行った。図-1 は、本研究における環境影響の評価対象である。「保護対象」は、各環境問題が影響を与える対象を示す。最終的なアウトプットである統合化指標は、各環境負荷物質排出量に各保護対象への被害係数と経済価値換算係数を乗じて算定した。本研究で用いた係数をそれぞれ表-1、表-2 に示す。 NH_4-N の生態毒性に関する被害係数は、本研究において独自に推計した。被害係数は、物質 x の 1 単位排出による生物絶滅リスクの増分と定義し、次式のように算定される。ただし、 $EF_{NH_3,G}$: 環境中の物質 x 濃度の 1 単位上昇による生物群 G の絶滅リスクの増分、 CF_{NH_4-N} : 環境中への物質 x の 1 単位排出による環境中濃度の増分、 $\Delta C_{NH_3}/C_{NH_4-N}$: 環境中の NH_4-N と NH_3 の平均比率 (質量比) である。

$$DF_{Impact}(Safe, x) = \sum_G EF_{NH_3,G} * CF_{NH_4-N} * C_{NH_3}/C_{NH_4-N}$$

NH_4-N の生態毒性における地理的影響範囲は埼玉県、保護対象は生物多様性を想定した。 $EF_{x,G}$ については、USEPA による ECOTOX データベースの生物毒性データを用い、LIME2 における生態毒性の評価方法と同様に、曝露濃度と絶滅リスクの関係式より算定した。同関係式は、日本全国が対象であるため、算出された絶滅リスクに埼玉県の淡水資源量の全国比 (0.74%) を乗ずることで、影響範囲を埼玉県内に限定した係数とした。 CF_{NH_4-N} は、排出される環境負荷物質を埼玉県の水資源賦存量 (31 億 m^3 /年) で希釈されるものとして算出した。 C_{NH_3}/C_{NH_4-N} は、 NH_4-N と NH_3 の平衡式 ($NH_4-N \cdot pH \cdot \text{水温に依存}$)²⁾ を、埼玉県内の各環境基準点の測定値 (平成 23 年度) に当てはめた場合の平均値 (1.14%) を用いた。その結果、 NH_4-N の被害係数は、 1.69×10^{-11} (種/ $kgNH_4-N$) となった。

3. 結果および考察

(1) 処理水窒素および N_2O

流入水および処理水の窒素成分の内訳は図-2 に示したとおりであり、硝化促進の処理水においては、 NO_3-N が主要な成分であることから、硝化が進行し NO_3-N が処理水に残存したことがわかる。硝化抑制においては、処理水に NO_3-N はなく、ほとんどが NH_4-N となった。なお、硝化促進と硝化抑制の間で処理水 T-N 比べると硝化抑制における T-N が高く、有意差が認められた。また、硝化促進の際の N_2O 排出量は 2.9kg/d であったが、硝化抑制では 1.2 kg/d と低かった。さらに、曝気由来の消費電力量は硝化促進で多かったが、消費電力量あたりの CO_2 排出量である排出係数は、硝化抑制運転の実施時期において高かった。このように、それぞれの条件で温室効果ガスや栄養塩、生態毒性に関する水質項目に各条件において高低がみとめられた。

表-2 経済価値換算係数

保護対象	経済価値換算係数	単位
人間健康	1.47E+07	円/DALY
社会資産	1	円/円
一次生産	46.2	円/kg
生物多様性	1.42E+13	円/種

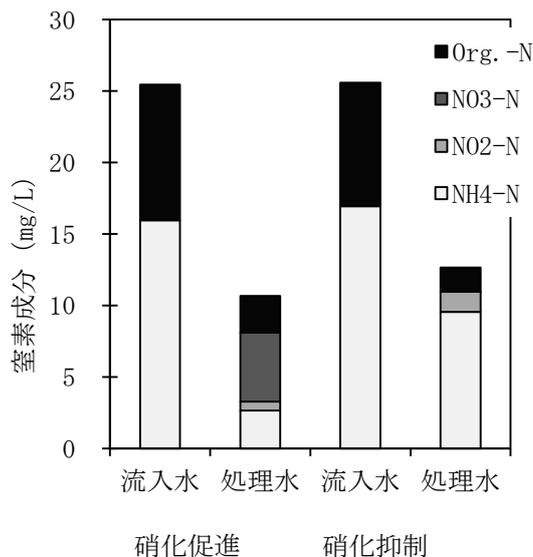


図-2 窒素成分の内訳

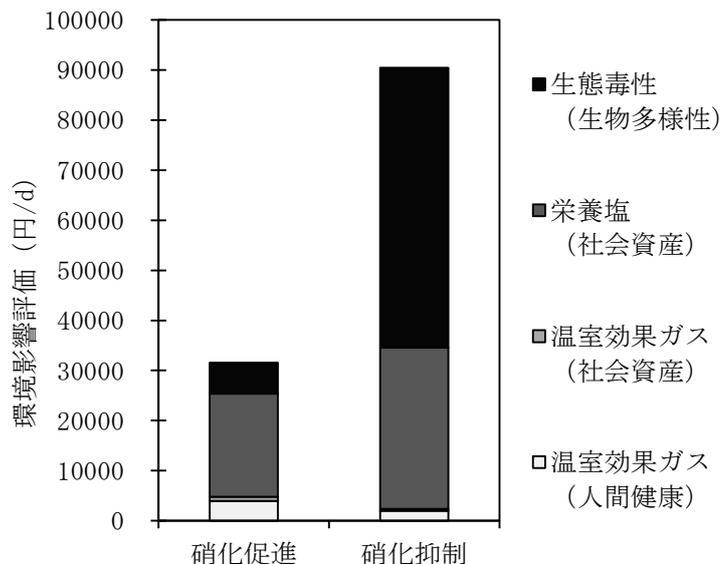


図-3 LIME2 を用いた環境影響評価結果

(2) 環境影響評価

LIME2 を用いた環境影響評価結果は図-3 に示したとおりである。硝化促進では栄養塩（富栄養化）による寄与が最も大きいのにに対し、硝化抑制では生体毒性による影響が最も大きいことがわかる。両者を比較すると、温室効果ガスでは硝化促進の場合に値が小さいが、栄養塩・生体毒性では硝化抑制で大きく、地球規模の環境問題と地域性のある環境問題との間で明確なトレードオフ関係があることがわかった。しかし、硝化促進による窒素除去、特に NH₄-N の除去による生体毒性影響の削減が大きいことから、総合的には硝化を促進する運転がより望ましいといえる。また、NH₄-N による生体毒性の考慮が結果に大きな影響を与えたことから、処理方式の適切な比較のためには、多様な環境影響を可能な限り評価することが重要であると考えられる。

4. まとめ

硝化促進や硝化抑制の条件において、処理水窒素、温室効果ガスなどの環境中への負荷を統合的に評価した。結果、人間健康や社会資産に与える温室効果ガスの影響は比較的少ないことがわかった。また、硝化促進においては栄養塩の影響が大きい、硝化抑制においては処理水の NH₄-N の生態毒性の影響が大きいこと、全体では硝化抑制で影響が大きいことが明らかとなった。これらのことから、下水の処理において排出される環境影響を削減するためには、下水処理場にて硝化を行うことが肝要と考えられた。

参考文献

- 1) 伊坪徳宏、稲葉敦 編著、LIME2—意思決定を支援する環境影響評価手法、産業環境管理協会、2010
- 2) National Research Council 編、環境汚染物質の生体への影響 19 アンモニア、東京化学同人、1989

謝辞 本研究を進めるにあたり公益信託下水道振興基金、公益財団法人鉄鋼環境基金より助成の支援を受けた。ここに記して謝意を表する。

問い合わせ先：見島伊織 埼玉県環境科学国際センター 水・土壌研究領域 水環境グループ
〒347-0115 埼玉県加須市上種足 914
TEL 0480-73-8353 E-mail mishima.iori@pref.saitama.lg.jp