# 水処理工程（疑似嫌気好気法）における一酸化二窒素の発生に関する調査研究

川崎市上下水道局　○小倉　勝己，栗原　知之，端谷　研治

## 1　はじめに

下水道事業で発生する温室効果ガスのうち、非エネルギー要因のものとして反応タンクでの処理工程で発生する一酸化二窒素（$N_2O$）がある。川崎市における令和 6 年度温室効果ガスの発生量（$CO_2$ 換算）は図-1 に示すように総量約 6.6 万 t に達し、そのうち非エネルギー起因のものが 41%、さらに水処理からの発生は約 1.1 万 t を占めており、そのほとんどは $N_2O$ である。

$N_2O$ 排出量は処理方式により異なるため、環境省が発行する温室効果ガス排出量算定・報告マニュアルに一般的な各処理方式の排出係数が記載されているが、疑似嫌気好気法等の個別処理については記載されていない。一方、国土技術政策総合研究所が発行する「下水処理に伴う一酸化二窒素排出量の実態把握に向けた調査マニュアル（案）」（以下、調査マニュアル）では、「個別の処理場における $N_2O$ 排出量を把握するためには、各処理場における調査を実施する必要がある」と記載されており、このマニュアルの中で通年調査（四季ごとに 2 週間連続測定）という具体的な排出係数の求め方が示されている。

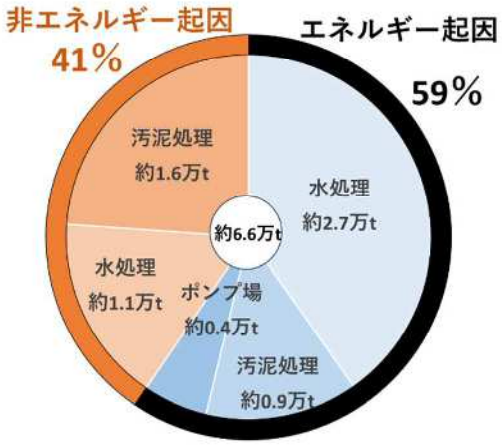



図-1　川崎市下水道事業における R6 温室効果ガス排出量（$CO_2$ 換算）

本研究では段階的高度処理として疑似嫌気好気法（疑似 AO 法）を採用している川崎市加瀬水処理センターにおいて調査マニュアルに基づく $N_2O$ 測定を実施し、運転パラメータ変更による $N_2O$ 抑制運転の検討及び実態に合った排出係数を算出することを目的とする。

## 2　実態調査内容

### 1）　調査施設と調査期間

調査は加瀬水処理センター南系 No.4 池で行った。疑似 AO 法を採用している 1 系列を対象に測定を行った。対象系列は深槽式反応タンク（旋回流式）で、池数は 8 である（図-2）。

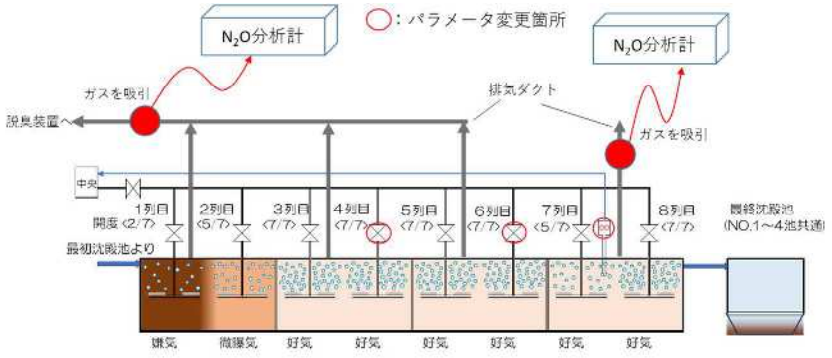



図-2　反応タンクのシステム構成

### 2）　調査方法

運用パラメータ（DO、空気バルブ開閉位置）の変更による $N_2O$ 排出抑制に係る事前調査として 2024 年 10 月 28 日～2024 年 12 月 25 日に、調査マニュアルに基づく $N_2O$ 連続モニタリング通年調査を 2025 年 5 月 7 日～2 月 28 日に実施した。ガス態 $N_2O$ については、反応タンクが覆蓋されているため、排気ダクトの測定口より気体を採取した。なお、排気ダクトは上流側と下流側に分かれているため、マルチガス分析計（堀場製作所 VA-5000）を 2 箇所に設置して測定を行った（図-2）。また、水処理状況を把握するため、週 2 回（10:00～12:00）において窒素成分（T-N、$NH_4$-N、$NO_2$-N、$NO_3$-N）等の測定のため採水を行った。試料は、最初沈殿池と最終沈殿池は 1 時間ご

とに 24 時間採取したコンポジット試料、好気槽と嫌気槽はスポット試料とした。

表１　事前調査パラメータ

| | 条件A | 条件B | 条件C | 条件D | 条件E |
|---|---|---|---|---|---|
| DO設定値(mg/L) | 1.6 | 1 | 1.8 | 1.6 | 1.6 |
| 空気バルブ開閉位置調整 | なし | なし | なし | 4,6列目絞る | 4列目絞る |

### 3)　測定条件の決定のための事前調査

通年調査の測定条件を決定するため、表 1 の 5 つの条件で 10 日程度の事前調査を行い、$N_2O$ 排出状況を比較した。各条件における反応タンク流入部及び最終沈殿池越流部の $NH_4$-N、算出された $N_2O$ 排出係数を図-3 に示す。窒素については条件 B（低 DO）においては終沈で $NH_4$-N は残留しており、硝化が不十分であることが確認された。排出係数については条件 B では、条件変更をした直後以外は $A_2O$ 法の排出係数を下回る結果であった。条件 C は、他条件よりは高いものの、AO 法の排出係数を下回る結果であった。また、空気バルブ開閉位置を調整した条件 D と条件 E の排出係数は、ほぼ同程度であった。これは、バルブ操作をしたのが 4 列目だったためまだ未硝が進んでおらず、嫌気状態でも脱窒が起きず排出が増えなかったと考えられるが、今回各列位置での水質分析を行っていないため確認はできていない。MLSS を上げる、バルブを絞るのを 6 列目のみにする等の条件であれば異なる結果が得られた可能性がある。

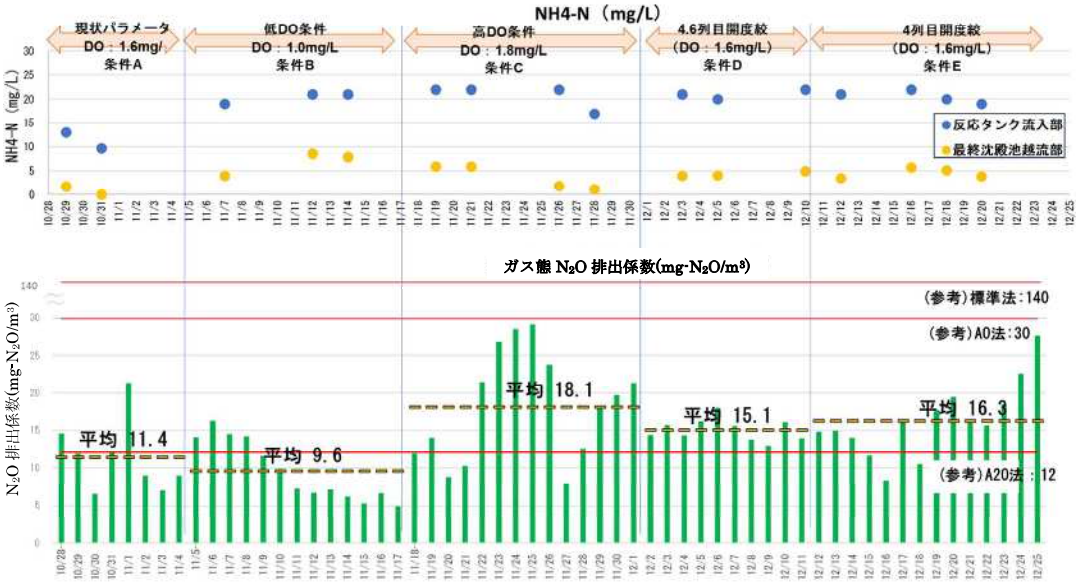



図-3　$N_2O$ 排出係数と水質状況

以上の調査から、運転パラメータにより $N_2O$ の排出量が変化することが確認でき、適正な運転管理を行うことにより排出量の削減へとつながることが示唆される。通年調査を実施するにあたっての測定条件は、処理水質及び排出係数のバランスの良い条件 A を採用する。

## 3　通年調査の結果

各季節の測定結果を図-4 及び表-2 に示す。各期測定期間の平均排出係数は春期が最も低く、冬期が最も高い値であった。排出係数の決定するにあたっては、測定期間中に降雨による異常値はなかったため、季節毎に測定期間の平均値を算出し、それらを平均した 27.9mg-$N_2O/m^3$ を通年調査における排出係数とした。また各期間における上・下流の排出係数を見ると、秋・冬において上流側排出係数が大きくなっていることがわかる。これは冬期の水温低下時に処理水質を確保するため、秋期から MLSS を増加させて運転をしていることで、反応タンクの上流側から硝化反応が始まり、$N_2O$ の発生機会（場所、反応）が増えたためと考えられるが、硝化率は他季節と比較し低い値となっている。$N_2O$ は水処理における硝化・脱窒（$NH_3 \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^- \rightarrow N_2$）の各過程において不完全もしくは不安定な反応をした場合に発生していると考えられているが、現状ではそのメカニズムの全容解明には至っていない。

今回の事前調査により決定した通年調査の測定条件は、普段から加瀬水処理センターで設定している運転パラメータであった。日常の維持管理を行う中で処理状況等により運転パラメータの変動は必ず発生するが、季節毎の各 1 か月程度の測定により、そのばらつきも含めた $N_2O$ 排出量の実態が把握できたと考える。ま

た、調査を通して、硝化促進を目標としても完全硝化できなかった場合、排出量が増加する傾向が見られた。このことから適切な維持管理が温暖化対策の観点でも重要と考える。

排出係数見直しによる $N_2O$ 排出量削減量を試算すると、令和 6 年度の加瀬水処理センター南系の処理実績（24,176,000m³）の場合、標準法と比較して約 720t（$CO_2$ 換算）の縮減を達成できる。

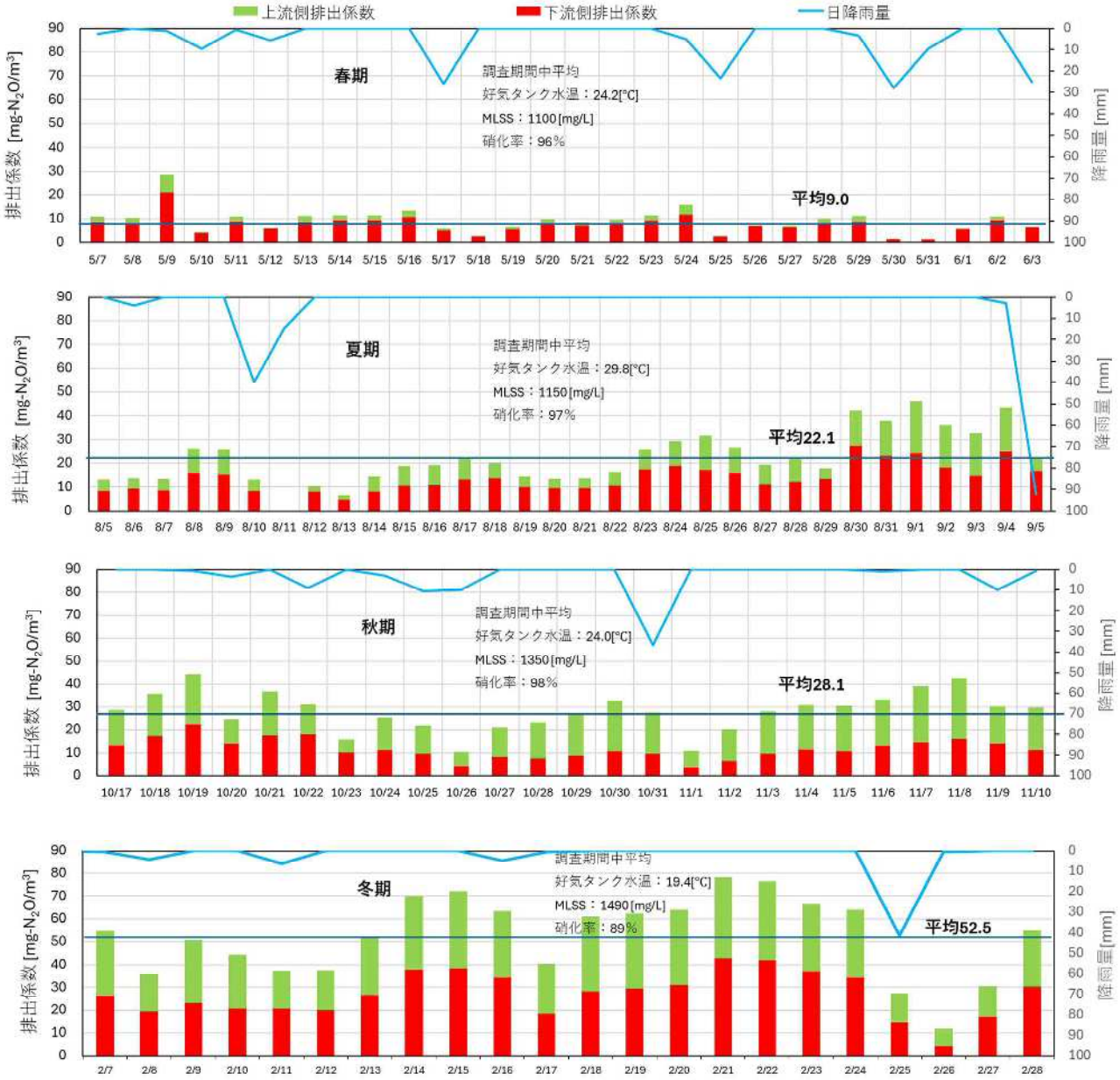



図-4 $N_2O$ 排出係数　通年調査測定結果

## 4　おわりに

本調査では、疑似嫌気好気法を採用している処理場において通年調査を実施し、$N_2O$ 排出係数を求めたところ、標準法のものより小さい値であることが示された。実態に合った $N_2O$ 排出量を把握することは、将来における適切な設備投資を促し、経営的にバランスの取れた温暖化対策への計画にもつながることを踏まえ、引き続き他処理場における実態調査の実施について検討する予定である。