

資料5

水処理過程で発生する N_2O の排出状況や
メカニズム分析について

目次

1. はじめに
2. 国総研におけるN₂O調査の概要
3. 令和3年度の調査結果
 - 3.1 擬似嫌気好気法による運転について
 - 3.2 処理方式による排出量の比較について
 - 3.3 N₂O自動測定機の活用について
4. 今後の取り組み

目次

1. はじめに

2. 国総研におけるN₂O調査の概要

3. 令和3年度の調査結果

3.1 擬似嫌気好気法による運転について

3.2 処理方式による排出量の比較について

3.3 N₂O自動測定機の活用について

4. 今後の取り組み

1. はじめに -水処理により排出されるN₂O-

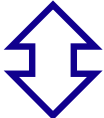
一酸化二窒素 (N₂O)

- 二酸化炭素の約300倍の温室効果
- 下水道事業からのGHGの約7.4%

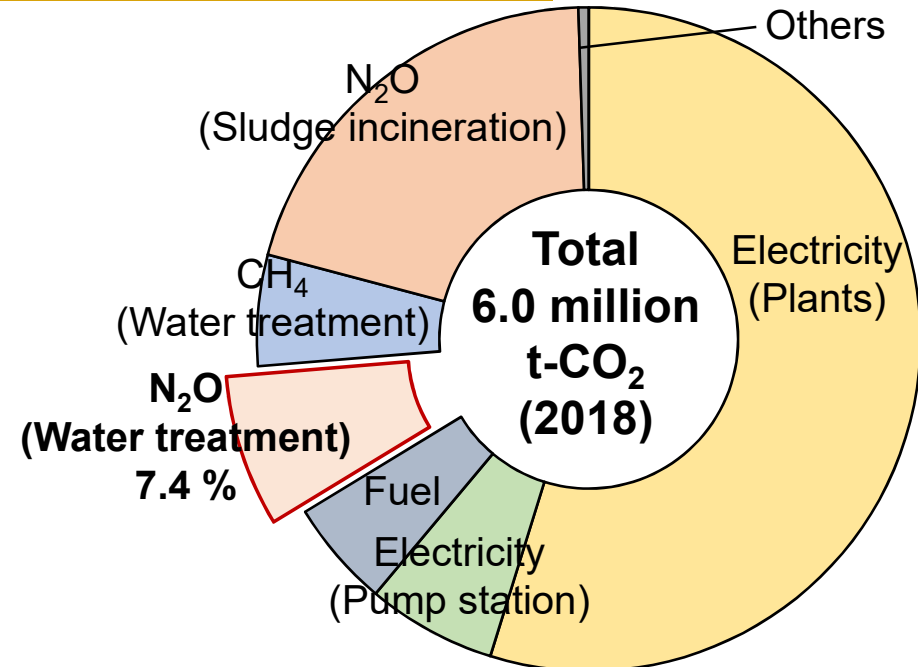


- 2030年のGHG46%減
- 2050年のカーボンニュートラル
に向け**排出量を削減する必要**

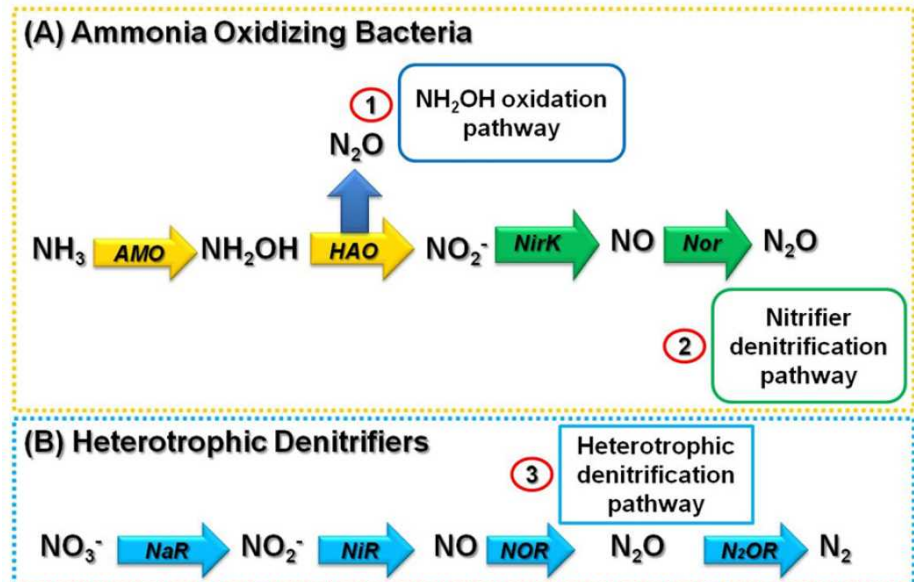
- 活性汚泥中でアンモニアの硝化,
脱窒過程で生成される



- **生成量のコントロール要因
については不明な点が多い**



下水道事業におけるGHG排出量割合(国交省資料より作成)



活性汚泥中でのN₂Oの生成経路¹⁾ 1) Massara et al., 2017 4

1. はじめに -N₂Oの排出係数-

N₂O排出量の実測は高コストで日常的な測定は困難

→ 処理方式ごとに単位水量あたりの**N₂O排出係数**を定め、排出量を推計

区分	単位	係数
標準活性汚泥法	t-N ₂ O/千m ³	0.000142
嫌気好気活性汚泥法	t-N ₂ O/千m ³	0.0000292
嫌気無酸素好気法及び循環式硝化脱窒法(当該方法と同程度以上に窒素を処理することができる方法を含む。循環式硝化脱窒型膜分離活性汚泥法を除く。)	t-N ₂ O/千m ³	0.0000117

142 mg-N₂O/m³

29.2 mg-N₂O/m³

11.7 mg-N₂O/m³

2) 環境省・国土交通省, 2016

しかし,

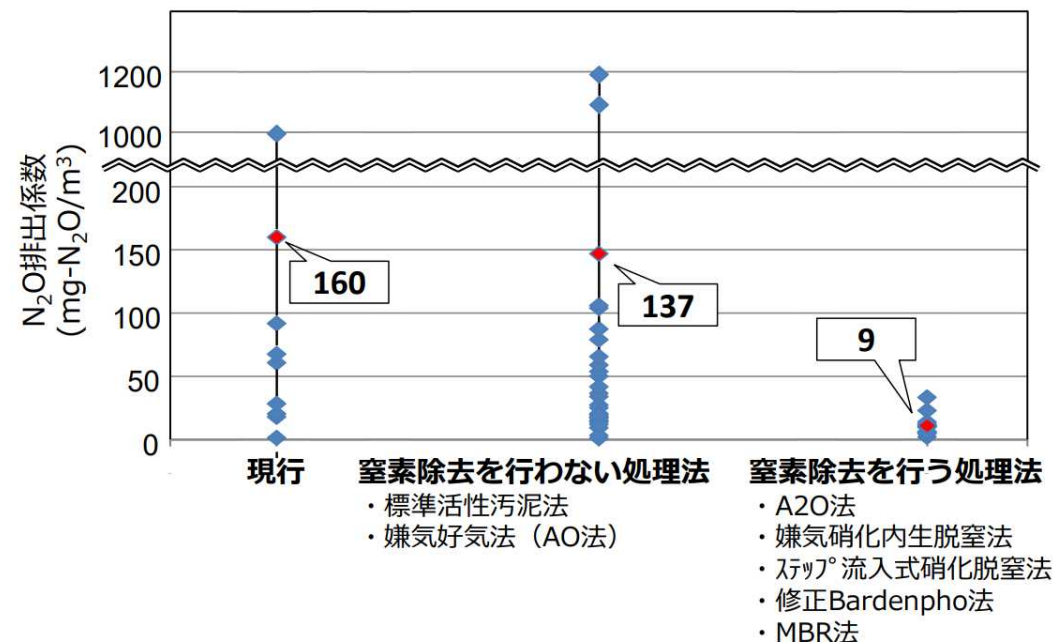
これまでの調査結果から,

- ・ 処理場ごと
- ・ 季節ごと

等で大きな変動が明らか



排出係数による推定だけではN₂O排出量の実態を正確に把握できない



排出係数算出時の参考資料³⁾

3) 国土技術政策総合研究所, 2014

1. はじめに -N₂O調査の目的-

水処理過程におけるN₂Oの生成機構を明らかにし、
運転手法の工夫等によりN₂Oの排出量を削減する

- 全国の下水処理場におけるN₂O排出量調査を実施し、排出量の実態を把握する
 - より実態に即した排出量の推定方法（排出係数の改定等）の提案に向けたデータの蓄積を行う

- 文献調査、水質や微生物叢の分析、パイロットプラントによる実験等により、N₂O排出量に影響を与える要因を明らかにする
 - 標準法等の躯体を用いても、高度処理と同程度までN₂O排出量を削減可能な運転方法の立案を目指す

- 多くの下水処理場におけるN₂O調査を活発化し比較可能なデータを効率的に蓄積するために、調査方法を確立する
 - より長期間の連続データを取得するために、自動測定機の導入を検討する

目次

1. はじめに

2. 国総研におけるN₂O調査の概要

3. 令和3年度の調査結果

3.1 擬似嫌気好気法による運転について

3.2 処理方式による排出量の比較について

3.3 N₂O自動測定機の活用について

4. 今後の取り組み

2. 国総研におけるN₂O調査の概要

- 詳細な調査結果が残っているだけで、平成19年度より**全国約25ヶ所**の処理場で**計70回以上**の調査を実施



これらのデータは、平成25年の排出係数見直し時に活用された

- 近年は3ヶ年ごとの研究課題として調査を実施

H23~25: 生物処理過程におけるN₂O発生抑制手法に関する検討

H26~28: 下水道における一酸化二窒素発生抑制型処理方法に関する検討

H29~R1: 下水道における温暖化ガス排出量削減に関する調査

R2~R4: 下水道から排出される温室効果ガス対策に関する調査

- 各年度ごとの調査結果は「下水道関係調査研究年次報告書集」として国総研ホームページに公開

(<http://www.nilim.go.jp/japanese/organization/water/jwater.htm>)

2. 国総研におけるN₂O調査の概要 -24時間調査-

□ N₂Oの発生量は時間変動が大きく、採取場所の影響も大きい

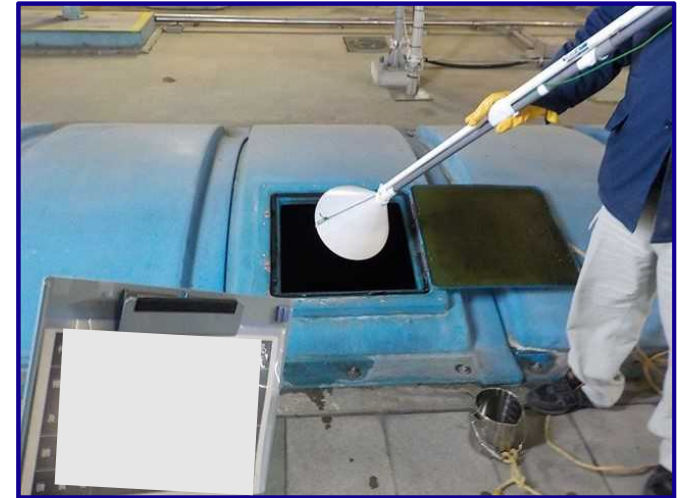
→国総研では、反応槽の4ヶ所から**4時間ごとに24時間、計7回**サンプルを採取
= 24時間調査を実施してきた

□ 好気槽における調査

曝気により空気が出ているので、ラッパ状の捕集器を水面に密着させ気体をガスバッグに採取⁴⁾



測定したN₂O濃度と曝気風量をかけることで排出量を算出

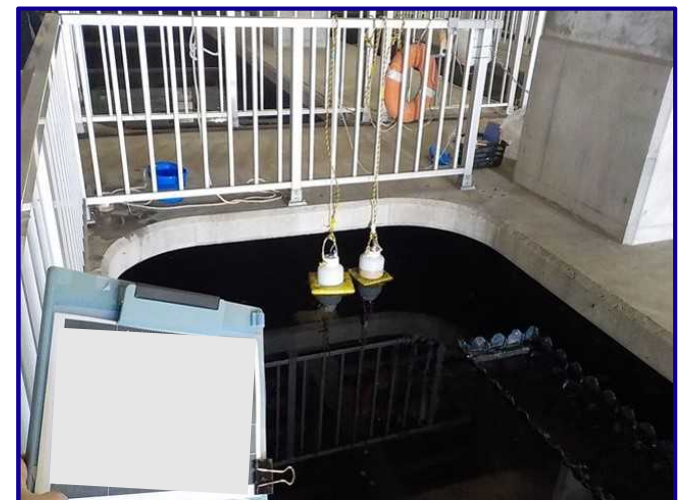


□ 嫌気槽（初沈・終沈含む）における調査

曝気がなく気体の排出が微量のため、ガス捕集器を水面に20分間静置させ気体を採取⁴⁾



捕集器の接水面積と池面積の比からN₂O排出量を算出



4) 道中ら, 2014

2.国総研におけるN₂O調査の概要 –これまでの調査結果のまとめ–

これまでの24時間調査の結果から排出係数を算出し、処理方式ごとに分類

□ 標準法

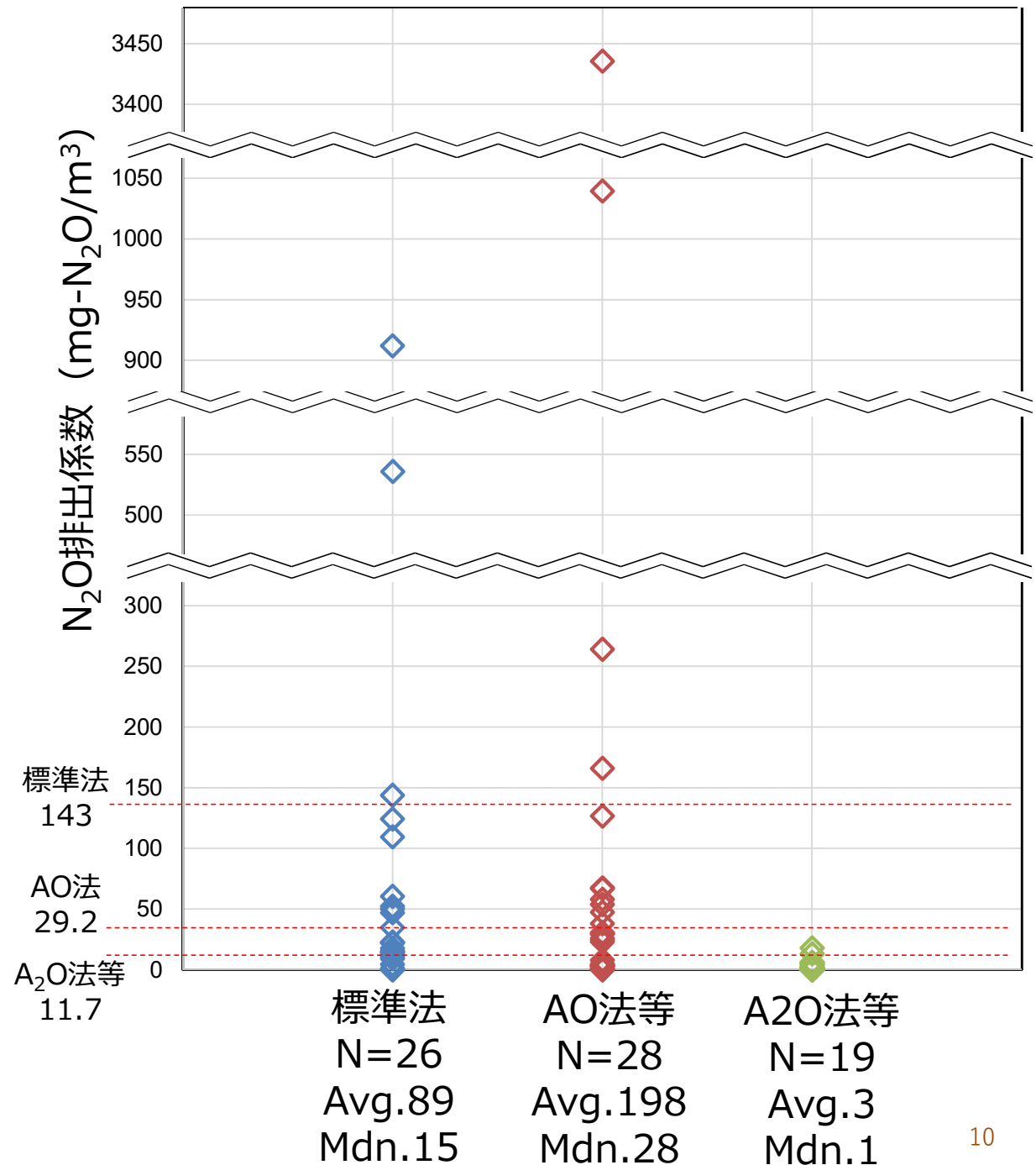
半数以上が現行のAO法以下、2割が現行のA₂O法以下
一部の処理場、もしくは一部の時期のみ排出量が増加し平均を引き上げている？

□ AO法（擬似AOを含む）

外れ値を除いた場合、標準法よりも排出量が小さい
硝化のコントロールが難しく、標準法と比較して突発的に排出量が高くなる可能性

□ A₂O法・MBR法・ステップ法等

平均して低い水準で、現行の11.7より高かったのは2回のみ
標準法・AO法からA₂O法等への更新は安定したN₂O削減に効果的と考えられる



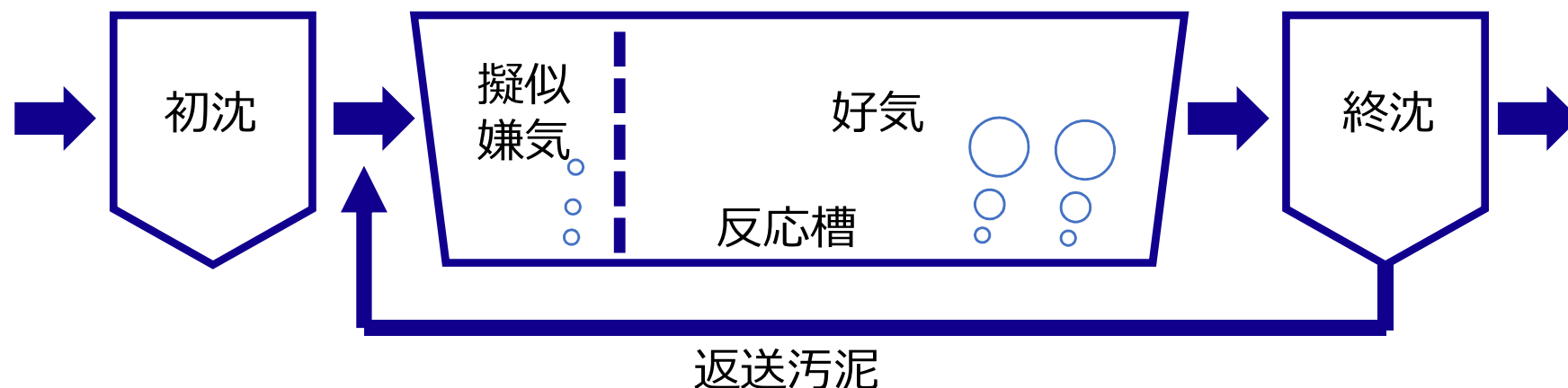
目次

1. はじめに
2. 国総研におけるN₂O調査の概要
- 3. 令和3年度の調査結果**
 - 3.1 擬似嫌気好気法による運転について**
 - 3.2 処理方式による排出量の比較について
 - 3.3 N₂O自動測定機の活用について
4. 今後の取り組み

3. 令和3年度の調査結果 –擬似AO:対象とする処理場–

A処理場：国総研で2018年から継続的に調査

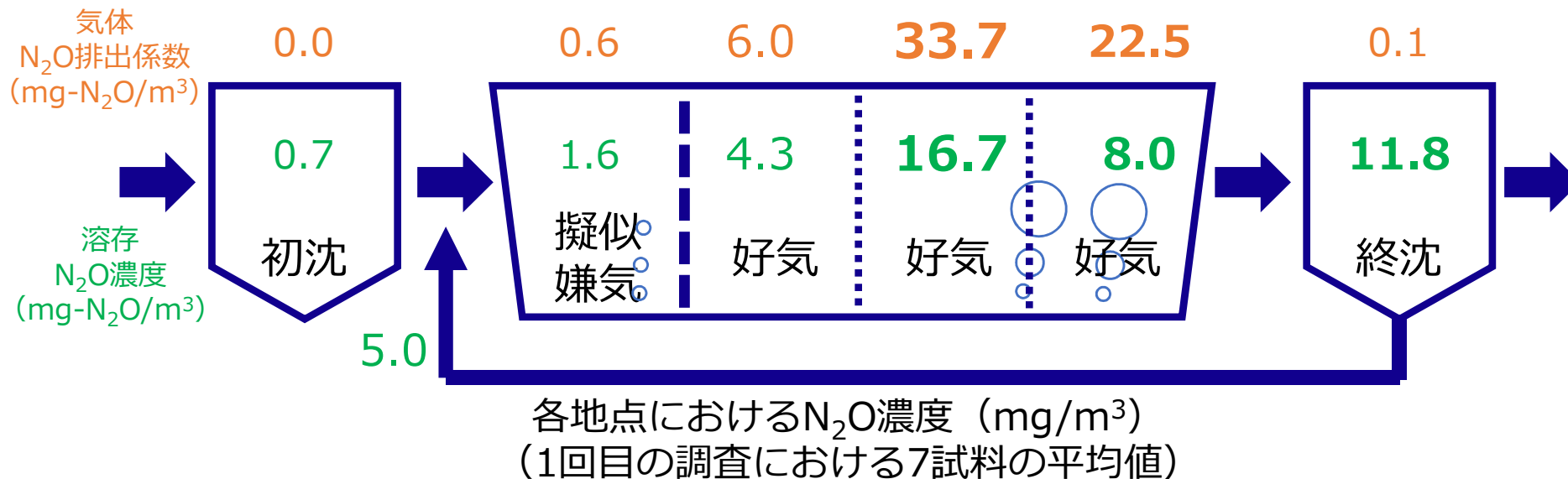
- 流入水質：年平均BOD 230 mg/L⁵⁾
- 放流水質：年平均BOD 1.9 mg/L, TN 12 mg/L⁵⁾
- 調査日：1回目 2021年10月7-8日
2回目 2021年11月11-12日（前々日に41 mm降雨あり）
- 集水方式：合流式
- 処理方式：標準法の躯体を用い、**反応槽前段の送風量を絞る**ことで**擬似AO法**として運転



3. 令和3年度の調査結果 -擬似AO:排出係数の算出結果-

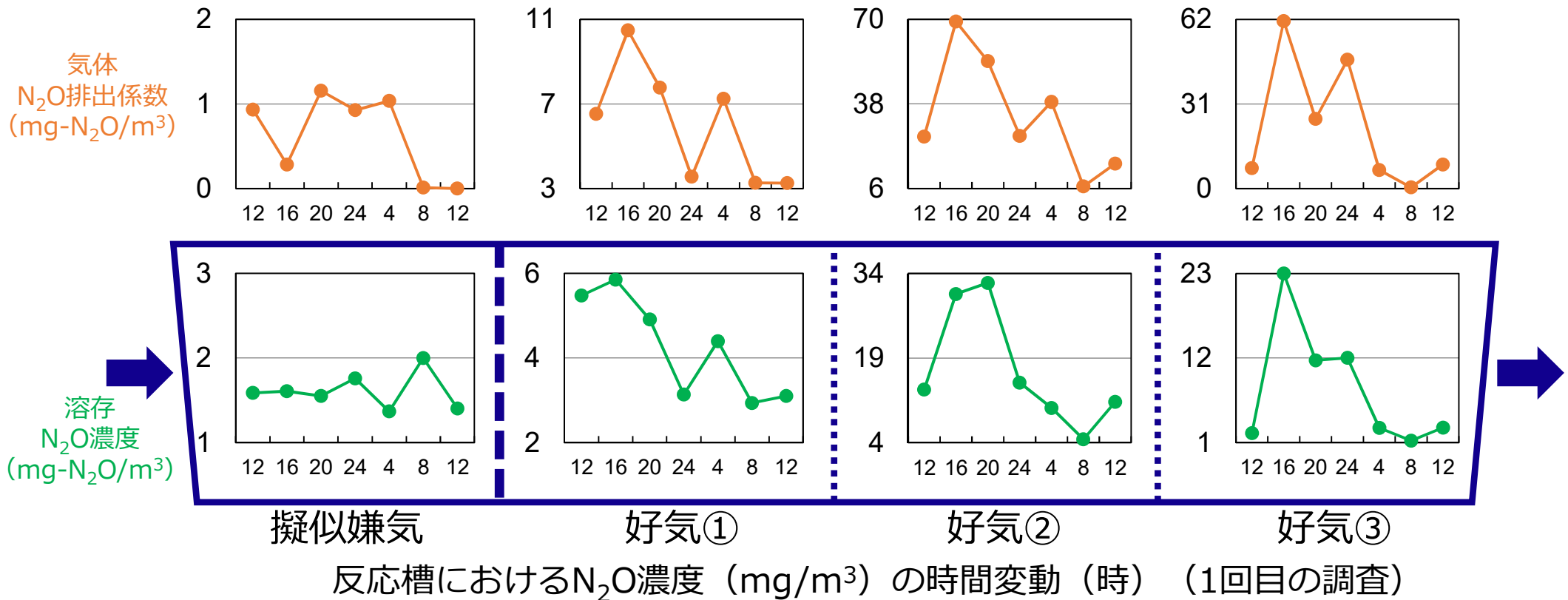
1回目 : 63 mg/m³ 2回目 : 52 mg/m³

- ・現行の係数（標準法：142, AO法：29）
- 本処理場では**工夫運転によりN₂O排出量を抑制**できる可能性
- ・2回目は41 mmの降雨後の調査だが, 変化は約20 %
- ・N₂Oは**好気槽の中段・後段で生成**され気相へ排出
- ・生成されたN₂Oの**83 %が気相へ**,
17 %は溶存態として河川等へ放流される



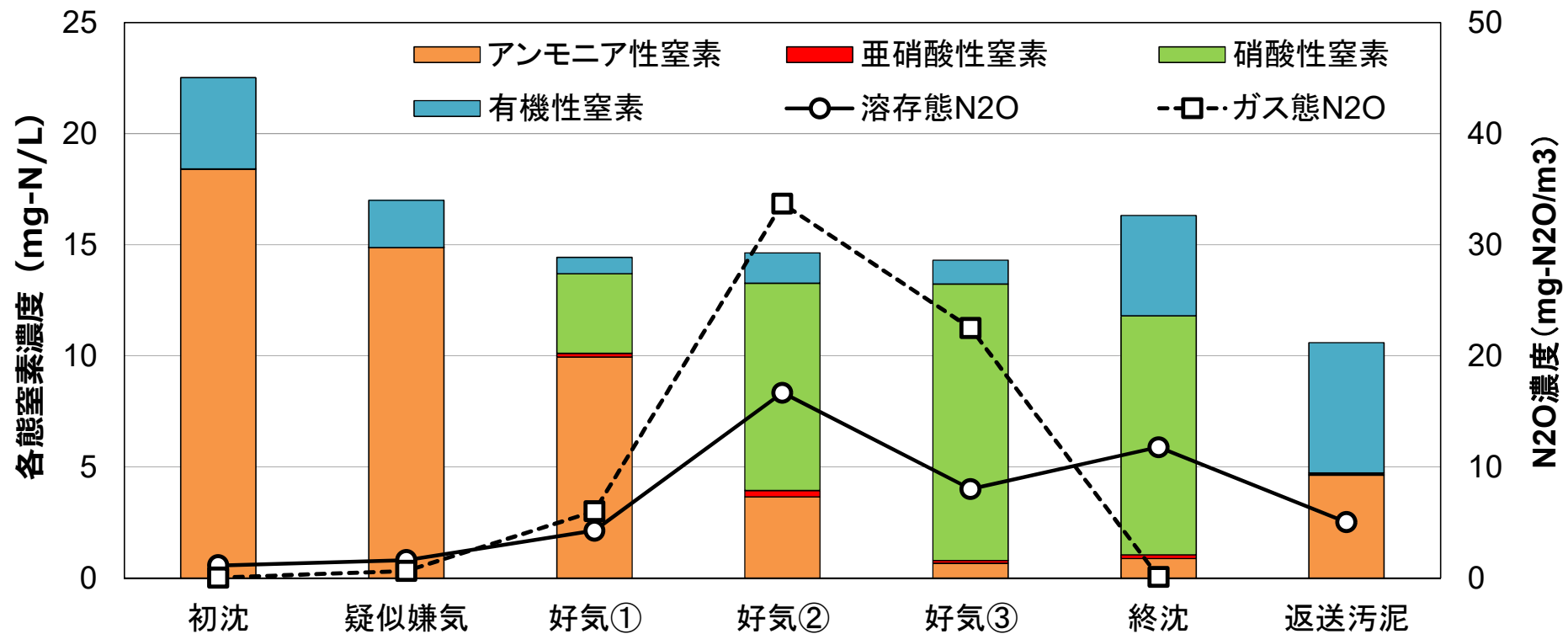
3. 令和3年度の調査結果 -擬似AO:N₂O排出量の時間変動-

- ・24時間の中でN₂O濃度に大きな変動
→ ガス態：**最大147倍** 溶存態：**最大19倍** の変動
- ・夕方16時に最大，朝8時ごろに最小
→ 流入水質の変動と対応か



3. 令和3年度の調査結果 -擬似AO:各態窒素との関係-

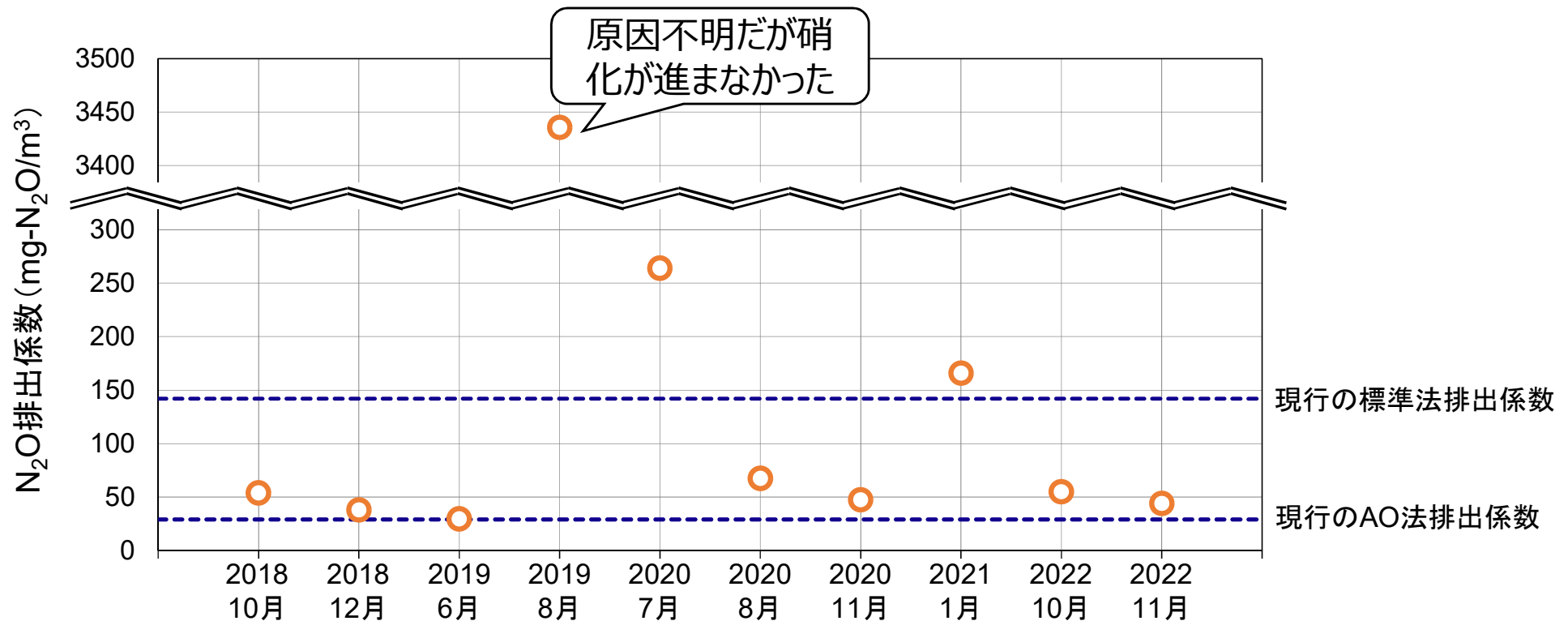
- 硝化促進運転が基本となり，アンモニア性窒素の硝化率は95 %
- N₂Oが生成される好気槽中段では亜硝酸性窒素が見られる
- 各態窒素濃度の時間変動は比較的小さい



各地点におけるN₂Oおよび各態窒素の濃度
(1回目の調査における7試料の平均値) ⁶⁾

3. 令和3年度の調査結果 -擬似AO:過去の調査結果との比較-

- 過去10回の調査の内, 7回はAO法に近い排出係数
- 3回は標準法よりも大きい値となり, 1回は標準法の24倍の値
- 擬似AO法はN₂O排出量を削減できる可能性がある一方, 硝化が不十分等の要因で突発的に排出量が増大するおそれ



これまでの調査で算出されたN₂O排出係数⁶⁾

目次

1. はじめに
2. 国総研におけるN₂O調査の概要
- 3. 令和3年度の調査結果**
 - 3.1 擬似嫌気好気法による運転について
 - 3.2 処理方式による排出量の比較について**
 - 3.3 N₂O自動測定機の活用について
4. 今後の取り組み

3. 令和3年度の調査結果 -処理方式の比較:対象処理場-

B処理場の2系列を対象

□ 第1送水渠系：年平均BOD 110 mg/L, TN 21 mg/L

- ・標準活性汚泥法（標準法）
- ・嫌気好気活性汚泥法（AO法）
- ・嫌気無酸素好気活性汚泥法（A₂O法）
- ・ステップ流入式多段硝化脱窒法（ステップ法）

□ 第2送水渠系：年平均BOD 71 mg/L, TN 14 mg/L

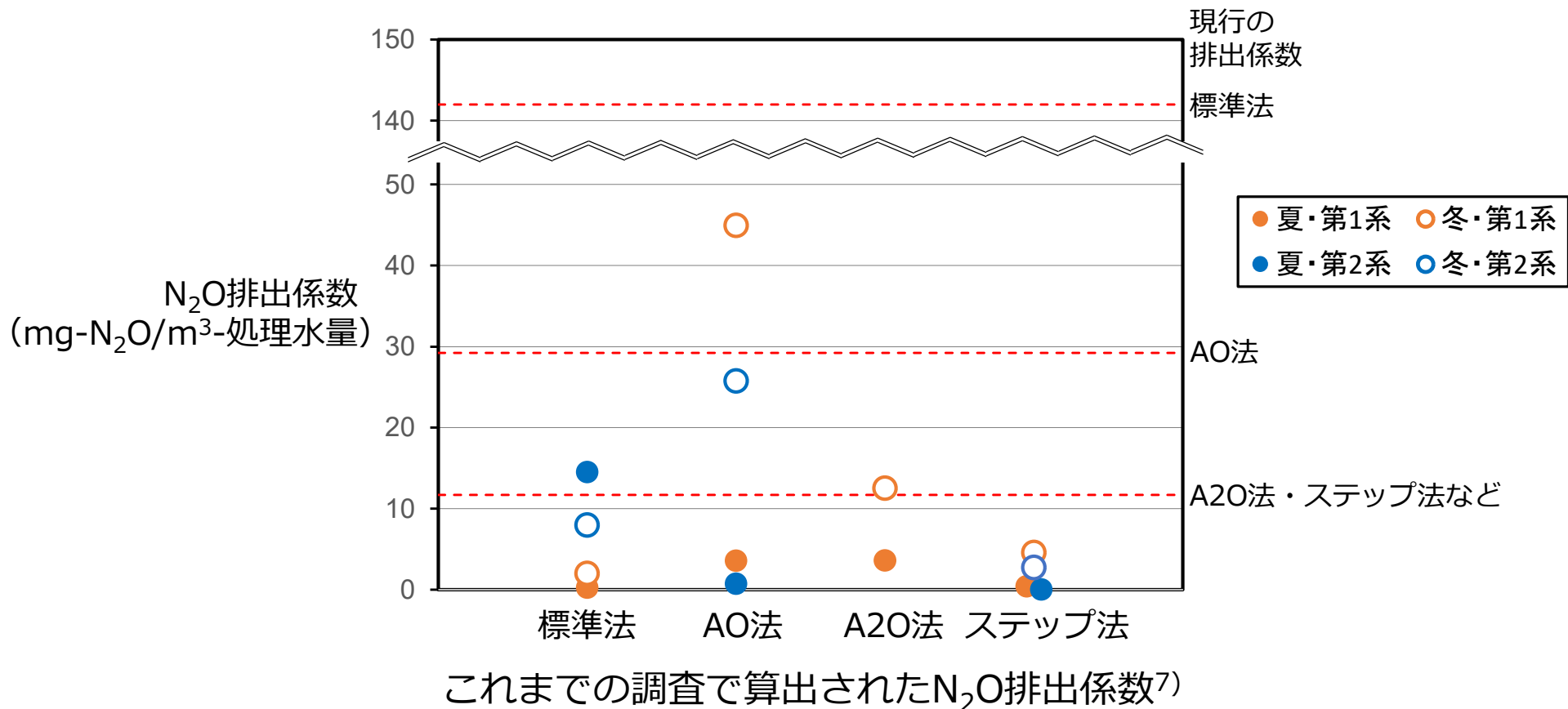
- ・標準活性汚泥法（標準法）
- ・嫌気好気活性汚泥法（AO法）
- ・ステップ流入式多段硝化脱窒法（ステップ法）

計7系列で夏・冬の2回ずつ調査を実施(今年度に春・秋を実施予定)

参考：
全国平均（処理場数ベース）
BOD 192, TN 37 mg/L⁵⁾

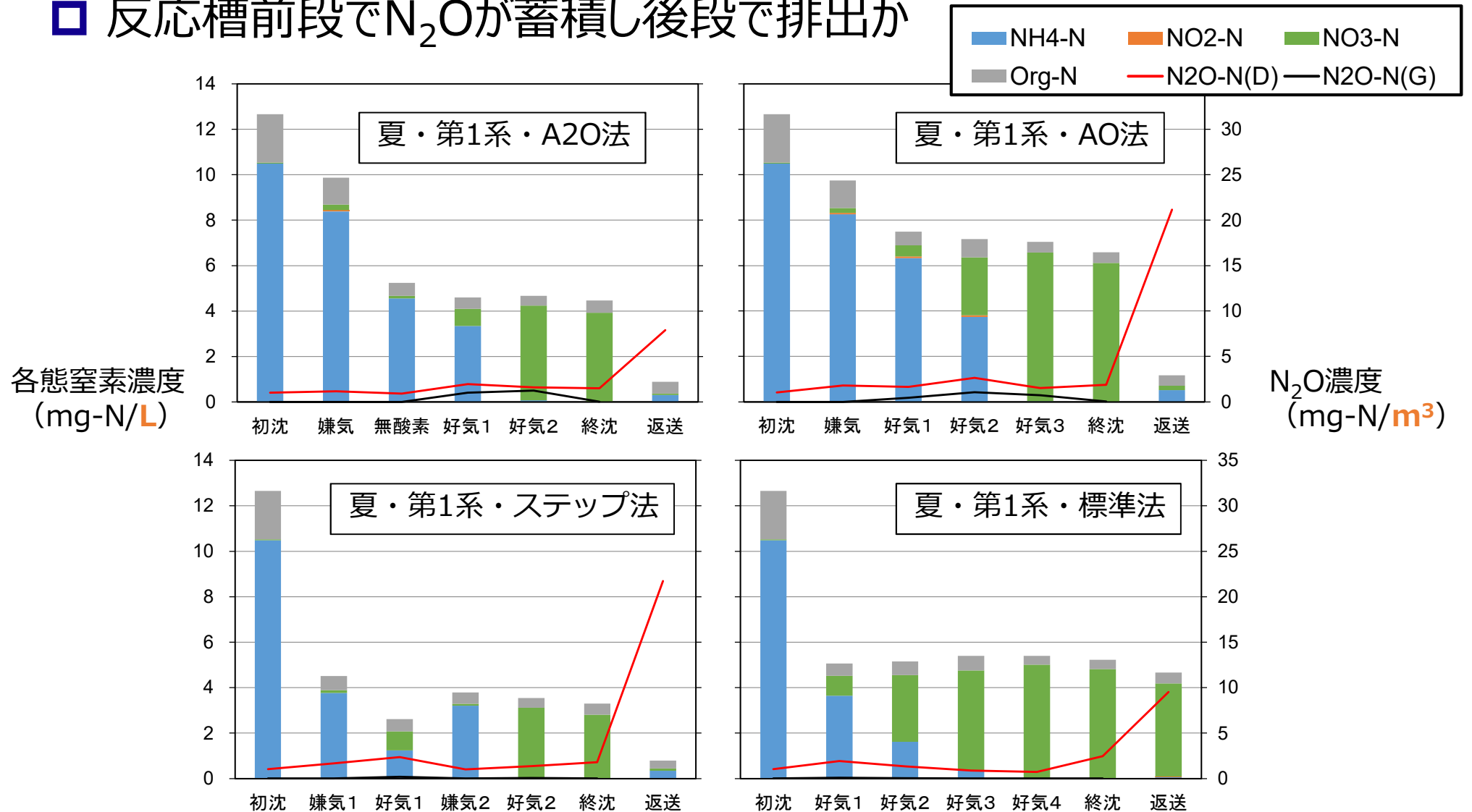
3. 令和3年度の調査結果 -処理方式の比較:排出係数の算出-

- 各系列の全体から排出されるN₂Oの総量を処理水量で除すことにより排出係数を算出
- 全体として冬>夏の傾向
- AO法、A2O法と比較して標準法で小さい→現行の係数と逆の結果



3. 令和3年度の調査結果 -処理方式の比較:各態窒素との関係-

- 流入水中のアンモニア性窒素は反応槽で完全硝化
- 反応槽前段でN₂Oが蓄積し後段で排出か



目次

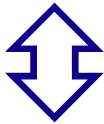
1. はじめに
2. 国総研におけるN₂O調査の概要
- 3. 令和3年度の調査結果**
 - 3.1 擬似嫌気好気法による運転について
 - 3.2 処理方式による排出量の比較について
 - 3.3 N₂O自動測定機の活用について**
4. 今後の取り組み

3. 令和3年度の調査結果 –連続測定:24時間調査との比較–

- N₂O排出量の時間変動に対応するため、24時間調査を実施してきたが問題点が多くある
 - ・サンプル量や作業量が多く人件費がかかる
 - ・1年間の中の数日のデータしか取れず，日変動や降雨の影響が分からない



- N₂Oの自動測定機を用いた連続モニタリングの適用を検討
 - ・海外の論文で調査結果が報告され始めている
 - ・国内ではまだ結果の報告は少ない（秋田高専のグループなど⁸⁾）
 - ・処理場からのN₂O排出量を数分単位で連続モニタリング可能



デメリットとしては

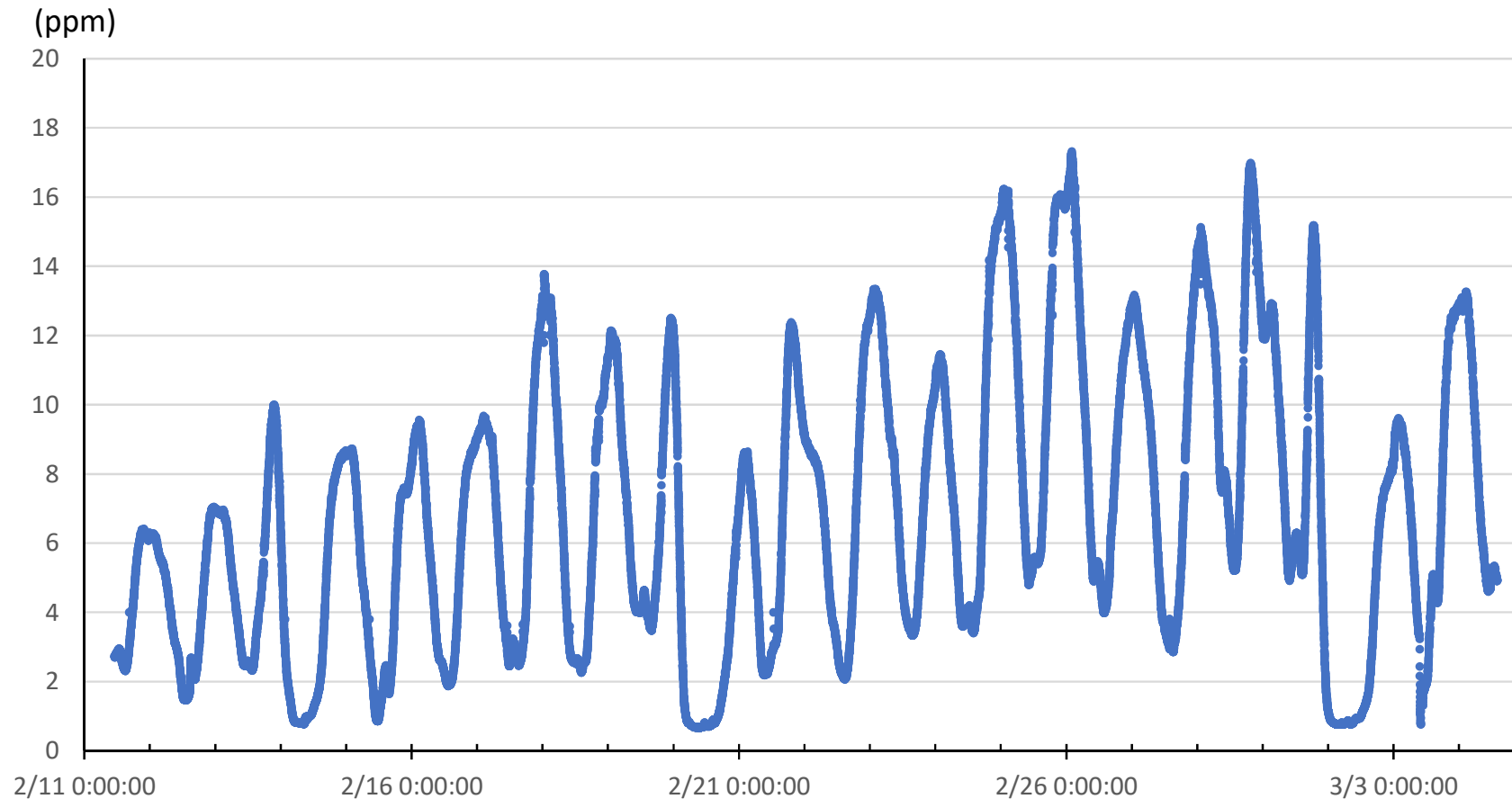
- ・覆蓋があり排気ガスの経路が簡潔な処理場でしか使えない（現時点では）
- ・装置が高価で，昨今の半導体不足で装置の台数が少ない

3. 令和3年度の調査結果 –連続測定:調査結果–

□ 2022年2～3月に約3週間連続モニタリングを試験的に設置

(完全に覆蓋されたAO方式およびA₂O方式の反応槽からの排気ガスを分析)

- ・24時間毎の周期がきれいに見える
- ・今年度は、より期間を長くして調査し、降雨の影響や季節変動などを見ていく



N₂O連続モニタリングの結果

目次

1. はじめに
2. 国総研におけるN₂O調査の概要
3. 令和3年度の調査結果
 - 3.1 擬似嫌気好気法による運転について
 - 3.2 処理方式による排出量の比較について
 - 3.3 N₂O自動測定機の活用について
- 4. 今後の取り組み**

4. 今後の取り組み

処理場からの排出量実態把握に向けて

- 処理方式ごとの排出量比較調査（継続・R4）
- 自動測定機によるN₂Oの長期間連続モニタリング（R4）
- 栄養塩管理に関する季別運転のN₂O排出量への影響調査（R5以降）
- 流入・流出T-N等のパラメータとN₂O排出量との関係解析（R5以降）

低N₂O排出の運転方法の提案に向けて

- 実規模の実験プラントを用いたN₂O排出要因の解明（R5以降）
- 曝気によるエネルギー消費量とN₂O排出量との比較検討（R4）

効率的なデータN₂O調査に向けて

- 24時間調査の方法を平準化し普及展開（R4）
- 自動測定機による連続モニタリングの導入可能性の検討（R4）

参考文献

- 1) Massara et al., “A review on nitrous oxide (N₂O) emissions during biological nutrient removal from municipal wastewater and sludge reject water” Science of the Total Environment, 596–597, 106–123, 2017.
- 2) 環境省・国土交通省「下水道における地球温暖化対策マニュアル ～下水道部門における温室効果ガス排出抑制等指針の解説～」2016.
- 3) 国土技術政策総合研究所「平成24年度下水道関係調査研究年次報告書集」2014.
- 4) 道中ら「下水処理に伴うN₂O排出係数の見直しとインベントリへの反映」第51回下水道研究発表会講演集, 520-522, 2014.
- 5) 日本下水道協会「平成30年度版下水道統計」2021.
- 6) 石井ら「擬似嫌気好気活性汚泥法による下水処理からの一酸化二窒素排出量の実態調査」第59回下水道研究発表会講演集, 415-417, 2022.
- 7) 石井ら「BOD負荷の小さい下水処理場における処理方式ごとのN₂O排出量実態調査」第56回日本水環境学会年会講演プログラム, 207, 2022.
- 8) 増田ら「水処理プロセスにおける亜酸化窒素濃度の時間変動 –連続モニタリングの比較-」第58回下水道研究発表会講演集, 446-448, 2021.