

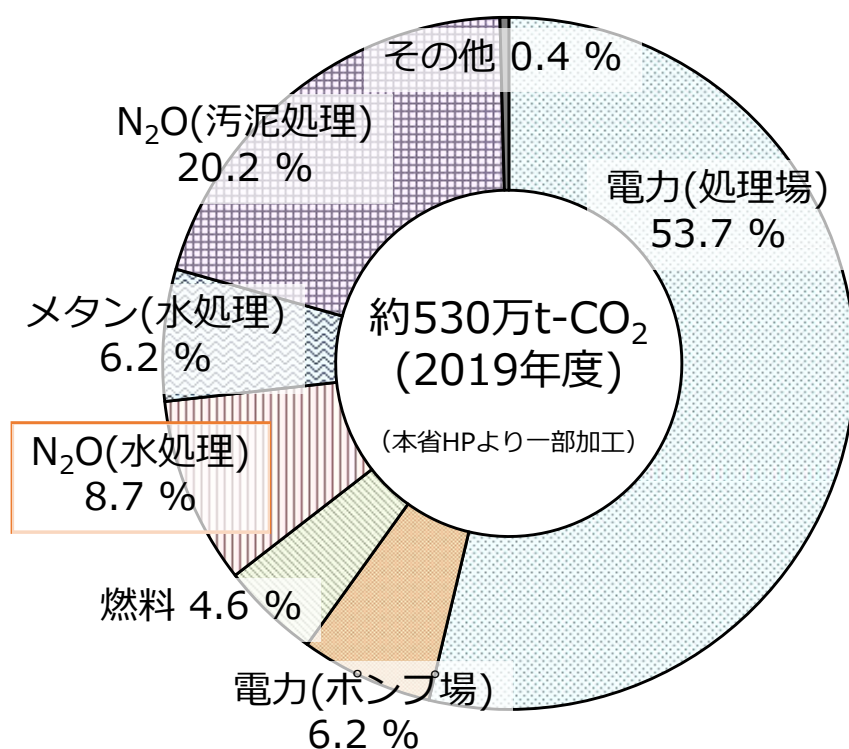
資料4

（2） N_2O 発生メカニズム・制御因子解明に向けた調査

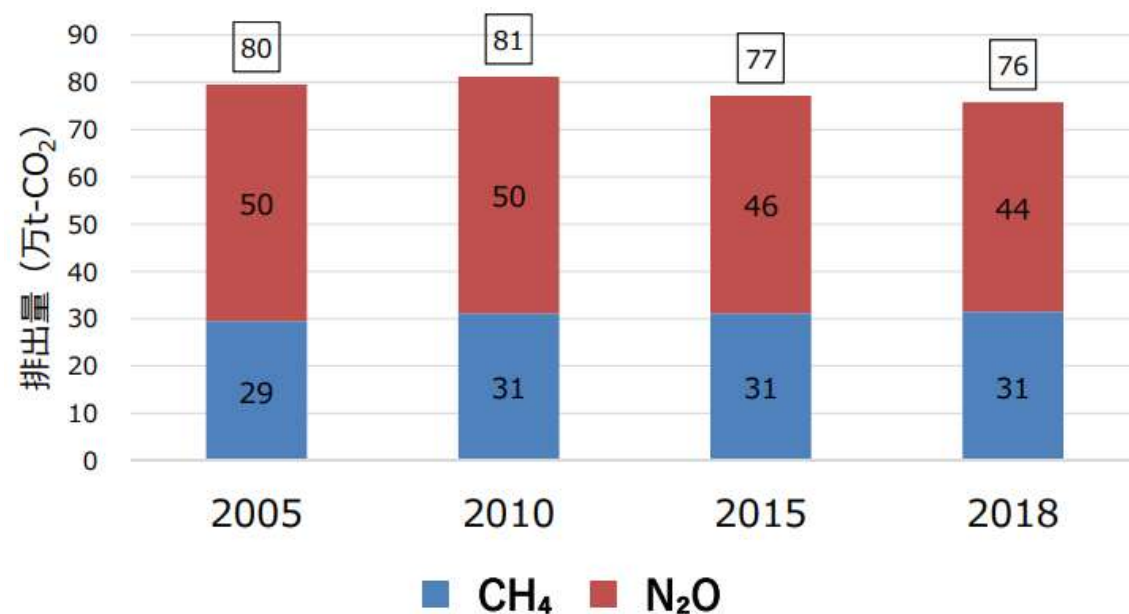
下水処理に伴い排出されるN₂O

- 下水処理に伴い排出されるN₂Oは下水道事業全体のGHG排出量の
8~9 %（約45万t-CO₂/年）を占める
- N₂Oの排出量は、処理方式ごとの「排出係数×処理水量」で推定され
過去20年間で総量としては微減（活動量の増加分と高度処理の導入による削減が相殺）

→国総研ではN₂O排出量の削減に向けた調査研究に取り組んでいる



下水道事業におけるGHG排出源の内訳



下水処理由来のCH₄、N₂Oの排出量推移
(R3年度エネルギー分科会報告書より)

N₂Oに関する調査等実施予定

		R5	R6	R7	R8
国総研主体の調査	京都市との共同調査(R3より)	市内2処理場で調査	市内1処理場で調査	成果とりまとめ★	必要に応じて継続調査
	硝化抑制/促進運転の影響調査(神戸市と共同研究)	予備調査→	垂水処理場での通年調査	★	
	<u>OD法処理場での調査</u>	エネ分での検討事項		4カ所で年3～4回調査★	
	<u>自治体主体の調査</u> (複数都市と連携)	調査計画立案→	1処理場の調査結果 調査実施 横浜市の調査結果	成果とりまとめ★	
調査方法	調査マニュアル(案)の策定	マニュアル(案)策定★	調査結果を基に改定検討	★	
	下水試験方法の改定(協会)		協会と連携		
排出係数の改定		海外事例の情報収集	新排出係数の枠組み案の作成・インベントリ会議で報告	インベントリ会議で審議の提案	改定★
<u>N₂O排出メカニズムの解明・削減方法の提案</u>		文献調査等	・微生物叢の解析→	過去調査の整理・N ₂ O増減に寄与する要因の検討	

本日の報告事項

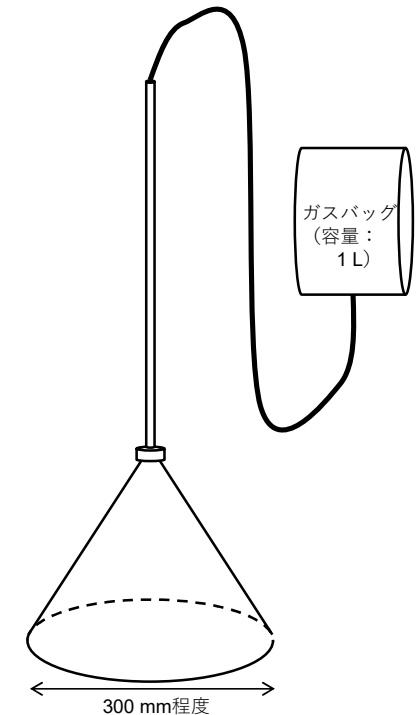
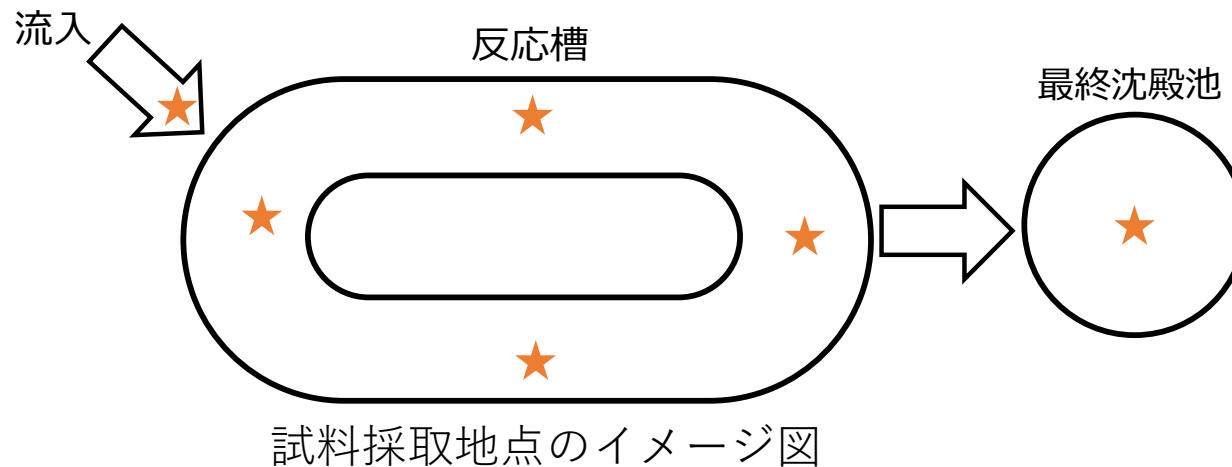
OD法の下水处理場における N₂O排出量の調査結果

OD法の下水处理場でのN₂O調査について

現行のN₂O排出係数においてOD法からのN₂O排出量は標準法と同じとされるが曝気の方法や時間が異なり、標準法とは異なる排出係数が想定される

OD法は国内で最も処理場数が多い処理方式であり、N₂O排出量を把握しておく必要性
→国総研において、R6～7年度に国内4処理場の5系列でN₂O調査を実施した

- ・各系列において3～4回の調査を実施し、季節変動を把握
- ・流入、反応槽の4地点、終沈の計6カ所でガス態・溶存態のN₂O濃度を測定
- ・1回の調査で4時間ごとに7回試料採取することで時間変動を把握
- ・水質分析（各態窒素など）も同時に行う
- ・攪拌機による空気発生量は、ガスバッグにガスが溜まる時間と接水面積から推定



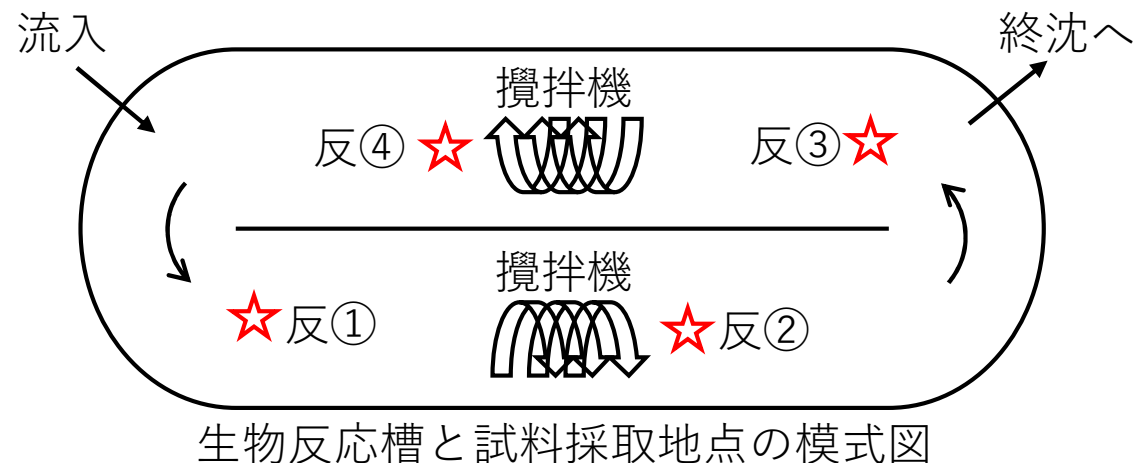
ガス試料の採取器具

OD法処理場での調査の一例【R6報告事項】

A下水処理場での調査概要

- ・日処理水量：550 m³/1系列
- ・調査日：2024/10/29-30（秋季）

※N₂O排出量が最も高く
時間変動や地点間の変動が
把握できた調査結果のため再掲



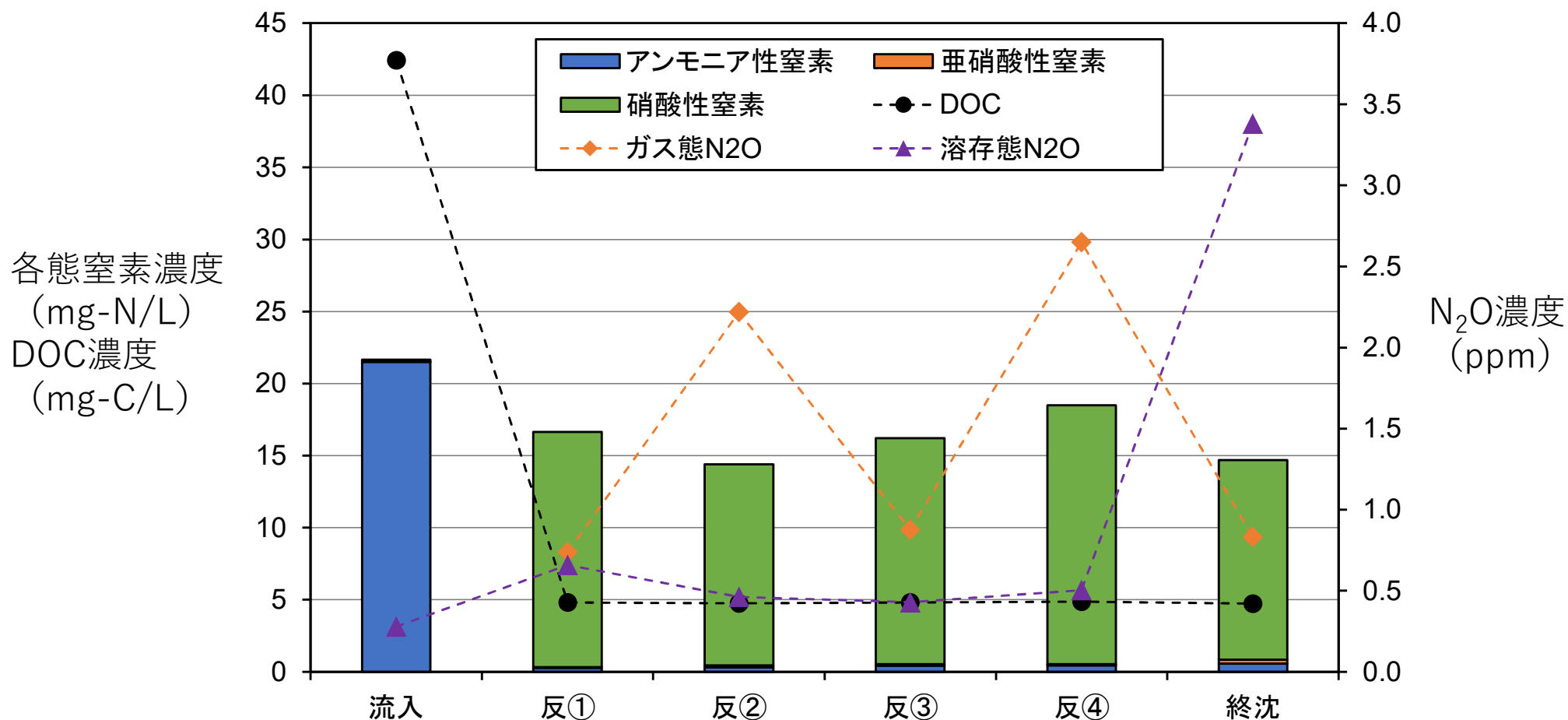
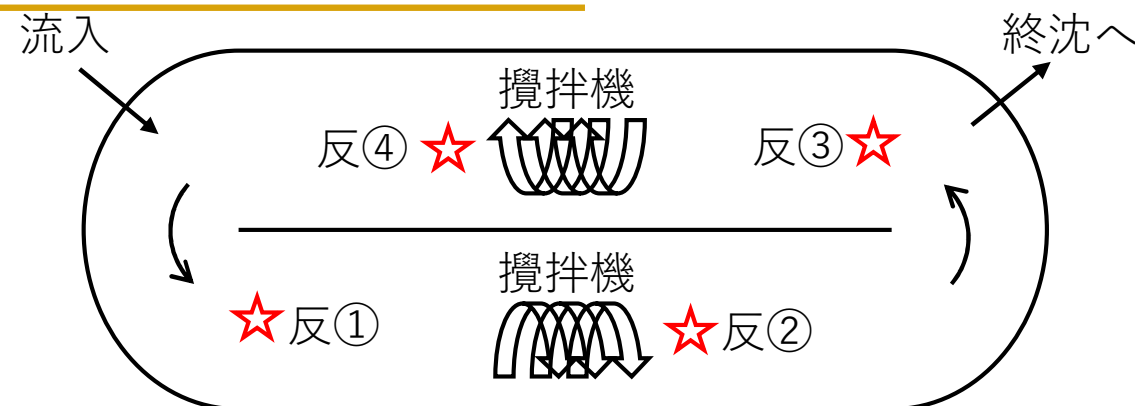
攪拌機近傍からの気体採取の様子



攪拌機の無い地点からの気体採取の様子

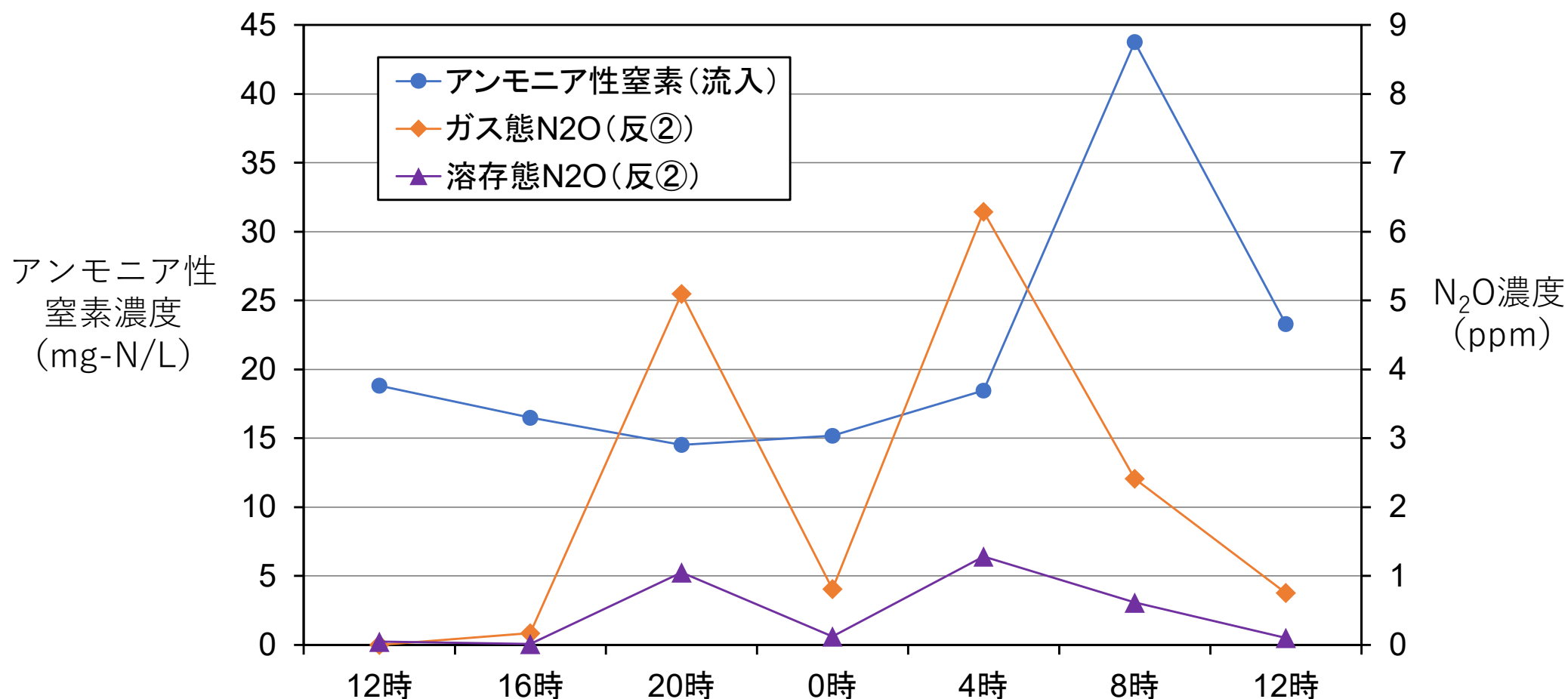
OD法処理場での場所による変動【R6報告事項】

- ・DOC, 各態窒素, 溶存態 N_2O の濃度は反応槽の場所によらずほぼ一定
→反応槽内は完全混合状態か
- ・ガス態 N_2O の濃度は, 攪拌機の近傍で高い傾向
→攪拌による大気への放出の影響か



OD法処理場での時間変動【R6報告事項】

- ・ 小規模なOD法処理場の場合、流入水の窒素濃度の時間変動が大きくなる傾向
→ 反応槽への影響や N_2O 排出量への影響が考えられるが
本処理場では流入窒素濃度と N_2O 濃度との明確な関係は不明確であった
- ・ OD法処理場の場合、攪拌機の稼働が間欠運転である場合もある
→ 時間によって好気・嫌気の状態が変動する場合があります留意が必要



OD法の下水处理場における調査の実施状況

	処理水量 (m ³ /日/系列)	曝気方式	秋期 (R6年度)	冬期 (R6年度)	春期 (R7年度)	夏期 (R7年度)
A下水処理場	550	縦軸型攪拌	10.29-30	12.11-12	6.24-25	9.11-12
B下水処理場	485	縦軸型攪拌	10.31-11.1	12.9-10	6.30-7.1	8.25-26
C下水処理場	2,430	縦軸型攪拌	11.13-14	1.21-22	実施なし	9.25-26
D下水処理場 系列①	4,055	縦軸型攪拌	11.19-20	2.13-14	実施なし	9.1-2
D下水処理場 系列②	4,055	2点DO方式				

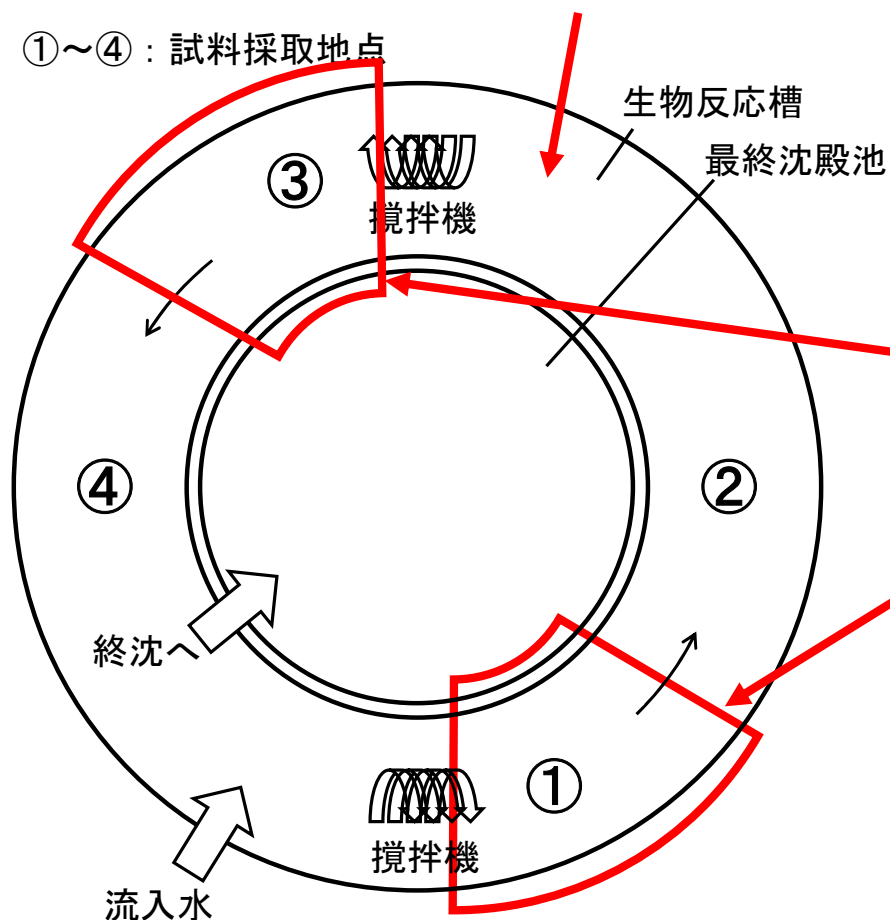
- A・B下水処理場の春期・夏期は、時間変動をより詳細に把握するため生物反応槽の1地点（攪拌機の直下流）において1時間ごとに24回の試料採取を実施
- C下水処理場の夏期は、生物反応槽の調査地点を1地点（攪拌機の直下流）のみに変更

※いずれも秋期・冬期の調査結果から地点間の変動が小さいことが確認できたため

攪拌機による空気の発生量の調査について

- ・ 攪拌機による空気の排出量を正確に把握することは困難
→簡易的に排出量を調査し， N_2O 排出係数のオーダーを把握することを目的
- ・ 一例としてB下水処理場（覆蓋がなく開放系）における曝気の様子を示す

反応槽面積：約300 m²



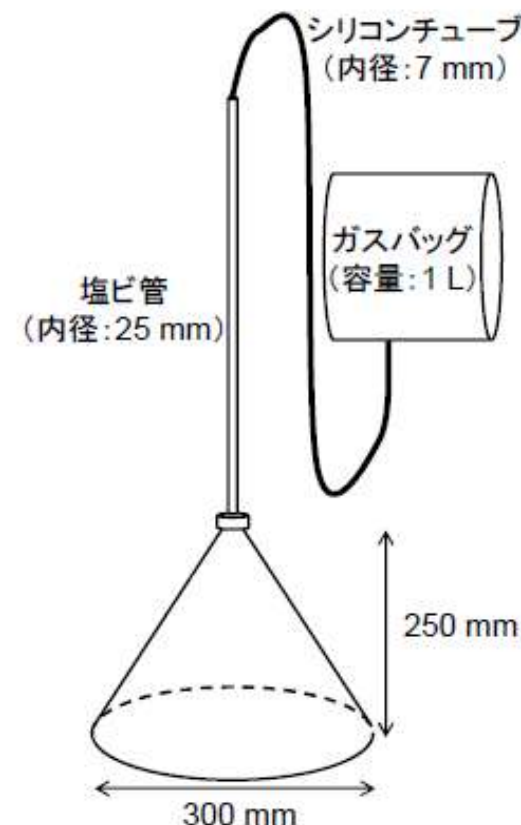
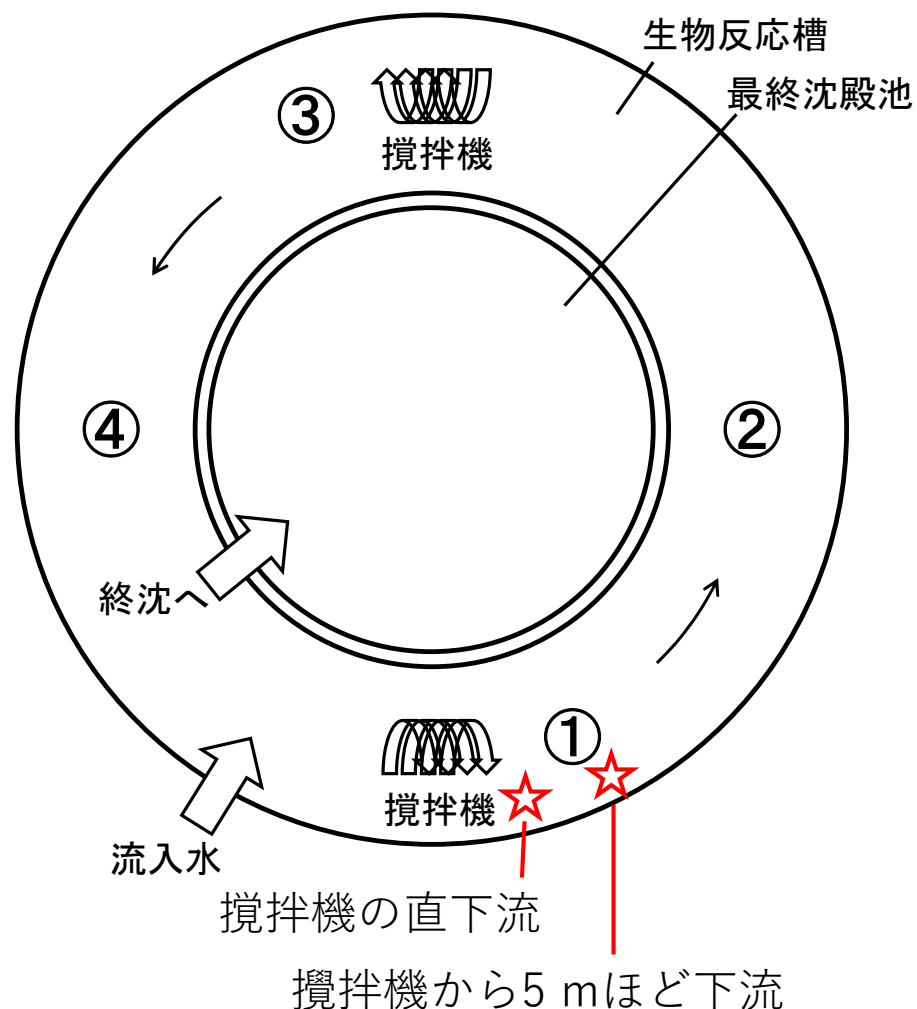
B下水処理場の生物反応槽の模式図

攪拌が行われている水面の様子

攪拌機による空気の発生量の調査について

攪拌機下流の2地点において3回ずつ空気の発生量を調査
容量1 Lのガスバッグが満杯になる時間を計測し
接水面積から単位面積あたりの空気発生量を計算

①～④：試料採取地点



B下水処理場における結果

（※攪拌機稼働時（概ね11 h/d）の発生量）

- ・ 空気の発生域：反応槽の1/4程度（目視）
→ $300 \text{ m}^2 \times 1/4 = 75 \text{ m}^2$
- ・ 空気の発生量：平均 0.47 L/s/m^2
- ・ 反応槽からの空気発生量：発生域×発生量
= $35 \text{ L/s} = 127 \text{ m}^3/\text{h}$
- ・ 送風倍率（空気発生量÷処理水量）に換算すると
2.8倍（全5系列の結果：1.3～6.0倍）

OD法下水処理場からのN₂O排出量調査結果

OD法におけるN₂O排出係数（ガス態のみ）は0.0～31.2 mg-N₂O/m³であった
生物反応槽から排出される空気中のN₂O濃度が大気中のN₂O濃度よりも
小さい場合も見られた

現行で用いられている標準法の排出係数よりも小さくOD法独自の排出係数の
必要性が示唆された

N₂O排出係数の調査結果(mg-N₂O/m³)

	秋期	冬期	春期	夏期
A下水処理場	31.2	0.9	0.0	0.0
B下水処理場	0.0	9.0	0.0	0.0
C下水処理場	0.0	0.2	-	0.0
D下水処理場 系列①	0.3	0.1	-	0.1
D下水処理場 系列②	0.0	0.3	-	1.3

参考：現行のN₂O排出係数

水処理方式	N ₂ O 排出係数 ³⁾ (水処理プロセス) [mg-N ₂ O/m ³]
標準活性汚泥法 ¹⁾	142
嫌気好気活性汚泥法	29.2
嫌気無酸素好気法及び循環式硝化脱窒法 ²⁾	11.7
循環式硝化脱窒型膜分離活性汚泥法	0.5

まとめと今後の予定、ご助言をいただきたい点

- 全5系列のOD法の下水処理場において N_2O 排出量の実態把握調査を行い
 N_2O 排出係数は $0.0 \sim 31.2 \text{ mg-}\text{N}_2\text{O}/\text{m}^3$ であった
現行の標準法の排出係数との乖離が確認できたため
OD法独自の N_2O 排出係数の設定に向けて検討を進めていく
- 小規模な（処理水量 $500 \text{ m}^3/\text{日}$ 程度）OD法の下水処理場においては
生物反応槽を完全混合槽とみなして調査地点を1～2地点
（現行の調査マニュアル案では「3地点以上」と記載）
としても処理系列を代表する調査結果を得られることが示唆された
- 上記の点や、OD法における生物反応槽からの空気排出量の把握方法について
調査マニュアル案の改定・追記を行う

【ご助言をいただきたい点】

- OD法における N_2O 調査方法に関する改善点について
- 発生空気量に関する考え方や、調査データの計算や整理の仕方について

国総研における過去の調査結果の再整理と N₂Oの増減に寄与する要因の検討

国総研におけるN₂O調査状況

国総研では2010～2019年にかけて
17府県の28カ所の下水処理場（計38種類の処理系列）を
対象に計46回のN₂O排出量の実態把握調査を実施してきた
（基本的に1系列で1度の調査のため季節変動は把握できていない）

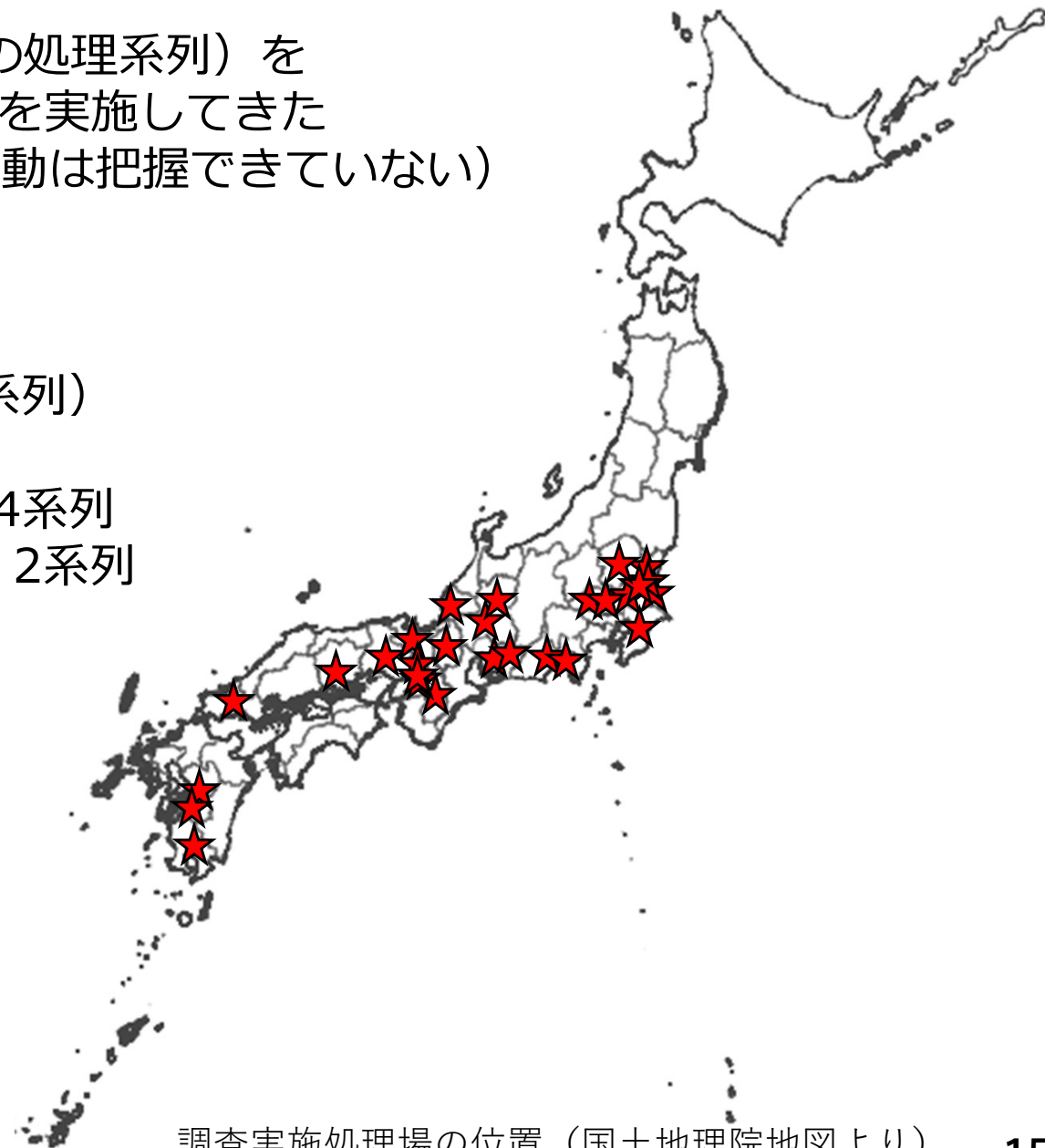
調査対象系列

- ・標準活性汚泥法：20系列
（擬似AO法等の段階的高度処理法：10系列）
- ・嫌気無酸素好気法（AO法）：7系列
- ・高度処理法（A2O法やステップ法等）：4系列
- ・オキシデーションディッチ法（OD法）：2系列
- ・MBR法：5系列



これらの調査結果を再整理することで
処理方式やNH₄-N除去率とN₂O排出量との
関係を明らかにすることを目的した

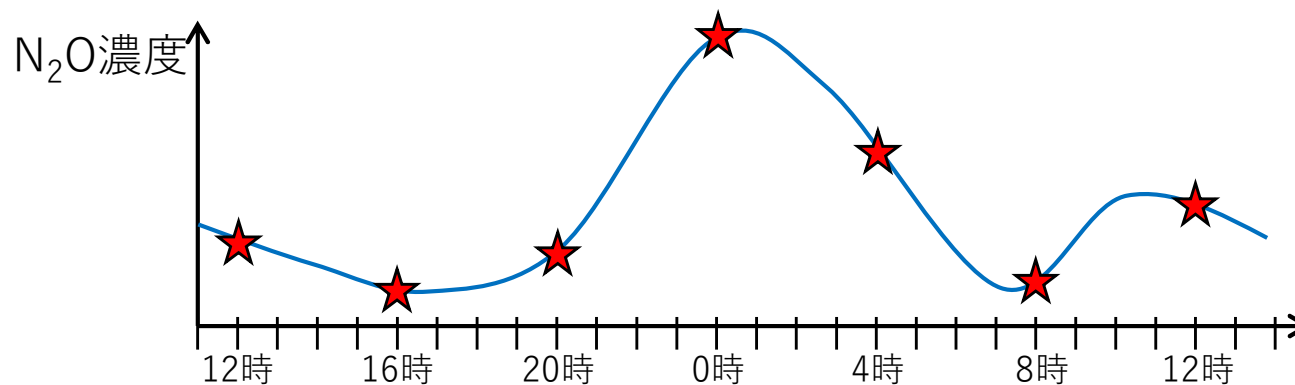
※調査結果は下水道関係調査研究
年次報告書集等で公開している



調査実施処理場の位置（国土地理院地図より）

N₂O排出量調査の方法

- ・ 生物反応槽等から気体試料を採取する24時間調査を実施（測定地点・採取回数は調査によって異なる）
- ・ 採取した試料中のN₂O濃度をガスクロECDで分析
- ・ 溶存態N₂O濃度や各態窒素等の水質分析も合わせて実施



N₂O排出量の時間変動を考慮した試料採取のイメージ図



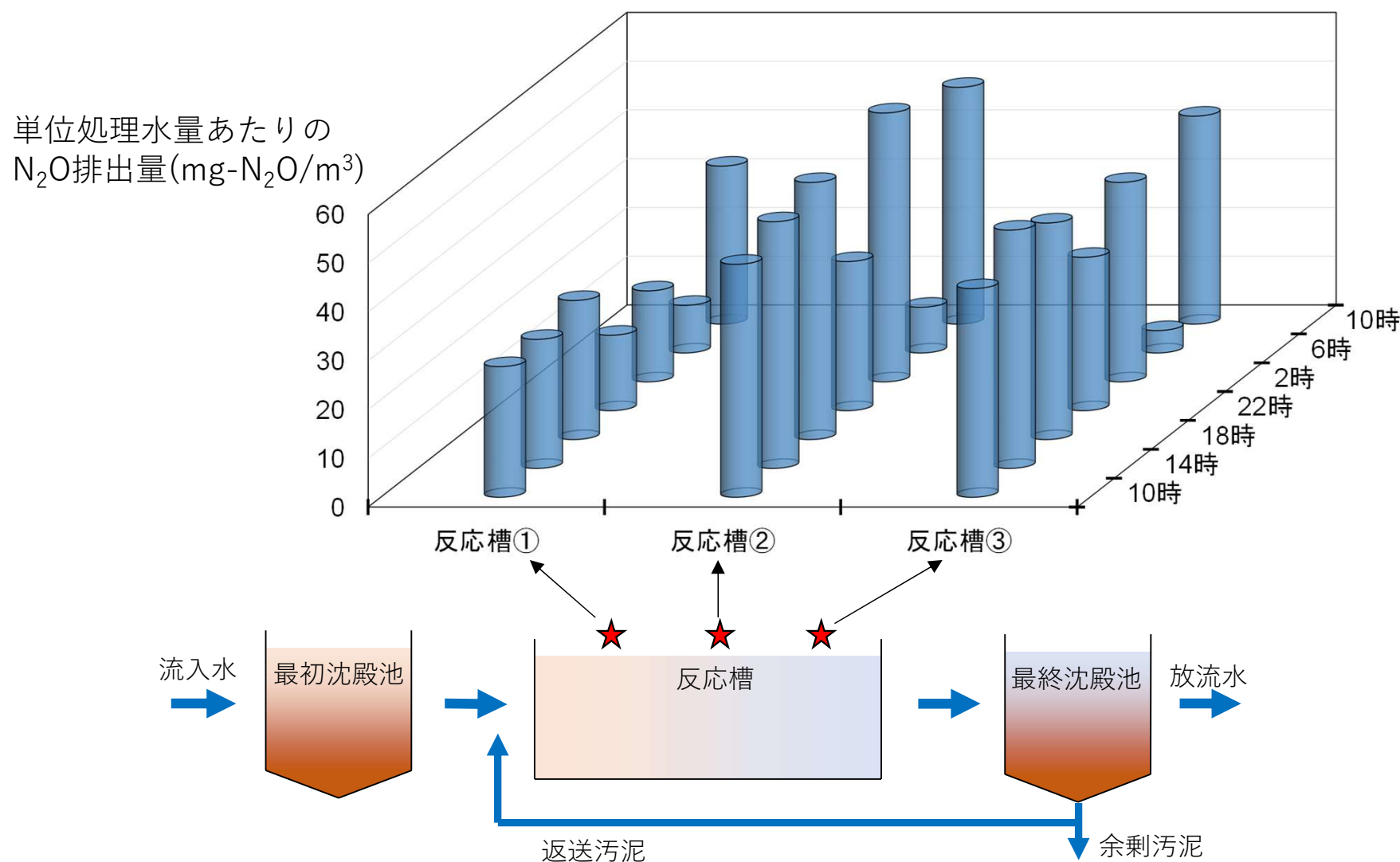
N₂O排出量の空間変動を考慮した試料採取のイメージ図

調査結果の一例

各調査において N_2O 排出量の時空間変動を把握

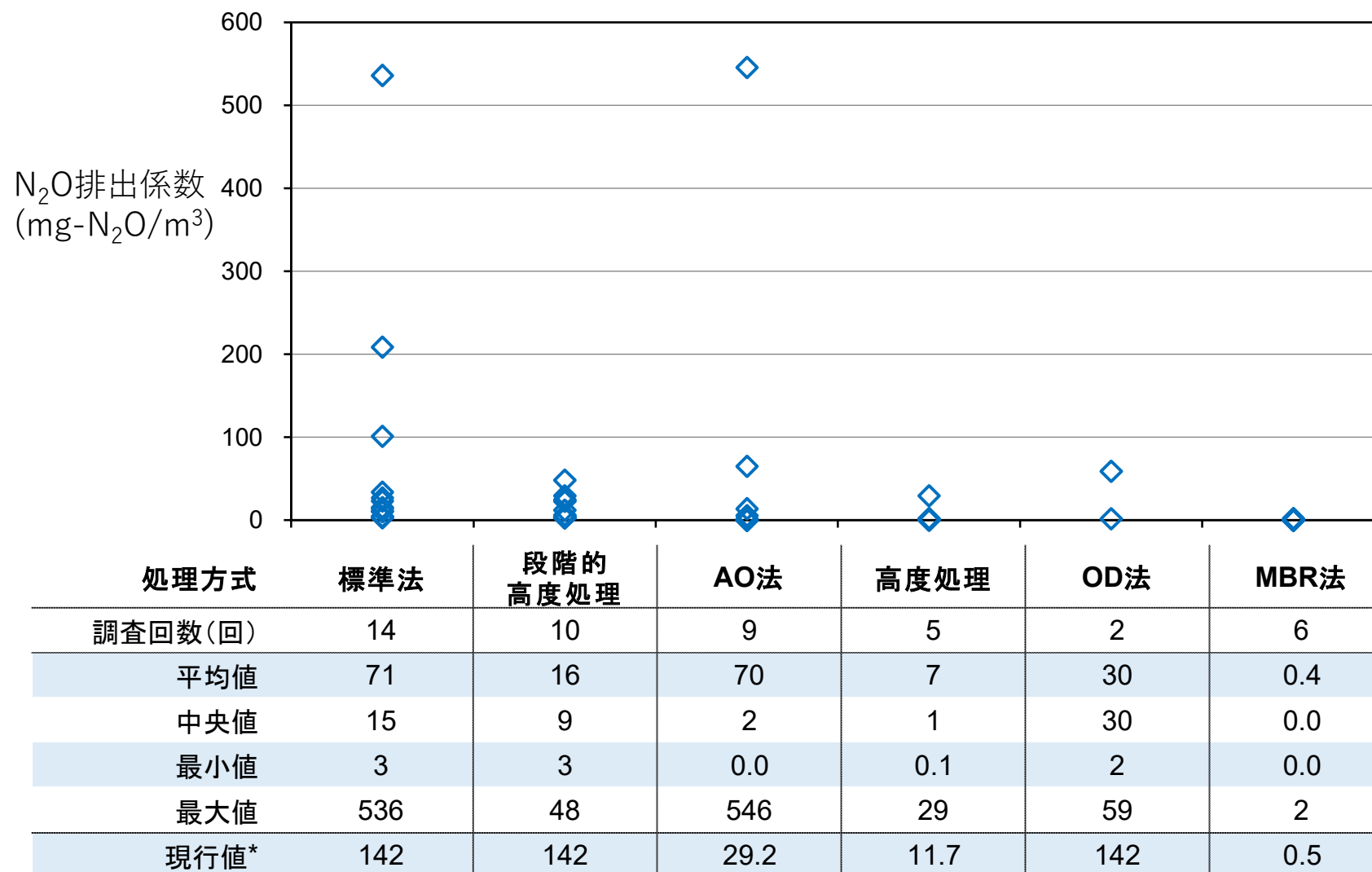
→ N_2O 排出係数を算出

この一例の系列の場合：101 $\text{mg-N}_2\text{O}/\text{m}^3$ （単純平均により算出）



N₂O排出係数の調査結果

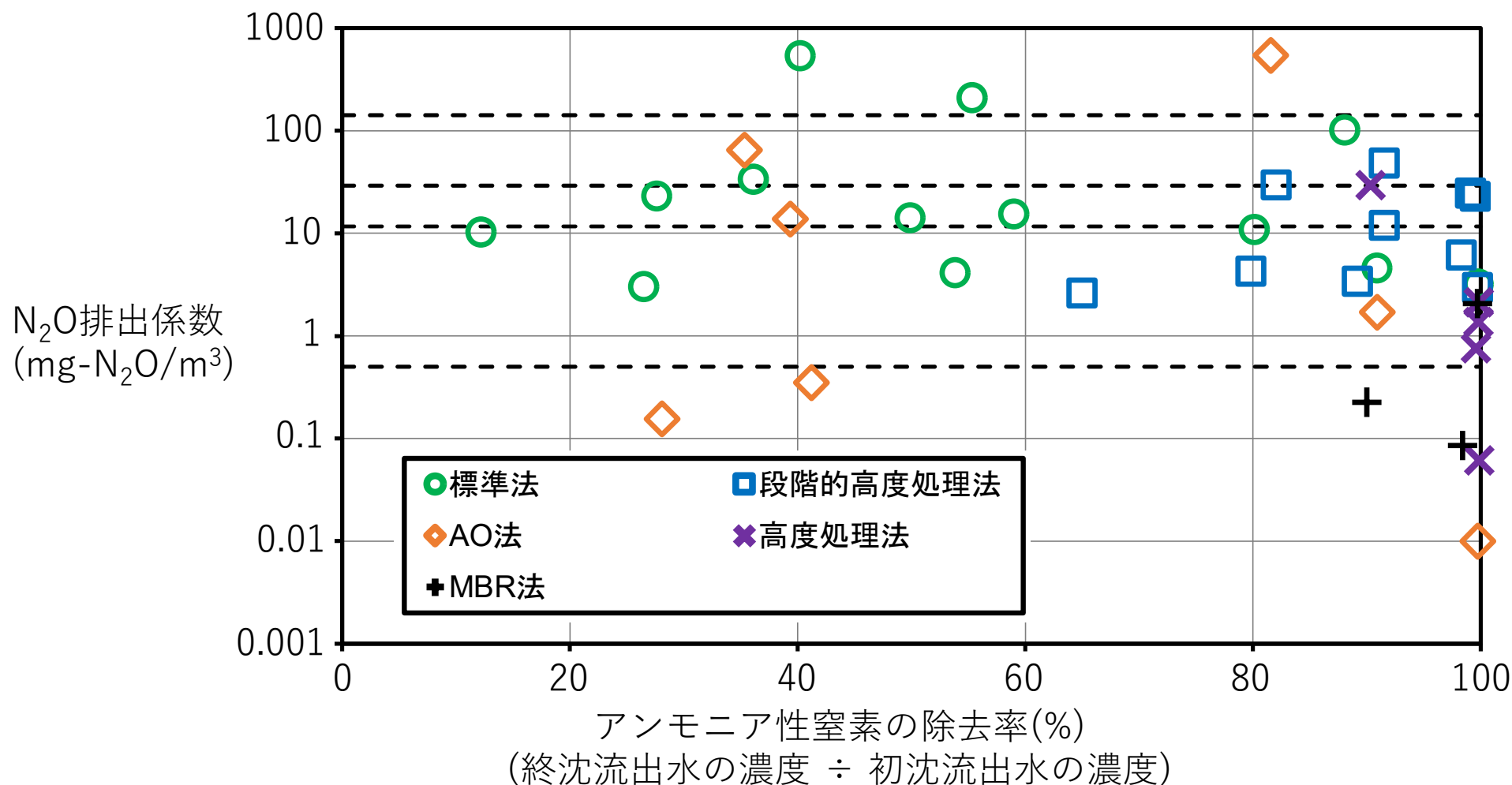
- ・標準法やAO法では処理系列によってN₂O排出係数が大きく異なる
 - ・高度処理法や段階的的高度処理法（疑似AO法）では安定してN₂O排出係数が小さい
- ※本結果は季節変動が考慮されていない点に留意が必要



*現行値：インベントリ報告書で使用されているN₂Oの排出係数

N₂O排出量とNH₄-N除去率との関係

アンモニア性窒素の除去率 > 98 %（≒完全硝化）の場合N₂O排出係数は安定して小さい
標準法やAO法では、部分的な硝化が行われている系列がほとんどであったが
そのような系列が必ずしもN₂O排出係数が大きいわけではなかった
→亜硝酸型の硝化など他の要因が影響が考えられる

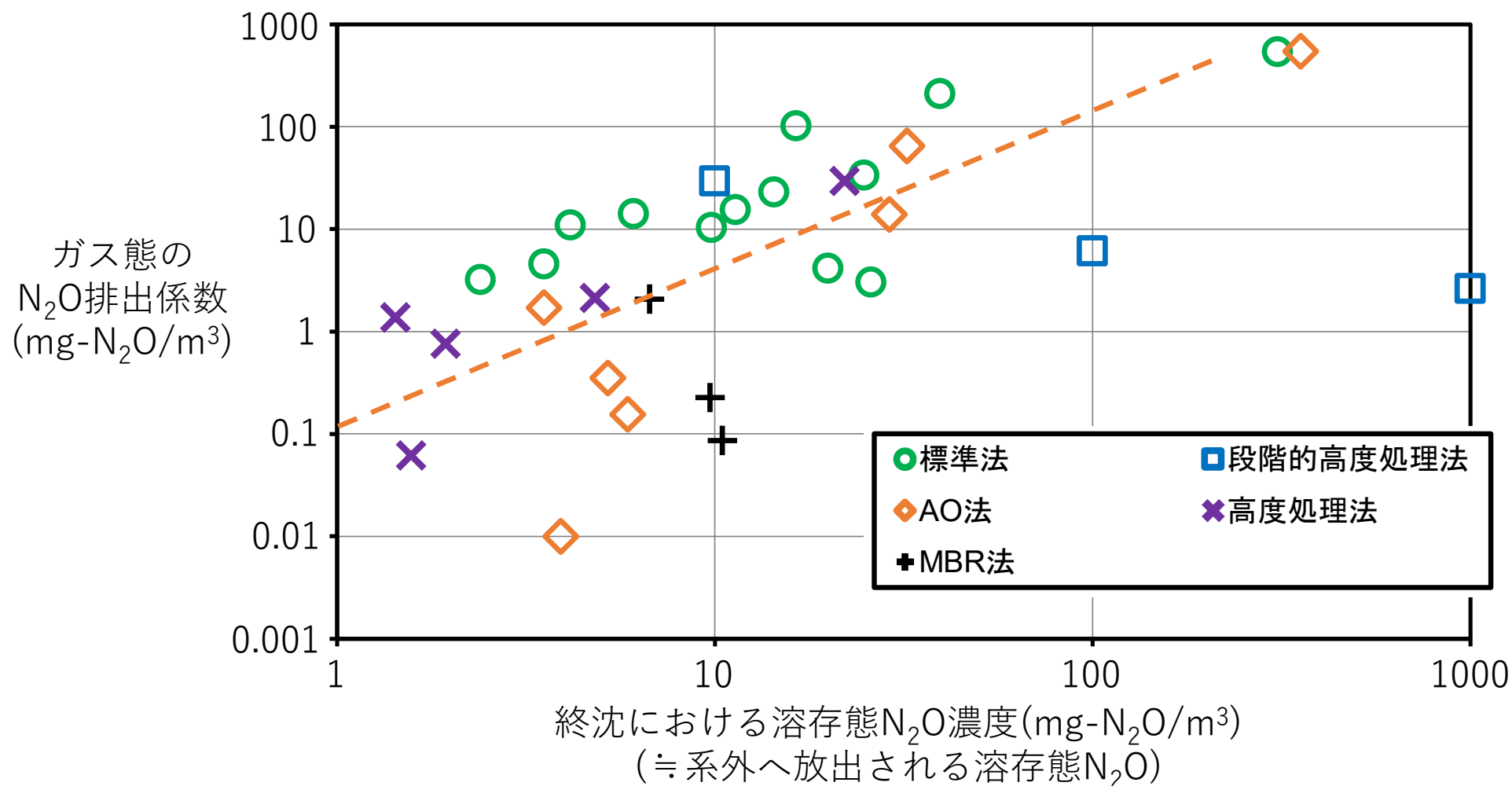


溶存態 N_2O との関係

ガス態と溶存態の N_2O 排出量には処理方式によらず一定程度の相関がある可能性

→測定が困難なガス態 N_2O の排出量を実施せずとも

より測定が簡易な溶存態 N_2O 濃度の測定により N_2O 排出係数を推定できる可能性



まとめと今後の予定、ご助言をいただきたい点

- 段階的高度処理（疑似AO）、高度処理、MBRは安定して N_2O 排出量が小さい
→ 標準法を段階的高度処理等に切り替えることで N_2O 排出量を高度処理と同等に抑制できる可能性
- 完全硝化が行われている系列においては N_2O 排出係数が安定して小さい
部分的な硝化が行われていた標準法とAO法の系列では、アンモニア性窒素の除去率と N_2O 排出量との間に明確な相関は見られなかった
→ 亜硝酸型の硝化など硝化の過程が影響している可能性
- 今後、2020年以降の調査結果や他団体における N_2O 調査結果も含めて同様の結果整理を行い、 N_2O 排出量の抑制や排出係数の改定に向けた検討を進めていく

【ご助言をいただきたい点】

- N_2O 調査結果の外れ値の取り扱いについて
- ガス態 N_2O と溶存態 N_2O の排出量の関係の整理方法について