

# 下水道の長期的技術開発に 関する基礎調査

## —下水道施設における地球温暖化原因物質の実態調査—

### 1. はじめに

平成4年度の「下水道の長期的技術開発に関する基礎調査 報告書—地球温暖化ガスへの対応」において、下水道における地球温暖化問題への対応について、正確な実態把握と基本的事項の解明および測定技術の向上や実測データの集積が必要であることが指摘された。

これを受け、平成5年度から現地実態調査を実施し、二酸化炭素（ $\text{CO}_2$ ）、メタン（ $\text{CH}_4$ ）、一酸化二窒素（ $\text{N}_2\text{O}$ ）の温暖化ガス発生量と周辺データの集積に努めた。

平成5年度は汚泥処理プロセスを含む、各処理プロセスからの温暖化ガス発生量調査を平成6年1月から2月にかけて全国5箇所の終末処理場を対象に実施（以降“H5冬季調査”とする。）し、基礎的データを集めることができた。この調査結果は「下水道の長期的技術開発に関する基礎調査報告書 平成6年3月（平成5年度）」において報告されている。

平成6年6月には前記H5冬季調査で特異な値を示したと考えられる施設に対して改めて調査を実施した（以降“予備調査”とする）。その結果特異な値を与えた要因がいくつか抽出され、今後の施設運転方法への反映の可能性が示された。

平成6年7月から8月にかけて、夏季の実態調査を行った（以降、H6夏季調査とする）。前記、H5冬季調査を行った終末処理場のうち2箇所を継続

調査し、新たに1箇所を追加した。新たに追加した終末処理場については、平成6年12月に冬季調査（以降“H6冬季調査”とする）を実施した。また、平成5、6年度の調査結果をもとに日本全国における下水処理場からの地球温暖化ガス発生量の試算を行った。そして、それまでの調査結果を総括して課題と展望について検討を加えた。

平成7年度は、平成5、6年度の調査結果を受けて、水処理施設（エアレーションタンク）から発生する $\text{N}_2\text{O}$ に着目し、処理場の運転管理方式による発生量の違いについて調査した。対象とした処理場には、技術開発連絡会議のメンバーが有する処理場に対して、処理方式・運転管理方式・水質等に関するアンケートを実施し、硝化の程度により3処理場を抽出した。これら3処理場について夏季および冬季の実態調査を行い（以降“H7夏季調査”および“H7冬季調査”とする）、エアレーションタンクからの $\text{N}_2\text{O}$ 発生量と水質との関係について検討した。

本文は平成7年度の調査結果を中心に以上の実態調査を総括して報告するものである。

### 2. 調査の目的

#### 2.1 調査対象

調査対象は、エアレーションタンクからの $\text{N}_2\text{O}$ 発生量と水質等のバックデータとした。また、脱臭施設による $\text{N}_2\text{O}$ の削減効果についても調査した。

## 2.2 調査項目

調査項目を表1に示す。

表-1 調査項目

項目	内 容
ガス	<ul style="list-style-type: none"> <li>・エアレーションタンクから発生するN<sub>2</sub>O</li> <li>・脱臭施設前後でのN<sub>2</sub>O濃度</li> <li>・排気ダクト風量</li> </ul>
水質	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水温, pH, DO, MLSS</li> <li>溶解性BOD, Mアルカリ度</li> <li>T-N, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N</li> </ul>
運転状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>・流入水量</li> <li>・排気ダクト排風量</li> </ul>

## 3. 調査対象処理場の選定

平成6年度までの調査でエアレーションタンクからのN<sub>2</sub>Oの発生については、硝化の程度が関係していることが指摘され、今年度の調査では、この点に着目し、亜硝酸型硝化運転、硝酸型硝化運転および硝化脱窒運転の3タイプの処理場を選定することとした。

調査対象処理場の選定には下水道技術開発連絡会議のメンバーである各都市が有する処理場に対して、アンケート型式により通日試験等の水質分析結果を収集し、全13都市46処理場の中から3タイプの処理場を選定した。

### 3.1 亜硝酸型硝化運転の処理場の選定

平成5, 6年度の実態調査結果で、A, EおよびF終末処理場の水質データを見ると、一酸化二窒素の発生に関連が強いと考えられる項目は亜硝酸性窒素(NO<sub>2</sub>-N)濃度および硝酸性窒素(NO<sub>3</sub>-N)濃度である。(表-2)

表-2 平成5, 6年度の実態調査結果

硝化度合	処理場名 調査時季	NO <sub>2</sub> -N (mg/ℓ)		NO <sub>3</sub> -N (mg/ℓ)		NO 換算値 (kg/10万 ㎡)
		流入水	処理水	流入水	処理水	
硝酸型	A 冬季	0.0	0.4	0.1	12.5	2.07
	A 夏季	0.4	0.5	0.4	14.3	5.21
亜硝酸型	E 夏季	< 0.1	0.2	< 0.1	3.3	2.50
	E 冬季	< 0.1	1.1	< 0.1	1.3	320
	E 予備	< 0.1	0.2	< 0.1	6.1	33.8
	F 夏季	0.0	1.8	0.0	1.0	29.4
	F 冬季	0.0	1.2	0.0	6.0	105

亜硝酸型硝化運転の処理場の選定条件としては、各処理場で測定しており、かつ検討が容易であることが望ましいことを考えると、NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N濃度に着目し処理水中のNO<sub>3</sub>-N濃度が一桁台のものを選定し、その中から処理水中のNO<sub>2</sub>-N濃度が1.0mg/ℓ程度またはそれ以上の処理場を選定する。

各運転方式別の選定条件を表-3に示す。

表-3 運転方式別の選定条件(単位: mg/ℓ)

処理水水質	硝酸型	亜硝酸型	硝化脱窒型
NH-N	低い	比較的高い	低い
NO <sub>2</sub> -N	≤1.0	≥1.0	低い
NO <sub>3</sub> -N	≥5.0	≤5.0	低い

### 3.2 調査実施上の処理場の選定条件

エアレーションタンクでのN<sub>2</sub>O発生量および水質を測定するため、処理場の選定には次に示す条件を基本条件とした。

<基本条件>

- ① エアレーションタンクにカバーおよび排気ダクトを有し、排気ファンにより強制排気している。
- ② エアレーションタンク1池につき複数の排気ダクトを有する。(上下流2ヶ所以上)
- ③ ダクトの排風量を正確に把握できる。
- ④ 採水が容易である。(上下流)
- ⑤ エアレーションタンク1池当たりの流入水量が把握できる。

### 3.3 調査対象処理場の選定

アンケートの回答から、エアレーションタンクのカバー、排気ダクト、サンプリング孔の有無等からサンプリングに適した処理場を選び、水質データから亜硝酸型、硝酸型、硝化脱窒型の調査対象候補の処理場を抽出し分類整理した。

調査対象には下記に示す計14処理場が候補に上がり、その中から各タイプ1処理場ずつ、表-4に示す処理場を選定した。

亜硝酸型運転 4 処理場  
 硝酸型運転 6 処理場  
 硝化脱窒型運転 4 処理場

F処理場は平成6年度調査から継続しており、G, H処理場は平成7年度に新規に選定した所である。

表-4 調査対象処理場タイプおよびその選定基準

処理場タイプ	水処理方式	選定基準	本調査選定処理場
亜硝酸型	標準活性汚泥法	<ul style="list-style-type: none"> <li>放流水中のアンモニア性窒素濃度が比較的高く硝化が不十分である。</li> <li>放流水中の硝酸性窒素濃度が5mg/ℓ以下と低い。</li> <li>放流水中の亜硝酸性窒素濃度が1mg/ℓ以上と高い。</li> </ul>	F終末処理場
硝化脱窒型	嫌気好気法	<ul style="list-style-type: none"> <li>放流水中のアンモニア性窒素濃度が低く硝化が進んでいる。</li> <li>放流水中の硝酸性窒素濃度が低い。</li> <li>放流水中の亜硝酸性窒素濃度が低い。</li> <li>循環式硝化脱窒法、嫌気好気法等の硝化脱窒の効果が期待される運転を行っている。</li> </ul>	G終末処理場
硝酸型	標準活性汚泥法	<ul style="list-style-type: none"> <li>放流水中のアンモニア性窒素濃度が低く硝化が進んでいる。</li> <li>放流水中の硝酸性窒素濃度が10mg/ℓ程度と高い。</li> <li>放流水中の亜硝酸性窒素濃度が0.5mg/ℓ以下と低い。</li> </ul>	H終末処理場

## 4. 調査方法

### 4.1 測定頻度

夏季（平成7年8月）および冬季（平成8年1月から2月）に処理場の通日試験と日程を合わせて調査を実施した。前年度までの調査と同様24時間連続とし、より詳細なデータを得るため通日試験に合わせて2時間毎のサンプリングとした。

### 4.2 分析項目

分析する検体数は各調査項目につき調査箇所1箇所当たり12検体（2時間毎24時間分）とし、コンボジットせず全て分析した。（表-5）

その他の項目は、現地計測結果および処理場通日試験結果による。

表-5 分析項目

ガス	N <sub>2</sub> O
水質	溶解性BOD, Mアルカリ度, T-N, NH <sub>4</sub> -N, NO <sub>2</sub> -N, NO <sub>3</sub> -N

### 4.3 サンプリングおよび測定方法

#### 4.3.1 ガスサンプリング

エアレーションタンク排気ダクトの点検孔から、採気箱を用いてテドラーバッグに捕集し、同時に排気ダクト内の風速を測定する。風速測定は風向に対して直角方向にダクト内の3点を測定し、平均風速を得るものとした。

#### 4.3.2 採水

1) 採水した試料は、沈殿ろ過により固形物を分離し、ろ液を測定対象毎に分割した。窒素分測定用試料については固定して分析まで冷蔵保管した。

① 活性汚泥の沈降性が悪い場合には、短時間で所定量の試料が確保できる遠心分離器を使用することとした。分離時間は、3,000rpmで10分を目安とした。遠心分離器は、各処理場所有のものを借用するものとした。

② フィルターには“5C (FILTER PAPER ADVANTEC TOYO)”を使用した。

③ ろ過速度をあげるために5Aのフィルターでろ過した後、5Cでろ過した。また、ろ過速度の状況から遠心分離器の分離時間を5分程度とした。

④ 5Cのフィルターでろ過したため、分析する水質項目のうちBODは溶解性BODのみとした。

2) 窒素分測定用試料の固定方法は、下水試験方法による。

## 5. 調査結果

### 5.1 エアレーションタンクからのN<sub>2</sub>O発生量

水量当たりのN<sub>2</sub>O発生量をこれまでの調査結果をまとめて表-6に示す。

表-6 調査結果比較 (N<sub>2</sub>O発生量)

処理場名	調査時期	水量あたりN <sub>2</sub> O発生量 (g/m <sup>3</sup> )
A	H 5 冬	0.021
	H 6 夏	0.052
B	H 5 冬	0.015
C	H 5 冬	0.015
D	H 5 冬	0.104
E	H 5 冬	3.203
	H 6 夏	0.023
F	H 6 夏	0.284
	H 6 冬	1.051
	H 7 夏	2.679
	H 7 冬	0.355
G	H 7 夏	0.012
	H 7 冬	0.012
H	H 7 夏	0.017
	H 7 冬	0.195

### 5.2 発生量と水質との関係

平成6年度の調査でN<sub>2</sub>O発生量とDOとの高い相関が示された。また、N<sub>2</sub>O発生にはDOと亜硝酸性窒素(NO<sub>2</sub>-N)の動態に着目する必要性が指摘され、今年度の調査でもN<sub>2</sub>O発生量と水質との関係について検討した。

F終末処理場においてはN<sub>2</sub>O発生量とNO<sub>2</sub>-Nの相関が比較的高く、H7冬季調査ではエアレーションタンク下流部での相関係数は約0.84であった。(図-1)

一方、N<sub>2</sub>O発生量とDOの相関はF終末処理場の夏季調査でエアレーションタンク上流部において高かったものの、それ以外では十分な相関は得られなかった。

H終末処理場の場合、冬季のN<sub>2</sub>O発生量が夏季より大幅に増加しているが、硝化は進んでおり、F終末処理場の処理状況とは異なっている。硝化率に着目してみると夏季の86%に対し、冬季は76%と低くN<sub>2</sub>O発生量の増加に寄与していると考えられる。

平成6, 7年度の調査結果から、水量当たりのN<sub>2</sub>O発生量と硝化率および窒素除去量との関係を図-2, 図-3に示す。

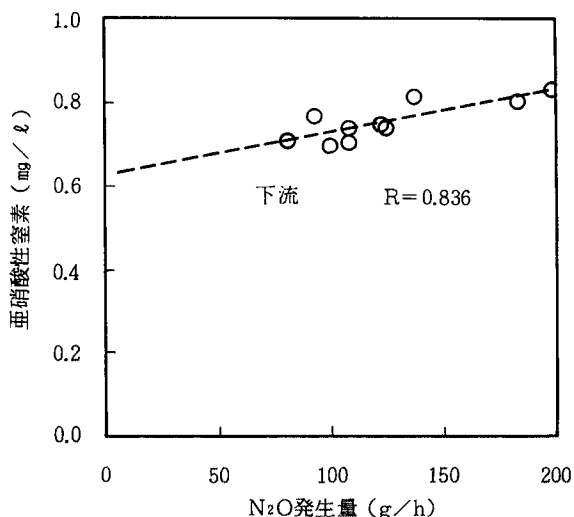


図-1 N<sub>2</sub>O発生量と亜硝酸性窒素 (H7冬季調査 F終末処理場)

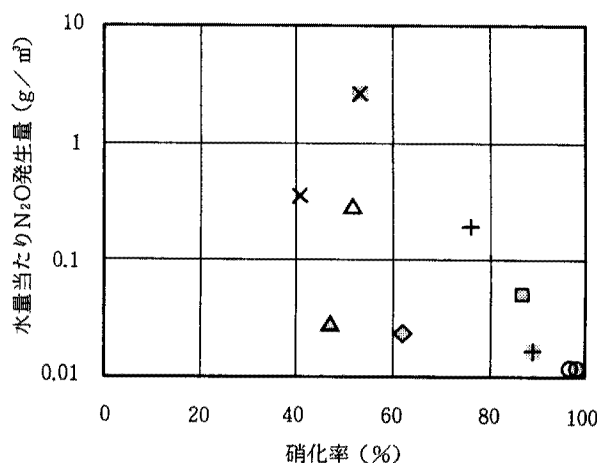


図-2 硝化率と水量当たりN<sub>2</sub>O発生量の関係

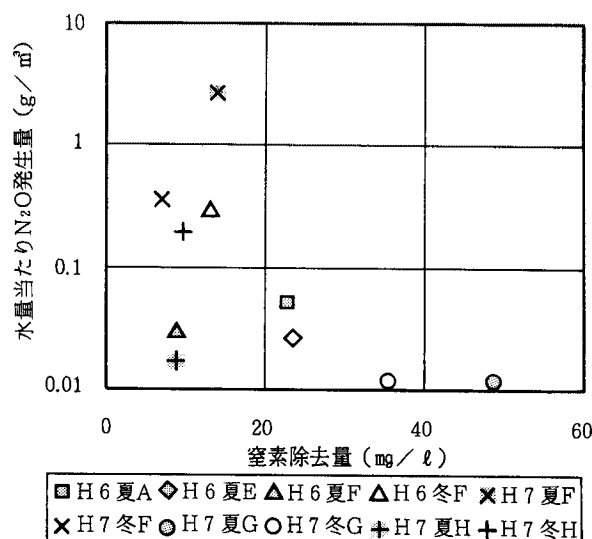


図-3 窒素除去量と水量当たりN<sub>2</sub>O発生量の関係

### 5.3 脱臭施設の前後におけるN<sub>2</sub>O濃度の変化

脱臭施設による $N_2O$ の削減効果についての調査結果を表-7に示す。夏季調査では活性炭および水洗浄の脱臭施設について調査した。冬季は薬洗（次亜塩）によるものである。

表-7 脱臭施設の前後における $N_2O$ 濃度の変化率

処理場名	夏季	冬季
F終末処理場	102.8%	84.8%
G終末処理場	95.0%	-
H終末処理場	99.0%	-

\*変化率は2回測定の平均値

## 5.4 各処理場の調査結果

### 5.4.1 F終末処理場

#### 1) 夏季調査結果

- ①  $N_2O$ 発生量はきわめて多く、昨年度の調査結果よりも更に多い結果となった。(268kg/10万 $m^3$ )
- ② 亜硝酸性窒素( $NO_2-N$ )と $N_2O$ 発生量の相関があった。(相関係数：約0.66)  
DOと $N_2O$ 発生量はエアレーションタンク上流では高い相関を示したが、エアレーションタンク下流では低い相関を示した。
- ③ 転換率(全窒素減少量に対する $N_2O$ 発生量の比率)を試算した結果、水処理課程により液相から除かれた窒素分の約12.4%が大気中に放出されたことになる。ただし、水処理施設内の滞留時間によりサンプリング期間中の平均値の差は窒素分の変化量を正しく表すものではないが、流入水中の窒素分の経時変動が24時間サイクルであると仮定した上で平均値の差を窒素分の変化量とした。
- ④ 脱臭施設前後における $N_2O$ 濃度に大きな変化は見られなかった。

#### 2) 冬季調査結果

- ①  $N_2O$ 発生量は夏季調査に比べ10分の1程度に減少し、平成6年度の夏季調査と同レベルの発生量であった(35.5kg/10万 $m^3$ )(表-6)  
夏季調査時には、エアレーションタンクのMLSSが670mg/lと低かったのに対し、冬季調査では1,100~1,300mg/lと高く硝化が促進され $N_2O$ 発生量の低下につながったものと考えられる。
- ② 亜硝酸性窒素( $NO_2-N$ )と $N_2O$ 発生量の相関はエアレーションタンク下流で高かった。  
DOと $N_2O$ 発生量はエアレーションタンク上下流とも相関は低かった。

③ 転換率(全窒素減少量に対する $N_2O$ 発生量の比率)の試算から、水処理課程により液相から除かれた窒素分の約3.3%が大気中に放出されたことになる。

④ 薬洗(次亜塩洗浄)による脱臭施設前後で $N_2O$ が若干低下(10%程度)することが認められた。

### 5.4.2 G終末処理場

#### 1) 夏季調査結果

- ①  $N_2O$ 発生量はごく少なかった。(1.2kg/10万 $m^3$ )
- ② 脱臭施設前後における $N_2O$ 濃度に大きな変化は見られなかった。

#### 2) 冬季調査結果

- ①  $N_2O$ 発生量は夏季調査と同レベル(1.2kg/10万 $m^3$ )であり、概して低いと言える。
- ② 嫌気槽の運転が間欠曝気から連続曝気に切り替わっていたため、ブロー停止時の $N_2O$ 発生量を把握することができなかったが、嫌気槽からの $N_2O$ 発生量を調査し、第1嫌気槽からの発生量が第2好気槽より大きいことが認められた。

### 5.4.3 H終末処理場

#### 1) 夏季調査結果

- ①  $N_2O$ 発生量は比較的多い時間及び(14:00~18:00)も見られたが、全体的には少なかった。(1.7kg/10万 $m^3$ )
- ② 水質項目と $N_2O$ 発生量との間に高い相関は得られなかった。
- ③ 脱臭施設前後における $N_2O$ 濃度に大きな変化は見られなかった。

#### 2) 冬季調査結果

- ①  $N_2O$ 発生量は夏季調査に比べ約10倍(19.5kg/10万 $m^3$ )であり、硝化率あるいは窒素除去量が $N_2O$ 発生量の増加に寄与していると考えられる。
- ② 水質項目と $N_2O$ 発生量との間に高い相関は得られなかった。

## 6. まとめ

1) 夏季調査では、H終末処理場、G終末処理場からの $N_2O$ 発生量はごく少ないものであった。一方、F終末処理場における $N_2O$ 発生量はきわめて多く、昨年度の調査結果を上回るものであった。

運転タイプ別の調査結果より、硝酸型運転および硝化脱窒運転の処理場に比して亜硝酸型運転の処理場からの $N_2O$ 発生量が多いことが確認された。

2)  $N_2O$ 発生量と水質との関係では、DOおよび亜硝酸性窒素( $NO_2-N$ )と高い相関を示したが、平成6年度の調査結果に比べDOと $N_2O$ 発生量の相関はさほど高くなかった。

3) 脱臭施設による $N_2O$ 削減効果についての調査を実施し、脱臭施設の入口と出口で $N_2O$ 濃度を比較した。その結果、夏季調査では水処理施設から発生する臭気対策としての水洗浄、活性炭による脱臭では、 $N_2O$ はほとんど除去されないことが確認された。また、冬季調査では、F終末処理場の薬洗(次亜塩素酸洗浄)による脱臭施設について調査し、活性炭脱臭、水洗に比べ若干の削減効果(約10%程度の削減率)が認められた。

## 7. 次年度調査への課題

エアレーションタンクからの $N_2O$ 発生に着目した夏季および冬季の実態調査を終了した。処理場のタイプ(運転方式)とやはり処理状況により $N_2O$ 発生量が大きく異なることが確認された。

次年度はこれまでの調査結果に基づいて、温暖化ガス発生量と水質および運転管理との関係を把握し、その対応等について模索する。

着目点は以下のとおりである。

- 1) 温暖化ガス発生量の総括
- 2) 温暖化ガス発生原因の評価
- 3) 温暖化ガス発生抑制方法の検討

● この調査に関する問い合わせは

研究第一部長	佐藤 和明
研究第一部主任研究員	伊藤 久明
研究第一部主任研究員	関根 富明
研究第一部研究員	平野 裕司