

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. 調査目的

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、地球温暖化に関する国際的、国内的取り組みや、技術的対応策および温暖化ガスに関する知見について文献整理を行い、その現状を把握した。

この調査において、下水道の施設から発生する二酸化炭素などの温暖化ガスの実測データが少なく、生成、発生、消滅機構そして処理施設系外での挙動などに関して不明な点が多いこと、今後、下水道での対応策を検討する上において、より正確な実態把握と基本的事項の解明が必要であり、このための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。

これらを受け、平成5年度に下水道施設における温暖化ガスの実測データの集積を行う目的で本調査を実施した。調査対象は、水処理・汚泥処理施設が同一場所あるいは近くにある終末処理場とし、5都市各々1ヶ所の計5ヶ所において調査を実施した。

2. 調査内容

2.1 調査対象の温暖化ガス

調査対象の温暖化ガスは、二酸化炭素 (CO₂)、メタン (CH₄)、一酸化二窒素 (N₂O) とした。さらに、燃焼をとまう施設である汚泥焼却炉や消化ガスボイラーについては、窒素酸化物 (NO_x)

表1 調査対象温暖化ガスおよびプロセス

		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x
水処理施設	最初沈殿池	○	○	○	—
	エアレーションタンク	○	○	○	—
	最終沈殿池	○	—	○	—
汚泥処理施設	汚泥濃縮	○	○	○	—
	汚泥脱水	○	○	○	—
	消化ガスボイラー	○	○	○	○
	汚泥焼却	○	○	○	○
	コンポスト	○	○	○	—

注) ○：測定対象 —：非測定対象

も測定した。

測定対象とする処理プロセスは温暖化ガスの発生ポイントを考慮し、表1に示すとおりとした。

2.2 調査対象終末処理場

2.2.1 終末処理場の概要

(1) A 終末処理場

現有処理能力約15万 m³/日、水処理は標準法であり、汚泥濃縮は重力式、脱水機はフィルタープレス、汚泥焼却炉はなく、脱水ケーキはコンポスト施設によりコンポスト化されている。

(2) B 終末処理場

現有処理能力約40万 m³/日、水処理は標準法であり、濃縮は重力式、脱水機はベルトプレス

型、焼却炉は流動床炉である。また、他終末処理場の汚泥が水処理施設の手前で流入する。

(3) C 終末処理場・C 汚泥処理センター

C 終末処理場は水処理および発生汚泥の貯留を行い、C 汚泥処理センターは他の終末処理場の汚泥も含めて集約処理している。C 終末処理場の現有処理能力は約 9 万 m³/日、水処理は標準法であり、貯留槽は濃縮槽と同一の構造を成している。C 汚泥処理センターの濃縮は遠心型、脱水は遠心型、消化施設はあるが消化ガスを燃料とするボイラーはない。焼却炉は流動床炉である。

(4) D 終末処理場

現有処理能力約 99 万 m³/日、増設回数が多く、建設時期によって処理プロセスの形式が異なるものがある。水処理は標準法。汚泥処理施設は、濃縮には重力式と浮上式、脱水機にはベルトプレス型と真空型、焼却炉には階段炉と多段炉がある。また、消化施設および消化ガスボイラーがあり、ボイラーは冬期のみ運転されている。

(5) E 終末処理場

現有処理能力は約 11 万 m³/日、水処理は標準法。濃縮には初沈汚泥を濃縮する重力式と余剰汚泥を濃縮する遠心型があり、脱水はベルトプレス型、焼却炉は流動床炉である。また、消化施設および消化ガスボイラーがある。

2.2.2 各終末処理場のサンプリング対象施設

各終末処理場におけるサンプリング対象施設は、表 2 に示すとおりである。

表 2 各終末処理場サンプリング対象施設

施設名		場 所				
		A	B	C	D	E
水処理施設	最初沈殿池	○	○	○	○	○
	エアレーションタンク	○	○	○	○	○
	最終沈殿池	○	○	○	○	○
汚泥処理施設	汚泥濃縮	重力	重力	重力	重力	重力遠心
	汚泥脱水	プレス	ベルトプレス	遠心	ベルトプレス	ベルトプレス
	消化ガスボイラー	—	—	—	○	○
	汚泥焼却	—	流動床	流動床	階段	流動床
	コンポスト	○	—	—	—	—

注) ○ : サンプリングを実施
 名称 : 調査対象施設の型式
 — : 該当する施設がないことを示す。

2.3 サンプリング方法

2.3.1 サンプリング方法決定の経緯

下水処理施設から発生する温暖化ガスのサンプリングに確立された方法はなく、本調査では、国立環境研究所、東京都環境科学研究所 および 農業環境技術研究所の各専門家へのヒアリング並びに平成 5 年 12 月 21 日に C 終末処理場で実施したサンプリング装置の実験を通じて決定した。

2.3.2 サンプリング方法

各終末処理場の調査は 1 日間 (24 時間) を対象として実施した。サンプリングは原則として 3 時間の間隔で行い、1 日分のサンプル (8 個になる) からコンポジットサンプルを調整して分析した。また、B 終末処理場の水処理施設については経時変動を調査した (サンプルをコンポジットせずに個々に分析した)。

水処理施設のサンプリング箇所は対象処理施設が覆盖され、換気または脱臭用ダクトなどがある場所を優先的に選定し、覆盖されていない場合には水面からのサンプリングを行いやすい場所を選定した。

汚泥処理施設のサンプリング箇所は、煙道、換気または脱臭用ダクトがある場所を優先的に選定した。

サンプリング装置は図 1 ~ 図 4 に示すとおりである。

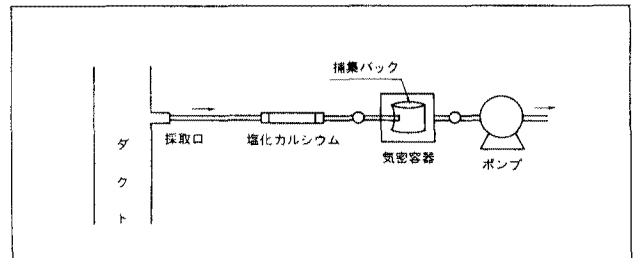
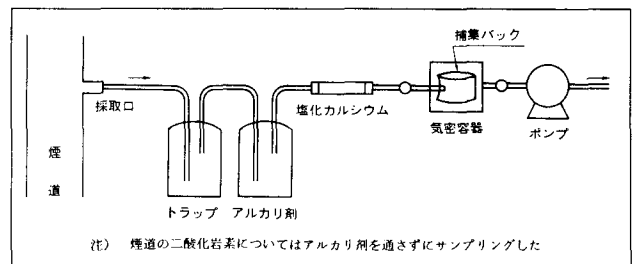


図 1 サンプリング装置 (ダクトを対象)



(注) 煙道の二酸化炭素についてはアルカリ剤を通さずにサンプリングした

図 2 サンプリング装置 (煙道を対象)

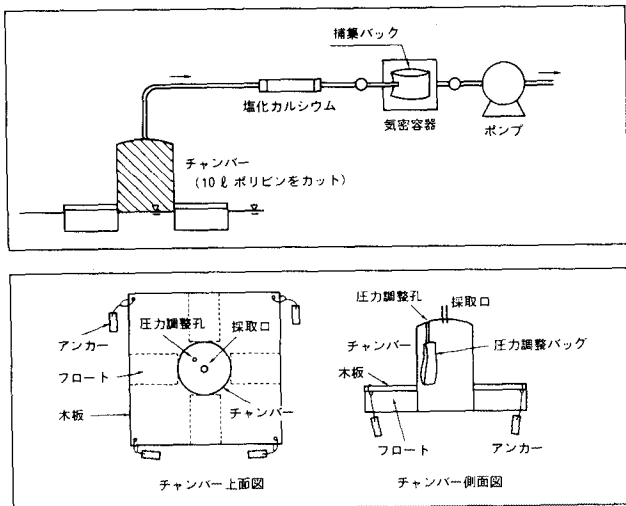


図3 サンプル装置（静水面を対象）

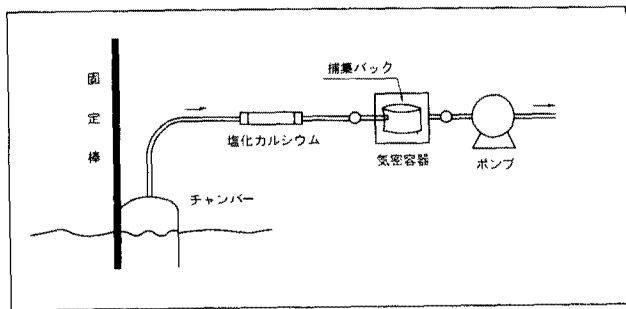


図4 サンプル装置（エアタン水面を対象）

2.4 分析方法

温暖化ガスなどの分析は、二酸化炭素およびメタンは水素炎イオン化検出器（FID）付ガスクロマトグラフ（GC）、一酸化二窒素は電子捕獲検出器（ECD）付GCで行い、窒素酸化物はナフチルエチレンジアミン吸光光度法により測定した。GCの分析通則はJIS-K0114、窒素酸化物の分析はJIS-K0104に準じた。

分析は（財）日本品質保証機構に委託した。

3. 調査結果

3.1 温暖化ガス発生量の解析

3.1.1 解析方法

サンプルの分析結果と現地で測定したダクト流量および温度などの数値を用いて温暖化ガスの発生量を求めた。基本的な計算式は次のとおりである。

- (1) ダクトまたは煙道からサンプリングした場合
 発生量 $[N\text{m}^3/\text{日}]$
 $= (\text{サンプル濃度} [\text{ppm}]$
 $\quad - \text{バックグラウンド等影響因子} [\text{ppm}])$
 $\times \text{平均空気流量} [N\text{m}^3/\text{秒}]$
 $\times 3,600 [\text{秒}] \times 24 [\text{時間}]$

- (2) 水面からサンプリングした場合（エアタン水面を除く）

発生量 $[N\text{m}^3/\text{日}]$
 $= \text{単位面積発生フラックス} [N\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{時間}]$
 $\times \text{水面積} [\text{m}^2] \times 24 [\text{時間}]$
 単位面積発生フラックス $[N\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{時間}]$
 $= (180\text{分後チャンバー内濃度} [\text{ppm}] \times$
 $\quad \text{温度補正} - \text{設置時チャンバー内濃度} [\text{ppm}] \times$
 $\quad \text{温度補正}) \times \text{チャンバー容積} [\text{m}^3]$
 $\quad / (\text{チャンバー底面積} [\text{m}^2] \times 3 [\text{時間}])$

- (3) エアレーションタンク水面からサンプリングした場合

発生量 $[N\text{m}^3/\text{日}]$
 $= (\text{サンプル濃度} [\text{ppm}]$
 $\quad - \text{バックグラウンド等影響因子} [\text{ppm}])$
 $\times \text{曝気空気流量} [N\text{m}^3/\text{日}]$

サンプリング箇所が施設全体の発生量を把握できる地点の場合、上記計算式の結果は当該施設全体の温暖化ガス発生量となる。しかし、サンプリング箇所が当該施設の一部の発生量（1系列分など）を把握できるとどまる場合、当該施設全体の処理量と対象箇所の処理量（データが得られなかった場合は系列数や槽数など）の比から全体発生量を計算した。

3.1.2 温暖化ガス発生量

(1) 二酸化炭素発生量

各終末処理場の施設ごとに求めた二酸化炭素発生量は表3に示すとおりである。

表3 二酸化炭素発生量

(単位: $N\text{m}^3/\text{日}$)

施設名		場所				
		A	B	C	D	E
水処理施設	最初沈殿池	1	4,090	2	114	415
	エアレーションタンク	2,373	25,221	2,375	8,460	6,176
	最終沈殿池	0	740	16	6	45
汚泥処理施設	汚泥濃縮	9	131	40	29	27 69
	汚泥脱水	不明	427	不明	132	36
	消化ガスボイラー	—	—	—	1,263	5,042
	汚泥焼却	—	34,536	16,397	2,670	9,531
	コンポスト	10,930	—	—	—	—

注) A: 各施設につき全体発生量を算出。脱水はダクトによって排気されていない箇所があり全体の把握が不可能。

- B: 各施設につき全体発生量を算出。
- C: 水処理施設は終末処理場のもの各施設につき全体発生量を算出。濃縮とは終末処理場の汚泥貯留槽の全体発生量。脱水および焼却炉は汚泥処理センターのもので脱水はダクトにサンプリング孔がなく風量の測定ができず発生量算出が不可能、焼却炉は稼働していた2基のうち1基の発生量。
- D: 水処理施設は1期分の発生量、濃縮は1期分の重力濃縮槽の発生量、脱水はベルトプレス型脱水機の発生量、焼却炉は階段炉2基分の発生量。
- E: 各施設につき全体発生量を算出。また、濃縮施設は上段が重力濃縮槽、下段が遠心濃縮機。

(2) メタン発生量

各終末処理場の施設ごとに求めたメタン発生量は表4に示すとおりである。終沈は測定対象外だが、D終末処理場では発生が認められた。

表4 メタン発生量

(単位: N m³/日)

場 所		A	B	C	D	E
水処理施設	最初沈殿池	1.1	521.3	0.5	8.5	11.2
	エアレーションタンク	17.0	229.0	0.8	15.3	31.3
	最終沈殿池	対象外	対象外	対象外	9.6	対象外
汚泥処理施設	汚泥濃縮	0.8	16.1	2.7	2.9	0.2 0.7
	汚泥脱水	不明	16.6	不明	3.1	1.8
	消化ガスボイラー	—	—	—	2.3	0.2
	汚泥焼却	—	0.0	0.7	0.3	0.0
	コンポスト	31.4	—	—	—	—

注) 表3の注意書きに準ずる。

(3) 一酸化二窒素発生量

各終末処理場の施設ごとに求めた一酸化二窒素発生量は表5に示すとおりである。

3.2 温暖化ガス発生量原単位の算出

3.2.1 原単位について

原単位は各終末処理場の特性を示す数値である。温暖化ガス発生量の終末処理場間の相違をみる目的で、単位処理量あたりの発生量すなわち発生量原単位に換算した。

温暖化ガス発生量の総量算出を当面の課題とする

表5 一酸化二窒素発生量

(単位: N m³/日)

場 所		A	B	C	D	E
水処理施設	最初沈殿池	0.00	20.33	0.01	0.43	1.54
	エアレーションタンク	1.01	2.06	0.44	6.42	126.27
	最終沈殿池	0.01	0.00	0.01	0.00	1.84
汚泥処理施設	汚泥濃縮	0.00	0.04	0.04	0.01	0.05 1.11
	汚泥脱水	不明	0.21	不明	0.42	0.08
	消化ガスボイラー	—	—	—	0.01	0.03
	汚泥焼却	—	275.26	28.88	0.93	0.63
	コンポスト	1.19	—	—	—	—

注) 表3の注意書きに準ずる。

ため、処理水量および投入汚泥量(ケーキの乾燥重量)あたりで換算し、原単位は以下の2種類を求めた。

(1) 水処理施設

水処理施設のみを対象として、処理場への流入下水量10万m³あたりの発生量を求めた。計算式は以下のとおりである。

発生量原単位

$$= \text{各施設発生量 [N m}^3\text{/日]} \times 10 \text{万 [m}^3\text{]} / \text{流入下水量 [m}^3\text{]}$$

(2) 汚泥処理施設

汚泥処理施設のみを対象として、汚泥焼却炉またはコンポスト施設への投入汚泥の乾燥重量10t・dsあたりの発生量を求めた。計算式は以下のとおりである。

発生量原単位

$$= \text{各施設発生量 [N m}^3\text{/日]} \times 10 \text{ [t} \cdot \text{ds]} / \text{投入汚泥乾燥重量 [t} \cdot \text{ds]}$$

3.2.2 水処理施設発生量原単位

各終末処理場の水処理施設全体の温暖化ガス発生量原単位を表6および図5~図7に示す。

メタン発生量原単位はB終末処理場で著しく大きく、これは水処理施設の手前に他処理場の汚泥が流入することが影響しているためと考えられる。

一酸化二窒素発生量原単位はE終末処理場のエアタンクからのものが極めて大きかった。この原因につ

いて確かなことは不明であるが、運転方法および水処理系に、一酸化二窒素の生成を促す何らかの理由があったためと考えられる。

表6 水処理施設発生量原単位

(単位: N^m/10万^m³)

場所	A	B	C	D	E
二酸化炭素 CO ₂	2,490	11,051	4,055	7,098	8,607
メタン CH ₄	19.0	275.9	20.5	27.6	55.1
二酸化二窒素 N ₂ O	1.07	8.23	0.78	5.67	168.14

注) 水処理施設について表3の注意書きに準じる。

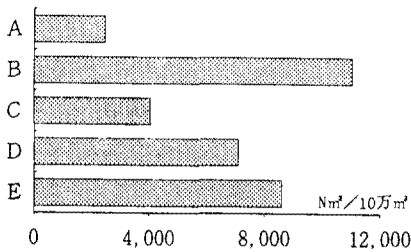


図5 水処理施設二酸化炭素発生量原単位

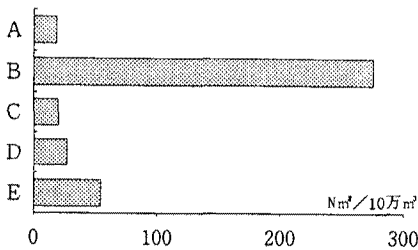


図6 水処理施設メタン発生量原単位

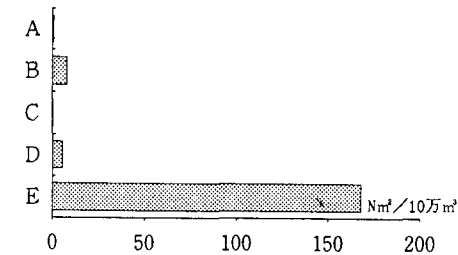


図7 水処理施設一酸化二窒素発生量原単位

3. 2. 3 汚泥処理施設発生量原単位

(1) 二酸化炭素発生量原単位

各終末処理場の汚泥処理施設の二酸化炭素発生量原単位を表7および図8に示す。

表7 汚泥処理施設二酸化炭素発生量原単位

(単位: N^m/10t・ds)

施設名	場所	A	B	C	D	E
汚泥処理施設	汚泥濃縮	5	19	14	14	15
	汚泥脱水	不明	61	不明	66	20
	消化ガス ボイラー	—	—	—	631	2,770
	汚泥焼却	—	4,941	5,521	1,335	5,237
	コンポスト	5,783	—	—	—	—

注) 汚泥処理施設について表3の注意書きに準じる。

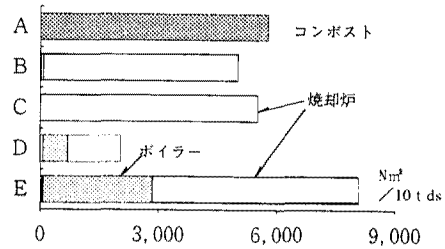


図8 汚泥処理施設二酸化炭素発生量原単位

(2) メタン発生量原単位

各終末処理場の汚泥処理施設のメタン発生量原単位を表8および図9に示す。

A終末処理場のコンポスト施設の原単位が大きいのは、施設内の汚泥全体から発生するメタンを投入汚泥量で除したためである。

表8 汚泥処理施設メタン発生量原単位

(単位: N^m/10t・ds)

施設名	場所	A	B	C	D	E
汚泥処理施設	汚泥濃縮	0.4	2.3	0.9	1.5	0.1
	汚泥脱水	不明	2.2	不明	1.5	1.0
	消化ガス ボイラー	—	—	—	1.1	0.1
	汚泥焼却	—	0.0	0.2	0.1	0.0
	コンポスト	16.6	—	—	—	—

注) 汚泥処理施設について表3の注意書きに準じる。

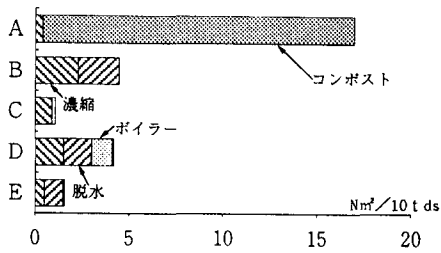


図9 汚泥処理施設メタン発生量原単位

(3) 一酸化二窒素発生量原単位

各終末処理場の汚泥処理施設の一酸化二窒素発生量原単位を表9および図10に示す。

B終末処理場では汚泥焼却炉の原単位が突出しているがNO_x濃度は低く、一方、焼却炉の原単位が最も小さいE終末処理場ではNO_x濃度が高い傾向が認められた。

表9 汚泥処理施設一酸化二窒素発生量原単位

(単位：Nm³/10t・ds)

場 所		A	B	C	D	E
施設名	汚泥濃縮	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03 0.61
	汚泥脱水	不明	0.03	不明	0.21	0.05
	消化ガス ボイラー	--	--	--	0.01	0.02
	汚泥焼却	--	39.38	9.72	0.46	0.35
	コンポスト	0.63	--	--	--	--

注) 汚泥処理施設について表3の注意書きに準じる。

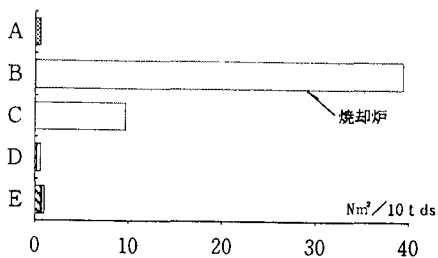


図10 汚泥処理施設一酸化二窒素発生量原単位

4. まとめと今後の課題

4.1 まとめ

全国の5終末処理場を対象に温暖化ガスの冬季実

態調査を実施した。水処理、汚泥処理両系を同時にかつ全国的に調査するのは本調査が初めてであり、温暖化ガスのサンプリング方法や得られたデータに対する知見など今後データを蓄積していくための有用な情報が得られた。

4.2 今後の課題

4.2.1 学識経験者へのヒアリング

冬期実態調査を踏まえ学識経験者へのヒアリングを実施し意見を求める。

4.2.2 平成6年度夏季調査へ向けての課題

(1) 調査対象終末処理場の選定

平成5年度調査は全国の5終末処理場それぞれの水処理系および汚泥処理系を対象としたが、平成6年度調査では、水処理系、汚泥処理系のデータが一貫してとれる施設を選択して調査を実施する。

(2) 調査計画の立案

平成5年度調査結果およびヒアリング・文献調査結果を踏まえ、着目点を明らかにした上で、測定項目および測定対象処理プロセスをある程度絞り調査計画を立案する。着目点として考えられるのは以下のようなものである。

- ・未解明な部分を明らかにするための基礎データが得られること。
- ・既往の調査と十分な比較ができること。
- ・今後の対応策を検討するための基礎データが得られること(焼却炉の運転条件など)。

(3) 夏季予備調査の実施検討

夏季調査実施前に、注目すべき点(他の処理場と比較して著しく高い原単位など)について予備調査を実施することが望ましく、調査対象、実施計画の検討が必要である。

4.2.3 温暖化ガス発生量の評価方法の検討

温暖化ガス発生量の見積りは原単位方式を用いた。原単位は、そのフレームの選定および位置付けによってその意味が大きく変わるため、目的に即した原単位を選定できるよう検討する必要がある。

● この研究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	鈴木	茂
研究第一部研究員	森	正治
研究第一部研究員	高木	克也