

# 下水道における 地球温暖化防止対策検討調査

## 1. 調査の目的

平成9年12月に開催された国際連合枠組条約第3回締約国会議（COP3：地球温暖化防止京都会議）において、日本は2010年（2008年～2012年の排出量の平均）の温室効果ガス排出量を1990年比で6%削減することとされ、平成10年6月には政府として緊急に推進すべき地球温暖化対策が「地球温暖化対策推進大綱」としてとりまとめられた。また、10月には「地球温暖化対策の推進に関する法律」（以下、「推進法」という）が公布され、平成11年4月8日に施行された。また4月9日には「地球温暖化対策に関する基本方針」（以下、「基本方針」という）が閣議決定された。

これにより、国、都道府県および市町村は、基本方針に基づいて、自らの事務および事業に関する温暖化防止実行計画を策定し、毎年、実行計画に基づく措置の実施状況（温室効果ガスの総排出量も含む）を公表することとなった。この実行計画の対象として下水道事業も含まれる。

下水道の電力使用量は全国の電力使用量の約0.6%を占め、二酸化炭素が発生するとともに、下水処理プロセスからはメタン、汚泥焼却処理プロセスからはメタンおよび一酸化二窒素が発生することから、今後も下水道事業において新技術の適用や一層の省資源・省エネルギー対策を実施すること等により、事業の実施に伴う温室効果ガスの発生をでき

る限り抑制していく努力が求められている。

このような状況を踏まえ、下水道施設における地球温暖化防止対策の推進に資するとともに、推進法に基づく「地球温暖化防止実行計画」の策定に資するため、地方公共団体の下水道管理者による「下水道における地球温暖化防止実行計画」の策定が望まれる。

本調査は、下水道事業と地球温暖化の関わりについて、関係要因の洗い出し、温室効果ガス排出量の把握を行うとともに、対応方策の検討、削減効果の評価等を行い、今後の課題を整理した上で、下水道における地球温暖化防止実行計画策定のための手引きとしてとりまとめたものである。

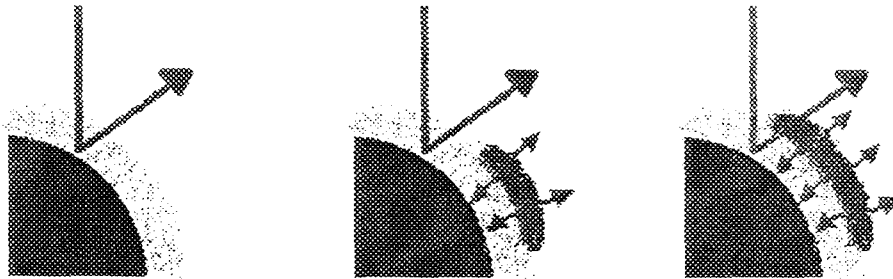
## 2. 調査内容

- (1) 地球温暖化と下水道
- (2) 下水道における温室効果ガス排出量の算定
- (3) 下水道における地球温暖化防止対策
- (4) 地球温暖化防止実行計画の策定と推進

上記の調査内容を実行計画策定の手引き（案）の形でまとめた。

温室効果のメカニズム

- ① 太陽から届く日射エネルギーの約7割は、大気と地表面に吸収されて熱に変わる。
- ② 地表面から放射された赤外線の一部は大気中の温室効果ガスに吸収され、地表を適度な気温に保っている。
- ③ 人間活動により、大気中の温室効果ガスの濃度が急に上昇しており、地表の温度が急上昇するおそれがある。



(出典) 「地球環境キーワード事典」環境庁地球環境部編集，中央法規出版発行

図-1 温室効果のメカニズム<sup>2)</sup>

### 3. 調査結果

#### 3.1 地球温暖化と下水道

##### (1) 地球温暖化のメカニズム

地球温暖化とは、人間活動の拡大により二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素などの温室効果ガスの大気中の濃度が増加し、地表面の温度が上昇することをいう。「気象変動に関する政府間パネル」(以下IPCCという)の報告によれば、温室効果ガスの濃度が現在の増加率で推移した場合、21世紀末までに地球全体の平均気温が2℃上昇することがあるとしている<sup>3)</sup>。地球温暖化メカニズムの概要は次のとおりである(図-1参照)。

- ・ 太陽から届く日射エネルギーの7割は、大気と地表面に吸収されて熱に変わる。
- ・ 地表面から放射された赤外線の一部は大気中の温室効果ガスに吸収され、地表を適度な温度に保っている。
- ・ 人間活動により、大気中の温室効果ガスの濃度が急激に上昇している。そのため、これまでのバランスを越えて赤外線が温室効果ガスに吸収され、その結果、地表の温度が上昇している。

温室効果ガスとしては、①二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、②メタン(CH<sub>4</sub>)、③一酸化二窒素(N<sub>2</sub>O)、④ハイドロフルオロカーボン(HFC)、⑤パーフルオロカーボン(PFC)、⑥六ふつ化硫黄(SF<sub>6</sub>)、の6物質が「推進法」に規定されている。

##### (2) 下水道における温室効果ガス

下水道施設の運転における温室効果ガス排出のイメージは、図-2に示すとおりである。このうち、下水道事業において自ら排出するものは、①電力、

燃料(石油、ガス)等のエネルギー消費に伴う排出(CO<sub>2</sub>)と、②水処理および汚泥処理プロセスからの排出(CH<sub>4</sub>およびN<sub>2</sub>O)である。

生物処理に伴うCO<sub>2</sub>、嫌気性消化工程で生成されるメタン燃焼に伴うCO<sub>2</sub>、汚泥焼却に伴うCO<sub>2</sub>などは対象に含まないものとする。

また、社会システム全般としての温室効果ガス排出抑制を考慮すれば、③下水処理プロセスで消費する上水、工業用水、薬品類に伴う排出、および④下水道資源の有効利用(電力、ガスなどのエネルギー化、レンガやスラグなどの土木資材化)による、下水道以外の産業から排出される温室効果ガス排出量の削減分も評価対象とした。

ただし、「推進法」および「基本方針」の対象となるものは、前記の①および②であり、③および④は参考であることに留意する。

##### (3) 下水処理プロセスからの温室効果ガス排出のメカニズム

水処理プロセスCH<sub>4</sub>の排出メカニズムは、メタン

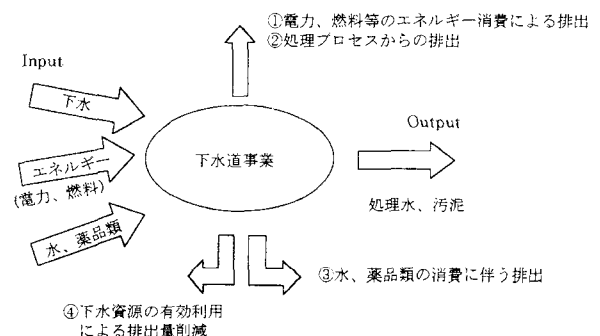


図-2 下水道施設運転時における温室効果ガス排出のイメージ

細菌の生息できる環境の形成との関連が深く、有機物があり、嫌気性という条件がそろえばCH<sub>4</sub>が発生する可能性が高い。

また、下水汚泥の焼却プロセスにおけるN<sub>2</sub>O発生のメカニズムは、汚泥中の窒素化合物が流動焼却炉の砂層内部で熱分解されて生じたNOが、砂層からフリーボード部に遷移する部分で気相反応し、N<sub>2</sub>Oが生成すると考えられている。

(4) 下水道における温室効果ガス排出量の既往調査結果

表-1は既往の下水道における温室効果ガス排出量の試算結果を示したもので、日本全国の温室効果ガス排出量に占める下水道の割合は、CO<sub>2</sub>0.17%、CH<sub>4</sub>0.19%、N<sub>2</sub>O3.76~6.16%となっている。

3.2 下水道における温室効果ガス排出量の算定

(1) 温室効果ガス排出量算定の基本

温室効果ガス総排出量の算定式は次式のとおりである。

$$(\text{各温室効果ガス排出量}) = \Sigma((\text{活動量}) \times (\text{排出係数}))$$

$$(\text{温室効果ガス総排出量}) =$$

$$\Sigma((\text{各温室効果ガス排出量}) \times (\text{地球温暖化係数}))$$

ここに、

活動量：①電力、燃料（石油、ガス）等のエネルギー消費量

②下水処理プロセスにおける処理量（終末処理場の処理水量および汚泥処理施設の汚泥量）

③下水処理プロセスで消費する上水、工業用水、各種薬品類の量

④下水道資源およびエネルギーの外部への供給量

排出係数：単位活動量あたりの温室効果ガス排出量

温暖化係数：各温室効果ガスの地球温暖化に

及ぼす程度を、二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）に対する比で示す数値

(2) 排出係数

「推進法」施行令によれば、温室効果ガスの排出量を算定するための排出係数は、活動および温室効果ガスの種類ごとに別途政令により定めるとしており、平成12年に設定が予定されている。ここでは、既往の算定に使用された排出係数を用いることとした。

① 電力、燃料等のエネルギー

各エネルギーの消費に伴う温室効果ガスの排出係数は、表-2のとおりである。このほかに、レンガ工場、汚泥乾燥施設、管理用自動車等の燃料消費に伴う温室効果ガス（CH<sub>4</sub>およびN<sub>2</sub>O）が対象であるが、手引きの中で個別に排出係数を設定している。

表-2 電力および燃料の温室効果ガス排出係数<sup>5)</sup>

排出源名	単位 ☆	CO <sub>2</sub> 排出係数 (kg-CO <sub>2</sub> /☆)
電力	kWh	0.533
A重油	kℓ	709
B重油	kℓ	686
灯油	kℓ	729
軽油	kℓ	1,040
コークス（塊）	t	2,570
液化石油ガス（PP/PB）	t	971
液化天然ガス（LNG）	t	1,198
都市ガス（自家消費用）	千m <sup>3</sup>	1,351

② 処理プロセスからの温室効果ガス排出係数

下水処理に伴って各処理プロセスから排出される温室効果ガスの排出係数は、表-3のとおりで

表-1 既存の温室効果ガス発生量試算値と調査結果の比較

区分	発生量	二酸化炭素 CO <sub>2</sub> (kt/年)	メタン CH <sub>4</sub> (kt/年)	一酸化二窒素 N <sub>2</sub> O (kt/年)	出典および 調査年度
日本全国 (A)		1.218×10 <sup>6</sup>	1.548×10 <sup>3</sup>	110.0	(3)
既往調査結果（下水道）					
水処理施設		1.39×10 <sup>3</sup>	2.22	1.34~3.98	(4)
汚泥処理施設		0.74×10 <sup>3</sup>	0.60	2.80	(平成5年度値)
計 (B)		2.13×10 <sup>3</sup>	2.82	4.14~6.78	
下水道が全国に占める 排出量割合 (B)/A %		0.17	0.19	3.76~6.16	

ある。なお、処理場において実測値に基づく排出係数が設定できる場合は、その値を用いることもできる。

表-3 各処理プロセスにおける温室効果ガス排出係数<sup>6)</sup>

処理プロセス	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
水処理 (g/m <sup>3</sup> )	0.582	—
汚泥焼却 (g/t・ケーキ)		1,200 (高分子・流動炉) 750 (高分子・多段炉) 330 (石灰系) 750 (その他)

水処理プロセスからのN<sub>2</sub>Oは算定対象外である。

③ 上水・工業用水および各種薬品の温室効果ガス排出係数

下水処理において消費する上水・工業用水および各種薬品類に伴う温室効果ガスの排出係数は、表-4のとおりである。

表-4 水道、薬品類の消費に伴う排出係数<sup>5)</sup>

種類	単位	CO <sub>2</sub> 排出係数 (kg/☆)	
上水道	m <sup>3</sup>	2.011	
工業用水	m <sup>3</sup>	0.108	
薬品類	次亜塩素酸ナトリウム	t	321
	液体塩素	t	900
	高分子凝集剤 (ポリマー)	t	6,534
	塩化第二鉄	t	318
	消石灰	t	447
	ポリ塩化アルミニウム	t	405
	過酸化水素	t	3,922
	硫酸アルミニウム	t	357
その他の薬品 (代表値)	t	400	

④ 下水道資源・エネルギー有効利用に伴う温室効果ガス排出係数

外部に供給する下水道資源およびエネルギーは次のものが対象となり、有効利用により社会システム全般として温室効果ガスの削減に寄与できる。

・消化ガス

発電およびガス供給で、前掲の電力および都市ガスの排出係数を用いる。

・下水および処理水の熱利用<sup>8), 9)</sup>

ヒートポンプなどにより下水熱を回収して空調用熱源として利用している場合、排出量削減分は冷暖房供給熱量を電力量に換算して評価する。したがって排出係数は電力の値を用いる。

・下水処理水の雑用水等への利用

前掲の工業用水の排出係数を用いる。

・下水汚泥のコンポスト等土壌改良材

有機質土壌改良材の価格を参考に、文献<sup>9)</sup>により排出係数 (38kg-CO<sub>2</sub>/万円) を設定する。

・焼却灰および溶融スラグを原料とするレンガ・ブロックおよび建設資材

焼却灰を利用したレンガ・ブロックの排出係数は市販同等製品の排出係数 (307kg-CO<sub>2</sub>/万円) を用いる。なお、溶融スラグについては採石の排出係数 (7.577kg-CO<sub>2</sub>/t) を用いる。

(3) 地球温暖化係数

温室効果ガスの総排出量を算定するために、地球温暖化係数を用いてそれぞれの温質効果ガス排出量を二酸化炭素量に換算する。

地球温暖化係数は、当該物質の地球温暖化に対する寄与の程度を二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) の程度に対する比で示した数値で、国際的に認められた知見により設定された値である。IPCCで示されている各物質の地球温暖化係数は表-5に示すとおりである。

表-5 温室効果ガスの地球温暖化係数

温室効果ガス	地球温暖化係数
CO <sub>2</sub>	1
CH <sub>4</sub>	21
N <sub>2</sub> O	310

3.3 下水道における地球温暖化防止対策

エネルギー消費に伴う温室効果ガス排出量の削減対策は、省エネルギー化の促進、場内でのエネルギー利用の効率化が主な対策である。

処理プロセスからの温室効果ガス排出の削減は、処理方式の改善や運転方法の改良等温室効果ガス排出量が少ない方式に切り替えることで対応する。

また、水道および薬品類の削減等、省資源化を図ることにより温室効果ガス排出量の削減を行う。

表-6は排出源別に各処理プロセスにおける温暖化防止対策の着目点を示したものである。

3.4 地球温暖化防止実行計画の策定と推進

地球温暖化防止実行計画は、図-3に示すフローに基づいて策定、推進する。

表-6 削減対策の着目点

プロセスおよび主要設備	省エネルギー対策	処理プロセスでの対策	省資源対策	資源有効利用対策
ポンプ設備	○			○
水処理プロセス	沈殿池	○		○
	反応タンク	○	○	○
	消毒設備	○	○	○
高度処理	○		○	○
汚泥処理プロセス	汚泥濃縮設備	○		○
	汚泥消化設備	○	○	○
	汚泥脱水設備	○	○	○
	汚泥乾燥設備	○		○
	汚泥焼却設備	○	○	○
	汚泥溶融設備	○		○
コンポスト化設備	○		○	○
その他の設備（管理棟など）	○		○	

○は地球温暖化防止対策の対象となるプロセス。

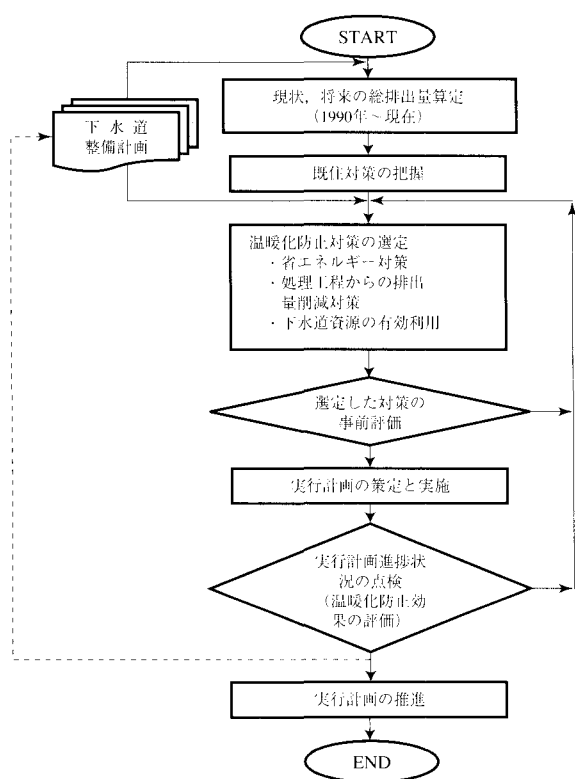


図-3 実行計画の策定および推進のフロー

## 4. まとめ

以上の調査結果を、「下水道における地球温暖化防止実行計画策定の手引き（案）」の形でとりまとめた。手引き（案）の構成は次のとおりである。

### 【本編】

#### 第1章 総論

実行計画策定の目的および対象を明らかにするとともに、地球温暖化のメカニズムおよび関連用語の定義を示し

た。

第2章 温室効果ガス排出源と排出量の把握  
下水道施設から排出される温室効果ガスの排出源とメカニズムを整理し、排出源ごとの温室効果ガス排出係数および排出量の算定方法を示した。

第3章 温室効果ガス総排出量の算定  
排出源および温室効果ガスごとの排出量から、温暖化係数を考慮して総排出量（二酸化炭素換算）を算定する方法を示した。

第4章 地球温暖化防止対策  
省エネルギーおよびプロセスからの排出抑制の観点から、各処理プロセスごとに地球温暖化防止対策メニューおよび事例を示した。

第5章 地球温暖化防止実行計画の策定と推進  
実行計画に盛り込む事項および計画推進のための体制づくり等を整理した。

### 【策定例編】

地球温暖化防止実行計画の策定例を2例示した。一つは複数の処理場を有する地方公共団体の例、他は小規模処理場を有する地方公共団体の例である。

### 【資料編】

#### 参考文献

- ・地球温暖化対策の推進に関する法律（概要と法律）
- ・地球温暖化対策の推進に関する法律施行令
- ・地球温暖化対策に関する基本方針
- ・省エネルギーに関する法律（概要と法律）
- ・全国の下水道処理場から排出される温室効果ガス排出量の試算結果
- ・下水道処理プロセスにおける温室効果ガスの測定方法

## 5. 今後の課題

下水道事業は、公共用水域の水質保全、安全なまちづくり、生活環境の改善等本来の役割を担うと同時に、地球温暖化防止に対しても寄与しなければならない。今回の「下水道における地球温暖化防止実行計画」は、現状の下水道における温室効果ガス排出量を把握し、適切な下水道事業における温室効果ガスの排出抑制対策等を講じることにより、法律に基づく「地球温暖化防止実行計画」の着実な実施に寄与することを目的に策定されるものである。

下水道本来の事業を進めるとともに、地球温暖化防止を目指すことにより、あわせて、省エネルギー化、コスト縮減、資源循環型下水道の確立が図られるものと考えられる。

最後に、地球温暖化防止対策は、身近な省エネルギーだけでなく、事業あるいは施設のライフサイクルを考慮した対策とその評価を行うことが必要であり、今後の事業展開の中で検討していく課題である。

#### <参考文献>

- 1) IPCC第1作業部会：IPCC（気候変動に関する政府間パネル）第1作業部会レポート，1990
- 2) インターネットホームページ  
(<http://www.eic.or.jp/eanet/ondanka/ondanhou.html>)
- 3) 気候変動に関する国際連合枠組条約に基づく第2回日本国報告書（案），1997
- 4) 下水道技術開発連絡会議：下水道の長期的技術開発課題に関する基礎調査報告，(財)下水道新技術推進機構，1995.3
- 5) 建設省土木研究所下水道部：下水処理場からのメタン・亜酸化窒素の放出量の解明に関する研究，平成2～5年度下水道関係調査研究年次報告集
- 6) 産業環境管理協会：LCA実務入門
- 7) 建設省土木研究所下水道部：下水処理場からのメタン・亜酸化窒素の放出量の解明に関する研究，平成6年度下水道関係調査研究年次報告集
- 8) 温室効果気体の下水処理プロセスからの放出，月刊下水道，Vol.15，No.1，1992
- 9) 未利用エネルギー活用の手引き，山海堂
- 10) 下水熱利用システム計画マニュアル，(財)日本地域開発センター
- 11) 建設物価，建設物価調査会，1999.3

---

●この調査に関する問い合わせは 研究第一部長 大嶋 吉雄  
研究第一部主任研究員 馬渡 裕二  
研究第一部研究員 後藤 雅子