

## 〈特集〉

## 下水道分野における地球温暖化への取組

小越 真佐司<sup>1)†</sup>, 平山 孝浩<sup>2)†</sup>, 宮本 綾子<sup>1)</sup>, 西村 俊介<sup>1)</sup><sup>1)</sup> 国土技術政策総合研究所 下水道研究部 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地 †E-mail: ogoshi-m92ta@nilim.go.jp)<sup>2)</sup> 独土木研究所 水環境グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6 †E-mail: Hirayama-t@pwri.go.jp)

## 概要

上下水道事業は地方自治体の事務事業の中で温室効果ガス排出量が比較的多い事業であり、地方自治体が行う地球温暖化防止計画において果たすべき役割は大きい。下水道分野における地球温暖化防止への取組は、機能維持に必要なエネルギー効率改善によるもの、下水バイオマス・下水保有エネルギーの利活用によるもの、下水・汚泥処理過程において発生する温室効果ガス削減によるものが主である。他に自然エネルギーの利用によるものや、処理水再利用による水利用システムとしての発生量削減も検討されている。本稿では下水道分野における地球温暖化緩和策の概要と動向および取組の成果を紹介する。

キーワード：地球温暖化緩和策，下水道分野，温室効果ガス，消費エネルギー，資源有効利用，一酸化二窒素  
原稿受付 2010.5.21 EICA: 15(1) 20-23

## 1. はじめに

平成10年10月に公布され平成11年4月から施行された「地球温暖化対策の推進に関する法律」に基づき、地方自治体では地球温暖化対策の推進に関する実行計画策定が進められている。下水道事業に伴う温室効果ガス排出量は地方自治体の事業活動に伴う温室効果ガス排出量の中で大きな割合を占めており (Fig. 1)<sup>1)</sup>、下水道事業における取組が地方自治体における地球温暖化対策の中で果たす役割は大きい。国は平成10年に(財)下水道新技術推進機構に「下水道における地球温暖化防止対策検討委員会」を設置し、下水道事業における地球温暖化防止対策と、これを計画的に実施することについて検討を行った。その成果は平成11年8月に「下水道における地球温暖化防止実行計

画策定の手引き<sup>2)</sup>として公表され、平成21年3月にはその改訂版である「下水道における地球温暖化防止推進計画策定の手引き<sup>3)</sup>が公表された。

この手引きにおいて下水道における地球温暖化への取組は、下水道が担う公共用水域の水質保全等の役割を果たしていく中で排出されることになる温室効果ガス排出量を把握し、その削減のために適切な対策を講じることであり、下水道管理者が実施するものとされている。

また、その効果は温室効果ガス排出量の削減の他、エネルギー消費削減や下水道資源有効利用の促進などによる下水道事業の経営改善に及ぶとされている。

## 2. 下水道からの温室効果ガス

下水道は管渠、ポンプ場および下水処理場で構成される都市排水の収集処理システムであり、建設、運用および廃棄というライフサイクルの各段階で温室効果ガスが発生する。「下水道におけるLCA適用の考え方<sup>4)</sup>には管渠の建設と廃棄を除く下水道施設のライフサイクルにおいて発生する温室効果ガス(LCCO<sub>2</sub>)およびライフサイクルにおけるエネルギー消費量(LCE)を定量的に把握・評価する手法が示されている。これに基づいて処理能力50,250 m<sup>3</sup>/dの標準活性汚泥法による下水処理場のLCCO<sub>2</sub>を試算した結果<sup>5)</sup>(Fig. 2)によれば、ライフサイクルで発生する温室効果ガスの大部分(83%)は施設の運転・管理など供用に伴うものである。したがって、下水道分野におけ

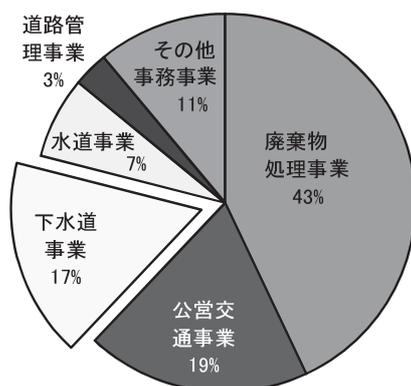


Fig. 1 都市の温室効果ガス排出割合 (大阪市 H16)

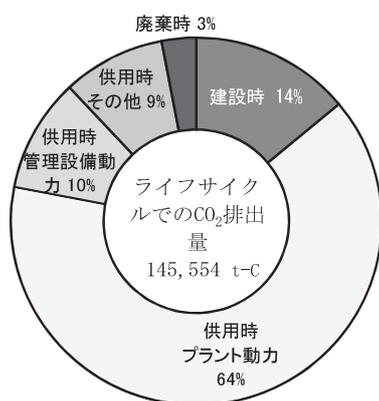


Fig. 2 標準活性汚泥法施設のLCCO<sub>2</sub>試算例

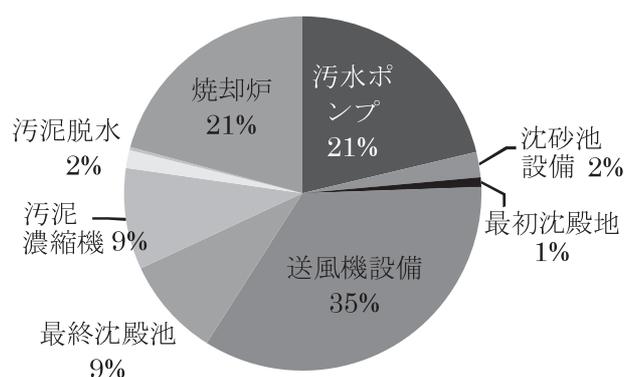


Fig. 4 標準活性汚泥法施設の電力消費試算例 (設計水量 50,000 m<sup>3</sup>/d)

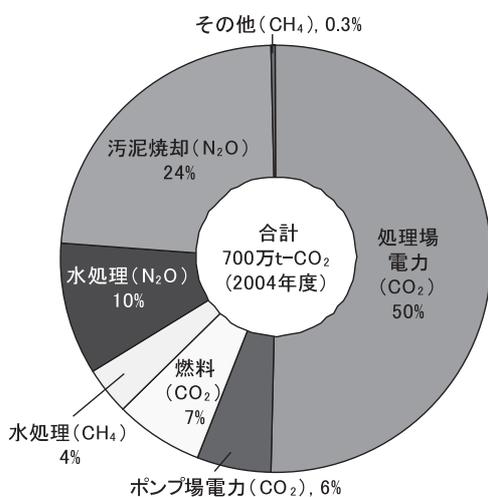


Fig. 3 下水処理施設の温室効果ガス発生源

る地球温暖化への主要な取組は施設の供用に伴う温室効果ガス発生量を削減するために行われるものである。また、全国の下水処理場の運転に伴って発生する温室効果ガスを発生源別に見ると、Fig. 3<sup>6)</sup>に示すとおり電力消費に伴うものが最も多く、次いで、焼却や活性汚泥処理に伴う一酸化二窒素ガスによるものが大きな割合を占めていることがわかる。これらの結果から、下水道施設から発生する温室効果ガス削減の取組の第1は運転に伴うエネルギー消費量の削減であり、次に処理過程から発生する一酸化二窒素ガスの発生量を低減させることであると考えられている。

### 3. 下水道における消費エネルギー削減の取組

#### 3.1 効率改善による電力消費量削減

下水道は集水に必要なエネルギーが最小となるよう自然流下を基本に建設されており、供用に伴うエネルギー消費は主としてポンプ場と下水処理場で発生する。消費エネルギーの主体は電力で、下水道施設で消費する電力量は、平成19年度で7152 GWh<sup>7)</sup>であり、我が

国の年間消費電力量のおよそ0.78%と推定される。ポンプ場における電力消費量は下水道システムの地理的条件によって異なるが、下水処理場ではポンプの他に下水の生物処理に必要な酸素を供給するための送風機や汚泥焼却のための動力が大きな割合を占めている (Fig. 4)。このうちポンプ動力については効率改善の余地が小さく、消費エネルギー削減の重要な取組の一つは送風機動力の削減となっている。近年、酸素溶解効率の高い散気装置が相次いで開発され、既設散気装置との交換により大幅な消費電力削減と維持管理費削減が達成されている。また汚泥処理機械でも電力消費量が多いタイプの濃縮・脱水機に換えてロータリー型やスクリー型等の低電力消費型の汚泥濃縮脱水装置の導入が進められている。これらの他にも、様々な機器・設備で省電力化や無効電力削減の工夫が行われている。

#### 3.2 下水保有エネルギーの利用

下水は人間活動に伴って放出された熱の一部を吸収しており環境水や外気温より温度が高くなる傾向がある。この熱を身近な生活圏の中にある熱源として回収し有効利用すれば地域のエネルギー消費量や温室効果ガス排出量の削減に有効である。この様な下水熱の利用は一部の都市で冷暖房等に利用している事例 (Table 1) があるが普及は進んでいない。国土交通省では民間事業者による同様の利用を促進するために公共下水道等から下水を取り入れて利用するための要

Table 1 下水熱利用熱供給事業の例

事業名	事業内容	供給開始時期
後楽一丁目の熱供給事業	地域冷暖房	1994年
千葉県の処理水再利用事業	地域冷暖房事業への熱源供給	1991年
岩手県の熱利用下水道モデル事業	盛岡駅西口地区地域熱供給事業	1997年
芝浦水再生センター下水熱利用事業	ソニー (株) 新社屋への熱源供給	2006年

件などを整備し積極的な利用を図っていくことにしている。また国土技術政策総合研究所では、この様な取組と排出量取引を組み合わせることによって都市におけるエネルギー利用合理化と温室効果ガス排出量削減を進めることについて検討を行っている。

下水中の汚濁物質の80%以上は生物由来の有機物であり、その一部は下水処理過程で水と炭酸ガスに分解され残りの一部は処理水中に残留して放流されるが、大部分は下水汚泥となる。下水汚泥に含まれる化学エネルギーの利用が汚泥の嫌気性消化によって発生する消化ガスの利用という方法で古くから行われてきた。嫌気性消化は汚泥有機物の50%程度をメタンと炭酸ガスを主成分とする消化ガスに変え、処分が必要な汚泥固形物を減少させるプロセスとして採用されている。消化ガスは60%程度のメタンを含むので脱硫後、ボイラ、ガスエンジン、ガスタービン、燃料電池等の燃料として供給し、処理場で必要な熱や電力に変換して処理場の外部エネルギー消費量削減に役立てられている。また、炭酸ガス等の副成分を除いてメタンガス濃度90%以上の精製ガスとし、処理場外に供給して都市ガスや自動車用燃料として利用することも行われている。消化ガスに変換して燃料化するほか、乾燥汚泥や炭化汚泥にすると低品位の石炭と同等の熱量を有することから、これを火力発電所等の燃料として利用する方法も実用化されている。

下水汚泥単独での利用の他に、生ゴミ、食品廃棄物、浄化槽汚泥、等の水分含有率が高く性質が類似している一般廃棄物を下水汚泥と共に嫌気性消化槽に投入し、廃棄物処理の合理化と共に消化ガス回収利用を行う。また消化汚泥はコンポストとして地域に還元し、エネルギー消費量削減や温室効果ガス排出量削減と共に廃棄物発生量も無くするという試みが行われている(Fig. 5)<sup>8)</sup>。その他、効率の良い小型発電機を利用して、下水処理水の放流口で放流先水域との高低差がある場合に落差を利用して小規模な水力発電を行い、電

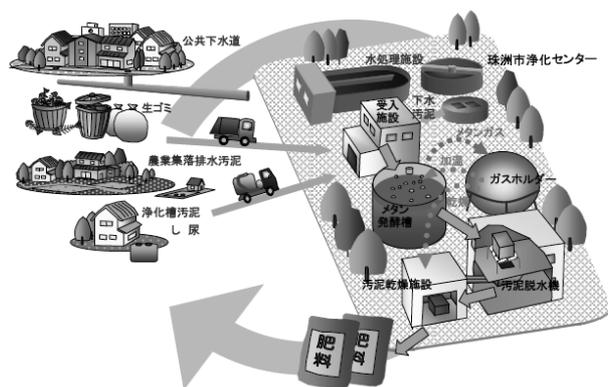


Fig. 5 珠洲市バイオマスタウン構想の一部

力を得ることも行われている。

### 3.3 自然エネルギー等の利用

下水処理施設用地を利用して太陽光発電施設や風力発電施設を設置して電力を得ることが行われており、温室効果ガスの排出量削減に寄与している。

## 4. 下水処理過程の温室効果ガス排出抑制

### 4.1 汚泥焼却

近年、下水汚泥の多くは高分子系凝集剤を用いて水分80%程度に脱水された後、流動床式焼却炉によって焼却される。このとき汚泥中の窒素と酸素の反応により一酸化二窒素ガスが生成される。一酸化二窒素ガスの生成率は焼却炉フリーボード部分の温度によって異なることが明らかにされており(Fig. 6)<sup>9)</sup>、焼却温度を850℃以上とする高温焼却によって削減できる。この様な取組はすでに多くの焼却炉で進められており、Fig. 7に示すとおりに進捗状況となっている。

### 4.2 活性汚泥処理過程

下水処理のメインプロセスである活性汚泥処理過程

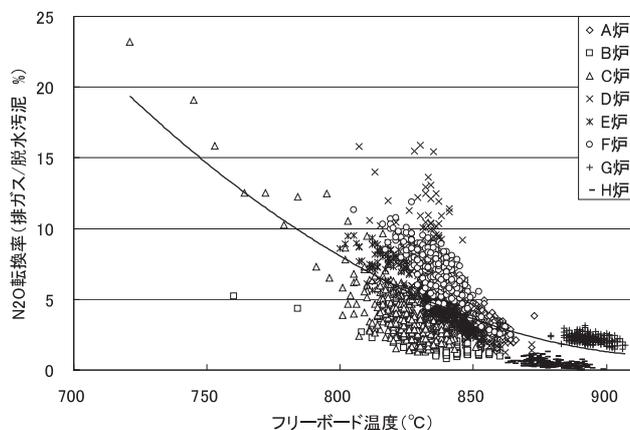


Fig. 6 流動焼却炉の焼却温度とN<sub>2</sub>O転換率の関係

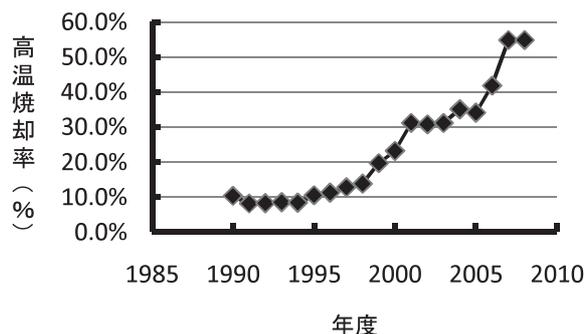


Fig. 7 流動床炉の高温燃焼化の進捗状況

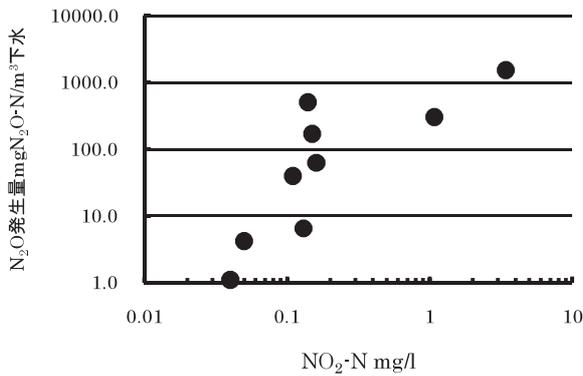


Fig. 8 亜硝酸濃度とN<sub>2</sub>O発生率の関係

ではアンモニア性窒素の硝化反応等に伴って一酸化二窒素が生じ、大気中に放散される。この生成量は反応液中の亜硝酸濃度に関係していること (Fig. 8)<sup>10)</sup>やASRTと関係のあることが判明しており、硝化・脱窒を行うプロセスでは生成量が少ないと推測されている。しかしながら活性汚泥処理過程での一酸化二窒素発生は、負荷量など処理条件の短時間の変動によって放出量が大きく変化することが観測されており、制御手法はまだ確立されていない。

#### 4.3 メタン

その他、下水処理場では重要な温室効果ガスであるメタンも発生するが、その寄与度比較的小さく、発生防止対策が確立している。下水の流路に滞留や汚泥の堆積が生じることを防止すると共に汚泥の嫌気性消化過程では消化ガスの漏洩防止も重要である。

### 5. 下水処理水再利用

下水処理水は都市内に賦存する水資源として利用可能であり、下水処理の高度化に伴い水資源としての価値が増大している。下水処理水再利用は遠隔地からの表流水輸送に要するエネルギーが不要であることや用途を限定することにより比較的簡易な再生処理を施す

Table 2 再生水利用に伴うCO<sub>2</sub>発生率の例

再生水利用方式	規模 (m <sup>3</sup> /d)	再生処理方式	CO <sub>2</sub> 発生率 (kg/m <sup>3</sup> )
広域循環	7,200	凝集・ろ過・オゾン	0.77
広域循環	5,000	ろ過・オゾン	0.4
広域循環	7,900	ろ過・オゾン	0.96
個別循環	397	生物処理・ろ過	0.4
個別循環	120	生物処理・ろ過・活性炭	0.84

だけで利用できること等から、都市全体の水利用に係る温室効果ガス排出量を低減できる可能性がある。Table 2<sup>11)</sup>は既存の再生水利用施設における再生水供給に伴う温室効果ガス発生率調査の結果を示したものである。幾つかの事例では、上水供給に伴う平均的な温室効果ガス発生率を下回っていたことから、国土技術政策総合研究所では再利用を組み入れた水利用システムによって都市域での水利用に係る温室効果ガス発生率が削減できる条件について調査を進めている。

### 6. おわりに

我が国全体では上下水道をあわせて年間約15TWhの電力を消費しており、水利用システムとしてのエネルギー利用合理化や再生可能エネルギー利用の導入を進めて温室効果ガス発生量を削減する必要がある。下水道分野では様々な取組を行ってきており、本稿ではその概要を紹介した。これらの取組の一部は普及が進んでいるが、実用化や普及に向けて引き続き検討が必要な取組も残されている。それらの中には下水道以外の分野との協力が必要なものも多く、下水道システムを利用した効率の良い資源・エネルギー循環の実用化・普及に向けて検討を進めることとしている。

#### 参考文献

- 1) 大阪市ホームページより
- 2) (社)日本下水道協会：下水道における地球温暖化防止実行計画策定の手引き (1999)
- 3) 下水道における地球温暖化防止対策検討委員会：下水道における地球温暖化防止推進計画策定の手引き (2009)
- 4) 国土交通省：下水道におけるLCA適用の考え方、国土交通省国土技術政策総合研究所、国総研資料第579号 (2010)
- 5) 鶴巻峰夫、藤岡荘介、内藤 弘：下水道終末処理施設のライフサイクルでの環境負荷の定量化について、土木学会第4回環境シンポジウム講演集、pp.57-62 (1996)
- 6) (社)日本下水道協会：下水道統計 [平成16年版] (2006) より集計
- 7) (社)日本下水道協会：下水道統計 [平成19年版] (2009) より集計
- 8) (財)下水道新技術推進機構：バイオマスマタン発酵施設に関する性能評価研究 (珠洲市) (2008)
- 9) 国土技術政策総合研究所・土木研究所：平成14年度下水道関係年次報告書集、国総研資料第138号、pp.205-228 (2003)
- 10) 国土技術政策総合研究所：平成17年度下水道関係年次報告書集、国総研資料第323号、pp.39-44 (2006)
- 11) 国土技術政策総合研究所：平成20年度下水道関係年次報告書集、国総研資料第543号、pp.79-82 (2009)