

下水道における地球温暖化防止対策に関する調査研究

1. はじめに

平成9年12月に開催された「地球温暖化防止京都会議」において、日本は2010年（平成22年）の温室効果ガスの排出量を1990年比で6%削減することとされた。

平成10年10月には、「地球温暖化対策の推進に関する法律」が公布され、平成11年4月より施行されている。この法律では、国および地方自治体に対しては、自ら出す温室効果ガスの排出抑制等に関する実行計画を策定し、計画やその実行状況を公表することを義務づけている。

環境庁（現環境省）は、平成11年6月に「実行計画策定マニュアル」、7月に「算定方法ガイドライン」を公表し、地方公共団体による取組の促進に努めている。

平成14年6月には、日本も通常国会において「京都議定書」の批准を行った。それにさきがけ、平成10年6月にまとめられた政府として緊急に推進すべき地球温暖化対策である「地球温暖化対策推進大綱」は、平成14年3月に改訂されたところである。

下水処理場においては、各処理施設の運転に伴って電力や重油等の燃料の消費により二酸化炭素（CO₂）を排出し、処理プロセスからのメタン（CH₄）、一酸化二窒素（N₂O）を排出している。

このような背景から、平成11年8月に下水道管理者による温暖化防止対策の手引き書として「下水道

施設における地球温暖化防止実行計画策定の手引き」が作成された。

本調査は、下水道整備の進んだ13都市を対象に、下水道における温室効果ガス排出の現状把握と温暖化対策を立案し、各自治体における取り組みを推進することを目的として平成13年度から2カ年間で実施するものである。

2. 調査内容

2.1 調査方法

本研究では、アンケート調査を通して各都市下水処理場の温室効果ガス排出実態調査結果の収集、下水処理場の温暖化対策事例調査、および焼却設備の運転管理実態調査を実施し、各都市下水処理場の温室効果ガス排出量について概要把握結果をまとめた。さらに、下水処理場に有効な温暖化対策の整理を実施し、温暖化対策の実行計画を策定するために、モデル処理場選定用の処理場仕様の設定を行った。併せて、下水処理場の温暖化対策について既往の調査事例を収集し有効な温暖化対策案を整理し、温暖化対策手法について総合的検討を行った。下水処理場の温室効果ガス排出と対策方法の説明図を図-1に示す。

2.2 調査フロー

本調査フローを図-2に示す。本図からわかるように、初年度は、①温室効果ガスの排出実態、②下

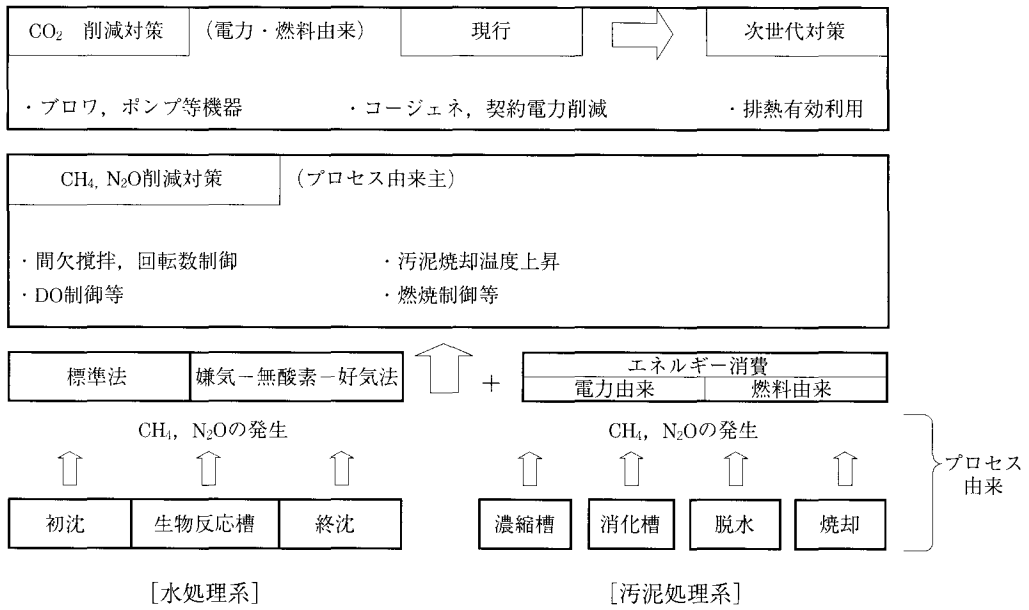


図-1 下水処理場の温室効果ガス排出と対策方法

水処理場の温暖化対策事例調査，③汚泥焼却炉の温暖化対策調査から，温室効果ガスの排出量の実態把握を行い，モデル処理場を設定し対象処理場候補を選定する。続いて次年度は，対象モデル処理場を水処理系および汚泥処理系各1箇所を決定し，温暖化対策のターゲットを検討し，対策メニューを選定し，CO₂削減効果の算定および対策メニューの経済性評価を実施し，対策の策定効果を総合的に検討する。

汚泥処理施設では，主に汚泥焼却炉で測定している。温室効果ガス削減対策に関連する調査として，焼却炉内温度管理による削減と水処理施設の運転管理による削減についての調査を行っている（D市）。

(2) 第二次アンケート調査結果

第二次アンケート調査は，第一次で回答のあった事項について詳細なアンケートを行い，温室効果ガス排出量実態調査における実測データや調査時の処

3. アンケート調査結果

3.1 温室効果ガスの実態調査

各都市における温室効果ガス排出量実態調査の実施状況を把握するため，下水道整備が進み，地球温暖化対策等に取り組んでいる13都市を対象に，第一次調査と第二次調査の2回アンケート調査を実施した。第一次アンケート調査では，温室効果ガス排出量実態調査の実施状況の有無について概略を把握した。

(1) 第一次アンケート調査結果

温室効果ガスについて実態調査を実施しているのは，D，G，J，L，M市の5都市であった。実態調査は，主にメタン，一酸化二窒素が測定されており，G，J，L市の3都市では二酸化炭素も測定している。メタンの測定は，水処理施設では，主に最初沈殿池，反応槽で実施し，汚泥処理施設では，主に汚泥焼却炉で測定している。一酸化二窒素の測定場所は，水処理施設では主に反応槽，最終沈殿池で実施し，汚

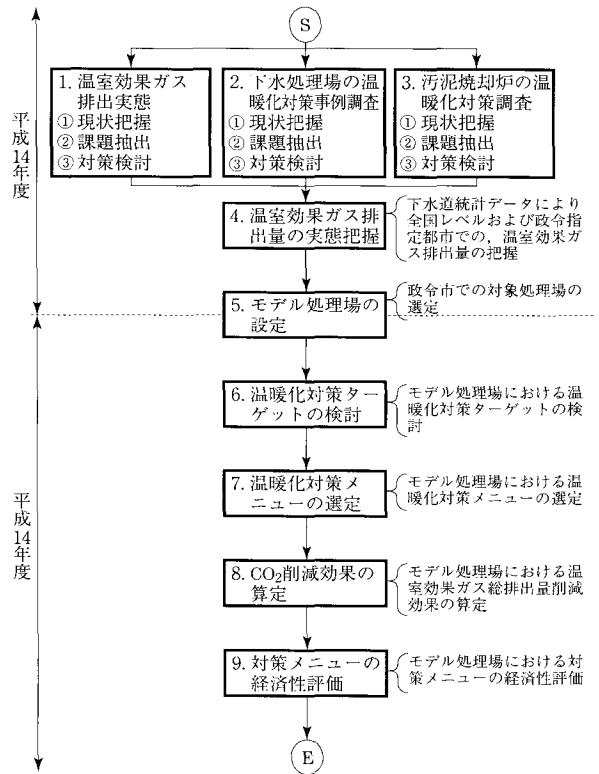


図-2 本調査の調査フロー

表-1 水処理・汚泥処理プロセスのメタン排出量

処理プロセス	水処理				汚泥処理					
	最初沈殿池	反応タンク	最終沈殿池	計	濃縮	遠心濃縮機	ベルトプレス	焼却	計	
	単位	g/m ³	g/m ³	g/m ³	g/m ³	g/t・DS	g/t・DS	g/t・DS	g/t・DS	
全体	最小	0.0036	0.009	0.00002	0.013	10	9.88	0	0	20
	最大	0.428	0.383	0.002	0.813	13,169	380	674	10	14,233
	平均値	0.097	0.189	0.00037	0.287	1,803	105	174	2.5	2,085
	データ数	19	28	11		12	6	11	8	
トア調査	最小	0.0189	0.0704	0.00004	0.089	6,678	56	0	0	6,734
	最大	0.428	0.383	0.00202	0.813	6,678	56	0	0	6,734
	平均値	0.176	0.243	0.00053	0.420	6,678	56			6,734
	データ数									
既往調査	最小	0.0036	0.009	0.00002	0.013	10	9.88	0	0	20
	最大	0.428	0.383	0.002	0.813	13,169	380	674	10	14,233
	平均値	0.040	0.142	0.00009	0.182	1,360	115	174	2.5	1,651
	手引き係数				0.582					※150

文献1) 下水道における地球温暖化防止実行計画策定の手引き
 ※ 手引きでは、焼却の排出係数は脱水ケーキwet-t当りであるが、ここでは含水率76%としてds換算した。

表-2 水処理・汚泥処理プロセスの一酸化二窒素排出量

処理プロセス	水処理				汚泥処理					
	最初沈殿池	反応タンク	最終沈殿池	計	濃縮	遠心濃縮機	ベルトプレス	焼却	計	
	単位	g/m ³	g/m ³	g/m ³	g/m ³	g/t・DS	g/t・DS	g/t・DS	g/t・DS	
全体	最小	0	0	0	0	0	0.0181	0	4	4
	最大	0.147	0.338	0.0004	0.485	34.3	120	41	13,200	13,395
	平均値	0.016	0.0596	0.00010	0.076	9.61	20.8	10.6	4,054	4,095
	データ数	20	27	16		9	6	9	15	
トア調査	最小	0.00025	0.0050	0.00002	0.005	20	0.135	0	69	89
	最大	0.031	0.132	0.00042	0.163	20	0.135	0	13,200	13,220
	平均値	0.009	0.048	0.00015	0.057	20	0.135		7,258	7,278
	データ数									
既往調査	最小	0	0	0	0	0	0.0181	0	4	4
	最大	0.147	0.338	0.0003	0.485	34.3	120	41	7,720	7,915
	平均値	0.021	0.0689	0.00006	0.090	8.37	24.9	10.6	1,250	1,294
	手引き係数				なし					※3,813

文献1) 下水道における地球温暖化防止実行計画策定の手引き
 ※ 手引きでは、焼却の排出係数は脱水ケーキwet-t当りであるが、ここでは含水率76%としてds換算した。

理状況等について把握した。

下水道において排出される温室効果ガスは、水処理系では最初沈殿池からメタン、生物反応槽から一酸化二窒素、汚泥処理系では、汚泥濃縮槽からメタン、汚泥焼却炉から一酸化二窒素が排出されている。これらのガスは、温暖化に寄与する割合として二酸化炭素を1とした場合、メタンが21倍、一酸化二窒素が310倍である。特に、一酸化二窒素は少量の排出でも大きな排出負荷となる。

第二次アンケートにより収集された実測データ、および既往調査事例で把握されたデータを処理プロセス毎に整理した結果を表-1および2に示す。

その結果、これまでに収集した各処理プロセスごとの実態調査結果から排出係数を求めると、各調査結果で大きな開きがあるものの、水処理系でメタン0.287 g/m³、一酸化二窒素0.076 g/m³、汚泥処理系でメタン2,085 g/t・ds、一酸化二窒素4,095 g/t・dsであった。

3.2 温暖化対策の実施状況調査結果

第二次アンケート調査は、第一次で回答のあった対策について詳細なアンケートを行い、地球温暖化対策における実施例やその効果等について把握した。その結果を以下に示す。

(1) 各都市の下水処理場の現状

全国の下水道の普及率は60%にとどまっている

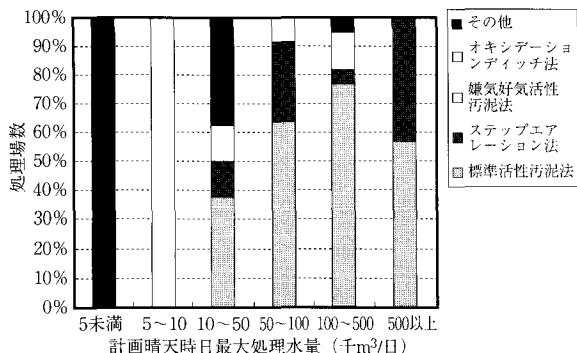


図-3 水処理方式別の処理場数の割合〔13都市〕

が、大都市と地方都市の整備状況に格差があり、13都市では98%と高い普及率であり、その他の一般都市は5割程度の普及にとどまっている。

平成11年度末現在、13都市の93処理場における水処理方式別処理場数は、10万~50万m³/日の大規模処理場で、60処理場(全体の63%)と多い。

計画値における処理規模の分布は、平成11年度末の時点では、10~20万m³/日が25処理場(全体の27%)と最も多く、次いで5~10万m³/日が20処理場(全体の22%)、20~30万m³/日が19処理場(全体の20%)である。

処理方式と実施箇所数については、図-3に示すように標準活性汚泥法が多く採用されており、93処理場のうち、標準活性汚泥法は64処理場(全体の67%)と最も多く、次いでステップエアレーション法13処理場(全体の14%)、嫌気-好気活性汚泥法11処理場(全体の11%)という順になっている。計画で10~50万m³の処理水量の処理場においては、75%が標準活性汚泥法を採用している。

なお、高度処理施設を付加しているのは一部系列実施を含めて25処理場で、主に急速ろ過法である。

13都市の汚泥処理方式別の処理場数の割合を表-3に示す。

13都市では、汚泥の集約処理が進んでいるため送泥等が約半数を占め、次いで濃縮(+消化)+脱水+焼却方式である。汚泥の減容化対策としては、焼却処理がその中心である。

表-3 汚泥処理方式別の処理数の割合〔13都市〕

汚泥処理方式	処理場数	割合%
濃縮+消化+脱水	19	18
濃縮+消化+脱水+焼却(溶融)	8	8
濃縮+脱水	12	12
濃縮+脱水+焼却(溶融)	15	14
その他(送泥等)	50	48
計	104	100

表-4 主な温暖化対策の対象箇所, 採用都市

			対象場所	採用都市
未利用エネルギーの利用	下水熱有効利用	融雪処理	場内調整槽など	A市
		ヒートポンプ	ポンプ所など	D市
	消化ガス有効利用	消化槽加温, ガス発電, 燃料電池	消化槽など	F市, H市, I市, M市
	小水力発電	落差を利用	放流水	J市
省エネ機器の導入	モータ電圧変更	3KVを6KV化		B市, L市
	回転数制御	水中攪拌機の回転数制御	嫌気槽	B市
	汚泥掻寄機の軽量化	プラスチックチェーン	最終沈殿池	E市, L市
	受変電設備の改良	高効率トランス, 力率改善	受電室	I市
	無給水型ポンプの導入		ポンプ室	K市
運転制御	フロアの適正運転	DO制御	曝気槽	H市
		微細気泡式散気装置	曝気槽	F市
	焼却温度管理	高温焼却	焼却炉	D市

(2) 第一次アンケート調査結果

第一次アンケートは、各都市における省エネルギー対策の実施の有無についての概略把握を目的として実施した。

1) 省エネルギー対策の実施状況

省エネルギー対策については、ほとんどの都市で実施されており、未利用エネルギーの利用、受電設備の変更、省エネ機器の導入が多い。

2) 地球温暖化防止実行計画の策定状況

地球温暖化対策推進に関する法律に基づく地方公共団体の実行計画を策定しているのは、13都市中、策定中2都市を含め8都市である。

下水道事業における地球温暖化防止実行計画を策定しているのは、13都市中、策定中1都市を含め4都市である。

3) エネルギー使用量

電力使用量が年間600万kWh以上の第二種電気管理指定工場に該当する処理場は、回答のあった102処理場中87処理場（85%）である。その内61処理場（70%）は第一種並の年間1200万kWh以上の電力使用の下水処理場である。各都市の処理能力に対する電気使用量のエネルギー原単位を図-4に示す。各都市の原単位は0.5以下が大半であるが、処理規模の小さい下水処理場では1を超える場合も散見される。

燃料使用量が1,500kℓ以上の第二種熱管理指定工場に該当する処理場は、回答のあった102処理場中24処理場（24%）である。その内14処理場（58%）は、第一種並の年間3,000kℓ以上の燃料使用の汚泥焼却設備を有した下水処理場である。

使用燃料の種類は、重油が中心であるが、一部、環境負荷の少ない都市ガスへの燃料転換が認められる。

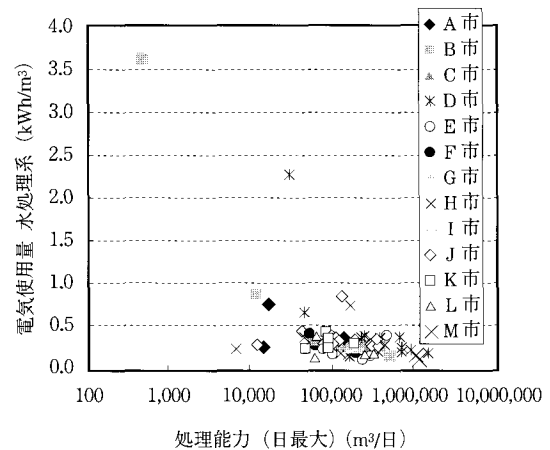


図-4 水処理系の電力使用量原単位 [13都市]

(3) 第二次アンケート調査結果

第二次アンケートは、各処理場における温暖化対策事例温暖化対策について、実施箇所や導入前後の効果等を調査した。

1) 温暖化対策と効果

各都市で実施している主な温暖化対策（省エネ対策）を表-4に示す。

表より、発電設備、機械設備の改良（省エネ化）によって、電力量の削減や消化ガスの利用による燃料の削減等が挙げられる。

これらの導入箇所は、一部効果を確認したり、本格導入のための試験的検証を行っている事例を整理したものである。

2) メーカーアンケート調査

メーカーアンケートは、下水道に関連する機械設備、電気設備等の主要メーカーを対象に表-4で示した各都市で実施している温暖化対策以外の対策や今後期待できる新技術などの情報を得るために実施した。省エネ対策では水処理設備で21種類、汚泥処理設備で12種類の技術

表-5 汚泥焼却炉の第二次アンケート調査結果

項目	流動焼却炉	多段焼却炉	ストーカー炉	備考
施設数	30基	10基	10基	全体20処理場
施設規模 (1系列=1基当たり)	154t/日	140t/日	96t/日	平均 130t/日
平均稼働年数	11年	25年	14年	
汚泥処理量 (1基平均)	2,673t-wet/日 (95.5t-wet/日)	695t-wet/日 (86.9t-wet/日)	573t-wet/日 (57.3t-wet/日)	
稼働日数 (年間稼働日数)	5,996hr/年 (249.8日/年)	4,913hr/年 (204.7日/年)	5,620hr/年 (234.2日/年)	
平均CO ₂ 排出 原単位	189kg-CO ₂ /t	160kg-CO ₂ /t	—	エネルギー 起源による

があり、省資源対策で14種類、未利用エネルギー対策で9種類の技術が収集されている。

3.3 焼却炉の実態調査

第二次アンケートにおいて、下水汚泥焼却設備における施設毎の原単位と熱利用効率について実態を把握し、これらを踏まえて温暖化対策を抽出することを目的として行った。その結果を表-5に示す。

1) 第二次アンケート調査結果

処理場数は20で、焼却炉は全部で50基が対象であった。焼却炉型式の内訳は、流動焼却炉が30基、多段焼却炉とストーカー炉が各10基であった。

温室効果ガスの排出量データとして各施設から提示があったのはCO₂排出量のみであった。ここでは、燃料と電力使用量によるCO₂排出量原単位を焼却炉規模別の概算値を算出した。

流動焼却炉の平均エネルギー原単位を試算すると、燃料で146kg-CO₂/tで、電力で43kg-CO₂/tで、合計のエネルギー原単位は189kg-CO₂/tが得られた。

2) 第三次アンケート調査結果

現在および将来についても主たる処理法式であると予想される流動炉について、施設規模の大小、乾燥設備の有無について、処理能力50t~300 t/日規模の施設に対して詳細な運転状況の調査を第三次アンケート調査として実施した。

第三次アンケート調査を集計して、以下の結果が得られた。

- ① 二酸化炭素の排出量は、通常運転時では燃料由来の量より電力由来の量の方が多い。
- ② 立ち上げに要する燃料消費は、全体の燃料消費量に対して5%程度であり、対策した場合でも大きな削減効果は期待できない。

③ 汚泥乾燥設備導入に伴う削減効果はあると言える。

④ 負荷率(実処理量/処理能力)が低下するとCO₂排出原単位は増加する。

⑤ 汚泥焼却がほとんどない月でも相当量の電力消費がある場合が多い。電力消費の要因究明が必要である。

⑥ 汚泥含水率の季節変化に伴って燃料消費量が変化しているようである。

⑦ 焼却温度を50℃上げたN₂O対策の実施には現状の設備では問題が多い。

以上の知見から、焼却設備も電力使用に伴う二酸化炭素排出量の割合が大きかったことがわかった。

試算によれば、流動ブロワ、空気圧縮機、誘引ファン、白防防止ファン、乾燥機の主要な5種の電動機で全体の75%以上の電力を消費していることがわかった。

したがって、今後の検討で電動機の省エネルギー対策を検討する場合は、この5種を検討対象とすれば良いと考えられる。

4. 温室効果ガス排出量と温暖化対策の検討

4.1 温室効果ガス排出量の概略把握

(1) 日本における温室効果ガス排出量

1999年度(平成11年度)における日本の温室効果ガスの総排出量は13億700万 t-CO₂(6種のガスに地球温暖化係数を乗じて二酸化炭素換算したもの)であり、基準年(1990年)に比べ約6.8%の増加、前年度に比べ約2.1%の増加となっている。このうち、二酸化炭素排出量は12億2,500万 t-CO₂で、国民一人当たりの排出量は9.67 t-CO₂/人である。

(2) 下水道における温室効果ガス排出量

下水道における温室効果ガス排出量の試算例は、CO₂発生量で200~500万 t-CO₂/年であり、日本全国のCO₂発生量に対して0.18~0.4%を占めている。なお、排出量試算値では、全国で398万 t-CO₂/年(CH₄, N₂O含む)であった。

(3) 各都市の温室効果ガス排出量

排出量試算値では、全国で398 t-CO₂/年(CH₄, N₂O含む)であり、うち13都市の排出量は、164万 t-CO₂/年(CH₄, N₂O含む)であり、約4割を占めて

いる。下水道部門の市全体に対するCO₂排出割合を
図-5に示す。全体の平均値は0.7%であり、D市、
 H市、I市の割合が高い結果が得られた。

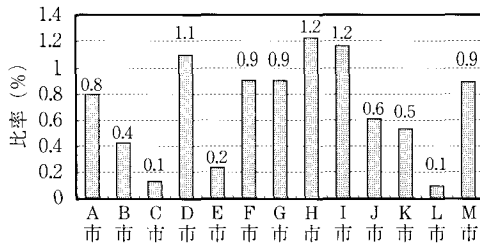


図-5 下水道部門の市全体に対するCO₂ 排出割合

(4) 各都市の温暖化防止計画の現状と削減目標

市域(市全体)の地球温暖化防止実行計画の策定を行っているのは、策定中も含めて13都市中8都市である。このうち、下水道事業におけるの実行計画を策定しているのは、策定中も含めて4都市である。

また、環境に配慮した政策として、ISO14001を取得している都市は、市の事業の一部でも取得しているものが11都市、このうち、下水道部門については2都市が取得している。

温室効果ガスの削減目標は、各都市によって異なる。目標年次は2005年(H17)もしくは2010年(H22)であり、D市は2004年(H16)である。目標値は、'90年レベルを維持(C市、E市、I市)、'90年比で6~10%削減(A市、F市、G市、M市)、'99年比で2~10.5%削減(D市、J市、K市、L市)'98年比で10~11%削減(B市、H市)となっている。

4.2 下水道施設における温暖化対策手法の整理

下水道における温暖化防止対策は、大部分の対策は下水処理場における対策があるが、下水道管渠における要因が処理場やポンプ場のエネルギー消費量に影響することも多い。13都市での事例調査、省エネ型機器の開発動向に関するメーカーヒアリング、文献調査等により収集した下水道における温暖化防止対策をまとめた。

従来型よりも建設費と維持管理費を含めたトータルの経済性で有利となる超微細気泡散気装置、高効

率モータ、下水熱利用、および維持管理手法の改善によりコスト削減が見込まれる水中攪拌機の回転数制御では、経済的なメリットがあり、なおかつ温室効果ガスの削減も見込まれる技術となる。

その他の対策では、消化脱水ケーキ焼却での省エネ型焼却炉の導入と、十分な落差が確保できる場合の小水力発電が最も費用対効果が高い。これに次いで、十分な発電が可能な風が確保される地域での風力発電が費用対効果が高く、消化ガス発電は太陽光発電に比べ費用対効果が高い。また、小水力発電は5m程度の落差では消化ガス発電よりも割高となる。

5. モデル処理場候補の選定

5.1 水処理系

処理水量が50,000~300,000m³/日程度の規模で、標準法と「嫌気-無酸素-好気法」等の導入を現在行っている処理場として、C-1浄化センター(C市)、D-1処理場(D市)、E-1水処理センター(E市)、F-1処理場(F市)をモデル処理場候補として選定した。

5.2 汚泥処理系

焼却炉は現在主流の流動床焼却炉で、{濃縮+(消化)+脱水+焼却}の中規模の処理場として、C-1浄化センター(C市)、F-1汚泥処理センター(F市)をモデル処理場候補として選定した。

6. おわりに

次年度は、対象モデル処理場として水処理系および汚泥処理系で各1箇所を決定し、温暖化対策のターゲットを検討し、対策メニューを選定し、CO₂削減効果の算定および対策メニューの経済性評価を実施し、対策の策定効果を総合的に検討する予定である。

●この研究を行ったのは

研究第一部長	宮原 茂
研究第一部総括主任研究員	栗林 栄
研究第一部主任研究員	津倉 洋
研究第一部研究員	野尻 希守

●この研究に関するお問い合わせは

研究第一部長	田中 修司
研究第一部総括主任研究員	武 亨
研究第一部主任研究員	津倉 洋
研究第一部研究員	一松 雄太