

# 省エネルギー・創エネルギー技術の 導入に向けた検討に関する調査研究

## 1. はじめに

我が国は、京都議定書に基づき温室効果ガスの排出量を削減することとしているが、現実的には、全体の温室効果ガス排出量の増加傾向が続いており、このような状況の中、下水道事業は全国の電力消費の1%弱を占めることから、電力をはじめとするエネルギー起源二酸化炭素の削減は重要な課題となっている。また国土交通省では、平成17年9月に、『下水道ビジョン2100』がとりまとめられており、その施策方針の1つとして、下水道の有する資源回収・供給機能を積極的に活かして、下水処理場のエネルギー自立、地球温暖化防止等に貢献する「資源のみち」の創出が盛込まれ、今後下水道事業における省エネ対策は重要な施策として推進していく必要性が高まりつつある。

そこで本調査研究では、東京都及び18政令都市で構成される下水道技術開発連絡会議の平成19・20年度の研究課題として、各地方公共団体が取り組んでいる省エネルギー・創エネルギー対策の更なる効率的・効果的な事業の推進を目的に、エネルギー消費実態を整理し、処理場を対象とした省エネ・創エネ技術導入のケーススタディーによるエネルギー収支やコスト収支の定量的試算を実施し、エネルギー消費削減の限界範囲や収支バランスを整理することで、今後の省エネ対策のあり方について検討を行った。

## 2. 研究体制

本調査研究は、下水道技術開発連絡会議における「下水道に関する新技術開発の共同研究」として、札幌市、仙台市、さいたま市、千葉市、東京都、川崎市、横浜市、新潟市、静岡市、浜松市、名古屋市、京都市、大阪市、堺市、神戸市、広島市、北九州市、福岡市、(財)下水道新技術推進機構で共同実施した。

## 3. 研究内容

本調査研究では、図-1に示す調査フローに基づき、次の項目について検討を行った。

- ① 省エネルギー技術に関する調査
- ② 省エネ技術資料の作成
- ③ 創エネルギーポテンシャルの調査
- ④ 省エネ技術導入に関するケーススタディーの実施
- ⑤ 省エネ・創エネ技術の開発に対するあり方の検討
- ⑥ 事業化の課題・事業実施に向けた制度面のあり方の検討
- ⑦ 調査研究のまとめ

このうち、平成20年度は、④の技術導入計画の策定(ケーススタディー)～⑦について実施した。

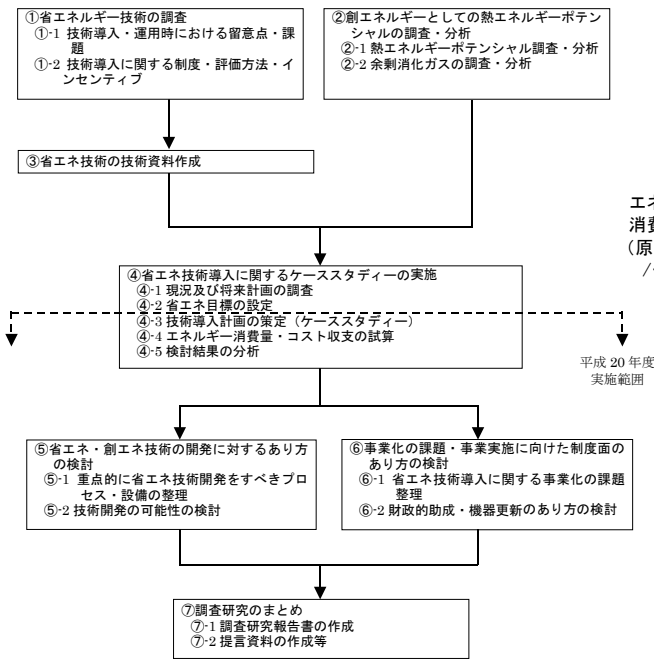


図-1 調査フロー

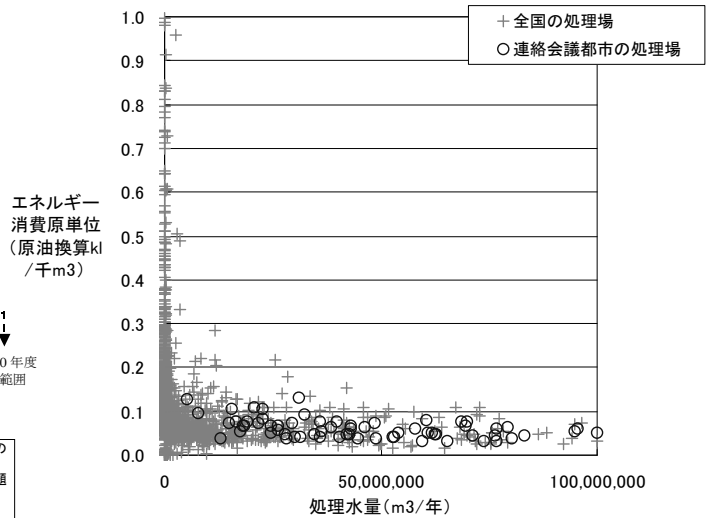


図-2 エネルギー消費実績 (H18 年度実績)

## 4. 調査研究結果

### 4.1 省エネ技術導入に関するケーススタディーの実施

#### 4.1.1 省エネルギー目標の設定

ケーススタディーにおける省エネルギー目標は、「エネルギーの使用の合理化に関する法律」におけるエネルギー使用の合理化目標及び計画的に取り組む措置として、技術的かつ経済的に可能な範囲内で、中長期的（3～5年）に見て、エネルギーの消費原単位を年平均 1%以上の改善という目標が掲げられており、機器の一般的なライフサイクルとして標準的な耐用年数である 15 年を評価期間とし、平成 18 年度を基準としてエネルギー消費原単位の削減割合を 15%に設定する。

$$\begin{aligned} & \text{エネルギー消費原単位の削減割合 (\%)} \\ &= \text{年平均の削減割合} \times \text{評価期間} \\ &= 1\%/\text{年} \times 15 \text{年} \\ &= 15\% \end{aligned}$$

#### 4.1.2 ケーススタディーの実施

##### (1) 対象処理場

平成 18 年度現在の連絡会議参加都市の処理場におけるエネルギー消費は、処理水量別のエネルギー消費原単位（原油換算 kl/千 m<sup>3</sup>）から、全国の処理場に比べ、平均或いは平均値以下の範囲にあり、高効率機器の先進的な導入や運転方法の工夫及び創エネルギーの有効利用等により、省エネルギー化や創

エネルギー利用が進んでいると考えられる。（図-2 参照）

ケーススタディーを実施する処理場は、以下の条件に基づき表-1 に示す A～K の 11 処理場を選定した。

##### 【選定条件】

- ① 処理開始年が新しい処理場 ← 古くから供用開始している処理場に比べ、高効率型機器の導入が進んでおり、今後削減目標達成に向け、課題が多い。
- ② 処理規模が大きい処理場 ← エネルギーの消費量自体が多く、省エネルギー化による効果が、処理規模が小さい処理場と比べて大きい。
- ③ エネルギー消費原単位が他の処理場に比べて低い処理場 ← 他の処理場に比べて省エネルギー対策が進んでいると考えられ、今後削減目標達成に向け、課題が多い。

なお、ケーススタディー対象とした処理場のエネルギー消費原単位について、電力の消費量のみに着目したエネルギー消費原単位（kWh/m<sup>3</sup>）として整理し、全国の下水処理場の状況と合わせて処理水量毎に整理したものを図-3 に示す。水処理プロセスにおける高度処理の導入の有無や、汚泥処理方式の違いにより幅を持った分布となっているものの、全国の処理場と比較すると概ね中心付近に分布している。

表-1 ケーススタディー対象処理場の概要 (H18 年度)

処理場名	処理経過年数(年)	日平均処理水量(万m <sup>3</sup> /日)	エネルギー使用量(原単位換算)(kWh/年)	操業方式	水処理方式	汚泥処理方式
A 処理場	26年	12	6,848	分流式	標準活性汚泥法 2段3 <sup>rd</sup> 曝気無酸素好気法	濃縮+消化+脱水+焼却
B 処理場	14年	41	26,239	合流式	標準活性汚泥法	濃縮+脱水+焼却
C 処理場	25年	19	7,280	分流式	酸素活性汚泥法 好気性床法	-
D 処理場	23年	8	4,374	合流式	標準活性汚泥法	-
E 処理場	27年	16	3,323	合流式(一部分流)	標準活性汚泥法	濃縮+消化+脱水+焼却
F 処理場	26年	10	3,632	分流式	標準活性汚泥法 3 <sup>rd</sup> 流入式多段硝化脱窒法	脱水+乾燥+造粒
G 処理場	43年	21	4,558	合流式(一部分流)	標準活性汚泥法	濃縮+消化
H 処理場	44年	8	2,730	合流式(一部分流)	標準活性汚泥法	-
I 処理場	26年	7	3,197	分流式	標準活性汚泥法+砂ろ過 循環式硝化脱窒法+砂ろ過	濃縮+消化+脱水
J 処理場	28年	5	1,961	分流式	標準活性汚泥法	濃縮+脱水
K 処理場	27年	13	5,726	合流式(一部分流)	曝気好気活性汚泥法 曝気無酸素好気法	濃縮+消化+脱水+焼却

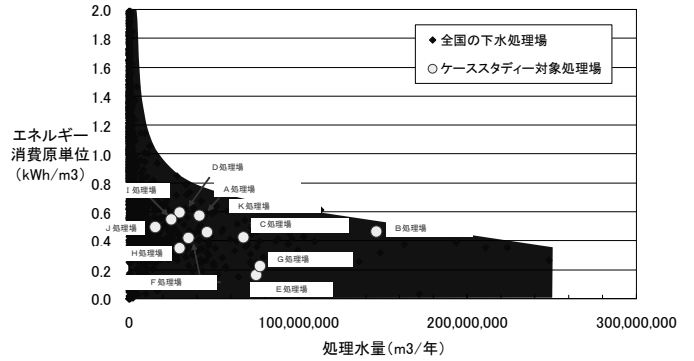


図-3 ケーススタディー対象処理場のエネルギー消費実績 (H18 年度実績)

(2) ケーススタディーで導入する技術

ケーススタディーでは、現在実用化されている最新の技術として、表-2 に示す 13 技術から、各処理場の特性に応じた導入の適用性を判断して選定した。

表-2 省エネ・創エネ技術

省エネ技術	① 高効率モータの採用
	② 揚水ポンプの樹脂コーティング
	③ 送風機のインレットベーン制御
	④ 超微細気泡散気装置
	⑤ 巡回機構付プロペラ式水中攪拌装置
	⑥ 空気浮上式高速ターボブロフ
	⑦ 高効率型酸素発生装置
	⑧ 低動力型高効率遠心脱水機
	⑨ 二重円筒加圧脱水機
	⑩ 省エネ型水槽上部設置攪拌機
創エネ技術	⑪ 循環式流動汚泥焼却炉
	⑫ 消化ガス発電
	⑬ 太陽光発電

4.1.3 エネルギー消費量・コスト収支の試算結果

ケーススタディーの結果、省エネ目標であるエネルギー消費原単位の削減割合 15% (H18 年度基準) は、省エネ・創エネ技術を導入することにより概ね達成できると判断された。(表-3 参照)

処理場別では、創エネルギー技術として⑫消化ガス発電を導入した A・E・G・I・K 処理場のエネルギー削減割合が他の処理場と比べて高く、省エネ対策に効果が高い技術と言える。また、④超微細気泡散

気装置は、処理場において特にエネルギー消費の割合が高いブロフ設備の消費電力を約 3 割程度削減できることから、省エネ対策に効果的な技術である。

一方、省エネ・創エネ技術を導入することによるイニシャルコストの増加分(従来機器費用分を除く技術導入による増加建設費)は、技術導入により削減されるランニングコスト(電気料金)を下回る場合が少なく、費用対効果の観点から今後事業を推進していく上で大きな課題が見られる結果となった。

4.2 省エネ・創エネ技術の開発に対するあり方の検討

4.2.1 処理場における施設ごとのエネルギー使用状況

ケーススタディーでは、最近の下水道分野における省エネルギー・創エネルギー技術を対象に、既存の下水道処理場に導入した場合の効果について定量的な評価を実施した。ここで、今後重点的に省エネ対策をすべきプロセス・設備を検討するにあたり、平成 18 年度現在の連絡会議参加都市の各処理場における施設ごとのエネルギー使用状況を分析すると、エネルギー消費量の約 2 割を沈砂池ポンプ施設が、また約 4~6 割を水処理施設が占めており、下水道処理場全体のエネルギー使用量の約 5~8 割がこれらの

表-3 ケーススタディー試算結果

処理場名	省エネ・創エネ対策技術※1	省エネ・創エネ技術導入によるエネルギー消費削減量		イニシャルコスト※2 (千円/年)	ランニングコスト※3 (千円/年)
		【原単位換算】 (kWh/年)	削減割合 【H18基準】 (%)		
A 処理場	①, ③, ④, ⑤, ⑧, ⑩, ⑫	2,105 ~ 2,735	30.2 ~ 39.3	168,460	90,003 ~ 116,965
B 処理場	①, ②, ④, ⑩	2,448 ~ 2,636	7.5 ~ 8.1	401,910	104,702 ~ 112,732
C 処理場	①, ③, ⑥, ⑦	687	10.2	5,340	29,363
D 処理場	①, ③, ④, ⑥	915	21.3	25,170	39,142
E 処理場	①, ③, ⑩, ⑫	717 ~ 1,316	22.1 ~ 40.6	66,640	30,650 ~ 56,265
F 処理場	①, ③, ④, ⑥	585	16.2	14,090	25,037
G 処理場	①, ③, ④, ⑩, ⑫	2,070 ~ 3,094	53.5 ~ 80.0	118,020	88,510 ~ 132,290
H 処理場	①, ④, ⑥	169	17.9	8,950	7,245
I 処理場	①, ④, ⑫	695 ~ 1,032	21.3 ~ 31.6	33,640	29,721 ~ 44,131
J 処理場	①, ③, ④, ⑥, ⑩	606	30.5	18,310	25,931
K 処理場	①, ③, ④, ⑥, ⑩, ⑫	767 ~ 974	13.8 ~ 17.5	97,500	32,813 ~ 41,631

※1: 対策技術の番号は、表-2の省エネ・創エネ技術の番号  
 ※2: イニシャルコストは、従来機器費用分を除く技術導入による増加建設費  
 ※3: ランニングコストは、技術導入により削減される維持管理費(電気料金)

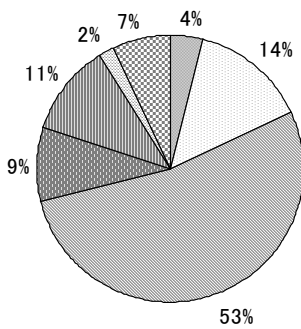


図-4 施設毎のエネルギー使用割合 (全 76 箇所の平均)

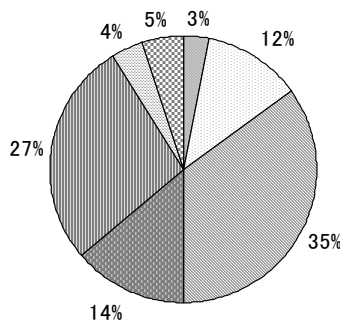


図-5 施設毎のエネルギー使用割合 (焼却設備を持つ 20 箇所の平均)

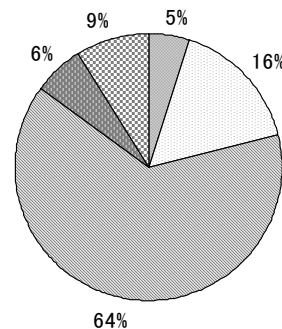
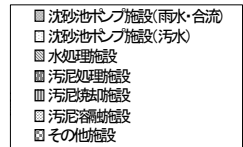


図-6 施設毎のエネルギー使用割合 (焼却設備を持たない 56 箇所の平均)



施設において消費されていることがわかる。(図-4, 5, 6 参照) これまで、下水処理場において最もエネルギーを消費する水処理施設については、ブロウの風量制御方法の改善や超微細気泡散気装置の導入などによる曝気風量の削減による省エネルギー対策が進められてきた。

これに比べて、沈砂池ポンプ施設は、十分な省エネルギー対策が行われてきたとはいえ、改善の余地があると考えられた。

このことから、効率的な省エネルギー対策を検討するためには、これらの施設について対策を講じていくことが効果的であると判断した。

4.2.2 下水道施設メーカーにおける技術開発状況

今後の技術開発の可能性を検討するにあたり、社団法人下水道施設業協会に加盟する、電気設備、および機械設備メーカーの合計 41 社に対して、多くのエネルギーを消費する施設であり、改善の余地が多いと考えられる、沈砂池ポンプ施設および水処理施設を中心に、水処理分野における現在、そして今後の省エネルギー・創エネルギーに関する技術開発動

向を把握するためにアンケート調査を実施した。

この結果、省エネルギーに関する新技術や技術開発の中心は反応タンク周りに代表される水処理施設における省エネルギー対策が中心となっており、沈砂池ポンプ施設に関する回答は得られなかった。(表-4 参照)

4.2.3 今後の省エネ・創エネ技術開発のあり方

アンケート調査結果を分析する限り、今後も省エネ対策における技術開発は、『機器動力の低減対策』が中心となると考えられるが、これまでの様な大きなエネルギー削減効果が期待できる革新的な技術の開発は、これまでの技術の熟成度から大きな期待は得られないと考えられる。一方、『機器動力の低減対策』以外で注目される技術は、生物反応槽における ORP 計やアンモニア濃度計による曝気風量制御等、運転制御を含めたシステムが挙げられ、エネルギー消費量の削減に対する解決策として有効な技術と考えられる。また、エネルギーの創出により省エネルギー化を図る点にも、多くのメーカーでは注目しており、特に太陽光発電については、他の創エネルギー技術と比べて導入に対する制約が少ないため、多くの下水処理場で適用される技術と考えられている。また、これ以外の創エネルギー技術としては、未利用消化ガスの発電技術が挙げられている。

これらを考慮すると、超微細気泡散気装置や反応タンク用攪拌機などの導入による省エネ対策に次ぐ、水処理施設における更なるエネルギー削減は、当面期待できない状況に達していると判断できる。

このため、更なる省エネルギー化を目指すためには、水処理施設に次ぐ消費エネルギー量がある、ポンプ施設についての省エネルギー対策に関する調査検討や、消費エネルギーの削減を図るため、現有の高効率機器による運転制御システムの開発を積極的に推進していく必要があると考えられる。そして、下水道の有する資源回収・供給機能を積極的に活か

表-4 アンケート回答結果

①電源・電動機の効率化	<p>【実用化技術】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・アモルフラス変圧器</li> <li>・インバータ</li> <li>・高効率モーター</li> </ul>
②機器の効率化	<p>【実用化技術】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・高効率水中ポンプ</li> <li>・オゾンマイクロバブル</li> </ul>
③反応タンクの省エネ化	<p>【実用化技術】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・槽外型攪拌機による攪拌動力低減 (3社)</li> <li>・超微細散気装置による曝気風量の抑制 (3社)</li> <li>・曝気風量のアンモニア制御</li> <li>・運転支援シミュレータによる処理の効率化</li> </ul>
	<p>【開発中の技術】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・曝気風量の ORP 制御</li> </ul>
④新たな処理プロセス	<p>【開発中の技術】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・嫌気性水処理(グラニュール利用)</li> <li>・散水ろ床型好気性処理</li> <li>・アナモックス反応による脱窒処理</li> </ul>

してエネルギー自立型処理場を目指すために、消化ガス等の下水汚泥のエネルギー利用や自然エネルギー利用等の創エネルギー技術における更なる効率化や新たな技術開発を進めていく必要がある。

4.3 事業化の課題・事業実施に向けた制度面のあり方の検討

4.3.1 省エネ技術導入に関する事業化の課題

省エネ・創エネ技術の導入については、近年の財政状況から、特に費用対効果の面で積極的な導入に踏み切れない状況にあると考えられる。これは効果に見合うだけの低価格な技術がないことが大きな要因と考えられ、積極的な事業化に向けた課題となっている。

一方、平成15年に施行された「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法（RPS法）」では、新エネルギーとして技術的に実用化段階に達しつつあるが、経済性の面での制約から普及が十分でないもので、石油代替エネルギーの導入を図るために特に必要なものとして、太陽光発電・温度差エネルギー・バイオマス発電・バイオマス熱利用等が位置づけられている。これらを利用して得られる電気について、電気事業者に一定量以上の利用を義務付けるために設けられた法律であり、発電事業を行う場合には追い風となる法律である。これら自然エネルギーから発電された電力に対する「エコ価値＝グリーン電力証書」は近年、市場が創設され始めた段階であり、今後、更に市場が拡大されれば、下水道分野においても創エネルギー利用に関する事業展開が進むと考えられる。

また、省エネ・創エネ技術の導入に対する課題としては、評価手法の確立も事業化に向けた課題と考えられる。特に技術導入によるCO<sub>2</sub>温室効果ガスの削減効果等、環境負荷削減効果のコスト化など、CO<sub>2</sub>排出権取引の枠組みの制度化が望まれるところである。

4.3.2 財政的助成・機器更新のあり方

ケーススタディーの試算結果に、消費電力量の削減による温室効果ガスの削減効果を、量および貨幣価値に換算した結果とあわせて表-5にまとめる。

自治体の負担費用の面から見て、表-6評価1に示すとおり、従来機器の建設費分を除いた技術導入による増加費用とランニングコスト削減費用を比較すると、標準の国庫補助負担（50～55%）によって自治体の負担費用は電力料の削減費で概ね賄うことが出来る試算結果となった。しかしながら、現行の

表-6 ケーススタディーの評価

処理場名	評価1	評価2	評価3
	②*0.5<③→○ ②*0.5>③→●	②*0.5<③+④→○ ②*0.5>③+④→●	①*0.5<③+④→○ ①*0.5>③+④→●
A処理場	○	○	●
B処理場	●	●	●
C処理場	○	○	○
D処理場	○	○	●
E処理場	○	○	●
F処理場	○	○	●
G処理場	○	○	○
H処理場	○	○	●
I処理場	○	○	○
J処理場	○	○	●
K処理場	●	●	●

- ①：省エネ創エネ技術導入による年間総建設費
- ②：従来機器費用分を除く技術導入による年間増建設費
- ③：技術導入により削減される年間維持管理費（電気料金）
- ④：年間温室効果ガス削減価値

表-5 ケーススタディー試算結果とCO<sub>2</sub>削減効果

処理場名	イニシャルコスト <sup>※1</sup>	イニシャルコスト <sup>※2</sup>	ランニングコスト <sup>※3</sup>	温室効果ガス削減量	温室効果ガス削減効果 <sup>※4</sup>
	(千円/年)	(千円/年)	(千円/年)	(tCO <sub>2</sub> /年)	(千円/年)
	①	②	③	—	④
A処理場	810,600	168,460	90,003 ~ 116,965	2,774 ~ 3,605	8,016 ~ 10,417
B処理場	2,379,970	401,910	104,702 ~ 112,732	3,227 ~ 3,474	9,325 ~ 10,040
C処理場	32,100	5,340	29,363	904	2,615
D処理場	150,880	25,170	39,142	1,206	3,486
E処理場	199,770	66,640	30,650 ~ 56,265	1,340 ~ 2,460	3,873 ~ 7,110
F処理場	84,390	14,090	25,037	769	2,223
G処理場	258,080	118,020	88,510 ~ 132,290	2,720 ~ 4,065	7,860 ~ 11,748
H処理場	53,810	8,950	7,245	222	643
I処理場	86,820	33,640	29,721 ~ 44,131	1,299 ~ 1,929	3,756 ~ 5,577
J処理場	109,800	18,310	25,931	884	2,555
K処理場	469,530	97,500	32,813 ~ 41,631	1,119 ~ 1,419	3,233 ~ 4,102

- ※1：イニシャルコストは、省エネ創エネ技術導入による建設費
- ※2：イニシャルコストは、従来機器費用分を除く技術導入による増加建設費
- ※3：ランニングコストは、技術導入により削減される維持管理費（電気料金）
- ※4：温室効果ガス削減効果は、下水道事業における費用効果分析マニュアル（案）のCO<sub>2</sub>における貨幣価値原単位（2,890円/tCO<sub>2</sub>）より算定

補助制度では、総建設費の約半額を自治体が負担することになるため、表-6 の評価 3 に示すとおり、総建設費に対する自治体の負担費用とランニングコスト削減費用に温室効果ガスの削減効果を加えた費用で評価した場合、多くの処理場で対策による効果が総建設費に対する自治体の負担費用分を下回る結果となり、昨今の厳しい財政状況を勘案すると、積極的な技術導入が難しい状況と考えられる。

今後、積極的な省エネ・創エネ事業の推進を図るためには、機器の低廉化を図るべく技術開発に対する産学官での共同研究と共に、技術導入費用に対して新たな助成制度の検討が望まれる。

また、機器の更新においては、処分制限期間の経過が機器の改築による国庫補助の採択要件となっているため、この枠組の緩和や、処分制限期間の短縮化が進められれば、更に省エネ技術の導入の推進が

図れると考えられる。

## 5. まとめ

本調査研究では、昨年度に引き続き、各地方公共団体が取り組んでいる省エネルギー・創エネルギー対策の更なる効率的・効果的な推進を目的に、省エネ法の改正等の国内外の政策動向、処理場毎の新技術導入や最新機器の活用等によるエネルギー消費削減、並びにエネルギー自立に向けた取組み、新技術の性能面やコスト面に対する課題等を、各地方公共団体の共有情報として把握するための調査を実施した。

本調査研究が、一層の地球温暖化対策の推進、省エネルギー・創エネルギー対策の推進等に寄与することを期待する。

### ●この研究を行ったのは

研究第一部長  
研究第一部副部長  
研究第一部主任研究員

清水 俊昭  
寺川 孝  
松井 威喜

### ●この研究に関するお問い合わせは

研究第一部長 森田 弘昭  
研究第一部総括主任研究員 江原 佳男  
研究第一部研究員 土谷 聡  
問い合わせ先 電話 03-5228-6597