

# 児島湖流域下水道 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、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」としてまとめられた。さらに平成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、国及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のための実行計画を策定し、計画やその実施状況を公表することが義務づけられている。

下水道は、生活環境の改善、浸水の防除、公共用水域の水質保全といった従来からの役割に加え、近年では、処理水の循環利用、下水汚泥等の資源・エネルギー利用の推進など社会・環境システムにおける重要な役割を担っている。

その一方で、ポンプ場や処理場等において電力を消費すること、汚泥焼却等において重油等の化石燃料が使用されること、水処理及び汚泥処理プロセスからメタンや一酸化二窒素が発生することなど、下水道施設を運転することで自らが温室効果ガスの排出源の一つになっており、児島湖流域浄化センターでは、平成10年度に22百万 $m^3$ の下水処理を行うために14.6百万kWhの電力を消費している。

このような背景から、本調査では、児島湖流域浄

化センターにおける地球温暖化効果ガス削減対策のため、下水処理施設の省エネルギー対策の検討を、下水処理システムを構成する各々のシステムの運転方法の変更及び代替システム・代替省エネ機器の検討の視点で行うと共に、それらを補完する未利用エネルギー有効利用を合わせて検討を行うものとし、これらの実現可能性について総合評価を行い、基本計画としてまとめるものである。

## 2. 調査内容

### 2.1 調査対象

児島湖流域下水道は、昭和53年度より事業に着手し、平成元年3月に浄化センターの一部完成により、岡山市、玉野市、灘崎町が供用開始した。また、平成3年3月には、現認可の流域下水道幹線管渠の建設が完了したことにより、倉敷市及び早島町が新たに接続され、関連5市町すべてが供用開始された。

児島湖流域下水道事業の概要を表-1に示す。事

表-1 児島湖流域下水道事業の概要

	計画区域	計画人口	処理能力	執行年度
全体計画	18,800 ha	840,000人	630,000 $m^3$ /日 (日最大) 503,000 $m^3$ /日 (日平均)	S53年度 ～
事業認可	7,382 ha	400,000人	315,000 $m^3$ /日 (日最大) 252,000 $m^3$ /日 (日平均)	S53～ H18年度

業認可は、昭和53年度から平成18年度で計画人口40万人である。

児島湖浄化センターの概要を表-2に示す。本浄化センターは、分流式で凝集剤添加・三段硝化脱窒法及び急速砂ろ過等の高度処理下水処理場である。

表-2 児島湖流域浄化センターの概要

下水排除方法	分流式
処理方式	1系 凝集剤添加活性汚泥循環法及び急速砂ろ過
	2系 凝集剤添加三段硝化脱窒法及び急速砂ろ過
放流先	児島湖
所在地	岡山県玉野市東七区
敷地面積	53.4ha
処理能力	98,700m <sup>3</sup> /日 (平成12年3月31日現在)

## 2.2 調査フロー

本調査フローを図-1に示す。本図から分かるように、最初に本浄化センター下水道全体計画、処理場の運転状況、設備・機器リスト等を整理した。次に、処理プロセスから排出されるメタン・一酸化二窒素の温室効果ガスの実態調査を実施した。この結果をもとに、電力由来CO<sub>2</sub>の省エネ対策、処理プロセスにおける省エネ対策、未利用エネルギーの可能性等について総合的に検討した。

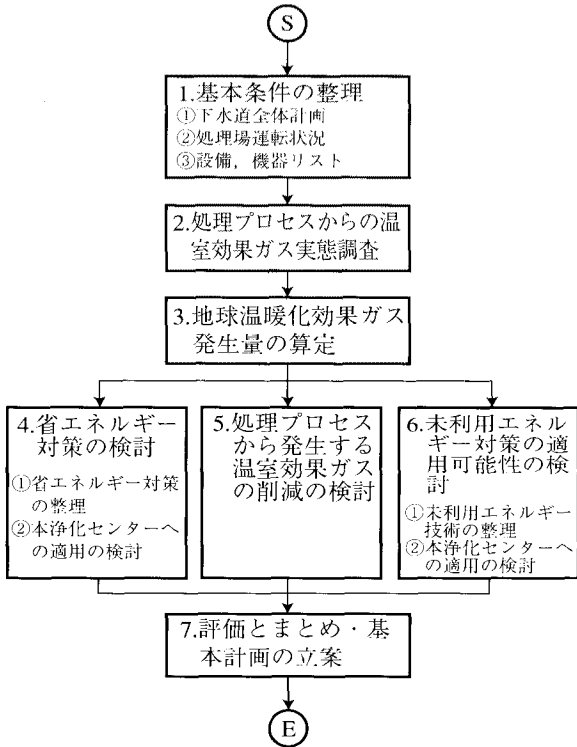


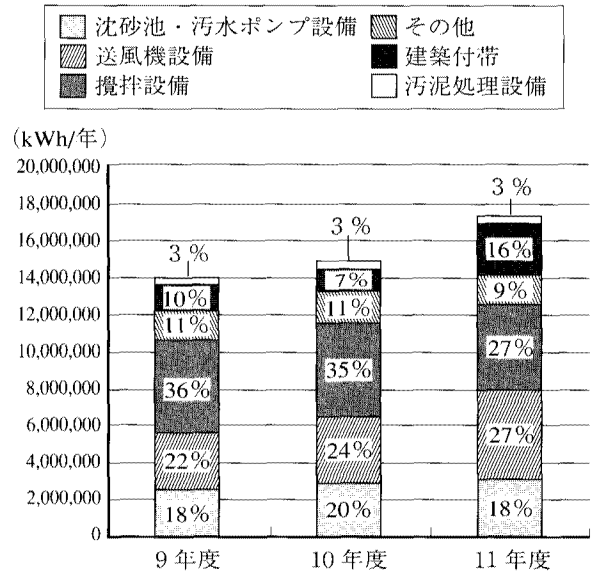
図-1 調査フロー

## 3. 調査結果

### 3.1 電力使用量の現状

施設毎の年度別電力使用状況を図-2に示す。電力使用量は年々増加傾向にあり、特に第2系が稼働した平成11年度は大幅に増加している。基準年となる平成11年度の電力使用量は年間約17,500千kWhで、単位水量当たり0.78kWhとなっている。

送風機設備と攪拌機設備で全体の半分以上の電力を使用し、以下沈砂池、污水ポンプ設備、汚泥処理設備の順である。単位水量当たりでも、その傾向は同じである。



単位水量当たり電力量

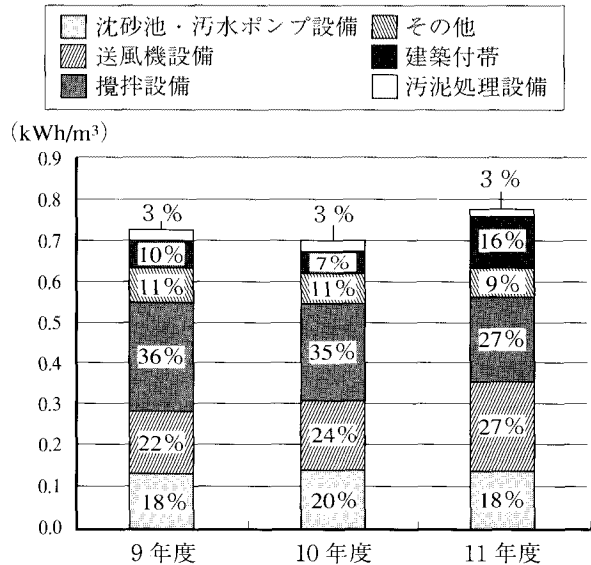


図-2 施設毎の年度別電力使用状況

### 3.2 温室効果ガス総排出量の現状

下水処理場における地球温暖化ガス排出量については、既往の調査事例はあるものの運転状況によって異なることが指摘されているため、実態調査を実施し発生量を把握した。なお、実態調査は、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」(平成11年8月)に示されている方法に準じて行った。

調査箇所は、水処理系4箇所(1/2系生物反応槽：排気ダクト, 1/2系最終沈殿池：水面), 汚泥処理系4箇所(脱臭設備ダクト：1/2系初沈, 濃縮槽・脱水機, 沈砂池・機械室・吐出槽, ポンプ棟)及びバックグラウンドとして周辺2箇所である。調査項目は、メタン(CH<sub>4</sub>)と一酸化二窒素(N<sub>2</sub>O)の2種類で、調査日は平成12年12月6日(浄化センター通日調査日と同期)に午前(10~12時), 昼(12~15時), 夕方(16~18時)の3回採取した。ガスの分析方法は、メタンがGC-FID(水素炎イオン検出器：JIS K 0114)を、一酸化二窒素がGC-ECD(電子捕獲検出器：JIS K 0114)を用いてそれぞれ行った。

そのガス分析値に、温室効果ガスの温暖化係数(CO<sub>2</sub>：1, CH<sub>4</sub>：21, N<sub>2</sub>O：310)を乗じてCO<sub>2</sub>換算の温室効果ガス年間発生量の算定を行った。その結果を表-3に示す。各排出源の温室効果ガス排出量は、①エネルギー(電力・燃料)消費に伴うCO<sub>2</sub>排出量, ②各処理プロセスからの(CH<sub>4</sub>・N<sub>2</sub>O)排出量, ③上水・工業用水・薬品類の消費に伴うCO<sub>2</sub>排出量, ④下水道資源の有効利用に伴うCO<sub>2</sub>排出量の4種類である。

①~④の4種類の発生源から排出される温室効果ガスでは、CO<sub>2</sub>が年間7,136tと最大で、N<sub>2</sub>Oが年間286t, CH<sub>4</sub>が年間158tの順である。電力や燃料の消費により主にCO<sub>2</sub>が排出され、水処理プロセスや汚泥処理プロセスからN<sub>2</sub>OやCH<sub>4</sub>が主に排出されている。

## 4. 地球温暖化防止対策の概要

### 4.1 温暖化防止対策の策定

3.2の結果を受けて、児島湖浄化センターの温暖化防止対策として以下の対策を考える。

- ① 嫌気槽の省エネ運転
- ② 太陽エネルギーの利用
- ③ 高効率モータの採用
- ④ 脱水機の更新
- ⑤ 下水熱の利用

#### (1) 嫌気槽の省エネ運転

水中機械攪拌機の周波数変換器を用いた回転数制御による嫌気運転の省エネルギー効果について文献報告がなされている。また、ヒヤリング調査より、1系嫌気槽で回転数を45Hzから30Hzに落として運転した結果、水処理への影響がないことが確認された。児島湖浄化センターでの最適な運転管理については、実証実験等を行う必要があるが、嫌気槽の回転数を落とした運転による省エネ効果が大きいことが判明している。

#### (2) 太陽エネルギーの利用

電気棟の上部に太陽光発電装置を設置し、管理棟の照明、空調等の商用電力(100/200V)で利用する。これは水処理、汚泥処理の動力とした場合、これらの電力供給は三相となるため、現在考えている単相に比べてパワーコンディショナなどの設備費が高価となる。また、本浄化センターの管理体制は夜間無人となるため、日中に電力ピークに達する。従って、経済性、電力ピークの低減を目的として管理棟で使用する電力に太陽エネルギーを採用する。電気棟での設置可能容量55kWは、管理棟での計画電力に相当する容量である。現段階では、太陽エネルギーの利用は経済性に課題はあるものの、地球環境対策としてのアピール度が高く、また、本浄化センターではすぐにでも実行可能な温暖化防止対策の一つである。

#### ① 温室効果ガス削減量

表-3 児島湖浄化センターの温室効果ガス総排出量

排出源	単位	各温室効果ガスの排出量 (t/年)			合計
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	
①電力燃料(石油, ガス)等のエネルギー消費に伴う排出	t/年	6,884.81	0.00	0.00	-
②施設の運転に伴う各処理プロセスからの排出	t/年		7.54	0.92	-
(a)小計 (自ら排出する温室効果ガス排出量) (①+②)	t/年	6,884.81	7.54	0.92	-
③上水, 工業用水, 薬品類の消費に伴う排出	t/年	251.27			-
④下水道資源の有効利用による排出削減量	t/年	0.00			-
(b)小計 (③+④)	t/年	251.27			-
(c)合計 (児島湖浄化センターにおける温室効果ガス排出量)	t/年	7,136.08	7.54	0.92	-
(A)地球温暖化係数	-	1.00	21.00	310.00	-
(B)自ら排出する温室効果ガス総排出量 [(a)×(A)]	t-CO <sub>2</sub> /年	6,884.81	158.32	286.11	7,329.24
(C)その他の温室効果ガス総排出量 [(b)×(A)]	t-CO <sub>2</sub> /年	251.27	0.00	0.00	251.27
児島湖浄化センターにおける温室効果ガス総排出量 [(B)+(C)]	t-CO <sub>2</sub> /年	7,136.08	158.32	286.11	7,580.51

本浄化センターで採用した場合、温室効果ガス削減量は表-4の通り期待できる。なお、温室効果ガス削減量は式(1)で算定した。

温室効果ガス削減量

$$= \text{年間発電電力量} \times 0.384 \text{ [kg/kWh]} \div 1000 \times 1.0 \dots\dots(1)$$

② 設置可能容量

年間23tのCO<sub>2</sub>削減量を達成する太陽光発電の設置可能容量は表-4の下段に示す通りである。設置可能容量は式(2)から求めた。

設置可能容量 (kW)

$$= \text{モジュール設置面積} \div 85\text{m}^2 \times 10\text{kW} \dots\dots(2)$$

(算定条件：傾斜角30°・方位角45°、岡山のR(影の倍率)を2.2と推定)

表-4 太陽光発電による温室効果ガス削減と設置可能容量

モジュール設置場所	設置可能容量 (kW)	量 (kW/年)	温室効果ガス削減量 (t-CO <sub>2</sub> /年)	
		55	59,300	23
建築物(電気棟)	面積 (m <sup>2</sup> )	設置可能面積 (m <sup>2</sup> )	パネル設置面積 (m <sup>2</sup> )	量 (kW)
	870	760	470	55

(3) 高効率モータの採用

高効率モータは従来から製作されているモータで、近年0.75kW~160kWの範囲でJIS制定されたものである。対象となる3.7kW~37kWの範囲では、標準モータに比べて約7%程度の省エネルギー効果が期待できる。

(4) 脱水機の更新, 下水熱の利用

脱水機の更新, 下水熱の利用は既設の更新事業となるため、機能調査を行う必要があるが、更新可能であれば、地球温暖化防止対策として有効な手段である。

## 4.2 温暖化防止対策実行計画の策定

児島湖浄化センターの温暖化防止対策は、その実行の難易度を考慮して表-5の通り考える。第1, 2段階はすぐにでも実行可能であり、第3, 4段階の高効率モータへの仕様変更で対応可能である。

ここで、第5段階までは比較的スムーズに導入可能と考えられる。第6段階の2系の省エネ運転は回転数制御を行うため別途、設計(電気設備)が必要となる。第7段階、第8段階の脱水機の更新, 下水熱の利用は設備の更新時期に実行可能であるが、平成17年度において更新の必要があるかどうかは機能調査等を行い診断する必要がある。

## 5. 温暖化防止実行計画の効果

### 5.1 温暖化防止対策の効果

温暖化防止対策による温室効果ガス削減量を表-6にまとめる。現計画では、流入水量に応じた増設計画で基準年に比べて、設備規模の適正化等により平成17年度に単位水量当たり温室効果ガス排出量5.2%の削減が見込まれる。

8段階の温暖化防止対策の実行によって、さらに9.9%の削減が見込まれ、トータルでは15.1%の削減効果が見込まれる。

対策年度毎の温暖化防止対策による電力量の削減効果を図-3に示す。平成13年度は第1段階で、単位水量当たりの電力量原単位が0.7807kWh(現計画)から0.7409kWhに減少(-5.09%)し、第8段階まで実施すると、平成17年度で0.7304(現計画)から0.6423まで削減(-12.0%)する。これは、基準年(平成11年度)比で、年間17.2%の電力量原単位の削減となる。一方、温室効果ガス全体の対策年度毎の削減について示したのが、図-4である。平成13年度は第1段階で、単位水量当たりの温室効果ガス全体の原単位が0.3406kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>(現計画)から第

表-5 温暖化対策の対策順位と対策概略

位	温暖化防止対策	備 考
第1段階	1系の省エネ運転	すぐにでも実行可能
第2段階	太陽エネルギーの利用(管理棟)	すぐにでも実行可能
第3段階	2-3系, 2-4系で高効率モータを採用	モータの仕様を高効率に変更することで対応可能
第4段階	3-1系で高効率モータを採用	流入水量の伸びに応じた対応
第5段階	3-1系で省エネ運転	流入水量の伸びに応じた対応
第6段階	2系の省エネ運転	回転数制御を行うため別途設計(電気設備)が必要
第7段階	脱水機の更新(2基)	平成15年に更新時期を迎える
第8段階	下水熱の利用	建築設備の更新時に実行可能

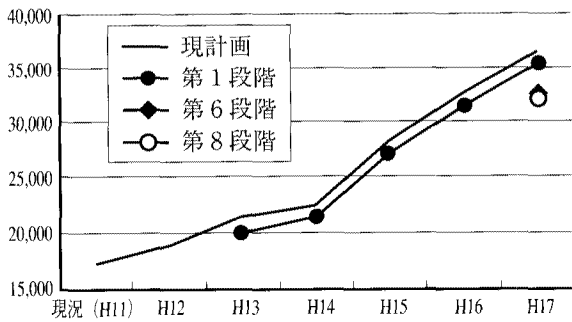
1段階で0.3253 kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>に減少（-4.55%）し、第8段階まで実施すると、平成17年度で0.3212（現計画）から0.2876まで削減（-10.4%）する。これを基準年（平成11年度）比で示すと、年間15.11%の削減に相当する。この値は、改正省エネ法で努力目標としている原単位で年間1%以上の削減を達成

する内容である。H17年度で第8段階までの温暖化対策実施により、11.9%（総電力量：4,366MWh、単位水量当たり電力量：0.0872kWh/m<sup>3</sup>、CO<sub>2</sub>排出量：1,677t-CO<sub>2</sub>/年、単位水量当たりCO<sub>2</sub>排出量：0.0335）の削減効果が期待できる。

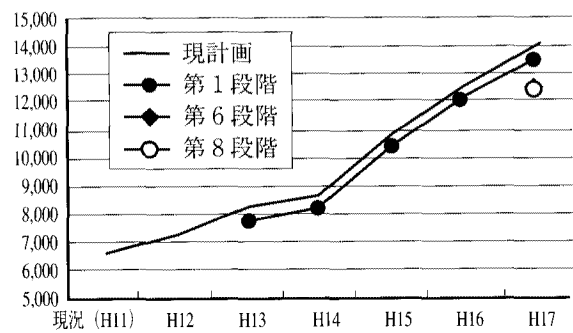
表-6 単位水量当たりの温室効果ガス削減量のまとめ

項目	平成11年度（基準年）温室効果ガス排出量(kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )	平成13年度		平成17年度	
		温室効果ガス排出量(kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )	温室効果ガス削減量(%)	温室効果ガス排出量(kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )	温室効果ガス削減率(%)
現計画	0.3388	0.3406	-0.53	0.3212	5.19
実行計画	第1段階 (1系省エネ運転)	0.3253	4.52	0.3129	2.45
	第2段階 (太陽光利用)			0.3124	0.15
	第3段階 (2-3, 4系高効率)			0.3117	0.21
	第4段階 (3-1系高効率)			0.3114	0.09
	第5段階 (3-1系省エネ運転)			0.3069	1.33
	第6段階 (2系省エネ運転)			0.289	5.28
	第7段階 (脱水機の更新)			0.2886	0.12
	第8段階 (下水熱利用)			0.2876	0.3
合計 (累積値) [%]			3.98		15.11

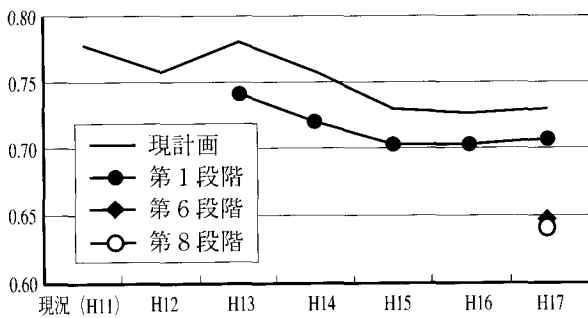
総電力量の変化 (千kWh/年)



二酸化炭素排出量の変化 (t-CO<sub>2</sub>/年)



単位水量当たり電力量の変化 (kWh/m<sup>3</sup>)



単位水量当たり二酸化炭素排出量の変化 (kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>)

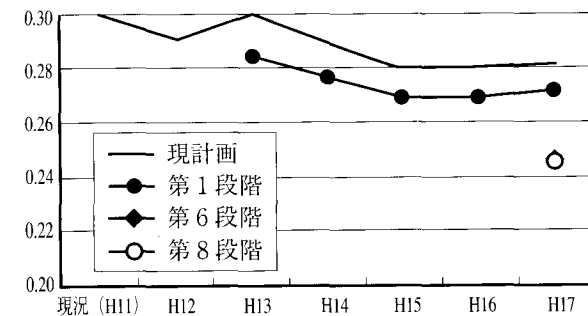


図-3 温暖化防止対策による電力量削減効果

図-4 温暖化防止対策による電力由来のCO<sub>2</sub>削減効果

表-7 各温暖化対策の経済性評価

対策順位	耐用年数	年経費率	対策費	年 価	維持管理費	小計①	省エネ費②	②-①
	(年)	(%)	(千円)	(千円/年)	(千円/年)	(千円/年)	(千円/年)	(千円/年)
第1段階	—		0	0	0	0	11,957	11,957
第2段階	20	5.94	55,000	3,267	55	3,322	652	-2,670
第3段階	15	7.61	14,000	1,065	0	1,065	1,001	-64
第4段階	15	7.61	7,000	533	0	533	495	-38
第5段階	15	7.61	45,000	3,425	0	3,425	6,413	2,989
第6段階	15	7.61	180,000	13,698	0	13,698	25,674	11,976
第7段階	—		0	0	0	0	578	578
第8段階	15	7.61	60,000	609	1,000	1,609	1,260	-348
合 計				22,596	1,055	23,651	48,031	24,379

(年金利=1.7%，維持管理費は機器の補修費示す。)

## 5.2 温暖化防止対策の経済性評価

各温暖化対策の経済性評価を表-7に示す。温暖化防止対策による単位水量当たりの温室効果ガス削減率は平成17年度で約10%と予測される。(流入水量に応じた増設計画を行うことによりトータルの温室効果ガス削減率は約15%と予測)。

各温暖化対策について、耐用年数、年経費率、対策設備費から年価を算出し、維持管理費を加えた各対策総費用①から省エネ費②(省エネ費は電力料金を11円/kWhとして算出)を引いた値で評価した。

温暖化防止対策に必要な建設費及び維持管理費の合計は約24,000千円/年に対して、その省エネルギー効果は約48,000千円/年であり、その差24,000千円/年の経済効果が期待できる。

現段階で契約電力を定量化することは難しいが、温暖化防止対策を実行することで契約電力も小さくなることによる経済効果がさらに期待できる。

地球環境に対する関心の高まるなか、下水道事業として地球温暖化防止対策としての実行計画は温室効果ガスを約10%削減でき、トータルの経済効果も期待できると考えられる。

センターにおいて、水処理及び汚泥処理プロセスから排出されるCH<sub>4</sub>・N<sub>2</sub>Oの温室効果ガスについて実態調査を実施し、本浄化センターから排出される温室効果ガスの全体像を把握し、8段階の温暖化対策を策定した。今回の調査は、高度処理を導入している下水処理場に対する日本での先進的取り組みであった。従来の電力由来のCO<sub>2</sub>排出量に加えて、下水処理場から発生が予想されるCH<sub>4</sub>・N<sub>2</sub>O排出量を含めた温室効果ガス削減について、未利用エネルギーまで含めた総合的な8段階の温暖化防止対策を策定した。また、温暖化対策の導入効果についても費用対効果により評価し、全体で年間24,000千円の経済効果が期待できることが明らかとなった。

今後、他都市においても、普及率の向上に伴う処理水量の増加や高度処理の導入で、ますます電力使用量の増大が予想される。また、冬季など硝化脱窒が不完全な場合の一酸化二窒素の増加等も懸念される。今回の温暖化防止対策調査が、他の下水処理場の温暖化対策立案の参考になれば幸いである。

## 6. おわりに

窒素・りんの高度処理を導入した児島湖流域浄化

### ●この研究を行ったのは

研究第一部長 江藤 隆  
 研究第一部総括主任研究員 栗林 栄  
 研究第一部研究員 川崎 貴義

### ●この研究に関するお問い合わせは

研究審議役兼研究第一部長 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