

# オゾン添加による処理機能障害 の改善技術の実用化研究

## 1. 研究目的

近年、下水処理場において土壌細菌の一種である放線菌に起因するスカム発生が多発しており、対策に苦慮しているケースが多くみられる。放線菌によるスカムは最終沈殿池水面に厚い茶褐色の層を形成し、美観を著しく損ねるばかりか、悪臭や不快昆虫発生の原因となる。また、処理水水質の悪化を引き起こしたり、スカムとして系外に排出される量が増大するために、適正なMLSS濃度が維持できず処理に支障が生じるといった様々な問題を引き起こす。

川崎市等々力環境センターにおいては、昭和57年11月の供用開始以降、流入水量の増加に伴い、最終沈殿池でのスカムの異常発生が起こり、処理機能障害を引き起こしている。

こうした問題点を解決する方法としてエアレーションタンクへのオゾン添加が有効であることが見い出され、平成2年度より川崎市においてベンチスケール、パイロットプラントを用いて調査・研究されてきた。

川崎市と財団法人 下水道新技術推進機構は、平成5年度から新技術活用モデル事業として、オゾン添加による処理機能の改善技術の実用化にむけて共同研究を実施し、最適設計条件の検討及び最適運転条件の把握を行ってきた。

本報告書は平成6年度に実施した実験で得られた結果を報告するものである。

## 2. 研究内容

### 2.1 実用化研究の対象技術の概要

本技術は、下水処理場において、放線菌の増殖に起因するスカムの発生によって引き起こされる最終沈殿池における固液分離障害やエアレーションタンクにおけるMLSS濃度の低下等の処理機能障害を解決するため、オゾンエアレーションタンクや返送汚泥に添加して放線菌の増殖及びスカムの発生を抑制する技術である。

### 2.2 研究項目

#### 2.2.1 処理機能改善効果の検討

ベンチスケール、パイロットプラント及び実施設を用いてオゾンの添加実験を実施し、オゾン添加によるスカム抑制効果、放線菌抑制効果、余剰汚泥生成量、汚泥沈降性改善及び硝化促進等の副次的効果、スカム抑制機構及び処理性能に与える影響の検討を行った。

#### 2.2.2 最適運転条件の検討

実施設及びパイロットプラントを用いてオゾンの連続添加実験を実施し、経済的かつ効率的なオゾン添加方法、オゾン添加位置及び維持管理方法の検討を行った。

#### 2.2.3 最適設計手法の検討

実施設を用いて、安全対策、腐食防止対策及び経済性の検討を行った。

### 2.3 研究方法

実施実験については、等々力環境センターの1系列を用い、それぞれ2池ずつを実験区及び対照区として同一水量（27,000m<sup>3</sup>/日前後）で運転実験を行った。実施実験の処理フローを図-1に示す。返送汚泥系は実験区と対照区で分離されている。

また、実施設のスカム量を定量的に把握することは困難であるため、図-2に示すように混合液を所定量メスシリンダーに採取し、所定時間曝気した後、水面上部に残った発泡の高さを測定し、これをスカム発生量とした。

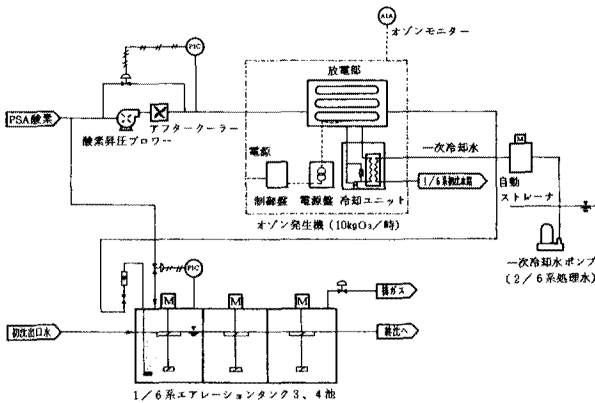


図-1 実施設実験の処理フロー

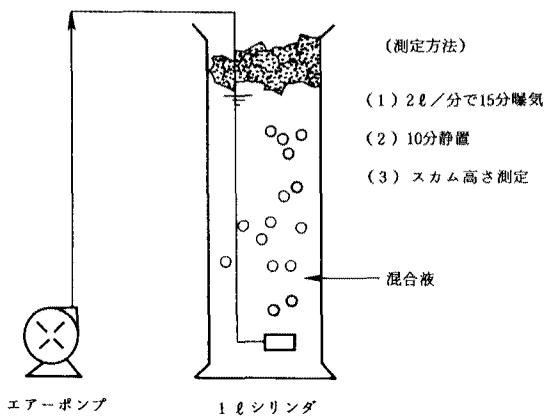


図-2 スカム発生量測定方法

## 3. 研究結果

### 3.1 処理機能改善効果の検討

#### 3.1.1 スカム及び放線菌抑制効果の検討

##### (1) スカム抑制効果の検討

オゾン添加量を、原水（エアレーションタンク流入水）あたり0.5mg/l～3.0mg/lの間で変えて、スカム抑制効果及び放線菌抑制効果を検討した。実施設におけるオゾン添加開始以降のスカ

ム発生試験結果及び混合液中に含まれる放線菌数の経時変化を図-3に示す。

また、Run-1～5におけるオゾン添加量及びスカム発生量の関係を図-4に示す。このように、オゾン添加量が増加するにしたがって、スカム発生量が低下している。図-4からスカム発生量をゼロにするには3.0mg/l・原水以上の添加量が必要であるが、実施設最終沈殿池においてスカムが発生するのは、スカム発生量が20mmを超える場合であることから、スカム発生抑制に必要なオゾン添加量は、図-4より判断して概ね1.2mg/l・原水以上であると考えられる。

##### (2) 放線菌抑制効果

図-5にRun 1～3までの放線菌数測定結果の累積頻度曲線を示す。この図より、実験区では、対照区に比較してオゾン添加により放線菌数が抑制されていることがわかる。

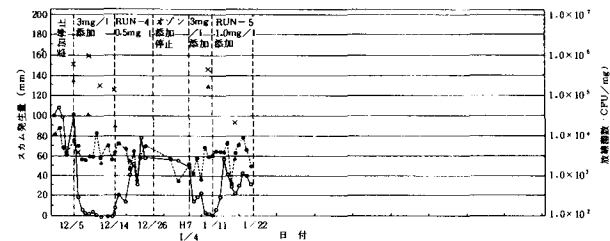
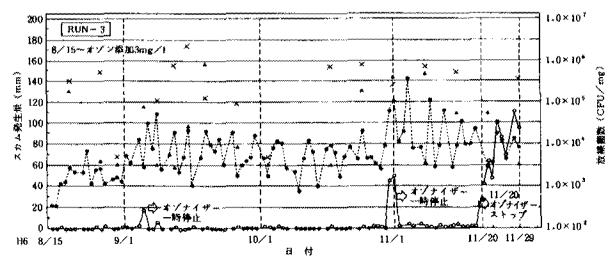
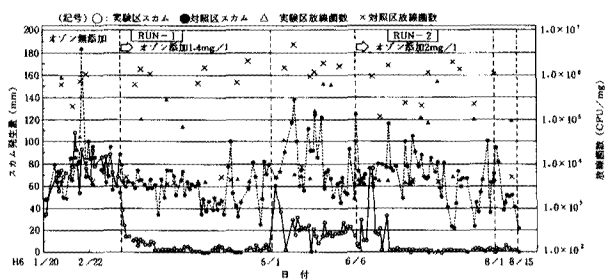


図-3 スカム発生量及び放線菌測定結果の経時変化

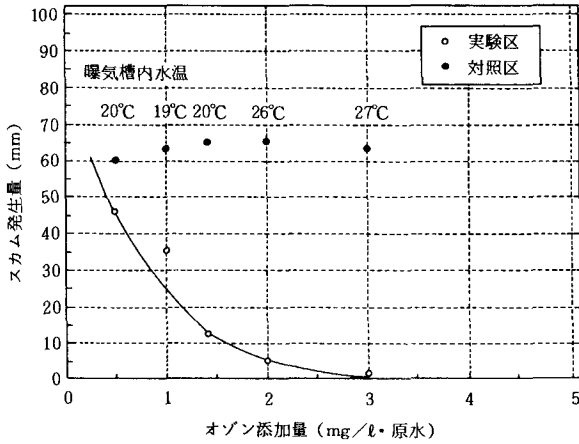


図-4 実施設オゾン添加量とスカム発生量の関係



写真-1 実施設のスカム発生状況(実験区, Run-3)



写真-1 実施設のスカム発生状況(対照区, Run-3)

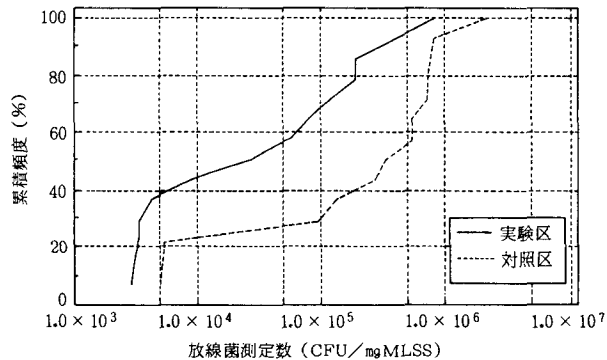
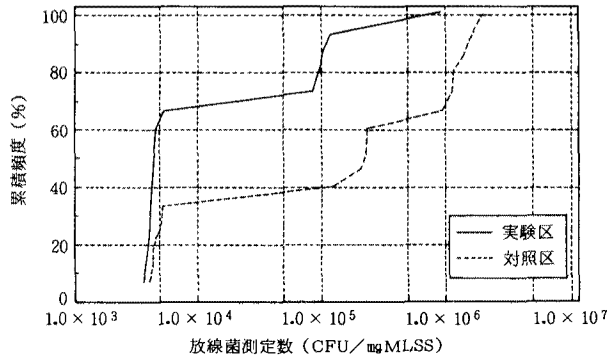
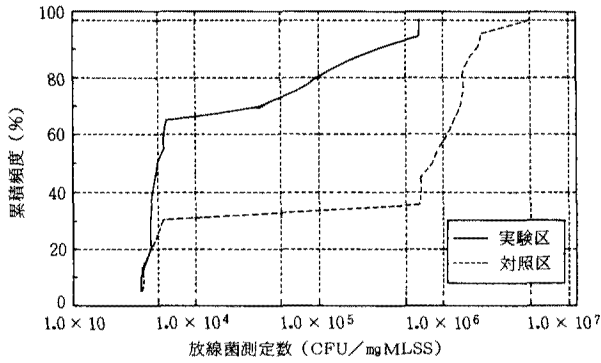


図-5 実施設混合液放線菌数累積頻度曲線

3.1.2 オゾン添加による副次的効果

(1) 汚泥沈降性の改善

実施設添加実験期間中の活性汚泥性状及び汚泥濃度について各Runにおける平均値を表-1に示す。

このようにオゾン添加により、実験区では対照区に比較して汚泥沈降性が改善される傾向が、特にオゾン添加量原水あたり 3 mg/l としたRun-3から顕著となり、この結果、MLSS濃度及びMLRSS濃度が上昇し、等々力環境センターでの目標値である4,000mg/lをほぼ達成することができた。

表-1 実施設汚泥性状のまとめ

項目	オゾン添加前 (O <sub>2</sub> 無添加) H6/1/19~2/13		RUN-1 (O <sub>2</sub> 1.4mg/l) 2/22~6/5		RUN-2 (O <sub>2</sub> 2mg/l) 6/13~8/14		RUN-3 (O <sub>2</sub> 3mg/l) 8/15~11/20	
	実験区	対照区	実験区	対照区	実験区	対照区	実験区	対照区
SVI (ml/g)	126	165	114	130	91	106	92	220
初期沈降速度(cm/h)	200	184	262	226	415	346	283	165
MLSS濃度(mg/l)	2,360	2,270	2,280	2,190	2,220	2,020	3,360	2,000
返送汚泥濃度(%)	10,170	10,110	9,580	9,550	9,110	8,560	11,490	8,080
MLVSS/MLSS(%)	85.1	85.6	84.6	84.5	85.1	84.7	85.9	85.0
項目	RUN-4 (O <sub>2</sub> 0.5mg/l) 12/14~12/26		RUN-5 (O <sub>2</sub> 1.0mg/l) H7/1/11~1/22					
	実験区	対照区	実験区	対照区	実験区	対照区	実験区	対照区
SVI (ml/g)	87	338	121	280				
初期沈降速度(cm/h)	211	117	159	102				
MLSS濃度(mg/l)	3,800	2,370	3,490	2,230				
返送汚泥濃度(%)	15,100	9,610	13,960	9,230				
MLVSS/MLSS(%)	85.3	85.8	86.2	84.2				

注：数字は期間の平均値

(2) 余剰汚泥発生量の低減

各Runにおける除去BODあたりの余剰汚泥発生量を表-2にまとめた。ただし、Run-4及び5については、実験期間が短いため除外してある。

表に見られるように引抜汚泥量及びこれに処理水SSを考慮した余剰汚泥発生量については、実験区と対照区で差は見られないが、排出されるスカムを加算した場合には、除去BODあたりの余剰汚泥発生量は、実験区では対照区と比較して、13～17%減少していることがわかる。

表-2 除去BODあたりの余剰汚泥発生量

項 目 RUN No	除去BOD当りの発生量 (kg/kg除去BOD)					備 考 (デ-リ期間)
	実験区		対照区			
	余剰汚泥のみ	余剰+処理水SS	余剰汚泥のみ	余剰+処理水SS	余剰+SS+スカム	
RUN-1	0.65	0.73	0.64	0.75	0.88	H6/2/22~6/5
RUN-2	0.65	0.76	0.62	0.71	0.87	6/13~8/14
RUN-3	0.59	0.69	0.60	0.68	0.83	8/15~9/25

注1) 余剰汚泥引抜量は実験区は3・4池、対照区は1・2池の合計量。  
注2) RUN-3は汚泥返送比30%の期間のデータを用いた。

(3) 硝化促進効果

図-6に実験区及び対照区における硝化速度(NO<sub>x</sub>-Nベース)を流入水温との関係において示す。このように、実験区では対照区と比較して硝化速度が大きく、硝化が促進されていた。

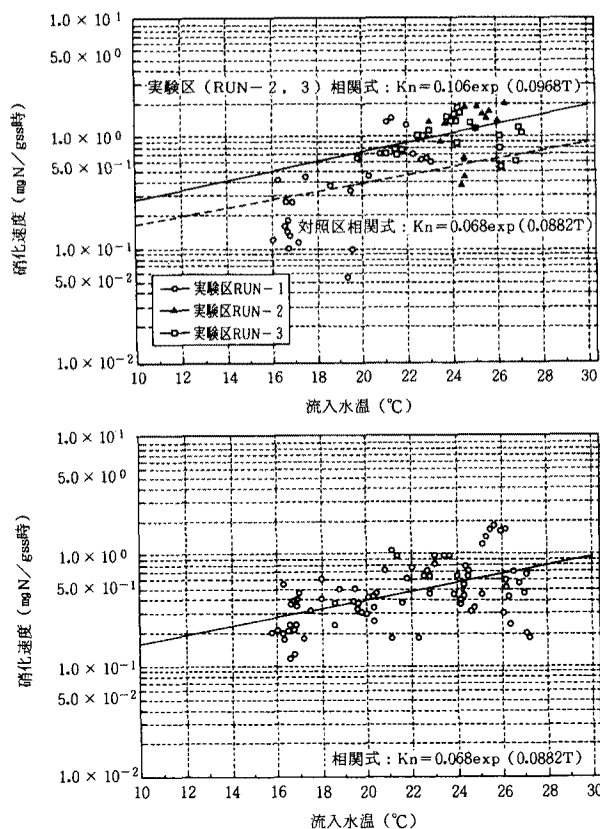


図-6 実験区及び対照区の硝化速度

この原因としては、前述したようにオゾン添加により汚泥沈降性が向上し、系内の汚泥保持量が増大したために実験区では、対照区に比較してSRTが増大した。図-7に各RunにおけるA-SR

Tと硝化速度の関係を示したが、本図に見られるように硝化速度の増大は汚泥沈降性改善によりSRTが長くなり、硝化細菌増殖に好適な条件が整ったためであると推測される。

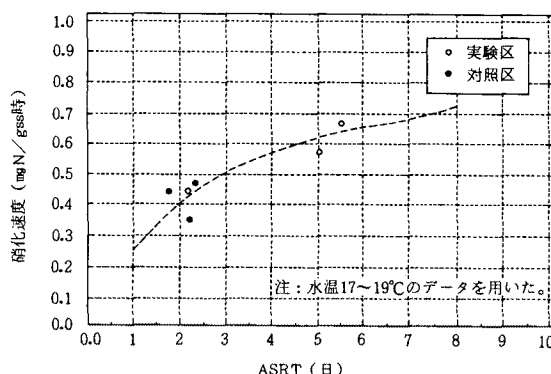


図-7 A-SRTと硝化速度の関係

3.1.3 処理性への影響

実験区と対照区処理水の水質は、BOD及びCOD濃度については差は見られなかったが、SS濃度については、実験区処理水が対照区に比較してやや高い傾向が見られ、この差は実験区活性汚泥の沈降性改善が顕著になるにつれて大きくなった。この理由としては、沈降速度が大きいため、沈降時のフィルター効果が期待できず、浮遊物の取り残しがあったためと考えられる。

また、ベンチスケールプラントにおいて、オゾン添加量を原水あたり3mg/l, 6mg/l, 7.5mg/l, 9.0mg/lとした結果では、オゾン添加量7.5mg/lまでは処理水質に影響は見られなかったが、オゾン添加量9.0mg/lでは処理水のSS, TOC濃度が高くなると同時に処理水透視度が低下した。このことから、オゾン添加量7.5mg/lまでは、処理に影響はないものと考えられる。

3.1.4 スカム抑制機構の検討

平成5年度における表面張力に関する検討結果と原水へのオゾン添加実験ではスカム抑制効果が見られなかったことから、スカム抑制効果の原因は汚泥側に存在することが確認された。

*Nocardia amarar* の純粋培養液について量を変えてオゾンを添加した結果、オゾン添加により疎水性、スカム発生量及び放線菌数が減少した。

このサンプルの薄層クロマトグラフィー及びマススペクトログラフィーによる分析結果では、オゾン添加により高分子物質の低分子化が起こっていることがわかった。また、実験区と対照区の活性汚泥の液体クロマトグラフィーによる分析結果でも同様の傾向が観察された。

これらの結果と、オゾン添加によるスカム抑制効果には即効性が見られるという事実から、オゾンにより気泡安定化の原因である疎水性物質が分解されること及び放線菌の増殖が抑制されることが、オゾン添加によるスカム抑制効果の原因であると推測される。

### 3.2 最適運転条件の検討

#### 3.2.1 間欠添加実験の検討

オゾン添加は間欠添加でも効果があることが、平成5年度までの実験において確認されていた。これに基づいて、実施設において間欠添加実験を実施した。1日添加-2日無添加、8時間添加-16時間無添加、12時間添加-12時間無添加のサイクルで間欠曝気を実施したが、スカム抑制効果は認められなかった。

図-8はオゾンを原水当たり3mg/l添加し、4時間毎のスカム発生量の経年変化を測定したものである。オゾン添加停止後、8時間でスカム発生量は実施設最終沈殿池におけるスカム発生量の指標値である20mmを越えていることから、間欠曝気における添加休止時間は8時間以内でなければならないと考えられる。

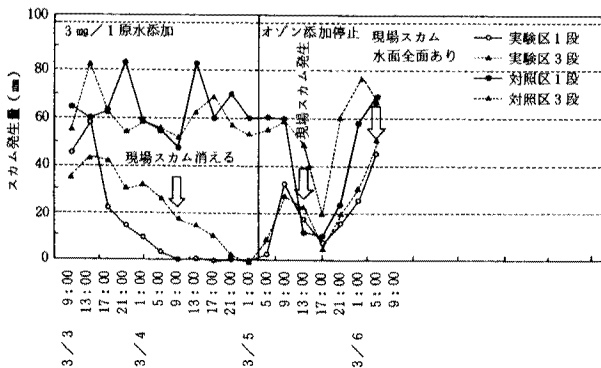


図-8 スカム発生量の経時変化

#### 3.2.2 オゾン添加位置の検討

図-9にパイロットプラントにおける返送汚泥へのオゾン添加実験のスカム発生量の経時変化を示す。

各Runの変わり目でスカム発生量が増大しているのは、その都度汚泥を入れ換えたためである。

実施設による運転実験ではオゾンはエアレーションタンク流入部に添加したが、パイロットプラントによる実験により返送汚泥への添加によってもエアレーションタンクへの添加と同様な効果が得られることが確認された。添加条件としては、オゾン添加量原水あたり1.5mg/l、接触時間1.5分の条件でも十分なスカム抑制効果が得られた。

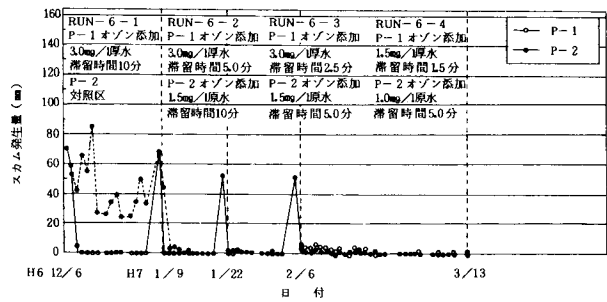


図-9 返送汚泥へのオゾン添加実験経日変化

### 3.3 最適設計手法の検討

#### 3.3.1 安全対策の検討

オゾンは強力な酸化力を有し、一定量以上では人体に有害である場合もあるため、安全管理について調査を行った。この結果、管理基準値が最も低く設定されているのは光化学オキシダント濃度の1時間値である0.06ppm以下であった。従って、維持管理ゾーンにおける安全管理基準値は0.05ppm以下とするのが適当とした。

また、オゾン漏洩防止策として、エアレーションタンク覆蓋スラブに樹脂モルタルを施工し、オゾンモニターを設置して0.05ppmを管理基準値としたが、オゾン漏洩の問題は生じなかった。

#### 3.3.2 排ガスオゾンに関する検討

本技術においては、添加したオゾンはエアレーションタンク第3段までに消費され、第3段気相部においては残存がないことを目標としている。

気相部オゾン濃度に与えられられる以下の4つの要因との関係を検討した。

- ① 流入水量変動
- ② 曝気機回転モード
- ③ オゾン添加量
- ④ 供給オゾン濃度

この結果、オゾン添加量原水あたり3mg/lで流入水量の変動がある場合でも第3段気相部でのオゾン濃度はほぼゼロであった。また、曝気機は高速回転の方がよいこと、供給オゾン濃度については、低風量-高オゾン濃度による供給が望ましいことがわかった。このことから、排ガスオゾン処理設備は原則として必要ないと考えられる。

#### 3.3.3 腐食防止対策の検討

コンクリート等の耐オゾン性について、エアレーションタンクへの試験片投入による腐食試験及びベンチスケールによる加速試験を実施した。この結果、腐食試験では860時間経過後では、コンクリートの腐食及び中性化は認められなかった。気相部オゾン濃度を3,000ppmとした加速試験の結果でもコンクリー

トについては腐食及び中性化は認められなかった。

### 3.3.4 経済性の検討

本調査では、PSAからの酸素原料でのオゾン発生を行っているが、この条件を前提とすると、オゾン添加量原水あたり  $2 \text{ mg} / \ell$  の条件においては、単位下水量あたりの処理費用は  $0.42 \sim 1.11 \text{ 円} / \text{m}^3$  と試算された。

## 4. まとめと今後の課題

### 4.1 研究結果のまとめ

本実用化研究で得られた主な知見は次のとおりである。

- (1) 実施設においてオゾン添加による放線菌スカム抑制効果及び放線菌抑制効果が確認された。
- (2) スカム発生を抑制するために必要なオゾン添加量は、原水あたり  $1.2 \text{ mg} / \ell$  以上と考えられる。
- (3) オゾン添加区では、対照区と比較して硝化の進行が観察された。
- (4) オゾン添加によるスカム抑制効果は、放線菌の

増殖抑制及び気泡安定化の原因となる疎水性物質の分解によるものであると考えられる。

- (5) オゾン添加区と対照区では、処理水BOD、COD濃度に関して差は見られなかった。SS濃度については、実験区処理水が対照区処理水に比較して若干高い値であった。
- (6) 処理性に影響を与えないオゾン添加量の上限は概ね原水あたり  $6 \sim 7.5 \text{ mg} / \ell$  であった。
- (7) オゾン間欠添加における添加休止時間は、8時間以内とする必要があると考えられた。
- (8) パイロットプラントを用いた実験により、返送汚泥へのオゾン添加でもエアレーションタンクへの添加と同等の効果が得られた。この時のオゾン接触時間は1.5分程度、オゾン添加量は原水あたり  $1.5 \text{ mg} / \ell$  で充分であった。
- (9) 酸素原料でのオゾン発生を前提とする今回の調査では、オゾン添加量原水あたり  $2 \text{ mg} / \ell$  の条件における単位下水量あたりの処理費用（電力料）は  $0.42 \sim 1.11 \text{ 円} / \text{m}^3$  と試算された。

● この研究に関する問い合わせは

研究第一部長

佐藤 和明

研究第一部主任研究員

村上 孝雄

研究第一部研究員

須賀 研二