

アジア諸都市の水質改善と関連する水処理方法の検討

2016年3月

黄 臣

目 次

第1章 諸 言	1
第2章 中華人民共和国・慈溪市における下水処理の現状と村落における水環境改善	2
2.1 はじめに	2
2.2 慈溪市の概要	2
2.3 調査方法	4
2.3.1 調査地点	4
2.3.2 試薬および装置	5
2.3.3 凝集沈殿処理	5
2.3.4 浄水器による水道水の処理	6
2.3.5 分析方法	6
2.4 結果および考察	6
2.4.1 慈溪市の下水	6
2.4.2 慈溪市の下水道事業	7
2.4.3 新園川および飲用水の水質	10
2.5 新園川の水質改善への協議および提案	14
2.5.1 新園村村民委員会との協議	14
2.5.2 新園川の清掃および浄化	15
2.6 まとめ	17
第3章 インドネシア共和国・スラバヤ市における分散型水処理施設による水環境の改善	18
3.1 はじめに	18
3.2 調査方法	18
3.2.1 調査地点	18
3.2.2 試薬および装置	20
3.2.3 分析方法	21
3.3 結果および考察	21
3.3.1 井戸水および水道水の水質	21
3.3.2 Jambangan (RT2RW1 地区) の下水処理	24
3.3.3 Pabean 魚市場の排水処理	25
3.3.4 Wonorejo 川の浄化	29
3.3.5 水処理施設の水質管理簡便法	31
3.4 まとめ	32

第4章 海面埋立廃棄物処分場・場内水中のCOD成分調査と凝集沈殿処理および活性炭吸着処理	33
4.1 はじめに	33
4.2 実験方法	33
4.2.1 試薬	33
4.2.2 装置	34
4.2.3 試料	34
4.2.4 バブリング	35
4.2.5 凝集沈殿処理	35
4.2.6 活性炭吸着処理	35
4.2.7 分析方法	36
4.3 結果および考察	36
4.3.1 廃棄物浸出水の水質	36
4.3.2 バブリングによるCODの変化	40
4.3.3 凝集沈殿処理	40
4.3.4 活性炭吸着処理	42
4.4 まとめ	44
第5章 紫外線(UVR)／光触媒／超音波(SSW)による水処理	46
5.1 はじめに	46
5.2 実験方法	46
5.2.1 試薬	46
5.2.2 酸化チタン光触媒	46
5.2.3 装置	47
5.2.4 照射実験	48
5.2.5 分析方法	49
5.3 結果および考察	49
5.3.1 精製水の反応	49
5.3.2 メチルアルコールの反応	50
5.3.3 ジメチルスルホキシドの反応	52
5.4 まとめ	53
第6章 O ₃ ／UVR／光触媒／SSWによる水処理	54
6.1 はじめに	54
6.2 実験方法	54
6.2.1 試薬	54
6.2.2 分析装置	54
6.2.3 酸化チタン触媒	54

6.2.4	ラジカル活性水製造装置	54
6.2.5	ラジカル活性水製造実験	56
6.2.6	反応挙動実験	56
6.2.7	分析方法	56
6.3	結果および考察	56
6.3.1	中間生成物	56
6.3.2	反応挙動	59
6.4	まとめ	61
第7章	総括と展望	62
引用文献		64
公表論文		67
学会発表		67
謝辞		68

第1章 諸 言

わが国ではかつての公害問題を克服しているが、途上国をはじめアジアの諸都市では依然として課題を抱えている。その反面、各都市での人口集中、交通や産業の発展が進み、公害問題が重要課題となっている。大気汚染や廃棄物対策は、それぞれ自動車や工場の排ガス対策、廃棄物の収集システムの構築やリサイクル等によって徐々に改善されつつあるが、水質汚濁については、下水道や事業場の除害施設の普及は遅れている。

そこで、下水道普及の前に、低コストで効果的に対応できるよう、アジア都市のモデルとして、中華人民共和国南部は慈溪市、東南アジアはインドネシア共和国・スラバヤ市の二都市を対象とし、慈溪市においては、下水道事業の現状を調べると共に、中国沿海地方の村落にある河川に焦点を当てて水環境調査を行い、河川浄化方法と村落における行政管理組織や住民、関連企業等のあり方について提言した。スラバヤ市においては、住宅地の下水対策や事業場排水対策、河川の浄化対策について、汚染源対策と環境意識の啓発・啓蒙のモデル地域を選定し、水質や水量調査を行い、生物処理を主体とした適切な処理施設を提案した。

また、その他の汚染源対策として、日本においてもまだ問題となっている廃棄物浸出水中の COD 等の処理方法と将来問題となる難分解性有害化学物質の処理方法を検討した。廃棄物中の COD 等の処理方法として、COD 成分の性状と凝集沈殿処理および活性炭吸着処理特性を調べ、適切な凝集剤や活性炭の選定や設計、並びに将来的な廃棄物の受け入れ体制について検討した。難分解性有害化学物質の処理方法として、金属イオンを位置選択的に担持したナノ反応場分離型酸化チタンナノチューブ光触媒を用いた紫外線 (UVR) 照射と MHz の超音波 (SSW) 照射との複合反応により、分解力の高い処理方法を開発するための基礎研究を行った。さらに、ラジカル濃度を上げるため、O₃ 水を用いて UVR/光触媒/SSW 反応を行い、反応系外における金属や有機物との挙動について検討した。

第2章 中華人民共和国・慈溪市における下水処理の現状と村落における水環境改善

2.1 はじめに

近年、中国は社会経済の発展により、都市部のみならず農村部の生活レベルも向上し、生活方式が大きく転換したため、鎮、郷と農村地区の生活排水に新しい特徴が現れた。農地の減少や工業化により生活排水の農地利用が減少し、さらに、ライフスタイルの変更により生活排水量が増加・集中の傾向を呈している。下水処理施設が未整備のため、未処理の下水が直接河川に排出され水質汚濁が極めて著しい状況にある。本研究の対象地である慈溪市逍林鎮新園村の新園川も住民に親しまれた川からドブ川に変貌している。

高度な経済成長を持続していくためには、都市生活排水処理のみならず、広大な農村部にも目を向ける必要があり、水質汚濁改善対策や下水処理施設の建設、生態系の回復など一刻も早く取り組まなければならない。しかし、多くの鎮、郷や農村地区では経済発展を優先させ、環境問題に対する意識は薄い。さらに、財政難等の課題も抱える中で水質汚濁の改善対策を講じることにも踏み込めないままである。

この深刻な状況に対処するため、中国全土および慈溪市の下水道事業の現状を調べると共に、中国沿海地方の村落にある河川に焦点を当てて水環境調査を行い、日本の水処理技術とノウハウを用いて河川浄化を行い、さらには生活用水の改善をも行うための実証プロジェクトとしてのモデルを構築することを目的とした。また、河川浄化や生活排水処理の持続可能な体制を構築するため、村落における行政管理組織や住民、関連企業等のあり方についても提言した。

2.2 慈溪市の概要¹⁾

図 2-1 に示すように、慈溪市は中国大陸海岸線の中央、揚子江デルタ地域の南に位置しており、北に上海市、西に杭州市、南に寧波市があり、三大都市経済圏に立地する。特に、2008 年に杭州湾大橋が開通された後、上海経済圏までの移動時間が 2 時間に短縮されたことで、その立地条件の良さが注目されている。市全体の面積は 1,361 km² で、常住人口 104 万人、流動人口 97 万人で、425,201 世帯を有する。市の行政区画として、5 つの街道と 14 の鎮がある。

慈溪市は中国三大家電製造基地の一つで、市内に大小規模の家電メーカーが

6,000 軒以上もあり，家電製品の輸出総量は全国 1 位を占め，中国における競争力の最も高い都市の一つとも言われている。市内に 8 万軒以上の企業（そのうち工場が 3.5 万軒）があり，2012 年の市全体の国内総生産（GDP）は 948.29 億元に達する。



図 2-1 慈溪市の位置²⁾

慈溪市の雨量は少なくないが，人口が多く，地表水の蓄積能力が弱いため，年間 1 人当たりの保有量は僅か 578 m^3 （浙江省 1 人当たりの保有量の 24%）で，深刻な渇水地区である。内陸水域面積は約 61.75 km^2 で，市総面積の約 1/10 を占める。主要河川が約 73 本あるが，大小河川合わせると全長が約 $5,400 \text{ km}$ になり，平均水深は $1.2\sim 1.4 \text{ m}$ である。湖沼ダムが 13 箇所あり，貯水容量は $7,653 \text{ 万 m}^3$ になる。その他，5 箇所の小型ダムと 154 箇所の山ダムがあり，合計貯水容量は 185.56 万 m^3 になる。地下水も乏しく，採取可能な淡水資源が僅か $782 \text{ 万 m}^3/\text{年}$ である。毎年，6，7 月頃，水供給量が不足していたが，2004 年から紹興市の楊浦ダムより数千万 m^3 を引水し，断水現象が緩和された。

慈溪市は，長い歴史を有し，河姆渡遺跡の発掘により約 5,000 年前の新石器時代にすでに人類が生息していたことが確認されている。春秋時代には越の国

に属し、数々の文化（青磁文化、埋立文化、移民文化）や史跡が市全域に残っている。近年、経済発展と共に、地域の遺産として引き継がれた観光資源が注目されて、旧市街の観光開発も加速度的に推進されており、生活排水対策や河川の浄化は、地域住民の生活環境改善ばかりでなく、観光産業の開発・促進にも大いに寄与するものと考えられる。

2.3 調査方法

2.3.1 調査地点

2011年1月～8月にかけて、中国全土と慈溪市の下水道事業および図2-2に示した逍林鎮新園川の水質改善調査等を行った。

逍林鎮新園村は、慈溪市の中心市街より約15km離れた場所にあり、面積が2.5km²で、人口が3,265人、1,290世帯を有する。2012年の村全体の経済収入は11億5,700万元で、農民の1人当たりの純収入は15,160元/年である。近年、慈溪市中心市街地の拡張建設と周辺交通網の整備により、新園村の立地が益々重要になり、外資系の大手スーパーや高級ホテルなどが続々と進出している。



図2-2 新園川の位置と周辺環境²⁾

新園川は、全長約560m、幅5～10m、東側に鎮内主要河川としての大江东乐路があり、西側に大浦江がある。河川の両側には一般住宅が密集しており、東

側の起点より 170 m 辺りに簡易市場が設置されている (図 2-2)。現在は工場が無くなったが、3 年前には化学繊維工場や電子部品工場等、多くの工場が存在していた。西側の大浦江と東側の沢楽路江は市内の主要河川で、市主導で浄化作業が行われているため、浮遊物が少なく、水質が比較的きれいな状況にある。支流の新園川は流れが滞っており、また、外部からの労働者が多く環境改善意識が薄いため、生活ゴミや市場からのゴミ等の浮遊物が多く、近寄り難い状況にあり、長く村委員会や周辺住民を悩ませている。しかし、河川北側は一戸建て高級住宅が並び、南側は観光にもなる古い住宅が存在するので、河川浄化の効果は大きく、また、浄化施設の維持管理費用も得られる可能性がある。

その他、慈溪市と上海市のホテル水道水、慈溪市の水道原水、ミネラルウォーターを調査した。

2.3.2 試薬および装置

試薬は JISK-0102 工場排水試験方法³⁾および上水試験方法⁴⁾に準じたものを使用した。Al₂(SO₄)₃ および FeCl₃ は和光純薬工業(株)製試薬特級を、強カチオン性、ノニオン性および強アニオン性高分子凝集剤はそれぞれ MT アクアポリマー(株)製アロンブロック C-608, アコブロック N-100S, アコブロック A-150 を使用した。

pH 計は(株)堀場製作所製 pH/イオンメーター F-53 を、濁色度計はオステック(株)製デジタル濁色度計 WA-PT-4DG を、全有機炭素 (TOC) 分析計は(株)島津製作所製オートサンプラー ASI-V/TOC-V_{CSH} を、電気伝導度 (EC) 計は東亜ディーケーケー(株)製 EC メーター CM-14P を、イオンクロマトグラフは日本ダイオネクス(株)製オートサンプラー AS/イオンクロマトグラフ ICS-1500/オートサプレッサー SRS/汎用クロマトグラフィーインターフェース UCI-50/紫外可視吸光度検出器 UVD-510 を、原子吸光分光光度計は VARIAN INC. 製 AA240FS を、誘導結合プラズマ/質量分析計 (ICP/MS) は Agilent Technologies 製 7500 Series を使用した。

ジャーテスターは宮本理研工業(株)製 Water Cohesion Reaction Tester JT-6D を、浄水器はフィルターと活性炭、ナノ膜からなる Argonide (株)製 NanoCeram-PACB Series を使用した。

2.3.3 凝集沈殿処理

試験液 500 mL を 6 個の 1 L ビーカーに入れ、凝集剤を 0~100 mg/L 添加して、始め 150 rpm で 1 分間急速攪拌し、続いて 50 rpm で 10 分間緩速攪拌を行い、30 分間静置した後、上澄み液を 1 μm GFP でろ過して検液とした。

2.3.4 浄水器による水道水の処理

レストランの水道蛇口に浄水器を設置し、水道圧で処理を行い、水道水と処理水を採取し分析した。

2.3.5 分析方法

河川水については JISK-0102 工場排水試験方法³⁾、飲用水および上林湖の水については上水試験方法⁴⁾に準じて分析した。

2.4 結果および考察

2.4.1 慈溪市の下水

中国の下水処理インフラ整備は、1980年代から本格的な取り組みが始まった。大都市において、地方政府によるリソース投入や国際金融機関の支援の下で、1990年代までは緩やかな普及率であったが、1998年以來、中国の下水処理セクターは国債の投入によって成長期に突入し、下水処理場の数および下水処理能力が急激に増加した。2010年3月の中国環境保護部の公表によると、中国全土において、2010年12月までに2,832箇所の下水処理場が稼動し、下水道普及率は77.4%に到達したという(図2-3)。

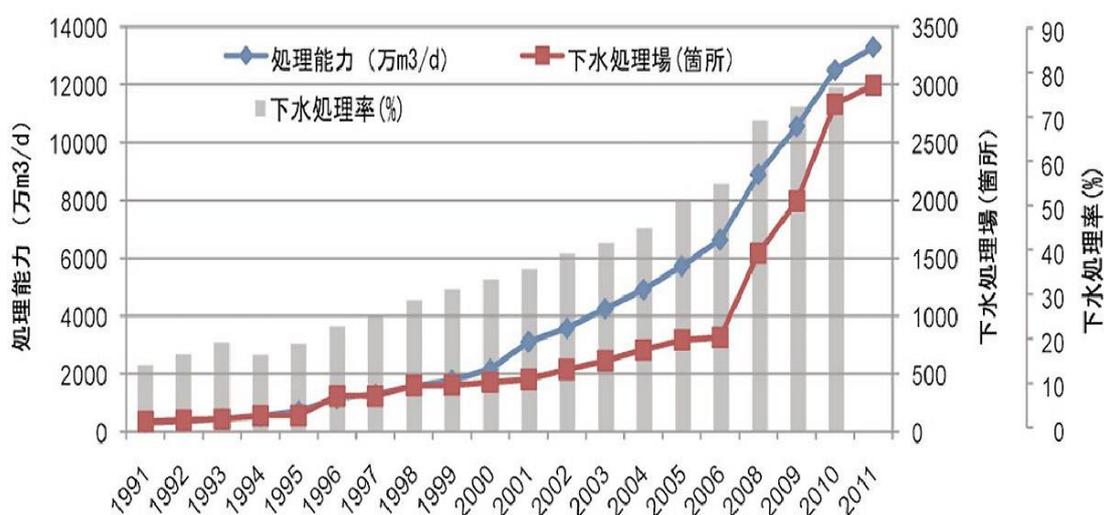


図 2-3 中国における都市下水の処理能力、処理場数および普及率の変遷⁵⁾

このような下水処理施設の建設は都市部を中心に展開し、「十一五」期間中3,320億元にも及ぶ資金が投入された。これにより、都市下水処理施設の建設は大きな発展を遂げてきたが、一方で、広大な農村・小都市地域では、下水処

理施設はほぼ完全な空白状態になっている。2008年までの県城（県の行政機構である県政府所在の小都市）の普及率は31.6%に留まり、県レベル以下の鎮、郷、村行政地域での普及率はさらに低く、下水を未処理で排出している。

2.4.2 慈溪市の下水道事業

図2-4に示すように、慈溪市内には北部下水処理場、教場山下水処理場、東部下水処理場の3つの下水処理場があり、それぞれの処理能力は10万 m^3 /日、8万 m^3 /日、5万 m^3 /日、市全体の処理能力は23万 m^3 /日であった。寧波市発展改革委員会の調査結果によると、慈溪市1人当たりの生活排水量は約100L/日であり、市全体で20万 m^3 /日以上 of 生活排水が発生している計算になる(201万人 \times 100L/日=20.1万 m^3 /日)。



図2-4 慈溪市の下水処理場と処理区域（慈溪市提供）

北部下水処理場は杭州湾新区にあり、2007年より稼働した。第1期工事として、敷地面積約10.5ha、処理水量10万 m^3 /日である。処理区域は、主に中部地方の6鎮1街道と西部地方の6鎮2区（食品加工園区と杭州湾経済開発区）で、都市生活排水と事前処理を経て合格した産業排水を処理している。下水処理後の水質は表2-1に示す「郷鎮下水処理場汚染物排出基準」に定める1級B基準を満たし、さらに、60haの人口湿地における再処理を経て1級A基準に

達し、河川に排出している。全体の設計処理量が 32 万 m³/日であるため、今後、拡張工事が続くと見込まれる。

表 2-1 中国郷鎮下水処理場汚染物基本項目の最高許可排出濃度⁶⁾

	1 級		2 級	3 級
	A	B		
pH	6-9	6-9	6-9	6-9
色度	(度)	30	30	40
SS	(mg/L)	10	20	30
BOD	(mg/L)	50	60	100
動植物油	(mg/L)	10	20	30
鉱物油	(mg/L)	1	3	5
NH ₃ -N ^{注2}	(mg/L)	5 (8)	8 (15)	25 (30)
T-N	(mg/L)	15	20	
T-P (mg/L)	2005 年までに建設	1	1.5	3
	2006 年後に建設	0.5	1	3
陰イオン界面活性剤	(mg/L)	1	3	5
総大腸菌群数	(個/L)	10 ³	10 ⁴	10 ⁴

注 1： COD が 350 mg/L < の時、除去率を 60% < にする。BOD が 160 mg/L < の時、除去率を 50% < にする。

注 2： 水温が 12℃ ≥ の時は () 内の値。

教場山下水処理場は慈溪市の中心市街に最も近く、また、建設時期が最も早い下水処理場である。8 ha の敷地面積を有し、1989 年に建設され、1993～1999 年にかけて 2 万 m³/日、2005 年に 5 万 m³/日、2009 年に 8 万 m³/日の処理規模に拡大してきた。図 2-5 に示すように、グリットチャンバー→最初沈殿池（土壌脱臭）→CAST 生物化学処理→逆砂ろ過→紫外線消毒→調整池→排水溝（TOC や全窒素（T-N）、全りん（T-P）を監視）で処理し、処理後の水質は 1 級 A 基準に達する。処理水は道路散水用水や緑化用水、工業用冷却水等に使用されている。汚泥は機械濃縮後、ベルトプレス脱水を行っている。

東部下水処理場は慈溪市における最も新しい下水処理場として 2010 年に稼働した。敷地面積が 8.13 ha で、第 1 期工事の敷地面積が 6.24 ha である。設計処理量は 10 万 m³/日で、第 1 期工事の処理能力は 5 万 m³/日である。倒置 A₂O 処理技術を用いて、東部 10 鎮と慈東工業園区の生活排水と産業排水を処理する。東部下水処理場の稼働により、市全体の下水収集能力を向上させ、他 2 箇

所の下水処理場の負荷を軽減することになる。



図 2-5 教場山下水処理場

このように、市内における3箇所の下水処理場が整備され稼動したことにより、慈溪市全体の普及率が70%以上に達した。しかし、一部の農村地区では、下水管の整備が遅れ、生活排水や産業排水は未処理のまま河川に排出されている。人口の増加、産業の発達により、排出する下水も増加する一方で、それによる河川の水質汚濁が益々深刻な状況になっている。早急に対策を進めなければ環境がさらに悪化すると思われる。

2.4.3 新園川および飲用水の水質

2011年1月に新園川調査を行ったところ、図2-6に示すように、市場の西側①にプラスチック製のゴミ等が多数浮遊しており、藻が発生していて河川の色が乳白色を呈していた。西側の大浦江に近いところ②ではゴミの数は減少しているが、河川の色が青く変色していた。市場の東側③では周辺住民が河川敷にゴミ箱を置いているが、ゴミ箱周辺にもゴミが散乱し、河川④の色も乳白色を呈し悪臭を放っていた。



図 2-6 新園川の汚濁状況 (2011 年 1 月 2 日)

2011年2月に調査をしたところ、図2-7に示すように、下流の大浦江と接するところ①では、油脂類とゴミ等が多く浮遊していた。市場付近②では、1月に見られたプラスチック製のゴミは減ったものの河川の色は依然として青いままで淀んでいた。上流の沢楽路江と接するところ③では、沢楽路江からのゴミ流入を防ぐため、竹と網で作った簡単な堰板が設けられていた。また、沢楽路江④では、清掃員が小舟に乗って河川に漂うゴミを拾っていたが、新園川に入って作業することはなかった。



図 2-7 新園川の汚濁状況（2011 年 2 月 22 日）

新園村村民委員会主任の高南祥氏によると、「市は主要河川の浄化に力を入れているが、新園川のような村レベルの河川については手が付けられていない状態である。村側も周辺住民に対し、河川保護の重要性を訴え、河川にゴミ等を捨てた場合、罰金を科すような制度を作ったが、新園川周辺（特に南側）に外来人口が多く流動性が高いため、教育の効果が長く持続しない」とのことであった。

表 2-2 に冬季と夏季に行った水質調査結果の一例を示した。藻類等の増殖が盛んな夏季において色度が 23.0→30.0, TOC が 7.0→19.9 mg/L と上昇した。金属類は Ni が要監視項目としての基準値を超えていた。測定は行わなかったが、過去の工場排水による As や Hg, Cd, Cr 等の汚染も考えられる。

現場で河川水を採取し、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ や FeCl_3 , 高分子凝集剤（強カチオン性, ノニオン性, 強アニオン性）をそれぞれ 100 mg/L 添加し、攪拌後静置して上澄み液の濁度および色度を測定したところ、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ が最も除去率が高く、他は FeCl_3 の濁度 63.6%, 色度 15.2% が最大であった。そこで、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ について、河川水を持ち帰ってジャーテストを行った。表 2-3 に示すように $\text{NH}_3\text{-N}$ を除いて 74.5% 以上の除去率を示した。生活排水処理や河川浄化を生物処理で行う予定であるが、効果が芳しくない場合には凝集沈殿処理を採用できる。

表 2-2 新園川の水質

	冬季	夏季	日本の環境基準 (河川水) ⁷⁾
採水日	2011年2月22日	2011年8月3日	
pH	7.26	7.41	6.5-8.5 (類型AA)
濁度(度)	4.4	4.3	
色度(度)	23.0	30.0	
TOC (mg/L)	7.0	19.9	
EC (mS/m)	70.4	90.2	
Ca (mg/L)	37.0	39.0	
Mg (mg/L)	11.0	12.0	
Al (mg/L)	0.27	0.28	
Cu (mg/L)	0.016	0.014	
Zn (mg/L)	0.016	0.011	
Fe (mg/L)	0.033	0.035	
Mn (mg/L)	0.010	0.006	
Ni (mg/L)	0.036	0.039	0.01 (要監視)
Ag (mg/L)	0.010	0.009	

(□内：基準を超えている)

表 2-3 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ による凝集沈殿処理結果

	原水	処理水	除去率 (%)
濁度 (度)	21.0	0.1	99.5
色度 (度)	50.0	6.0	88.0
COD (mg/L)	55.0	14.0	74.5
$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/L)	5.0	4.8	4.0
$\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/L)	0.50	0.07	86.0

環境水の状況が飲用水にどの程度影響しているかを調べるため、ミネラルウォーター、水道水および水道原水の水質調査を行った。表 2-4 に水質の一例を示した。TOC は日本の水道水水質基準内ではあるが、両水道水とも日本の水道水より高い。硬度は低い。上海市水道水の色度が基準を超え、上海市水道水の Mn、両水道水およびミネラルウォーターの Ni が目標値を超えていた。

表 2-4 飲用水および水道原水の水質

	ミネラル	ホテル水道水		上林湖	日本の水道水水質基準 ⁸⁾
	ウォーター	慈溪市	上海市	(水道原水)	
採水日	2011年2月22日	2011年8月3日	2011年2月24日	2011年8月3日	
pH	7.10	7.13	7.12	7.10	5.8-8.6
濁度(度)	0.0	0.0	0.0	3.8	2
色度(度)	0.0	2.5	6.0	11.5	5
TOC(mg/L)	0.3	2.7	2.8	5.4	5
EC (mS/m)	0.08	11.6	12.0	9.34	
Ca (mg/L)	30.0	8.6	9.0	32.0	硬度300, 10-100 (目標値)
Mg (mg/L)	0.001	1.61	1.50	8.90	硬度300, 10-100 (目標値)
Al (mg/L)	0.08	0.17	0.19	0.24	0.2
Cu (mg/L)	0.007	0.015	0.012	0.011	1
Zn (mg/L)	0.003	0.023	0.064	0.015	1
Fe (mg/L)	0.008	0.032	0.061	0.028	0.3
Mn (mg/L)	0.008	0.007	0.010	0.005	0.05, 0.01 (目標値)
Ni (mg/L)	0.029	0.026	0.039	0.021	0.01 (目標値)
Ag (mg/L)	0.005	0.008	0.007	0.008	

(□内：基準を超えている)

以前中国製のフィルター、活性炭、膜、キレートからなる浄水器で北九州市の水道水を処理したが、ほとんど処理効果がなかった⁹⁾。今回、中国への持ち込みが許可されている米国製のフィルター、活性炭、ナノ膜からなる浄水器で慈溪市の水道水を処理した結果の一例を表 2-5 に示した。浄水器により、色度や TOC、硬度分、多くの金属を除去できたが、Fe や Mn は除けず、Mn および Ni は日本の水道水質目標値をクリアできなかった。ナノ膜の選定に問題があると考えられる。

表 2-5 浄水器による水道水水質の改善

	処理後	慈溪市水道水	日本の水道水水質基準 ⁸⁾
採水日	2011年8月3日	2011年8月3日	
pH	6.94	7.13	5.8-8.6
濁度(度)	0.0	0.0	2
色度(度)	0.1	2.5	5
TOC (mg/L)	1.3	2.7	
EC (mS/m)	2.94	11.6	
Ca (mg/L)	0.09	8.6	硬度 300, 10-100 (目標値)
Mg (mg/L)	0.001	1.61	硬度 300, 10-100 (目標値)
Al (mg/L)	0.13	0.17	0.2
Cu (mg/L)	0.010	0.015	1
Zn (mg/L)	0.002	0.023	1
Fe (mg/L)	0.080	0.032	0.3
Mn (mg/L)	0.012	0.007	0.05, 0.01 (目標値)
Ni (mg/L)	0.017	0.026	0.01 (目標値)
Ag (mg/L)	0.005	0.008	

(□内：基準を超えている)

2.5 新園川の水質改善への協議および提案

2.5.1 新園村村民委員会との協議

本実証プロジェクトを実施するにあたり、ハード面やソフト面の整備以外に、過去の経験を鑑みて、問題なく円滑に進められるように、必要費用の分担や知的所有権の所属、成果の対価等についても協議し、表 2-6 で示したような内容で合意した。日中両国の合意を得て 2011 年 2 月から本格的に動き出した。

2011 年 2 月の調査結果から、新園村書記の周力華氏より、「是非進めたい。行政として何をすべきか、どの位の費用が必要か具体的に提案して欲しい」と積極的な姿勢で応じてくれた。そこで、2011 年 8 月の調査結果も含めて、次に

示す実証プロジェクトを提案した。

表 2-6 新園村村民委員会との協議事項および合意内容

協議事項	合意内容
実施期間	第 1 次目標 2011 年 1 月～2012 年 12 月 第 2 次目標 2013 年 1 月～2014 年 12 月
費用の分担	<ul style="list-style-type: none"> ・ 慈溪市に出張する旅費は日本側で負担する。 ・ ノウハウを含め、支援に必要な技術料も無償とする。 ・ 現地で使う簡単な装置の材料費や製作費等は慈溪市が負担する。
知的所有権の所属	<ul style="list-style-type: none"> ・ 本プロジェクト実施中に生じた実用新案や出願特許等の知的所有権は日中両国にあり、出願費用は折半する。 ・ 出願は日中共同出願を原則とする。
成果の対価	<ul style="list-style-type: none"> ・ 本プロジェクトに限定した成果に対する報酬については、日本側から要求しない。 ・ 本成果の他地域への応用や適応拡大する場合、その都度、金額等について両国協議の上決定する。 ・ 中国側と協議、承認された事項については公式論文発表や一般報告書による地域外報告等を認める。

2.5.2 新園川の清掃および浄化

新園川周辺の住宅からの生活排水を下水道に流すのが良いが、当分の間無理である。生活排水を収集し、合併浄化槽で処理することも費用がかかるので、当面の対策として、以下の対策を提案した。

(1) 第 1 段階

河川・水路の浄化では、最初に水を干して底泥を除くのが一般的であるが、それができない場合、浮遊しているゴミや藻類、草類を除去する。これに必要な道具・設備は、①手漕ぎの船 1 艘、②ゴミ等をすくい取る網、③すくい取ったゴミ等の乾燥のための一時置き場、工数としては、④2 人で 3～4 日が必要である。定常作業ではないので道具・設備はリースが良い。

(2) 第 2 段階

次に、流れを作るため、出口で隣の川へ強制排水する。これに必要な道具・設備は、①エンジン付き排水装置、②吸引口に取り付ける簡単なフィルター、③ビニールホース、工数としては、④1 人で 1 回 2～3 時間、数日間置きに 3 回以上必要である。これも道具・設備はリースが良い。

(3) 第3段階

さらに浄化するため、流入口を一時堰き止めて凝集剤を散布して攪拌する。これに必要な道具・設備は、①小さな船外スクルーを取り付けたボート、②凝集剤は安価で環境にやさしいものを日本側で手配、③流入口を一時塞ぐ板状のもの、工数としては、④2人で流入口を塞ぎ、1回6～7時間河川水を攪拌する。⑤流入口を塞いでいた板状のものを外す。これも道具・設備はリースが良い。

(4) 人工流入システム

ハード面では、浮遊物質や藻類、油脂類等が多いことが判明したので、人工流水システムの導入を考案した。水中の酸素が不足しているため、浮遊物質や油脂類等の分解が遅く、水の変色を生じた原因と考えられる。河川の両側と真ん中の3箇所に酸素供給装置を設置することで水の自浄作用を向上させ、生物の活性化と悪臭の軽減等の効果が期待できる。次に、下流の大浦江と接する部分に小型の水門を設置し水流のコントロールを行う。さらに、水門の手前に傾斜沈降管処理装置を利用した階段式沈殿池を設け、固形物の沈殿除去を図り大浦江への流出を防ぐ。最後に、上流の択楽路江と接する部分に貯水タンクを設け、ポンプで水を汲み上げることにより河川の流れを作り出す(図2-8)。

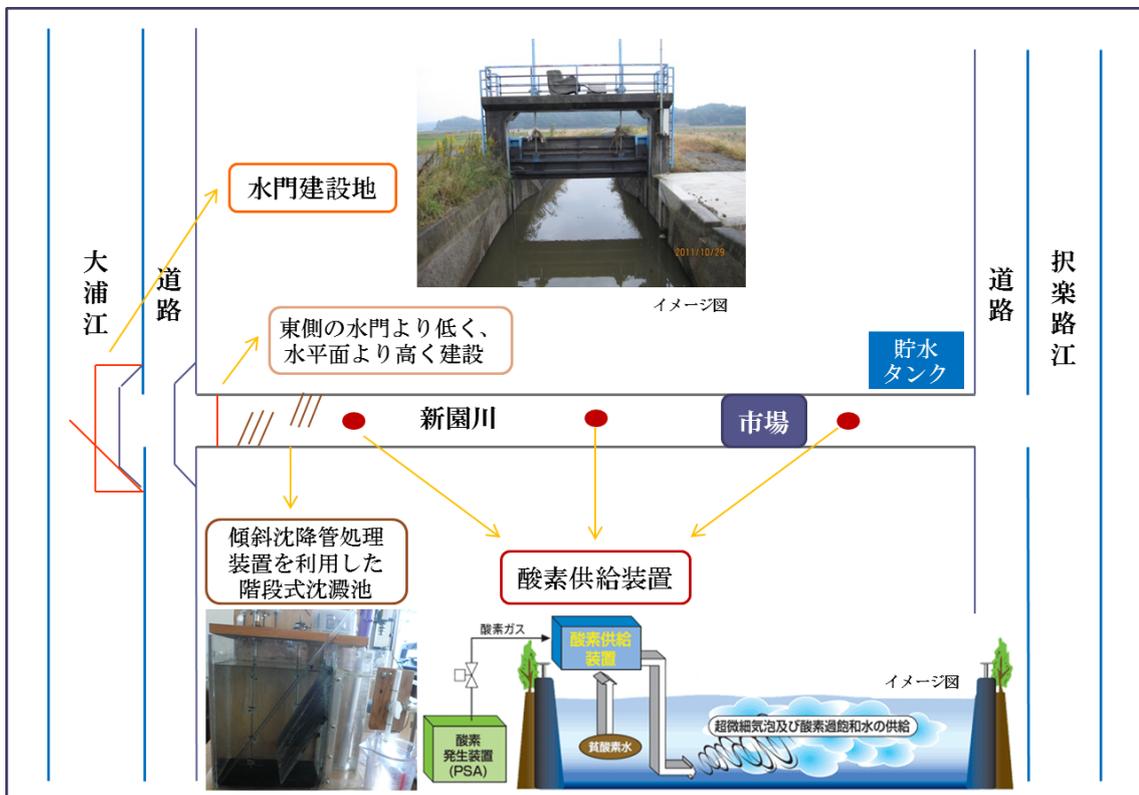


図 2-8 人工流水システムのイメージ図

(5) ソフト面の対策

ソフト面では、持続可能な体制を構築するために、①村落排水処理に関する行政の管理組織体系の確立、②関連する産業やサービス体系の構築、③村落排水処理の責任分担および利益者負担、④協力者にインセンティブを与えることなどが考えられるが、本実証プロジェクトを成功させるために、⑤地域住民の自主運動の活性化を図ることが何よりも大切である。環境問題の解決は発生源の対応が最も重要で、河川浄化を達成するには住民各自が汚染源であるゴミや汚濁の著しい生活排水を極力流さないことが必要である。環境問題解決には住民の役割は60～70%と言われ、そのためにも、本実証プロジェクトを実施するにあたり、⑥新園村村民委員会より周辺住民への宣伝・教育を強化すること、⑦村の環境保護政策や河川の管理制度を策定すること、⑦住民主導の「マイビレッジ・マイリバー」保護会を立ち上げることを提案した。

2.6 まとめ

以上のように、新園川の初期段階における浄化対策について提案したが、途上国の中小都市と同様、メリットと経費の対比から、中国村落の環境浄化対策はなかなか実行されないでいる。しかし、今、慈溪市は急速に工業化、都市化が進んでおり高級ホテルや高級住宅の建設が行われている。また、杭州湾と杭州湾大橋、清朝時代の古鎮、約5,000年前からの遺跡、有明海に棲息しているような魚介類の豊かさ、モモやヤマモモ等の果物と上海を拠点とした観光地として相応しい。人の健康保護や環境保全からばかりでなく、土地の評価や経済効果からも早急な環境浄化対策を勧めたい。

第3章 インドネシア共和国・スラバヤ市における分散型水処理施設

による水環境の改善

3.1 はじめに

発展途上国においては、急速な工業化や人口集中、車両の増加等で都市の環境は益々悪化しつつある。インドネシア・スラバヤ市は、家庭生ごみのコンポスト化や町の緑化推進により、「国連地方自治体表彰」や「インドネシア環境先進都市表彰」を受賞するなど環境改善に取り組む都市として知られている。また、水質汚濁対策についても最優先課題とされ、工場排水の規制強化や水質モニタリングの充実と共に、下水道整備に向けてマスタープランの見直しが進められている。しかし、下水道整備には多額の費用がかかり、すぐには進まない。また、維持管理や料金制度等が確立していないとその機能を果たせない¹⁰⁾¹¹⁾。家庭からの生活雑排水はそのまま水路を通り河川に放流され、し尿は一旦セプティックタンクに入るものの不十分な処理のまま地下浸透し、地下水や河川水を汚染して人々の健康被害の原因となっている。

そこで、著者らは住宅地の下水対策として、住民の環境意識が高く自治会組織が確立している **Jambangan** を、事業場排水対策として、土地の確保が容易で市場職員の協力が得られる **Pabean** 魚市場を、河川の浄化対策として、土地の確保が容易で比較的賑やかな **Tenggilis** の河川を、汚染源対策と環境意識の啓発・啓蒙のモデル地域として選定し、水質や水量調査を行い、生物処理を主体とした適切な処理施設を提案した。

3.2 調査方法

3.2.1 調査地点

スラバヤ市はジャワ島北岸の **Mas** 川河口に位置し、インドネシア第2の都市で人口300万人、東ジャワ州の州都である。インドネシア最大の港湾・軍港都市で、近年の経済成長は著しく、日本の企業も多く進出している¹²⁾。図3-1に **Jambangan**、**Pabean** および **Tenggilis** の位置を示す。

2012年2月～2013年9月に調査を行い、**Jambangan** では、図3-2に示す住宅地の下水と3家庭の井戸水を採取した。**Pabean** 魚市場では、魚が搬入され片づけられるまでの排水を図3-3に示す **Mas** 川の排水口および水路で経時的に採取した。**Tenggilis** では、図3-4に示す **Wonorejo** 川浄化施設設置場所の近くの河川

水（地点①）とそこに流れ込む水路の水，上流 2 地点の河川水を採取した。水道水は，図 3-1 に示すホテル，一般家庭および Tenggilis の生協で採取した。



図 3-1 調査地点 (Map data 2014 Google)

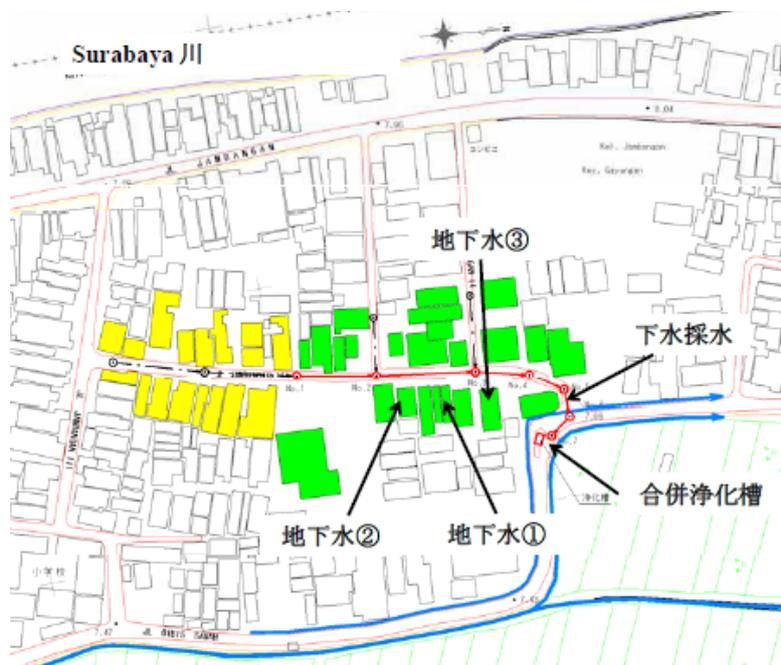


図 3-2 Jambangan (RT2RW1 地区)の採水場所

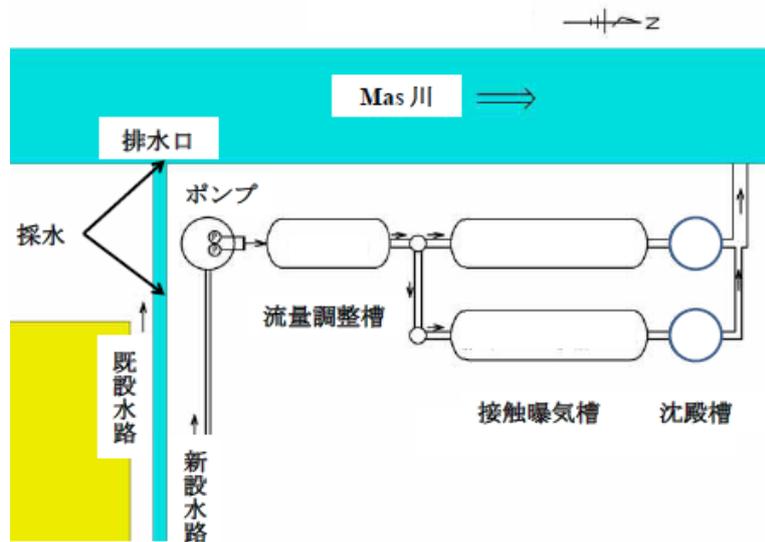


図 3-3 Pabean 魚市場の採水場所と排水処理施設の設置予定場所



図 3-4 Wonorejo 川の採水地点 (CV.INDO PRIMA SARANA Surabaya)

3.2.2 試薬および装置

試薬は上水試験方法⁴⁾および JISK-0102 工場排水試験方法³⁾に準じたものを使用した。pH 計は(株)堀場製作所 pH/イオンメーターF-53 を，濁色度計はオステック(株)デジタル濁色度計 WA-PT-4DG を，TOC 分析計は(株)島津製作所製オートサンプラーASI-V/TOC-V_{CSH} を，EC 計は東亜ディーケーケー(株)EC メーターCM-14P を，イオンクロマトグラフは日本ダイオネクス(株)製オートサンプラーAS/イオンクロマトグラフ ICS-1500/オートサプレッサーSRS/汎用クロマトグラフィインターフェース UCI-50/紫外可視吸光光度検出器 UVD-510 を，原子

吸光分光光度計は VARIAN INC. AA240FS を、ICP/MS は Agilent Technologies 7500 Series を使用した。

3.2.3 分析方法

Pabean 魚市場排水量は、Mas 川への排水口において、既知容量の容器を満杯にする時間を測って算出し、Wonorejo 川の流量は、浮遊物を浮かせ、一定距離を通過する時間を測り、川幅と平均深さから算出した。

井戸水および水道水の水質項目については上水試験方法⁴⁾、その他の試料については JISK-0102 工場排水試験方法³⁾に準じて分析した。

3.3 結果および考察

3.3.1 井戸水および水道水の水質

表 3-1 に Jambangan (RT2RW1 地区) の家庭井戸水の水質の一例を示した。濁度や色度は水道水質基準を超えており、TOC も日本の中小都市を流れる河川程度で飲用にはならない。し尿の地下浸透が行われているためと考えられる。この地域では、ミネラルウォーターを飲用に使用し、水道水は料理や洗濯に、井戸水は洗濯やシャワー、便所用に使用している。住宅以外に豆腐工場 1 箇所、パン工場 1 箇所、病院 2 箇所、小学校 1 箇所、中学校 1 箇所あり、これらの排水の影響も考えられる。また、Cd や Fe, Mn, 総クロム (T-Cr), Ni 等の金属汚染も見られるが原因は不明である。

表 3-2 に水道水の水質の一例を示した。浄水処理は、河川水を沈殿池に導入して、その後 Al 系凝集剤で凝集沈殿処理を行っているが、日本の水道水に比べ、濁度や色度が高く、TOC が大きな試料もある。インドネシアでは、Cr や Ni メッキを行う自動車整備や Hg を用いる金細工、染色等が盛んであるが、排水処理や水質監視が行われていないので、水質汚染に繋がっている。Cd や Pb, T-Cr, Ni 等の金属濃度も高く、原水から除去できていない。また、TOC で示されるように、有機物が多いため塩素が消費されてしまい、一般細菌が多く、大腸菌も検出されている。

表 3-1 井戸水の水質

	井戸水①	井戸水②	井戸水③	日本の水道水水質基準 ⁸⁾
採水日	2013年2月12日	2013年2月12日	2013年2月12日	
pH	7.07	7.16	7.14	5.8-8.6
濁度 (度)	6.0	7.5	3.2	2
色度 (度)	0.9	0.6	25.5	5
TOC (mg/L)	11.1	9.73	12.6	5
EC (mS/m)	72.8	86.6	142	
Mg (mg/L)	21.0	23.4	38.6	
K (mg/L)	10.7	15.2	21.2	
NO ₃ -N (mg/L)	2.08	6.19	2.57	10
NO ₂ -N (mg/L)	0.005>	0.005>	0.005>	10, 0.05 (目標値)
PO ₄ -P (mg/L)	1.1	1.4	1.0	
SO ₄ (mg/L)	9.0	17.4	1.9	
F (mg/L)	0.05>	0.05>	0.05>	0.8
Cl (mg/L)	30.7	35.2	116	200
Br (mg/L)	0.1>	0.1>	0.1>	
Cd (mg/L)	0.011	0.010	0.015	0.01
Pb (mg/L)	0.005>	0.005>	0.005>	0.01
Cu (mg/L)	0.010	0.020	0.041	1
Zn (mg/L)	0.0159	0.0187	0.0144	1
Fe (mg/L)	0.020	0.063	1.30	0.3
Mn (mg/L)	0.245	2.14	1.98	0.05, 0.01 (目標値)
T-Cr (mg/L)	0.120	0.148	0.139	
Ni (mg/L)	0.052	0.025	0.023	0.01 (目標値)

(□内：基準を超えている)

表 3-2 水道水の水質

	ホテル	一般家庭	生協の水道水	日本の水道水水質基準 ⁸⁾
採水日	2013年9月11日	2012年8月9日	2013年2月12日	
pH	7.76	6.99	7.40	5.8-8.6
濁度 (度)	0.3	0.1	6.0	2
色度 (度)	4.5	4.5	0.0	5
TOC (mg/L)	2.0	1.1	4.8	5
EC (mS/m)	40.9	56.3	38.8	
陰イオン界面 活性剤 (mg/L)	-	0.02>	-	0.2
Ca (mg/L)	2.73	-	-	硬度300, 10-100 (目標値)
Mg (mg/L)	7.16	-	9.08	硬度300, 10-100 (目標値)
Na (mg/L)	5.38	-	-	200
K (mg/L)	-	-	4.77	
NO ₃ -N (mg/L)	3.14	-	1.90	10
NO ₂ -N (mg/L)	0.005>	-	0.005>	10, 0.05 (目標値)
PO ₄ -P (mg/L)	0.6	-	0.2>	
SO ₄ (mg/L)	24.1	-	49.1	
F (mg/L)	0.05>	-	0.25	0.8
Cl (mg/L)	25.7	-	20.3	200
Br (mg/L)	0.1>	-	0.1>	
B (mg/L)	0.018	-	-	1
Al (mg/L)	0.0709	-	-	0.2
Cd (mg/L)	0.001>	0.002	0.012	0.01
Pb (mg/L)	0.005>	0.030	0.020	0.01
Cu (mg/L)	0.001	0.003	0.005	1
Zn (mg/L)	0.0008	0.0117	0.0105	1
Fe (mg/L)	0.013	0.012	0.055	0.3
Mn (mg/L)	0.001>	0.002	0.010	0.05, 0.01 (目標値)
T-Cr (mg/L)	0.001>	0.036	0.167	
Ni (mg/L)	-	0.003	0.011	0.01 (目標値)
一般細菌 (個 /mL)	300	-	-	100
大腸菌 (個/mL)	検出	-	-	不検出

(-: 測定しなかった, □内: 基準を超えている)

3.3.2 Jambangan (RT2RW1 地区) の下水処理

Jambangan においては、環境浄化に関心が深い自治区の 100 人 20 世帯について、し尿も含めた下水処理をモデルとした。表 3-3 に示すように、日本の住宅下水と比べてもそれほど有機物は多くないため、1 人当たり 160 L/日、BOD 250 mg/L の下水を排出するとして、図 3-5 に示すような約 16 m³/日程度を処理でき、BOD 50 mg/L、SS 50 mg/L の処理水が得られるような合併浄化槽を設置する。図 3-2 および 3-5 に示すように、住宅地からの下水を下水管で集め、公園に設置した浄化槽で処理した後、近くの河川に流す。雨水は既存の排水路を使用する。

しかし、表 3-4 に示すように、浄化槽の設置費用もさながら、各家庭と下水本管に繋ぐ経費や維持管理費の負担は大きく、住民のより環境改善意識の高揚が必要である。そのため、親水施設を備えた浄化槽を子供が遊び、住宅地の中心部となっている公園に設置し、水質浄化や環境改善に繋がることを示す必要がある。

表 3-3 Jambangan 住宅下水路の水質

	住宅下水	日本の一律排水基準 ⁷⁾
採水日時	2012年8月7日10時	
pH	6.89	5.0-9.0
濁度 (度)	50<	
色度 (度)	20<	
SS (mg/L)	50.5*	200
TOC (mg/L)	27.3	
EC (mS/m)	95.8	
陰イオン界面活性剤 (mg/L)	13.0	
Cd (mg/L)	0.005	0.1
Pb (mg/L)	0.040	0.1
Cu (mg/L)	0.003	3
Zn (mg/L)	0.0163	5
Fe (mg/L)	0.302	10 (溶解性)
Mn (mg/L)	1.19	10 (溶解性)
T-Cr (mg/L)	0.032	2
Ni (mg/L)	0.006	

*SS の大部分は有機物

表 3-4 建設費および維持管理費の試算

	建設費 (万円)		維持管理費 (万円/年)	
浄化槽*	200	浄化槽*	28	
本管	410	電気料金*	1.5	
住宅内配管	200	本管	5.5	
その他	30	その他	2	
合計	900		37	
1世帯当たり	45		1.9	

* 現地メーカーの費用, 他は日本の費用で試算

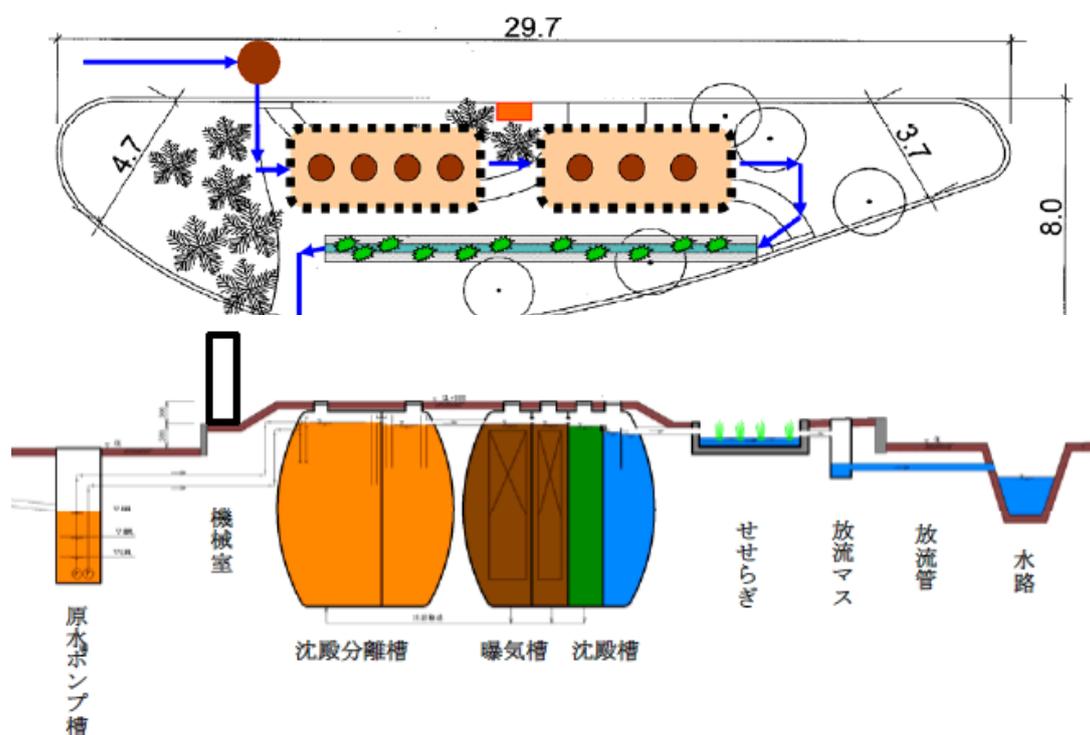


図 3-5 公園と合併浄化槽の概略図

3.3.3 Pabean 魚市場の排水処理

Pabean 魚市場は日本とは異なって、冷凍技術が進んでないため、消費に合わせて午後 2 時から午前 2 時頃まで作業が行われている。海水が入ったドラム缶に魚介類を詰めて市場に搬入し、井戸水で洗浄する程度である。

表 3-5 に排水の水質の一例を、表 3-6 に日を変えて通日調査を行った水質の一例を示した。魚介類をさばかないため、時間的変動はあるものの SS や TOC は最大 100 mg/L を超える程度で、固形物や有機物、油分は多くはなかった。

また、生物処理を阻害する金属類や塩分も問題ではない。排水量は図 3-6 に示すように、作業開始は 6.5 m³/h, 最大 13.2 m³/h で、トイレ排水を含め 1 日約 150 m³ 程度である。

図 3-7 に各水質の経時変化を示した。水温は 28°C 程度で一定、pH も中性なので生物分解には好都合である。作業終了時に SS や沈殿性物質が多いが、TOC や BOD, COD はそれほど多くなく、透視度も良いので、これは骨や鱗等分解しにくい固形物なのでスクリーン等で簡単に除去できる。有機物のピークは、TOC や BOD, COD で示されるように、15 時～20 時であるが、この時、SS

表 3-5 Pabean 魚市場排水の水質

	魚市場排水	日本の一律排水基準 ⁷⁾
採水日時	2012年8月7日13時	
pH	6.70	5.0-9.0
濁度 (度)	50<	
色度 (度)	20<	
SS (mg/L)	114	200
強熱減量(IL) (mg/L)	101	
TOC (mg/L)	100	
EC (mS/m)	253	
Cd (mg/L)	0.004	0.1
Pb (mg/L)	0.060	0.1
Cu (mg/L)	0.018	3
Zn (mg/L)	0.0382	5
Fe (mg/L)	0.399	10 (溶解性)
Mn (mg/L)	0.130	10 (溶解性)
T-Cr (mg/L)	0.038	2
Ni (mg/L)	0.003	

* IL : 強熱減量

表 3-6 Pabean 魚市場排水水質の経時変化

採水時間	10時40分*	14時50分	16時50分	20時	23時50分	3時50分
水温 (°C)	28.5	27.9	27.9	27.9	27.9	28.1
透視度 (度)	14	9	10	10	9	20
pH	7.15	7.01	6.88	6.90	6.99	6.89
SS (mg/L)	20.1	66.3	46.6	33.4	136	25.7
沈殿性物質(v%)	0.04	0.13	0.11	0.08	0.35	0.09
TOC (mg/L)	36.8	127	142	112	74.3	115
BOD (mg/L)	107	247	311	231	174	104
COD (mg/L)	81.0	115	115	97.6	94.3	57.3
EC (mS/m)	133	172	195	166	114	100
Cl (mg/L)	160	20.0	10.0	275	150	110

* トイレの排水

(2013年6月26日～27日採水, 晴れ)

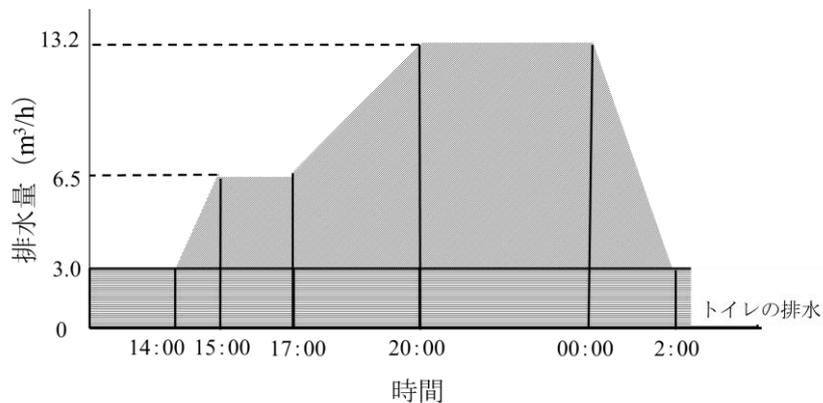


図 3-6 排水量の経時変化

や沈殿性物質がそれほど多くないので、血液やイカ墨のような液状の有機物が主である。また、図 3-8 に示すように、TOC に対する BOD 比と COD 比が同じように変化しており、溶解性有機物の時間的な大きな成分変化はないことがわかる。なお、鉍物系の凝集剤で処理すると、40%程度の TOC 除去率であった。

処理施設としては、国の土地であり、工事中市場の業務になるべく影響しない図 3-3 に示す場所に設置することが想定された。図 3-3 および 3-9 に示すように、径 2.5 m×長さ 10 m×2 列を地下に埋設し、固形物を取り除くスクリーンあるいは沈殿槽および流量調整槽を通した後、150 m³/日、BOD 平均 116 mg/L 程度の排水を処理する接触酸化処理装置を設置する。しかし、①満潮時に Mas

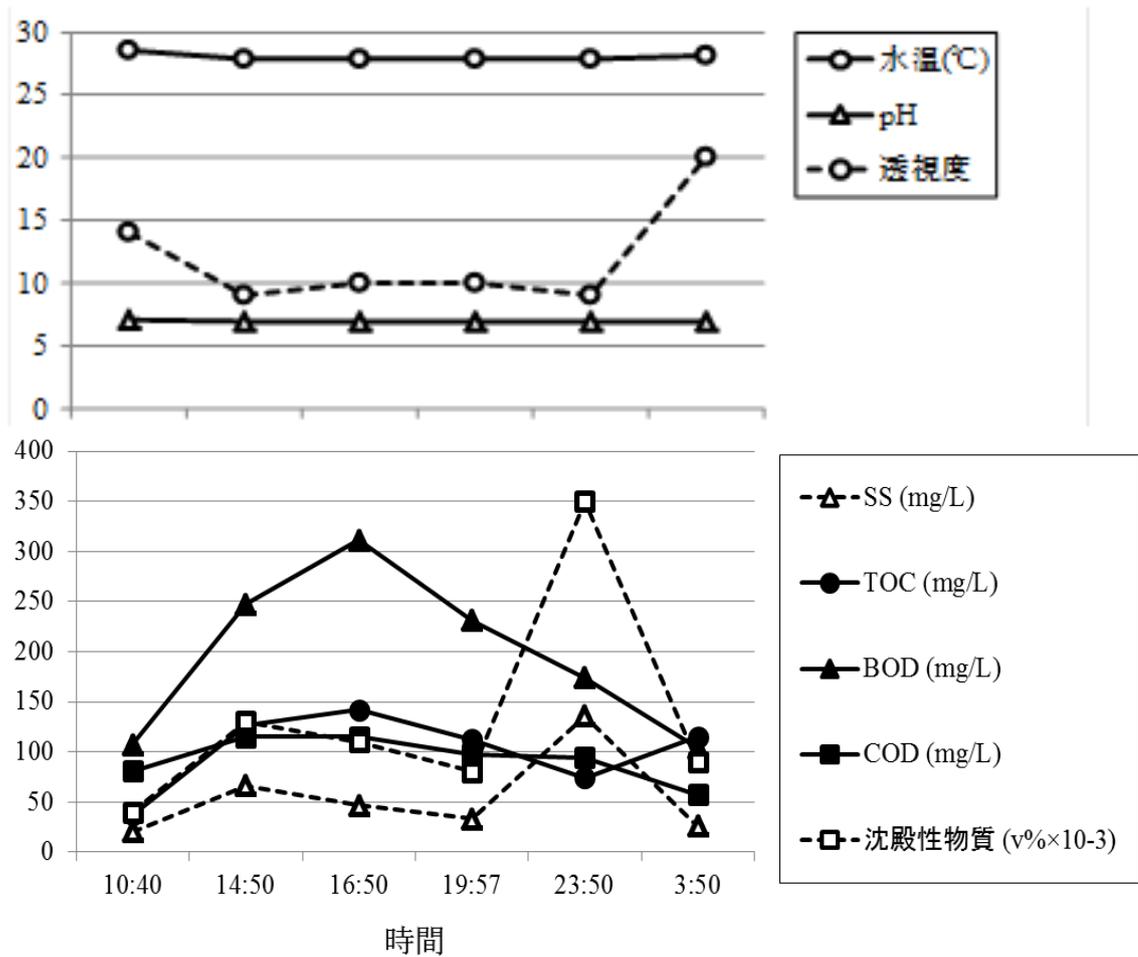


図 3-7 各水質の経時変化

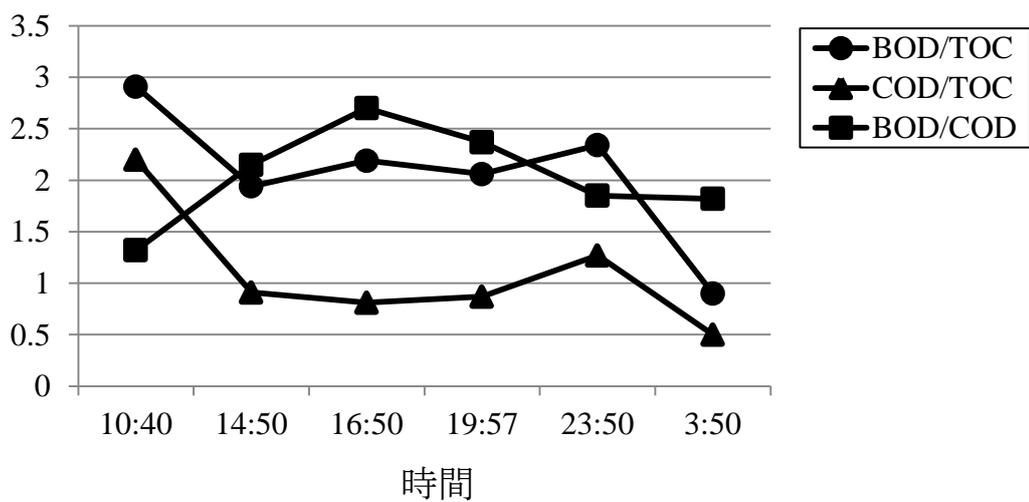


図 3-8 BOD/TOC, COD/TOC および BOD/COD の経時変化

川の水が排水路に入ってくるため、ポンプで排水する場合が出てくる、②維持管理等の問題を抱えている。雨水は既存の排水路を使って Mas 川に流す。

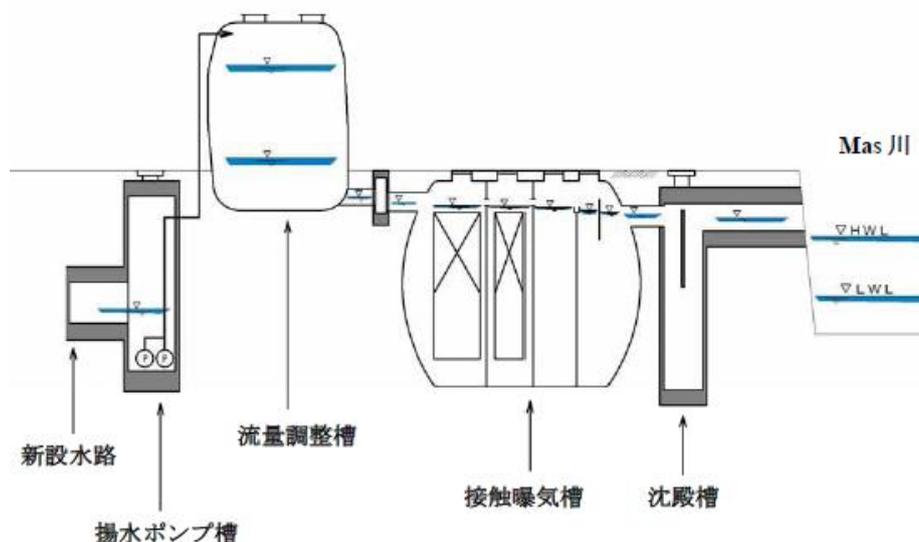


図 3-9 Pabean 魚市場の排水処理施設の概略図

3.3.4 Wonorejo 川の浄化

市の土地のため用地が確保でき、比較的賑やかな、図 3-4 に示す地点①を浄化施設の設置場所とした。表 3-7 に Wonorejo 川の水質の一例を示した。設置場所である地点①の流量は約 6,700 m³/日で、すぐ上流に下水を多く含む水が約 5,400 m³/日流入している。地点①の上流 500 m の地点②の流量は約 12,000 m³/日であった。SS は少ないが有機物は多く、日本の環境基準類型 E の BOD 値を超えている。しかし、異臭はなく、金属類等の有害物質濃度はそれほど高くない。また、魚やカニ等も生息している。地点②の上流 2,500 m の地点③では類型 D の BOD 値になっている。これらから、河川水量の約 50% の 6,000 m³/日について、日本で行われているように、図 3-10 に示す幅 5 m×深さ 3 m×長さ 30 m×2 列の曝気付礫間接触酸化法や植物による浄化等の好氣的生物処理施設と親水施設を設置することによって水質が浄化され、河川に親しむことができると思われる。処理水質は、BOD および SS の除去率を 75～95% として、BOD 25～28 mg/L、SS 8～10 mg/L にすることができる。維持管理は市で行うことができる。なお、生成する植物性残渣等は対岸にあるコンポストセンターで処理が可能である。

表 3-7 Wonorejo 川の水質

	地点①への 流入水路	地点①	地点②	地点③	日本の環境基準 (河川水) ⁷⁾
採水時間	10時20分	10時30分	11時40分	13時10分	
流量 (m ³ /s)	0.062	0.077	0.139	-	
pH	7.54	7.42	7.48	7.20	6.5-8.5 (類型AA)
濁度 (度)	15.6	17.9	12.4	5.8	
色度 (度)	50<	50<	50<	26.5	
SS (mg/L)	3.5	13.1	6.9	0.0	25 (類型AA)
TOC (mg/L)	9.1	9.7	6.5	5.1	
BOD (mg/L)	58.2	44.8	11.6	6.8	10 (類型E)
EC (mS/m)	152	98.1	102	64.9	
NO ₃ -N (mg/L)	0.17	0.17	0.07	0.07	10 (要監視)
NO ₂ -N (mg/L)	0.005>	0.005>	0.005>	0.005>	10 (要監視)
PO ₄ -P (mg/L)	5.8	2.9	1.2	1.1	
SO ₄ (mg/L)	25.2	29.2	12.9	18.1	
F (mg/L)	0.05>	0.17	0.05>	0.05>	0.8 (要監視)
Cl (mg/L)	244	129	131	38.8	
Br (mg/L)	0.1>	0.1>	0.1>	0.1>	
陰イオン界面 活性剤 (mg/L)	13.0	8.00	1.50	5.00	
B (mg/L)	0.121	0.068	0.087	0.045	
Na (mg/L)	9.86	8.06	10.7	4.06	
Ca (mg/L)	7.41	7.01	7.32	6.54	
Al (mg/L)	0.0220	0.0220	0.0060	0.0260	
Cd (mg/L)	0.001>	0.001>	0.001>	0.001>	0.01
Pb (mg/L)	0.005	0.005>	0.005>	0.001	0.01
Cu (mg/L)	0.002	0.002	0.002	0.001	
Zn (mg/L)	0.0030	0.0020	0.0010	0.0010	
Fe (mg/L)	0.191	0.174	0.033	0.107	
Mn (mg/L)	0.388	0.519	0.007	0.148	
T-Cr (mg/L)	0.002	0.001	0.001	0.001	

*SS の大部分は有機物

(□内：基準を超えている，2013年9月11日採水，晴れ)

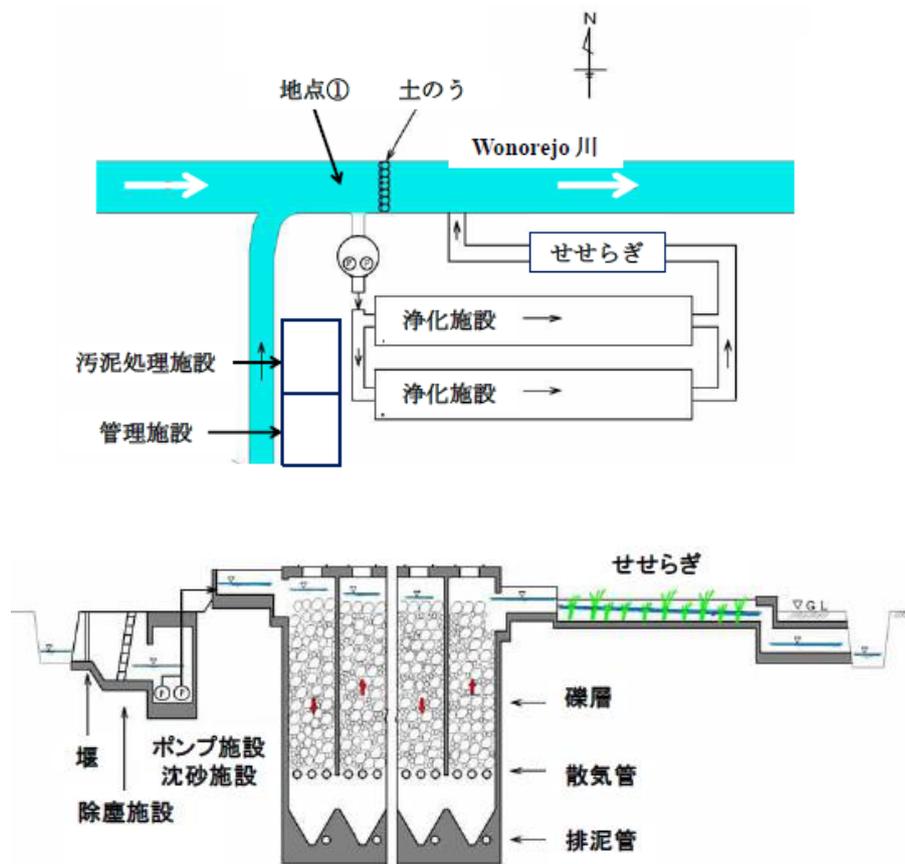


図 3-10 河川浄化施設の概略図

3.3.5 水処理施設の水質管理簡便法

水処理施設への流入水質に応じてエアレーションの空気量等の調整が必要である。固形物や有機物、有害物質等を常に SS や BOD、金属等の水質項目で測定することは経費や時間、技術等が必要であり、途上国においては困難である。そこで、経費をかけず迅速・簡便に測定する方法として、Pabean 魚市場の排水について、透視度および沈殿性物質と SS、TOC、BOD および COD との相関性を調べた。

表 3-8 にそれぞれの相関係数を示した。SS については沈殿性物質が、BOD や COD については透視度が良い相関性が見られ、これらによる管理が適応できる。今回適用した 3 箇所の生物処理に影響を与える程度の有害物質の流入については、顕微鏡による動物性微生物¹³⁾のダメージを観察することにより監視できる。

表 3-8 透視度および沈殿性物質とその他の水質項目の相関係数

	透視度	沈殿性物質
SS	0.311	0.965
TOC	0.0198	0.009
BOD	0.531	0.0038
COD	0.827	0.0305

(□内：相関係数が比較的高い)

3.4 まとめ

水質汚濁が著しいインドネシア共和国・スラバヤ市の水質改善を図るため、下水道が普及するまでの経過措置として、汚染源対策と市民の環境意識の啓発・啓蒙を促すため、3箇所モデル地域の環境調査を行い、以下のような分散型排水処理施設を提案した。

(1) 河川水質は、BODが6.8-58.2 mg/Lと有機汚濁が著しく、金属類による汚染も見られる。水道水は、濁度やCd, Pb, Ni等の金属は除去できていない、一般細菌や大腸菌も検出された。家庭の井戸水もTOCが9.73-12.6 mg/Lと日本の中小都市の河川程度で、濁度および色度は日本の水道水水質基準を超え、CdやFe, Mn, Ni等の金属汚染も著しく飲用には適さない。

(2) Jambanganのし尿を含めた住宅下水は、20世帯について、16 m³/日程度、BOD 50 mg/L, SS 50 mg/Lの処理水が得られるような、親水施設を備えた、合併浄化槽を公園に設置する。

(3) Pabean魚市場排水は、径2.5 m×長さ10 m×2列を地下に埋設し、固形物を取り除くスクリーンあるいは沈殿槽および流量調整槽を通した後、150 m³/日程度の接触酸化処理装置を設置する。

(4) Tenggilisの河川は、BOD 25~28 mg/L, SS 8~10 mg/L程度にするため、約50%の水量について、親水施設を備えた、幅5 m×深さ3 m×長さ30 m×2列の曝気付礫間接触酸化処理装置を設置する。

(5) いずれの施設も費用や用地、維持管理、雨水対策等の課題を抱えている。

第4章 海面埋立廃棄物処分場・場内水中のCOD成分調査と凝集

沈殿処理および活性炭吸着処理

4.1 はじめに

産業の多様化や複雑化で、廃棄物処分場へは様々な汚泥や燃えがら等の廃棄物が搬入・埋め立てされている。そのため、浸出水中には従来の水処理方法では除去し難い有機物や金属類、化学物質等の有害物質を含む可能性がある。実際、北九州市の響灘処分場では、埋め立て終末期において、場内水中のCOD濃度が100 mg/L以上に上昇し、既存の排水処理（接触酸化→ FeCl_3 による凝集沈殿処理→砂ろ過→粒状活性炭吸着処理）では目標値の20 mg/L以下にすることが困難な状況にある。この対策として、今までに、パイル工法¹⁴⁾や粉末活性炭を含む凝集沈殿処理、場内水の廃棄物への浸透^{15,16)}、せせらぎ浄化¹⁷⁾の検討を行ったが、それぞれ課題があり、実用化に到っていない。これは、埋め立て処分される廃棄物中のCOD成分が通常使用されている凝集剤や活性炭では処理困難な性状のためと考えられる。

そこで、今回、響灘処分場に搬入・埋め立てされる高濃度COD成分を含む十数種類の廃棄物のうち、9種類の廃棄物について、CODとTOCを調べ、また、6種類の廃棄物について、COD成分の性状と凝集沈殿処理および活性炭吸着処理特性を調べ、適切な凝集剤や活性炭の選定や設計、並びに将来的な廃棄物の受け入れ体制について検討した。

4.2 実験方法

4.2.1 試薬

強酸性カチオン交換樹脂は和光純薬工業(株)製Dowex 50Wx8 (100~200 mesh)、強塩基性アニオン交換樹脂は和光純薬工業(株)製Dowex 1x8 (100~200 mesh)を用いた。

凝集剤として、 FeCl_3 は和光純薬工業(株)製の無水物、PACは黒崎化学工業(株)製、高分子凝集剤はMTアクアポリマー(株)製アロンブロックC-508（ポリアクリル酸エステル系強カチオン）、アコブロックN-100S（ポリアクリルアミド系ノニオン）およびアコブロックA-150（ポリアクリルアミド系強アニオン）、(株)ノアテック製スーパーナミット（無機系中性）を用いた。

粒状活性炭は太平化学産業(株)製のヤシ殻炭系ヤシコールS・SC, M・MC, L・

LC, 石炭系プロコール CM および特殊活性炭プロコール GN を用いた。それぞれの特性を表 4-1 に示した。

標準分子量試薬は VARIAN 製 PL2070-0100 (ポリエチレングリコール: 分子量 106~21,030) および PL2080-0101 (ポリエチレンオキシド: 分子量 15,120~859,500) を用いた。水質分析用およびその他の試薬は JISK0102 工場排水試験方法³⁾に準じたものを用いた。精製水は日本ミリポア(株)製 Milli-Q SP による精製水を用いた。

表 4-1 使用した活性炭の特性

	ヤシコール S・SC	ヤシコール M・MC	ヤシコール L・LC	プロコール CM	プロコール GN	
原料	ヤシ殻	ヤシ殻	ヤシ殻	石炭	石炭	
処理方法	水蒸気賦活	水蒸気賦活	水蒸気賦活	水蒸気賦活	水蒸気賦活	
乾燥減量 (%)	3.9	1.5	2.6	2.0	0.5	
粒度 (mm)	0.50-0.25	2.36-0.50	4.75-2.36	2.36-0.50	4.75-3.35	
充填密度 (g/mL)	0.48	0.47	0.49	0.43	0.46	
比表面積 (m ² /g)	1,050	1,157	960	1,137	1,228	
平均細孔直径 (Å)	17.9	18.4	17.8	20.0	18.7	
細孔容積 (cm ³ /g)	0.469	0.532	0.428	0.570	0.574	
吸着性能	ヨウ素 (mg/g)	1,200	1,140	1,100	1,080	1,100
	ベンゼン (%)	36.9	34.8	34.1	35.3	36.1
	メチレンブルー (mL/g)	220	200	200	190	190

4.2.2 装置

pH計は(株)堀場製作所製F-53, EC計は東亜電波工業(株)製CM-40S, TOC計は(株)島津製作所製TOC-5000/オートサンプラーASI-5000A, 分光光度計は日本分光(株)製NQF-720/U-630, 原子吸光分光光度計はVARIAN製AA240FS, イオンクロマトグラフはDIONEX製イオンクロマトグラフ/オートサンプラーDAS-80/(株)島津製作所製カラムオープンCTO-10Aを用いた。恒温乾燥器は三洋電機(株)製MOV-112(U), マッフル炉はヤマト科学(株)製FP310, 振とう機はTAIYO製SR-II W, ジャーテスターは宮本理研工業(株)製JT-6Dを用いた。

4.2.3 試料

(1) 処分場内水

処分場内の水質を調べるため、2011年12月に2箇所のボーリング孔内水を採取した。

(2) 搬入廃棄物

処分場に搬入・埋め立てされる高濃度COD含有廃棄物十数種類のうち、2009年5月に清掃工場の一般廃棄物焼却残渣および廃棄物中間処理業者の汚泥A、汚泥Bを、2011年6月に鉍さいA、スラグ（粘結剤含有）およびばいじん（キレート処理とセメント添加）を採取した。その他、汚泥C（中間処理）、燃えがらA（焼却灰）、燃えがらB（キレート処理）、鉍さいA（鋳物砂）、鉍さいB（鋳物砂）および鉍さいC（鋳物砂）の溶出試験を行い、CODとTOCを測定した。

溶出試験は、産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法¹⁸⁾に準じて、廃棄物（乾重量）と精製水または海水の割合を3 w/v%で6時間振とう抽出した。また、CODやT-N、T-Pの成分調査や凝集沈殿処理、活性炭吸着処理用の試験液として、廃棄物0.5 kgに精製水17 Lを加えて1昼夜抽出し、1 μmのGFPでろ過して調製した。

4.2.4 バブリング

試験液50 mLに対し、200 mL/minの流量で30分間バブリングを行い、通常のCODと無機CODを4.2.7（1）の方法で測定した。

4.2.5 凝集沈殿処理

(1) 種々の凝集剤による処理

4.2.3（2）で調製した試験液500 mLを6個の1 Lビーカーに入れ、凝集剤を0～100 mg/L添加して、初め150 rpmで1分間急速攪拌し、続いて50 rpmで10分間緩速攪拌を行い、30分間静置した後、上澄み液を1 μmのGFPでろ過して試験液とした。また、汚泥Aについて、凝集剤FeCl₃ 50 mg/Lで、急速攪拌速度を0～350 rpmと変えて除去率を調べた。なお、塩酸を用いて最適pHに調整した。

(2) アニオンの影響

汚泥Aについて、凝集剤FeCl₃ 50 mg/Lで、NaClを0～2.0 g、Na₂SO₄を0～2.96 g添加してアニオンの影響を調べた。

4.2.6 活性炭吸着処理

(1) カラムによる吸着処理

内径1 cm、長さ30 cmのガラス製クロマトカラムに活性炭3 gを充填し、400 mLの精製水で洗浄した後、TOC約10 mg/Lに調製した試験液100 mLを通し、前後のTOC値から吸

着割合を求めた。

金属イオンの吸着実験は、Ni⁺およびFe³⁺各濃度 10 mg/L の試験液を 100 mL 調製した。調製した試験液について、カラム吸着実験（各種活性炭 3 g を充填したカラムを 400 mL の精製水で洗浄した後、試験液を通す）とジャーテスト吸着実験（各種活性炭 3 g をビーカーに入れて、400 mL の精製水で洗浄した後、試験液をビーカーに入れて 30 分間急速攪拌し、1 μm の GFP でろ過を行い、Ni および Fe を測定した。

(2) ジャーテストによる吸着処理

調製した試験液 500 mL を 6 個の 1 L ビーカーに入れ、各種凝集剤や塩類を添加して、初め 150 rpm で 1 分間急速攪拌し、続いて 50 rpm で 10 分間緩速攪拌を行い、30 分間静置した後、上澄み液を 1 μm GFP でろ過して pH, EC, COD, TOC, T-N および T-P を測定した。

4.2.7 分析方法

(1) COD および無機 COD

硫化水素や金属等の無機性の還元物質は比較的簡単に酸化されることを考え、有機物以外による COD は、通常の COD 分析方法のうち、沸騰水浴中での 30 分間加熱操作を除いた方法で測定し、これを無機 COD とした。

(2) COD, T-N および T-P のイオン性

内径 3 cm 長さ 40 cm のガラス製クロマトカラムに強酸性カチオン交換樹脂 200 mL を充填し、1 N HCl 200 mL → 精製水 200 mL → 1 N NaOH 溶液 200 mL → 精製水 200 mL で 2 回洗浄する。同様に、カラムに強塩基性アニオン交換樹脂 200 mL を充填し、1 N NaOH 溶液 200 mL → 精製水 200 mL → 1 N HCl 200 mL → 精製水 200 mL で 2 回洗浄する。それぞれの充填カラムに 4.2.3 (2) の試験液 100 mL を 20 mL/min の流速で流し、COD, T-N および T-P の減少量を測定してカチオン性、ノニオン性およびアニオン性の割合を求める。

(3) 廃棄物および水質分析方法

水分および IL は湖沼環境調査指針¹⁹⁾で、pH, EC, COD, TOC, T-N, T-P, F, Br⁻, Cl⁻ および SO₄²⁻ は JISK0102 工場排水試験方法³⁾に準じて分析した。

4.3 結果および考察

4.3.1 廃棄物浸出水の水質

(1) ボーリング孔内水

ボーリング孔内水 A および B の COD はそれぞれ 125, 196 mg/L で、図 4-1 に示すように、無機 COD がそれぞれ 17.6, 38.8% 占めていた。ボーリング孔内

水 B を 30 分間バブリングすると無機 COD は除去された。有機 COD は、A ではノニオン性 (40.8%)、B ではカチオン性 (24.0%) やアニオン性 (22.4%) の割合が大きかった。また、図 4-2 に示すように、TOC についても COD の割合と似ていた。

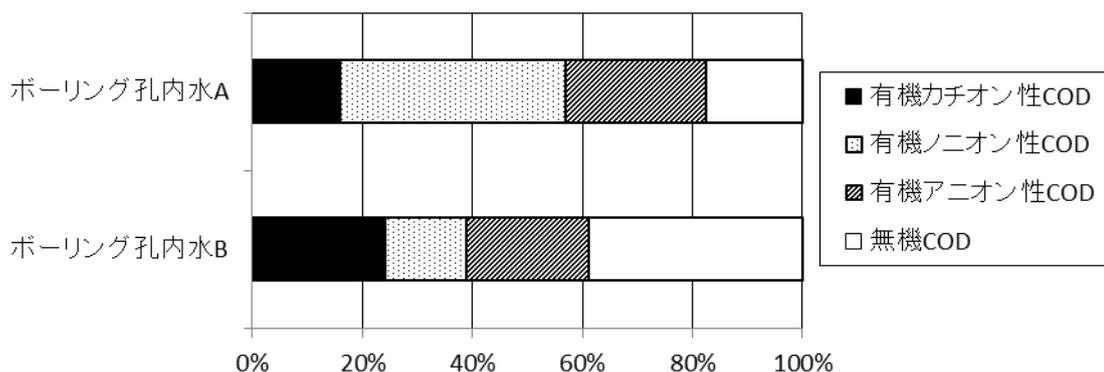


図 4-1 ボーリング孔内水の COD 成分割合

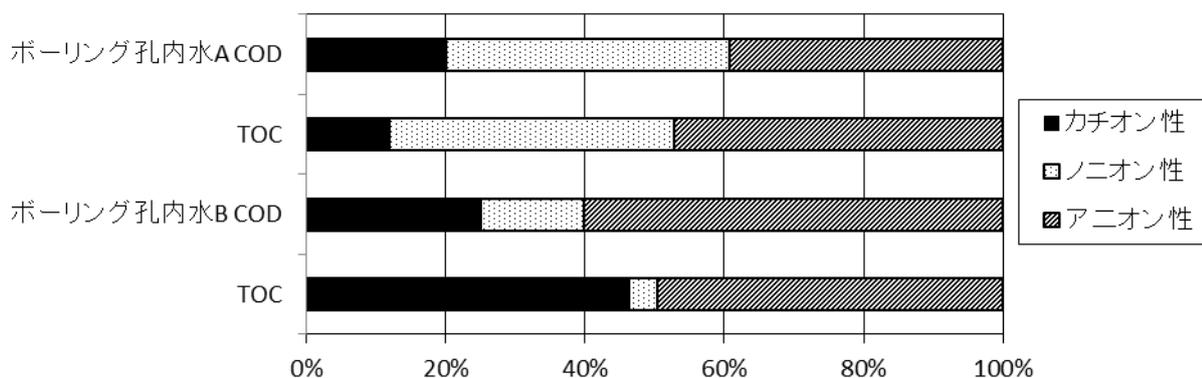


図 4-2 ボーリング孔内水の COD および TOC 成分割合

(2) 搬入廃棄物の溶出試験

表 4-2 に有機物を多く含む 6 種類の搬入廃棄物の COD と TOC の海水による溶出試験結果を示した。COD は 50.2 (燃えがら A) ~480 mg/L (鉱さい C), TOC は 40.6 (燃えがら B) ~740 mg/L (鉱さい C), COD/TOC は 0.65 (鉱さい C) ~1.9 (汚泥 C) であった。

表 4-2 有機物を多く含む廃棄物の COD および TOC の溶出試験結果

	汚泥 C	燃えがら A	燃えがら B	鉍さい A	鉍さい B	鉍さい C
COD (mg/L)	100	50.2	73.1	245	220	480
TOC (mg/L)	53.3	47.8	40.6	260	290	740
COD/TOC	1.9	1.1	1.8	0.94	0.76	0.65

一般廃棄物焼却残渣、汚泥 A および汚泥 B について、表 4-3 に示すように、精製水による溶出試験を行った。pH は 9.52~10.1 とアルカリ性で、汚泥 A は T-N (10.9 mg/L) および T-P (1.52 mg/L) が高かった。一般廃棄物焼却残渣と汚泥 B は Cl⁻ (それぞれ 1,230, 105 mg/L) および SO₄²⁻ (それぞれ 710, 570 mg/L), 汚泥 A は F⁻ (9.9 mg/L), Br⁻ (1,650 mg/L), Cl⁻ (3,330 mg/L) および SO₄²⁻ (1,870 mg/L) が多かったため、EC は 131~930 mS/m と高かった。

表 4-3 廃棄物の性状および溶出試験結果

	一般廃棄物焼却残渣	汚泥 A	汚泥 B
水分 (%)	9.0	27.6	18.9
IL (%)	5.2	19.8	6.7
pH	10.0	10.1	9.52
EC (mS/m)	370	930	131
COD (mg/L)	30.9	48.5	15.6
TOC (mg/L)	26.4	94.9	4.9
COD/TOC	1.2	0.51	3.2
T-N (mg/L)	0.40	10.9	0.92
T-P (mg/L)	0.60	1.52	0.57
T-P/T-N	1.5	0.14	0.62
F ⁻ (mg/L)	0.9	9.9	1.4
Br ⁻ (mg/L)	3.9	1,650	2.6
Cl ⁻ (mg/L)	1,230	3,330	105
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	710	1,870	570

(3) 搬入廃棄物のイオン性

図 4-3 に一般廃棄物焼却残渣、汚泥 A および汚泥 B の有機イオン性 COD と無機 COD の割合を示した。無機 COD は 13.4~33.5%含まれていた。有機 COD は、一般廃棄物焼却残渣ではカチオン性 (43.2%) が多かったが、汚泥 A および汚泥 B では 2.2, 3.1% と少なかった。埋立割合は、一般廃棄物焼却残渣約 40%、

建設廃材約 30%，汚泥約 10%なので，ボーリング孔内水でカチオン性が比較的多かったのはこのためである。汚泥 A および汚泥 B ではノニオン性がそれぞれ 29.4, 30.9%と多かった。アニオン性は 33.8~36.1%とあまり変わらなかった。

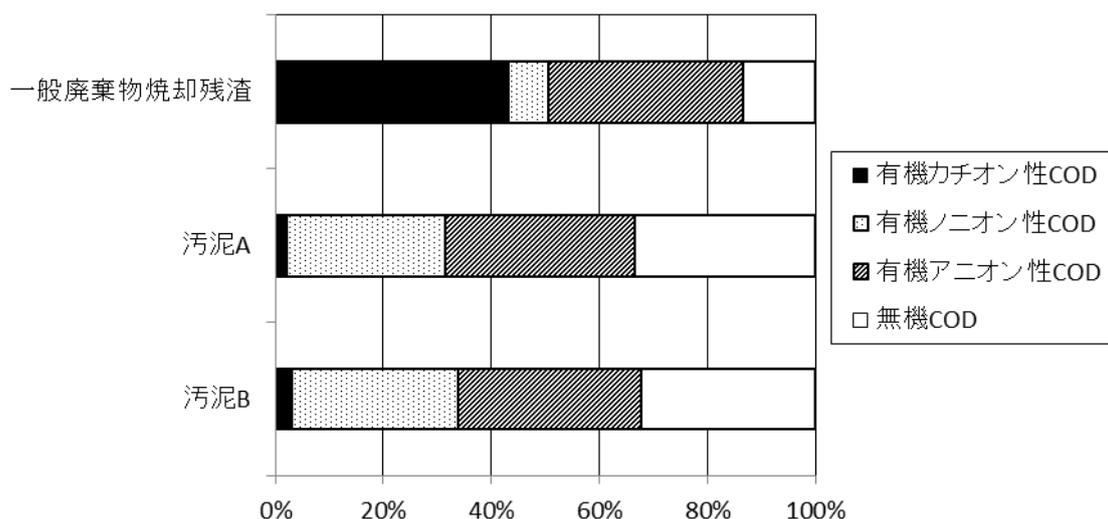


図 4-3 搬入廃棄物の COD 成分割合

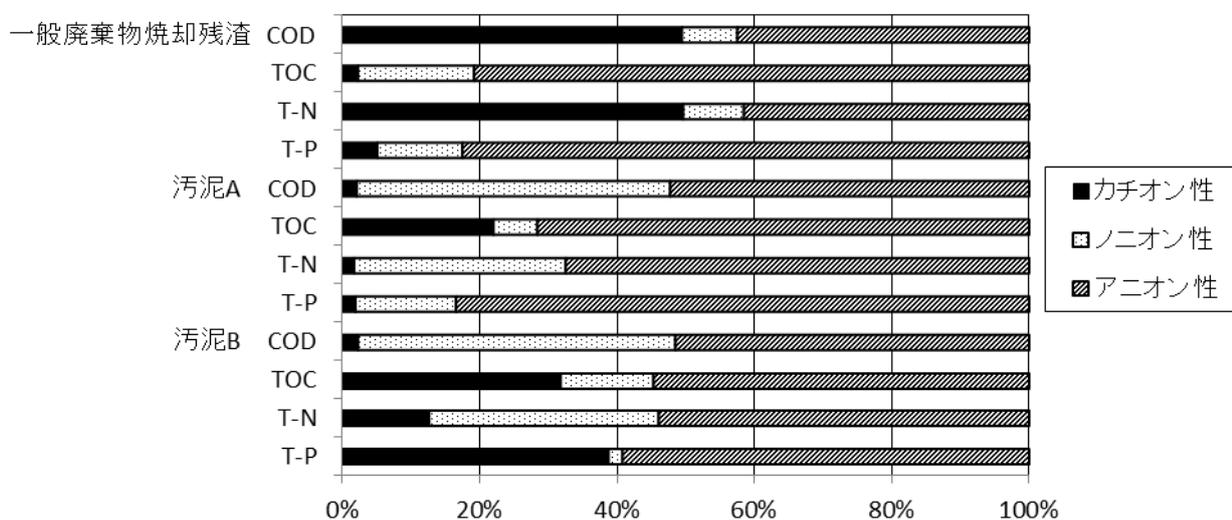


図 4-4 搬入廃棄物の COD, TOC, T-N および T-P 成分割合

図 4-4 に示すように，TOC や T-N, T-P についてもイオン性を調べた。TOC については COD と異なり，一般廃棄物焼却残渣ではカチオン性（2.5%）が非常に少なく，ノニオン性（16.9%）やアニオン性（80.6%）が多い。汚泥 A や汚泥 B ではノニオン性（それぞれ 6.5, 13.6%）が少なく，カチオン性（それぞ

れ 22.1, 31.8%) やアニオン性 (それぞれ 71.4, 54.6%) が多い。T-N については、一般廃棄物焼却残渣ではカチオン性 (49.7%) やアニオン性 (41.4%) が多く、ノニオン性 (8.9%) が少ないが、汚泥 A や汚泥 B ではカチオン性 (それぞれ 1.9, 12.8%) が少なく、ノニオン性 (それぞれ 30.8, 33.3%) やアニオン性 (それぞれ 67.3, 53.9%) が多い。T-P については、一般廃棄物焼却残渣や汚泥 A ではカチオン性 (それぞれ 5.2, 2.1%) が非常に少ないが、汚泥 B ではカチオン性 (38.8%) が多かった。一般的に、N の部位ではカチオン、P の部位ではアニオンに成り易いが、他の部位との結合等で存在割合が異なってくると考えられる。

4.3.2 バブリングによる COD の変化

ボーリング孔内水 B 中に無機 COD が 38.8% 含まれ、バブリングにより除去されたことから、個々の廃棄物についてもバブリングの COD 除去効果を調べた。表 4-4 に示すように、無機 COD を 13.4~40.8% 含むにも拘らず、バブリングにより、一般廃棄物焼却残渣およびスラグがそれぞれ 6.5, 8.3% 程度しか減少せず、逆に、汚泥 A および B はそれぞれ 6, 19% 増加し、酸化され易い物質が生成した。ボーリング孔内水は長期間嫌気状態にあったため、還元性の揮発あるいは酸化され易い物質が多く生成しているため、無機 COD 相当量がバブリングにより消滅したと考えられる。

表 4-4 バブリングによる COD の変化(%)

	一般廃棄物焼却残渣	汚泥 A	汚泥 B	鉍さい C	スラグ
無機 COD	13.4	33.5	32.2	14.4	40.8
バブリング後の COD	93.5	106	119	100	91.7
バブリングによる COD の変化割合	-6.5	+6	+19	0	-8.3

4.3.3 凝集沈殿処理

(1) 各種凝集剤による除去効果

一般廃棄物焼却残渣、汚泥 A、汚泥 B、鉍さい C およびスラグについて、表 4-5 に各種凝集剤による最大除去率を示した。鉍さい C が COD 56~84%、TOC 55~92%、T-P 62~82% といずれの凝集剤でも除去率が高く、他の廃棄物は COD 39% 以下、TOC 31% 以下、T-N 44% 以下、T-P 38% 以下であった。

一般廃棄物焼却残渣、汚泥 A および汚泥 B について、成分との関係を調べた。最大除去率は、COD 39%、TOC 31%、T-N 44%、T-P 38% で、図 4-3 より、有機アニオン性 COD は 33.8~36.1% 含まれているので、カチオン凝集剤の FeCl_3 や PAC、C-508 によ

り 7~37%除去された。中でも PAC の除去率が 24~37%と高かったが、有機カチオン

表 4-5 各種凝集剤による最大除去率(%)

		FeCl ₃	PAC	アコフロック			スーパーナミット
				C-508	N-100S	A-150	
一般廃棄物 焼却残渣	COD	22	37	27	19	17	26
	TOC	24	28	25	6	16	27
	T-N	31	34	44	22	28	14
	T-P	25	38	22	31	27	11
汚泥 A	COD	18	24	7	35	12	10
	TOC	4	9	7	16	9	11
	T-N	8	5	14	28	27	4
	T-P	7	10	12	21	22	5
汚泥 B	COD	16	29	18	39	21	17
	TOC	29	31	17	26	19	22
	T-N	4	14	29	22	22	16
	T-P	17	21	18	25	23	15
鉍さい C	COD	84	62	62	75	56	69
	TOC	55	92	91	92	91	89
	T-N	-	-	-	-	-	-
	T-P	76	77	82	64	62	65
スラグ	COD	13	13	15	17	15	13
	TOC	12	11	14	13	11	9
	T-N	-	-	-	-	-	-
	T-P	-	-	-	-	-	-
ばいじん	COD	-	-	-	-	-	-
	TOC	-	-	-	-	-	-
	T-N	-	-	-	-	-	-
	T-P	-	-	-	-	-	-

□: 50%以上

凝集剤 C-508 の汚泥 A に対する除去率は 7%と低かった。汚泥 A および汚泥 B は有機ノニオン性 COD をそれぞれ 29.4, 30.9%含んでいるが、有機ノニオン凝集剤 N-100S の除去率（それぞれ 35, 39%）が最大であった。一般廃棄物焼却残渣では、有機ノニオン性 COD（7.3%）は少ないが、N-100S で 19%除去されてい

る。しかし、有機カチオン性 COD (43.2%) が多いにも拘らず、有機アニオン凝集剤 A-150 で 17% しか除去できていない。汚泥 A および汚泥 B の有機カチオン性 COD (それぞれ 2.2, 3.1%) は少ないが、A-150 でそれぞれ 12, 21% の除去率を示している。凝集剤のイオン性とだけでなく、有機物相互の関係も影響しているようである。

なお、鉱さい C の T-N, スラグの T-N および T-P については、除去できないか逆に凝集剤濃度の増加と共に増加した。ばいじんについては、1 μm の GFP を通過する微細炭素が多く、凝集沈殿効果が見られなかった。

(2) 急速攪拌速度の影響

凝集効果は攪拌速度によっても異なってくる。汚泥 A について、凝集剤 FeCl_3 50 mg/L で、急速攪拌速度を 0~350 rpm と変えて除去率を調べたが、急速攪拌速度を上げて、150 rpm の時と除去率はほとんど変わらなかった。

(3) 共存アニオンの影響

汚泥 A について、 FeCl_3 50 mg/L で、 NaCl 0~2.0 g 添加して Cl^- イオンの影響を調べたが、TOC および T-P の除去率はあまり変化しなかった。しかし、塩析効果が働いたのか、COD および T-N の除去率がそれぞれ最大 19.2, 29.8% 増加した。同じく、 FeCl_3 50 mg/L で、 Na_2SO_4 0~2.96 g 添加したところ、T-P のみ最大 15.7% 除去率が増加したが、その他はほとんど変化なかった。

4.3.4 活性炭吸着処理

(1) 標準分子量試薬を用いた活性炭の TOC 吸着割合

図 4-5 に各種活性炭について、標準分子量試薬の TOC 吸着割合を示した。表 4-1 に示すように、粒度の最も小さかったヤシコール S・SC は分子量全般に亘って 90% 以上の吸着割合を示した。本カラム吸着実験では、比表面積や平均細孔直径、細孔容積より活性炭と吸着物質との接触に関係する粒度に大きく影響された。その他 4 種類の活性炭については、分子量が小さいと水溶性が高いため、活性炭に吸着され難い状態であるが、分子量が増加すると水溶性が低くなるため、活性炭に吸着され易くなる。さらに分子量が増加すると吸着物質が活性炭の細孔に入らなくなり、吸着割合が下がると推測される。分子量が 10^2 ~ 10^3 付近にピークが見られ、石炭系のプロコールは分子量 10^5 ~ 10^6 にもピークが見られる。

表 4-1 から、ヨウ素、ベンゼンおよびメチレンブルーに対しては大きな吸着量の違いが無いが、これは、バッチ式で吸着平衡実験²⁰⁾を行ったためである。実際のプラントでは、設備や操作、固液分離等の容易さから吸着塔方式の場合が多いため、カラム吸着実験を行った。今後、傾斜沈降管²¹⁾等の固液分離装置を導入することが可能であれば、バッチ式で行うことができ、吸着量の増加が

期待できる。

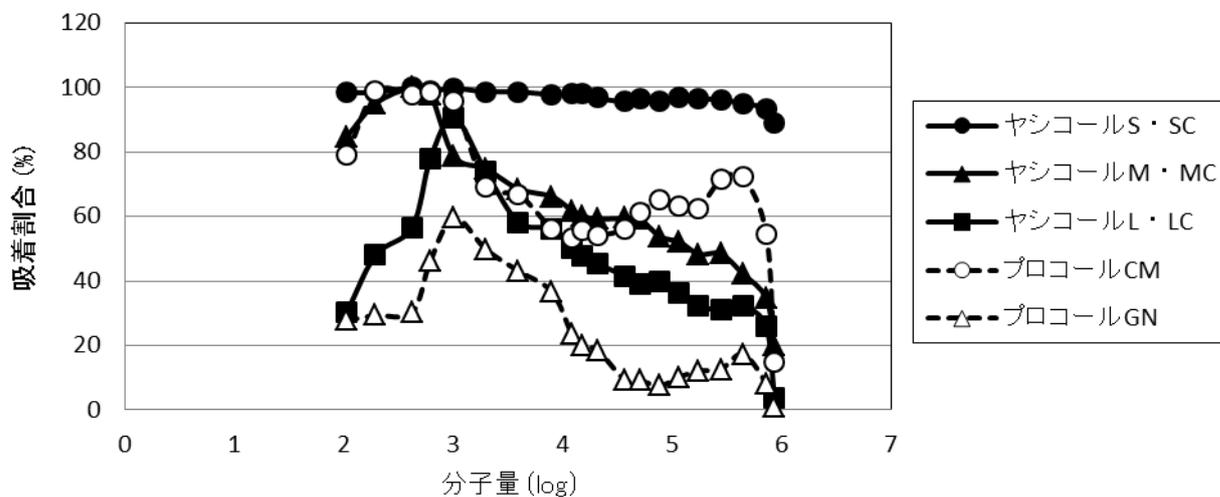


図 4-5 分子量の違いによる TOC の吸着割合

(2) 金属イオンの吸着割合

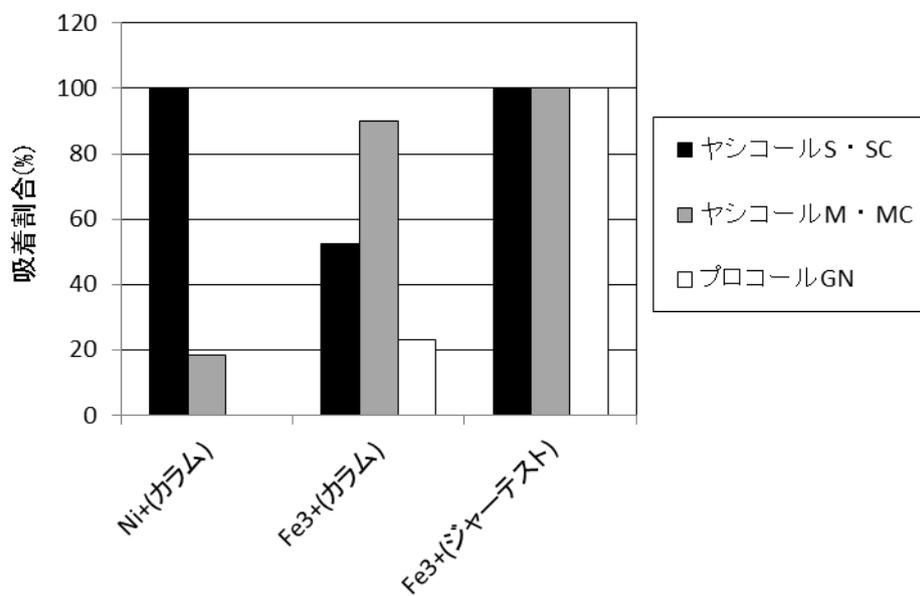


図 4-6 金属イオンの吸着割合

ヤシコール S・SC, ヤシコール M・MC およびプロコール GN を用いて, 金

属イオンの吸着実験を行ったところ、図 4-6 に示すように、カラム吸着実験では、 Ni^{+} についてはそれぞれ 100, 18.4, 0%, Fe^{3+} については 52.3, 90.2, 23.2% の吸着割合であった。しかし、 Fe^{3+} のジャーテストによる攪拌実験では全て 100%で、金属イオン（化学吸着）の吸着においても活性炭への接触状況が大きく影響する。

(3) 廃棄物の TOC 吸着割合

一般廃棄物焼却残渣、汚泥A、汚泥B、鉍さいC、スラグおよびばいじんについて、4.3.4 (2) の活性炭を用いてカラム吸着実験を行ったところ、図4-7に示すように、TOCの吸着割合は、ヤシコールS・SCが55.5～92.7%、ヤシコールM・MCが51.4～84.9%、プロコールGNが12.5～39.8%で、スラグやばいじんの吸着割合が低かった。廃棄物中のTOC吸着割合もバッチ式で行えば上昇すると思われる。

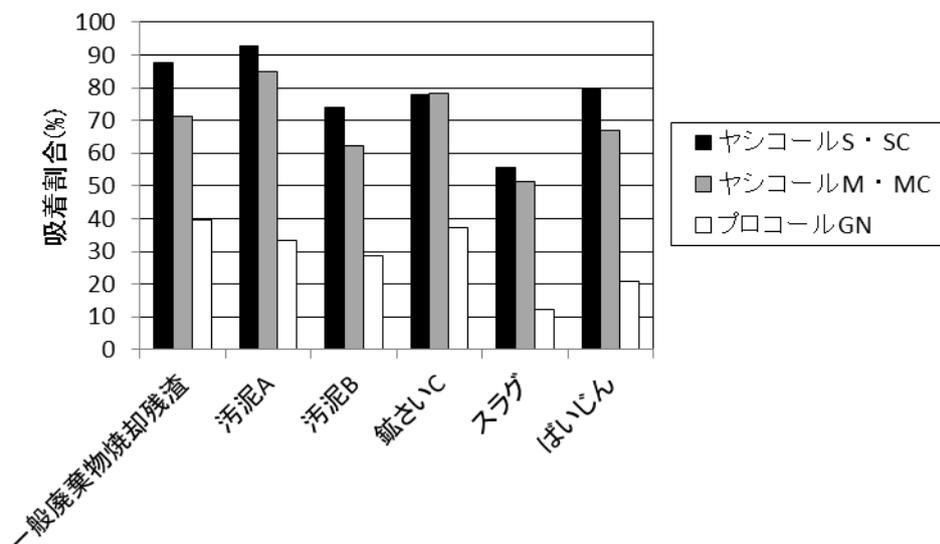


図 4-7 廃棄物の TOC 吸着割合

4.4 まとめ

海面埋立廃棄物処分場場内水の COD 処理を効果的に行うため、COD 成分と既存の排水処理施設で行われている凝集沈殿処理や活性炭吸着処理等との関係を調べた。

- (1) 廃棄物および場内水中には有機物以外の COD も含まれているので、バブリングでも COD を減らすこともできる。
- (2) 廃棄物によっては、有機 COD のイオン性を調べ、適正な凝集剤を選定することも効果的ではあるが、必ずしもイオン性と除去率が一致するとは限ら

ない。

(3) 活性炭吸着処理ではバッチ式が非常に効果的であるが、処理後の固液分離を工夫する必要がある。

(4) 資源化と共に、COD 処理の面からも埋め立て区分を考慮する。

(5) その他の処理方法として膜処理があるが、著者らが開発した膜処理システム²²⁾では、ファウリングが起り難くろ過可能であるが、ろ過水と濃縮水の割合が1:9となる場合もあり、濃縮水の処分が課題である。

(6) 下水道への放流では、Cl⁻イオンや有害物質等の対応が必要である。

(7) 下水道で行われているように、排水処理費用に応じた加算料金制度の導入も考える。

第5章 UVR／光触媒／SSWによる水処理

5.1 はじめに

工業排水中には有害で難生物分解性の化学物質が含まれている可能性がある。また、浄水処理で行われる塩素処理によって多種の有機ハロゲン化合物が生成する。これらの化学物質の処理としては活性炭吸着処理が一般的に使用されている。しかし、活性炭処理は化学物質を吸着しているだけで無害化されていなく、活性炭廃棄の問題が起こる。

光触媒を用いた UVR 照射は PCB やダイオキシン類等の難分解性化学物質の効果的な処理方法であり、近年、多くの研究が行われている。そこで、金属イオンを位置選択的に担持したナノ反応場分離型酸化チタンナノチューブ光触媒^{23~27)}を用いた UVR 照射と MHz の SSW 照射との複合反応により、分解力の高い処理方法を開発するための基礎研究を行った。

本章では、精製水を用いて、各反応条件で生成する活性種の同定とその挙動について述べる。また、本反応系でメチルアルコールおよびジメチルスルホキシド (DMSO) の分解挙動を調べ、処理方法としての機能を評価した。

5.2 実験方法

5.2.1 試薬

メチルアルコールは関東化学(株)残留農薬試験・PCB 試験用メチルアルコール 5000 を、ギ酸はキシダ化学(株)試薬特級を用いた。DMSO は Merck 社純度 99.7%以上を、1-メタンスルフィン酸 (MSFIA) は Aldrich 社純度 85%を、2-メタンスルホン酸 (MSFOA) は関東化学(株)試薬一級を用いた。その他の試薬は特級品を用いた。

精製水は日本ミリポア(株)製 Milli-Q SP 超純水装置による精製水 (電気抵抗率 18.8 M Ω cm) を用いた。

5.2.2 酸化チタン光触媒

Fe 錯体と光触媒を複合化し、可視光に対しても高い反応性を発揮し、光触媒粒子表面の酸化反応場と還元反応場をナノレベルで分離した光触媒^{23~27)}を用い、10 cm × 10 cm × 厚さ 3~5 mm のアルミニウム製基盤に、低温溶射技術により、剥離しない耐久性の強い酸化チタン光触媒^{28,29)}を製作した (図 5-1)。

アルミニウム製基盤への酸化チタンのコーティングは低温で行われるため、

酸化チタンの結晶構造はルチル型に変わらずアナターゼ型のままなので、光触媒自体の優れた有機物分解性能を保つものと思われる。

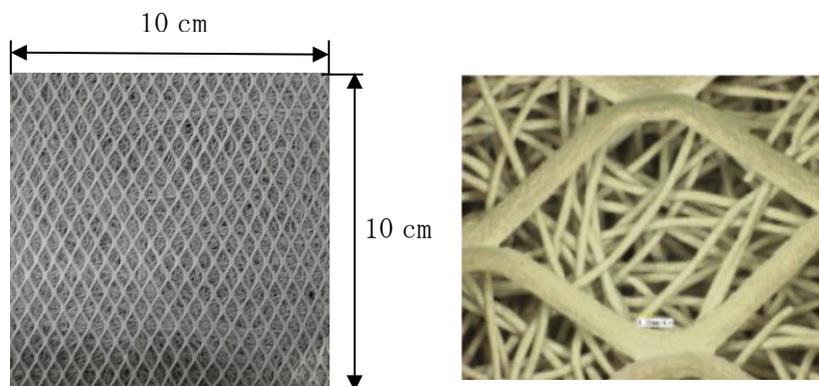


図5-1 TiO₂光触媒

5.2.3 装置

図 5-2～5-4 に UVR 照射・光触媒・SSW 照射装置を示す。UVR 殺菌灯（波長 254 nm，発光表面積約 320 cm²）は，ゼンスイ(株)製 13 W UVR 殺菌灯 UV クリーン-13 を装備した器具（図 5-2）を使用した。UVR 殺菌灯は図 5-2 のように，縦 31 cm，横 25 cm のアルミニウム製板で蓋をした。反応器は図 5-3 に示すように，縦 24.6 cm，横 18.6 cm，高さ 24.2 cm のステンレス製で，SSW 発生装置は，本多電子(株)製 1 MHz W-357HP-S を使用した。ポンプは，サーパス工業(株)製テフロン・ベローズポンプ Model BP-300 および NRK(株)製ケミポンプ



図5-2 殺菌灯および光触媒



図5-3 反応器



図5-4 反応装置

を使用した。UVR 強度計は(株)トプコンテクノハウス製 UVR-2 を使用し、UVR 殺菌灯カバー外表面における UVR 強度を測定した。

TOC 計は(株)島津製作所製オートサンプラーASI-V/TOC-V_{CSH}を、イオンクロマトグラフは日本ダイオネクス(株)製オートサンプラーAS/イオンクロマトグラフ ICS-1500/オートサプレッサーSRS/汎用クロマトグラフィインターフェース UCI-50/紫外可視吸光光度検出器 UVD-510 を用いた。

5.2.4 照射実験

表 5-1 の実験条件で行い、試験水は洗浄槽の下部から入り、斜め上部から流出させ循環するようになっている。十分循環した後、下部の採取口から 500 mL

ずつ経時的に共栓付ガラス瓶に採取し，分析に供した。

表5-1 反応条件

		メチルアルコール	DMSO
初期温度	(°C)	15-20	15-20
流速	(mL/min)	500	500
UVR強度	(mW/cm ²)	4.5	4.5
SSW強度	(W)	350 (1 MHz)	500 (1 MHz)
試料量	(mL)	10,000	10,000
メチルアルコール初期濃度	(mL/L)	0.1	-
DMSO初期濃度	(mg/L)	-	100

5.2.5 分析方法

TOC は燃焼酸化法で測定した。ギ酸，DMSO，MSFIA および MSFOA はイオンクロマトグラフィーで測定した。

5.3 結果および考察

5.3.1 精製水の反応

波長 185 nm の UVR 照射では，(1)式のように水からラジカルが生成するが³⁰⁾，254 nm の UVR 照射では生成しない。しかし，過酸化水素が生成していれば，(2)式のように・OH が生成する^{31,32)}。



本 TiO₂ 光触媒は反応場分離型なので酸化部位と還元部位が分離している。UVR 照射で水は(3)式のように光触媒のホールで 2 電子酸化が起こり，過酸化水素を生成する^{33,34)}。



溶存酸素があれば(4)式のように電子を受け取り、 $\cdot O_2^-$ を生じ^{33, 34)}、さらに、(5)式のように過酸化水素を生成する^{33, 34)}。過酸化水素は(2)または(6)式のように電子を受け取り^{33, 34)}、 $\cdot OH$ を生成する。



SSW 照射でも(1)式の熱分解が起こり、ラジカルを生成する^{35~37)}。溶存酸素があれば(7)式のように $\cdot O$ も生成する^{37, 38)}。



以上の反応より、UVR 照射-光触媒-SSW 照射系の各組合せで生成する化学種は表 5-2 のように考えられる。

表5-2 考えられる化学種

SSW	$\cdot H, \cdot OH, O \cdot$
SSW+ Catalyst	$\cdot H, \cdot OH, O \cdot, ?$
UVR	?
UVR+ Catalyst	$H_2O_2, H^+, OH^-, HO_2^-, \cdot OH$
SSW+UVR	$\cdot H, \cdot OH, O \cdot$
UVR+Catalyst+SSW	$H_2O_2, H^+, OH^-, HO_2^-, \cdot H, \cdot OH, O \cdot$

5.3.2 メチルアルコールの反応

メチルアルコール 0.1 mL/L 添加，UVR 強度 4.5 mW/m²，SSW 強度 1 MHz，350 W，流速 500 mL/min で循環反応させた時の各項目の経時変化を図 5-5 および 5-6 に示した。

水温は，4 時間後で SSW 照射が 49~55℃，UVR 照射のみでは 19℃であった。TOC の減少は，UVR 照射 SSW 照射併用 > SSW 照射 > UVR 照射の順で大きく，いずれの場合も光触媒の効果が見られた。4 時間照射後，メチルアルコールは最大 8.0%，CO₂ までに分解することが明らかになった（図 5-5）。

メチルアルコールの酸化生成物のギ酸は，UVR 照射だけでは生成しなかつ

た。SSW 照射で生成し、UVR 照射の相乗効果が見られたが、光触媒があると生成量が低下した。しかし、ギ酸をはじめ、後述の未同定酸化生成物 1~4 は逐次反応の中間物質なので、直接の酸化分解力を示しているわけではない(図 5-6)。

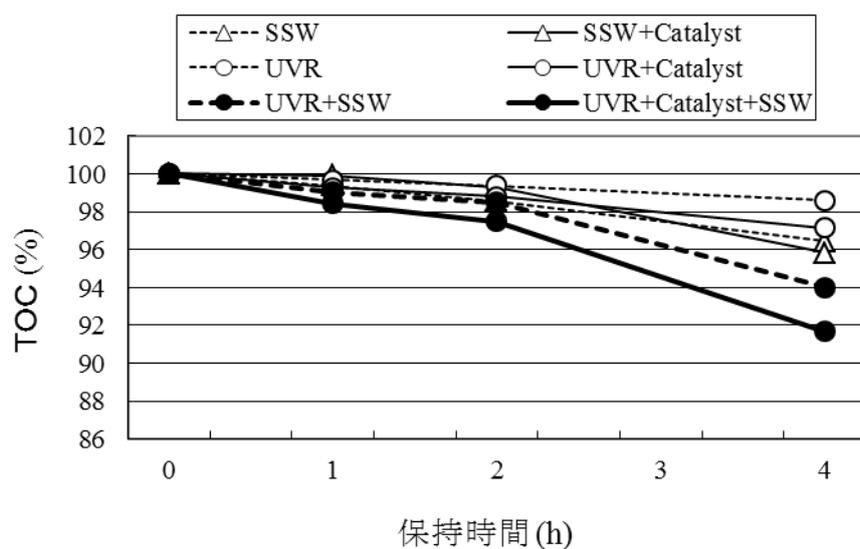


図5-5 TOCの変化

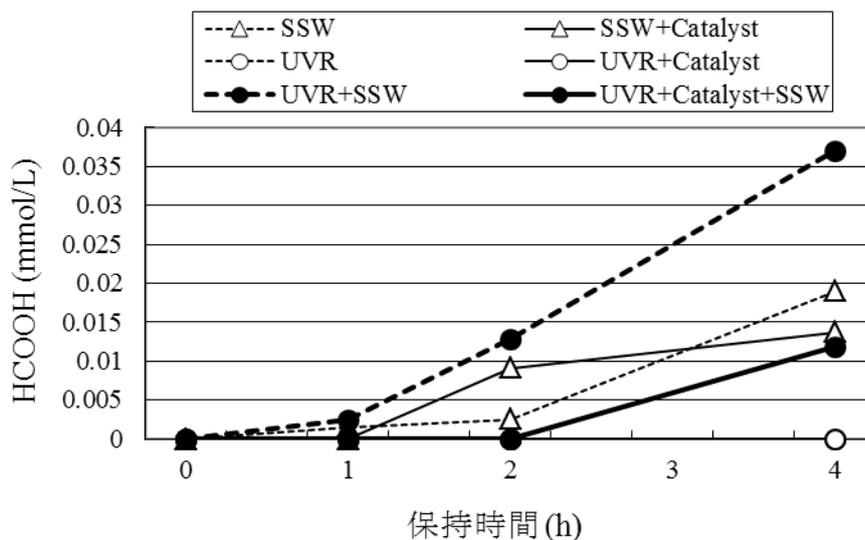


図5-6 HCOOHの変化

ギ酸以外の酸化生成物 1~4 は、UVR 照射単独では生成しなく、SSW 照射で生成する。両者併用では、光触媒の存在にかかわらず、SSW 照射単独と比べて、

生成物 1 は減少し，生成物 4 は増加する。全般に，光触媒がない方が生成量は増加する傾向にある。これらの 4 時間後の生成量を比較すると表 5-3 のようになる。

表5-3 4時間後の生成物1-4の量

	生成物			
	1	2	3	4
	(μ S/min)		(mAU/min)	
SSW	0.019	0.021	0.39	0.43
SSW+Catalyst	0.015	0.002	0.30	0.27
UVR	—	—	—	—
UVR+Catalyst	—	—	—	—
UVR+SSW	0.012	0.014	0.32	0.78
UVR+Catalyst+SSW	0.014	0.008	0.33	0.39

5.3.3 DMSO の反応

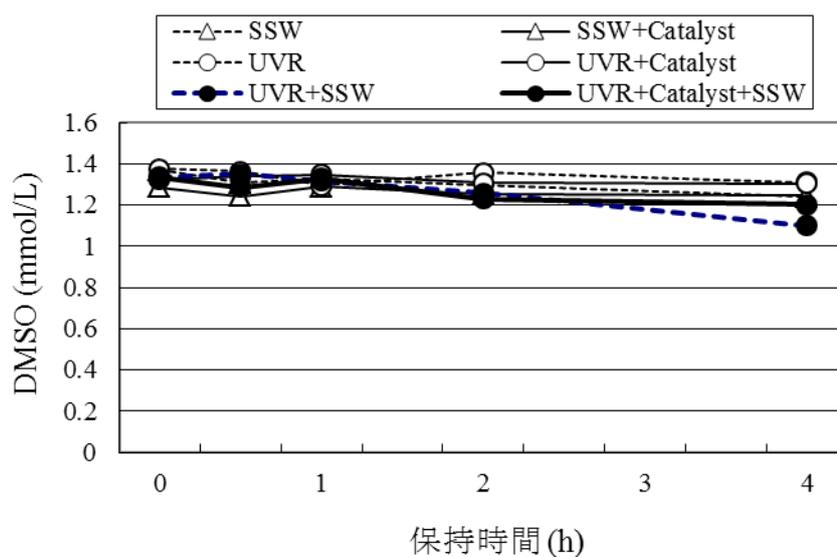


図5-7 DMSOの変化

DMSO100 mg/L 添加, UVR 強度 4.5 mW/cm², SSW 強度 1 MHz, 500 W, 流速 500 mL/min で循環反応させた時の DOSO の経時変化を図 5-7 に示した。

水温は, 4 時間後で SSW 照射が 66~69°C, UVR 照射のみでは 17~24°C であった。どの場合も DMSO 自体の減少は小さく, 光触媒効果も明確には見られなかった(図 5-7)。DMSO の酸化生成物 MSFIA は, SSW 照射で生成したが, UVR 照射単独では僅かしか生成しない。両者の併用および光触媒があると生成量が低下した。

DMSO の酸化生成物 MSFOA の生成は, UVR 照射と SSW 照射の相乗効果が見られる。しかし, 光触媒があると生成量が低下した。4 時間後の DMSO の反応生成物割合を示すと表 5-4 のようになる。

表5-4 4時間後のDMSOの反応生成物割合(%)

	DMSO	MSFIA	MSFOA	Others
SSW	90.5	0.1	8.5	0.9
SSW+Catalyst	93.2	0.2	6.6	0
UVR	95.4	0.7	0.8	3.1
UVR+Catalyst	97.2	0.2	2.6	0
UVR+SSW	81.3	0.6	18.1	0
UVR+Catalyst+SSW	90.3	0	9.2	0.5

5.4 まとめ

UVR 照射-光触媒-SSW 照射の反応系でメチルアルコールおよび DMSO の分解挙動を調べ, 分解装置としての機能を評価した。メチルアルコールは, 4 時間反応後, 最大 8.0%が CO₂ まで分解し, ギ酸を始め 5 種類の間中生成物を生じた。DMSO は, 最大 18.7%が分解し, 中間生成物として MSFIA および MSFOA を確認した。これらの分解において, UVR 照射と SSW 照射の併用および光触媒の効果が認められた。

第6章 O₃/UVR/光触媒/SSWによる水処理

6.1 はじめに

UVR 照射により多くの難分解性の化学物質が分解されることは既知の事実ではあるが^{39~41)}、分解力の強い・OH等のラジカルがSSW照射によってナノあるいはマイクロバブル中で存続することが解った^{42, 43)}。そこで、本章では、ラジカル濃度を上げるため、O₃水を用いてUVR/光触媒/SSW反応を行い、反応系外における中間生成物の割合や金属および有機物との挙動について検討した。

6.2 実験方法

6.2.1 試薬

Zn粉末(99.999%, 100-200 mesh), Fe粉末(99.5%, 6.5 μm), Ni粉末(99.9%, 3-7 μm), Cu粉末(99.9%, -300 mesh), およびAg粉末(99%, -325 mesh)は三津和化学薬品(株)製を用いた。溶性デンプンおよびDL-酒石酸は和光純薬工業(株)製を用いた。N/40過マンガン酸カリウム溶液は和光純薬工業(株)1N容量分析用を希釈して、N/40シュウ酸ナトリウム溶液は関東化学(株)製を用いた。その他の試薬は特級品を用いた。

超純水は日本ミリポア(株)製 Milli-Q Element A10による超純水(電気抵抗率18.8 MΩ cm)を、精製水はヤマト科学(株)製 Auto Still WA200による精製水を用いた。

6.2.2 分析装置

pH計は(株)堀場製作所製 F-53, EC計は東亜電波工業(株)製 CM-40S, 原子吸光分光光度計は Varian Technologies Japan(株)製 AA240FSを用いた。

6.2.3 酸化チタン触媒

酸化チタン触媒は、金属イオンを位置選択的に担持したナノ反応場分離型TiO₂^{23~27)}を低温溶射技術^{28, 29)}により石英ガラスにコーティングしたものを使用した。石英ガラスへの酸化チタンのコーティングは低温で行われるため、酸化チタンの結晶構造はルチル型に変わらずアナターゼ型のままなので、光触媒自体の優れた有機化合物分解性能を保つものと思われる。

6.2.4 ラジカル活性水製造装置

図 6-1 にラジカル活性水製造装置を示す。O₃ 水生成装置はエコデザイン(株)製 ED-OW-7 を，水処理 UVR 照射装置は(株)栗原工業製 25-8UV-LAMP を，SSW 洗浄機は本多電子(株)製 1 MHz パルスジェット W-357LS-160 を使用した。水処理 UVR 照射装置の合成石英ガラスケースは縦 24.6 cm，横 18.6 cm，高さ 24.2 cm でステンレス製カバーで覆われている。下部から O₃ 水が流入し，両横から流出するようになっている。SSW は下部から均一に照射されている。UVR ランプは(株)栗原工業製 25 W 熱陰極 UVR ランプ OZSSH-25WB を用い，ガラスケースの外両面に 4 本ずつ装備させて使用した。

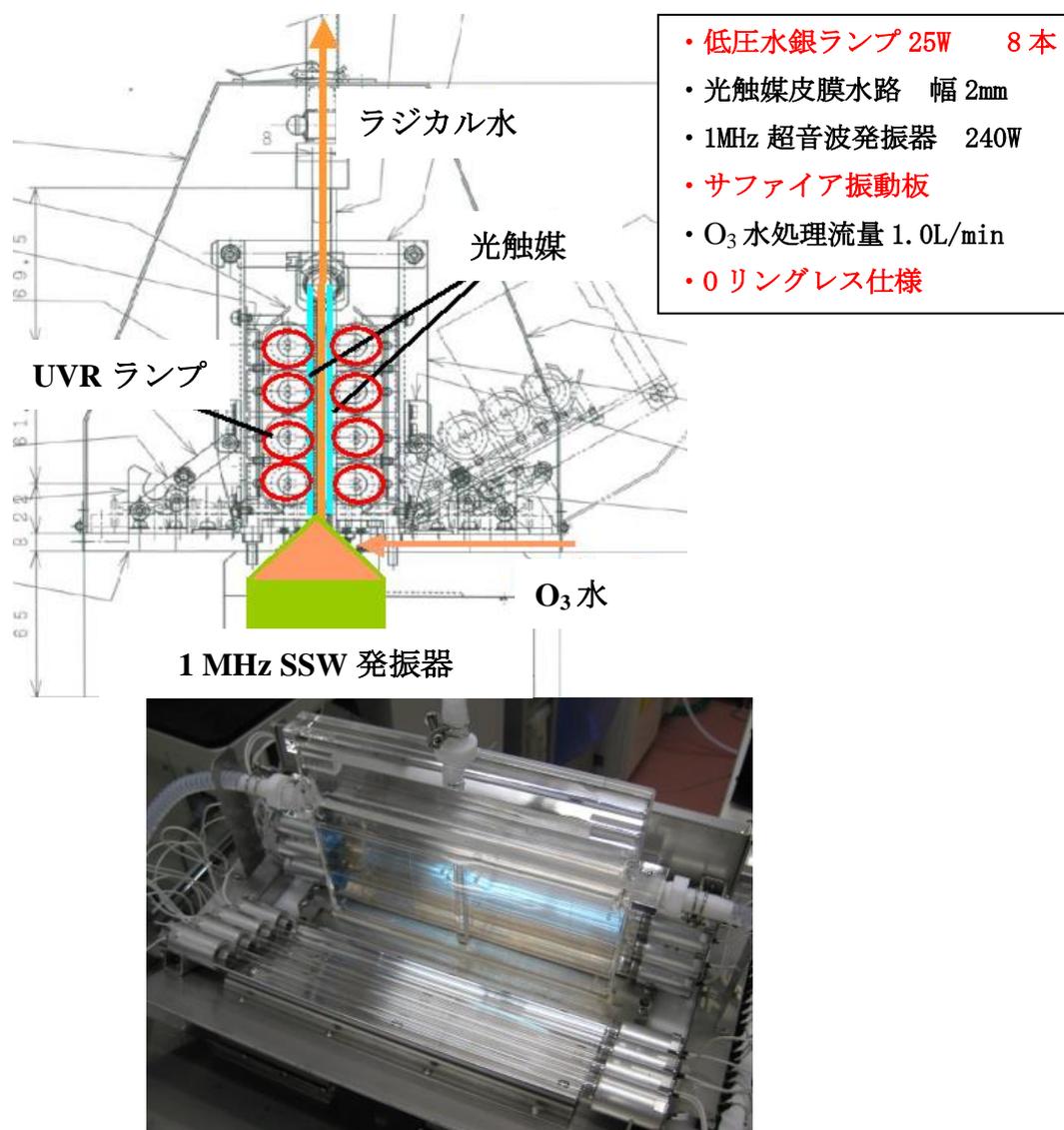


図 6-1 ラジカル活性水製造装置

6.2.5 ラジカル活性水製造実験

表 6-1 の実験条件で行った。

表 6-1 実験条件

製造方法	O ₃ 濃度 (mg/L)	流量 (L/min)	超音波強度 (mA)
O ₃ O ₃ +SSW O ₃ +UVR O ₃ +UVR+SSW	5.1-7.5	0.8	4-8
O ₃ +Catalyst O ₃ +SSW+Catalyst O ₃ +UVR+Catalyst O ₃ +UVR+Catalyst+SSW	5.1-7.5	0.8	4-8

注： 安定後試験水を採取し測定。

6.2.6 反応挙動実験

(1) 金属類

Zn, Fe, Ni, Cu および Ag の粉末と各条件下での反応水を接触させ、イオン化溶出することにより金属類との反応挙動を評価した。

(2) 有機物

DL-酒石酸および溶性でんぷんと反応させ、CODの減少量で有機物に対する分解効果を評価した。

6.2.7 分析方法

酸化剤はクエン酸酸性で KI を用いたヨウ素でんぷん法、金属類は原子吸光分光光度法³⁾、COD は JISK0102 工場排水試験方法³⁾で測定した。

6.3 結果および考察

6.3.1 中間生成物

図 6-2 に元の O₃ 水に対する pH, EC および酸化剤の割合を示した。pH はやや下がるが光触媒で上がる。EC は SSW>UVR>UVR+SSW の順に下がるが、光触媒の存在で増加する。これは、光触媒で多くの酸化剤が生成し、それがイオンに変化し、EC の増加と酸性物質の減少を招くためと考えられる。酸化剤の濃度は UVR+SSW>UVR の順に減少するが、光触媒の存在で増加する。O₃ 濃度

は SSW 照射で減少するが、光触媒の存在下では酸化剤の半分以上が O₃ 以外の酸化剤である。UVR 照射で O₃ は無くなるが、少量の他の酸化剤が検出された。UVR 照射と SSW 照射の併用で O₃ は検出されないが、他の酸化剤濃度は上昇し、光触媒の存在でさらに上昇した。

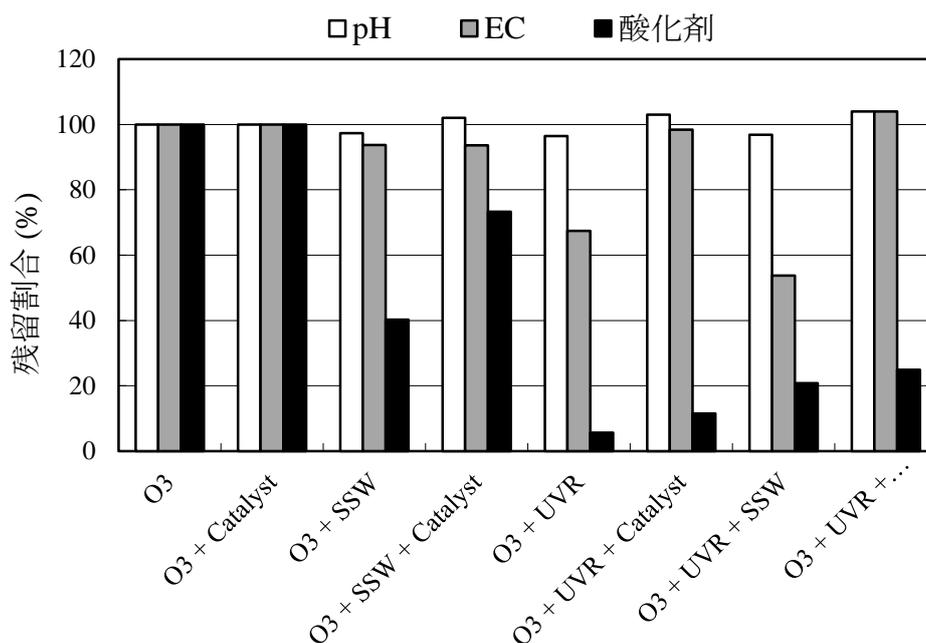


図 6-2 pH, EC および酸化剤の割合

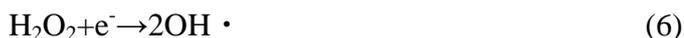
波長 185 nm の UVR 照射では、(1)式のように水からラジカルが生成するが³⁰⁾、254 nm の UVR 照射では生成しない。しかし、過酸化水素が生成していれば、(2)式のように・OH が生成する^{31,32)}。



本 TiO₂ 光触媒は反応場分離型なので酸化部位と還元部位が分離している。UVR 照射で水は(3)式のように光触媒のホールで 2 電子酸化が起こり、過酸化水素を生成する^{33,34)}。



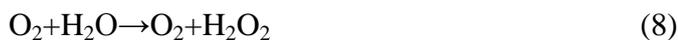
溶存酸素があれば(4)式のように電子を受け取り、 $\cdot\text{O}_2^-$ を生じ^{33, 34)}、さらに、(5)式のように過酸化水素を生成する^{33, 34)}。過酸化水素は(2)または(6)式のように電子を受け取り^{33, 34)}、 $\cdot\text{OH}$ を生成する。



SSW 照射でも(1)式の熱分解が起こり、ラジカルを生成する^{35~37)}。溶存酸素があれば(7)式のように $\cdot\text{O}$ も生成する^{37, 38)}。



O_3 は波長 254 nm の UVR 照射で(8)式のように H_2O_2 を生成し、 H_2O_2 は(9)式のように $\cdot\text{OH}$ を生成する⁴⁴⁾。



以上の反応より、 O_3 -UVR 照射-光触媒-SSW 照射系の各組合せで生成する化学種は表 6-2 のように考えられる。

表6-2 考えられる化学種

SSW	$\cdot\text{H}, \cdot\text{OH}, \text{O}\cdot$
SSW+ Catalyst	$\cdot\text{H}, \cdot\text{OH}, \text{O}\cdot$
UVR	$\cdot\text{H}, \cdot\text{OH}, \cdot\text{O}_2^-, \text{H}^+, \text{OH}^-, \text{HO}_2^-$
UVR+ Catalyst	$\cdot\text{H}, \cdot\text{OH}, \cdot\text{O}_2^-, \text{H}^+, \text{OH}^-, \text{HO}_2^-$
UVR+SSW	$\cdot\text{H}, \cdot\text{OH}, \text{O}\cdot, \cdot\text{O}_2^-, \text{H}^+, \text{OH}^-, \text{HO}_2^-$
UVR+Catalyst+SSW	$\cdot\text{H}, \cdot\text{OH}, \text{O}\cdot, \cdot\text{O}_2^-, \text{H}^+, \text{OH}^-, \text{HO}_2^-$

6.3.2 反応挙動

(1) 金属類

5種類の金属粉末と2日間接触させ、イオン化した濃度を調べた(図6-3)。イオン化し易いFeは、酸化剤量が多いO₃単独の方がイオン化した濃度は高い。イオン化し難いNiやAgはUVRとSSW併用の方がイオン化した濃度が高い。このことから、酸化力が強い酸化剤ができていると考えられる。イオン化し易いZnは、O₃単独では検出限度以下であった。これは、O₃酸化によって、水に溶解難い酸化物に変わったためと考えられる。UVRとSSW併用の場合は、例えば、 $\cdot\text{OH}$ が生成し、これがZnと反応して、酸化物でなく水酸化物を生成し、溶出した可能性がある。O₃単独とUVRおよびSSW併用の酸化剤量を同じに換算し(併用分を3.4倍する)、比較して見ると、併用した方が、Feが1.3倍、Niが11倍、Cuが3.4倍、Agが19倍濃度が高かった。

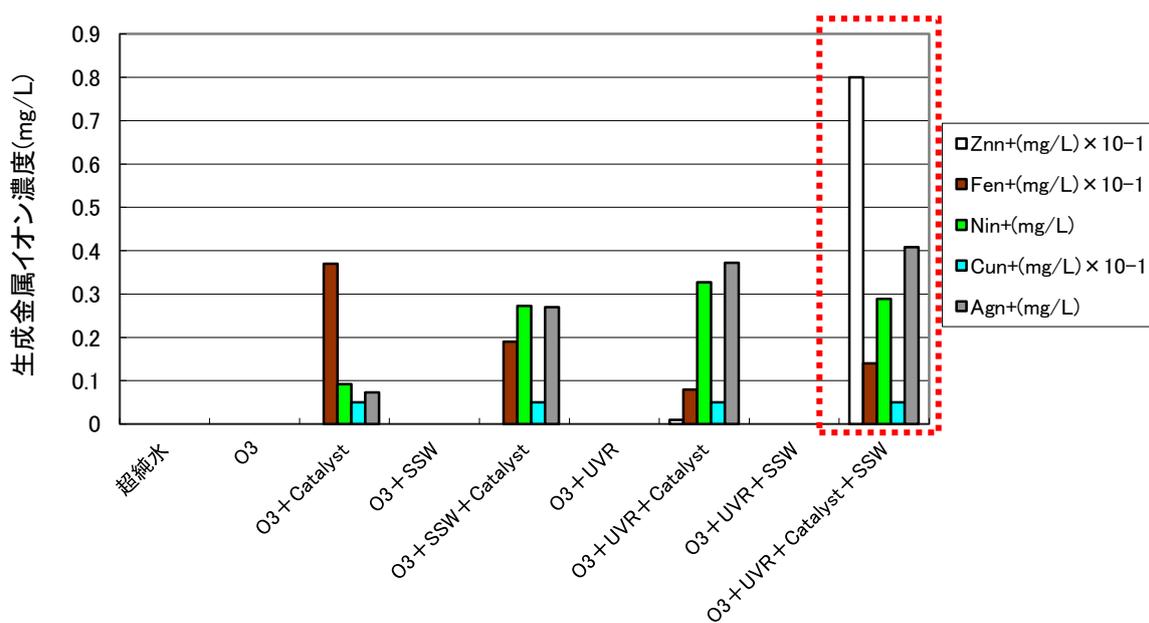


図 6-3 金属 (粉末) のイオン化 (2 日間)

次に、接触時間を10秒間に短くすると、図6-4のように、FeやCuもUVRとSSW併用の方がイオン化した濃度が高くなった。O₃単独とUVRとSSW併用の酸化剤量を同じに換算し比較して見ると、併用した方が、Znが17倍、Feが12倍、Niが6.7倍、Cuが4.3倍、Agが27倍濃度が高かった。

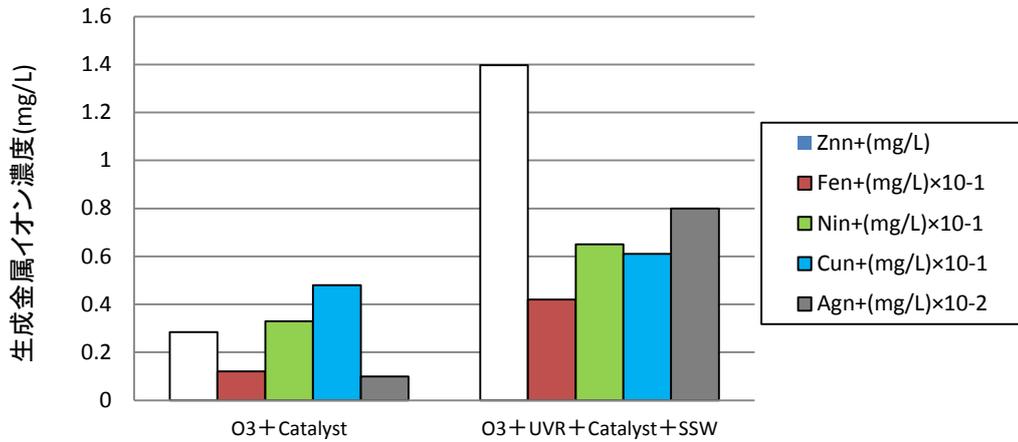


図 6-4 金属（粉末）のイオン化（10 秒間）

(2) 有機物

酸化分解し易い DL 酒石酸 (COD が理論値の 93% 分解) と 2 日間接触させ、COD を測定し、超純水と接触した場合に対する割合を調べると、図 6-5 のように、O₃ 単独に比べ UVR と SSW 併用の方が COD は低く、酸化され易かった。酸化剤量を同じに換算し、比較すると、併用の方が、5.3 倍酸化された。

比較的酸化分解し難い溶性でんぷん (COD が理論値の 61% 分解) (図 6-6) と 2 日間接触させた場合、UVR 単独および超 UVR と SSW 併用の場合逆に増加した。これは、分子量が大きい場合、あるいは難分解性の部分がある物質に対しては、これらの酸化剤が KMnO₄ に酸化され易い部分を新たに作ったため、増加したものと考えられる。

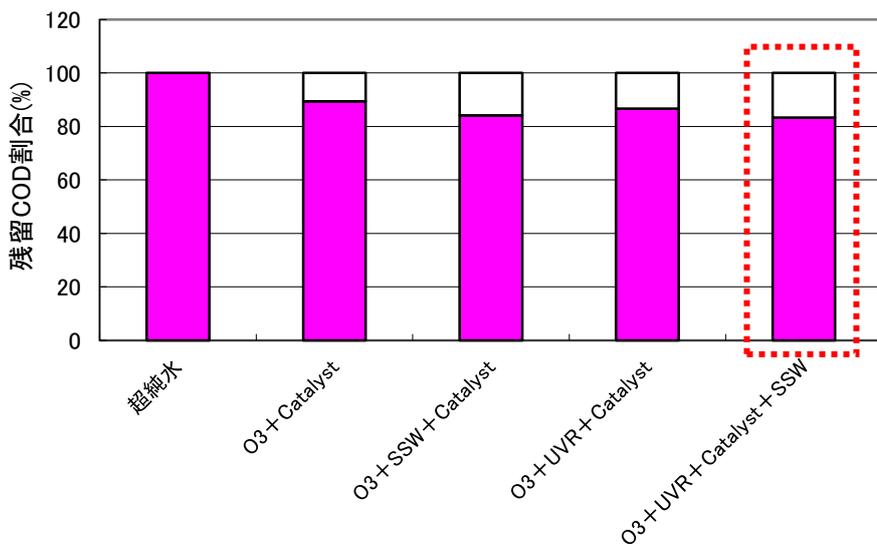


図 6-5 DL 酒石酸 (5mg/L) との反応 (2 日間)

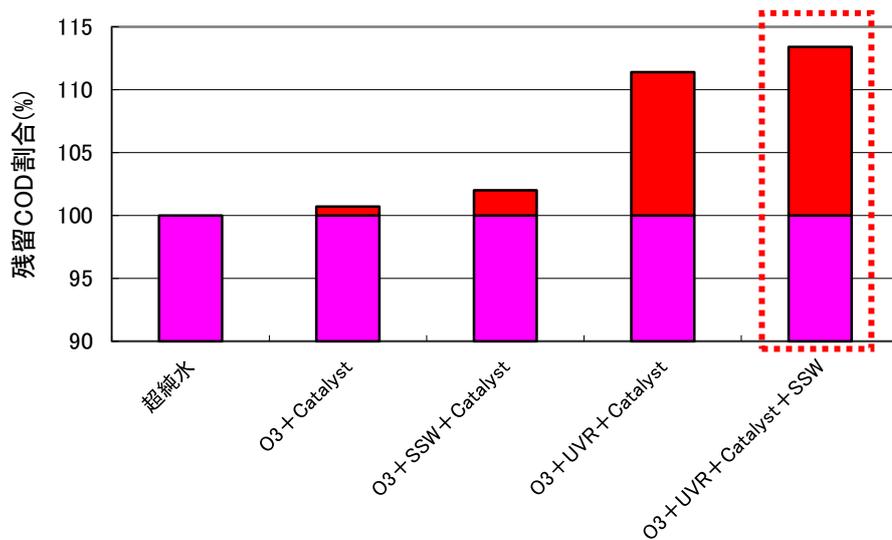


図 6-6 溶性でんぷん (5mg/L) との反応 (2 日間)

6.4 まとめ

O₃ 水を用いた UVR/光触媒/SSW 複合反応により生成したラジカル活性水は、反応系外においても元の O₃ 水よりも強い金属類のイオン化を示し、酸化被膜も生成しなかった。しかし、ラジカルのも分子量が小さく、ピンポイントで反応するため、生体の主要成分である高分子量の溶性でんぷんは大きく分解することはなかった。反応系外に出ても強力な金属類のイオン化が認められたので、反応系内では難分解性物質の酸化分解が期待できる。また、他の分野における用途も考えられる。

第7章 総括と展望

アジア諸都市の水質改善を行うため、そのモデル都市として中華人民共和国・慈溪市とインドネシア共和国・スラバヤ市において、水質等調査と水質改善策を提案した。

慈溪市には3箇所の下水処理場があり、その処理能力は23万 m³/日で普及率は70%以上、教場山処理場ではCAST生物化学処理や逆砂ろ過、紫外線消毒、東部処理場では倒置 A₂O 処理が行われている。新園川はゴミや油脂類等が多く浮遊し、乳白色や青く変色していた。冬季に比べ夏季は色度が 23.0→30.0 度、TOC が 7.0→19.9 mg/L と悪化した。また、Ni が日本の要監視項目の基準値を超えていた。しかし、凝集沈殿処理で濁度、色度、COD および PO₄-P を 74.5% 以上除去することができた。水道水の TOC は日本の水道水より高く、Ni が日本の要監視項目の基準値を超えていた。当面の新園川の清掃および浄化について、ゴミ等の回収、強制排水、安全な凝集剤の散布、人工流入システムの導入等の提案を行った。また、ソフト面についても、行政の管理体制、地域住民の責任分担や自主活動および関連産業やサービス体系の構築等の推進を促した。

スラバヤ市の河川水質は有機汚濁が著しく金属類による汚染も見られる。家庭の井戸水も日本の中小都市の河川程度で、Cd や Fe, Mn, Ni 等の金属汚染も著しく飲用には適さない。そこで、下水道整備の事前対策として、水質調査を行い有機物処理を対象とした分散型水処理施設の設計を行った。Jambangan のし尿を含めた住宅下水は、20 世帯について、16 m³/日程度、BOD 50 mg/L, SS 50 mg/L の処理水が得られるような親水施設を備えた合併浄化槽を公園に設置する。Pabean 魚市場排水は、スクリーンあるいは沈殿槽および流量調整槽を備えた 150 m³/日程度の接触酸化処理装置を設置する。Tenggilis の河川は、BOD 25 ~28 mg/L, SS 8~10 mg/L 程度にするため、約 50%の水量について、親水施設を備えた曝気付礫間接触酸化処理装置を設置する。

また、その他の污染源対策として、廃棄物浸出水中の COD 等の処理方法と難分解性有害化学物質の処理方法を検討した。

廃棄物処分場場内水の COD 処理を効果的に行うため、COD 成分と既存の排水処理施設で行われている凝集沈殿処理や活性炭吸着処理等との関係を調べた。廃棄物および場内水中には有機物以外の COD も含まれているので、バブリングでも COD を減らすこともできる。また、廃棄物によっては、有機 COD のイオン性を調べ、適正な凝集剤を選定することも効果的ではあるが、必ずしもイオン性と除去率が一致するとは限らない。活性炭吸着処理ではバッチ式が非常に効果的であるが、処理後の固液分離を工夫する必要がある。その他、COD

処理の面からの埋め立て区分や排水処理費用に応じた加算料金制度の導入を考える。

UVR 照射-光触媒-SSW 照射の反応系でメチルアルコールおよび DMSO の分解挙動を調べ、分解装置としての機能を評価した。メチルアルコールは、4 時間反応後、最大 8.0%が CO₂まで分解し、ギ酸を始め 5 種類の間生成物を生じた。DMSO は、最大 18.7%が分解し、中間生成物として MSFIA および MSFOA を確認した。これらの分解において、UVR 照射と SSW 照射の併用および光触媒の効果が認められた。

O₃ 水を用いた UVR/光触媒/SSW 複合反応により生成したラジカル活性水は、反応系外においても元の O₃ 水よりも強い金属類のイオン化を示し、酸化被膜も生成しなかった。しかし、ラジカルの分子量が小さく、ピンポイントで反応するため、生体の主要成分である高分子量の溶性でんぷんは大きく分解することはなかった。反応系外に出ても強力な金属類のイオン化が認められたので、反応系内では難分解性物質の酸化分解が期待できる。また、他の分野における用途も考えられる。

引用文献

- 1) 慈溪市人民政府ホームページ, <http://cixi.gov.cn>, (accessed 2013-8-19) .
- 2) Bai du 地図, <http://map.baidu.com/>, (accessed 2013-8-19).
- 3) 日本工業標準調査会 (2008) 工場排水試験方法 JIS K 0102, 日本規格協会.
- 4) 日本水道協会 (2001) 上水試験方法, 日本水道協会.
- 5) 中華人民共和国住宅と城郷建設部 (2011) 中国都市建設統計年鑑 2011, 中国計劃出版社.
- 6) 国家環境保護総局, 国家品質監督検驗検疫総局 (2002) 中華人民共和国国家標準 GB-18918-2002-城鎮污水处理場汚染物排放標準.
- 7) 国際比較環境法センター環境法令研究会 (監修) (2010) 環境六法 I, 中央法規, 1443-1449, pp. 1554-1566.
- 8) 安藤正典 (2004) 水道水質基準改正の概要. 食品衛生学雑誌, **45** (2), J-151-J-155.
- 9) 伊藤聖恵, 石川精一, 江口芳夫, 江口英範 (2007) 活性炭-ナノ膜を用いた発展途上国向け浄水器の開発, 第41回日本水環境学会年会講演集, pp. 454.
- 10) 石川精一 (2000) インドネシア都市部における事業場排水対策. 用水と廃水, **42** (8), 716-724.
- 11) 石川精一 (1998) インドネシア下水道維持管理技術. JICA 専門家総合報告書, 国際協力機構.
- 12) スラバヤ, <http://ja.wikipedia.org/wiki/スラバヤ>, (accessed 2013-9-21).
- 13) 石川精一, 重住研一, 安田和彦, 重森伸康 (1985) 有機リン酸エステル類の各種水処理過程における挙動. 水質汚濁研究, **8** (12), 799-807.
- 14) 内村豊, 石川精一, 安田和彦 (1988) 海面埋め立て処分場溶出液に関するモデル 実験 (II), 産業廃棄物からの栄養塩類の溶出およびその除去, 水処理技術, **29** (6), 365-370.
- 15) 花嶋正孝, 山崎惟義, 松藤康司 (1981) 廃棄物埋立構造に関する実験的研究, 土木学会論文報告集, (310), 69-76.
- 16) 石川精一, 大庭俊一, 野村義夫, 一田謙一, 坂寄代志夫, 小嶋勉, 福本真紀, 鈴木學, 柳瀬龍二, 立藤綾子, 松藤康司, 三井清志, 中西淳二, 前田信一 (2007) 浸出水循環式埋立実証プラントを用いた海面埋立処分場における浸出水の浄化および埋立廃棄物の早期安定化に関する研究, 廃棄物学会論文誌, **18** (2), 107-117.
- 17) Y. Sakazaki, H. Inuyama, T. Yamada, T. Oba, S. Ishikawa, K. Kadokami and M. Suzuki (2004) Application of leachate recirculation landfill technique to

- coastal landfills, modern landfill technology and management, Proceedings of the Third Asian-Pacific Landfill Symposium in Kitakyushu 2004, pp. 505-512.
- 18) 日本環境衛生センター (2001) 平成13年版廃棄物処理法法令集, pp. 410-428.
 - 19) 日本水質汚濁研究協会 (1982) 湖沼環境調査指針, 公害対策技術同友会, pp. 151.
 - 20) 日本工業標準調査会 (2014) JISK1474活性炭試験方法, 日本規格協会.
 - 21) 藤崎一裕 (2003) 傾斜沈降管を用いた超高速懸濁液分離技術, 特許第 3681003 号.
 - 22) 山中邦彦, 石川精一 (2014) 浄水装置, 特許第 5563604 号.
 - 23) N. Murakami, Y. Fujisawa, T. Tsubota and T. Ohno (2009) Development of a visible light-responsive titania nanotube photocatalyst by site-selective modification with hetero metal ions, *Appl. Catal. B, Environmental*, **92**, 56- 60.
 - 24) N. Murakami, A. Ono, M. Nakamura, T. Tsubota and T. Ohno (2010) Development of a visible-light-responsive photocatalyst by site-selective modification of iron (III) ion on {111} exposed crystal faces of rutile rod, *Diamond and Related Materials*, **97**, 115-119.
 - 25) T. Ohno and N. Murakami (2010) Development of visible-light active S-doped TiO₂ photocatalyst, *Current Organic Chemistry*, **14**, 699-708.
 - 26) N. Murakami, T. Kamai, T. Tsubota and T. Ohno (2010) Control of crystal structure of titanium (IV) oxide by hydrothermal treatment of a titanate nanotube under acidic conditions, *Cryst. Eng. Comm.*, **12**, 532-537.
 - 27) V.M. Menendez-Flores, D.W. Bahnemann and T. Ohno (2011) Visible light photocatalytic activities of S-doped TiO₂-Fe³⁺ in aqueous and gas phase, *Appl. Catal. B, Environmental*, **103**, 99-108.
 - 28) 樋口友彦, 原賀久人, 吉永宏, 梅田陽平 (2008) 溶射法による可視光応答型光触媒皮膜の開発, フジコー技報, (16), 54-60.
 - 29) 樋口友彦, 原賀久人, 吉永宏, 梅田陽平, 山崎健之, 山本清司 (2010) 溶射法による可視光応答型ルチル型酸化チタン光触媒皮膜の開発, フジコー技報, (18), 50-55.
 - 30) H. Okabe (1978) Photochemistry of Small Molecules, pp. 202, John Wiley & Sons.
 - 31) 吉野潔, 岩崎達行, 小野健一郎, 町田三一, 木下忍, 松原淳, 室谷正次, 西尾紀昭, 安井俊彦 (1999) 紫外線と過酸化水素を併用した各種家庭紙の殺菌および抄紙工程排水の殺菌, 紙パ技協誌, **53** (10), 1345-1352.
 - 32) 吉野潔 (2006) 「水」, pp. 113, エヌ・ティー・エス, 東京.
 - 33) 野坂芳雄 (2006) 「水」, pp. 460-461, エヌ・ティー・エス, 東京.

- 34) 野坂芳雄 (2009) 可視光型光触媒における反応活性種の検出, グリーンテクノロジー, **19** (6), 14-16.
- 35) T.J. Mason and J.P. Lorimer (1988) *Theory, Applications and Uses of Ultrasound in Chemistry*, John Wiley & Sons.
- 36) 野村浩康, 川泉文男, 香田忍 (1994) 「液体および溶液の音波物性」, 名古屋大学出版会, 名古屋.
- 37) 香田忍, 野村浩康 (1999) ソノケミストリー, 電子情報通信学会誌, **82** (6), 587-591.
- 38) 香田忍 (2006) 「OH ラジカル類の生成と応用技術」, pp. 106, エヌ・ティー・エス, 東京.
- 39) S. Ishikawa (1996) Utilization of photochemical reaction in environmental chemistry, *KITAKYUSHU ENVIRONMENTOPIA*, (11), 2-5.
- 40) 石川精一, 重住研一, 安田和彦, 重森伸康 (1985) 有機リン酸エステル類の各種水処理過程における挙動, 水質汚濁研究, **8** (12), 799-807.
- 41) S. Ishikawa, K. Baba, Y. Hanada, Y. Uchimura and K. Kido (1989) Photodecomposition of *o*-chloroaniline in aqueous solution with low pressure mercury lamp, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **42** (1), 65-70.
- 42) S. Li, S. Ishikawa, C.Huang, W. Zhang, T. Tanizaki, T. Higuchi and H. Haraga (2015) Production of active intermediates and decomposition behaviours of organic compounds in the ultraviolet ray/ supersonic wave reactions with TiO₂ photocatalyst, *Sustainable Environment Research*, **25** (2), 67-72.
- 43) S. Ishikawa, S. Li, C. Huang, T. Tanizaki, W. Zhang, T. Higuchi and H. Haraga (2015) Identification and cleaning effect of active intermediates in the O₃/ ultraviolet ray/supersonic wave multiple reaction using a low-temperature sprayed TiO₂ photocatalyst, *Sustainable Environment Research*, **25** (6), 323-329.
- 44) 津野洋, 山田春美 (2007) 「排水污水处理技術集成」, pp. 302, エヌ・ティー・エス, 東京.

公表論文

- 1) 黄臣, 石川精一, 丸田賢二, 黄堅 (2015) 中国・慈溪市における下水処理の現状と村落における水環境改善に関する調査研究, 資源節約と環境保護, 10, 181-182, 187.
- 2) C. Huang, S. Ishikawa, K. Kabasawa, M. Morimoto, N. Motoshima, S. Ogata, J. Huang and K. Haraguchi (2015) Effluent water and river water purification by the installation of decentralized water treatment facilities in Surabaya City, Indonesia, *Sustainable Environment Research*, **25** (4), 185-193.
- 3) S. Li, S. Ishikawa, C. Huang, W. Zhang, T. Tanizaki, T. Higuchi and H. Haraga (2015) Production of active intermediates and decomposition behaviours of organic compounds in the ultraviolet ray/ supersonic wave reactions with TiO₂ photocatalyst, *Sustainable Environment Research*, **25** (2), 67-72.
- 4) S. Ishikawa, S. Li, C. Huang, T. Tanizaki, W. Zhang, T. Higuchi and H. Haraga (2015) Identification and cleaning effect of active intermediates in the O₃/ultraviolet ray/supersonic wave multiple reaction using a low-temperature sprayed TiO₂ photocatalyst, *Sustainable Environment Research*, **25** (6), 323-329.
- 5) 黄堅, 黄臣 (2014) 上海市民への防災減災意識調査から見る意識向上の重要性, 北九州発アジア情報, **25** (4), 87-96.

学会発表

- 1) C. Huang, S. Ishikawa, W. Xie, M. Abuobiedah, S. Tomita, K. Mitsui, J. Nakanishi, T. Tanizaki and J. Huang (2016) Investigation into COD component in the wastewater at sea reclamation waste disposal site and its influence on the coagulation-sedimentation and the activated carbon adsorption, 2016 International Conference on Civil and Environmental Engineering.
- 2) 黄臣, 謝偉, 石川精一 (2013) 産業廃棄物浸出水中のCOD成分調査およびその対策, 日本水環境学会第45回年会.

謝 辞

本研究を行うにあたり、ご指導をいただいた北九州市立大学大学院国際環境工学研究科の石川精一教授、伊藤洋教授に深く感謝いたします。

お忙しい中、副査をお引き受けいただいた北九州市立大学大学院国際環境工学研究科の門上希和夫教授、大矢仁史教授、寺嶋光春講師、仲尾晋一郎准教授に感謝いたします。

また、中華人民共和国・慈溪市における調査研究にご協力いただいた丸田技術士事務所の丸田賢二氏、九州工業大学シニアアカデミーの藤崎一裕氏、インドネシア共和国・スラバヤ市における調査研究にご協力いただいた北九州市環境局アジア低炭素化センターの皆様、(財)北九州国際技術協力協会の皆様、(財)地球環境戦略研究機関北九州アーバンセンターの皆様、(株)松尾設計の樺沢敬視氏、廃棄物中の COD に関する調査研究にご協力いただいた北九州市環境局施設課の皆様、ひびき灘開発(株)の皆様、光触媒に関する調査研究にご協力いただいた九州工業大学大学院工学研究院の横野照尚教授、(株)フジコーの皆様、(株)新菱の皆様感謝いたします。

なお、スラバヤ市における調査研究については、JICA 草の根技術協力事業である「インドネシア・スラバヤ市における分散型排水処理施設整備事業」に基づくもので、光触媒に関する調査研究については、一部は、福岡ナノテク推進会議「平成 19 年度ナノテク産業化促進事業 (ナノテク FS 事業)」の補助金によるものである。