

し尿処理施設の高度処理に関する研究（第2報）

野尻 喜好 山口 明男 増田 武司 鈴木 征

要 旨

低希釈二段活性汚泥方式のし尿処理施設について、希釈水量を処理し尿量の2.3倍と5.4倍で運転を行い、この希釈水量の運転条件で得られた二次処理水について、凝集沈殿とオゾン酸化の高度処理実験を行った。

凝集沈殿処理では定注入率pH法と定pH変注入率法による処理実験、オゾン酸化ではオゾン注入量を変化させる処理実験を行いCOD、T-N、T-P及び色度の処理状況を中心に調査を行った。

その結果、希釈水量が2.3倍の条件での二次処理水では、5.4倍の条件のものと比較し、し尿1klを処理するのに必要な凝集剤の必要量が35%程度減少し、色度を20度まで低下させるのに必要なオゾンの量が30%程度増加した。この凝集沈殿処理とオゾン酸化処理を行った結果、処理水の水質は、COD、T-N、T-Pでそれぞれ20mg/l、29mg/l、0.2mg/lとなった。

1 はじめに

近年、公共用水域のうち、主要河川の水質汚濁はかなり改善されてきているが、生活排水が多量に流入する中小の都市河川及び湖沼や湾のような閉鎖性水域の水質汚濁の状況は、横ばいかまたは悪化の状態にある。とりわけ、東京湾や瀬戸内海などの閉鎖性海域では、環境悪化による赤潮の発生のため魚介類がへい死したり^{1) 2)}、琵琶湖や霞ヶ浦などの湖沼では、アオコの異常発生による水道水のかび臭問題などを引き起こしている^{3) 4)}。これら閉鎖性水域の環境改善を目的として水質汚濁防止法による総量規制や窒素・リンの規制、湖沼法の制定などが行われている。

特に閉鎖性水域に高い汚濁負荷の放流水を排水しているし尿処理施設や下水処理施設においては、これまでのBOD成分除去以外にCOD成分や富栄養塩類である窒素とリンの除去が重要な問題となっている。従来の標準活性汚泥法での下水処理や、嫌気性消化法や好気性消化法などによるし尿処理では特に窒素やリンの除去が不十分である。下水処理においては施設が大規模なため、高度処理施設の設置や現有施設の改善などが困難であり、あまり行われていない。

しかしながら、し尿処理では施設規模があまり大き

くないことから、リンやCOD成分などの除去を目的とした高度処理施設の設置や、窒素の除去が有効に行える低希釈二段活性汚泥法などの高負荷運転の生物処理の施設が開発され、既存処理施設の改良なども行われている。

筆者らは昭和60年度に、し尿処理の低希釈二段活性汚泥方式を対象として、希釈水量の変動が、生物処理過程での窒素、リン、COD及び色度などの処理にどのような影響を及ぼすかを調査した⁵⁾。さらに本研究においては、希釈水の量を、平常運転に近い状態と、その約半分の量で運転を行った生物処理後の二次処理水について、凝集沈殿処理とオゾン酸化処理を行い、希釈水の変化によるこれらの高度処理への影響を調査した。

2 実験方法

2・1 運転条件

実験施設は埼玉県大里村にある荒川南部環境衛生組合荒川南部環境センター・清流苑を使用した。本施設は低希釈二段活性汚泥法の施設である。実験施設の設計仕様と概略図は、前報に示すとおりである⁵⁾。

表1 処理施設運転条件

項目	A	B
除渣し尿 (m ³ /日)	2 4.2	2 6.8
希釈水量 (倍)	5.4	2.3
返送汚泥 (m ³ /日)	3 1 2	3 1 2
余剰汚泥 (m ³ /日)	7.1	8.0
送風量(1) (m ³ /分) ¹⁾	9.7	1 2.0
送風量(2) (m ³ /分) ¹⁾	0.7	0.8
循環比 ²⁾	1 5.9	3 1.9
処理水量 (m ³ /日)	1 4 8	8 0.4

1) (1)(2)はそれぞれ第一、第二曝気槽である
2) 返送汚泥を含む

生物処理の運転条件を表1に示す。それぞれの条件での生物処理後の沈殿槽越流水を二次処理水A、Bとする。運転期間は、Aが62年9月1日から9月30日、Bが10月1日から21日であった。二次処理水Aは、希釈水量がし尿の量の5.4倍であり、この施設での通常運転に近い条件での沈殿槽越流水である。他方、二次処理水Bは、希釈水量を2.3倍とし、かなり減らした条件とした。二次処理水A、Bの性状は表2に示すとおりである。全窒素(T-N)、硝酸性窒素(NO₃-N)および220nm吸光度(A₂₂₀)以外の各水質項目は、希釈水量のすくない二次処理水Bのほうが濃度的に高い結果を示している。T-N、NO₃-NおよびA₂₂₀は、生物処理過程での脱窒の状況に起因しているもので、二次処理水Bでの運転の方が脱窒の効率がよい結果となっている。

高度処理については、二次処理水A、Bそれぞれに対して凝集沈殿処理、オゾン酸化処理をおこなった。

2・2 高度処理実験

2・2・1 凝集沈殿処理

凝集沈殿処理は、凝集剤には硫酸アルミニウムを使用し、凝集剤の注入率を一定としてpHを変化させる定注入率変pH法と、pHを一定として注入率を変化させる定pH変注入率法のジャーテストによった。

定注入率変pH法では、1ℓビーカー中のサンプル1ℓに、凝集剤を注入率500mg/l(Al₂(SO₄)₃換算)になるよう添加し、硫酸または水酸化ナトリウムを加えpH4から4から8程度に調整して、液温20℃、急速

攪拌(80rpm)5分、緩速攪拌(30rpm)25分、静置30分の条件で処理を行い、この上澄液を分析試料とした。

定pH変注入率法では、凝集剤を注入率100mg/lから1000mg/lになるよう添加し、pHを変pH定注入率法により得られた最適pHに調整し、以下同様な操作で行った。

2・2・2 オゾン酸化処理

オゾン酸化処理は、二次処理水A、B及び各々の凝集沈殿処理水について行った。処理装置は、山口ら⁹⁾によるものを利用した。サンプル量は800mlとし、オゾン化空気(オゾン濃度3.0mg/l)3ℓから40ℓを、段階的に通気したものを分析試料とした。

オゾナイザーの条件は、印加電圧6.5kV、通気速度約0.6ℓ/分で行った。

2・3 水質分析

水質分析は、二次処理水A、B、凝集沈殿処理水およびオゾン酸化処理水について行った。分析法は、NO₃-Nはイオンクロマトグラフィー⁷⁾、色度は吸光光度法⁸⁾、他の項目については、JIS-K0102⁹⁾、または下水試験方法¹⁰⁾に準拠した。また、A₂₂₀およびA₂₆₀は220nm、260nmにおける紫外線吸光度である。ただし、溶解性項目およびTOC、色度、A₂₆₀、A₂₂₀については各分析試料を0.45μmメンブランフィルターでろ過後、分析を行った。

3 結果及び考察

3・1 高度処理実験

3・1・1 凝集沈殿処理

硫酸アルミニウムの注入率500mg/lのときの、二次処理水A、Bについての定注入率変pH法での各項目の残存率の結果を図1、2に示す。

二次処理水A、BともにpH5.5付近が、いずれの項目についても残存率が低くなる傾向を示した。TOC、A₂₆₀および色度の各項目については、pH5.5での残存率が20%から40%で、それぞれ似た傾向を示した。これは、いずれの項目も、共通の溶解性有機汚濁成分に由来していて、それがアルミニウムポリマーと凝集フロックを生成することにより除かれたと考えられる¹¹⁾。CODについても二次処理水中の懸濁物質が少なかったことから同様な傾向を示している。全リン(T

-P)は、pH5以上では残存率が1%以下となった。これは、二次処理水中のリンがほとんど溶解性のリン酸性リンと考えられ、リン酸性リンは、(1)式に示した沈殿生成反応によりアルミニウムや鉄系の無機凝集剤によって良好に除去されることが知られている¹²⁾



M : Al, Fe

A₂₂₀とT-Nについては、表2に示してある二次処理水の分析結果から、ほとんどNO₃-Nに由来していると考えられ、凝集沈殿処理ではあまり除去されていない結果を示したが、二次処理水Bでは、わずかに除去される傾向が示された。これは、NO₃-Nによらない有機物のA₂₂₀成分が、除かれたことによるのではないかと考えられる。

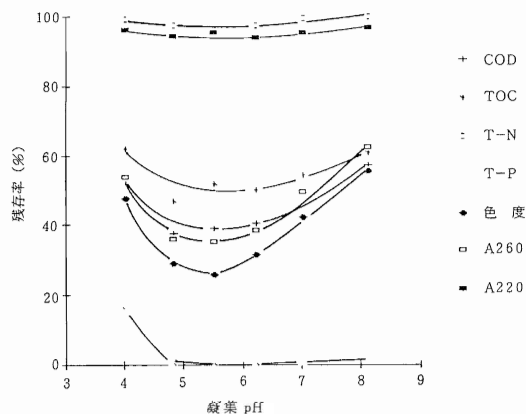


図1 二次処理水Aの各凝集pHにおける残存率変化

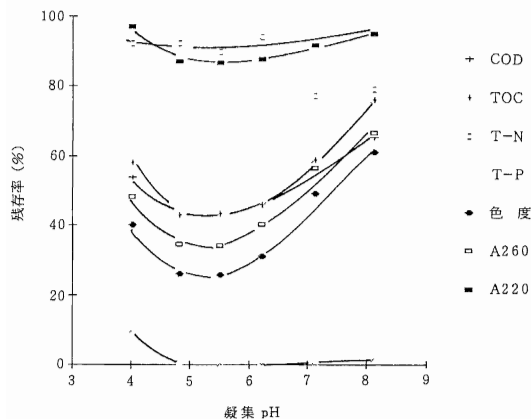


図2 二次処理水Bの各凝集pHにおける残存率変化

表2 二次処理水の水質

項目	A	B
pH	6.72	6.97
SS (mg/l)	<10	<10
BOD (mg/l)	2.4	3.8
COD (mg/l)	48.7	70.2
s-COD ¹⁾ (mg/l)	46.6	69.2
TOC (mg/l)	31.4	43.7
T-N (mg/l)	45.9	31.0
s-T-N (mg/l)	45.7	31.0
NH ₃ -N (mg/l)	0.3	0.4
NO ₃ -N (mg/l)	36.5	28.1
NO ₂ -N (mg/l)	<0.1	<0.1
T-P (mg/l)	22.0	30.0
s-T-P (mg/l)	22.0	30.0
アルカリ度	72	166
色度	123	187
A ₂₆₀	0.891	1.29
A ₂₂₀	1.25	8.71

1) s-は0.45μmメンブランフィルターでろ過した

図3、4、5、6に二次処理水A、Bについて、pH5.5で一定とし、硫酸アルミニウム注入率を変化させた時のTOC、COD、色度、T-NおよびT-Pの残存率を示した。

COD、TODおよび色度の残存率は、注入率300mg/lぐらまでは、いずれも注入率の増加につれ減少し、二次処理水Aでは約400mg/l、二次処理水Bでは約500mg/lの注入率ではば最低の残存率を示した。また、TOCとCODは二次処理水Aのほうが、どちらの項目についても5%ほど低い残存率となった。

T-Pは、二次処理水Aでは注入率200mg/l、Bでは300mg/lでほとんど完全に除去されており、リンの除去だけを目的として凝集沈殿処理を行うのであれば、凝集剤の使用量がかなり少なくて済むと考えられる。

T-Nは、二次処理水Aではほとんど除かれておらず、Bでは凝集剤の量の増加に伴い、わずかつ除去されている。一般に無機性の窒素は凝集により除去することは不可能であるので、ここでは有機性の窒素が除かれたと考えられる。

以上の結果より、最適凝集沈殿処理の条件は二次処理水Aで、pH5.5、注入率400mg/l、二次処理水BではpH5.5、注入率500mg/l程度と考えられる。

表3に最適凝集沈殿処理条件での処理水の水質分析結果を示す。

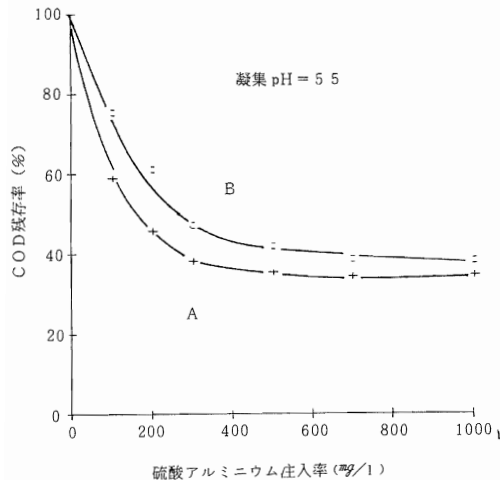


図3 二次処理水A, Bの各硫酸アルミニウム注入率におけるCOD残存率変化

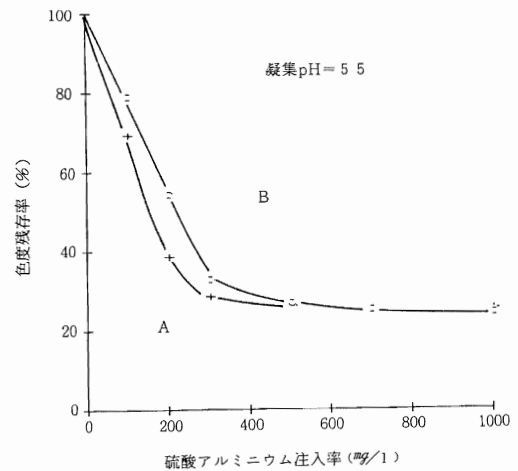


図5 二次処理水A, B各硫酸アルミニウム注入率における色度残存率変化

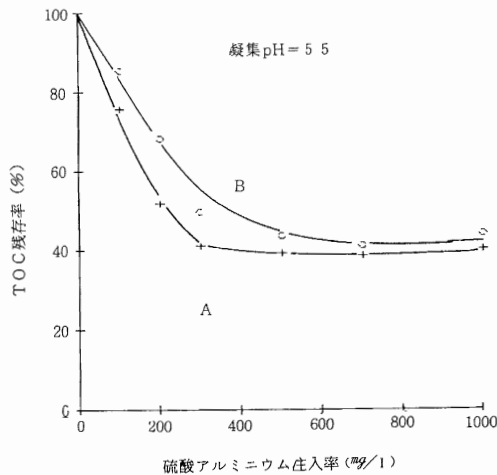


図4 二次処理水A, Bの各硫酸アルミニウム注入率におけるTOC残存率変化

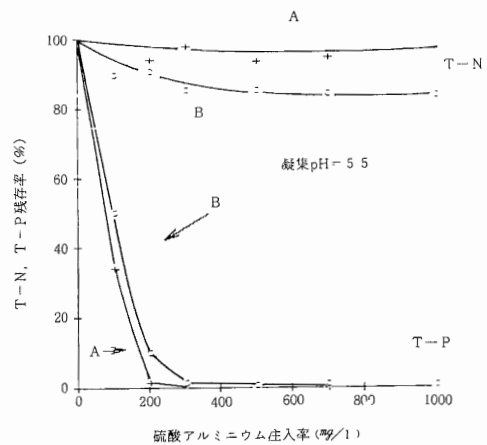


図6 二次処理水A, Bの各硫酸アルミニウム注入率におけるT-P, T-N残存率変化

希釈水量の少ない運転条件での二次処理水Bは、表2に示してある分析結果にもあるようにCOD、TOCや色度などの各項目の濃度が高いことから、凝集沈殿処理後の結果も高くなっている。T-Nは二次処理(低希釈二段活性汚泥法)の運転操作が除去率に影響し、二次処理水の段階ですでにBの方が濃度が低くなっている。

3・1・2 オゾン酸化処理

二次処理水A、Bおよび凝集沈殿処理水A、Bをオゾン酸化処理した場合の色度とオゾン化空気注入量の関係を図7に示す。

凝集沈殿処理水A、Bは、表3のものである。し尿の処理において、生物処理だけでは処理水が赤褐色に着色しており、視覚的にきれいで透明な処理水を得ることが出来ない。そのため、し尿処理においては、脱色を目的としてオゾン酸化処理が導入されている。

色度は、20度以下になるとほぼ透明な処理水と考え

表3 凝集沈殿処理水の水質および除去率

項目	A		B	
	濃度	除去率	濃度	除去率
COD (mg/l)	17.9	63.2	23.3	66.8
TOC (mg/l)	13.2	57.9	19.6	55.1
T-N (mg/l)	46.3	0	29.7	4.1
T-P (mg/l)	0.08	99.6	0.21	99.3
色度	33	73.2	47	74.9
A ₂₆₀	0.308	65.4	0.442	65.7
A ₂₂₀	11.6	7.2	7.11	18.4

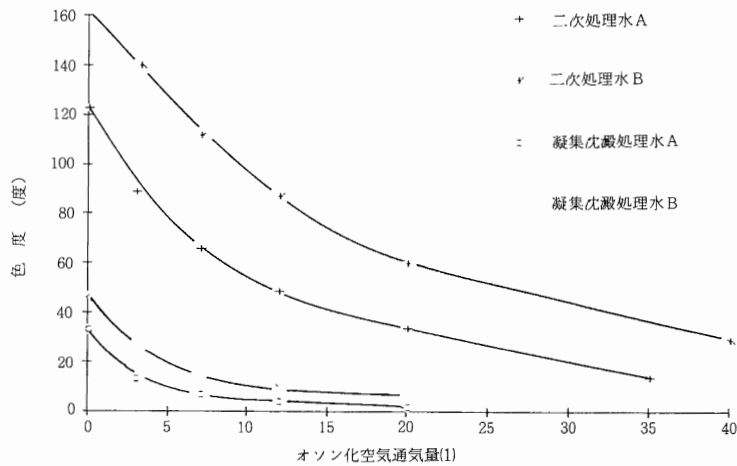


図7 二次処理水A、B、凝集沈殿処理水A、Bの各オゾン化空気通気量における色度の変化

られる。図7に示したとおり、凝集沈殿処理水のオゾン酸化は、Aではオゾン化空気通気量2ℓ、Bでは5ℓ程度で色度が20度以下となる。二次処理水を直接オゾン酸化した場合には、Aで30ℓ程度、Bで40ℓ以上の通気量が必要であった、この差は凝集沈殿処理により、オゾンと反応する色度成分などの有機汚濁成分が除かれるために、オゾンの必要量が少なくて済むことによる。色度の除去と有機成分量との関係については山口らにより示されている⁶⁾。

図8、図9に、色度およびその他の項目についての凝集沈殿処理水A、Bのオゾン酸化処理による残存率の変化を示す。

色度以外では、A₂₆₀がかなり減少しているが、これは色度とA₂₆₀は有機汚濁物質の分子中に存在する不飽和結合に起因しているためであり、この不飽和結合がオゾンによる酸化を受け易いためである。有機汚

濁物質のCOD、TOCおよびA₂₂₀はオゾン酸化による影響を受けにくいことから¹³⁾、本実験においても同様な傾向を示した。T-Pは理論上オゾンによる除去は不可能である。

表4に、凝集沈殿処理後にオゾン酸化処理を行い、色度を20度まで低下させた場合の各項目の水質と除去率を示す。ただし、除去率には、凝集沈殿処理による部分も含む。凝集沈殿処理水は表3のものである。

希釈水量を減少したBにおいては、COD、T-NおよびT-Pはそれぞれ20mg/l、29mg/l、0.2mg/lとなった。

3・2 実施設への対応

希釈水量を低減させた低希釈二段活性汚泥法のし尿処理において、希釈水量が処理し尿の3倍程度までは、COD、T-N、T-Pおよび色度の除去に関しては

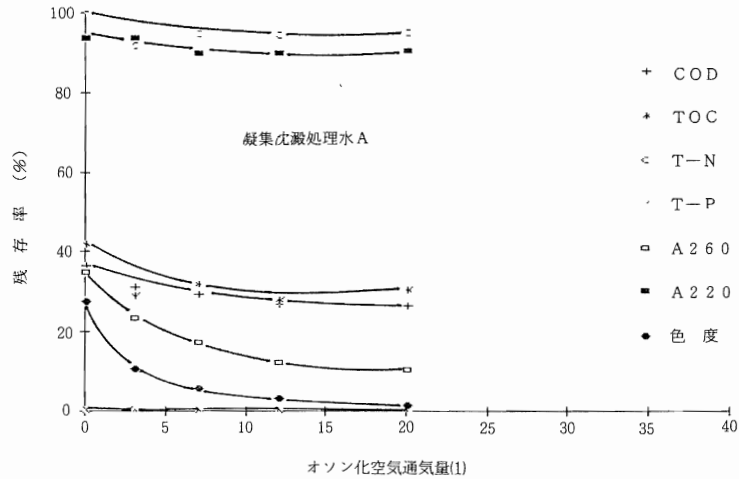


図8 凝集沈殿処理水Aの各オゾン化空気通気量における残存率変化

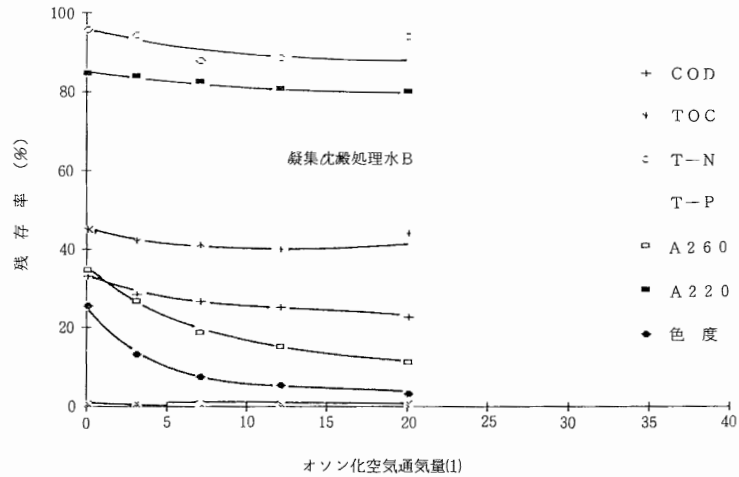


図9 凝集沈殿処理水Bの各オゾン化空気通気量における残存率変化

特に問題なく行うことが出来る⁵⁾。

表5に二次処理水A、Bについての最適凝集沈殿条件での凝集剤の必要量と、この凝集沈殿処理水の色度を20度まで低下させるときのオゾンの必要量を示した。

それぞれの運転条件での希釈水量と凝集剤の注入率からし尿1kl処理するのに必要な硫酸アルミニウムの使用量を積算すると、凝集沈殿処理Aでは2.56kg、凝集沈殿処理Bでは1.65kgとなり、凝集剤の使用量においては希釈水量の少ない二次処理Bでの運転の方が、35%程度少なくなった。このように、希釈水量が少ない方がし尿1kl当りの凝集剤の使用量が少なくて済み、

このことから、凝集沈殿処理施設からの汚泥の発生量が減少すると考えられ、汚泥処理の面においてかなり有利となる。さらに、凝集沈殿槽の容量を縮小することも可能になると考えられる。

他方、オゾン酸化処理においては、し尿1kl当りのオゾンの必要量は、二次処理水Aでは40g、二次処理水Bでは52gとなりオゾンの必要量は、希釈水量の少ない二次処理水Bでの運転の方が30%程度増加したが、オゾンの注入量を増すことは、オゾン発生装置の運転操作で行えるので、オゾン酸化処理施設の維持管理において、この点では問題はないと考えられる。

表4 凝集沈澱・オゾン酸化処理水の水質および除去率

項目	A		B	
	濃度	除去率	濃度	除去率
COD (mg/l) ¹	16	67	20	72
TOC (mg/l)	12	62	19	57
T-N (mg/l)	45	2	29	7
T-P (mg/l)	0.1	99	0.2	99
色度	20	92	20	94
A ₂₆₀	0.25	72	0.30	77
A ₂₂₀	13	8	7.2	17

表5 凝集剤とオゾンの注入量

		A	B
凝集	pH	5.5	5.5
	注入率 (mg/l) ¹	400	500
	注入量 (kg/kl) ²	2.56	1.65
オゾン	オゾン濃度 (mg/l)	3.0	3.0
	通気量 (l) ³	2.1	5.3
	オゾン量 (g/kl) ⁴	40	52

- 1) 二次処理水1ℓ当りのA₁₂(SO₄)₃注入量
- 2) し尿1kl当りのA₁₂(SO₄)₃注入量
- 3) 二次処理水1ℓ当りのオゾン化空気注入量
- 4) し尿1kl当りのオゾン注入量

4 まとめ

し尿の低希釈二段活性汚泥方法の処理施設について、希釈水量を変化させ、その二次処理水について、凝集沈澱処理及びオゾン酸化処理を行った結果、次のことがわかった。

- (1) 凝集沈澱処理実験では、最適凝集沈澱条件での凝集剤の使用量は、希釈水量が処理し尿の2.3倍であった二次処理水Bの方が、希釈水量が5.4倍の二次処理水Aと比較して、35%程度減少する結果が得られた。このときの水質はCOD、T-N、T-Pおよび色度がそれぞれ23.3mg/l、29.7mg/l、0.21mg/l、47度となった。
- (2) 最適条件での凝集沈澱処理水をオゾン酸化した結果、色度を20度まで下げるのに必要なオゾンの量は、凝集沈澱処理水Bのほうが、二次処理水Aと比較して30%程度増加する結果となった。このときの水質はCOD、T-NおよびT-Pがそれぞれ20mg/l、29mg/l、

0.2mg/lとなった。

(3) 希釈水質を減少させることにより、凝集剤の使用量を減らすことが可能となり、この点は、凝集沈澱処理から発生する汚泥の量の減少といった汚泥処理の面で有効と思われる。他方、色度除去のためのオゾンの必要量は増加するが、この点はオゾン発生装置の運転操作により、解決できると思われる。

以上、前報及び本報で、低希釈二段活性汚泥法における希釈水量の変動が生物処理と高度処理に及ぼす影響を検討した。この結果、本来、希釈水量が処理し尿の10倍で設計されている処理施設において、希釈水量を3倍程度に減少しても、成分処理及び高度処理過程の運転を行うことが可能であり、リンの除去や凝集剤の使用量、処理施設の小型化などいくつかの有効な点があることが分かった。

なお、本研究を行うに当たり、処理施設の使用並びに、運転管理に御便宜を改めて頂きました、荒川南部環境センター・清流苑所長浅川米司氏並びに技師牧国夫氏に厚く感謝の意を表します。

文 献

- 1) 藤原正弘：海域の水質保全行政，用水と廃水，28(1)，5～11，1986。
- 2) 小野知足：瀬戸内海の赤潮プランクトン，水質汚濁研究，8(7)，419-423，1985。
- 3) 根来健ら：Oscilla toria tenuisによる琵琶湖南湖のカビ臭，用水と廃水，29(7)，630～635，1987。
- 4) 佐藤敦久：水道水の臭気，水質汚濁研究，8(11)，708～713，1985。

- 5) 野尻喜好ら：し尿処理施設の維持管理に関する一考察, 埼玉県公害センター年報, [13], 100~103, 1986.
- 6) 山口明男ら：オゾンによる染色排水の処理の研究(第2報), 埼玉県公害センター年報, [13], 94~99, 1986.
- 7) 武藤義一・及川紀久雄：イオンクロマトグラフィ, pp9~34, 講談社, 1983.
- 8) 日本分析化学会北海道支部：水の分析(第3版), pp157~161, 化学同人, 1985.
- 9) 日本工業標準調査会：工場排水試験方法(JIS-K 0102, 1985)
- 10) 日本下水道協会：下水試験方法(1974)
- 11) 丹保憲仁：新体系土木工学88上水道(1版), 技報堂, 166pp, 1983.
- 12) 浦野紘平・立川裕隆：排水中のリン除去技術の特徴と経済性, 用水と廃水, 29(5), 425~434, 1987.
- 13) 山口明男ら：CGP廃水の高度処理の研究(1), 埼玉県公害センター年報, [10], 52-56, 1983.