

し尿処理について

— オゾン処理，凝集沈殿処理，ばっ気処理の組合わせ効果 —

稲村 江里 山口 明男 野尻 喜好 新井 妥子

要 旨

し尿処理を効率的に行うための方法について，実験的に検討した。採用した方法は，オゾン酸化，凝集沈殿処理，嫌氣的放置あるいはばっ気処理と，それらを組み合わせたものである。

生し尿は，凝集沈殿処理した場合を除き，良好に処理されることが分かった。特に，ばっ気処理終了後に，活性汚泥が存在している状態でオゾンを注入した場合の除去率は，BOD，COD及びDOCで，それぞれ95.0%，77.1%及び76.9%となり，単にばっ気処理を行った場合（除去率は，BOD：93.1%；COD：73.3%；及びDOC：76.2%）と比較して，良好な結果を示した。

さらに，オゾン酸化と汚泥の沈降性との関連についても検討を行った。その結果，オゾン酸化後にばっ気処理した試料では，ばっ気処理だけの試料と比べ，汚泥の沈降性が改善された。

従って，し尿処理にオゾン酸化を有効に取り入れることにより，処理水質と汚泥の沈降性が向上することが分かった。

1 はじめに

現在，埼玉県内には47のし尿処理施設があり，155万1,000kl/年のし尿及び浄化槽汚泥が処理されている^{1,2)}。し尿中には，高濃度の有機物や窒素，リンが含まれている。従って，これを効率よく処理することは，公共用水域の汚濁防止になると共に閉鎖性水域である東京湾の富栄養化を抑制するためにも，重要である。

そこで，筆者らは，生し尿の処理効率を高めるために，前報³⁾と同様な検討を行い，良好な結果を得たので報告する。

2 実 験

2・1 試 料

試料として，浦和市内のNし尿処理施設の生し尿と活性汚泥を用いた。

2・2 試 薬

用いた試薬は特に記さない限り，市販特級品である。

2・3 装 置

実験に用いた装置は，以下の通りである。

オゾンナイザー：富士電機製造機製 FO-5（無声放電型）；

簡易型室内ばっ気装置³⁾：ムエンケ式ネジ口洗浄瓶にエアポンプを接続したもの。

全有機炭素計：島津製作所製 TOC-10B；

自記分光光度計：島津製作所製 UV-240；

及び

イオンクロマトアナライザー：横河電機機製IC500。

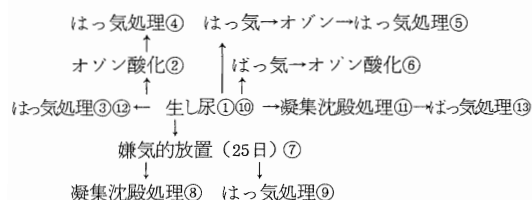
2・4 分 析

pH，SS，BOD，COD，T-N，NH₄⁺-N及びT-Pの分析は，JIS K 0102⁴⁾及び下水試験方法⁵⁾にしたがって行った。無機性の陰イオン（NO₂⁻，NO₃⁻，PO₄³⁻，Cl⁻及びSO₄²⁻）は，イオンクロマトグラフィ⁶⁾によった。

また，溶存有機炭素（DOC）は，試料を0.45μmのメンブレンフィルターでろ過したろ液を用いて分析した。

2・5 排水処理実験

生し尿を用いて、Scheme I に示す処理を行い、その処理効率について検討した。処理条件は以下に示す通りである。



Scheme I 検討を行った生し尿の処理方法

2・5・1 オゾン酸化

生し尿をばっ気前にオゾン処理する場合は、11の共栓付きメスシリンダーに生し尿を100mlとり、オゾン発生装置に接続させて、オゾンを10分間通気した。この時の生し尿によるオゾン吸収量は30.1mgであった。気体中のオゾンの分析は、ヨウ化カリウム法⁷⁾により行った。

また、ばっ気処理の途中、あるいはばっ気処理終了後にオゾン処理を行う場合は、ムエンケ式ネジロ洗浄瓶にオゾン発生装置を接続させ、活性汚泥の存在下で直接オゾンを注入した。ばっ気途中でのオゾン吸収量は、11.7mg、ばっ気終了後でのそれは、15.2mgであった。

他方、汚泥の沈降性に関する実験では、オゾン酸化により、生し尿100mlに対してオゾン15.0mgが吸収された。

2・5・2 凝集沈殿処理

前報³⁾の方法に準じ、生し尿を凝集沈殿処理する場合は、蒸留水で5倍に希釈した生し尿溶液11に、硫酸アルミニウム溶液（硫酸アルミニウムとして500mg）を加えた。これを硫酸（1+2）でpH5.5に調製し、200rpmで10分、50rpmで10分攪拌した後、1時間静置した。上澄液をデカントによって採取し、以後の試験に供した。

嫌気処理を行った試料の凝集沈殿では、蒸留水で10倍に希釈した嫌気処理水11について、同様の操作を行った。

2・5・3 ばっ気処理

生し尿及びオゾン酸化生し尿をばっ気する場合は、10倍に希釈した試料溶液600mlと活性汚泥100mlを混合し、ムエンケ式ネジロ洗浄瓶にいれ、エアポンプによって通気した。凝集沈殿水の場合は、5倍希釈液あるいは10倍希釈液をそのまま600ml分取し、活性汚泥100mlと混合して、同様にばっ気処理を行った。

ばっ気は、20℃±0.5℃の恒温水槽中で、40時間（汚泥の沈降性に関する実験では、48時間）行った。そのときのMLSSは2000から3000mg/lの範囲であった。

2・5・4 嫌気処理

21の三角フラスコに生し尿を1.5l入れ、ガス捕集袋をつけたゴム栓によって密閉し、室温下、25日間放置した。

2・6 オゾン酸化による汚泥の沈降性への影響

生し尿及びオゾン酸化生し尿を、簡易型室内ばっ気装置を用いてばっ気処理した後、60分間静置し、活性汚泥の沈降性を分析した。ムエンケ式ネジロ洗浄瓶の底からの汚泥の高さを、静置直後の高さを沈降率0%、汚泥の高さ0cmを100%とし、静置直後の高さに対する沈降高（cm）の割合を、沈降率とした。

3 結果と考察

生し尿と各々の処理水の分析結果を表1に示す。

各項目について、処理方法の違いによる除去率の比較を行った。

3・1 生し尿のオゾン酸化

表1から、生し尿をオゾン酸化した場合は、その処理水のBOD、CODは、ともに生し尿よりも増加し、その割合はそれぞれ、1.27倍、1.06倍であった。これは、生し尿中に存在する非分解性有機物がオゾン酸化されて易分解性のものに変化したからであると思われる。

また、T-NとT-Pは、過硫酸カリウムによって有機物を分解すると共に、窒素とリンをそれぞれ硝酸イオンとオルトリン酸イオンの形に酸化し、測定される。この場合、オゾン酸化生し尿の方が生し尿よりも少し高い値になっているが、これも、過硫酸カリウムによって酸化分解されにくい有機物が、オゾンによって酸化され易いものに変化したためであると思われる。

表1の1 処理方法別の各々の試料の分析結果

項目 試料 ¹⁾	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
SS (mg/l)	16,000	15,000	120	120	110	90	7,000	25	180
BOD (mg/l)	5,980	7,620	41.2 (93.1%)	44.4 (92.6%)	42.6 (92.9%)	30.0 (95.0%)	5,810 (2.8%)	344 (42.5%)	37.0 (93.8%)
COD (mg/l)	5,890	6,240	157 (73.3%)	159 (73.0%)	163 (72.3%)	135 (77.1%)	3,170 (46.2%)	84.3 (85.7%)	158 (73.2%)
DOC (mg/l)	2,170	2,170	51.6 (76.2%)	53.1 (75.5%)	52.2 (75.9%)	50.1 (76.9%)	6,000 ()	420 ()	65.0 (70.0%)
T-N(mg/l)	1,980	2,070	121 (38.9%)	130 (34.3%)	123 (37.9%)	121 (38.9%)	1,720 (13.1%)	159 (19.7%)	136 (31.3%)
NH ₄ -N(mg/l)	1,440	1,520	40.5	42.3	42.2	41.6	1,470	149	40.3
NO ₂ -N(mg/l)	-	-	42.0	45.0	42.6	39.9	-	-	47.2
NO ₃ -N(mg/l)	tr	tr	21.2	23.7	21.9	25.3	tr	-	39.9
org-N(計算値)	540	550	17.3	19.0	16.3	14.2	250	10.0	8.6
T-P (mg/l)	322	330	16.2 (49.7%)	16.6 (48.4%)	16.6 (48.4%)	15.2 (52.8%)	231 (28.3%)	0.378 (98.8%)	22.5 (30.1%)
PO ₄ -N (mg/l)	153	150	13.0	13.4	12.5	12.7	158	-	18.9
Cl (mg/l)	1,130								
SO ₄ (mg/l)	92								

注1) 試料の番号は、Scheme I に示した番号である。

すなわち、①生し尿 ②生し尿→オゾン酸化 ③生し尿→ばっ気処理 ④生し尿→オゾン酸化→ばっ気処理 ⑤生し尿→ばっ気→オゾン酸化→ばっ気処理 ⑥生し尿→ばっ気処理→オゾン酸化 ⑦生し尿→嫌氣的放置25日間 ⑧生し尿→嫌氣的放置→凝集沈殿処理 ⑨生し尿→嫌氣的放置→ばっ気処理

注2) () 内の数字は、生し尿からの除去率である。

表1の2 処理方法別の各々の試料の分析結果

項目 試料 ¹⁾	⑩	⑪	⑫	⑬
SS (mg/l)	8,500	-	80	120
BOD (mg/l)	6,700	770 (42.5%)	39.5 (97.1%)	146 (89.1%)
COD (mg/l)	3,650	213 (70.7%)	277 (62.1%)	262 (64.1%)
DOC (mg/l)	1,140	143 (37.3%)	96.5 (57.7%)	77.0 (66.2%)
T-N(mg/l)	1,360	162 (40.6%)	257 (5.5%)	246 (9.6%)
NH ₄ -N(mg/l)	924	187	73.2	107
NO ₂ -N(mg/l)	-	-	127	95.9
NO ₃ -N(mg/l)	tr	tr	22.8	9.3
org-N(計算値)	436	-	34.0	33.8
T-P (mg/l)	208	11.7 (71.9%)	34.7 (61.0%)	20.2 (51.4%)
PO ₄ -N (mg/l)	105	7.02	28.2	12.6
Cl (mg/l)	968			
SO ₄ (mg/l)	32.0			

注2) 試料の番号は、Scheme I に示した番号である。

⑩生し尿
⑪生し尿→凝集沈殿処理
⑫生し尿→ばっ気処理
⑬生し尿→凝集沈殿処理→ばっ気処理

注2) () 内の数字は、生し尿からの除去率である。

3・2 生し尿及びオゾン酸化生し尿のばっ気処理

生し尿及びオゾン酸化生し尿を、簡易型室内ばっ気処理装置によって、40時間ばっ気処理することにより、良好に処理されることが分かった。

すなわち、生し尿及びオゾン酸化生し尿のばっ気処理における各項目の除去率は、生し尿に対してそれぞれ、BODで93.1%と92.6%、CODで73.3%と73.0%、DOCで76.2%と75.5%、T-Nで38.9%と34.3%及びT-Pで49.7%と48.4%であった。生し尿を直接ばっ気処理した処理水の方が、オゾン酸化生し尿をばっ気処理したものよりもやや除去率が高かった。

3・3 ばっ気処理とオゾン酸化の関係

Gilbert⁸⁾は、生物難分解性の芳香族化合物がオゾン酸化によって生物分解性の化合物に変化することを、BOD/CODを分析することによって確認した。生し尿をオゾン酸化すると、BODとCODがともに高くなり、生し尿中の有機物が易分解性の化合物に変化していることが分かる。

そこで、オゾン酸化をばっ気処理の前、中間、及び

後で行った場合の、生し尿の処理性への影響について検討した。

採用した処理方法は、次の通りである。

- (1) 生し尿のオゾン酸化を行った後に40時間ばっ気処理を行う。
- (2) 生し尿を20時間ばっ気し、エアポンプの代わりにオゾン発生装置に接続させて、活性汚泥ごとオゾン酸化し、また再び20時間ばっ気する。
- (3) 生し尿を40時間ばっ気した後で、活性汚泥ごとオゾン酸化する。

(1)~(3)の処理方法について、各項目の除去率を比較すると、それぞれ、BODで92.6%、92.9%、95.0%、CODで73.0%、72.3%、77.1%、DOCで75.5%、75.9%、76.9%、T-Nで34.3%、37.9%、38.9%及びT-Pで48.4%、48.4%、52.8%であった。CODを除き、オゾン酸化を後にするほど、除去率が高くなり、ばっ気処理の最後にオゾン酸化した処理水が、最も良好に処理されることが分かった。

このことから、オゾンは、活性汚泥に対して、直接注入しても、有害な作用を示さないことが分かった。しかも、ばっ気終了後に、活性汚泥との固液分離を行うことなくオゾン酸化を行うと、処理水中のSSが少なくなることから、汚泥の沈降性が向上し、その処理水質も、単にばっ気処理だけ行ったものに比べ、良好であることが分かった。

3・4 生し尿の嫌氣的放置及び嫌気処理水の凝集沈殿処理とばっ気処理

生し尿を嫌氣的状態で25日間放置すると、BODはほとんど変化しないが、SSとCODはおよそ1/2まで下がることが分かった。しかしながら、DOCは、生し尿と比べた場合、2.76倍となり、SS分がかなりの割合で溶け出したことが予想される。

嫌気処理水を凝集沈殿処理すると、CODとT-Pがそれぞれ85.7%と98.8%（嫌気処理水からの除去率は、それぞれ73.4%と98.4%）と良好に除去されるが、BOD、DOC及びT-Nはあまり除去されなかった（生し尿からの除去率は、それぞれ、42.5%、93.5%及び19.7%、嫌気処理水からのそれは、それぞれ、33.6%、30.0%及び7.6%であった）。他方、嫌気処理水をばっ気処理すると、生し尿をばっ気処理した場合と同様に、良好に処理されることが分かった。

3・5 生し尿の凝集沈殿処理及び凝集沈殿水のばっ気処理

生し尿を凝集沈殿処理すると、嫌気処理水を凝集沈殿処理した場合と同様に、CODとT-Pがそれぞれ70.7%と71.9%の除去率で良好に処理されることが分かった。また、BOD、DOC及びT-Nは、それぞれ42.5%、37.3%及び40.6%の除去率で処理された。生し尿の凝集沈殿処理と嫌気処理水のそれを比較すると、BOD、DOC及びT-Nの場合は、生し尿の凝集沈殿処理の方が除去率が高いといった結果となった。このことは、生し尿中では、溶解しているBOD成分などの物質が少なく、BODなどに対して寄与率の高い不溶性物質が、凝集沈殿処理によってSS分と共に除去されたことを示していると考えられる。

また、凝集沈殿処理を行わない試料と行った試料を同様に40時間ばっ気処理した場合を比較すると、BODを除き、凝集沈殿処理を行った後でばっ気処理した方が除去率が高かったが、BODは、生し尿を単にばっ気処理した方が非常に良好に処理された（除去率は、凝集沈殿を行わなかった方が97.1%、行ったものは89.1%であった）。これは、凝集沈殿処理を行う際に、何等かの生物分解にくい状況ができあがったためであると思われるが、その理由については、不明である。

3・6 オゾン処理による汚泥の沈降性の改善について

下水処理場のばっ気槽にオゾンを注入して処理することによって、汚泥の処理性が改良されることは、すでに知られている⁹⁾。そこで、生し尿をオゾン酸化した後で48時間ばっ気処理したものと、生し尿を未処理のままばっ気処理した場合の汚泥沈降率を測定した。表2に上澄液のBODとCODの測定結果を、図1に汚泥沈降率を示した。

表2 生し尿をオゾン酸化し、48時間ばっ気した処理水のBODとCOD

項目	試料 ¹⁾	①	②	③	④
BOD(mg/l)		9,080	9,800	8.4(99.1%)	10.2(99.0%)
COD(mg/l)		3,700	3,650	98.7(73.3%)	104(71.5%)

注1) 試料の番号は、以下に示す様に処理した処理水である。

- ①生し尿
- ②生し尿→オゾン酸化
- ③生し尿→ばっ気処理
- ④生し尿→オゾン酸化→ばっ気処理

注2) ()内の数字は、生し尿からの除去率である。

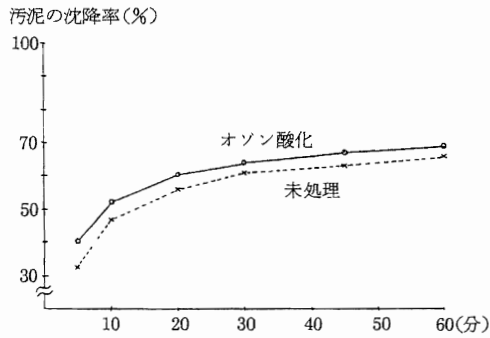


図1 オゾンによる汚泥の沈降性の改善

表2から、各々の処理によって、BODとCODは良好に処理されていることが分かった。

さらに、図1から、オゾン酸化することによって、汚泥の沈降性が向上することが示された。

同様な結果は、前述のように、ばっ気処理終了後に、活性汚泥を分離する事なくオゾン酸化した場合にも、SS分の低下と汚泥の沈降性の向上という形で観察されており、これらの事は、汚泥処理へのオゾン酸化の有効性を示唆しているものと思われる。

4 結 論

生し尿のオゾン酸化、凝集沈殿処理、嫌氣的放置、あるいはばっ気処理と、それらを組み合わせた処理性について、実験室的に検討した。その結果、以下の事が分かった。

- (1) 生し尿をばっ気処理し、活性汚泥を分離する事なく、ばっ気装置に直接オゾン発生装置を接続してオゾン酸化を行うと、汚泥の沈降性、処理水質とも、単にばっ気を行った場合と比較して、良好に処理される。
- (2) 生し尿を嫌氣的に放置すると、BODの変化はみられなかったが、SSとCODが良好に除去された。
- (3) 生し尿を凝集沈殿処理した処理水をばっ気処理すると、単にばっ気を行った場合と比較して、BODの処理性は悪かった。

文 献

- 1) 埼玉県環境部環境整備課：し尿処理施設整備状況、92pp、一般廃棄物処理事業の概要（昭和63年度）
- 2) 埼玉県：1990年版 環境白書 171pp.

- 3) 稲村江里ら：前処理にオゾンを用いたときの生物処理や凝集沈殿処理への影響、埼玉県公害センター研究報告、[16]、98～105、1989.
- 4) 日本工業標準調査会：工場排水試験法（JIS K 0102、1986）
- 5) 日本下水道協会：下水試験方法（1984）
- 6) 埼玉県公害センター：水質分析方法検討調査－イオンクロマトグラフの精度試験－（昭和63年3月）
- 7) 加納享一：オゾン濃度の測定法について、用水廃水ハンドブック(1)、産業用水調査会、525pp、1976.
- 8) E. Gilbert：Biodegradability of Ozonation Products as a Function of COD and DOC Elimination by Example of Substituted Aromatic Substances, Wat. Res., **21**, 1273-1278, 1987.
- 9) J. van Leeuwen and A. Pretorius：Sludge Bulking Control with Ozone, J. Inst. Water Environ, Mgmt., **2**, 223～227, 1988.