

B-12 長期間曝気法における養豚排水処理水の オゾン酸化に関する研究

○小牧 義知^{1*}・増田 純雄¹・後藤 洋規²・安井 賢太郎²

¹宮崎大学工学研究科土木環境工学専攻（〒889-2154宮崎市学園木花台西1丁目1番地）

²日本ヒューム株式会社（〒105-0004東京都港区新橋5丁目33-11）

* E-mail: komaki@civil.miyazaki-u.ac.jp

1. はじめに

家畜排せつ物は従来、野積みや素掘り貯留といった不適切な処理により硝酸性窒素による地下水汚染等の畜産環境問題を引き起こしてきた。これらを解消すべく、平成16年11月に「家畜排せつ物の管理の適正化および利用の促進に関する法律（家畜排せつ物法）」が完全施行され、家畜排せつ物の適切な処理が求められるようになった。現在、活性汚泥処理をはじめとする生物処理が主流となっており、SS、TOCやCOD等の有機物除去が行なわれている。しかし、生物処理だけでは難分解性有機物である色度成分を十分除去できず、生物処理後の畜産排水の河川放流や処理施設の外観上から近隣住民に不快感を与えているのが現状である。

著者らは長期間曝気による活性汚泥処理された養豚排水（養豚排水処理水）にオゾン処理を行い、脱色等を目的とした有機物除去等について検討している。これまでの実験室規模での実験から色度、COD等について効率的な除去が可能であることを報告している¹⁾²⁾。本論文では処理水量をこれまでの約10倍としたプロトタイプの実験装置を用いた実験を行ない、その結果に考察を加えて報告する。

槽からなっており、1槽から6槽の順に処理が行われている。処理施設の全体容積は約750m³であり、各処理槽の容積は1、2槽:199m³、3槽:103m³、4槽:90m³、5槽:58m³、6槽:49m³、7槽:45m³である。また、1槽から5槽は曝気槽、6槽は沈殿槽、7槽は貯留槽であり、曝気量は5.7m³/日である。なお、貯留層の処理水は豚舎の洗い水として使われている。

(3) 各槽の水質

各槽の水質は表-1から明らかなように、1槽から7槽の順にTOC、COD_{Cr}の有機物やその他の水質が低下している。一方、5槽以下の色度や生物分解性を表すDOC/E₂₆₀にほとんど変化がみられない。この原因は生物分解できない有機物が残っているためだと考えられる。2槽から硝化反応が生じており、pHもそれにともない低下している。

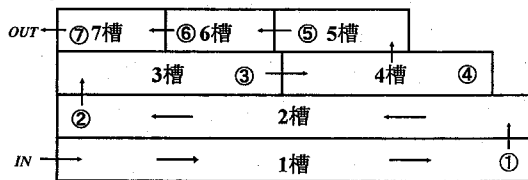


図-1 養豚排水処理施設の概略図

2. 施設の概要

(1) 豚舎規模

K養豚場における飼養頭数は約800頭（繁殖豚：約90頭、肥育豚：約350頭、子豚：約350頭）である。排せつ物処理方法は糞尿分離であり、固形物は堆肥として利用し、分離液のみを処理している。排水量は冬場：約5m³/日、夏場：約10m³/日である。

(2) 排水処理施設

図-1に養豚排水処理施設の概略図を示す。処理槽は全7

表-1 各槽の水質

各槽	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
項目							
pH(-)	8.13	7.97	7.19	7.23	7.66	7.40	7.65
SS(mg/L)	2985	4300	3130	2025	1937	188	143
TOC(mg/L)	1992	762	345	237	217	163	150
DOC(mg/L)	925	382	146	194	107	122	104
COD _{Cr} (mg/L)	4540	4480	3210	2250	2290	363	308
NH ₄ ⁺ -N(mg/L)	630	165	27.3	3.55	3.55	27.0	10.7
NO ₃ ⁻ -N(mg/L)	6	45	104	155	134	85	77
NO ₂ ⁻ -N(mg/L)	0.10	5.30	28.5	0.19	0.30	0.45	1.83
E ₂₆₀ (ABS)	6.15	2.49	2.35	2.10	2.14	2.17	1.84
DOC/E ₂₆₀ (-)	150	153	62	92	50	56	57
色度(度)	735	370	327	290	306	308	264

3. 実験装置と実験方法

(1) 実験装置

図-2に実験装置を示す。オゾン曝気槽は、容積80L ($27\text{cm}^{\text{W}} \times 27\text{cm}^{\text{L}} \times 110\text{cm}^{\text{H}}$) であり、その中に養豚排水処理水を60L入れ、オゾン曝気を行なった。オゾンガスは純度99.5%の酸素ガスを用いて、オゾン発生器（株式会社 インパル製）に供給し、回転電極式によりオゾンを発生させた。オゾンガスはオゾンモニタ（荏原実業株式会社製）によりオゾンガス濃度を測定した後、オゾン曝気槽中の空気自給式エアレータ（株式会社 寺田ポンプ製作所製）により、曝気を行なった。排オゾンガスはウォータートラップを経て活性炭により処理し、大気中に放出した。

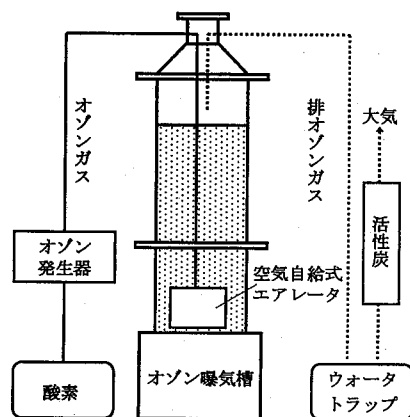


図-2 実験装置

(2) 実験方法

実験に用いた試料水は表-1に示した各槽の水質より、4槽から7槽を用いた。なお、1槽から3槽まではSS濃度が3000から4000mg/L付近にあり、懸濁物質の沈降が見られなかったことから試料水に用いなかった。

オゾンガス流量は15L/minに固定し、オゾン曝気は15、30、45、60分間行なった。オゾン注入率は $125 \text{ g/m}^3 \cdot \text{hr}$ とし、実験を行なった。また、4槽、5槽の試料水は懸濁物質を除去するため、1時間自然沈降後、上澄み水を試料水として用いた。

水質分析項目³⁾はpH、SS、TOC、DOC、COD_{Cr}、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^+\text{-N}$ 、 E_{260} 、色度である。また、色度は0.45 μm ろ紙でろ過した液を390nmの吸光度により測定を行なった。

表-2 試料水質

各槽	④	⑤	⑥	⑦
項目				
SS(mg/L)	253	272	205	120
DOC(mg/L)	80	89	98	109
$\text{NH}_4^+\text{-N(mg/L)}$	3.40	2.60	24.0	8.90
$\text{NO}_3^+\text{-N(mg/L)}$	165	116	75	101
$\text{NO}_2^+\text{-N(mg/L)}$	0.24	0.10	0.47	6.4
$\text{E}_{260}(\text{ABS})$	2.04	2.07	2.08	2.07
色度(度)	274	286	287	286

4. 実験結果と考察

表-2にオゾン曝気実験に用いた試料水質を示す。4、5槽の1時間自然沈降後のSS濃度は253、272mg/Lであり、それぞれ87、81%の除去率である。色度においては274、286度であった。また、6、7槽のSS濃度は205、120mg/Lであり、色度は287、286度である。各槽における難分解性有機物の指標である E_{260} の値は2.07前後であった。

図-3にオゾン曝気時間と色度の経時変化を示す。各槽の初期色度は280度前後であり、オゾン曝気60分では25度前後となった。各槽全ての色度が低くなり、90%以上の高脱色率を得た。一方、オゾン曝気30分間までの7槽における脱色が他の槽と比べ低下した原因は、亜硝酸イオンが存在すると、オゾンが硝酸イオンへの硝酸化反応に消費され脱色効率が低下する⁹⁾とされていることから、本実験においても7槽の亜硝酸性窒素濃度が6.4mg/Lと他の槽と比べ高かったためであると考えられる。

図-4にオゾン曝気時間とCOD_{Cr}の経時変化を示す。各槽の除去率は4槽から7槽の順に61、57、50、47%であり、

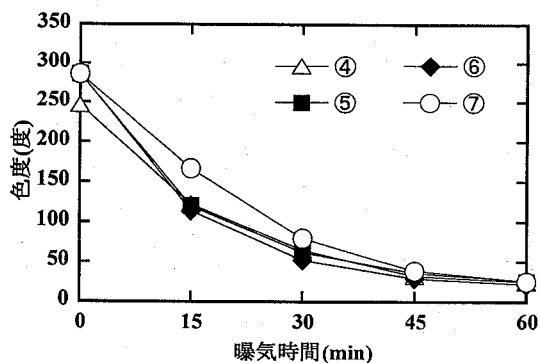


図-3 オゾン曝気時間と色度の経時変化

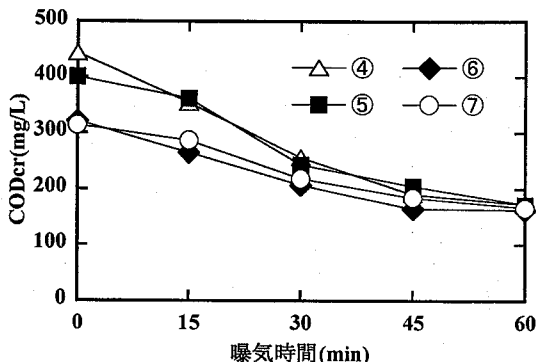


図-4 オゾン曝気時間とCOD_{Cr}の経時変化

初期COD_{Cr}濃度が高い槽ほど高除去率であった。色度成分はCOD成分中の難分解性有機物の一部⁹⁾と言われているが、脱色率ほど除去率は高くなかった。脇谷らはオゾン曝気によりCOD成分の一部である色度以外の成分が分解できなかったことを報告⁹⁾しているが、本実験においてもオゾン曝気60分ではCOD成分中に含まれる色度成分しか除去できなかったものと考えらる。また、4、5槽と6、7槽の初期COD_{Cr}濃度はそれぞれ444、401 mg/Lと322、314 mg/Lであり、4、5槽の初期濃度、6、7槽の初期濃度がほぼ同じであるにもかかわらず、オゾン曝気30分から60分まで各槽のCOD_{Cr}濃度は一定値で減少し、オゾン曝気60分後では165mg/L前後に収束した。このことから60分以上オゾン曝気を行ってもCOD_{Cr}濃度は減少しないと考えらる。

図-5にオゾン曝気時間とTOCの経時変化を示す。オゾン曝気60分間での各槽のTOCにはばらつきがあり、ほとんど除去されなかった。オゾン処理によりTOCは除去されると報告⁹⁾されているが、本実験ではTOCはほとんど除去されなかった。しかし、各槽における難分解性有機物の指標であるE₂₆₀の値は4槽から7槽でそれぞれ0.54、0.54、0.46、0.53とオゾン曝気60分で低下したことから、TOCは除去されるのではなく、TOC成分中の難分解性有機物が易分解性有機物へと変換されただけであり、相対的なTOC濃度は変化していないと考えられる。

図-6にオゾン曝気時間とDOC/E₂₆₀の経時変化を示す。DOC/E₂₆₀の値は生物分解性を表す指標であり、値が高くなると生物分解性が向上したことを意味する。

各槽のDOC/E₂₆₀の値は高くなり生物分解性が向上した。最も生物分解性が向上したのは6槽で71%の向上がみられた。オゾン曝気を長時間行なうと、DOC/E₂₆₀の値はピークを迎え、その後低下することを報告⁹⁾したが、本実験では難分解性有機物の値(E₂₆₀の値)が高かったことからDOC/E₂₆₀の値の低下はみられなかった。

5. おわりに

長期間曝気法における養豚排水処理水のオゾン酸化に関する実験を行なった結果、以下の知見が得られた。

1) 養豚排水処理水は効果的に脱色され、オゾン曝気60分で25度前後となり、修景用水に規定⁷⁾されている40度をクリアし、90%以上の高脱色率を得ることができた。また、先に報告した実験室規模での実験と比較するとオゾン注入率は約1/4であるにもかかわらず、脱色率は同等の結果が得られた。2) 亜硝酸性窒素が6.4mg/L程度でも脱色率に影響することがわかった。3) COD_{Cr}は除去できるがTOCの有機物はほとんど除去できない。4) オゾン処理により、難分解性有機物を易分解性有機物に変換し、生物分解性が向上する。

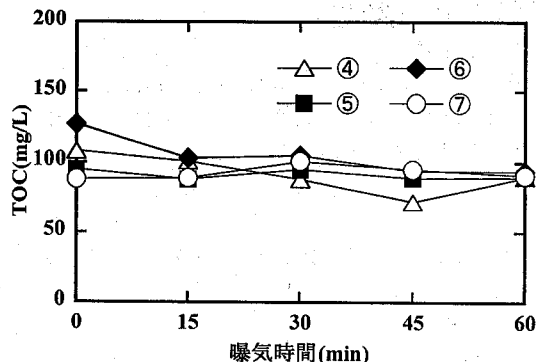


図-5 オゾン曝気時間と TOC の経時変化

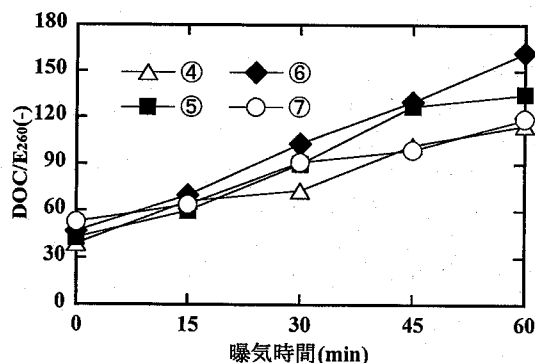


図-6 オゾン曝気時間と DOC/E₂₆₀ の経時変化

本実験によりプロトタイプの実験装置を用いた養豚排水処理水のオゾン酸化について色度、COD_{Cr}、ともに効果的な除去が得られた。今後は連続式実験を行い、実用化について検討する予定である。

参考文献

- 1) 福永将也, 小牧義知, 増田純雄, 後藤洋規, 安井賢太郎, 岡田克美, 丸川貴史; 平成17年度 土木学会西部支部研究発表会 講演集 第VII部門, pp.1115-1116 (2006)
- 2) 小牧義知, 増田純雄, 後藤洋規, 安井賢太郎; 第16回 日本オゾン協会年次研究講演会 講演集, pp.114 (2006)
- 3) 日本分析化学会北海道支部 編; 水の分析 第5版 化学同人 (2005)
- 4) 特定非営利活動法人 日本オゾン協会 オゾンハンドブック pp.70
- 5) 脇谷裕一郎, 松尾孝弘, 坂井隆宏, 岩永致悦; オゾンを利用した汚水処理水脱色技術の開発(第2報) 佐賀県畜産試験場 試験成績書40 (2004) pp.52
- 6) 杉光英俊 著, オゾンの基礎と応用 pp.200
- 7) 国土交通省国土技術政策総合研究所; 下水処理の再利用水質基準等マニュアル