

B-16. 地球温暖化抑制のための汚水・廃棄物処理処分システムの確立と評価に関する研究

- (1) 汚水・廃棄物の処理処分に伴う温室効果ガス発生量、有効利用可能エネルギー量、リサイクル可能資源量の評価と解析に関する研究

① 温室効果ガス排出抑制のための汚水処理システムに関する研究

研究代表者 国立環境研究所 稲森 悠平

(委託先) 東北大学工学部 須藤 隆一

平成4～6年度合計予算額 11,520千円
(平成6年度予算額 3,975千円)

要旨

温室効果ガスのうち、二酸化炭素（ CO_2 ）、メタン（ CH_4 ）、亜酸化窒素（ N_2O ）は、汚水処理施設や廃棄物施設から多量に発生することが知られている。これらの温室効果ガスの発生量は産業や自然からのものがほとんどを占めていると言われているものの、その総量と発生源別の割合は明快には把握されていない⁽¹⁾。

本研究は汚水処理施設及び廃棄物処理施設からの温室効果ガスの発生量の測定を行い、その原単位を算定し、温室効果ガスの削減を図るための汚水・産業廃棄物処理・処分システムを構築することを目的とする。汚水処理施設としては下水処理場及び浄化槽を取り上げた。廃棄物は多種多様であるが、有機物として最も多量に排出される豚舎廃棄物を対象とした。

わが国の下水道の人口普及率は49%であり⁽²⁾、また浄化槽の設置数は約700万基である。また豚舎の飼育数は1000万頭である。下水処理場（標準活性汚泥法）からの CO_2 、 CH_4 、 N_2O の発生量は N_2O に関してはごく僅かであり、 CO_2 が0.04～0.08g/日・人、 CH_4 が0.09～0.32g/日・人であり、わが国での発生総量はそれぞれ5.29～18.80t/日、2.35～4.70t/日と算定された。一方浄化槽からの温室効果ガスの発生量は処理方式によって著しく異なった。 CH_4 は嫌気ろ床からの発生量が多く、 N_2O は接触曝気槽から僅かに発生した。また CO_2 の発生量は処理機能との関連は見られなかった。豚舎の循環処理システムからの発生量は、豚舎一頭一日当たり、 CH_4 277mg、 CO_2 135gであった。

これら発生源からの温室効果ガスの削減手法についても検討を加えた。

キーワード 温室効果ガス、下水処理場、浄化槽、豚舎廃棄物

1. はじめに

地球温暖化は、周知の通り大気中に地表面から放出される赤外線を吸収する物質（二酸化炭素： CO_2 、メタン： CH_4 、亜酸化窒素： N_2O 、フロン： CFC ）が増加することによって生ずる。大気中の CO_2 、 CH_4 、 N_2O の濃度はそれぞれ355ppm, 1.7ppm, 310ppb, 0.25ppb程度であり、 CO_2 は CH_4 の200倍、 N_2O の1000倍の濃度になっている。しかし、各成分の温度効果に対する寄与率（IPCC 1990）は CO_2 が55%、 CH_4 が15%、 N_2O が6%、 CFC が24%であり、 CH_4 、 N_2O と CFC の濃度は CO_2 に比べて極端に低いにもかかわらず寄与率が高い。これは、この2つの成分が1分子当た

りの赤外線放射加熱量がCO₂よりも高い上に増加率も大きいためである。このうち、CO₂とフロンについては、発生源が特定され、それぞれからの発生量がだまかに算定されている。CO₂については化石燃料の消費と陸上植物の現存量と活性変動が主なる原因と考えられる。フロンは100%工業的生産物でありその生産が規制されている。しかし、CH₄とN₂Oについてはともに、さまざまな自然および人為的な過程で生産されるために、その総量と発生源別の発生量も判然としない⁽³⁾。大気中のCH₄濃度は年間1%の割合で上昇していることが明かとなり、最近の温室効果寄与率の割合も高くなっている。CH₄濃度の増加は人間活動に起因するものとして、石炭、天然ガスの採掘や輸送・使用の際の漏れ、水田面積の増大、廃棄物埋立地、バイオマス燃焼、家畜頭数の増大などがある。N₂OはCO₂の1分子当りの温室効果を1とした場合200倍相当の寄与率と言われている。N₂Oは温室効果だけではなく成層圏のオゾン層破壊にも関係している。N₂Oは平均寿命が150年もある安定したガスであるため、対流圏から成層圏に流れ込み原子酸素と反応してオゾン消費する。N₂Oの放出源は森林・草原等のバイオマス燃焼、窒素施肥とが大きな関わりを持っているが、一般の土壌、海洋、陸水からも放出されていることが知られている⁽⁴⁾。しかしながら、バイオマス燃焼及び施肥とも放出源の正確な割合をつかめないのが現状であり、発生量の測定を積み重ねて行う必要がある⁽⁵⁾。

CH₄は、污水处理システム中では嫌気条件下で発生し、一方N₂Oは、污水处理した際の硝化及び脱窒過程で発生する⁽⁶⁾。これまでの污水处理は、処理にのみ重点が置かれ、温室効果ガスの発生量の測定例が少なく、処理システムからの放出量を継続的に測定を行い、大気中に放出する量を極力少なくする操作を講ずる必要がある⁽⁷⁾。

本研究はこのような背景をふまえ、污水处理施設及び廃棄物処理施設からの温室効果ガスの発生量の測定に基づいて原単位を測定し、温室効果ガスの削減を図るための污水廃棄物処理・処分システムを構築することを目的として実施した。本研究では特に下水処理場、浄化槽、畜舎廃棄物を対象にしその研究成果を報告する。

2. 研究方法

(1) 下水処理場調査

今回調査したY下水処理場は公共下水道の終末処理場であり、処理対象地域の水洗化普及状況を表-1に示す。平成5年度における処理量は4500m³day⁻¹、処理人口11.9千人、5年度末の下水道普及率は20.0%となっている。

また、Y処理場での処理方法は標準活性汚泥法であり、処理プロセス及び水質、ガス分析それぞれのサンプリング地点を図-1に示した。各処理施設の諸元は、最初沈殿池（幅6.5m x 30m x 有効深さ3.0m）、曝気槽（幅6.5m x 68m x 有効深さ5.5m）x2基、最終沈殿池（幅6.5m x 42m x 有効深さ3.0m）であり、調査期間は平成6年度11月～7年4月である。

ガス成分の分析試料のサンプリングは、最初沈殿池、最終沈殿池に関しては一日放置し、ガストラップ装置（50cm x 50cm）を用いてテトラパックにて捕集を行った。曝気槽の2ポイントについては、簡易式の小型ポンプを用いてテトラパックに流入させ、20秒間の捕集を行いそれを単位時間当たりのガストラップ量としている。水質分析には「下水処理試験法」に準じて行った。

表-1 水洗化普及状況（平成6年3月31日現在）

	総人口	水洗化人口	水洗化率（％）
D町	21741	3044	14.0
OS町	10415	271	2.6
T町	21555	11467	53.2
O町	6013	493	8.2
合計	59724	11936	20.0

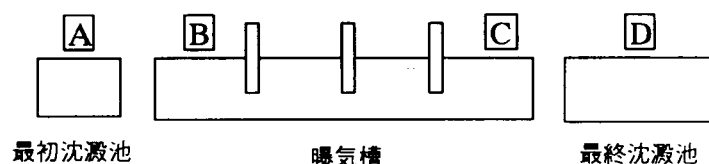


図-1 Y 終末処理場処理プロセス
（A,B,C,Dはサンプリングポイントを示す。）

（2）浄化槽調査

今回調査を行った浄化槽は、旧基準の単独処理の曝気型4基と、新基準の単独処理の分離接触曝気型2基、合併処理の嫌気ろ床接触曝気型2基である。

6人槽の有効容量 3.832m^3

内訳：嫌気ろ床 2.006m^3 接触曝気槽 1.265m^3 沈澱槽 0.561m^3

7人槽の有効容量 4.372m^3

内訳：嫌気ろ床 2.413m^3 接触曝気槽 1.444m^3 沈澱槽 0.515m^3

水質分析用の試料の採取は、旧基準の単独処理、曝気型では曝気室（原水）と処理水として沈澱室の上澄水を採取した。同型の4基について採水した。また、新基準の単独処理、分離接触曝気型では、処理水として沈澱室上澄水を採取した。調査は同型の2基である。合併処理、嫌気ろ床接触曝気型では原水として嫌気槽より、処理水として沈澱槽上澄水を採取した。調査は、6人槽と7人槽の2種について各1基ずつ採取した。測定項目はBOD,COD,SSである。

ガス成分分析用試料の採取は、曝気型では、曝気室水面付近の曝気空気を小型ポンプを用いてテトラパックに、さらに分離接触曝気型の第1、第2曝気室と、嫌気ろ床接触曝気槽でも、同様の方法で採取した。また、嫌気状態であり CH_4 等のガスが発生すると思われる分離接触曝気型の沈澱分離室と嫌気ろ床接触曝気型の嫌気ろ床の発生ガスの採取は、 $25\text{cm} \times 25\text{cm}$ の内容積 $16,400\text{cm}^3$ のガストラップ装置を用い、空気が入らないように装置を汚水中に沈め、24時間後にガスをテトラパックに捕集した。調査は、曝気型が平成5年12月に、分離接触型と嫌気ろ床接触曝気型は平成6年3月に調査を行った。

（3）豚舎廃棄物場調査

調査した豚舎廃棄物場の概要は図-2に示した。調査地点は3箇所、一つは当養豚場は子豚からの一貫生産体制であり母豚、子豚、成長途中の豚、大人豚など大きさの異なる豚の豚舎があるが大人豚の豚舎No.2000を、2つ目は処理の嫌気性槽である第1発酵槽を、

3つ目は、余剰処理水は、畑に還元して処理を行っているので畑を調査地点とした。さらに、第1、第2曝気槽からの流出ガスと、豚舎No.2100の空気についても測定をした。

3ポイントの試料の採取は、50cmx50cm角の内容積約65500cm³、底面積2500cm²、のガストラップ装置を用いて行った。採取地点である豚舎No.2000内のピットと、第1発酵槽からの採取は空気が入らないようにトラップ装置を汚水中に沈め、1日後にガスをテトラバッグに捕集した。また、畑地からの採取は、電動式ポンプでトラップ装置内のガスを引き抜きその一部をテトラバッグに捕集した。

調査期日は、No.2000豚舎ピット、及び第1発酵槽が平成5年2月15日 10:00より2月16日10:00まで、畑地は2月15日10:30に開始して12:00、15:30、17:30、2月16日10:30に採取した。また、2月15日に第1、第2曝気槽からの流出ガスと豚舎内NO.2100の空気を採取した。

(4) ガス分析方法

ガス分析はO₂、N₂、CH₄については島津ガスクロ8Aを用い、分離カラムには内径2mm 長さ3mガラスカラムに40/60メッシュのモレキュラーシーブ5Aを充填し、検出器はTCDを用いた。また、N₂O、CO₂に関しては島津ガスクロ9Aを用い、内径2mm 長さ3mガラスカラムに40/60メッシュのポラパックQを充填し、検出器はECDを用いている。

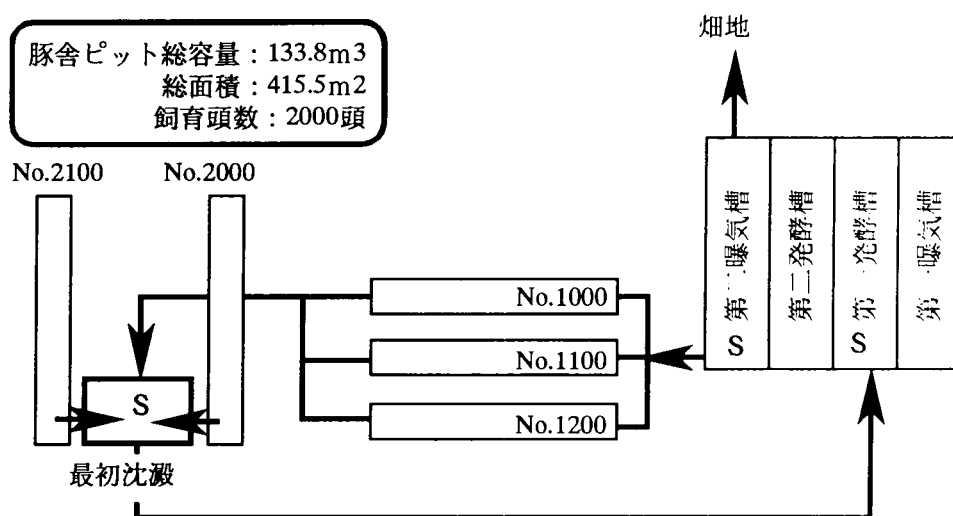


図-2 調査した豚舎システムの概要
(Sはサンプリング地点を示した。)

3. 結果及び考察

3-1 下水処理場

3-1-1 システムの概要

現在の下水道の普及率は約49%(環境庁、1994)である。表-2に人口規模別の下水道普及率を示す。建設省の第7次下水道整備5か年計画では、平成7年度までに処理人口普及率を54%とすることとしている。この計画に関する重要事項として、普及が遅れている中小市町村の下水道整備および未着手の市町村の新規着手を促進すること、水質保全のための下水道事業を推進するとともに積極的に高度処理を実施して行くこと、さらに、

大都市などにおける下水道の機能を改善し、質的向上を図るための事業を推進するなどの項目が列記されている。さらなる下水道の整備強化が図られることが大きくうたわれており、今後益々下水処理の果たす役割は増大するものと思われる。

そうした昨今の社会的要求をトータルな面から満足のゆくシステムを構築する必要がある。水環境浄化のための処理システムの位置づけだけでなく、無視できない地域内のガス発生源として認識を新たにして行く必要がある。

表-2 都市人口規模別下水道実施状況 (平成5年度末)「日本の下水道 1994」

人 口 規 模	100万人	50から100	30～50	10～30	5～10	5万人未満	計
総人口(万人)	2478	596	1742	2501	1564	3551	12432
処理人口(万人)	2350	377	996	1322	607	455	6107
総都市数	11	9	45	153	227	2791	3236
実施都市数	11	9	45	153	220	1224	1662
共用都市数	11	9	45	150	199	670	1084
処理普及率(%)	95	63	57	53	39	13	
主 な 都 市	東京区部 横浜市 名古屋市 京都市 北九州市	仙台市 千葉市 相模原市 堺市 鹿児島市	旭川市 宇都宮市 富山市 長野市 静岡市 姫路市	土浦市 小田原市 寝屋川市 宇部市 今次市	十和田市 秩父市 伊東市 舞鶴市 荒尾市	網走市 高島町 大井町 吉野谷村 和気町 牟礼町	

(注)

総都市数3236の内訳は、市664、町1993、村579 (東京区部は市に含む。)

実施都市数は、公共下水道または特別環境保全公共下水道実施市町村数

表-3 各槽からの発生ガス組成

	gas(%)	最初沈殿池	第一曝気槽	第二曝気槽	最終沈殿池
Nov.10.'95	CO ₂	0.51	0.19	0.11	0.10
	CH ₄	4.0	ND	ND	0.14
	N ₂ O	ND	0.02	0.03	ND
Nov.21	CO ₂	13.5	0.30	0.39	11.0
	CH ₄	32.7	ND	ND	29.7
	N ₂ O	ND	0.02	0.03	ND
Dec.12	CO ₂	8.84	0.19	0.05	2.2
	CH ₄	43.020	ND	ND	65.3
	N ₂ O	ND	0.02	0.05	ND
Apr.06.'95	CO ₂	7.46	0.43	0.33	3.19
	CH ₄	54.948	ND	ND	64.1
	N ₂ O	ND	0.035	0.012	ND
Apr.12	CO ₂	6.59	0.53	0.17	2.44
	CH ₄	46.464	ND	ND	65.3
	N ₂ O	ND	0.04	0.01	ND

ND 検出されず

3-1-2 測定結果

平成6年度夏頃にこの処理場では様々な要因から硝化細菌をウォッシュアウトさせてしまっており、硝化が顕著には起こっていない(図-3)。MLSSは一般的な終末処理場として通常の範囲にある(図-4)。

図-5には今回の調査期間における、最終沈殿池のガス発生量と水温の変化を示した。気温の上昇は認められるものの、水温とガス発生量との関係は認められなかった。また、最初沈殿池、最終沈殿池からのN₂Oの発生は認められなかった。このY終末処理場では前述

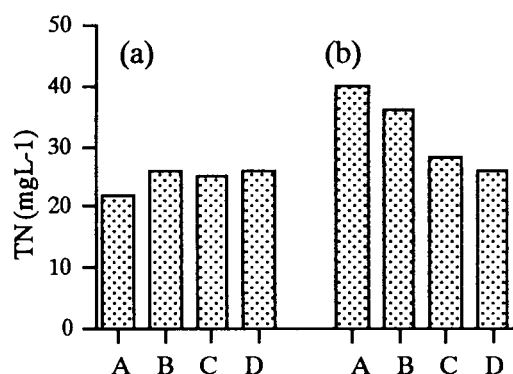


図-3 各採取点からの全窒素量の変化

(a)平成6年11月10日 (b)平成7年4月16日
A:最初沈殿池 B:第一曝気槽
C:第二曝気槽 D:最終沈殿池

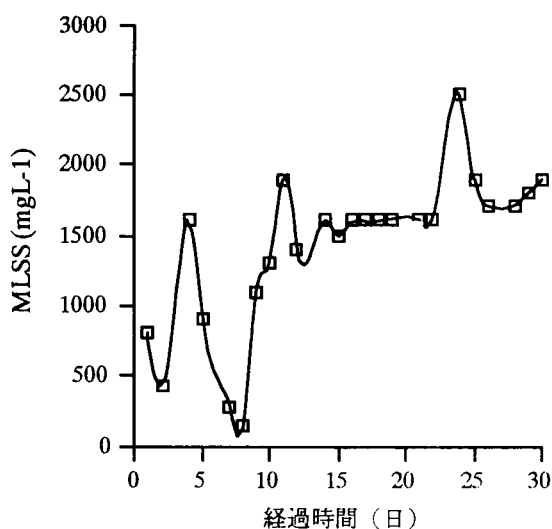


図-4 平成6年11月のMLSSの経時変化

したように硝化反応がさほど顕著には認められていないがために今回のような結果となった。しかし、放流後の自然河川中で引き続き高濃度の窒素分をめぐって、生物的な硝化脱窒が進行することは容易に推察されうる。 N_2O を鑑みた場合、終末処理場での高度処理の必要性の検討がさらに加えられるべきである。

図-6に最初沈殿池からの CH_4 発生量とBODとの関係を示した。流入原水BODと CH_4 の発生量は相関が高い。一般家庭、もしくは工場事業所から排出された污水が、終末処理場にたどり着くまでには当然DOの低下は避けて通れない現象である。この間に嫌気的な腐敗現象が起こるために、配管の腐食は当然のこと、流入口での CH_4 の発生へと繋がってくるものと思われる。さらに、 CH_4 で注目すべき点は最終沈殿池からの発生量である。表-3から明らかなように、平成6年12月でのサンプリングと平成7年4月の期間において CH_4 の発生が無視できない値となっている。余剰汚泥と CH_4 、 CO_2 発生量の関係から高い相関が認められた(図-7)。 CH_4 、 CO_2 の一人一日当たりの発生量はそれぞれ0.09～0.32g、0.04～0.08gであった。

今回の調査では硝化が顕著には発現していない処理場を対象としての結果であったが、最終沈殿池及び最終沈殿池で温室効果ガスが発生している。しかし、そのときの状態により活性汚泥の性状、処理水質はもとより、温室効果ガス発生に関しても影響が出てくるのが今回の調査からも明らかにされた。污水处理システムとしての本来の役割を当然のことながら第一義としつつ、全体的なバランス、つまり地球温室効果ガスの発生源であることを念頭におき、新たな視点を加味した処理システムを構築するために水圏はもとより、気圏をも考慮した更なる検討をおこなってゆく必要がある。

3-2 浄化槽

3-2-1 浄化槽の概要

浄化槽は正確にはし尿浄化槽と呼ばれており、単独処理浄化槽と合併処理浄化槽とが

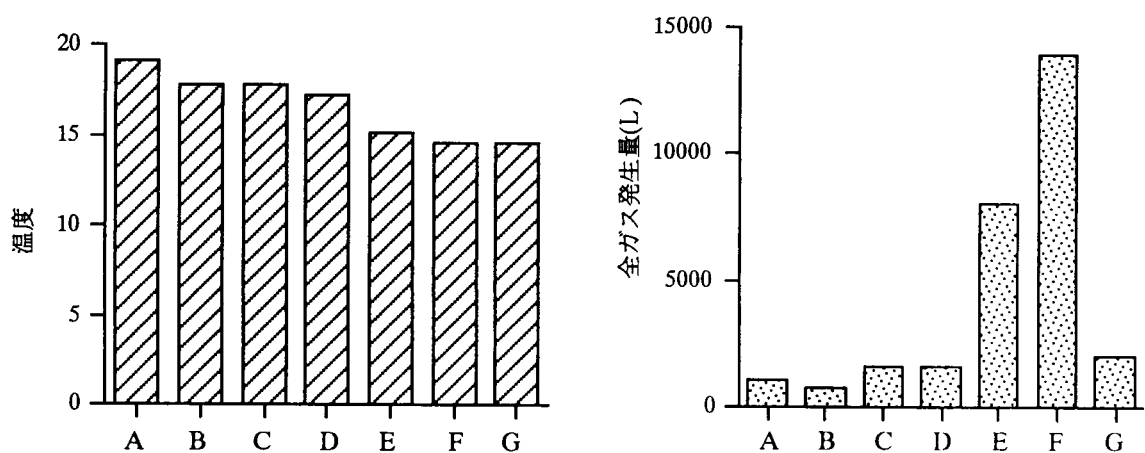


図-5 最終沈殿池での水温変化と全ガス発生量

A:平成6年11月10日 B:11月17日 C:11月18日 D:11月18日 E:12月12日 F:平成7年4月6日
G:4月12日

ある。浄化槽が処理対象としている汚水は、建築基準法施行令によると「し尿をはじめ、厨房、浴室等からの雑廃水、設備機器類からの排水等を含むものである。」と定義している。

わが国では、稲作中心の農業が発達し、汲み取り便所に貯留されたし尿は貴重な肥料として利用され調和のとれたリサイクルが行われてきた。浄化槽が取入れられたのは明治以降の先進国の生活様式が取り入れられてからで、最初に浄化槽が設置さ

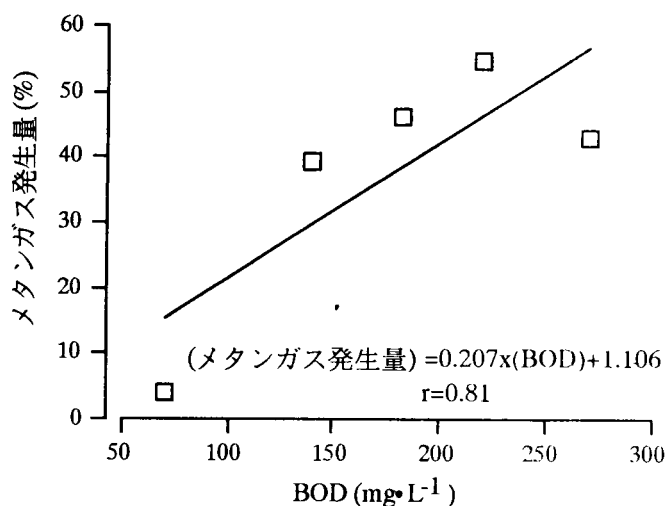


図-6 最初沈殿池でのBODとメタンガスとの相関

れたのは明治44年と言われている。その後様々な浄化槽が開発され、昭和40年代に構造基準、維持管理基準の制定が行われ、浄化槽の普及が急速に進んだ。浄化槽は当初は都市域に普及していたが、昭和50年代になると都市近郊ばかりではなく農村地域においても都市的生活様式の普及により公共水域の水質汚濁が進み浄化槽を生活排水の処理方法として取り入れられてきた。生活排水の処理は図-8に示すように、平成2年度末現在、わが国の総人口の約3分の2に当たる8,140万人（65.9%）が水洗便所を使用しており、残りの4,208万人（34.1%）は汲み取り便所である。水洗化人口の内訳は、公共下水道によるものが4,780万人（38.7%）、浄化槽によるものが3,359万人（27.2%）である。また、浄化槽利用人口のうち、798万人はし尿と生活排水の合併処理によるものである。表-4の水洗化率の推移をみると、浄化槽によるものが横ばい傾向にあり、これは、浄化槽の普及と下水道の普及がほぼ等しくなっていることを示す。浄化槽の設置基数は毎年20～30

万基ずつ増加しており、平成2年度末現在、全国で約684万基が設置されている。その内訳は、規模が20人槽以下の小型のものが581万基で全体の約85%を占めており、処理方法では、し尿のみを処理する単独処理浄化槽が664万基で全体の約97%を占め、合併処理浄化槽は21万基（3%）にすぎない。しかし、平成2年度に新設された浄化槽は37万基であるが、その内合併浄化槽が15%を占めており、急速に普及している。表-5に平成2年度に新設された浄化槽の処理方法別の基数とその割合を示す。単独型では分離接触ばっ気型が、合併型では嫌気ろ床接触ばっ気型が多く設置されている。単独処理浄化槽は、水洗便所汚水のみを処理する装置であり、流入汚水は水洗便所汚水である。し尿の排せつ量は大便<成人1人1日当り100~180g>、尿<800~1,500ml>の範囲にある。両者を合わせるとし尿の量は、1.2~1.5 L/人・日程度となる。標準としては、1人1日当り1Lが用いられている水洗便所汚水は、排せつし尿とトイレットペーパーが便器洗浄水で希釈される。洗浄水量は1人1日40~60L程度であり、標準として汚水量は、し尿1Lに対して洗浄水量49Lを使用するとして、合計1人1日50Lとなる。し尿のBODは13,500mg/Lが標準であり汚水量50Lとすると汚水の濃度は260mg/Lとなる。戸別浄化槽（人員6名）での排出特性は、ピークが午前6時~8時、午後6時~10時の2つとなる流出特性を示す。（表-6に住宅汚水の標準的な水量・水質を示す。）

●処理人口等(単位：千人)

●処理系統図(単位：㎥、()は千㎥/年)

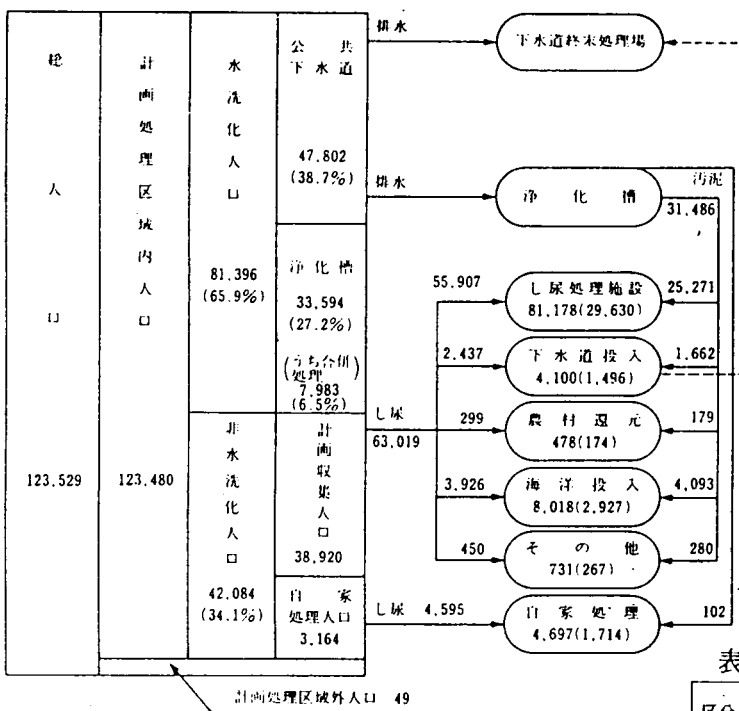


図-8 し尿処理の状況(全国、平成2年度実績)

表-4 水洗化率の推移(全国) (単位：%)

年度	昭和60	昭和61	昭和62	昭和63	平成元	平成2
浄化槽	26.7	27.1	27.4	27.1	27.4	27.2
公共下水道	29.3	30.9	32.6	34.7	36.4	38.7
合計	56.0	58.0	60.0	61.8	63.8	65.9

表-6 住宅汚水の標準的な水量・水質

排、出 源		汚水量 [ℓ/人・日]	B O D	
			負荷量 [g/人・日]	濃度 [mg/ℓ]
便 水	便 所	50	13	260
雑排水	台 所	30	9	75
	洗 滌	40		
	風 呂	50		
	洗面 掃除雑用	20 10		
計		200	40	200

表-5 平成2年度に新設された浄化槽(全国、処理方式別)

区分	処理方式	設置基数	割合(%)	全体に占める割合(%)
合併処理浄化槽	小計	55,844	100.0	14.9
	分離接触ばっ気	5,314	9.5	1.4
	嫌気ろ床接触ばっ気	37,065	66.4	9.9
	回転板接触	40	0.1	0.0
	接触ばっ気	11,276	20.2	3.0
	散水ろ床	31	0.0	0.0
	長時間ばっ気	568	1.0	0.2
	その他	1,550	2.8	0.4
単独処理浄化槽	小計	318,390	100.0	85.1
	分離接触ばっ気	286,964	90.1	76.7
	分離ばっ気	30,669	9.6	8.2
	散水 床	53	0.1	0.0
	その他	704	0.2	0.2
合計		374,234		100.0

合併処理浄化槽は、水洗便所汚水のほか台所排水、洗濯排水、風呂排水、洗面排水その他の雑用排水を併せて処理するもので、単独処理浄化槽に比べて水量が多い。一般の集合住宅では給水量は710±110L／戸・日程度、排出比（汚水量／給水量）は0.8～0.9程度で残りの10～20％は浄化槽に流入しない屋外清掃、散水、洗車などに使用されているものである。家族が5人の場合、総汚水量は1日当たり1,312L（実測値）で午前8時～11時の汚水量が全汚水量の44％である。1時間当りの汚水量を24時間平均汚水量で割った値をピーク係数とすると9-10時の値は5である。この様に戸建住宅では変動係数が大きい。合併浄化槽は、計画汚水量を200L／人・日と設定しているが浄化槽の容量・構造が十分対応出来る設計となっている。原単位は表-6のようにBOD負荷量：40（g 人・日）、汚水のBOD：200（mg/L）、汚水量：200（L／人・日）である。

浄化槽の構造基準は昭和56年に新構造基準が制定され、これより古いものを旧構造基準とすると浄化槽の20人槽以下のものは平成2年度末現在でその数は、旧基準のものと新基準のものがそれぞれ290万基である。処理方法は、旧基準のものが腐敗型（29.9％）、曝気型（68.7％）の単独処理のものがほとんどであり、新基準のものは、単独処理（95％）と合併処理（5％、50人槽以下は2.5％）では、単独が、分離接触曝気型（68.8％）と分離曝気型（30.9％）であり、合併処理の50人槽以下では、分離接触曝気型（14.7％）と嫌気ろ床接触曝気型（85.3％）である。浄化槽のほとんどが単独処理槽であるが、平成3年度の合併処理浄化槽の新設基数に占める割合が21.3％となり平成2年度と比較すると飛躍的に増加している。

3-2-2 測定結果

調査した水質及びガス分析結果を表-7に示す。

表-7 水質及びガス分析結果

	人 槽 (人)	ポンプ (L/min)		BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	N ₂ (%)	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	N ₂ O (%)	CH ₄ (%)
No1-1	6	40	原水 処理水	640 30	2000 60		A 78.6	21.2	0.16		
No1-2	6	60	原水 処理水	600 15	1900 50		B 78.7	21.2	0.08		
No2-1	10	80	処理水	160	70	45	C 78.6 D 78.6 E 78.8	21.3 21.3 20.5	0.08 0.07	0.02 0.02	0.67
No2-2	10	80	処理水	120	60	70	F 78.5 G 78.6	21.2 21.3	0.08 0.08	0.02 0.06	
No3-1	6	80	原水 処理水	110 85	25 20	27 22	H 78.7	21.3	0.05	0.01	
No3-2	7	80	原水 処理水	900 80	300 30	1500 24	I 78.6 J 2.9	21.3 32.9	0.07	0.01	64.2

No1-1、No1-2<長時間曝気型の単独浄化槽> No2-1、No2-2<分離接触曝気型の単独浄化槽>

No3-1、No3-2<嫌気ろ床接触曝気型の合併浄化槽>

A曝気空気 B曝気空気 C第一曝気 D第二曝気 E嫌気 F第一曝気 G第二曝気
H曝気 I曝気 J嫌気

3-2-2-1 水質

曝気型の原水は、曝気室から採取したため汚泥を含んでおり、し尿の標準BOD濃度260mg/Lと比べるとかなり高く600mg/L前後である。この方法ではBOD除去率65%以上、放流水BODが90mg/L以下の基準であり、処理水のBODが15mg/L～35mg/Lと良好な処理が行われている。分離接触曝気型でも曝気型と同様の基準であるが2基とも処理水のBODが100mg/L以上であり、これは設置後の経過日数が短いことと水温が低いことが原因と考える。また、嫌気ろ床接触曝気型は排水基準がBOD除去率90%以上、放流水の基準20mg/L以下と厳しく、現在稼働している浄化槽では最も新しい機種である。調査を行った2基とも処理効率が悪いが、これは使用してから経過日数が短いために生物が安定していないためである。特に、No.1の原水のBODが低く経過日数が短い。浄化槽の使用初期には生物を投入し処理の安定化を計るが、流入する汚水は家族構成、水の使用方法によっても異なり、更に流入汚水量の変動も大きく、冬季には水温が10℃以下になる場合もあり処理が安定するまでには数カ月～半年程度を要する。

3-2-2-2 ガス

温室効果誘因物質であるCO₂、N₂O、CH₄の発生量は処理方法により異なる。通常、好気的な汚水処理では有機物の最終生成物は水とCO₂であり曝気型処理では増加するはずであるが、その傾向を示したのはNo.4の0.53%のみであり、これは汚水処理性能と直接関連しない結果となった。また、接触曝気型でも曝気室からのCO₂の発生量が低い値であるが、曝気型で発生しなかったN₂Oが僅かに発生した。一方、CH₄は接触曝気型の沈澱分離室で発生しているが水温が低く1基当り8mlの発生量である。同様に、嫌気ろ床接触曝気型の曝気槽でもCO₂の発生量が少なくN₂Oが僅かに発生している。CH₄は合併処理浄化槽の嫌気ろ床で発生しており1基当り1日1221mlの発生量であり1人1日174mlの発生量となる。現在稼働しているこの機種は全国で70,000基（平成2年度）でありCH₄の発生量は61kg/日と試算された。

今後とも多額の費用を必要とする下水道の普及は緩慢であると考え得る。そこで生活排水処理における浄化槽の役割は重要である。従来より浄化槽の処理効果の判定にはMLSS,SVI,処理水BOD濃度と言った間接的な方法で行っている。処理に関与する生物の研究はかなり進行しているが、様々な条件を含む浄化槽においても生物を測定して処理効果を経時的に追跡し、温室効果ガス発生メカニズムとその軽減化を計る必要がある。特に、ここ数年合併浄化槽の嫌気ろ床接触曝気型の普及が激増しておりこの機種の詳細な調査が必要である。

3-3 豚舎廃棄物場

3-3-1 畜産業の概要

畜産業は飼養種により、乳用牛、肉用牛、養豚、養鶏等に分類される。戦後、各家畜とも、経済成長に伴う所得増大によって、食スタイルの欧米化が進展し、畜産物に依存する食生活が浸透し、畜産振興政策の推進と相まって、多くの畜産農家を産み出すに至

り、その後、日本経済の発展とともに畜産物自由化が促進され、国際市場間との競争を余儀なくされ、経営合理化の進展を怠ってきた日本の畜産市場は、まともに自由化の波を受けた。

戦後の畜産業は自給飼料に依存する飼養形態のため、小規模飼養農家が多く、片手間的な経営形態であった。しかし、その後の農産物自由化に伴って購入飼料の低価格化が進み、購入飼料に依存する大規模経営化に拍車がかかることになる。この変調は経営形態が投資型に移行したことを意味し、結果として小規模飼養農家の減退化を促進させ、飼養農家の裾野は縮小の一途を辿るに至っている。図-9に飼養農家数の経年変化を示す。

また、全国での家畜飼養頭数の経年変化を図-10に示す。飼養農家数が減少の一途を辿るものの、飼養頭数が横ばいであり、飼養規模が拡大している。この傾向は、肥育家畜において顕著である。これらは一つに都市近郊では悪臭源となること、二つには飼料を輸入に依存する割合が大きく輸送経費を安価にするということから、地方の港周辺に移行した。地域別の豚の飼養戸数では、東北、関東、九州で全体の約8割を占めている。この結果、偏在化が顕著になり、糞尿処理を一層困難なものにしている。

3-3-1 畜舎廃棄物の負荷量

畜舎廃棄物は、小規模経営の場合には保有農地に還元し、農産物として回収するリサイクルも可能であったが、大規模化に伴い排出量が増大してくると、保有農地への還元許容量を上回り、当然、系統的な処理システムが必要になる。これに対する処理方法の確立が進んできたのも近年であり、さらに研究開発の推進が必要である。

畜舎廃棄物排出量は年間約9,000万t（1992年）となり、その飼養割合は牛56%、豚26%、鶏17%である。成畜1頭当たりの発生量は、牛でふん尿排出量が $50\text{kg} \cdot \text{day}^{-1}$ 、 $\text{BOD}800\text{g} \cdot \text{day}^{-1}$ 、豚で、 $5.4\text{kg} \cdot \text{day}^{-1}$ 、 $\text{BOD}130\text{g} \cdot \text{day}^{-1}$ であり、人間の一人当り $1.5\text{kg} \cdot \text{day}^{-1}$ 、 $\text{BOD}13\text{g} \cdot \text{day}^{-1}$ と言われている発生量に比して如何に家畜からのふん尿が多量であるか

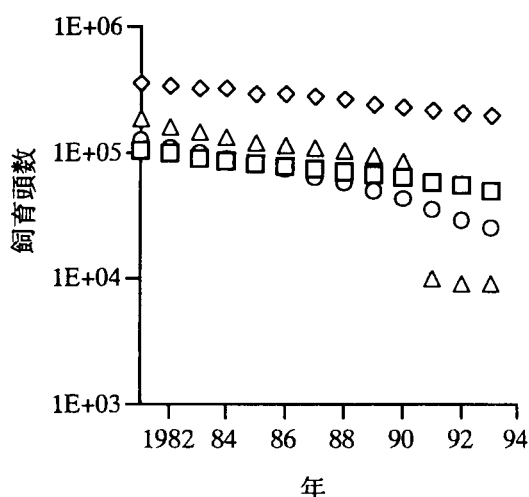


図-9 飼育頭数の年変化

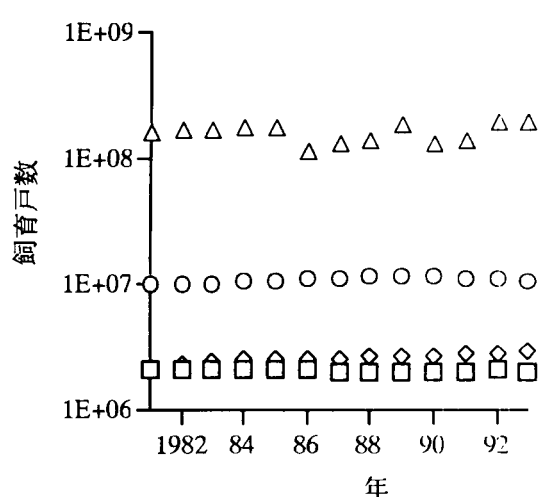


図-10 飼育戸数の年変化

□	乳牛	◇	肉牛
○	豚	△	鶏

が分かる。

3-2-2 水質の変化

各槽の温度変化を見てみると、季節的要因で原水の水温が下降線をたどっているにもかかわらず、発酵槽や曝気槽に関しては逆に上昇を示している。様々な細菌群の関与によって微生物の発酵熱により水温が30℃程度まで高まり、処理効果をあげる方向へ向かっていると考えられる。それに伴って従属栄養細菌の活動も活発となっている。グラフ上から判断して、従属栄養細菌は細菌の遷移関係において下位的存在のようで、まず従属栄養細菌が出現し、そのあと他の遷移細菌群へ変化してゆくと推察される。BOD、COD（図-11）において、原水槽は処理能力を見ながら原水の投入濃度を徐々に上げていった。しかし、発酵槽・曝気槽共々BODはあまり変動がない。グラフから明らかなように、BOD値とCOD値との間には約2倍の開きがある。これは豚舎排水の特徴ともいえるものであり、この関係からして生物学的に分解できる成分が卓越していると考えられる。一方COD値は若干原水の投入により左右されるようではあるが、BODとCODとの差はほぼ一定な値を示している。このことから生物難分解性な成分は一貫して分解や消費を受けていないことがわかる。

3-3-3 ガス発生量変化

豚一頭は、1日当たり約3Lの尿を排泄し、豚舎内でフンと尿が混合してピットに流れて一時ここに貯留され一定時間毎に処理槽に送られ、それと同時に処理水が流入してく

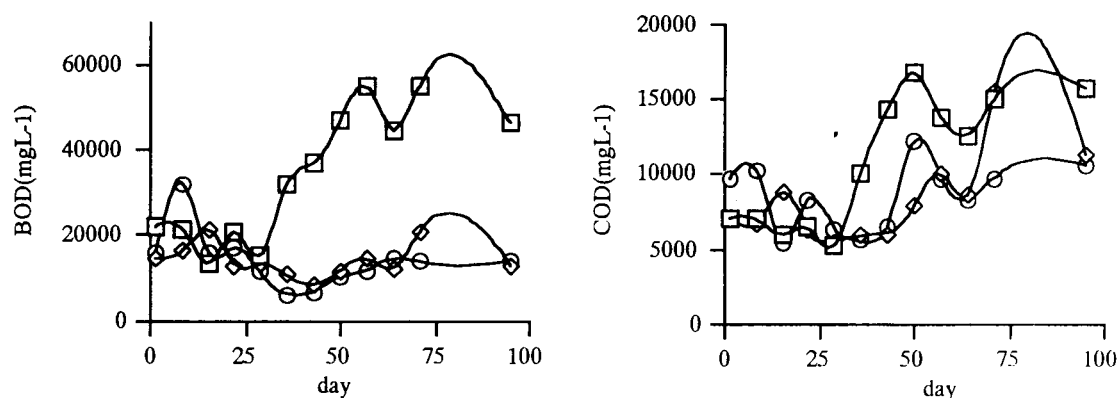


図-11 BOD CODの経時変化

□ 原水 ◇ 発酵槽 ○ 曝気槽

る循環式の処理形態であり、ピット内でも嫌気発酵が行われている。豚舎全体からの1日の排水は約10m³であり、ピット内の滞留日数は約13日となる。ここでの発生ガス濃度は、表-8に示したようにCO₂が218 ppmv、CH₄が55.3 ppmv、である。これは1日当たりに換算するとCO₂が43 g/m²day、CH₄が4.0 g/m²day、となり豚舎全体からはCO₂が約5.8 kg、CH₄が54 gとなる。豚舎内の空気中のCO₂、CH₄濃度はピット内からはかなり発生しているにも関わらず表-8からも明らかなように低い値であった。

畜産業からのガス発生を算定する場合、季節変動はもちろんのこと、各飼育形態、飼育数によりその発生量が異なってくることが推察される。扱う有機物濃度が極端に高いためエネルギーを多量に加えての強制的な分解過程を設けると、それに伴って本来栄養

分として土壌に還元できうる成分も、熱として、もしくはガス化してしまう恐れがある。比較的緩やかな処理システムを構築して行くことが温室効果ガス発生対策としては有効と考える。さらに畜産業を擁する各地域毎で、如何にそれらの業種とうまくつきあって行くか検討すべきであろう。

3-3-3-1 排水処理槽からのガス発生量

第1、第2発酵槽内は嫌気性となっており、第1、第2曝気槽内も相当多量の空気で曝気しているものの嫌気性であった。第1発酵槽と第1曝気槽、第2発酵槽と第2曝気槽は槽内に設けられた上下3本のパイプで排水が流通するようになっており、発酵槽と曝気槽は相互に緩かに循環している。ピット内から集められた排水の水温は10℃以下であったが処理槽に入ると発酵熱により30℃を越え、これにより処理効率は増大する。一方、水温が上昇することにより表より明らかなようにCH₄の発生量は豚舎内よりも大きな値である。第1発酵槽からのCO₂発生量は113 g/dayであり発酵槽は2基なので226 g/day、となる。同様にCH₄の発生量を算出すると500 g/dayとなる。

表-8 各ガスの発生量 (ppmv)

3-3-3-2 曝気槽からのガス発生量

第1曝気槽には2台の送風機（45 m³/m , 57 m³/m）が、第2曝気槽には90 m³/mの送風機が常時作動をしている。第1、第2曝気槽から出てくるガスの分析結果を表-8に示す。曝気槽からはCH₄は発生せずCO₂のみであり、第1曝気槽からのものが若干高い値である1日当たりのCO₂発生量を算出すると、第1曝気槽からは172.3 kg/day、第2曝気槽からは96.7 kg/dayである。

サンプルポイント	N2	O2	CO2	CH4	N2O
第一発酵槽	453.6	54.5	72.1	437.7	0
豚舎 (No.2000)	583.7	142.0	218.0	55.3	0
畑 (10:30-12:00)	791.4	204.9	3.6	0	0
畑 (12:00-15:30)	788.2	202.8	8.6	0	0
畑 (15:30-17:30)	789.9	201.7	8.3	0	0
畑 (17:00-10:30)	787.5	198.2	14.2	0	0

3-2-3-3 畑地からのガス発生量

この豚舎では、廃棄物を還元した排水が1日に約4m³排出されるが、これを豚舎に隣接している畑に散布をし土壌処理を行っている。畑の総面積は約10000m²あり、BOD負荷は4 g/m²dayである。調査を行ったのが冬期であり気温が低く土壌細菌の活性が低く、そのために温室効果ガスの発生量は低いと考えられる（表-8）。今回は、表の各時間毎のガストラップ装置内の濃度を測定した。CO₂は時間当たりの発生量は昼間の方が夜間より1.5～4倍ほど高くなっている。N₂Oは殆ど発生が認められなかった。

3-4 温室効果ガス削減手法についての検討

成果については上記の通りであるが、今後次の点について検討を加える必要がある。

(1) 下水処理場からのガスのプロファイルとしては、CH₄が無視できない発生量を示していることが明らかとなった。汚水の発生源から終末処理場までの距離、時間が長い

場合には、腐敗した汚水からのCH₄の発生が懸念される。またその他のガスについては、今回調査した終末処理場は水質処理状態があまり硝化が進んでいない状況であったが、処理状態によりその発生するガスのプロファイルが大きく異なってくることは容易に推察

表-9 流出ガス及び豚舎内の成分 (ppmv)

サンプルポイント	N2	O2	CO2	CH4	N2O
第一曝気槽	787.2	183.8	28.0	0	0
第二曝気槽	786.7	190.4	22.8	0	0
豚舎 (No.2000)	785.7	212.8	1.4	0	0

できる。このための温室効果ガスを提言させる操作法について更に検討する必要がある。さらには、オキシデーションデッチ、回転円盤法、散水ろ床法などの各処理形態からの発生量の見積もりも、今後知見を増やしていかなければならない。(2) 浄化槽に関しては、今後とも現在の下水道の普及状況を鑑みると、その重要性は益々増大するものと考えられる。終末処理場の処理量を軽減するためにも、さらに力を注ぐべき点である。水質の改善向上はもとより、温室効果からの設計指針なるものを早急に検討課題として、次世代型の浄化槽の構築を目指すことが先決である。なるべく小規模なリサイクルを目指す上でも浄化槽の位置づけは重要である。(3) 高濃度な負荷を排出する畜舎廃水に関して、温室効果を考慮した場合、廃液処理-コンポスト化の従来通りのプロセスでは到底対処できない。処理水質の向上のみでなくトータルな面での処理システムを構築しなければ事態は改善されない。食生活全般に渡っての提言まで広げない限り根本的な解決策は見いだせないと考えられる⁽⁸⁾。

この地球環境問題は、今まで個々に問題意識を持っていた様々な現象について、「宇宙船地球号」の存続のため、一つにまとまった動きが重要となってきた⁽⁹⁾。かつて污水处理はその水質の改善だけを議論すればそれで済んだが、今後はもっと大きな枠組みから自分たちのスタンスを考え直さなければならぬ時代になっている。

4. まとめ

污水处理施設及び廃棄物処理施設から発生するCO₂、CH₄、N₂Oの測定を行い次の知見を得た。

(1) 下水処理場においては、CH₄、CO₂の一人一日当たりの発生量(処理人口)はそれぞれ0.09～0.32g、0.04～0.08gであった。

(2) 浄化槽においては、CH₄は合併処理浄化槽の嫌気ろ床で発生しており1基当り1日1221mlの発生量であり1人1日174mlの発生量となる。

(3) 豚舎廃棄物場においては、この豚舎からの温室効果ガス発生量は、1日当たりCO₂が270 kg/day、CH₄が554 g/dayと算定した。(原単位: CO₂ 135 g/day頭、CH₄ 277 mg/day頭)

5. 研究発表の状況

- (1) 須藤隆一：微生物による環境修復、化学工学、56、861-864(1992)
- (2) 須藤隆一：地球環境と技術開発について、APW、31、2-12(1993)
- (3) 千葉信男、須藤隆一：畜舎汚水の実状と処理法の改善、第一回畜産環境研究会講演集、1-7(1993)
- (4) 稲森悠平、金周永、須藤隆一：高度浄水処理技術の開発と動向、繊維学会誌、51、37-43(1995)
- (5) 稲森悠平、林紀男、須藤隆一、山海敏弘：水環境改善技術開発のための最新展望(1)、JETI、43、37-41(1995)
- (6) 稲森悠平、林紀男、須藤隆一、山海敏弘：水環境改善技術開発のための最新展望(2)、JETI、43、104-109(1995)

－参考文献－

- (1) K. Minami et al. :CH₄ and N₂O global emission and controls from rice field and other agricultural and industrial sources, NIES SERIES 2 (1994)
- (2) 環境白書(平成6年度)
- (3) 稲森悠平、細見正明、須藤隆一：地球温暖化の原因と温室効果ガスの排水処理施設からの発生抑制対策、用水と排水、33、28-34(1991)
- (4) R. Roy et al. :Effect of methane metabolism on nitrification and nitrous oxide productional polluted fresh water sediment :App. Environ. Micro., 60, 3307-3314 (1994)
- (5) 須藤隆一：地球環境と技術開発について、APW、31、2-12 (1993)
- (6) 竹石和夫、鈴木穰、松原誠：下水場からのメタン・亜酸化窒素の放出の解明に関する研究、平成5年度下水道関係調査研究年次報告集(1994)
- (7) K. Hanaki et al. :Nitrous oxide production in nitrogen removal process from domestic wastewater, The 2nd conference at civil engineering federation, (1992)
- (8) 須藤隆一、稲森悠平：水処理バイオ入門、産業用水調査会(1994)
- (9) 須藤隆一：微生物による環境修復、化学工学、56、861-864(1992)