

土 木 研 究 所 資 料

小規模下水処理場における汚泥の
処理処分に関する調査報告書

平成3年9月

建設省土木研究所
下水道部汚泥研究室

Copyright © (1991) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

小規模下水処理場における汚泥の 処理処分に関する調査報告書

汚泥研究室 室長 佐藤 和明
研究員 落 修一
研究員 白石 隆

要 旨

現在、我が国の下水道事業は、大・中都市から小都市や小集落へと移行、拡充してきている段階にあり、これから新規に建設される下水処理場の多くは小規模下水処理場となり、建設数も相当の数にのぼることが予想される。

本報告書は、小規模下水処理場における汚泥の処理や有効利用、処分の円滑化に寄与するために、維持管理の効率化を前提とした計画上の留意点や処理プロセスの選定、個々のユニットプロセスの特徴等について調査、検討したものである。

キーワード：汚泥処理，小規模下水処理場，汚泥貯留，好気性消化，嫌気性消化

まえがき

我が国における下水道整備も着実に進展してきており、人口普及率が50%を目前とするまでになってきた。これは大都市や地方中核都市等の人口集中・密集地域を中心とした整備促進に依る所が大きく、事実、一方では全国の2/3に相当する約2,000の自治体が下水道未着手の状況にあり、それらの大部分は行政人口が5万人未満の市町村である。

今までに全国的な規模で住環境の整備が叫ばれてきている中で、これらの自治体が下水道未着手であった要因には様々なものが有るものと思われるが、今後は、行財政規模の小さな自治体への支援制度、体制等が整備されてくることにより、下水道事業への着手が飛躍的に加速されてくるものと思われる。

これは、これからの新規の下水道建設の多くが小規模下水道であることを予想させるものであり、そこで、従来の都市部の下水道建設時にも増して重要となるのは、施設が小規模であることや事業規模が小さいこと等からくる施設の維持管理体制、手法等の違いや相異を考慮に入れた機能を施設に持たせることである。特に、その対象となるのは下水処理施設であり、中でも維持管理体制や頻度等に大きく影響するのは発生する汚泥の引抜きとその処理処分に係わる汚泥処理システムの維持管理手法である。

処理場規模が小さくなる程に、その管理を巡回管理とし、その巡回期間を長くした方が事業運営上は経済的となる。従って、小規模下水処理場においては巡回頻度をできるだけ少なくする汚泥処理システムを採ることが重要となる。

本報告書は、昭和60年度から平成2年度まで下水道事業調査費を以て実施した「小規模下水処理場における汚泥の処理処分に関する調査」の成果の中から、以上のような観点に基づく事項を主体にとりまとめたものである。

目 次

まえがき

1. 小規模下水処理場の位置付けと今後の動向	1
1.1 小規模下水処理場の位置付け	1
1.2 小規模下水処理場の今後の動向	1
2. 小規模下水処理場における汚泥の処理、処分状況	4
2.1 汚泥処理フローと汚泥搬出形態及び搬出先	4
2.2 汚泥の搬出形態及び最終安定化形態と最終安定化先	6
2.3 維持管理の委託状況	7
3. 小規模下水処理場の汚泥処理施設計画	8
3.1 汚泥処理施設計画における基本的事項	8
3.1.1 下水道整備基本構想策定の必要性	10
3.1.2 汚泥の有効利用及び処分方針の検討	10
3.1.3 汚泥処理施設形態の検討	11
3.1.4 維持管理形態の検討	12
3.2 小規模下水処理場における汚泥処理法	15
3.2.1 有効利用を前提とした汚泥処理方法	16
3.2.2 処分を前提とした汚泥処理方法	16
3.2.3 維持管理形態を考慮した汚泥処理システムの検討	16
3.2.4 移動脱水車方式の検討	17
4. 小規模下水処理場用の汚泥処理ユニットプロセスの調査	20
4.1 汚泥貯留法に関する実験	20
4.1.1 汚泥貯留における温度に関する実験	20
4.1.2 汚泥貯留における曝気効果に関する実験	33
4.1.3 まとめ	39
4.2 好気性消化法に関する実験	41
4.2.1 実験方法	41
4.2.2 実験結果	42
4.2.3 まとめ	46
4.3 無加温嫌気性消化法に関する実験	48
4.3.1 実験方法	48
4.3.2 実験結果	49
4.3.3 まとめ	55

5. 今後の課題	56
----------------	----

資料編 ——その他の調査結果——	59
------------------------	----

I 返流水の処理に関する実験	61
----------------------	----

II 最初沈澱池の有無と汚泥性状に関する調査	64
------------------------------	----

III 余剰汚泥中金属等の挙動に関する調査	69
-----------------------------	----

IV 炭酸ガス還元型メタン発酵方法の開発に関する調査	77
----------------------------------	----

V 移動脱水車方式による巡回方法の検討	84
---------------------------	----

1. 小規模下水処理場の位置付けと今後の動向

1.1 小規模下水処理場の位置付け

「小規模下水道計画・設計指針（案）」¹⁾においては、小規模下水道を5,000人未満の集落を対象とする下水道と定義している。

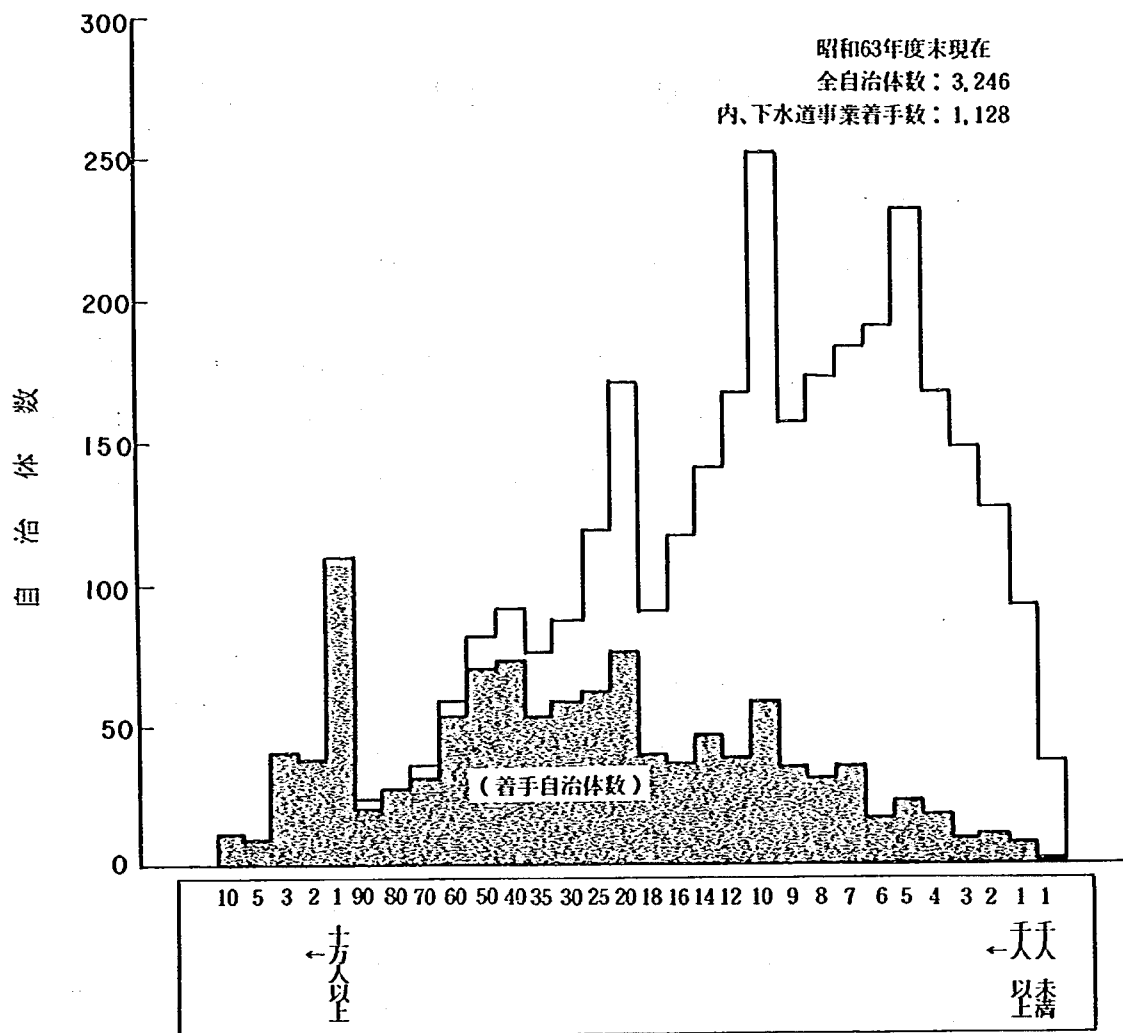
この定義に基づくと、小規模下水道場は計画1日最大汚水量が概ね、2,000m³/日以下の規模とすることができ、本報告書では、上限規模を明確に定めることはせず、概念的に、処理場の維持管理が常駐方式か巡回方式かの境界となるような処理場規模程度の所までを小規模下水処理場と位置付けることとする。

1.2 小規模下水処理場の今後の動向

昭和63年度末における我国の自治体数は3,246有り²⁾、その内の1,128の自治体が下水道に着手している³⁾。図-1～4は、この状況を自治体の行政人口別に表したものである。

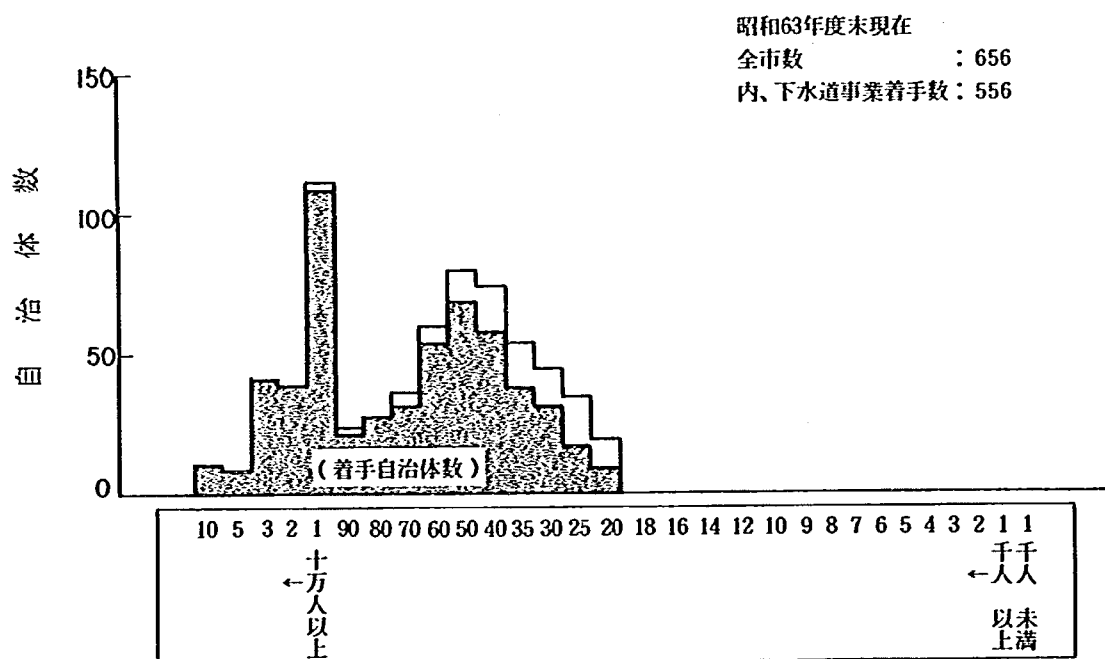
下水道未着手の自治体の大部分は、行政人口が5万人以下の市町村である。

今後、新たに建設されるであろう下水処理場を考えると、その数はその自治体数に近いものが想像され、その大半は小規模下水処理場となるものと思われる。また、殆どの自治体が複数の集落から形成されていることを考えれば、集落の分散状況によっては、下水道が集落単位で整備されて行く可能性も高く、その場合、小規模下水処理場が地域的、広域的に点在する形態も想像される。



※ 東京都特別区は、全体を1として計上してある。

図-1 下水道事業着手状況 -全市町村を対象-



※ 東京都特別区は、全体を1として計上してある。

図-2 下水道事業着手状況 -全市を対象-

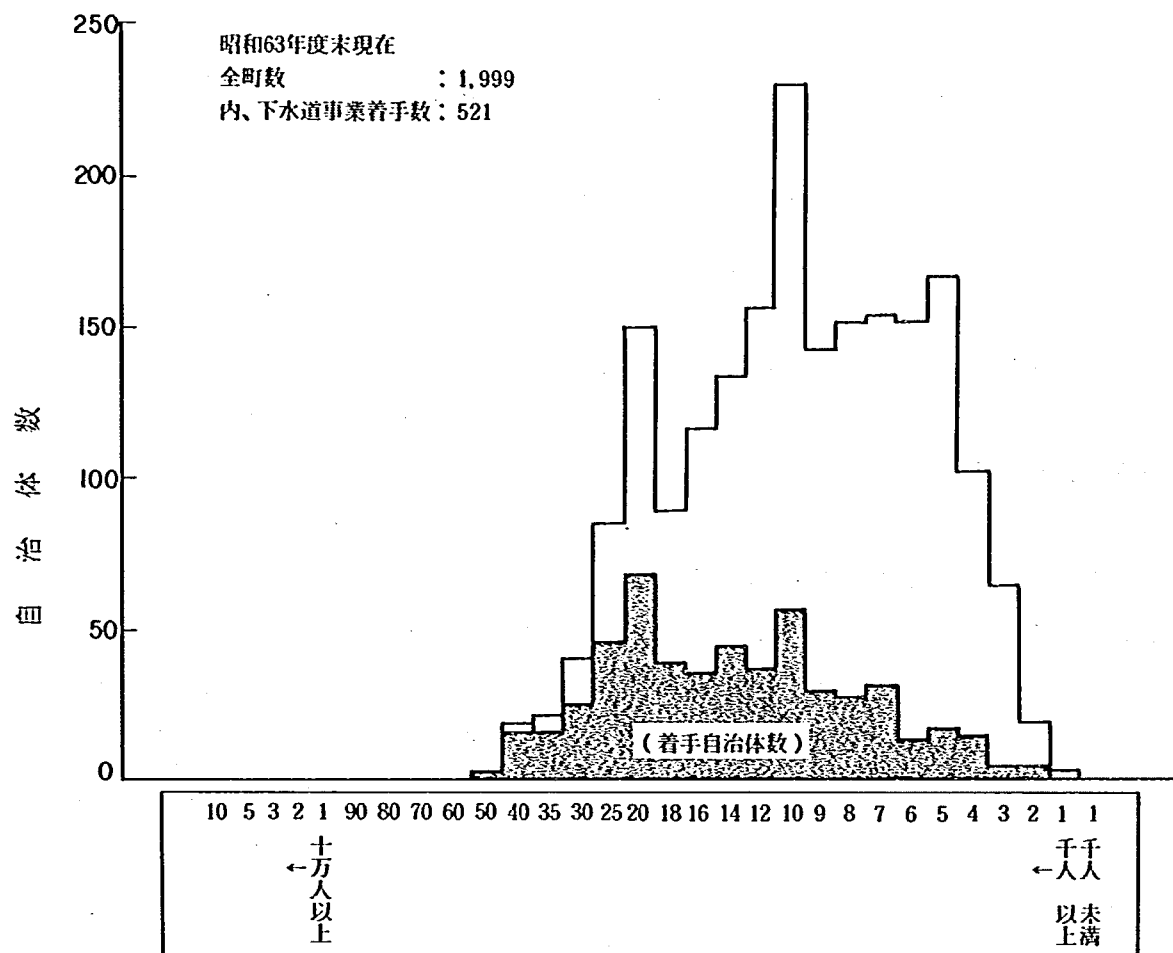


図-3 下水道事業着手状況 —全町を対象—

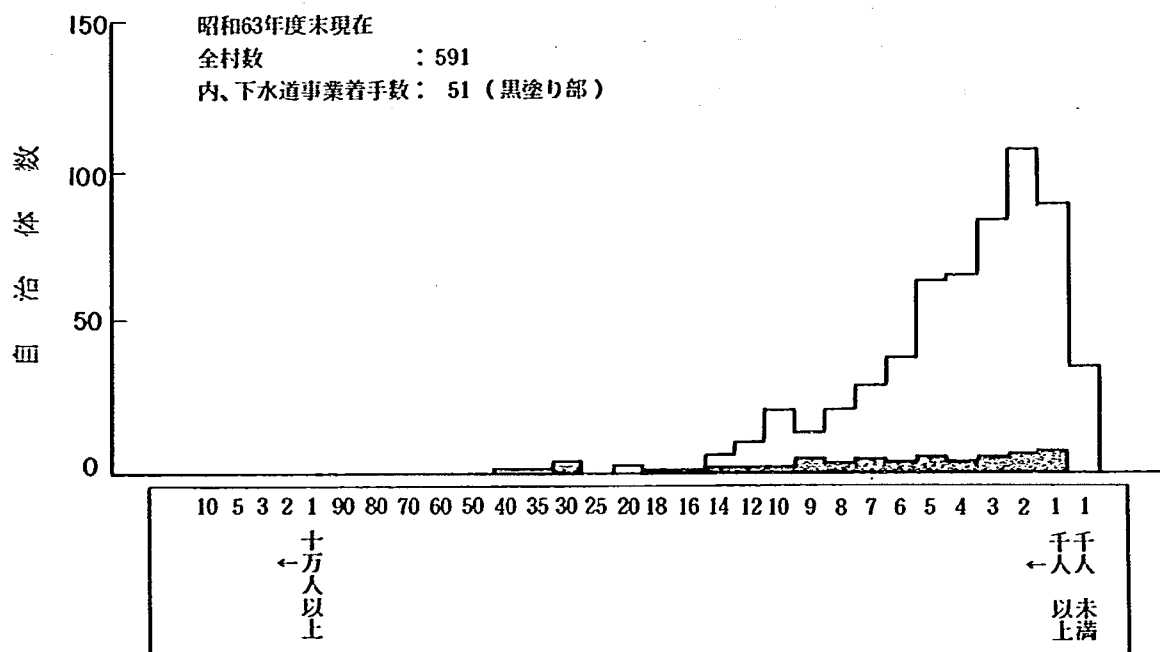


図-4 下水道事業着手状況 —全村を対象—

2. 小規模下水処理場における汚泥の処理、処分状況

現在、稼働している小規模下水処理場における汚泥の処理、処分の実態を把握するために、小規模下水道の特徴を的確に表していると思われる計画処理人口が5,000人以下の下水処理場を対象とした調査を行った。

調査は、昭和63年度末時点で稼働している全ての対象規模の下水処理場を下水道統計⁴⁾からピックアップし、そこでの汚泥の処理、処分方法の詳細をヒアリングしたものである。なお、本調査で対象となった下水処理場数は、70ヶ所であった。

2.1 汚泥処理フローと汚泥搬出形態及び搬出先

処理場内における汚泥処理方法を中心としてまとめたのが表-1である。

計画処理人口が5,000人以下の小規模下水処理場において、最も多い汚泥処理フローは濃縮→脱水→搬出であり、次に濃縮→搬出である。この2つの方法は、全体の7割強を占め、現在の我が国における小規模下水処理場の主流となっている。今後もこの傾向は大きくは変わらないものと思われるが、汚泥の減量化や安定化の促進と巡回管理頻度の低減が図れる好気性消化法あるいは無加温嫌気性消化法の採用も検討課題となるものと思われる。また、汚泥の緑農地利用を図るためのコンポスト化や、気候条件が整った地域での乾燥床法等の採用も同時に検討課題になるものと思われる。

汚泥の搬出先としては、直接、最終安定化先まで行っているケースが殆どであるが、他の処理場に搬出され再処理されているケースも3割強を占める。これからは地域的に様々の規模の処理場が点在してくることを考えると、この再処理されているケースは、管理要員の低減や汚泥処理施設の効率化、或いは多角的な有効利用の推進等を図って行くために、発生する汚泥を直接、或いは途中まで処理して他の処理場に輸送、集中処理する汚泥処理形態として、今後はより一層増加して行くものと思われる。

表-1 小規模下水処理場（計画処理人口5千人以下）における汚泥処理の実態—昭和63年度下水道統計より—
 〈汚泥処理フローと汚泥の搬出先〉

汚 泥 処 理 フ ロ ー	処理場からの 汚泥の 搬出形態	実施処理場数	処理場からの汚泥の搬出先内訳 〈実施処理数〉			
			他の下水処理場	他事業の処理場	民間の処理場	最終安定化先
～濃縮 → 搬出	液状汚泥	17 (23.3)	13	4		
～好消 ^{a)} → 濃縮 → 搬出		2 (2.7)		1		1
～脱水 → 搬出	脱水汚泥	1 (1.4)				1
～濃縮→脱水 → 搬出		36 (49.3)	1	1	2	32
～濃縮→消化 ^{b)} →脱水 → 搬出		3 (4.1)				3
～天乾 ^{c)} → 搬出	乾燥汚泥	2 (2.7)			1	1
～濃縮→天乾 → 搬出		2 (2.7)				2
～無消 ^{d)} → 天乾 → 搬出		3 (4.1)				3
～濃縮→消化→天乾 → 搬出		1 (1.4)				1
～脱水→天乾 → 搬出		1 (1.4)				1
～濃縮→消化→脱水→乾燥 → 搬出		1 (1.4)				1
～濃縮→脱水→コン ^{e)} → 搬出	コンポスト	3 (4.1)				3
～濃縮→脱水→焼却 → 搬出	焼却灰	1 (1.4)				1
計 (%)		73 (100.0)	14 (19.2)	6 (8.2)	3 (4.1)	50 (68.5)

a) 好消：好気性消化 b) 消化：加温嫌気性消化 c) 天乾：天日乾燥床 d) 無消：無加温嫌気性消化 e) コン：コンポスト化
 (注) 実際の処理場数 (70ヶ所) と実施処理場数 (73ヶ所) は、1つの処理場で複数のプロセスを有しているケースが有るために異なる。

2.2 汚泥の搬出形態及び最終安定化形態と最終安定化先

処理場から汚泥が搬出されたときの汚泥の形態が、最終的にどのような形態となって有効利用や処分されているかをまとめたのが表-2である。また、表-3は、それに基づき汚泥の最終的な有効利用先や処分先と、そのときの汚泥形態についてまとめたものである。

現在、小規模下水処理場において汚泥を有効利用しているケースと処分しているケースの比率は、2：3となっている。有効利用先の大部分は緑農地であり、そこには脱水汚泥や乾燥汚泥、コンポスト等として利用されている。一方、処分は大部分が脱水汚泥の状態で埋立処分されている。

有効利用が全体の4割に達しているが、これは処分地が無いという理由だけに因るものではなく、当初から有効利用を推進する意図でこれを行ってきている所が大部分である。処分地難が全国的に広がっていることを考えると、現在処分のみを行っている所やこれから下水道に着手する所等では早急に対策を検討しておく必要がある。

このようなことから、汚泥処理の集中、集約化による汚泥処理規模の拡大は、汚泥処理方法や有効利用方法の選択肢が広がるという意味で、重要視されてくるものと思われる。

表-2 小規模下水処理場（計画処理人口5千人以下）における汚泥処理の実態—昭和63年度下水道統計等より—
〈汚泥の搬出形態及び最終安定化形態とその最終安定化先〉

処理場からの 汚泥の搬出形態	汚泥の最終 安定化形態	汚泥の最終安定化先〈ケース数〉				下水処理場からの 搬出汚泥の再処理比率 (%)		
		埋	立	緑農地	建設資材		海洋投棄	
液状汚泥						1	無処理 (3)	100.0
	脱 水 汚 泥	12	2				48.3	
	乾 燥 汚 泥			4			13.8	
	コ ン ポ ス ト			2			6.9	
	焼 却 灰	5			3		27.6	
脱水汚泥		27	10				無処理 (90)	100.0
	コ ン ポ ス ト			1			2.4	
	焼 却 灰	3					7.3	
乾燥汚泥		2	8				無処理 (91)	100.0
	コ ン ポ ス ト			1			9.1	
コ ン ポ ス ト				3			無処理 (100)	100.0
焼 却 灰		1					無処理 (100)	100.0

(注) 処理場からの汚泥の搬出形態と汚泥の最終安定化形態が異なるケースは、その間に公共や民間の処理施設（再処理）が介在しているものである。

表－３ 小規模下水処理場（計画処理人口5千人以下）における汚泥処理の実態
－昭和63年度下水道統計等より－ 〈汚泥の最終安定化形態とその最終安定化先〉

汚泥の最終安定化形態	汚泥の最終安定化先				計	
	埋 立	緑農地	建設資材	海洋投棄	ケース数	%
液 状 汚 泥	0	0	0	1	1	1.2
脱 水 汚 泥	39	12	0	0	51	60.0
乾 燥 汚 泥	2	12	0	0	14	16.5
コ ン ポ ス ト	0	7	0	0	7	8.2
焼 却 灰	9	0	3	0	12	14.1
計	ケース数	50	31	3	1	85
	%	58.8	36.5	3.5	1.2	100.0

（注）小規模下水処理場の数と本表のケースの数は、1つの処理場で複数の最終安定化先を有している場合があるために、必ずしも一致しない。

2.3 維持管理の委託状況

表－４は、維持管理の委託状況についてまとめたものである。

いままでに建設されてきた比較的規模の大きな都市部の下水処理場では、直営方式、或いはそれに一部委託を含めた維持管理体制を取ってきている所が大部分であるが、逆に、小規模下水処理場では大部分が完全委託に近いものとなっている。これは、中小市町村における技術者確保の問題等によっているものと考えられる。

表－４ 小規模下水処理場（計画処理人口5千人以下）における維持管理委託状況
－昭和63年度下水道統計より－

	運転管理		運 搬		水質分析	保守点検		
	水処理	汚泥処理	沈砂	汚泥		ボイラ	電気	計装
直 営	23.8	22.6	12.2	8.9	9.1	8.3	11.3	12.8
民 間 委 託	73.0	73.6	83.8	87.5	54.5	83.4	80.6	83.0
公 社 委 託	1.6	1.9	2.0	1.8	4.5			
一 部 直 営								
一部民間委託	1.6	1.9	2.0		28.8	8.3	8.1	4.2
一部公社委託				1.8	3.1			
記載処理場数	63	53	49	56	66	12	62	47

単位：％（但し処理場数以外）

3. 小規模下水処理場の汚泥処理施設計画

3.1 汚泥処理施設計画における基本的事項

小規模下水処理場における最適汚泥処理プロセスを構築する際には、3つの大きな条件が関係してくる。その条件は、図-5に示したように汚泥の最終安定化先、維持管理形態、汚泥処理施設の形態であり、これらが最適汚泥処理プロセスを構築する上で関係する要点は以下の通りである。この中で、汚泥の最終安定化先の条件は下水処理場の規模を問わず必ず関係してくるものであるが、他の2つの条件は小規模下水処理場であるが故に特別に重みを持ってくるものである。

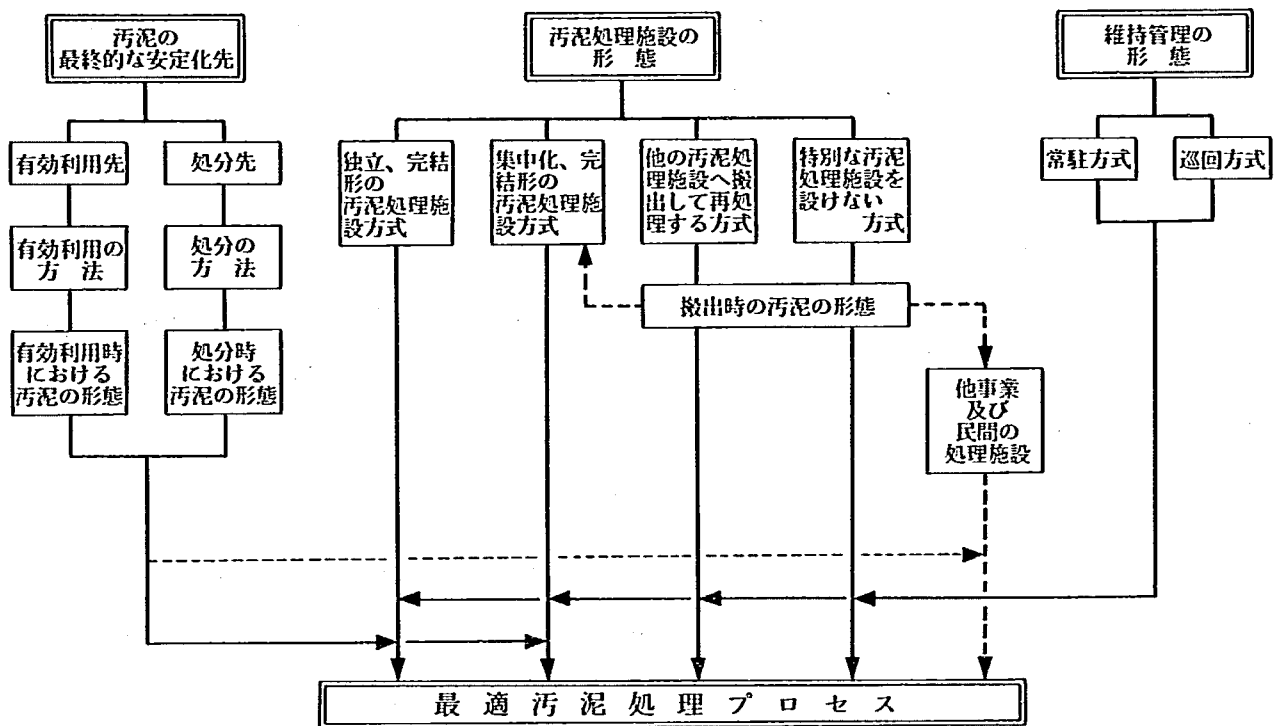


図-5 汚泥処理施設計画に関する主要条件

① 汚泥の最終安定化先

下水道に着手する際には、下水処理場で発生する汚泥は最終的に処分して行くのか、或いは有効利用して行くのか、また、それは如何様な方法で実施して行くのか等の基本的な方針が定まっていなければならない。

これにより、処分するにせよ有効利用するにせよ、その時の汚泥が最終的にどのような形態になっている必要があるかが示され、その汚泥形態を得るために必要な汚泥処理プロセスの基本的な枠組みが明確になってくる。

また、逆にこれらの基本方針が定まっていないと、汚泥処理プロセスを構築することは本来できないものと考えられる。

② 維持管理形態

下水処理場の施設設計は、維持管理を常駐方式とするか、或いは巡回方式とするかによって大きく影響される。また、事業運営上の観点から下水処理場の維持管理は巡回方式とするのが望ましい場合が多いものと考えられる。

小規模下水処理場は巡回方式に馴染むものであり、計画、設計においてはその可能性を検討するとともに、処理プロセスとの関係から巡回管理の最適頻度を定めて行く必要がある。

小規模下水処理場における巡回管理の可否や巡回頻度を決定する要因は汚泥処理にあると言え、それは主に水処理系からの汚泥の引抜き操作（頻度）と引き抜いた汚泥の処理（頻度）に左右されるものである。

③ 汚泥処理施設の形態

下水汚泥は、最終的に有効利用されるか処分され、それに応じた汚泥形態にまで処理される。このとき、個々の下水処理場における汚泥処理では、そこで発生した汚泥をどこまで（どのような形態まで）処理するかによって、汚泥処理施設の有り方（形態）が異なってくる。

このような観点に基づくと、個々の下水処理場における汚泥処理施設の形態は大きく4つに分けることができる。

I. 独立、完結形の汚泥処理方式を取る施設形態

個々の下水処理場で発生する汚泥を、個々の下水処理場が独自に最終の汚泥形態にまで処理する方式を取る汚泥処理施設

II. 集中化、完結形の汚泥処理方式を取る施設形態

他の下水処理場で発生する汚泥をも受入れて、いっしょに最終の汚泥形態になるまで処理する方式を取る汚泥処理施設であり、水処理施設と一体とせず独立した汚泥処理場のようにする場合もこれに含まれる。

また、他の処理場の汚泥を受け入れて、或る段階まで処理して別の汚泥処理施設へ搬出、再処理する方式（たぶん、小規模下水処理場では有り得と思われる）は、汚泥処理施設形態としては下記III. の範疇であるが、施設の機能、能力決定上は、ここに含まれる。

III. 他の汚泥処理施設へ搬出して再処理する方式を取る施設形態

個々の下水処理場で発生する汚泥を、個々に、或る段階にまで処理する方式であり、或る段階にまで処理した汚泥は、他の汚泥処理施設（上記II. に相当する）に搬出して、その搬出先で最終的な汚泥形態まで処理することになる。

IV. 特別な汚泥処理施設を設けない方式

個々の下水処理場で発生する汚泥を、何も処理を施さずに、そのまま液状で搬出する方式である。搬出する汚泥は、上記III. と同様に扱われる。

これらの4つの汚泥処理施設形態は、個々の下水処理場の規模に関係無く存在し得るものであり、従来は独立、完結形の汚泥処理施設形態を取るのが一般的であったが、最近の傾向として、都市部の自治体では汚泥処理の集中、集約化が図られてきており、ひとつの自治体、或いは地域において独立、完結形以外の形態の汚泥処理施設が存在してきている。

3.1.1 下水道整備基本構想策定の必要性

汚泥の最終安定化先、汚泥処理施設形態ならびに維持管理形態を定めるに当たっては、汚泥発生場所、そこでの汚泥発生量ならびにその経年的な変化の把握が重要となると考えられる。

これらの基礎的なデータは、個々の自治体で作成した或いは作成する「下水道整備基本構想」による計画値から得られ、汚泥処理施設計画においても以下の項目を明確にすることが基本となるものと思われる。

- i 処理区数……………これは下水処理場の最終的な立地数に相当する。
また、このとき個々の下水処理場の規模が定まる。
- ii 各処理区の供用開始年次……これは個々の下水処理場から汚泥が発生し始める年次に相当する。
また、これにより年次毎の稼働している下水処理場数が分かる。
- iii 各処理区の面整備計画……………これにより個々の下水処理場からの汚泥発生量の経年的な推移、変化が分かる。

なお、「下水道整備基本構想」の策定については、「下水道整備基本構想作成要領、平成3年4月11日、建設省下企発第22号、建設省都市局下水道部長通達」に定められている。

3.1.2 汚泥の有効利用及び処分方針の検討

汚泥の処理過程で必ず、そして定常的に発生する下水汚泥は、最終的に有効利用や処分の対象として取り扱われ、必要な処理が施された後、必ず場外に搬出される。その搬出先は、有効利用先であり、また、処分するための埋立地等である。表-5は、全国の下水処理場の水処理過程から発生した下水汚泥が最終的に処分或いは有効利用された状況を、昭和63年度実績に基づきとりまとめたものである。

表-5 全国の下水処理場から発生した汚泥の処分及び有効利用状況
—水処理系からの固形物(DS)発生量ベースでまとめたもの— S63年度実績値

最終安定化形態	最 終 安 定 化 先					計	
	埋 立	緑農地	建設資材	海洋還元	その他	DS-t/年	%
液				7,127	195	7,322	0.5
ケーキ	384,027	45,957		2,931	3,835	436,750	32.0
コンポスト	10,587	95,989			3,166	109,742	8.0
乾燥汚泥	7,997	6,153			387	14,537	1.1
灰	711,727	8,581	50,213		18,956	789,477	57.9
スラグ	2,785		3,454			6,239	0.5
計	DS-t/年	1,117,123	156,680	53,667	10,058	26,539	1,364,067
	%	82.0	11.5	3.9	0.7	1.9	100.0

下水汚泥は、従来処分の対象と考えられ、汚泥処理技術もそれを念頭においた開発、実用化がなされてきた。しかし、昨今の埋立地等の確保難は、都市部を問わず地方自治体においても深刻な問題となっており、下水汚泥も単に処分するのみでなく積極的に有効利用を図って行く必要に迫られている。

このために、都市部の下水処理場においては、汚泥の一層の減量、減容化を図るために焼却や熔融プロセスを採用するとともに、併せて有効利用やそのための技術開発を推進してきている。

小規模下水処理場においては、汚泥の減量、減容化や有効利用のための施設は、汚泥の発生量が少ないために、個々の処理場で都市部と同様の施設を設けるには最適施設規模や経済性等の面から現段階では不可能に近いものがあると思われる。しかし、これを有効利用を推進して行く観点から考えると、これから整備される小規模下水処理場の対象となる地域は、その近辺に広大な緑農地が展開している場合が多いものと思われ、ここに下水汚泥を還元し、緑農地土壌の保全、活性化に寄与して行く有効利用方法を取ることが良策と思われる。また、都市部で実施されているような下水汚泥の建設資材化等も含めて多角的に有効利用を推進して行こうとするならば、個々の自治体の垣根を外した広域的な汚泥の集中化処理を図る方策を取ることもできる。

汚泥の有効利用方針や処分方針を定めるに当たっては、地域的に有効利用が可能な方法及びその潜在需要量等の調査や、処分地能力の現況と将来動向等の調査を行い、これに上記3.1.1項で定めた内容を考慮して、個々の下水処理場から発生する汚泥についてその有効利用方針や処分方針を検討し定める必要がある。

- i 有効利用方針……有効利用の方法やその量の変遷に関する長期的な計画（方針）が定められる。
- ii 処分方針………処分の方法やその量の変遷に関する長期的な計画（方針）が定められる。

以上の有効利用方針や処分方針の検討については、「下水汚泥処理総合計画策定マニュアル（案），平成3年3月，建設省都市局下水道部」にその詳細が記述されている。

3.1.3 汚泥処理施設形態の検討

小規模下水処理場においては個々の下水処理場で発生する汚泥量が少ないことから、その処理の効率化を図るためには、どのような形態の汚泥処理施設とするかが非常に重要な要素となる。

そこで、個々の自治体における下水処理場の数やそれらの個々の下水処理場からの汚泥発生量等に関する年次的な変遷等を加味して、個々の下水処理場における汚泥処理施設の形態を検討し定めておくことが肝要である。また、このとき行政界を越えて、地域的に結び付きが深い近隣市町村と一体となって検討することも非常に有効、且つ意義有ることと思われる。また、この行政界を越えた検討を行うことは、汚泥の有効利用方針や処分方針を定める際にも有効である。（詳細は、「下水汚泥処理総合計画策定マニュアル（案），平成3年3月，建設省都市局下水道部」参照のこと。）

汚泥の集中化処理は、将来、小規模下水処理場が地域的に様々の規模のものが点在する形態となることを想像すると、個々の処理場における汚泥処理の簡素化や下水道事業の効率化を図る上で、これからの小規模下水道にとっては集中化規模の程度の如何によらず有効な汚泥処理方策となるものと思われる。

このとき、留意することは、対象となる下水処理場の全てが一体となった汚泥処理のトータルシステムとして機能していかなければならないことを認識しておくことである。

受入先の汚泥処理施設においては、搬入される汚泥の形態が全て同じであると、その処理システムは簡素なものとなり、また、それらの性状が類似している程、処理の効率は上がるものである。しかし、これらのことを全て満足することは困難であると思われるが、汚泥量としての集中化の規模が小さくなるケースにおいては、これらに配慮して行くことが円滑な汚泥処理システムの運営につながるものである。

3.1.4 維持管理形態の検討

小規模下水処理場における維持管理の形態を決定する要因は、汚泥操作に有ることを前述した。その中の、水処理系からの汚泥の引抜き操作による要因は、水処理方式及びその設計思想（主に、反応時間の取り方）により定まるものであり、汚泥の引抜き頻度が設定されれば、逆に水処理方法を定めることができ、ここでは大きな検討要因とはならない。従って、維持管理形態を左右する大きな要因は、引き抜いた後の汚泥処理操作に有ると言える。

汚泥処理施設の運転操作に係る維持管理の頻度は、水処理系から発生する汚泥を何日間貯留しておくことができ、また、その貯留汚泥を処理し搬出するのに何日間を必要とするかによって決まる。

ここで、巡回方式の限界となる下水処理場の規模を検討すると、

巡回管理の最も短いサイクルは、土曜、日曜日に作業を行わないことを基本とし、この間の発生汚泥と当日分の発生汚泥を含めて1日で処理、運搬するとした3日間のサイクルとなるが、これでは巡ってくる土曜、日曜に対応できないため4日間サイクルとする必要がある。これは、1週間に2回の割合で巡回管理することを意味し、3日に1回と4日に1回の維持管理を交互に行って行く方式を取るようになる。このときの汚泥処理施設は、4日間サイクルが可能となるよう設計されることから、巡回方式の限界となる下水処理場の規模は、4日間サイクルで汚泥の処理、搬出が可能な処理場規模ということになる。

図-6は、下水処理場の規模に相当する水処理系からの汚泥発生量（ $D \cdot S - \text{kg}/\text{日}$ ）と、それを処理場から搬出するときの汚泥搬出量（ $\text{t}/\text{日}$ ）との関係を搬出時における汚泥の形態を考慮して表したものである。また、同図には、汚泥の搬出をトラックで行うとしたときのその運行頻度との関係も表してある。

ここで、同図から汚泥の搬出を毎回10tトラック1台で行うとした場合の巡回管理が可能な下水処理場規模の範囲は、液状汚泥で搬出するケースでは、そのときの汚泥濃度を2%とすると水処理系からの発生量で $50\text{kg} - D \cdot S / \text{日}$ 以下に相当する規模までとなり、また脱水汚泥（含水率85%の汚泥ケーキ）で搬出するケースでは、 $370\text{kg} - D \cdot S / \text{日}$ 以下に相当する下水処理規模までとすることができる。

汚泥の搬出形態を乾燥汚泥やコンポスト汚泥とすると、巡回が可能な範囲はもっと大きな規模まで広がるが、下水処理場規模が大きくなると汚泥発生量も増え、それを処理する設備能力も大きなものが必要となる。

ここで、個々の下水処理場を巡回管理するとか、常駐管理とするかによる必要な設備能力には、以下の関係が有り、処理場規模が大きくなる場合は、これらを考慮した総合的な費用効果を検討して維持管理の形態を定める必要がある。

〔巡回管理における必要な設備処理能力 ($D \cdot S - \text{kg/hr}$ 又は m^3/hr) 〕

$$= [\text{水処理系からの1日当りの汚泥発生量}] \times [\text{1巡回サイクル当りの日数}] / [\text{処理日数}] / [\text{1日当りの設備の稼働時間}]$$

〔常駐管理における必要な設備処理能力 ($D \cdot S - \text{kg/hr}$ 又は m^3/hr) 〕

$$= [\text{水処理系からの1日当りの汚泥発生量}] / [\text{1週間当りの処理日数 (5/7)}] / [\text{1日当りの設備の稼働時間}]$$

また、巡回方式に余裕を持たせる方法として、施設に汚泥の貯留能力を巡回サイクル日数の n 倍に相当する能力を持たせ、これを n 日で処理する方法が有る。この方法を取ると、巡回の頻度を長くすることができるとともに、 n 日間の連続処理となるため、1日当りの設備の稼働効率も上がり、巡回方式によるより円滑な維持管理が図れる。なお、このときの n 倍は、巡回サイクルが週単位に成るように設定することと、汚泥の長期間貯留による障害が出ない範囲内になるよう設定することが肝要である。

また、同様の目的と、巡回管理が適用できる処理場規模の範囲をもっと広げる方法として、汚泥処理施設に長い期間汚泥を滞留できる処理プロセスを組み込む方法がある。その汚泥処理プロセスは、処理に長い滞留時間を必要とする好気性消化法や嫌気性消化法、乾燥床法等である。また、これには堆積形のコンポスト化法も含まれるが、本法は、前段に脱水工程が必要であるために、ここの維持管理はこの脱水工程の運転頻度に左右されると考えて良い。

好気性消化法や嫌気性消化法は、固形物の減量化、安定化が図れる機能を有しているため、汚泥処理プロセスとして有効な方法である。この固形物の減量化を図った汚泥を効果的に引き出し、効率良く処理、または運搬するためには消化した汚泥の濃度を高める必要があり、そのためには消化槽内に濃縮機能を持たせるか、或いは消化槽の後に濃縮槽や貯留槽等を設けなければならない。

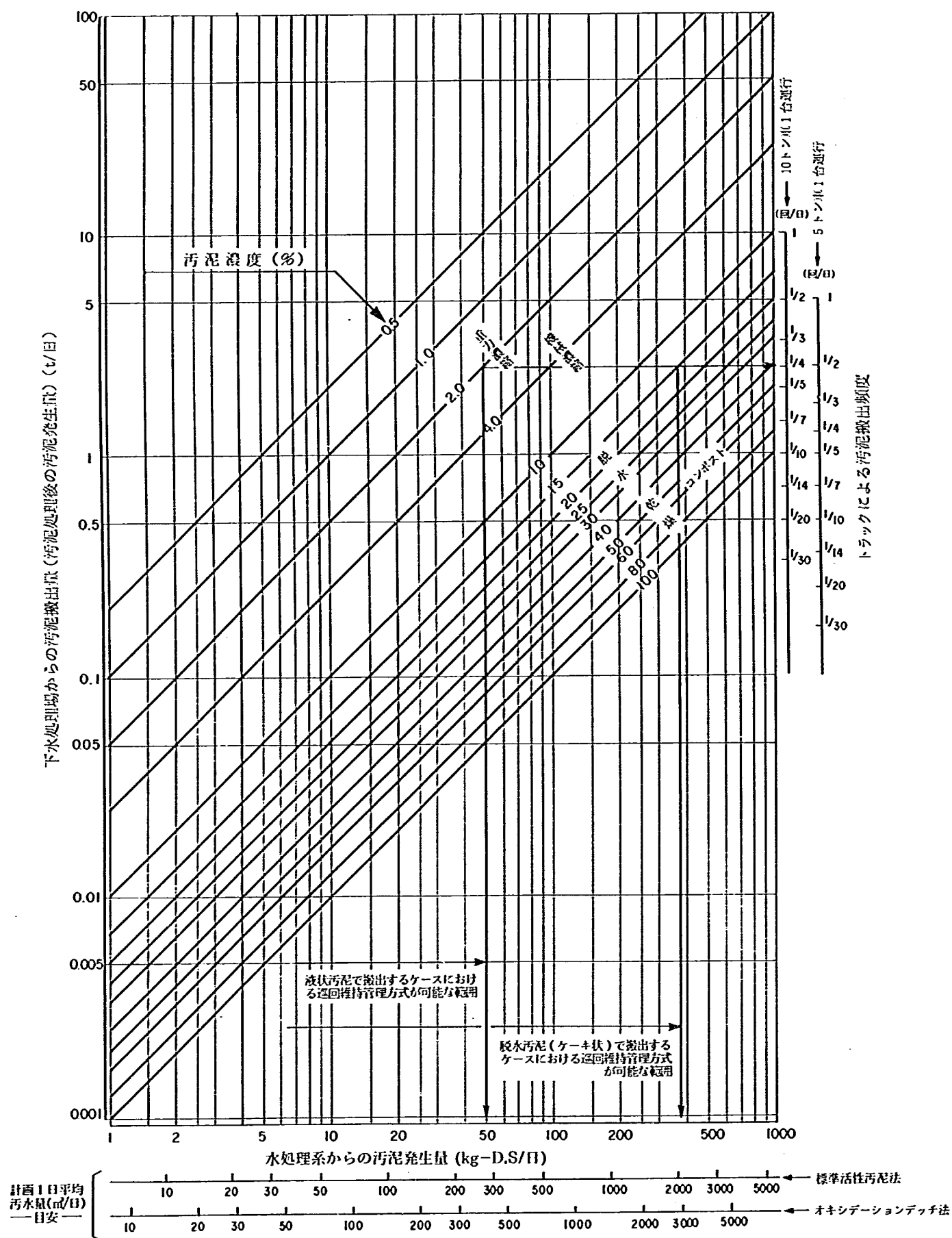


図-6 水処理系からの汚泥固形物発生量 (D・S-kg/日) と
下水処理場からの汚泥搬出量 (t/日) の関係

3.2 小規模下水処理場における汚泥処理法

下水処理場における汚泥処理方法は、発生した汚泥の場外への搬出先と搬出形態、つまり汚泥の最終的な処分方法や有効利用方法によって定まるものであり、小規模下水処理場においては図-7～9に示した汚泥処理方法が一般的と考えられる。

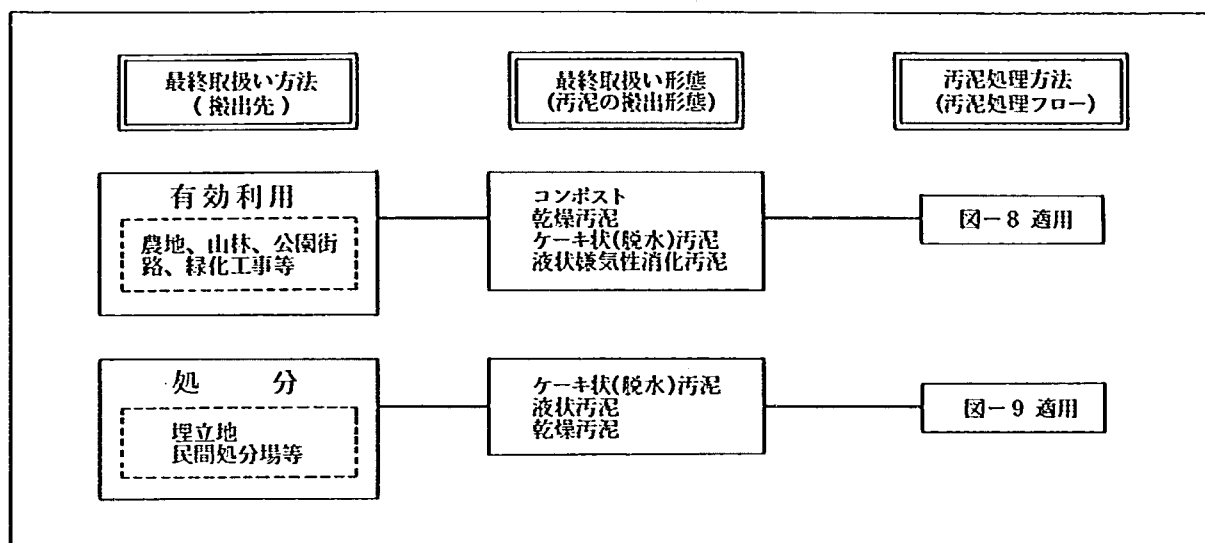


図-7 下水汚泥の処分、有効利用方法と汚泥の最終取扱い形態及び汚泥の処理方法

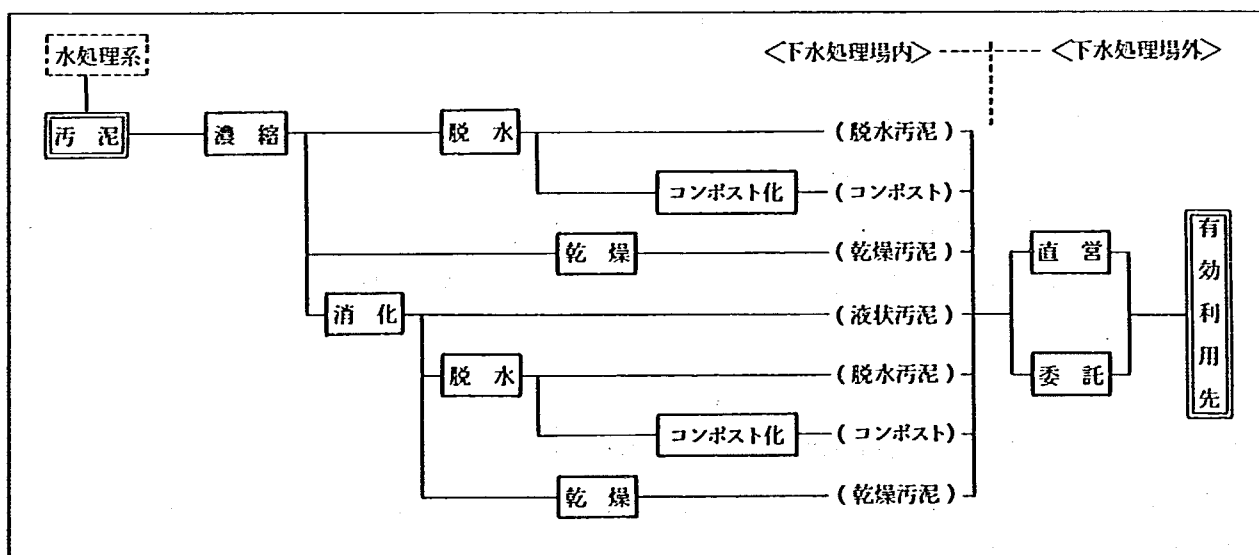


図-8 小規模下水処理場において発生する汚泥を有効利用するための汚泥処理方法

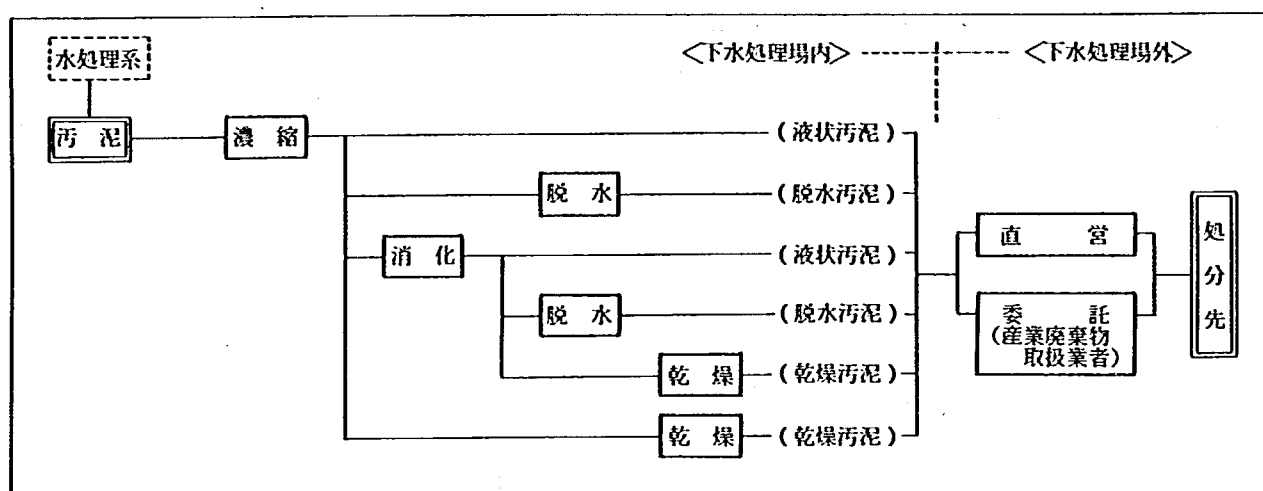


図-9 小規模下水処理場において発生する汚泥を処分する場合の汚泥処理方法

3.2.1 有効利用を前提とした汚泥処理方法

図-7における有効利用は、小規模下水道となる地域においては緑農地利用が有効となる場合が多いことを想定したものであり、図-8はそれに基づき個々の下水処理場において緑農地利用が可能な汚泥形態を得るために想定される汚泥処理フローを上げたものである。従って、他の有効利用方法を取る場合には、それに必要な処理や製品化のプロセスが付加された別の汚泥処理フローとなる。

下水汚泥の緑農地利用を図る場合には、処理フローにコンポスト化プロセスを組み込んだ方式を取るのが一般的である。但し、下水汚泥の発生量が少なく、且つ利用先が農地以外であるときは、その用途に応じて図-8における別の汚泥処理フローも適用できる。このとき、嫌気性消化せず、直接脱水した汚泥ケーキでの利用形態は、他に比べて取扱い上不衛生であるとともに、施用方法によっては利用先での悪臭の原因にもなる可能性がある。従って、このようなケースにおいては、利用者側の利用方法を調査、把握するとともに、実施に際しては利用者がこのような性状を十分に理解している必要がある。

3.2.2 処分を前提とした汚泥処理方法

処分は通常埋立てであるが、このときの汚泥形態は、含水率が85%以下の脱水汚泥か灰に限られる（下水道法施行令第13条）。従って、現状では液状での処分形態は無く（海洋投棄があるが、新規の投棄は認められていない。）、下水処理場において液状での処分を位置付ける場合は、他の処理場に運搬するか、或いは産業廃棄物処理業者を介して処分することになる。

3.2.3 維持管理形態を考慮した汚泥処理システムの検討

維持管理が常駐管理となる形態では、従来の設計の考え方を参考にできる。ここでは、巡回管理方式での留意点について述べる。

巡回管理の基本が汚泥の一定期間の貯留に依存していることは、前3.1.4項で述べた通りである。このとき重要なことは、汚泥の貯留中に、周辺環境の悪化を招かないことと、処理に支障となるような汚泥

性状の悪化が起こらないことである。そのためには、汚泥の種類や形態等に応じた検討が必要である。

＜最初沈澱池汚泥＞ 非常に腐敗しやすく、そのままの貯留には向かない。

最初沈澱池汚泥が発生する水処理方式を選択するときは、嫌気性や好気性の消化法を採用し、水処理系から発生する全ての汚泥をこれらで処理するようにする（嫌気性消化法では、インフォフ槽形式の検討を含む。）。

＜余剰汚泥＞ 比較的安定しており、貯留が可能である。

余剰汚泥のみが水処理系から発生する場合は、水処理方式がオキシデーショディッチ法や長時間エアレーション法等のケースであり、これから発生する余剰汚泥は比較的腐敗しにくい。また、腐敗抑制のための曝気装置を設けると貯留の許容期間が長くできる。

＜消化汚泥＞ 安定であり、貯留に向いている。

＜脱水汚泥＞ 生汚泥を脱水したものは高密度に有機物が濃縮され、適度な水分を含んだ状態であるために不安定であるとしてよい。

脱水した汚泥はストックせず、直ちに次の工程へ移す必要がある。また、消化した脱水汚泥でも高含水率のものは液汁の発生が考えられるために、周辺環境、取り扱い上、長期間のストックには向かない。

＜乾燥汚泥及び コンポスト汚泥＞ 安定であり、長期間の貯留に十分耐えられる。

巡回管理のためには、汚泥の貯留機能を持った施設が必要であるが、図－１～９には特別にこれらを記載してない。汚泥処理施設に持たせる機能として検討する事項は以下の通りであり、これらの事項を検討中の汚泥処理フローの中に有機的に組み込んで行く必要がある。

- ① 水処理系から引き抜く汚泥の受け入れ方法（受け入れ口）。
- ② 汚泥処理するまでの貯留方法。
- ③ 搬出するまでの貯留（ストック）方法。

３．２．４ 移動脱水車方式の検討

移動脱水車は、脱水に必要な機器一式を整備、荷載したトラックであり、複数の下水処理場を巡回移動して汚泥の脱水を行う機能を有する。

下水処理場の維持管理が巡回方式であり、且つ汚泥処理フローに機械脱水の工程が組み込んである下水処理場が近隣に複数有る場合には、下水処理場の規模によっては移動脱水車の適用も可能であり、その可能性について検討する必要がある。以下にその手順の概要を述べる。

(1) 対象下水処理場の把握

- 処理場の数と処理場間距離 巡回規模や頻度、移動時間等に関係する。
- 各処理場の規模 汚泥発生量予測の基礎となる。
- 各処理場の水処理方式と汚泥処理方式 脱水の対象となる汚泥の種類、性状等を把握する。

(2) 検討用基礎数値の決定

- 処理場数 $T \cdot P_{(i)}, i = 1 \sim n$
- 仮想車両基地 処理水量規模が最も大きい所
処理場立地状況からみて、中心部に位置する所
- 仮想車両基地と各処理場間の移動距離 $L_{(i)}, i = 1 \sim n$
 $L_{(1)} = 0$ (仮想車両基地に相当する)
- 各処理場からの汚泥発生量 $Q_{(i)}, i = 1 \sim n$
- 既存移動脱水車の能力の把握 既存移動脱水機種種の1日当たりの処理能力を設定する。

$$\bar{Q} = q \cdot t, t = T - (T_0 + T_1), T_0 = 2 L_{(i) \max} / v$$

ここで、 $\bar{Q}$: 1日当たりの処理能力 (m^3 /日)

q : 脱水機能力 (m^3 /hr)

t : 1日の実脱水時間 (hr/日)

T : 1日の勤務時間 (hr/日)

T_0 : 1日の移動時間 (hr/日)

T_1 : 1日の脱水準備、後かたづけ時間 (hr/日)

v : 移動脱水車の平均走行速度 (km/hr)

< 例 >

機種	脱水機能力(q) (m^3 /hr)	処 理 能 力 ($\bar{Q}$) (m^3 /日)
A	1	4 但し、 $T = 8 \text{ hr/日}$
B	2	8 $L_{(i) \max} = 30 \text{ km}$
C	3	12 $v = 30 \text{ km/hr}$
D	4	16 $T_1 = 2 \text{ hr/日}$
E	5	20 とした場合

(3) 移動脱水車方式の可能性の判定

〔仮定〕 - 1 1日に脱水する処理場の数は、1ヶ所とする。

- 2 脱水助剤の種類、注入率等は、事前に調査、設定されているものとする。

① 一次判定

〔条件〕 各処理場の巡回日数は、対象処理場の数に相当する日数とする。

$$\bar{Q}_{\max} \geq Q_{(i) \max} \cdot n \Rightarrow \text{可能性有り}$$

< $\Rightarrow$ 二次判定へ

② 二次判定

〔条件〕 一次判定時の $Q_{(i) \max}$ に $\times 1/2$ を施し、新たに $Q'_{(i)}, i = 1 \sim (n+m)$ を設定する。ここで、 m は、一次判定時に $Q_{(i) \max}$ となった処理場の数である。

これは、一次判定時の $Q_{(i)max}$ の処理場を2つに分割して、個々に独立させる操作であり、 $Q_{(i)max}$ となった処理場については、他の処理場より巡回回数が1回増える（巡回日数が半分に成る、或いは2日続けて脱水する）ことを意味する。

$$\begin{aligned} \overline{Q}_{max} &\geq Q'_{(i)max} \cdot (n+m) \Rightarrow \text{可能性有り} \\ &< \Rightarrow \text{三次判定へ} \end{aligned}$$

③ 三次判定

〔条件〕 二次判定時の $Q'_{(i)max}$ に $\times 1/2$ を施し、新たに $Q''_{(i)}$, $i = 1 \sim (n+m+\ell)$ を設定する。ここで、 ℓ は、二次判定時に $Q'_{(i)max}$ となった処理場の数である。

但し、二次判定時に $Q'_{(i)max}$ となった処理場が $1/2 \cdot Q_{(i)max}$ と同じ処理場であった場合には、一次判定時の $Q_{(i)max}$ に $\times 1/3$ を施し、新たに $Q'''_{(i)}$, $i = 1 \sim (n+2m)$ を設定する。

$$\begin{aligned} \overline{Q}_{max} &\geq Q''_{(i)max} \cdot (n+m+\ell) \quad \text{or} \quad Q'''_{(i)max} \cdot (n+2m) \Rightarrow \text{可能性有り} \\ &< \Rightarrow \text{可能性無し} \end{aligned}$$

(4) 判定に基づく対応

① 「移動脱水車方式の適用の可能性が有り」と判定された場合

具体的な巡回脱水方法の検討を行い、各下水処理場の脱水プログラムを策定する。

② 「移動脱水車方式の適用の可能性が無し」と判定された場合

脱水機の常設方式、或いは、それを組み合わせた別途の方式や対象処理場を変えた巡回方式等の検討が必要である。

i : 全てを常設とする方式。

ii : 一部を常設方式とし、他はそこへ液状汚泥で搬入、脱水する方式。

iii : 一部を常設方式として独立させ、他を移動脱水車方式とする。

iv : iiとiiiから成る方式。

4. 小規模下水処理場用の汚泥処理ユニットプロセスの調査

小規模下水処理場用の汚泥処理プロセスは、前項3.2に示したように、いくつかの単位プロセスから構成される。ここでは、これらの中で適用するに際して十分な知見が得られていない汚泥の貯留や、好気性消化法、無加温嫌気性消化法について実験的に調査した結果を報告する。

他のプロセスについては、脱水に関しては小型の脱水機が既に実用化されてきている。また、乾燥床法は「下水道施設設計指針と解説—1984年版—」⁵⁾に記載されているとともに、日本下水道事業団が実施した「自然条件を利用した下水汚泥の処理技術に関する調査」⁶⁾を参考にすると良い。コンポスト化については、「下水汚泥の農業利用に関する調査」⁷⁾が参考となる。

4.1 汚泥貯留法に関する実験

小規模下水処理場においては、水処理系から引き抜かれる液状汚泥の貯留が、汚泥処理の効率化を図る上で非常に重要となる。本実験は、貯留による汚泥性状の変化を貯留汚泥の種類や貯留温度、貯留方法等から室内実験により調べたものである。

4.1.1 汚泥貯留における温度に関する実験

本実験は、汚泥の貯留に伴う性状の変化を把握する基礎的なデータを得るために、貯留汚泥の種類と貯留時の温度を変えた静置貯留による実験を行ったものである。

(1) 実験方法

実験は、容量が約80ℓのポリバケツに供試汚泥を約60ℓ入れ、それぞれ10℃、20℃、30℃の恒温室に静置貯留し（但し、試料分析のために1日1回手動で内容物を均一に混合した。）、その性状の変化を調べた。

実験に供した汚泥は次の3種類である。

- 標準活性汚泥法の余剰汚泥
- 標準活性汚泥法の混合汚泥
- 長時間エアレーション法の余剰汚泥

なお、水質分析や測定方法等については、以下に示すもの以外は「下水試験方法（1984）」によった。

- NH_4^+-N 、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ ： 自動比色分析装置
- 臭気成分： 環境庁告示第9号、別表第二

(2) 実験結果

1) 汚泥性状の変化

汚泥の性状に関して、汚泥の貯留にともなうpH、アルカリ度、酸度、TS、VS/TS、 NH_4^+-N 、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 、溶解性TOCの変化を図-10～17に示した。

貯留汚泥では、貯留日数の経過に従い嫌気化による酸発酵が進行し、汚泥固形物の可溶化が起こる。そ

れにともない貯留開始後からPHの低下が見られ、また一方では溶解性物質が増加する。貯留日数が更に長くなるとメタン発酵が起こり始め、PHの上昇が確認されるとともに揮発性脂肪酸の減少により溶解性のTOCも減少してくる。

これらは、汚泥を静置貯留した際の一般的な現象と言え、その程度の差は、汚泥の種類と貯留時の温度に左右され、それが生物学的に不安定な性状である程、また高い温度条件下での貯留である程顕著なものとして現われる。

なお、本実験で得られた結果の汚泥種間での数値比較に際しては、実験開始時の初期の汚泥濃度が供試汚泥間で異なっているため、特にアルカリ度や酸度、溶解性指標項目等の数値比較には注意する必要がある。

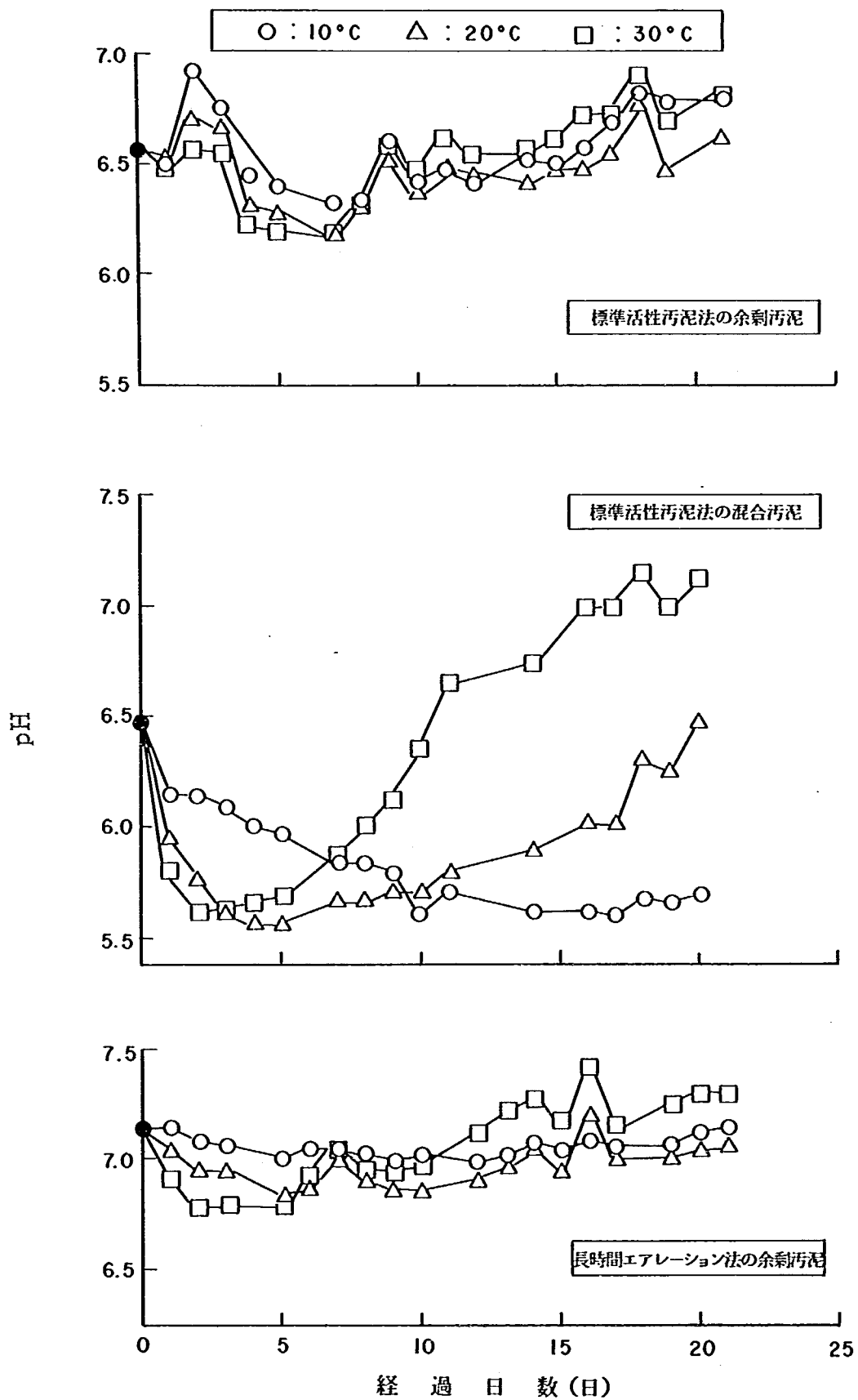


図-10 汚泥の貯留にともなうPHの変化

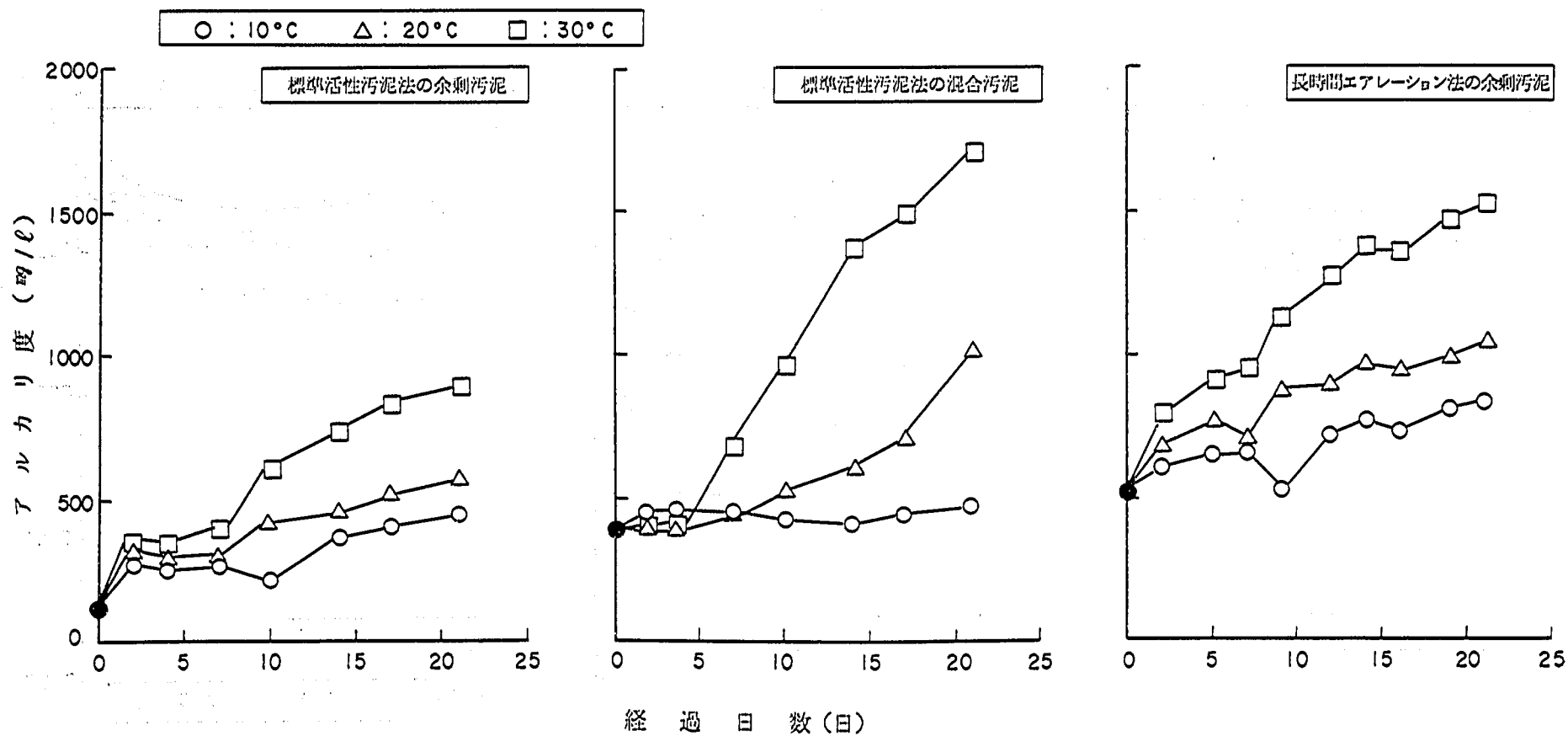


図-11 汚泥の貯留にともなうアルカリ度の変化

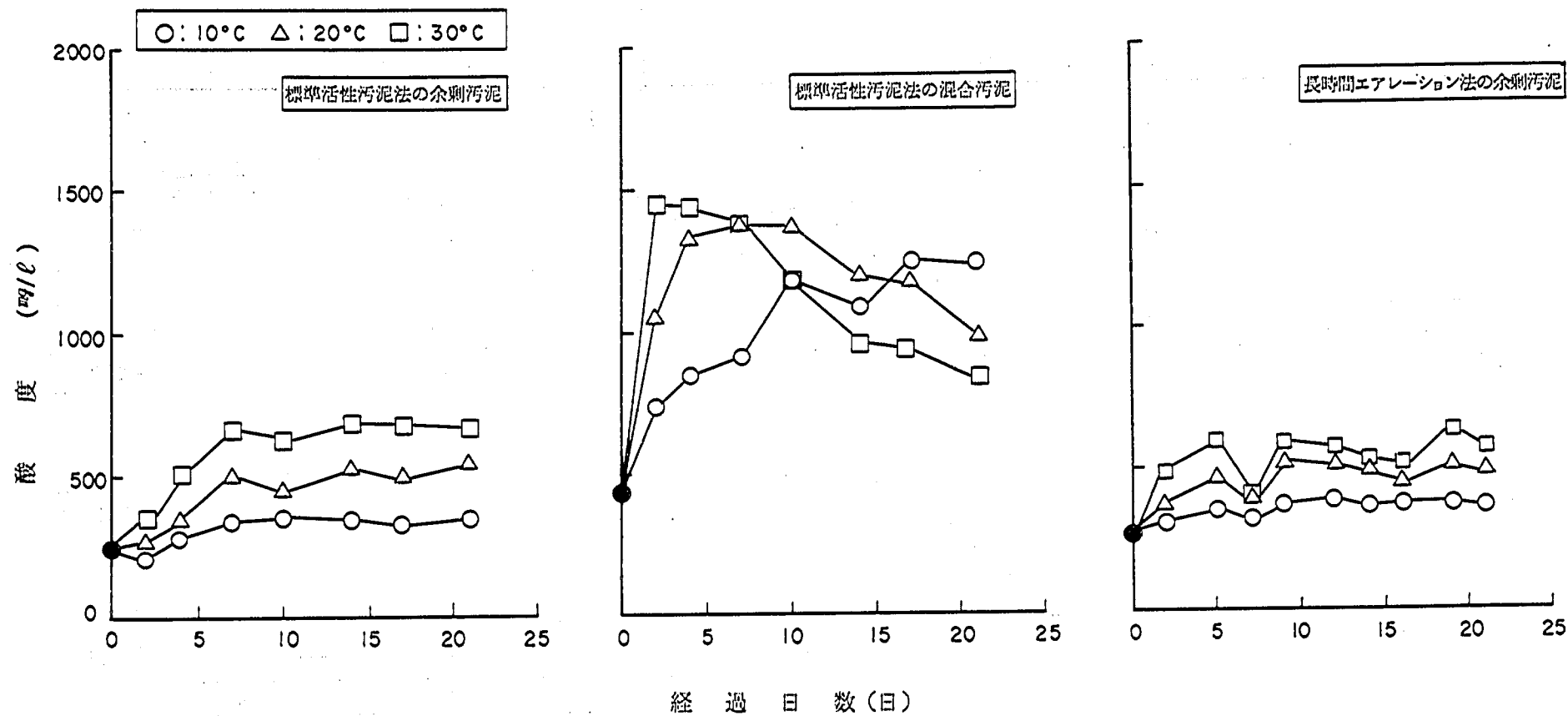


図-12 汚泥の貯留にともなう酸度の変化

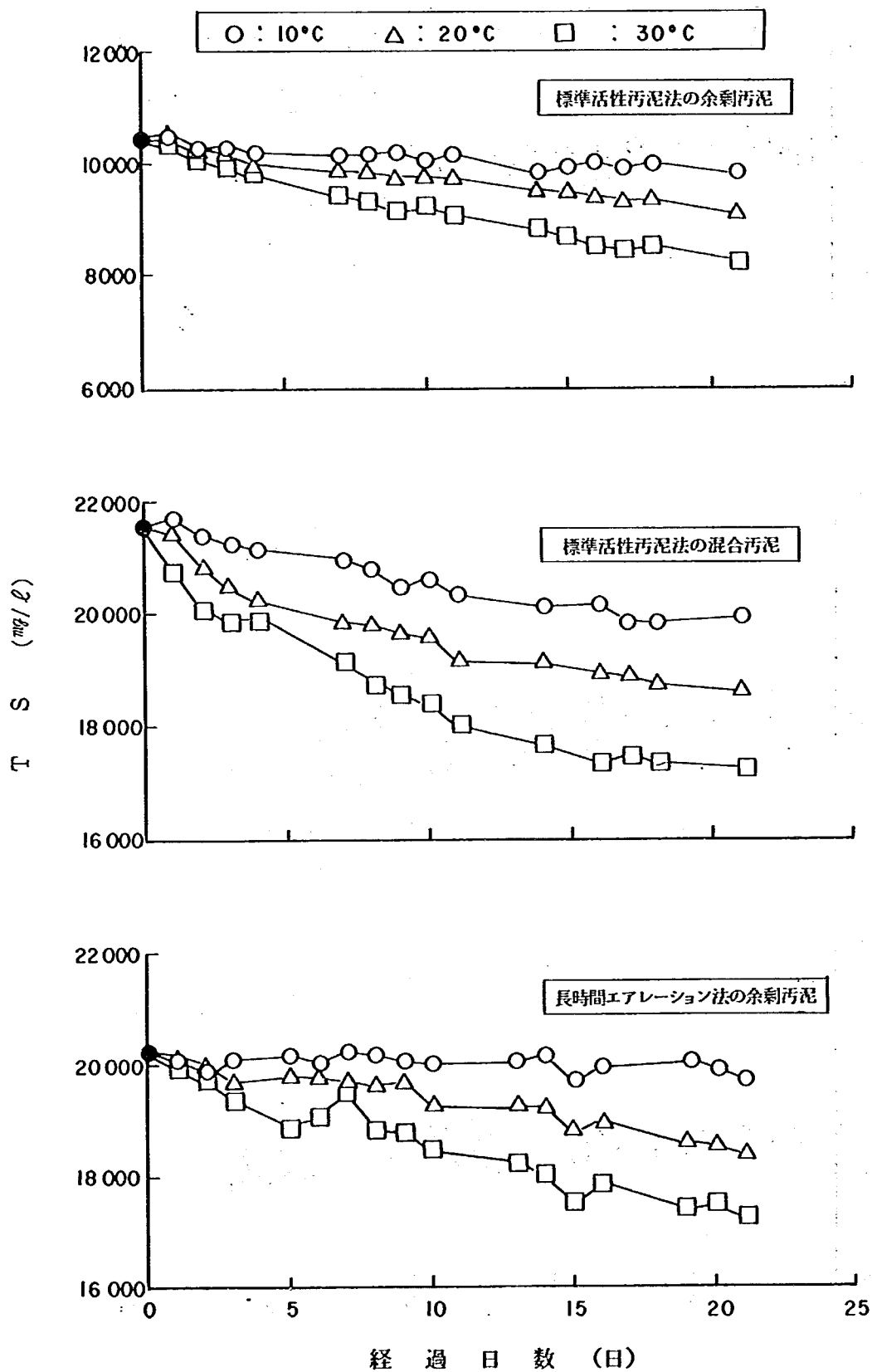


図-13 汚泥の貯留にともなうTSの変化

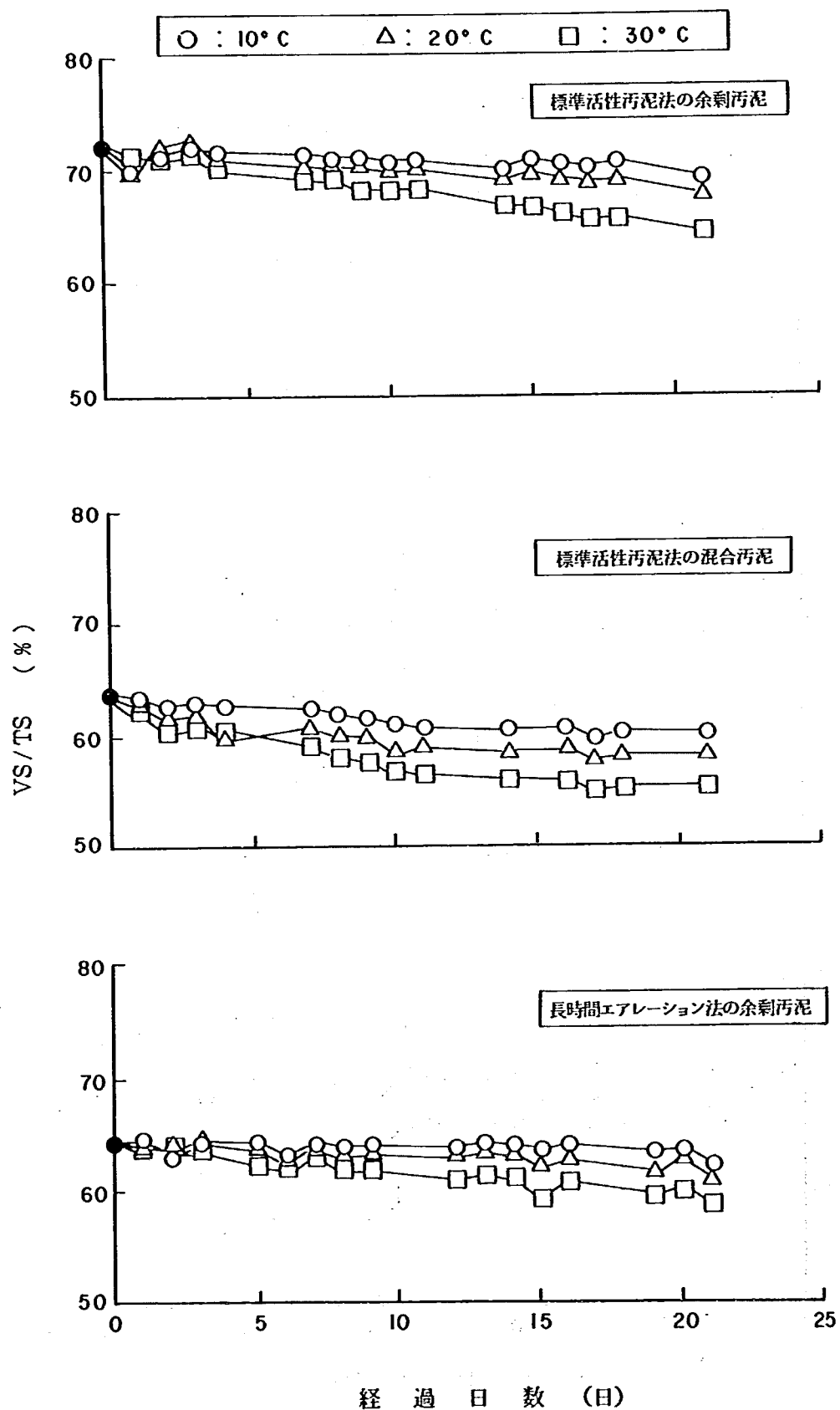


図-14 汚泥の貯留にともなうVS/TSの変化

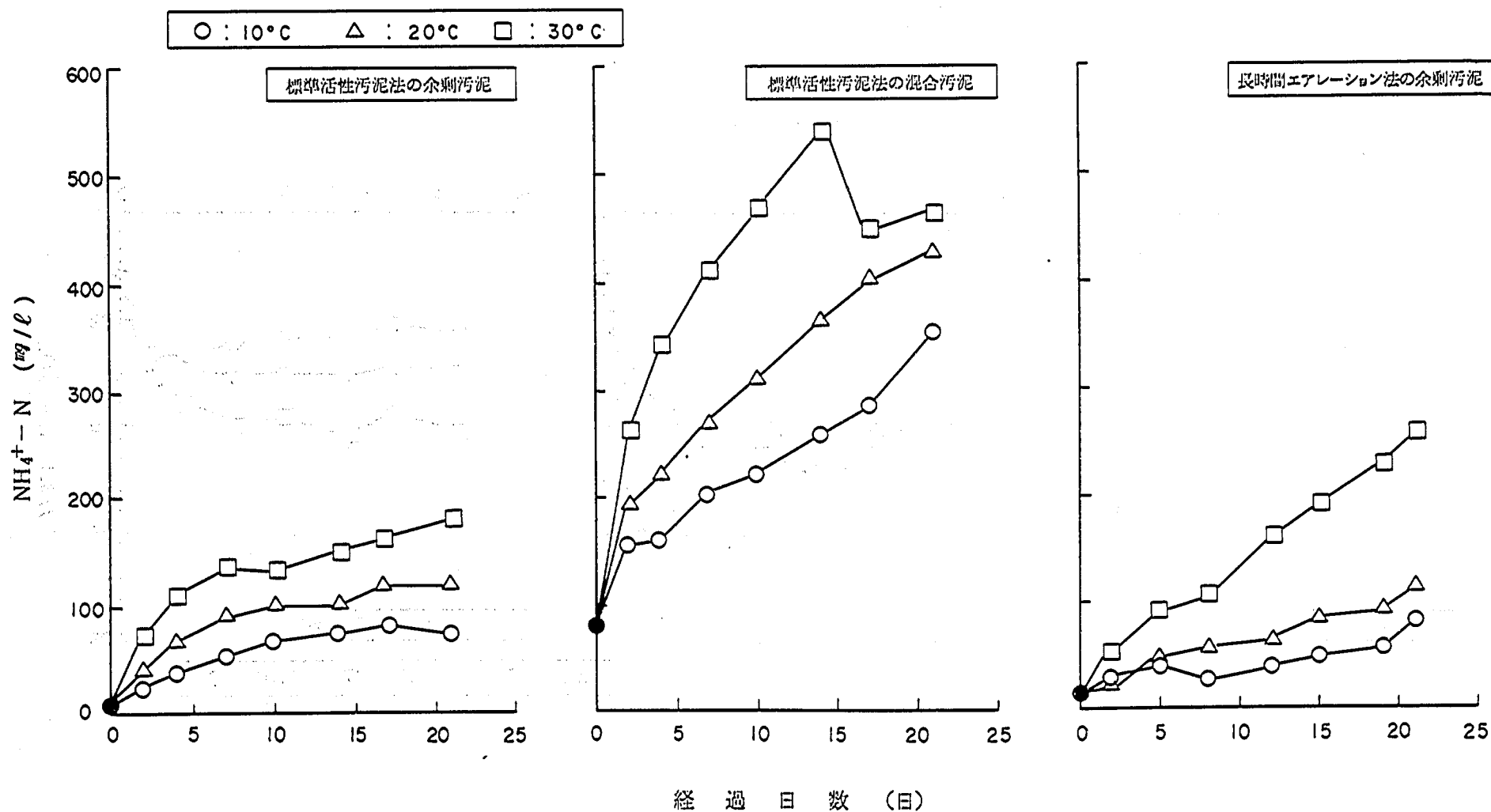


図-15 汚泥の貯留にともなう NH_4^+-N の変化

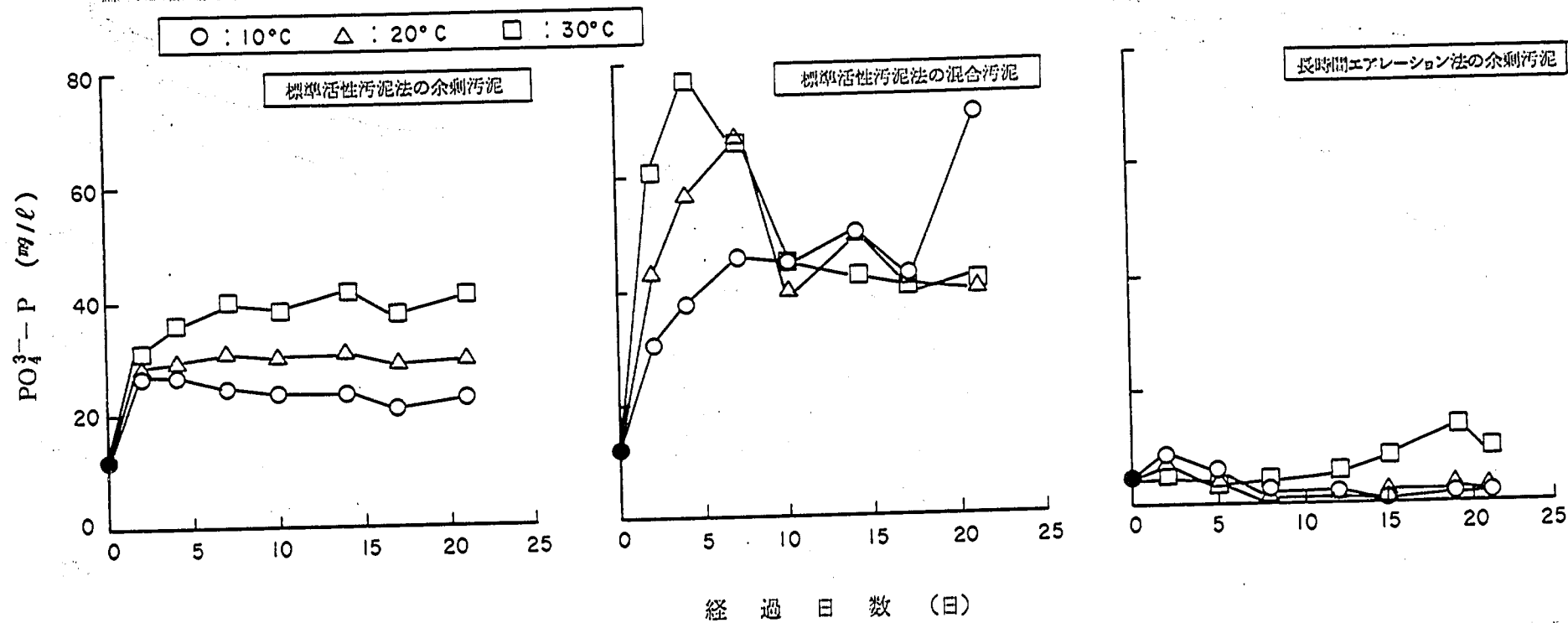


図-16 汚泥の貯留にともなう $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ の変化

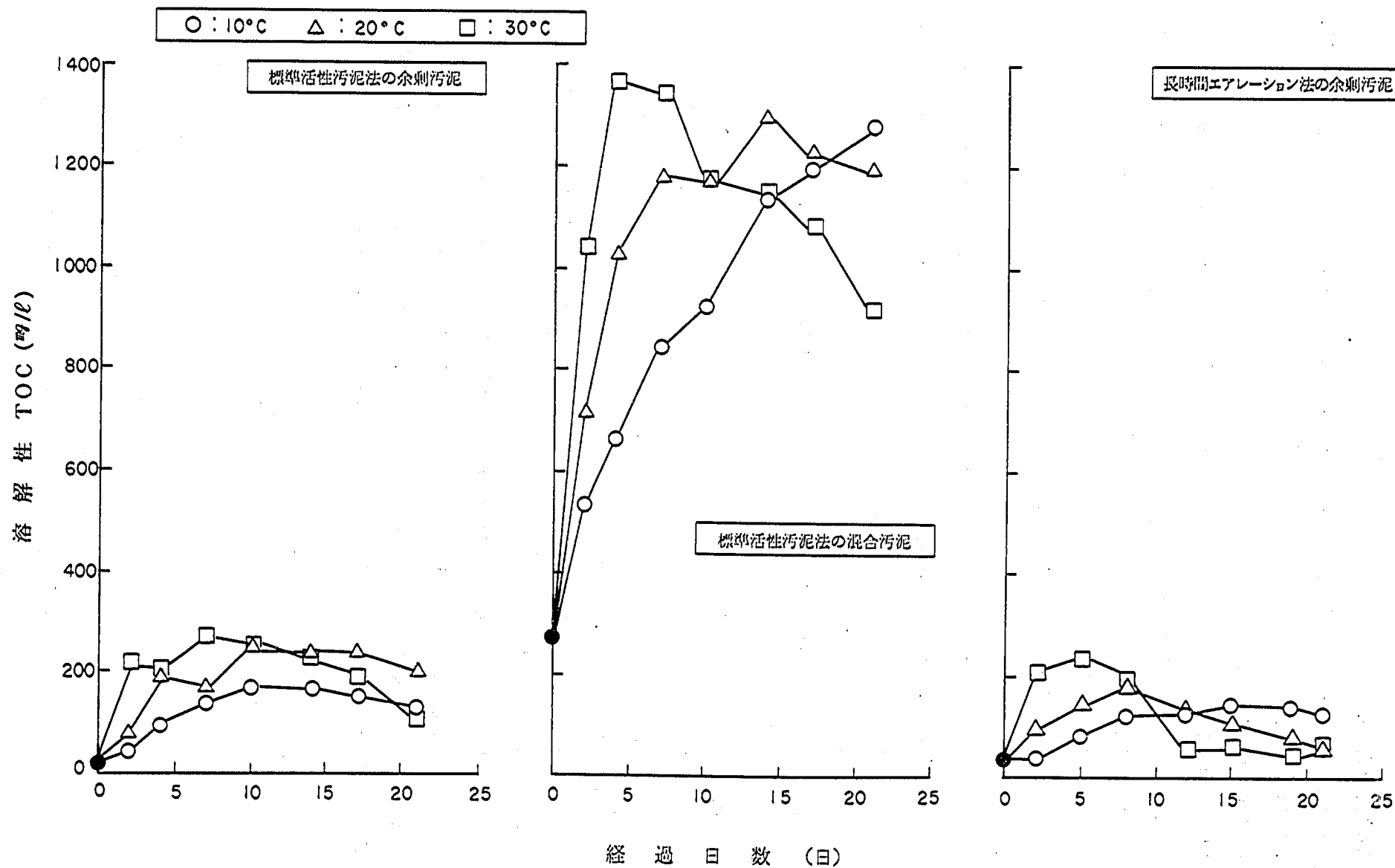


図-17 汚泥の貯留にともなう溶解性TOCの変化

2) 汚泥脱水性の変化

汚泥貯留にともなう脱水性の変化は、C S T (Capillary Suction Time) 及びベルトプレス試験機による脱水試験から調べた。

C S Tの変化を図-18に示した。

C S T値は、生物学的に不安定な性状に類する標準活性汚泥法からの汚泥を貯留した場合は、貯留日数の経過とともに悪化するが、比較的安定な長時間エアレーション法の余剰汚泥では逆に改善が見られた。また、貯留温度が高くなる程、生物学的に不安定な汚泥でのC S Tは悪化するが、逆に安定な汚泥では高温での貯留の方が良好な結果となった。

各貯留汚泥にポリマーをT Sに対して0.5%, 1.0%, 1.5%添加してC S Tを調べた結果、いずれのケースの汚泥でもポリマー添加率0.5%で最小値を示した。

同様のポリマー添加率によりベルトプレス脱水試験を行った結果、重力脱水時の水抜けは図-18の結果を反映しており、長時間エアレーション法の余剰汚泥では貯留日数の経過とともに良好となった。また、脱水汚泥の含水率については以下のような結果であった。

○ 標準活性汚泥法の余剰汚泥

ポリマー添加率0.5%及び1.0%では、貯留後の汚泥の方が貯留前よりも低くなる傾向にあったが、添加率1.5%では差がなかった。

○ 標準活性汚泥法の混合汚泥

ポリマー添加率1.0%及び1.5%で貯留前よりも高くなった。しかし、0.5%添加率での傾向は一定しておらず、貯留温度20℃では貯留後の方が低下した。

○ 長時間エアレーション法の余剰汚泥

ポリマー添加率1.0%のみの試験しか行わなかったが、いずれの貯留温度でも貯留後の汚泥の方が低くなる傾向を示した。

図-19には、ポリマー添加率1.0%による脱水汚泥の含水率の経日変化を示してある。

一方、貯留汚泥の濃縮性についても1ℓのメスシリンダーを用いて試験したが、ピケットフェンスを用いなかったことにもあるが、10℃のケース以外は全て試験途中で浮上し、評価できなかった。10℃の場合は、いずれの汚泥種でも貯留前と後の到達汚泥界面にはほとんど差がなかった。

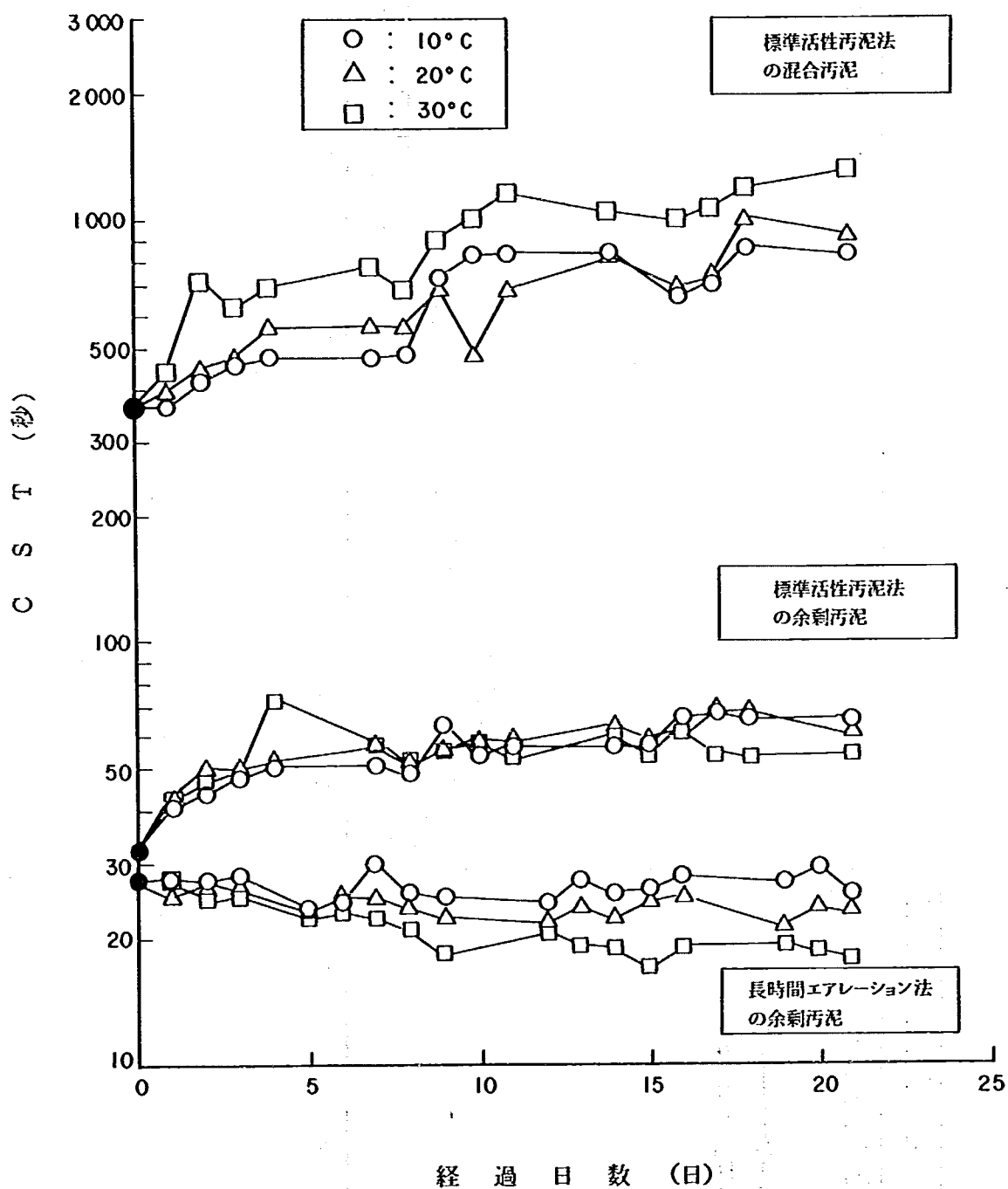


図-18 汚泥貯留にともなうCSTの変化

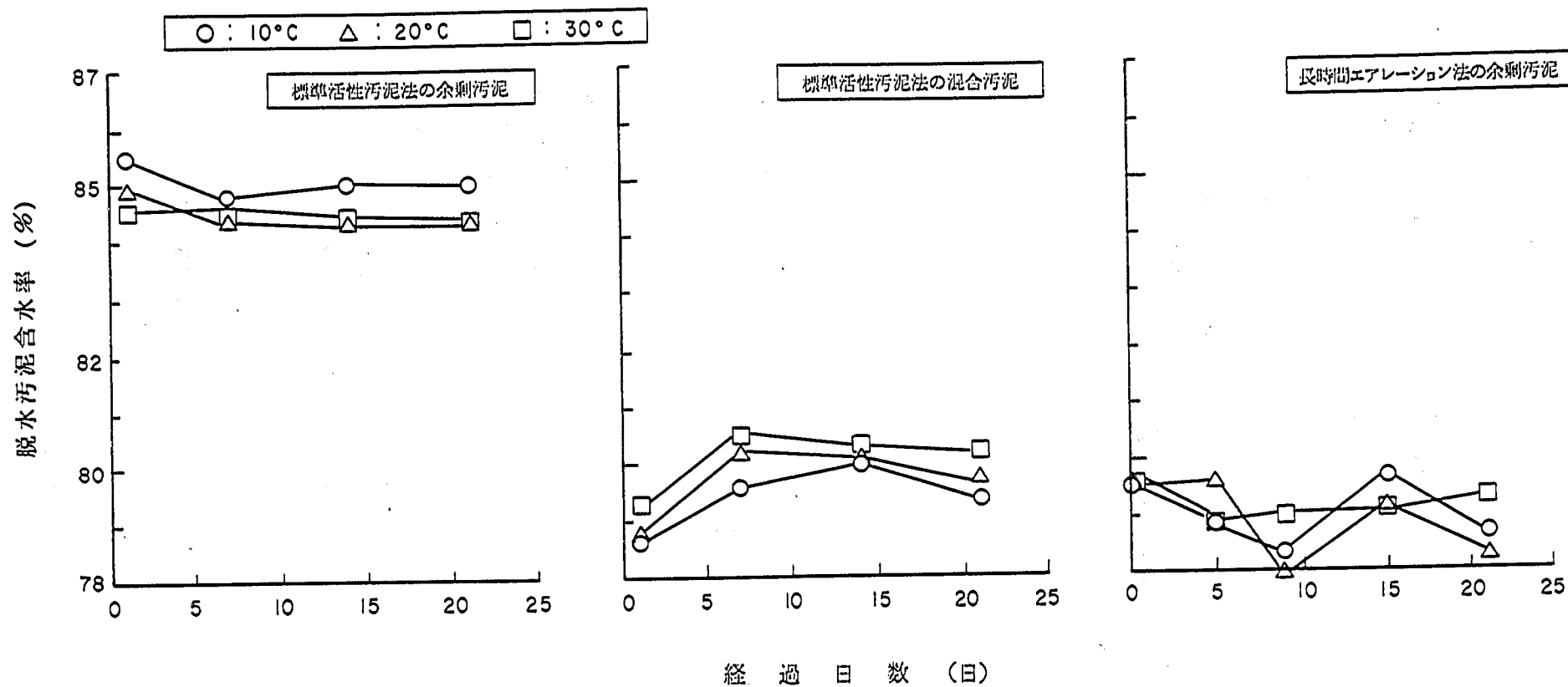


図-19 汚泥貯留にともなう脱水汚泥含水率の変化
—ポリマー添加率：対TS当り1.0%—

3) 貯留中の臭気

標準活性汚泥法の混合汚泥と長時間エアレーション法の余剰汚泥を対象とした実験系で臭気成分の分析を行った結果を表-6に示す。ここで、臭気試料の採取は、貯留中の汚泥約1ℓを2ℓの広口ポリビンに採取し、十分に気液混合した後、洗浄した1ℓの真空ビンに直ちに吸引、捕集する方法を取った。

臭気成分の発生も、当然のことながら生物学的に不安定な汚泥で著しいものとなった。また、臭気成分濃度が高かった硫化水素とメチルメルカプタンについては、貯留時の温度が高い程、発生するのも早く、減少するのも早かった。

表-6 臭気成分の分析結果

供試汚泥	貯留温度 (°C)	貯留時間 (日)	臭気成分 (ppm)			
			硫化水素	メチルメルカプタン	硫化メチル	二硫化メチル
標準活性汚泥法の混合汚泥	—	0	2.82	12.59	0.79	0.22
	10	10	9.85	7.08	0.86	0.63
		20	8.75	3.69	0.64	0.01>
	20	10	14.36	0.82	0.71	0.01>
		20	5.70	0.06	0.02	0.01>
	30	10	7.95	0.39	0.24	0.01>
		20	1.90	0.02	0.02	0.01>
長時間エアレーション法の余剰汚泥	20	0	0.33	0.038	0.01>	0.01>
		5	0.44	0.030	0.01	0.01>
		10	0.62	0.020	0.01	0.02
		15	0.53	0.013	0.01	0.02
		20	0.31	0.012	0.01>	0.01>

4.1.2 汚泥貯留における曝気効果に関する実験

本実験は、静置貯留実験により汚泥の腐敗による臭気発生が懸念されたことから、間欠曝気貯留法による臭気発生の防止効果と貯留汚泥の性状変化を調べるために実施したものである。

(1) 実験方法

実験は、容量が約80ℓのポリバケツに供試汚泥を約60ℓ入れ、20°Cの恒温室に貯留した。貯留に際しては、同一供試汚泥について静置貯留するケースと、間欠曝気するケースに分けて実施した。実験に供した汚泥の種類と曝気方法は次の通りである。

<貯留供試汚泥>

- 標準活性汚泥法の混合汚泥
- 長時間エアレーション法の余剰汚泥

<曝気方法>

- 曝気方法 : エアーポンプとタイマーによる散気球を介した間欠曝気

○ 空気量 : $10 \ell / \text{min} \times 1 \text{ hr} - 3 \text{ hr}$ 休止

○ 空気倍率 : $2.5 \ell - \text{Air} / \ell - \text{汚泥} / \text{hr}$

なお、水質分析、測定方法等については、以下に示すもの以外は「下水試験方法(1984)」によった。

○ 汚泥粒度分布 : $250 \mu\text{m}$ フルイ沓過、残渣のTS測定、及び通過分のレーザー粒径測定装置による粒径分布測定

全体に対する構成率 = $(250 \mu\text{m}$ 以下の試料のTS) / (TS) $\times$ (各粒径の構成率)

○ 濃縮性 : ピケットフェンス付き5ℓ濃縮試験筒による汚泥界面の測定

○ 臭気成分 : 環境庁告示第9号、別表第一及び第二

(2) 実験結果

1) 汚泥性状の変化

汚泥の貯留にともなうPH, TS, VSの変化を図-20と21に示した。

混合汚泥の系におけるPHは、静置貯留では貯留日数が経過しても低い所を維持し殆ど変化が見られないのに対して、間欠曝気貯留の系では上昇する傾向を示した。これは、酸発酵で生成した有機酸類が間欠曝気により好気的な生物分解を受け除去されたことによるものと思われる。一方、長時間エアレーション法の余剰汚泥の系におけるPHは、貯留日数が経過しても中性付近を維持し殆ど変化が見られなかった。

TSとVSは、いずれの汚泥系でも貯留日数の経過とともに減少しており、その減少の程度は、混合汚泥の系が大きく、また間欠曝気したケースの方が大きい。

図-22は、汚泥の粒度分布の測定結果である。いずれの汚泥系でも貯留による顕著な変化は見られず、また貯留方法によっても大きな差は認められなかった。

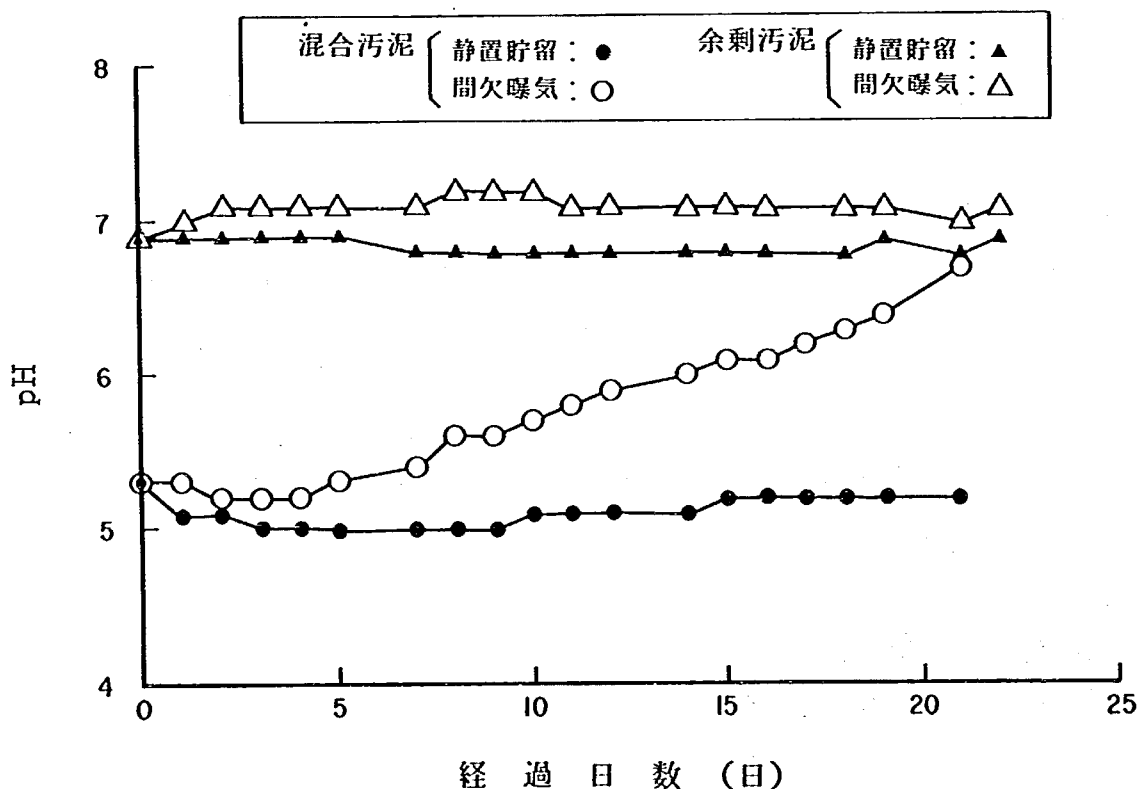


図-20 汚泥の貯留にともなうPHの変化

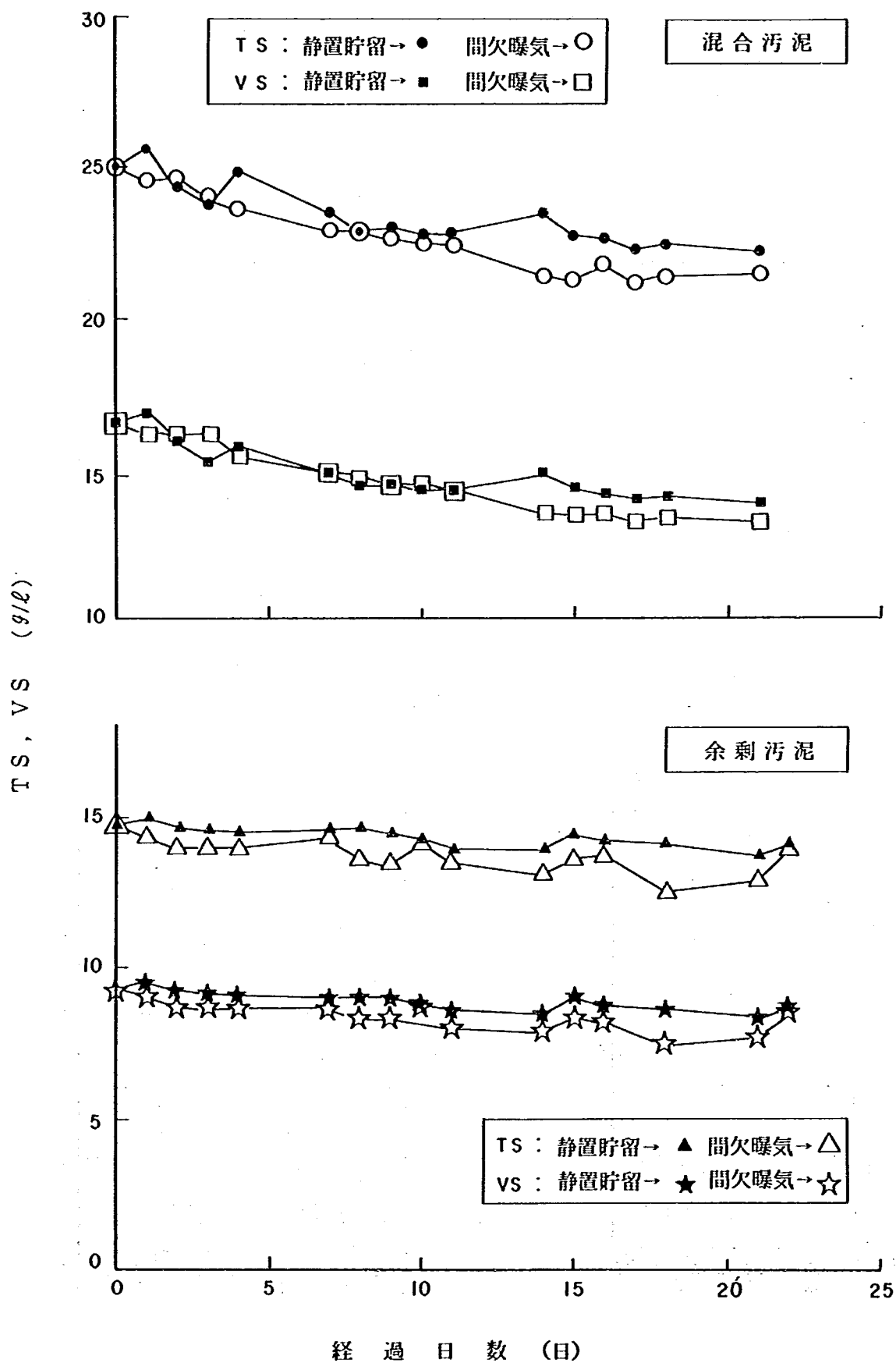


図-21 汚泥の貯留にともなうTSとVSの変化

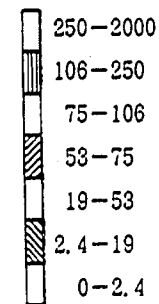
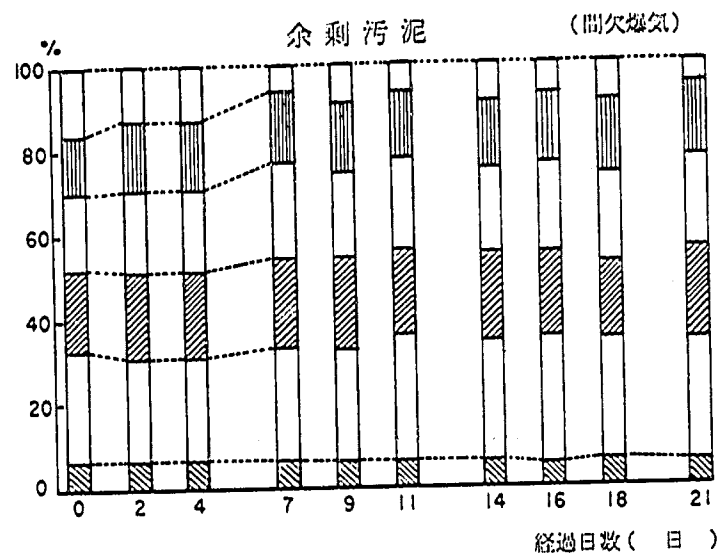
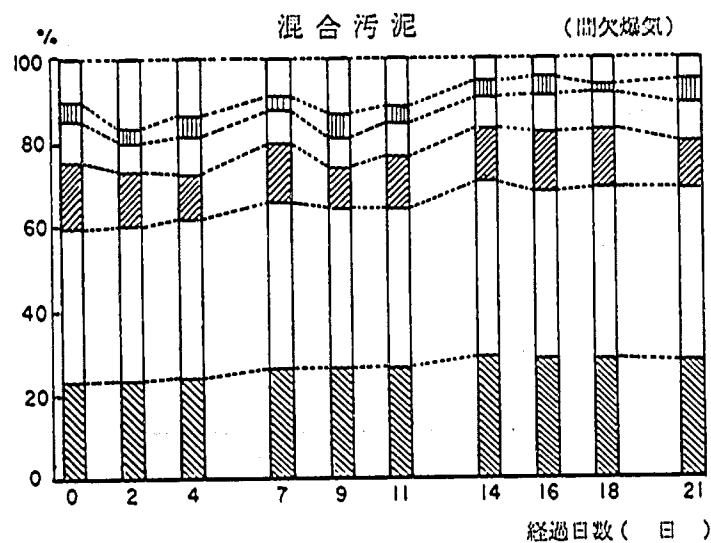
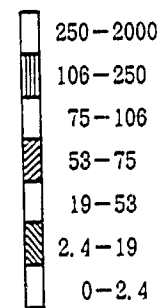
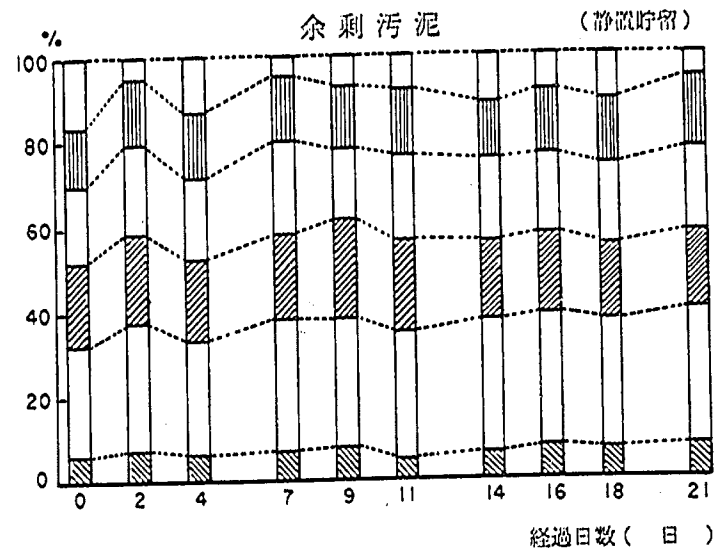
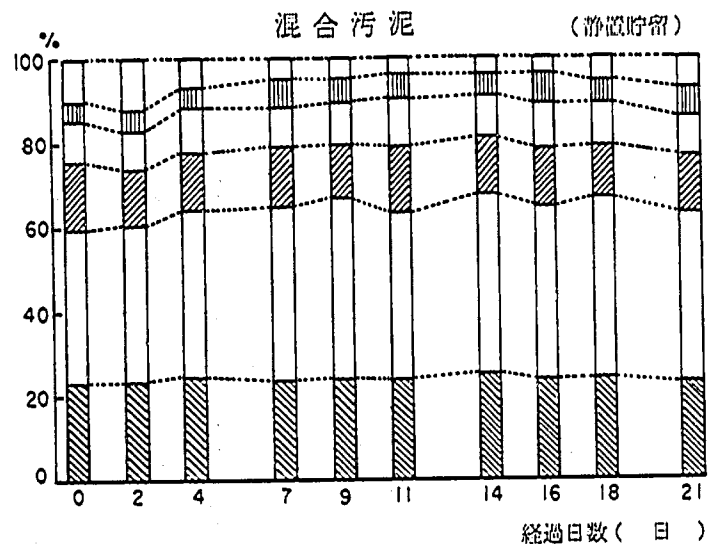


図-22 汚泥の粒度分布の測定結果

2) 汚泥濃縮性の変化

濃縮試験の結果を図-23に示した。また、図-24には貯留日数の経過とともに24時間到達SV値の変化を示した。

いずれの汚泥系においても、静置貯留では貯留日数の経過とともに24時間到達SV値は上昇して行くのに対して、間欠曝気貯留では改善傾向が見られ、汚泥の間欠曝気貯留法は重力濃縮する場合に良好な作用が期待できる。

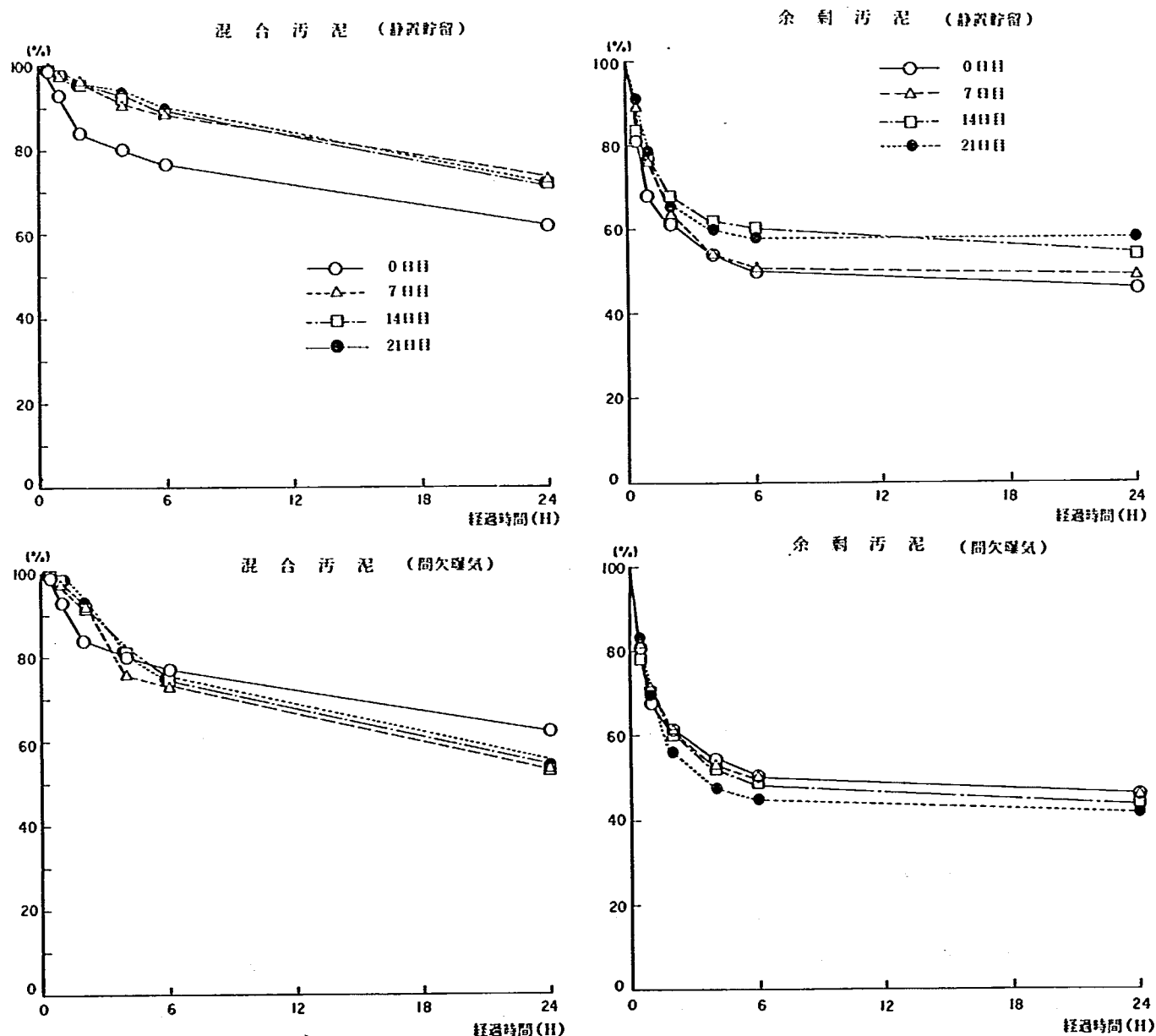


図-23 濃縮試験結果 (汚泥界面の変化)

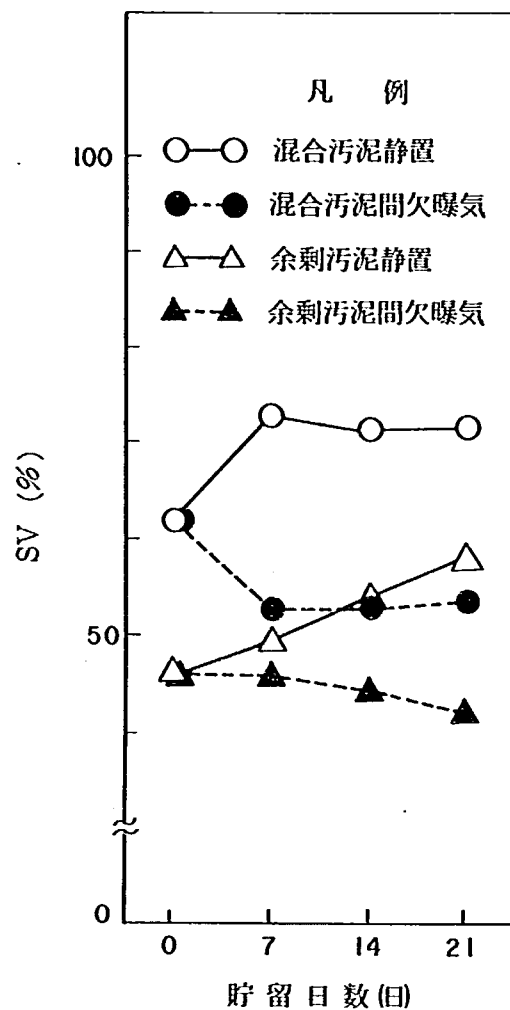


図-24 汚泥の貯留にともなう24時間到達SV値の変化

3) 貯留中の臭気

臭気分析用の試料の採取は、貯留中のポリバケツのフタを少し開け、その隙間からチューブを介して真空ビン、或いはエアポンプにより吸引捕集する方法を取った。なお、間欠曝気貯留では曝気停止中に採取した。

図-25に、臭気成分の経日的な濃度変化を示す。

長時間エアレーション法の余剰汚泥の系における硫黄化合物は、二硫化メチルが間欠曝気貯留において貯留開始後10日目にわずかに検出された以外は、いずれの貯留方法においても検出されなかった。

標準活性汚泥法の混合汚泥の系では、硫黄化合物の内、硫化水素と硫化メチルは間欠曝気貯留では静置貯留と比較して濃度が小さく、特に硫化水素は殆ど検出されなかった。メチルメルカプタンについては、ピーク濃度は静置貯留、間欠曝気貯留ともに同程度であるが、静置貯留の方が早くピークに達した後すみやかに減少しているのに対して、間欠曝気貯留ではピーク濃度の出現が遅く、その後の減少も遅い。二硫化メチルについては、静置貯留では検出されなかったのに対して間欠曝気貯留では7日以降に検出された。

アンモニアは、いずれの汚泥系でも検出された。標準活性汚泥法の混合汚泥の系の間欠曝気貯留のケー

スにおいて、アンモニアが20日目で大幅に増加しているのはPHの上昇によりアンモニアの揮散が生じたためと考えられる。

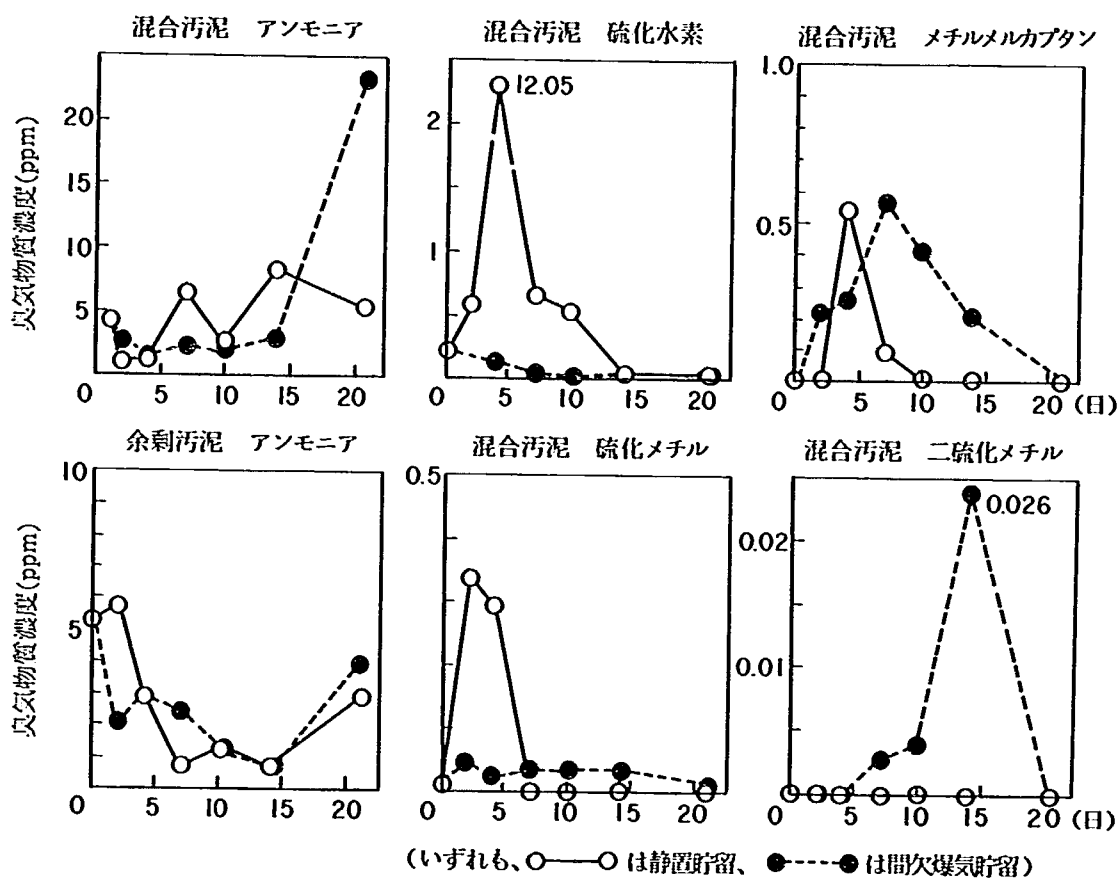


図-25 汚泥の貯留にともなう臭気成分の変化

4.1.3 まとめ

汚泥貯留法に関する実験から得られた結果をまとめると以下のようになる。

- ① 汚泥の貯留においては、生物学的に不安定な汚泥、例えば最初沈澱池汚泥やその混合汚泥、エアレーション時間が短い (BOD-SS 負荷が高い) 余剰汚泥ほど腐敗しやすく、貯留日数の経過にともなう汚泥固形物の可溶化による減少や液中の溶解性成分の増加、臭気の発生等が起こる。

これは、貯留時の温度が高い程、顕著なものとなる。

- ② 汚泥を貯留することによる脱水性への影響は、生物学的に不安定な汚泥では幾分の悪影響が見られるが、長時間エアレーション法の余剰汚泥のように比較的安定な汚泥にはさほど影響はなさそうである。

従って、貯留汚泥の脱水時には、凝集剤の注入率を大幅に増加しなくても貯留前と同等レベルの含水率が得られるものと思われる。

- ③ 汚泥貯留においては、臭気の発生が懸念されるが、これには間欠曝気法を採用することにより大幅な臭気発生の抑制が図れることから、対処できる。特に、間欠曝気法では生物学的に不安定な汚泥に対して硫化水素や硫化メチル等の抑制効果が大きい。

④ 間欠曝気貯留では、貯留する汚泥の種類に関係なく、重力濃縮性の改善が図れる。

小規模下水処理場において水処理系から発生する汚泥は、長時間エアレーション法からの余剰汚泥のよ
うに比較的生物学的に安定なもののケースが主流になると思われる。

このような処理場では、容易に汚泥の貯留を図ることができ、そこでは間欠曝気貯留法を採用して行く
と良い。そのときの空気量については、本実験では平均空気倍率として $2.5\text{m}^3\text{-Air}/\text{m}^3\text{-汚泥/hr}$ で行っ
たが、実施設においては、送風機には槽内で汚泥の攪拌、混合ができる空気吐出量を持たせるとともに、
その吐出時間については、汚泥の腐敗防止効果につながることから状況に応じて変更対処できるように、
タイマー等による制御機能を持たせておくが良い。

また、間欠曝気においても臭気は発生するが、その強度は然程大きくなく、且つアンモニア臭が主体の
ものとなる可能性が高い。このようなことから、臭気対策は必要に応じて簡易な方法（例えば土壌脱臭）
を取るようにすると良い。

4.2 好気性消化法に関する実験

下水汚泥の好気性消化法は、好気性微生物により有機物を分解し汚泥の減量化、安定化を図る方法であり、この方法は操作が容易であることや汚泥の長期間貯留を兼ねることができること等から小規模下水処理場用の単位プロセスとして重要視される。

本実験は、実際にこの方法を採用している処理場において必ずしも設計どおりの機能が發揮されているわけではない⁸⁾ことから、好気性消化法の適性な設計や操作に寄与するとともに、その後の処理プロセスに与える影響について基礎的なデータを得るために実施したものである。

4.2.1 実験方法

実験は、温度条件と汚泥の種類を変化させた回分実験および余剰汚泥を用いた半連続実験を行った。主な実験条件は表-7-1に示すとおりである。

回分実験は、混合生汚泥、最初沈澱池汚泥（初沈汚泥）、余剰汚泥の3種類について設定温度を10℃、20℃とした。実験装置は20ℓのポリタンクの底にディフューザーを取りつけたものを用いた。実験期間は4週間とし、週1回の割合で実験装置内の消化汚泥のサンプリングを行い分析に供した。

半連続実験は余剰汚泥を用い、設定消化日数5日、10日、20日、40日の4つのケースについて実験を行った。汚泥の投入、引抜きは、チューブポンプを用い1日1回行った。

汚泥の成分分析は、PH、TS、VS、溶解性成分としてGF/Bで濾過した濾液のTS（D-TS）、VS（D-VS）、K-N、NH₄⁺-N、NO₂⁻+₃-N、T-P、PO₄³⁻-Pについて行った。窒素、リンの分析には自動比色分析装置を用い、他は「下水試験方法（1984）」によった。さらに、混合生汚泥、初沈汚泥、余剰汚泥についてクロメーターを用いた酸素消費量試験を行った。

また、好気性消化過程における脱水性を評価する実験を行った。

表-7-2に主な実験条件を示す。分析に供した試料のサンプリングは、実験開始時から0、1、4、10、20、33日目に行い経日変化を調査した。

供試汚泥の成分分析は、PH、TS、VS、粒径分画試験、ベルトプレス脱水試験、およびCSTの調査

表-7-1 実験条件

項目	実験No	Na 1	Na 2	Na 3
実験様式		回分実験	回分実験	半連続実験
実験温度		20℃	10℃	20℃
供試汚泥		混合生汚泥 初沈汚泥 余剰汚泥	混合生汚泥 初沈汚泥 余剰汚泥	余剰汚泥
実験期間		29日間	28日間	69日間
消化日数		〃	〃	4.5日 6.3日 13.4日 21.6日
攪拌空気量		0.25((air) ℓ/min/ℓ)		18 ((air) ℓ/min槽)+機械攪拌

表-7-2 実験条件

項 目	CASE No1	CASE No2
実験形式	回分実験	
実験供試汚泥	最初沈澱池汚泥	余剰汚泥
PH	5.19	6.12
TS (mℓ/ℓ)	18180	14730
VS (mℓ/ℓ)	13670	11410
消化温度	20℃	
攪拌空気量	0.5 (ℓ (air)/ℓ (汚泥)/min)	
消化期間	33日間	

を行った。粒径分画試験に使用したふるいは、一般の土質試験に使用される銅製ふるいをうい、ふるい目は250, 105, 53, 20 μm の4段階とした。ふるい分け方法は、ふるいに供試汚泥を通過させふるい上に残った残渣をさらに洗浄し、TS、VSの測定を行った。脱水試験に際しては、蒸留水を用いて濃度0.2 (W/V) %に溶解した高分子凝集剤をTS当たり約1%を目標に添加した。

なお、本実験に用いた汚泥は、分流式（一部合流式）のK下水処理場より採取したものである。この処理場の水処理方式は活性汚泥循環変法、汚泥処理方式は濃縮－嫌気性消化－遠心脱水となっている。初沈汚泥と余剰汚泥は別々に引抜かれており、初沈汚泥は主に流入水中のSS成分と考えられる。混合汚泥には濃縮槽引抜き汚泥を用いた。

4.2.2 実験結果

(1) 回分好気性消化実験

実験の結果を表－8に示す。

表－8 回分好気性消化実験結果

(単位 mg/ℓ)

汚泥区分	混合生汚泥				初沈汚泥				余剰汚泥			
	20℃		10℃		20℃		10℃		20℃		10℃	
項目	開始時	終了時	開始時	終了時	開始時	終了時	開始時	終了時	開始時	終了時	開始時	終了時
PH	5.52	6.51	5.82	6.50	5.85	6.13	6.16	6.20	6.76	4.48	6.79	6.66
TS	28,200	17,450	28,200	22,200	21,000	9,030	24,800	16,340	22,500	18,610	17,750	15,890
VS	20,600	11,830	20,300	14,680	15,990	5,460	15,160	10,700	17,660	13,210	13,370	11,450
D-TS	2,640	1,294	1,891	1,465	1,331	1,298	1,122	1,333	1,211	2,230	555	1,180
D-VS	1,743	665	1,113	771	814	685	570	591	529	1,014	127	639
K-N	1,488	1,046	1,656	1,096	508	258	1,008	594	1,644	1,450	1,392	1,546
NH_4^+-N	218	238	200	97	361	41	34	82	48	297	14	24
$\text{NO}_{2+3}^--\text{N}$	0.01	207	0.10	75.5	0.10	27.1	0.04	33.0	0.01	525	0.04	196
T-P	526	516	626	618	174	158	382	360	552	668	466	490
$\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$	18	5.3	12	1.8	3.6	5.3	8.5	0.8	41.1	100	8.5	4.5

好気性消化におけるVSの減少量は、EPAマニュアル⁹⁾等において温度と消化日数の積とに相関があるとされている。当実験での結果について温度と消化日数の積とVS減少率を示すと、図－26に示すとおりであった。この図からもみられるとおり当実験においても混合生汚泥、初沈汚泥、余剰汚泥ともVSの減少率と温度と消化日数の積との間に高い相関がみられた。特に混合生汚泥については、EPAマニュアルに示された値と近似していた。汚泥の種類別にみると初沈汚泥のVS減少率が最も高く、余剰汚泥の減少率が低い値となった。この傾向は嫌気性消化の場合と比べても同様であり、初沈汚泥中のVS成分が好気性、嫌気性にかかわらず分解を受けやすいものであることを示している。

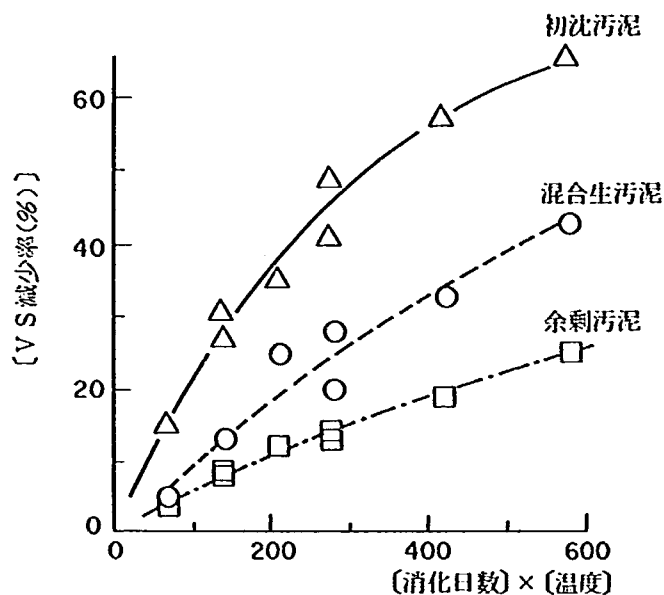


図-26 汚泥種類別のV S減少率

(2) 半連続実験

実験は余剰汚泥を用いて行い、総実験期間は65日間とした。実験開始から40日間を汚泥の馴致期間とし、残りの29日間のデータについて検討を行った。29日間における平均消化日数は4.5日、6.3日、13.6日、21.6日となった。表-9に各成分の日平均負荷量を示す。

図-27にV Sの負荷量とV Sの減少率との関係を示す。余剰汚泥を使用しているため総じてV S減少率は小さいものの1.5～

2.0 (^{VS} g/ℓ・日)

付近で変曲点が生じている。この結果から余剰汚泥について好気性消化槽の運転で高い消化率を得るためにはV Sの負荷量を概ね1.0 (^{VS} g/ℓ・日)以下にすることが望ましいと考えられる。

表-9 半連続実験の結果

(負荷量単位 mg/日)

CASE No	1		2		3		4	
設定消化日数 (日)	5		10		20		40	
平均消化日数 (日)	4.5		6.3		13.4		21.6	
項目	投入	引抜き	投入	引抜き	投入	引抜き	投入	引抜き
PH	6.82	5.57	6.82	5.77	6.82	5.62	6.82	5.62
TS	3,700	3,360	2,670	2,470	1,247	1,079	818	589
VS	2,840	2,500	2,050	1,830	960	794	631	426
D-TS	141	284	101	204	48	95	30	70
D-VS	46	150	32	107	15	50	9	39
K-N	269	218	193	165	91	64	59	36
NH ₄ ⁺ -N	6.9	12.6	5.0	11.4	2.3	5.0	1.5	4.9
NO ₂ ⁻ + ₃ -N	0.1	29.1	0.1	22.7	0.0	10.9	0.0	8.9
T-P	97	93	69	71	33	31	21	18
PO ₄ ³⁻ -P	1.9	1.4	1.4	1.0	0.7	0.5	0.5	0.8

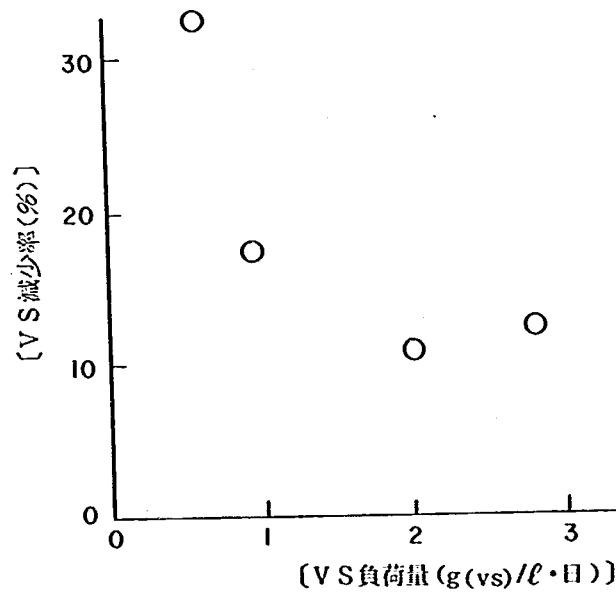


図-27 余剰汚泥のVS負荷量とVS減少率

(3) 酸素消費量試験

6系列のクーロメーターを用いて混合生汚泥、初沈汚泥、余剰汚泥各2ケースずつ回分実験と平行して試験を行った。各ケースの設定条件を表-10に示す。

表-10 酸素消費量試験条件

ケースNo	汚泥の種類	希釈率	汚泥量	温度	実験開始時	
					TS (mg/ℓ)	VS (mg/ℓ)
1	初沈汚泥	20倍	300ml	20°C	983	740
2	初沈汚泥	20倍	300ml	20°C	983	740
3	余剰汚泥	20倍	300ml	20°C	1,060	810
4	余剰汚泥	20倍	300ml	20°C	1,060	810
5	混合汚泥	20倍	300ml	20°C	1,294	916
6	混合汚泥	20倍	300ml	20°C	1,294	916

図-28には、各汚泥の単位VS当りの平均酸素消費量を示す。余剰汚泥の酸素消費量が最も多く、混合生汚泥が最も小さな値であった。この結果は回分実験のVS減少率とは逆の傾向となっていた。回分実験では同量の空気を供給していたが、各汚泥の酸素消費量が異なるため、余剰汚泥の減少率が低くなっていたとも考えられる。したがって、特に余剰汚泥の割合の多い汚泥を好気性消化する場合には、空気量に注意する必要があると思われる。

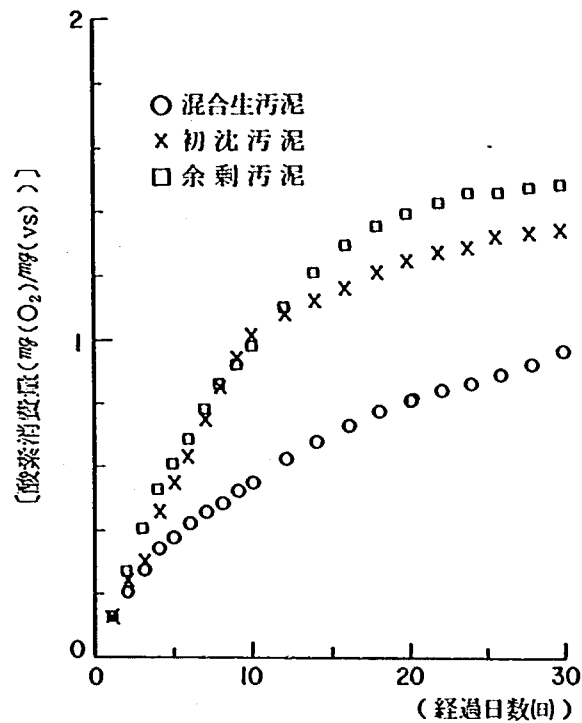


図-28 単位V S 当りの酸素消費量

(4) 脱水性評価実験

1) 好気性消化汚泥の粒径分画試験について

図-29に、好気性消化にともなう汚泥の粒径別TS濃度の構成率を示した。初沈汚泥と余剰汚泥の粒径分布を比較すると、初沈汚泥においては、粒径が $250\mu\text{m}$ 以上および $20\mu\text{m}$ 以下の両端の構成率が高く、余剰汚泥においては、逆におよそ $20\mu\text{m}$ ～ $250\mu\text{m}$ までの粒径構成率が高いものとなった。消化が進むにしたがい、初沈汚泥においては、 $20\mu\text{m}$ ～ $250\mu\text{m}$ の中間粒径の構成率が高くなる傾向にあり、最終的に余剰汚泥に近い粒径分布を示した。余剰汚泥の経日変化をみると、粒径が細分化される傾向にあり、特に10日目以降 $20\mu\text{m}$ 以下の構成率が激増している。

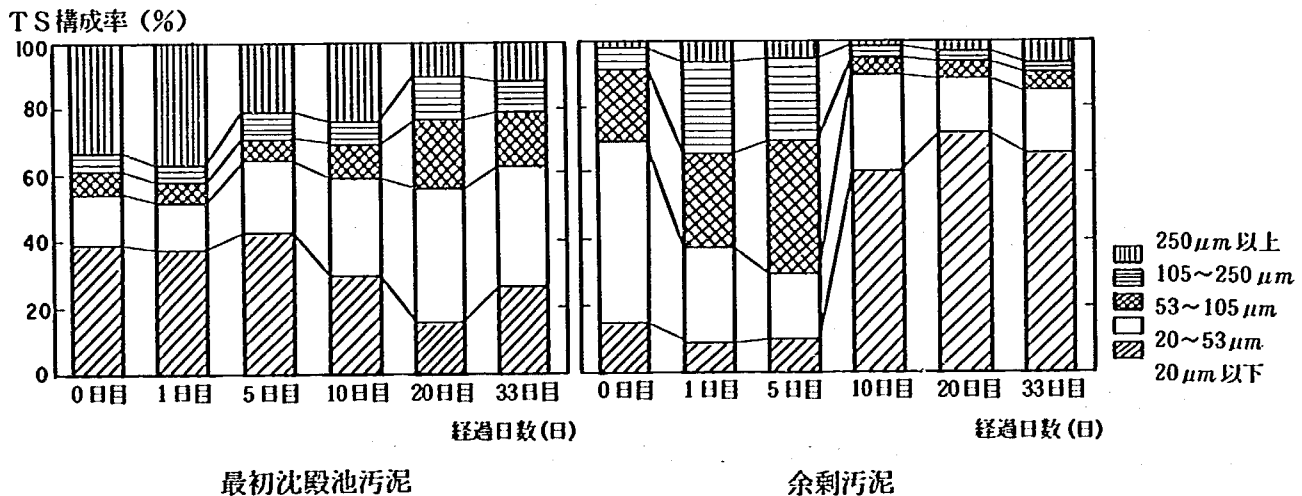


図-29 粒径分画試験の結果

2) 好気性消化汚泥の脱水性について

図-30に本実験における、ベルトプレス脱水試験による脱水汚泥含水率の経日変化を示す。初沈汚泥の脱水汚泥含水率が75%程度と、比較的良好な脱水性を示したのに対し、余剰汚泥は85%と脱水性が悪いことを示している。

また、余剰汚泥の脱水汚泥含水率は、実験期間中を通してほとんど変化がみられなかったものの、初沈汚泥では消化の進行とともに徐々に脱水性が悪化して行き、最終的には余剰汚泥に近い値を示している。

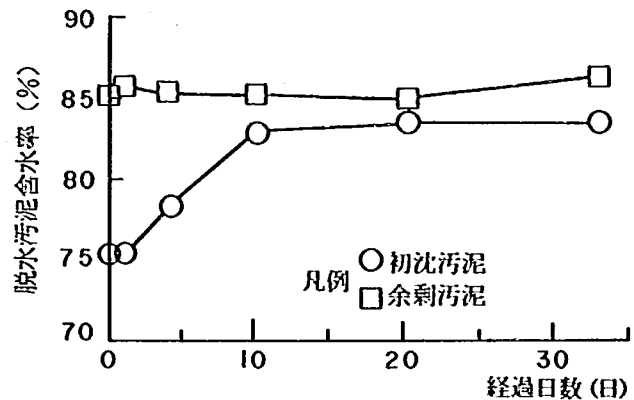


図-30 脱水試験の結果

粒径分画試験と脱水試験の結果とを比較すると、初沈汚泥において、消化の進行とともに $250\mu\text{m}$ 以上および $20\mu\text{m}$ 以下の構成率が低下し、併せて脱水性の悪化がみられている。しかし、余剰汚泥において、 $20\mu\text{m}$ 以下の構成率の激増に対し、脱水性の変化が現われないことから、ベルトプレス脱水における脱水性に対しては、粒径が $250\mu\text{m}$ 以上の成分の影響が大きいことが考えられる。

3) 脱水性の指標としてのCSTについて

図-31にCSTの経日変化を示す。CSTは、脱水性の指標としてよく用いられる値であるが、本実験における脱水試験の結果と比較してみると、初沈汚泥ではCST値の低下に対して脱水性は逆に悪化しており、余剰汚泥では、CST値の変化にともなう脱水性の変化がみられなかった。

粒径分画試験の結果とCST値の変化を比較すると、特に余剰汚泥では、粒径 $20\mu\text{m}$ 以下の成分と、変化のパターンが似かよっていることから、CSTに対しては、汚泥中の微細な粒子が大きく影響するものと考えられる。

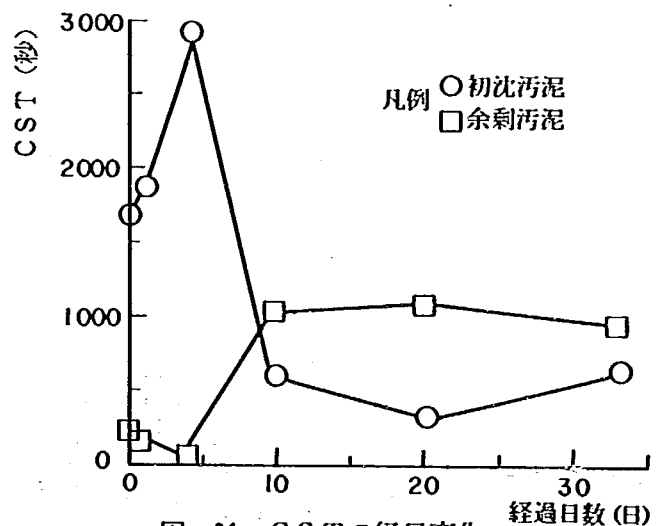


図-31 CSTの経日変化

4.2.3 まとめ

好気性消化法に関する実験から得られた結果をまとめると以下のようなになる。

- ① 好気性消化法におけるVSの減少率は、消化日数(日)と消化温度($^{\circ}\text{C}$)の積との間で高い相関があり、地域的な気温を考慮した消化率や消化日数の検討に際して容易に活用できるものと思われる。

② 比較的長時間エアレーション法に近い余剰汚泥を対象とした場合、消化温度 20°C におけるV Sの減少率（消化率）は、消化槽へのV S負荷量との関係において、 $1.5\sim 2.0\text{kg-V S/m}^3\text{-槽/日}$ の付近に変曲点がみられ、高い消化率を得ようとする場合には、消化槽へのV S負荷量を概ね $1.0\text{kg-V S/m}^3\text{-槽/日}$ 以下とする運転法を取れば良いものと思われる。

③ 消化汚泥の脱水性は、余剰汚泥を対象とした場合には、大きな変化はみられず、初沈汚泥では悪化する傾向にあった。脱水性が悪化する原因としては、消化汚泥の粒径構成の中で $250\mu\text{m}$ 以上の成分の減少による所が大きいと推察された。

④ C S T (Capillary Suction Time) の測定値の評価に関しては、C S T値は、当然のことながら微粒子の存在比率により変化し、本実験からは、C S T値は主に粒径 $20\mu\text{m}$ 以下の粒子の存在状況を表す指標として評価された。

4.3 無加温嫌気性消化法に関する実験

下水汚泥の嫌気性消化は現在、大部分が消化温度 $35^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ の加温消化で行われているが、よりシンプルな方法として加温を行わない無加温消化がある。無加温消化は、加温設備が不要となり維持管理が容易なことから、小規模下水処理場用の汚泥処理プロセスとしての可能性が期待される。また、好気性消化法と同様に、汚泥の減量・安定化を図るとともに、結果として汚泥の長期間貯留が可能となることから、その効用には大きなものがある。

消化温度と消化日数の関係については、Fair & Moore による図-32¹⁰⁾が広く知られている。この図は、ベンチスケールの回分式消化実験において各消化温度で理論最終ガス発生量の90%のガス発生量を得るために必要な消化日数と消化温度の関係をプロットしたものであり、同様な結果が他の研究者によっても報告されている。¹¹⁾

無加温嫌気性消化法は、中温消化法よりもかなり長い消化日数を必要とするが、既存の下水処理場では主として供用初期における一時的な維持管理上の対応策として用いられてきたために、その消化機能や必要消化日数等については解明されていない点が多い。

本実験は、無加温嫌気性消化法における消化温度と消化率、ガス発生量等との関係を調査し、本法の適応性を評価するために実施したものである。

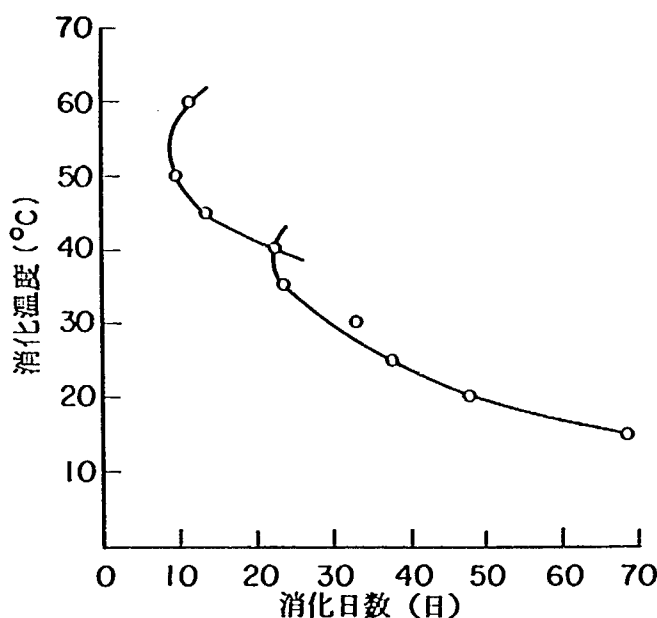


図-32 Fair & Moore による消化温度と必要消化日数の関係¹⁰⁾

4.3.1 実験方法

実験は、無加温消化を行っている秋田県A処理場において実施した。実験は、図-33に示した容量 10ℓ の消化実験装置を用いてフィルアンドドロの半連続式により、消化日数を25日、50日、75日、100日の4条件、各々の消化日数について消化温度を 10°C 、 20°C に変えて行った。汚泥投入、引抜は、1日に1回とした。

実験の手順は次のとおりである。まず、A処理場の二次消化槽から消化汚泥を採取し、その10ℓを所定温度に調整した恒温水槽中の消化実験装置に入れ攪拌を開始した。次に消槽内を嫌気状態に保つため、実験装置の汚泥引抜管からH₂ガスを送り込み、ガス放出口より放出させる作業を数回繰り返した後、放出ガスをガスクロマトグラフにより分析し、消化槽内に酸素がないことを確認した。この後、同処理場の混合濃縮汚泥を供試汚泥として所定の消化日数に対応する量で毎日1回の投入・引拔を行なって消化を開始し、馴致運転として消化日数25日、50日、75日、100日の各条件に対してそれぞれ14日、56日、84日、99日間の消化を継続した後本実験に移行し、試料採取・分析を開始した。

試料採取及び分析については、毎日の投入・引抜汚泥を100mlずつ冷蔵庫に冷蔵保管し、2週間分の混合試料を作成したものを分析に供した。発生ガス量は、原則として毎日測定した。日曜、祝日については投入・引抜を休止したため、前日の投入・引抜汚泥量を2倍にして、翌日までのガス発生量を各日に半分ずつ割り当てた。なお、分析方法は「下水試験方法（1984）」によった。

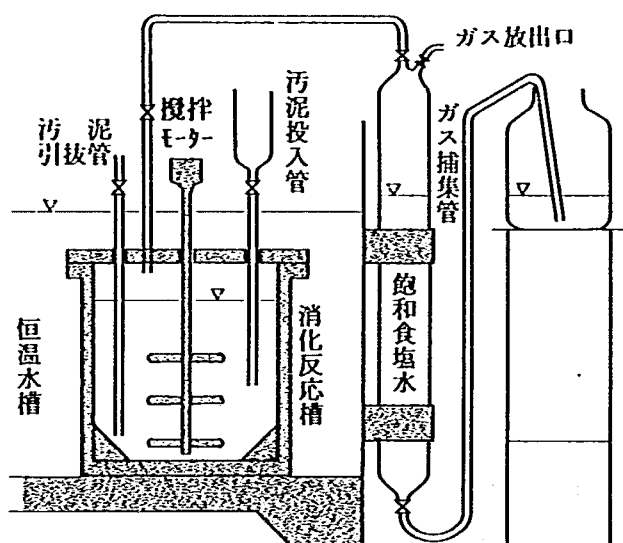


図-33 消化実験装置

4.3.2 実験結果

表-10に消化実験の結果をまとめた。表中の消化率は次式によって計算した。

$$D = \left(1 - \frac{FS_1 \cdot VS_2}{VS_1 \cdot FS_2} \right) \times 100 \quad \text{..... (1)}$$

ここで、D : 消化率 (%)

FS₁ : 投入汚泥の無機分 (%)

VS₁ : 投入汚泥の有機分 (%)

FS₂ : 消化汚泥の無機分 (%)

VS₂ : 消化汚泥の有機分 (%)

表-10 消化実験の結果

消化温度 (°C)	消化日数 (日)	投入TS (mg/l)	投入VS (mg/l)	投入有機分 (%)	引抜TS (mg/l)	引抜VS (mg/l)	引抜有機分 (%)	消化率 (%)	有機物負荷 (g/日)	有機物分解率 (%)	発生ガス量 (l/日)	発生倍率 (倍)	投入TS当り発生ガス量 (l/g)	投入VS当り発生ガス量 (l/g)	VS減少量当り発生ガス量 (l/g)
10	100	36,300	20,400	56.2	31,200	15,200	48.6	25.9	0.20	24.9	0.398	4.0	0.11	0.20	0.82
	75	44,600	26,300	59.2	33,100	16,400	49.6	31.8	0.35	37.1	0.983	7.4	0.17	0.28	0.94
	50	47,000	27,600	58.9	36,500	18,700	51.3	26.2	0.55	31.5	1.260	6.3	0.11	0.23	0.93
	25	43,600	25,300	58.0	35,500	18,700	52.7	19.2	1.01	26.0	1.662	4.0	0.09	0.16	1.01
20	100	44,500	24,500	55.1	36,500	14,200	38.9	47.7	0.25	42.0	0.897	9.0	0.20	0.37	0.77
	75	36,300	22,900	63.0	32,400	14,700	45.5	50.9	0.30	35.3	1.085	8.2	0.22	0.35	0.70
	50	33,700	20,600	61.0	34,900	15,000	43.2	51.4	0.41	26.7	1.211	6.1	0.18	0.29	0.57
	25	38,800	25,100	64.6	29,200	15,200	52.1	40.3	1.00	39.3	3.183	8.0	0.21	0.32	0.79

(1) 消化温度と消化機能の関係

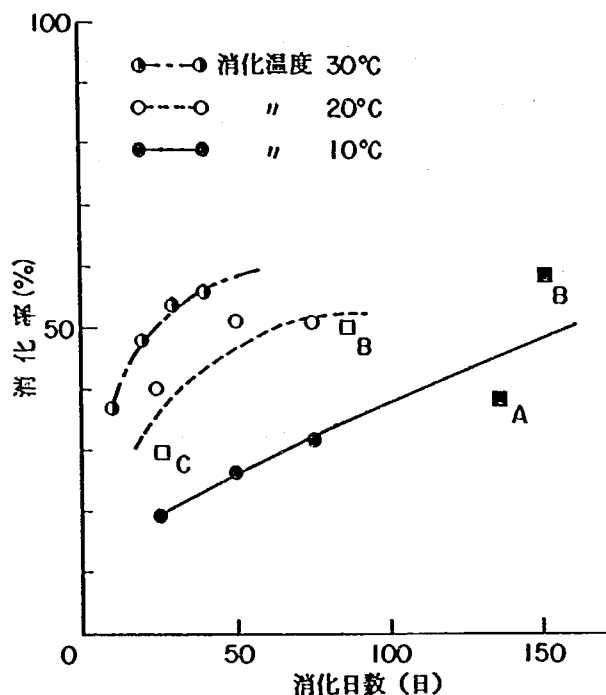
消化実験の結果をもとに、消化温度と消化率の関係について検討する。消化実験のデータを補完するため、秋田県A処理場、岡山県B処理場、沖縄県C処理場の無加温消化槽の実施設運転データを用いた。表-11に示すこれらの実施設運転データは、消化温度が10°Cあるいは20°C前後で安定している時期の月平均データである。なお、これらの処理場は活性汚泥法を採用しており、消化槽には混合汚泥を投入している。

表-11 実施設における無加温消化データ

	消化温度 (°C)	消化日数 (日)	投入TS (mg/l)	投入有機分 (%)	引抜TS (mg/l)	引抜有機分 (%)	投入VS当り ガス発生量 (ml/kg)	消化率 (%)
A処理場 (夏季)	10.2	137	42,200	59.0	44,000	47.0	0.36	38.4
B処理場 (夏季)	19.7	86	21,000	79.7	31,300	66.1	0.35	50.3
B処理場 (冬季)	10.0	151	39,000	84.8	33,500	69.8	0.22	58.6
C処理場 (冬季)	20.9	26	14,300	77.2	22,200	70.6	0.23	29.1

図-34に、消化日数と消化率の関係を消化温度をパラメータとして整理した結果を示す。消化温度30°Cにおけるデータは土木研究所において消化日数を10, 20, 30, 40日として消化実験を行なった結果を用いた¹²⁾。ただし、消化日数100日の実験データについては、消化日数25日, 50日, 75日の実験と比較して投入汚泥の有機分率が小さいため消化率が低くなっていると考えられるので、本検討の対象データからは除外した。

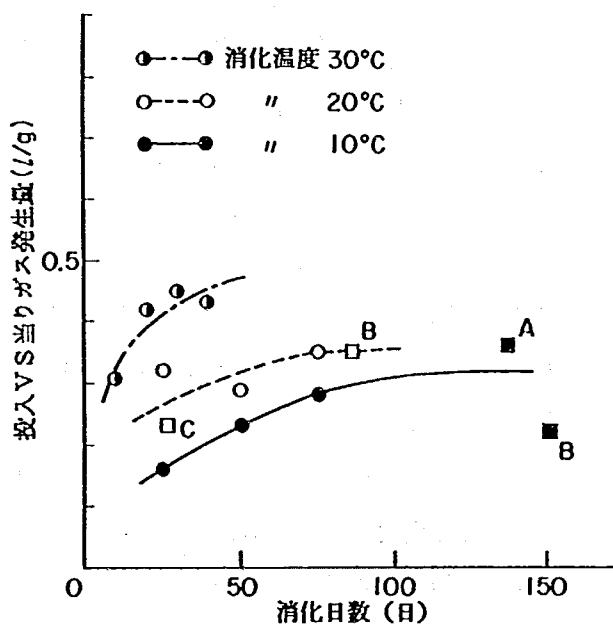
この図から、消化率は消化日数が長くなるほど高くなる傾向が見られる。また、同一の消化日数では消化温度が高いほど消化率は向上している。この図から判断すると、消化温度30°C、消化日数20日の条件で得られた消化率（約50%）を得るために必要な消化日数は、消化温度20°Cでは約60日であると考えられる。また、消化温度10°Cでは150日以上消化日数が必要と考えられる。



(注) A, B及びCは表-11中のA, B処理場及びC処理場のデータ

図-34 各消化温度における消化日数と消化率の関係

図-35には、消化日数と投入V S当りのガス発生量の関係を消化温度をパラメータとして示した。投入V S当りのガス発生量は、消化率と同様に消化日数が長いほど大きくなる。また、消化日数が同じ場合は、消化温度が高いほど大きい傾向を示す。この図から判断すると、消化温度10°C、20°Cにおいては、消化温度30°C、消化日数20日の条件での投入V S当りのガス発生量（約0.4 ℓ/g 投入V S）を得ることは、消化日数を長くしても難しいと考えられる。



(注) A, B及びCは表-11中のA, B処理場及びC処理場のデータ

図-35 各消化温度における消化日数と投入V S当りガス発生量

図-36及び図-37はA処理場において、前述の連続消化実験と同じ実験装置と供試汚泥を用いて消化温度10°C、20°Cで行った回分式消化実験のガス発生量の経日変化を示したものである。消化温度20°Cにおいては、消化実験開始直後に多量のガス発生があり、その後20日目あたりまで日数の経過とともにガス発生量は急激に減少し、これ以降のガス発生量はゆっくり減少した。100日間の累積ガス発生量は28.7ℓであり、これを最終ガス発生量とみなすと、最終ガス発生量の90%を得るために必要な日数は58日であり、図-34に示した消化温度20°Cで消化率50%を得るために必要な消化日数とほぼ一致している。消化温度10°Cの回分式実験の結果も20°Cのケースとほぼ同様である。100日間での累積ガス発生量は19.0ℓであり、同様にこれを最終ガス発生量とみなすと、最終ガス発生量の90%のガス発生量を得るための必要日数は72日となる。しかしながら、図-34の結果から、この消化日数に対応する消化率は約30%にすぎず、消化による汚泥の安定化は不十分である。

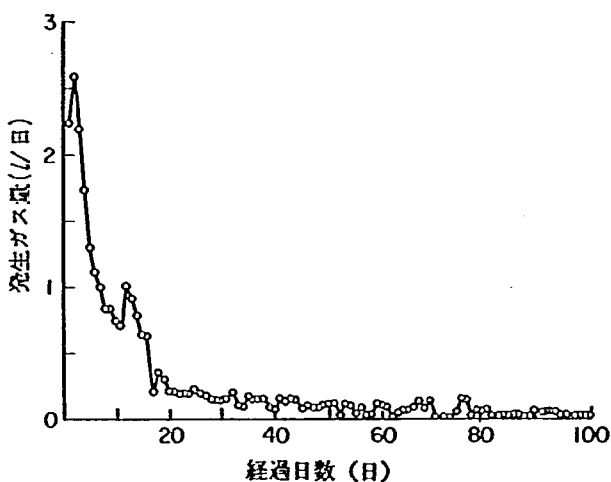


図-36 回分消化実験（消化温度20°C）における発生ガス量の経日変化

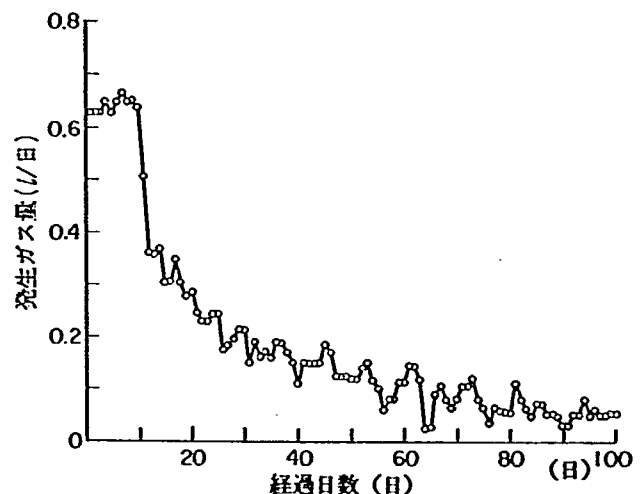


図-37 回分消化実験（消化温度10°C）における発生ガス量の経日変化

図-38には、回分式消化実験において消化温度を20°Cから急激に30°Cに高めた場合の消化ガス発生量の経時変化を示した。本実験は、消化温度20°Cにおける消化日数25日及び75日の連続消化実験の終了後、攪拌のみを継続してガス発生量が低レベルで安定してから汚泥供給なしに消化温度のみを急激に30°Cに上げたものである。この図から、消化温度上昇後には再度かなりのガス発生が生じることがわかる。

また、これとは別途に、連続消化実験途中において消化温度を10°Cから20°C及び20°Cから30°Cに高めた場合にも同様な消化ガス発生量の増加が観察された。消化ガス発生量の増大の主因は消化温度の上昇に伴い、生物活性が高まったためであると考えられ、低消化温度ではガス発生量が低レベルで安定した段階でも、未分解の有機物が中温消化に比較して消化汚泥中に多く残存していると思われる。

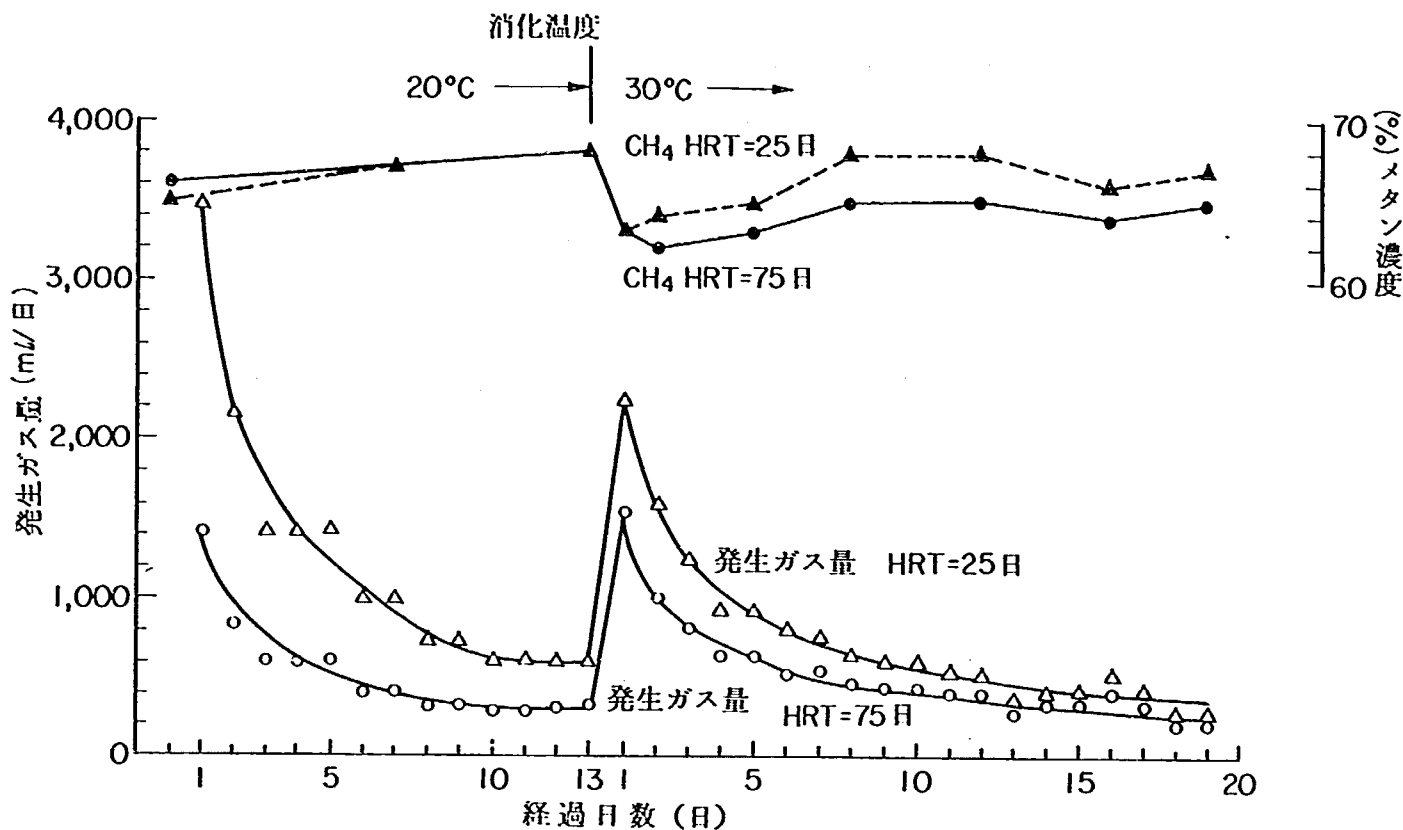


図-38 消化温度を20°Cから30°Cに高めた場合の発生ガス量の変化

(2) 無加温消化の適用性

無加温消化方式には、①初期運転対策、②恒久的汚泥処理プロセスの2つの適用の可能性が考えられる。このうち、①の初期運転対策として無加温嫌気性消化を行なう場合には、冬期における消化温度に対して十分な消化日数が確保できていることが必要であり、投入汚泥量の増加により、消化日数が短縮し消化率が低下してきた場合には加温消化への切り替えを検討しなければならない。この場合、前項での検討結果から判断して、消化温度10°Cで150日以上、消化温度20°Cで60日以上の消化日数を確保することがおよその目安となる。

次に、②の恒久的汚泥処理プロセスとしての無加温消化法の適用可能地域について検討する。前項での検討により、通常の中温消化で得られる消化率50%を目標とする場合、消化温度10°Cでは150日、20°Cでは60日以上の消化日数が必要となると考えられる。

室内消化実験では消化温度は一定に設定しており、実施設運転データも消化温度がほぼ一定の期間のデータを用いたものである。しかしながら、現実は無加温消化を行なう場合には消化温度は外気温と投入汚泥温度に大きく影響され、これらの変動に伴って消化温度は季節的に大きく変動する。

図-39はA処理場の無加温消化槽における外気温、投入汚泥温度、消化槽温度の変化を示したものである。このように、消化槽温度は季節的に大きく変動しており、外気温に約2ヵ月遅れて追従する傾向を示している。このために消化温度は3月頃が最も低くなっている。また、図-40はB処理場における2ヵ年

度の消化槽温度の月平均値の変化を示したものである。平均消化温度は 18.1°C であり、ほぼ 20°C に近いが、A処理場と同様に3月の消化温度が最も低く約 10°C である。

このため、平均消化温度に基づいて必要消化日数を決定した場合、3月を中心とした数ヵ月は消化温度が平均消化温度よりかなり低下するため、所期の消化率が得られないと考えられる。

以上のことから、無加温消化の適用可能地域を検討する場合には、最も消化能力の低下する冬期の消化温度を基準として考える必要がある。

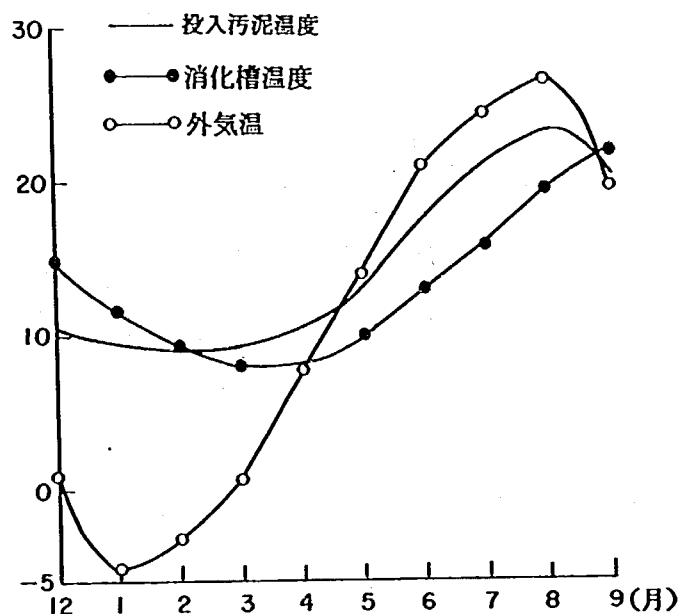


図-39 A処理場における消化槽温度その他の推移

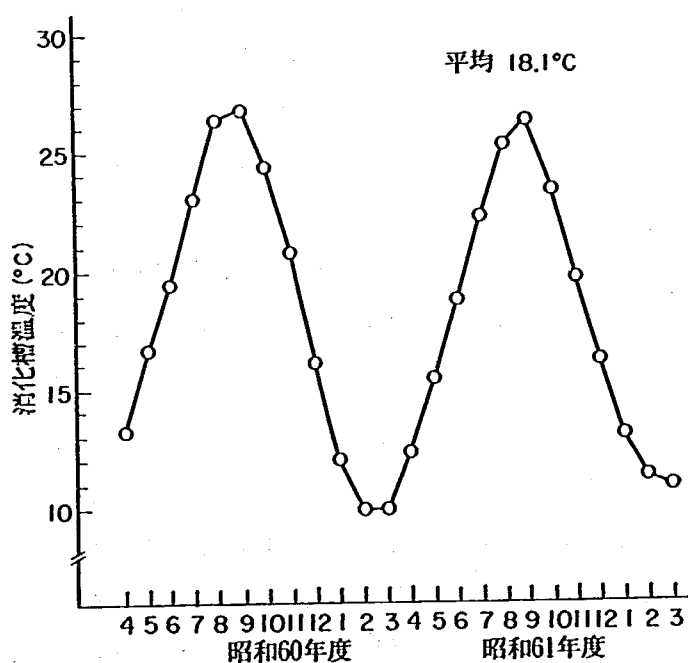


図-40 B処理場における消化槽温度の推移

4.3.3 まとめ

無加温嫌気性消化法に関する実験から得られた結果をまとめると以下ようになる。

- ① 消化温度30℃、消化日数20日の中温消化において得られる消化率（約50％）を達成するための必要消化日数は、消化温度20℃では60日、消化温度10℃では150日以上と考えられる。
- ② 消化温度10℃及び20℃では、投入V S当りの最終ガス発生量は中温消化に比較して小さく、消化日数を延長しても中温消化のガス発生量レベルには到達しないと考えられる。
- ③ 無加温消化を行う場合、消化温度は水温と外気温の影響を受けるため3月頃が最も消化温度が低下し、これに伴って消化率も低下する。このため、無加温消化を採用する場合には、最も消化温度の低い時期の消化機能を考慮する必要がある。

小規模下水処理場用としての無加温嫌気性消化法は、水処理系から発生する汚泥が生物学的に不安定性状のものである場合に、最も効果的に適用できる。例えば、水処理方式が生物膜法等の場合には前段での固液分離が必要であり、それらは最初沈澱池汚泥に類する性状の汚泥が発生することから、このような水処理方式を採用する場合が相当する。

また、無加温嫌気性消化法の効用として、汚泥の減量、安定化、貯留機能等もさることながら、消化中、或は消化汚泥の取り扱い時における臭気対策に特別な配慮を必要としないことが挙げられる。

5. 今後の課題

これから小規模下水道が普及、拡大して行く中で、既存の小規模下水処理場用としての個々の汚泥処理プロセスを考えた場合に、今後、特に改善、開発が望まれるものに以下が挙げられる。

(1) 省エネルギープロセスと言われているものの一層の能力アップ

① 重力濃縮法

後続の汚泥処理プロセスの効率化を図るために、また、液状汚泥での輸送を図る上で、濃縮効率の改善が必要である。

② 乾燥床法

小規模下水処理場においては、脱水、乾燥の操作が大きなウェイトを占める。そこで、気象条件に大きく影響されず、且つ脱水、乾燥日数の短縮化を図るための技術開発が必要である。

(2) 今後、汚泥の集中、集約化処理が進んでくるであろうことを想定して、

① 嫌気性消化法

特に加温嫌気性消化法に関して、維持管理性の改善を図るための簡易な加温技術の開発が望まれる。

② コンポスト化法

施設の簡易化とコンパクト化による処理能力の向上、特に一次発酵日数の短縮化が必要と思われる。また、本報告書でも述べてきたように、小規模下水処理場の維持管理は汚泥処理により大きく左右される。そして、汚泥の有効利用や処分方法は、地域の地理学的な特徴に支配される。

このようなことから、汚泥の処理・処分は、地域的、広域的な集中、集約処理に馴染むものであり、特に小規模下水処理場に関しては、その効率化、円滑化を図って行くのに大いに効果的であると考えられる。

本調査では、このような観点に基づき別途、種々の調査を行ってきた。それらの中から参考となると思われる調査について、その概要を資料編に報告してある。今後とも関連課題の中で以上の趣旨に沿った効率的な汚泥処理プロセスの開発や有効利用技術の開発を進めて行く予定である。

謝 辞

本調査を実施するに当たり、多くの自治体の協力を仰いだ。それには、実際に実験を行っていただいた所もある。また、長期にわたる現地調査に協力いただいた所もある。我々が常時行ってきた実験用の汚泥等はいくつかの自治体から快くいただいていた。当所で実施してきた様々の実験にも多くの方々の協力をいただいた。

ここに、本調査に協力して下さったこれら多くの関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

また、本調査は長期にわたったことから、次の方々は、実際に本調査に携わりつつも、途中、当研究室から異動、榮転された。本報告書の成果は、これらの方々の努力に基づいている。

(異動の順)

京 才 俊 則	現在、当所 新下水処理研究官
河 井 竹 彦	現在、日本下水道事業団 技術開発部 技術開発課 課長代理
近 藤 次 夫	現在、財長野県下水道公社 技術課
村 上 孝 雄	現在、日本下水道事業団 計画部 広域処理計画課 課長代理
大 嶋 吉 雄	現在、日本下水道事業団 業務部 援助課長

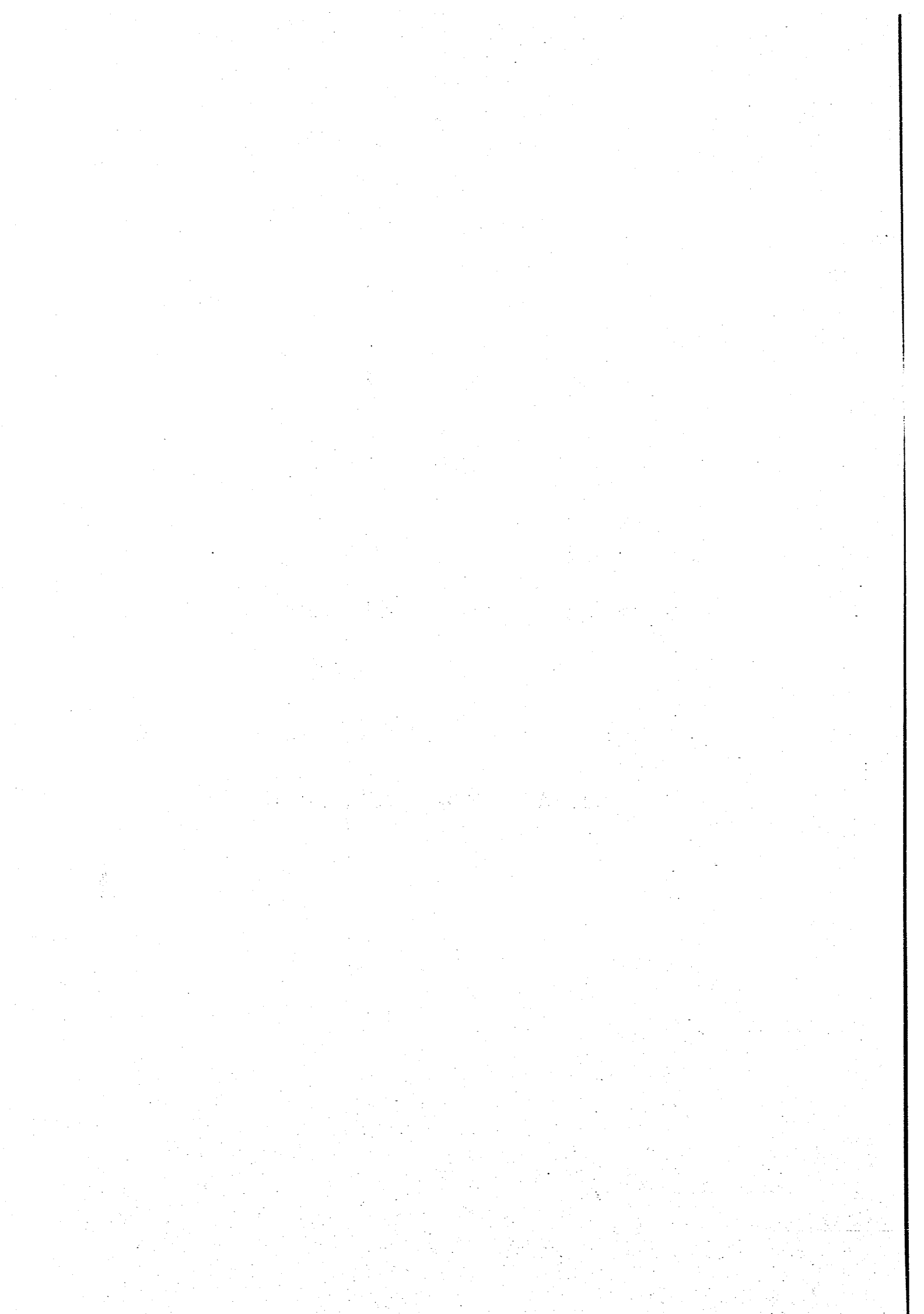
参 考 文 献

- 1) (財)日本下水道協会：“小規模下水道計画・設計指針（案）”，昭和59年10月
- 2) 自治省行政局振興課編集：“全国市町村要覧 昭和63年度” 第一法規
- 3) 建設省都市局下水道部監修：“日本の下水道 平成元年”
- 4) (財)日本下水道協会：“下水道統計 行政編 昭和63年度版”
- 5) 建設省都市局下水道部監修：“下水道施設設計指針と解説－1984年版－”(財)日本下水道協会
- 6) 日本下水道事業団：“技術開発部報「自然条件を利用した下水汚泥の処理技術に関する調査」” 1986, 1987, 1988
- 7) 建設省都市局下水道部・日本下水道事業団：“下水汚泥の農業利用に関する調査” 3分冊構成，昭和60年3月
- 8) 日本下水道事業団：“汚泥の好気性消化に関する調査報告書” 昭和61年3月
- 9) USEPA:“Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal” September 1979
- 10) Fair, G. M. & Moore, E. W. : “Observations on the digestion of a sewage sludge over a wide range of temperatures”, Sewage Works Journal, Vol. 9, No1, pp5, 1937
- 11) 遠矢泰典：“水処理工学”，技報堂など
- 12) 建設省土木研究所：“汚泥消化によるエネルギーの回収に関する調査”，昭和52年3月

資 料 編

——その他の調査結果——

- I 返流水の処理に関する実験
- II 最初沈澱池の有無と汚泥性状に関する調査
- III 余剰汚泥中金属等の挙動に関する調査
- IV 炭酸ガス還元型メタン発酵方法の開発に関する調査
- V 異動脱水車方式による巡回方法の検討



I 返流水の処理に関する実験

(1) 目的

小規模下水処理場から発生する汚泥を1箇所に集中して処理する場合、集中処理する処理場の汚泥処理施設から発生する返流量は、通常の処理場と比較して増加すると考えられる。返流水が流入下水の水質濃度を高くすることが報告されており¹⁾、返流量が増加した場合の下水の処理特性について室内実験を行った。

(2) 実験方法

1) 処理対象下水

実験には、流入生下水、濃縮タンク分離液、嫌気性消化タンク脱離液、脱水濾液を用いた。これらは、M市下水処理場から採取した。M市下水処理場は、排除方式が合流式で、水処理方式は標準活性汚泥法である。また、汚泥処理方式は重力濃縮－嫌気性消化－脱水（ベルトプレス）である。

2) 返流水の混合割合

流入生下水量に対する返流量の割合は、4%といわれており¹⁾、今回の実験では、返流量の割合を0%、20%（同規模の処理場5箇所の汚泥を集中処理することを想定）、40%（10箇所の汚泥を集中処理する場合）とした。返流水中に占める濃縮タンク分離液、嫌気性消化タンク脱離液、脱水濾液の比率は、これまでに報告されている事例²⁾を参考にして決めた。各処理実験における流入下水と各返流水の混合割合は、表I-1に示すとおりとした。

表I-1 流入生下水と返流水の混合割合

対象下水の種類	実験区分 返流水量の割合(%)	コントロール	実験 1			実験 2			実験 3		
			1－1	1－2	1－3	2－1	2－2	2－3	3－1	3－2	3－3
		0	4	20	40	4	20	40	4	20	40
流入生下水	100%	96%	80%	60%	96%	80%	60%	96%	80%	60%	
濃縮槽分離液		4	20	40	3.2	16.0	32.0	2.0	12.5	20.0	
嫌気性消化槽脱離液					0.8	4.0	8.0	0.8	2.5	8.0	
脱水濾液								1.2	5.0	12.0	

3) 実験方法及び分析項目

返流水の処理実験は、容量20ℓの散気球の付いた容器を用いて、表I-1に従って流入生下水と返流水を混合した処理原水を12ℓ調整し、M市下水処理場で採泥した返送汚泥4ℓと混合し、回分式にて行った。処理開始後、0、30分、1、2、3、6時間後に反応槽からサンプリングした混合液を30分間静置沈殿し、上澄水と沈殿汚泥を分析に供した。分析項目は、TS、SS、BOD₅、溶解性BOD₅、COD_{Mn}、溶解性COD_{Mn}、COD_{Cr}、T-P、K-N、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N、活性汚泥浮遊物質（MLSS）、活性汚泥有機性浮遊物質（MLVSS）であった。COD_{Cr}、リ

んおよび窒素の分析は、自動比色分析計により、他の分析項目は、「下水試験方法（1984）」に拠った。

(3) 実験結果

1) 処理対象下水の水質

処理実験に用いた流入生下水、濃縮タンク分離液、嫌気性消化タンク脱離液および脱水渣液の水質分析結果は、表 I-2 に示すとおりであった。流入生下水の水質は、通常の流入下水と比較してやや低い値であった。濃縮タンク分離液は、希釈濃縮を行っているために、通常の場合と比較して相当に良好な水質であった。嫌気性消化タンク脱離液、脱水渣液は、やや良好な値を示していた。

表 I-2 実験に用いた原水の水質

単位:mg/ℓ

	実 験 原 水			
	生下水	濃縮分離液	消化脱離液	脱水渣液
TS	520	774	4600	438
SS	112	470	3660	132
BOD ₅	151	242	587	69.1
S-BOD ₅	58.4	28.7	176	6.7
CODMn	65.1	156	1150	40.0
S-CODMn	32.0	21.7	187	11.8
COD _{cr}	128	157	3190	62.6
S-COD _{cr}	60.6	55.3	423	29.7
K-N	21.6	23.5	741	56.0
NH ₄ ⁺ -N	21.6	15.7	667	47.3
NO ₂ ⁻ -N	0.04	0.03	0.06	0.09
NO ₂₊₃ ⁻ -N	0.04	0.03	0.30	5.08
T-P	3.25	4.75	14.0	11.6

2) 有機物の除去

返流水の回分処理実験結果のうち、処理開始後 6 時間後の上澄水の水質分析結果を表 I-3 に示す。表 I-3 の負荷は、実験開始直後の値を示した。

各実験の BOD-MLSS 負荷は、0.20~0.27kg/kg・日であり、各実験区分ごとに大きな差がなかった。したがって、処理水の溶解性 BOD₅ は、1.5~3.1mg/ℓ と良好であった。一方、COD-MLSS 負荷は、嫌気性消化脱離液の混合割合が最も高い実験 2-3 で 0.463kg/kg・日とコントロール系の約 2.5 倍となっており、処理水の COD_{cr} は、コントロール系の約 1.8 倍と高くなっていた。COD-MLSS 負荷と処理水 COD_{cr} の関係を示すと図 I-1 のとおりであった。嫌気性消化タンク脱離液の割合が高くなるほど集中処理場での下水処理水中の COD_{cr} が高くなると考えられるが、今回実験した負荷の範囲では、割合に良好な処理水が得られると思われる。

表 I-3 返流水の回分処理実験結果（6 時間後）

項 目		実験区分 コントロール	実験1			実験2			実験3		
			1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3
負 荷	BOD ₅ -MLSS 負荷(kg/kg・日)	0.206	0.212	0.226	0.242	0.215	0.242	0.273	0.212	0.226	0.240
	COD _{cr} -MLSS 負荷(kg/kg・日)	0.181	0.181	0.187	0.192	0.215	0.323	0.463	0.213	0.282	0.350
処 理 水	SS (mg/ℓ)	22.5	37.1	7.2	20.4	12.8	17.0	20.3	35.9	31.9	26.9
	BOD ₅ (mg/ℓ)	21.6	34.9	8.1	23.0	7.4	35.1	18.5	30.3	37.7	33.7
	溶解性 BOD ₅ (mg/ℓ)	2.8	1.8	2.5	2.1	1.5	2.4	3.1	1.6	1.6	1.9
	COD _{cr} (mg/ℓ)	18.1	21.0	21.0	18.5	18.7	28.6	32.0	24.5	30.6	28.0
	溶解性 COD _{cr} (mg/ℓ)	12.4	11.9	14.3	13.7	10.8	15.1	26.1	15.3	12.3	13.3
	T-P (mg/ℓ)	2.20	1.75	1.95	2.00	2.30	3.80	5.00	2.40	3.55	4.70
	K-N (mg/ℓ)	28.0	1.95	5.45	7.15	0.35	5.85	19.5	6.25	2.40	8.85
	NH ₄ ⁺ -N (mg/ℓ)	0.30	0.12	0.23	0.07	0.25	3.95	18.5	0.32	2.40	7.24
	NO ₂ ⁻ -N (mg/ℓ)	8.89	8.92	6.61	7.53	11.1	19.4	22.3	12.1	17.5	21.5

3) 窒素の除去

表 I-3 より、嫌気性消化タンク脱離液の割合が高くなるほど処理水の $\text{NH}_4\text{-N}$ が高くなる傾向があった。表 I-3 には示していないが、初期の $\text{NH}_4\text{-N}$ が $20\text{mg}/\ell$ を越えると処理水中に残存する $\text{NH}_4\text{-N}$ が増加する傾向がみられた。また、コントロール、実験 1 の負荷範囲では、処理開始後 3 時間で $\text{NH}_4\text{-N}$ は、ほとんど硝化されていた。

4) リンの除去

T-P の除去特性も $\text{NH}_4\text{-N}$ と同様に、嫌気性消化タンク脱離液の割合が高くなるにしたがって、処理水中の T-P が高くなる傾向にあり、特に初期 T-P 濃度が $10\text{mg}/\ell$ を越えると処理水中に残存する T-P が増加する傾向にあった。

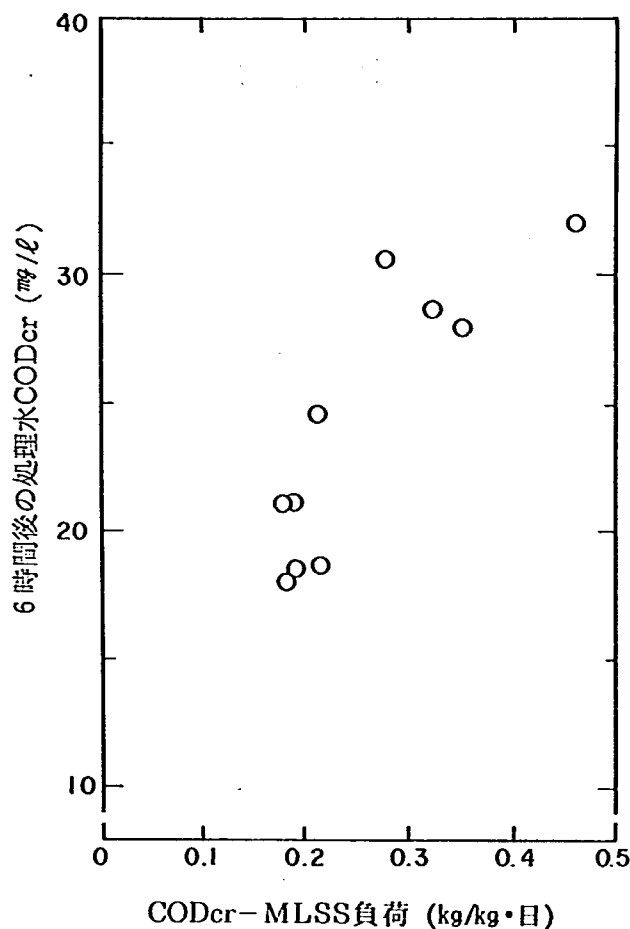


図 I-1 COD_{Cr} の処理特性

(4) まとめ

返流水の処理実験を行った結果、同規模の標準活性汚泥法の処理場を 10 箇所集中して汚泥処理を行っても、返流水が水処理機能に与える影響は大きくないと考えられた。今後は、必要に応じて標準活性汚泥法以外の水処理プロセスからの汚泥処理返流水について検討して行けば良いものと思われる。

参 考 文 献

- 1) 栗林ら, 「汚泥処理プロセスよりの返流水の実態と処理性」, 下水道協会誌, Vol.22, No.253, P P. 26-41, 1985 年 6 月
- 2) 大久保ら, 「返流水負荷に関する一考察」, 第 22 回下水道研究発表会講演集, P P. 637-639, 1985 年 6 月

II 最初沈殿池の有無と汚泥性状に関する調査

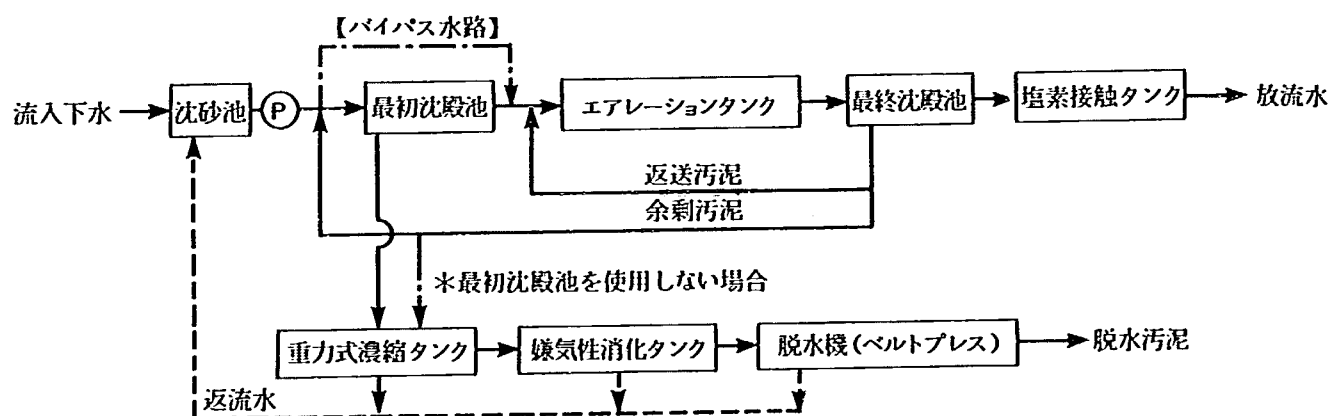
(1) 目的

小規模下水処理場においては、オキシデーションディッチ法などを採用した場合、最初沈殿池が省略されることが多くなっている。最初沈殿池がある場合とない場合に、発生する汚泥の量や性状に関するデータは少ない。本調査は、最初沈殿池が水処理施設から発生する汚泥の量と質に与える影響を明らかにするために既存下水処理場において実態調査を行ったものである。

(2) 調査方法

調査は、O市浄化センターの実施設において、最初沈殿池を用いた場合と用いない場合について、水処理機能、汚泥発生量とその性状、汚泥の濃縮性と脱水性について実態調査した。O市浄化センターは、分流式の処理場で、水処理方式は標準活性汚泥法、汚泥処理方式は、濃縮－嫌気性消化－脱水（ベルトプレス）を採用している。処理フローは、図II－1に示すとおりである。現有の水処理施設能力は、 $57,200\text{m}^3/\text{日}$ であり、昭和61年の日平均流入下水量は、 $40,000\sim 50,000\text{m}^3/\text{日}$ であった。

実態調査は、昭和61年12月16日～17日に最初沈殿池がある場合の24時間調査（第1回調査）を行い、昭和62年1月12日に最初沈殿池バイパス水路を用いて最初沈殿池を省略した運転方法に変更し、昭和62年2月3日～4日に24時間調査（第2回調査）を行った。24時間調査における分析項目は、水処理系については、pH、水温、 BOD_5 、溶解性 BOD_5 、 COD_{Mn} 、SSであり、汚泥処理系については、pH、温度、酸度、TS、VS、SS、VSSであった。また、汚泥の濃縮性の指標として1ℓメスシリンダーを用いた汚泥界面沈降試験、脱水性の指標としてCSTの測定を行った。さらに、O市浄化センターの日報を収集し、流入下水量、発生汚泥量などを把握した。



図II－1 O市浄化センターのフローシート

(3) 調査結果

1) 水処理機能

24時間調査の結果は、表Ⅱ－１に示すとおりであった。第１回と第２回調査で流入下水の水質が異なっているが、最初沈殿池の有無による処理水質への影響は、ほとんどないと考えられる。また、O市浄化センターが実施した精密試験結果のうち、昭和61年と62年の同じ時期の平均値を比較したものが表Ⅱ－２であるが、流入下水量が多少変化しているものの、処理機能に差はないといえよう。

表Ⅱ－１ 24時間調査結果

項 目	第1回		第2回	
	流入下水	処理水	流入下水	処理水
水温 (°C)	15.9	15.9	13.6	13.7
PH (－)	7.0	7.3	7.2	7.4
BOD ₅ (mg/ℓ)	109	3.7	77.1	5.0
S－BOD ₅ (mg/ℓ)	51.0	2.2	22.7	2.7
COD _{Mn} (mg/ℓ)	64.1	8.5	40.4	8.4
S－COD _{Mn} (mg/ℓ)	30.0	8.0	17.0	7.2
SS (mg/ℓ)	70.3	5.0	49.0	3.0
MLSS (mg/ℓ)	928		960	
MLVSS (mg/ℓ) ((%))	675(72.7)		714(74.4)	
BOD－SS負荷(kg/kg・日)	0.26		0.34	
SRT (日)	1.64		1.99	
SVI	164		157	

表Ⅱ－２ 最初沈殿池と処理機能

最初沈殿池の有無	有		無	
年 月	昭和61年2, 3月		昭和62年2, 3月	
下水の種類	流入下水	処理水	流入下水	処理水
水温 (°C)	12.9	14.5	14.1	15.5
PH (－)	7.1	7.5	7.2	7.6
BOD ₅ (mg/ℓ)	83	5.2	117	4.8
COD _{Mn} (mg/ℓ)	47	6.6	50	8.5
SS (mg/ℓ)	107	6.4	128	5.1
平均流入下水量 (m ³ /日)	38,400		40,600	

2) 発生汚泥量

最初沈殿池がある場合とない場合の発生汚泥量の比較は、O市浄化センターの日報から同じ時期の昭和61年と昭和62年のデータを整理して行った。その結果は、表Ⅱ－３に示すとおりであった。最初沈殿池がない場合の日平均発生固形物量は、最初沈殿池のある場合と比較して約３％減少しており、流入下水量当りの発生固形物は約８％減少していた。この理由としては、最初沈殿池で除去されていた汚泥中の有機物がエアレーションタンクで生物学的な酸化を受けて減少したためと考えられる。発生汚泥中のV Sの割合は、第１回調査で77.6％（最初沈殿池混合汚泥）、第２回調査で75.1％（余剰活性汚泥）と大差はなかった。

表II-3 発生汚泥量の比較

最初沈殿池の有無	有	無
年 月	昭和61年2, 3月	昭和62年2, 3月
発生汚泥量 (m ³ / 日)	947	640
汚 泥 T S (%)	0.64	0.91
発生固形物量 (t / 日)	5.997	5.824
発生原単位 (kg / m ³ ・流入水)	0.157	0.144

3) 汚泥の濃縮性

汚泥の濃縮性の指標として1ℓのメスシリンドラーを用いて汚泥の界面沈降を測定したが、測定に用いた汚泥の初期SS濃度と測定開始12時間後の沈降率の関係を示すと図II-2に示すとおりであった。最初沈殿池のない場合の余剰汚泥の沈降率が少し悪くなっていたが、エアレーションタンク内混合液(MLSS)の沈降率には、変化がなかった。

O市浄化センターでは、最初沈殿池を用いない場合には、重力濃縮タンクへの投入汚泥(余剰汚泥)の濃度が高いと判断し、処理水を用いて希釈し、濃縮操作を行った。このときの余剰汚泥と処理水の混合比は、ほぼ、1:1であった。この結果、実際の濃縮汚泥TS濃度は、第2回調査では3.4%となり、最初沈殿池がある場合の第1回調査の3.5%とほぼ同じであった。

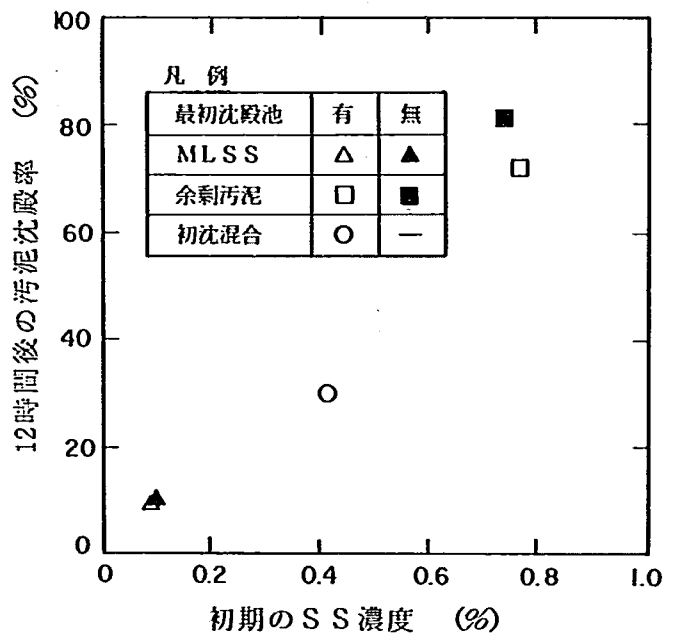
また、当浄化センターの2月、3月の日報を比較した結果、昭和61年(最初沈殿池あり)で3.6%、昭和62年(最初沈殿池なし)で3.8%と差異はなかった。

4) 汚泥の脱水性

汚泥の脱水性の指標としてCSTを測定した結果は、図II-3に示す通りであった。用いた高分子凝集剤は、高カチオン系のツキフロック391P(0.2W/V%)を用いた。最初沈殿池の有無によるCST値の相違は、凝集剤無添加の濃縮汚泥を除いてほとんどみられなかった。

5) 汚泥の粒子径分布

汚泥を粒子径により分画し、各分画区分ごとのTS分布を測定した。分画は、公称径1.0μmのガラスファイバー濾紙(GF/B)と20, 74, 250, 500μmのふるいを用いた。分析結果は、図II-4に示すとおりであった。最初沈殿池がない場合には、汚泥の粒径分布が小さい方向へ移行する

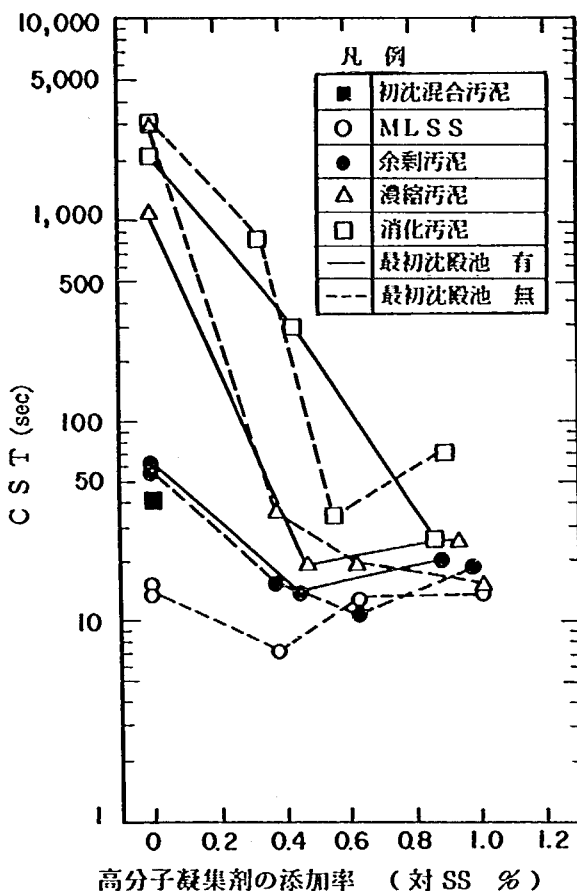


図II-2 汚泥の沈降性

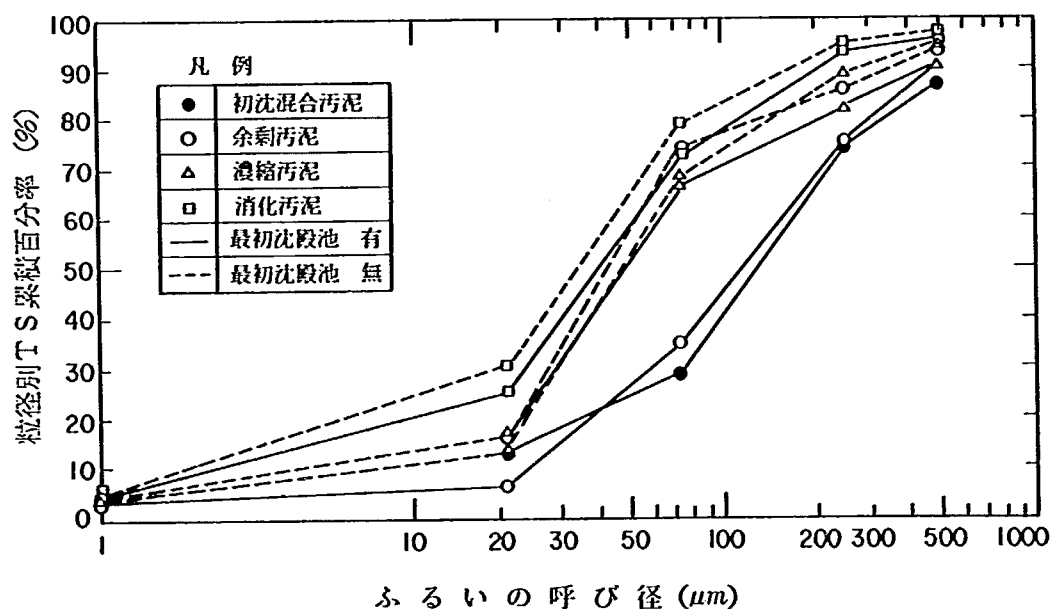
傾向がみられ、従来は、最初沈殿池で除去されていた汚泥がエアレーションタンクで酸化分解され細粒化され、その影響が後続の汚泥プロセスにも及んでいると推定される。しかし、濃縮性、脱水性は、これまで述べてきたように大きな差異はなかった。

6) 嫌気性消化プロセス

O市浄化センターの嫌気性消化タンクは、高温域（46～53℃）で運転されており、消化日数は、70日前後であった。最初沈殿池がある場合とない場合の消化タンクの運転成績は、表II-4に示すとおりであった。最初沈殿池を用いない場合に消化汚泥濃度の低下がみられ、運転変更から約3ヶ月後には二次タンクにおける固液分離が悪化したため、最初沈殿池を用いた従来の運転方法へと変更された。固液分離悪化の原因は、消化汚泥の引抜きすぎという運転操作の誤りもあったが、図II-4に示したように、汚泥粒径の微細化により固液分離が困難になったためと考えられる。したがって、最初沈殿池なしで維持管理を行う場合には、脱離液の引抜きを行わず全量脱水するなど、嫌気消化タンクの運転管理には充分留意する必要がある。



図II-3 汚泥の脱水性



図II-4 最初沈殿池の有無と汚泥の粒径分布

表II-4 嫌気性消化タンクの運転成績

最初沈殿池の有無		有	無
年	月	昭和61年2,3月	昭和62年2,3月
消化日数 (日)		68	84
消化温度 (°C)		46.3	50.6
投汚 入泥	TS (%)	3.6	3.7
	VS/TS (%)	68.9	74.2
消汚 化泥	TS (%)	4.0	3.3
	VS/TS (%)	56.7	54.9
投入汚泥量当り消化ガス 発生倍率 (倍)		10.1	11.8

(4) まとめ

最初沈殿池の有無と汚泥性状について実態調査した結果、最初沈殿池がない場合にはある場合と比較して、発生汚泥量が3～8%程度減少し、濃縮性、脱水性には相違がなかった。しかし、後続のプロセスとして嫌気性消化法を採用している場合には、消化タンクの固液分離などの維持管理に充分留意する必要があることが示された。

III 余剰汚泥中金属等の挙動に関する調査

(1) 目的

下水汚泥を肥料として緑農地へ施用し、有効利用する際には、現在は特殊肥料としての重金属の基準値等を満足しなければならないことから、汚泥の重金属含有量及びその溶出に関しては様々な報告がされている。しかし、重金属を汚泥中の存在部位で捉えた報告は希少である。今後は、重金属の溶出を考える場合に存在部位についての検討が必要になる可能性もあると思われる。

よって、本調査では、小規模下水処理場から発生した汚泥を中心に重金属の存在部位に関する調査を行った。

(2) 調査方法

1) 汚泥の分画方法

汚泥の分画方法は、図III-1に示すとおり、汚泥を細胞質画分、粗細胞壁画分、及び活性汚泥のフロック形成に関与する細胞外高分子 (Extracellular Polymer, 以下ECPと記す) 画分に分画した。図中の画分-2' は画分-2に、画分-6' は画分-6に近い物質と考えられるため、分類上は、画分-1を上澄液画分、画分-2と2' の和をECP画分、画分-7を粗細胞壁画分、画分-6と6' の和を細胞質画分とした。

2) T市Y処理場における実態調査

オキシデーションディッチ法を採用しているT市Y処理場において、2年間に渡り計4回の実態調査を行い、①重金属流入負荷量の変動、②発生汚泥中の重金属の存在部位についてのデータを収集した。

Y処理場の処理人口は約7,800人であり、流入水の80%以上が一般家庭からの汚水であるが、一部ゴミの埋立地から発生した浸出水を希釈し(日量150m³を25回に分けポンプ圧送)受け入れている。

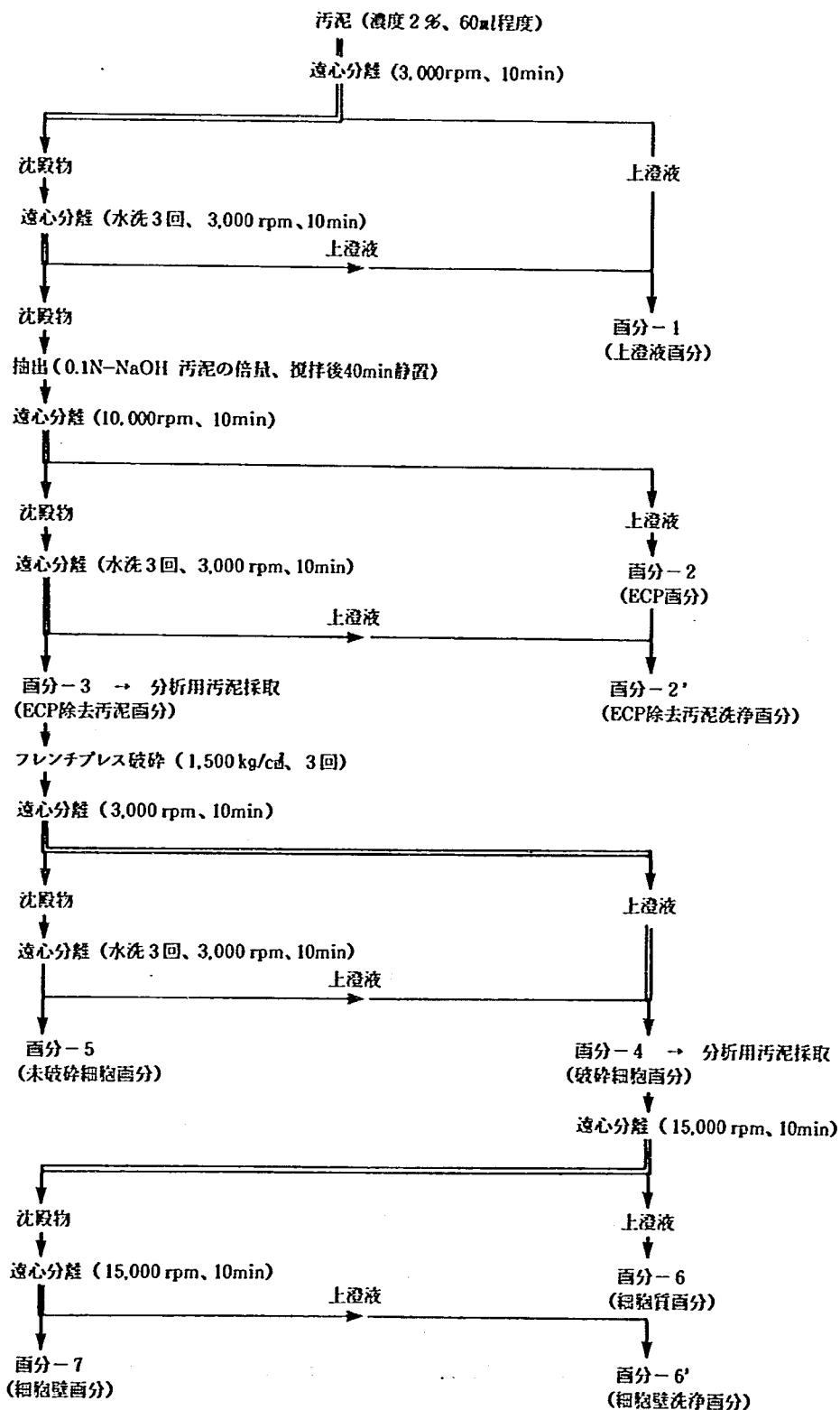
3) 低負荷活性汚泥法による金属等の存在部位特性調査

実験装置を図III-2に示す。この装置に表III-1に示す人工下水を供給しながら、表III-2の処理条件で運転を行い、そこから発生した汚泥について金属等の存在部位特性を調査した。

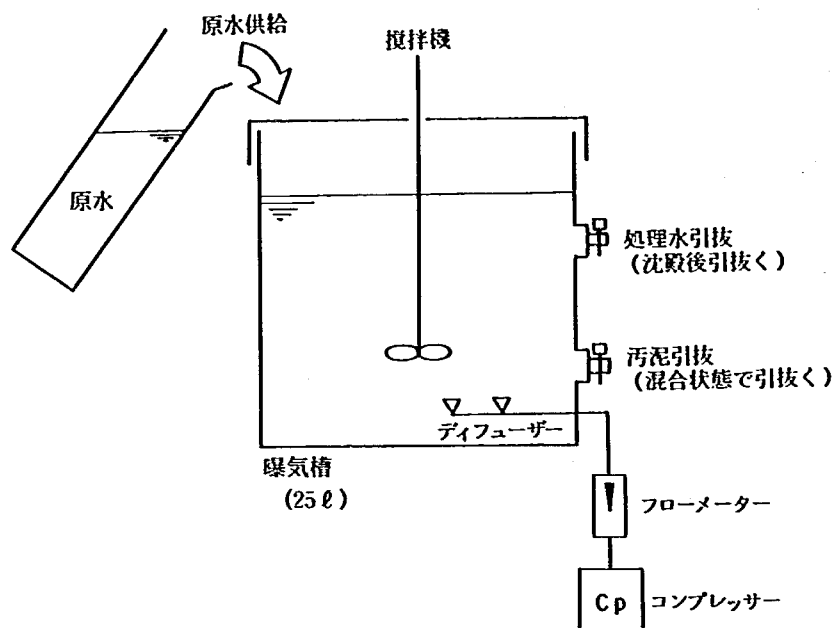
また、人工下水の供給は1日に午前と午後の2回、汚泥と処理水の引抜きは1日に各々午前と午後の1回ずつ行った。なお、人工下水中の金属濃度は、下水処理場に流入する平均的な値¹⁾を元に設定したものである。本実験装置のエアレーションタンク有効容積が25ℓであることと、有機物負荷量を0.15~0.20kg-COD/m³-dに設定したことから、タンク内のエアレーション時間が6日間となった。よって、流入金属の負荷量を下水処理場に流入する平均的な値と同一とするためには、処理場でエアレーション時間を6時間と考えると24倍の金属濃度で装置に供給しなければならない計算となる。この理由から、表III-1中に示すように、平均的な濃度の24倍の濃度で供給した。

4) 貯留汚泥中の金属等の存在部位に関する調査

試料は、茨城県下の標準活性汚泥法を採用しているK下水処理場から発生した余剰汚泥を用いた。実験は、汚泥を20ℓずつポリバケツに取り、10℃、20℃、30℃の恒温室に静置した。試料の採取は、各温度条件とも0、2、4、7、9、14日後に行い、金属等の分析に供した。なお、貯留汚泥は1日に1回の攪拌を行った。



図III-1 汚泥の分画方法



図III-2 室内実験装置

表III-1 人工下水の組成

CSL (Corn Steep Liquor)	6.65	g/l	重金属	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	80	mg/l
K_2HPO_4	0.1	//		$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	6.0	//
KCl	0.67	//		$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	0.2	//
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.67	//		$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.3	//
酵母エキス	0.2	//		PbCl_2	0.3	//
				ZnCl_2	6.0	//
水は水道水を使用				HgCl_2	0.01	//
(pH5.8~6.2)				$\text{CdCl}_2 \cdot 5/2\text{H}_2\text{O}$	0.02	//
				$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.5	//

表III-2 活性汚泥処理条件

原水COD(Mn)	970	mg/l	処理水COD	60	mg/l
処理量	4.5	l/d	引抜き汚泥量	1.7	l/d
エアレーションタンク			pH	6~7前後に制御	
実効容積	25	l			
MLSS	2500	mg/l	HRT	5.6	d
有機物負荷	0.17	kgCOD/m ³ ・d	SRT	15	d
	0.07	kgCOD/kgSS・d			

(3)調査結果

1) T市Y処理場における実態調査

① 金属流入負荷量の挙動

表Ⅲ－3 に各調査日における流入重金属量を示す。

流入水中の溶解性の金属の割合は金属別に異なり、亜鉛、マンガンが比較的高い結果となった。

各金属の流入状況は、流入水量の多くなる時間に流入固形物の量が増加し、それによって各金属の流入負荷量が増える結果となった。

表Ⅲ－3 1日当りの流入金属量

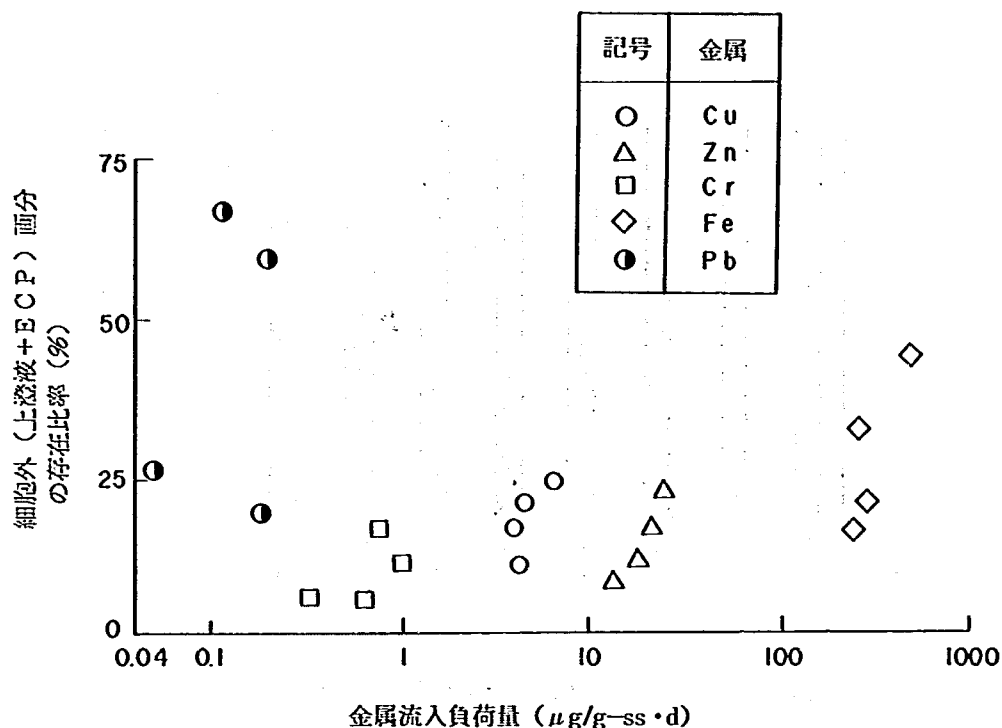
項 目		第1回調査	第2回調査	第3回調査	第4回調査
流入水量 (m ³ /d)		2,527	3,224	3,117	2,912
流入固形物量 (kg/d)		261	280	199	318
重 金 属 量	C u (g/d)	69(66)	78(44)	55(45)	70(41)
	N i (g/d)	19(73)	9(47)	—	—
	C d (g/d)	0.37(23)	0.24(14)	0.8(39)	0.65(36)
	F e (g/d)	4,800(37)	4,700(33)	3,500(44)	5,700(23)
	M n (g/d)	170(64)	360(81)	—	—
	P b (g/d)	2.7(31)	0.96(45)	1.6(23)	2.3(35)
	Z n (g/d)	280(86)	260(95)	280(81)	300(72)
	C r (g/d)	10(29)	6(57)	13(26)	8.5(29)

注：() 内の数値は、各採水時における溶解性の割合 (%) の単純平均値である。

② 発生汚泥中の重金属の存在部位

図Ⅲ－3 に金属流入負荷量と存在部位の関係を示す。なお、縦軸の存在部位は、上澄液画分に E C P 画分を加えた細胞外画分と、それ以外の細胞内画分とに分け、ここでは細胞外画分として表した。

鉛を除く金属は、流入負荷量が少ない方が細胞外画分の比率が少なくなり、細胞内部へ取り込まれる傾向を示した。これは、低負荷時に活性汚泥が細胞外高分子を取り込む際に金属も取り込まれたためと考えられる。



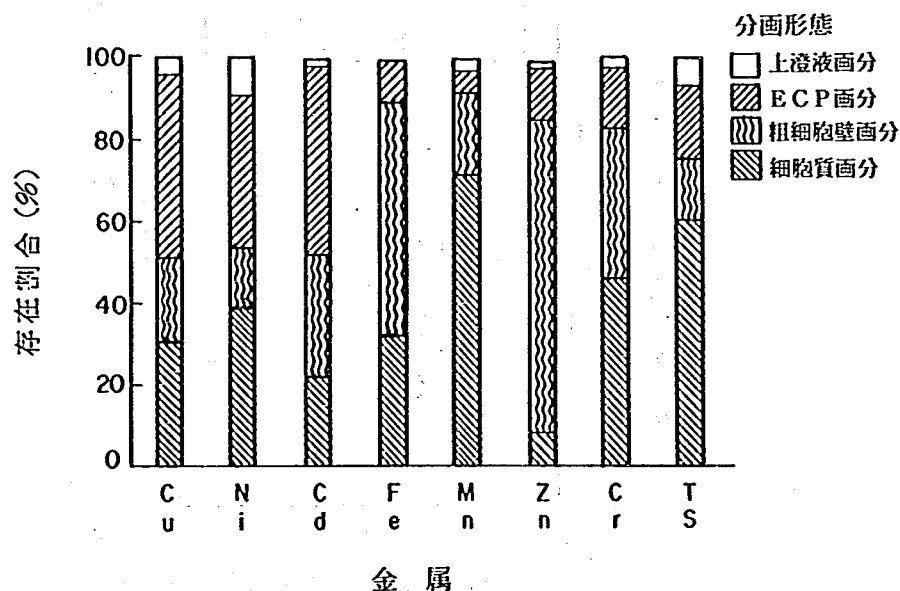
図III-3 金属流入負荷量と存在部位の関係

2) 低負荷活性汚泥法による金属等の存在部位特性調査

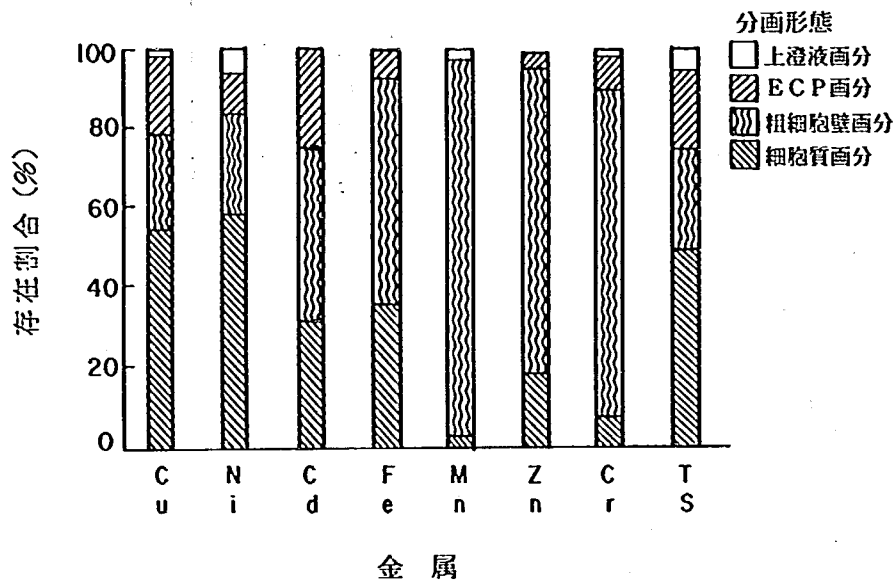
各金属の汚泥中での存在部位を図III-4に、装置に供給する重金属濃度を2倍にして運転した汚泥中の重金属の存在部位を図III-5に示す。

ECP画分に多く存在する金属は、銅、ニッケル、カドミウムであり、図III-4中で約36~45%である。これらの割合は、供給される金属濃度が2倍になると低下したが、他の金属に比べ高い値を示しており、ECP画分中に比較的多く存在する重金属として分類できる。供給金属濃度が2倍、

つまり単位時間に流入する金属量が2倍になると、ECP画分中の割合が減少し細胞壁より内部に貯えられる傾向がある。また、蒸発残留物（以下、TSと記す）は金属濃度が2倍になることで、細胞壁画分の割合が増える結果となった。



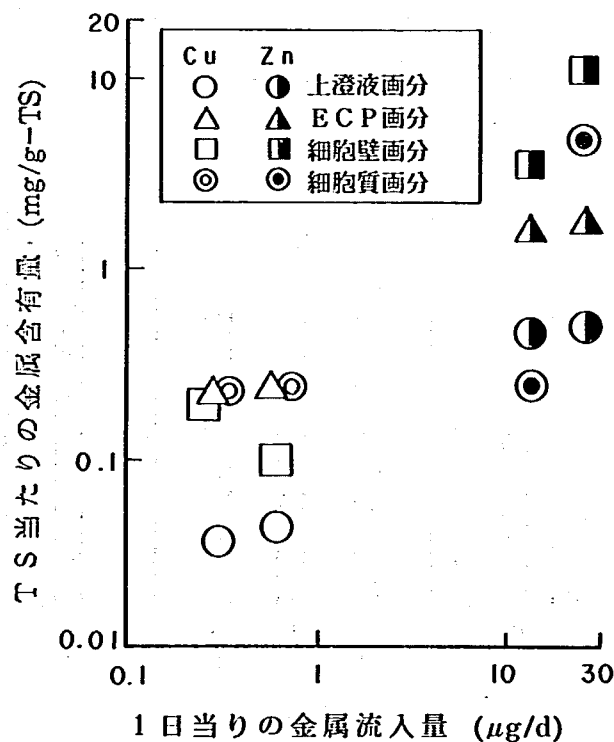
図III-4 汚泥中金属の存在部位（金属濃度1倍）



図III-5 汚泥中金属の存在部位 (金属濃度 2 倍)

図III-6 に銅, 亜鉛を例として, 供給する金属濃度を 1 日当たりの金属流入負荷量として表したものと, 各画分毎の TS 当たりの金属含有量との関係を示す。

1 日当たりの金属流入負荷量が増加すると, ほとんどすべての画分で増加が見られ, とくに亜鉛の細胞壁, 細胞質画分での割合の増加が顕著であった。このことは, 存在割合の結果とも一致することである。

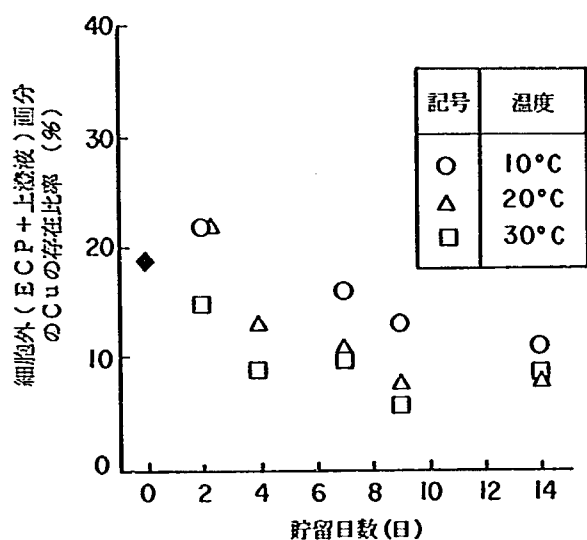


図III-6 1 日当たりの金属流入量と TS 当たりの金属含有量の関係

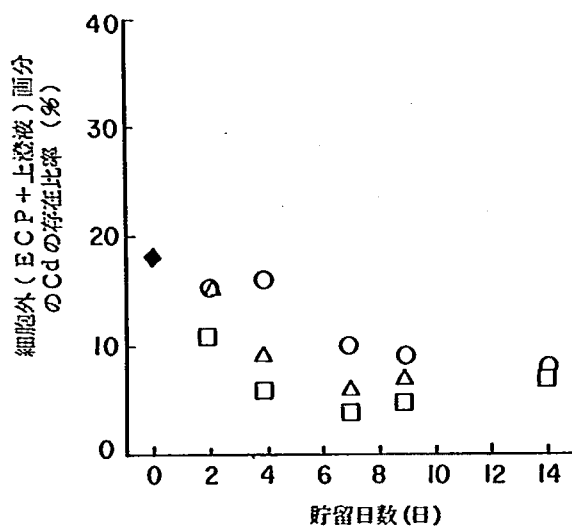
3) 貯留汚泥中の金属等の存在部位に関する調査

貯留に伴う汚泥中の金属の存在部位は、図III-7, 8に示す銅、カドミウムのように貯留時間とともに細胞外画分（ECP画分と上澄液画分の和）での存在比率が低下し、粗細胞壁と細胞質内に取り込まれるものと、図III-9に示す全クロムのように細胞外画分に溶出するものとに分けられた。これは、活性汚泥が嫌気化し生物代謝の変化に伴って現われた現象と推測される。

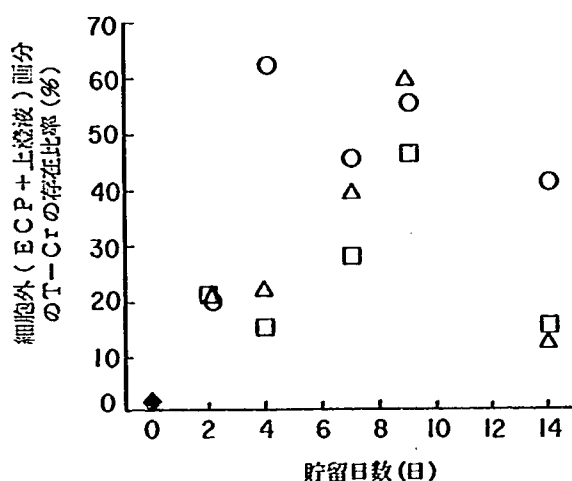
この他、亜鉛、鉛は、細胞外画分での存在比率がやや低下する傾向が見れたものの、14日間の貯留においては実験開始時と大きな差は認められなかった。



図III-7 銅の存在部位変化



図III-8 カドミウムの存在部位変化



図III-9 全クロムの存在部位変化

(4) まとめ

本調査の結果、以下の点が明らかとなった。

- ① Y処理場における現地調査を行った結果、金属の存在部位は、金属の流入負荷量と関係が見られ、低負荷になると粗細胞壁画分と細胞質画分内に取り込まれる傾向であった。
- ② 人工下水を用いた低負荷活性汚泥処理実験を行った結果、ECP画分中に多く存在する重金属は、銅、ニッケル、カドミウムであり、全体の約36～45%であった。また、重金属の流入負荷量が2倍になると、亜鉛の場合には、細胞質画分、細胞壁画分での割合の増加が顕著であった。
- ③ 汚泥貯留実験を行った結果、汚泥を貯留することにより、銅、カドミウムは、粗細胞壁画分と細胞質画分内に取り込まれ、全クロムは、細胞外画分に溶出する傾向であった。

参 考 文 献

- 1) 建設省都市局下水道部, (株)日本下水道協会: “汚泥の緑農地利用を目的とした下水処理技術に関する調査報告書”, 昭和61年3月

IV 炭酸ガス還元型メタン発酵方法の開発に関する調査

(1) 目的

嫌気性消化法は、小規模下水処理場において個々に適用する場合は、貯留と兼ねた無加温嫌気性消化法としてが一般的と考えられるが、加温嫌気性消化法の場合は、消化槽の加温が必要なことからエネルギー効率上小規模下水処理場には不向きと言える。しかし、複数の小規模下水処理場の汚泥を集中化する場合、適用の可能性も否定できない。

本調査は、加温式の嫌気性消化法においてエネルギー収支の改善に寄与するために、消化槽内の炭酸ガスの分圧を制御することによりメタンガスの生産量を増加させる方法を開発することを目的に実施したものである。

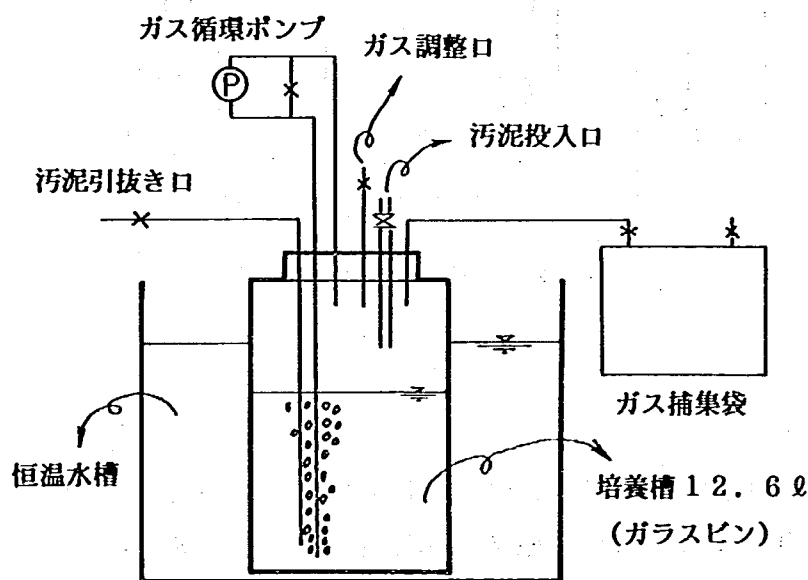
なお、本調査は、(株)タクマとの共同研究により実施したものであり、本調査に係わる基礎的な研究を主に土木研究所が担当し、実用化研究を主に(株)タクマが担当した。

(2) 調査方法

1) 基礎研究

消化槽内の炭酸ガス分圧を高めることによるメタンガス発生量の増加を確認するとともに、その原因を究明するための室内実験を行った。

実験は、図IV-1の実験装置6台を20℃の恒温室に設置して、標準活性汚泥法を採用している住宅団地下水処理場の余剰汚泥を基質とした消化温度 $35 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ による消化実験を行った。実験では同一消化日数下で炭酸ガス分圧を変えたケースや同一炭酸ガス分圧下で消化日数を変えたケース、或いは現象説明のための種々の試験を実施した。



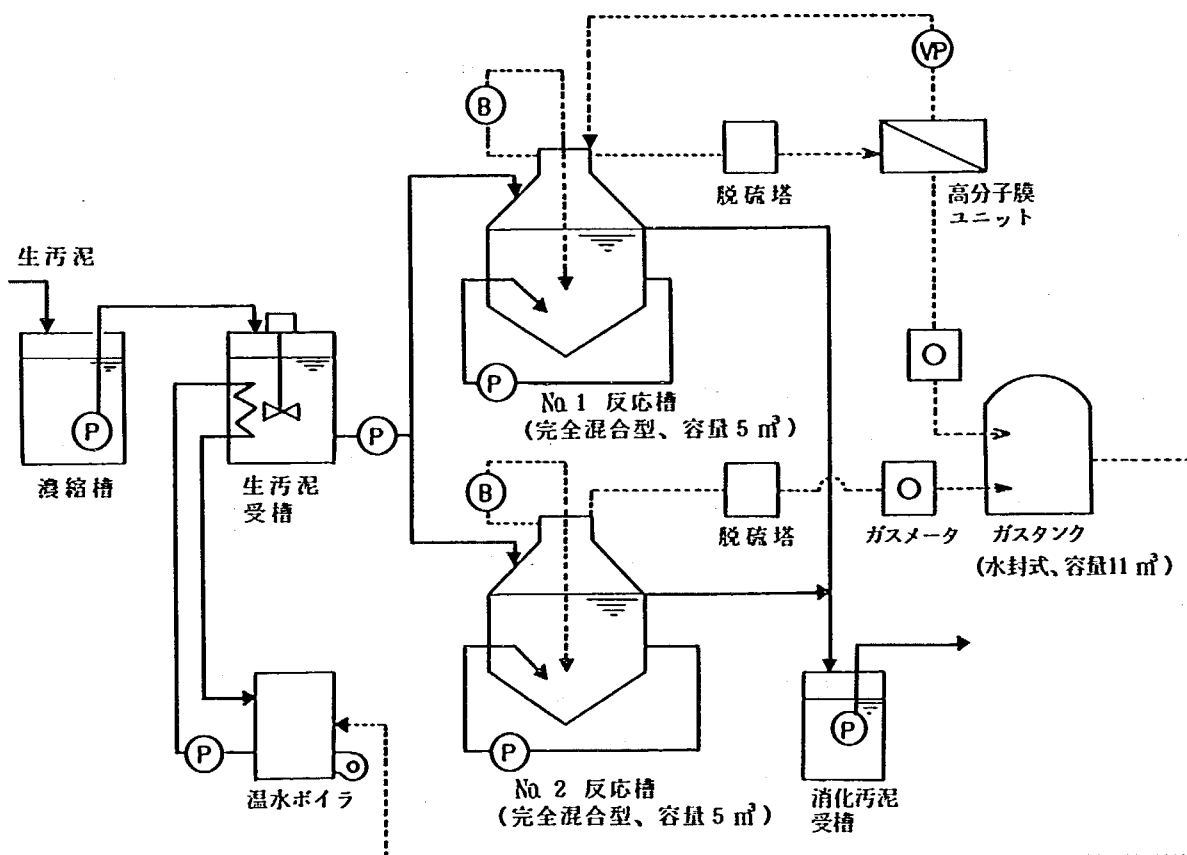
図IV-1 実験装置の概要

2) 実用化研究

消化槽内の炭酸ガス分圧を制御することによるメタンガス増収システムの確立を目指したパイロットプラント実験を実施した。

実験は、分流式の標準活性汚泥法で稼働している下水処理場に図IV-2に示したフローのパイロットプラントを設置して、馴養期間を含めて約1年半実施した。パイロットプラントは2系列から成り、その内の1系列は対照系とした。実験系には、消化ガス中の CH_4 と CO_2 とを分離するための酢酸セルロース系の膜分離ユニットが組み込まれており、このユニットを制御することにより、容易に消化槽内の炭酸ガス分圧を制御することができるシステムとなっている。

なお、各系列には混合汚泥を供給し、各系の消化汚泥は 35°C 、消化日数は20日間とした。



図IV-2 パイロットプラントの概要

(3) 調査結果

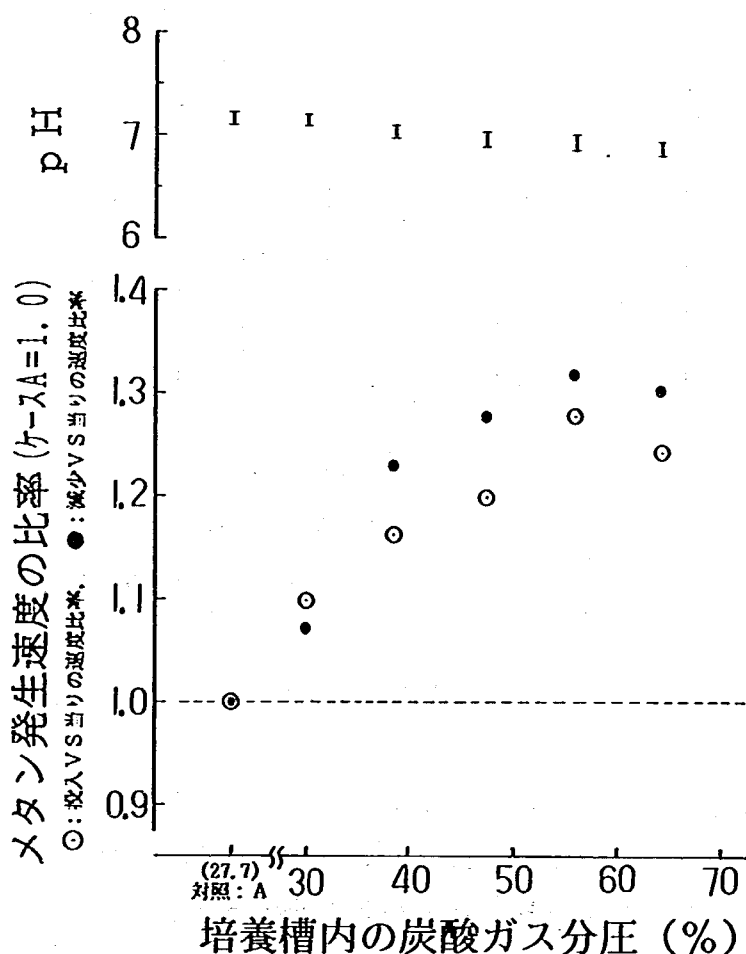
1) 基礎研究

消化日数を10.8日に設定して、個々の消化槽内の炭酸ガス分圧を変えた連続実験による結果を表IV-1と図IV-3に示した。炭酸ガス分圧を従来法よりも高めた場合、メタンガスの発生量は増加し、その増加傾向は、炭酸ガス分圧との関係において炭酸ガス分圧60%付近で約3割増加の最大値を持つ上に凸の傾向を示した。

しかし、消化汚泥の通常分析からは、炭酸ガス分圧を高めたいずれのケースにおいても消化率には殆ど差がなく、図IV-3においては投入VS当りの値が真の結果を反映しているとして良い。

表IV-1 連続方式による実験結果

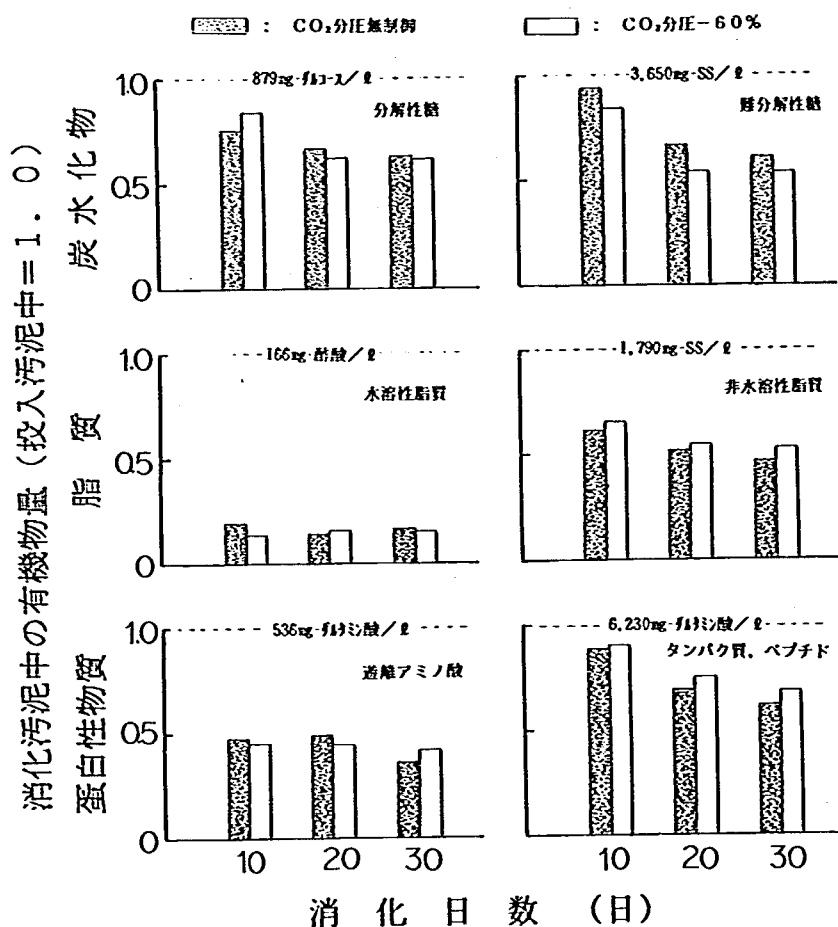
実験ケース	(投入)	A	B	C	D	E	F
培養槽内CO ₂ 分圧 (%)		27.7	29.8	38.4	47.7	55.8	64.3
pH	6.14~ 6.59	7.10~ 7.21	7.09~ 7.18	6.97~ 7.09	6.88~ 7.03	6.84~ 7.00	6.79~ 6.94
TS (g/ℓ)	17.1	11.1	10.9	11.5	11.5	11.2	11.4
VS (g/ℓ)	14.2	7.8	7.7	8.2	8.2	8.0	8.1
SS (g/ℓ)	15.9	9.4	9.6	9.8	9.8	9.6	9.4
VSS (g/ℓ)	13.5	7.2	7.4	7.6	7.6	7.5	7.3
VS減少率 (%)		44.9	46.0	42.6	42.1	43.7	43.0
VSS 々		46.3	45.1	43.8	43.6	44.7	45.9
投入VS当りメタン発生速度 (mg-CH ₄ /g-投入VS・日)		112	123	130	134	143	139
減少VS当りメタン発生速度 (mg-CH ₄ /g-減少VS・日)		249	267	306	318	328	324



図IV-3 連続方式実験による培養槽内の炭酸ガス分圧とメタン発生速度比率との関係

図IV-4は、炭酸ガス分圧を60%に制御して、消化日数を変えた場合の消化汚泥固形物中の有機物組成の変化を投入汚泥との比率でみたものである。

CO₂ガス分圧を60%に制御したことによると思われる影響が高分子の有機物組成の含有量に明確な傾向として現われている。そこでは、CO₂ガス分圧を高めることにより高分子の炭水化物の分解は従来法よりも促進され、逆に高分子の脂質や蛋白性物質等の分解は抑制されることが示唆されている。



注1: 各有機物組成の値は、SS当りの含有量を元の投与汚泥中での存在量に直し、投入汚泥中でのその値を1.0として表したものである。

注2: 有機物組成分析に供した投与汚泥は、3,000rpm-20minの遠心分離後、凍結乾燥を施した。また、分析方法は、文献の2)に依った。

図IV-4 CO₂ガス分圧を60%にしたことによる消化汚泥中の有機物組成の変化

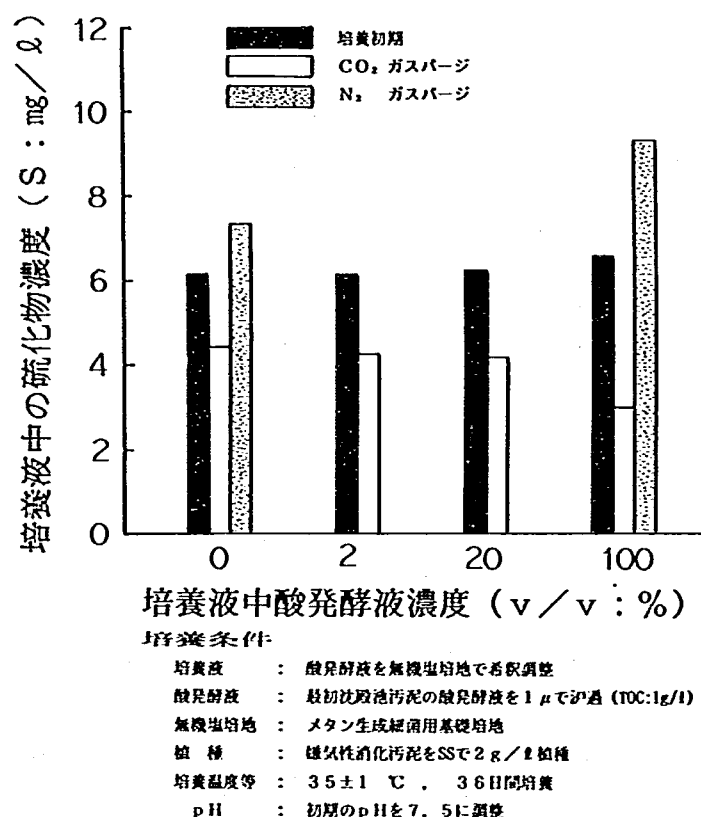
一般的に、十分に消化が進んだ消化汚泥は鮮やかな黒色を呈する。しかし、CO₂ガス分圧を高めた消化汚泥では、十分に消化が進行していても黒色が褪せた新鮮な投入汚泥の呈色に近いものとなることから、本調査で実施した多くの実験の全てで観察された。

消化汚泥の黒色化には、硫化物の介在があるものと推察される。

図IV-5は、最初沈殿池汚泥の酸発酵ろ液を基質として35°Cで36日間バッチ方式により培養した結果である。

消化汚泥中の硫化物量は、通常はN₂ガスパージのケースのように、汚泥の分解にともなうS²⁻の発生に起因して投入汚泥中よりも増加する。しかし、CO₂ガスでパージしたケースでは硫化物量が明確な有意差をもって減少していることが分かる。また、その減少傾向は、初期の基質量が多い程、顕著に現われている。

これは、明らかに硫化物を取り巻く環境下で、今までに嫌気性消化法で注目されていなかった別の生物学的作用の介在の可能性を示唆するものである。



図IV-5 培養パージガスの違いと培養液中硫化物濃度の関係

2) 実用化研究

パイロットプラント実験における運転条件を表IV-2に示した。RUN-2は実験系 (Na1系) と対照系 (Na2系) の同一処理成績の確認実験であり、他のRUNが高分子膜ユニットを作動させた定格実験である。

パイロットプラント実験による平均的な処理成績を表IV-3と表IV-4に示した。また、CO₂ガス分圧を従来法よりも高く制御したことによるメタンガス発生量の増加傾向を図IV-6に示した。

これより、パイロットプラントにおけるメタンガスの増加傾向や増加率は、基礎研究での結果と一致しており、消化槽内の炭酸ガス分圧を50~60%に制御することによりメタンガスの3割近い増収が図れると言える。

表IV-2 パイロットプラント運転条件

	RUN-1	RUN-2	RUN-3
運 転 期 間	1990年4月～7月	1990年7月～8月	1990年9月～1991年3月
投入汚泥量 (m ³ /日)	0.25	0.25	0.25
消 化 日 数 (日)	20	20	20
有機物負荷 (kg/m ³ ・日)	1.0	1.0	1.0
消 化 温 度 (°C)	35	35	35
攪 拌 方 式	ポンプ循環+ガス攪拌	ポンプ循環+ガス攪拌	ポンプ循環+ガス攪拌
高 分 子 膜 ユ ニ ッ ト	運 転	停 止	運 転
設定槽内CO ₂ 分圧 (%)	30	—	45

表IV-3 発生ガス量及び性状

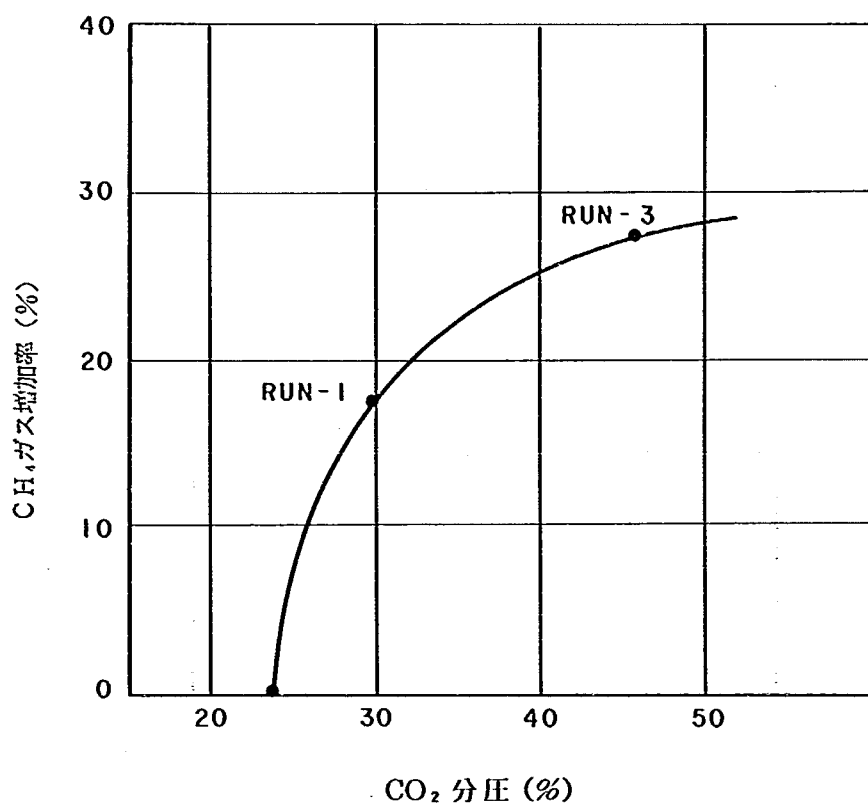
		RUN-1			RUN-2			RUN-3		
		Na 1	Na 2	Na 1 / Na 2	Na 1	Na 2	Na 1 / Na 2	Na 1	Na 2	Na 1 / Na 2
ガ ス 量 (m ³ /日)		1.503	1.425	(1.05)	1.906	1.900	(1.00)	1.371	1.228	(1.11)
ガ ス 成分	C H ₄ (%)	84.7	76.3	—	72.3	72.6	—	82.2	72.0	—
	C O ₂ (%)	15.3	23.7	—	27.7	27.4	—	17.8	28.0	—
メタン量 (m ³ /日)		1.273	1.087	(1.17)	1.378	1.379	(1.00)	1.127	0.884	(1.27)

Na 2 は対照系

表IV-4 汚泥性状と処理成績

		RUN-1			RUN-2			RUN-3		
		生汚泥	Na 1 消化汚泥	Na 2 消化汚泥	生汚泥	Na 1 消化汚泥	Na 2 消化汚泥	生汚泥	Na 1 消化汚泥	Na 2 消化汚泥
PH	(—)	6.6	7.6	7.6	6.2	7.5	7.5	5.9	7.5	7.8
TS	(%)	2.22	1.39	1.45	2.22	1.52	1.53	2.20	1.38	1.53
VS/TS	(%)	78.7	73.2	72.9	75.7	71.3	71.0	70.8	64.2	63.9
炭水化物	(%VS)	6.7	8.6	8.5	6.2	7.9	7.9	9.5	7.5	6.7
脂質	(%VS)	15.1	6.8	6.9	18.2	8.0	8.2	18.5	10.7	10.2
蛋白質	(%VS)	43.6	45.2	44.7	39.9	41.8	44.4	42.9	46.4	43.8
アルカリ度	(mg/ℓ)	733	2,025	2,068	563	1,836	1,973	570	1,880	1,783
有機酸	(mg/ℓ)	455	230	217	423	136	134	880	135	266
COD _{Cr}	(mg/ℓ)	21,600	14,350	14,150	—	—	—	27,600	13,500	16,400
T-N	(mg/ℓ)	1,485	1,322	1,347	—	—	—	1,386	1,216	1,111
T-P	(mg/ℓ)	425	412	388	—	—	—	253	238	218
TC	(mg/ℓ)	1,022	913	1,162	—	—	—	925	507	593
IC	(mg/ℓ)	170	470	492	—	—	—	230	363	375
VS除去率	(%)	—	41.8	39.5	—	35.5	35.4	—	45.4	39.7
COD _{Cr} 除去率	(%)	—	33.6	34.5	—	—	—	—	51.1	40.6

Na 2 は対照系



図IV-6 炭酸ガス分圧とメタンガス増加率の関係

(3) まとめ

本調査により、炭酸ガス還元型メタン発酵方法を開発することができた。その概要は以下の通りである。

- ① 消化槽内の炭酸ガス分圧を50～60%に制御することにより約3割のメタンガスの増収が図れる。
- ② それは、従来の嫌気性消化プロセスに消化ガス中のCH₄とCO₂とを分離する高分子膜ユニットを付加するだけで容易に達成できる。

なお、ユニットで消費する電力は、分離に必要な差圧（約-300mmHg）を確保するための真空ポンプのみである。

- ③ このメタンガスの増収の原因については、現段階では結論付けることはできないが、高分子の炭水化物の分解促進、或いは硫化物回りの酸化還元に係わる微生物の介在が考えられた。なお、この微生物には光合成硫黄細菌の介在が推測される。

V 移動脱水車方式による巡回方法の検討

ここでの記述は、本編3.2.4項の「移動脱水車方式の検討」に準拠している。

(1) 基礎数値の確認

下表において、太い線で囲まれた項目は、この検討で使用されることを示している。

表V-1 対象処理場に関する基礎数値

対象処理場	汚泥発生量 ($\text{m}^3/\text{日}$)	車両基地からの移動距離 (km)	移動時間 (hr)	準備・後か たづけ時間 (hr)	脱水車の平 均運行速度 (km/hr)	1日の脱水 時間 (hr)
T・P (1)	Q (1)	L (1) = 0	T ₀ (1) = 0	T ₁ (1)	V (1) = 0	t (1)
T・P (2)	Q (2)	L (2)	T ₀ (2)	T ₁ (2)	V (2)	t (2)
T・P (3)	Q (3)	L (3)	T ₀ (3)	T ₁ (3)	V (3)	t (3)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
T・P (n)	Q (n)	L (n)	T ₀ (n)	T ₁ (n)	V (n)	t (n)

表V-2 移動脱水車に関する基礎数値

脱水機種	脱水機能力(m^3/hr)
A	q (j), j = A
B	= B
C	= C
D	= D
E	= E

(2) 巡回頻度の検討

1) 巡回頻度の初期設定

本編3.2.4項の「移動脱水車方式の検討」において移動脱水車方式の可能性を最終判定したときの巡回頻度を当てる。

2) 巡回頻度設定上の条件

i) 一週間の脱水機の稼働日数

勤務条件を週休2日制とし、また、以下を考慮して4日/週とする。

- * 脱水機搭載車両の定期点検
- * 脱水機の定期点検
- * 連休時への対処
- * 汚泥性状試験 等

ii) 巡回サイクル

週単位(7日、14日、21日)を基本とする。

iii) 1つの処理場における連日脱水

1週間に2回以上の脱水が必要な場合は、1週間の中で回を分けて巡回脱水することせず、必要日数分の連日脱水とする。

iv) 1日に脱水する処理場数

1ヶ所を基本とする。

3) 巡回頻度の検討

① 検討-1：全処理場の巡回サイクルが1週間周期の可否の検討

$X \leq 4 \text{ 日} \Rightarrow \text{可能} \Rightarrow \text{検討-4}$

$> \Rightarrow \text{検討-2}$

$$X = \sum \left[\begin{array}{l} \frac{7 \text{ 日} \cdot Q_{(i)}}{q_{(j)}} \leq t_{(i)} \Rightarrow 1 \text{ 日} \\ > \rightarrow \frac{7 \text{ 日} \cdot Q_{(i)}}{q_{(j)}} \leq 2 t_{(i)} \Rightarrow 2 \text{ 日} \\ > \rightarrow \frac{7 \text{ 日} \cdot Q_{(i)}}{q_{(j)}} \leq 3 t_{(i)} \Rightarrow 3 \text{ 日} \end{array} \right]$$

移動脱水車方式は不可能 (但し, $q_{(j) \max}$ のとき)

② 検討-2：全処理場の巡回サイクルが2週間周期の可否の検討

$Y \leq 8 \text{ 日} \Rightarrow \text{可能}$

$> \Rightarrow \text{検討-3}$

$$Y = \sum \left[\begin{array}{l} \frac{14 \text{ 日} \cdot Q_{(i)}}{q_{(j)}} \leq t_{(i)} \Rightarrow 1 \text{ 日} \\ > \rightarrow \frac{14 \text{ 日} \cdot Q_{(i)}}{q_{(j)}} \leq 2 t_{(i)} \Rightarrow 2 \text{ 日} \\ > \rightarrow \frac{14 \text{ 日} \cdot Q_{(i)}}{q_{(j)}} \leq 3 t_{(i)} \Rightarrow 3 \text{ 日} \\ > \rightarrow \frac{14 \text{ 日} \cdot Q_{(i)}}{q_{(j)}} \leq 4 t_{(i)} \Rightarrow 4 \text{ 日} \end{array} \right]$$

検討-3 (但し, $q_{(j) \max}$ のとき)

③ 検討-3：1週周期と2週周期の組合せ巡回サイクルによる可否の検討

ここで、 $Q_{(i) \max(k)}$, $k=1 \sim n$ とし、 $Q_{(i) \max(n)}$ を大きい方からn番目の $Q_{(i)}$ と定義する。

[Step-1] : $Q_{(i) \max(k)}$ 、 $k=1$ となる $Q_{(i)}$ の処理場を1週周期とし、他を2週周期とした検討。

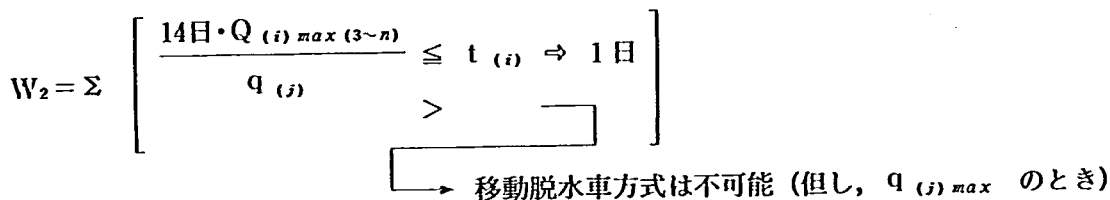
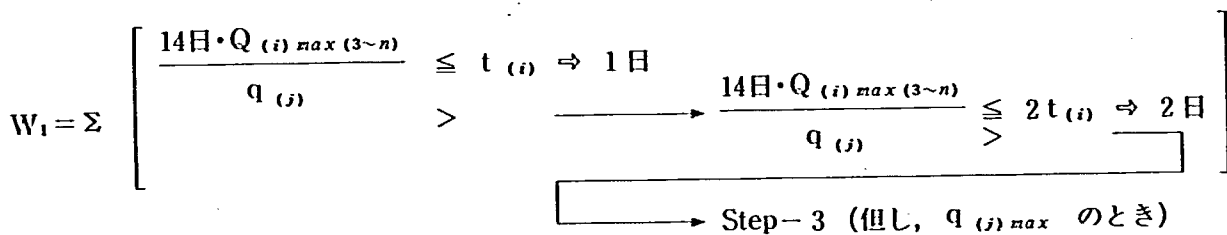
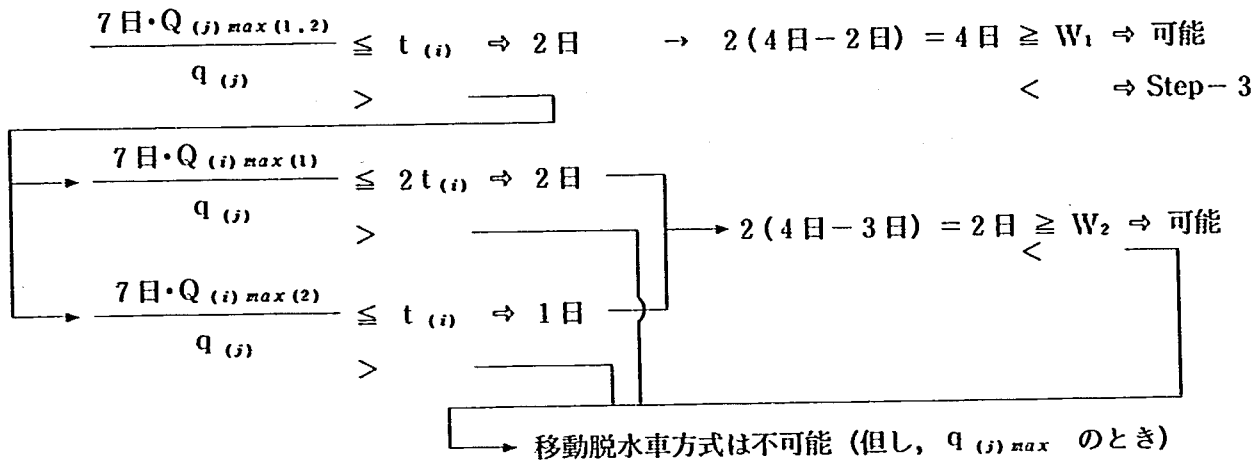
$$\begin{array}{l}
 \frac{7 \text{ 日} \cdot Q_{(i) \max(1)}}{q_{(j)}} \leq t_{(i)} \Rightarrow 1 \text{ 日} \Rightarrow 2(4 \text{ 日} - 1 \text{ 日}) = 6 \text{ 日} \geq Z_1 \Rightarrow \text{可能} \\
 \qquad \qquad \qquad > \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad < \Rightarrow \text{Step-2} \\
 \left[\frac{7 \text{ 日} \cdot Q_{(i) \max(1)}}{q_{(j)}} \leq 2t_{(i)} \Rightarrow 2 \text{ 日} \Rightarrow 2(4 \text{ 日} - 2 \text{ 日}) = 4 \text{ 日} \geq Z_2 \Rightarrow \text{可能} \right. \\
 \qquad \qquad \qquad > \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad < \Rightarrow \text{Step-2} \\
 \left[\frac{7 \text{ 日} \cdot Q_{(i) \max(1)}}{q_{(j)}} \leq 3t_{(i)} \Rightarrow 3 \text{ 日} \Rightarrow 2(4 \text{ 日} - 3 \text{ 日}) = 2 \text{ 日} \geq Z_3 \Rightarrow \text{可能} \right. \\
 \qquad \qquad \qquad > \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad < \\
 \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \rightarrow \text{移動脱水車方式は不可能 (但し, } q_{(j) \max} \text{ のとき)}
 \end{array}$$

$$Z_1 = \Sigma \left[\begin{array}{l} \frac{14 \text{ 日} \cdot Q_{(i) \max(2 \sim n)}}{q_{(j)}} \leq t_{(i)} \Rightarrow 1 \text{ 日} \\ \qquad \qquad \qquad > \qquad \qquad \qquad \rightarrow \frac{14 \text{ 日} \cdot Q_{(i) \max(2 \sim n)}}{q_{(j)}} \leq 2t_{(i)} \Rightarrow 2 \text{ 日} \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad > \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \rightarrow \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \frac{14 \text{ 日} \cdot Q_{(i) \max(2 \sim n)}}{q_{(j)}} \leq 3t_{(i)} \Rightarrow 3 \text{ 日} \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad > \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \rightarrow \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \rightarrow \text{Step-2 (但し, } q_{(j) \max} \text{ のとき)} \end{array} \right]$$

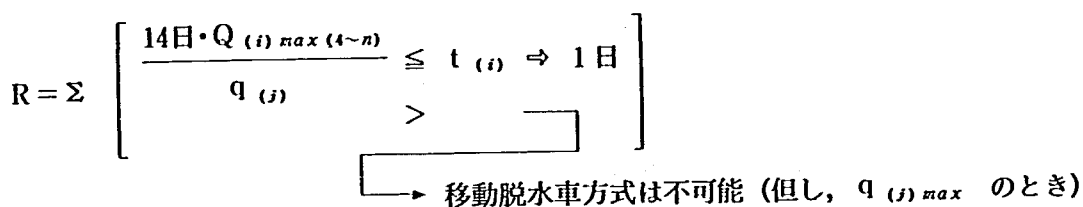
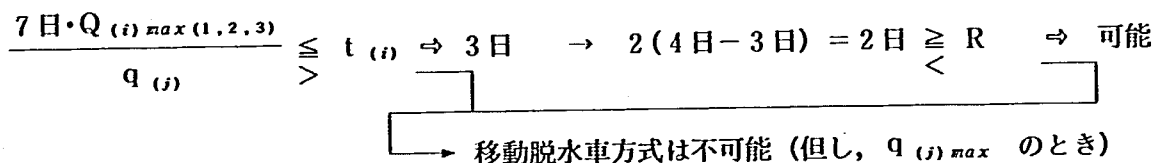
$$Z_2 = \Sigma \left[\begin{array}{l} \frac{14 \text{ 日} \cdot Q_{(i) \max(2 \sim n)}}{q_{(j)}} \leq t_{(i)} \Rightarrow 1 \text{ 日} \\ \qquad \qquad \qquad > \qquad \qquad \qquad \rightarrow \frac{14 \text{ 日} \cdot Q_{(i) \max(2 \sim n)}}{q_{(j)}} \leq 2t_{(i)} \Rightarrow 2 \text{ 日} \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad > \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \rightarrow \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \rightarrow \text{Step-2 (但し, } q_{(j) \max} \text{ のとき)} \end{array} \right]$$

$$Z_3 = \Sigma \left[\begin{array}{l} \frac{14 \text{ 日} \cdot Q_{(i) \max(2 \sim n)}}{q_{(j)}} \leq t_{(i)} \Rightarrow 1 \text{ 日} \\ \qquad \qquad \qquad > \qquad \qquad \qquad \rightarrow \end{array} \right] \\
 \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \rightarrow \text{移動脱水車方式は不可能 (但し, } q_{(j) \max} \text{ のとき)}$$

[Step-2] : $Q_{(i) \max(k)}$ 、 $k=1$ 及び 2 となる $Q_{(i)}$ の処理場を 1 週周期とし、他を 2 週周期とした検討。



[Step-3] : $Q_{(i) \max(k)}$ 、 $k=1, 2, 3$ となる $Q_{(i)}$ の処理場を 1 週周期とし、他を 2 週周期とした検討。



③ 検討－４：検討－１で可能となった場合の余裕化の検討

検討－１（全ての処理場が１週サイクル）で可能となった場合には、巡回作業の効率化と巡回システムに余裕を持たせる可能性を探るために、２週サイクル、或いは１週と２週の組合せサイクルが可能かを調べる。

この検討は、検討－１で可能となった $q_{(i)}$ よりも大きな $q_{(i)}$ により、検討－２の方法に従って行う。このとき、検討－２の方法で不可能となった場合は、検討－３の方法に従い行う。

小規模下水処理場における汚泥の
処理処分に関する調査報告書

ISSN 0386-5878
土研資料 第3024号
平成3年9月(1991)

下水道部 汚泥研究室 室長 佐藤 和明
研究員 落 修一
研究員 白石 隆

要 旨 現在、我が国の下水道事業は、大・中都市から小都市や小集落へと移行、拡充してきている段階にあり、これから新規に建設される下水処理場の多くは小規模下水処理場となり、建設数も相当の数にのぼることが予想される。
本報告書は、小規模下水処理場における汚泥の処理や有効利用、処分の円滑化に寄与するために、維持管理の効率化を前提とした計画上の留意点や処理プロセスの選定、個々のユニットプロセスの特徴等について調査、検討したものである。

キーワード：汚泥処理，小規模下水処理場，汚泥貯留，好気性消化，嫌気性消化

○

郵便はがき

3 0 5 - □ □

四十一円切
手をはって
下さい。

建設省土木研究所

下水道部汚泥研究室 行

茨城県つくば市旭一番地

No. _____

No. _____

配布先住所

配布先氏名

○

○

土木研究所資料 第3024号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印

○