

平成11年度

厚生科学研究費生活安全総合研究事業

浄化槽等の汚泥の減量・減容
及び再生技術に関する研究
報告書

平成12年3月

財団法人 日本環境整備教育センター

平成 11 年度
厚生科学研究費生活安全総合研究事業
浄化槽等の汚泥の減量・減容及び再生技術に関する研究
報告書 目次

はじめに	1
1. 研究の目的	1
2. 研究内容及び実施方法	1
3. 各分担研究の要旨	3
第 1 章 浄化槽汚泥の減量化及び収集運搬の効率化に関する研究	8
1. 1 はじめに	8
1. 2 方法	9
1. 2. 1 炭化装置	9
1. 2. 2 炭化装置を用いた汚泥処理フロー	9
1. 2. 3 投入汚泥	10
1. 2. 4 溶出試験	11
1. 2. 5 投入汚泥含水率の違いによる炭化効率の検討	11
1. 2. 6 汚泥投入量及び燃焼時間の違いによる炭化汚泥の性状の検討 (RUN1)	11
1. 2. 7 炭化装置の処理能力の検討(その 1) (RUN2)	11
1. 2. 8 炭化装置の処理能力の検討(その 2) (RUN3)	11
1. 2. 9 汚泥の乾燥、炭化にともなう構造変化及び炭化汚泥の物性	11
1. 3 結果及び考察	12
1. 3. 1 投入汚泥含水率の違いによる炭化効率の検討	12
1. 3. 2 汚泥投入量及び燃焼時間の違いによる炭化汚泥の性状の検討 (RUN1)	13
1. 3. 3 炭化装置の処理能力の検討(その 1) (RUN2)	15
1. 3. 4 炭化装置の処理能力の検討(その 2) (RUN3)	16
1. 3. 5 RUN2 における汚泥収支	17
1. 3. 6 汚泥の乾燥、炭化にともなう構造変化	17
1. 3. 7 炭化汚泥の物性	18
1. 4 まとめ	19

第2章	汚泥処理過程及び再生物の衛生的安全性の評価に関する検討	-----	21
2.1	はじめに	-----	21
2.2	等電点電気泳動による感染ウイルス粒子の電荷測定	-----	21
2.2.1	材料と方法	-----	21
2.2.2	結果と考察	-----	22
2.3	ポリオウイルスの糞便への排泄量測定	-----	23
2.3.1	材料と方法	-----	23
2.3.2	結果と考察	-----	23
2.4	まとめ	-----	24
2.5	今後の計画	-----	24
第3章	汚水処理及びコンポスト化過程における		
	微生物叢検索及び分離菌の性状解析に関する研究	-----	26
3.1	はじめに	-----	26
3.2	溶菌性ファージを利用した細菌のコンポスト中における動態解析	-----	26
3.3	コンポストから分離したスカトール		
	及びインドール分解性通性嫌気性菌の性状解析	-----	30
第4章	浄化槽汚泥と化学肥料との比較に関する研究	-----	32
4.1	はじめに	-----	32
4.2	材料及び方法	-----	33
4.2.1	白菜栽培	-----	33
4.2.2	ブロッコリー栽培	-----	34
4.2.3	トマト栽培	-----	36
4.3	結果	-----	37
4.3.1	白菜栽培結果	-----	37
4.3.2	ブロッコリー栽培結果	-----	42
4.3.3	トマト栽培結果	-----	44
4.4	考察	-----	44
4.4.1	白菜栽培結果	-----	44
4.4.2	ブロッコリー栽培	-----	46
4.4.3	トマト栽培結果	-----	48
4.5	まとめ	-----	50
4.6	課題	-----	50

第5章 建設材料など他の用途への浄化槽汚泥等の再生技術開発に関する研究	-----	51
5.1 はじめに	-----	51
5.1.1 本研究の背景	-----	51
5.1.2 本研究の目的	-----	51
5.2 浄化槽汚泥からの生分解性プラスチックの直接合成	-----	52
5.2.1 実験	-----	52
5.2.2 結果と考察	-----	52
5.3 まとめ	-----	56
第6章 浄化槽汚泥ファージに関する研究	-----	58
6.1 はじめに	-----	58
6.2 実験方法	-----	58
6.2.1 浄化槽汚泥内ファージ濃度の測定	-----	58
6.2.2 ファージと宿主の相互作用の解析	-----	59
6.2.3 バチルスファージの溶菌酵素遺伝子のクローニング	-----	59
6.3 実験結果及び考察	-----	59
6.3.1 浄化槽汚泥内ファージ濃度の経月変化	-----	59
6.3.2 ファージと宿主菌の相互作用の解析	-----	61
6.3.3 バチルスファージの溶菌酵素の解析	-----	62
6.4 おわりに	-----	67

はじめに

1. 研究の目的

し尿と生活雑排水を併せて処理する合併処理浄化槽は、今日、生活排水対策の重要な柱の一つであり、生活環境の保全及び公衆衛生の向上を目的としてその設置・整備が推進されている。合併処理浄化槽は、し尿のみを処理する単独処理浄化槽に比べ、雑排水の未処理放流を防止できる点から効果的であり、また、単独処理浄化槽の新設廃止、既設単独処理浄化槽の合併処理浄化槽等への転換等の動きから、今後、ますます設置基数が増加すると予想される。その分、発生する汚泥量も増加し、また、質的にも性状が異なる傾向にある。これら浄化槽汚泥の多くは、既存のし尿処理施設において処理されているが、汚泥の量的、質的な変化がし尿処理施設の処理機能等に様々な影響を及ぼし、浄化槽汚泥の処理を困難にしている例が認められる。

一方、浄化槽汚泥は資源の少ないわが国において、将来的に有望な資源であり、有機質資源として有効利用するための試みも数多く行われている。したがって、合併処理浄化槽の普及促進を進めるにあたっては、汚泥の減量化や再生利用等の対策を早急に検討し、実用化の目途を立てる必要がある。

さらに合併処理浄化槽の処理水についても、昨今問題となった病原性大腸菌 O-157 やクリプトスポリジウム等による感染を考慮し、衛生学的な面から安全性を確保することが必要である。また、細菌、原虫及びウイルスは汚泥中に濃縮されることが明らかとなっており、汚泥処理過程における衛生学的安全性の確保は必須の条件となっている。

本研究は、汚水処理過程において発生する汚泥の減量化及び再生利用等を推進するための具体的な方法を検討し、汚泥の的確な処理による生活環境の保全、公衆衛生上の安全の確保及び有機質汚泥の循環利用による資源の有効利用等に貢献しようとするものである。

2. 研究内容及び実施方法

合併処理浄化槽の設置・整備が推進され、それに伴って発生する余剰汚泥対策は合併処理浄化槽の普及・推進に不可欠である。したがって、汚泥の減量化、再生利用等の推進、汚泥処理方法の検討等が急務となっている。

さらに、衛生上の観点、農業利用上の観点及び他分野への応用の観点等、幅広い分野からの視点に立った検討が必要と考えられる。そのため、本研究を実施するにあたっては「浄化槽等の汚泥の減量・減容及び再生技術に関する研究委員会」を財団法人日本環境整備教育センターに設け、推進することとした。

委員会の構成は、以下に示すとおりである。

委員長：大森英昭（（財）日本環境整備教育センター理事兼調査研究部長）

- 委員：井上義夫（東京工業大学大学院生命理工学研究科教授）
：小川人士（玉川大学農学部学術研究所講師）
：丹治保典（東京工業大学大学院生命理工学研究科助教授）
：中井 裕（東北大学大学院農学研究科助教授）
：中嶋睦安（日本大学生物資源科学部教授）

本研究内容を整理し、項目別に分類すると次のとおりとなる。

①浄化槽汚泥の減量化及び収集運搬の効率化に関する研究

浄化槽汚泥減量化のため、中小規模用の簡易な濃縮技術に関する資料収集、及び収集運搬効率化のため、バキューム車の改良、濃縮・脱水車の試験及び評価を行う。さらに、浄化槽汚泥を直接炭化するための基礎的検討を行う。

②汚泥処理過程及び再生物の衛生的安全性の評価に関する研究

病原微生物として注意すべき細菌、ウイルスの特定及び検出方法の検討、及び水処理、汚泥処理過程の病原微生物の消長に関する検討を行う。また、病原微生物の不活化処理方法に関する検討の基礎実験及び実規模実験を行い、汚泥処理に係る衛生学的ガイドライン策定に向けた検討を行う。

③汚水処理及びコンポスト化過程における微生物叢検索及び分離菌の性状解析

臭気物質分解菌等の微生物叢の検索、有用微生物の単離、微生物の特性解析、有用微生物の培養と活用、及び高品質コンポストの条件と微生物の役割を検討する。

④汚泥と化学肥料による栽培比較及び栽培に用いるための形態に関する研究

汚泥による肥料効果の検討、汚泥からの苗ポット作製及び必要条件の検討を行う。また、作物及び農業従事者の要求する肥料形態を模索するため、化学肥料混合による肥料成分調整方法の検討、汚泥肥料、苗ポットの流通の課題を検討する。

⑤建設材料など他の用途への浄化槽汚泥等の再生技術開発に関する研究

浄化槽汚泥の性状解析、調質方法の基礎的検討を行い、その基礎研究の成果を踏まえたピーカー実験及びベンチスケールの実験を行い、プラスチック生産の実用化を試みる。

⑥浄化槽汚泥ファージに関する研究

汚泥中の特定の種に感染するファージを用いた、種の増殖抑制やファージを介した遺伝子伝播による難分性物質の効率的分解促進の可能性について、ファージの検索、難分性

物質分解促進の検討を行い、さらに、ファージの溶菌酵素からの抗菌剤作製等の検討を行う。

3. 各分担研究の要旨

① 第1章 浄化槽汚泥の減量化及び収集運搬の効率化に関する研究

全国のし尿処理施設において、浄化槽汚泥の処理実績は増加傾向を示し、その対応に苦慮している状況が認められた。岐阜県海津郡平田町でも浄化槽汚泥は年々増加しており、その対策として移動式汚泥脱水車を導入し活用してきた。本研究では、この汚泥脱水車からの脱水汚泥を業務用大型ごみ処理機(以下「炭化装置」)で処理する可能性及びその運転条件、生成物である炭化汚泥の性状について検討を行った。

汚泥の炭化において、水分が蒸発した乾燥以上の減量が可能であった。すなわち、含水率の異なる濃縮汚泥(含水率 97.7%)、脱水汚泥(含水率 80.1%)の SS 減量率は、それぞれ 48.6%、44.7%であり、約 50%の汚泥が分解された。したがって、本炭化装置の場合、投入汚泥の含水率による影響は少なく、炭化を進行できることがわかった。

汚泥投入量及び燃焼時間を変化させ、炭化汚泥の外観、含水率及び強熱減量の比較を行った結果、含水率はいずれもほぼ 0%であり差は認められなかったが、外観は黒色～暗茶褐色で、暗茶褐色を呈した炭化汚泥は若干汚泥臭が残存していた。強熱減量は 47.7～57.2%であり、外観の黒さに応じて低くなっていた。また、炭化室温度が高く、外観が黒く、かつ強熱減量の割合が低い炭化汚泥は、溶出 TOC も比較的低い値であった。BOD、COD、T-N 及び色度も同様な傾向を示し、TOC と他の溶出項目には高い相関関係が認められた。したがって、炭化室温度を高くすると炭化の進行した炭化汚泥が得られ、溶出 TOC の測定は炭化の進行の指標として有効であり、また、溶出 TOC から他の溶出項目の予測が可能であった。

燃焼時間 8,9,10 時間で処理可能な汚泥投入量を求めたところ、10 時間で 325kg、9 時間で 250kg、8 時間で 200kg であった。投入量当たりの燃焼時間の延長に伴い、炭化室温度は上昇し溶出 TOC は低くなった。仮に、溶出 TOC を 10 mg/L 未満とするには、炭化室温度を 350°C 程度、投入量当たりの燃焼時間を 2 分/kg 以上の条件で炭化する必要性が示された。

炭化の進行過程を固体高分解能 ^{13}C -NMR と溶出 TOC の測定結果から判断すると、炭化の進行に伴い揮発性、水溶性の低分子量有機化合物が先ず急速に失われ、ついで炭水化物が減少し、逆に酸素原子に結合した炭素、あるいは不飽和結合、芳香族性炭素が増加していた。炭化処理により、有機物は不飽和結合炭素、芳香族系炭素、カルボニル、カルボキシル炭素から成る化学構造に変化することが明らかとなった。

② 第2章 汚泥処理過程及び再生物の衛生的安全性の評価に関する検討

これまで浄化槽等の各種汚泥が、ポリオ（小児麻痺）ウイルス等、糞便中に多量に排出される腸管ウイルスによって汚染される危険性について検討してきた。これらのウイルスは、1.汚泥に大量に結合すること、2.結合により安定化すること、3.流入する溶液のアルカリ化あるいは塩濃度上昇により感染力を保持したまま容易に汚泥から遊離することから、汚泥再生利用時において注意すべき点と考えられた。ウイルスと汚泥の結合機序解明の一端として、結合モデル実験系について検討し、静電的結合が大きな役割を果たしていることを明らかにした。今年度は、さらに結合機序解明を進めるため、感染ウイルス粒子の電荷（等電点）を測定し、さらに、実際の浄化槽への流入ウイルス量を推定するため、ポリオウイルスの糞便への排泄量を測定した。

ウイルスは巨大分子であるため、通常の泳動ゲルは使用できない。そこでセファデックスを担体とする泳動法を開発し測定した。その結果、感染性ポリオウイルスの等電点は pH4.2 から pH4.4 の範囲を示した。したがって、ウイルスは緩衝液（PBS (-)、pH7.2）中では陰性に荷電していると考えられた。しかし、先に、ウイルスの汚泥吸着モデルで検討した結果では、陽イオン交換樹脂に 98.9%を吸着したことから陽性に荷電していると考えられた。これらのことから、ウイルス粒子が単体で汚泥に結合するのではなく、ウイルスと汚泥を結ぶ何らかの因子が介在している可能性が示唆された。ウイルスと汚泥を介在する因子として Ca・Mg イオンなどの2価金属イオンが考えられ、今後検討が必要である。

ポリオウイルス弱毒株を経口投与された乳児（生後6ヶ月）から、投与14日後に糞便を採取し RT-PCR で定量した。換算値で 5×10^7 PCR unit/g 以上を示し、1日当たりの糞便量を 100g とすると 5×10^9 PCR unit/day 以上排泄されていることになる。数百粒子で感染が成立することから、この数値は感染量としては極めて多量である。また弱毒株から強毒株への変異、弱毒株投与児から父親への感染による後遺症例も報告されていることから、注目すべきウイルスであり、有効な指標ウイルスであると考えられる。

今後は、腸管由来のウイルスが浄化槽施設にどの程度流入するか、実際の浄化槽施設等から回収した汚泥でウイルス検出を試み、ウイルス流入量を実測する必要がある。

③ 第3章 汚水処理及びコンポスト化過程における微生物叢検索及び分離菌の性状解析に関する研究

汚水の処理及び汚泥などのコンポスト化は微生物学的処理として扱われているが、微生物の動態及び微生物の機能に関しては不明な点も多い。これまでわれわれは、汚水処理過程やコンポスト化過程における微生物叢の変化を解析してきたが、今回はコンポスト中での特定の微生物の消長を追跡することを目的に接種菌に対する溶菌性ファージの消長を観察した。また、汚泥などのコンポスト化では悪臭の発生が問題となるため、コンポスト化過程における悪臭物質分解微生物の検索を行った。

コンポストから分離した細菌である MH2 をコンポストに接種し、MH2 溶菌性ファージを検索することによってその動態を追跡した。接種菌には下水道汚泥コンポストから分離した細菌 MH2 を供試し、コンポスト装置には内容積約 6 m³ の強制通気方式密閉型コンポスト装置を用いた。発酵試験を 6 回行った結果、MH2 未接種の種コンポストや下水道汚泥脱水ケーキ中にはファージが存在しないこと、MH2 を接種したコンポスト化過程で MH2 溶菌性ファージが増殖することが観察され、MH2 がコンポスト内で増殖していることを強く支持する結果を得た。

インドールまたはスカトール（3メチルインドール）の分解能を有する通性嫌気性グラム陰性桿菌をコンポストより分離し、その性状を解析した。分離株の Y-07 株はインドールを、S-29 株はスカトールを、好気条件下、嫌気条件下いずれにおいても分解した。両株は通常のコンポスト過程で検出される濃度以上のインドール及びスカトールの存在下でも良好な増殖を示した。Y-07 株は培養開始直後からインドールとグルコースを同時に利用したが、S-29 株はグルコースを初めに利用し、グルコース消費後にスカトールの分解を開始した。これらの結果から、コンポスト中には好気、嫌気いずれの条件下でもインドールやスカトールを分解できる通性嫌気性菌が存在することが明らかとなった。

④ 第4章 汚泥と化学肥料による栽培比較及び栽培に用いるための形態に関する研究

汚泥の有効利用と農業の合理化、環境保全の面から成型鉢を農業生産に利用した。その結果、栽培方法として、従来の農業で使われるセル苗よりポリ鉢の特徴である生育むらが少ないという大苗定植の利点の他に、肥料を節約できる可能性が示された。白菜の栽培においては、成型鉢の方が 1 kg 程度の増収になり、また、品質面で安定した作物が得られた。また、ブロッコリーの栽培では、根こぶ病の発生により収穫量が上がらない畑において、2L, 3L 規格の製品が得られた。このことは、根圏域に肥料成分を局所に施肥することで土壤病害の抑制あるいは病害の軽減効果が得られることを示す。今後は肥料供給量の調節、成型鉢の強度、形状等を工夫し、現状の農業形態に合わせた適用範囲の拡大を図ることが重要である。

また、作業効率は、大苗定植のためポリ鉢苗と同程度の作業時間がかかるが、ポリ鉢の回収や廃棄といった手間がかからないことや、育苗時の灌水量がポリ鉢の半分程度ですむことが示された。単純にセル苗区(慣行法)と比べれば、成型鉢の方が収量や収入も多く安定しており、農業に導入しても採算が合うと思われるが、作業効率を考え成型鉢を農業に導入する場合、機械を使った作業が主眼となる。また、製造コストを低減化する意味では大量に生産され、地域による肥料バランスの差が少ない生産物に用途が見込まれる。たとえば、今回のような白菜、加工用トマト、ブロッコリーやカリフラワー、地這いメロン、カボチャ等であろう。一般に肥料要求性が少ないとされる根菜類、芋類、落花生なども検討する余地がある。

専業農家の意見として、「ナーサリーにおいての運搬容器の形状との整合性をとる。鉢の下部にスリットを入れ根の張り出しを良くする。生育初期においての肥料の不足分を配合する。機械定植に適合する形状の鉢とする。鉢の底を厚くし、生育後期での肥料の溶出量を調節する。春・夏・秋作の栽培ステージに合わせた肥料の溶出パターンが得られるようにする。」ことがあげられた。

また、将来の課題として、「果樹・茶園用の杭状肥料（強度を上げ、エアーやスプリングで打ち込めるようにする）。セルトレーのような連結型のブロック状育苗床。堆肥を線状に加工し交差させることで多孔質を形成した育苗床。トマトやキュウリ、カボチャ、メロンのような長期栽培作物用の大鉢。高速道路等の法面緑化用の種入りタイル。種子へのコート（種を堆肥で包んだボールのような物）。コガネムシなど糞を食する虫の誘因殺虫剤への適用。」等が考えられた。

⑤ 第5章 建設材料など他の用途への浄化槽汚泥等の再生技術開発に関する研究

浄化槽汚泥等を有用物質に変換、再生利用するための基礎的研究として、本年度は微生物プロセスによる浄化槽汚泥からの生分解性プラスチック、ポリ（ヒドロキシアルカン酸）（PHA）、の直接生産と、浄化槽汚泥の炭化処理による新たな多孔質有機炭素材料の創製を検討した。

一般に、微生物によるPHAの生産では、微生物の増殖を制限する条件、例えば窒素制限をしないと高効率でのPHA生産を達成できない。しかし、浄化槽汚泥からPHAを生産しようとする場合、窒素源化合物を除去することは非現実的である。本研究では、窒素源存在下で増殖しながらPHAを高効率で産生することが知られている *Alcaligenes latus* を使用して、浄化槽汚泥から直接PHAを生産することを試みた。浄化槽汚泥は *A. latus* の培養の培地として適切ではないことを確認した。これに対しては、超音波処理により浄化槽汚泥の水溶性有機物の量を飛躍的に向上することができ、結果としてPHA産生量を高めることができた。産生PHAをNMRにより分析した結果、ポリ（3-ヒドロキシ酪酸）とポリ（3-ヒドロキシ酪酸-co-3-ヒドロキシ吉草酸）共重合体であることがわかった。

⑥ 第6章 浄化槽汚泥ファージに関する研究

浄化槽汚泥を処理する際、衛生上に配慮することが重要である。特にヒト由来細菌を多く含むことから、処理過程においてこれら細菌の消長を把握する必要がある。ヒト由来細菌を特定するには様々な方法があるが、特定細菌に感染するファージ濃度を指標とする方法は比較的簡便であり、ファージ感染の特異性から、宿主細菌濃度を正確に反映しているものと考えられる。本研究により、ヒト由来細菌の代表である大腸菌特異的ファージの2種の浄化槽汚泥における約1年にわたる濃度変化が明らかとなった。沈分汚泥（沈殿分離槽底部汚泥、生し尿に近い）においては、大腸菌感染ファージの濃度は $10^2 \sim 10^4$ (PFU/mL) で

あり、浮遊状態及び懸濁物に吸着した状態で検出された。一方、長時間ばっ気方式の濃縮槽汚泥においては、大腸菌感染ファージの濃度は $10^1 \sim 10^3$ (PFU/mL) であり、浮遊状態のファージ濃度は低く、ほとんどが懸濁物に吸着した状態で検出された。ばっ気処理により大腸菌特異的ファージ濃度が 1/1000~1/10 に減少したことから、ヒト由来細菌濃度も同処理により減少していると考えられる。しかし、懸濁物に吸着しているファージが比較的高濃度で濃縮槽汚泥に検出されたことから、これら懸濁物に吸着することによりファージの安定性が増すことが示唆された。

特定細菌をファージによりコントロールすることができれば、病原細菌を汚泥から駆除することが可能となる。本研究では大腸菌 0157:H37 を例に汚泥からファージをスクリーニングし、大腸菌とファージの相互作用を解析した。ファージと大腸菌の2成分系ではファージの添加により大腸菌が溶菌し、ファージによる病原菌の制御ができることが示された。しかし、ファージ非感受性大腸菌が高濃度で共存するとファージが本来の宿主に感染する過程が阻害された。今後、複合培養系におけるファージと宿主の相互作用を定量的に解析することにより、実際の処理環境において、ファージを効果的に使用するための条件を検討する計画である。

また、グラム陽性細菌であるバチルスに感染するファージを汚泥からスクリーニングし、ファージが持つ宿主溶菌酵素の遺伝子2種をクローニングすることができた。溶菌酵素の一つであるエンドライシンは単独で *Escherichia coli*, *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Bacillus* に対する殺菌作用を示した。抗生物質耐性菌の出現が社会問題となっているが、ファージが持つ溶菌酵素は細胞壁を持つ細菌にのみ作用し、人に対する副作用が少ないと考えられる。従来、抗生物質はカビなどから探索されてきたが、汚泥に存在するファージから新たな抗菌剤が探索できる可能性が本研究によって示された。

第1章 浄化槽汚泥の減量化及び収集運搬の効率化に関する研究

1.1 はじめに

全国のし尿処理施設に対するし尿・浄化槽汚泥の処理状況のアンケート調査結果では、過去5年間の処理実績として、浄化槽汚泥は増加傾向を示していた（図1-1）。全国の1060施設のうち、60%が処理能力を超過した受入れを行ったことがあり、25%の施設ではその超過が頻繁に発生していた。また、浄化槽汚泥量の増加への対応に苦慮している状況も認められ、処理能力を超過している施設のうち、40%の施設が搬入制限を行っており、浄化槽汚泥の減量化及び有効利用が求められている。

岐阜県内のし尿処理施設においても、浄化槽汚泥量は増加しており、その処理に苦慮している実状は同様である。しかしながら、汚泥処理の結果生ずる最終残渣（汚泥）は、農業利用することが可能な立地条件を有しており、今後の汚泥処理が廃棄物処理の観点から資源として有効利用する方向へ進み、地元清掃業界においても新たな汚泥処理の可能性を検討してきた。

本研究の推進にあたり、岐阜県海津郡平田町に協力を要請した。平田町では農業集落排水施設が建設され、浄化槽汚泥は年々増加している（図1-2）。これら浄化槽汚泥量の増加に対し、移動式汚泥処理施設（ベルトプレス方式、以下「汚泥脱水車」）を導入して対応してきた。さらに、今年度はこの汚泥脱水車からの脱水汚泥の処理に、業務用大型ごみ処理機（以下「炭化装置」）を導入した。これは、今後の定期的な汚泥処理、炭化装置のコンパクト性及び発生ガス対策、炭化汚泥の有効利用等を考慮し、導入されたものであるが、これまでに浄化槽汚泥の処理については知見が得られていなかった。

そこで、本研究では、この炭化装置を浄化槽汚泥の炭化に用いることの可能性及び運転条件、浄化槽汚泥等の減量化及び生成物である炭化汚泥の性状について検討を行った。

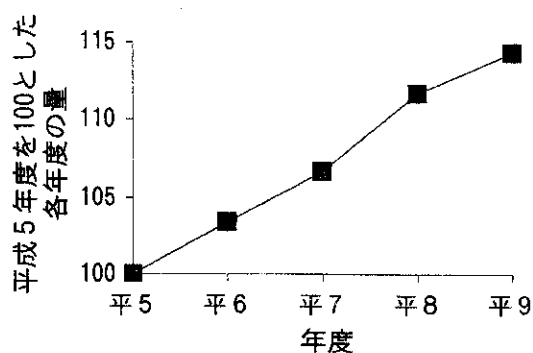


図1-1 平成5年度を100とした
浄化槽汚泥の処理実績量

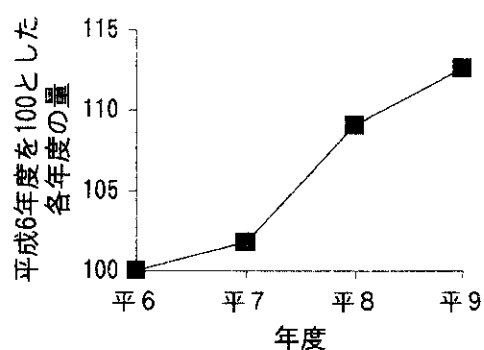


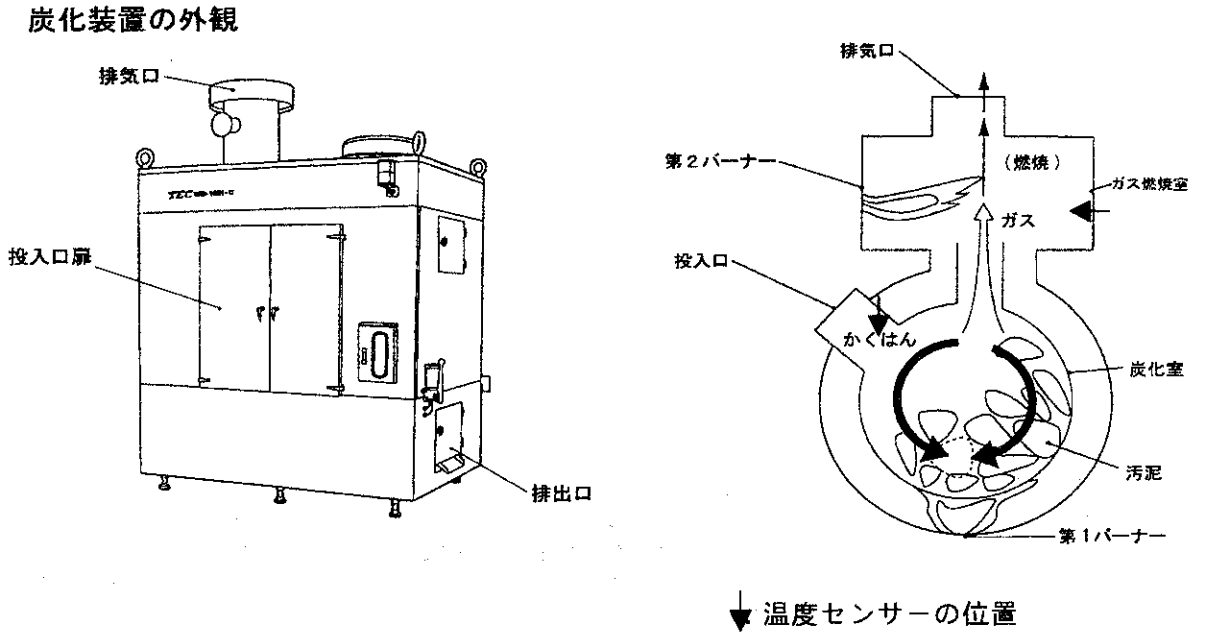
図1-2 平田町における浄化槽
汚泥の処理実績量

1.2 方法

1.2.1 炭化装置

炭化装置の概要を図1-3に示す。

炭化装置は、汚泥を密閉状態で加熱し、炭化を行う炭化室と、発生ガスの燃焼処理を行うガス燃焼室から構成されている。また、本装置は構造上、運転中の内部確認が不可能であり、炭化室投入口付近及びガス燃焼室に設けられた温度センサーの指示値により、炭化の進行状況を判断するとともに、第1バーナーを制御している。



炭化装置	処理方式	炭化方式
	処理能力	1,000L/回
	消費電力	2.8kw/h
	消費灯油	平均 10L/h

(メーカーの製品カタログによる)

図1-3 装置の概要

1.2.2 炭化装置を用いた汚泥処理フロー

炭化装置を用いた汚泥処理システムのフローを図1-4に示す。

パターン1は、浄化槽の余剰汚泥を含水率の高いまま、炭化装置へ投入する場合、パターン2～3は、余剰汚泥を濃縮あるいは脱水し、炭化装置へ投入する場合、パターン4～5は、余剰汚泥を移動式汚泥濃縮車あるいは脱水車を用いて、現場で濃縮汚

泥あるいは脱水汚泥とし、炭化装置へ運搬、投入する場合である。

なお、パターン1～3については、炭化装置を各浄化槽へ個別に設置し処理する方法と、汚泥をバキューム車等で浄化槽から炭化装置まで運搬し処理する方法が考えられる。

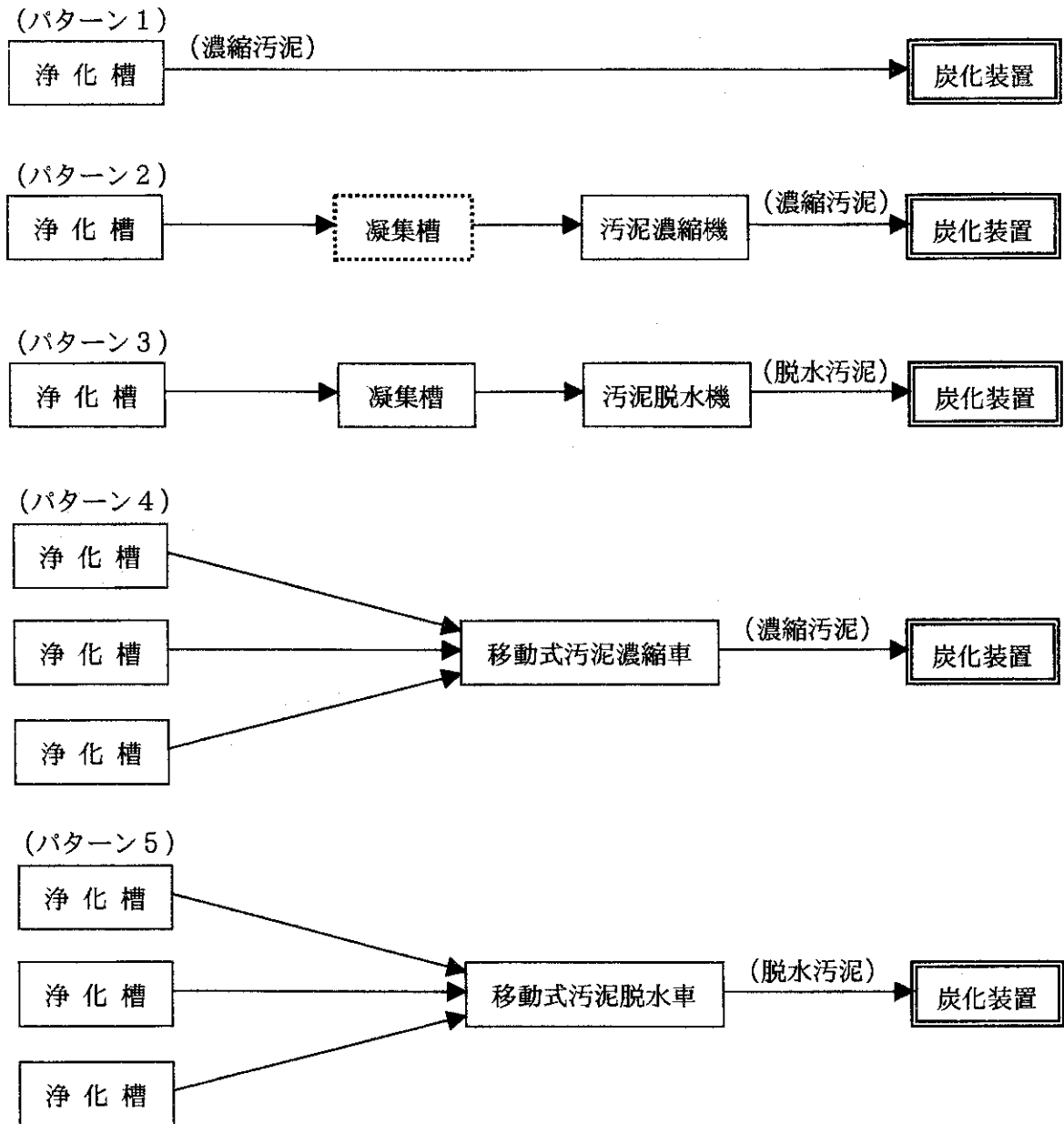


図1-4 炭化装置を用いた汚泥処理システムのフロー

1.2.3 投入汚泥

炭化実験には、以下の汚泥を用いた。

- ・特定環境保全公共下水道処理施設（以下、「特環下水道施設」）の濃縮汚泥及び脱

水汚泥

- ・農業集落排水施設（以下、「集排施設」）の余剰汚泥を移動式脱水車で脱水した脱水汚泥（含水率 82%前後）（以下、「集排脱水汚泥」）

1. 2. 4 溶出試験

炭化の進行状況は、溶出試験（昭和 48 年 2 月 17 日付環境庁告示第 13 号「産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法」）に従い判断した。溶出試験は、乳鉢で粉碎した炭化汚泥で行った。

溶出液は遠心分離後、孔径 1 μ m ガラス・マイクロファイバーろ紙でろ過し、pH、アルカリ度、塩化物イオン、BOD、COD、TOC、色度、T-N 及び T-P の測定を行った。

1. 2. 5 投入汚泥含水率の違いによる炭化効率の検討

特環下水道施設の濃縮汚泥及び脱水汚泥を用い、投入汚泥の含水率の違いによる炭化状況について検討を行った。本装置のガス燃焼室温度が 650 $^{\circ}$ C に達した時点をもって炭化終了とし、その間の炭化室温度、終了までの燃焼時間及び灯油使用量を測定した。炭化前後の汚泥については、重量、含水率及び強熱減量の測定を行った。

1. 2. 6 汚泥投入量及び燃焼時間の違いによる炭化汚泥の性状の検討 (RUN1)

集排脱水汚泥を用い、汚泥投入量及び燃焼時間を変化させ、炭化汚泥の外観、含水率及び強熱減量の比較を行った。

1. 2. 7 炭化装置の処理能力の検討(その 1) (RUN2)

集排脱水汚泥を用い、汚泥投入量を変化させ、燃焼時間 10 時間における汚泥投入量の限界の把握を目的とし、炭化実験を行った。炭化汚泥については溶出試験を実施し、TOC の測定を行った。

1. 2. 8 炭化装置の処理能力の検討(その 2) (RUN3)

集排脱水汚泥を用い、燃焼時間を 8,9,10 時間と変化させ、各燃焼時間内に処理可能な汚泥量の把握を目的とし、炭化実験を行った。炭化汚泥については溶出試験を実施し、TOC の測定を行った。

1. 2. 9 汚泥の乾燥、炭化にともなう構造変化及び炭化汚泥の物性

表 1-1 に示した 5 種類の炭化汚泥について、固体高分解能 13 C-NMR による構造解析、及び比表面積、細孔容積、平均細孔直径等の物性試験を行った。

固体高分解能 13 C-NMR スペクトルは、日本電子（株）製 JEOL GSX270 装置を使用して CP

／MAS（交差分極／マジック角回転）モードで測定した。観測周波数は 67.9MHz、MAS 回転数は 3.5～4.0kHz、パルス繰返しは 7 秒、積算回数は 10,240 回とした。

なお、試料 5 は試料 1 を再度炭化装置に投入し、炭化処理したものである。

表 1 - 1 汚泥の炭化条件

試料	乾燥・炭化条件		TOC (mg/L)
	燃焼時間 (時間)	炭化室最高温度 (°C)	
1	—	—	1,967
2 (RUN1-3)	9.25	165	320.5
3 (RUN1-4)	7.50	275	32.2
4 (RUN2-3)	10.00	358	2.4
5 (1の再炭化)	8.75	355	4.4

1. 3 結果及び考察

1. 3. 1 投入汚泥含水率の違いによる炭化効率の検討

炭化装置の運転条件及び結果を表 1 - 2 ～ 3 に示した。

各炭化時における減量率は、炭化前後の各汚泥重量から算出した。表 1 - 3 に示すように 98.8%及び 89%と各投入汚泥の含水率を上回っていたことから、炭化により乾燥以上の減量が可能であることが確認された。

各汚泥中の SS 量を表 1 - 4 に示す。炭化による SS 減量率は、濃縮汚泥炭化時が 48.6%、脱水汚泥炭化時が 44.7%であり、炭化によって約 50%の汚泥が分解されたことが確認された。

表 1 - 2 炭化装置の運転条件(その 1)

	濃縮汚泥	脱水汚泥
含水率 (%)	97.7	80.1
汚泥投入量 (kg)	200	200
設ガス燃焼室温度 (°C)	650	650
定炭化室温度 (°C)	350	350
燃焼時間 (時間)	5.00	4.75

表 1-3 炭化装置による減量結果

	投入汚泥			炭化汚泥			減量率 (%)
	重量	含水率	強熱	重量	含水率	強熱	
	(kg)	(%)	減量 (%)	(kg)	(%)	減量 (%)	
濃縮汚泥	200	97.7	79.0	2.5	5.4	59.9	98.8
脱水汚泥	200	80.1	81.9	22.0	0.0	62.5	89.0

備考：強熱減量は、蒸発残留物に占める割合

減量率は重量より算出

表 1-4 炭化による汚泥の減少量

	投入汚泥 SS (kg)	炭化汚泥 SS (kg)	減少量 (kg)	減少率 (%)
濃縮汚泥	4.6	2.4	2.2	48.6
脱水汚泥	39.8	22.0	17.8	44.7

灯油使用量は、濃縮汚泥炭化時が 60.5L、脱水汚泥炭化時が 60.9L であり、ほぼ同量であった。このことから、SS 量の多い脱水汚泥を炭化した方が炭化回数及び灯油使用量の面から効率的ではあるが、本装置を用いた場合、投入汚泥の含水率に左右されずに炭化することが可能であることが確認された。

1. 3. 2 汚泥投入量及び燃焼時間の違いによる炭化汚泥の性状の検討 (RUN1)

汚泥投入量及び燃焼時間を変化させ、炭化実験を行った。結果を表 1-5 に示す。

各 RUN において、炭化室の最高温度が 165~275℃と設定温度(350℃)以下を示した。これは、ガス燃焼室温度が設定値 (620~630℃) に達したため、一次 (炭化室) バーナーを停止し、冷却工程に移行したからである。

含水率は 4 種類ともほぼ 0%であり、大きな差は認められなかったが、外観は黒色~暗茶褐色と大きく異なり、暗茶褐色を呈した RUN1-3 の炭化汚泥については、汚泥臭が若干残存していた。強熱減量は 47.7~57.2%であり、黒さに応じて低くなっていた。

炭化汚泥からの溶出成分は、外観が黒く、強熱減量の低い RUN1-1 及び RUN1-4 の TOC は 58.7 及び 32.2 mg/L と比較的低い値であり、RUN1-2 は 133.1 mg/L と高く、RUN1-3 は 320.5 mg/L と RUN1 に実施したものの中で最も高い値であった。

同様に、BOD、COD、T-N 及び色度についても RUN1-4 は低く、RUN1-3 は RUN1 に実施したものの中で最も高い値を示した。これは、炭化室温度が RUN1-4 は 275℃と高く、RUN1-3 は 165℃と低いためであり、炭化室温度を高くすることで炭化の進行した炭化汚泥が得ら

れることが示された。

表1-5 炭化実験の概要(その1)

	RUN1-1	RUN1-2	RUN1-3	RUN1-4
含水率(%)	82.6			
汚泥投入量(kg)	150	500	525	300
設 定				
ガス燃焼室温度(°C)	630	620	620	630
炭化室温度(°C)	350	350	350	350
炭化室最高温度(°C)	246	243	165	275
燃焼時間(時)	3.25	10.00	9.25	7.50
炭 化 物				
外観(黒さの順位)	1	3	4	2
含水率(%)	0.0	0.0	0.6	1.5
強熱減量(%)	50.4	52.5	57.2	47.7
溶 出 成 分				
pH	6.4	5.5	5.1	6.1
BOD(mg/L)	87	193	322	28
COD(mg/L)	73	189	311	23
TOC(mg/L)	59	133	321	32
T-N(mg/L)	20.9	46.0	108.0	11.9
T-P(mg/L)	1.8	2.3	3.3	2.9
分色度(度)	30	70	200	15

備考：強熱減量は、蒸発残留物に占める割合

TOCとBOD、TOCとCOD及びTOCと有機性窒素の関係を図1-5に示す。TOCと他の溶出項目には高い相関関係が認められ、溶出TOCを測定することにより、他の項目の予測が可能であることが示された。

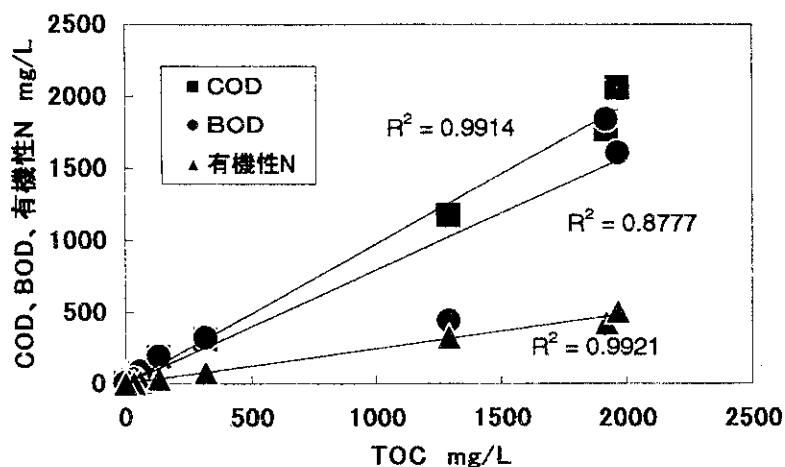


図1-5 TOCとCOD、BOD、有機性窒素の関係

以上の結果から、溶出 TOC の測定は炭化の進行の指標として有効であると判断し、以後の実験には溶出 TOC の測定を行い、炭化の進行状況を判断した。

1. 3. 3 炭化装置の処理能力の検討(その1) (RUN2)

燃焼時間を 10 時間に設定し、汚泥投入量を変化させ炭化実験を行った。結果を表 1-6 に示す。

表 1-6 炭化実験の概要(その2)

	Run2-1	Run2-2	Run2-3	Run2-4	Run2-5	Run2-6	Run2-7	Run2-8
含水率 (%)	81.8							
汚泥投入量 (kg)	255	260	265	305	325	335	345	375
設定ガス燃焼室温度 (°C)	630							
定炭化室温度 (°C)	350							
値燃焼時間 (時間)	10							
炭化室最高温度 (°C)	358	360	358	350	352	325	340	296
溶出 TOC (mg/L)	3.0	4.4	2.4	3.5	3.8	9.4	10.0	30.4

炭化汚泥からの溶出 TOC は、RUN1 (表 1-5) と比較し低い値を示したことから、炭化は良好であったと判断できる。ただし、燃焼時間が 10 時間の場合、汚泥投入量が 325 kg を超過すると、溶出 TOC は高く、炭化室温度は低くなっていた。このことから、1 回当たりの汚泥投入量の限界は、燃焼時間 10 時間では 325 kg であると考えられた。(図 1-6)

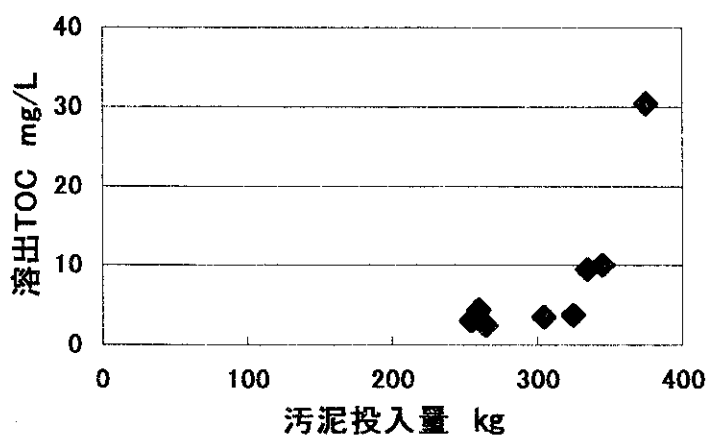


図 1-6 投入汚泥量と溶出 TOC

1. 3. 4 炭化装置の処理能力の検討(その2) (RUN3)

燃焼時間を 8,9,10 時間と変化させ、各燃焼時間内に処理可能な汚泥量の把握を目的とし、炭化実験を行った。結果を表 1-7 に示した。

炭化汚泥からの溶出 TOC は、RUN1 (表 1-5) と比較し低い値を示したことから、炭化は良好であったと判断できる。ただし、燃焼時間が 9 時間の場合は 300 kg 時に、8 時間の場合は 250 kg 時に溶出 TOC は高く、炭化室温度は低くなっていた。これらのことから、1 回当たりの汚泥投入量の限界は、燃焼時間 9 時間では 250 kg、8 時間では 200 kg であると考えられた。

表 1-7 炭化実験の概要 (その3)

	Run3-1	Run3-2	Run3-3	Run3-4	Run3-5
含水率 (%)	82.2				
汚泥投入量 (kg)	300	300	250	250	200
設 定 ガス燃焼室温度 (°C)	630				
炭化室温度 (°C)	350				
値 燃焼時間 (時間)	10	9		8	
化室最高温度 (°C)	355	294	353	322	359
溶出 TOC (mg/L)	8.7	38.1	6.2	9.9	5.1

投入量当たりの燃焼時間に対する炭化室温度と溶出 TOC を、図 1-7 に示す。投入量当たりの燃焼時間の延長に伴い、炭化室温度は上昇し、溶出 TOC は低くなっていた。炭化汚泥を有効利用するためには、溶出 TOC を低くする必要があることから、溶出 TOC を 10 mg/L 未満にするためには、炭化室温度は 350°C 程度、投入量当たりの燃焼時間は 2 分/kg 以上必要であることが明らかとなった。

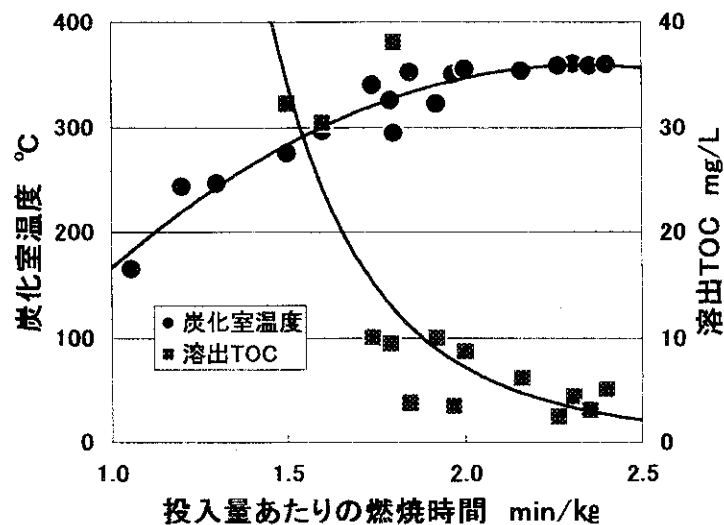


図 1-7 投入量当たりの燃焼時間に対する炭化室温度と溶出 TOC