

氏名	おち しゅういち 落 修 一		
授与学位	博士(工学)		
学位授与年月日	平成17年 3月 9日		
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第2項		
最終学歴	昭和47年3月 鹿児島県立阿久根農業高等学校農業土木科卒業 昭和56年3月 中央大学理工学部土木工学科退学		
学位論文題目	下水汚泥と各種有機性廃棄物との混合嫌気性消化に関する研究		
論文審査委員	主査	東北大学教授 野池達也	東北大学教授 西野徳三
		東北大学教授 西村修	東北大学助教授 李玉友

## 論文内容要旨

### 1. 研究の背景と目的

我が国は、地勢的にも文化的にも山々で囲まれた流域界を一つの地域社会とする構成単位から成り立ってきた。そして今日、そこには殆どの場合下水道が計画され、整備されてきた。そこに整備されている下水道は、下水処理場を核として枝葉のように大きく流域や地域全体に展開しており、下水処理場は容易に域内からの物質の収集・集積基地となり得ると同時に、資源やエネルギーの供給基地にも成り得るものである。

我が国の下水道は、平成14年度末時点において普及率が総人口12,669万人の65%に達し、また、自治体数においても総数3,213の内の2,271と70%強の自治体が下水道に着手するまでに進展、拡充されてきた。そして、従来の下水道が住環境の整備や水質汚濁防止に主眼が置かれ整備が急がれたのに対して、下水道整備の進展を見た今日では、更に水環境の再生や地球温暖化対策、地域に於ける循環型社会構築への寄与など、求められ、果たすべき役割も多岐に及ぶようになってきている。特に昨今の地球環境をとりまく問題を鑑みると、化石燃料と違い、地球温暖化の観点からカーボンニュートラルと位置付けられる現世生物資源の下水汚泥はじめ地域で発生する草木材は真に貴重なエネルギー資源である。地域社会の健全な発展のためにも、また、地球温暖化の抑制に大きく貢献して行くためにも、これらバイオマスからのエネルギー開発と利用を相当なスピードと量をもって進める必要がある。

道路や河川、ダム、海岸、空港、公園等、公共緑地の管理から大量の木質材や刈草が発生し、また、社会活動からは様々な有機質材が発生している。しかし、これらの利用方法は限られており、資源として利用拡大に繋がる技術が必要とされている。一方、下水処理場では汚水や汚泥の処理のために多くの電力や燃料、薬品を必要としており、これの削減と自給に繋がる技術開発が強く求められている。このために、本研究は、地域に整備された下水処理場の嫌気性消化槽において、域内から発生する草木類などの有機質材と微生物資源としての特徴を生かした下水汚泥との混合消化を図る有効な技術や方法を見出すことを目的に行ったものである。研究では、既存の下水汚泥嫌気性消化法の高度化を追求するための基礎的な実験を行うとともに、木質の効果的な嫌気性消化法を見出すこと、下水道へ

の厨芥流入を想定したバイオガス化を定量評価すること、バイオマスと下水汚泥との効果的な混合比率を明らかとすることなどのための実験を行い、そこから得られた結果に基づきケーススタディーを行い効果を評価したものである。

## 2. 論文の構成

本論文は以下に示すとおり7章で構成されている。

第1章「序論」では、本研究の背景、意義、および目的について述べた。

第2章「混合嫌気性消化に関する従来の研究」では、嫌気性消化に関する基礎的な知見と、混合嫌気性消化に関する欧米および我が国における研究・開発動向を示した。また、下水汚泥とバイオマスとの混合嫌気性消化に関する課題を抽出し、本研究の位置付けと目的を明確にした。

第3章「下水汚泥嫌気性消化法の高効率化要因に関する検討」では、下水汚泥から効果的なメタンガス生産を目指した消化槽内のCO<sub>2</sub>ガス濃度を高める方法について実験を行った。そこから得られた効果発現の知見に基づき、純粋セルロースを用いた基礎的な実験を行い、その消化特性について考察した。実験の結果は、下水汚泥と他のバイオマスとの混合嫌気性消化の可能性が高いことを示した。

第4章「爆砕木質と下水汚泥の混合嫌気性消化」では、木質チップに爆砕を施し性状分析を行うとともに、その嫌気性消化特性、既存施設の運転に及ぼす影響などを把握するための実験を行い、考察した。

第5章「他の有機性廃棄物と下水汚泥の混合嫌気性消化」では、ディスポーザ普及による厨芥流入を想定したバイオガス化の効果を定量評価する実験を行うとともに、大量発生している廃菌床と雑草刈草を対象とした下水汚泥との混合嫌気性消化のための効果的な混合比率を見出す実験を行い、考察した。

第6章「研究成果の実施設への導入解析による評価」では、我が国における既設の下水汚泥嫌気性消化施設の消化成績を分析し、評価した。それに基づき、各バイオマスを実施設に導入する場合を想定した解析を行うとともに、実現性や波及効果について考察した。

第7章「総括および結論」では、本研究を通して得られた結果を総括し、今後の展望について述べた。

## 3. 本研究における主要な結果と結論

(1) 下水汚泥嫌気性消化の高効率化を目指したセルロースの可溶化・酸発酵について詳細に調べた結果、セルロースの可溶化は炭酸水素イオン(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)の介在で効果的に促進され、その際の至適 pH は6~6.5の狭い領域にあった。さらに特筆する現象として、セルロースの可溶化に伴って多量のアンモニア性窒素(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>N)を消費した。この結果は、豊富な栄養塩を含む下水汚泥とセルロース主体のバイオマスとの混合嫌気性消化の有効性と可能性の高さを示唆するものであった。

(2) セルロース主体の木質はそのままの状態では微生物分解は困難である。このために、木質に蒸煮爆砕を施し、細胞質の解砕、低分子化を図ったものと下水汚泥との混合嫌気性消化槽を調べる実験を行った結果、相当に有効な方法であることが示された。図-1に示すようにガスの発生は勿

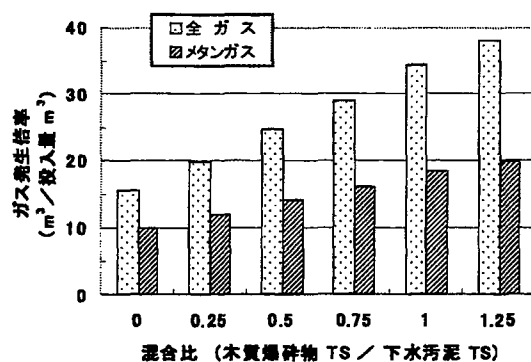


図-1 爆砕木質の混合比とガス発生の関係

論のこと、消化液中からは図-2に示すように効果的に  $\text{NH}_4\text{-N}$  が削減された。また、蒸煮爆砕木質が既設の消化槽の攪拌や脱水に大きな支障を与える可能性は少なく、どちらかという、低含水率の脱水汚泥が得られる有効な方法と言えるものであった。

(3) ディスポーザ普及による厨芥の流入は効果的にメタンガスの生産に繋げられるものであり、その場合は、消化ガスの精製、貯蔵設備の拡充を図る必要性が示された。

(4) 茸栽培工場から発生する廃菌床は地域において大きな廃棄物問題となる可能性が高い。シメジ栽培廃菌床を用いた下水汚泥との混合嫌気性消化の可能性を実験により調べた結果、廃菌床の混合はメタンガス生産に繋がるとともに、下水汚泥のみの場合の消化汚泥の脱水性を改善する可能性が示された。

(5) 堤防管理や道路法面管理から大量に発生する雑草刈草は大部分が処分されている。これをバイオマス資源として生かすべく、下水汚泥との混合嫌気性消化の可能性について、雑草干草を模試した稲科牧草の干草を用いて下水汚泥との混合嫌気性消化の実験を行った結果、干草は生の草よりも軽くて堅固なために、消化汚泥に浮くことから完全な混合ができず、既設の嫌気性消化槽による混合嫌気性消化は不可能であった。しかし、消化ガス(メタンガス)の生産性は高く、下水汚泥と同等以上と認められた。新たなリアクター形式として、リアクターに投入された干草の上部にリアクター底部で発酵過程にある消化液をポンプアップ散布する消化液の循環散布方式の嫌気性消化法が有効と示された。

(6) 我が国における下水汚泥嫌気性消化施設の消化成績として、投入固形物当たりのガス発生率を正確に求めることができた。これは今後の混合嫌気性消化法の比較設計や計画に際して高い精度を与えるものである。また、混合嫌気性消化に関する各種の実験から得られた成果を実用のための検討資料に資せるものとするために、既設の下水処理場に適用した場合の効果を処理人口で表した下水処理場規模別に解析して5つの図に示した。その一例としてメタンガス発生量の効果を図-3に示す。

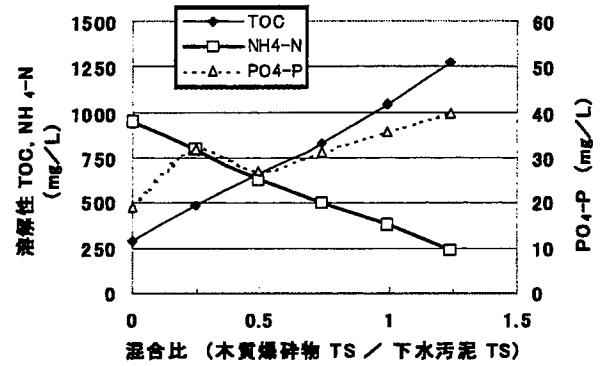


図-2 爆砕木質の混合比と溶解性物質の変化

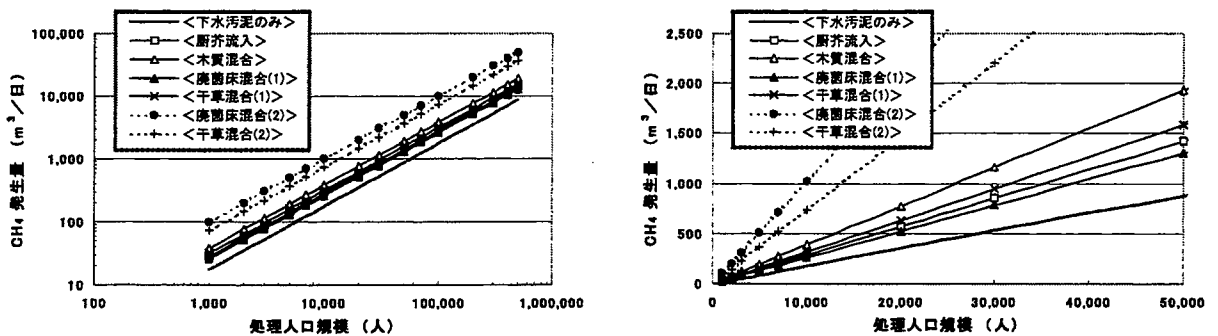


図-3 処理人口規模別に表した混合嫌気性消化の効果 (メタンガス発生量の例)

(7) 研究成果の実現性を追求するために、幾つかのシナリオを設定して、その導入過程における結果と成果の可視化を図り効果を評価した。図-4に、各シナリオにもとづくメタンガス生産量の推移を示す。下水処理場に他のバイオマスを受け入れ混合嫌気性消化することにより、下水汚泥のみの場

合と等倍量のバイオガス生産が期待でき、それによる消化汚泥の処理には下水汚泥専用設備で十分に対応できると考察された。また、その効果を保証するためには、事業実施の経費が現状の場合と同等以下となる事業形態とすることと、地域の環境改善や社会活動に寄与している現実が明瞭に示されることにあり、それは、事業化に際しての経営分析と情報公開の重要性を説くものである。

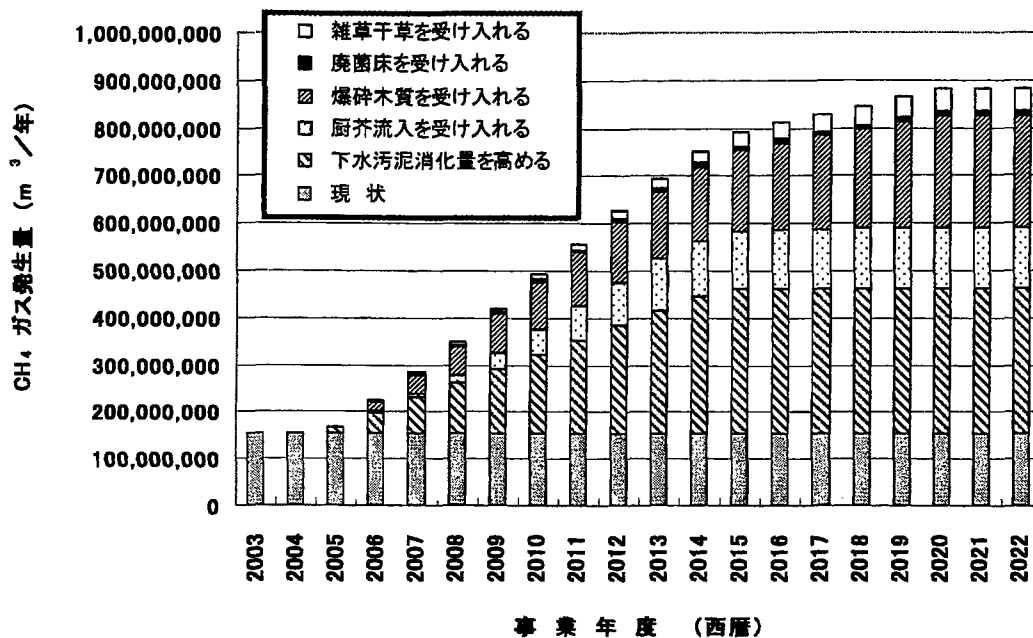


図-4 研究成果の導入シナリオにもとづくメタンガス生産量の推移

下水処理場では、バイオガス生産のために嫌気性消化槽の機能が大いに発揮されなければならない。また、消化した後の汚泥や他の発生残渣から電力や熱を得るために現在の焼却に代わる新しい高温燃焼によるエネルギー生産システムを構築しなければならない。そして、地球温暖化の抑制に大きく貢献して行くためにも、下水汚泥をはじめとするバイオマスからのエネルギーの開発と利用を相当なスピードと量をもって進める必要がある。本研究は、下水汚泥と他のバイオマスとの混合嫌気性消化の有効性を示すとともに、成果は直ちに実施に移せることを示した。実施を急がなければならない。このためには、現在の嫌気性消化法の普及、拡充の気運を抑制している大きな要因が、消化ガスの利用用途がなく、経済的利用価値が低いと捕らえられていることにあると思われることから、これを払拭する必要がある。

バイオマスの盛り上がりは遙か二、三十年前のオイルショック以来である。これからは、バイオマスを大量に大きくたく動かし、回して行くことが重要である。これに、地域、地域に整備された下水道システムが貢献すること大である。国土交通省は、「バイオソリッド利活用基本計画」策定のもと、「バイオマス利活用事業」を推進することを定めた。本研究成果は、これを支援するものである。これからも、一層の研究開発と地域社会の事業化支援に取り組む所存である。

## 論文審査結果の要旨

公共緑地の管理から大量の木質材や刈草が発生し、下水道事業の発展に伴う下水汚泥量は年々増大しており、これの削減と自給に繋がる技術開発が強く求められている。本論文は、地域に整備された下水処理場の嫌気性消化槽において、地域内から発生する草木類などのバイオマスと下水汚泥との混合消化について検討したもので、全編7章からなる。

第1章は序論であり、本研究の背景、目的について述べている。

第2章では、嫌気性消化の基礎的知見および混合嫌気性消化に関する従来の研究について文献調査を行い、研究題の整理を行っている。

第3章では、消化槽内のCO<sub>2</sub>ガス濃度を高めることによる下水汚泥からのメタンガス生産の増大を目指した嫌気性消化実験を行い、高分子の炭水化物の分解促進に関するCO<sub>2</sub>ガス濃度増大の効果が示され、下水汚泥と他のバイオマスとの混合嫌気性消化の可能性が高いことが示された。これは重要な知見である。

第4章では、木質チップに爆砕を施し、下水汚泥との混合嫌気性消化および既存施設の運転に及ぼす影響などを把握するための実験を行い、セルロース主体の木質は、蒸煮爆砕を施し、細胞質の解砕・低分子化を図り、下水汚泥と混合嫌気性消化を行うことにより、ガス発生量の増大、消化液中からは効果的にNH<sub>4</sub><sup>+</sup>が削減された。また、蒸煮爆砕木質が既設の消化槽の攪拌や脱水に影響を与える可能性は少ないとの結論を得ている。これらは有用な知見である。

第5章では、ディスプレイ普及による厨芥流入を想定したバイオガス化の効果および大量発生している廃菌床と雑草刈草を対象とした下水汚泥との混合嫌気性消化のための効果的な混合比率を見出す実験を行い、それぞれメタンガス生成量の増大を効果的にもたすことが明らかにされた。これも有用な知見である。

第6章では、我が国における既設の下水汚泥嫌気性消化施設の運転状況を調査した。それに基づき、各種バイオマスを実施設に導入する場合を想定した解析を行うとともに、実現性や波及効果について考察している。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、下水処理場の嫌気性消化槽によるメタンガス生産を高めるために、草木類や廃菌床と下水汚泥の混合嫌気性消化を効果的に行う方法を提示したもので、環境工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は、博士（工学）の学位論文として合格と認める。