

## 環境系における汚泥制御の研究

### The Study on the Reduction of Sludge/Solid Waste in the Environmental Treatment Process

主任研究員名：濱崎 竜英

分担研究員名：菅原 正孝、林 新太郎

#### 1. 研究の背景

都市生活の中で、一般にゴミと呼ばれる固形廃棄物や、下水やし尿などの汚水（液状廃棄物）が排出されており、衛生面と環境保全の点から、これらを適切に処理・処分していくことが求められている。液状廃棄物もやがて固液分離と汚濁物の分解過程の中から汚泥（固形廃棄物）が発生するため、適正な水処理技術とともに固形廃棄物の処理技術を検討していかなくてはならない。

このような水処理過程で発生する汚泥に注目すると、環境省や国土交通省の報告によれば、2004年度の日本国内における下水汚泥発生量は7,507万トン（含水率97%）で、産業廃棄物発生量中に占める割合はおよそ18%であり、最終処分量としても68万トンと膨大な量となっている。最終処分場の延命や環境負荷低減の点から汚泥を減量化していく必要がある。

一方、汚泥の処分費用は、現在のところ平均しておよそ16,000円/トンであり、全国の下水処理場維持管理費総額7,884億円/年（2003年度）の6%、およそ473億円/円におよぶ。下水処理場の維持管理費削減の点からも汚泥の減量化は必要である。

下水汚泥がこのように発生する原因としては、一つには下水処理の方法にある。日本だけでなく世界的にも除去対象を有機物と浮遊物質とする場合は活性汚泥法が主流となっている。活性汚泥法は、浮遊する微生物群によって水中の有機物を分解する方法で、有機物を分解する過程で増殖する微生物群を後段で沈殿分離する方法と組み合わせる方法が、現在の日本の一般的な下水処理システムになっている。そのため、汚泥生成は不可避である。さらに、日本では現在、70%弱の下水道普及率であり、政令指定都市などの大都市圏では、100%に近い普及率となっており、この普及率は年々上昇している。河川などの環境基準達成率の向上と引き換えに汚泥生成という負の遺産が生まれているのが現状である。

現在では、汚泥発生量のうち、汚泥の濃縮・脱水などの中間処理、コンポストやセメント原料化によって減量を達成しているが、上述のとおり、最終処分場の延命、環境負荷低減及び処理場の維持管理費削減のためにはさらなる減量化が求められる。

減量化する方法としては、ベルトプレスやフィルタープレスを使った脱水技術や嫌気性処理法を使った方法などがあり、実際に運用されている。本研究のポイントは、処理系内で減量化システムを導入するもしくは従来の処理法を改良して減量化を図ることである。減量化システムとしては、生物学的方法と物理・化学的方法に大きく分類することができる。生物学的方法としては、特定細菌を利用する方法、物理・化学的方法としては、熱利用、超音波利用、ミル（粉碎機）利用などがある。これらの方法は、現在、研究段階であり本格的な実用には至っていない。

#### 2. 研究目的

本研究の主たる目的は、汚水や廃棄物処理工程から発生もしくは残渣として余剰となる汚

泥、すなわち固形廃棄物を可能な限り減量化し、環境への負荷を低減させるシステムを検討することである。

### 3. 研究計画・方法

本研究は平成15年度（2003年度）から平成19年度（2007年度）までの5カ年間に渡る期間で実施した。実施した研究内容は以下のとおりである。

#### 平成15年度（2003年度）

- (1) 既存下水処理システムの概要調査および活性汚泥法微生物の把握
- (2) 流入下水及び処理水の量・質の把握および汚泥減量化技術の情報収集
- (3) 汚泥性状の把握および実験室スケール活性汚泥装置の準備
- (4) 物理化学的処理技術による発生汚泥の濃縮及び減量化の研究
- (5) 生ゴミのオンサイトにおける減量化の研究
- (6) 高効率メタン発酵技術による有機廃棄物処理の基礎的研究
- (7) 標準活性汚泥法の操作条件による汚泥の質・量の影響に関する研究

#### 平成16年度（2004年度）

- (1) 高効率メタン発酵技術による有機廃棄物処理の基礎的研究
- (2) 標準活性汚泥法の操作条件による汚泥の質・量の影響に関する研究
- (3) 物理化学的処理技術による発生汚泥の濃縮及び減量化の研究

#### 平成17年度（2005年度）

- (1) 微生物活性助剤等を用いたメタン発酵技術の研究
- (2) スギチップを用いた活性汚泥法の研究
- (3) 物理学的処理技術による発生汚泥の減量化の研究
- (4) コンポスト技術による生ゴミ減量の効率化に関する研究

#### 平成18年度（2006年度）

- (1) 汚泥減量化装置による余剰汚泥の減量化実証実験
- (2) 微生物活性助剤を用いた余剰汚泥の減量化実証実験
- (3) スギチップを用いた生物接触酸化法の実証実験

#### 平成19年度（2007年度）

- (1) 微生物活性助剤を用いた余剰汚泥の減量化実証実験
- (2) 生物接触酸化法による下水処理実験
- (3) 生物接触酸化法で除去されないリンの回収

なお、上記の研究内容について、主に以下の3.1から3.4に示す研究項目に分類され、それぞれの研究方法について示す。

#### 3.1 好気性生物処理に関する研究

活性汚泥法は、下水処理方法として最も一般的な処理技術であるが、構造上余剰汚泥が発生し、その汚泥の処理及び処分を行う必要がある。汚泥の処理・処分費は小さくないことから、余剰汚泥量を削減することは下水処理にかかる費用の低減につながる。そこで、活性汚泥法の曝気槽内に汚泥低減材料としてスギチップを用いた実験を実施した。このスギチップは企業によって開発された商品で、生ゴミのコンポスト化、浄化槽の効率化及び消臭などに用いられている。

また、平成18年度からは、スギチップではなく、ひも状の接触担体（バイオフィリンジ）を用いる実験を実施した。ひも状接触担体は、太さ1.5mm前後の化学繊維で、幹に相当する部

分に長さ50mm程度の枝が取り付けられている構造である。実験当初の対象水は、活性汚泥法内曝気槽の混合液、後に流入下水とした。これは、汚泥を利用する活性汚泥法を用いた下水処理法の中で汚泥減量化を目指すのではなく、生物接触酸化法として検討したためである。

### 3.2 物理学的処理に関する研究

汚泥の物理学的処理技術の一つに粉碎機（ミル）を利用した方法がある。余剰汚泥は、微生物が大半であり、微生物は細胞膜によって外部からの様々な攻撃に対して防衛している。そのため、微生物が微生物を栄養源として取り入れようとする場合、細胞膜を破壊し、分解するためにはエネルギーと時間を要することになる。そこで、余剰汚泥、すなわち微生物をミルによって粉碎し、微生物の栄養源になりやすい状態とし、返送汚泥、下水とともに反応槽に再送するという方法である。ミルを利用する方法では、粉碎するためのエネルギー源が増加するが、生物学的に分解しにくい有機物も粉碎することができる。本研究では、汚泥減量化装置として御池鐵工所株式会社が販売する商品名セルシャーを用いて汚泥の可溶化、微細化と減量の可能性について実験を行った。なお、供した汚泥は、神奈川県足柄上衛生センターの余剰汚泥である。本研究では、セルシャー機能付実験装置とセルシャー機能無しの装置で比較実験を行った。セルシャーとはポンプで汚泥を流し、途中で回転を加えることにより汚泥を微細化する構造を持った装置で、比較対照の装置はセルシャーの構造を持たず汚泥滞留時間が同等の装置で実験を行った。

### 3.3 生ゴミの減量化に関する研究

資源化（堆肥化やメタン発酵など）の技術と裨益効果が確認でき、広く認知されるまでの遷移期間において、あえて資源化することではなく、至急の課題となっている生ゴミ問題を解決する方法として、生ゴミの減量化（減容化）技術に着目し、現在、実験を実施した。実験は、模擬生ゴミの減量化回分実験、家庭用生ゴミ処理機による模擬生ゴミの減量化実験、発現場における実生ゴミの減量化実験の3種であった。

### 3.4 嫌気性生物処理に関する研究

超高温嫌気性可溶化菌を用い、分解効率を上げるための基礎データを取得することを目的とする実験を実施した。一般にメタン発酵法では、37℃程度で行う中温消化法と55℃程度で行う高温消化法が一般的であるが、本研究で取り上げる超高温嫌気性可溶化菌は、80℃程度で高効率に有機物の分解、すなわち固形物から有機酸への転換することができる菌である。メタン発酵法の工程のうち、可溶化をこの超高温嫌気性可溶化菌で行い、別槽でメタン生成菌によるメタン化とする分離方式を採用し、従来法と比較しながら、高効率のための最適条件を見出すこととした。

また、生物処理が促進されると言われている微生物活性助剤に着目し、生物処理法の効率化と余剰汚泥の減量化について検討した。微生物活性助剤として以前より生物処理法の効率を上げる助剤として注目されているサポニンを対象とした。

## 4. 研究結果・考察

### 4.1 好気性生物処理に関する研究

#### (1) スギチップ

スギ材を粉碎した木屑を特殊処理し、通常の木屑よりも多孔質化したチップ（木質細片）である。比表面積は、30m<sup>2</sup>/gで、主成分はセルロース体である。このスギチップを用いて、フィッシュミール工場排水の処理実験をおこなった。実験を実施したフィッシュミール工場は、

魚を食肉加工する際に出る残骸等をリサイクル処理している工場である。リサイクルの一つで養鶏の餌が挙げられる。しかし、それらの残骸は悪臭を放ち、排水も課題となっている。図-1は実験の概要である。

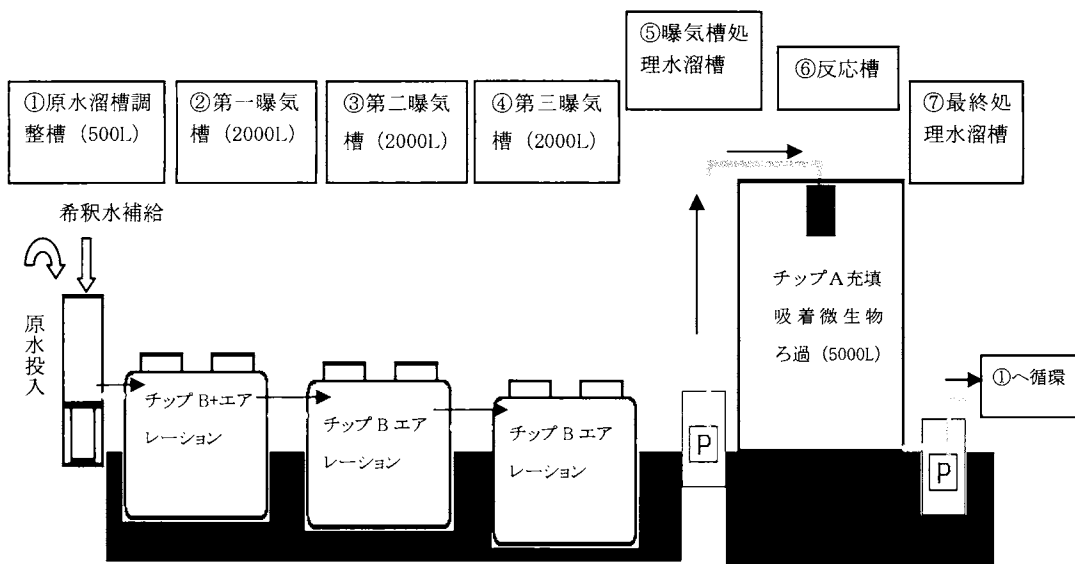


図-1 フィッシュミール工場の浄化槽断面図

表-1 実験結果(一部)

	原水	第一曝気槽	第二曝気槽	第三曝気槽	反応槽出口
温度 (°C)	-	15.9	15.9	16.3	16.6
pH	-	6.45	6.83	7.38	6.03
EC(mS/m)	-	34.2	33.6	35.3	36.7
SS(mg/L)	44000	6400	4200	3000	800
COD(mg/L)	2200	780	730	640	550
BOD(mg/L)	5600	550	520	230	47
リン(mg/L)	52	12	12	13	14

表-1に示すとおり、高濃度有機性排水の場合、スギチップによる処理は有効であることがわかった。また、活性汚泥法ではない生物接触酸化法の変法であることから、汚泥発生量も少ない。ただし、長期的な実験を実施していないことから、実際の汚泥発生量やスギチップの耐用年数などを把握できなかった。

## (2) バイオフィリンジ

バイオフィリンジは、化学繊維製で、図-2の写真のように放射状に編みこんだものである。また、バイオフィリンジの対照系として、クラレ製のクラゲールを用いた。この素材はPVA(ポリビニルアルコール)で、直径約4mm、比重約1.025、菌付着後はクラゲール1粒あたり、約10億個の菌を固定することができる。本実験では流入下水を処理対象とした。

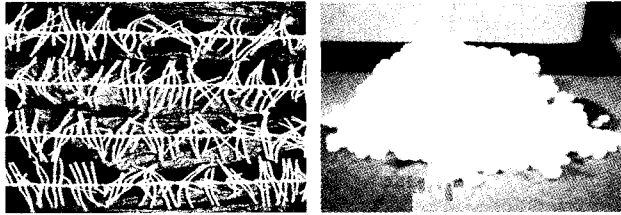


図-2 バイオフィリンジとクラゲール

実験は図-3のとおり、水槽にバイオフィリンジ、クラゲール及び担体なしで実施した。



図-3 実験装置

バイオフィリンジ、クラゲール、担体なしをCODとSSの除去率で見ると、バイオフィリンジは、24時間ごとにCODが77%→86%→85%でSSが95%→96%→98%、クラゲールは、CODが48%→67%→72%でSSが59%→76%→86%、担体なしは、CODが62%→82%→82%でSSが83%→93%→95%となった。結果から、おおよそ48時間以内に一定の除去が確認できた。バイオフィリンジ、クラゲール、接触担体なしと比較すれば、バイオフィリンジが最も効果が高く、次いで担体なしでクラゲールが最も効果が低かった。

今回の実験からバイオフィリンジを用いた下水処理は有効な処理の一つであると判断できた。SSは、21日間で流入した量は、約29500mgであったが、終了後、系内に残った分と流出した分を差し引くと、約23400mgが消化したことになり、約80%の流入SSを消化することに成功した。つまり、汚泥が発生するのではなく、逆に減少したことになる。また、排水基準のpH、BOD、COD、SSそれぞれについても許容範囲内であった。

#### 4.2 物理学的処理に関する研究

株式会社御池鉄工所が開発した汚泥粉碎装置（セルシャー）の性能を検討するため、図-4のような粉碎装置と同様の構造の室内実験用装置を作成し、また対照系として構造のほとんどが同様であるが、汚泥流速に変化を持たせない装置も作成し、可溶化の違いについて実験した。

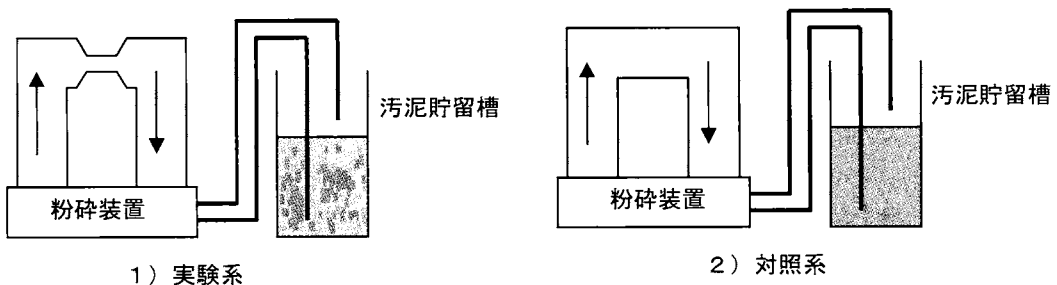


図-4 汚泥粉碎実験装置

実験条件を表-2のように実験系、対照系で同一とし、汚泥に与えられる流速と可溶化との関係について調べた。実験条件は次表のとおりである。

表-2 セルシャー性能実験の条件

実験No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
セルシャー	有り	有り	有り	有り	有り	有り	無し	無し	無し	無し	無し	無し
パス数	150	150	150	300	300	300	150	150	150	300	300	300
水量	高	中	低	高	中	低	高	中	低	高	中	低

\*パス数：150パス及び300パスとは、実験装置内の汚泥循環回数を示す。

\*水量：実験装置満水状態を「高」、それより0.8L少ない状態を「中」、さらに0.8L少ない状態を「低」とする。「中」の状態では、セルシャー機能有りの実験装置の場合、水流が大きく変化する。

粒度分布以外の測定結果を表-3に示す。

表-3 実験結果(粒度分布以外)

水質項目	単位	原水	高水位				中水位				低水位			
			セルシャー機能有		セルシャー機能無		セルシャー機能有		セルシャー機能無		セルシャー機能有		セルシャー機能無	
			150パス	300パス	150パス	300パス	150パス	300パス	150パス	300パス	150パス	300パス	150パス	300パス
水温	°C	25.6	28.0	31.0	28.2	31.8	28.4	30.5	29.7	32.4	28.1	31.2	27.7	33.2
pH		6.51	6.74	6.71	6.73	6.73	6.68	6.68	6.69	6.74	6.65	6.65	6.68	6.71
DO	mg/L	3.13	4.18	2.69	1.80	1.80	4.07	3.34	1.25	1.06	3.51	3.69	1.30	1.12
TS	mg/L	5500												
SS	mg/L	4100	3500	3900	4000	3700	4400	4600	4500	4800	4700	4300	4700	4400
SV30	mL/L	910	860	910	860	840	900	880	920	910	900	780	870	800
SVI	mL/g	220	250	230	210	220	210	190	200	190	190	180	190	180
T-COD	mg/L	370	330	360	340	340	390	360	380	380	390	360	380	400
D-COD	mg/L	170	-	170	120	-	180	140	170	140	170	180	150	190
D/T	%	46	-	47	35	-	46	39	45	37	44	50	39	48

\*D/T:D-COD/T-CODの百分率

水温、pH、SS、SV30、SVI、T-COD及びD-CODについては、顕著な差は見られなかった。DO（溶存酸素）については、セルシャー機能有りの実験装置が明らかに高くなっており、同一の動力でも酸素を溶け込ませる能力をセルシャーが保有していることがわかった。SVIの結果から、200mL/g前後以上と汚泥性状が悪くなっていることがわかる。

粒度分布の結果について、図-5に示す。

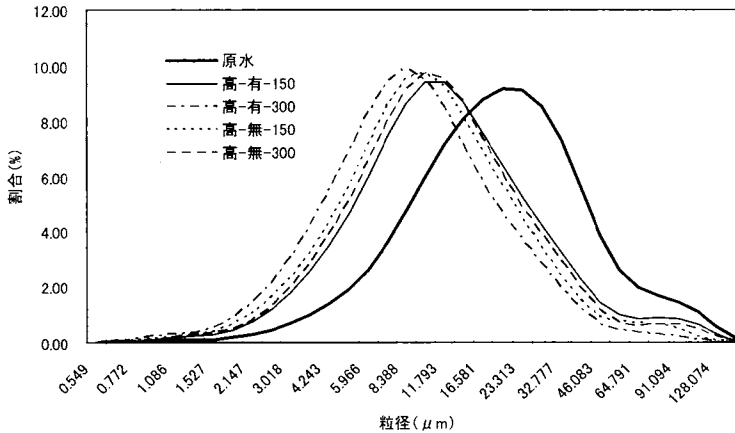


図-5 セルシャー機能別、パス数別の粒度分布

図-5に示すとおり、原水の粒度分布とそれ以外では、明らかに変化していることがわかる。これは、セルシャー機能有り及び無しの場合のどちらでもポンプによる汚泥の粉砕が行われているためである。原水以外を比較するとセルシャー機能有りで300パスの場合が最も粉砕されていることがわかる。この結果から、セルシャーによる汚泥粉砕、すなわち汚泥の微細化が行われていることがわかる。ただし、セルシャー機能有りで150パスであると最も微細化されていない。これら粒度分布の結果が示すように、汚泥の粒径は、およそ $0.5\mu\text{m}$ から $150\mu\text{m}$ の範囲で分布しており、ポンプとセルシャーによる微細化は行われるものの、可溶化という範囲にまでにはほとんど至っていないことがわかった。しかしながら、実際にセルシャーによる汚泥減量が実現している施設があることから、セルシャーには他にも何らかの作用が汚泥（生物を含む）や水に与えているものと思われる。

#### 4.3 生ゴミの減量化に関する研究

食品廃棄物処理問題は、生ゴミの高速堆肥化施設により年間5万トンの堆肥を作り出している。また、事業者独自の努力により、年間数万トンほど堆肥としてリサイクルされている。しかし、大量生産、消費といった消費社会により、廃棄物が増加している。その結果、リサイクル率よりも消費が上回り、食品廃棄物のリサイクル率は0.3%と低く、産業廃棄物が50%に比べて高くないのが現状である。今研究では食品廃棄物の生ゴミ処理問題に注目した。今まで廃棄されてきた生ゴミをオンサイト（現場）で処理し、生ゴミを減量することを目指した。実験では、いくつかの生ゴミ減量促進剤を使用した。実験結果では、夏季から秋季にかけては、目立った生ゴミ減量促進剤は効果が無かったが秋季から冬季にかけては効果があった。屋外実験装置では降雨により実験装置内に水や土が進入し、冬季と重なり生ゴミが溜まり減量に影響を与えた。さらに、構造上の問題として、地中の虫またはハエが装置内に侵入しハエの幼虫が大量発生し、装置外に出るなどの問題が発生した。家庭用生ゴミ処理機の比較検討も行った。家庭から排出されるゴミの中で生ゴミの占める割合は約40%と大きく、現在廃棄物の処分費用が増加し自治体の財政を圧迫し、そのため家庭ゴミの有料化を導入する自治体が増えている。そこで家庭からの排出割合が大きい生ゴミを減量・減容する家庭用生ゴミ処理機に注目した。今実験では、一般家庭向けに販売されている家庭用生ゴミ処理機を用いた。現在普及率は約3%と低く、その理由のひとつとして処理機の性能に対する不満が挙げられる。今回は特にバイオ式の家​​庭用生ゴミ処理機について、表-4のような異なる4機種

を用い、実際に使用することでその性能を比較した。

表－４ 実験に供した家庭用生ゴミ処理機の仕様

メーカー	A社	B社	C社 (1)	C社 (2)
許容処理量(g)	700	2200	1000	1500
本体寸法(cm)	W29×L36×H59	W44.6×L36×H62.1	W35×L45×H54	W35×L44×H53.5
消費電力(W)	320	280	330	290
設置場所	屋内外	屋外	屋外	屋外
定価(円)	オープン価格	89,250	67,625	オープン価格

実験ではまず週3回、組成を一定にした模擬生ゴミを処理機の許容処理量の50%にあたる量を投入した。処理機に生ゴミを投入することで起こる変化を週3回経日変化として記録し、その時に処理機内部の温度・体積・臭気も同時に計測した。また、処理機内部の水分量と有機物量を計測するためにTS・VTSの計測を週1回行った。コスト計算は、水道料金と電気料金の2つに分けられる。水道料金は水を使う処理機（A社とC社）のみに加算した。投入した水の総量から大東市の水道料金の算出方法を基に計算した。処理機を動かすための電気料金の計算は、関西電力の電気料金の計算方法を基にした。これらランニングコストにイニシャルコストを足し、3年間処理機を使用した場合、生ゴミ1kgの処理あたりのコストを計算した。103日間の実験期間中に使用した水の総量はA社が6.4L、B社が18.0Lであった。これを大東市の水道料金の算出方法を基にすると、A社は約0.9円、B社は約2.6円となった。また、電気料金は1カ月あたりの電気料金を算出した結果、A社299円、B社473円、C社(1)473円、C社(2)423円になった。これを基にして生ゴミ処理機を3年間使用した場合に生ゴミ1kgの処理にかかる費用を計算した結果、表－5のようになった。また、処理機を購入した場合、自治体からの助成金を支給される場合が多い。今回は大東市の助成金制度を受けたと考え、どの程度の負担減となるかも計算した。模擬生ゴミを投入したことで処理機内部の体積に大きな変化があった。

表－５ 3年間のコスト(単位:円/kg・3年)

メーカー	助成金無	助成金有
A社	526.22	393.95
B社	224.95	182.63
C社 (1)	394.46	299.86
C社 (2)	256.09	194.37

C社の2機種は計測開始後から分解しきれなかった模擬生ゴミの残渣が目立つようになり、臭気も高かった。B社は順調に分解をしており、最終的には計測開始後よりも体積が減っていた。A社は実験開始から1ヶ月後に、基材が団子状に固まるなど、多くのトラブルがあり、正確な計測が不可能になった。また模擬生ゴミの投入も中止せざるを得ない状態になった。以上の実験結果から処理機の総合評価では、B社製が好成績となった。

#### 4.4 嫌気性生物処理に関する研究 (1) 超高温嫌気性可溶性菌



固形廃棄物の内、有機物が主要な組成となっている生ゴミの有効利用については、様々な研究や開発が行われている。中でもメタン発酵法によるエネルギー回収技術が注目されている技術の一つである。メタン発酵技術は、嫌気性微生物を用いて固形有機物を有機酸等に分解し、メタンガスを生成するバイオガス生成技術である。この技術で生成されるメタンガスはエネルギー資源として利用が可能であり、また、生ゴミの減容化・堆肥化につながるなど資源循環率の高い技術であることから、循環型社会を推進する技術として注目されている。しかしながら、微生物でも特に嫌気性微生物は有機物の分解速度が遅く、分解率も決して高くない。このようなことから、メタン発酵法への利用が普及していない要因となっている。本研究では、超高温嫌気性可溶化菌を用い、分解効率を上げるための基礎データを取得することを目的とした。一般にメタン発酵法では、37℃程度で行う中温消化法と55℃程度で行う高温消化法が一般的であるが、本研究で取り上げる超高温嫌気性可溶化菌は、80℃程度で高効率に有機物の分解、すなわち固形物から有機酸への転換することができる菌である。メタン発酵法の工程のうち、可溶化をこの超高温嫌気性可溶化菌で行い、別槽でメタン生成菌によるメタン化とする分離方式を採用し、従来法と比較しながら、高効率のための最適条件を見出すこととした。

本実験で模擬生ゴミとしてドッグフード（ペディグリーミキサー）を粒径0.5mmに粉碎したものをを用いた。本実験で用いた装置図を図-6に示す。可溶化槽を設けた装置と可溶化槽を設けていないコントロールである。メタン発酵槽、可溶化槽、ゴミ貯留槽及び廃液貯留槽はガラス製であり、槽内の攪拌にはスターラーを用いている。ゴミ貯留槽及び廃液貯留槽の外部にジャケットを設けて不凍液を循環させ、冷却機を用いて槽内を5℃に保持して模擬生ゴミの腐敗の進行を抑制した。可溶化槽は、80℃に保温した水を循環機によって保温している。メタン発酵槽は、恒温状態を保つために温度センサーとリボンヒーターを使用している。

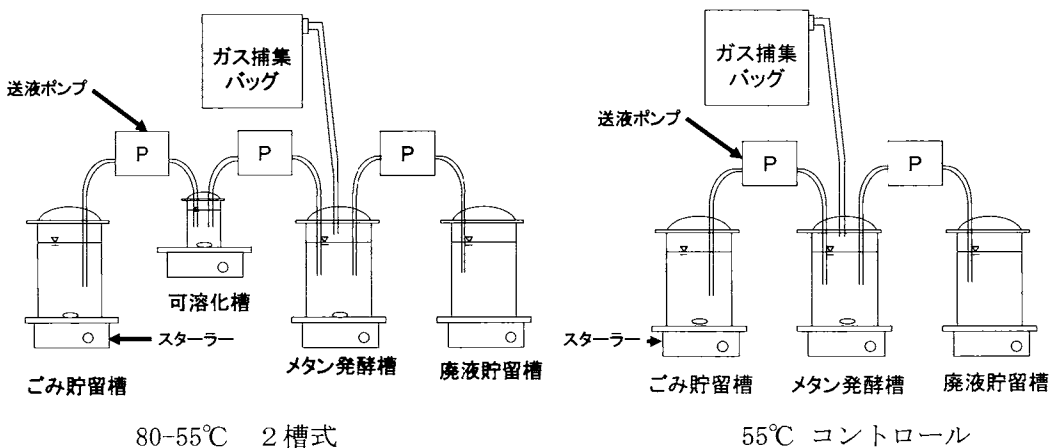
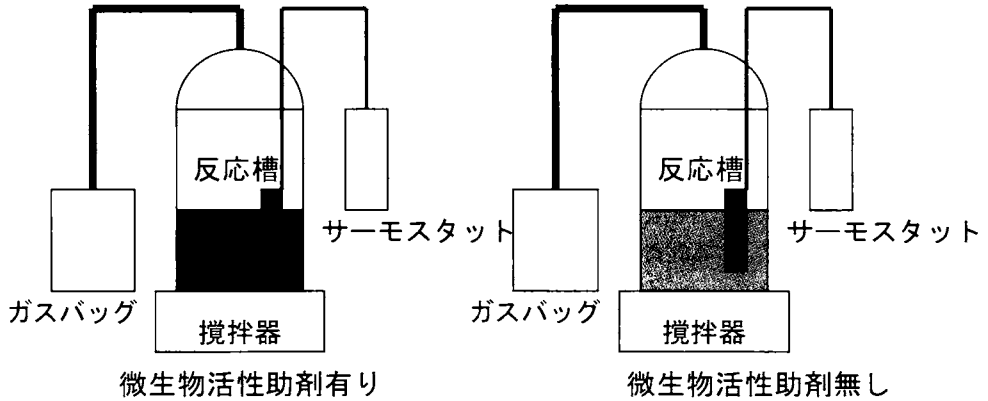


図-6 超高温嫌気性可溶化菌による嫌気性処理実験

以上のことから、二槽式、コントロールとも、装置は正常に働き、ほぼ同等の生ゴミが試験期間を通じて投入され、メタン発生量は、二槽式において27%増加した。CO<sub>2</sub>発生量は、二槽式において微増となった。メタン発生量のみが増加した理由は、二槽式の方がpHが高いためCO<sub>2</sub>溶解量が多いこと、またより分解しにくいたんぱく質、脂質が分解したためと考えられる。廃棄固形物は、二槽式において56.6%削減できた。

## (2) 微生物活性助剤

生物処理が促進されると言われている微生物活性助剤に着目し、生物処理法の効率化と余剰汚泥の減量化について研究することとする。微生物活性助剤として以前より生物処理法の効率を上げる助剤として注目されているサポニンを対象とした。



図ー7 微生物活性助剤による嫌気性処理実験

実験装置を図ー7に示す。実験手順は、密閉した反応槽に嫌気性汚泥と生汚泥を一定量投入し、サーモスタットで35℃程度加温し、攪拌器（マグネティックスターラー）で内部の汚泥を攪拌する。上部にはガスバッグを取り付けて、発生するバイオガスを捕集する。2系による実験で、実験系である装置には微生物活性助剤であるサポニンを一定量投入し、コントロール系では助剤を投入しない。いずれも回分式にて実験を行い、汚泥の性状（pH、SS、VSS、COD等）を測定するとともに、発生するバイオガス量と組成（メタン、水素、二酸化炭素）を測定するというものである。しかしながら、次のような問題点が発生し、研究期間中に微生物活性助剤を投入するに至らなかった。

1) 発酵済みの嫌気性汚泥（種汚泥）と生汚泥を常時攪拌するために、攪拌器を設置したが、攪拌子（反応槽内で回転するマグネット）の構造に問題があり、粘性の高い、種汚泥と生汚泥の混合液を攪拌するためいくつかの検討を加えた。

2) 反応槽は外部と完全に遮断している密閉構造とすべきであるが、その密閉構造を確保するために、パイプ接続部分や反応槽の蓋取り付け部などのシーリング方法を検討した。

## 5. まとめ

本共同研究では、汚泥など固形廃棄物の減量化について技術的検討をおこなった。いくつかの実験研究の中で、生物的な処理技術の再検討が優位であることがわかった。しかし、物理的処理技術については、十分な研究を実施したとは言えず、今後も検討していく必要がある。現在は下水処理法として、活性汚泥法ではなく生物接触酸化法の検討を継続し、また、研究途中のなっている微生物活性助剤を用いた嫌気性汚泥処理の研究も継続しているところである。

汚泥を減量するためには、処理法を改善するだけでなく、既存の方法の運転管理を改善するだけでも効果があることが報告されている。例えば、曝気量を減らすことにより、曝気に必要な電力節減だけでなく、余剰汚泥も同時に削減できたという例がある。

今後もコスト削減と環境負荷低減に向けた汚泥減量化の方法をシステム全体で検討していくことにする。

## 生物接触酸化法で除去されないリンの回収

濱崎 竜英 (人間環境学部)

生物接触酸化法で処理中に残存するリンの回収を検討することにしてはいたが、平成19年度ではこれら実験を実施することはできなかった。そこで、水中のリンの除去について、植生浄化の検討をおこなった。

河川や湖沼などの公共用水域では、生活排水や農業排水、または面源負荷といった原因により、高度経済成長期より改善がみられるものの、今もなお、水質汚濁の問題が現存している。水質汚濁の最善策は、汚濁水を公共用水域に流入させないように汚濁発生源対策を実施することであるが、合わせて、公共用水域の直接浄化も実施することが健全な水環境を創成することにつながる。そこで、直接浄化の方法として植物を用いた植生浄化法があるが、これに用いる植物の代表がヨシである。一方、現在、堤防などの法面で、補強する目的でハウライチク、通称ストレートバンブーと呼ばれるタケの一種が近年用いられ始めている。このストレートバンブーは、法面補強だけでなく、水質浄化としての機能も一部検討されているが、詳しい水質浄化能力はわかっていない。そこで、ストレートバンブーの水質浄化能力について実験することにした。

恒温恒湿の部屋に入れたアクリル水槽 (320×420×720) に腐葉土と黒ボク土を混合させた土を入れ、そこにストレートバンブーとヨシを5本ずつ植えた。また、両方の水槽に1日に6時から18時まで12時間、人工光を当てた。20日間の馴致後、恩智川から採取してきた河川水を両方の水槽に20リットルずつ入れ浄化作用をみた。実験は河川水を入れた後1週間に1回行った。水槽内の水量が低減後、再び恩智川から採水し、25リットルずつ投入した。



実験装置 (ストレートバンブー)

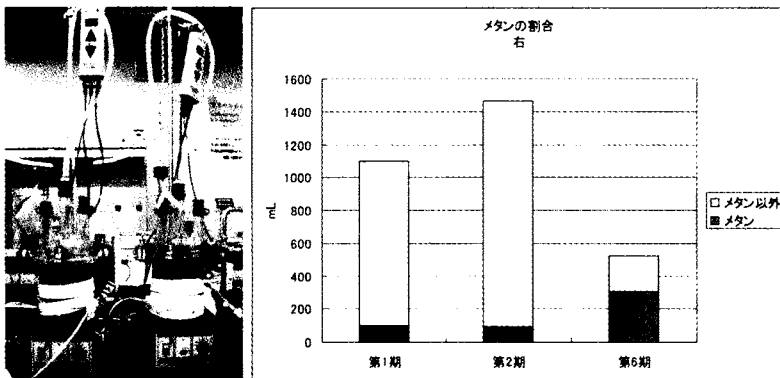
BOD値はストレートバンブーが、一度目の河川水投入では、6.4mg/Lから2.1mg/Lになり、二度目は6.0mg/Lから4.0mg/Lに低下した。一方ヨシは、一度目が6.1mg/Lから0.9mg/Lになり、二度目は6.1mg/Lから4.1mg/Lに低下した。全リンの除去率はストレートバンブーの一度目が64%で二度目が90%となり、ヨシの一度目が82%、二度目が94%であった。全窒素の除去率は、ストレートバンブーの一度目は97%、二度目が68%、ヨシの一度目は60%、二度目が76%となった。全体をつうじて、ストレートバンブーとヨシの水質浄化能力には大きな差はみられず、どちらも高い能力があることがわかった。すなわち、ヨシの水質浄化能力と同等の能力をストレートバンブーも備えていることがわかった。

実験の結果と今まで入手した情報により、水質浄化能力という点で差はないものの、ストレートバンブーはヨシよりも高額であることが課題であるが、ストレートバンブーはヨシよりも適応能力が高く、地質、気候条件などによる制限が少ないことが利点といえる。

# 微生物活性助剤を用いた余剰汚泥の減量化実証実験

菅原 正孝 (人間環境学部)

下水処理施設の汚泥である消化汚泥と消化槽投入汚泥(重力濃縮生汚泥+機械濃縮余剰汚泥)を混合し、2つの発酵槽にそれぞれ投入した。安定してメタンガスを得るために必要なメタン発酵の条件について、実験を通じて見つけだし、さらに高効率化に必要な発酵条件などを探るために実験を行った。発酵槽の汚泥は攪拌しつつヒーターで40℃に保ち、容器を密閉して窒素ガス封入後嫌気性状態を維持した。以上の方法で6期間実験を行った。各期間の日数は汚泥の劣化や汚泥発酵の進行状況によって実験期間がそれぞれ異なった。



実験写真とガス発生量とメタンガスの割合

上図は、メタンとメタン以外のガス割合を示したものである。ガス発生量は、実験期間中比較的安定的に発生したものの、メタンガス発生割合が小さく、かつエネルギー回収ができない不活性ガスである二酸化炭素発生割合が大きいという結果となった。これは、酸発酵過程により有機物が高級脂肪酸やアミノ酸などを経て、低級脂肪酸、酢酸、水素などまでに分解されているが、一部、ガス生成過程でとどまった二酸化炭素が、メタン生成菌などの機能が十分に機能せず、メタンに至らなかったことが考えられる。実験期間中の槽内のpHは、第1期6.1~8.0、第2期6.7~7.8、第6期6.2~7.2の範囲であり、理想とされる6.8~7.5の範囲からは一部逸脱していることから、酸発酵過程だけが進み、槽内に有機酸が蓄積したことにより、pH値が低下して、メタン生成菌の活動を妨げたことが考えられる。また、必ずしもガス発生量とメタンガスの割合が一致しておらず、さらに実験では同時に同一条件で二槽でおこなったが、同一の結果とはならなかったことは、実験操作上の不備があったことは間違いない。また、ガス組成分析では、二酸化炭素だけでなく酸素も組成中に含まれていたことも一部あり、槽の密閉性という問題もあったことがうかがえる。

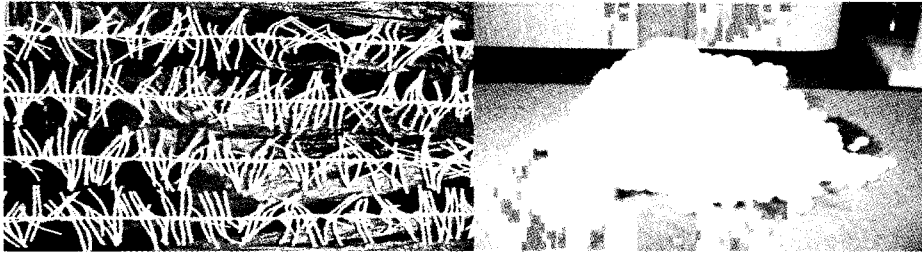
メタン発酵の高効率化に向けたガス質の向上を目的に実験を行ってきたが、結果的にメタン生成の有効な成果が得られなかったため、微生物活性助剤の実験を実施することができなかった。

すでに研究期間は終了しているが、今までの課題をレビューしながら、同一の実験を継続している。

## 生物接触酸化法による下水処理実験

林 新太郎 (工学部)

バイオフィリンジとクラゲールを用いた接触酸化法による下水処理に注目し、活性汚泥法の問題点である余剰汚泥発生削減の可能性について検討した。



バイオフィリンジ      クラゲール



実験装置

バイオフィリンジ、クラゲール及び担体なしにおけるCODとSSの除去率は、バイオフィリンジの場合、CODが77～86%、SSが95～98%の除去率となった。クラゲールの場合、CODが48～72%、SSが59～86%の除去率で、担体なしの場合、CODが62～82%、SSが83～95%の除去率となった。結果を見るに、これらの結果はおおよそ48時間以内であり、48時間の滞留時間で処理が完了することが判明した。

バイオフィリンジ、クラゲール、接触担体なしと比較すれば、バイオフィリンジが最も効果が高く、次いで担体なしでクラゲールが最も効果が低かった。しかしながら、クラゲールの担体に対しての負荷が低かったこともあり、本来の効果が現れなかったと考えられ、更にクラゲールは本来SSを取り除く機能がなく、ろ過後の汚水を使用し、汚泥の部分のBOD、CODを除去すれば、効果が向上すると考えられる。

今回の実験の結果からバイオフィリンジを用いた場合が最適であった。SS、すなわち水中の汚泥分が21日間で約29,500mg入ってきた内の約23,400mgほどに減量し、約80%の流入SSを減量することに成功した。また、BOD、COD、SS、pHなどの排水基準も許容範囲内であった。活性汚泥法に比べてバイオフィリンジを用いた生物接触酸化法では、汚泥の発生量を抑えることができることが証明され、汚泥の処理単価が17,500円/トンとすれば、2004年度の焼却処分場行きとなったものが64万トンあり、112億円かかっていた費用が約79%減れば、約88億円削減されることとなり、費用と処分の費用と手間が軽減される可能性がある。