

中華人民共和国  
汚泥等処理にかかる調査  
ファイナル・レポート

平成 22 年 9 月  
(2010 年)

独立行政法人  
国際協力機構 (JICA)

株式会社 日水コン

本レポート中、意見・提言に属する部分は、受託した日水コンの JICA に対する意見・提言であり、JICA を代表するものではない。

中華人民共和国汚泥等処理にかかる調査  
独立行政法人 国際協力機構（JICA）

ファイナル・レポート 目次

<b>1</b>	<b>調査の背景と目的</b>	
1.1	調査の背景 .....	1 - 1
1.2	調査の目的 .....	1 - 1
<b>2</b>	<b>調査の概要</b> .....	<b>2 - 1</b>
2.1	調査の基本方針.....	2 - 1
2.2	主な調査内容.....	2 - 1
2.2	調査期間と調査団の構成.....	2 - 3
<b>3</b>	<b>汚泥等再利用可能性資源の再生循環技術に関する基礎調査</b>	
3.1	わが国における汚泥等バイオマス利活用に関する政策展開 .....	3 - 1
3.2	汚泥等のバイオマス利活用技術の概要.....	3 - 13
3.3	汚泥等バイオマスの活用型地域資源循環事業事例に関するレビュー .....	3 - 20
3.4	下水汚泥資源化技術に関するレビュー .....	3 - 31
3.5	バイオマスタウン構想の具体例.....	3 - 52
<b>4</b>	<b>中国に適した汚泥等資源循環技術の評価検討</b>	
4.1	中国の都市汚泥の処理処分の実態と近年の政策動向.....	4 - 1
4.2	中国の廃棄物処理処分の現状、課題、動向.....	4 - 13
4.3	中国への提供可能性評価 .....	4 - 17
4.4	中国における汚泥及び廃棄物処理処分に関する基準.....	4 - 24
<b>5</b>	<b>中国における汚泥等の処理・処分の実態に関する現地調査</b>	
5.1	北京市における調査結果.....	5 - 4
5.2	上海市における調査結果.....	5 - 13
5.3	天津市における調査結果 .....	5 - 25
5.4	大連市における調査結果 .....	5 - 35
5.5	昆明市における調査結果 .....	5 - 48
<b>6</b>	<b>国内における亜臨界水反応実証プラント実態調査</b>	
6.1	国内における「亜臨界水反応技術」の適用施設の種類と特徴.....	6 - 1
6.2	国内実証プラント現地ヒアリング調査結果.....	6 - 3
6.3	国内実証プラントに関する文献レビュー .....	6 - 8
6.4	国内における「亜臨界水反応技術」の適用施設の評価 .....	6 - 17
<b>7</b>	<b>「亜臨界水反応」処理試験</b>	
7.1	国内実証試験.....	7 - 1

7.2	中国実証試験.....	7 - 15
7.3	汚泥等バイオマスの資源化に関する評価.....	7 - 26
<b>8</b>	<b>都市汚泥処理における「亜臨界水反応技術」システム導入の経済分析</b>	
8.1	経済分析の方法と評価手法.....	8 - 1
8.2	中国における汚泥等処理処分の種類とコストに関する文献レビュー.....	8 - 2
8.3	亜臨界水処理設備のコスト特性.....	8 - 12
8.4	有機汚泥等の亜臨界水処理システム導入の経済効果の評価検討.....	8 - 16
8.5	亜臨界水処理技術導入の経済効果まとめ.....	8 - 46
<b>9</b>	<b>中国における技術移転マニュアル作成</b>	
9.1	背景.....	9 - 1
9.2	有機汚泥資源環境の現状と課題の整理.....	9 - 4
9.3	地域有機汚泥等資源の現況解析.....	9 - 5
9.4	地域有機汚泥等バイオマス資源再生予測検討.....	9 - 7
9.5	有機汚泥等バイオマス資源再生技術の計画的選定.....	9 - 9
9.6	有機汚泥等バイオマス再生施設整備計画方針の検討.....	9 - 15
9.7	有機汚泥等資源化施策効果の評価.....	9 - 19
9.8	人材育成方法.....	9 - 21
<b>10</b>	<b>上海「日中汚泥等資源化技術ワークショップ 2010」</b>	
10.1	日中共同ワークショップ開催趣旨.....	10 - 1
10.2	開催結果のまとめ.....	10 - 2
10.3	ワークショップ議事次第.....	10 - 3
10.4	出席者.....	10 - 4
<b>11</b>	<b>結論および今後の課題と提案</b>	
11.1	結 論.....	11 - 1
11.2	今後の課題と提案.....	11 - 2

# 1 調査の背景と目的

## 1.1 調査の背景

中国は著しい経済発展の途上にあり、都市域の人口集中や農村地域の経済活動の進展に伴い、水資源不足と相まって廃棄物の急激な増大による各種の汚染問題が頻発している。水資源不足に対しては国家政策として水の循環利用を促すため、中国各地で BOT 方式等の導入による民活事業、外国政府・国際機関からの低利融資の活用を含む多数の排水処理施設が作られている。2008 年から環境政策を管轄する統合的組織として、環境保護局が格上げされ環境保護部となった。その統計によると、2007 年末に全国で稼働中の排水処理施設は約 1,200 ヶ所に上り、総設計能力は 7,200 万 m<sup>3</sup>/日以上、実際に一日当たりの排水処理量は 5,300 万 m<sup>3</sup>以上に達する。これらの排水処理施設から発生する有機汚染物質が含まれている汚泥は 2007 年で年間 1,460 万 t に達している。多くの排水処理施設には汚泥処理のための施設は付設されていない箇所が多く、また汚泥処理の設備が完備してもコスト低減を目的にその設備を稼働させないケースが沢山見られる。これらの結果、未処理汚泥による二次汚染問題が各地で生じている。

中国はこれまでの経済成長至上主義に対する反省から、調和のとれた社会の実現を目指し、2006 年に始まった第十一次五ヵ年計画において、エコシティをはじめ環境と発展を両立させる取組みを積極的に行っており、「循環型経済促進」をキーワードに政策展開をしている。またまもなく実施される第十二次五ヵ年計画（2011～2015）の科学技術計画戦略研究において、バイオ技術およびその産業化が同計画の眼目となるとの見通しが明らかとなっている。

このような背景の中、日本は多種類の高機能型の汚泥等処理技術を有していることから、これらを効果的に中国へ技術移転することが両国共通の利益として求められている。下水汚泥や可燃廃棄物は元来有機物であり、蛋白質や炭水化物等の有用な成分を含んでいるため、一種のバイオマス資源であること、加えて安定した発生源であることから「亜臨界水反応技術等」を活用したエネルギー化やマテリアル利用技術の導入によって、資源再生利用すれば汚泥等の処理処分経費が削減するのみならず、CO<sub>2</sub>削減効果や高機能有機肥料等の製品化による経済効果も期待される。

## 1.2 調査の目的

1980 年代後半以降、JICA は北京を皮切りに、中国 59 の都市に対し、円借款供与を通じて、下水処理システム導入のサポートをしてきた。これらの成果もあり中国における下水道の面的整備と汚水処理整備は急速に進められておりこの趨勢は今後更に加速される見込みである。しかしながら、その下水処理場から排出される下水汚泥の処理については、大部分を未処理のままの埋立処分に依存しているため、地下水汚染等の二次汚染問題や埋立地からの地球温暖化ガス発生の急増問題も生じており、汚泥を効果的に利用する解決方法は

見出せていない。

上記課題を解決するために、近年、中国では水膜処理技術や亜臨界水反応技術等の新技術の導入について関心が高まっている。この中でも、世界が認める日本の比較的優位な技術としての亜臨界水反応技術は、高温、高圧で得られる亜臨界水を様々な廃棄物と反応させることによって、廃棄物の再利用を容易にし、また、環境汚染物質を分解し無害化する資源再生循環型技術として、今後急速な普及が期待される。亜臨界水処理反応を用いた汚泥等処理技術では、汚泥排出量を大幅に削減するだけでなく、メタンガスの回収、重金属の固体内固化などを同時に実現することができ、処理汚泥等を緑農地に還元することが可能となる等、今後の中国の循環型経済促進において、期待にかなった新技術といえる。

以上から、今回の調査においては、亜臨界水反応を活用した汚泥等処理を行っている日本の自治体の実証データをレビューし、それらが中国の円借款事業で実施されている下水処理場の汚泥等処理に適合するかさらに調査し、中国側に対し提言等を行うものである。本調査を実施し、その結果を中国側に提言また技術移転することにより、円借款事業の事業効果発現や持続性の更なる向上に寄与するものと考えられる。

なお、中国事務所において、既に円借款事業を対象に汚泥処理技術の体系化調査を実施しており、この体系化調査の結果を踏まえつつ、本調査では日本が有する最新技術である亜臨界水処理反応を用いた汚泥処理技術の適合性について調査、提言を行うものである。

## 2 調査の概要

### 2.1 調査の基本方針

下水汚泥等の資源化に有用な我が国の先進技術と目される「亜臨界水反応技術」は、個々の処理目的毎に開発適用が進んでいるが、中国をはじめとするアジア地域にその経済効果も含めて広く技術伝播していくためには、当該技術システムの実用性、経済性、環境安全性、低炭素社会への貢献性等の総合的評価を行っておく必要がある。中でも経済性と重金属類等に対する環境安全性確保の評価は重要である。このため、調査の基本方針として、

- 中国の下水汚泥の処理処分問題のより現場レベルの実態を把握のため、中国の污水处理場や関連管理機関の現地ヒアリング調査をとおして実態把握を行うものとする。
- 重金属等の環境安全性を含めた技術評価を行うため、実用規模での亜臨界水処理設備による日中の汚泥等の実証試験を実施する。また汚泥の資源化プロセスの導入による経済性と地球温暖化対策効果の評価を行う。
- 今後日中技術協力の促進のため中国において汚泥資源化技術の共有化会議を設ける。

以上の基本方針のもとに調査を実施した。

### 2.2 主な調査内容

#### (1) 汚泥等再利用可能資源の再生循環技術に関する基礎調査

わが国における汚泥の処理処分技術は、従前において嫌気性消化により汚泥の安定化と減量化が図られてきたが、国土の土地利用事情から汚泥減容や焼却埋め立てが主流となっている。しかしながら維持管理コスト高と地球温暖化対策の必要性もあり、汚泥の資源化やバイオマスエネルギー再生は近年の重要な課題となってきた。このため日本は先行して各種技術開発を行っていることから、その中国への適用性の評価を目的として文献調査および現地ヒアリング調査を行った

現地ヒアリング調査箇所は、大都市型污水处理整備が行われている北京、上海とし、中核都市型の整備都市として天津、大連を分散型都市として昆明の5箇所とした。

#### (2) 中国に適した汚泥等資源循環技術の評価検討

中国の汚泥処理処分は陸上埋立が基本となっていたが、汚泥の加速的な発生のため埋立地容量不足の問題や地下水汚染等の二次汚染問題から、埋立汚泥の含水率の規制がはじまった。これに対処するため資源化技術の導入を目指しているものの課題は大きい。これらの中国側の評価判断情報を文献レビューし、亜臨界水処理技術をはじめとする日本技術との比較分析を行った。

### (3) 汚泥等再利用可能資源による資源循環型社会形成のための亜臨界水反応技術実証調査

下水汚泥等の有機汚泥について、今まで処理処分概念のもとに扱われてきた。今後は資源化再生の概念のもとに処理処分体系を構築していく必要がある。このため資源循環の重要性と様々な有機廃棄物を総合的に再生利用する立場と方向性を明確にするためにも、計画論等のソフト面での技術向上が必要である。このためソフト面についての技術指針を策定することとした。

### (4) 国内および中国での実証試験調査

有機質廃棄物の資源化に有効な新技術として「亜臨界水反応技術」は注目されているが、その処理効果については実際に検証することが重要であることから実証設備を用いた試験によりデータを得て、重金属類などの安全性の評価を具体的に行った。

下水汚泥の有効利用における「亜臨界水処理技術」の重要な効用は、無菌化と重金属類の固化現象による安全化である。この効果の程度を日本および中国の下水汚泥で確認することを目的として実証規模による処理試験を実施した。なお、この実証試験では中国における汚泥等再利用可能資源の評価を目的として簡易メタン発酵および飼肥料の効果成分についての調査を行った。

### (5) 亜臨界水反応技術にかかる経済分析

新技術の導入にあたってはそのコスト分析と経済効果の評価は特に中国の場合重要である。この評価を目的として、先ず中国における既往の汚泥処理技術のコスト分析に関する文献レビューを行った。次いで、下水汚泥の処理処分への「亜臨界水処理」の導入可能性についてキャッシュフロー分析による収益性の評価分析を行うとともに、地球温暖化対策効果も評価した。

### (6) 中国における資源循環型社会システムの整備技術マニュアルの作成

地域資源循環型社会整備への亜臨界水処理技術の導入効果を計画論的に明示する目的で、整備計画手法について技術マニュアルを作成した。

### (7) ワークショップの開催

中国では下水汚泥処理処分問題の解決に着手したばかりである。このため日本で培ってきた経験と新しい技術を紹介するとともに、本調査の結果も紹介し、「亜臨界水処理技術」という日本型の技術も含めた日中間の技術協力をより強固に進めるため、ワークショップを開催した。開催地は汚泥処理処分に関する中長期計画策定が進んでいる上海とした。



## 2.3 調査期間と調査団の構成

調査期間および中国現地調査、国内調査別の工程は表 2.3.1 に示したとおりである。なお調査団の構成および調査業務の主な役割分担も図に示した。

表 2.3.1 調査工程と調査団の構成

担当	氏名	所属	格付									
				2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	
現地調査	総括/資源循環計画/経済分析	加藤 善盛	日水コン	2		■	■	■		■		
	汚泥処理技術	中田 章雅	日水コン	2			■	■		■		
	資源再生利用技術	高島 健一	日水コン	2			■	■		■		
	中国における環境処理技術	松江 龍南	日水コン	3		■	■	■		■		
	廃棄物処理計画	斉藤 秀仁	日水コン	3			■	■		■		
国内作業	総括/資源循環計画/経済分析	加藤 善盛	日水コン	2		■	■	■	■	■	2	
	汚泥処理技術	中田 章雅	日水コン	2		■	■	■	■	■		
	資源再生利用技術	高島 健一	日水コン	2		■	■	■	■	■		
	中国における環境処理技術	松江 龍南	日水コン	3		■	■	■	■	■		
	廃棄物処理計画	斉藤 秀仁	日水コン	3		■	■	■	■	■		
報告書	提出時期				▲ IC/R	△ 委員会		▲ IT/R	△ 委員会	▲ DF/R	△ 委員会	▲ F/R

現地調査   
 国内作業

### 3 汚泥等再利用可能性資源の再生循環技術に関する基礎調査

本章では、中国が第十二五ヵ年計画で重点施策の一つとして掲げている資源循環型経済システム整備に資するため、日本における下水汚泥等の再生資源化政策の動向および現在わが国で開発されている技術の特徴について調査し、中国への適用性評価の基礎情報を整理した。

#### 3.1 わが国における汚泥等バイオマス利活用に関する政策展開

##### 3.1.1 バイオマス利活用に関する政策展開

近年、地球温暖化の顕在化、世界的な資源・エネルギー需給の逼迫が懸念されるようになり、循環型社会への転換、低炭素社会の構築が求められている。廃棄物を排除・処理する従来の一過性のシステムから、集収した物質等を資源・エネルギーとして活用・再生する循環型システムへと転換する技術が必要である。

わが国における未利用バイオマス等の資源循環政策の取り組みの始まりは、1997年12月に京都で開催されたCOP3(気候変動枠組条約第3回締約国会議)からである。資源小国であるわが国のエネルギー・セキュリティの必要性の高まりや、地球温暖化問題への対応の必要性から、バイオマスエネルギー等の新エネルギー技術の開発促進とその実用化普及のための融資制度を設けるなど資源再生施策がスタートした。

バイオマス利活用に関する政策の年代的流れを図 3.1.1 に示す。

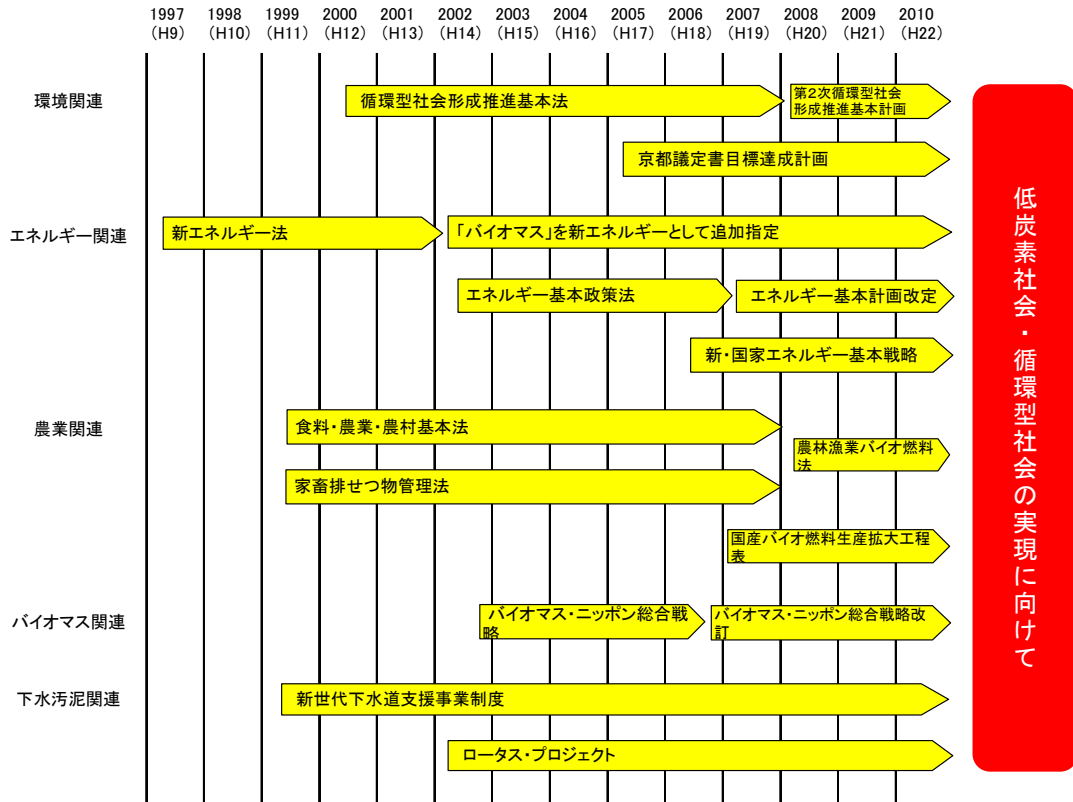


図 3.1.1 バイオマスに関する政策の流れ

2002年12月には温室効果ガスの排出削減、代替エネルギー生産、新産業分野の開発、農村地域の振興を目指す循環型社会を目指すための長期戦略として「バイオマス・ニッポン総合戦略」が閣議決定され、バイオマス利用再生政策が本格化した。2005年2月の京都議定書発効を受けて2006年3月に見直しが行われ、同年8月に「バイオマスタウン構想」の募集が始められた。このように国策として地球温暖化対策の推進、中でもカーボン・ニュートラルであるバイオマスを地域振興策の一環として積極的に利活用していくことが喫緊の課題として位置づけられている。

### 3.1.2 バイオマスの種類

バイオマスとは、元来は生態学の分野で生物量もしくは生物現存量を表す生態学用語であったが、近年、エネルギー源としての生物資源の意味をも含むようになり、「ある一定量集積した動植物資源とこれを起源とする廃棄物の総称（ただし、化石資源を除く）」とすることが多い。バイオマスの種類は、多種多様にわたっており、代表的なバイオマスには、木くず、林地残材等の木質系廃棄物、生ごみ等の食品廃棄物、家畜排泄物等の畜産廃棄物、パルプスラッジ等の有機性廃棄物、紙くず等の都市ごみ、下水汚泥等がある。

また、わが国において、平成14年1月に「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法（通称：新エネ法）施行令」の一部が改正され、バイオマスは「動植物に由来する有機物であってエネルギー源として利用することができるもの（原油、石油ガス、可燃性天然ガ

スおよび石炭ならびにこれらから製造される製品を除く)」と定義され、新エネルギーとして認知された。ただし、古紙、食品廃棄物、建築廃材、黒液のように再生資源ともバイオマスとも位置づけられるものがあり、厳密な境界線は引かれていない。

バイオマスの分類方法は、性状による分類、発生源による分類、含水率による分類等があるが、平成14年7月に策定された「バイオマス・ニッポン総合計画」では、バイオマスを①廃棄物系バイオマス、②未利用バイオマス、③資源作物に区分している。

表 3.1.1 バイオマスの種類

廃棄物系バイオマス	未利用バイオマス	資源作物
○畜産資源 (家畜排泄物等)	○林産資源 (林地残材)	○糖質資源 (さとうきび、甜菜等)
○食品資源 (食品加工残渣、生ごみ等)	○農産資源 (稲わら、籾殻、麦わら等)	○でんぷん資源 (米、いも類、とうもろこし等)
○産業資源 (パルプ廃液等)		○油脂資源 (なたね、大豆、落花生等)
○林産資源 (製材工場残材、建築廃材等)		
○下水汚泥・集落排水汚泥・し尿処理汚泥		

### 3.1.3 バイオマスの特徴

19世紀まではバイオマスである薪炭がエネルギーの主流であったものの、20世紀には石炭、石油にとって代わられたが、21世紀になってエネルギー・環境問題軽減に貢献できると見直されるようになったのは、バイオマスの有する以下の特性による。

- ① 再生可能である (renewable) : 光と水により再生される唯一の有機性資源である。ただし、再生量 (成長量・固定量) を超えて利用すれば資源枯渇の問題が生じるため、利用した分は植林などで補填するのが前提である。
- ② 貯蔵性・代替性がある (storable and substitutive) : 有機性資源であるので、原料として、あるいは生産物である液体・気体燃料として貯蔵が可能。液体・気体燃料は石油石炭を動力源とする既存のシステムに投入可能である。
- ③ 莫大な賦存量を有する (abundant) : 森林樹木の年間の成長量は膨大で、世界の一次エネルギーの7~8倍に相当するといわれる。実際の利用可能量はこのうちの10%前後と推定されるが、エネルギー供給に貢献できる量である。
- ④ カーボン・ニュートラルである (carbon neutral) : バイオマス燃焼等により放出されるCO<sub>2</sub>は、再生時に固定・吸収されるので、地球規模でのCO<sub>2</sub>バランスを崩さず、地球温暖化の原因とならないとされている。

表 3.1.2 にバイオマスエネルギーの特徴を示す。

表 3.1.2 バイオマスエネルギーの特徴

長所	再生可能で枯渇しない	石油等の化石燃料と異なり、適正な管理により半永久的な利用が可能である。
	カーボン・ニュートラル (炭素中立)	バイオマスの燃焼等により放出される CO <sub>2</sub> は、植物の生長過程で吸収された CO <sub>2</sub> であり、大気中の CO <sub>2</sub> を増加させないため、地球温暖化の原因とならない。
	化学原料、工業原料、液体燃料としても利用可能	生分解性プラスチックの原料や、エタノール、メタノール等の液体燃料として精製することで利用可能である。
	備蓄が容易	他の自然エネルギーと比べ、チップ化、ガス化、液体化等によって備蓄を行うことが比較的容易である。発電する場合、天候に左右されず、年間稼働率が高い。
	地域的に偏在しない	石油のように、特定の国や地域に偏在するのではなく、ほとんどすべての地域で生産が可能である。
	地域の振興となりうる	農山漁村地域等の資源を活用することで、地域の経済活性化につなげることが可能である。
	埋立処分量削減効果	食品リサイクル法、家畜排せつ物法、建設リサイクル法等で規制される有機性廃棄物の有効利用となる。
	大気汚染物質発生削減	石油や石炭に比べ、燃焼時に硫黄等の大気汚染物質の発生が少ない。
短所	エネルギーレベルが低い	単位容積当りのエネルギーレベルが化石燃料に比べ低く、エネルギー作物の産出費は化石燃料より高コストになる傾向にある。
	発電効率が低い	化石燃料を使った場合に比べ、発電効率が低い。
	資源の散在性	薄く広く存在しているため、収集コストが高いことや、かさばるものが多い。
	インフラが未整備	利活用拡大のためのインフラが整備されていない。
	季節変動がある	農作物残さの場合、供給に季節変動があり、供給量が安定しない。
	食料との競合	食用作物のエネルギー利用を行う場合、食料と競合する場合がある。

### 3.1.4 バイオマス利活用の現状

環境省によると、わが国の物質フロー（2007 年度実績）は、18.0 億 t の総物質投入量があり、その約 1/2 の 7.1 億 t が建物や社会インフラなどの形で蓄積されており、1.8 億 t が製品等の形で輸出され、5.1 億 t がエネルギー消費および工業プロセスで排出され、5.9 億 t の廃棄物等が発生している。

天然資源等投入量、廃棄物等発生量の内訳は図 3.1.3、図 3.1.4 に示すとおりであり、バイオマス系資源の投入量は 1.9 億 t であるが、バイオマス系廃棄物の発生量は 3.2 億 t となっており、廃棄物等発生量全体の 55% を占めている。

バイオマスの賦存量、発生量、利用可能量については様々な推計が行われているが、バイ

オマス・ニッポン総合計画によると、わが国におけるバイオマスの年間発生量は 3.2 億 t（乾燥重量では約 1.0 億 t）で、現状の利用率は 65%程度とされている（2006 年 12 月推計）。バイオマスの種類別の利活用状況は図 3.1.2 のとおりであり、発生量としても多くかつ未利用量が最も多いのは下水汚泥であることが特徴である、食品廃棄物、廃棄紙、家畜排泄物、林地残材等の多くが未利用となっている。

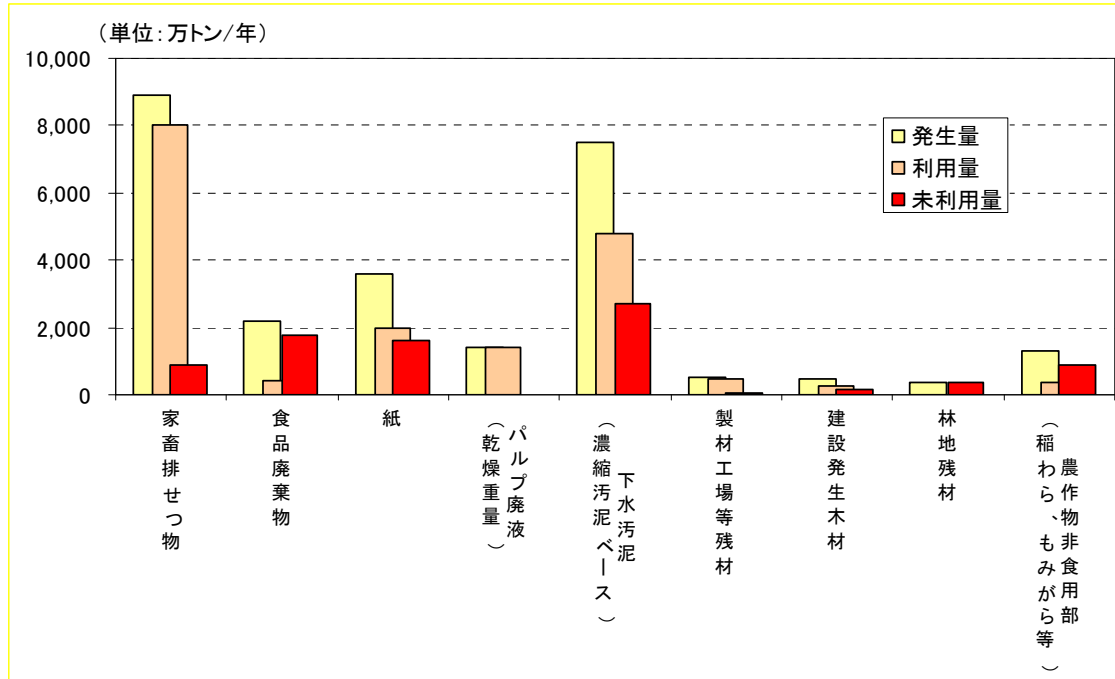


図 3.1.2 バイオマスの発生量等の現状

出典: 「バイオマス・ニッポン総合戦略」(2006 年 3 月) より

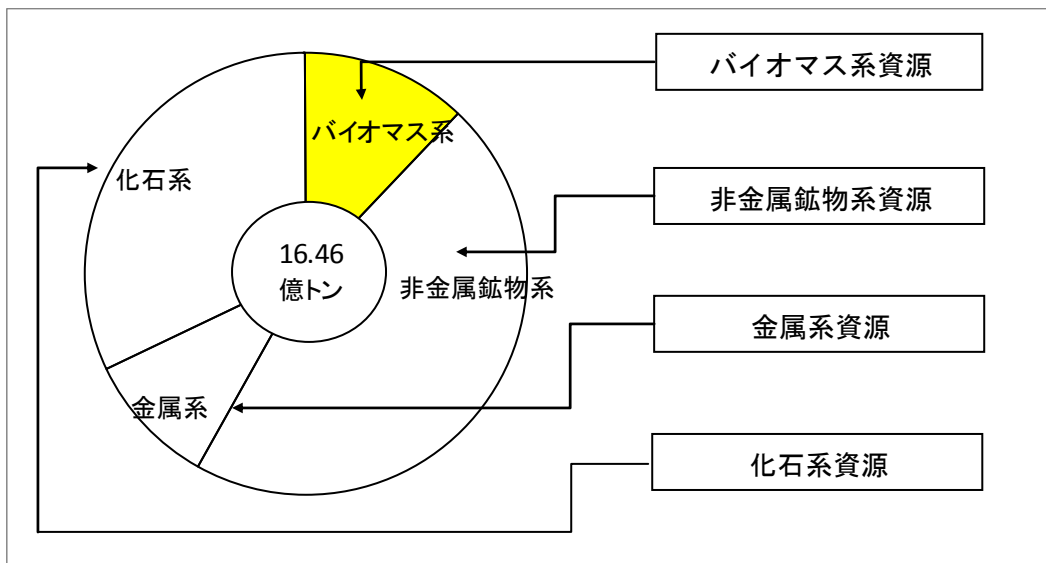


図 3.1.3 わが国の天然資源等投入量の内訳 (2005 年度実績)

出典:「環境・循環型社会白書」2008 年版

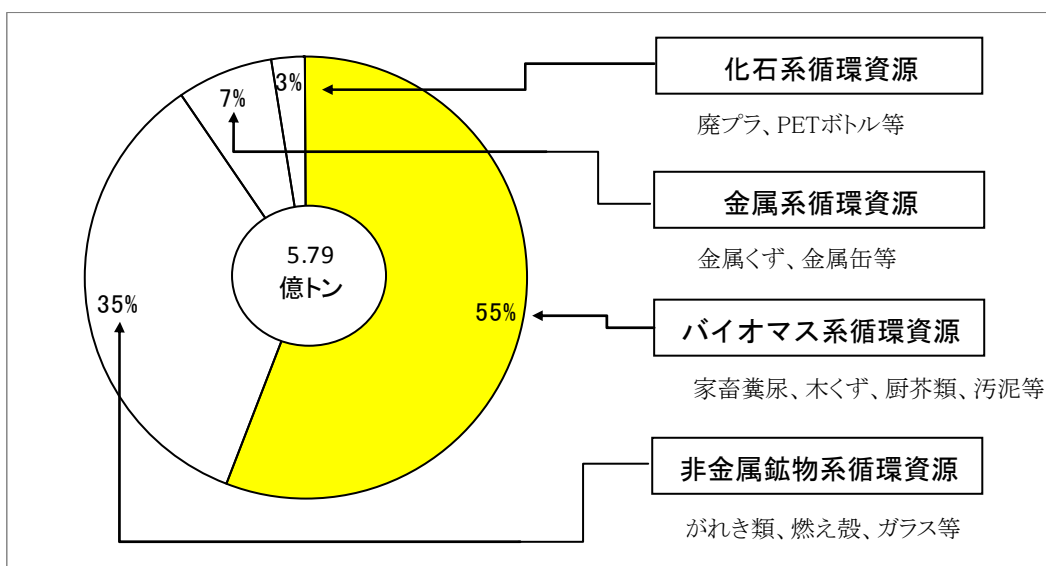


図 3.1.4 わが国の廃棄物発生量の内訳 (2005 年度実績)

出典:「環境・循環型社会白書」2008 年版

### 3.1.5 バイオマス利活用の政策の動向

#### (1) 社会経済的動向

国内におけるバイオマス利活用は、環境側面やエネルギー利用側面等から、将来性の高い分野として注目を浴びている。特に、廃棄されていたバイオマスは、環境への負荷軽減、廃棄物の減量、環境保全といった環境的な側面や廃棄処理の費用軽減といった経済的な側面から利活用への期待が高まっている。

また、最近では企業や NPO 等による取り組みも活発化しており、第一次産業のみならず、第二次、第三次産業へのバイオマス利用の広がりが見受けられ、地域経済の循環システムとして付加価値の高いバイオマス利用が進められている。さらには、バイオマスの利活用は、資源を地域内で活用するための技術開発や社会経済的な活動を必要とすることから、循環型の社会経済を牽引しつつ、地域の自立的・持続的な活性化に貢献していくことも期待されている。

## (2) 政策的動向

### ①地球規模での地球温暖化対策

1997年12月に京都で開催された気候変動枠組条約第3回締約国会議（COP3）において、長期的・継続的な排出削減の第一歩として、先進国の温室効果ガスの削減を法的拘束力を持つものとして約束する京都議定書が採択された。このような中で、カーボン・ニュートラルという特性を持つバイオマスが、従来のエネルギーを代替することで二酸化炭素の発生を抑制し、地球温暖化の防止に貢献するものと認められるようになった。

### ②循環型社会の形成

2000年に、「循環型社会」を構築するための基本的な枠組みとなる法律として「循環型社会形成推進基本法」が施行された。

そこでは廃棄物の問題をはじめとする環境問題を抜本的に見直し、「大量生産・大量消費・大量廃棄」型の経済社会から脱却し、生産から流通、消費、廃棄に至るまで物質の効率的な利用やリサイクルを進めることにより、資源の消費を抑制し、環境への負荷が少ない循環型社会へと移行していくこととされた。

### ③エネルギー関連政策

新エネルギーの導入を加速的に進展させるため、2007年4月に「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法（新エネ法）」が制定された。当時、本法には、バイオマスについて新エネルギーとして法的な位置づけがなされていなかったが、2002年1月に「新エネルギー利用等」として追加された。また、バイオマスエネルギーについては、平成14年3月に閣議決定された地球温暖化対策大綱で、2010年における発電量を33万kW、熱利用においては原油換算で67万kLとする導入目標が定められた。

さらに、2003年4月より、新エネルギー等の普及のため、電気事業者に対して、一定量以上の新エネルギー等を利用して得られる電気の利用を義務づける「電気事業者による新エネルギー等の利用等に関する特別措置法（RPS法）」が施行された。



表 3.1.3 長期エネルギー需給見通しによる新エネルギーの導入目標試算結果

(単位:原油換算万 kL)

	2005年度 (現状)	2010年度 目標	2020年度 見通し	2030年度 見通し
太陽光発電	35	118	350	1300
風力発電	44	134	200	269
廃棄物発電+バイオマス発電	252	586	393	494
バイオマス熱利用	142	308	330	423
その他※	687	754	763	716
新エネルギーの合計	1,160	1,910	2,036	3,202
水力	1,732		1,931	1,931
地熱等	570		631	679
再生可能エネルギーの合計	3,462		4,598	5,812
一次エネルギー供給に占める割合	5.9%		8.2%	11.1%

注) 2010年度目標は対策上位ケース、2020・30年度見通しは最大導入ケースを示す。

出典:「長期エネルギー需給見通し」総合資源エネルギー調査会(平成20年5月)

#### ④農林水産業関連政策

農業基本法に代わる新たな基本法として2009年に施行された「食料・農業・農村基本法」では、望ましい農業構造の確立とあわせて、農業の自然循環機能を維持増進させることにより、農業の持続的な発展を図る必要があるとしている。

また、2009年から段階的に施行されている「家畜排せつ物の管理の適正化および利用の促進に関する法律」では、家畜排泄物等を適正に管理し、農業の持続的な発展に資するため、堆肥として土づくりに積極的に活用するなど、資源としての有効利用を一層促進する必要があるとしている。

このように、農林水産業関連の政策でも、環境に配慮した形での法律の整備が進められている。

#### ⑤バイオマス・ニッポン総合戦略

日本政府は、2002年6月に閣議決定した「経済財政運営と構造改革に関する基本方針2002」に、バイオマスの利活用を推進する計画を盛り込み「化石資源使い捨てニッポン」から脱却し、持続可能な循環型社会「バイオマス・ニッポン」への転身をビジョンとして打ち出した。

これを受けて政府では、農林水産省、文部科学省、経済産業省、国土交通省、環境省等の検討を基に、平成14年12月にバイオマスの総合的な利活用に関する戦略「バイオマス・ニッポン総合戦略」を閣議決定し、わが国におけるバイオマス利活用の進展シナリオや実現に向けた基本的戦略を提示した。

その後、2006年3月には、バイオマスの利活用状況や2005年2月の京都議定書発効等の情勢変化を踏まえて見直し・改訂が行われ、バイオマス輸送用燃料の利用促進、バイオマスタウンの加速化等を図るための施策を推進している。2010年を目標とした廃棄物系や未利用バイオマスの活用率及び資源作物の利活用量は図3.1.5に示したとおりである。

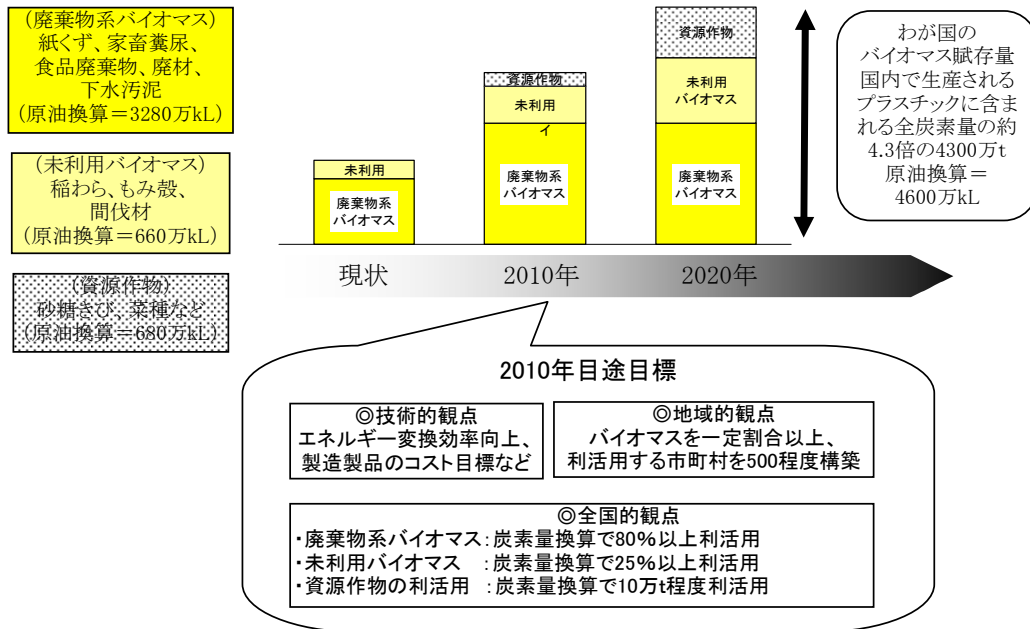


図 3.1.5 バイオマス・ニッポン総合戦略:バイオマス利活用の進展シナリオ

### ⑥下水汚泥の資源化

わが国の下水汚泥発生量は、下水道普及率の向上等に伴い年々増加しており、2007年度には225万DS-t（発生時DSベース）となり、10年前より約20%増加しており、今後も、下水道普及率の向上、高度処理の実施等により下水汚泥発生量はさらに増加するものと見込まれる。図3.1.6に下水汚泥の発生量および処理・有効利用状況の推移を示した。

下水汚泥については、これまで、埋立処分量を減量化することを最優先に緑農地利用や建設資材利用を推進してきており、下水汚泥リサイクル率は平成19年度末で71.7%に達するなど一定の進捗をみている。しかし、バイオマスの視点からみると、下水汚泥は量・質ともに安定しており、下水処理場で集中的に発生していることから利活用に適したエネルギー資源であるものの、下水汚泥中の有機分の多くはエネルギー利用されていない状況にある。今後の下水汚泥処理は、省エネルギーの対策と併せ、他のバイオマスを活用した創エネルギーの推進による下水処理場のエネルギー自立を目指すなど、下水道ポテンシャルを活用した地域における資源・エネルギー循環を目指して実施することが必要とされている。

〔下水汚泥利活用に関する主な政策展開〕

2004年3月 「バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル」の作成

2004年3月 「下水汚泥資源化・先端技術誘導プロジェクト (LOTUS Project)」の実施 (エネルギー回収技術、資源化技術の開発)

2007年3月 「資源のみちの実現に向けて (資源のみち委員会) 報告書」の公表

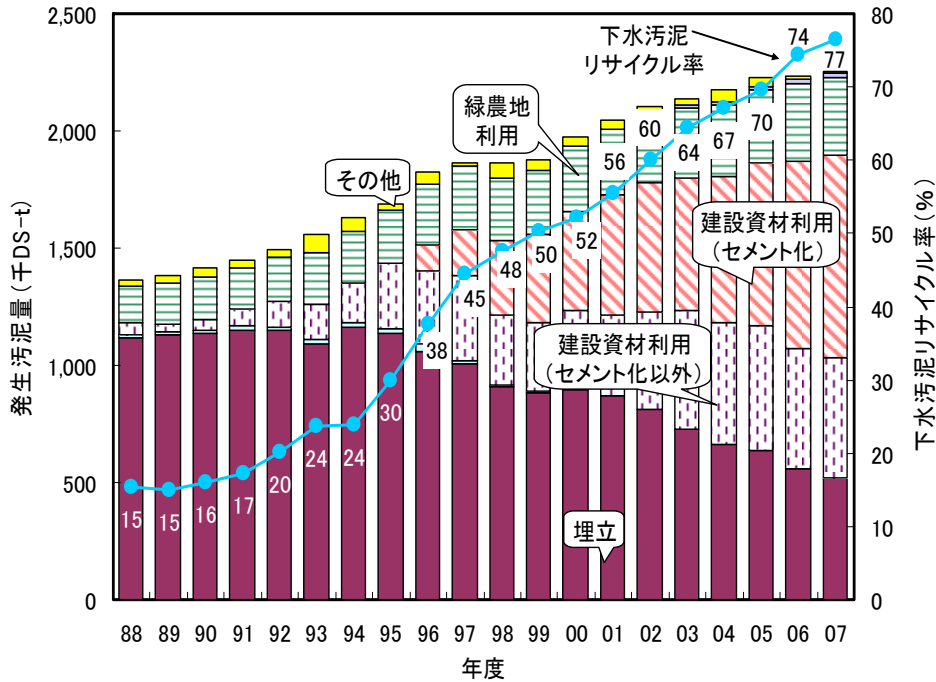


図 3.1.6 下水汚泥の発生量および処理・有効利用状況の推移

ポテンシャルの区分	賦存量	利用状況
下水汚泥	下水汚泥発生量: 223万トン/年 (乾燥ベース) 発電可能量: 36億kWh/年 → 約67万世帯の年間電力消費量に相当	エネルギー利用された割合は約1割
下水熱	下水処理量: 140億m <sup>3</sup> /年 7,800Gcal/h → 約1,500万世帯の年間冷暖房熱源に相当	下水熱を利用した地域熱供給は3箇所
リン	流入するリン: 6万トン/年 我が国の農業・食糧に関わるリン輸入量の約1割に相当	利用されたリンの割合は約1割
太陽光発電、風力発電、小水力発電	処理場数: 2,023箇所 発電可能量: 23億kWh/年 → 約43万世帯の年間電力消費量に相当	エネルギー利用された割合は約0.2%

(2005年度)

出典: 下水道統計等に基づき国土交通省下水道部が作成

図 3.1.7 下水道における資源・エネルギー利用の現状

### 3.1.6 バイオスタウン構想

「バイオスタウン」とは、域内において、広く地域関係者の連携の下、バイオマスの発生から利用までが効率的なプロセスで結ばれた総合的な利活用システムが構築され、安定的かつ適正なバイオマス利活用が行われているか、あるいは今後利活用されることが見込まれる地域のことをいう。この地域におけるバイオスタウン構想は、対象地域、実施主体、地域の現状、バイオマスの利用方法、推進体制、取組工程、目標と効果、検討状況、賦存量と利用の現状、これまでの取り組み等を市町村が取りまとめ、バイオスタウン構想案として公表の申請を行う。この申請は、関係する1府6省（内閣府、総務省、文部科学省、農林水産省[事務局]、経済産業省、国土交通省、環境省）で構成されるバイオマス・ニッポン総合戦略推進会議において基準に合致しているか検討された後、基準に合致していれば全国に公表されることとなる。バイオスタウンの認定を受けると、地域の取り組みが国の関係行政機関に理解され、「地域バイオマス利活用交付金」等による支援を優先的に受けることができる。

バイオマス・ニッポン総合戦略では、2010年度までに全国で300地区程度のバイオスタウン構想を公表するという目標に向け、より一層の取り組みを推進することとされており、2010年4月末現在で、全国で279地区のバイオスタウン構想が公表されている。

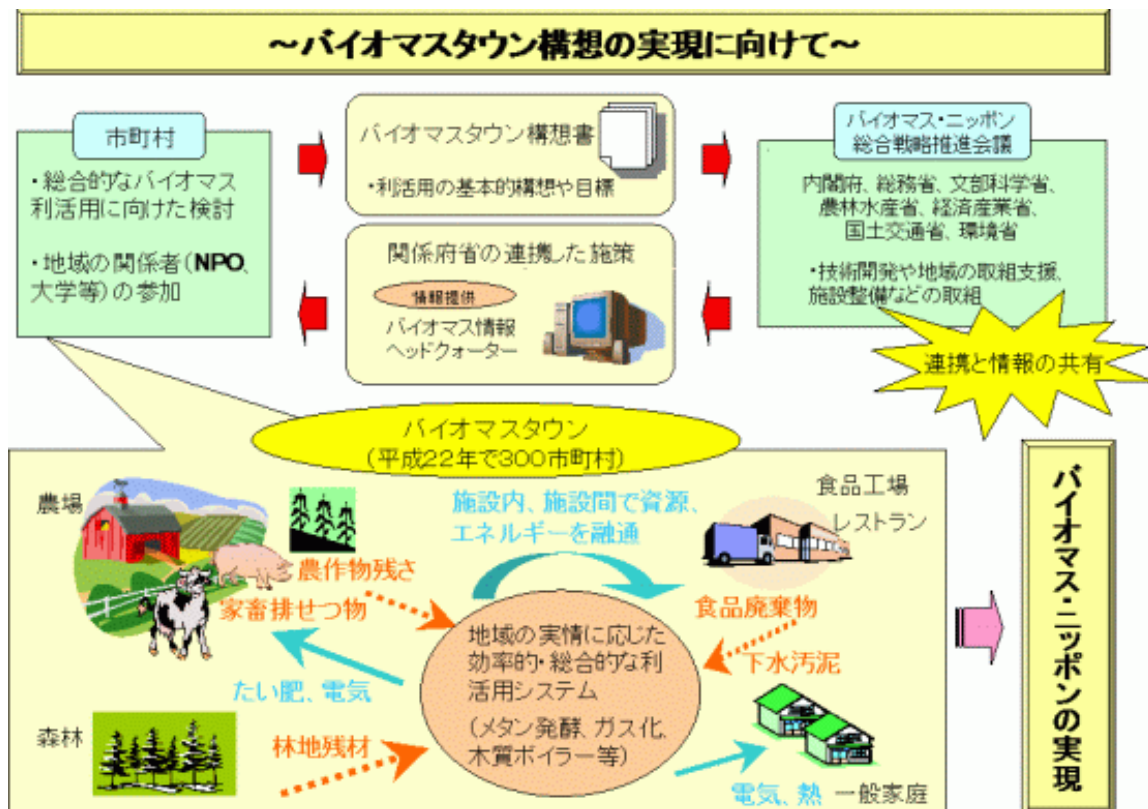


図 3.1.8 バイオスタウン構想の概要

### 3.1.7 地域新エネルギービジョン・省エネルギービジョン

地域新エネルギービジョン・省エネルギービジョンは、地方公共団体等が新エネルギー・省エネルギーの導入・普及を進めるためのビジョン策定を支援することにより、地方公共団体等の取り組みを円滑化し、新エネルギー・省エネルギーの加速的な導入・普及につなげることを目的とする。

全国 1,820 の地方公共団体のうち、本事業により既に新エネルギービジョン（新・省）を策定した地方公共団体数は 873、省エネルギービジョンを策定した地方公共団体数は 308 となっている。（平成 21 年度末見込み）

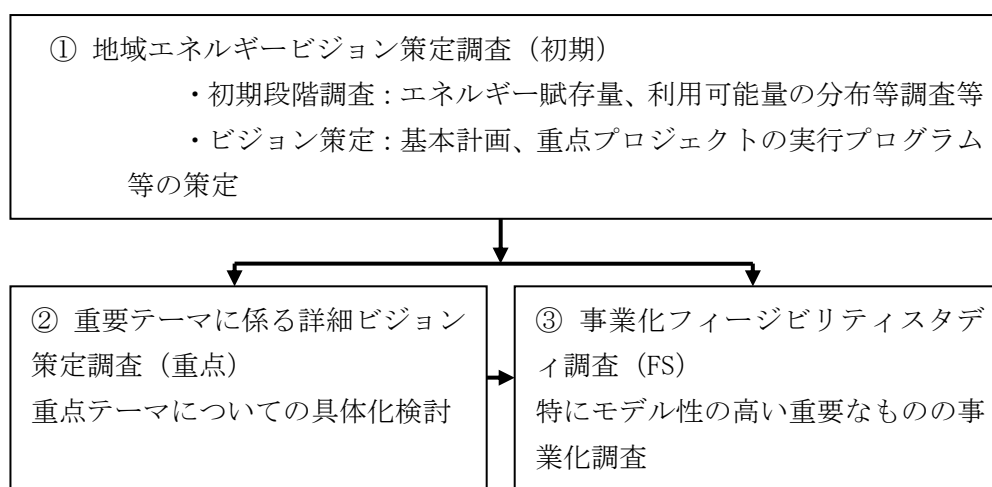


図 3.1.9 地域新エネルギービジョン・省エネルギービジョン

## 3.2 汚泥等のバイオマス利活用技術の概要

### 3.2.1 バイオマス利活用技術の分類と適用範囲

バイオマス利活用技術は、製品利用技術とエネルギー利用技術に大別される。

製品（マテリアル）利用技術は、堆肥化や肥料化、木質材料の建材利用等、素材をそのまま利用する在来の利活用技術のほか、化学処理を行うことで、構成成分を低分子に分解した後、再合成して材料を生み出す方法がある。また、加工食品の廃棄物や、出荷時に発生する野菜くずから有用成分を抽出し、機能的食品や化学製品の原料に適用されるものもある。

エネルギー利用技術は、燃焼・熱化学的変換と生物化学的変換に分類される。燃焼・熱化学的変換技術は、含水率の比較的低い（dry）バイオマスに適しており、生物化学的変換技術は、含水率の比較的高い（wet）バイオマスに適している。含水率が高いバイオマスは、水の蒸発に消費されるエネルギーが多くなるため、生物化学的変換技術を適用する方が一般的にはよいといえる。実用化されているものには、直接燃焼、熔融ガス化、炭化、固形

燃料化、メタン発酵、堆肥化、飼料化、水熱処理(亜臨界水処理)等があり、最近では、エタノール発酵やバイオディーゼル燃料化等の技術開発も進められている。各バイオマス資源化技術の質変換フローは図 3.2.1 のように示される。

表 3.2.1 にバイオマス利活用(変換)技術の種類、実用化レベル、それぞれの技術に適用可能なバイオマスについて示した。

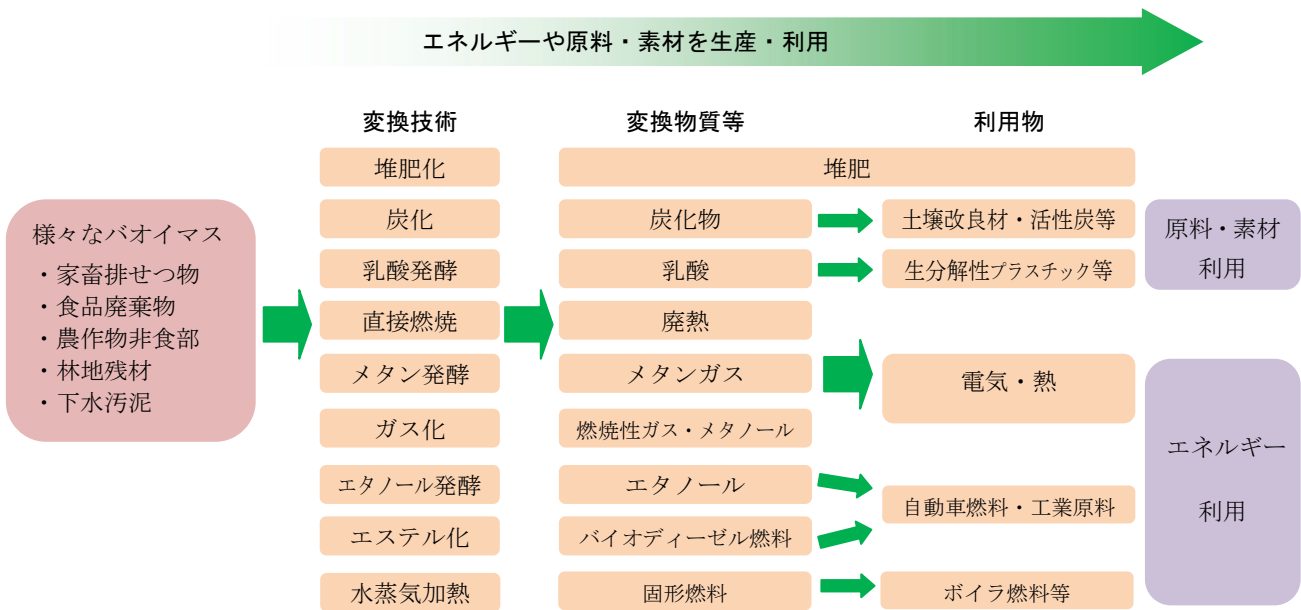


図 3.2.1 バイオマス利活用技術の体系

表 3.2.1 バイオマス種と変換技術の概要

			バイオマス種														
			木質系バイオマス		草本系バイオマス		農業残渣		家畜ふん尿		都市廃棄物				でんぷん	セルロース	植物油
分類	変換技術	Dry/Wet	Dry	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Wet	Wet				
		実用化レベル	林地残材	牧草	ネピアグラス、	アオサ、ホテイアオイ	表	とうもろこし、稲わら、籾殻、わら	牛、豚、鶏ふん尿	建築廃材	下水汚泥	し尿	工残渣	食品産業廃棄物、 厨芥ごみ、水産加工残渣	甘藷、甜菜、糖蜜、 さとうきび、とうもろこし、小麦	古紙	パーム、ひまわり、
製品利用	肥料化（堆肥、液肥）	実用化	◎	○		◎	◎	○	○	○	○	○				◎	
	飼料化	実用化		◎		◎						◎					
	木質系素材	実用化	◎						◎						○		
	生分解性プラスチック	実用化	○	○					○			○	◎	○			
	工業原料・有用物質	一部実用化	◎				○		○	○		○	○				
エネルギー利用	燃焼	直接燃焼	実用化	◎	○		○		○						○		
		混焼	実証	◎	○		○		○						○		
	熱化学的変換	熔融ガス化	実用化	○	○		○		○								
		部分酸化ガス化	実証	◎	◎		◎		◎								
		低温流動層ガス化	実証	◎	◎		◎		◎								
		急速熱分解	実証	◎	○		○		○								
		スラリー燃料化	実証	◎					○								
		超臨界メタノール抽出	実証	◎												◎	
		超臨界水ガス化	実証				◎		◎		◎	◎	◎				
		炭化	実用化	◎													
		エステル化（BDF化）	実用化														◎
		BTL（FT油、メタノール、DME）	実証	◎	◎		◎		◎		◎						
	水熱反応処理	実用化	○			○		◎		◎	◎	◎					
生物化学的変換	メタン発酵	実用化			◎		◎		◎	◎	◎						
	エタノール発酵	実用化	◎	○		○							◎	◎			
	アセトン・ブタノール発酵	実証					○			○	◎	◎	◎				
	水素発酵	基礎				◎	○		○	○	◎	◎	◎	○			

参考資料：『絵とき下水・汚泥処理の基礎』（オーム社）

◎：変換技術の対象として適切と考えられるバイオマス種

○：最適ではないが、条件によっては適切と考えられるバイオマス種

## (1) 製品（マテリアル）利活用技術の動向

堆肥化や畜産・養魚用の飼料化は既に実用化されている技術はあるが、利用者からみた品質の安定や利便性の向上が大きな課題になっており、各種の技術開発が行われている。

木質系廃材・未利用材については、量的に多いことから従来より様々な技術開発が行われてきている。木質系廃材を粉砕してから再構成する再生木質ボードや木材、プラスチック複合素材は、既に広く利用されている。さらに、リグニンと古紙との複合による木質プラスチックの製造技術が実証レベルにあり、グラファイトをはじめとする木質系素材の製造技術の開発についても精力的に取り組まれている。

また、近年、生分解性素材について、従来のプラスチックと異なり、微生物により分解されるという特性等に、強い関心が寄せられている。バイオマス由来の乳酸やでんぷんを原料としたプラスチックについては、既に一部商業生産が開始されているが、今後、廃棄、リサイクル時の環境面における影響等に十分配慮し、耐熱性や強度等の物性の改良が進めば、用途と需要の拡大が期待されている。

さらに、水産廃棄物、農作物非食用部から機能性食品や化学製品の原料を製造する技術も期待されており、例えば、機能性食品の原料となるDHA、EPA、 $\gamma$ -アミノ酪酸（GABA）、食物繊維や甲殻類から抗菌繊維の原料として利用されるキトサンおよび化粧品原料となるコラーゲンを抽出する技術が既に実用化されている。現在、様々な機能を有し医薬品や新素材の原料となりうる各種物質を製造するための技術開発が実証段階もしくは基礎段階で進められている。

## (2) エネルギー利活用技術の動向

木くず焚きボイラやペレットストーブ等による直接燃焼、炭化等は従来から広く利用されている技術である。また、バイオマスを直接燃焼するのではなく、いったんガス化してエネルギー変換効率を向上させたり、あるいは液化してから利用することにより、エネルギーとしての利便性を高める各種の技術が開発されつつあり、今後の実用化が期待される。特にバイオマスの部分的な酸化によって得られるガスを、発電や液体燃料製造に用いるガス化については、技術開発が精力的に進められている。

家畜排泄物、食品廃棄物、下水汚泥等を原料としてメタンガスを生成するメタン発酵や、食品廃棄物、廃食用油からバイオディーゼル燃料を作り出すエステル化等の技術は近年、各地において既に利用が始まっている。これらの既存技術については、エネルギー変換効率のさらなる向上、製造コスト低減に係る技術革新や残さの処理等が課題になっている。

さらに、でんぷんを原料としてエタノール発酵しバイオエタノール燃料を製造する技術が既に実用化されており、セルロース系バイオマスである木屑系廃材・未利用材を糖化してエタノール発酵する技術開発も実証段階で進められている。



表 3.2.2 に、主なバイオマス変換技術の概要をまとめた。これらの要素技術の処理フロー、事例、その他の事項については資料編に示した。

表 3.2.2 実績のある変換技術の概要

分類	名称	概要	対象原料	用途例
製品利用	堆肥化	好気性微生物を利用して、バイオマスを堆肥に変換する技術。	家畜ふん尿、食品廃棄物	特殊肥料、普通肥料
	飼料化	バイオマスを加工し、飼料を作る技術。	食品廃棄物	飼料
	木質系素材	廃木材を加工して建材等に利用する技術。	木質系バイオマス	パーティクルボード
	生分解性プラスチック	でんぷんを糖化、乳酸発酵により乳酸を生産し、化学的に重合させて得たポリ乳酸(PLA)を原料に加工した製品。	でんぷん系バイオマス	プラスチック代替製品
	工業原料・有用物質	食品等有用物質を抽出、加工する技術。	食品廃棄物	健康食品(DHA、GABA、キトサン)
エネルギー利用	直接燃焼	直接燃焼し、蒸気タービンで発電する技術。	木質系バイオマス、農業廃棄物、鶏ふん	電気、熱利用
	熔融ガス化	バイオマスを高温で熔融ガス化することにより、減量化処理とガス発電をする技術。	食品廃棄物(生ごみ)、一般廃棄物、産業廃棄物、下水汚泥、し尿汚泥	電気、熱、熔融物(スラグ、メタル)
	固形燃料化	バイオマスを木質ペレット、RDF等の固形燃料に変換する技術。	木質系バイオマス(ペレット化)、食品廃棄物(RDF化)	固形燃料
	炭化	バイオマスを乾留(空気を遮断して加熱分解)し、炭をつくる技術。	家畜ふん尿、食品廃棄物	肥料、土壌改良材、燃料
	エステル化(BDF化)	エステル化反応により、廃食用油等の食用油を軽油代替燃料(バイオディーゼル燃料)に変換する技術。	廃食用油	ディーゼルエンジンの燃料
	水熱処理	バイオマスに高圧加熱処理を行うことで、乾燥・破碎・脱臭を同時に行なう技術。	家畜ふん尿、下水汚泥、食品廃棄物	電気、熱、肥料、固形燃料
	メタン発酵	嫌気性微生物を利用して、バイオマスをメタンガスに変換する技術。	家畜ふん尿、食品廃棄物	電気、熱、肥料
	エタノール発酵	糖、でんぷん系・セルロース系バイオマスをエタノール発酵により燃料用エタノールに変換する技術。	糖、でんぷん、木質系・草本系バイオマス	バイオエタノール燃料

参考資料:『バイオマス利活用システムの設計と評価』(農林水産バイオリサイクル研究「システム化サブチーム」)

## 3.2.2 バイオマス利活用技術の普及状況と今後の見通し

主なバイオマス利活用技術の普及状況、特徴、課題、今後の技術開発の見通し等についてまとめると表 3.2.3 に示すとおりである。

表 3.2.3 バイオマス変換技術の普及状況と技術開発の展開方向

分類	名称	普及状況	主な特徴と課題	今後期待される展開例
製品利用	堆肥化	実用化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・食品廃棄物、下水汚泥等の高含水バイオマスを容易かつ低コストで資源化できる</li> <li>・原料に含まれる異物除去、臭気対策に配慮が必要で、処理時間が長く大量処理は困難</li> <li>・堆肥の安定的な需要確保が困難な場合が多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原料確保と製品販路の地域循環システムの確立</li> <li>・高機能コンポストの製造</li> </ul>
	飼料化	実用化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原料の品質等が安定し、製品販路が確保されれば低コストで資源化可能</li> <li>・製品の品質管理が求められ、腐敗、臭気対策に配慮が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原料確保と製品販路の地域循環システムの確立</li> <li>・高品質飼料化</li> </ul>
	生分解性プラスチック	実証	プラスチックの	・製造コストの低減化
	工業原料・有用物質	基礎研究 ・実証	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バイオマスから高付加価値製品を製造する</li> <li>・原料は一部の有用バイオマスに限られる</li> </ul>	・医療品、化粧品原料製造技術の実用化等
エネルギー利用	直接燃焼	実用化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・あらゆる廃棄物等に適用可能で、処理時間が短い</li> <li>・発熱量の低いバイオマスには不適</li> <li>・単に熱源、電力源としての利用にとどまり、エネルギー利用効率が低いものが多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・熱生産と電力生産を組み合わせ合わせたコージェネレーション・システムの開発</li> </ul>
	熔融ガス化	実用化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・あらゆる廃棄物等に適用可能で、処理時間が短い</li> <li>・発熱量の低いバイオマスには不適</li> <li>・厳密な運転管理が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・エネルギー回収効率の向上</li> <li>・運転管理技術の高度化</li> </ul>
	固形燃料化	実用化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・様々なバイオマスを高カロリー化できる</li> <li>・性状の異なるバイオマスから製造する場合は RDF の品質確保が困難</li> <li>・RDF 利用設備における腐食対策が必要</li> <li>・RDF 製造コスト</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・安定的な RDF 製造</li> <li>・RDF 利用設備における耐食性の向上</li> <li>・RDF の需要販路の確保</li> </ul>

名称	普及状況	主な特徴と課題	今後期待される展開例
炭化	実用化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・木質系バイオマス等から炭素含有率の高い固体生成物を製造できる</li> <li>・炭化物の需要</li> <li>・炭化物製造コスト</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コージェネレーション技術の実用化</li> <li>・炭化物の需要販路の確保</li> </ul>
エステル化 (BDF化)	実用化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・植物油や廃食用油等からバイオディーゼル燃料を製造できる</li> <li>・ガソリン生産コスト</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・グリセリン等の不純物除去技術の向上</li> <li>・処理コストの低減化等</li> </ul>
超臨界水ガス化	基礎研究 ・実証	<ul style="list-style-type: none"> <li>・効率的な有機物の加水分解によりバイオマスのガス化が可能</li> <li>・高温高压条件下での運転管理、効率的なエネルギー回収が困難で経済性が劣る</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・運転管理の安定化技術の向上</li> <li>・安価な触媒の開発</li> </ul>
水熱処理	実証	<ul style="list-style-type: none"> <li>・比較的容易にバイオマスの加水分解が達成できる</li> <li>・堆肥化、メタン発酵等と組み合わせることによって、様々なバイオマス資源化の要素技術として適用可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原料確保と製品販路の地域循環システムの確立</li> <li>・処理コストの低減化</li> </ul>
メタン発酵	実用化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高含水率のバイオマスからメタンガスとしてエネルギー回収が可能</li> <li>・メタン発酵には比較的長時間を要し、発生残渣、廃液の処理が必要となってコストが高くなることが多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・処理廃液の減量技術の開発</li> <li>・廃液（液肥）利用技術の実用化</li> <li>・メタン発酵に関わる微生物群制御技術の確立</li> </ul>
エタノール発酵	実証	<ul style="list-style-type: none"> <li>・資源作物、木質系バイオマスから輸送用燃料を製造できる</li> <li>・糖・でんぷん系資源からのエタノール生産技術は実用化されているが、食料との競合問題が生じる恐れがある</li> <li>・木質系資源からのエタノール生産は困難で経済性が劣る</li> </ul>	バイオマスに含まれるセルロースを効率的にエタノール発酵する技術の開発

### 3.3 汚泥等バイオマスの活用型地域資源循環事業事例に関するレビュー

#### 3.3.1 木質バイオマス

##### (1) 木質ペレットの製造・利用

農林水産省がまとめた資料（平成 20 年 11 月）によると、バイオマスタウン構想を公表している 157 市町村（平成 20 年 9 月末現在）のうち 86 市町村（約 55%）が、木質バイオマスのペレット化による利活用を計画しており、製造施設は 47 か所（平成 19 年度）が建設されている。

地域別では東北地方で木質ペレットの製造・利用事例が多い。

大分県日田市（総人口 7.3 万人）は、製材残材、林地残材を対象として木質バイオマス発電事業（企業誘致）を計画していたが、石炭火力発電所の石炭混焼用原料を製造するペレット製造施設（最大 25,000 t/年）に変更して建設し、平成 20 年 4 月から事業開始している。

##### (2) バイオマス発電・熱利用

木質バイオマスの発電、熱利用は従来から行われており、直接燃焼発電は 10 t/日程度の小規模なものから 500 t/日程度の大規模なものまで幅広いが、大規模なものは廃プラスチック等産業廃棄物と混合して処理を行っているものが多い。また、ガス化発電は、比較的小規模なものが中心である。表 3.3.1 にバイオマス発電の事例を示す。

表 3.3.1 バイオマス発電の事例

地域	事業主体	原料	運営開始	規模	利用方法等
岐阜県白川町	東濃ひのき製品流通協同組合	燃料チップ、工場端材、間伐材等	2004	50 t/日	発電 600kW ボイラ 7.5 t/h
秋田県能代市	能代森林資源利用協同組合	樹皮、木質廃材	2003	220 t/日	発電 3000kW ボイラ 34 t/h
岡山県真庭市	銘建工業(株)	プレーナ屑、バーク	1998	20 t/h	発電 1950kW ボイラ 20 t/h
岩手県葛巻町	月島機械(株)	製材屑、間伐材	2005	3 t/日	ガス化（実証） 発電 120kW

岡山県真庭市の銘建工業(株)は、製材および集成材生産の大手企業で、自社工場から排出されるプレーナ（かんな）屑やヒノキの樹皮（バーク）を利用して平成 9 年 12 月からバイオマス発電、平成 16 年 8 月から木質ペレット製造を行っている。本社工場内に設置された木質直接燃焼発電施設は、処理能力 20 t/時、発電出力 1,950kW の施設（建設費は約 10 億円）で、実績処理量は 18,000 t/年であり、電力は工場内利用を賄っている。平成 15 年 4 月から RPS 法施行により余剰電力の売電を行っており、蒸気は乾燥工程、ホットプレス機械の熱源、施設内暖房等に利用している。木質ペレットは、2 台のペレット製造機により、30,000

tのプレーナ屑から15,000tのホワイトペレットを製造しており、集成材を原料としているため破碎・選別工程や乾燥工程が不要で、コスト的にも有利な条件を備えている。

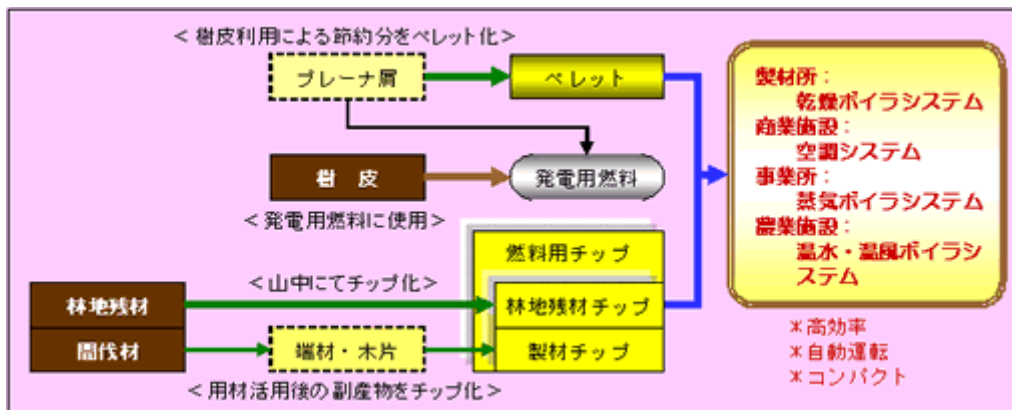


図 3.3.1 真庭市木質バイオマス活用地域エネルギー循環システム化実験事業の概要

出典:<http://www.city.maniwa.lg.jp/html/biomass/index.htm>

### 3.3.2 食品廃棄物

#### (1) 中北空知地域のバイオガス化施設（メタン発酵による生ごみリサイクル）

北海道中北空知地域においては、一般廃棄物中の生ごみを対象とした3つの生ごみバイオガス化施設が稼働している。国内初の本格的なバイオガス化施設である。生ごみを除く可燃ごみ（プラ類を含む）は地域内にある民間の焼却施設（ガス化溶融炉）で一括受入処理し、生ごみ、不燃ごみ、資源ごみなどは、地域内をさらに3ブロックに分けて処理している。

#### (2) 富山市グリーンフードリサイクル（メタン発酵と堆肥化による生ごみ処理）

富山グリーンフードリサイクルは、富山市内の事業系生ごみ（小売・外食事業者等から発生）、有機系産業廃棄物（食品製造業者等から発生）、剪定枝・刈草等を対象として、メタン発酵施設と堆肥化処理施設を整備し、平成15年から処理事業を行っている。施設の概要は表3.3.2のとおりであり、生ごみ等はメタン発酵、剪定枝等は堆肥化している。HPで公表されている決算情報によると、平成18年度の売上高は約1.7億円である。また、富山市は、一般家庭の生ごみの分別モデル処理地区を設定しており、平成18年度は約7,000世帯・17,000人分を対象に家庭生ごみを処理している。

表 3.3.2 中・北空知地域の生ごみバイオガス化施設の概要

項目	北空知衛生センター (深川市)	中空知衛生施設組合リサイ クリーン (滝川市)	砂川地区保健衛生組合ク リーンプラザ (砂川市)
処理能力	日最大 16 t/日 日平均 11.1 t/日	日最大 55 t/日 日平均 44.7 t/日	日最大 22 t/日 日平均 17.8 t/日
実平均受入量	9.3 t/日	27.0 t/日	11.7 t/日
システム名称	膜型メタン発酵システム	REM システム	メタクレスシステム
発酵方式	膜型メタン発酵 高温メタン発酵 (55℃) 1 系列	無動力攪拌式 (BIMA 式発 酵槽) 中温メタン発酵 (35℃) 3 系列	固定床式高温メタン発酵 方式 (55℃) 2 系列
施工	クボタ・原田・道央共同 企業体	三井鉱山株式会社/ 三井造船株式会社	鹿島・北谷・林組共同企業 体
本稼動	2003 年 4 月～稼動中	2003 年 8 月～稼動中	2003 年 4 月～稼動中
発酵残さ処理	汚泥再生処理センターで 焼却処理	堆肥化利用	土壌改良材利用 (発生量少 なく、利用先は限定され る)
排水放流	下水道放流	河川放流	下水道放流
人口 (H17.9)	39,460 人	90,818 人	39,705 人

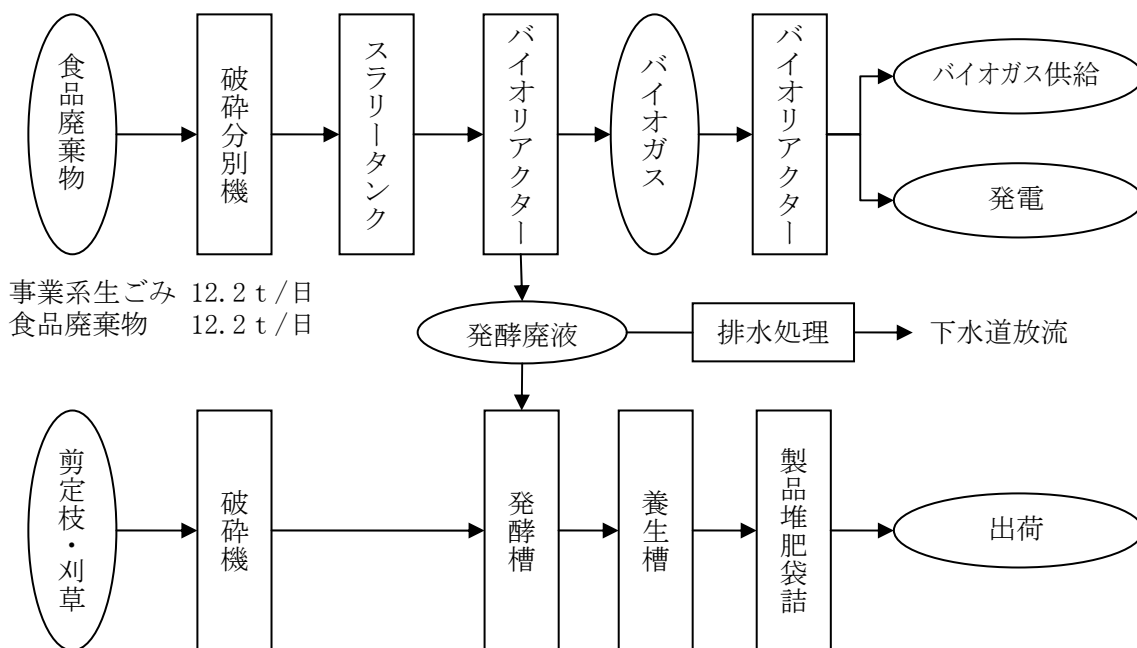


図 3.3.2 富山グリーンフードリサイクルの処理フロー

表 3.3.3 富山グリーンフードリサイクルの概要

施設名	富山グリーンフードリサイクル(株)
所在地	富山県富山市松浦町 8-20
出資企業	鹿島建設(株)、石崎産業(株)、富山造園業協同組合、クリーン産業(株)、(株)日本製鋼所、日本海建興(株)、日幸海産(株)、(株)源、(株)梅かま、富山冷蔵(株)、(株)宝来、(株)榊田酒造店 (12 社)
沿革	会社設立 平成 14 年 2 月 処理施設竣工 平成 15 年 3 月
処理対象物	事業系一般廃棄物 12.2 t/日 食品製造産業廃棄物 12.2 t/日 コーヒー・茶かす 2 t/日 剪定枝・刈草 4,000 t/年 (20~30 t/日) } 処理量実績 17 t/日程度
施設の処理能力	【メタン発酵施設】 ・事業系生ゴミ・食品残渣・有機汚泥等……24.4 t/日 [7,200 t/年] (マイクロガスタービン発電機 30kW×3 台) 【堆肥化処理施設】 ・剪定枝・刈草等……3~20 t/日 (平均 16 t/日) [4,000 t/年] ・コーヒーかす・茶かす……2 t/日 [720 t/年]
施設の特徴	・生ごみ、食品廃棄物のメタン発酵施設と、剪定枝等の堆肥化処理施設を組み合わせた施設で、メタン発酵後の発酵液と剪定枝等を混合処理して良質な堆肥 (2,550 t/年) 製造。 ・メタン発酵方式は、メタクレスシステム (固定床式高温メタン発酵、湿式) を採用し、バイオガス発生量は 2,500m <sup>3</sup> /日。発電量は 2,000kWh/日 (実績 1,900kWh/日) で、全量を施設内利用。余熱は、発酵槽加温に利用。 ・メタン発酵残渣は固形物 0.8 t/日、排水 21 t/日程度で、排水は一部を剪定枝等の水分調整に利用、残りは排水処理後下水道放流。
コスト情報	【建設費】 約 14.6 億円 (農水省「食品リサイクル先進モデル実証事業」1/2 補助) 【処理料金】 生ごみ処理料金 不明 剪定枝処理料金 14 円/kg (標準) 堆肥販売価格 メタちゃん有機 (40L 入) 378 円/袋 バラ 5,145 円/m <sup>3</sup> エコ・マルチ (40L 入) 630 円/袋 バラ 4,725 円/m <sup>3</sup>
その他	敷地面積 17,100m <sup>2</sup> 建築面積 6,000m <sup>2</sup> 役員・従業員数 16 名 (運転人員 10 名)

出典:廃棄物研究財団「メタン発酵情報資料集 2006」および富山グリーンフードリサイクル HP

### (3) コープこうべによる生ごみ処理事業

生活協同組合コープこうべは、135 万人の組合員を擁する神戸市に主たる事業所をおく生活協同組合であり、約 500 品目の製品を製造している六甲アイランド食品工場内から発生する生ごみ (パン、豆腐、麺、蒟蒻、和菓子)、排水汚泥、生おから、廃油の処分と再資源化を図るために、メタン発酵設備 (6 t/日) とおから乾燥設備 (13 t/日) からなる廃棄物処理設備を導入した。

設備の建設費は、メタン発酵設備 2 億 3,000 万円 (処理能力 1 t/日当り 3,833 万円)、おから乾燥設備 7,000 万円 (処理能力 1 t/日当り 538 万円) の総額 3 億円で、建設資金は、自

己負担金 1 億 8,600 万円と国庫助成金 1 億 1,400 万円（農林水産省の食品リサイクルモデル緊急整備事業）で購われた。

平成 15 年 12 月稼働開始前後の廃棄物量、処理経費を比較すると表 3.3.4 に示すとおりであり、廃棄物処理量が 7,300 t/年から 230 t/年に減り、処理経費が 9 割以上削減された。

なお、当初計画では、メタン発酵による発電で導入設備のすべての電力を賄う計画であったが、おから乾燥設備の消費電力が計画値を大幅に上回ったため、年間所要電力が約 57 万 kWh となり、年間 7 万 kWh～12 万 kWh 不足した。

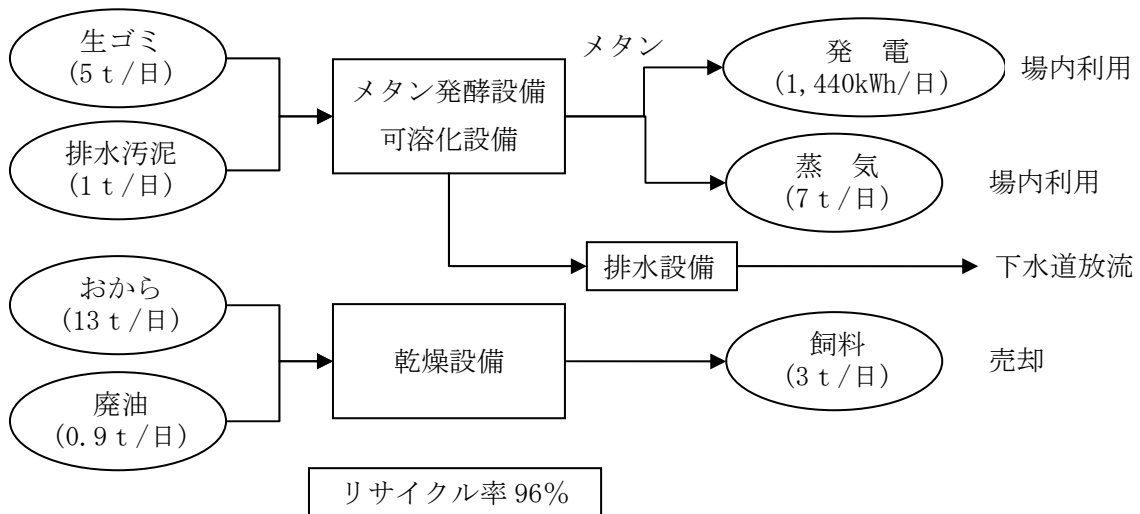


図 3.3.3 コープこうべの廃棄物処理設備

表 3.3.4 コープこうべの廃棄物処理設備導入効果

	設備導入前（平成 14 年度）	設備導入後（平成 17 年度）
廃棄物量 (t/年)	生ごみ 1,576 容器包装 212 排水汚泥 360 粗大ごみ 14 生おから 4,920 廃油 267 計 7,349	容器包装 208 粗大ごみ 24 計 232
再資源化処理量 (t/年)	—	生ごみ 1,422 排水汚泥 360 生おから 4,252 廃油 93 計 6,128
廃棄物処理経費 (千円/年)	生ごみ・排水汚泥処理費 45,900 薬品費（排水汚泥） 1,200 生おから処理費 42,340 計 89,440	<支出> 光熱費 13,363 維持費 12,800 計 26,163 <収入> 再生エネルギー 15,654 飼料化収入 3,315 計 18,969 <年間収支> 7,194
処理単価	生ごみ・汚泥処理単価 23,709 円/t (45,900 千円/年÷1,936 t/年) おから・廃油処理単価 8,163 円/t (42,340 千円/年÷5,187 t/年)	生ごみ・汚泥処理単価 237 円/t (423 千円/年÷1,782 t/年) おから・廃油処理単価 1,558 円/t (6,771 千円/年÷4,346 t/年)

出典：「廃棄物学会誌」Vol. 18, No. 3 (2000. 5)



#### (4) 長井市レインボープラン（堆肥化による生ごみリサイクル）

有機物循環のシステム構築は1990年代後半から各地で取組まれ始めたが、その中でも先駆的な事例として山形県長井市（総人口約3万人）のレインボープランがある。レインボープランは、生ごみの再資源化と生産堆肥を利用した有機農業を中核とし、土壌改善による農業の活性化、地域環境の改善、市民の健康な食生活の実現および、関係農家と生ごみ排出者の相互理解と協力による地域コミュニティの活性化を目指したものであり、市民や農業者が中核的な役割を担い、平成9年より取り組まれている地域循環システムである。

レインボープランの関係主体の構成を図3.3.4に示す。まず、堆肥の主原料である生ごみが長井市内の約5,000世帯から分別収集される。各家庭では生ごみを水切りバケツに集めておき、週2回の収集日に収集ステーションに設置されたバケツコンテナにこれを排出する。バケツコンテナの回収は自治体の委託を受けた収集業者が担当し、コンポストセンターへ運搬する。バケツコンテナは回収後洗浄して保管され、収集日の前日に収集業者によって各収集ステーションに設置される。

収集された生ごみは、コンポストセンターで畜産農家が自主搬入する畜糞、稲作農家から回収した籾殻とともに、約80日かけて堆肥化される。生産された堆肥は「レインボー堆肥」として市内の農家や一般家庭に販売されている。生ごみおよび籾殻の回収費、コンポストセンターの設備投資・運転費用は自治体が負担しており、畜糞に関しては500円/tの処理費用を畜産業者が負担し、自らが搬入を行っている。

生産されたレインボー堆肥の販売は、委託を受けた市内農協が担当しており、長井市民に対してのみ販売されている。堆肥には袋詰堆肥（320円/15kg）とバラ売り堆肥（4,000円/t）の2種類があり、前者は一般家庭や少量利用農家が、後者は大量利用農家が購入している。袋詰堆肥は農協がコンポストセンターから農協経営の市内2店舗の営農センターへ運搬し、販売している。一方、バラ売り堆肥については購入希望者が事前に農協に注文を行い、コンポストセンターで購入し、代金を農協へ支払う。自治体は農協の堆肥販売業務に対して、袋詰堆肥については100円/袋、バラ堆肥については320円/tの委託料を支払っている。

平成14年度の処理実績によると、生ごみ1,205t、籾殻197t、畜糞475t、あわせて1,876tの堆肥原料から444tのレインボー堆肥が生産され、その約半分が認証制度に登録した農家に利用されている。認証を得た農家が生産するレインボー農産物は134t/年であり、ほとんどが直売および学校給食に利用されている。

また、長井市のレインボープラン運営経費は表3.3.5のとおりであり、コンポストセンターの運営経費は生ごみ1t当たり23,237円、初期費用・収集費用を含む総経費は50,788円と算定され、焼却よりは高くなっている。

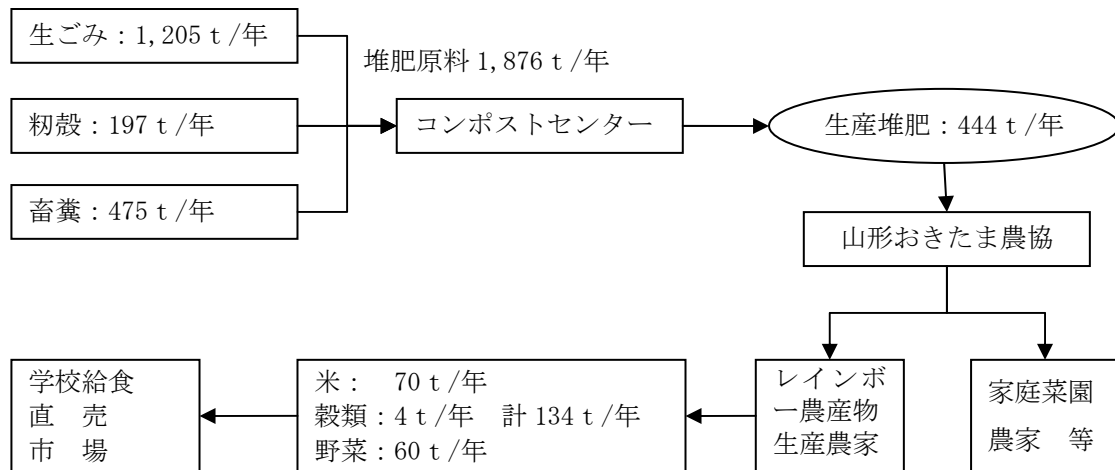


図 3.3.4 長井市レインボープランの物質収支

表 3.3.5 長井市レインボープラン運営経費収支（平成 14 年度）

	年間支出額	生ごみ 1 t 当り
初期費用	2,300 万円	19,087 円/ t
収集委託費	1,270 万円	10,539 円/ t
コンポストセンター運営費	2,800 万円	23,237 円/ t
協議会運営費	60 万円	
合計	6,430 万円	
販売等収入	▲310 万円	
総支出額	6,120 万円	50,788 円/ t

注) 初期費用は、コンポストセンターの用地取得・建設および関連設備の投資費用（イニシャルコスト）のうち、国および県からの補助金を除いた自治体の負担分を計上したものであり、施設等の耐用年数を 20 年、金利を 3% として年間費用を算出したもの。

出典：廃棄物学会論文誌 Vol. 16, No. 5（2005 年 9 月）

### 3.3.3 下水汚泥

#### (1) 下水汚泥のエネルギー利用

下水汚泥は年間 7,500 万 t（乾燥ベース 223 万 t）発生しており、脱水・焼却等による減量化、建設資材化等によるリサイクルが行われているが、バイオマス資源としてポテンシャルの大きい下水汚泥のエネルギー的利活用が課題となっている。このため国土交通省では、集約的に汚泥を処理する流域下水汚泥処理事業、浄化槽汚泥や他のバイオマスとの共同処理の推進、消化ガスの発電利用、焼却エネルギー利用等、下水汚泥のエネルギー利用方策の開発を進めている。さらに、下水汚泥リサイクルのより一層の推進とさらなる技術革新のため、下水汚泥資源化・先端技術誘導プロジェクト（LOTUS Project）なる研究開発推進体制を平成 17 年にスタートとしている。

- ・下水汚泥の消化ガス（メタン発酵）の発電利用を行っている下水処理場は全国で 21 カ所あり、合計発電能力は 18,000kW、年間発電量は 1 億 kWh に達している。
- ・東京都や愛知県では、電力会社と連携し、汚泥燃料を炭化し、石炭代替燃料として火力発電所で発電するプロジェクトを進めている。これらは、大手プラントメーカーや電力・ガス会社との共同プロジェクトである。
- ・し尿・浄化槽汚泥は、自治体の設置・運営する汚泥再生処理センターで処理後、余剰汚泥をセンター内で乾燥・焼却する例が大部分であるが、近年、生ごみとともにメタン発酵を採用する例が増えている。メタン発酵で発生したバイオガスは発酵槽加温や乾燥機熱源として場内利用している。

## (2) 嫌気性消化・発電

### a) 下水道バイオガス発電

下水処理の嫌気性消化工程では、嫌気性状態に保たれた消化槽内に汚泥を 30 日程度滞留させることにより、有機物を嫌気性微生物の働きで分解・減量化させる。この際に発生する下水道バイオガスは、メタンを主成分とする気体であり、都市ガス等の代替燃料として利活用が可能である。

なお、バイオガス化される分だけ固形物量が減少するため、後段の処理プロセスにおける省エネ化やコスト削減に寄与することが可能である。

2004 年度の下水道バイオガス発生量のうち利活用の内訳をみると、約 7 割（210 百万 m<sup>3</sup>）が利活用されており、残り約 3 割（80 百万 m<sup>3</sup>）は焼却処分されている。また、下水道バイオガス発生量の約 2 割（59 百万 m<sup>3</sup>）はガス発電に利活用されているが、約 3 割（88 百万 m<sup>3</sup>）は消化槽の加温用としての用途にとどまっている。

下水道バイオガスを用いた発電は、1984 年より導入され始め、現在 26 処理場で実施されている状況にあり、2004 年度時点で、総発電容量約 21,000kW、下水道施設の総電力消費量の約 1%分を発電している。

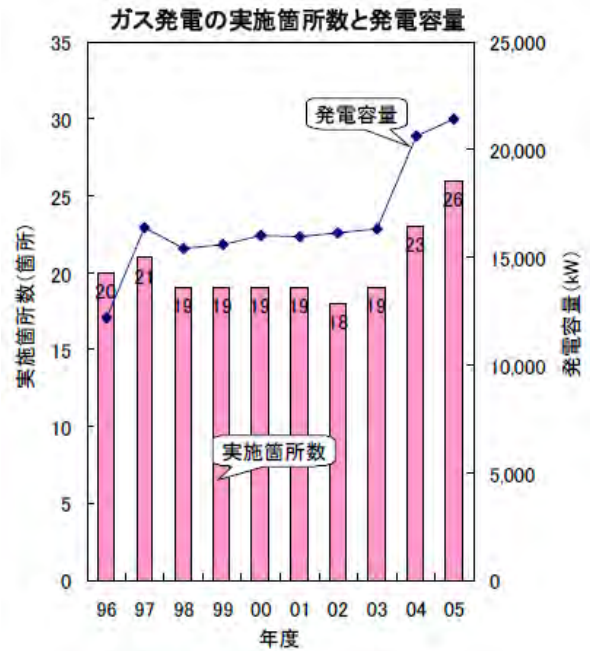
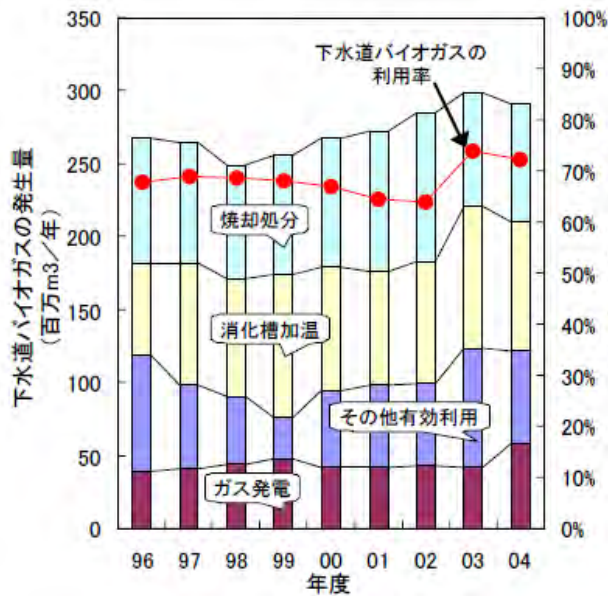


図 3.3.5 下水道バイオガスの発生量と利用内訳

図 3.3.6 ガス発電の実施箇所数と発電容量

b) 東京都森ヶ崎水再生センター常用発電事業

東京都区部の下水道事業は、23 特別区の 57,839ha を対象に、公共下水道の建設、維持管理を行っており、区部の下水道は、平成 6 年度末に 100%普及概成し、現在、82 ヶ所のポンプ所、13 ヶ所の水再生センターを有し、1 日平均約 480 万 m<sup>3</sup>の汚水を処理（平成 18 年度実績）している。平成 16 年この度、バイオマス資源である汚泥消化ガスを発電燃料として使用した常用発電事業を下水道事業として国内初の PFI 事業（BOT 方式）によって実施した。

本事業は、国内最大の水処理施設を有する森ヶ崎水再生センターにおいて、未利用エネルギーである汚泥消化ガスを燃料とする常用発電設備を建設・運営し、施設用電力および汚泥消化槽用の温水を供給するものである。また、安価な夜間電力の活用、電力負荷の平準化等を図ることができる NaS 電池、非常用発電設備の建設・運営も本事業範囲である。事業者である森ヶ崎エナジーサービス(株)は、施設の建設および事業の管理・運営を行い、下水道局に電力および温水を供給し、下水道局は事業者へ汚泥消化ガスと下水処理水を無償で提供している。

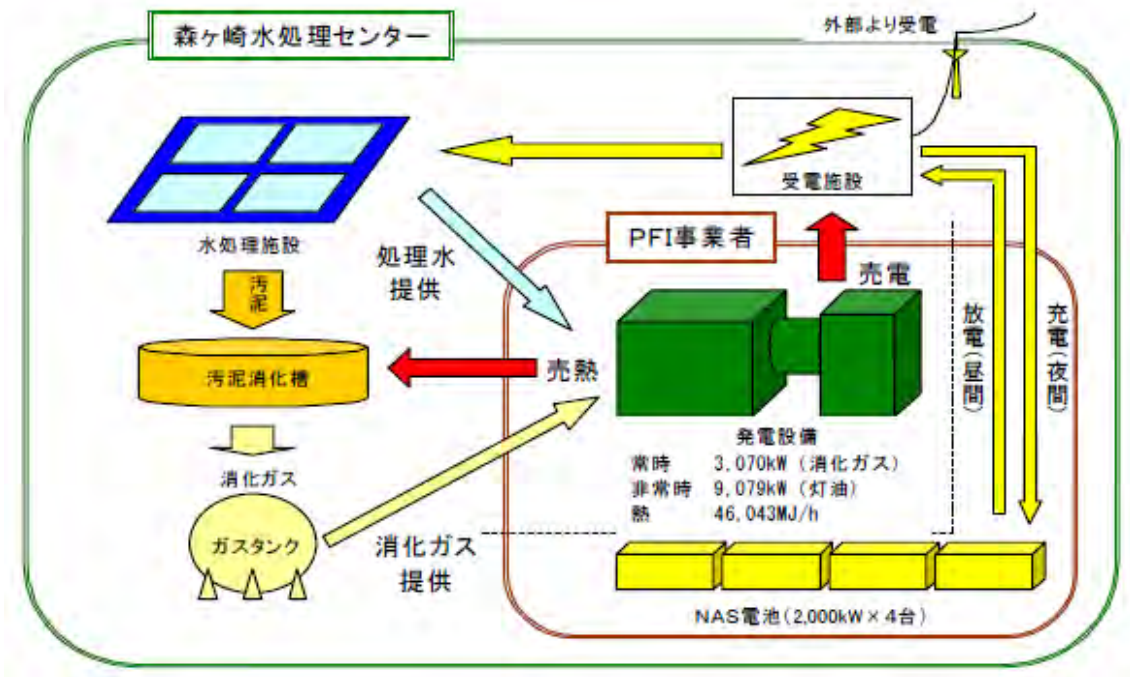


図 3.3.7 事業概要

平成 16 年 4 月の事業開始後の稼働実績によると、消化ガス発生量は計画値 1,570 万  $\text{m}^3$  (N) に対し最大で約 82% 程度、常用発電設備発電量は計画値 2,600 万 kW に対し最大で約 80% 程度と、概ね計画値に近い性能を発揮しており、次のような導入効果が達成されている。

#### ①電力コストの縮減

導入前において、森ヶ崎水再生センターの電力料金は年間約 13 億円程度であったが、本事業の実施により内部で電力調達を行えることから、導入後の電力コストは年間約 7 億円と大幅に引き下げることができた。

#### ②温室効果ガスの削減

未利用エネルギーである汚泥消化ガスを全量有効活用することにより、重油換算で年間ドラム缶 (200L) 約 23,000 本相当のエネルギー消費量を削減できる。また、温室効果ガスは、二酸化炭素に換算すると年間 4,772 t の削減が見込まれている。

#### c) 山形市浄化センターにおける消化ガスのコージェネレーション利用

山形市では、消化ガスを用い、ガスエンジン発電機 (1998 年稼働 : 178kW×1 基) と燃料電池発電機 (2002 年稼働 : 100kW×2 基) の 2 方式で発電を実施している

発電により得られる電気は、年間 264 万 kWh (2003 年度実績) であり、場内消費電力の 40% を賄っているほか、発電排熱は消化槽の加温や施設の冷房等にも利用している (消化ガスエネルギーの総合利用効率 75~89%)。

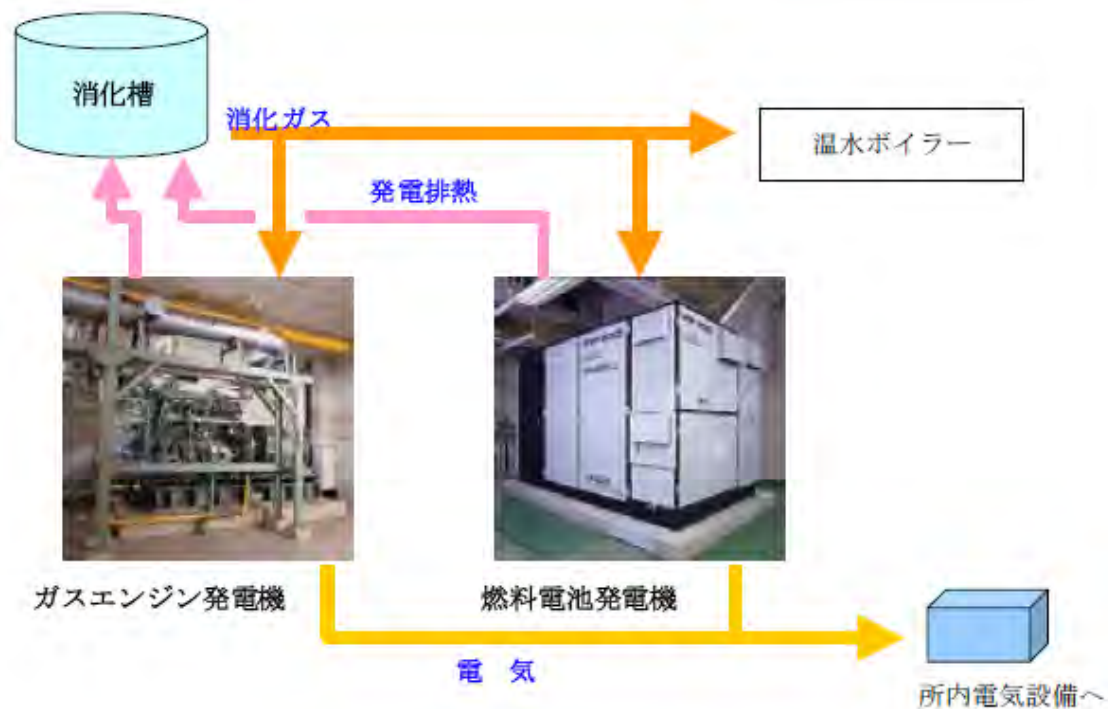


図 3.3.8 バイオガス発電の処理フロー

d) 珠洲市複合バイオマスメタン発酵施設

珠洲市は生活排水処理事業として、公共下水道事業、農業集落排水事業、合併浄化槽整備事業を進めており、この内、公共下水道事業としては珠洲処理区、宝立処理区の 2 処理区で整備を進めている。

珠洲市は「珠洲市・バイオマスエネルギー推進プラン」と銘打ち、下水汚泥をはじめとする地域のバイオマス 5 種類を一括混合処理する『複合バイオマスメタン発酵施設』の取り組みを行い、19 年 8 月に本格稼働を開始した。

本施設は、計画処理量 32.9 t/日で、下水道処理場内に設置され、下水汚泥 (15 t/日)、農業集落排水汚泥 (0.5 t/日)、浄化槽汚泥 (8.1 t/日)、生し尿 (7.6 t/日) といった生活排水処理に係る汚泥類に加え、水産加工品残渣、生ごみ等の事業系廃棄物 (1.5 t/日) を集約混合処理している。

処理の過程で発生するバイオガスはエネルギーとして場内で全量有効活用し、処理残物である消化汚泥は乾燥・肥料化し、緑農地還元する。

本事業は、全国に先駆けて国土交通省 新世代下水道支援事業制度の「リサイクル推進事業」における、未利用エネルギー活用型の「全国第 1 号」として認定を受けたほか、環境省循環型社会形成推進交付金の適用も受けており、国土交通省と環境省の連携事業としても全国初の事例として事業を行った。

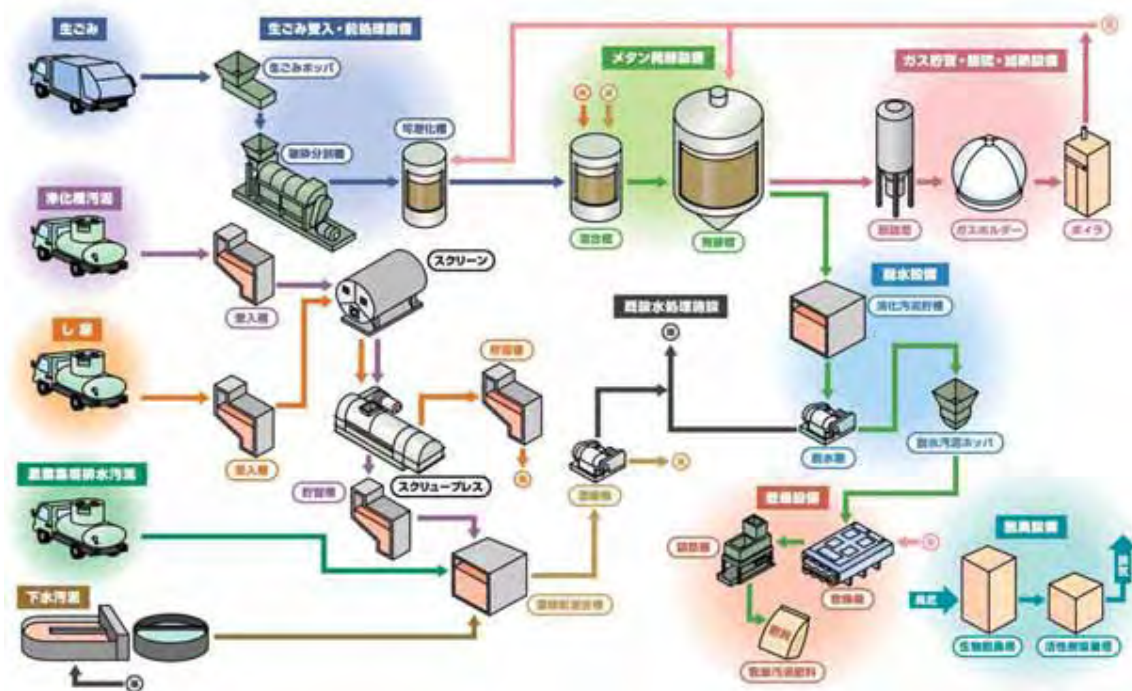


図 3.3.9 概略処理フロー

### 3.4 下水汚泥資源化技術に関するレビュー

#### 3.4.1 下水汚泥の処理方法

下水処理過程で発生する汚泥は、含水率 98～99%で、流入下水量の 1～2%程度発生し、有機物を多量に含むため、減容・安定化したうえで、利用や埋立を行うために汚泥処理が行われる。合流改善・高度処理等を行う場合には、さらに発生汚泥量が増加する。

下水汚泥の処理は、濃縮、消化、脱水、乾燥、焼却、熔融等のプロセスを種々組み合わせるが、この組み合わせは、汚泥の有効利用や埋立等、最終的な利用・処分を想定し、それに適合した方法とする必要がある。その選択は、処理汚泥量や汚泥性状、利用・処分の形態、処理技術の動向、環境条件、地域の地理的条件、将来性および安定性等から定められる。

代表的な汚泥処理プロセスは図 3.4.1 に示すとおりである。

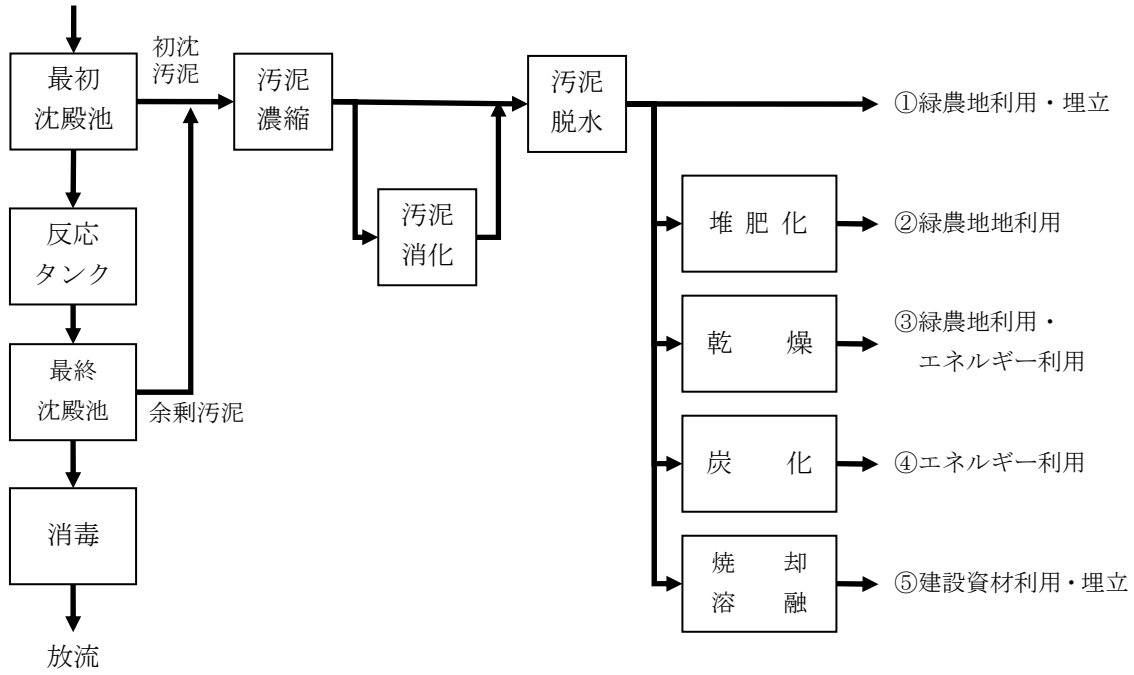
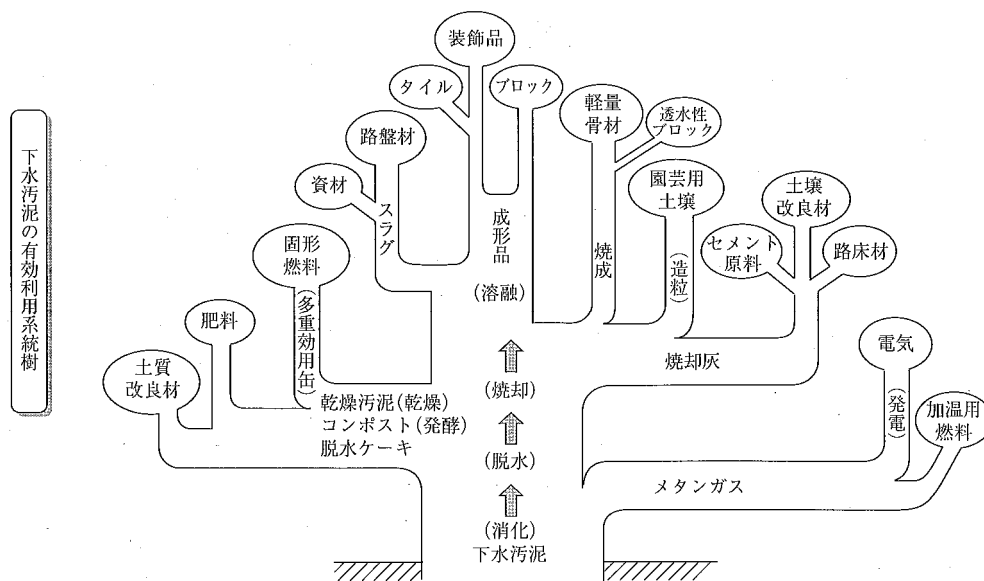


図 3.4.1 代表的な汚泥処理プロセス

下水汚泥の処理過程では、様々なエネルギー資源の消費、生成が行われており、下水汚泥の有効利用方法として、乾燥汚泥やコンポストの緑農地利用、消化ガスによる消化タンクの加温や発電、石炭代替燃料化等によるエネルギー利用、セメント原料、路盤材、コンクリート骨材等の建設資材利用等の取り組みが行われている。以下では、下水汚泥のさらなる利用の促進、下水道事業以外への利用拡大に向けて、多数の実績や幅広い利用用途が有しているものの今後一層の利用が望まれる消化ガス、熱分解ガスの利用技術、近年導入が進められ注目されている燃料化汚泥利用技術、汚泥燃焼廃熱の資源化技術について概要を述べる。



出典：日本の下水道，日本下水道協会

図 3.4.2 下水汚泥のリサイクル例



### 3.4.2 嫌気性消化

#### (1) 原理

嫌気性消化とは、酸素の存在しない（嫌気性）条件下で行われる有機物の生物分解をいう。

汚泥中の有機物は、嫌気性細菌の働きにより酸性発酵期、酸性減退期、およびアルカリ発酵期を経て分解される。

酸性期には汚泥中のセルロースを含む炭水化物、タンパク質、脂肪などの高分子有機物を酸生成菌の働きで、酢酸、プロピオン酸、酪酸などの揮発性有機酸と低級アルコール類に加水分解する。pHは発酵期には5～6まで低下するが、減退期には6.8程度まで上昇する。

次いでアルカリ期にはメタン生成菌の作用で有機酸などの中間生成物がメタン、二酸化炭素、アンモニアなどの最終生成物へと分解される。pHは7.0～7.4程度となる。

消化温度を30～35℃とし適切な消化日数（汚泥の消化タンクでの滞留日数）をとれば、汚泥中の有機物の40～60%が液化・ガス化により減少する。

#### (2) 設備構成概要

消化方式は一段消化、二段消化がある。二段消化は、生物反応が進行する一次タンクでは加温と撹拌が行われ、後続の二次タンクでは沈殿分離により消化汚泥と溶解性の有機物を含む脱離液が分離される。一次タンク、二次タンクでの消化日数はそれぞれ20日、10日程度（中温消化の場合）とされる。

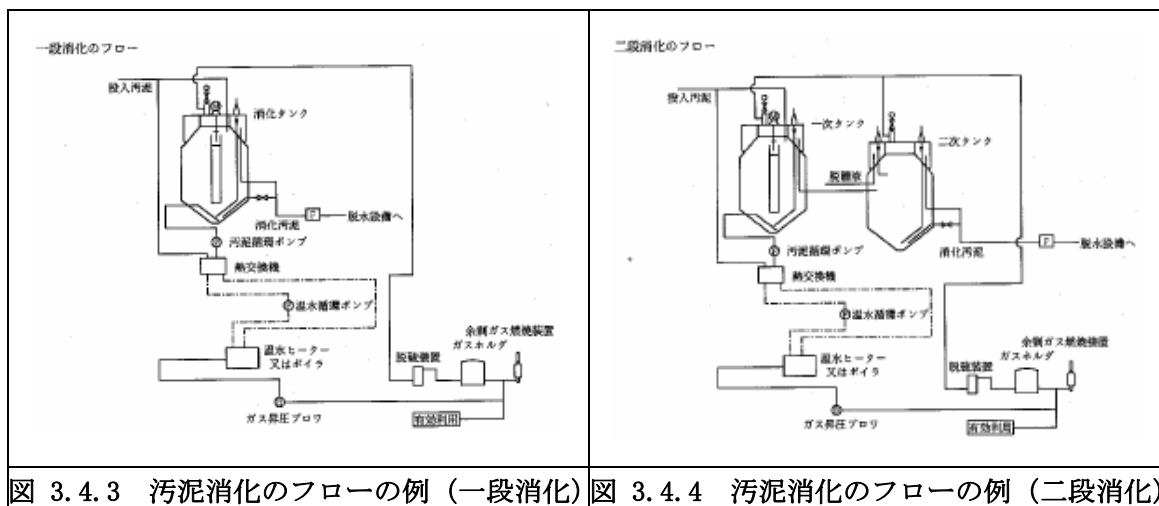


図 3.4.3 汚泥消化のフローの例（一段消化） 図 3.4.4 汚泥消化のフローの例（二段消化）

出典：下水道施設計画・設計指針と解説 後編 日本下水道協会（2001）

消化タンクは密閉構造の鉄筋コンクリート製で形状は、円筒形が古くから用いられてきた。最近では撹拌性に優れた卵形や亀甲形なども採用されている。

図 3.4.5 に消化タンクの形状を示す。

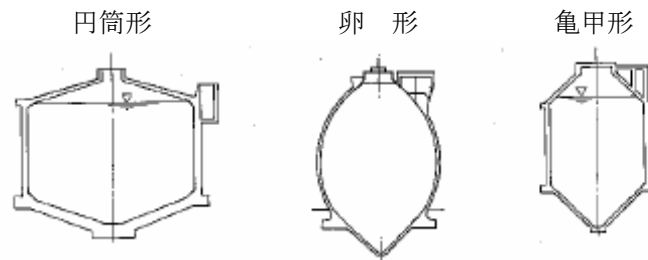


図 3.4.5 汚泥消化タンクの形状の例

出典: 下水道施設計画・設計指針と解説 後編 日本下水道協会 (2001)

タンク内部の汚泥を攪拌するため機械式またはガス式の攪拌装置が設けられる。発生した消化ガスを利用して汚泥の加温を行う。また加温による熱の放散を少なくするため、タンク周壁のカバーに軽量ブロックなどの熱伝導率の小さい材料で被覆および二重壁等により保温構造とする。さらに消化ガスを溜めるガスホルダーを設ける。

### (3) 一般的な特徴

発生する消化ガス量は、含水率 97%前後の汚泥の場合、有機物 1kg 当り 500~600NL、汚泥量に対して 10~14 倍量程度である。消化ガスの組成は消化の程度等により異なるが、およそ表 3.4.1 に示すようなものであり、約 3~15 倍の空気が混入すると爆発する恐れがある。

表 3.4.1 消化ガスの成分

(v/v%)				
メタン	二酸化炭素	水素	窒素	硫化水素
60~65	33~35	0~2	0~3	0.02~0.08

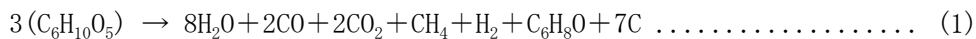
出典: 下水道施設計画・設計指針と解説 後編 日本下水道協会 (2001)

また、消化ガスの低位発熱量は  $21,000 \sim 23,000 \text{kJ/Nm}^3$  ( $5,000 \sim 5,500 \text{cal/Nm}^3$ ) であり、一般には消化タンクの加温用ボイラの燃料として用いられる。大容量の消化タンクでは、消化ガスでガス内燃機関を運転して、その動力で発電し、ガス内燃機関の排ガス中のエネルギーを廃熱ボイラにより回収するとともに、内燃機関の冷却水の熱回収を行い、消化タンクの加温に利用している所もある。この場合、消化ガスの有するエネルギーの約 30%は電力に変換され、さらに汚泥消化タンクの加温用熱量を加えると 70%程度の利用が見込まれる。この電力量は下水処理場全体の消費電力量の 20~30%に当たる。

### 3.4.3 汚泥熱分解

#### (1) 原理

有機物は熱的に不安定であり、無酸素雰囲気あるいは低酸素濃度雰囲気の下で加熱すると、①主に水素、メタン、一酸化炭素、二酸化炭素を含んだガス（気体）、②酢酸、アセトン、メタノールなどを含んだタールや油（液体）、③ほとんど純粋な炭素と灰分とからなるチャー（固体）に分けられる。この現象を熱分解といい、セルロース（ $C_6H_{10}O_5$ ）の熱分解反応については、液体成分を  $C_6H_8O$  で示した式(1)で表されている。



熱分解において、①に焦点を当てたものがガス化、②に焦点を当てたものが油化、③に焦点を当てたものが炭化である。一般に、熱分解温度が上昇すると、液体成分や固体成分が減少してガス成分が増加する。

#### (2) 設備構成概要

汚泥を熱分解炉に導入し、無酸素または低酸素状態の高温還元性雰囲気において熱分解すると、熱分解ガス及びタール成分と熱分解チャーに分離する。熱分解炉としては、廃棄物ガス化溶融炉、石炭ガス化炉、ロータリーキルン式熱分解炉（外部加熱式熱分解炉）または一括投入型熱分解炉（自燃式熱分解炉）の燃焼炉または焼成炉が一般に使用されている。

熱分解ガスは改質炉で高分子量のタール成分をさらにガス化して水素、一酸化炭素、メタンより構成される改質ガスとなる。その後、洗浄・浄化装置で塩素分、硫黄分、重金属等の有害微量成分を取り除かれて燃料ガスとされる。

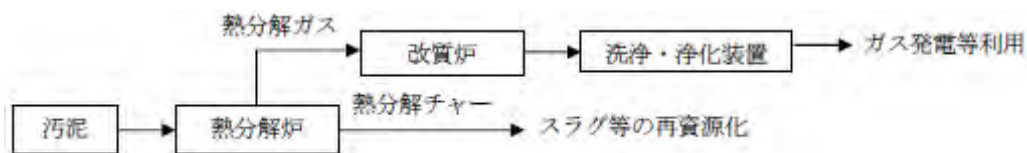


図 3.4.6 汚泥熱分解のフローの例

#### (3) 一般的な特徴

熱分解は嫌気性消化のように細菌による生物分解を利用するのではなく、化学的な分解である。

また、熱分解は焼却とも異なった技術であり、可燃性の固体を希薄酸素状態で熱分解して  $CO$ 、 $H_2$ 、メタン等の可燃性燃料ガスを取り出す技術である。すなわち、焼却炉のように多量の空気を送り込むのではなく、炉内を高温・希薄酸素の雰囲気にして熱分解処理を行うため還元雰囲気となり、ダイオキシン類が発生しにくいという特徴がある。

熱分解によって得られたガスおよびチャーは次に示す用途で有効利用される。

## ①熱分解ガス

洗浄・浄化された後冷却した熱分解ガスは、比較的良質の燃料ガスとしてガスエンジンやガスタービン等の内燃機関等に供給され、発電燃料として有効利用される。

## ②熱分解チャー

熱分解チャーはスラグ等として再資源化される。

## 3.4.4 消化ガス発電（ガスエンジン、マイクロガスタービン）

## (1) 原理

消化ガスを燃料としてガスエンジンあるいはマイクロガスタービンの回転により発電機を稼働させる。廃熱の回収は熱交換器やボイラによって温水が回収される。安定した発電を行うために消化ガスの貯蔵が必要となる。

## (2) 設備構成概要

## a) ガスエンジン

ガスエンジンは、消化ガス用として最初に実用化された発電方式で、概ね 100～1,000kW 程度の容量があり、消化ガス用の発電システムとしては最も一般的な方式となっている。

これまで、消化ガスを燃料とするガスエンジンでは、エンジン部品や NOx 除去触媒の寿命が短く、結果として設備維持費用が高くなるという課題があった。しかし近年、消化ガス中の微量不純物成分（シロキサン：有機ケイ素化合物）の存在が明らかになり、これがエンジン内で燃焼して生成したシリカ（SiO<sub>2</sub>）に起因することが解明されている。

その結果、消化ガス中のシロキサンを除去することによる対策が可能となり、従来は経済性の観点から消化ガス発電の導入が難しかった中小規模の処理場に対しても、消化ガス発電の導入が進むものと予想される。

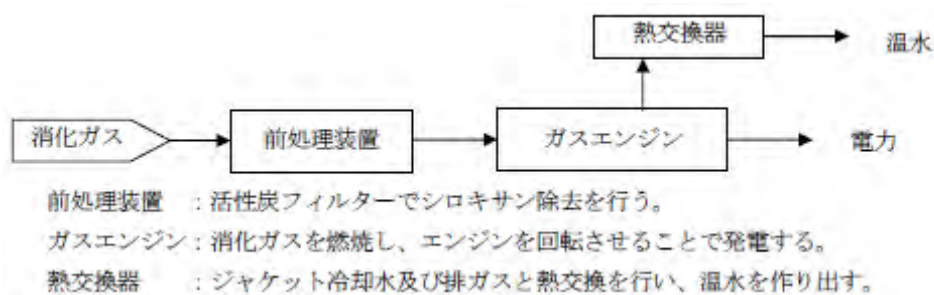


図 3.4.7 消化ガス発電（ガスエンジン）のフローの例

## b) マイクロガスタービン

マイクロガスタービンは、基本的には大型のガスタービンと同じ原理に基づいているが、再生サイクルの採用により 100kW 以下の小容量でも比較的高い発電効率を達成している。また、空気軸受けの採用や発電機直結による減速機の省略等により部品点数が削減され、信頼性・保守性が向上しており、設備維持費用の低減が期待されている。

なお、マイクロガスタービンもガスエンジンと同様、燃焼を伴う発電方式のため、消化ガス中のシロキサン燃焼で生成するシリカによって、エンジン部品の損傷を受けることが予想されるため、除去する必要がある。

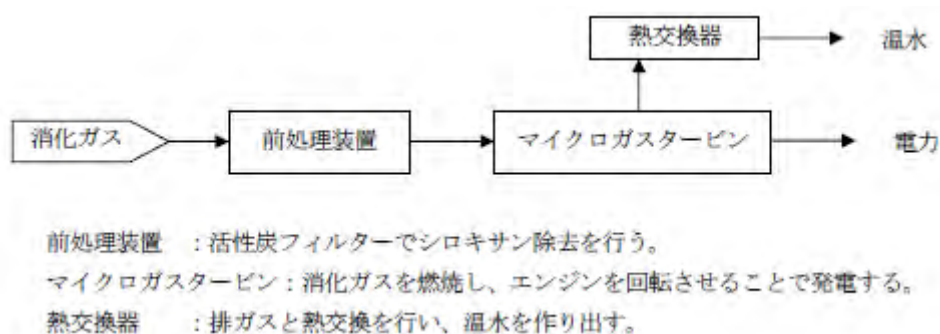


図 3.4.8 消化ガス発電（マイクロガスタービン）のフローの例

## (3) 一般的な特徴

ガスエンジンは、ガスエンジンで発電機を駆動して発電し、電力を供給すると同時に、排ガス、ジャケット冷却水からの廃熱を蒸気、温水の形態で回収し、冷暖房、給湯などに利用される。発電効率が高く、発電出力に対し熱出力の割合が小さいため、電力需要の多い施設に適している。

一方、マイクロガスタービンは、コンパクトでエネルギー効率の高い小型ガスコージェネレーションシステムとして注目されているシステムである。同等の発電能力をもつガスエンジンと比較すると小型軽量で、コージェネレーション・システムのコンパクト化が図りやすく、また構造がシンプルで部品点数も少ないため、メンテナンスが容易という特徴がある。

一般に、ガスエンジンの発電効率は 25～35%、廃熱効率は 40～55%に達し、総合効率としては約 80%である。一方、マイクロガスタービンの発電効率は 10 数%であるが、タービンからの廃熱を利用する再生サイクル技術により、同クラスのガスエンジン、ディーゼルエンジンと同等の 30%前後の発電効率まで上昇する。また、エンジン式と比較すると、廃熱の量や廃熱温度が高いといった特徴があり、廃熱回収することで 80～90%の高い総合熱効率を得ることができる。

### 3.4.5 消化ガス燃料電池

#### (1) 原理

燃料電池は、「水の電気分解」と逆の原理で、消化ガスから取り出した水素と空気中にある酸素を電気化学反応させて発電するものである。



図 3.4.9 燃料電池の発電原理

出典:社団法人 日本ガス協会 <http://www.gas.or.jp/default.html>

燃料電池の本体は、セルスタックといい、セルが積み重なってできている。

セルには、燃料極と空気極があり、反応に必要な水素が燃料極を通り、酸素が空気極を通る構造となっている。水素は電極中の触媒の働きで電子を切り離して水素イオンになり、電解質はイオンしか通さないという性質があるため、切り離された電子は外に出て行く。電解質の中を移動した水素イオンは、反対側の電極に送られた酸素と外部から電線（外部回路）を通じて戻ってきた電子と反応して水になる。この、「反応に関与する電子が外部回路を通ること」が、電流が流れるということであり、電気が発生するということである。

なお、消化ガス中に含まれる硫黄化合物などの不純物は、改質器の効率・寿命を低下させるため、供給する消化ガス中の不純物は除去する必要がある。

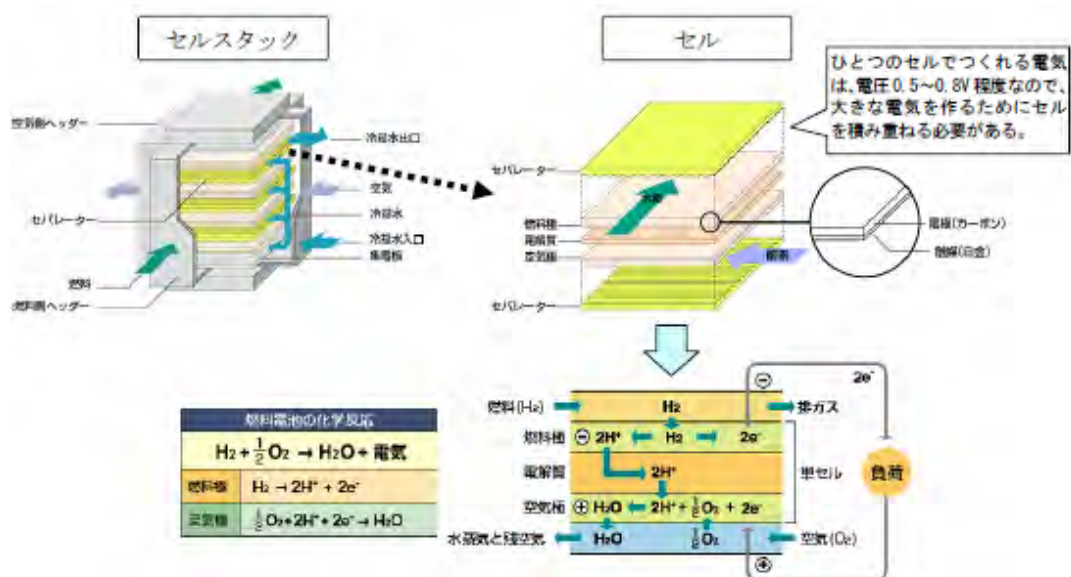


図 3.4.10 燃料電池の仕組み

出典:社団法人 日本ガス協会 <http://www.gas.or.jp/default.html>

## 3.4.6 消化ガス場内空調利用（都市ガス代替）

## (1) 原理

消化ガスを燃料として場内空調に利用するには、ガス吸収冷温水機を用いる方法があり、一般に燃料として都市ガスを使用して冷房用の冷水と暖房用の温水を供給する設備である。なお、消化ガスを都市ガスの代替燃料として利用するには、設備を劣化させる成分（硫黄化合物、シロキサンなど）を精製する必要がある（消化ガスの精製は、「3.4.8 消化ガス高濃度化」を参照）。

ガス吸収冷温水機の原理（冷房サイクル）は、図 3.4.11 のとおりである。

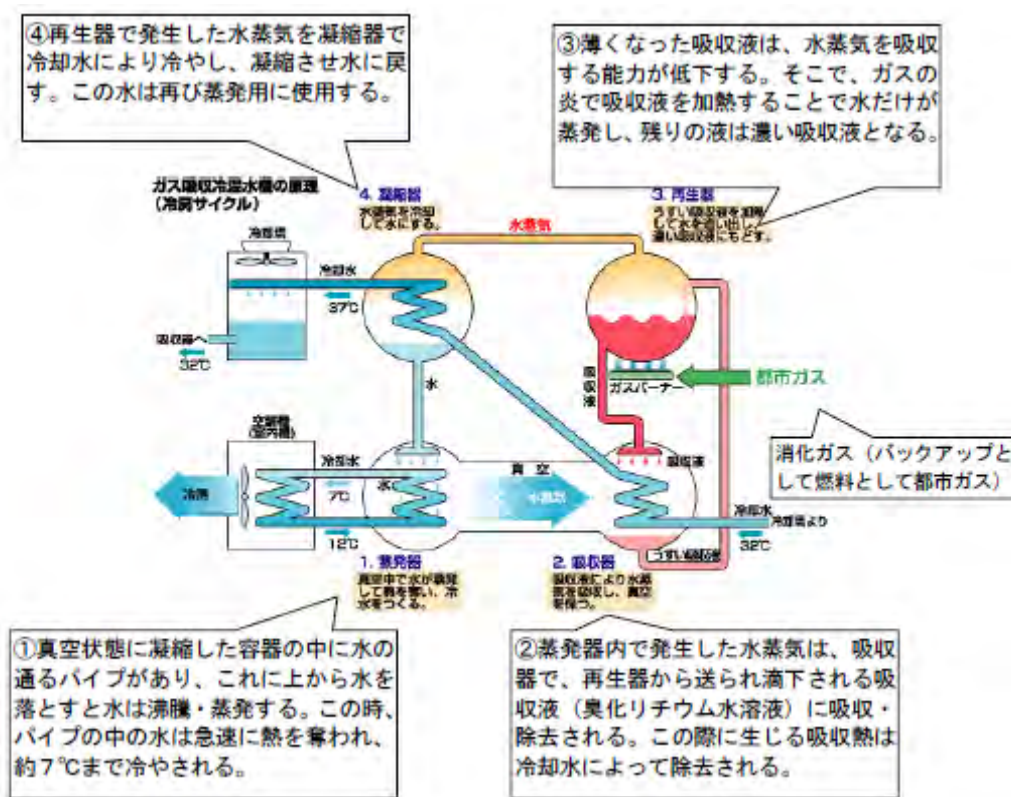


図 3.4.11 ガス吸収冷温水機の原理（冷房サイクル）

出典:大阪ガス <http://ene.osakagas.co.jp/0-enjinia/1-conditioning/2-absorption/index.html>

## (2) 一般的な特徴

ガス吸収冷温水機は、「冷媒に水」「吸収液に臭化リチウム」を使用し、冷房時は冷水より通常 7℃程度の温度を得て空調機で送風する。暖房時は、通常 50～60℃の温水を得て空調機で送風する。

### 3.4.7 消化ガス都市ガス供給

#### (1) 原理

一般に消化ガスは、都市ガスと比較して低位発熱量が低く、設備を劣化させる成分（硫黄化合物、シロキサンなど）を含んでいるため、消化ガスを都市ガス供給する場合は、供給先と品質（※）・圧力・量・価格などの条件を協議する必要がある。

なお、消化ガスを都市ガス供給する際の精製方法は、「3.4.8 消化ガス高濃度化」を参照すること。

#### ※ ガス事業法（第29条）

ガス事業法（第29条）では、乾燥したガス中に「硫黄全量 $\leq 0.5\text{g}/\text{m}^3$ 、硫化水素 $\leq 0.02\text{g}/\text{m}^3$ 、アンモニア $\leq 0.2\text{g}/\text{m}^3$ 」となるよう定めている。

また、ガス事業法の適用を受けるため、以下の届出および報告が必要である。

※ 準用事業開始届出書（ガス事業法第39条）

※ 設備設置変更報告書（ガス事業法第46条第1項）

#### (2) 設備構成概要

消化ガスを都市ガス供給する場合、消化ガスの供給条件に合わせた精製、消化ガスを供給先に送るための設備（圧縮機、ガス導管）が必要となる。

なお、消化ガスを都市ガス供給する際の精製方法は、「3.4.8 消化ガス高濃度化」を参照すること。

#### (3) 一般的な特徴

消化ガスを都市ガス供給する場合、供給先までの距離（ガス導管の延長）が建設費に影響する。

### 3.4.8 消化ガス高濃度化

#### (1) 原理

消化ガスの成分は、可燃性物質であるメタン以外に、二酸化炭素・窒素・硫化水素などを含んでおり（表 3.4.2）、都市ガスと比較すると用途・維持管理性・経済性で不利である。

※ 二酸化炭素は不活性な物質のため、消化ガスの低位発熱量が低くなる。

※ 硫化水素は、毒性が強く、金属の腐食を進行させる。

※ シロキサンは、燃焼機器に堆積することで、燃焼系統の問題などを引き起こす。



表 3.4.2 消化ガスと都市ガスの主要成分の比較

種類		消化ガス	都市ガス (13A)
成分 (%)	メタン	60~65	89.6
	エタン、プロパン、ブタン	—	10.4
	二酸化炭素	0~3	—
	水素	0~2	—
	硫化水素	0.02~0.08	—
低位発熱量 (kJ/m <sup>3</sup> )		21,000~23,000	45,000

出典：「下水道施設計画・設計指針と解説 後編 2001年度版」 社団法人日本下水道協会、東京ガス HP [http://home.tokyo-gas.co.jp/userguide/userguide\\_06.html](http://home.tokyo-gas.co.jp/userguide/userguide_06.html)

消化ガス中の不純物を除去して高濃度のメタンガスに精製することは、消化ガスの100%活用と用途拡大のために必要なプロセスである。ここでは、消化ガス成分の約3割を占める二酸化炭素の除去方法として、湿式吸収法と高圧水吸収法を示す。

表 3.4.3 消化ガス中の二酸化炭素の除去方法

方法	湿式吸収法	高圧水吸収法
概要	水(下水処理水)で消化ガスを塔内で気液接触させ、二酸化炭素を水に吸着させて除去する。	圧力上昇に伴うメタンと二酸化炭素の水への溶解度を利用して除去する。

### 3.4.9 炭化—燃料化

#### (1) 原理

下水汚泥を乾燥後、低酸素下で加熱することにより水分、吸着ガス成分、一部ガス化可燃分等が放出され、後に炭素を主体とした炭化物が得られる。

従来の炭化方式では、炭化温度が600~800℃と高温の為、発熱量が低く灰分が多い等、燃料に適さない要素もみられたが、今日では燃料に適した中温(約500℃)および低温(約300度)での炭化技術の開発が進められている。

また、炭化された下水汚泥は、石炭火力発電所における石炭代替燃料としての利用が期待されている。

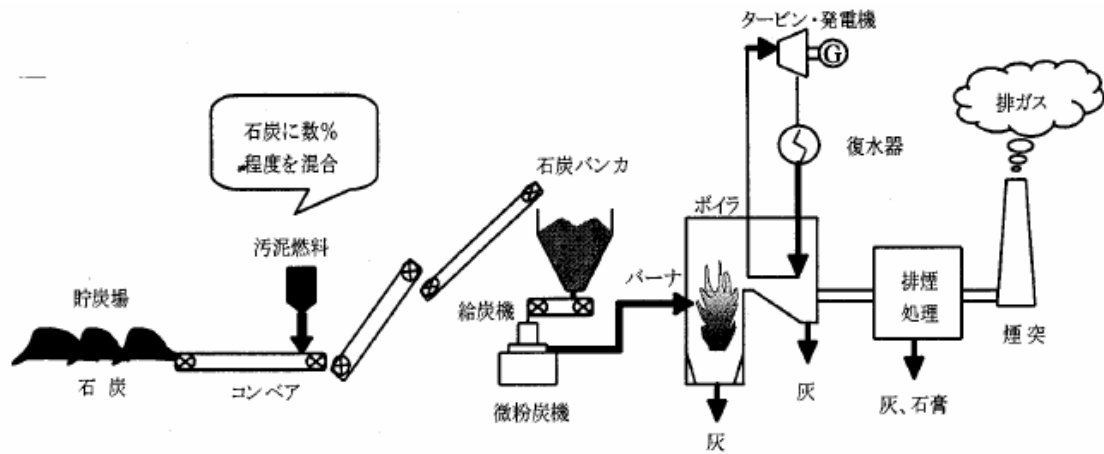


図 3.4.12 石炭火力発電所での汚泥燃料投入方式(例)

出典：再生と利用 下水汚泥資源利用協議会

(2) 設備構成概要

システムは、乾燥工程および炭化工程に大別され、脱水汚泥は乾燥工程で水分除去され、炭化工程において乾燥汚泥は低酸素状態で熱分解され、乾留、炭化される。

また、炭化設備は、外熱式ロータリーキルン、内熱式ロータリーキルン、および外熱式スクリーコンベア方式に大別される。

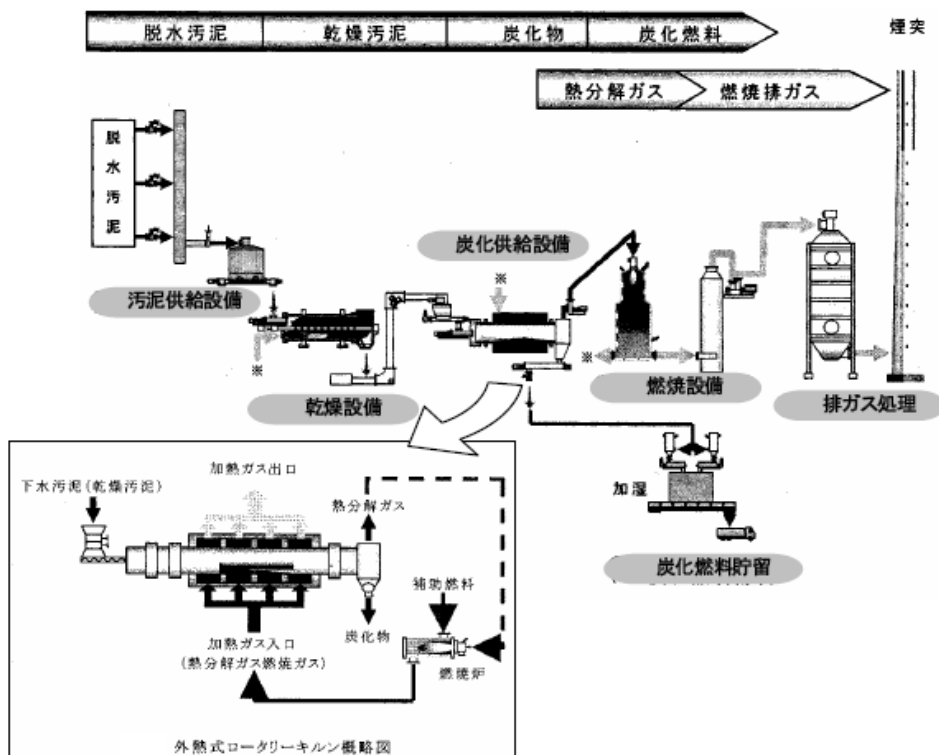


図 3.4.13 炭化設備システムフロー

出典：再生と利用 下水汚泥資源利用協議会

## (3) 一般的な特徴

- ・ 粒径が 2～3mm 程度の粒状固形物で、ハンドリング性良好。
- ・ 他の固形燃料化汚泥と比較して、臭気がない(低温炭化の場合、タール臭が残る)。
- ・ 発熱量は 13MJ/kg と、他の固形燃料化汚泥の発熱量と比較して低い。
- ・ 空気中の酸素と反応し発熱する自己発熱特性を有する。



## 3.4.10 油温減圧乾燥

## (1) 原理

油温減圧乾燥方法は、脱水汚泥と廃食用油を混合し、減圧下で加熱することにより下水汚泥中の水分を高効率で急速に蒸発させる方法である。

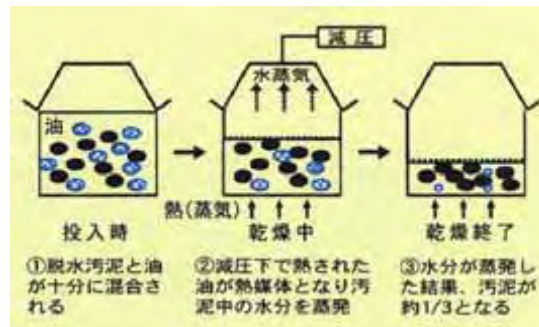


図 3.4.14 油温減圧乾燥技術の原理

脱水された油温乾燥汚泥は、有機分が豊富で高品質なコンポストや燃料化資源、セメント助燃材等の有効利用が可能である。また、乾燥汚泥が有する低位発熱量は、約 21MJ/kg であり、石炭に近い発熱量を有している。

## (2) 設備構成概要

主な設備は、脱水汚泥と廃食用油を混合する予備加熱タンクと油温減圧式乾燥機、乾燥汚泥から油分を分離する油分離機で構成されている。乾燥過程で発生する蒸発水分は、ミストキャッチャーで捕捉され、乾燥機の加温に再利用される。

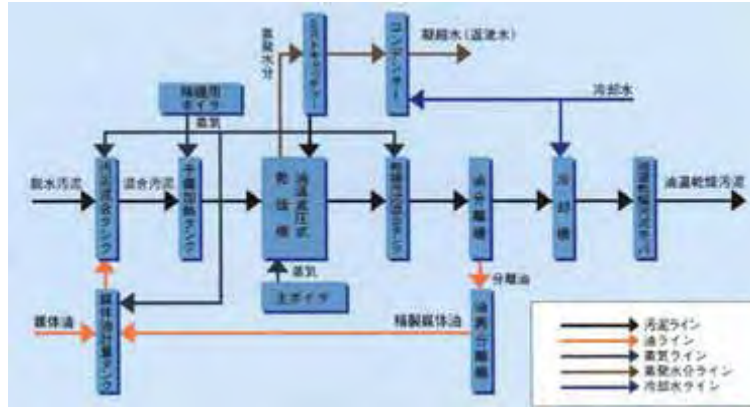


図 3.4.15 油温減圧乾燥技術の設備概要フロー

出典：(財)下水道新技術推進機構年報ダイジェスト 2003

(3) 一般的な特徴

- ・ 外観は黒色でペレット粒状。
- ・ 含水率は3%以下で平均粒径は1mm程度。
- ・ 高温処理による殺菌性により、製品の安全性に優れている。
- ・ 水溶性蛋白質の流出がなく、有機分が豊富で、発酵助材や堆肥原料などの緑農地利用が可能。
- ・ 油分を約30%含み、石炭と同程度の高い低位発熱量(21MJ/kg程度)を有している。
- ・ 放熱性の悪い環境や酸素リッチな環境の元では、蓄熱し発火することがある。



写真 粒状に乾燥された汚泥

3.4.11 造粒乾燥

(1) 原理

造粒乾燥方式は、汚泥の粘着性を利用し、乾燥粒子(核粒子)に汚泥を薄膜状に塗布し、転動造流した汚泥を熱風で乾燥させる方法である。

造粒乾燥汚泥の含水率は6~10%程度と低く、16MJ/kg前後と石炭の約2/3の熱量を有している。

(2) 設備構成概要

造粒乾燥システムは、二軸ミキサーで脱水汚泥と循環乾燥汚泥を混合・混練することで造粒する「造粒プロセス」と、乾燥ドラム内で約450℃の熱風により乾燥される「乾燥プロセス」で構成される。

造粒乾燥汚泥は、分級機により分級され、所定の粒径だけを製品ペレットとして排出し、その他の造粒乾燥汚泥は循環乾燥汚泥として「造粒プロセス」に戻される。

また乾燥ガスは熱交換器で加熱されて循環するが、蒸発水分が一定に維持されるよう、常にガスの一部がコンデンサに引き抜かれ、コンデンサで水分を凝縮した後、ガスは熱風発生炉に送られ燃焼脱臭される。

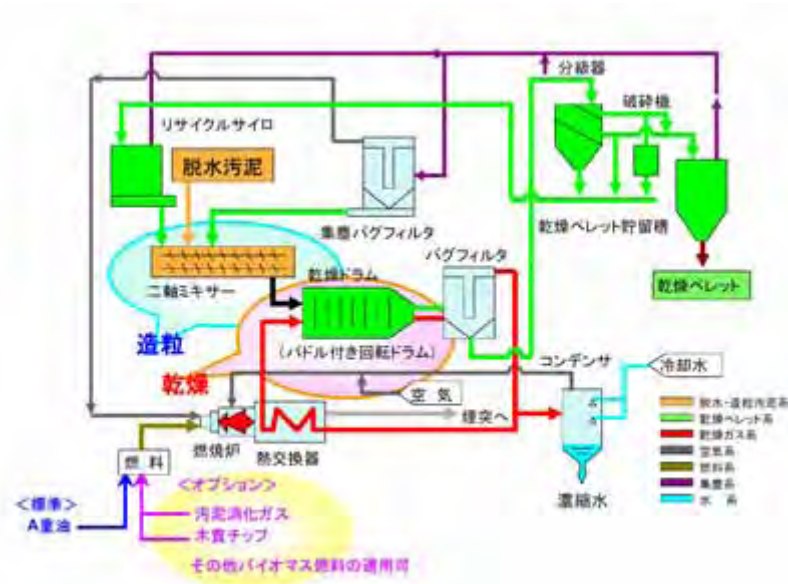


図 3.4.16 造粒乾燥技術の設備概要フロー

### (3) 一般的な特徴

- ・ 外観は鼠色で、 $\phi 2\sim 5\text{mm}$  程度の均一な粒状であり、ハンドリング性に優れている。
- ・ 含水率は6~10%程度と低いため臭気が少なく、長時間貯留しても変質せず貯留性に優れている。
- ・ バイオソリッドに含まれる有機成分は造粒乾燥ペレット中に濃縮されるため、肥効成分が高く、低位発熱量が石炭の2/3程度有する。



## 3.4.12 焼却炉廃熱の利用

### (1) 原理

下水汚泥の焼却工程においては、排ガスが高温(800℃以上)となる事から、熱効率を高める為に熱回収が行われている。

回収された高温廃熱は、脱水汚泥の燃焼用空気の予熱や乾燥等により、すべて有効利用されている。

一方、中温および低温廃熱は、廃熱温度が低く用途が限定される事等から、大半が未利用のまま系外に放出されている。

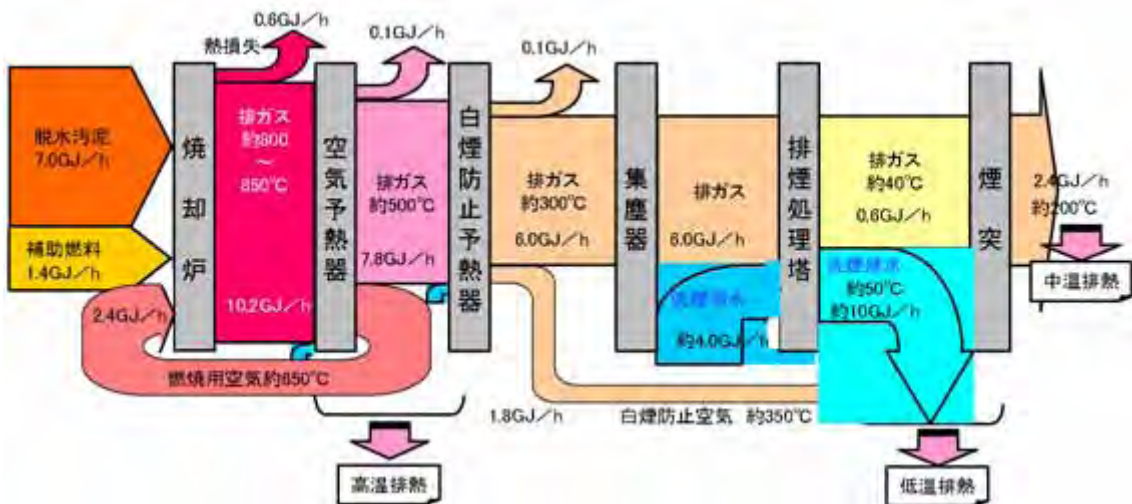


図 3.4.17 流動床式焼却設備の熱収支フローの例 (50 t - 脱水汚泥/日)

出典:資源のみちの実現に向けて報告書 (案)

(2) 設備構成概要

東京都東部スラッジプラントでは、焼却炉の高温廃熱を焼却炉の余熱利用に利用するほか、庁舎内の冷暖房に活用している。

また、高温廃熱は空気予熱機を経由し焼却炉へと供給されるほか、廃熱ボイラ、蒸気タービン等を経由した後、温水として庁舎内に供給されている。

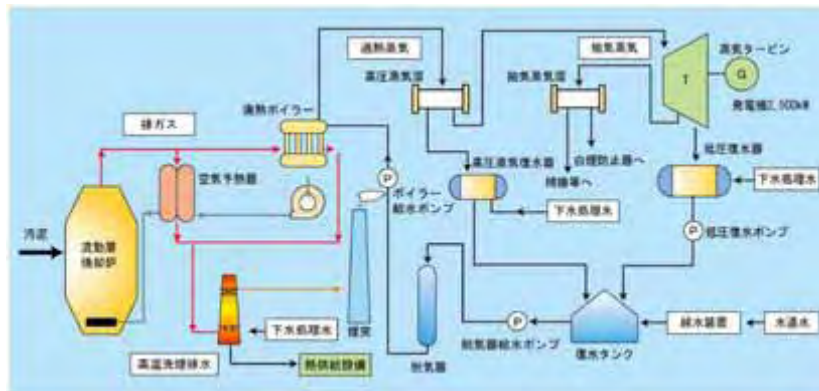


図 3.4.18 東部スラッジプラント廃熱回収蒸気発電・フロー図：高温廃熱の利用事例

出典:東京都 HP より

(3) 一般的な特徴

焼却工程により回収される廃熱は「高温」、「中温」、「低温」に大別される。

図 3.4.17 によれば、高温廃熱は、焼却直後の排ガス(800℃以上)から回収されるため、その温度は約 650℃と高く、焼却炉の燃焼用空気に利用されている。

また、排煙処理後、煙突から排気される排ガスの温度は約 200℃であり、給湯やプールの加温用の熱源として利用\*されている。

洗煙排水から回収される低温廃熱の温度は約 50℃であり、温水プールの加温用ヒートポンプの熱源としての利用\*が実施されている。

※川崎市 入江崎スラッジセンター（出典：資源のみちの実現に向けて報告書（案））

### 3.4.13 下水汚泥を含むバイオマス連携事業

#### (1) 原理

一般的に、下水処理場には消化設備等バイオマスをエネルギー転換できる汚泥処理プロセスの導入が可能であり、また、水処理プロセスと連結させることによってバイオマスの処理に伴って発生する廃水の処理も容易である。地域全体のバイオマスを効率的に利活用する方法として、このような下水処理場の特徴を生かしたものが本システムである。

まず、含水率の高いバイオマスの夾雑物を除去した後、下水汚泥に近い流動性を確保するため破碎し、メタン発酵の阻害になる可能性のある油脂分を温水と混合して可溶化により分解促進して、流動性を確保する。し尿および浄化槽汚泥は、スクリーンで発酵不適物の除去を行い、浄化槽汚泥、下水汚泥、農業集落排水汚泥は 5%程度に濃縮する。

これらのバイオマスを均一に混合後消化槽に投入して、一般には中温消化させ、バイオガス（消化ガス）を回収する。バイオガスは燃焼させてメタン発酵槽の加温、乾燥設備や可溶化槽の熱源に用い、余剰熱源や余剰ガスは熱利用やガス発電に利用する。また、消化液は液肥に利用したり、脱水して肥料等に利用できる。基本フローを図 3.4.19 に示す。

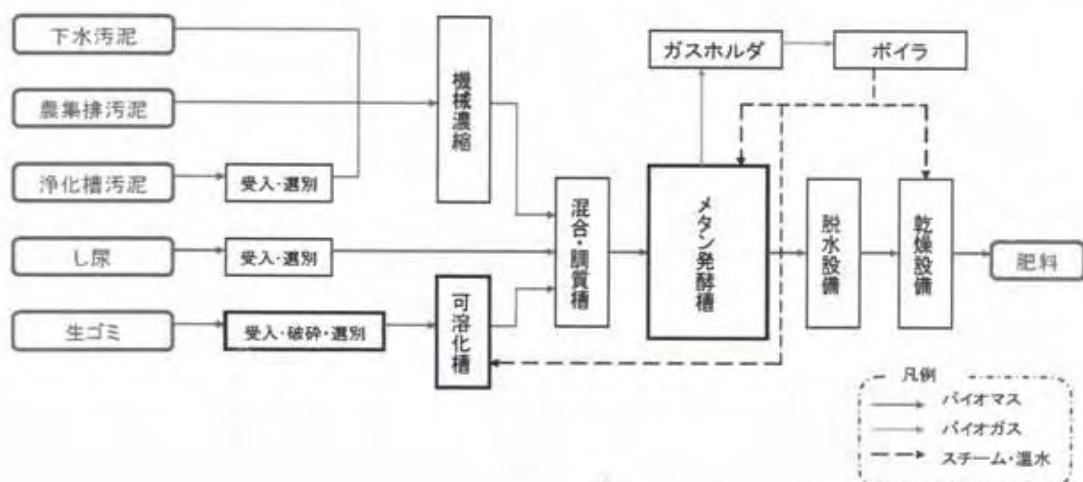


図 3.4.19 バイオマス連携事業基本フロー

出典：(財)下水道推進機構 2006 年 年報

## (2) 製品の一般的特徴

バイオガス（消化ガス）は、原料の組成によってメタンと炭酸ガスの割合が変化し、生ごみが多いとエネルギーとなるものを含むため、発生量は多くなる。生ごみの組成の炭水化物が多い場合はバイオガスのメタンおよび硫化水素の組成が低下し、脂質が多い場合は高くなる。

一般に、メタンは55～70%、炭酸ガスは30～45%であるが、炭酸ガスは水に溶けるため実際はこれより高くなると考えられる。硫化水素は300～10,000ppm程度である（10,000ppmは、し尿のみの場合）。

## (3) 原理設備構成概要

システムは、受入・前処理工程、消化工程、ガス利用工程および汚泥処理工程に大別される。

受入・前処理工程は、破碎分別機、可溶化槽、スクリーン、濃縮設備、混合槽等からなる。消化工程は、発酵槽、加温設備、攪拌設備等からなる。ガス利用工程は、脱硫設備、ガスタンク、ガス利用設備であるボイラ、発電設備、燃料電池等がある。汚泥処理工程は、貯留設備、脱水設備、排水処理設備があるが、排水処理設備は下水処理場の水処理設備を利用することになる。

### 3.4.14 広域連携による資源化

#### (1) 原理

本施設は、下水汚泥中の有機物を連続的に乾留して汚泥炭化物を製造し、土壌改良剤や緑化副資材、覆土材、脱臭剤、融雪材などとして利用するものである。その際、乾留燃焼ガス、再燃炉の排ガスはそれぞれ乾留用熱源と脱水汚泥の乾燥用熱源に利用する構造となっている。なお、スケールメリットを図るため、複数の市町村から下水汚泥を収集し、施設の大規模化を図っている。

各市町村から収集した下水汚泥は、ホッパに集められ、下部に設置したスクリーフイーダーより攪拌破碎装置付き横型回転乾燥機に投入する。乾燥ドラム内に700℃～800℃の熱風を吹き込み、脱水汚泥を含水率30%程度までに造粒乾燥させて、コンベアで炭化炉上部の供給槽に送る。炭化炉は、炉内を上下4段のスクリーコンベアが貫通した一種の外熱型キルンである。炭化炉上部に設置した供給槽より、乾燥された脱水汚泥が最上段のスクリーコンベアに送られ、上段、中絶、下段の各スクリーコンベアへと移動する。炭化炉下部に設置したバーナで各スクリーコンベアへの外側ケーシングを600℃～700℃で加熱すると、乾燥脱水汚泥は低酸素状態で熱分解（乾留）されて炭化物となり、これを40℃程度に冷却した後、袋詰めにして搬出する。



各コンベア内で発生した乾留ガスは、スクリーコンベアのケーシング上部に設けた孔から噴出燃焼させ、乾留の熱源として利用する。炭化炉内に放出される乾留ガスの大部分は炭化炉内で燃焼するが、炭化炉上部の再燃炉でこれを 850℃で完全燃焼させるとともにその排気ガスを乾燥用熱源として利用し、乾燥熱源の節減を図る。乾燥機の排ガスは、燃焼脱臭炉で熱分解後排煙筒から大気放出する。基本フローを図 3.4.20 に示す。

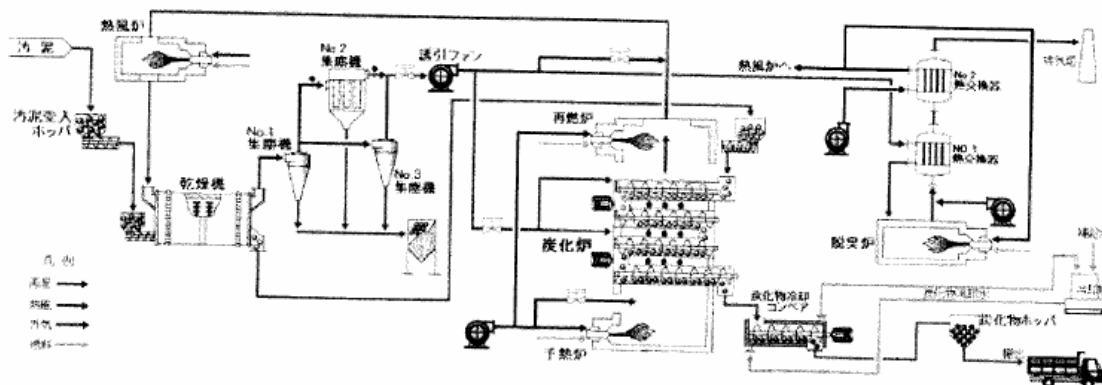


図 3.4.20 基本フロー

出典: 福島県企画調整部首都移転・超学際グループ HP より

(2) 設備構成概要

設備は、汚泥受入・乾燥設備、炭化設備、ガス利用・脱臭設備に大別される。その概要は、表 3.4.4 のとおりである。

表 3.4.4 設備構成要素

設備	主な機器
受入・乾燥設備	ホッパ、スクリーフィーダー、造粒乾燥機
炭化設備	コンベア、供給槽、炭化炉、予熱炉、再燃炉、炭化物冷却コンベア、冷却塔、炭化物ホッパ
ガス利用・脱臭設備	熱風炉、集塵機、誘引ファン、熱交換機、燃焼脱臭炉、排気塔

(3) 一般的な特徴

- ・ 炭化炉は、多段形の装置構成になっているため、小さいスペースで設置可能である。
- ・ 乾留燃焼ガスと再燃炉の排ガスは、乾留用熱源と脱水汚泥の乾燥用熱源に効率よく利用するため、排ガス量が少なく、熱の有効利用が図られている。
- ・ 再燃炉によりダイオキシン類の生成が抑制される。
- ・ スクリューコンベアの回転数制御により、炭化物の生産が安定している。

### 3.4.15 ごみ処理場での混焼

#### (1) 原理

下水汚泥の処分については、埋立処分地の容量の問題から減容化の必要性が要求される。しかし、汚泥発生量の少ない下水処理場における焼却炉建設は、スケールメリットが少ないため、イニシャルコスト、ランニングコストとも割高感があり、多くの課題を抱えている。基本的には、ごみ焼却炉は環境省の補助金で賄われており、下水汚泥焼却分については補助金がカットされる。そのため、下水汚泥の焼却部分については自己資金で建設することになるが、それでもその後のランニングコスト等が節減できる場合にごみ焼却場での混焼が行われている。

事業事例にも示されているように、ごみ処理場が下水処理場に隣接しており、下水汚泥の運搬が容易であることが大きな条件となっている。また、ランニングコスト節減のための種々の工夫がなされている。ごみ焼却場は高カロリーバイオマスの処分によるエネルギー発生施設であり、下水処理場は水処理施設等によるエネルギー消費施設である。このため、ごみ処理場で焼却によって発生する熱を利用して発電を行い、この電気および熱を一般価格より低価で購入して下水処理場で利用するシステムとなっている。

処理フローは、下水処理場の脱水汚泥をそのまま焼却設備に入れる方法と、下水汚泥をごみ焼却場の熱で乾燥造粒し、ごみと同程度の含水率にして混焼する方法が行われている。脱水汚泥をそのまま焼却設備に入れる場合は、下水汚泥の量のごみの量に比べて少ないことや脱水汚泥の含水率を厳しく管理するなどの条件がある。下水汚泥の投入方法も均一になるように分散して投入する方法がとられている。投入されたごみおよび下水汚泥等は焼却炉で焼却されるが、事業事例では焼却炉の方式は、ストーカ炉または流動床式ガス化熔融炉が使われている。焼却炉で発生したガスは廃熱ボイラ等で熱を回収し、熱交換器、排ガス処理装置等を経て大気に放出される。廃熱ボイラや熱交換器で回収された熱は、発電や乾燥用の熱などに使われる。図 3.4.21 に高砂市のフローを示す。

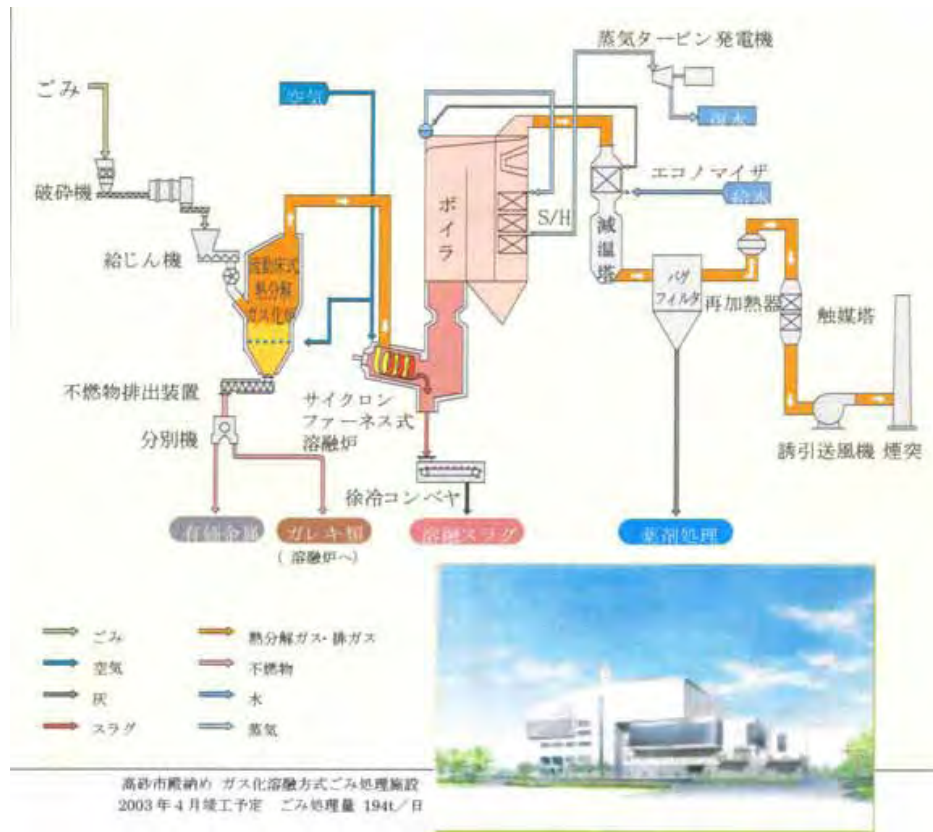


図 3.4.21 基本フロー (高砂市)

出典:バブコック日立 HP より

(2) 設備構成概要

設備は、脱水汚泥輸送設備、ごみおよび汚泥受入設備、焼却設備、ガス利用・脱臭設備に大別される。その概要は、表 3.4.5 のとおりである。

表 3.4.5 設備構成要素

設備	主な機器
脱水汚泥輸送設備	ケーキ貯留ホッパ、ケーキ押込装置、ケーキ圧送ポンプ、ケーキ分散設備 (直接投入の場合)
ごみ及び汚泥受入設備	ホッパ、破砕機、集塵機、乾燥機、混合機、造粒機 (造粒の場合)
焼却設備	焼却炉、徐冷コンベア、ホッパ、熱分解ガス化炉、溶融炉 (溶融設備の場合)
ガス利用・脱臭設備	廃熱ボイラ、熱交換器、発電機、排ガス処理装置、誘引送風機

### (3) 一般的な特徴

- ・ 小規模の下水処理場の場合でも高カロリーのごみとの混焼によって、スケールメリットが働くため、実施可能である。
- ・ 下水汚泥部分の建設コストに補助金が交付されないことから、焼却による熱を徹底的に利用し、ランニングコストの低減に努める必要がある。
- ・ ごみ処理場と下水処理場が近接していて、脱水汚泥の輸送にコストがかからないことが必要である。

## 3.5 バイオマスタウン構想の具体例

「バイオマスタウン構想」策定の仕組みは、下水汚泥をはじめ地域で発生する様々な未利用バイオマスの利活用について管轄行政枠を超え広域連携事業として推進するもので、今後中国においても地域整備計画手法として参考となると考えられるため、代表的事例について解説するものである。なお留萌市の例は、バイオマスタウン認定の最初の構想でもあり、またこの構想の中で「亜臨界水処理技術」を中核技術として位置づけているところに特徴がある。

### 3.5.1 バイオマスタウン構想例 A（柏崎市）

#### (1) 事業の構成

バイオマスタウン構想は柏崎市バイオマス利活用推進協議会を中核に民間活力や産官学連携、市民参加、国や県ならびに県内市町村との連携などを行いながら地域のバイオマス資源を利活用して以下の事業を推進することとしている。本構想の特徴は、下水汚泥と生ごみを合同処理しメタンガス発電で他の資源化施設の動力源および熱源をまかなう自立エネルギー型の地域資源循環システムの構築を目指しているところにある。

- ①下水汚泥等からの消化ガス利活用事業
- ②廃食用油等からのバイオディーゼル燃料利活用事業
- ③木質バイオマス資源の利活用事業
- ④多収穫米や草本類からのバイオエタノール利活用実証事業
- ⑤農業と連携する生ごみ等の利活用事業
- ⑥各種バイオマス資源からのバイオコークス利活用事業

以上①～⑥を本構想の柱とし、**図 3.5.1** に示す推進体制によりバイオマス資源の地域利活用システムの構築を推進するものである。

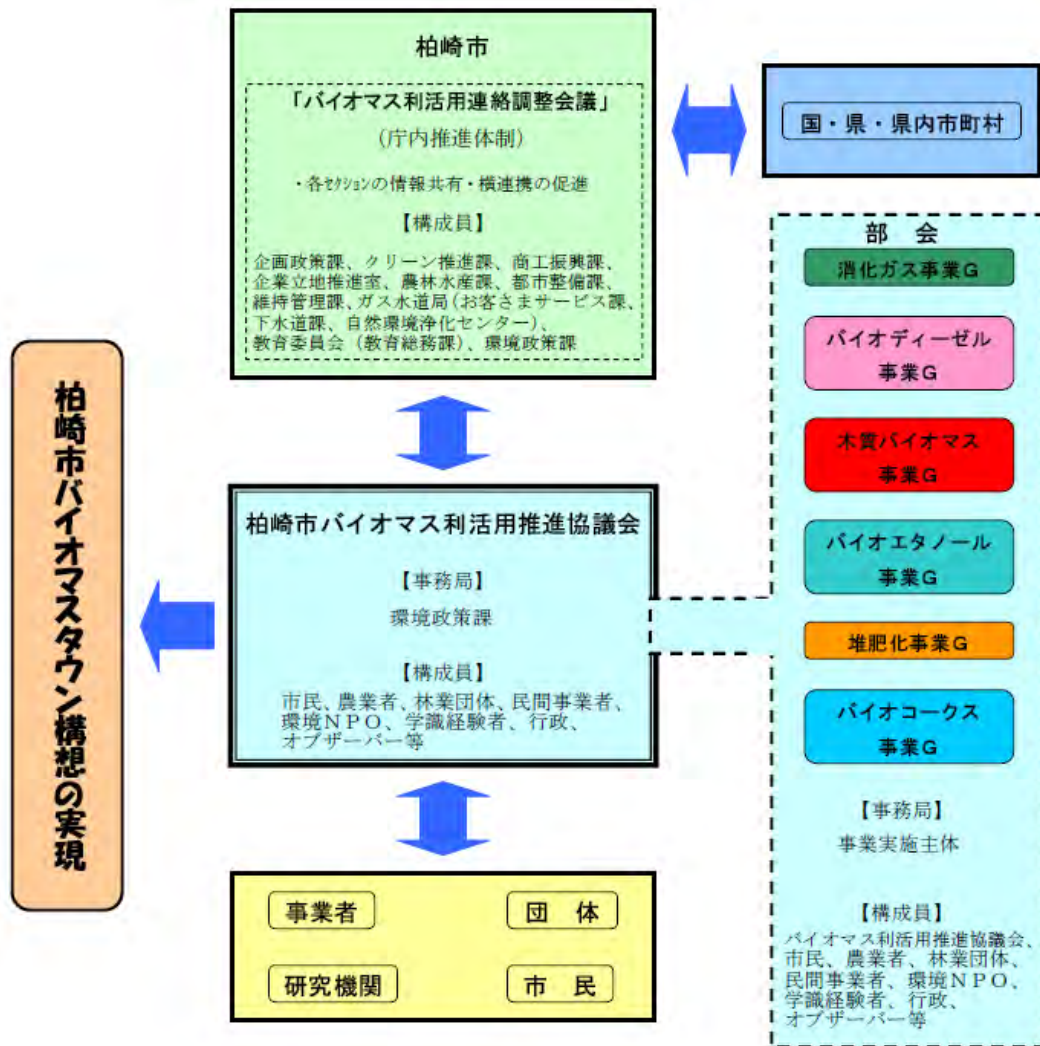


図 3.5.1 柏崎市バイオマスタウン構想の事業推進体制

(2) 中核事業

バイオマスの一つである下水汚泥は、バイオマスタウン構想でも取り上げられている。多くのバイオマスタウン構想市では、堆肥化やコンポスト化など肥料としての有効活用を目指しているが、いくつかの都市では他のバイオマスと混合して消化ガスとして回収・利活用、炭化燃料や水熱反応等によるエネルギー利用を目指している所もある。消化ガスとして回収・利活用するシステムは、濃縮した下水汚泥、し尿浄化槽汚泥、農業集落排水汚泥、生ごみを混合して、既存の下水処理場の消化タンクに投入する方法である。

生ごみは、他の濃縮汚泥と混合する前に投入しやすくするために破砕装置で破砕される。消化は、通常中温消化であるが、ガス回収率を高くするために、可溶化装置を設ける場合が多い。可溶化は、消化槽にバイオマスを投入する前に行う場合と消化タンクと可溶化装置を結んで両装置の間に加温を兼ねて消化液を循環させる方法がある。

消化ガスは、ガス発生率が下水汚泥と同等かそれ以上である生ごみ等が含まれ、可溶化装

置によりガス発生率の向上が期待できることから、ガス発生量が従来の下水汚泥のみの消化より増えることが考えられる。発生した消化ガスは、発電等により利活用される。発電した電気は、下水処理場の水処理施設等で使われる。発電の際発生する熱源は、消化タンクの加温や可溶化装置の熱源として使われる。

図 3.5.2 このように、下水処理場の既存消化タンクを利用した回収・利活用システムは、廃棄物系バイオマスの地域エネルギーシステムの構築に寄与し、バイオマスタウン構想の中核に位置づけることもできる。

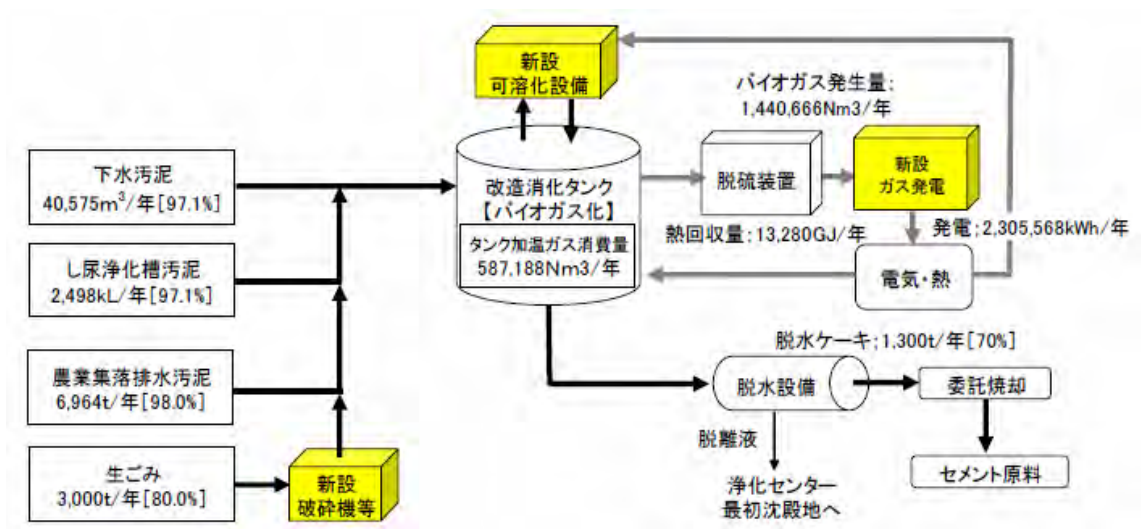


図 3.5.2 下水汚泥の消化ガス利活用システムイメージ

表 3.5.1 設備構成概要

設備	主な機器
ごみ及び汚泥受入設備	ホッパ、貯留槽、破砕分別装置、(可溶化装置)
メタン発酵設備	消化タンク、攪拌装置、熱交換器、(可溶化装置)
ガス利用設備	脱硫装置、ガス貯留装置、廃熱ボイラ、熱交換器、発電機 排ガス処理装置、誘引送風機
消化汚泥処理設備	下水処理場水処理施設、汚泥処理施設

## (3) バイオマスタウン構想の目標

バイオマスタウン構想による地域資源の利活用目標を下記のように設定している。

## ○廃棄物系バイオマス利活用目標

市内から発生する廃棄物系のバイオマス（生ごみ、下水汚泥、廃食用油など）の利用率 90% 以上を目指す。

## ○未利用バイオマス利活用目標

市内から発生する未利用のバイオマス（稲わら、もみ殻、間伐材など）の利用率 40% 以上を目指す。

廃棄物系バイオマスの具体的利活用目標は、表 3.5.2 に示したとおりである。

表 3.5.2 柏崎市バイオマスタウン構想における利活用目標

バイオマス	賦存量		変換・処理方法	仕向量		利用・販売	利用率
	湿潤	炭素換算		湿潤	炭素換算		
(廃棄物系)バイオマス	93,742ト	4,982.6ト		70,842ト	4,804.2ト		96%
家畜排泄物	9,600ト	572.8ト	堆肥化	9,600ト	572.8ト	堆肥（農地還元）	100%
家庭生ごみ	8,272ト	365.6ト	堆肥化・ガス化 ・コークス化	5,900ト	260.8ト	堆肥・熱・バイオガス等	71%
事業系生ごみ	4,728ト	209.0ト		4,000ト	176.8ト	堆肥・熱・バイオガス等	85%
廃食用油	294ト	209.9ト	BDF化	250ト	178.5ト	BDF	85%
下水汚泥 (含水率96.9%)	48,206ト	573.8ト	ガス化（含水率96.9%）	24,850ト	295.8ト	熱・バイオガス等	100%
			堆肥化（含水率80.0%）	485ト	37.3ト	堆肥	
			ガス化（含水率80.0%）	3,138ト	241.0ト	熱・バイオガス等	
し尿処理汚泥 (含水率98.0%)	5,447ト	41.8ト	ガス化	2,700ト	20.7ト	熱・バイオガス等	100%
			堆肥化	2,747ト	21.1ト	堆肥	
集落排水汚泥 (含水率98.0%)	7,986ト	61.3ト	堆肥化	4,686ト	36.0ト	堆肥	100%
			ガス化	3,300ト	25.3ト	熱・バイオガス等	
建設廃材	4,123ト	1,815.4ト	チップ化・資材化	4,100ト	1,805.2ト	燃料・資材	99%
製材残材	2,301ト	512.5ト	ペレット化・資材化	2,301ト	512.5ト	燃料・資材	100%
剪定枝・支障木	2,785ト	620.3ト	ペレット・コークス化	1,800ト	400.9ト	燃料	100%
			堆肥化・チップ化	985ト	219.4ト	堆肥・資材	

出展) 柏崎市バイオマスタウン構想 平成 22 年 2 月 28 日 (改訂)

## 3.5.2 バイオマスタウン構想策定事例 B（留萌市）

留萌市のバイオマス賦存量の現況集計値は、表 3.5.3 および表 3.5.4 に示したようなバイオマス分類項目について集計されている。

表 3.5.3 一般廃棄物

○ 一般廃棄物 (単位 t)						
種類	排出量	処理形態	利用率	利用先	備考	
生ごみ	3880	堆肥化	90%	市内農家	市民	
(生ごみ)	3145					
(紙類)	37	袋			袋、新聞	
粗大ごみ	319	破碎埋立	0%		粗大ごみ	
(剪定枝)	19	破碎	0%			
(木片)	118	破碎	0%			
不燃ごみ	2485	埋立				
(紙おむつ)	493		0%		収集と施設分	
(草類)	58		0%			
(浄化センターし渣)	9		0%			
(布類)	360		0%			
(革・ゴム類)	97		0%			
(生ごみ)	139		0%			
(紙類)	55		0%			
(木類)	33		0%			
刈り草 (河川、道路)	120		0%			
し尿汚泥	638		100%		堆肥生産組合	
森林間伐材		未調査	0%			
ダム・海岸流木		未調査	0%			
計	7442					

表 3.5.4 産業廃棄物

○ 産業廃棄物 (市内処分場での処理分) (単位 t)						
種類	排出量	処理形態	利用率	利用先	備考	
木くず	774		100%			
粕殻	560	堆肥&資材	10%			
水産加工残渣	260	肥料	100%			
畜産糞尿	850	堆肥	100%			
解体木くず	1138	焼却	0%			
紙くず	19	焼却	0%			
繊維くず	20	焼却				
計	3662					
○ 産業廃棄物 (市外処分場での処理分) (単位 t)						
下水汚泥	2222	埋立	0%			
有機汚泥	741	焼却	0%		水産加工等	
動植物性算さ	202	焼却	0%			
木くず	293	焼却、チップ	0%			
紙くず	29	焼却	0%			
繊維くず	20	焼却	0%			
輸入木皮	1430	堆肥	100%			
水産加工残渣	1281	肥料	100%			
解体木くず						
計	6773					
○ 産業廃棄物 (その他) (単位 t)						
食品 (もやし、おから)	590	肥料	100%			
管内下水道汚泥	400		0%		留萌市以外	
計	1990					



## a) バイオマスの利活用推進体制

市内のバイオマスタウン構想策定のための推進体制を母体として、市内の関係者間の協力体制を構築し、市全体の取り組みとして推進する。

- ・ 留萌市バイオマスタウン構想策定庁内推進チーム
- ・ 留萌地域バイオマスタウン構想策定推進協議会
- ・ 資源回収は、既設の廃棄物処理センター「美・サイクル館」を活用し、MMCS(亜臨界水処理設備)を活用した燃料・肥料原料生産については留萌バイオマス処理センター(株)が行う。

図 3.5.3 に「留萌市バイオマスタウン構想」の資源利用フロー図を示した。

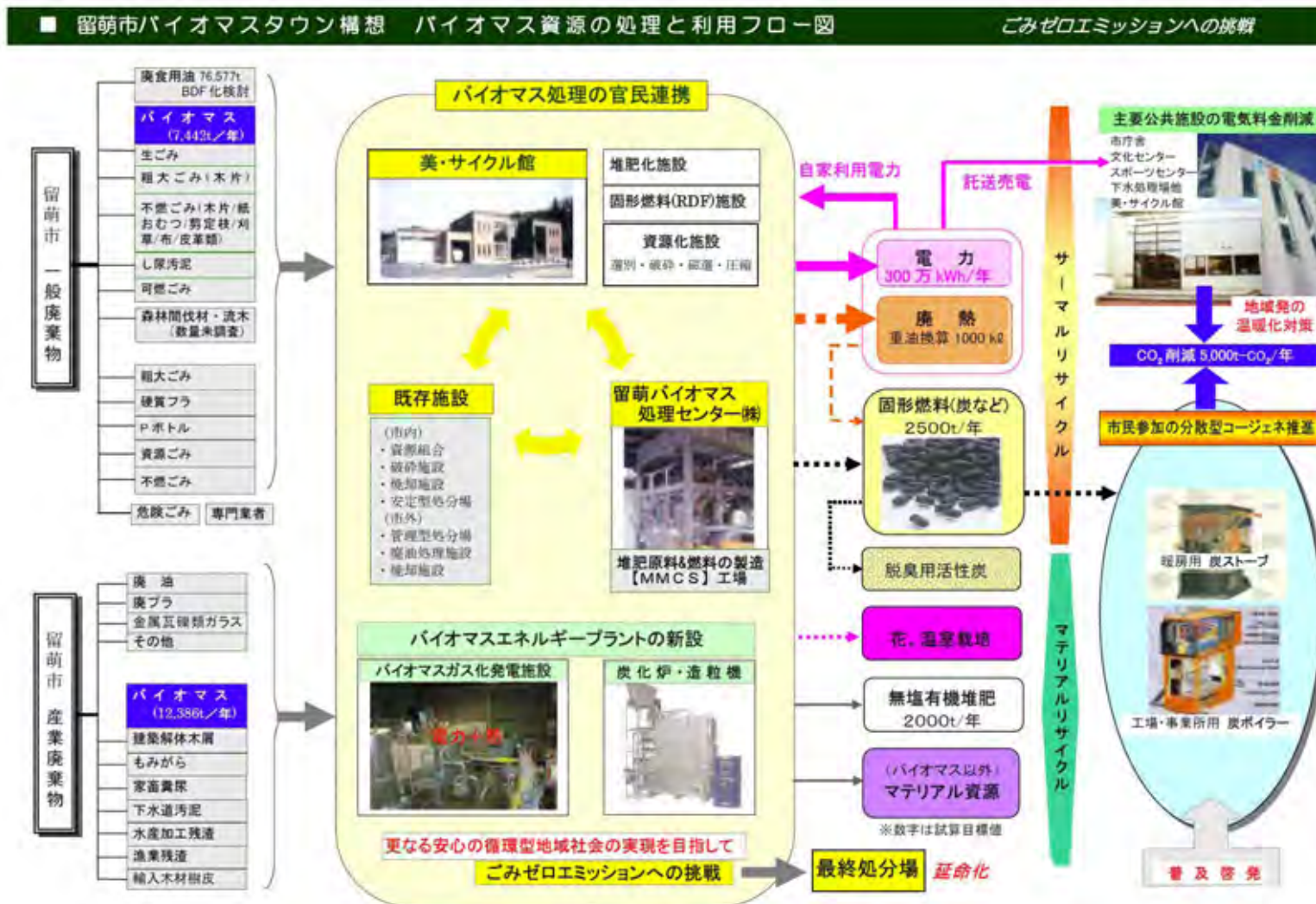


図 3.5.3 留萌市バイオスタウン構想の資源利用フロー図

## b) 取組工程

- ① H17.4 稼動予定の MMCS 工場において、下水汚泥や水産加工残渣、籾殻、木皮などを積極的に堆肥生産し、見学会などにより、機運を高める。
- ② ソフト支援事業を活用し、全体的な連携システムや、具体的な対策をまとめていく。
- ③ 木質ガス化プラント導入に関して、可能性調査を実施する。
- ④ MMCS の地域燃料活用の検討を進める。
- ⑤ 留萌バイオマスタウン構想を全国発信して、地域間交流や活性化を図る。

## 3.5.3 バイオマスタウン構想事例のまとめ

本章では、バイオマスタウン構想について導入される技術的側面を主として解説してきたが、今後、下記のような背景から、中国への先進的制度導入も考えられる。

バイオマスタウン構想は地域において発生する下水汚泥等の未利用バイオマスを網羅的に調査分析して対象地域内で総合的、計画的に利活用を促進する行政的インセンティブの制度である。この構想は、行政の枠を超えた地域全体の取り組みが必要となり、総合的利用により、利活用のレベルと質向上を図り、効率的資源循環による経済効果を狙いとし、国の認定事業として位置づけることにより予算の重点化を図るものである。こうした制度設計は、中国においてはこれからの状況にあり、日本の制度的仕組みを基本としつつ、中国における汚泥等の発生や他の未利用バイオマスの発生状況の特性に基づいた新たな制度設計の参考になると思われる。この構想の先には PFI 等の民活事業化があるが、現在のわが国の経済情勢においては、その具体化の進捗が遅い地域もある。しかしながら中国においては、経済成長の速度が速く、良好な制度設計の導入はしやすい環境にあると考えられ、中国における広域連携事業の仕組みづくりおよび今後の日中の技術研修交流のテーマとすることが考えられる。

## 4 中国に適した汚泥等資源循環技術の評価検討

本章では、中国の都市汚泥処理処分に関する現地ヒアリング調査結果と関連機関の資料および文献調査を実施し、まず処理処分実態を把握し政策動向について調査した。また中国における処理処分の課題分析を行い、汚泥性状等の特性を含めた考察のうえで、現在日本で開発されているバイオマス資源化技術について、特に先進技術と目される「亜臨界水反応技術」との対比により考察し、中国に適した汚泥等の資源循環技術の評価検討を行った。

### 4.1 中国の都市汚泥の処理処分の実態と近年の政策動向

#### 4.1.1 中国の都市汚泥の処理処分現状

##### (1) 汚泥の発生現状

1980年代後半から、中国大都市では下水処理場が次々と建設され、1990年代後半に入ると、下水処理場数と規模は著しく増大した。2009年末現在、中国で運行している下水処理場（城鎮）は、全部で1,993カ所あり、下水処理能力は10,560万 $\text{m}^3$ /日（2008年より13%増加）に達している。そのうち都市下水処理場は、1,368カ所で全国の69%を占め、処理能力は9,271万 $\text{m}^3$ /日で全国の88%を占める。中国における都市排水量、都市下水処理場能力、下水処理率（日本の下水道普及率に相当）の変遷は図4.1.1に示す通りである。また、2009年末現在、全国建設中の下水処理場数は2,360カ所で、処理能力は6,400万 $\text{m}^3$ /日に達する見込みである<sup>1)</sup>。

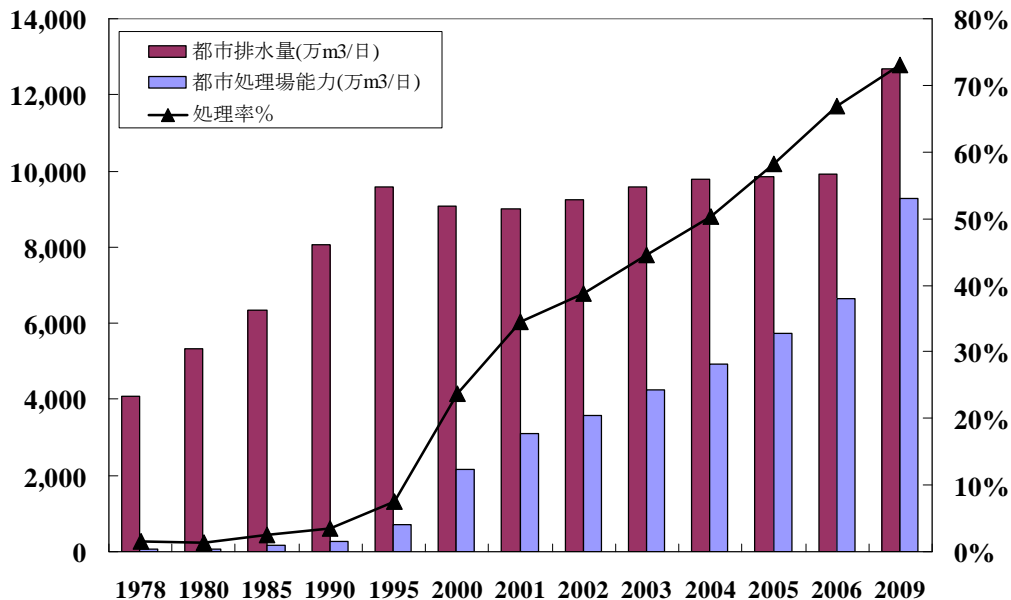


図 4.1.1 中国における都市排水量、都市下水処理場能力、下水処理率の変遷

出典：住宅都市農村建設部「城市建設統計公報」

中国の下水処理能力および下水処理率の急速な向上に伴い、下水処理場の汚泥発生量も大幅に増加している。2009 年末現在、都市下水汚泥の発生量について、含水率 80%の湿汚泥ベースでは、約 2,800 万 t/年 (7.7 万 t/日)、乾燥ベースでは約 560 万 t/年 (1.5 万 t/日) と推定され、日本の下水汚泥量の約 2.5 倍 (2007 年、225 万 DS-t/年) である。図 4.1.2 は全国都市下水処理場から汚泥発生量の変遷を示す。汚泥の処理処分は汚水処理量の増加に追いつかず、大量の汚泥が完全かつ安全に処理処分されていないという、非常に深刻状況となってきた。

今後 10 年～20 年間、下水処理量と処理水準は大幅に発展し、さらに多くの汚泥が発生するとみられる。中国環境保護部環境計画院の報告書によると、2020 年および 2030 年に、都市下水処理場から発生する湿汚泥 (含水率 80%) の量は、それぞれ 4,400 万 t/年および 6,480 万 t/年に達すると予測されている。また、2008 年の各省および直轄市の下水汚泥発生量 (推定値) は表 4.1.1 に示す。広東省、江蘇省、上海市、山東省、浙江省等の経済が発展している沿海地域の都市下水汚泥の発生量が多く、内陸部が比較的少ない。

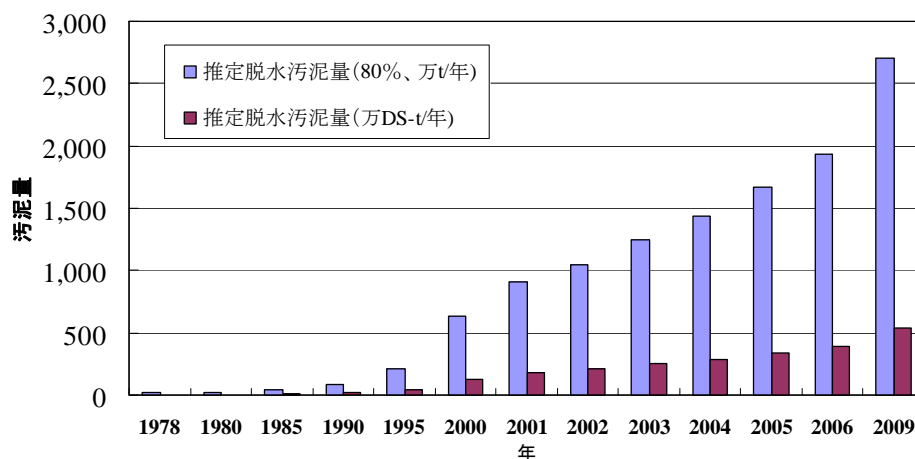


図 4.1.2 中国における都市下水処理場の汚泥発生量の変遷

出典：調査団、住宅都市農村建設部「城市建设統計公報」による推定

表 4.1.1 各省および直轄市の下水汚泥発生量 (2008 年)

省および直轄市		推定脱水汚泥量 (80%、万 t/年)	推定脱水汚泥量 (万 DS-t/年)
全国	National Total	2,104	421
広東省	Guangdong	235	47
江蘇省	Jiangsu	201	40
上海市	Shanghai	180	36
山東省	Shandong	174	35
浙江省	Zhejiang	140	28
遼寧省	Liaoning	112	22
河南省	Henan	100	20
北京市	Beijing	98	20
湖北省	Hubei	94	19

省および直轄市		推定脱水汚泥量 (80%、万 t/年)	推定脱水汚泥量 (万 DS-t/年)
河北省	Hebei	90	18
四川省	Sichuan	78	16
安徽省	Anhui	66	13
福建省	Fujian	53	11
重慶市	Chongqing	48	10
天津市	Tianjin	46	9
湖南省	Hunan	44	9
山西省	Shanxi	39	8
吉林省	Jilin	37	7
雲南省	Yunnan	35	7
広西自治区	Guangxi	32	6
黒竜江省	Heilongjiang	32	6
江西省	Jiangxi	30	6
新疆自治区	Xinjiang	30	6
内モンゴル自治区	Inner Mongolia	26	5
陝西省	Shanxi	25	5
甘肅省	Gansu	17	3
寧夏自治区	Ningxia	14	3
海南省	Hainan	13	3
貴州省	Guizhou	12	2
青海省	Qinghai	5	1
チベット自治区	Tibet	0	0

出典：2009 中国環境統計年鑑

中国におけるし尿処理の変遷は、都市し尿の農村還元（70年代前半まで）—都市化の発展と化学肥料の使用によるし尿の農村還元の崩壊（70年代後半）—し尿処理施設の建設（80年代）—水汚染などの発生（90年代から）—汚水処理場の建設（最近10年）というルートを経て来た。近年、都市から発生したし尿はし尿処理施設で前処理された後、上澄液は下水処理場へ排出され、沈殿物は汚泥処理施設やゴミ埋立処分場で最終処分される。図 4.1.3 は都市のし尿運搬量と無害化処理量の変遷を示す。

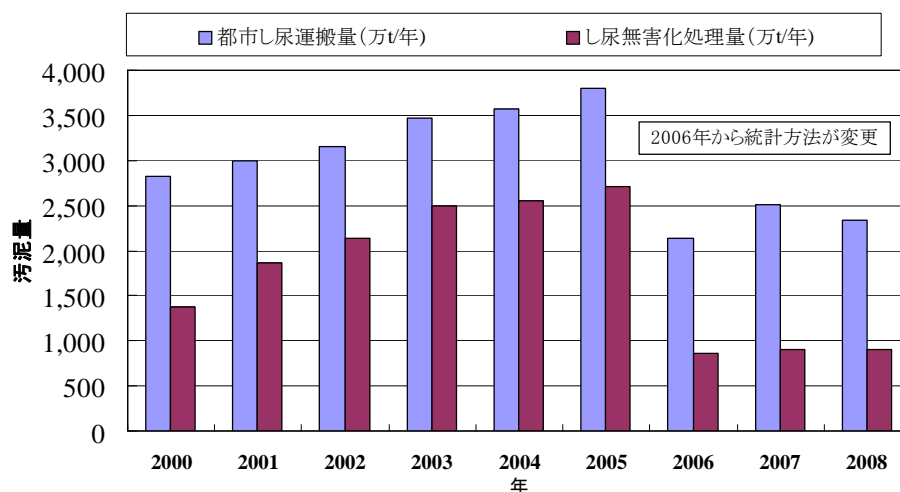


図 4.1.3 中国における都市のし尿運搬量と無害化処理量の変遷  
出典：国家統計局、環境保護部「中国環境統計年鑑」（2001年～2009年）

(2) 汚泥の処理処分現状

a) 汚泥の処理現状

図 4.1.4 は既存下水処理場における汚泥の処理に関する統計結果を示す。

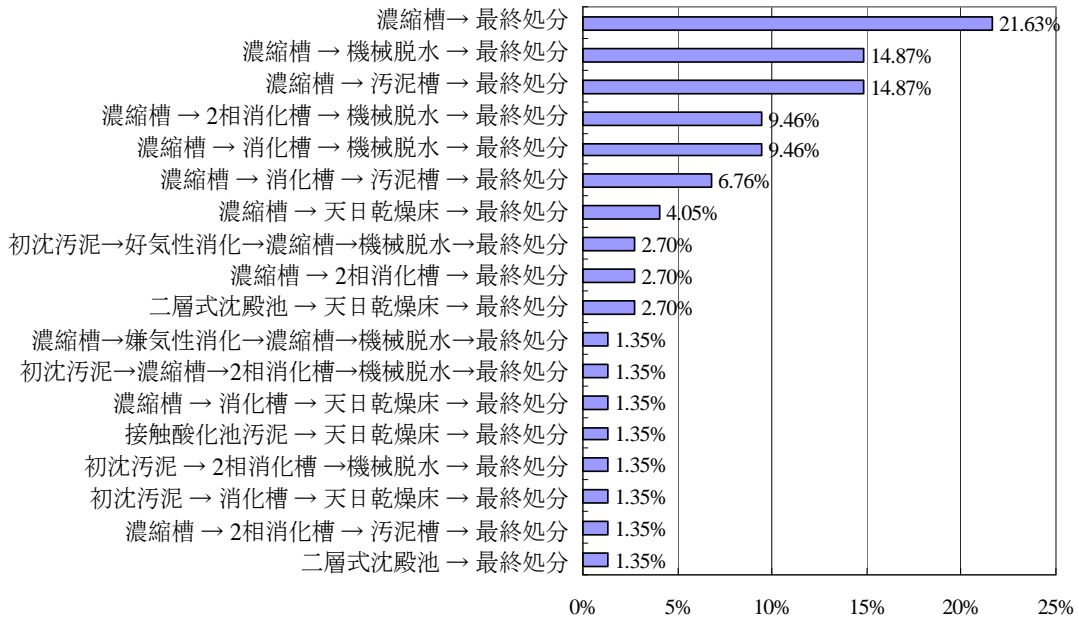


図 4.1.4 中国における下水汚泥処理技術

出典：都市下水汚泥の処理及び処分<sup>3)</sup>

以下、汚泥濃縮、汚泥安定化、汚泥脱水技術の現状と特徴について示す。

b) 汚泥濃縮

汚泥濃縮は主に汚泥中の隙間水を下げることで、通常採用されているのは物理処理方法であり、主には重力濃縮法、浮上分離濃縮法、遠心濃縮法等で、それらの処理に必要なエネルギー消費量は表 4.1.2 のように示されている。この表から、初沈汚泥を重力濃縮した場合が最も経済的処理となっている。活性汚泥の余剰汚泥は、濃度が低く、有機物含有量が高く、濃縮が困難で、重力濃縮の採用には適さず、浮上濃縮か遠心濃縮が必要であるが、濃縮設備は複雑で、費用が高く、中国の国情には適さない。したがって、現在中国国内では活性汚泥の余剰汚泥と初沈汚泥を共通の重力沈殿濃縮槽に返すことで、活性汚泥の凝集効果により余剰汚泥と同時に濃縮する重力法を当面の主要な汚泥濃縮法としている。また中国の趨勢では経済状態と資金不足および汚泥中の有機物含有量が低いという背景のもとで、重力濃縮法を依然として国内の今後主要な汚泥減容化手段として採用している。

表 4.1.2 汚泥濃縮エネルギー

濃縮方法	汚泥種類	濃縮後含水率 (%)	エネルギー消費原単位	
			乾燥ベース (kWh/t)	脱水汚泥当り (kWh/t)
重力濃縮	初沈汚泥	90～95	1.75	0.20
重力濃縮	余剰活性汚泥	97～98	8.81	0.09
浮上濃縮	余剰活性汚泥	95～97	131	2.18
ベルト遠心濃縮	余剰活性汚泥	91～92	211	2.29
回転ドラム濃縮	余剰活性汚泥	92～95	117	1.23

図 4.1.5 は濃縮法の適用率を示したもので、重力濃縮が大部分であるが近年は大都市の汚水処理場で外国製の機械濃縮機を導入するケースも多くなっている。

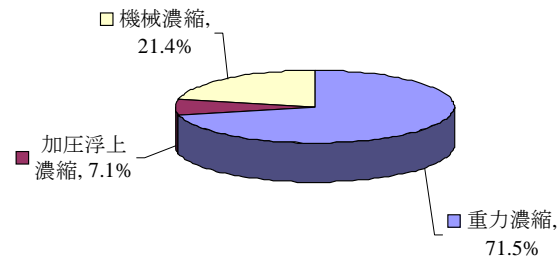


図 4.1.5 濃縮法の適用率

## c) 汚泥安定化処理

中国国内で現在適用されている汚泥安定化法には嫌気性消化と好気性消化および汚泥堆肥化の 3 つの方法である。近年汚泥堆肥化のうち高温堆肥化が試みられているが、まだ実証研究段階と考えられている。このほか熱分解と化学安定化法があるが、エネルギー消費が高くかつ中国の経済状況からすると普及は困難とみられる。

図 4.1.6 に各種汚泥安定化法の適用率を示したものである。基本的には、嫌気性消化と汚泥安定化無し、すなわち、濃縮・脱水後埋め立て処分等が行われている率が 60%程度もあることになる。

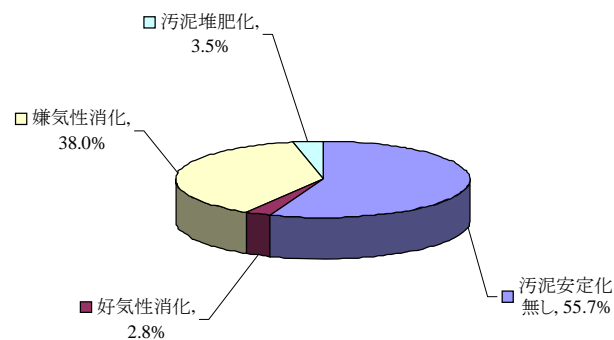


図 4.1.6 各種汚泥安定化法の適用率

汚泥の安定化で通常採用されるのは中温(35℃)嫌気性消化である。中国国内ではこの方法を大規模汚水処理場の 10 数カ所で採用しており、汚泥消化後で、有機物の含有量を減らし、減容化を図っている。しかし消化設備の技術が複雑なため、1 回限りの投資は大きく、運転は難しいとされている。汚泥の嫌気性消化によるメタンガス回収利用施設の費用は、およそ汚水処理場投資の約 30%前後を占めており、その上大部分が投入経費と設備費である。消化槽の実際の運転状況を調査すると、予想通りの



効果を達成しているところは少数とされている。メタンガスの利用には経済性と安全性に問題があるが、比較的良好な天津市東郊污水处理場のような処理場では、設計汚水処理量 40 万 m<sup>3</sup>/日で、汚泥は 2,460m<sup>3</sup>/日(含水率 96%)、メタンガス生成量 13,300m<sup>3</sup>、4 台の 248kW 発電機による発電で、27,000kWh/日を発電し、電気ネットワークに接続している例もある。

#### d) 汚泥脱水

中国国内の脱水方法の主なものは機械脱水であり、乾燥床方式は気候的制限が少ない地域で採用されている。図 4.1.7 は各種脱水方法の適用率を示したものである。汚泥脱水を行っていない処理場が多く、約 50%に上る。次いで多いのがベルトプレス脱水であり、乾燥床方式が比較的多いところに特徴がある。真空脱水は 1%強とシェアは小さい。

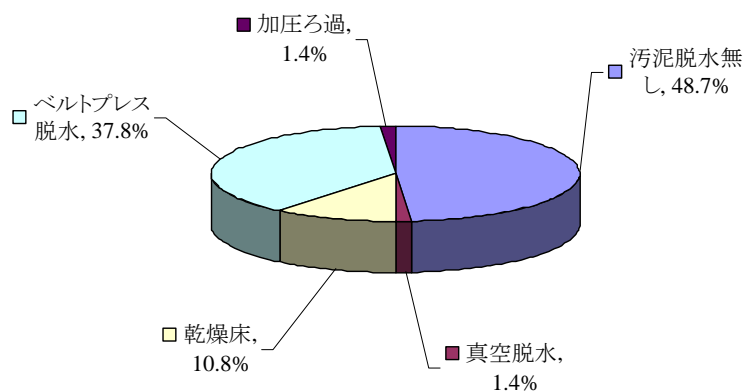


図 4.1.7 各種脱水方法の適用率

#### e) 汚泥の最終処分現状

中国では汚泥の最終処分方式として、埋立、综合利用（農地林地利用、建材利用等）、焼却が行われている。中国では汚泥処理処分に関する統計データの整備が遅れており、かつ情報源により数値が異なる。図 4.1.8 は、北京市市政工程設計研究総院の杭世珺副総工程師の発表資料と中国環境保護部環境計画院の報告書の二つの情報について、汚泥最終処分の統計結果を図 4.1.8 に示した。

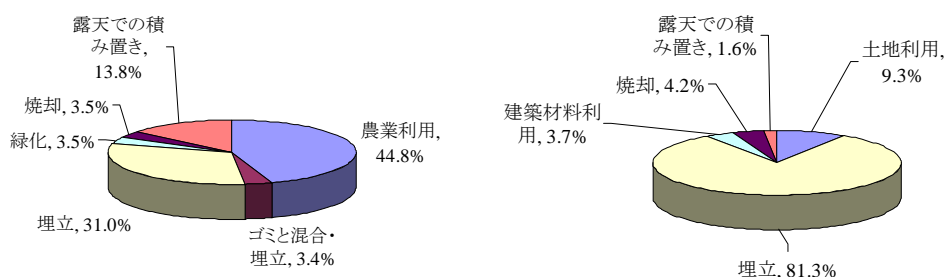


図 4.1.8 中国の汚泥最終処分現状統計

出典：左—北京市市政工程設計研究総院の杭世珺<sup>4)</sup>、右—中国環境保護部環境計画院<sup>2)</sup>

埋立処分は比較的容易で、低コストのため、全国的に汚泥最終処分の主流となっている。しかし、急速な都市化に伴い、ゴミの排出量も増加しており、汚泥の埋立用地（ゴミ処分場用地）の確保がますます困難になっている。さらに、近年埋立時の汚泥の含水率は 60% 以下と規定されたため、コンポストと土地利用のケースも増えてきた。一方、処理の速度および量的な対処が求められる大都市では、汚泥焼却の導入も開始した（上海石洞口下水処理場、規模は含水率 70% の湿汚泥ベースで約 200t/日、2005 年運転開始）。

一部の都市の下水汚泥の性状について、表 4.1.3 にまとめた。中国と先進国との下水汚泥の性状の違いに、中国の下水汚泥の有機物含有量が相対的に少ないことが挙げられる。同時に中国のほうは重金属が相対的に高く、汚泥の農用基準を超過するケースが多い。

表 4.1.3 中国において一部の都市の脱水汚泥の性状

	含水率 %	有機分 %	重金属 (mg/kg-DS)						
			As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Zn
中国農用基準 (pH<6.5) GB4284-84	—	—	75	5	600	250	5	300	500
中国農用基準 (pH>6.5) GB4284-84	—	—	75	20	1,000	500	15	1,000	1,000
北京高碑店下水処理場 (100 万 m <sup>3</sup> /日)	約 80		9.5 -	8.3 0.9	207 26.3	443 8.3	52 12.4	100 47.4	1,400 <sup>a)</sup> 258 <sup>b)</sup>
天津記庄子処理場 (40 万 m <sup>3</sup> /日)	約 75	48-53	17.9	5	565	486	8.5	669	1,355
吉林市下水処理場 (30 万 m <sup>3</sup> /日)	約 72	約 53	13-17	1.0-1.1	85-106	136-147	16-20	39-52	570-620
大連旅順下水処理場 (3 万 m <sup>3</sup> /日)	約 68	41-44	11-13	1.0	1,000	260-280	7.8-17	60	760-800
嘉興下水処理場 (30 万 m <sup>3</sup> /日)	68-85	40-43	22-51	12-24	2,700	2,000	0.5-0.7	47-150	6-7,000
重慶市鷄冠石下水 処理場 (60 万 m <sup>3</sup> /日)	57-60	57-60	10	1.1	145	140	1.4	57	420
武漢市南太子湖処 理場 (10 万 m <sup>3</sup> /日)			31	1.2	92-96	156-172	2.8-3.3	73-89	13,000
日本 (参考)		70-80	15	3	100	300	1.2	50	900

出典：中国環境保護部環境計画院<sup>2)</sup>、インターネット情報等より調査団作成、赤字：基準 (pH>6.5) 超過、a)：1977 年のデータ、b)：1997 年のデータ

中国においてはコストの制約が大きいため、本調査では汚泥の処理処分コストに関する情報を収集し、表 4.1.4 にまとめた。

表 4.1.4 中国において汚泥の処理処分コスト

処理処分法	建設費 (万元/ t /日)	O/Mコスト (元/ t)	備考
衛生埋立	3~5.5 (普通型) 10~15 (環境配慮型、内浸出液 処理 1~5 万元/m <sup>3</sup> )	70~80 (浸出液収集処理 有り、15~30 元/m <sup>3</sup> )	運搬距離：50km 以内 処分前汚泥含水率：80% O/M コストが高くなる傾向がある
堆肥	10~15	120~300 (政府からの補助 金を含まず)	処分前汚泥含水率：80% 肥料販売：約 30~60 元/ t 増加する傾向がある
熱乾燥	38~43	170~250	運搬費考慮せず 汚泥含水率：80%→10%
建材利用	32~36	-	セメントキルンに投入・混合焼却 処分前汚泥含水率：80%
焼却	40~60	500~1,000	運搬費考慮せず

出典：中国環境保護部環境計画院<sup>2)</sup>、上海市市政工程設計研究総院内部資料、インターネット情報等

### (3) 汚泥の処理処分に関する政策現状

2007 年までに、下水汚泥の処理処分に関しては、次の 3 つの基準が定められているが、下水汚泥に特化した政策や方針は定められていない。

- ① 「汚泥の農業用規制基準」(GB 4284-84)
- ② 「都市と町(鎮)のゴミの農業用規制基準」(GB 8172-87)
- ③ 「都市下水処理場の汚染物排出基準」(GB18918-2002)

2007 年から、下水処理能力および下水処理率の向上に伴い、汚泥処理に関する多くの問題が露呈し、汚泥処理処分に関する政策作りが加速している。最近、住宅都市農村建設部および国家標準化管理委員会が、「都市と町の下水処理場の泥処理」に関する一連の基準を公布し、2009 年より施行している。表 4.1.5 に近年公布された汚泥の処理処分に関する基準を示す。

表 4.1.5 中国における汚泥の処理処分に関する基準

No.	内容	備考
1	都市下水処理場汚染物排出基準 (GB18918-2002)	環境総局 (現環保部)
2	生活ゴミ埋立処分場の汚染規制基準 (GB16889-2008)	環保部 (埋立時の汚泥の含水率は60%以下と規定)
3	都市下水処理場汚泥質 (GB 24188-2009)	建設部
4	都市下水処理場汚泥処分 混合理立基準 (GB/T 23485-2009)	建設部
5	都市下水処理場汚泥処分 緑化用基準 (GB/T 23486-2009)	建設部
6	都市下水処理場汚泥処分 土壌改良用基準 (GB/T 24600-2009)	建設部
7	都市下水処理場汚泥処分 焼却用基準 (GB/T 24602-2009)	建設部
8	都市下水処理場汚泥処分 煉瓦用基準 (CJ/T 289-2009)	建設部
9	都市下水処理場汚泥処分 農地用基準 (CJ/T 309-2009)	建設部 (GB 4284-84 が失効)

出典：各種資料より調査団作成

#### (4) 汚泥の処理処分に関する管理体制現状

日本と同様、中国においても家庭から排出される廃棄物と下水汚泥とは管轄する省庁が異なる。表 4.1.6 に下水汚泥の管理に関わる省庁とその役割を示す。

表 4.1.6 中国における下水汚泥の管理に関わっている省庁とその役割

省庁名	主な役割
国家発展改革委員会	汚泥の処理処分施設の投資審査、下水道料金改定の承認等
建設部	下水道の所管省庁、下水汚泥に関連する基準作成、汚泥の処理処分施設の計画作成、汚泥の埋立場の管理 (環衛局を所管) 等
環境保護部	下水処理場の処理水排出基準・汚泥農業利用基準等作成、処理場排水・汚泥処分場・土壌等に対する監視等
水利部	水資源の管理から下水道や排水処理事業の予算編成に関わっている。地方水務局を所管等
衛生部	飲料水水源とする汚泥処分場周辺地下水の水質に対する監視等
農業部	農作物に対する安全監視等

出典：各種資料より調査団作成

## 4.1.2 下水汚泥等の処理処分の課題

中国ではこれまで、排水処理を重視し、汚泥の処理処分を軽視する傾向があったため、汚泥の処理処分が遅れており、問題が顕在化している。中国の下水汚泥等の処理および最終処分に関する主な課題を表 4.1.7 と表 4.1.8 にまとめた。

表 4.1.7 中国における下水汚泥等の処理に関する主な課題

項目	主な課題
低汚泥処理率と技術の課題	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 都市汚水処理場の汚泥処理技術の投入は整っていない。</li> <li>2) 汚泥濃縮、消化安定化、脱水処理を行っている処理場は 26% で、中国の 70% 以上の汚水処理場は汚泥の処理技術を完備していない。</li> <li>3) 脱水・乾燥化技術はまだ普及していない。</li> </ol>
汚泥処理技術設備の課題	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 一部の汚泥処理技術は基本的に国内の下水汚泥の特性に合わないものがあり、採用した技術に対して必要な調査研究が不足している。</li> <li>2) 汚泥処理設備も比較的立ち後れている。性能が悪く、効率が低く、エネルギー消費が高くなる時期があり、専用設備は少なく、標準化と系列化を形成することができなかった。</li> </ol>
汚泥処理管理レベルの課題	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 大部分の汚水処理場の管理人員と操作人員の技術力は十分でない。管理経験が不足し、有効な生産を組織することが困難である。</li> <li>2) 技術者補充は少なく、それぞれの専門の組み合わせがないため、生産上の問題が発生した場合、どのように処理しているかがわからないままである。ある汚水処理場では汚泥処理システムが長期にわたり運行休止するほかない状態である。</li> <li>3) 汚水処理場の管理水準を高めて、早期に科学的管理の整備をすることが汚泥処理システムの長期運転を実現する鍵となる。</li> </ol>
汚泥処理レベルの課題	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 汚泥処理の方面ではまだ実践と設計の経験が不足している。特に汚泥処理システム全体のレベルについて経験が少ない。</li> <li>2) 多くの処理場では装置建設の後で比較的大きな技術改造を行うなど人力、物資と財力の極めて大きい浪費をもたらしている。</li> </ol>
汚泥処理投資の課題	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 中国の汚泥処理投資は汚水処理場の総投資の 20%～50% を占めており、先進国の汚泥処理投資比率 50%～70% と比較すると低い。</li> </ol>

出典：各種資料より調査団作成

表 4.1.8 中国における下水汚泥等の最終処分に関する主な課題

項目	主な課題
全般	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 汚泥の最終処分施設が極めて不足している（投資不足）。</li> <li>2) 汚泥の最終処分施設の稼働率が悪い（経費は地方負担、下水道料金が安い：約1元/m<sup>3</sup>、しかも汚泥処理費が殆ど考慮されていない）。</li> <li>3) 工場廃水の流入により汚泥の重金属濃度が高いため、病原性微生物や重金属汚染等により二次環境汚染（減少の傾向もある）が引き起こされる。</li> <li>4) 不適切な最終処分汚泥により二次環境汚染が引き起こされる。</li> <li>5) 汚泥の最終処分に関する技術体制の未整備、ほとんどの都市で汚泥の最終処分に関する長期計画（M/P等）がない。</li> <li>6) 統計データ（データ（量と質と処分先）整備が遅れている。</li> </ol>
埋立	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 埋立用地の不足。</li> <li>2) 埋立地の遠隔化に伴い、運搬費が高騰（民間業者に委託する場合、コスト削減のため違法投棄の例が多い）。</li> <li>3) ゴミ埋め立て処分場の「泥沼化」。</li> <li>4) 有害物質が流出し、表流水のみならず土壌、地下水等への二次汚染を引きこす。</li> <li>5) 有機物発酵により発生したメタンガスが「爆弾化」し、地球温暖化の原因にもなる。</li> <li>6) 厳しい規制値（含水率&lt;60%）クリアのためには、従来の機械脱水法等より高度な技術の導入が必要。</li> </ol>
堆肥と農地利用	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 市販有機肥料と比べ、堆肥の品質が低い。</li> <li>2) 生産コストが高い（複合肥料の場合、各種添加物が必要）。</li> <li>3) 運転管理経験が浅い。</li> <li>4) 農地および農作物に対するモニタリング体制の不備。</li> <li>5) ユーザー（農民等）側に対する科学的指導の不足。</li> </ol>
乾燥	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) エネルギー消費量が多く、コストが高いため、処理施設の経営を圧迫。</li> <li>2) 乾燥された汚泥の再利用。</li> </ol>
建材利用	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 運転管理経験が浅い。</li> </ol>
焼却	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 設備および運転費用が高く、応用はまだ少なく（小規模が多い）。</li> <li>2) 焼却システムに関する研究開発、設計、操作、メンテナンス等において系統的な研究がない。</li> <li>3) 熱発電所での汚泥焼却プロジェクトでは、熱発電設備の故障や電力供給の季節変動による運転停止や減産が処分に大きな影響を与える。</li> <li>4) ダイオキシン等焼却中の汚染物による二次環境汚染。</li> <li>5) 焼却施設周辺の住民の反対。</li> </ol>

出典：各種資料より調査団作成

#### 4.1.3 中国の下水汚泥等の処理処分動向

下水汚泥の処理処分について、中国中央政府（建設部・環境保護部・科学技術部）は2009年2月、「都市下水処理場汚泥処理および汚染防止技術政策（試行）」を公表した。汚泥の減容化、安定化および無害化を実現した上で、汚泥中のエネルギー・資源の回収および利用を奨励している。また、安全、環境保全および経済的という前提の基、汚泥の処理処分および综合利用を行い、省エネ・排出削減および持続発展的循環型経済を達成することを明確にした。

中国における下水汚泥の処理処分に関する動向について、表 4.1.9 にまとめた。

表 4.1.9 中国における下水汚泥等の処理処分に関する動向

項目	内容
政策、法制度	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 2009年建設部・環境保護部・科学技術部により「下水処理場汚泥処理処分及び汚染防止技術政策（試行）」発行。</li> <li>2) 2009年建設部が汚泥の処理処分に関する新しい基準を発行。</li> <li>3) 各地方政府は、汚水処理費（下水道料金）の徴収水準を上げて、汚水処理費の中に汚泥処理処分の運転管理費用を加算する。</li> <li>4) 多元化した投資および運営メカニズムを作り、様々な形で社会資金を汚泥処理処分施設の建設および運営に導入することを奨励する（民営化および外資導入）。</li> <li>5) 上海、深センおよび重慶等の大都市は汚泥処理特別計画を展開しており、国レベルでは、第十二次五カ年計画では、汚泥処理に関する政策を提案する予定。</li> </ol>
管理体制	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 監視システムの強化（建設局、環境保護局、環境衛生局との連携強化も）。</li> <li>2) 城鎮汚泥処理場、汚泥運搬業者、汚泥受入業者の間に汚泥トランジットマニフェスト制度を導入し、マニフェストを定期的に所管部門に提示しなければならないと規定。</li> <li>3) 汚泥処理処分業者と運搬業者に対して、完備な分析、測定、記録、保存と報告管理制度の制定および処理処分後の汚泥と副産物の行方と用途の調査報告などを義務づけている。</li> </ol>
財政	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 地方財政から補助金等で、汚泥処理処分の費用を賄う。</li> <li>2) 各地方政府は、汚泥処理処分施設の建設への資金投入に力を入れる。</li> <li>3) 国家奨励の汚泥処理処分技術や設備に対して、財政と税務上の優遇政策を適用する。</li> </ol>
技術、研究・開発	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 汚泥処理処分の技術路線を統一した（汚泥処分方式は、汚泥性状と各地の地域的特性、環境条件、地域の経済社会の発展水準などの要素を考慮して決定する）。</li> <li>2) 下水汚泥の濃縮技術にとって、中国国内の都市下水汚泥は有機物含有量が低いため、重力濃縮を採用するのが依然として経済性があり、効果のある減容化の方法である。</li> <li>3) 汚泥安定化として汚泥堆肥は中国の国情に合った安定技術として提唱される。</li> <li>4) 汚泥の最終処分として汚泥の土地利用は中国の国情に合う方法であるため、推奨される傾向。</li> <li>5) 国家レベルでの研究開発の強化（研究費増加等）。</li> <li>6) 汚泥乾燥化、炭化、焼却、建材利用に関する研究。</li> </ol>

出典：各種資料より調査団作成

## 4.2 中国の廃棄物処理処分の現状、課題、動向

### 4.2.1 中国の廃棄物処理処分の現状

中国の固形廃棄物は、都市生活廃棄物（都市ゴミ）、工業固形廃棄物（産業廃棄物）と危険廃棄物（有害廃棄物）の3つに大きく分類されている。

#### (1) 廃棄物の発生現状

統計によると、2008年、中国都市部と県・鎮の生活ゴミ収集・運搬量はそれぞれ1.54億t、0.5億tとなっている。農村部のゴミ収集・運搬量は約1.16億tと推定されている。これらを合計すると、全国の年間の生活ゴミ収集・運搬量は3.2億tとなる。人口ベースで推定すると、年間の生活ゴミ発生量は3.65億tとなり（都市部1.0kg/人/日、農村部0.5kg/人/日のゴミ発生量）、両者はほぼ一致している。生活ゴミの年増加率は8～10%と高く、特に北京、上海等の大都市では15～20%となっている。

（参考：日本の2007年の一般廃棄物発生量は5,082万t。2006年と比べ2.3%減少した。）

一方、2008年中国産業廃棄物の発生量は19.0億tとなっているが、その発生量に対する処分率は25%程度にとどまっている。世界銀行が中国固形廃棄物に関する調査を実施した結果、中国はすでにアメリカに代わり世界最大の廃棄物発生国となっている。

#### (2) 廃棄物の処理処分現状

中国の都市において、2004年の生活ゴミの無害化処理率（＝生活ゴミ無害化処理量/生活ゴミ発生量×100%）は51.7%となっている。無害化処理とは衛生埋立、堆肥化、焼却等の環境負荷を防止する処理方法を指しており、衛生埋立が85.2%を占めている。堆肥化は4.3%、焼却は9.8%に過ぎないが、最近では焼却施設の増設により、焼却量も急増している。残りの48%（簡易処理を含む）は、都市の周辺、川や湖の土手等に投棄されている。

第十一次五カ年計画によると、2010年までに30万t/日の生活ゴミ処理施設を新たに建設する予定である。実現した場合、2010年末には、中国都市部の生活ゴミ無害化処理率は60%となる見通しである。

**表 4.2.1** に中国と先進国の生活ゴミ成分の性状をまとめた。中国の生活ゴミの性状と先進国の区別は、中国の生活ゴミ中に食品等の分解し易い廃棄物の含有量が高い（一般的に50%で、先進国は20%程度）ことである。同時に中国のほうは含水率が10%～50%で相対的に高いが、先進国は30%程度である。中国の生活ゴミのC/Nは低く、約20:1で、先進国は50:1程度である。



表 4.2.1 中国と先進国の生活ゴミ成分の性状の比較

国家/都市	有機物 (%)						無機物 (%)				統計年
	食品	紙類	プラスチック	織物	竹木	合計	金属	ガラス	残土	合計	
中国	49.3	6.7	10.7	2.1	2.8	71.6	1.0	3.0	24.4	28.4	2000
米国	23.1	39.3	13.3	4.0	5.5	85.2	7.8	5.4	1.5	14.8	2000
EU	25.0	35.0	11.0	2.0	-	73.0	3.0	6.0	18.0	27.0	2000
ニューヨーク	22.0	44.8	5.1	4.0	-	75.9	8.0	11.9	4.2	24.1	1999
北京	56.0	11.8	12.6	2.8	8.5	91.7	1.7	3.8	2.8	8.3	1996
深セン	51.1	8.6	16.9	9.8	4.2	90.5	0.9	2.5	6.1	9.5	2000

出典：中国・廃棄物処分場からのメタンガス排出抑制 CDM 事業調査報告書<sup>5)</sup>

政府は2002年に「都市生活ゴミ処理費徴収制度・ゴミ処理産業化の促進に関する通知」を公布し、ゴミ有料化を推進してきた。これに伴い、各地の都市でゴミ有料化制度の導入が進んでおり、380以上の都市（全国の655都市の約60%）ではすでにゴミ処理費用を徴収していると言われている。ゴミ処理費用の徴収額は各地において異なるが、平均的に毎月3～10元/世帯程度である。

### (3) 廃棄物の処理に関する政策現状

「固形廃棄物環境污染防治法」が1996年に施行されており、これが中国における廃棄物に関する基本法となっている。同法は固形廃棄物による環境汚染の防止、人体の健康の保護を目的とし、固形廃棄物を有効利用・無害化処理することによって固形廃棄物の発生を抑制するという原則を掲げている。

2009年末までに、中国では合計35通の生活ゴミ処理や管理に関する法律や規定が公布された。その内訳は、法律が「固形廃棄物汚染環境防止法」1通、行政法規（条例）が「都市市容と環境衛生管理条例」1通、「都市生活ゴミ管理方法」等の部門規定が9通、「都市生活ゴミ処理及び汚染防止技術政策」等の指針類が24通である。中国の都市生活ゴミに関する主な管理基準を表4.2.2にまとめた。

表 4.2.2 中国における都市生活ゴミの管理基準

年月	内容	備考
1988年2月	都市農村ゴミ農業利用抑制基準	農業部
1992年8月	都市景観・環境衛生管理条例	国務院
1993年9月	都市生活ゴミ管理弁法	建設部
1994年2月	都市運搬野菜洗浄、廃旧物質回収作業強化、都市生活ゴミ低減運動に関する通知	農業部、建設部、国内貿易部
1998年2月	生活ゴミ埋立汚染抑制基準	環境総局（現環保部）
2000年5月	都市生活ゴミ処理及び汚染防止技術政策	環境総局、科技部、建設部
2002年6月	都市生活ゴミ処理費徴収制度・ゴミ処理産業化の促進に関する通知	国家發展改革委員会、財政部、建設部、環境総局
2005年4月	第十一次五ヵ年計画では全国都市生活ゴミ無害化処理施設建設計画	環境総局、発改委、建設部

出典：各種資料より調査団作成

## (4) 廃棄物の処理に関する管理体制現状

国務院の管轄下にある国家発展改革委員会、環境部、建設部および各省・直轄市政府がそれぞれの職務権限内において、固形廃棄物による環境汚染の防止および管理に関する責任を負っている。表 4.2.3 は廃棄物の管理に関わる省庁とその役割を示す。

表 4.2.3 中国における廃棄物管理に関わっている省庁とその役割

省庁名	主な役割
国家発展改革委員会	マクロ経済を担っており、ゴミ処理施設の投資審査、ゴミ料金改定の承認等。
建設部	生活ゴミの監督および処理施設の建設・管理を担当している。また、関連企画、製作、技術基準の制定、新しい技術の普及と教育養成も担当している。(各市県の環境衛生管理局の主管)
環境保護部	固形廃棄物による環境汚染を防止するため、全国レベルで工業廃棄物および有害廃棄物の管理を行っている。また、海外から輸入される鉄くず等のリサイクル可能な廃棄物原料の輸入の管理や、リサイクル企業からの汚染の監視・監督等も行っている
商務部	市中からの廃旧資源（再生資源）の回収および有効利用等を担当している。(市場の流通等を管理する)

出典：各種資料より調査団作成

## 4.2.2 中国の都市ゴミ処理処分の課題

中国における都市ゴミの処理処分にに関する主な課題は以下の通りである。

## (1) 処理能力が不足し、無害化処理レベルが低い

最近、各地で都市ゴミの処理処分に力を入れているが、過去に蓄積された問題などで、処理能力は依然不足している。市レベルの都市では、依然 40%の都市ゴミが無害化処理されていない。県レベルの都市では、無害化処理されていない都市ゴミの比率はさらに高く、約 90%となっている。

## (2) 政府からの資金投入が不足し、プロジェクトの財政補助率が低い

1980 年代から、都市環境衛生分野への財政投入額はずっと低い水準で推移してきた。公共部門への投入総額に対して、都市環境衛生分野への財政投入率は僅か 2.5%程度で、先進国平均の 10%に比べると、約 4 分の 1 程度でしかない。

コスト計算結果によると、民間企業が生活ごみ処理事業に参入した場合、焼却場は 100-150 元/ t、堆肥施設は 70-100 元/ t、埋立施設は 50-80 元/ t の財政補助が必要となる。しかしながら、実際には各地方政府からの補助金はこの半分程度となっている。

## (3) 資源の再利用率が低い

生活ごみの場合、各地の物質回収システムに入っているものも考慮すると、ゴミの資源化率は僅か25%程度である。ただし、ゴミ収集システムに入っているものを計算にいと、再利用率は僅か5%程度となる。

#### (4) 既存の処理施設のレベルが低く、環境汚染問題が深刻である

多くの処理施設は、臭気、ダイオキシン、浸出液の汚染、温室効果ガスの排出などの環境問題があり、国と業界の関係基準を達成することができていない。廃棄物処理施設の建設に周辺住民が反対しているため、処理施設の場所選定、環境影響評価、建設、運転管理に関して大きな困難に直面している。

### 4.2.3 中国の廃棄物処理処分の動向

中国における都市ゴミの処理処分にに関する動向は、表 4.2.4 にまとめている。

表 4.2.4 中国における都市ゴミの処理処分にに関する動向

項目	内容
政策、法制度	<ol style="list-style-type: none"> <li>2009年1月1日より、環境を保護改善し、持続可能な発展を実現するために循環経済促進法（基本法）が実施された。減容化、資源化、無害化を原則に、固体廃棄物による汚染を防止し、循環型経済を進展させ、資源節約型の環境にやさしい社会を建設するための重点分野を据える。</li> <li>市場メカニズムを積極的に活用し、社会投資を取り込んで、多元化された資金投入の枠組みを確立する。</li> <li>大連等の大都市において、第十二次五カ年計画では、ゴミ分類施設の建設を提案した。</li> <li>上海、寧波、長沙等の大都市では、「厨房ゴミ処理管理弁法」を制定し、今後厨房ゴミを統一収集し、特定場所にて集中資源化処理（飼料、バイオ・ディーゼル、油脂抽出・嫌気性発酵・発電）を行う。</li> </ol>
管理体制	<ol style="list-style-type: none"> <li>厨房ゴミに関する管理強化。廃棄油脂が発生する機構（レストラン、食堂など）は、廃棄油脂を法律に基づき、許可を得た収集、運送、処分機構に処理を依頼する。</li> <li>廃棄油脂と厨房ゴミの収集、運送、処分に従事する機構は、法律に基づき県レベル以上の環境衛生の主管部門に経営許可証を申請する必要がある。</li> <li>廃棄物理立場の浸出液処理・排出に対する監視強化。</li> </ol>
財政	<ol style="list-style-type: none"> <li>ゴミ処理費用の引き上げ。</li> <li>水道・電気・ガス供給企業を通じて徴収し、徴収率を向上する。</li> <li>補助金の引き上げ。</li> <li>ゴミ資源化処理技術や設備に対して、財政および税務上の優遇政策を適用させる。</li> </ol>
技術、研究・開発	<ol style="list-style-type: none"> <li>埋立の場合、地下水汚染防止、浸出液処理、ガス収集および再利用等の規制が強化される。</li> <li>大都市の焼却発電は増加する傾向。（ただし、大気汚染等で住民の反対が課題）</li> <li>国家レベルでの研究開発の強化（特に減容化、資源化、無害化技術）。</li> </ol>

出典：各種資料より調査団作成

### 4.3 中国への適用可能性評価

現在日本で開発されている「亜臨界水処理技術」を含めたバイオマス利活用技術について、以下中国での汚泥処理処分の課題分析を行い、中国への適用可能性について評価検討を行った。

#### 4.3.1 汚泥処理処分の課題分析

##### (1) 技術的課題分析

中国では多くの都市で汚泥処理自体は汚水処理場の必要な構成部分でないとの認識があり、このことが汚泥の処理率が極めて低くなっている原因とされており、都市汚水処理場の汚泥処理技術の整備は進んでいない。汚泥濃縮、消化安定化、脱水処理を行っている処理場は26%を占めているが、これは中国の70%以上の汚水処理場で汚泥の処理技術が完備していないことを示している。汚泥の安定化処理を持たない箇所は56%を占めている。安定化処理を経っていない汚水汚泥は環境に対して深刻な二次汚染を生じさせる。脱水・乾燥化を行っていない処理場は49%を占めている。

以上から、汚泥処理率を上げることの重要性が指摘されているものの、汚泥の資源化再生利用との視点からのアプローチはこれからの中国における大きな課題であることがわかる。この解決には汚泥資源化の技術的担保があることを示すことが重要であり、「亜臨界水処理技術」のように処理設備が単純で、処理操作と維持管理が容易な方式は、中国国状に極めて合致する方法であると考えられる。

##### (2) 汚泥処理技術設備の課題分析

現在、中国の一部の汚水処理場で採用している汚泥処理技術はすでに完成された一般的技術で、そのレベルは先進国の70、80の年代のレベルのものもある。その上一部の汚泥処理技術は基本的に国内の汚水の汚泥の特性に合わないものもあり、採用した技術に対して必要な調査研究が不足している。これは汚泥性状が特に砂やシルト成分やその他無機成分が多いことに起因している。また、汚泥処理設備も比較的立ち後れており、性能が悪く、効率が低く、エネルギー消費が高くなる時期もあり、専用設備は少なく、標準化と系列化を形成することができなかつたとしている。

このような背景から、中国の汚泥性状特性に合った、経済的、合理的処理処分および資源化技術が希求されており、今回の調査の中で経済性とは別に、様々な外国製の汚泥処理技術の導入を試みているものの、もともと汚泥性状の異なる条件で開発された技術であるため、その補修や管理性に大きな課題を残している処理場が多く見受けられた。この側面から複雑な機械設備がないため維持管理点検箇所が少ない、バッチ式亜臨界水処理設備は他の処理処分方法に対して比較的優位性の高い方法といえよう。

### (3) 汚泥処理管理レベルの課題分析

既設の汚泥処理施設は正常に運転することができず、技術レベル以外にも、管理レベルが低いのも重要な要素である。大部分の汚水処理場の管理人員と操作人員の素質は比較的十分なレベルにあると言い難く、管理経験は不足しており、有効な生産を組織することが困難な状況にある。技術者補充は少なく、それぞれの専門の組み合わせがないため、一旦、生産上の問題が発生した場合、どのように処理しているかが不明の状態となる汚水処理場では汚泥処理システムが長期にわたり運行休止するほかない状況となることもある。汚水処理場の管理水準を高めて、早期に科学的管理の整備をすることが汚泥処理システムの長期運転を実現する鍵となる。

従来の汚泥処理は基本的に減容化と安定化に主眼があるものの、設備選定および維持管理に関して汚泥性状の影響を考慮した、設計・維持管理方式と専門性を要求される。このような側面から判断すると、複雑な処理システムの組み合わせによる処理システムでの整備には制約条件が多い。この解決には、原汚泥の含水率や性状の影響をあまり受けず、設備構造が簡単であり、原汚泥のエネルギーの損失を最小限にしつつ資源化が可能な「亜臨界水処理技術」は中国にとって極めて有効な技術的手段となりうると考えられる。

### (4) 汚泥処理レベルの課題

中国の排水事業は急速に発展しており、汚水処理の設計と経験は比較的豊富になりその蓄積が進み、設計人材を大量に育成できてきた。しかし汚泥処理の方面ではまだ設計と実践の経験が不足しており、汚泥処理システム全体のレベルについて経験が少ない。既設の汚水処理場の汚泥処理状況は、機械的に運転しており、安定した運転ができなくなっている。多くの処理場では装置建設の後で比較的大きい技術改造を行うなど人力、物資と財力の極めて大きな浪費をもたらしている。

この背景においても、故障頻度が極めて小さく、操作が単純なゆえに維持管理要員が少なく済む亜臨界水処理技術は比較的大きい技術改造を必要としない点も含めて有望な技術である。

### (5) 汚泥処理投資の課題

中国の汚泥処理投資は汚水処理場の総投資の 20%～50%を占めており、先進国の汚泥処理投資比率 50%～70%と比較すると低い。

汚泥処理・処分投資は、今後、処分先の環境安全性の強化、環境への負荷に対する規制の強化が進み、ますます汚泥処理処分の投資は高くならざるをえない状況にある。

したがって、下水汚泥等を資源化再生することにより、そのバイオマスエネルギーやマテリアル価値を上げ、処理処分費用を回避できるシステムを構築が必要となる。

このためには、処理処分および資源化を含めた地域システムにおける総合的な経済分析が必要である。

#### 4.3.2 今後の汚泥等処理処分技術の動向

##### (1) 中国都市汚水汚泥処理の方向性

中国国内の今後の発展の勢いの中で、都市汚水処理事業への投資は大規模汚水処理場が主であり、各地区の経済発展状況による建設投資と共存する汚水処理場の建設投資に不一致がある。そのため汚水汚泥の処理に対して汚水処理場の位置環境、処理規模、資金源、経済技術水準に応じて中国国情に合った技術方法と技術設備などの適正化を確定していくとしている。

まず都市部の大規模下水処理場については、汚泥の安定化の経済的方法とし嫌気消化を推奨し、エネルギー回収利用の促進を図る方向にある。しかしながら、汚泥の有機物含有率が日本や西欧の汚泥に比較して相対的に低いため、メタンガス回収は、消化槽加温エネルギー利用にとどまっているところが多く、本格的な電力回収の試みはあるものの成功例は多くはないのが実情と推察される。このことは、メタン発酵効率を增強できる亜臨界水処理技術はその解決の一部を担うことが可能と考えられる。

一方、小規模汚水処理場については、一つの選択肢として長時間ばっ気が考えられる。これは汚泥齢が長いことため有機物分解は進んでおり、揮発分の含有量は随時減少し、そのエネルギーも次第に下がっているため汚泥は安定化しているとみられるからである。汚泥齢が十分に長い場合、好氣的安定化の結果は嫌気性消化にかなり接近する。しかしながら、長時間ばっ気法は、元来汚泥発生量を抑制するための方法であり、資源化利用を目的とする場合、汚泥発生は多いほうが経済的に有利となるケースもある。

もう一つの選択肢は生汚泥・余剰汚泥の直接脱水後、好気性微生物を利用した堆肥化が推奨されている。これは汚泥が腐植質に転換し、汚泥の悪臭は除去され、堆肥化の後は汚泥の安定化、無害化の程度が高く、経済的で簡便であり、高効率の低エネルギー消費型の汚泥安定化無害化技術として取って代わる技術と考えられている。しかしながら、表 4.1.2 に示したように維持管理費が 120～300 元/t かかり、通常堆肥としての販売価格が 30～60 元の状況においては、政府補助無しに堆肥化の収益事業は困難と考えられる。

このような事情から維持管理費が低減でき、かつ機能性を持つ有機肥料もしくは有機堆肥製造によって販売単価が高くできる方法が必要となる。単一設備で短時間に製造できる「亜臨界水反応」処理はそれにとって替わりうる技術になることが考えられる。

## (2) 中国の国情に合った安定技術

中国ではここ数年来、相前後していくつかの機械化堆肥工場を建設している。例えば無錫、杭州、武漢、上海などでは機械化堆肥の技術は発酵処理とその前後で比較的完備した技術設備を導入しており、製品品質の確保や運転操作性、環境に与える影響指など比較的高い堆肥技術のレベルを達成している。天津市の汚水処理研究所は紀庄子汚水処理場で行っている汚泥の高温堆肥試験と研究の中で、調節剤を加えないで、汚泥堆肥化の管理操作を簡単にすると同時に、工程と技術のパラメーターを抽出して、生産ラインの設計と建設のために技術的根拠を提供している。

1997年には、北京環境保護科学研究院は長年の研究成果を総括して、国内外の各種の機械化堆肥装置の利点を吸収した設計を行い、汚泥の動態型発酵器を開発している。この装置の効率は高く、エネルギー消費は低く、設備操作と管理が適切な装置である。汚泥の動態型発酵器の核心は、汚泥の複合肥料化の新技术のルートをつくることである。年産 5,000t の複合肥料生産装置であり、生産ラインは汚泥動態型発酵で、混合攪拌器、円盤造粒機、乾燥機、篩分機で構成されている。設備は安定的に運転でき、経済効果は高い。汚泥動態発酵無害化および汚泥堆肥技術は、北京市高碑店などの汚水処理場の汚泥処理処分に応用することとしており、北京市の汚水汚泥処分問題の解決に対して良好な役割を果たすことができるとしている。

汚泥堆肥化技術の高度化は中国の汚泥処理発展のベースとなっていくと考えられ、安全で安定的な処理ができ、かつ維持管理費が小さく、設置面積が小さい「亜臨界水処理」技術は経済性が確保できれば普及余地が大きいことになる。

## (3) 汚泥の土地利用の方向性

汚泥の処分方式の選択については、環境の生態保全効果と処理コスト、経済収益間の調和を求められる。中国の具体的な状況の中で一種の有効な汚泥の処分方法は環境上の衛生、社会上の経済効果が受け入れられるかどうかである。

汚泥の土地埋立については、汚泥の土質力学的性質に対する要求が高く、広面積の場所と大量の運送費用を必要とし、地下水汚染を防ぐため、基礎工事と浸出処理が必要である。埋立場の排気ガスは環境汚染の可能性があり、ここ数年来汚泥処分地の割合が減少している。

焼却の技術と設備は複雑で、エネルギー消費が高く、費用が割高であり、しかもダイオキシン等による大気汚染問題が残されている。また汚水汚泥の建築材料として用いる近年研究の段階の新しい課題があるため、まだ解決を必要とする多くの技術的難題がある。そのため、上述した何種類かの方法については中国で使用制限を受ける。

都市汚水汚泥の処分は結果として包括的土地利用になる。現在、衛生埋立と焼却処理、焼却灰埋立が主流である。これらの方法は大量の汚泥発生に対応する方法となっている。中国は80年代の初めに天津市の紀庄子污水处理場を竣工させて以来、汚泥は近郊地区の農民の耕地にも用いている。その後の北京高碑店污水处理場の汚泥も農地利用を行ってきた。污水处理量と污水处理場数が次第に増加してきたため、污水处理場の汚泥を都市緑化に利用し始めている。また汚泥をベースに複合肥料を作って農業などに用いており、全般的な状況は汚泥の農業利用を主としている。中国の汚泥処理処分管理の方面では病原菌、重金属、有毒物質などの物理・化学の指標と臭気などの感覚器官の指標についてコントロールの程度が重視されている。

このように、中国国土事情から、基本的には、汚泥処分方法については、緑化基盤の土壤改良剤や農地利用等の土地利用還元を目指していることになるが、都市部においては、衛生埋立、焼却が主流とならざるをえないとしている。また小規模污水处理場の汚泥処理は、まず政府資金の投資アンバランスが指摘され、かつ水処理自体が汚泥発生量の少ない方法を採用していることが多い。

上述したような汚泥処理処分に係る論述をみると、中国においては緑農地利用の積極的「有機汚泥系の資源循環化施策」に向けたインセンティブ施策は今後の極めて重要かつ大きな課題になっているといえる。また汚泥の資源化再利用による収益性の向上の観点から、小規模污水处理技術も含めた最適システムを今後さらに構築していくことが肝要と考えられる。

#### 4.3.3 有機性廃棄物処理処分の課題分析

汚水汚泥を含めて有機性廃棄物の処理処分問題についてその課題を分析し、処理処分技術の選択問題について以下整理した。

有機性廃棄物の処理処分の課題と解決方向に関する考察は、4.2の現状と課題の調査結果から、下記のように要約される。

(1) 処理能力が不足し、無害化処理レベルが低い。

都市廃棄物には、有用な有機性廃棄物が多量に含まれている。この有機成分は先に示したように、バイオマスエネルギー資源および、堆肥や有機肥料、緑化資材等、中国において推進されている緑色経済施策を推進する基盤となることができる。中国の下水汚泥は、有機分が他国に比較し相対的に低いことが指摘されている。したがってこれを有効活用するには、有機性廃棄物との合同処理により、肥料成分やエネルギー熱量などさらに効率的に利用できるようにすることが可能となる。一方、環境安全性の問題においても無害化処理は必定であり、1つのプロセスで資源化と無害化が可能な「亜臨界水処理」技術は中国の実情によく適合する技術とみることができる。



## (2) 「厨房ゴミ」に対する管理強化

中国では「厨房ゴミ」に関する管理強化を打ち出した。特に廃棄油脂が発生する機構（レストラン、食堂など）は、廃棄油脂を法律に基づいて管理強化が行われることになっている。このため上海、寧波、長沙等の大都市では、「厨房ゴミ処理管理弁法」を制定し、厨房ゴミを統一収集し、特定場所にて集中資源化処理（飼料、バイオ・ディーゼル、油脂抽出・嫌気性発酵・発電）を行う計画としている。廃油の処理処分は腐敗等によって強力な悪臭発生源となるものであるものの一方でメタン発酵効率の高い物質でもある。このような事情から、厨房ゴミと下水汚泥との混合処理によって、メタンガスエネルギー回収も増強でき、かつ「亜臨界水処理」により、さらに効率化が図られれば、収益性の高い事業とすることも可能と考えられる。この事業収益性の効果の評価については、第 8 章の経済分析の中で取り扱うこととした。

### 4.3.4 まとめ

日本の場合、2002 年に閣議決定され省庁横断的に実施されている政策誘導策である「バイオマスニッポン総合戦略」に代表されるように、構想的な先導事業は早くから実施されている。前章においてわが国の資源再生技術を総括したように、新たな資源化やエネルギー化の開発実用化が鋭意推進されている。しかしながら、現実には個別技術の高度化開発が主体であり、地域の事情にあった技術システム整備はこれからの状態であるのが現実である。一方、中国では経済的実行可能性が優先的に強く求められる計画経済システムとなっており、技術のクオリティより経済性が最優先される。このように経済システムが異なる国々における技術戦略は国情を十分吟味した戦略が必要と考えられる。

以上、技術的側面、維持管理的側面、環境安全性の側面、今後の下水汚泥利活用の方向性等の各方面から課題分析した。その上で「亜臨界水処理技術」の特徴との対比で考察した。

ここでは、日本で開発されている様々な資源循環・エネルギー再生技術のための質変換技術について、下記の評価指標のもとに定性的に中国への適用の視点から評価マトリックスを作成した。結果を表 4.3.1 に示した。

中国の技術評価の主要な項目は、①建設コスト（経済性）、②維持管理コスト（経済性）、③操作性、④安定性、⑤製品需要性の 5 つである。わが国においても同様であるが、中国では特にコスト意識は極めて高いといえる。

表 4.3.1 に示したように、含水率が高いウェット系有機汚泥に関しては、基本的にマテリアル利用は堆肥化、肥料化（混合化成肥料等）、土壌改良材化の技術が主体である。一方エネルギー利用としては、メタン発酵発電が主流であった。またメタンガスを精製した天然ガス利用は今後の方向といえる。しかしながら、後述するように下水汚泥等の性状の季節変動や有機分の含有率が低いことから、その運転管理を困難にさせているところがある。

近年は乾燥化、焼却の方向に、特に都市部では変化しつつあるが、表 4.3.1 に示されるようにそのコストは極めて高いのが現状である。

本節では「亜臨界水処理技術」の特徴との対比で考察してきた。この結果を総合して表 4.3.1 を解釈すると下記のように要約される。

- (1) 中国は、汚泥の安定化技術として「嫌気消化」を拡充し、かつ都市部の大規模下水処理場においてはメタンガス発電によるエネルギー回収型を目指している。
- (2) 汚泥処分は安定化後農地還元や土地利用還元の促進を基本方策としており、汚泥堆肥化、特に高温堆肥化法などを推奨しつつある。
- (3) 水熱処理技術(亜臨界水反応技術)はマテリアル利用とエネルギー利用の双方に適用可能性が高い技術であり、上述の(1)と(2)に対応できる技術と評価される。
- (4) 施設構造の単純性、操作性、維持管理性の高さに特徴があり、小規模分散型にも対応可能で、中国の実情に応じた処理技術として汎用性の高い技術と評価される。これらの設備特性や最も重要な経済性に関しては第8章で分析評価するものとする。

表 4.3.1 日本の資源化技術の中国への適用性評価

		実用化	経済性(建設)	経済性(維持管理)	操作性	安定性	製品需要製
製品利用	堆肥、液肥	実用化	◎	◎	◎	◎	○
	土壌改良材化(石灰乾燥化)	実用化	◎	○	◎	○	○
	飼料	実用化	○	△	○	△	△
	生分解性プラスチック	実用化	×	×	×	×	×
	水熱反応処理製品	実用化	◎	◎	◎	◎	○
エネルギー利用	生物化学的変換	メタン発酵	実用化	◎	◎	○	◎
		水熱メタン発酵	実用化	◎	◎	◎	◎
		エタノール発酵	実用化	×	×	×	×
		アセトン・ブタノール発酵	実証	×	×	×	×
		水素発酵	基礎	×	×	×	×
	燃焼	直接燃焼	実用化	○	○	◎	◎
		混焼	実証	○	○	○	○
	熱化学的変換	スラリー燃料化	実証	×	×	×	×
		炭化	実用化	○	○	○	△
		熔融ガス化	実用化	×	×	×	×
		部分酸化ガス化	実証	×	×	×	×
		低温流動層ガス化	実証	×	×	×	×
		急速熱分解	実証	×	×	×	×
		スラリー燃料化	実証	×	×	×	×
超臨界メタノール抽出		実証	×	×	×	×	
超臨界水ガス化	実証	×	×	×	×		
エステル化(BDF化)	実用化	◎	○	△	△		
BTL(FT油、メタノール、DME)	実証	×	×	×	×		

## 4.4 中国における汚泥および廃棄物処理処分に関する基準

都市下水汚泥に関する規制基準は土壤環境と農耕地環境が主として対象となる。土壤環境に関しては土壤環境基準(表 4.4.1)が 1955 に制定されている。農用基準に関しては、従来「汚泥の農用規制基準(表 4.4.3)」が適用されてきたが、2009 年からは、新農用地基準(表 4.4.12)が適用されることになった。その特徴は土壤の pH 条件で適用基準を分けていたのを農作物の種類で使い分けるとしたことである。もう一つの特徴は、前基準より砒素を追加し、Cd と Hg 及び Cr は基準を強化、Cu と Zn は基準を緩和したことである。さらには都市下水処理場汚泥に関して、泥質基準、処分としての混合理立基準、緑化用基準、土壤改良基準、焼却用基準、煉瓦用基準(表 4.4.6～表 6.4.11)ときめ細かい基準が設定された。

表 4.4.1 土壤環境基準 (GB 15618 -1995)

mg/kg

項目	1 級	2 級 (農地)			3 級 (林地)
	自然バックグラウンド	pH<6.5	pH=6.5-7.5	pH>7.5	pH>6.5
カドミウム	0.20	0.30	0.30	0.6	1.0
全水銀	0.15	0.30	0.50	1.0	1.5
ヒ素 (水田)	15	30	25	20	30
ヒ素 (畑)	15	40	30	25	40
銅 (農地)	35	50	100	100	400
銅 (果樹園)	—	150	200	200	400
鉛	35	250	300	350	500
クロム (水田)	90	250	300	350	400
クロム (畑)	90	150	200	250	300
亜鉛	100	200	250	300	500
ニッケル	40	40	50	60	200

表 4.4.2 都市と町 (鎮) のゴミの農用規制基準値 (GB 8172-87)

No.	項目	基準制限値
1	雑物、% ≤	3
2	粒の大小、mm ≤	12
3	回虫卵の死亡率、% ≤	95~100
4	大腸菌 ≤	$10^{-1} \sim 10^{-2}$
5	全カドミウム(Cd を以って計算)、mg/kg ≤	3
6	全水銀(Hg を以って計算)、mg/kg ≤	5
7	全鉛(Pb を以って計算)、mg/kg ≤	100
8	全クロム(Cr を以って計算)、mg/kg ≤	300
9	全ヒ素(As を以って計算)、mg/kg ≤	30
10	有機質(C を以って計算)、% ≥	10
11	全窒素(N を以って計算)、% ≥	0.5
12	全リン( $P_2O_5$ を以って計算)、% ≥	0.3
13	全カリウム( $K_2O$ を以って計算)、%	1.0
14	pH	6.5~8.5
15	水分、%	25~35

注:①表中 2, 3, 4 項目以外はいずれも乾量基準で計算

②雑物はプラスチック、ガラス、金属、ゴムなどを指す

表 4.4.3 汚泥の農業用規制基準 (GB 4284-84) (新基準 CJ/T 309-2009 へ変更)

No.	項目	基準制限値 (mg/kg-乾燥汚泥)	
		酸性土壌土 (pH<6.5)	酸性土壌土 (pH<6.5)
1	全カドミウム	5	20
2	全水銀	5	15
3	全鉛	300	1,000
4	全クロム	600	1,000
5	全ヒ素	75	75
6	全ニッケル	100	200
7	全亜鉛	500	1,000
8	全銅	250	500
9	ホウ素	150	150
10	石油類	3,000	3,000
11	ポリ塩化ビフェニル (PCB)	3	3

表 4.4.4 都市下水処理場の汚染物排出基準

(汚泥を農業用とする際の汚染物管理基準限界値 (GB18918-2002))

No.	管理項目	許容最高含有量(mg/kg-乾燥汚泥)	
		酸性土壌 (pH<6.5)	中性、アルカリ性土壌 (pH 6.5)
1	全カドミウム	5	20
2	全水銀	5	15
3	全鉛	300	1,000
4	全クロム	600	1,000
5	全ヒ素	75	75
6	全ニッケル	100	200
7	全亜鉛	2,000	3,000
8	全銅	800	1,500
9	ホウ素	150	150
10	石油類	3,000	3,000
11	ベンゾ(a)ピレン	3	3
12	ポリ塩化ジベンゾパラジオキシン/ポリ塩化ジベンゾフラン (PCDD/PCDF 単位: ng 毒性単位/kg 汚泥)	100	100
13	吸着性有機ハロゲン物質 (AOX) (Cl 値)	500	500
14	ポリ塩化ビフェニル (PCB)	0.2	0.2

表 4.4.5 生活ゴミ埋立処分場の汚染規制基準 (GB16889-2008)

嫌気によるメタンガス発生等生物処理後の固体残留物や処理後のし尿の固体残留物および生活排水処理場の処理後含水率<60%の汚泥は、生活ゴミ埋立処分場へ搬入し、埋立処分ができる。

## A. 浸出液汚染物濃度規制値

No.	汚染物項目	濃度規制値(mg/L)
1	水銀	0.05
2	銅	40
3	亜鉛	100
4	鉛	0.25
5	カドミウム	0.15
6	ベリリウム	0.02
7	バリウム	25
8	ニッケル	0.5
9	ヒ素	0.3
10	全クロム	4.5
11	六価クロム	1.5
12	セレン	0.1

## B. 既設と新規の生活ゴミ埋立処分場の水汚染物排出濃度規制値

No.	抑制汚染物	排出濃度規制値	汚染物排出の観測位置
1	色度 (希釈倍数)	40	通常の污水处理施設排出口
2	化学的酸素要求量 (COD <sub>Cr</sub> ) (mg/L)	100	通常の污水处理施設排出口
3	生物化学的酸素要求量 (BOD <sub>5</sub> ) (mg/L)	30	通常の污水处理施設排出口
4	懸濁物質 (mg/L)	30	通常の污水处理施設排出口
5	全窒素 (mg/L)	40	通常の污水处理施設排出口
6	アンモニア窒素 (mg/L)	25	通常の污水处理施設排出口
7	全リン (mg/L)	3	通常の污水处理施設排出口
8	大腸菌 (個/L)	10,000	通常の污水处理施設排出口
9	全水銀 (mg/L)	0.001	通常の污水处理施設排出口
10	全カドミウム (mg/L)	0.01	通常の污水处理施設排出口
11	全クロム (mg/L)	0.1	通常の污水处理施設排出口
12	六価クロム (mg/L)	0.05	通常の污水处理施設排出口
13	全ヒ素 (mg/L)	0.1	通常の污水处理施設排出口
14	全鉛 (mg/L)	0.1	通常の污水处理施設排出口

表 4.4.6 都市下水処理場汚泥質 (GB 24188-2009)

## A. 泥質の基本管理指標と基準値

No.	基本管理指標	基準値
1	pH	5~10
2	含水率 (%)	< 80
3	糞便性大腸菌群値 (mL/MPN)	> 0.01
4	細菌総数 (MPN/kg-DS)	< 10 <sup>8</sup>

## B. 泥質の選択管理指標と基準値

No.	選択管理指標	基準値
1	全カドミウム (mg/kg-DS)	< 20
2	全水銀 (mg/kg-DS)	< 25
3	全鉛 (mg/kg-DS)	< 1,000
4	全クロム (mg/kg-DS)	< 1,000
5	全砒素 (mg/kg-DS)	< 75
6	全銅 (mg/kg-DS)	< 1,500
7	全亜鉛 (mg/kg-DS)	< 4,000
8	全ニッケル (mg/kg-DS)	< 200
9	鉍物油 (mg/kg-DS)	< 3,000
10	フェノール (mg/kg-DS)	< 40
11	全シアン化合物 (mg/kg-DS)	< 10

表 4.4.7 都市下水処理場汚泥処分 混合理立基準 (GB/T 23485-2009)

## A. 基本指標と基準値

No.	基本管理指標	基準値
1	含水率 (%)	< 60
2	pH	5~10
3	混合比率 (%)	≤ 8

注：表の中の pH 指標は、親水性材料（例え石灰等）を用いて含水率を下げる方法に限定されるものではない。

## B. 汚染物指標と基準値

No.	選択管理指標	基準値
1	全カドミウム (mg/kg-DS)	< 20
2	全水銀 (mg/kg-DS)	< 25
3	全鉛 (mg/kg-DS)	< 1,000
4	全クロム (mg/kg-DS)	< 1,000
5	全砒素 (mg/kg-DS)	< 75
6	全ニッケル (mg/kg-DS)	< 200
7	全亜鉛 (mg/kg-DS)	< 4,000
8	全銅 (mg/kg-DS)	< 1,500
9	鉍物油 (mg/kg-DS)	< 3,000
10	フェノール (mg/kg-DS)	< 40
11	全シアン化合物 (mg/kg-DS)	< 10

表 4.4.8 都市下水処理場汚泥処分 緑化用基準 (GB/T 23486-2009)

## A. その他の理化指標と基準値

No.	その他の理化指標	基準値	
		酸性土壌 (pH<6.5)	中性・アルカリ性土壌 (pH≥6.5)
1	pH	6.5~8.5	5.5~7.8
2	含水率 (%)	<40	

## B. 養分指標と基準値

No.	養分指標	基準値
1	総養分 {T-N (Nとして) + T-P (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> として) + 全カリウム (K <sub>2</sub> Oとして)} (%)	≥3
2	有機物含有量 (%)	≥25

## C. 生物学的指標と基準値

No.	生物学的指標	基準値
1	糞便性大腸菌群値 (mL/MPN)	>0.01
2	蠕虫卵の死亡率 (%)	>95

## D. 汚染物指標と基準値

No.	汚染物指標	基準値	
		酸性土壌 (pH<6.5)	中性・アルカリ性土壌 (pH≥6.5)
1	全カドミウム (mg/kg-DS)	<5	<20
2	全水銀 (mg/kg-DS)	<5	<15
3	全鉛 (mg/kg-DS)	<300	<1,000
4	全クロム (mg/kg-DS)	<600	<1,000
5	全砒素 (mg/kg-DS)	<75	<75
6	全ニッケル (mg/kg-DS)	<100	<200
7	全亜鉛 (mg/kg-DS)	<2,000	<4,000
8	全銅 (mg/kg-DS)	<800	<1,500
9	硼素 (mg/kg-DS)	<150	<150
10	鉍物油 (mg/kg-DS)	<3,000	<3,000
11	ベンゾ(a)ピレン (Benzo(a)pyrene) (mg/kg-DS)	<3	<3
12	吸着可能な有機塩素化合物(AOX) (Clとして) (mg/kg-DS)	<500	<300

表 4.4.9 都市下水処理場汚泥処分 土壌改良用基準(GB/T 24600-2009)

## A. 基本指標と基準値

No.	理化学指標	基準値
1	pH	5.5~10
2	含水率 (%)	<60

## B. 養分指標と基準値

No.	養分指標	基準値
1	総養分 {T-N (Nとして) + T-P (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> として) + 全カリウム (K <sub>2</sub> Oとして)} (%)	≥1
2	有機物含有量 (%)	≥10

## C. 生物学的指標と基準値

No.	微生物学指標	基準値
1	糞便性大腸菌群値 (mL/MPN)	>0.01
2	細菌総数 (MPN/kg-DS)	<10 <sup>8</sup>
3	回虫卵の死亡率 (%)	>95

## D. 汚染物の指標と基準値

No.	管理汚染物の指標	限界値	
		酸性土壌 (pH<6.5)	中性・アルカリ性土壌 (pH≥6.5)
1	全カドミウム	5	20
2	全水銀	5	15
3	全鉛	300	1,000
4	全クロム	600	1,000
5	全砒素	75	75
6	硼素	100	150
7	全銅	800	1,500
8	全亜鉛	2,000	4,000
9	全ニッケル	100	200
10	鉍物油	3,000	3,000
11	吸着可能な有機塩素化合物(AOX) (Clとして)	500	300
12	ポリ塩化ビフェニル	0.2	0.2
13	フェノール	40	40
14	全シアン化合物	10	10



表 4.4.10 都市下水処理場汚泥処分 焼却用基準 (GB/T 24602-2009)

## A. 理化学指標と基準値

No.	理化学指標	管理項目と基準値			
		pH	含水率 (%)	低位発熱量 (kJ/kg)	有機物含有量 (%)
1	自燃焼却	5~10	<50	>5,000	>50
2	助燃焼却	5~10	<80	>3,500	>50
3	乾燥焼却 <sup>a</sup>	5~10	<80	>3,500	>50

<sup>a</sup>乾燥焼却含水率 (<80%) は汚泥を乾燥システムに入れる時の含水率である。

## B. 浸出液の最高許容濃度指標

No.	管理項目	限界値
1	アルキル水銀	検出されないこと <sup>a</sup>
2	水銀 (トータル水銀として)	≤0.1 mg/L
3	鉛 (トータル鉛として)	≤5 mg/L
4	カドミウム (トータルカドミウムとして)	≤1 mg/L
5	トータルクロム	≤15 mg/L
6	六価クロム	≤5 mg/L
7	銅 (トータル銅として)	≤100 mg/L
8	亜鉛 (トータル亜鉛として)	≤100 mg/L
9	ベリリウム (トータルベリリウムとして)	≤0.02 mg/L
10	バリウム (トータルバリウムとして)	≤100 mg/L
11	ニッケル (トータルニッケルとして)	≤5 mg/L
12	砒素 (トータル砒素として)	≤5 mg/L
13	無機フッ化物 (フッ化カルシウムを含まない)	≤100 mg/L
14	シアン化合物 (CN <sup>-1</sup> として)	≤5 mg/L

<sup>a</sup>“検出されないこと”はメチル水銀<10ng/L、エチル水銀<20ng/L の意味である。

## C. 焼却炉の大気汚染物の排出基準

No.	管理項目	単位	数値の意味	基準値 <sup>a</sup>
1	煙塵	mg/m <sup>3</sup>	測定平均値	80
2	排煙黒度	Greenman 黒度, 級	測定値 <sup>b</sup>	1
3	一酸化炭素	mg/m <sup>3</sup>	時間平均値	150
4	窒素酸化物	mg/m <sup>3</sup>	時間平均値	400
5	二酸化硫黄	mg/m <sup>3</sup>	時間平均値	260
6	塩化水素	mg/m <sup>3</sup>	時間平均値	75
7	水銀	mg/m <sup>3</sup>	測定平均値	0.2
8	カドミウム	mg/m <sup>3</sup>	測定平均値	0.1
9	鉛	mg/m <sup>3</sup>	測定平均値	1.6
10	ダイオキシン類	ngTEQ/m <sup>3</sup>	測定平均値	1.0

<sup>a</sup>本表に規定される基準値は、標準状態下に 11%の酸素が含まれる乾燥排煙を参考値として換算されたものである。

<sup>b</sup>排煙の最高黒度時間は、任意の 1 時間内に累計で 5 分を越えないこと。

表 4.4.11 都市下水処理場汚泥処分 煉瓦用基準 (CJ/T 289-2009)

## A. 基本指標

No.	管理項目	基準値
1	pH	5~10
2	含水率 (%)	< 40
3	混合比率 (%)	≤ 10

## B. 焼失量と放射核種指標

No.	管理項目	基準値	
1	焼失量 (乾燥汚泥)	≤ 50%	
2	放射性核種 (乾燥汚泥)	$I_{Ra} \leq 1.0$	$I_{\tau} \leq 1.0$

## C. 汚染物濃度の基準値

No.	管理項目	基準値
1	全カドミウム (mg/kg, 乾燥汚泥)	< 20
2	全水銀 (mg/kg, 乾燥汚泥)	< 5
3	全鉛 (mg/kg, 乾燥汚泥)	< 300
4	全クロム (mg/kg, 乾燥汚泥)	< 1,000
5	全砒素 (mg/kg, 乾燥汚泥)	< 75
6	全ニッケル (mg/kg, 乾燥汚泥)	< 200
7	全亜鉛 (mg/kg, 乾燥汚泥)	< 4,000
8	全銅 (mg/kg, 乾燥汚泥)	< 1,500
9	鉍物油 (mg/kg, 乾燥汚泥)	< 3,000
10	フェノール (mg/kg, 乾燥汚泥)	< 40
11	全シアン化合物 (mg/kg, 乾燥汚泥)	< 10

## D. 衛生学指標

No.	管理項目	基準値
1	糞便性大腸菌群値 (mL/MPN)	> 0.01
2	回虫卵死亡率	> 95%

表 4.4.12 都市下水処理場汚泥処分 農地用基準 (CJ/T 309-2009)

## A. 汚染物濃度の基準値

No.	管理項目	基準値 (mg/kg)	
		A 級汚泥	B 級汚泥
1	全砒素	<30	<75
2	全カドミウム	<3	<15
3	全クロム	<500	<1,000
4	全銅	<500	<1,500
5	全水銀	<3	<15
6	全ニッケル	<100	<200
7	全鉛	<300	<1,000
8	全亜鉛	<1,500	<3,000
9	ベンゾ(a)ピレン (Benzo(a)pyrene)	<2	<3
10	鉱物油	<500	<3,000
11	多環芳香族炭化水素 (PAHs)	<5	<6

注：A 級汚泥：蔬菜、食糧作物、油糧作物、果樹、飼料作物、繊維作物の施用可

B 級汚泥：油糧作物、果樹、飼料作物、繊維作物の施用可

## B. 物理学指標

No.	管理項目	基準値
1	含水率 (%)	≤60
2	粒径 (mm)	≤10
3	雑物	粒度無>5mm の金属、ガラス、セラミック、プラスチック、瓦礫等の有害物質、雑物質量≤3%

## C. 衛生学指標

No.	管理項目	基準値
1	回虫卵死亡率	≥95%
2	糞便性大腸菌値 (mL/MPN)	≥0.01

## D. 養学指標指標

No.	管理項目	基準値
1	有機質含有量 (g/kg, 乾燥重量)	≥200
2	窒素・リン・カリウム (N+P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> +K <sub>2</sub> O) (g/kg, 乾燥重量)	≥30

## 参考文献

- 1) 住宅都市農村建設部公文書（建城 {2010} 17 号）
- 2) 中国汚泥処理に関する調査報告書、環境保護部環境計画院、2010 年 3 月
- 3) 尹軍、譚学軍、任南琪：都市下水汚泥の処理及び処分、「中国給水排水」、2003, 8, 15  
～22.
- 4) 杭世珺：2004 年国際汚泥無害化経験交流会資料
- 5) パシフィックコンサルタンツ株式会社：中国・廃棄物処分場からのメタンガス排出抑制 CDM 事業調査報

## 5 中国における汚泥等の処理・処分の実態に関する現地調査

### 【背景と目的】

中国では廃棄物処理処分の環境へ与える影響が拡大している。その一つとして環境インフラ整備の一環として進められている汚水処理から発生する汚泥の処理処分の問題が顕在化している。

現地調査は、中国の代表的都市下水処理における汚泥の処理処分問題の現況を把握するとともに、汚泥の資源循環化や利用策に関する中国側の政策および下水道管理の側面からの今後の取り組みの方向性についての現状把握を主な目的とした。

本調査は上記背景の下、下水道整備事業が進められ、汚泥処理問題が顕在化している都市域を対象として、主に次のような事項の実態を把握するために行ったものである。

- ・ 下水汚泥排出や処理処分の実態把握
- ・ 廃棄物の処理処分の実態把握
- ・ 問題解決に向けた取り組みの実態把握 等

### 【調査要員】

現地調査は以下の要員で行った。

- |         |       |    |    |
|---------|-------|----|----|
| (株)日水コン | 環境事業部 | 加藤 | 善盛 |
| (株)日水コン | 海外部   | 松江 | 龍南 |
| (株)日水コン | 環境事業部 | 中田 | 章雅 |
| (株)日水コン | 環境事業部 | 高島 | 健一 |
| (株)日水コン | 環境事業部 | 斉藤 | 秀仁 |

### 【主な調査対象】

現地調査は4回にわたって行ったが、それぞれの都市における主な調査対象を列記すると以下のとおりである。

- ① 北京市
  - ・ 高碑店汚水処理場（中国大都市の代表的汚水処理場）
  - ・ 北京市排水集団（下水道管理組織）
  - ・ 清河汚水処理場（汚泥乾燥化新技術導入）
  - ・ 北京市政工程設計研究総院（政策動向ヒアリング）
- ② 上海市
  - ・ 上海市南汇下水処理場（10万m<sup>3</sup>/日、汚泥乾燥）
  - ・ 老港廃棄物埋立処分場（埋立容量7,000万m<sup>3</sup>、浸出水処理はSBR、MBR）
  - ・ 上海市政工程設計研究総院（政策動向ヒアリング）
  - ・ 上海市排水行業協会（政策動向ヒアリング）
- ③ 天津市
  - ・ 紀庄子汚水処理場（中核都市の代表的汚水処理場）

- ・ 咸陽汚水処理場（汚泥再生利用を目的とした2段階脱水による減容化）
- ④ 大連市
  - ・ 大連市経済開発区汚水処理場(清本再生水有限公司処理場)  
（再生水に関する「水ビジネス」モデルの一つ）
  - ・ 東泰・夏家河汚水処理場
  - ・ 東泰・夏家河汚泥処理場（汚泥の地域集中処理センター・天然ガス供給）
- ⑤ 昆明市
  - ・ 第2汚水処理場
  - ・ 第7汚水処理場
  - ・ 滇池（富栄養化が進行しアオコ発生が顕著な大湖）

表 5.0.1 現地調査の全般日程

年	月日	都市	訪問先（汚水処理場等）
2010	03/16 ～03/19	昆明市	第2汚水処理場、第7汚水処理場
			滇池(Dianchi Lake)
	04/07	北京市	高碑店汚水処理場
			清河汚水処理場、清河汚泥乾燥工場
	04/08	天津市	紀庄子汚水処理場
			咸陽汚水処理場
	04/09	大連市	経済開発特区(清本再生水有限公司処理場)
			東泰・夏家河汚水処理場
			東泰・夏家河有機廃棄物処理有限公司汚泥処理場
	05/12	上海市	南汇汚水処理場
			老港廃棄物埋立処分場
	05/13	上海市	上海市政工程設計研究総院
上海市排水行業協会			

以上の現地調査結果の「都市別まとめ」は以下の節（5.1～5.5）に示すとおりである。全般的な総括としては以下の事項が挙げられる。

#### 【現地調査全般の総括】

- 中国の下水道整備はBOT方式を主体とする民営事業化が進んでおり、処理区毎に方式、処理目的、処理技術が異なり、総合都市計画的な概念は薄いと印象を得た。
- 汚泥処理は嫌気性消化→脱水→乾燥化を現状では目指している。一方、古い処理場では、嫌気性消化・消化ガス発電施設を設置したものの、その運用性とコスト面から、直接脱水とする事例もみられたが、現場の補修状況や汚泥性状から考えると安定的脱水に成功しているとは言い難い状況にある。

- 下水処理汚泥は大部分が脱水汚泥として埋立処分となっており、大都市部ほど汚泥の資源化管理の施策はこれからである。
- 埋立処分の基準が環境保護部と建設部の基準により含水率 60%以下となったことから、乾燥化処理技術の導入が進められている。乾燥設備についてはドイツ、アメリカ製が先行している。
- 天津および大連では、周辺農地や樹園地が多い。このため、生活系汚水処理の結果で生じた汚泥については農地還元が行われている。
- ただし、農地等の需要先は個別農家が対象となっており、コンポストの需給連携はほとんどみられないため、新たな仕組みづくりは必定である。
- 大連市東泰・夏家有機廃棄物処理場の例は、今後の中国における地域資源循環システムづくりのモデルとなる要素を有しており、地域汚泥処理センターによる電熱供給、汚泥資源供給基地としての位置づけが可能となっている。

基本的に、経済特区としての様々な税制優遇措置と企業努力がベースであることに注目する必要があり、経済性は常に最優先課題となっている。

- 今回対象とした汚水処理場では、ほとんどの処理場で汚泥処理・処分問題の出口が見出せていない印象であり、これが「亜臨界水処理技術」の事前プレゼン説明について歓迎を受けることができた背景と思われる。また、経済性の優位性が確信できた場合は、パイロット事業等の形成等も困難ではないと考えられる。なお、「亜臨界水処理技術」については環境影響等の問題解決法を含めてさらに技術的理解を進める必要がある。

## 5.1 北京市における調査結果

北京市においては、下表のスケジュールで調査を行った。

表 5.1.1 北京市におけるスケジュール

月日	訪問先（污水处理場 等） ※：特徴的事項	お世話になった主な方々
2010 04/07	北京市高碑店污水处理場 ※大規模処理場、消化槽の休止	北京城市排水集団 Dr. Zhou Jun Dr. Hu Jun Dr. Li Kui Xiao 他
	清河污水处理場、清河污泥乾燥工場 ※人口急増による過負荷、污泥乾燥施設	Ms. Wang

### 5.1.1 北京市の概要

北京市は中華人民共和国の首都であり、河北省の中央部に位置する直轄市である。行政面積は約 16,800km<sup>2</sup>、常住人口は 1,633 万人(2007 年)である。

行政区画は城区（東城区、西城区、崇文区、宣武区）、近郊区（朝陽区、海淀区、豊台区、石景山区）、遠郊区（門頭溝区、房山区、順義区、通州区、昌平区、大興区、平谷区、懷柔区）の 16 市轄区、および 2 県（密雲県、延慶県）を管轄する。

市内は北部と西部が山地、東南部は平野という地形である。

温帯大陸性モンスーン気候で、夏は気温 40℃を超え、冬は零下 20℃にも達するなど、四季がはっきりしているのが特徴である。

表 5.1.2 北京市の概要

No.	項目	内容
1	面積	行政面積約 16,800km <sup>2</sup> 、内市区面積：1,311km <sup>2</sup>
2	人口	常住人口：1,633 万人(2007 年) 戸籍人口：1,213 万人(2007 年) 市区人口：849.5 万人(2008 年)
3	GDP	10,488 億元、6.3 万元 (9,300 ドル) /人 (2008 年)
4	降雨量	年平均：575.2mm、内雨期（6 月～8 月）平均降雨量：431.7mm
5	気温	年平均：12.3℃、7 月平均：26.3℃、1 月平均：-3.6℃



### 5.1.2 高碑店污水处理場

#### (1) 概要

高碑店污水处理場の位置は下図のとおりで北京市の東南部に位置する。



図 5.1.1 北京市高碑店污水处理場位置図

高碑店污水处理場の基本諸元や現地ヒアリング事項をまとめると下表のとおりである。

表 5.1.3 北京市高碑店污水处理場の概要（現地ヒアリング事項等）

処理場完工時期	第一期 (50 万 m <sup>3</sup> /日) : 1993 年 第二期 (50 万 m <sup>3</sup> /日) : 1999 年
処理区面積	約 100km <sup>2</sup>
処理人口	約 220 万人
排除方式	合流式(一部は分流式)
処理場規模	100 万 m <sup>3</sup> /日 (計画)、80 万 m <sup>3</sup> /日 (現状)
処理場敷地面積	68ha
処理方式	A0 法 (嫌気好気法)
流入水水質 (計画)	BOD : 200mg/L COD : 500mg/L (※工場廃水の割合が多い) SS : 250mg/L N : 30mg/L
処理水水質 (計画)	1 級 B 再生水 BOD<20 mg/L <6mg/L SS<20 mg/L <- T-N<20 mg/L <- T-P<1.0 mg/L <0.3mg/L
脱水ケーキ発生量	800 t / 日

汚泥最終処分	農地利用、埋立（業者委託）
水処理に関する情報	高度処理化のためのオゾン導入予定
汚泥処理に関する情報	消化槽老朽化→休止→余剰直接脱水 脱水ケーキは基本的に埋立 処分は別会社のため処分地等の詳細不明 中国南部では多毛作のため堆肥需要あり 事業としてペイする処理技術を求めている メタン発酵の廃液処理が現状の課題
その他の情報	近隣に 45 万 kWh 火力発電所 再生水は水道水より 2 元安く競争力あり 高度処理は 8 万 m <sup>3</sup> /日の他、10 万 m <sup>3</sup> /日を中水道へ （合計 18 万 m <sup>3</sup> /日） 発電所に高度処理水 4 万 m <sup>3</sup> /日を供給 汚泥の不法投棄に関する事件あり 中国の農協組織は基本的に個別 現状では汚泥処理方式選択はケースバイケース 一部の建設資金は円借款利用
亜臨界水処理技術の プレゼンに関する反応	脱気時の有害物質放散の懸念は？ 主要 3 プロセスだが排気対策が必要では？ 有機物の変質に関するデータの提供依頼 水銀は揮発による減少も影響している？ ノールウェイの CMANBI システムとの類似？ 亜臨界の単位あたりの処理コストは？ 細胞が破壊されると脱水性は悪くなる？ 反応後液体の実測データが欲しい 亜臨界の単位あたりの所要エネルギーは？
その他	北京市市区下水処理場数：合計 9 ヲ所（計画 15 ヲ所） 市区処理場能力合計：250 万 m <sup>3</sup> /日（2010 年現在） 市区下水処理率：90% 市区処理場脱水汚泥（含水率約 80%）：2400 t/日（約 80 万 t/年） 水道料金：2.8 元/m <sup>3</sup> 下水道料金：0.9 元/m <sup>3</sup> 再生水価格：1.0 元/m <sup>3</sup>

## (2) まとめ

## 【規模など】

高碑店污水处理場は 1999 年に第 2 期施設が完成した中国最大の污水处理場で、計画処理能力は 100 万 m<sup>3</sup>/日（現状 80 万 m<sup>3</sup>/日）である。この規模は北京市の全汚水量の約 1/3 に相当する。管理は北京市の下水道施設管理会社「北京市排水集団」によって行われている。

## 【水処理】

水処理方法としては A0 法が採用され、1 級 B の計画処理水質が適用されている。また、現状では処理水質の向上のためオゾン処理の導入が検討されている。

高度処理水約 4 万 m<sup>3</sup>/日を近隣の火力発電所に供給して再利用するなど、処理水再利用にも積極的である。

**【汚泥処理】**

高碑店汚水処理場からは約 800 t/日の脱水ケーキが発生しており、その多くは埋立処分されている。今回の調査は汚泥の不法投棄がニュースとなった後の訪問であったが、埋立処分については別業者に委託される形となっており、処理場から出た後に何処でどのように処分されているかなどの詳細はヒアリング時点でも不明確であった。

資源化については、従前はメタン発酵発電を行い北京市の電力需要の一部を担う先進的処理場として喧伝されたことがあるが、発酵残液処理の困難性、消化槽の老朽化、維持管理費がかかるなどの理由で消化槽は休止され、余剰汚泥を直接脱水する方式に切り替えている。

汚泥処分についての管理の方向性および農業利用等に関して中国国家政策方針に対応をせまられており、積極的な取り組みを目指している。現在は乾燥化を主体とした資源化研究調査を実施している。

中国南部地域では多毛作が実施され堆肥の需要が高いため、事業としてペイする技術を求めているとのことであった。

**【亜臨界水処理技術について】**

「亜臨界水反応技術」については関心があり、技術研究施設も有することから反応技術には理解もあり、排気ガス対策、重金属問題、分解性生物等に興味を持っていた。基本的に経済性をクリアすれば導入も考えられるとしていた。なお、帰国後、周軍氏から上海ワークショップに参加の意向を受けている。

現地調査写真 【高碑店污水处理場】



1. 高碑店污水处理場（入口）



2. 高碑店污水处理場にある北京排水集団技術研究センターの前（プレゼン後）



3. 高碑店污水处理場（日本製ポンプ）



4. 高碑店污水处理場（火力発電所近接）



5. 高碑店污水处理場（フィルタープレス脱水）



6. 高碑店污水处理場（脱水ケーキ搬出）

### 5.1.3 清河污水处理場

#### (1) 概要

清河污水处理場の位置は下図のとおりで北京市の北部に位置する。




図 5.1.2 清河污水处理場位置図

清河污水处理場の基本諸元や現地ヒアリング事項をまとめると下表のとおりである。

表 5.1.4 清河污水处理場の概要（現地ヒアリング事項等）

処理場完工時期	第一期 (20 万 m <sup>3</sup> /日) : 2002 年 第二期 (20 万 m <sup>3</sup> /日) : 2004 年
処理区面積	106km <sup>2</sup> (計画)
処理人口	81.4 万人
排除方式	合流式(一部は分流式)
処理場規模	40 万 m <sup>3</sup> /日 (設計)、45 万 m <sup>3</sup> /日 (現状)、55 万 m <sup>3</sup> /日 (計画)
処理場敷地面積	32ha
処理方式	第 1 期 : 逆 A2O 法 (嫌気無酸素好気法、脱窒脱リン可能な高度下水処理法) 第二期 : A2O 法
流入水水質	< 計画 >                      < 現状の測定事例 > BOD : 200mg/L                      210mg/L COD : 400mg/L                      427mg/L SS : 250mg/L                      258mg/L NH <sub>4</sub> -N : 25mg/L                      49.3mg/L T-P : 8mg/L                      6.3mg/L
処理水水質 (計画)	1 級 B                      再生水 (計画中) BOD<20 mg/L                      <6 mg/L (表流水 IV 類) SS<20 mg/L                      <- T-N<20mg/L                      <1.5mg/L

	T-P<1.0mg/L <0.3mg/L
脱水ケーキ発生量	400 t /日
汚泥最終処分	肥料、燃料
水処理系に関する情報	第1期逆A2O 第2期A2O リン除去重視 過負荷対策としての担体パイロット実験
汚泥処理系に関する情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>● (未濃縮) 余剰→遠心脱水→乾燥</li> <li>● 脱水ケーキ含水率 80~82%</li> <li>● 遠心脱水、乾燥設備(流動床)はドイツ製</li> <li>● 乾燥ケーキは含水率 10%</li> <li>● 乾燥品は堆肥化のため同集団関連会社へ</li> <li>● 乾燥は汚泥を旋断しながら多段で乾燥</li> <li>● 乾燥空気温度は 80~110℃</li> <li>● 熱源は天然ガスでランニングコスト高価</li> <li>● 北京オリンピックを契機として導入</li> <li>● 同様な乾燥設備の他処理場への導入はなし</li> </ul>
その他の情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 排水区の工場進出、人口の急増</li> <li>● 一部の建設資金はスウェーデン政府借款利用</li> </ul>
その他	庞各庄汚泥堆肥 (500 t /日) 

## (2) まとめ

## 【規模など】

清河污水处理場は、第2期施設が2004年に完成し現在の処理能力は約40万m<sup>3</sup>/日である。全体計画は55万m<sup>3</sup>/日であるが、排水区への工場進出や人口の伸びなどにより、既に45万m<sup>3</sup>/日の流入が発生しており、過負荷状態となっている。

## 【水処理】

第1期は逆A2O法、第2期はA2O法で建設されている。計画処理水質は1級Bが適用されている。国家基準に沿って(富栄養化防止の意味から)P除去を重視しているとのことであった。しかし、放流先の状況、そして処理コスト面から一律基準の適用に関しては若干の課題があることを現場担当者は示唆していた。なお、処理水再利用に向けた計画(表流水IV類)が進んでいる。

また、現状の過負荷状態に対応するため、担体処理に関する現地パイロット実験が処理施設の傍らに実験設備を設けて実施中であったが、内容は明らかにされなかった。

## 【汚泥処理】

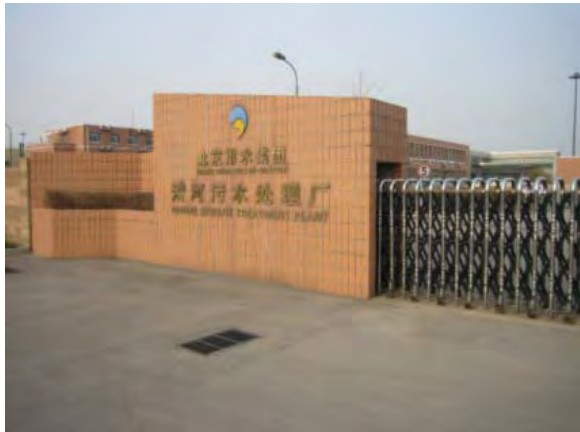
約 400 t /日の脱水ケーキが発生しているこの処理場では、遠心脱水したケーキの乾燥設備が導入されている。乾燥化は天然ガスを使った流動床式乾燥設備で 70 t /日(含水率 10%)の生産能力で製品は燃料化・肥料化されている。農業利用等の需要先情報は、会社経営が別であり情報はなかった。遠心脱水設備、多段乾燥設備はいずれもドイツ製であった。

施設内部の見学は許されなかったが、施設周辺にこぼれ落ちた乾燥品は灰褐色の顆粒状で無臭であった。また、施設建屋周辺の空気にも臭気は感じられなかった。

これらの施設は北京オリンピックにちなむ環境整備を背景として、最新型汚泥乾燥施設が導入されたものである。乾燥施設建屋は概ね 20~30m の高さを持ち、他の施設に比べ目立つ大きさであった。

また、同種設備（乾燥設備）の他処理場への展開について質問したところ、設備管理者は、「機器の補修が多いこと等から今後このような施設の普及はないのではないか？」との回答があった。

現地調査写真 【清河污水处理場】



1. 清河污水处理場（入口）



2. 清河污水处理場（奥の大きな建物：乾燥施設）  
（手前：担体のパイロット実験）



3. 清河污水处理場（処理場の全体説明）



4. 清河污水处理場（汚泥乾燥施設の説明）



5. 清河污水处理場（長い終沈。一部でスカム発生）



6. 清河污水处理場（乾燥汚泥。ほぼ無臭）



## 5.2 上海市における調査結果

上海市においては下表のスケジュールで調査を行った。

この時期は上海万国博覧会の開催時期に重なり、汚水処理場を含む公共施設の警備が極めて強化されていた。このため、通常であれば可能であった幾つかの汚水処理場の場内立ち入り調査が不可となった場合があった。

表 5.2.1 上海市におけるスケジュール

月日	訪問先（汚水処理場 等） ※：特徴的事項	お世話になった主な方々
2010 05/11	移動（成田→上海）	
05/12	上海市南汇污水处理場 ※10 万 m <sup>3</sup> /日、汚泥乾燥	上海海浜污水处理有限公司
	老港廃棄物埋立処分場 ※7,000 万 m <sup>3</sup> 、浸出水処理（SBR・MBR）	上海市老港生活ごみ処置有限公司
05/13	上海市政工程設計研究総院	張辰 総工程師
	上海市排水行業協会	毛惟徳 秘書長
05/14	AM 団内協議・資料整理 PM 移動（上海→成田）	

### 5.2.1 上海市の概要

上海市は中華人民共和国にある直轄市の一つで、行政面積約 6,341 km<sup>2</sup>、常住人口は 1,858 万人である。市区人口は 949 万人、都市圏人口は 1,657 万人でともに中国最大である。

行政区画は 18 の区、1 の県に区分されている。

上海市は温暖湿潤気候に属し、年間平均気温は 16.1℃、1 月の平均気温は 4.3℃と鹿児島県とほぼ同緯度の割には寒い。四季ははっきりしているが、夏場は熱帯夜も多く蒸し暑く、35℃を超えることもある。冬は年間 1～2 日程度の降雪があり、寒さは底冷えがして厳しい気候である。

表 5.2.2 上海市の概要

No.	項目	内容
1	面積	行政面積 6,341 km <sup>2</sup> 、
2	人口	常住人口：1,858 万人(2007 年) 戸籍人口：1,379 万人(2007 年) 市区人口：949 万人(2007 年)
3	GDP	10,297 億元 (2006 年) 57,310 元 (7,189 ドル) /人 (2006 年)
4	降雨量	年平均：1,165 mm、内雨期（6 月～8 月）平均降雨量：484 mm
5	気温	年平均：16.1℃、1 月平均：4.3℃

## 5.2.2 南汇污水处理場

## (1) 概要

南汇污水处理場の位置は下図のとおりで、上海市の南東部に位置する。また、その基本諸元や現地ヒアリング事項をまとめると下表のとおりである。

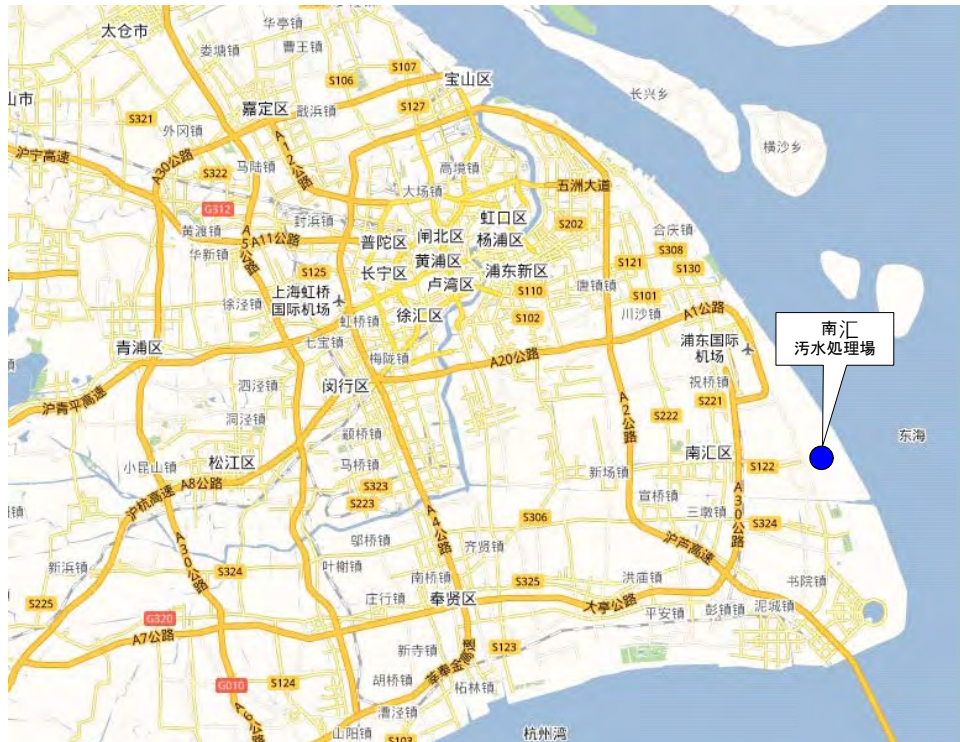


図 5.2.1 上海南汇污水处理場位置図

表 5.2.3 南汇污水处理場の概要（現地ヒアリング事項等）

処理場規模	20 万 m <sup>3</sup> /日（計画）、10 万 m <sup>3</sup> /日（現状）
処理場敷地面積	約 25ha
処理方式	A20-オキシデーションディッチ法
流入水水質	BOD 200-250mg/L COD 500mg/L T-N 50mg/L T-P 5-10mg/L
処理水水質	BOD 20mg/L COD 60-70mg/L T-N 13mg/L T-P 0.2mg/L
脱水ケーキ発生量	100 t/日，場外から 200 t/日
汚泥最終処分	埋立
水処理に関する情報	生物反応時間 12 時間 処理コスト 0.5 元/m <sup>3</sup>
汚泥処理に関する情報	ベルトプレス（含水率 73%）、遠心脱水（含水率 79%）の各系列で処理した脱水ケーキに消石灰を混入し、乾燥（含水率 40%）後、埋立 乾燥工程以降は別会社のため処分地等の詳細不明

## (2) まとめ

## 【規模など】

南汇污水处理場は計画処理能力 20 万 m<sup>3</sup>/日の処理場である。現状では 1/2 系列が完成し、現在の処理能力は 10 万 m<sup>3</sup>/日となっている。発展しつつある上海市南東地域で発生した汚水に対応する比較的新しい污水处理場である。

## 【水処理】

現有の第 1 系列では A2O-オキシデーションディッチ法が採用されている。分配槽では流入水が黒っぽい色調を呈しており、この要因について質問したところ、工場廃水の影響が大きいことが回答された。

生物反応槽では約 12 時間の滞留時間が設定され、BOD、T-N、T-P に対応している。

最終沈殿地においては、若干の色度（茶褐色系）が残留しており、処理上の課題としては、N、P に加え、COD も重要であることが推察された。この色度に対して、処理水流出トラフにレンガ色の素材を貼り付けるなどの細かな配慮がなされていることも印象に残った。

## 【汚泥処理】

この処理場では約 100 t/日の脱水ケーキが発生している。また、場外から約 200 t/日の汚泥を受け入れ、脱水処理ならびに石灰乾燥化の処理を行っている。

脱水処理はベルトプレスと遠心脱水の 2 方式が採用されており、見学当日の状況ではベルトプレスの含水率が低い状況が見受けられた。

石灰乾燥化は 2 方式の脱水ケーキが一つの簡易建屋内で処理されていた。脱水ケーキを隣接のヤードから重機で搬入しているためかなり大きな開口が建屋に開いており、処理過程で発生する粉塵やアンモニアガスは建屋外にもかなり漏出していた。また、建屋内部で石灰と脱水ケーキを混和する重機のオペレーターは簡易なマスクを装着したのみで勤務しており、労働環境が懸念された。

石灰乾燥化した製品は埋立処分されるとのことであったが、他の処理場と同様、場外搬出以降は別会社の管轄で、当処理場で発生した汚泥の最終処分状況は不明であった。

現地調査写真 【南汇污水处理場】



1. 南汇污水处理場（入口）



2. 南汇污水处理場（水处理施設）



3. 南汇污水处理場（加压脱水機）



4. 南汇污水处理場（遠心脱水機）



5. 南汇污水处理場（脱水ケーキ搬出）



6. 南汇污水处理場（污泥乾燥場・污泥採取）

### 5.2.3 老港廃棄物埋立処分場

#### (1) 概要

上海市老港廃棄物埋立処分場の位置は下図のとおりで、前節で報告した南汇污水处理場に近接している。



図 5.2.2 上海市老港廃棄物埋立処分場位置図

老港廃棄物埋立処分場およびその浸出水処理施設の基本諸元や現地ヒアリング事項をまとめると下表のとおりである。

表 5.2.4 老港廃棄物埋立処分場の概要

処分場完工時期	第1期の埋立：1999年頃から 第4期の埋立：2006年から
処分場規模	埋立容量約7,000万m <sup>3</sup>
処分場面積	総面積600ha（第1～4期）
処分量	埋立処分量：6,000～6,600t/日
その他	埋立費用は150元/t 第4期処分場は、周囲をめぐる鉛直遮水壁、HDPEシートによる水平遮水層、有孔HDPE管による地下水・浸出水集水工、メタンガス発電設備、浸出水処理施設等を完備した中国では最高水準の最終処分場 廃棄物の搬入は、トラックおよび船舶 上海市における生活廃棄物処理は、埋立処分が主力であるが、焼却処理施設、有機廃棄物のコンポスト化施設、ごみの中継基地なども存在する

表 5.2.5 老港廃棄物埋立処分場浸出水処理施設の概要（現地ヒアリング事項等）

処理場完工時期	SBR：2005年 MBR：2009年
処理場規模	SBR：2,500m <sup>3</sup> /日 MBR：2,500m <sup>3</sup> /日
流入水水質	COD 15,000mg/L NH <sub>4</sub> -N 2,500mg/L
処理水水質	COD 1,000mg/L
調整池	埋立処分場の浸出水は一旦、調整池（嫌気発酵槽）に集められてから処理施設に送られる。池数は2池、1池あたりの貯留容量は30日と60日。
その他	処理費用は30元/m <sup>3</sup> 浸出水処理施設の敷地内に、発電機12台を設置しており、埋立処分場から集められたメタンガスを利用して発電を行っている。

## (2) まとめ

## 【規模など】

以下の施設は外資系企業（ヴェオリア社）の管理下で運用されている。

## ①埋立処分場

老港廃棄物埋立処分場は約7,000万m<sup>3</sup>の埋立容量を有する上海市最大の埋立処分場で、市内で発生する汚泥の多くがここで最終処分される。第1期の埋立は1999年頃から開始されたが、現状では第4期に移行し、現状では約6,000t/日がトラックまたは船舶で搬入されている。

## ②浸出水処理施設

平均で約5,000m<sup>3</sup>/日の浸出水が、2系統の処理システムによって処理されている。SBR法施設（2,500m<sup>3</sup>/日）は2005年に、MBR法施設（2,500m<sup>3</sup>/日）は2009年に供用開始している。

## 【処理システムなど】

## ①埋立処分場

現在稼動している第4期処分場は、周囲をめぐる鉛直遮水壁、HDPEシートによる水平遮水層、有孔HDPE管による地下水・浸出水集水工、メタンガス発電設備、浸出水処理施設等を完備した最高水準の最終処分場である。日本の管理型最終処分場に相当するが、メタンガス発電など、より先進的と言える側面もある。

上海市における生活廃棄物処理は、埋立処分が主力であるが、当処分場内には焼却処理施設、有機廃棄物のコンポスト化施設、ごみの中継基地なども存在する。

## ②浸出水処理施設

埋立処分場の浸出水は一旦、調整池（嫌気発酵槽）に集められてから処理施設（SBR法、MBR

法) に送られる。調整池数は2池、1池あたりの貯留容量は30日と60日程度である。

ここでは浸出水中の高濃度の塩類や降雨などによる水質変動が処理生物に対する障害になると考えられたが、調整池における水質平準化や処理生物の馴到で問題ないとの回答であった。

また、浸出水処理施設の敷地内にはガス発電機12台が設置されており、埋立処分場から集められたメタンガスを利用して発電を行っている。

#### 【その他】

この最終処分場、浸出水処理施設で印象に残ったのは、外資系企業（ヴェオリア社）による徹底した管理である。管理職員はもとより、現場の交通誘導員までが現場職員までが、個々の職種に応じた制服（オレンジ色基調）、ヘルメットなどを着用し、無線機を携帯して動いていた。職階に応じて判断しえる事項がマニュアル等で規定されている模様で、当方からの質問、写真撮影範囲などに関しても逐次、中央管理室との連絡の上で回答が行われていた。

中国国内の他の施設では場長クラスまでカジュアルな服装をしており、我々の案内に際してもヘルメットを着用する場合はほとんどなかった。このため、服装規定などは日本国内よりも柔軟な感があったが、本施設はその対極にあった。

このため、この施設での写真撮影は施設外観についても制約を受け、また技術的な質問への回答も部分的なものであった。

現地調査写真 【老港廃棄物埋立処分場 浸出水処理施設】



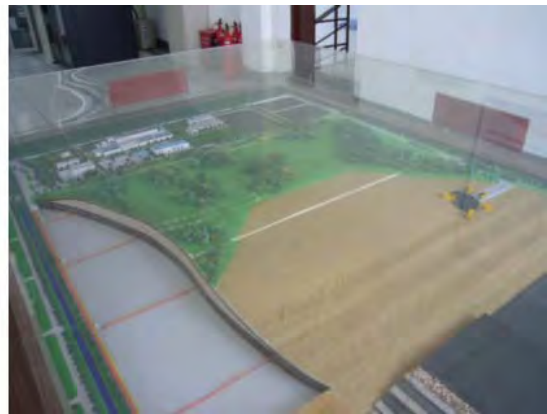
1. 老港廃棄物埋立処分場浸出水処理施設  
(ヒアリング状況)



2. 老港廃棄物埋立処分場浸出水処理施



3. 老港廃棄物埋立処分場浸出水処理施設  
(処理施設模型)



4. 老港廃棄物埋立処分場 (処分地模型)



5. 老港廃棄物埋立処分場浸出水処理施設  
(埋立状況)



6. 老港廃棄物埋立処分場  
(船舶による搬入設備)



#### 5.2.4 上海市政工程設計研究総院

上記において亜臨界水処理技術に関する説明と、上海市における汚泥処理・資源化状況についてヒアリングを行った。

その概要は下表のとおりである。ここでは多忙な中、30分程度の時間を割いていただいた。汚泥処理については、下表に示すような中国における一般的な処理コストを教えていただいた。

亜臨界水処理技術については技術の概要は承知されており、関心も有しておられた。これについては現有技術との比較や、コストや安全性に関する実際的情報（事例）が必要とされた。

表 5.2.6 上海市政工程設計研究総院でのヒアリング

汚泥処理の現況	処分コストは地域による差が大きい 市内の処理場では 200 元/ t (運搬費別) 乾燥・焼却処理は 250～300 元/ t 埋立地での安定化処理を行うことが望ましいが、コストがかさむ
亜臨界水処理について、	現有技術（乾燥・メタン発酵 等）との比較をして欲しい コストや安全性について、他都市の事例を提示して欲しい

#### ヒアリング調査写真



上海市政工程設計研究総院（プレゼン状況）

### 5.2.5 上海市排水行業協会

上記協会において亜臨界水処理技術に関する説明と、上海市における汚泥処理状況、課題についてヒアリングを行った。その概要は下表のとおりである。

上海市では約 700 万 m<sup>3</sup>/日の汚水に対して 52 ヶ所の汚水処理場で対処しており、1 処理場の平均処理能力は十数万 m<sup>3</sup>/日と中国においては比較的小規模の分散システムが組み立てられているのが一つの特徴となっている。

汚泥処理に関しては、次のような上海市の特性を教えていただいた。

- ① 余剰汚泥の問題と共に管内に堆積した砂分中心の汚泥が約 20 万 t にのぼり大きな問題になっていること
- ② 汚泥の処分は埋立が中心であるが、運搬費が処分費よりも高い場合があること
- ③ 下水汚泥からのエネルギー回収に欠かせないメタン発酵プロセスに関しては、市消防からの指摘（ガスタンク設置不可）を受け、実施できないこと
- ④ 肥料への利用は農地減少などにより、減少傾向にあること
- ⑤ 下水汚泥の処理処分や資源化の今後については一定の方向性が見出せないでいること

また、亜臨界水処理技術に関しては、特にコスト面の実際的なデータを求めておられた。

表 5.2.7 上海市排水行業協会でのヒアリング

上海市の状況	汚水処理場 52 ヶ所（設計能力 686 万 m <sup>3</sup> /日） 普及は全国一、処理率 75%（年末には 80%）
汚泥処理の現況	課題点：①管内貯留汚泥（砂）処理・・・18 万 t/年 ②余剰汚泥処理 汚泥処理処分への基準なし（埋立・焼却・資源化） 汚泥発生量 5,000 t/日（含水率 80%目標）、埋立処分 汚泥運搬費 200～300 元/t：処分費より高い場合もある 処分費 100～200 元/t メタン発酵は市内でのガスタンク設置不可で実施できない（消防サイドからの指摘） 肥料への利用は減少傾向 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 農地減少</li> <li>・ 化学肥料の普及</li> <li>・ 汚泥肥料の認可が難しい</li> <li>・ 重金属の影響を懸念</li> </ul> 今後の方向性として、はっきり決まっていないため、埋立、乾燥・焼却、資源化（堆肥、セメントなど）を 1/3 程度ずつとして模索

## ヒアリング調査写真【上海市排水行業協会】



1. 上海市排水行業協会（入口）



2. 上海市排水行業協会（プレゼン状況）

## 5.2.6 上海市水務局の新たな方針について

上海市汚泥処理処分計画が2010年5月に上海市水務局から発布された。

この計画は、汚水処理から発生する汚泥の処理処分問題が日増しに高まってきたこと、そして、汚水管と雨天時揚水ポンプ場の能力が高まったことにより大量のSS、廃水が輸送システムに流入し、結果として排水溝の汚泥や、揚水ポンプ場のごみ発生が著しく増大していることが背景となっている。（※上海市排水行業協会毛秘書長のヒアリング結果と整合）

計画の要点としては地区特性に応じた処理処分方式が具体的に設定されている他、全体計画方式の下で対策を進めること、中心市街地と近郊地域での総合的対応、基礎研究の重視などが謳われている。

計画目標としては汚泥の有効処理率を2012年には85%以上、2020年には95%以上とすることが掲げられている。

水務局資料から本計画について概要整理を行うと下表のとおりである。

表 5.2.8 上海市汚泥処理処分計画の概要（上海市水務局 2010年5月）

計画の必要性	●汚水処理整備により処理から発生する汚泥の急増 ●雨天時対応の、汚水パイプと揚水ポンプ場の送水能力の高まりに従い、排水溝汚泥と揚水ポンプ場のごみ生産が著しく増加。		
計画の要点	① 全体計画システムの確立(都心部の重点研究と郊外部の計画化) ② 地区特性に応じた処理処分方式の設定 ③ 操作性の確保(遠近結合) ④ 科学性の追及(基礎研究を重視)		
計画目標	●2012年 汚泥の有効処理率85%以上 ●2020年 汚泥の有効処理率95%以上		
計画対象地区	全市6340.5km <sup>2</sup> 。		
	計画区域名	処理処分基地	対象汚水処理場(サービス範囲) 処理処分・資源化方式
	(1)石洞口地区	石洞口汚水処理場	石洞口、泰和、呉淞、桃浦 脱水+乾燥化+焼却(建設資材利用)
	(2)竹園地区	竹園汚水処理場	竹園第1、竹園第2、曲陽、泗塘 脱水+乾燥化+焼却(建設資材利用)
	(3)白龍港地区	白龍港処理場	白龍港、天山、龍華、長橋、閔行、莘庄などの6箇所 嫌気性消化+脱水+乾化(一部)土地利用
	(4)杭州湾沿岸地区		奉賢区 脱水+固体好気発酵
	(5)嘉定及黄浦江上游区域	嘉定区	原南匯区 脱水+前処理 衛生埋立て(老港埋立て場)
		嘉定区	嘉定安亭、嘉定新市街、南翔 脱水+固体好気発酵(衛生埋立て)
		青浦区①青浦南部	柳港、新濱など 脱水+固体好気発酵
		②青浦北部	青浦新城、青浦東部、東北部及び西部第一、第二 または無害化処後(土地利用)
		金山区①金山南部	楓涇、興塔、廊下、楓亭など 脱水+固体好気発酵(土地利用)
		②金山北部	新江、金山第2、工業排水処理場 脱水+固体好気発酵or焼却
	(6)崇明三島地区	城橋	城橋と新河汚水処理場 脱水+固体好気発酵(土地利用)
		陈家鎮	陈家鎮と堡鎮 脱水+固体好気発酵(土地利用)
		横沙島	横沙島 脱水+固体好気発酵(土地利用)
		長興島	長興島 脱水+固体好気発酵(土地利用)
	(7)応急汚泥埋立		白龍港汚泥埋立て場を改造 石洞口、竹園の汚泥焼却場の突発的事故的応急の施設
●下水溝汚泥対策	中心市街区	長寧区に試験的に汚泥中継場 下水溝・ポンプ場汚泥を対象 汚泥沈殿脱水後、衛生輸送埋立	
●汚泥処理処分の管理措置	①基準完備	第三者の品質測定と汚泥動態の情報収集システムを構築	
	②市場誘導	合理的な汚泥の資源化利用政策を制定して科学的発展観を体现	
	③機能改善	汚泥収集、輸送、処理、処分、応用過程の有効な監督管理方法の制定	

### 5.3 天津市における調査結果

天津市においては下表のスケジュールで調査を行った。

表 5.3.1 天津市におけるスケジュール

月日	訪問先（污水处理場 等） ※：特徴的事項	お世話になった主な方々
2010 04/08	天津市紀庄子污水处理場 ※脱水ケーキの緑化用土としての販売	天津市自来水集団 Dr. He Wenjie 天津市華博水務有限公司 Dr. Zhao Jianwei
	天津市咸陽污水处理場 ※遠心脱水+フィルタープレスの直列運転	天津市華博水務有限公司 Dr. Zhao Jianwei

#### 5.3.1 天津市の概要

天津市は河北省に隣接する直轄市である。行政面積約 11,917km<sup>2</sup>、総人口は 1,176 万人（2008 年）、行政区画は和平区、河東区、河西区、南開区、河北区、紅橋区、塘沽区、漢沽区、大港区、東麗区、西青区、津南区、北辰区、武清区、宝坻区の 15 市街区、および 3 県（寧河区、静海区、薊県）を管轄する。

市内の海拔は華北平原に位置し平坦な地形であるが、北部には面積の 5% を占める丘陵地帯がある。また河北省境は海拔 1,079m で天津市の最高峰となっている。

表 5.3.2 天津市の概要

No.	項目	内容
1	面積	行政面積約 11,760km <sup>2</sup> 、内市区面積約 641km <sup>2</sup>
2	人口 (2007 年)	天津市行政区域内：1,115 万人（2007） 内市区人口：約 506 万人（2008）
3	GDP	6,354 億元、5.5 万元（8,100 ドル）/人（2008 年）
4	降雨量	年平均 544mm、内雨期（6 月～8 月）平均降雨量：387mm
5	気温	年平均 12.8℃、7 月平均：26.5℃、1 月平均：-3.5℃

## 5.3.2 紀庄子污水处理場

## (1) 概要

紀庄子污水处理場の位置は下図のとおりで、天津市の中央部に位置する基幹処理場である。

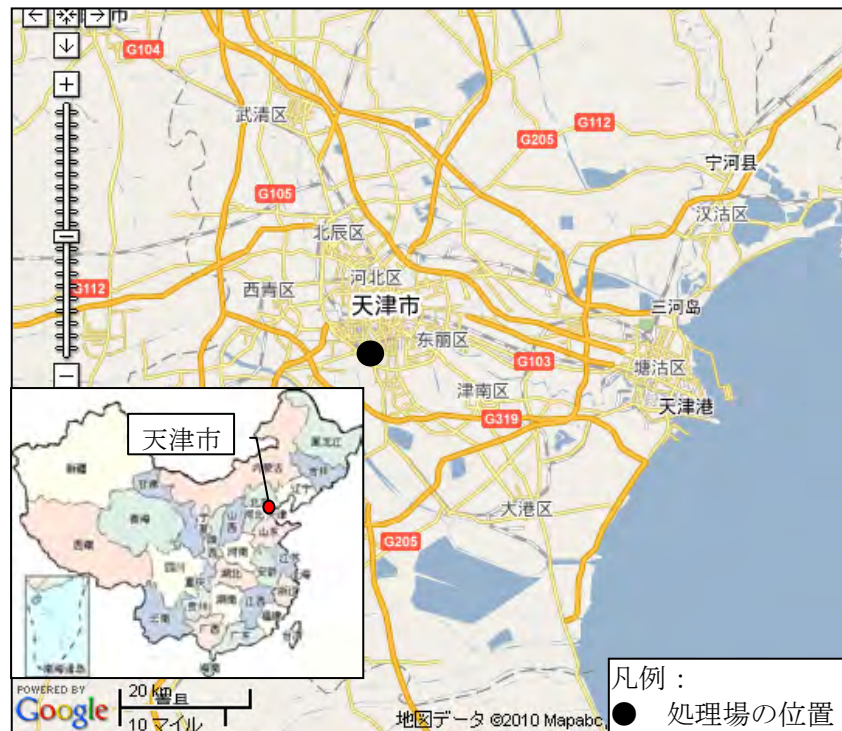


図 5.3.1 天津市紀庄子污水处理場位置図

紀庄子污水处理場の基本諸元や現地ヒアリング事項をまとめると下表のとおりである。

表 5.3.3 紀庄子污水处理場の概要（現地ヒアリング事項等）

処理場完工時期	設計完了 1984 年 工事完了 1986 年 (26 万 m <sup>3</sup> /日)	
処理区面積	約 63km <sup>2</sup>	
処理人口	118 万人	
排除方式	合流式(一部は分流式)	
処理場規模	54 万 m <sup>3</sup> /日 (設計能力)、40 万 m <sup>3</sup> /日 (現状)	
処理場敷地面積	30ha	
処理方式	標準活性汚泥法 (AO 法へ改造中)	
流入水水質	< 計画 >	< 現状の測定事例 >
	BOD : 200mg/L	176mg/L
	SS : 250mg/L	240mg/L
処理水水質 (計画)	2 級	(改造後 1 級 B) :
	BOD<30mg/L	<20mg/L
	SS<30mg/L	<20mg/L
	T-N<-mg/L	<20mg/L
	T-P<3mg/L	<1.5mg/L
脱水ケーキ発生量	約 330m <sup>3</sup> /日 (75%)	

汚泥最終処分	埋立
水処理系に関する情報	曝気沈砂池をフロー冒頭に配置 1980年創設 処理能力向上に取り組み中 二酸化塩素（塩素ガスから安全性で転換）
汚泥処理系に関する情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 消化 17.5 日→遠心脱水→埋立</li> <li>● 脱水ケーキは基本的に埋立処分</li> <li>● 一部は緑化用土に活用 300 元/m<sup>3</sup>で販売</li> <li>● 遠心脱水 5 基 ドイツ製（修理中）</li> <li>● 消化ガスは発電から槽加温用熱源に変更 ←寒冷地で槽保温が重要、また売電不可のため</li> </ul>
その他の情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 場内流入部付近で悪臭あり</li> <li>● 放流水質基準は環保局指令で決定</li> <li>● 亜臨界に関する具体的費用検討が欲しい パイロットテスト実施意欲あり</li> <li>● 上海 WS への招待 3 名可能</li> <li>● 放流基準強化による処理コスト増に苦慮</li> <li>● 市内にごみ発電プラント 2 基建設</li> </ul>
亜臨界水処理技術のプレゼンに関する反応	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 重金属固定化 表のデータが含有量ではなく 溶出量なら理解できるが・・・？</li> <li>● 移動式の設備はないか？</li> <li>● 具体的な資料提供を受けて、パイロットをはじめるか判断したい。</li> </ul>
その他	<p>天津市污水处理場数：合計 15 ヶ所 市区処理場能力合計：約 150 万 m<sup>3</sup>/日（2008 年現在） 市区下水処理率：90% 市区処理場脱水汚泥（含水率約 75%）：約 1,000 t /日（約 37 万 t /年） 水道料金：3.08 元/m<sup>3</sup> 下水道料金：0.82 元/m<sup>3</sup> 再生水価格：1.2 元/m<sup>3</sup></p>

## (2) まとめ

## 【規模など】

紀庄子污水处理場は 1986 年に創設された中国としては比較的古い処理場である。この処理場は津河以西、紀庄子污水川（陳塘荘の鉄道支線）の以南、津港運河の以北、李港換路以東に位置し、敷地面積 30 ヘクタール、その施設用地は 20ha、残り 10ha は野菜畑や水溜りになっている。

現在の処理能力は約 40 万 m<sup>3</sup>/日で、処理能力向上に向けた取り組みを進めている途上である。

天津市は市区内の汚水量約 150 万 m<sup>3</sup>/日に対して 4 ヶ所の污水处理場で対処しているが、紀庄子污水处理場は基幹処理場の一つである。（天津市全域でみた場合には 180 万 m<sup>3</sup>/日の汚水量となり 15 ヶ所の污水处理場で対処している。）

**【水処理】**

従来は中国の污水処理場で多くみられる曝気沈砂池が配された標準活性汚泥法であったが、段階的にA0法への改造が進んでいる。設計処理水質は2級が適用されてきたが、上記改造に伴い、改造後は1級Bに変更される予定である。放流水質基準は環保局指令で決定されるが、放流基準強化にかかる処理コスト増に苦慮しているとのことであった。

施設改造工事は標準法からA0法への改造が中心であるが、消毒剤を塩素ガスから二酸化塩素に変更する設備変更工事も進んでいた。変更理由は取り扱いの安全性とのことであった。

**【汚泥処理】**

紀庄子污水処理場では約330m<sup>3</sup>/日(75%wet)の脱水ケーキが発生し、その処分は埋立が基本となっているが、一部は緑化用土として300元/m<sup>3</sup>で販売されている。緑化用土に関しては米国製ロータリーキルン型汚泥乾燥機を導入し含水率を約10%として1/3に減量化が行われている。

汚泥は消化が行われた上で、ドイツ製遠心脱水機で脱水されている。この脱水機は、見学当日は修理のため休止状態にあった。このため、脱水ケーキピットにためられた汚泥の含水率はかなり高い状態にあった。

本処理場では消化槽が現在も稼動している。従前は以下に示す設備により消化ガス発電を行い場内電力の供給をしてきた。

**<紀庄子污水処理場のメタンガス発電設備の設計諸元>**

生汚泥当たりのガス生成率は7m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>・汚泥(=230m<sup>3</sup>/t・DW)、余剰汚泥当たりのガス生成率は4m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>・汚泥(=660m<sup>3</sup>/t・DW)で計算し、総生産量は9700m<sup>3</sup>/日である。メタンガス発電量は1.3kw/m<sup>3</sup>気体を採用し、6250型のメタンガスエンジンを採用して発電機出力120kWを5台(その中1台は予備)配備。毎日16時間稼動で計、毎月発電量は7600kW。

しかし、当地が寒冷地で槽の保温が重要であること、発電しても売電できる量でもないこと、場内電力としても不安定であるためガス発電は中止し、直接脱水方式に変更された。消化ガスは現状では消化槽の加温用熱源として使用されている。

なお、天津市データによれば、紀庄子污水処理場の有機分は48%~53%であり、日本の汚泥に比較するとかなり低い含有率である。また、紀庄子污水処理場を含む幾つかの天津市污水処理場の汚泥に含まれる重金属のデータは下表のとおりで、農用基準を超過する項目もみられる。



表 5.3.4 天津市の汚水処理汚泥の重金属

重金属	天津紀庄子 汚水処理場	天津東郊汚 水処理場	開発区第一 処理場	農用基準	
				酸性土壤中 (pH<6.5)	中性及びアルカ リ性土壤中 (pH>6.5)
Cd	5	999.8	12.7	5	20
Mg	8.5		0.044	5	15
Pb	-	153.3	195.7	300	1,000
Cr	585	1,877	751.5	600	1,000
As	17.9	-	6.05	75	75
Cu	486	1,566	1763	250	500
Zn	1,335	3,875	2260	500	1,000
Ni	-	193.6	89.34	100	200

(注)2005年のデータであるため近年は変化がみられる可能性がある。

このような背景の下、汚泥の資源化について天津市では次のような方針が設定されている。

- 大規模の汚水処理場（規模 10 万 m<sup>3</sup>/日以上）の汚泥処理は嫌気性消化を導入してできるだけバイオエネルギーを利用する。
- 10 万 m<sup>3</sup>/日未満の汚水処理場の汚泥は直接堆肥化と総合利用を採用する。
- 天津紀庄子汚水処理場の汚泥処分方式は汚泥の高温堆肥と衛生理立の総合的処置とする。

出典：「关于天津市城市污水污泥处理与处置的技术研究与探索」赵丽君、张大群、除宝柱  
天津水工业工程设备有限公司；<http://www.dryisland.com/list.asp?unid=303>  
「天津市纪庄子污水处理厂简介」黑龙江建筑职业技术学院市政工程技术系  
<http://www.docin.com/p-22411520.html>

#### 【亜臨界水処理技術について】

今回の現地調査の中で、最も積極的な反応がみられた。

前記の汚泥中の重金属の実態を受けて、亜臨界水処理による重金属低減効果や、移動式設備の有無といった具体的質問があった。このように「亜臨界水反応技術」には十分興味があり概略のシステムと経済性検討の提案要望があった。

現地調査写真 【紀庄子污水处理場】



1. 紀庄子污水处理場（手前右：場長）



2. 天津市水務局（プレゼンテーション）



3. 紀庄子污水处理場（遠心脱水設備(修理中)）



4. 紀庄子污水处理場（遠心脱水後のケーキ）



5. 紀庄子污水处理場（消化槽）



6. 紀庄子污水处理場（消化ガスのホルダー）

### 5.3.3 咸陽路污水处理場

#### (1) 概要

咸陽路污水处理場の位置は下図のとおりで天津市の西部に位置する。




図 5.3.2 咸陽路污水处理場位置図

咸陽路污水处理場の基本諸元や現地ヒアリング項目をまとめると下表のとおりである。

表 5.3.5 咸陽路污水处理場の概要（現地ヒアリング事項等）

処理場完工時期	2004 年	
処理区面積	68km <sup>2</sup>	
処理人口	86 万人	
排除方式	合流式(一部は分流式)	
処理場規模	45 万 m <sup>3</sup> /日 (設計)、現状は計画 - α、将来 63 万 m <sup>3</sup> /日	
処理場敷地面積	60ha	
処理方式	標準活性汚泥法 (AO 法へ改造中)	
流入水水質 (計画)	BOD : 220mg/L COD : 400mg/L SS : 220mg/L NH <sub>4</sub> -N : 40mg/L T-P : 3.5mg/L	
処理水水質 (計画)	2 級	(改造後 1 級 B) :
	BOD<30 mg/L	<20 mg/L
	SS<30 mg/L	<20 mg/L
	T-N<- mg/L	<20 mg/L

	T-P<3mg/L	<1.5mg/L
脱水ケーキ発生量	300 t/日	
汚泥最終処分	埋立	
水処理系に関する情報	流入水 7 割は生活系	
汚泥処理系に関する情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 脱水：遠心 4 基+フィルタープレス 6 基</li> <li>● 含水率低下に向け遠心+フィルタ直列運転試行中</li> </ul>	
その他の情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 主要設備は設置されたが場内整備途上</li> <li>● 元土地利用者（農民）が正門に工事妨害土砂</li> <li>● 場内各所の人孔から汚泥越流</li> </ul>	
その他	<p>2009 年 100m<sup>3</sup>/日の汚泥熱乾燥システム(250℃、乾燥汚泥含水率 10%)を導入した。また、2010 年末に 200m<sup>3</sup>/日まで拡張予定。</p> <p>乾燥汚泥（粒状）は緑化用土として有効利用</p> <p>汚泥乾燥 OM コスト：280 元/m<sup>3</sup>で高く、費用削減が課題</p> 	

## (2) まとめ

## 【規模など】

2004 年に完工した設計能力 45 万 m<sup>3</sup>/日の新しい汚水処理場である。しかし、見学当日においても場内整備は完了しておらず、主要施設の設置がようやく終わった段階と思われる。また、正門付近には入場妨害を目的とした土砂が農民（地権者？）により投棄されており、これらが工事の遅れにつながっているものと思われる。

なお敷地面積は 60ha と極めて広く、見学当日の場内移動も時間を要した。

## 【水処理】

標準活性汚泥法で設計されたが、AO 法への改造が進められている。設計処理水質は 2 級であったが、上記改造を受けて 1 級 B への変更が予定されている。

また、天津市は深刻な水不足をきたしている都市であるため、処理水の再生は必定であるとして、処理場内の 2 次処理水を、大量に農業の灌漑に用いる他、2 万 m<sup>3</sup>/日規模の高度処理施設（先進的な流動砂式フィルターの採用）で、市政と工業用水の水源として提供するとしている。

## 【汚泥処理】

この処理場では 300 t/日の脱水ケーキが発生している。汚泥処理方法は中温消化、脱水、乾燥化が計画されているが、現状では、遠心濃縮脱水、フィルタープレスの 2 段処理が行

われていた。現場では脱水ケーキ含水率の低下のためと説明されたが、その設計上の意図については不明である。

消化槽は設置されていたが、その稼動については確認できなかった。また、脱水汚泥(含水率 75%)を 100 t/日処理可能な米国製ロータリーキルン型汚泥乾燥機が設置されている。

このように、汚泥処理施設整備が追いついていない部分があるため、場内各所で汚泥がマンホールから逸散する状況がみられた。

出典： 刘琳;天津市咸阳路污水厂的污泥脱水与干化处理设计<<中国给水排水>>2007 年 第 23 卷 第 14 期

現地調査写真 【咸陽路污水处理場】



1. 咸陽路污水处理場（入場妨害の土砂）



2. 咸陽路污水处理場（人孔から溢れた汚泥）



3. 咸陽路污水处理場（遠心脱水(前処理)）



4. 咸陽路污水处理場（遠心濃縮汚泥の流入→フィルタープレスへ）



5. 咸陽路污水处理場（フィルタープレス脱水(仕上処理)）



6. 咸陽路污水处理場  
（フィルタープレスのケーキ(搬出处分)）

## 5.4 大連市における調査結果

大連市においては下表のスケジュールで調査を行った。

表 5.4.1 大連市におけるスケジュール

月日	訪問先 (汚水処理場 等)	お世話になった主な方々
2010 04/09	大連市経済開発特区(清本再生水有限公司処理場)	大連清本再生水有限公司 Mr. Ju Xiang (場長) Ms. Liu
	東泰・夏家河汚水処理場	
	東泰・夏家河有機廃棄物処理有限公司汚泥処理場	Mr. Liu (場長)、Mr. Wang Yue (大連市市政設計院)

### 5.4.1 大連市の概要

大連市は中華人民共和国遼寧省の南部に位置する地級市（地区クラスの市）であるが、経済的重要性から省クラスの自主権をもつ副省級市にも指定されている。

総人口は 613 万人で、遼寧省では省都の瀋陽市に次ぐ大都市である。

表 5.4.2 大連市の概要

No.	項目	内容
1	面積	行政面積約 13,237km <sup>2</sup> 、内市区面積約 326km <sup>2</sup>
2	人口	大連市行政区域内：613 万人（2008） 内市区人口：約 348 万人（2008）
3	GDP	3,858 億元、6.3 万元（9,300 ドル）/人（2008 年）
4	降雨量	年平均 550～950mm、内雨期（6 月～8 月）平均降雨量：379mm
5	気温	年平均 10.5℃、8 月平均：24.1℃、1 月平均：-3.9℃

### 5.4.2 清本再生水有限公司処理場

#### (1) 概要

清本再生水有限公司処理場の位置は下図のとおりで、大連市中心部からみて北東部の経済開発特別区の中にある。

また、この処理場の基本諸元や現地ヒアリング事項をまとめると下表のとおりである。



図 5.4.1 大連市清本再生水有限公司処理場位置図

表 5.4.3 大連市清本再生水有限公司処理場の概要（現地ヒアリング事項等）

処理場完工時期	2009年
処理区面積	工業新区にある工場廃水と周辺住宅地からの生活排水
処理人口	不明
排除方式	合流式
処理場規模	5,000m <sup>3</sup> /日（現状）、15,000m <sup>3</sup> /日（二期計画）、20,000m <sup>3</sup> /日（三期計画）：最終規模 40,000m <sup>3</sup> /日
処理場敷地面積	1.1ha
処理方式	A2O法+MBR法（膜分離活性汚泥法）
流入水水質	T-P 15~20mg/L
流入水水質（計画）	T-P：10~20mg/L（工場廃水が多いため）
処理水水質（計画）	1級A BOD<10mg/L SS<10mg/L T-N<15mg/L T-P<0.5mg/L
脱水ケーキ発生量	不明（1週間1度程度 4tトラックで搬送→0.5t/日？）
汚泥最終処分	汚泥集中処理（メタン発酵）施設まで運搬し処理後埋立
水処理系に関する情報	現状流入 2,000m <sup>3</sup> /日 2008年建設開始 2009年6月建設終了 2009年11月竣工式（BOT基本契約締結） 放流水質基準は遼寧省の一律基準適用 水道水 2元/m <sup>3</sup> 再生水単価 0.8元/m <sup>3</sup> （20,000m <sup>3</sup> /日処理時） 内、政府からの補助は 0.5元/m <sup>3</sup> 料金徴収は政府 DKは水処理までの約束



	<p>5000m<sup>3</sup>/日処理では処理コスト4元/m<sup>3</sup>に高騰 工場廃水垂れ流しの改善に向けてDKに要請 工場廃水垂れ流し→地汚水汚染 今までは全てDKの自己資金 計画2億元、実際3億元(20億円程度?) 現状は基本契約のみ 細かな条件整理未了 リン対策 現状流入2000m<sup>3</sup>/日に対してPAC210kg/日使用 →105mg/L相当 硝化阻害の懸念 清本社員(し尿処理場経験者)が基本設計 →大連市市政設計院で実施 設計最低水温10度 実際は4.8度 →NP除去 特にP除去がしんどい 流入水のPが高い 原因不明(水産加工?) 放流水質に関する市からの罰金1.2万元/3ヶ月 本来は流入条件に係る免責事項 膜:旭化成の中空糸膜使用 供用開始後半年でかなり閉塞 薬品洗浄必要 清本のスタンス:この処理場は今後の水ビジネス展開のための先行投資(捨石) 清本として会社二つ新設 処理場職員数 6名</p>
汚泥処理系に関する情報	<p>※4tトラック仮置で1週間隔搬送→約1t/日程度? 廃水処理は脱水まで現地→集中処理施設へ PACが多く脱水ケーキはスポンジ状、臭い少ない 大連市地形特性を受け処理場は多い 汚泥処分は1ヵ所を除き埋立処分 DKと政府の役割分担 水処理、脱水、集中への運搬・・・DK 汚泥集中処理以降・・・政府 約80km(往復)のケーキ運搬費は150元/m<sup>3</sup>の汚水処理費用に含める契約とする予定 廃棄物取扱専門業者に運搬業務を依頼</p>
プレゼンに関する反応	<p>基本的に汚泥処理は市の集中処理施設にお願いしている</p>
その他の情報	<p>鞠場長 豊橋科学技術卒 大連市市区下水処理場数:9ヵ所 市区処理場能力合計:約70万m<sup>3</sup>/日 市区下水処理率:約90% 市区処理場脱水汚泥(含水率約80%):約500t/日(約18万t/年)</p>

## (2) まとめ

### 【規模など】

工業新区に 2009 年に設けられた新しい処理場で、全体計画では 40,000m<sup>3</sup>/日が予定されているが、現在の処理能力は 5,000m<sup>3</sup>/日である。投資額は 334 万ドル。処理水を再生水として販売する「水ビジネス」の一例として調査対象とした。

2010 年 1 月、九州経済産業局が中国の「水ビジネスモデル」処理場として注目し、「第一回環境産業交流会議」および「環境セミナー」フォーラムで紹介された。

汚泥処理については大連市の汚泥集中施設に依存しているため、本污水处理場には脱水プロセスまでしか設置されていない。

### 【水処理】

A20 法+MBR 法（膜分離活性汚泥法）が採用されている。膜モジュールには旭化成の中空糸タイプが使用されており、設計処理水質は最も厳しい 1 級 A が適用される。

P 除去が処理上の主要課題となっており、特に冬季低温時の処理が厳しい模様である。計画流入水質を大幅に上回る高濃度の P 流入があり、本来は免責状態である。しかし、基本契約のみで細かな文書規定を交わしていないため、市政府と処理水質に関する契約条件を遵守するため、多量の PAC を注入して凌いでいる。一時期は契約上のトラブルに近い状態にあったが、現状ではクリアしている模様。

当地の冬は特段に厳しく、膜のフラックスにもかなり影響している模様。

もう一つの水処理上の課題は塩分濃度が高いことで、現場責任者によれば水産加工排水の影響が想定されるとのことであった。処理生物への影響が懸念されたが現状では馴致されているようである。

### 【汚泥処理】

前記のように本処理場の汚泥処理は大連市の汚泥集中施設まで、脱水ケーキをトラックで搬送（往復 80km）している。このケーキ運搬費は 150 元/m<sup>3</sup>の污水处理費用に含める契約としていく予定とのことである。

汚泥発生量はデータが取られていないため詳細は不明であるが汚泥集中処理施設への搬送頻度からみて 0.5 t/日程度が現状と推察される。また、脱水ケーキの性状は P 対策のための PAC 多量注入を受けて白色系で弾力を有する特異なものとなっていた。

**【亜臨界水処理技術について】**

現場責任者（鞠場長 豊橋科学技術卒）の理解協力の下、大連市汚泥集中処理施設の見学が可能となった。

**【その他】**

この事業はPFIとして展開しており、再生水利用はBOT方式で地方政府と合意しつつある。課題点としては中国におけるBOT事業への日系企業参画のあり方（リスク）については精査が必要と考えられた。

現地調査写真 【清本再生水有限公司処理場】



1. 清本再生水有限公司処理場  
(開発区周辺状況。食品工場など立地)



2. 清本再生水有限公司処理場  
(プレゼンテーション)



3. 清本再生水有限公司処理場 (膜分離活性汚泥)



4. 清本再生水有限公司処理場 (放流先河川の状況。ごみ散乱)



5. 清本再生水有限公司処理場 (ベルトプレス脱水機)



6. 清本再生水有限公司処理場  
(脱水ケーキはトラックに仮置き。満杯時に集中処理施設へ搬送)

## 5.4.3 東泰・夏家河污水处理場

## (1) 概要

大連市東泰・夏家河污水处理場の位置は下図のとおりで大連市北東部に位置する。



図 5.4.2 大連市東泰・夏家河污水处理場位置図

大連市東泰・夏家河污水处理場の基本諸元や現地ヒアリング事項をまとめると下表のとおりである。

表 5.4.4 大連市東泰・夏家河污水处理場の概要（現地ヒアリング事項等）

処理場完工時期	2007年												
処理区面積	約 50km <sup>2</sup>												
処理人口	不明												
排除方式	合流式（一部分流式）												
処理場規模	30,000m <sup>3</sup> /日												
処理場敷地面積	7.5ha												
処理方式	SBR（回分式活性汚泥法）												
流入水水質	<table border="0"> <tr> <td>&lt;計画&gt;</td> <td>&lt;現状の測定事例&gt;</td> </tr> <tr> <td>BOD：200mg/L</td> <td>71～219mg/L</td> </tr> <tr> <td>COD：400mg/L</td> <td>156～524mg/L</td> </tr> <tr> <td>SS：220mg/L</td> <td>58～215mg/L</td> </tr> <tr> <td>T-N：48mg/L</td> <td>22～39mg/L</td> </tr> <tr> <td>T-P：3mg/L</td> <td>1.5～4.8mg/L</td> </tr> </table>	<計画>	<現状の測定事例>	BOD：200mg/L	71～219mg/L	COD：400mg/L	156～524mg/L	SS：220mg/L	58～215mg/L	T-N：48mg/L	22～39mg/L	T-P：3mg/L	1.5～4.8mg/L
<計画>	<現状の測定事例>												
BOD：200mg/L	71～219mg/L												
COD：400mg/L	156～524mg/L												
SS：220mg/L	58～215mg/L												
T-N：48mg/L	22～39mg/L												
T-P：3mg/L	1.5～4.8mg/L												
処理水水質（計画）	1級A BOD<10mg/L SS<10mg/L												

	T-N<15mg/L T-P<0.5mg/L
脱水ケーキ発生量	余剰汚泥は丘上の汚泥集中処理施設へ圧送するため脱水ケーキは発生せず。
汚泥最終処分	汚泥集中処理（メタン発酵）施設へ圧送し処理後埋立
水処理系に関する情報	回分式活性汚泥法 CWSBR 方式（ドイツの技術） 流入 1hr、曝気 2hr、沈降 1hr、排水 1hr・・・4 サイクル/日 MLSS2,000mg/L+ 処理水再利用は現状ではなし 将来的には発電所へ送水計画あり 建設費 4600 万元 20 年間の BOT 契約 水処理費として、0.65 元/m <sup>3</sup> を政府から貰っている
汚泥処理系に関する情報	濃縮も行わず余剰汚泥をそのまま圧送 圧送先で他処理場ケーキと混合のため濃縮不要
プレゼンに関する反応	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 集中処理施設技師長、大連市市政設計院第 2 設計所長、</li> <li>● DK 鞠所長がプレゼンを聞いてくれた。</li> </ul>

## (2) まとめ

## 【規模など】

大連市金州区経済開発特区の処理能力 30,000m<sup>3</sup>/日汚水処理場である。

## 【水処理】

水処理方式はドイツの技術である SBR 方式（回分式活性汚泥法）が採用され、処理水は再生利用が可能な 1 級 A となっている。また、消毒には紫外線処理が使用されていた。

## 【汚泥処理】

汚泥は隣接丘の上に位置する大連市東泰・夏家有機廃棄物処理場へ圧送、他の処理場汚泥と混合処理している。

現地調査写真 【大連市東泰・夏家河污水处理場】



1. 東泰・夏家河污水处理場（入口）



2. 東泰・夏家河污水处理場  
（隣接（丘上）の汚泥集中処理施設。ここに余剰汚泥を圧送）



3. 東泰・夏家河污水处理場  
（回分式活性汚泥法／曝気プロセス）



4. 東泰・夏家河污水处理場  
（回分式活性汚泥法／沈降プロセス）



5. 東泰・夏家河污水处理場  
（分離カーテンの施工状況）



6. 東泰・夏家河污水处理場（UV 消毒）

#### 5.4.4 東泰・有機廃棄物処理有限公司汚泥処理場

##### (1) 概要

大連市東泰・有機廃棄物処理有限公司汚泥処理場の位置は下図のとおりで、大連市の北東に位置し、前記の汚水処理場（東泰・夏家河汚水処理場）に隣接する。



図 5.4.3 大連市東泰・有機廃棄物処理有限公司汚泥処理場位置図

東泰・有機廃棄物処理有限公司汚泥処理場の基本諸元や現地ヒアリング事項をまとめると下表のとおりである。

表 5.4.5 大連市東泰・有機廃棄物処理有限公司汚泥処理場の概要（現地ヒアリング事項等）

処理場完工時期	2009 年
処理区面積	大連市全部行政区域
処理人口	約 350 万人
処理場規模	600m <sup>3</sup> /日
処理場敷地面積	約 4ha
処理方式	メタン発酵（ドイツ LIPP 特許技術）、中国国内初採用
脱水ケーキ発生量	消化槽投入汚泥量：400m <sup>3</sup> /日 消化汚泥発生量：180m <sup>3</sup> /日
汚泥最終処分	農地利用、埋立等
水処理系に関する情報	消化脱離液はドイツ式担体法でアンモニア除去
汚泥処理系に関する情報	余剰、ケーキ、生ごみ混合→消化→脱水→乾燥 消化ガスの 80%（20,000m <sup>3</sup> /日）→精製（脱硫等） →都市ガスと混合（市ガス供給量の 3%と相当、引渡し価格 3.9 元/m <sup>3</sup> ） 消化ガスの 20%→消化槽加温用熱源に利用



	<p>消化汚泥の脱水ケーキの含水率は約 70%→NPK 高く、重金属が低いため約 60%を肥料利用 消化脱離液→液肥として周辺農家、緑化に利用、残は丘下の処理場へ返送</p> <p>消化槽容積は 3,000m<sup>3</sup>/基×12 基、内 8 基を供用 消化槽滞留時間は 22～24 日 消化槽は向流方式混合、電気保温式 39℃ 消化槽材質：4mm 厚 SUS 34 t/基 ドイツ製</p>
その他の情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 大連のエネルギー消費は、冬は夏の 2 倍</li> <li>● ドイツ技術の採用理由は安価、高効率に加え、SUS 製であることによる工期短縮（コンクリートと比べ）があった</li> <li>● BOT 契約（20 年間）</li> <li>● 建設費：1.5 億元（25 万元/m<sup>3</sup>・日＝350 万円/m<sup>3</sup>・日）</li> <li>● OM コスト：約 135 元/m<sup>3</sup>で、中国国内他の処理方法と比べかなり安いと評価されている</li> <li>● 年間 CO<sub>2</sub> の削減量：約 8 万 t</li> </ul>

## (2) まとめ

大連市金州区経済開発特区の汚水処理汚泥等の集中処理センターとして設立(BOT 方式)され、収集計画汚泥量は、550 t/日、ホテル・レストラン等の食物残渣 50 t/日、計 600 t/日の処理能力を有している。また、場内用水は処理場内の再生水を利用している。

ドイツ製メタン発酵設備により天然ガス供給(能力 11,000m<sup>3</sup>/日)とし、消化汚泥は脱水自然乾燥し熟成堆肥として、一方、消化脱離液は液肥とし販売している。

地域資源循環事業のモデルとして注目される汚泥処理センターであり、中国側もそのような位置づけを行っている。課題事項としてはコンポストの需要変動が大きいため、堆肥化製品の保管のための堆積場の確保が必要なことが挙げられる。

また、冬の厳しい地域であることを受け、大連のエネルギー消費は冬季が夏季の 2 倍になる大きな変動がある。一方、冬季のメタンガス発生量は低温の影響で低下するため、エネルギー利用を行う場合にも出口需要の安定化が課題と考えられる。

現地調査写真【東泰・有機廃棄物処理有限公司汚泥処理場】



1. 東泰・有機廃棄物処理有限公司汚泥処理場  
(入口)



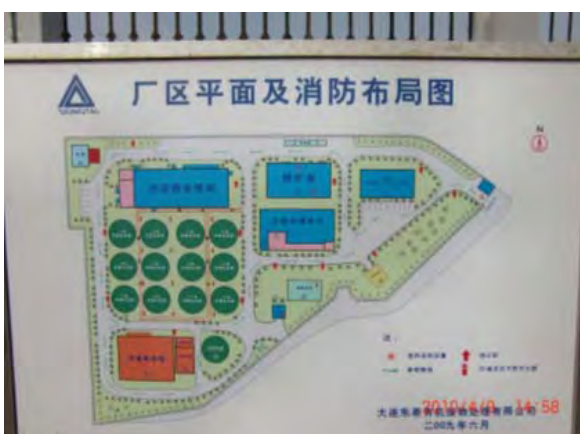
2. 東泰・有機廃棄物処理有限公司汚泥処理場  
(プレゼンテーション)



3. 東泰・有機廃棄物処理有限公司汚泥処理場  
(全景)



4. 東泰・有機廃棄物処理有限公司汚泥処理場  
(場長による全体説明)



5. 東泰・有機廃棄物処理有限公司汚泥処理場  
(場内配置図)



6. 東泰・有機廃棄物処理有限公司汚泥処理場  
(汚泥搬入トラックの計量設備)

※設備内の撮影は基本的に不可とされた。

## 中国汚泥等処理に係る調査 第2回現地踏査【その他】

処理場ヒアリングの移動途上でみられた、汚泥等の処理に係る知見は以下のとおり。

### 現地調査写真【その他】



1. 廃棄物の違法投棄(幹線道路傍)



2. 廃棄物の違法投棄(幹線道路傍)



3. 廃棄物の違法投棄(幹線道路傍)



4. 廃棄物の違法投棄(駐車場傍)



5. 石炭の燃え殻によるサクランボ畑の土壤改良



6. 石炭の燃え殻によるサクランボ畑の土壤改良

## 5.5 昆明市における調査結果

昆明市における調査は、下表のスケジュールで行った。

表 5.5.1 昆明市におけるスケジュール

月日	訪問先（污水処理場 等） ※：特徴的事項	お世話になった主な方々
2010 03/16 ～ 03/19	第2 污水処理場、第7 污水処理場 滇池(Dianchi Lake)	中国環境科学院 金教授の紹介

### 5.5.1 明市の概要

昆明市は雲南省の省都であり、行政面積約 21,500km<sup>2</sup>、総人口は 608 万、5 市轄区（五華区、盤竜区、官渡区、西山区、東川区）、1 県級市、5 県、3 自治県を管轄する。市内の海拔は 1,891 メートル、三方を山に囲まれ、南は滇池と呼ばれる大湖に面する。

表 5.5.2 昆明市の概要

No.	項目	内容
1	面積	行政面積約 21,500km <sup>2</sup> 、内市区面積：180km <sup>2</sup>
2	人口 (2007 年)	昆明市行政区域内：608 万人（2020 年 800 万人） 内市区人口：約 305.5 万人（2020 年 600 万人）
3	GDP	1,393 億元、2.3 万元（3,300 ドル）/人（2007 年）
4	降雨量	年平均 920mm、内雨期（6 月～8 月）平均降雨量：593mm
5	気温	年平均 21.4℃、7 月平均：24.7℃、1 月平均：15.9℃

### 5.5.2 第2 污水処理場、第7 污水処理場

#### (1) 概要

第2 污水処理場、第7 污水処理場の位置は下図に示すとおりである。

また、第2 污水処理場、第7 污水処理場の基本諸元や現地ヒアリング事項をまとめると下表のとおりである。



図 5.5.1 昆明市調査対象 位置図

表 5.5.3 第2 污水处理場、第7 污水处理場の概要（現地調査した処理場）

項目	第2 污水处理場	第7 污水处理場
処理場完工時期	1996 年	2010 年前半期（2007 年 8 月着工）
処理区面積	28.4km <sup>2</sup>	42.3km <sup>2</sup>
処理人口	45 万人	58 万人
排除方式	合流式（一部は分流式）	合流式（一部は分流式）
処理場規模	10 万 m <sup>3</sup> /日（拡張計画あり）	20 万 m <sup>3</sup> /日
処理場敷地面積	約 11ha	21ha
処理方式	OD 法	A2O（嫌気無酸素好気法、脱窒脱リン可能な高度下水処理法）
流入水水質	<計画> BOD：180mg/L SS：250mg/L T-N：45mg/L T-P：5mg/L	<現状の測定事例> BOD：150mg/L COD：310mg/L SS：140mg/L T-N：35mg/L T-P：4.8mg/L
処理水水質（計画）	1 級 B（拡張後 1 級 A）： BOD<20mg/L SS<20mg/L T-N<20mg/L T-P<1.0mg/L	1 級 A： BOD<10mg/L SS<10mg/L T-N<15mg/L T-P<0.5mg/L
汚泥最終処分	埋立処分（堆肥実験中）	埋立処分
他の処理場	1) 第 1 下水処理場（12 万 m <sup>3</sup> /日、OD 法、1990 年建設） 2) 第 3 下水処理場（15 万 m <sup>3</sup> /日、回分式活性汚泥法、1998 年建設）	

項目	第2 汚水処理場	第7 汚水処理場
	3) 第4 下水処理場 (6 万 m <sup>3</sup> /日、回分式活性汚泥法、1997 年建設) 4) 第5 下水処理場 (7.5 万 m <sup>3</sup> /日、A20 法、2002 年建設) 5) 第6 下水処理場 (5 万 m <sup>3</sup> /日、A20 法、2003 年建設) 6) 第8 下水処理場 (10 万 m <sup>3</sup> /日、A20 法、2010 年建設) 2009 年現在合計処理水量：55.5 万 m <sup>3</sup> /日 2010 年末合計処理水量：110 万 m <sup>3</sup> /日 (市区下水の処理率は約 90%)	
市全体の汚泥処理	2009 年現在の脱水汚泥量は 340 t/日 (80%含水率) であり、全てゴミ処分場にて埋立処分を行っている。2009 年 11 月昆明市滇池投資有限公司 (下水道局相当) より汚泥集中処理事業を立ち上げ、2010 年末まで汚泥集中処理施設 (500 t/日:嫌気性消化→脱水→熱乾燥) を完成する予定である。投資額は 2.9 億元である (内フィンランド政府借款 1200 万ユーロ、中央政府補助金 3800 万元)。 なお、第7 汚水処理場の建設資金の一部は円借款が利用されている。	

## (2) まとめ

## 【規模など】

第2 汚水処理場は 1996 年に完成した 10 万 m<sup>3</sup>/日の処理場で、現在拡張と処理方法の高度化が検討されている。

第7 汚水処理場は本年 (2010 年) 完成予定で工事・試運転調整が進んでいる 20 万 m<sup>3</sup>/日の処理場で、こちらの方は設計段階から高度処理 (A20 法) が採用されている。

## 【水処理】

第2 汚水処理場は OD 法が採用されているが、拡張により窒素除去に必要な滞留時間を確保し、処理の高度化を目指している。設計処理水質は現状では 1 級 B であるが、拡張/処理高度化に応じて、今後は再生水利用が可能な 1 級 A に変更予定である。

第7 汚水処理場は A20 法で設計されており、設計処理水質は 1 級 A が適用される。

昆明市の他の汚水処理場は、従前は OD 法または回分式活性汚泥法で建設される場合が多かったが、2000 年台以降に建設されたものは窒素、りん除去が可能な A20 が採用され処理の高度化を目指している。

## 【汚泥処理】

第2 汚水処理場、第7 汚水処理場のいずれも脱水ケーキを埋立処分しているが、第2 汚水処理場では堆肥化の実験的取り組みが進められている。

量的なデータは市全体として整理されている。このデータによれば市全体としての汚水量約 55 万 m<sup>3</sup>/日に対して脱水ケーキ量は 340 t/日となっている。

現状では埋立のみであるが、2009年11月昆明市滇池投資有限公司（下水道局相当）が汚泥集中処理事業を立ち上げ、2010年末までに汚泥集中処理施設（500 t /日：嫌気性消化→脱水→熱乾燥）を完成する予定である。この事業にはフィンランド政府の借款が活用されている。

### 5.5.3 滇池(Dianchi Lake)

#### (1) 概要

滇池(Dianchi Lake)は雲南省最大の湖で、近年、太湖、巢湖と並び「中国 3 大汚染湖」の一つに数えられ、中国の国家的重要課題として水質汚染問題の解決が叫ばれている。

その概要は下表のとおりである。

表 5.5.4 滇池の概要

No.	項目	内容
1	流域面積	2,920km <sup>2</sup>
2	湖面面積	300km <sup>2</sup> （琵琶湖の約半分の大きさ） 内草海：10.8km <sup>2</sup> 外海：289.2km <sup>2</sup>
3	平均水位時水面標高	1,886m
4	最大深度	8.0m
5	平均水深	5.2m
6	湖容積（平均水位）	15.6 億 m <sup>3</sup>
7	流入河川	29 本
8	流出河川	1 本（螳螂川、普渡河を通過して、長江上流に注ぎ込む）
9	停留時間	約 4 年間

#### (2) まとめ

滇池は琵琶湖の半分くらいの大きさの湖で、浅く滞留時間が長い自然条件に加えて、下水処理水の流入もあることから富栄養化の進行が問題となっている。

訪問したのは春季であったが既に多量のアオコの発生がみられた。景観上の問題に加え、湖岸に打ち寄せられたアオコの堆積物が腐敗し、悪臭が発生する状況であった。

このような実態の改善に向けて下水道サイドでは下水道整備や処理の高度化が進められているが、未だ問題の抜本的解消には到っていない。

また、アオコをはじめとする藍藻類には藻類毒素（ミクロキスチンなどの神経毒）を生成する可能性があることが報告されており、この面からも早急な対策が望まれる。

一方、アオコは炭酸ガスや水中の栄養分を同化して増殖するものであり、有機資源の一つ

とみることができる。亜臨界水処理技術により効率的に安全で取り扱い性の良好な堆肥等に転換ができれば問題の抜本的解消の一助になることが期待される。亜臨界水処理の原理機構からみて、上記の藻類毒素は分解され無害化できる可能性が高い。



現地調査写真 (1/2) 【昆明市】



1. 第2下水処理場（入口）



2. 第2下水処理場（曝気槽）



3. 第2下水処理場（脱水汚泥）



4. 第2下水処理場（脱水汚泥堆肥化実験）



5. 第2下水処理場（脱水汚泥堆肥化実験）



6. 第7下水処理場（入口）



7. 第7下水処理場（細目スクリーン、中国製）



8. 第7下水処理場（曝気槽、試運転中）

現地調査写真 (2/2) 【昆明市】



9. 第7下水処理場（汚泥脱水機、デンマーク製）



10. 昆明市内の様子



11. 草海の流入河川大観河（高度処理水も流入）



12. 滇池外海の流入河川（盤龍江）



13. 流入河川の浚渫



14. 滇池沿岸にあるゴミの一時収集場所



15. 滇池アオコの様子



16. 滇池水質(COD<sub>Mn</sub>約15mg/L、PO<sub>4</sub>-P約0.15mg/L)

## 6 国内における亜臨界水反応実証プラント実態調査

「亜臨界水反応技術」の実用化は日本が最も早い状況にある。我が国では科学技術の化学工学分野で「超臨界反応」が先に注目され、学術研究が盛んに行われたが、「亜臨界水反応技術」は名称としては異なるものの反応を応用した技術としてより早くから利用されてきた。亜臨界水処理は、高圧条件が必要であるものの現在病原菌等の滅菌器として利用されている「オートクレーブ」と同様の原理であることから、商用型も開発されてきた。本技術は有用物質の抽出技術としての利用が多いが、我が国では近年、廃棄物の資源化技術としても実用化開発が進んでいる。

本調査は下水汚泥等の資源化を含め国内に実在する実証プラントを調査し、その対象とする原料の種類や製品化の実態、および亜臨界水の反応条件等の実態を調べ、本調査で実施する汚泥等の処理試験の目標や資源化処理技術の位置づけの背景とすることとした。

### 6.1 国内における「亜臨界水反応技術」の適用施設の種類のと特徴

国内において「亜臨界水反応技術」を適用している代表的施設は、表 6.1.1 に示すように 10 ヶ所あり、北海道から九州まで点在している。

処理対象物は、下水汚泥や食品廃棄物、一般廃棄物、産業廃棄物が主で、有機塩素系溶剤や焼酎廃液など、多様なバイオマスや廃棄物が処理されている。

施設規模は 0.5～500t/日と大きな差があるが、下水汚泥処理を実施している 3 ヶ所（①③⑧）は 5～10t/日である。なお、④は外部から委託された物を処理する形態のため、委託がない場合には処理を行っていない。

表 6.1.1 国内実証プラントの種類と特徴

事例	所在地	規模	処理対象	製品・利用用途
①	北海道留萌市	10t/日	下水汚泥・廃棄物処理	堆肥
②	北海道白老市	37.6t/日	ごみ処理	固形燃料
③	青森県八戸市	5t/日	下水汚泥処理	燃料
④	新潟県見附市	0.2t/日	廃棄物処理	(委託処理)
⑤	石川県金沢市	10t/日	焼酎等廃液処理	廃液浄化
⑥	愛知県弥富市・一宮市	10t/日	食品廃棄物処理	堆肥
⑦	大阪府堺市	70t/日	有機塩素系溶剤処理	アルコール等
⑧	長崎県長崎市	10t/日	下水汚泥処理	発電
⑨	宮崎県宮崎市	— t/日	木質資源飼料化処理	粗飼料等
⑩	鹿児島県揖宿郡	500t/日	焼酎粕発酵処理	堆肥



図 6.1.1 国内の亜臨界水反応実証プラント

## 6.2 国内実証プラント現地ヒアリング調査結果

国内実証プラントの中で、北海道白老町、新潟県見附市、長崎県長崎市の3ヵ所の施設について、現地ヒアリング調査を実施し、他は既往資料及び文献による調査を実施した。

### (1) 北海道白老町の事例

白老町は、行政区域面積 425.75km<sup>2</sup>、20,749 人（平成 17 年国勢調査）の都市であり、可燃ごみ（週 2 回収集）、不燃ごみ（月 2 回収集）、資源ごみ（缶類、ペットボトル、びん類、紙パックに分けて月 2 回収集）、粗大ごみ、有害ごみの収集を行っている。可燃ごみ処理は、従来、隣接市のごみ処理施設へ搬送して広域処理を行っていたが、バイオマス資源である一般廃棄物等のバイオマス資源の地域内循環、ごみ処理経費の低減化を目指し、平成 17 年度から実証試験を行った後、平成 19・20 年度事業でバイオマス燃料化施設を整備した。

この施設では、可燃ごみ、製紙スラッジ、食品製造残渣、水産加工残渣等から製紙工場の石炭代替用燃料を製造している。含水率の高い処理対象物は、高温高圧処理装置（最大温度：235℃、最大圧力：3.0Mpa）で飽和水蒸気により亜臨界水分解し、炭素化状態まで分子レベルで改質した後、木くずや塩化ビニルを除く廃プラスチック類等を配合の上、減容成型機でペレット状に加工した後、日本製紙㈱白老工場に供給している。

一方、日本製紙㈱白老工場では、温室効果ガスの排出量の削減と収益の安定化を目指し、既存の重油ボイラを木くずや RPF 等のバイオマス燃料とする新エネルギーボイラへの転換を図っている。

表 6.2.1 施設概要

施設名称	eco リサイクルセンターしらおい
施設能力	37.6 t/日（3 基）
固形燃料製造能力	約 11,000 t/年
設備内容	高温高圧処理機 3 基、固形燃料成形機 2 基
工 期	平成 19 年 12 月～平成 21 年 3 月

#### [ヒアリング内容]

- 1) バイオマス燃料化施設導入の事業効果試算結果によると、焼却処理と比較して、CO<sub>2</sub> 排出量の削減、リサイクル率の向上、ごみ処理経費の削減、一般廃棄物最終処分場の残余年数の延長等の効果が認められるとのことであった。
- 2) 施設建設事業費は約 14 億円であり、地域バイオマス利活用交付金により 1/2 の補助制度を受けている。1t 当りの建設コストは約 3,700 万円となる。バイオマスタウン構想は平成 18 年 12 月に提出、その後 3 回改訂している。
- 3) 高温高圧処理の必要時間は約 3～4 時間であり、1 日 2 回投入を行っている。生成物は

低位発熱量 6,000kcal/kg 程度で、1/6～1/7 程度に減容化される。

- 4) 製紙工場に石炭代替用燃料を供給するため、バイオマス燃料の受入基準（塩素濃度 0.3%以下、水分 10%以下）に適合する必要があるが、可燃ごみ中の塩素濃度が高いため、木くず（チップダスト）等を混合して燃料製造を行っている。生成物の塩素濃度は高温高圧処理装置出口で 1.0%程度となっているため、塩素濃度対策として洗浄方式、チップダストの乾燥方式、また、臭気対策として触媒燃焼脱臭方式等による機能改善工事を実施中である。



写真 6.2.1 施設外観

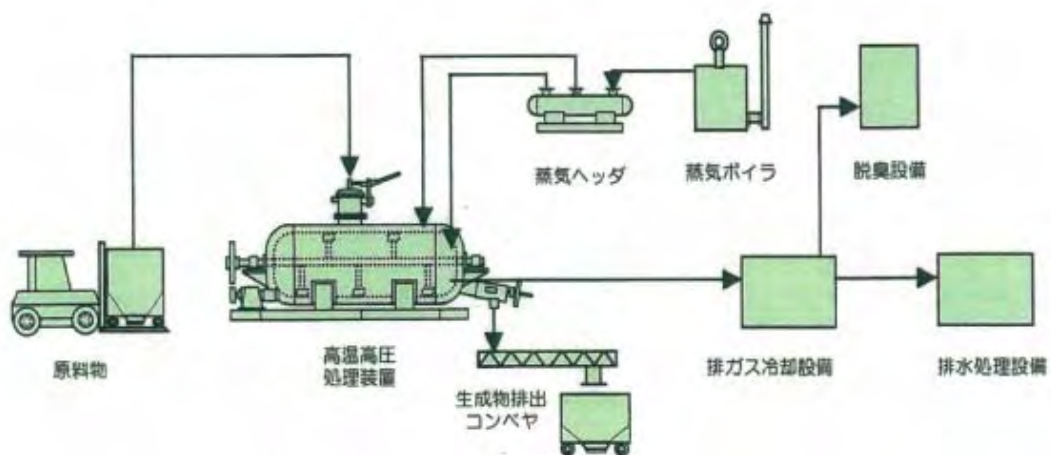


図 6.2.1 白老町バイオマス燃料化施設

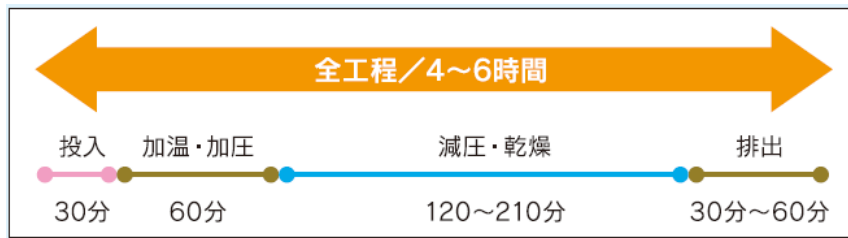


図 6.2.2 高温高压処理システムのタイムチャート



ごみ投入状況



処理装置

写真 6.2.2 施設内の状況

## (2) 長崎県長崎市の事例

本事例は長崎市西部下水処理場に設置された下水汚泥の連続式亜臨界水処理実証プラントで、(財)下水道新技術推進機構と、三菱長崎機工(株)、鹿島建設(株)の3者が「亜臨界水処理を用いた下水汚泥のエネルギー転換および減容化に関する共同研究」のため、長崎市西部下水処理場敷地内に建設したものである。

実証プラントの規模は、濃縮汚泥ベースで1日10m<sup>3</sup>であり、亜臨界水処理の後、メタン発酵により発生するバイオガスを用いてプラント全体のエネルギーを賄うことを目標としている、また、最終的に排出される脱水汚泥量を、従来の約1/5に減容化させることができる。実証運転は、西部下水処理場の最初沈殿地と最終沈殿地の濃縮汚泥を受け入れ、平成21年5月から平成22年3月まで約1年間行っている。本プラントは、亜臨界水処理を24時間連続式で行うもので、省エネルギー効果と下水汚泥処理費の軽減により高い経済性を有することが期待されている。

表 6.2.2 長崎市西部下水処理場の概要

計画処理水量	69,500m <sup>3</sup> /日
処理方式	標準活性汚泥法
汚泥処理方式	濃縮-脱水
供用開始	平成4年7月

## [ヒアリング内容]

1. 本実証試験は、共同研究者による研究結果の公表を行うまでは、具体的データの対外的な発表は差し控えてほしい。
2. 当初予定では、本年4月頃に試験を終了する予定であったが、平成23年1月頃まで継続する予定である。

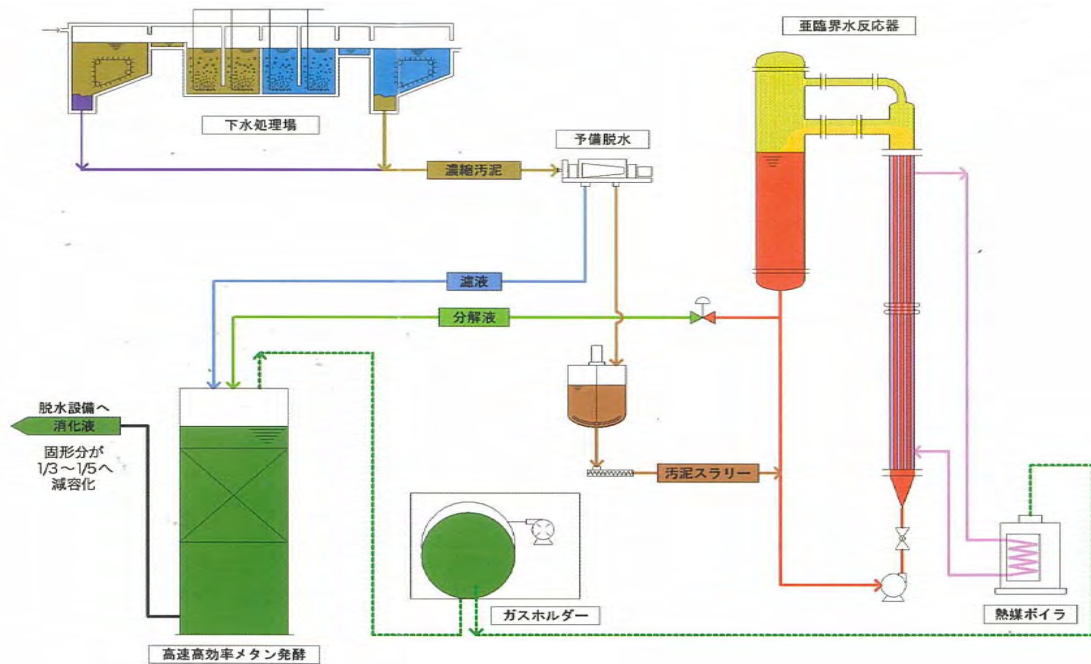


図 6.2.3 実証プラントの処理フロー



写真 6.2.3 実証試験施設外観



写真 6.2.4 循環型亜臨界水反応器

出典：三菱長崎機工パンフレット



## (3) 新潟県見附市の事例

本事例は、小規模な実験プラントで、フジムラインベント(株)が販売している水熱粉末化装置のデモプラントである。

処理しているものは、外部から搬入された廃棄物や食品加工残渣等であり、委託があった場合に稼働するが、亜臨界水処理後の処理物は、委託者が持ち帰ることとなっている。

表 6.2.3 実験プラントの仕様等

施設名称	水熱粉末化装置デモプラント
施設容量	200L (実質 140L)
設定条件範囲	設定可能温度：最高 205℃、 制御方法：温度制御 反応時間：20～30 分
実験委託料	20,000 円/検体



写真 6.2.5 水熱粉末化装置デモプラント



図 6.2.4 水熱粉末化装置デモプラントの概要

[ヒアリング内容]

1. 本装置はデモ機であるが、委託により随時稼働している。
2. 下水汚泥を処理した事例  
処理条件：下水汚泥のみ（混合物なし）、180℃、30分



写真 6.2.6 下水汚泥（処理前）



写真 6.2.7 水熱粉末化処理物

### 6.3 国内実証プラントに関する文献レビュー

国内実証プラントの中で、現地ヒアリング調査を実施しなかった7カ所について、文献やホームページ等のレビューを行った。

## (1) 北海道留萌バイオマス処理センター

留萌市は、2005年に政府から「バイオマスタウン」第1号認定を受けており、本施設はバイオマスタウン構想の中の主要システムとして採用されており、市内で発生する下水汚泥や水産加工残渣などを、バイオマス処理施設 MMCS（亜臨界水処理による多目的材料変換システム）で処理し、堆肥・液肥や燃料を製造することとしている。

この装置は、200℃、2.0MPaの飽和水蒸気を用い、下水汚泥・廃棄物（漁業残さなど）を肥料に転換する施設で、5m<sup>3</sup>の反応容器2基で、数十t/日の処理能力がある。

加温・加圧したときに細菌を完全に死滅させ、塩分や重金属類など不必要な物質を工程中にほとんど除去できる。さらに水蒸気を用いるため、加水分解により有機化合物を低分子化するほか、ガスなどの燃焼と比べダイオキシンを排出しない。

処理後の製品は、反応終了後に一気に減圧して粒子を細かくするため乾燥化しやすく、処理後3日間で含水率30%にまで落ちる。

また、処理中に分離する液体（オリゴ糖等）は、液肥として利用可能である。

処理コストは汚泥1t当たり1,500円と安価であり、将来は、牛糞、木くず、生ゴミなどを、エネルギー活用も含め多目的に利用する計画である。

同装置でできた堆肥は悪臭が少なく養分も多いと、地元農家から注目されており、市内の肥料業者は、この堆肥に納豆菌を加えてペレット状の肥料を作っている。現在、15戸の農家が試験利用している。（2005年10月新聞記事等）

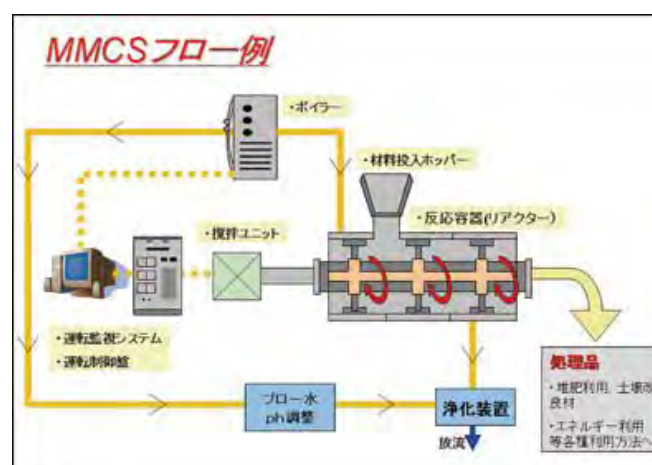


図 6.3.1 多目的材料変換システム (MMCS)

なお、上記の多目的材料変換システム (MMCS) は周囲環境への配慮のため現在は閉鎖しているが、同様のシステムとして、留萌市に隣接する小平町において有機有機物製造装置

(MMCE) が稼働しており、MMCS の当初の計画と同様に、下水汚泥や生ゴミなどの廃棄物から有機肥料や液肥を製造・販売している。



写真 6.3.1 納豆菌添加牛糞有機肥料

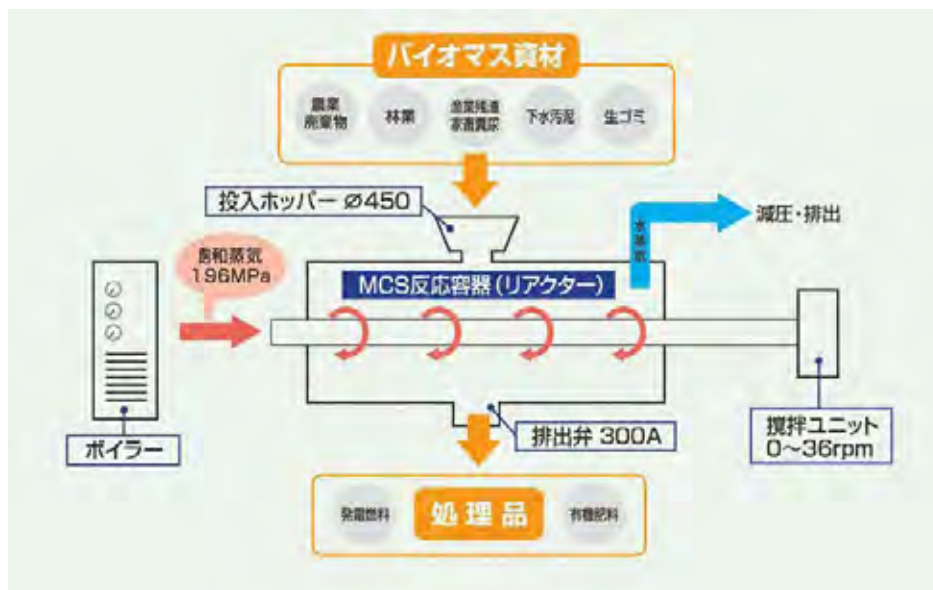


図 6.3.2 有機有価物製造装置 (MMCE)



写真 6.3.2 多目的材料変換装置 (MMCE・二連式 5m<sup>3</sup>×2 台)

<http://www.ecorinc.com/page4.html> (株式会社 ECORINC) より

## (2) 青森県馬淵川水きらきらセンター

NEDO の研究開発の一環として、馬淵川水きらきらセンターにて亜臨界処理による下水汚泥の燃料転換実験を実施。

ベンチテストの結果、得られた成果は以下のとおり。

- ① 下水汚泥単独の処理で、水分 50%程度まで脱水可能。
- ② 処理による汚泥微細化・分散により、蒸発速度が 3～5 倍に増加。
- ③ 硫黄化合物臭気が 1/10 に低減。
- ④ 重金属類は固形物中に残存。
- ⑤ エネルギー回収率 58%
- ⑥ 石炭の混焼燃料として適用可能。

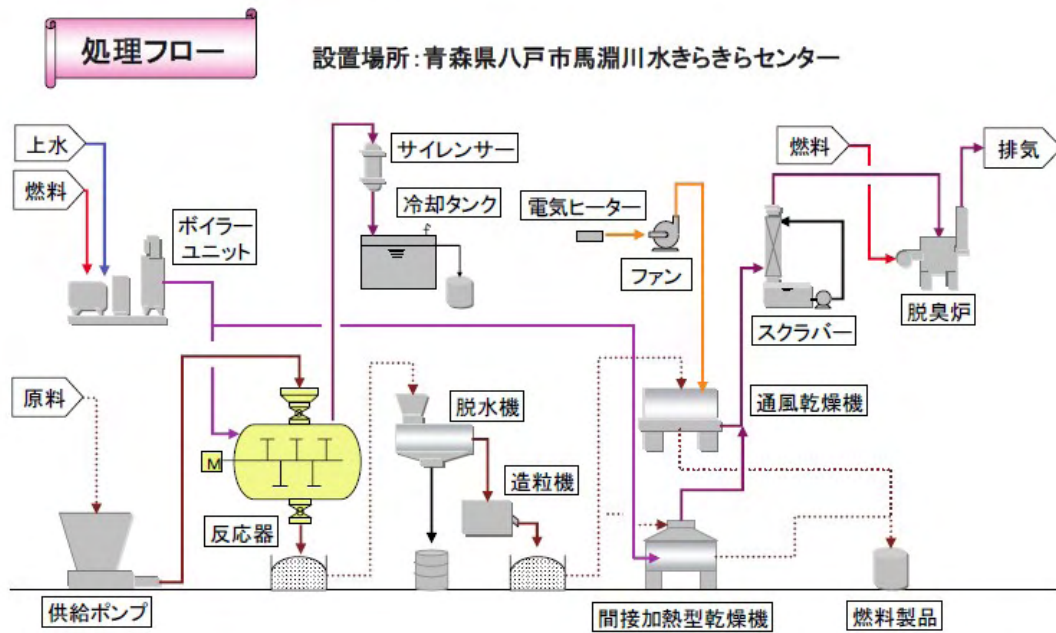


図 6.3.3 NEDO ベンチテスト機

## (3) 石川県金沢市(シブヤマンナリー)

焼酎などの廃液や賞味期限切れの戻り飲料などの処理用としてとして食品、飲料メーカー向けに、亜臨界状態の水を用いて廃液を浄化するシステムを開発し販売。

同システムは技術提携している東洋高压（広島市）と同社の持つ高压機器製作技術を用いて、亜臨界状態の水で廃水を浄化する。

反応槽の中で 280℃の温度と 8.5MPa の圧力を処理廃液に与え、同時に酸素ガスを供給することで、有機性廃棄物を酸化分解（水中燃焼）させ、短時間で二酸化炭素と水に分解。

廃液 1t の処理費用は数千円で焼却の 1 万 2 千円～1 万 5 千円と比較すると約 1/2 である。。。

価格は処理能力により異なり、商用設備で 2 億円～20 億円。廃液処理量 10 t /日タイプで価格は約 2 億 5 千万円。

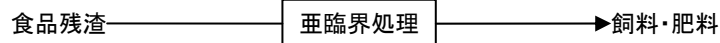
## (4) 愛知県弥富市・一宮市(株式会社小柵屋)

本施設は亜臨界水処理装置を利用した食品残渣の肥・飼料化施設である。

ユニー（株）と提携して、食品残渣から堆肥をつくり、JA あいち海部管内の農家で利用し、育った野菜をアピタ・ピアゴの店頭で販売。

大学との共同研究によって開発した独自技術により、食品加工工場などから発生する食品

廃棄物を亜臨界処理して、養豚用の液体飼料として製造する。また、飼料化できない食品廃棄物については、従来の自然発酵に比較して非常に短時間で堆肥化を行う。



産業廃棄物における食品廃棄物は、近年、再生利用率が向上しているが、飼料化利用はまだ一部にとどまっている。飼料化手法の主流である乾燥方式は、乾燥のためのエネルギー消費が大きいこと、食品廃棄物の栄養価が安定しておりかつ定期的に一定量の発生が必要であること、などの課題があり、再生利用率の向上につながっていない。

本事業では、ヨーロッパで普及しているリキッドフィーディングという液体飼料による給餌システムに着目し、わが国で初めて亜臨界水処理装置を飼料化事業に導入したもので、現在飼料化利用されていない食品廃棄物を飼料として活用することを可能にしている。また、エネルギー消費の面でも、乾燥方式と比較して 60%程度で飼料化できるため、環境負荷を軽減しつつ、付加価値の高い飼料化利用を拡大できるとしている。

#### 事例⑦ 「亜臨界水を用いた廃棄物再資源化プラント」による資源リサイクルシステム

大阪府立大学において「水を反応場に用いる有機資源循環科学・工学」（「21 世紀 eco プログラム」（文部科学省）に採択）として研究が進められている新技術を用いた事業である。平成 18 年度より「堺 SC 工場」にて亜臨界水反応による廃棄物再資源化事業を実施している。

水が亜臨界状態になると、加水分解能力や反応溶媒としての効果が大きくなり、有機物を分解したり、目的物質を抽出したりすることが可能になる。この特性を用いて、主に有機性廃棄物を対象に、アミノ酸や糖類、コラーゲンなどの有用物質を目的対象物として分離・分解し、回収することで高付加価値なリサイクル製品を提供する。

表 6.3.1 資源リサイクルシステムの概要

対象廃棄物	産業廃棄物（汚泥・廃油・廃酸・廃アルカリ・廃プラスチック類・木くず・動植物性残渣・家畜糞尿） 特別管理産業廃棄物（汚泥・廃油・廃酸・廃アルカリ）
処理能力	70t/日（24 時間）
リサイクル製品	アルコール：工業用アルコールとして利用 塩化ナトリウム：苛性ソーダ原料 バイオディーゼル燃料：軽油代替燃料として利用 低級燃料油類：セメント工場・化学工場向け燃料

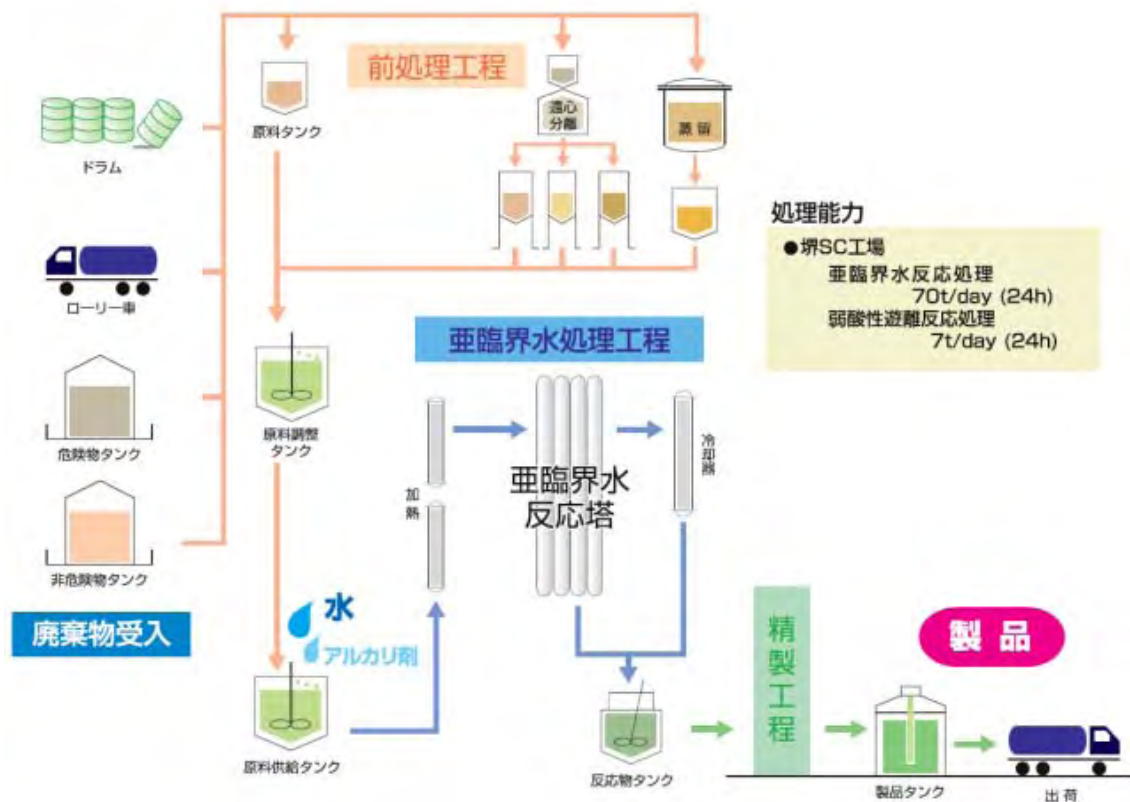


図 6.3.4 廃棄物再資源化プラントの処理フロー

出典：リマテック株式会社 [http://www.rematec.co.jp/about/arinkai\\_1.htm](http://www.rematec.co.jp/about/arinkai_1.htm)

#### (5) 宮崎県宮崎氏(宮崎みどり製薬)

従来、家畜用粗飼料として利用されてきた稲藁の入手が困難になっており、牛飼育農家では粗飼料用稲藁の約 2 割を中国・台湾・韓国等から輸入し、また麦藁も輸入している。しかし口蹄疫発生原因の懸念もあり、食の安全確保のために新しい粗飼料源の確保が求められている。

本新技術は、杉間伐材から家畜用粗飼料の製造を行い稲藁などの代替となる粗飼料を提供するもので、シラカンバの粗飼料化の技術成果を杉間伐材に適用して開発に成功した。製造した粗飼料は牛が食べやすい柔らかさの長さ 2cm 以下の繊維状のもので、これを濃厚飼料に混ぜて与えたところ通常飼料を与えたものと成長状態に差がなく、また動態が穏やかで反芻が促され排便状態も良好で、下痢が減り、毛艶がよくなる等の良好な結果が得られている。

製造方法は、杉材をチップ形状に裁断し、圧力蒸煮釜の中で 0.6MPa の圧力かける。その状態で 120℃～160℃の加熱を 90 分間行い、蒸しあげたチップを繊維状にすりつぶしてできあがる。繊維状に加工することにより、牛の嗜好性を最適に実現している。

粗飼料の販売価格は 45 円/kg で、稲藁の平均価格 30 円/kg に比べて高価であるが、粗繊維



分が多いため、給与量が少なく節約できる。

宮崎みどり製菓(株)HP <http://www.midori-mm.co.jp/showcase/wootonf.html>



図 6.3.5 粗飼料の製造工程

なお、処理量 25t/日規模の施設の総建設費は、750 百万円との報告がある。

また、樹皮を熱処理して抽出した木酢液（酢酸、有機酸など）と樹皮の炭（ミネラル、微量金属など）を混合したものを商品化しており、濃厚飼料に 1～1.5%添加すると、便臭気の低減、糞の水分含有率の減少、腸内環境の改善、むね肉の発育増加に効果があるとしている。

出典：廃棄物資源循環学会「廃棄物系バイオマスの有効利用とその現状に関する技術調査」報告

さらに、木酢液から清涼飲料水や入浴用化粧品なども製品化されている。

#### (6) 鹿児島県指宿・知覧地区(サザングリーン協同組合)

鹿児島県を始めとする南九州 4 県は焼酎の生産地として知られている。その製造過程で発

生ずる焼酎粕は、これまで特殊肥料化や海洋投棄で処理されていた。近年、海洋への投棄を禁じた「ロンドン条約」の批准、国内における「食品リサイクル法」の施行を背景に、陸上処理に向けた対応がとられてきた。サザングリーン協同組合に納入された設備は、地域で発生する粕の大規模処理、小エネルギーで有価物の再資源化、環境との調和を目指し、2002年3月に完成した。

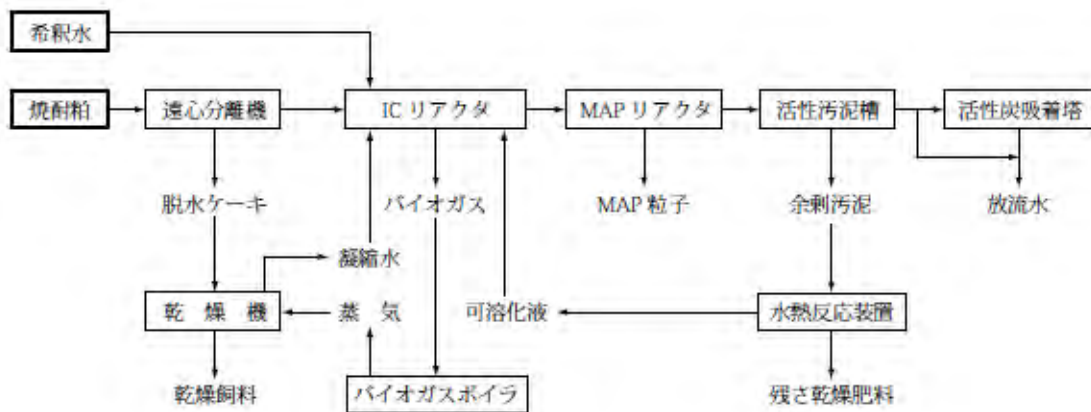


図 6.3.6 焼酎粕リサイクル設備の処理フロー



50L/Hr 連続式水熱処理装置(水熱パイロット機: HTF-2 号機)

図 6.3.7 亜臨界水処理装置(連続式パイロット装置)

[http://setubikyo.or.jp/main\\_sub/seihin/product/ihi/suinetu.htm](http://setubikyo.or.jp/main_sub/seihin/product/ihi/suinetu.htm)

## 6.4 国内における「亜臨界水反応技術」の適用施設の評価

国内の「亜臨界水反応処理」をメインのプロセスとして導入している実証的施設を総括すると表 6.4.1 のとおりである。

この中で、連続処理は事例は長崎市西部下水処理場で実施されている下水汚泥の高効率メタン発酵発電の前処理プロセスが唯一である。このプロセスは、流動性の高い汚泥に有利であるが、固形物濃度の高い汚泥には適用が困難とみられる。また、処理設備として異なった方式で処理を行っているのは北海道白老町に設置されている一般廃棄物の燃料化システムで、2重缶方式を採用している。2重缶方式は設備費が高価になることが予想される。

飽和水蒸気を利用した「亜臨界水処理」は、薬品を使わず、シンプルな構造で操作性が高く、また維持管理性が高い。さらに、さまざまな処理プロセスとの結合性も高く、汎用性が高いという特徴がある。バッチ式とはいえ、複数台の設置により連続的処理も可能である。設備のコンパクト性もあわせて、バッチ式の亜臨界水処理装置の導入は容易と考えられる。

表 6.4.1 国内実証プラントの種類と特徴

事例	処理対象	規模	反応条件			製品利用用途
			温度	圧力	その他	
北海道 留萌市	下水汚泥 廃棄物	5 t/日 ×2 基	200℃	2MPa		堆肥
北海道 白老町	ごみ	計 37.6 t/日 (3 基)	235℃ (最大)	3MPa (最大)		固形燃料
青森県八戸地区	下水汚泥	5 t/日	200℃	—		燃料
新潟県	廃棄物	0.2 t/日	205℃ (最大)	設定不可		(委託処理)
石川県金沢市	焼酎等廃液	10 t/日	280℃	8.5MPa	酸素ガス	廃液浄化
愛知県弥富市・一宮市	食品廃棄物	10 t/日	—	—		堆肥
大阪府堺市	有機塩素系溶剤	70 t/日	200℃	5MPa		アルコール等
長崎県長崎市	下水汚泥	10 t/日	—	—	(連続処理)	発電
宮崎県宮崎市	木質資源 (杉材)	— t/日	120~160℃	0.6MPa		粗飼料等
鹿児島県指宿・知覧	焼酎粕	500 t/日	374℃	2.2MPa		堆肥

ここで紹介した亜臨界水処理装置は、バッチ式・連続式ともに商用化されており、各事例で示したように必要規模に応じた処理システムが構築されている。ただし、連続式は長崎

市の1件のみである。本調査では、事例調査結果の比較から、現在国際特許を有する商用化第1号の設備を使用して検証試験を行うこととした。

なお、この設備は反応原理、その原理を考慮した設備構造となっており、合理的処理が行える設備といえる。事例にあるように下水汚泥に限らず他の有機性廃棄物（いわゆるバイオマス）についても実績があるため、下水汚泥以外の廃棄物処理においても利用可能である。特に、医薬品や有害有機化合物などの高分子物質の低分子化が可能であるため、廃棄物の無害化、安全性の向上にも用いることができる。

## 7 「亜臨界水反応」処理試験

### 7.1 国内実証試験

有機質汚泥の「亜臨界水処理」はすでに2001年頃より行われているが、系統だった実証施設によるデータ検証は充分に行われているとは言いがたい。本調査では、実働している実証施設に関してはヒアリングを行い、特に下水汚泥を中心とした地域資源循環の基盤となるデータの確証を得るため国内実証試験を行った。有機質汚泥資源の循環効果は特に中国においても都市(消費)と農村(生産)との循環の輪の施策構築による健全な食物生産と地域経済の再生が重要である。国内実証試験は、下水汚泥を亜臨界水処理することにより、処理物がまず有機肥料として安全性を確保しかつ利用可能であることを確認するために実施したものである。また、適切な肥料が得られる適正な運転条件を検証することを目的として実施した。適正な運転条件を探求するため、試験対象汚泥については反応条件による比較評価を行うため、主として同一発生源の汚泥を対象とし、一部比較対照として他の種類の汚泥も試験した。

#### 7.1.1 試験の方法

##### (1) 供試試料

供試試料は以下のとおり、2カ所の下水処理場の脱水汚泥を用いた。

表 7.1.1 脱水汚泥入手先

試料名	入手先
脱水汚泥	K県内の下水処理場2カ所より、試験日毎に500kg程度を提供いただいた。
籾殻	国内産

##### (2) 実験装置

実験装置の主な仕様を表 7.1.2 に示す。

この実験装置はバッチ式の装置で、ボイラ、反応処理器本体、排ガス処理機構で構成されており、ボイラより、高温高压の水蒸気を反応処理器へ送り込む。反応処理器内部には攪拌羽根が付いた棒を中央横向きに通してあり、外部の攪拌モーターにて動作する。この攪拌羽根は内部の試料が中央(排出口)へ集まるように工夫されている。

亜臨界水反応の制御は温度および圧力で行うため、処理器には温度センサおよび圧力センサが取り付けられている。温度か圧力のどちらかが設定値以上になると排ガス弁が開き、内部ガスを適宜排気する仕組みとなっている。

処理過程で発生する排ガスは、冷却装置により水蒸気から水に戻され、トラップにたまるようになっている。

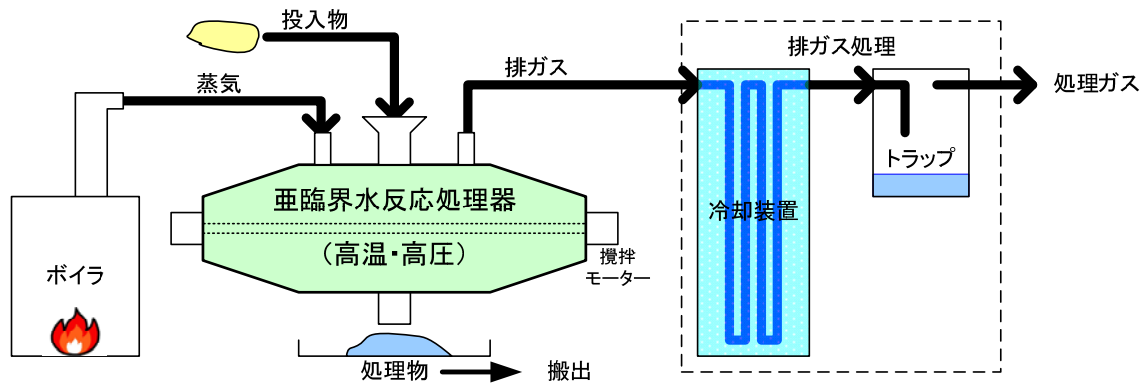


図 7.1.1 亜臨界水反応処理器の概略図

表 7.1.2 亜臨界水反応処理器の主な仕様

反応タンク	容量：2m <sup>3</sup> 、直径：最大径φ1200mm、タンク長：3,180mm、 上部原料投入孔・下部製品取出し孔：300A
攪拌装置	モーター：7.5kW×4p×200V、回転数：0～17.2/20.6rpm(50/60Hz)
ボイラ	最高圧力：2MPa、最高温度：215℃、蒸気量：相当蒸発量 500kg/h



写真 7.1.1 亜臨界水反応処理器(本体)



写真 7.1.2 亜臨界水反応処理器(ボイラー部)

### (3) 試験条件

下水汚泥の資源化において最も重視すべき項目は環境安全性についてのものである。病原微生物等は、亜臨界水処理反応が滅菌器であるオートクレーブより強力な圧力と温度条件となるため、そもそもの滅菌作用があることは前提である。このため環境安全性は重金属類が最も問題となる。亜臨界水反応では、Si と Ca が存在すると強い化学結合によりトバモライト結晶になり、その中に重金属類が閉じ込められることにより、溶出が抑制されることが知られている。脱水汚泥中の Si 含有量は 1~2%程度でトバモライトの生成に不足する可能性があるため、Si を多く含む籾殻（含有量 10%）を添加することとした。籾殻添加により重金属は反応後減少する報告があり、実証的データを得る目的で籾殻を添加した。

実施した試験の条件を以下に示す。選定した条件は亜臨界水反応によるトバモライトの生成に適した範囲であり、本装置での検証を行った。

脱水汚泥量は 500kg 前後とし、混入物として籾殻を用いた。籾殻の混入率は基本的に 30%としたが、20%でも検証を行った。温度条件は 170~190℃とし、あわせて圧力条件も 0.83~1.32MPa とした。反応時間は 30 分で統一した。

第 1~3 回は、設定温度に達するまで水蒸気を入れ続けて加温した。しかしその結果、低温時に過剰に投入した蒸気が水に凝結してしまい、処理物の水分量が増えてしまった。第 4 回以降は蒸気圧曲線に沿って温度、圧力が上がるように加温段階の制御を変更したところ、水分量の少ない処理物が得られた。

表 7.1.3 試験条件

No	実験日	試験条件									
		処理物					運転条件				
		投入物	汚泥量 (kg)	混入物	混入量 (kg)	混入重量比	温度 (°C)	圧力 (MPa)	反応時間 (min)	制御方法	試験前暖機
①	7/13	処理場A 脱水汚泥	460	籾殻	138	30.0%	180	1.05	30	圧力	
②	7/14	処理場A 脱水汚泥	545	籾殻	170	31.2%	180	1.05	30	圧力	あり
③	7/15	処理場A 脱水汚泥	530	籾殻	160	30.2%	180	1.05	30	圧力	あり
④	7/16	処理場A 脱水汚泥	490	籾殻	147	30.0%	190	1.32	30	温度+圧力	
⑤	7/20	処理場A 脱水汚泥	460	籾殻	138	30.0%	170	0.83	30	温度+圧力	
⑥	7/21	処理場A 脱水汚泥	530	籾殻	160	30.2%	185	1.18	30	温度+圧力	
⑦	7/22	処理場A 脱水汚泥	480	籾殻	144	30.0%	180	1.05	30	温度+圧力	
⑧	7/27	処理場A 脱水汚泥	600	なし	0	0.0%	185	1.18	30	温度+圧力	
⑨	8/3	処理場A 脱水汚泥	530	籾殻	106	20.0%	185	1.18	30	温度+圧力	
⑩	8/5	処理場B 脱水汚泥	500	籾殻	100	20.0%	185	1.18	30	温度+圧力	

## (4) 実験手順

試験方法を以下に示す。

- ① 攪拌機を回しながら脱水汚泥を投入する。
- ② 攪拌機を回しながら籾殻を投入する。
- ③ ボイラから水蒸気を装置に送り込み、加温する。
- ④ 条件温度および圧力に達してから 30 分反応させる。
- ⑤ 反応処理器内の圧力を解放し、常圧まで低下させる。
- ⑥ 下部搬出口より処理物を回収する。

## (5) 分析項目

各理化学分析項目と分析内容・方法は固体試料について表 7.1.4 に、液状試料について表 7.1.5 に示したとおりである。



表 7.1.4 &lt;固形試料&gt;…投入物、処理物

分析項目		分析方法
微生物学的検査項目	一般細菌	食品衛生検査指針・微生物編1.2.1.(2)(平坂法)
	大腸菌群	食品衛生検査指針・微生物編1.2.2.(3)(平坂法)
	好気性芽胞形成菌	食品衛生検査指針・微生物編1.2.5.(1)(平坂法)
堆肥等成分検査項目 (含有)	水分	底質調査方法(H13)4.1
	灰分	底質調査方法(H13)4.2
	pH	JIS K 0102(2008)12.1
	有機分(全有機炭素)	CHNコーダーによる測定
	全窒素	底質調査方法(H13)4.5.1.2(吸光光度法)
	全磷酸	底質調査方法(H13)4.6(吸光光度法)
	カリウム	肥料分析法4.3.3(AA法)
	カルシウム	肥料分析法4.5.1.2(AA法)
	酢酸	下水試験方法4.13.2(GC法)
	プロピオン酸	下水試験方法4.13.2(GC法)
	イソ酪酸	下水試験方法4.13.2(GC法)
	ノルマル酪酸	下水試験方法4.13.2(GC法)
	イソ吉草酸	下水試験方法4.13.2(GC法)
	ノルマル吉草酸	下水試験方法4.13.2(GC法)
	炭素率(C/N比)	CHNコーダーによる測定
	マグネシウム	肥料分析法4.6.2(AA法)
	ナトリウム	肥料分析法4.3.3準拠(AA法)
	シリカ	土壌標準分析・測定法29.A(重量法)
重金属類検査項目 (含有)	カドミウム	底質調査方法(H13)5.1.4(ICP法)
	鉛	底質調査方法(H13)5.2.4(ICP法)
	総クロム	底質調査方法(H13)5.12.1.1(ICP法)
	六価クロム	底質調査方法(H13)5.12.2(吸光光度法)
	砒素	底質調査方法(H13)5.9.1(水素化物発生AA法)
	水銀	底質調査方法(H13)5.14.1.2(還元気化AA法)
	亜鉛	底質調査方法(H13)5.4.2(ICP法)
	銅	底質調査方法(H13)5.3.2(ICP法)
	シアニ	底質調査方法(H13)4.8.1(吸光光度法)
	ニッケル	底質調査方法(H13)5.7.2(ICP法)

表 7.1.5 &lt;液状試料&gt;…処理物分離液・凝縮水

分析項目		分析方法
微生物学的検査項目	一般細菌	食品衛生検査指針・微生物編1.2.1.(2)(平板法)
	大腸菌群	食品衛生検査指針・微生物編1.2.2.(3)(平板法)
	好気性芽胞形成菌	食品衛生検査指針・微生物編1.2.5.(1)(平板法)
堆肥等成分検査項目 (含有)	水分	底質調査方法(H13)4.1
	灰分	底質調査方法(H13)4.2
	pH	JIS K 0102(2008)12.1
	有機分(全有機炭素)	CHNコーダーによる測定
	全窒素	JIS K 0102(2008)45.4(吸光光度法)
	全リン酸	JIS K 0102(2008)46.3.1(吸光光度法)
	カリウム	JIS K 0102(2008)49.2(AA法)
	カルシウム	JIS K 0102(2008)50.2(AA法)
	酢酸	下水試験方法4.13.2(GC法)
	プロピオン酸	下水試験方法4.13.2(GC法)
	イソ酪酸	下水試験方法4.13.2(GC法)
	ノルマル酪酸	下水試験方法4.13.2(GC法)
	イソ吉草酸	下水試験方法4.13.2(GC法)
	ノルマル吉草酸	下水試験方法4.13.2(GC法)
	炭素率(C/N比)	CHNコーダーによる測定
	マグネシウム	JIS K 0102(2008)51.2(AA法)
	ナトリウム	JIS K 0102(2008)48.2(AA法)
シリカ	ICP発光分析法	
重金属類検査項目 (含有)	カドミウム	JIS K 0102(2008)55.3(ICP法)
	鉛	JIS K 0102(2008)54.3(ICP法)
	総クロム	JIS K 0102(2008)65.1.4(ICP法)
	六価クロム	JIS K 0102(2008)65.2.1(吸光光度法)
	砒素	JIS K 0102(2008)61.2(水素化物発生AA法)
	水銀	昭和46年環告第59号付表1(還元気化AA法)
	亜鉛	JIS K 0102(2008)53.3(ICP法)
	銅	JIS K 0102(2008)52.4(ICP法)
	シアン	JIS K 0102(2008)38.1.2及び38.3(吸光光度法)
一般項目	ニッケル	JIS K 0102(2008)59.3(ICP法)
	COD <sub>Mn</sub>	JIS K 0102(2008)17
	BOD	JIS K 0102(2008)21及び32.3

## 7.1.2 試験装置の運転状況

設定温度や暖機の有無により加温時間に多少の差があったが、設定温度到達までは概ね 30～50 分程度、加温停止まで 60～80 分程度を要した。設定温度到達以後は温度、圧力とも安定した制御ができた。

表 7.1.6 に各試験時の処理状況を示す。

実験④～⑦、⑩は処理過程で異臭が無く、処理物の水分が少ないため、良好な処理が行わ

れたと判断できた。処理物は 170℃条件では微汚泥臭があり、処理温度が低いと判断された。190℃条件ではこげ臭があり処理温度が高いと判断された。この結果、処理温度は 180～185℃が適正であり、処理物の状況から最適温度は 185℃と判断された。

実験⑧は籾殻添加の影響を見るため対象として無添加条件で試験した。水分が多く、泥状の製品となった。実験⑨は設定温度に到達する過程で圧力が高くなり、昇温過程でやや異臭がした。

表 7.1.6 各条件の処理状況

No	実験日	処理条件					処理状況		
		投入物	混入重量比	温度(℃)	圧力(MPa)	試験前暖機	外観	臭気	その他
①	7/13	処理場A 脱水汚泥	30.0%	180	1.05		水分多	異臭	昇温中に異臭あり
②	7/14	処理場A 脱水汚泥	31.2%	180	1.05	あり	水分多	異臭	昇温中にやや異臭あり
③	7/15	処理場A 脱水汚泥	30.2%	180	1.05	あり	水分多	異臭	昇温中にやや異臭あり
④	7/16	処理場A 脱水汚泥	30.0%	190	1.32		良好	こげ臭	
⑤	7/20	処理場A 脱水汚泥	30.0%	170	0.83		良好	微汚泥臭	
⑥	7/21	処理場A 脱水汚泥	30.2%	185	1.18		良好	なし	
⑦	7/22	処理場A 脱水汚泥	30.0%	180	1.05		良好	なし	
⑧	7/27	処理場A 脱水汚泥	0.0%	185	1.18		水分多	なし	泥状
⑨	8/3	処理場A 脱水汚泥	20.0%	185	1.18		良好	なし	昇温中やや異臭あり
⑩	8/5	処理場B 脱水汚泥	20.0%	185	1.18		良好	なし	

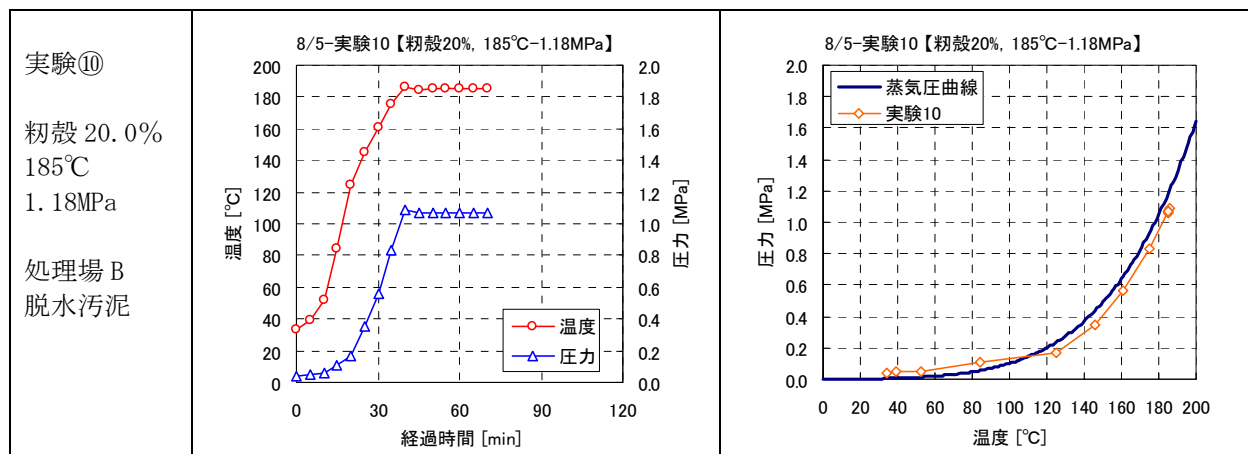


図 7.1.2 試験時の運転状況 (実験⑩)



写真 7.1.3 処理物 (実験①: 水分多)



写真 7.1.4 処理物 (実験⑦: 水分少)

## 7.1.3 試験分析結果

10 回の亜臨界水反応処理試験のうち、処理過程で異臭が無く、処理物の水分が少ない良好に処理できた 5 条件（実験④⑤⑥⑦⑩）の試験分析結果をまとめて表 7.1.7 に示す。

表 7.1.7 試験分析結果の平均値と範囲

分析項目	単位	投入物			処理物			定量 下限値	肥料基準 (含有)	
		平均	最小	最大	平均	最小	最大			
微生物学的 検査項目	一般生菌	個/kg-wet	2.4E+11	8.6E+10	~ 4.3E+11	5.7E+08	4.8E+07	~ 1.1E+09	1.9E+04	
	大腸菌群	個/kg-wet	7.1E+08	5.8E+07	~ 2.1E+09	1.7E+08	6.7E+06	~ 5.2E+08	1.9E+04	
	好気性芽胞形成菌	個/kg-wet	8.9E+09	1.6E+09	~ 2.3E+10	8.5E+04	< 1.9E+04	~ 3.0E+05	1.9E+04	
堆肥等成分 検査項目 (含有)	水分	wt%	77.0	75.6	~ 78.5	62.6	60.2	~ 65.5	0.1	
	灰分	wt%	14.1	12.6	~ 15.3	23.2	20.7	~ 24.6	0.1	
	pH	-	5.9	5.1	~ 6.1	4.5	4.4	~ 4.8	-	
	全窒素	mg/kg-dry	62,680	58,000	~ 68,800	30,440	26,500	~ 39,300	0.01	
	全磷酸	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/kg-dry	45,180	41,600	~ 48,300	23,620	21,700	~ 25,000	1	
	カリウム	mg/kg-dry	2,060	1,700	~ 2,200	2,740	2,500	~ 2,900	1	
	カルシウム	mg/kg-dry	594	540	~ 650	442	390	~ 480	500	
	酢酸	mg/kg-wet	22,380	3,900	~ 41,000	17,800	11,000	~ 24,000	500	
	プロピオン酸	mg/kg-wet	9,760	6,300	~ 13,000	2,260	1,000	~ 3,300	500	
	イソ酪酸	mg/kg-wet	1,660	1,000	~ 2,400	< 500	< 500	~ < 500	500	
	ノルマル酪酸	mg/kg-wet	10,380	6,700	~ 15,000	1,660	< 500	~ 2,200	500	
	イソ吉草酸	mg/kg-wet	4,700	2,800	~ 6,300	372	< 500	~ 660	500	
	ノルマル吉草酸	mg/kg-wet	3,840	2,500	~ 5,500	580	< 500	~ 810	500	
	マグネシウム	mg/kg-dry	3,660	2,400	~ 4,200	1,900	1,600	~ 2,100	1	
	ナトリウム	mg/kg-dry	582	560	~ 600	308	290	~ 340	1	
シリカ	Si mg/kg-dry	15,800	13,000	~ 21,000	76,400	66,000	~ 83,000	1000		
重金属類 検査項目 (含有)	カドミウム	mg/kg-dry	< 1	< 1	~ < 1	< 1	< 1	~ < 1	1	<0.5
	鉛	mg/kg-dry	9	3	~ 17	7	5	~ 10	1	<10
	総クロム	mg/kg-dry	15	13	~ 18	9	7	~ 15	1	<50
	六価クロム	mg/kg-dry	1.4	0.9	~ 2.4	0.8	0.6	~ 1.2	0.5	
	砒素	mg/kg-dry	1.5	1.1	~ 1.9	0.7	0.5	~ 0.8	0.5	<5
	水銀	mg/kg-dry	0.61	0.34	~ 0.70	0.04	0.02	~ 0.07	0.01	<0.2
	亜鉛	mg/kg-dry	344	310	~ 370	188	160	~ 260	1	
	銅	mg/kg-dry	160	140	~ 180	87	70	~ 130	1	
	シアン	mg/kg-dry	1	< 1	~ 1	< 1	< 1	~ < 1	1	
	ニッケル	mg/kg-dry	14	10	~ 20	7	5	~ 14	1	<30

## 【微生物学的検査項目】

微生物の指標である一般生菌、大腸菌群数、好気性芽胞形成菌は、投入物では、一般生菌  $10^{10} \sim 10^{11}$  (個/kg)、大腸菌群  $10^7 \sim 10^9$  (個/kg) のオーダー、好気性芽胞形成菌  $10^9 \sim 10^{10}$  (個/kg) であった。

170°C以上の処理条件では微生物は完全滅菌されるため、処理物から微生物は検出されない。本調査では、滅菌後の自然状態での変化状況を把握するため、処理物の微生物学的検査を翌日に実施した。

その結果、各細菌数は、投入物から 1~3 オーダー程度減少していた。いったん滅菌した処理物であっても空気から媒介した細菌類(枯草菌類も芽胞形成菌の一種)が増殖していることが確認された。

**【堆肥等成分検査項目（含有）】**

処理物の水分は、60～65%程度に低下しており、籾殻添加による水分調整効果が確認された。処理物は1～2日の放置により水分が30%台にまで低下しており、早乾性も高いことが確認された。

灰分は、30%の籾殻添加により増加し、pHは亜臨界水処理により、5以下に低下する傾向がみられた。

肥効成分である窒素・リン酸・カリウムは、処理物でそれぞれ3%、2.5%、0.3%程度であり、窒素・リン酸は脱水汚泥から半減しているものの、コンポストなどの一般的な汚泥肥料と同等の濃度であり、肥料としての利用に問題はない。

臭気の原因である有機酸類は、全般的に亜臨界水処理により低下しており、処理物は脱水汚泥よりも臭わないことがわかる。

この有機酸は、亜臨界水処理の過程で気散し、排ガス中の臭気成分が多くなるため、排ガスの臭気対策は重要である。

籾殻のシリカ含有量は脱水汚泥の5倍以上あるため、処理物のシリカは籾殻添加により3～5倍程度に増加している。

カルシウム・マグネシウム・ナトリウムは、籾殻には多く含まれないため、籾殻を添加した処理物の含有濃度は低下している。

**【重金属類検査項目】**

日本の肥料基準である6項目（カドミウム・鉛・総クロム・砒素・水銀・ニッケル）のうち、脱水汚泥は水銀が基準値を超過し、実験⑩の処理場Bの汚泥は鉛も基準値を超過していた。

亜臨界水処理後は、全ての項目で含有濃度が低下しており、肥料基準を全て満足する結果となっている。

また、基準項目以外の重金属類についても全項目で含有濃度が低下していた。

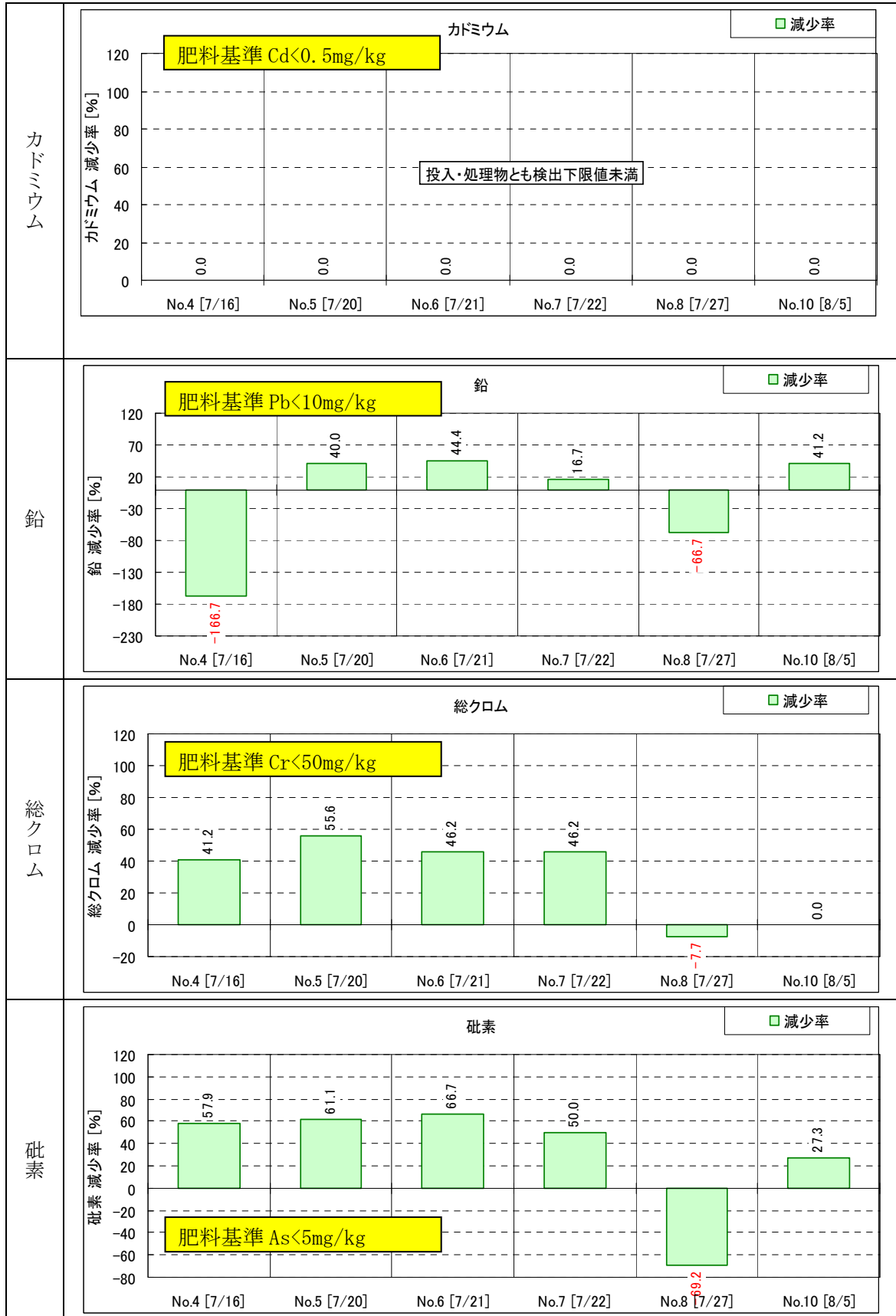


図 7.1.3 亜臨界処理による重金属類減少率①

(実験⑧は初殻無添加)

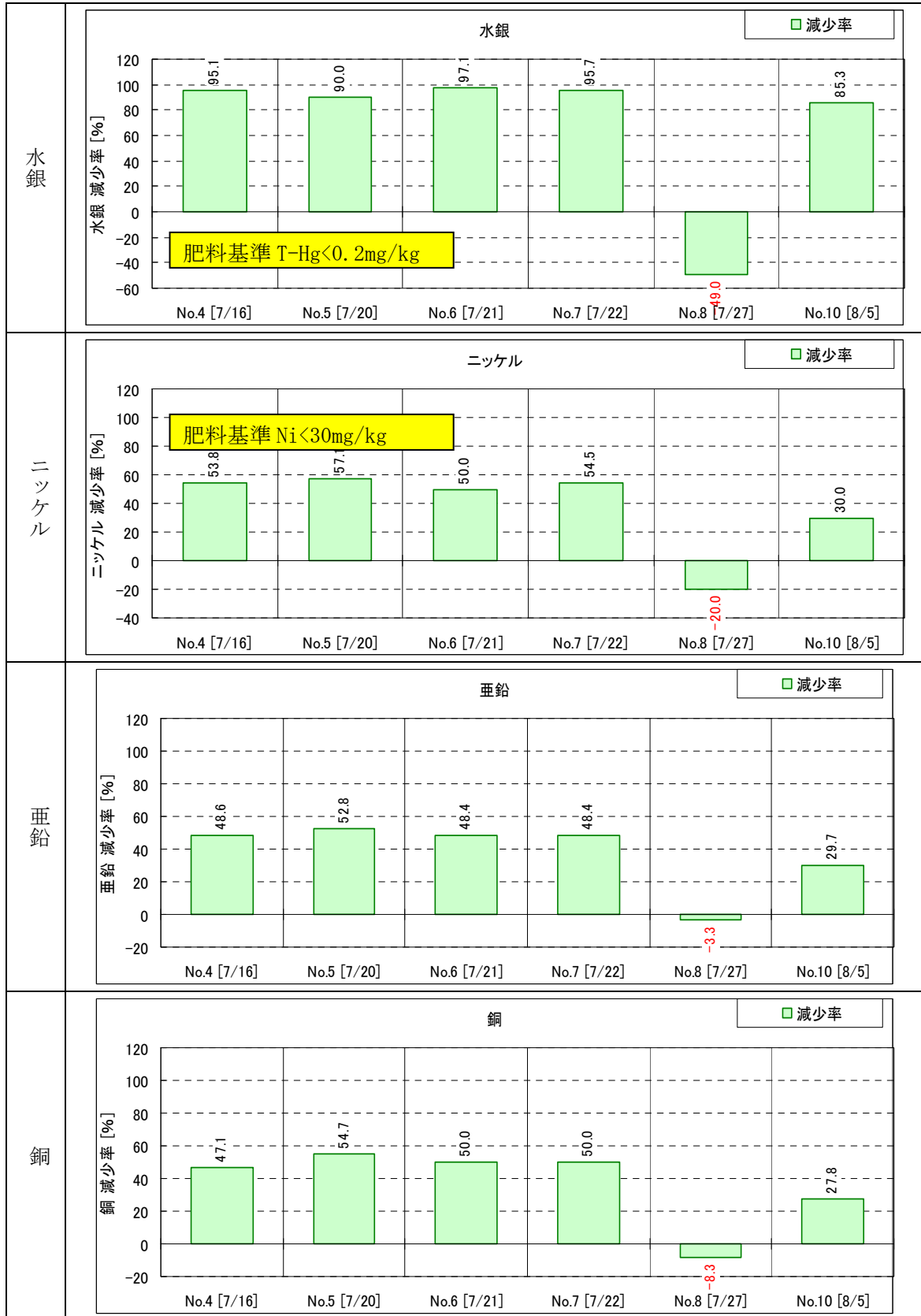


図 7.1.4 亜臨界処理による重金属類減少率②

(実験⑧は籾殻無添加)



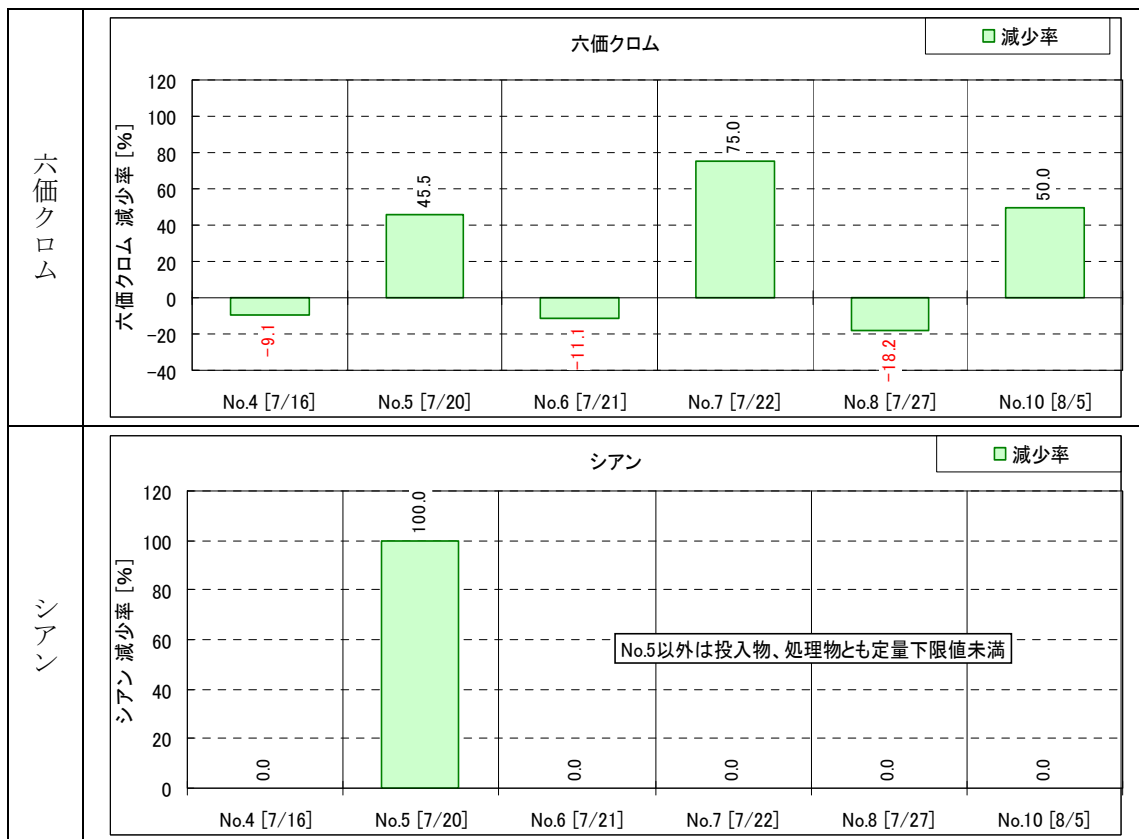


図 7.1.5 亜臨界処理による重金属類減少率③

(実験⑧は籾殻無添加)

また、凝縮水は窒素成分が多く、重金属類はほとんど含有されないことから、液体肥料として利用可能と判断される。

表 7.1.8 凝縮水の分析結果

分析項目	単位	凝縮水
pH	-	4.6
全窒素	mg/L	220
全磷酸	P2O5 mg/L	< 0.2
カリウム	mg/L	< 0.5
カドミウム	mg/L	< 0.01
鉛	mg/L	0.22
総クロム	mg/L	< 0.1
六価クロム	mg/L	< 0.05
砒素	mg/L	< 0.01
水銀	mg/L	< 0.0005
亜鉛	mg/L	420
銅	mg/L	< 0.05
シアン	mg/L	< 1
ニッケル	mg/L	< 0.1
BOD	mg/L	4,300
COD	mg/L	6,700

#### 7.1.4 試験結果のとりまとめ

国内で実施した実証試験の結果、下水汚泥を亜臨界水処理することにより、臭気の低下、重金属類の含有濃度の低下が確認された。特に重金属類では、処理前の脱水汚泥で水銀と鉛が基準を超過する場合でも亜臨界水処理により基準値を下回ることが確認され、安全性が確保された。このことは、亜臨界水処理により処理物にトバモライトが生成され、重金属類がトバモライト等の結晶固化により閉じ込められ減少するとされる報告の結果が検証できたと判断される。

亜臨界水で処理されたものは、排出直後の熱で乾燥が速まり、細孔が形成されているため乾燥が速く、水分が短時間で減少していた（処理直後：62.6%→1日後：30.6%）ため、取り扱いやすくなる。

また、肥効成分（窒素・リン酸・カリウム）の損失も少なく十分に含有していることから、亜臨界水処理した下水汚泥は、肥料としての利用に適していると判断される。

表 7.1.9 肥効成分の平均値と範囲

肥効成分	単位	投入物			処理物			定量 下限値
		平均	最小	最大	平均	最小	最大	
水分	wt%	77.0	75.6	～ 78.5	62.6	60.2	～ 65.5	0.1
灰分	wt%	14.1	12.6	～ 15.3	23.2	20.7	～ 24.6	0.1
全窒素	mg/kg-dry	62,680	58,000	～ 68,800	30,440	26,500	～ 39,300	0.01
全磷酸	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/kg-dry	45,180	41,600	～ 48,300	23,620	21,700	～ 25,000	1
カリウム	mg/kg-dry	2,060	1,700	～ 2,200	2,740	2,500	～ 2,900	1

そのための処理条件として、以下の条件が推奨される。

- ① 反応温度は 180～185℃、圧力は 1.05～1.18MPa。
- ② 粕殻を 20%以上添加する。

ただし、汚泥の性状等により最適条件は異なると考えられるため、それぞれの汚泥に対し、最適条件を検証する必要がある。

## 7.2 中国実証試験

### 7.2.1 試験の方法

中国の汚泥に関する「亜臨界水処理試験」は中国の都市汚泥について調達が可能な範囲のものを収集し処理試験を行った。使用した処理装置の使用は基本的に日本国内で使用した設備と同様である。装置概観を図 7.2.1 に示した。



図 7.2.1 中国の実証試験に用いた処理装置 (2m<sup>3</sup>タイプ)

### 7.2.2 試験材料

原料は北京市を含む三大都市および江蘇省 7 ヲ所、ほか 10 市の計 20 ヲ所の都市汚泥を対象とした。この他飼料化試験として厨房生ゴミを含む 3 種類、合計 23 試料について亜臨界水処理試験を行った。

### 7.2.3 原料及び処理生成物の性状分析

原料および処理生成物の性状は下記項目について理化学分析を行った。表 7.2.1 に示すとおり、般項目および肥料栄養成分 12 項目、重金属 7 項目、微生物試験 3 項目の全 22 目である。

今回の亜臨界水処理試験に用いた各都市汚泥の 20 ヲ所の性状分析結果は表 7.2.2 に示したとおりである。原汚泥の特徴として、有機物含有量が日本の汚泥（全国平均 83%）と比較して相対的に低いことであり、概ね 60%台で最大でも 74%程度となっている。したがって窒素含有率も相対的に低い値となっている。逆に灰分含量は高く、中国現地ヒアリングでの調査結果（p5-22 上海市排水行業協会：砂分＝灰分の多い汚泥）に同じ傾向となった。

出典：日本の汚泥有機物量 H20 年度下水道統計より、濃縮汚泥の有機分の全国平均値

表 7.2.1 性状分析項目

一般項目及び栄養成分	重金属類	微生物試験
① 含水率 (%)	① Cr (mg/kg)	① 総細菌 (cfu/g)
② pH	② Pb (mg/kg)	② 真菌数 (cfu/g)
③ 有機物 (%)	③ Cd (mg/kg)	③ 放線菌 (cfu/g)
④ 粗灰分 (%)	④ As (mg/kg)	
⑤ 全窒素 (%)	⑤ Hg (mg/kg)	
⑥ 全塩基量 (mg/kg)	⑥ Cu (mg/kg)	
⑦ 全リン酸 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %)	⑦ Ni (mg/kg)	
⑧ 有効リン (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/kg)		
⑨ K (mg/kg)		
⑩ Ca (mg/kg)		
⑪ Mg (mg/kg)		
⑫ Fe (mg/kg)		

表 7.2.2 中国の都市汚泥の性状分析結果(その1)

試料 No.	含水率	pH	有機物	粗灰分	全窒素	全リン酸
	(%)		(%)	(%)	(%)	(%)
1	64.32	6.57	65.94	37.18	0.740	0.570
2	69.74	6.76	73.89	39.23	0.790	0.840
3	83.72	7.01	60.09	40.23	0.910	0.870
4	65.34	6.32	59.82	38.43	0.940	0.650
5	84.83	6.36	70.87	29.13	0.880	0.923
6	81.18	7.10	61.28	38.33	0.810	1.042
7	67.23	5.97	72.45	27.13	0.738	0.674
8	62.58	6.30	25.94	74.06	0.390	0.780
9	65.23	6.93	68.10	36.43	0.740	0.790
10	65.27	6.75	67.33	33.56	0.890	0.720
11	67.32	6.82	69.34	40.18	0.870	0.610
12	64.32	5.76	63.35	36.23	0.890	0.860
13	62.89	5.91	62.35	35.24	0.920	0.820
14	81.18	6.39	69.31	37.31	0.820	0.940
15	69.84	6.77	73.90	39.21	0.860	0.770
16	68.34	6.34	63.76	37.33	0.860	0.570
17	68.33	6.59	62.21	34.73	0.720	0.780
18	79.10	6.50	63.21	37.30	0.820	0.920
19	66.58	6.33	63.21	33.28	0.790	0.650
20	63.29	6.21	67.34	38.23	0.820	0.710

表 7.2.3 中国の都市汚泥の性状分析結果(その2)

試料 No.	Ca (mg/kg)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Fe (mg/kg)	細菌総数 (cfu/g)	真菌総数 (cfu/g)	放線菌総数 (cfu/g)
1	$1.57 \times 10^4$	$1.82 \times 10^4$	$4.91 \times 10^3$	$2.63 \times 10^4$	$1.43 \times 10^9$	$3.38 \times 10^4$	$1.78 \times 10^5$
2	$1.81 \times 10^4$	$1.35 \times 10^4$	$5.62 \times 10^3$	$2.37 \times 10^4$	$1.96 \times 10^9$	$3.55 \times 10^4$	$4.53 \times 10^6$
3	$1.73 \times 10^4$	$1.12 \times 10^4$	$8.02 \times 10^3$	$4.23 \times 10^4$	$1.74 \times 10^9$	$5.36 \times 10^4$	$2.98 \times 10^5$
4	$1.41 \times 10^4$	$1.12 \times 10^4$	$1.36 \times 10^4$	$4.01 \times 10^3$	$2.54 \times 10^9$	$4.21 \times 10^4$	$2.54 \times 10^5$
5	$1.16 \times 10^4$	$2.04 \times 10^4$	$1.12 \times 10^4$	$1.10 \times 10^4$	$2.13 \times 10^9$	$1.56 \times 10^5$	$4.56 \times 10^6$
6	$1.41 \times 10^4$	$1.34 \times 10^4$	$5.14 \times 10^3$	$3.82 \times 10^4$	$2.08 \times 10^9$	$5.78 \times 10^4$	$1.65 \times 10^6$
7	$3.04 \times 10^4$	$5.46 \times 10^4$	$2.89 \times 10^4$	$3.17 \times 10^4$	$1.98 \times 10^8$	$2.32 \times 10^4$	$4.36 \times 10^5$
8	$1.53 \times 10^4$	$1.25 \times 10^4$	$7.12 \times 10^3$	$3.25 \times 10^4$	$2.41 \times 10^8$	$2.18 \times 10^4$	$4.05 \times 10^5$
9	$1.68 \times 10^4$	$1.32 \times 10^4$	$6.71 \times 10^3$	$3.59 \times 10^4$	$2.08 \times 10^9$	$5.78 \times 10^4$	$1.65 \times 10^6$
10	$1.57 \times 10^4$	$1.53 \times 10^4$	$4.03 \times 10^3$	$2.71 \times 10^4$	$1.73 \times 10^9$	$5.34 \times 10^4$	$1.46 \times 10^5$
11	$1.69 \times 10^4$	$1.52 \times 10^4$	$4.91 \times 10^3$	$2.63 \times 10^4$	$1.65 \times 10^9$	$4.98 \times 10^4$	$1.97 \times 10^5$
12	$1.93 \times 10^4$	$1.64 \times 10^4$	$5.62 \times 10^3$	$2.37 \times 10^4$	$1.67 \times 10^9$	$2.46 \times 10^4$	$3.47 \times 10^5$
13	$1.83 \times 10^4$	$1.54 \times 10^4$	$6.12 \times 10^3$	$3.15 \times 10^4$	$1.66 \times 10^9$	$4.14 \times 10^4$	$2.51 \times 10^5$
14	$1.81 \times 10^4$	$1.34 \times 10^4$	$1.72 \times 10^4$	$4.47 \times 10^3$	$1.73 \times 10^9$	$4.98 \times 10^4$	$1.58 \times 10^5$
15	$1.16 \times 10^4$	$3.04 \times 10^4$	$1.10 \times 10^4$	$1.12 \times 10^4$	$1.94 \times 10^9$	$4.73 \times 10^4$	$1.82 \times 10^6$
16	$1.76 \times 10^4$	$1.44 \times 10^4$	$1.43 \times 10^3$	$1.73 \times 10^3$	$1.98 \times 10^8$	$2.32 \times 10^4$	$4.36 \times 10^5$
17	$1.16 \times 10^4$	$1.88 \times 10^4$	$4.03 \times 10^3$	$3.34 \times 10^4$	$1.94 \times 10^9$	$4.73 \times 10^4$	$1.82 \times 10^6$
18	$1.35 \times 10^4$	$1.43 \times 10^4$	$1.65 \times 10^4$	$1.38 \times 10^3$	$1.43 \times 10^9$	$3.32 \times 10^4$	$5.36 \times 10^6$
19	$1.52 \times 10^4$	$1.34 \times 10^4$	$1.67 \times 10^4$	$3.22 \times 10^3$	$1.73 \times 10^9$	$4.98 \times 10^4$	$1.58 \times 10^5$
20	$1.63 \times 10^4$	$1.25 \times 10^4$	$6.12 \times 10^3$	$3.15 \times 10^4$	$1.76 \times 10^9$	$3.94 \times 10^4$	$2.01 \times 10^6$

表 7.2.4 藻類と厨芥類の混合ごみの原料性状

No.	項目	単位	アオコ+野菜くず (1:1)	アオコ+米糠 (1:1)	厨芥+木屑 (2:1)
1	含水率	%	58.0	63.0	63.1
2	pH	/	4.6	5.6	6.1
3	有機質	%	67.0	70.8	84.7
4	TN	%	7	2	4
5	TP	%	3	2	2
6	K	mg/kg	5200	2100	3500
7	大腸菌群	MPN/g	<0.3	110	<0.3

都市汚泥の亜臨界水処理前後のサンプル事例を**写真 7.2.1**、**写真 7.2.2**に示す。

中国汚泥の処理製品は日本汚泥と同様であり、処理後の概観は同様に顆粒状となっている。中国汚泥については、特に籾殻等の添加物は一切加えないで処理試験をした。

籾殻を添加しなかった理由は、中国の汚泥は無機分の含有率が高く、Si や Ca 濃度は十分高いと予想されたため、添加無でどこまで重金属が減少するかの検証を主眼とした。



**写真 7.2.1** 都市汚泥原料(脱水汚泥)



**写真 7.2.2** 亜臨界水処理後汚泥

## 7.2.4 試験結果のとりまとめ

### (1) 農用栄養成分

亜臨界水反応処理前後における有機物含有率や窒素およびリン含有率の変化の範囲および平均値を表 7.2.5 に示した。

含水率は処理前後でわずかに低下がみられる。これは処理直後に温度が 100°C 前後あり、分析に供する時点での蒸発が大きいことが伺える。

pH も日本国内試験結果と同様 pH4 台に下がっている。これは、加水分解により有機酸が生成したことによるものであり、加水分解が進んでいる証拠である。

全体傾向として有機分含有率が増加しているが、これは粗灰分と対象的である。この変化の理由として、無機成分の一部が排水蒸気とともに排出され、結果として有機物含有率が増加したものと考えられる。

窒素、リン、カリウム成分は処理前後で約 30% の減少がみられた。

表 7.2.5 亜臨界水処理前後の農用栄養成分の変化

項目	処理前			処理後		
	最大	最小値	平均値	最大	最小値	平均値
1) 含水率 (%)	84.8	62.6	70.0	72.1	55.4	63.0
2) pH	7.1	5.8	6.5	5.0	4.1	4.4
3) 有機物 (%)	73.9	25.9	64.2	87.3	60.2	80.3
4) 粗灰分 (%)	74.1	27.1	38.1	39.8	12.7	18.7
5) 全窒素 (%)	0.94	0.39	0.81	0.82	0.41	0.56
7) 全リン (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %)	1.04	0.57	0.77	0.75	0.41	0.53
8) 有効リン (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/kg)	4,878	2,501	3,681	3,634	1,849	2,417
9) カリウム (K mg/kg)	30,400	11,600	16,400	8,850	14,500	7,220

(全窒素、全リンは湿重% 他の成分項目は乾燥重量当り)

### (2) 微生物指標

微生物指標は細菌総数、真菌総数、放線菌総数を測定した。結果、原料においては、細菌総数で 10<sup>8</sup>~10<sup>9</sup>(cfu/g)、真菌数で 10<sup>4</sup>(cfu/g) のオーダー、放線菌数で 10<sup>5</sup>~10<sup>6</sup>(cfu/g) であった。処理物は全て不検出であり、完全滅菌されている状態である。

亜臨界水処理はオートクレーブ(滅菌器)と同じ原理であり、さらに温度と圧力の高い条件となるため、改めて滅菌器であることが確認された。

## (3) 重金属類

20 検体の亜臨界水処理前後の重金属類の分析結果をまとめると表 7.2.6 のとおりである。

表 7.2.6 亜臨界水処理前後の重金属濃度

項目	処理前 (mg/kg)			処理後 (mg/kg)		
	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値
Cr	98.4	12.5	63.5	43.8	9.9	32.8
Pb	198.0	27.0	70.5	62.6	19.4	35.1
Cd	1.23	0.04	0.52	0.43	0.04	0.21
As	8.72	3.26	5.84	4.33	1.24	2.38
Hg	7.75	1.10	4.02	1.54	0.06	0.85
Zn	976	354	583	249	89	147
Cu	361	110	214	84.60	34.90	49.82
Ni	ND	ND	ND	ND	ND	ND

処理物の試料の重金属濃度の範囲は Cr:10~44mg/kg、Pb:19~63mg/kg、Cd:0.0~0.4mg/kg、As:1.2~4.3mg/kg、Hg:0.1~1.5mg/kg、Zn:90~250mg/kg、Cu:35~85mg/kg、Ni は原料も処理後も ND であった。

今回処理試験したいずれの試料も、亜臨界水処理後の生成物は農用の重金属規制値(表 4.4.12 を参照)を充分満足した結果となっている。

図 7.2.2 は、全試料の各重金属について、原料に対する比率を減少率で表したものである。平均的にみると、クロム、鉛が 40%台、カドミウム、ヒ素が 50%~60%、亜鉛、銅が 70%、水銀が 80%弱となっている。

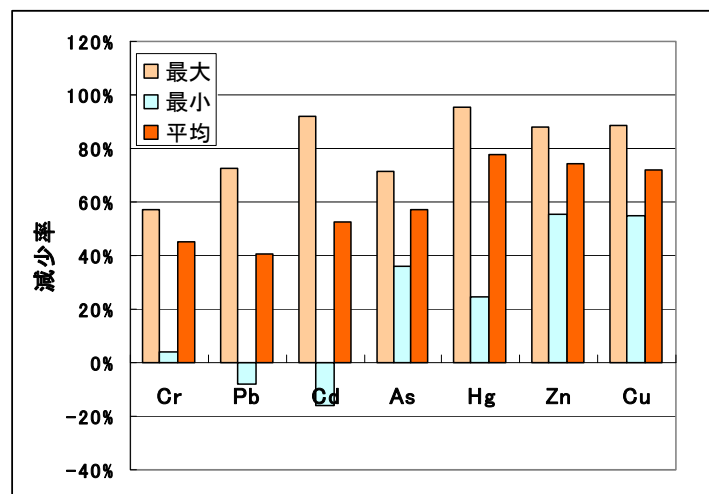


図 7.2.2 中国汚泥の重金属の減少率(固化率)の範囲と平均値



## (4) 有害化学物質類

トリクロロエチレン等の有害化学物質の亜臨界水処理効果について評価するため、P市、S市、T市、S省2カ所の5つの都市汚泥について処理前後の試料の分析を行った。

表 7.2.7 には処理前のデータを示した。なお、亜臨界水処理後の試料は全ての項目において、ND(定量下限以下)であった。トリクロロエチレン等の有害化学物質は揮発性有機化合物が多く、亜臨界水処理で分解をうけると同時に一部揮発するものもあると考えられ、処理後には検出されないことは容易に理解される。

表 7.2.7 有害化学物質の分析結果

(単位 mg/L)

試料名	平均	最大	最小
PCB	0.001	0.001	ND
トリクロロエチレン	0.021	0.035	0.002
テトラクロロエチレン	0.004	0.009	0.001
ジクロロメタン	0.011	0.020	0.003
四塩化炭素	0.0011	0.0022	0.0001
1,2-ジクロロエタン	0.0015	0.0037	0.0001
1,1-ジクロロエチレン	0.016	0.025	0.009
シス-1,2-ジクロロエチレン	0.037	0.056	0.017
1,1,1-トリクロロエタン	0.884	1.259	ND
1,1,2-トリクロロエタン	0.0032	0.0080	0.0002
1,3-ジクロロプロペン	0.0010	0.0022	0.0003

## (5) メタン発酵試験

## a) 試験目的

日本の都市汚水汚泥について「亜臨界水処理」によりメタンガスの発生効率が高くなることが実証施設でも得られている。中国の脱水汚泥等を対象に処理効果を確認する。

## b) 試験方法

ブチルゴム栓付バイアル瓶簡易メタン発酵試験を行った。容量は200mLのものを使用した。発生するガス量は、注射器により計測した。

試料は亜臨界水処理後の汚泥を10g採取し、種汚泥(消化汚泥を)60g投入した。攪拌は1日3回行った。ガス発生量は、亜臨界処理したものについて3日、5日、10日、15日後、処理前にもものは3日、5日、10日、15日後とした。それぞれ日数間の累積ガス量を計測

した。発酵試験に用いた汚泥は6カ所である。

### c) 発酵試験結果

結果を表 7.2.8 に示した。表に示す値は、対照としての種汚泥自体のガス発生量を差し引いたネットの発生量として示した。

湿泥当たりのガス発生量は、日本の汚泥(出典 1)に比較すると少し低い値である。表 7.2.9 には VSS 当りの結果を示した。VSS 当たりでは処理前が 15 日で 0.43~0.56L/g であり、処理後は 10 日の消化日数で 0.79~0.83L/g に相当する。亜臨界水処理によるガス発生量の増加が確認された。

発酵日数 5、10 日、15 日の亜臨界水処理によるメタンガス発生量の増加率を表 7.2.10 に示した。10 日の発酵日数では、3.6 倍から 4.5 倍である。15 日で比較すると、発酵倍率は 1.5~1.9 であり、国内で得られているガス発生倍率と同様な値(出典 2、3)となった。

ところで、亜臨界水処理プロセスはメタン発酵効率化の前処理として位置づけられるがその組み込み方について考察する。基本的に処理対象量が増えれば必要な亜臨界水反応容機も必然的に大きくなる。同じ重量の汚泥を処理する場合でも処理量はその固形物の濃度によって大きく変わる。原則として、できるだけ濃度の高いところで処理を行うことが理にかなっている。下水処理場で見た場合、濃縮汚泥(含水率 96%)を対象にするのと、脱水汚泥を対象(約 80%)とするのでは約 5 倍ちがってくる。方法としては、直接脱水の上メタン発酵を行うことで、二つ目は消化汚泥脱水後の汚泥を対象とすることにより、処理容量は小さくて済むが、処理物は一部メタン発酵槽に返送が必要となる。これらの組み合わせについては、消化槽容量ともあわせ最適システムをくむ必要がある。

なお、メタン発酵はメタン資化細菌の汚泥に対する馴養性が問題となる。今回汚泥の馴養のために前培養は行っていないため、設計にあたっては本格的試験により確認の必要がある。

表 7.2.8 メタンガス発生量

発酵日数	平均		最小		最大	
	処理無	処理有	処理無	処理有	処理無	処理有
2 日	—	0.289	—	0.285	—	0.294
5 日	0.086	0.702	0.076	0.681	0.100	0.717
10 日	0.201	0.811	0.177	0.796	0.233	0.830
15 日	0.507	0.821	0.426	0.801	0.566	0.838
20 日	0.622	—	0.560	—	0.653	—

処理無: 亜臨界水処理前の汚泥試料、 処理有: 亜臨界水処理した汚泥試料

表 7.2.9 VSS あたりのメタンガス発生量(L/g・VSS)

発酵日数	処理前	処理前	処理前
0 日	0.00	0.00	0.00
5 日	0.09	0.10	0.09
10 日	0.22	0.18	0.21
15 日	0.51	0.47	0.55
20 日	0.66	0.57	0.59
発酵日数	処理後	処理後	処理後
0 日	0.00	0.00	0.00
2 日	0.29	0.29	0.29
5 日	0.71	0.71	0.72
10 日	0.79	0.81	0.80
15 日	0.83	0.82	0.81

表 7.2.10 亜臨界水処理によるメタンガス発生増加率

発酵日数	平均	最小	最大
5 日	8.15	9.00	7.20
10 日	4.03	4.49	3.56
15 日	1.62	1.88	1.48

出典:1. 「新エネルギー賦存量推計について-新エネルギー賦存量の推計方法」NEDO 資料

出典:2. 「生ゴミ又は食品残渣のメタン発酵処理方法」特許公開番号:2007111673

出典:3. 石原ら「メタン発酵によるバガスからのバイオガスの生産」琉球大学農学部学術報告 No. 35 (1988/12)

#### d) 栽培試験

有機肥料あるいは、有機堆肥の栽培試験方法にはいろいろな方法があるが、今回は単純に「コマツナ」による栽培試験を行った。

写真 7.2.3 は、パッド栽培試験の結果(上海汚泥とその処理物添加後 15 日目)である。

条件は、下記のとおりである。

上段(処理後) 手前より添加率 0, 5, 10, 20%

下段(処理前) 手前より添加率 0, 5, 10, 20%



写真 7.2.3 栽培試験状況(2010.7)

添加率は、土壌の量に対する処理前および処理後の汚泥の添加率である。

添加率は湿潤重量割合とした。これらの結果から、有機汚泥の添加量が高いほど成長率も少し高い傾向となった。また亜臨界水処理した汚泥のほうが発芽、成長とも早く、10%以上では大きな差はなかった。

#### e) 飼料化試験

飼料化試験は、中国で大きな水質汚染問題の一つとなっている「アオコ」との亜臨界水処理試験および混合草木の亜臨界水処理試験により飼料化が可能かどうかの試験を行った。試験評価は飼料基準に対する分析値の評価で行った。

なお「アオコ」とは、藍藻類の「ミクロシスティス」や「アナベナ」「オシラトリア」といった藻類が異常発生した状態を言い、日本ではかつて霞ヶ浦で大発生したことがあり、現在では中国「太湖」で異常発生している。成分的には有用な有機成分やミネラルを多く含んでいる。

「アオコ」の処理場件は、下記3条件とした。

- ・ 「アオコ」+野菜くず
- ・ 「アオコ」+米ぬか
- ・ 厨芥+木くず

「亜臨界水処理」前後の性状変化は表 7.2.11 に示した。

表 7.2.11 「アオコ」等の飼料化試験

No.	項目	(単位)	処理前	処理後
1	含水率	%	61.37	60.88
2	pH	/	5.44	4.31
3	有機質	%	74.18	78.80
4	T-N	%	4.70	4.32
5	T-P	%	2.35	1.33
6	K	mg/kg	3600	2930
7	Cd	mg/kg	0.99	0.69
8	Hg	mg/kg	0.007	0.005
9	Cr	mg/kg	0.15	0.12
10	Pb	mg/kg	1.08	<0.5

飼料としての栄養素、すなわち、有機物、窒素、リン、カリウム成分は十分なレベルにある。一方重金属類の基準値は表 7.2.12 のように示されている。

混合飼料として何を使うかにもよるが、全体とて重金属類は問題になるレベルにはないと

考えられる。低濃度領域であるが、亜臨界水処理により重金属濃度の低下がみられる。

表 7.2.12 飼料中の有害物の許容基準

(中国国家基準 飼料安全基準 GB13078-91)

重金属類	単位	魚粉	石粉	リン酸塩
As	mg/kg	=<10	=<2	=<10
Pb	mg/kg	=<10	=<10	=<30
Hg	mg/kg	=<0.5	=<0.1	
Cd	mg/kg	=<2	=<0.75	=<1(米糠)
フッ素	mg/kg	=<500	=<2000	=<2000

(注)飼料：鶏の配合飼料、豚の配合飼料、混合飼料 シアン化合物キャッサバで  
=<100、ゴマ餅粕で=<300 である。

### 7.3 汚泥等バイオマスの資源化に関する評価

下水汚泥等の資源化利用は、マテリアル利用としては主に農地有機肥料あるいは堆肥材、土壌改良である。バイオマスエネルギーとしての再生利用は、主としてメタン発酵によるメタンガスおよびガス発電、炭化、固形燃料化がある。このような利用の前処理として「亜臨界水処理技術」の導入があり、日本では、有機肥料や液肥として市販化されている。

下水汚泥の場合には、特に都市と農村の資源循環システムによる農地還元等の潜在的需要に十分に安定供給が可能と考えられる。

#### (1) 農用肥効成分の評価

中国の有機肥料としての製品基準はに示したように NY525-2002 で規定されている。この表の項目以外に付属規定があり「重金属含量、蛔虫卵の死亡率と大腸菌については GB 8172 の要求」がある。GB8172 については後述する。

表 7.3.2 に亜臨界水処理後汚泥の栄養成分を示した。有機質含量、栄養成分とも下水汚泥の亜臨界水処理物は有機肥料成分として十分な値を有しているといえる。なお、処理直後は含水率が高いが乾燥後有機肥料として利用できる。ただし pH は乾燥後変化するため調整が必要となる場合がある。

表 7.3.1 有機肥料の技術指標 (NY 525-2002)

指標項目	値
有機質含量	30%以上
栄養分(N+P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> +酸化カリウム)	4%以上
水分(遊離水)含量(%)	20%以下
pH	5.5~8.0

表 7.3.2 亜臨界水処理後汚泥の栄養成分

項目	処理後		
	最大	最小値	平均値
① 含水率(%)	72.1	55.4	63.0
② pH	5.0	4.1	4.4
③ 有機物(%)	87.3	60.2	80.3
④ 全窒素(%)	3.3	1.0	2.2
⑤ 全磷(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %)	3.4	1.5	2.1
⑥ 酸化カリウム(K <sub>2</sub> O %)	3.7	1.4	2.0
⑦ N+P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> +K <sub>2</sub> O %	8.5	4.8	6.3

(注)含水率以外の%は乾燥重量当り

## (2) 微生物指標

微生物指標で、細菌類は全て滅菌無害化されるため衛生的安全性が確保される。

なお、この処理物に、有用菌とされる乳酸菌、枯草菌、放線菌の種菌を少量摂取すれば、高機能の生物有機肥料が製造できるものと考えられる。中国では、生物堆肥、生物有機肥料は高価格で販売されており、さらに付加価値を上げることで、収益性の高い事業化が可能と考えられる。

## (3) 重金属類

安全性の確保上、最も問題となるのは重金属類である。農用や土壌改良材の場合には重金属類等の規制があるため、主として農用基準に対してその資源化の評価検討を行う。中国汚泥の場合、特に重金属の安全性が課題となっている。中国における農用基準は表 7.3.3 に示した。

近年農用基準が改訂されたため、旧農用基準も併記しておいた。規制強化の項目はカドミウムと水銀であり、厳しい基準のケースではいずれも 5mg/kg から、3mg/kg と規制値強化されている。

今回実施した亜臨界水処理の 20 試料について評価する次のように評価される。旧農業基準を参考とすると、酸性土壌の厳しい側の基準を超している項目は、水銀、亜鉛および銅の 3 項目であった。超過した試料は、水銀で 3 試料、亜鉛で 13 試料、銅で 8 試料であり、いずれも原料の含有量についてであった。この基準値に対しても亜臨界水処理により全ての試料が満足した

表 7.3.3 中国の農用基準

重金属	旧農業基準 (GB 4284-84)		新農業基準 (CJ/T 309-2009)	
	酸性土壌 (pH<6.5)	中性或いはアルカリ 性土壌 (pH≥6.5)	A 級	B 級
Cd	5	20	3	15
Hg	5	15	3	15
Pb	300	1,000	100	1,000
Cr	600	1,000	500	1,000
As	75	75	30	75
Cu	250	500	500	1,500
Zn	500	1,000	1,500	3,000
Ni	100	200	100	200

また新農業基準に対して超過している項目は鉛と水銀であり 2 項目となった。超過した試料は鉛で 7 試料、水銀で 14 試料となり鉛と水銀の基準強化と亜鉛と銅の基準緩和の結果対策の必要な重金属の種類が変わるが、いずれの場合も亜臨界水処理により、重金属類の農用基準をクリアするようにできることになることが確認された。

#### (4) 汚泥等のバイオマスエネルギー化の評価

現在、下水汚泥のバイオエネルギー化の主たる技術は、メタン発酵である。従来、下水汚泥の安定化（病原菌の死滅、汚泥の減量化、脱水性の改善）のため、古くから適用された成熟技術である。しかしながら、微生物反応が主体であるため、種々の投入有機物の性状変化に追従した操作が必要であり、運転側においては維持管理性が課題となっているところが多い。本調査で訪問した中国の汚水処理場ではほとんどが同様のヒアリング結果となっている。日本の汚泥については、下水汚泥の亜臨界水処理により、メタンガス発生率が 1.5 倍から 2 倍増強される実証データは多く、また下水汚泥の対する連続流式の亜臨界水反応の実証試験でも確認されている。中国汚泥での実験によれば、VSS あたりのメタンガス発生量の倍率はほぼ同様の値が得られているが、固形物当りでみるとその変動幅は広い。中国の下水汚泥の性状は季節変動が大きい傾向があることから、亜臨界水処理のメタン発酵効率の増強効果についてはパイロット規模での実証が不可欠と思われる。

メタン発酵効率が約 2 倍達成されると、加温に使われるエネルギーの相対比が下がるため、有効エネルギー回収量は 2 倍以上となる。

## 8 都市汚泥処理における「亜臨界水反応技術」システム導入の経済分析

本章では、「亜臨界水反応技術」を中国の汚泥処理・処分システムの技術として導入することの可能性を、経済効果と環境効果の側面から評価することを目的に調査分析した。経済効果としては、事業収益性を中心に評価することとし、汚泥の処理再生利用の全体システムを対象として収益分析を行うこととした。

### 8.1 経済分析の方法と評価手法

経済分析は次に示す3つのステップと手法を適用して行った。

#### (1) 基本条件の調査

事業収益性の分析は、ベースとなる建設コストおよび維持管理コストの設定が重要となる。中国の汚泥処理処分プロセスに関するこれらのコスト情報は少ないため、まず、中国のコスト分析の文献レビューを行った。ただし中国の場合国土面積が広く、かつ種々の独自技術を開発しているため単位コストでは大きな幅がある。コスト分析に関する文献は、わが国においても同様であるが情報が少ないことが前提条件であることに留意が必要であり、今後の施策提案をより確実なものにするためには系統的なコスト情報の調査整理をさらに進めることが重要である。

#### (2) 事業収益性の検討内容

処理処分技術の選択肢は汚泥発生量の規模すなわち污水収集区域規模や資源化利用の目的により異なると考えられるが、この全体を本業務でカバーすることは困難であるため、中国で要求レベルの高い、有機肥料化(堆肥化含む)とメタン発酵による電力エネルギー回収の二つに絞った分析を行うこととした。

#### (3) 事業収益性の評価手法

経済性の評価には、収益分析の手法として、現在価値に基づく「定額償還法」と「IRR分析」、「累積事業収益分析」等様々な分析手法がある。それぞれの特徴は下記の通りである。

##### a) 「定額償還法」

定額償還法とは、単純に投資額を耐用年数で均等配分し償還額として損益計算するものである。現在価値のみによる判断となり、利子率は考慮されないため、概略の損益分岐点の評価として利用されることが多い。

##### b) 「IRR法」

「IRR」は内部収益率と呼ばれ、投資額と投資に伴う収益額が同金額となる場合に0%とな



り、収益額が投資額を上回る場合にプラスとなる。IRR は、投資額が同じ場合、収益額が多いほど、収益の回収が早いほど高くなる。

#### c) 「累積事業収益分析」

「累積事業収益分析」は、現金収支の毎年の流れを意味し、投資活動によって実際に得られた収入から維持管理費等の支出を差し引いて手元に残る資金の流れを計算するもので、投資対象事案別にかつ経年的な経過計算ができるため、それぞれの投資効果の評価が可能となる。また利益より資金繰りの見通しをつけることができるため経営判断が安定的に行える長所がある。

本検討では、処理処分方法や規模別の相対比較には「定額償還法」を利用し、後述の天津市に関する具体的収益事業ケースの評価については事業の継続が確実に判断できるかどうかを評価できる「累積事業収益分析」を適用した。

#### (4) 環境側面の評価手法

環境保全効果としてはいろいろな環境側面に対する評価項目が考えられるが、資源循環による環境保全効果の大きなメリットとして、これからの低炭素社会にどこまで寄与できるかが国際的にも重要な評価対象となるため、ここでは地球温暖化対策効果、すなわち二酸化炭素の削減効果を主として環境効果の指標として評価した。なお中国での研究成果の例としてあげられる環境損失額による評価も参考として示した。

## 8.2 中国における汚泥等処理処分の種類とコストに関する文献レビュー

本節では、都市汚泥の処理処分に関するコスト評価に関する文献レビューを行い、建設費、設備費、維持管理費（電力費、人件費等）の中国における実態を把握するため調査を行った。

### 8.2.1 中国の汚泥処理処分コスト評価の前提条件について

本調査は中国の現地調査で実態的に把握されたように、汚泥の性状（種類）やその変動が、汚泥処理の重要プロセスである濃縮・脱水技術のコストに大きく影響する。したがって質変換技術の選択を行う場合、中国においては下記の特徴があることに留意しておく必要がある。このことは稼働率の問題に直結し、ひいては維持管理費の設定問題に大きく影響するからである。

- 既往の政策が水処理中心の整備推進であったため、汚泥処理の本質の理解と運転技術の経験不足があること。
- 汚泥の濃縮・脱水機能に対しては原料である汚泥性状の影響を受けやすいこと。

これは、下水汚泥等の有機質汚泥に特有な現象で、汚泥中の水の存在状態は多様であることである。すなわち、汚泥の無機・有機成分の含有率によっても、また、固形物の表面水、汚泥ブロック間の間隙水、細胞間の間隙水、細胞吸着水、細胞内結合水等、様々な存在形

態があることから、状態別の水分量に適した処理が必要である。

中国の汚泥性状の特徴として、汚水汚泥の有機物含有量はわが国や欧米に比較して低いとされている。この傾向は、南北の地域差でもあるとされる。この理由として今回の現地ヒアリング調査結果からも以下の大きく二つの理由が考えられる。

一つは、中国の下水道システム整備以前は、いわゆる「セプティックタンク（腐敗槽と呼ばれる）」が普及しており、下水道管の末端接続は基本的にこの流出管との接続となっている。したがって汚水中の有機成分の一部が嫌気性消化反応を受けているためその含有率が低下していること。

二つは、上海市に代表されるように、現在管渠内土砂堆積が問題となっており（今回の上海市ヒアリング調査結果）、降雨による影響を強く受けている。降雨の影響とは、中国の南方地域は雨季と乾季の季節特性があり、特に夏季においては南方気候特有のスコールの降雨があり土砂流入が促進され、冬期には、管内滞留が長く流入土砂の沈積が多いこと、があげられる。このほか、近年は燃料転換が進んでいるものの石炭灰の排放が下水道施設に流入しており特に北方の場合にはこの原因が考えられる。その他中国では、下水道管への不法投棄が多いとされており、様々な無機分の投入も原因の一つとして考えられる。

以上の特徴を考えると、外国から輸入した高度な濃縮脱水設備のプロセス仕様は必ずしも中国に適したものとはいえない場合があり、また維持管理のノウハウが蓄積されていない現在、故障率が高いことも理解できるところがある。このことは、設備コストと維持管理コストの双方に直接的に反映しえていないコストがあることを念頭においておく必要がある。

## 8.2.2 汚泥濃縮・脱水コスト

中国での濃縮脱水技術はベルトプレス方式が主流であった。しかしながら、近年はテーパード式の遠心分離等の技術の発達があり、遠心分離方式も導入される例が増えている。8万 m<sup>3</sup>/日の汚水処理場、汚泥量 10t/日（乾重）、対象濃縮汚泥は濃度 3%、汚泥量 333m<sup>3</sup>/日の事例について投資コストおよび維持管理コストを示す。以下の文献例は、代表的濃縮・脱水設備として適用されている、ベルトプレス方式と遠心濃縮脱水方式のコスト比較分析例である。

出典： 王志刚” 兩種汚泥脱水機械の比較—臥螺離心機 VS 帶式壓濾機” 2007.3

<http://www.chinavalue.net/Blog/5159.aspx>

### (1) 投資額

機械設備の投資額はおよそ下記の通りである。

- ① ベルト式フィルタープレス：約 20 万ドル、中国産 約 70 万元（約 9 万ドル）
- ② 遠心分離機：約 30 万ドル前後

ベルト式フィルタープレスの例でわかるように、外国製の価格は中国国産品に比較して約2倍高い。

なお、乾燥汚泥量当りの単位コストはベルト式フィルタープレスで7万元/t、遠心分離機で10.5万元/tで初期投資額は遠心分離方式が50%高い。

## (2) 薬液注入費

通常、脱水助剤として高分子凝集剤等が注入される。中国で多用されるカチオン系高分子凝集剤はPAM(ポリアクリルアミド)である。

### ①ベルト式フィルタープレス

薬注代は3,200元/日:電気代は133.2元/日:水道料金は166.6元/日。計3,499.8元/日(350元/t・DS)が運転経費となる。

### ②横型遠心分離機

薬注代は2,400元/日:電気代は199.8元/日:水道料金は0元/日:計2,599.8元/日(260元/t・DS)の運転経費となる。

## (3) 電力費

各方式の本体のみの消費電力量の積み上げは表 8.2.1 のように示されている。消費電力は遠心分離機の方が約10倍高く、乾燥重量当りでみると、遠心分離機が194kWh/t・DS、ベルトプレス方式14kWh/t・DSとなっている。

表 8.2.1 遠心分離機とベルトプレス機の電力消費比較

比較項目	遠心分離機	ベルトプレス機
運転時間/h	24	16
処理能力(湿泥) / (m <sup>3</sup> /h)	10 / (0.8%) / 24 = 52	10 / (0.8%) / 16 = 78
実際処理能力 / (m <sup>3</sup> /h)	55-65	80-100
濃縮機 kW	45	1.5
濃縮機圧装置/kW	7.5	脱水機と共用
脱水機/kW	22	2.2
脱水機液圧装置電力/kW	7.5	1.5
汚泥切割機/kW	7.5	なし
濃宿槽から脱水/kW	5.5	なし
揚水ポンプ/kW	なし	7.5
総電力/kW	95	10.5
必要電力/kW	95 × 85% = 80.75	10.5 × 85% = 8.9
電力消費量/kWh	80.75 × 24 = 1938	8.9 × 16 = 143

### 8.2.3 嫌気性消化コスト

汚泥安定化の方法には、大きく嫌気性消化と好気性消化の二つがあり、減容化と有機分の腐植質化による安定化および病原微生物の不活性化の目的を備えている。

中国では、技術的完成度の高い中温嫌気性消化法の採用が多いのが特徴である。

なお、嫌気性消化はメタン発酵であり、嫌気性消化で発生したガスを精製しメタンガスとすることにより、天然ガスとしての販売用途もある。またガス発電により電力回収もできるため、汚泥処理だけではなく、エネルギー資源回収設備でもある。

ここでは中国の嫌気性消化施設の代表的コスト積算事例として3つの例を示す。

#### (1) コスト分析事例 A

汚水処理水量で約 20 万 m<sup>3</sup>/日の処理場に相当する有機物負荷の醸造排水処理の例で、嫌気性消化ガス発電設備のコスト分析事例を以下に示す。表 8.2.2 は発電設備のコスト一覧である。

表 8.2.2 嫌気性消化ガス発電設備のコスト構成

	項 目	数 量	(単位)	備 考
1	廃水量	1,500~2,000	m <sup>3</sup> /日	
2	SS 濃度	2~3	万 mg/L	
3	汚泥乾燥重量	51	t-DS/日	1 と 2 より推定。
4	混合余剰汚泥量	1,284	m <sup>3</sup> /日	(含水率 96%と仮定)
5	脱水汚泥相当量	257	m <sup>3</sup> /日	(含水率 80%と仮定)
6	メタンガス量	1,200	万 m <sup>3</sup> /年	(645m <sup>3</sup> /t・乾泥)
7	発電用ガス	500	万 m <sup>3</sup> /年	(自家消費率 約 40%)
8	ボイラ燃料	700	万 m <sup>3</sup> /年	(2.72 万元/t 脱水汚泥量当り)
9	建設費	2,880	万元	(11.2 万元/t 脱水汚泥量当り)
10	設備費(10 年)	1,150	万元	(4.5 万元/t・日脱水汚泥量当り)
11	土木建築費(20 年)	1,730	万元	(6.7 万元/t・日脱水汚泥量当り)
12	年運営コスト	252	万元	人件費、償還費、貸付利子等含む
	計	3,132		(11.2 元/t 脱水汚泥量当り)
13	メタンガス電力換算	0.7	m <sup>3</sup> /kWh	
14	発電量	26,301	kWh/日	(102kWh/t・日脱水汚泥量当り)
15	発電容量	1,096	kW	(4.3kW/t・日脱水汚泥量当り)
16	利率および割引率	5	%	

コスト分析結果によれば、年当たりの純収入は166万元（メタンガス発電収入として。メタン発酵残渣は石炭使用量を代替）。汚水処理の部分の累積事業収益額は現在価値で12年目に収支がゼロ、つまり12年目から利益が出ることになるが、メタンガス発電施設だけみると3年、汚水処理も含めた全体施設では6年との結果が示されている。

この時の地球温暖化対策効果を示すと、

減炭削減量(メタンガス)	4,950t/年(脱水汚泥相当量当たり:0.053t/t・日)
CO <sub>2</sub> 削減量	3,352.6t-C/年(脱水汚泥相当量当たり:13.0t/t・日)

なお売電単価等の参考数値を示すと以下の通りである。

売電単価	0.56	元/kWh
発電ランニングコスト	0.180	元/kWh
メタンガス買取り価格	0.25	元/m <sup>3</sup>

出典：顔麗 “沼気発電産業化可能性分析” 太阳能 SOLAR ENERGY2004. (5)

## (2) コスト分析事例 B

本事例も消化ガス発電のケースで、2,000kW のメタンガス発電のケースで詳細コスト分析となっている。汚水処理規模としては日汚水処理量約80万 m<sup>3</sup> のケースに相当する。結果を表 8.2.3 に示した。

表 8.2.3 メタンガス発電設備のコスト分析

項目	原単位	数量	単位	価格	単位
投資額	3,500 元/kW	2000	kW	700	万元
①発電量	1,117 万 kWh/年	30,615	kWh/日	350	万元
②売電収入	0.2393 元/kWh			267	万元
<b>コスト分析</b>					
①原料費				0	元
②燃料費	1.2 g/kWh			13,409	kg
	11 元/kg			15	万元
③維持修繕費	0.011 元/kWh			12	万元
④人件費	1.5 名/(500kW)	×6 名		6	名
	2 万元/年・人			12	万元
⑤設備償還費	3,500 元/kW×2000kW×(1-5%)/10			66.5	万元
⑥大修理費	3 万元/台	60	元/kW	12	万元
⑦管理費	10 万元	50	元/kW	10	万元
⑧その他予備費	5 万元	25	元/kW	5	万元
⑨銀行利息	利率 6.12% 銀行利息=利率×金額×(1+上昇比率)			23.6	万元
			合計	156	万元
⑩発電原価				0.139	元/kWh

収益計算の結果、売電収入 0.239 元/kWh に対して発電原価は 0.139 元/kWh であり、収益があがる事業と評価されるとしている。なお自己資本比率は 50% の条件で計算されている。コスト分析例 A と比較すると、発電原価は 20 万 m<sup>3</sup>/日規模で 0.180 元/kWh、80 万 m<sup>3</sup> 規模で 0.139 元/kWh で、規模の効果がみられる。

出典：堅泳 “沼気発電項目経済分析”2008.4 <http://www.docin.com/p-41293433.html>

### (3) コスト分析事例 C

本事例は下水汚泥量 10,000m<sup>3</sup>/日 (混合濃縮汚泥として) の規模について、2 種の処理プロセスフローと、外国輸入設備のコストに与える影響を分析したものである。

#### a) 処理規模および処理システム

対象汚泥量は混合濃縮汚泥量 10,000m<sup>3</sup>/日量、含水率 99% で、乾燥重量は 100t/日である。遠心濃縮機 (凝集剤添加約 1kg/t-DS、凝集剤価格 5,500 元/t:5.5 元/t-DS) で濃縮して含水率 95% に下げ、汚泥は嫌気性消化後で固形物量を 1/3 とするものである。

なお、含水率が 80% より低いと埋立に適するが、含水率が 68% より高い場合は埋立時に充填材が必要である。これは埋立地の強度維持のために 2 種類の脱水方式について分析している。処理条件は下記の通りである。

- ① 汚泥を遠心分離後含水率を 80% まで下げる。凝集剤添加量は 2.5kg/t-DS とする。
- ② 汚泥の高乾度遠心脱水後の含水率は約 65%、凝集剤添加量約 5kg/t-DS とする。
- ③ 焼却技術を用いる場合、遠心脱水後で含水率 80% に下げ、凝集剤添加量は 2.5kg/t-DS とする。汚泥焼却後残余灰分量は乾燥重量でおよそ 1/3 となる。
- ④ 排煙処理の NaOH 量は 37kg/t-DS とする。NaOH の単価は約 3,450 元/t。
- ⑤ 汚泥輸送費用は 0.75 元/(t・km) とする。輸送距離を 40km とすると運送費用は 30 元/t である。
- ⑥ 埋立費用は都市ゴミ埋立を参考に単価は約 15 元/t とする。
- ⑦ 各処理プロセスの電気消費量：濃縮 25kWh/t-DS、脱水 75kWh/t-DS、消化で 150kWh/t-DS、焼却で 200kWh/t-DS、なお電力単価は 0.7 元/kWh とする。

#### b) 処理処分フロー

技術 I 生汚泥—濃縮—消化—脱水—衛生埋立

技術 II 生汚泥—濃縮—消化—脱水—焼却—焼却灰衛生埋立

2 種類の汚泥処理技術について、処分工事費と建設費を比較的に表 8.2.4 に示す。この表の値の 1/100 が乾燥重量 1t 当たりの建設設備コストとなる。

表 8.2.4 汚泥処理処分工程費用比較

建設費用名称	技術 I (万元)		技術 II (万元)	
	埋立(全部国産設備)	埋立(40%先進国60%国産設備)	焼却は先進国設備	焼却は国産設備
汚泥濃縮槽	200~300	200~300	200~300	200~300
汚泥消化設備	5,500	5,500		
濃縮脱水機	3,000~4000	3,000~4000	3,000~4000	3,000~4000
焼却			13,000	8,000
衛生埋立	1,800	2,800		
汚泥輸送	100	100	30	30
合計	10,600~	11,200~	16,230~	11,730~
	11,700	12,300	17,330	12,330

注\* 参照 1996 年環衛協会会刊数据

表 8.2.5 国産設備の汚泥処理・処分の運転費用

技術類別	技術 I (1)	技術 I (2)	技術 II
濃縮費用 (元/日)	7,250	7,250	7,250
消化費用 (元/日)	10,500	10,500	
脱水費用 (元/日)	12,667	21,833	19,000
焼却費用 (元/日)			26,833
埋立費用 (元/日)	5,000	3,000	500
輸送費用 (元/日)	10,000	6,000	1,000
運転コスト(元/t-DS)	454	486	546
処分コスト(元/t-DS)	759.7	807.7	875.4

全設備について国産機を採用した場合として、その運転費用の計算結果は表 8.2.5 のように示されている。

投資費用は毎年の減価償却を 5%、利率などは 5% としてコスト計算し、上述の技術について汚泥 1t あたりの汚泥乾燥固体処理の総括的なコストおよそ 800 元/t としている。

1 万 m<sup>3</sup> の汚水は計 2.0t-DS の汚泥を生産する。1m<sup>3</sup> の汚水汚泥処理のコストは約 0.16 元となり、国内の大規模汚水処理場の水処理部分のコストは 0.3~0.45 元/t である。この値との比較により、汚泥処理コストはおよそ全コストの 35%~50% を占めることとなり、先進国の推計と概ね一致している。

出典：上海城市污水处理場の汚泥処置途径 2009.7

<http://www.iwatertech.com/Sludge-dewatering/47165.htm>

### 8.2.4 汚泥処分のコスト分析

汚泥処分方式として堆肥化と乾燥焼却についてコスト分析例を示した。堆肥化については、近年採用が増加しているとされる好熱菌による高温堆肥化の例を示した。

#### (1) コスト分析事例A

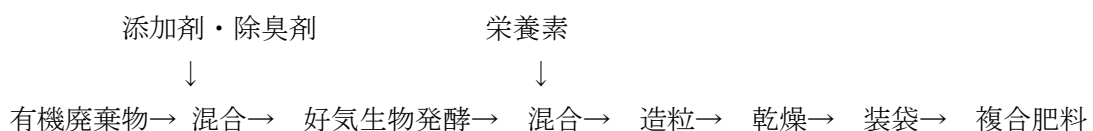
本事例は好熱菌を利用した下水汚泥の「高温有機堆肥」の事例で、在烟台市污水处理場内に建設されており、日污水处理量は12万 $m^3$ 、消化脱水汚泥は日量50 $m^3$ (含水率65~75%)、年間生産量16,000tの有機複合堆肥の汚泥肥料化事業である。建築面積は約2,500 $m^2$ の農業用汚泥無害化設備である。固定資産の総投資額は670万元、その内訳は建築工事費が約200万元、設備および安全装置費は370万元、その他費用約100万元となっている。単位脱水汚泥量当りの投資額は13.4万元/ $m^3 \cdot 日$ (建設単価:4.0万元/ $m^3 \cdot 日$ 、設備単価7.4万元/ $m^3 \cdot 日$ その他2.0万元/ $m^3 \cdot 日$ )となっている。

#### a) 肥料製品

中国での農業生産と林業生産の必要性から、汚泥を無害化した農業用の技術の開発を採用して2つのシリーズの有機複合肥料を開発している：

- ① 土壤改良剤：主要な成分は有機物の25~38%で、P、N、K $\geq 7\%$ 、主に土壤、林業の栽培を改良に用いる：
- ② 粒子複合肥料：主要な成分は有機物の10~20%で、P、N、K 20~25%、主に畑の栽培に用いる：GB15063-94 国家基準をクリアするものとする。

#### b) 堆肥化フロー



#### c) 投資計算

各堆肥化設備の設備コストを含めての投資計算結果は表 8.2.6のように示されている。なお本事例は、維持管理費を含む収益分析は行われていないが中国の建設投資内訳の参考資料となる。



表 8.2.6 投資計算結果

	項目	価格	単価
①	設備費	385.56 万元	(7.7 万元/t)
	主要設備費	239.36 万元	(4.8 万元/t)
	補助設備費	146.2 万元	(2.9 万元/t)
②	土木建築施工費	189 万元	(3.8 万元/t)
③	輸送・安全調整費 設備費×10% = 38.56 万元		(0.77 万元/t)
④	設計費 [(①+②+③)×3% = 18.39 万元		(0.37 万元/t)
⑤	税金及び管理費 [(①+②+③+④)×7%= 44.21 万元		(0.88 万元/t)
⑥	総計 [(①+②+③+④+⑤) = 675.72 万元		(13.5 万元/t)

(注):( )内の数字は、脱水汚泥量当りの投資単価を示したものである。

出典：「汚泥の高温堆肥処理法」

<http://hb.ddyuanlin.com/html/article/2007-12/28/31262.html>

## (2) コスト分析例B

本例は汚泥堆肥を年 20,000 t 生産する設備のコスト分析例を表 8.2.7 に示した。

生産されている汚泥堆肥は中国では生物菌堆肥といわれるもので 2 種類生産されている。一つは「黒桃 K」として N, P, K の含有率 10%、VT 活性菌  $5 \times 10^7$ 、有機質含有率 38% と農地土壌の改良剤として使われる「高機能腐葉土」として N, P, K の含有率 3%、VT 活菌  $5 \times 10^7$ 、有機質含有率 38% の有機堆肥である。なお製品の重金属濃度を農業用基準の 1/2 と設定している。

運転経費を単位原料当りでみると、含水率 80% の脱水汚泥とし、堆肥含水率 30%、堆肥歩留り 50% と仮定すると約 90 元/t となる。

収益分析結果をみると、機能性堆肥の収入単価は 622.5 元/t、運転経費 483 元/t となっており、結果純利益は 108 元/t と示されている。本事例の特徴を示すと、日量約 60t の機能性堆肥を生産するのに 50 人が投入されていることであり、設備費より運転経費は高いものの、生物菌堆肥として品質の付加価値を上げており、収入単価が良いため収益性のある事業となっている。

表 8.2.7 高機能有機肥料生産設備

有機汚泥堆肥生産量		20,000 t/年	
a) 技術指標	① 汚泥資源化率	100 %	
	② 汚泥堆肥内訳(混合有機堆肥)		
	黒桃K	600 t/年	
	高機能腐葉土	12,000 t/年	
	生産品の重金属濃度は対農用基準	50% 以下	
b) 設備条件	① 敷地面積	6,600 m <sup>2</sup>	
	② 電力設備	350 kW	
	③ 主要設備	攪拌機、熱風機、製粒機、低温乾燥機等	
	④ 運転管理		
		建設期間	
		設計施工、設備資金調達	
		土木建築工事	
		設備安全試験、職工訓練、工事検査等	
		総電気容量	321 kW
		最大用水量	30 m <sup>3</sup> /日
	労働定員	50 人	
c) 投資収益分析	① 総投資額	980 万元	
	内設備投資額	268 万元	
	主要設備耐用年数	10 年	
	② 運転経費	1,068 万元/年	
	③ 経済収益分析		
	年間収入	1,245 万元/年	
	年利潤	240 万元/年	

(注: ()内の数字は、堆肥生産量当りの単価である)

出典：城市污水处理場汚泥制有機肥生産技術：<http://www.sky911.cn/hbtec/40837.html>

### 8.2.5 乾燥焼却技術のコスト分析

乾燥焼却は現在中国で注目されている汚泥処分方法である。これには以下のような理由があげられる。①埋立処分に対する規制強化、すなわち含水率規制と強度規制がある。②直接焼却の場合、含水率や無機灰分含有率の影響等で燃焼制御が困難である、③乾燥プロセスと焼却プロセスを合体し、予熱源として焼却熱を逆流回収利用し乾燥させた上焼却する方式は安定した燃焼が行える。④このため投入エネルギーが少なくて済む。

この乾燥焼却技術は上海石洞口污水处理場の汚泥処理システムに導入されており、脱水汚泥の集中処置により、汚泥の減量化、安定化、無害化と資源化の実現を目的としている。このプロジェクトは2004年10月に試運転調整を開始して、現在上海城環水務運営有限会

社が運転管理をしている。表 8.2.8 に建設コストと維持管理コストを示した。

表 8.2.8 流動床式乾燥焼却設備のコスト

	項目	数量	(単位)
1	設備規模	213	t/日
	処理能力 (設計含水率)	70	%
2	建設投資	8,000	万元
	建設単価	37.6	万元/t
3	維持管理コスト	238.8	元/t
	内訳人件費	57.9	元/t
	原料費	52.45	元/t
	動力費	70	元/t
	補修費	25.64	元/t
	大型補修費	32.8	元/t

コストの内容をみると、維持管理コストが極めて高いのが特徴となっている。この理由は動力費が高いことおよび大型補修費が高いことに起因している。この事例では、上海市の現地ヒアリング調査で判明したように、汚泥中の含砂率が高いのが特徴であり、上海石洞口污水处理場の汚泥では含砂率が 22.4% に達している。欧州諸国および日本の 6~8% に比較すると約 3 倍の量の砂分混入がある。このため 2007 年 8 月に熱交換油の漏出事故があり、2008 年 2 月には熱交換器を新規に入れ替えているといった大きな補修が生じている。

以上のように、乾燥化・減量化技術としては適当と考えられるが、ヨーロッパで開発された技術が汚泥性状にどこまで追従できるかは大きな課題といえる。

出典：“取经”上海石洞口污泥干化焚烧工艺” 2009-09 中国环境保护产业协会网站

<http://www.caepi.org.cn/industry-news/19126.shtml>

### 8.3 亜臨界水処理設備のコスト特性

亜臨界水処理法は大別して、バッチ式と連続式の二つがある。バッチ式の亜臨界水処理の反応原理は、滅菌器である「オートクレーブ」と同じであり、古くから使われている技術とあってよい。バッチ式の亜臨界水処理は、わが国では 1983 年には森林バイオマスの質変換技術として開発が進められてきた。設備構造は極めて簡単であり、かつ操作も簡単であるところに特徴がある。一方、連続式亜臨界水処理の開発は抽出分離技術として 2005 年頃から開発されてきた。

本節では、構造が最も簡単でコストを明示できるバッチ式亜臨界水処理の設備についてそのコスト特性を検討した。

#### 8.3.1 亜臨界水処理システム

バッチ式の亜臨界処理システムは下記の通りであり、必要設備数は極めて少ない。

- (1) 原料貯槽
- (2) 原料投入設備
- (3) 亜臨界水反応設備
  - ① ボイラ設備
  - ② 制御設備(温度・圧力制御)および投入・取り出し電動バルブ等
  - ③ 圧力容器(攪拌装置付)
- (4) 処理製品取り出し及び製品調整設備
- (5) 脱臭設備
- (6) 建屋

(1), (2)および(4), (5)は他の施設との共通施設となる。

このため、本体廻りの設備としては、亜臨界反応設備を構成する4つの設備のみである。処理フローは下記の通りである。

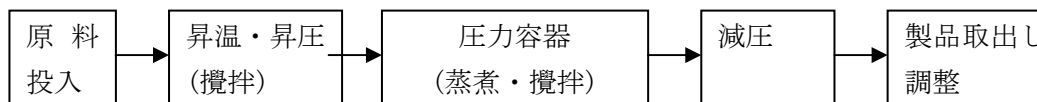


図 8.3.1 亜臨界水処理フロー

### 8.3.2 亜臨界水反応装置(バッチ式)の仕様例

#### (1) 設備仕様

以下に反応容積 2m<sup>3</sup> タイプの設備仕様を示した。

【主要構成機器】 ボイラ、ボイラ付属装置、煮熟缶、攪拌装置、水抜きタンク、エジェクター、により構成される。

【機器仕様】 2m<sup>3</sup>タイプ (MR2)

##### a) ボイラ

- ① 圧力：最高 2MPa
- ② 温度：最高 215℃
- ③ 蒸気量：相当蒸発量 500 kg/h
- ④ 電源：AC200V

##### b) ボイラ付属装置

圧力および温度調節が可能な市販ボイラ設備でも可能。

##### c) 圧力容器(煮熟缶)

- (1) 型式：横型
- (2) 容量：処理物容量として 2m<sup>3</sup>、4m<sup>3</sup>、6m<sup>3</sup>、10m<sup>3</sup>タイプがある。

## d) 攪拌駆動装置

- ① 駆動モーター : 7.5kW×4p×200V
- ② 出力回転数 : 0~20.6rpm (60Hz) : 0~17.2rpm (50Hz)

## e) 操作・制御盤

- ① 制御項目 : 煮熱缶内圧力、煮熱時間
- ② 操作・制御盤 : 1 面

## f) 機械建屋室 (参考例)

- ① 構造 : 一部 2 階建平羽根構造、軽量鉄骨づくり、鋼板製屋根・壁構造
- ② 外形寸法 1 階部分: 約 2,500 幅×約 9,000 長×約 2,800mm 高 (22.5m<sup>2</sup>)  
2 階部分 : 約 2,500 幅×約 4,000 長×約 2,100mm 高 (10m<sup>2</sup>)

出典 : <http://www.m-group.jp/g8mzsetume.htm> 「日本語パンフレット」より

## (2) 本体設備費

現在開発されている、横型回転攪拌式の亜臨界水処理装置には、下記の 4 つの標準仕様がある。なお、本体価格は、ボイラ、圧力容器、駆動モーター、制御版のセット価格で、メーカーヒアリングによる参考価格として示した。

- ① 2m<sup>3</sup>タイプ(内容量:2.3m<sup>3</sup>): 処理量 Max 35t/日 本体価格 1.3~1.5 億円  
(汚泥処理量 35t/日に対応する汚水処理量:28,000m<sup>3</sup>/日)
- ② 4m<sup>3</sup>タイプ(内容量:4.6m<sup>3</sup>): 処理量 Max 70t/日 本体価格 1.6~1.8 億円  
(汚泥処理量 70t/日に対応する汚水処理量:56,000m<sup>3</sup>/日)
- ③ 6m<sup>3</sup>タイプ(内容量:6.5m<sup>3</sup>): 処理量 Max 100t/日 本体価格 2.0~2.2 億円  
(汚泥処理量 100t/日に対応する汚水処理量:80,000m<sup>3</sup>/日)

(注 1) 最大処理量は、処理物の特性にしたがった処理時間によって変わる。標準的処理時間を 1 バッチ約 1hr の条件として処理量を示している。なお本体価格は日本円価格である。

(注 2) 汚水処理量は流入 SS 濃度 250mg/L、処理汚泥含水率 80%として計算。

### 8.3.3 ユーティリティ

亜臨界水反応処理に必要なユーティリティは、基本的には、ボイラ熱源としての灯油または重油、水、および主として攪拌動力用電力である。今回処理試験に用いたメーカー仕様は 8.3.2 に示したものと同一となっている。

#### ①ボイラ蒸発能力 500kg/hr

ボイラは昇温・昇圧時に Max 能力で使用されるとして、初期 15min の量が必要である。したがって用水量は 1 バッチあたり  $500\text{kg/hr}/4=125\text{L}$  となる。

1 バッチの処理能力は  $2\text{m}^3$  タイプで 1.5t で、用水量原単位は  $83\text{L/t}$  となる。

#### ②燃料

ボイラ能力  $500\text{kg/hr}$  に必要な燃料は灯油で  $37.5\text{L/hr}$  である。

燃料を必要とする時間は初期の 15min である。したがって燃料投入原単位は  $6.3\text{L/t}$  である。30min としても  $12\text{L/t}$  となる。

#### ③電力量

電力は基本的に駆動電力とボイラ周りの電力のみである。

駆動モーター電力  $7.5\text{kW} \times 1\text{hr} = 7.5\text{kWh}/1.2 = 6.3\text{kWh/t}$

ボイラ周辺機器電力  $0.5\text{kW} \times 1\text{hr} = 0.5\text{kWh}/1.2 = 0.4\text{kWh/t}$

小計  $6.7\text{kWh/t}$

他の方法との投入エネルギーの違いを比較したものが図 8.3.2 である。

(注) 亜臨界水処理設備については、投入搬送設備の動力等も含めた数値を示してある。

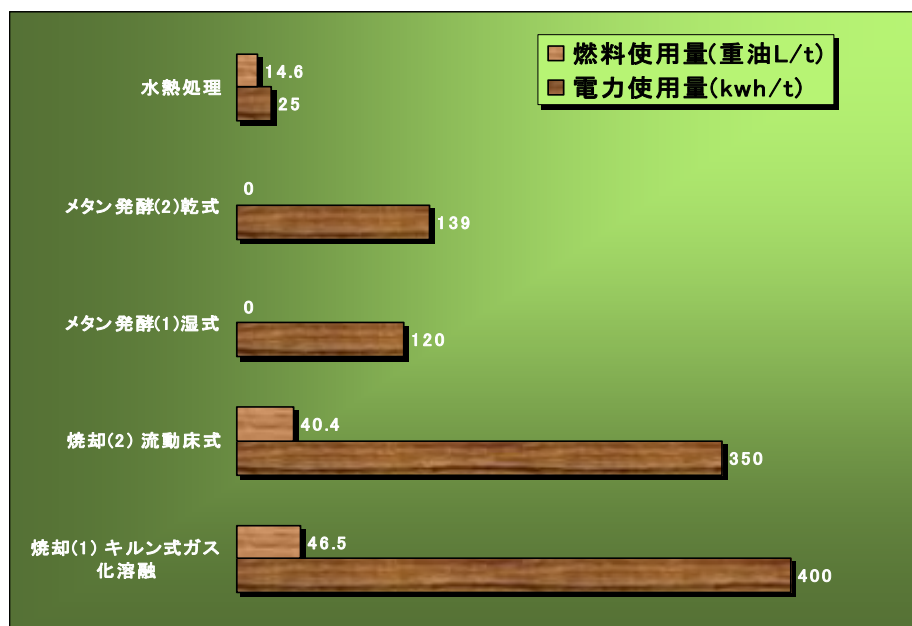


図 8.3.2 各種汚泥処理施設の投入エネルギー比較

出典:資料”メタン発酵施設と焼却施設のコスト比較”環境庁

## 8.4 有機汚泥等の亜臨界水処理システム導入の経済効果の評価検討

### 8.4.1 「亜臨界水処理技術」導入方式と従来方式の経済性比較

#### (1) 経済性比較の基本条件

建設費および維持管理費は対象とする処理技術・処理・処分方式などいろいろな経済的要素によって大きく変わるため、一律に規定することは困難である。なお、建設費等は規模の効果、すなわち建設規模が大きくなれば割安になるという原則があるため、費用関数を用いた。中国での汚泥処理・処分施設に関する規模効果、いわゆる「費用関数」は不明であるが、これは日本で多用される概略値として0.6乗則を適用した。すなわち、

$$\text{建設初期投資額} = \text{建設費原単位} \times [\text{当該処理汚水量規模} / \text{基準処理汚水量}]^{0.6}$$

なお、設備費については設備の種類により差があるがここでは0.8乗則とした。

中国においても上述した費用関数の指数値が適用できるものと仮定した。本報告では、相対的評価として設定したものであり、実際には、具体的事例の中で調査検討すべきものであることを付記しておきたい。なお、収益計算に用いた建設費、維持管理費単価は表 8.4.1 に示した。基準の汚水処理規模は 50 万 $\text{m}^3$ /日である。償還年数は文献調査の結果を勘案して土木建築施設について 20 年、機械設備は 15 年とした。

北京市市政工程設計研究総院によれば、4 種類の汚泥処理方法について総括的な投資指標と総括的なコストを示している。

- ① 堆肥：25～30 万元/t・日脱水汚泥、総コスト 90～110 元/t脱水汚泥：  
建設費は上記範囲の中間をとって 27 万元とした。土木建築費と設備費の内訳は、表 8.2.6 および表 8.2.7 の例から、55%が土木建築費、45%が設備費とした。
- ② 石灰乾燥化：10～15 万元/t・日脱水汚泥、総コスト 90～110 元/t脱水汚泥：  
建設費は上記範囲の中間をとって 13 万元とした。
- ③ 熱乾燥化：35～45 万元/t脱水汚泥、総コスト 230～280 元/t脱水汚泥：  
建設費は上記範囲の中間をとって 40 万元とし、事例から土木建築費 40%、設備費 60% とした<sup>4)</sup>。なお、維持管理費は総コストから建設償還費(15年)を差し引いて設定した。

以上のコストは総括的に示されており、建設費の土木建築費と設備費の内訳はメタン発酵発電と水熱処理以外は、事例から按分して設定した。

メタン発酵発電のコスト単価は出典<sup>2)</sup>から、水熱処理は 8.3.2 の調査結果から設定した。他の方式は出典から設定した。

出典:

- 1): 費用関数の係数: 松藤敏彦著「都市ごみ処理システムの分析・計画評価」技報堂出版
- 2): 「沼気发电产业化可行性分析」環保設備通信網  
<http://www.88mt.com/index.php/ht/view/id-7575>
- 3): 「北京市市政工程設計研究総院解答汚泥処理、処置等工程技术問題」  
[http://btob.stec.net/companynews/companynews\\_detail.asp?id=6221](http://btob.stec.net/companynews/companynews_detail.asp?id=6221)
- 4): 平成 17 年度一般廃棄物処理施設管理技術者講習会テキスト

表 8.4.1 処理処分方式の建設費および維持管理費単価の設定

処理方式		堆肥化	メタン 発酵発電	水熱処理	石灰 乾燥化	熱 乾燥化
建設費	(万元/t・日)	27	11.2	23.4	13	40
	①建築費	15	6.7	5.4	7	16
	②設備費	12	4.5	18.0	6	24
維持管理費	(元/t)	50	26.9	34.3	170	63
	①人件費			1.3		
	②電力費			1.0		
	③燃料その他			32.0		

(単位: 混合脱水汚泥 t 当たり (80% 含水率))

(注: 上表の基準汚水処理規模: 50 万 m<sup>3</sup>・日)

出典: 費用関数の係数: 松藤敏彦著「都市ごみ処理システムの分析・計画・評価」技報堂出版  
 メタン発酵発電単価: 「沼気发电产业化可行性分析」環保設備通信網  
<http://www.88mt.com/index.php/ht/view/id-7575>  
 水熱処理: 本報告積算

表 8.4.1 の堆肥化、石灰乾燥化、熱乾燥化のコストは、下記文献から設定した。

”北京市市政工程设计研究总院解答污泥处理、处置等工程技术问题“  
[http://btob.stec.net/companynews/companynews\\_detail.asp?id=6221](http://btob.stec.net/companynews/companynews_detail.asp?id=6221)

以下、該当箇所の抜粋を示した。

「以下は何種類の汚泥処理方法についての総括的な投資指標と総括的なコストで、参考する。1、堆肥: 25~30 万元/t 脱水泥、総コスト 90~110 元/t 脱水泥: 2、石灰乾化: 10~15 万元/t 脱水泥、総コスト 90~110 元/t 脱水泥: 3、熱乾燥化: 35~45 万元/t 脱水泥、総コストの 230~280 元/t 脱水泥 (主に熱源の価格による): 4、汚泥乾燥化+焼脚: 40~70 万元/t の脱水泥、総コストの違いの範囲は比較的大きくて、汚泥の熱量、燃料の価格を加味しなければならない」なお、建築費と設備費は文献値を勘案して按分した数値を参考として示した。



また、事業収益計算の基本条件は表 8.4.2 に示した。堆肥価格は機能性微生物を含む堆肥を想定した価格設定とした。

表 8.4.2 収益計算の基礎条件

	項 目	数 量 (単位)
①	消化ガス発生量(汚水汚泥)	400 m <sup>3</sup> /t・DS
②	消化ガス発生量(生活ゴミ)	450 m <sup>3</sup> /t・DS
③	水熱メタンガス発生倍率	1.8
④	メタンガス濃度	60 %
⑤	ガス発電効率	35 %
⑥	メタンガスエネルギー	1.875 kWh/m <sup>3</sup>
⑦	電力単価	0.6 元/kWh
⑧	原料受入単価	30 元/t・湿泥
⑨	堆肥価格	500 元/t
⑩	有機肥料価格	700 元/t
⑪	利子率	9 %

① 消化ガス発生量

消化ガス発生量は、後節で天津市をモデル都市として検討することから、天津市紀庄子污水处理場のデータを参考とした<sup>1)</sup>。

紀庄子污水处理場のメタンガス量は含水率 96%、有機物含有率 50%の濃縮汚泥について消化ガス発生量は 25.4m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>(汚泥)と報告されている。この値は、乾燥重量当りにすると 423m<sup>3</sup>/t となることから設定値として 400m<sup>3</sup>/t とした。

② 生活ごみの有機物含有率<sup>2)</sup>を考慮して①より高目の 450 m<sup>3</sup>/t に設定した。

③ 本調査の結果 表 7.2.10 をもとに設定した。

④ メタンガス濃度は高碑店污水处理場の値<sup>3)</sup>を用いた。

⑤ ガス発電効率は一般的には 30%とされるが近年発電効率の高いガス発電機が開発されているため 35%と設定した。

⑥ 発電機定格必要メタンガス量 0.5m<sup>3</sup>/kWh~0.8m<sup>3</sup>/kWh を参考<sup>6)</sup>として設定した。

⑦ 電力単価は、8.2.3 に示した事例を参考とした。

⑧ 原料受入れ単価は最低限の設定として埋立処分場までの輸送費をあてるものとした。

ゴミの収集から処分に至るコストは、次のように構成される<sup>5)</sup>

積込費 2 元/t、運搬賃 1.5 元/t、処分費 10 元/t で運送距離を 15km とすると 34.5 元/t となり、切り下げて 30 元/t とした。

⑨ 堆肥および肥料価格の文献事例<sup>4)</sup>を参考とした。

出典:

1) 周楊 他” 汚泥嫌気消化池后動運行経験”

<http://wenku.baidu.com/view/a29a472e453610661ed9f4bc.html>

- 2) 杜呉鵬, 高庆先, 张恩琛, 繆启龍, 吳建国, ”中国都市ごみ排出現状及び成分分析” 環境科学研究、2006 第 19 卷 第 05 期
- 3) 北京排水集断高碑店污水处理場沼気熱電联供情况紹介  
<http://www.lw286.cn/Article/lglw/syynydl/200805/15232.html>
- 4) 陈荣光” 污水处理場汚泥最实用并可以有收益的最終処分方法”  
<http://blog.h2o-china.com/html/34/144934-946.html>
- 5) 平成 15 年度 CDM/JI 事業調査 下水汚泥等有機廃棄物のメタン発酵によるバイオガス利用事業調査報告書 2004 年 3 月清水建設
- 6) 沼気発電産業化可行性分析、<http://www.renhe.cn/team/showtopic-50290.html>

## (2) 汚泥の再生利用方法の比較

比較対象とする汚泥処理処分方式は下記の 7 ケースとした。「亜臨界水処理」技術の導入ケースについては、単独処理による「有機肥料化」ケースおよび「亜臨界水処理」を前処理として導入するメタン発酵(発酵残渣は堆肥化)とメタン発酵発電のケースを設定した。

- a. 嫌気性消化堆肥化 (嫌気性消化で汚泥安定化し、消化残渣を堆肥化する従来方式、なお余剰メタンガスは利用しないケース)
- b. 嫌気性消化・発電 (嫌気性消化で得られたメタンガスを発電に利用し、場内電力として利用するケース。消化残渣汚泥は脱水後埋め立てるケース)
- c. 堆肥化 (脱水後の混合汚泥を全量通常方式で堆肥化するケース)
- d. 水熱有機肥料化(脱水後の混合汚泥を亜臨界水処理し直接自然乾燥化するケース)
- e. 水熱メタン発酵発電((2)のケースに嫌気性消化の前処理として亜臨界水処理を導入し、発電効率を高めるケース。消化残渣汚泥は堆肥化するケース)
- f. 石灰乾燥化 (石灰処理乾燥化し処分するケース)
- g. 加熱乾燥化 (燃料を使った強制汚泥乾燥化のケース)

これらの処理処分方式について、規模の効果を評価するため、汚水処理量を 5 万 m<sup>3</sup>/日、10 万 m<sup>3</sup>/日、20 万 m<sup>3</sup>/日、30 万 m<sup>3</sup>/日、50 万 m<sup>3</sup>/日、100 万 m<sup>3</sup>/日の 6 ケース、全 42 ケースの収益計算を行った。収益計算の方法は、均等償還方式である。

各種ケースについて事業の経済効果の比較計算の前に、水熱有機肥料化のケースにおいて、有機肥料の販売価格の影響を調べた。図 8.4.1 にその結果を示す。この図から販売単価が 300 元/t 以下での投資回収は極めて困難であり、500 元/t では 9 年目からようやく純利益ができることになる。一方、700 元/t では約 6 年目に投資回収ができ利益を上げることができる。以上の結果から水熱有機肥料化の損益分岐点は 700 元/t 付近にあることがわかる。

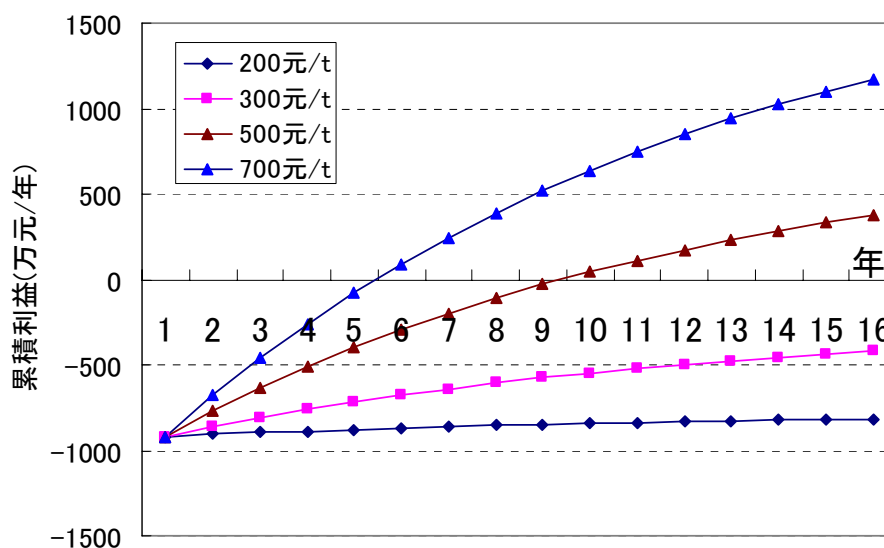


図 8.4.1 有機肥料価格の収益に及ぼす影響

設定した汚泥バイオマスの再生利用方式の収益比較計算結果を図 8.4.2 および図 8.4.3 に示した。

処理処分方式の収益比較計算を行った結果を要約すると以下の通りである。

- ① 「亜臨界水処理」を導入したケースは、処理水量規模 5 万  $\text{m}^3$ /日以上でのケースにおいてもプラス収益となり、特に 20 万  $\text{m}^3$ /日以下では、亜臨界水処理単独による有機肥料化がメタン発酵発電より相対的に収益性が高いという結果が得られた。100 万  $\text{m}^3$ /日クラスの場合でも、汚泥単独の有機肥料化は収益性が高く、メタン発酵発電のケースより約 40%増収益となる。小規模分散型処理場の場合には亜臨界水処理による有機肥料製造が極めて有利な選択となる。
- ② 従来方式の嫌気消化+残渣堆肥化方式は 50 万  $\text{m}^3$ /日以下の規模では収益はマイナスである。
- ③ 従来方式の嫌気消化+発電は 20 万  $\text{m}^3$ /日以上で収益が出るが、水熱メタン発酵発電方式の約 1/3 程度にとどまる。
- ④ 乾燥化システムは石灰乾燥化および加熱乾燥化ともどの規模であっても収益はマイナスである。特に加熱乾燥化はマイナスが大きい。

以上の収益計算の結果、「亜臨界水処理」の導入により小規模、大規模問わず収益事業が充分成り立ちうることを示しており、20 万  $\text{m}^3$ /日以下の処理規模ではメタン発酵発電より直接有機肥料化の方が経済的に有利で需要関係によりどちらでも選択可能である。

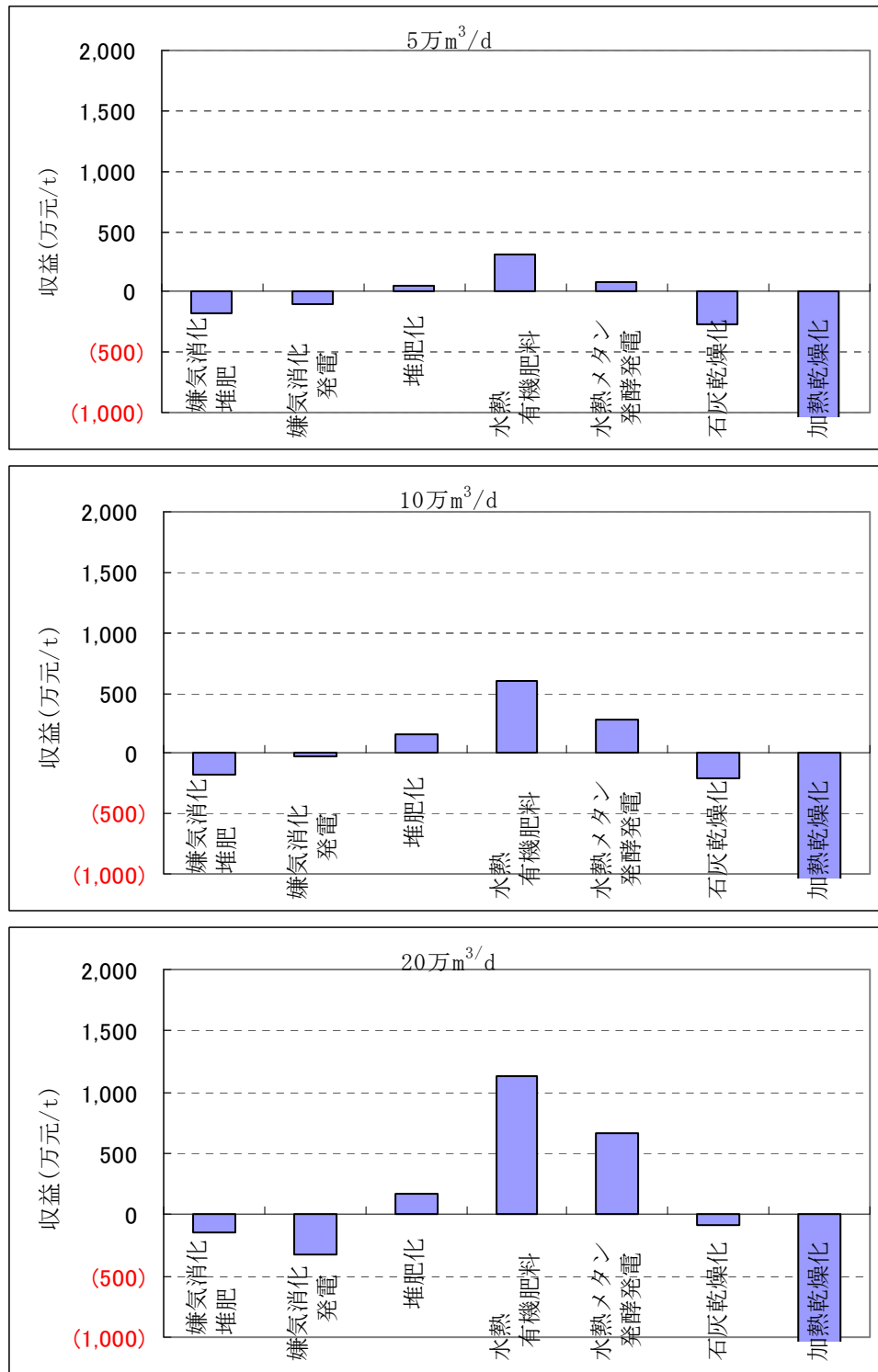


図 8.4.2 亜臨界水処理導入による処理処分方式の収益比較(1)

(注: 加熱乾燥化の収益はマイナス値が大きく表示できないレベルであることに留意)

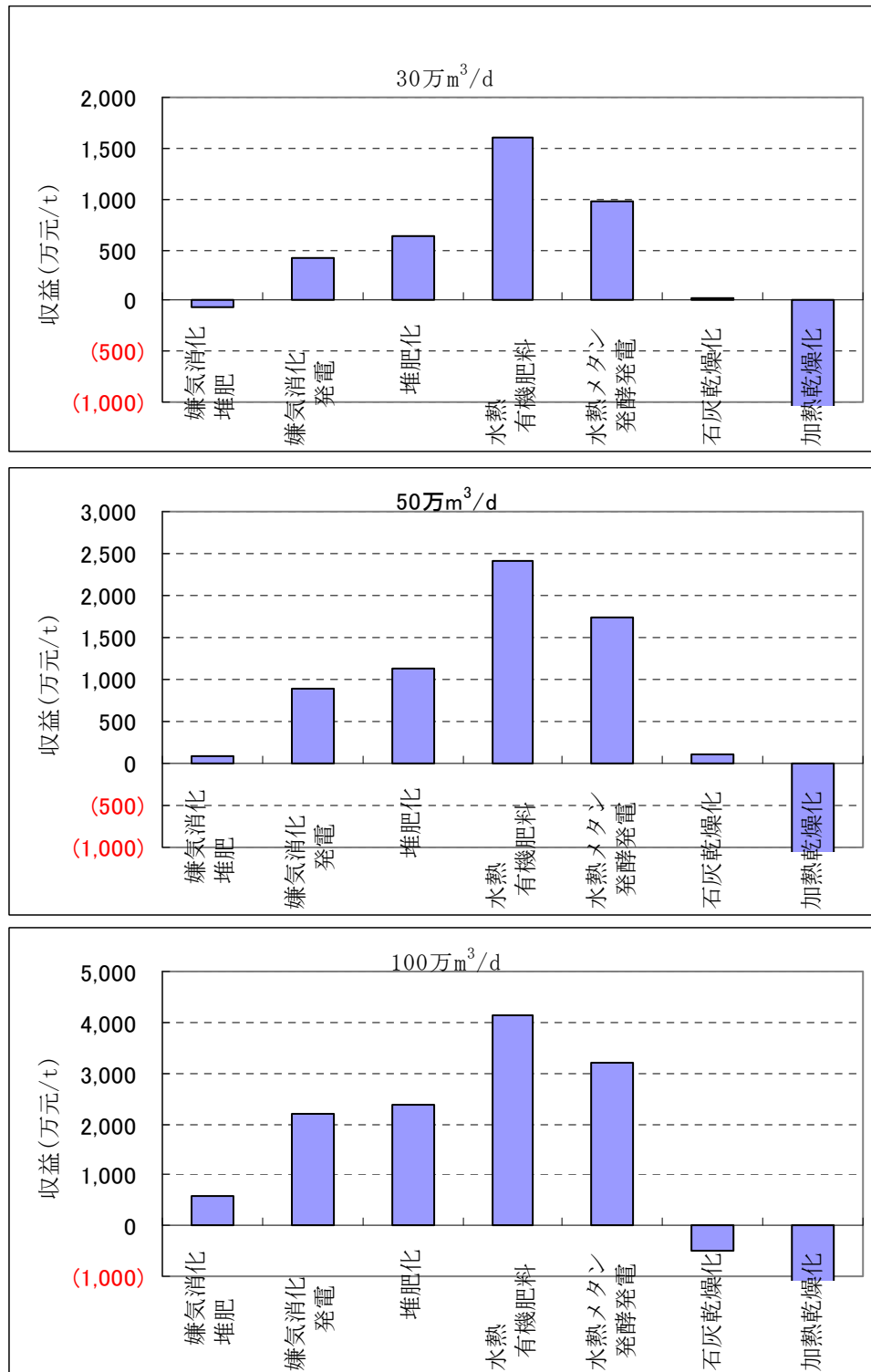


図 8.4.3 亜臨界水処理導入による処理処分方式の収益比較(2)

なお本収支計算の詳細は20万m<sup>3</sup>/日のケースについて表 8.4.3に示した。

表 8.4.3 収益計算表(汚水処理規模:20 万 m<sup>3</sup>/日の例)

資源化 Case		嫌気性 消化堆肥	嫌気性 消化発電	堆肥化	水熱 有機肥料	水熱/メタン 発酵発電	石灰 乾燥化	加熱 乾燥化
基礎条件								
汚水処理規模	(万 m <sup>3</sup> /日)	20	20	20	20	20	20	20
濃縮汚泥量	(t/日)	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150
脱水汚泥量	(t/日)	230	230	230	230	230	230	230
乾燥重量	(t/日)	46	46	46	46	46	46	46
1. 経済計算項目								
(1) 資源化対象汚泥	単位	濃縮混合 汚泥	濃縮混合 汚泥	直接脱水 汚泥	直接脱水 汚泥	消化脱水 汚泥	脱水汚泥	脱水汚泥
汚水処理	(t/日)	1,150	1,150	230	0	230	575	230
水熱処理	(t/日)	0	0	0	230	115		
(2) 汚泥資源化製品								
消化汚泥	(t/日)	(35℃)	(35℃)			(35℃)		
汚泥消化率	(t/日)	50%	50%			90%		
ガス発生量	(m <sup>3</sup> /日)	20,700	20,700			37,260		
発電効率			35%			35%		
発電量	(kWh)		30,188			54,338		
自己消費電力	(kWh)		11,500			11,500		
有効電力	(kWh)		18,688			42,838		
脱水汚泥量 (含水率 80%)	(t/日)	115	115			23	230	230
乾燥汚泥相当 (含水率 15%)	(t/日)	27	27	54	54	5	54	54
(3) 汚泥最終処分								
汚泥処分または 処理製品	(t/日)	13.5	13.5	27.1	43.3	5.4	54.1	54.1
(1) 建設投資 (償還費)								
① 土木費単価	(万元/t)	2.3	2.3	15	0	2.3	12	42
② 設備費単価	(万元/t)	2.1	2.1	12	0	2.1	10	28
① 土建費	(万元)	2,591	2,591	3,450	0	518	13,950	47,827
② 設備費	(万元)	2,394	2,394	2,760	0	479	11,957	31,885
① 土木費 (水熱)	(万元)				1,237	618		
② 設備費 (水熱)	(万元)				4,122	2,061		
建設投資合計	(万元)	4,984	4,984	6,210	5,359	3,676	25,906	79,712
自己資金比率		50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
① 土建費償還 (20年)	(万元/年)	62	62	82	29	27	331	1,136
② 設備費償還 (10年)	(万元/年)	114	114	131	196	121	568	1,515
建設費償還 計	(万元/年)	175	175	213	225	148	899	2,650

資源化 Case		嫌気性 消化堆肥	嫌気性 消化発電	堆肥化	水熱 有機肥料	水熱メタン 発酵発電	石灰 乾燥化	加熱 乾燥化
(2) 維持管理費								
①維持管理単価	(元/ t 湿泥)	5.2	17	43	0	5.2	8	20
②水熱処理 維持管理単価	(元/ t 湿泥)	0	0	0	33.0	33.0	0	0
①維持管理費	(万元/年)	218	727	364	0	218	354	857
②水熱維持管理値	(万元/年)	0	0	0	277	139	0	0
維持管理費計	(万元/年)	218	727	364	277	357	354	857
(3) 汚泥処分費								
処分場への距離	(km)	0	15	0	0	0	15	15
処分単価	(元/ t)	0	35	0	0	0	35	35
処分費	(万元)	0	17	0	0	0	68	68
経費計 ( (1)+(2)+(3) )	(万元/年)	393	920	577	502	504	1,321	3,576
(4) 収入								
①原料受入費	(万元/年)	252	252	252	252	252	252	252
受入単価	(元/t)	30	30	30	30	30	30	30
②電力削減費	(万元/年)	0	341	0	0	782	0	0
電力削減単価	(元/kWh)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
③有機質肥料	(万元/年)	0	0	494	1,383	138	988	988
有機質肥料単価 (含水率 15%)	(元/ t)	300	0	500	700	700	500	500
③補助金・ 税制措置等	(万元/年)	0	0	0	0	0	0	0
収入計	(万元/年)	252	593	746	1,635	1,172	1,239	1,239
(5) 収益	(万元/年)	(142)	(327)	169	1,132	668	(82)	(2,337)

(注1) : 発生汚泥含水率:96%, 脱水汚泥含水率:80%, 乾燥汚泥相当含水率:15%

#### 8.4.2 汚泥等の亜臨界水処理システム導入のモデル都市の設定

本調査では、代表都市として、北京、上海、天津、大連、昆明の5つの都市における下水汚泥の処理処分実態について現地調査を行った。この調査結果を基に中国への「亜臨界水処理技術」導入実効可能性を検討するためモデル都市を天津市とした。その理由は3つである。

- 天津市では大規模下水処理場と分散型污水处理場が混在しており多様性がある。
- 天津市は污水处理汚泥処理に関し比較的先進的に取り組んでいるものの、他都市と同様汚泥処理が技術的、処理能力的に極めて困難な状況にあることから、新技術をより希求している。
- 特に紀庄子污水处理場では、従来法の嫌気性消化とメタンガス回収発電まで行っているものの、嫌気性消化の維持管理の困難性と消化汚泥の脱水機稼働率の低さ等、汚泥処理処分について大きな問題を抱えており、経済効果が確認されれば、「亜臨界水処理技術」の導入も充分考えられるとの意向がある。

以上から、まず、天津市の污水および汚泥処理計画の実態を整理する。次いで、天津市の污水汚泥の発生状況および他の有機性廃棄物(特に共同処理が有効と考えられる生活系ごみおよび餐厨ごみ等)の実態を把握し、その上で資源・エネルギー回収のシナリオ分析を行い、導入効果の経済性の検討を行うものとする。

#### 8.4.3 天津市の污水处理と汚泥処理処分および生活系ごみ処理の概要

##### (1) 天津市の下水道整備の実態と将来

現在稼働している天津市の污水处理施設は、全部で15カ所ある。主な処理場の污水处理規模をまとめると表 8.4.4の通りであり、全て民営化により管理されている。表にみられるように、天津市の下水処理場の規模は、都市圏で15~60万 $\text{m}^3$ /日と中規模であり、濱海新区で平均の污水处理規模13万 $\text{m}^3$ /日、開発区では10万 $\text{m}^3$ /日の小規模污水处理場が多い。このため汚泥の発生は都市圏集中型と地方分散型となっているのが特徴である。現在の污水处理量は全体で180万 $\text{m}^3$ /日であるが将来は730万 $\text{m}^3$ /日と約4倍増加する計画である。

天津市で現在稼働している代表的污水处理場の汚泥処理の現況実態を把握するため、以下の3つの污水处理場の現況を示し、後に検討する経済分析の背景資料とした。

- 天津紀庄子污水处理場
- 天津東郊污水处理場
- 天津咸陽路污水处理場



表 8.4.4 天津市の污水处理場リスト

No.	項目名称	主要処理技術	運転開始	設計処理能力	平均処理水量
				(万 m <sup>3</sup> /日)	(万 m <sup>3</sup> /日)
1	天津創業環保股份有限公司東郊污水处理場	二級生化	1993年4月	40	36
2	天津創業環保股份有限公司紀庄子污水处理場	A/A/O	1984年4月	54	33.7
3	塘沽区環科新河污水处理有限公司	A/O	2005年11月	5	5
4	天津市大港区環科藍天污水处理有限公司	二級生化	2004年1月	3	2.8
5	天津創業環保股份有限公司咸陽路污水处理場	A/O	2005年2月	45	22
6	天津市津南区環科污水处理有限公司	二級生化	2001年1月	3	2.4
7	天津世升水治理有限公司	二級生化	2003年11月	1	0.9
8	天津重科水处理有限公司	MHA	2006年8月	1.5	1.3
9	天津市宝坻区環科碧水污水处理有限公司	二級生化	2004年9月	1.3	1.3
10	擴展区污水处理場	SBR	2007年12月	1	0.2
11	天津泰达威立雅水務有限公司(天津經濟技術開發区污水处理場)	SBR	1999年12月	10	7.9
12	天津創業環保股份有限公司北辰污水处理場	A/O	2006年4月	10	4.5
13	天津市賽達恒潔環保科技有限公司天津市西青大寺污水处理場	酸化溝	2008年10月	3	2.6
14	天津經濟技術開發区西区污水处理場	BAF	2006年9月	1.25	0.6
15	天津空港物流加工区水務有限公司	生物接触酸化法	2006年7月	3	1

#### ＜天津市下水道の将来計画＞

天津市の污水处理整備計画は2020年を目標として2009年4月に天津市政行路管理局より策定公布されている。その概要を表8.4.5に示した。整備区を、大きく都市区、濱海新区、開發区(二区三県)の3つに分けて計画管理しようとしているのがわかる。各区の汚泥処理方式は下記の通りである。

都市区:計画汚水量 285 万 m<sup>3</sup>/日、污水处理場 12 ヲ所、汚泥処理場 4 ヲ所で乾燥-焼却もしくは乾燥堆肥化となっている。

濱海新区:計画汚水量 325.4 万 m<sup>3</sup>/日、污水处理場 26 ヲ所、汚泥処理場 4 ヲ所で 2 ヲ所が乾燥-堆肥化、その他は乾燥-焼却である。

開發区(二区三県):計画汚水量 120 万 m<sup>3</sup>/日、污水处理場 13 ヲ所、3 ヲ所の乾燥化処理場があり、内 2 ヲ所は堆肥化となっている。

表 8.4.5 天津市の汚水処理整備計画(2020 目標)

市区	計画汚水量			
	生活系汚水	工業廃水	地下水	計
	158.96	57.22	21.60	237.78 万 m <sup>3</sup> /日
	汚水処理場 12 ヲ所 処理能力			285 万 m <sup>3</sup> /日
	咸陽路汚水処理場、北倉汚水処理場、東郊汚水処理場、張貴庄汚水処理場、紀庄子汚水処理場、大寺汚水処理場、双青汚水処理場、双街汚水処理場、西堤頭汚水処理場、北辰科技园汚水処理場、双林汚水処理場、咸水沽汚水処理場			
	汚泥処理場 4 ヲ所	乾燥(焼却)		
	双街汚泥干化場	乾燥		
	咸陽路汚泥干化場、	乾燥	堆肥化	
	双林汚泥干化場、	乾燥		
	山嶺子汚泥干化場	乾燥	堆肥化	
	陳塘庄汚泥焼却発電所	湿泥の直接焼却		
濱海新区	計画汚水量			
	生活系汚水	工業廃水	地下水	計
	83.12	178.16	26.16	287.44 万 m <sup>3</sup> /日
	汚水処理場 26 ヲ所 処理能力			325.40 万 m <sup>3</sup> /日
	港東新城汚水処理場、大港汚水処理場、大港石化汚水処理場、大港油田汚水処理場、南港工業区汚水処理場、太平鎮汚水処理場、小王庄汚水処理場、菅城汚水処理場、陽家泊汚水処理場、休閒旅游区汚水処理場、葛沽汚水処理場、空港汚水処理場、胡家园汚水処理場、東麗湖汚水処理場、浜海高新区汚水処理場、開發区西区汚水処理場、開發区第一汚水処理場、保税區汚水処理場、南疆汚水処理場、東疆港汚水処理場、新河汚水処理場、河南汚水処理場、開發区第二汚水処理場、臨港工業区第一汚水処理場、臨港工業区第二汚水処理場、臨港産業区汚水処理場			
	汚泥処理場 4 ヲ所	乾燥(焼却)		
	大港油田汚泥干化場	乾燥	堆肥化	
	臨港工業区第二汚水処理場汚泥干化場	乾燥		
	開發区第二汚水処理場汚泥干化場	乾燥	堆肥化	
二区三県	区県名	処理場数	汚水処理量	
	宝坻区：	1	26.5 万 m <sup>3</sup> /日	
	武清区：	5	23.0 万 m <sup>3</sup> /日	
	蘇県：	2	14.2 万 m <sup>3</sup> /日	
	宁河県：	2	12.0 万 m <sup>3</sup> /日	
	静海県：	3	44.5 万 m <sup>3</sup> /日	
	小計	13	120.2 万 m <sup>3</sup> /日	

出典：天津市排水計画（2008—2020 年）概要 2009 年 4 月，天津市人民政府・天津市市政公路管理局制定

以上から天津市の特徴は、区域別にそれぞれ 3～4 ヲ所の汚泥集中処理場を設け、人口密度の高い区域では、乾燥—焼却システムを小規模分散地域は乾燥堆肥化とし、中間的地域はその双方を使い分けているといった合理的整備を行っている。

## (2) 天津市の代表的污水处理場の概要

## a) 紀庄子污水处理場



図 8.4.4 紀庄子污水处理場の上空写真

## ① 処理場概要

## i. 汚泥の性状と栄養成分

天津市の紀庄子污水处理場、東郊污水处理場、開發区污水处理場の脱水汚泥の栄養成分を示したのが表 8.4.6 である。紀庄子污水处理場の有機分は 48%～53% であり、日本の汚泥に比較する有機分の含有率が低いのが特徴である。

表 8.4.6 天津市の汚泥肥料成分

肥料類	有機分 (%)	窒素 (%)	リン (%)	カルシウム (%)
紀庄子污水处理場	48～53	2.4～3.9	1.2～1.84	0.32～0.43
東郊区污水处理場	51～53	3.04～3.18	1.24～1.47	—
開發区污水处理場	42.8～44.6	3.59～3.78	1.58～1.84	0.28～0.33
家畜厩肥	20～32	0.34～0.58	0.063～1.1	—

(注) 2005 年のデータであるため近年は変化がみられる可能性がある。

ii. 紀庄子污水处理場の汚泥処理施設概要  
汚泥処理施設概要を表 8.4.7 に示す。

表 8.4.7 汚泥処理施設概要

処理施設	施設諸元		
生汚泥貯留槽	汚泥投入量	1,100 m <sup>3</sup> /日	(含水率:99.4%)
濃縮槽	余剰汚泥投入量	2,500 m <sup>3</sup> /日	濃縮後汚泥量 500 m <sup>3</sup> /日
一次消化槽	総投入量	1,600 m <sup>3</sup> /日	消化日数:14日 消化温度:33~35℃
二次消化槽	間欠投入配合		消化日数:3.5日
汚泥脱水	真空脱水	10 kg/m <sup>2</sup> /hr	脱水汚泥量
		12.8 t/日	
メタンガス発電	ガス発生率	7 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	生汚泥
	9,700m <sup>3</sup> /日	4 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	余剰汚泥

汚水汚泥のメタンガス発生量の実測値が示されているため、後述の経済分析ではこの値を参考とした。

### ②汚泥の処分および資源化システム

天津市における污水处理場の汚泥処理と処分方式は下記の方針が設定されている。

- i. 大規模の污水处理場（規模 10 万 m<sup>3</sup>/日以上）の汚泥処理は嫌気性消化を導入してできるだけバイオエネルギーを利用する。
- ii. 10 万 m<sup>3</sup>/日未満の污水处理場の汚泥は直接堆肥化と综合利用を採用する。
- iii. 天津紀庄子污水处理場の汚泥処分方式は“汚泥の高温堆肥化と衛生埋立ての総合的処置”とする。

### ③投資額

污水处理施設の投資額は 5,449.43 万元、で単位汚水量あたりの建設単価は 209.6 万元/m<sup>3</sup>、用地 1.15m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>である。

出典:

- 1) 「关于天津市城市污水污泥处理与处置的技术研究与探索」 超麗君、張大群、除宝 柱  
天津水工業工程設備有限公司: <http://www.dryisland.com/list.asp?unid=303>
- 2) 「天津市紀庄子污水处理場簡介」 黑龍江建筑創業技術学院市政工程技術系  
<http://www.docin.com/p-22411520.html>

## b) 天津市東郊汚水処理場の概要

天津市東郊汚水処理場は 1984 年の紀庄子汚水処理場の建設に次いで、1992 年に建設された大規模汚水処理場の一つであり、天津市の東郊李明庄に位置し、日量 40 万 m<sup>3</sup> を処理している。その内訳は工業廃水が 72% を占め、生活廃水は 28% である。サービス面積 7,441 万 m<sup>2</sup>、人口 111 万人、工場数 730 工場の排水を処理している。

## ① 流入水質特性

近年の流入水質は BOD で 187mg/L (146~221mg/L) COD<sub>Cr</sub> で 482mg/L (387~599mg/L) SS で 229mg/L、(147~339mg/L) である。流入水の BOD、COD、SS の季節変動は 4 月から 6 月の間で最大となり、最小値は 7 月から 9 月の多雨期に発生しており、季節変動が大きい。

## ② 汚泥の性状について

濃縮区汚泥の性状は表 8.4.8 に示した通りで、濃縮汚泥濃度 95%、有機分は 52% と紀庄子汚水処理場汚泥と同程度で日本の汚泥に比較するとかなり低い値である。

有機物中の成分組成は、炭水化合物が 49.6%、蛋白質が 40.1%、脂肪質が 10.3% となっている。

表 8.4.8 汚泥含水率と有機分

年	汚泥の含水率 (%)	有機質 (%)
1994	95.21 (95.81~94.67)	57.65 (56.00~59.95)
1995	94.31 (95.80~94.03)	51.77 (44.22~58.45)
1996	94.80 (96.22~94.58)	52.15 (43.13~56.90)
1997	95.32 (95.70~93.56)	51.47 (48.90~53.95)
1998	95.41 (95.62~93.63)	55.03 (52.75~59.80)
98.11.05	93.49	50.34
98.11.19	93.81	51.03
99.06.10	95.30	52.01
99.06.15	94.79	50.57
99.06.29	94.79	51.92
平均値	94.72	52.39

## ③ 汚泥中の重金属類

東郊汚水処理場の汚泥中の重金属の実測例を表 8.4.9 に示す。流入汚水に占める工場排水の割合が高く 70% を占めていることから重金属濃度は比較的高い汚泥といえる。

農用汚泥汚染物抑制基準との比較でみると、Cu で約 3 倍、Cr で約 2 倍、Cd で約 50 倍と特に Cd が高い値となっている。

表 8.4.9 東郊污水处理場の汚泥中の重金属濃度

項目	単位	濃縮汚泥平均値	脱水汚泥平均値	農用汚泥汚染物抑制基準
K	(%)	0.262	0.227	
Na	(%)	0.448	0.346	
Ca	(%)	2.203	2.477	
Mg	(%)	0.915	0.934	
Fe	(%)	3.36	3.264	
Mn	(%)	0.073	0.07	
Cu	(mg/kg)	1382	1566	500
Pb	(mg/kg)	254.7	153.3	1000
Zn	(mg/kg)	3880	3875	1000
Cr	(mg/kg)	1634	1877	1000
Cd	(mg/kg)	698.7	999.8	20
Ni	(mg/kg)	184.1	193.6	200
As	(mg/kg)			75
Hg	(mg/kg)			15

## c) 天津咸陽路污水处理場

## ①概要

污水处理量は 45 万 m<sup>3</sup>/日の二次污水处理場で、720m<sup>3</sup>/日の汚泥処分場を配置している。総投資額は 12 億人民元で、資金の一部は日本政府貸与を利用して建設された。

設計流入水質は COD<sub>Cr</sub>: 400mg/L、BOD<sub>5</sub>:220mg/L、SS:220mg/L、NH<sub>4</sub>-N:40mg/L、T-P:3.5mg/L  
 処理水質は COD<sub>Cr</sub>: 120mg/L、BOD<sub>5</sub>:30mg/L、SS:30mg/L、NH<sub>4</sub>-N:25mg/L、P:1mg/L

## ②水処理および汚泥処理システムフロー

天津市咸陽路污水处理場の水処理および汚泥処理システムフローは、F/S 事業調査により以下に示す 3 案を比較評価して決定されたフローである。

第一方案：伝統的活性汚泥法を基づき、生物的硝化法

第二方案：生物脱リン脱窒プロセス (A2O)

第三方案：“A0 生物脱リン、生物硝化脱窒法、化学的余剰リン沈殿回収技術、所謂 A0 法。

天津市は深刻な水不足をきたしている都市であるため、処理水の再生は必定であるとして、処理場内の二次処理水を、大量に農業の灌漑に用いるほか、2 万 m<sup>3</sup>/日規模の高度処理施設

を設けて、先進的な流動砂式フィルタの採用を計画し、市政の様々な水を使う以上の基準値を達成して、市政と工業用水の水源として提供するとしている。

汚泥処理は乾燥汚泥として 73t-DS/日生産するもので、濃縮消化後の汚泥含水率は 96%～96.7%、遠心脱水後含水率を 70%～75%に下げ、湿汚泥として 300m<sup>3</sup>/日とする。このうち 100m<sup>3</sup>/日を乾燥化システムに投入する。残りの脱水後汚泥は直接場外処理である。

乾燥化システム(現在は石灰添加乾燥:本調査団調べ)を経て 90%以上の含固率を目標としている。しかし選択しているシステムの運転条件では 50%～90%の乾燥汚泥製品である。これは天津市咸陽路污水处理場の汚泥脱水乾燥化の合理的設計に向けた経験を蓄積するために試験的に実施している。汚泥量は下記の通り推算されている。

流入水量	40 万 m <sup>3</sup> /日
流入 SS 濃度	220 mg/L
除去 SS 量	40 万 m <sup>3</sup> /日 × (220-30g/m <sup>3</sup> ) = 76 t-DS/日
消化後汚泥量	76/(100%-96%) = 1,900 m <sup>3</sup> /日 (含水率 96%)
遠心脱水汚泥	76/(100%-75%) = 304 m <sup>3</sup> /日 (含水率 75%)

出典:劉琳:天津市咸陽路污水处理場の汚泥脱水と干化処理設計<<中国給水排水>>2007年 第23卷 第14期

### (3) 天津市の都市生活ゴミ処理の概要

天津市では年間 184 万 t、日量で 5,052t/日の都市生活ゴミが発生しており、毎年増加率は約 4%とされている。このうち 90%弱の大部分の都市ゴミが焼却されており、その量は年間 162 万 t、日量で 4,447t/日となっている。

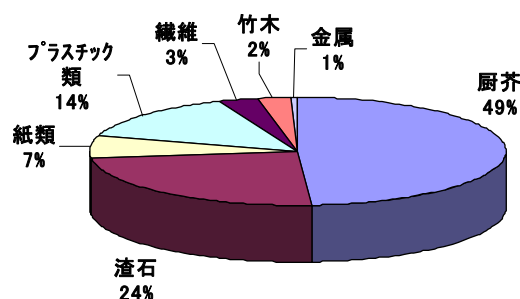


図 8.4.5 天津市の生活系ゴミの組成

都市ゴミの成分調査結果では、厨芥類が約 1/2 を占め、プラスチックを除くと 62%が有機性廃棄である。この含有率は下水汚泥とほぼ同じである。なお渣石類が 24%と高いのも特徴である。

都市ゴミの処分・焼却場は現在 7 ヲ所が稼働しており 2 ヲ所が建設中となっている。

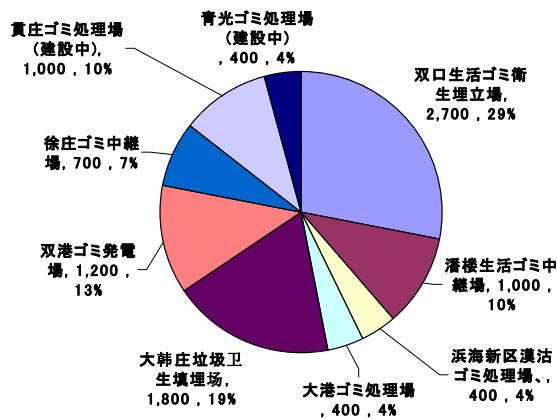


図 8.4.6 天津市の都市ゴミ処分場

施設能力とそのシェアを示したのが図 8.4.6である。ゴミ焼却発電では、ゴミ 1tあたり 250kWhの発電を行っている。

天津市の都市汚水汚泥は現在 180 万 t が発生しており、この値は生活系ゴミと同程度の量である。有機物量で比較しても、汚泥の有機分の含有率が約 60%、生活系ゴミの有機物含有率が上述したように 62%であることから、ほぼ同等の有機物量が発生していることになる。

日本においては、下水汚泥の資源化の推進体制が進められつつあり、法的にも下水汚泥と等量の他の発生源の有機物は処理して良いこととなっている。

このことから、中国においても、エネルギー再生を含めた多目的資源化市場を考えた場合、年ゴミの有機成分との連携処理も充分考えられる。

出典：天津：《2008 年天津市固体废物污染环境防治信息公告》2009-6

#### 8.4.4 天津市を事例とした有機汚泥資源化処理の経済効果検討ケース分析

前節で解析した、処理規模別の定額償還法による経済収益計算結果によれば、「亜臨界水反応技術導入」システムの場合、20 万 m<sup>3</sup>/未満で、脱水混合汚泥の直接有機肥料化がメタン発酵発電方式より資本回収時期が早く収益も高い結果を得ている。また 20 万 m<sup>3</sup>/以上ではメタン発酵発電によるエネルギー回収も相対的に収益性が高まる結果を得ている。

天津市の都市生活ごみ発生量の調査結果から、都市生活ごみも汚水汚泥とほぼ同量の生活ゴミが発生しており、これらを汚水処理場で協同処理した場合の経済効果を現況ケースと将来計画ケースで検討する。

なお、亜臨界水処理技術の導入ケースは有機肥料化と高効率メタン発酵発電の 2 ケース設定した。



(注)以下「亜臨界水処理」により脱水汚泥等を前処理として加水分解処理し、高効メタン発酵を行うものを「水熱メタン発酵方式」称する。

「水熱堆肥」または「水熱有機肥料」は、本調査において実証試験を行ったように、汚水汚泥等を直接「亜臨界水反応処理」を行うことで処理物は有機肥料となるものをいう。一方、自然堆積熟成または、少量の微生物資材と混合することで「堆肥化」したものを「水熱堆肥」と略称する。

経済効果の分析は、資本投入の精度、汚泥や生活ゴミの発生分布や収集パターン等様々な要素についての精度が要求されるので、ここでは、用地の確保が容易と考えられる紀庄子污水处理場を事例対象として用地取得等費用はない条件で経済効果の分析を行う。

紀庄子污水处理場は、現在の処理水量として34万m<sup>3</sup>/日を、将来は計画値として設定されている54万m<sup>3</sup>/日の場合の2ケースについて検討した。なお生活ゴミの合同処理における処理量は日本の下水道事業で許容されている条件である下水汚泥と等量とした

以上の分析から、亜臨界水処理技術を導入した場合の天津市の有機汚泥資源循環による経済効果を評価するため、コスト分析を行った。分析ケースは表 8.4.10に示した通りである。

表 8.4.10 天津市の有機汚泥資源化による収益効果シミュレーションケース

ケース NO.	処理条件				汚泥資源化ケース		
	期	処理水量 (万 m <sup>3</sup> /日)	下水汚泥処理 量(t/日)	家庭系ごみ (t/日)	消化ガス 発電	水熱有機 肥料化	水熱メタン 発酵発電
1	現況	34	240	無し	○		
2	将来	54	381	無し	○		
3	現況	34	240	無し		○	
4	将来	54	381	無し		○	
5	現況	34	240	無し			○
6	将来	54	381	無し			○
7	現況	34	240	240	○		
8	将来	54	381	381	○		
9	現況	34	240	240		○	
10	将来	54	381	381		○	
11	現況	34	240	240			○
12	将来	54	381	381			○

### 8.4.5 亜臨界水処理技術の導入効果の経済分析

#### (1) 事業資金調達に関する検討

事業の収益性の確保には、初期投資時の資金調達が大きく影響する。また公益性の高い事業や経済的インセンティブ政策には政府資金等公的援助が欠かせない。ここでは、現在中国で盛んに推進されているBOT方式やBTO方式などの民活事業化もターゲットとするため、初期投資に対する自己資本率の影響を調べることにした。汚水処理規模は現況条件である。

収益計算の基礎数値である建設費維持管理費および収入と収支計算の結果を表 8.4.11 に示した。従来の嫌気性消化+ガス発電事業は収益が低い結果となっており、50%補助ではじめて収益性のある事業となる。水熱メタン発酵発電も補助無しでも利益がでる結果となっている。一方水熱有機肥料は、マテリアルの損失がほとんどなく、かつ良好な質変換が行えるため、再生資源の需要ルートさえあれば建設補助無しの条件であっても収益性が高い事業として位置づけることが可能である。一方、累積事業収益分析でみたのが図 8.4.7 である。この図は、水熱メタン発酵発電について、現在の紀庄子汚水処理場に汚泥資源化事業を導入した場合の、累積事業収益を示したものである。水熱メタン発酵発電は建設補助がない場合では7年目から収支がプラスに転換するが、建設補助がある場合は、図 8.4.8 に示されるように、4年目から収支がプラスに転換しはじめるようになる。したがって投資回収年限は4年となりその後の収益を高いレベルで運営できることになる。なお、割引率は9%と設定し、累積事業収益は現在価値として計算した。(出典;建設的城市污水处理場收费價格的形成 [www.chinaep.net/feishui\\_shili/105/feishui\\_shili-946.htm](http://www.chinaep.net/feishui_shili/105/feishui_shili-946.htm)を参考)

表 8.4.11 建設補助の収益性に及ぼす効果(現況条件)

(単位: 万元)

ケース	区分	嫌気性消化 発電	水熱メタン 発酵発電	水熱 有機肥料
現況	建設補助無し	178	669	1,273
	同補助あり (50%)	368	848	1,555

注: 有機肥料価格は700元/tと設定した。

以上の検討結果から、日汚水処理量20万m<sup>3</sup>規模以上の処理場の場合、バイオエネルギーの再生は、場内電力回収用とすれば需要先が確定できているため安定的な運営条件となる。一方、有機肥料製造は、需要先が確保されていれば、最も収益性の高い事業が実施できる可能性がある。いずれにしても基本的には公的資金援助は経済循環促進のインセンティブ効果は高いといえる。需要サイドからみると、規模の大きい都市型汚水処理の場合、エネルギー回収が適正な資源再生となるが、以上みてきたように、マテリアルが直接利用できる水熱有機肥料についても、需要用途を見極めた、地域事情により二つの方式の資源化系列を併設するなど、柔軟なシステムを構築することも可能である。

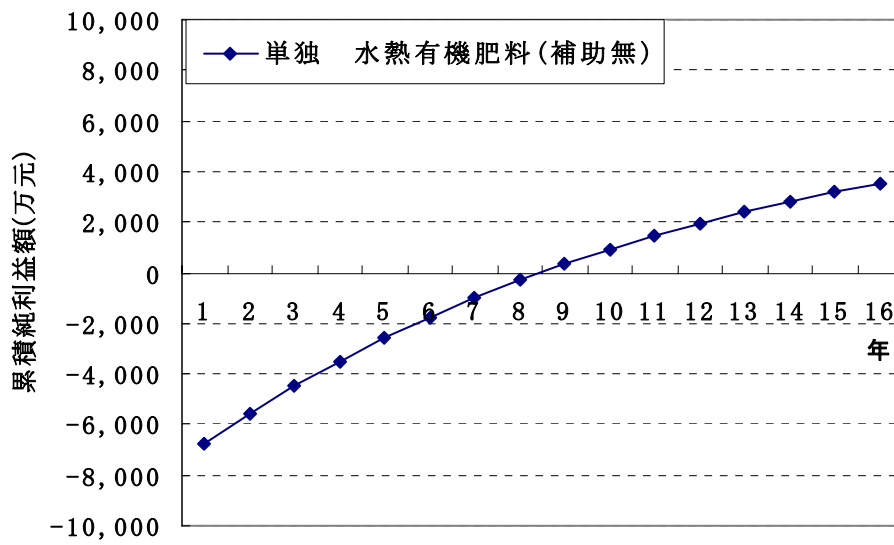


図 8.4.7 建設補助がない場合の累積事業収益

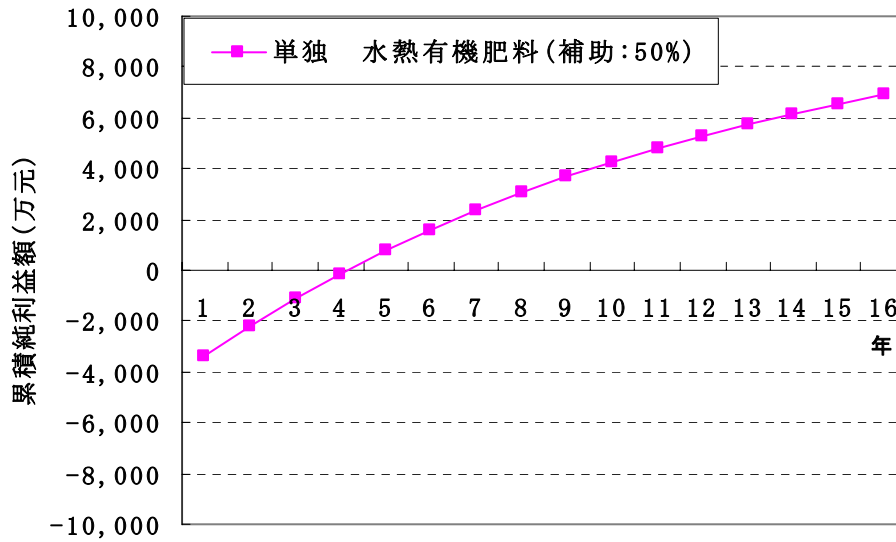


図 8.4.8 建設補助 50%がある場合の累積事業収益

## (2) 天津市の汚水処理場における事業収益比較

地域資源は、発生源別に資源化することは効率的ではないと考えられ、特に都市部では、バイオマスのマテリアル利用より熱・電力エネルギーの方が需要があると考えられる。ここでは下水汚泥と生活系有機ごみを合同処理する場合、マテリアル利用とエネルギー利用のどちらが亜臨界水処理導入の相加効果かあるかについて比較検討を行った。

天津市の代表的汚水処理場である紀庄子汚水処理場をモデルとして、従来方式の嫌気性メタン発酵発電と亜臨界水処理技術を導入した、高効率水熱メタン発酵発電および水熱有機肥料化について、現況と将来の事業収益性についてシミュレーションを行った。シミュレーションケースは表 8.4.10 に示した通りである。現況の汚水処理水量規模(34 万 m<sup>3</sup>/日)と将来計画規模(54 万 m<sup>3</sup>/日)の定額償還法による収益計算結果はそれぞれ表 8.4.12 と表 8.4.13 に示した。なお、土木建築費の償還年数は 20 年、設備費の償還年数は 10 年とし、建設費補助率は 50%とした。

現在価値による累積事業収益の計算結果を総括したのが表 8.4.14 である。累積事業収益の経年パターンは、現況条件について、図 8.4.9～図 8.4.10 に示した。

表 8.4.12 事業収益計算結果 (現況)

現況 汚水量 34 万 m <sup>3</sup> /日	単位	嫌気性 消化発電	水熱メタン 発電	水熱 有機肥料	合同嫌気性 消化発電	合同水熱 メタン発電	合同水熱 有機肥料
処理量	(t/日)	78	78	78	156	156	156
建設費	(万元)	5,599	4,480	6,720	11,730	8,675	13,441
償還費	(万元/年)	190	179	282	405	351	565
維持管理費	(万元/年)	270	289	471	540	579	942
支出	(万元/年)	489	469	753	1,003	930	1,507
収入	(万元/年)	856	1,317	2,309	1,590	2,633	5,045
利益	(万元/年)	368	848	1,555	587	1,703	3,539

表 8.4.13 事業収益計算結果 (将来)

将来 汚水量 54 万 m <sup>3</sup> /日	単位	嫌気性 消化発電	水熱メタン 発電	水熱 有機肥料	合同嫌気性 消化発電	合同水熱 メタン発電	合同水熱 有機肥料
処理量	(t/日)	124	124	124	248	248	248
建設費	(万元)	6,482	9,023	15,454	13,548	18,051	30,908
償還費	(万元/年)	216	368	649	460	740	1,299
維持管理費	(万元/年)	325	439	748	649	878	1,496
支出	(万元/年)	587	807	1,397	1,202	1,618	2,795
収入	(万元/年)	1,360	2,091	3,667	2,525	4,182	8,013
利益	(万元/年)	773	1,284	2,269	1,323	2,564	5,219

将来条件については図 8.4.11～図 8.4.12 に示した。

表 8.4.14 亜臨界水反応処理導入の経済メリット(15年平均純益:万元/年)

期	単独処理 or 合同処理	嫌気消化 発電	水熱メタン 発酵発電	水熱 有機肥料
現況	汚泥単独処理	11	306	612
	汚泥+生活ゴミ	-75	626	1,454
将来	汚泥単独処理	199	389	704
	汚泥+生活ゴミ	260	776	1,774

現況と将来の汚水処理規模のそれぞれについて汚泥単独処理の場合と生活系有機ゴミとの合同処理効果に対する亜臨界水処理導入による経済効果を解析検討した。なお累積事業収益計算は次式で示すとおり純利益の現在価値について経年累計を示したもので、初期投資の回収期限、利益確保パターンを把握でき、投資効果を評価するものとして用いた。

累積純利益=Σ [(年収入)-(建設償還費+維持管理費+汚泥処分費)] × (1-割引率)<sup>n</sup> ; n は年

以下結果の考察を述べる。

#### a) 現況解析結果

現況において、亜臨界水処理を導入したメタンガス発電および有機肥料化について、単独処理と生活系有機ゴミとの合同処理をした場合の累積事業収益計算結果を要約すると以下の通りである。

- 全体として、マテリアルの損失がほとんどなく、処理生成物をそのまま高機能有機肥料として製品化できる「水熱有機肥料化」方式が最も収益性が高い。
- 「水熱有機肥料化」の場合、合同処理することでより相加性が出る結果となっている。単独処理の場合純利益が出始めるのが3年目からとなり、合同処理もほぼ同様である。換言すれば初期投資の回収には単独処理でも合同処理でも約3年で達成できる高い収益性の事業となる。このような経済性のメリットに加え、下水汚泥は窒素成分が多く生活系有機ゴミは炭素成分が多いことから、肥料養分として相補的であり、成分上の付加価値効果も考えられる。
- 水熱メタンガス発電方式は、初期投資が高くなる分、またエネルギー化の利用率が直接マテリアル利用より低いため、有機肥料化に比較すれば相対的に収益率は低くなる傾向となる。単独処理、合同処理とも純利益が出始めるのは有機肥料化と同様3年目からである。収益レベルは有機肥料の約1/2である。

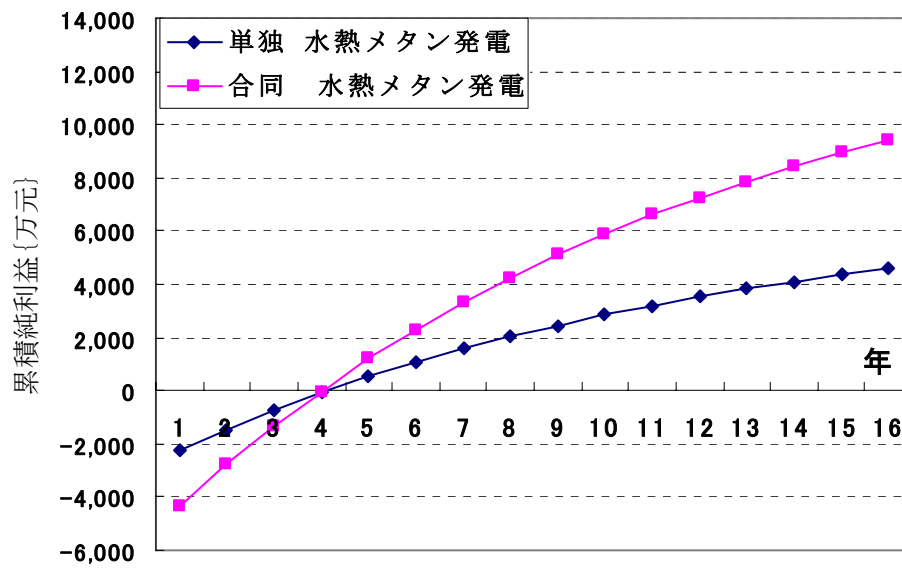


図 8.4.9 水熱メタン発酵発電の累積事業収益(現況)

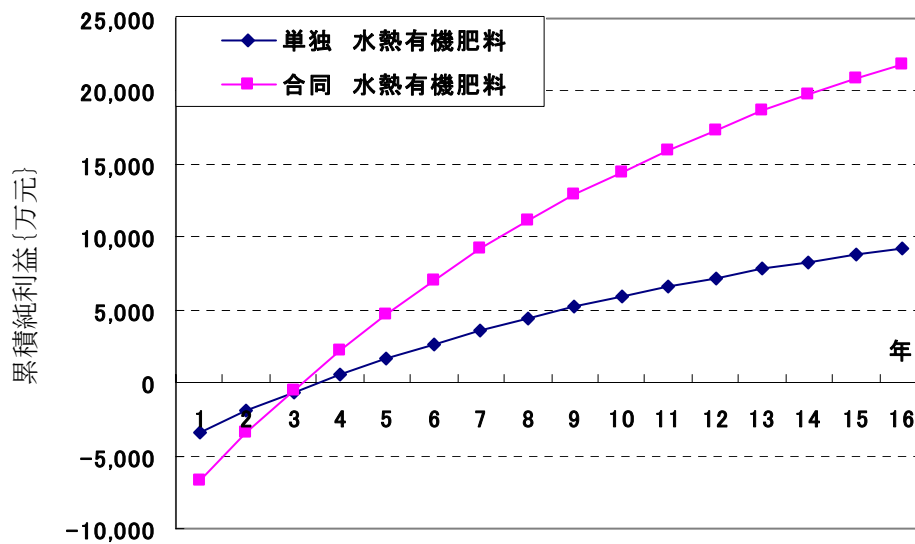


図 8.4.10 水熱有機肥料化の累積事業収益(現況)

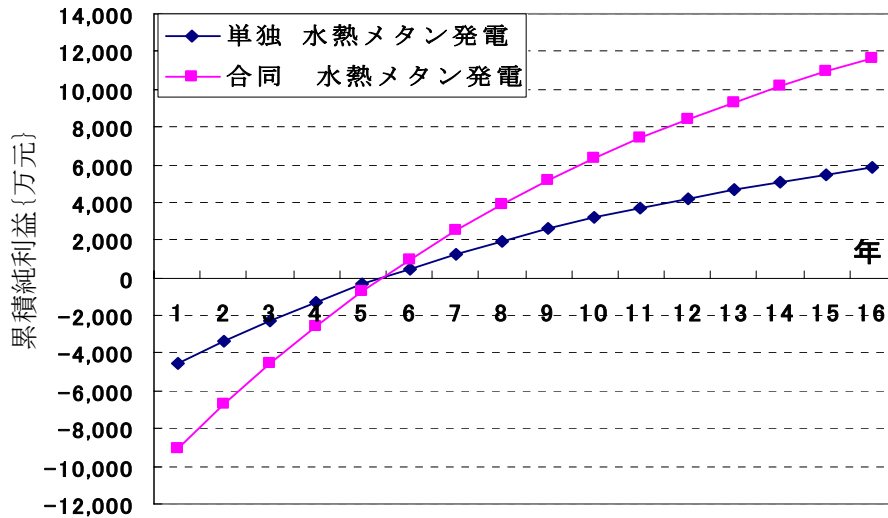


図 8.4.11 水熱メタン発電化の累積事業収益(将来)

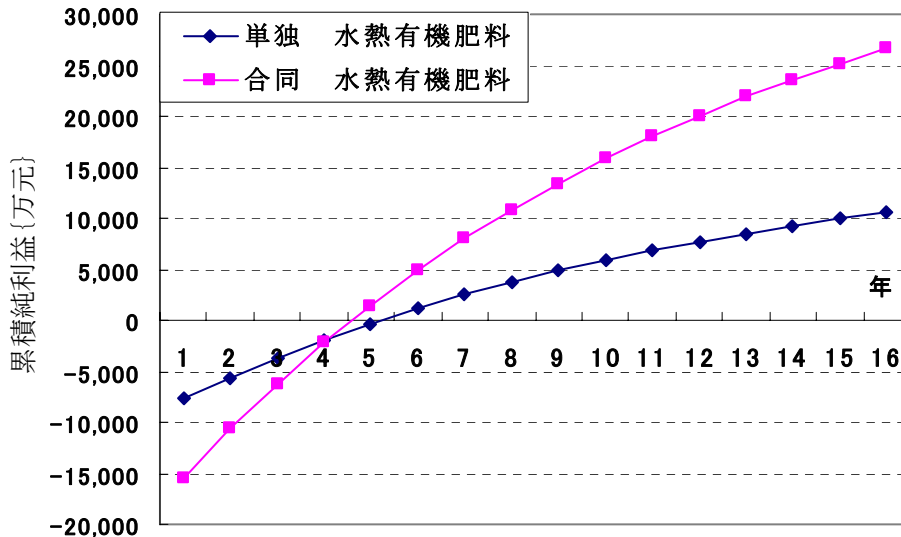


図 8.4.12 水熱有機肥料化の累積事業収益(将来)

## b) 将来条件の解析結果

将来条件で、亜臨界水処理を導入したメタン発酵発電および有機肥料化について、単独処理と生活系有機ゴミとの合同処理をした場合の累積事業収益計算を行った。結果を要約すると以下の通りである。

- 有機肥料化の場合、生活系有機ゴミとの合同処理によって利益が相対的に増加し、合同処理のメリットがあることは現況規模のケースと同様の傾向にある。利益がプラスに転じるのは単独処理も合同処理も同じで5年目からである。
- 水熱メタンガス発電は、単独処理、合同処理とも約5年目に初期投資が回収でき純利益が出始める。これは有機肥料化の場合と同じである。単独処理と合同処理の収益効果は処理有機物量にほぼ比例的であり純利益レベルも比例的に高くなる。

以上を総合すると、亜臨界水反応技術の導入による経済的メリットは有機肥料化とメタンガス発電の両方ともある。機能性有機肥料として 700 元/t(乾燥重量)で販売できれば利益率は最も高い事業となることが予想される。資本回収の確実性からみると現況規模程度の方がよく、将来規模の条件では初期投資の回収は 2 年程度遅くなる。このことは、亜臨界水処理設備は規模の効果が小さいためと考えられ、20 万 m<sup>3</sup>/日以下の中規模あるいは小規模分散型の汚水処理場に適していることになる。この点を考慮すると、大規模汚水処理場においては、需要に応じてマテリアル利用と熱・エネルギー利用を平行的に運用することも投資回収を早くするためによい結果となることが予想される。即ち、合同処理で多目的利用型の亜臨界水処理技術の導入が勧められる。

即ち、合同処理で多目的利用型の亜臨界水処理技術の導入が勧められる。

### (3) 下水処理場の電力自給化に関する検討

水熱メタン発酵プロセスにより、メタンガス発生率が増大し、さらに家庭系の有機ゴミの合同処理を行うことにより大きな電力回収が可能となる。下水処理場で生産した電力は自前の電力としてエネルギー回収することが最も経済的で効果的選択になる。このことから汚水処理場の電力自給化がどの程度まで見込めるかの評価検討を行った。

#### a) 汚水処理場の電力消費量

表 8.4.15 は中国における典型的二次処理場について示されている標準値である。この表をみると、流入ポンプを除くと下水処理場内の電力量は単位処理汚水量当り約 0.2kWh/m<sup>3</sup>である。

表 8.4.15 中国の典型的汚水処理場の電力消費

単位プロセス	電力量 (kWh/m <sup>3</sup> )	割合 (%)
流入ポンプ	0.06	22.6
沈砂池・沈殿地・濃縮槽等	0.0064	2.4
汚泥返送ポンプ	0.02	7.5
ばっ気設備	0.145	54.5
汚泥処理	0.028	10.5
分析室その他	0.007	2.6
総計	0.2664	

出典：「汚水処理能耗与能效分析」 三廢処理技技網 2010.08  
<http://www.nosea.net/html/fs/20100827/492.html>



## b) 亜臨界水反応による場内電力自給化について

現況の汚水処理量は 34 万 m<sup>3</sup>/日、将来は 54 万 m<sup>3</sup>/日の見込みである。場内電力消費原単位を 0.2kWh/m<sup>3</sup>・日とすると、現況では、約 6,800kWh/日、将来条件で 108,000kWh/日の場内電力消費量となる。表 8.4.16 には場内電力自給率の算定結果を示した。

この結果、生活系有機ゴミとの合同処理により場内電力自給率は 90%台を確保できることがわかった。したがって、省電力策も同時に実行することにより、汚水処理場の電力自給化の可能性は大きいといえる。

ただし、汚水汚泥および生活系有機ゴミの有機物含有率、およびメタン精製に関する有機物組成によって大きく左右されるため、原汚泥の性状把握を今後十分な精度で行う必要がある。

表 8.4.16 亜臨界水処理の導入による汚水処理場電力自給性

項目	嫌気消化発電	水熱メタン 発酵発電	嫌気消化発電 (合同)	水熱メタン発 酵発電(合同)
現況(kWh/日)	20,528	30,029	35,451	60,058
将来(kWh/日)	32,603	47,693	56,304	95,386
現況自給率	30.2%	44.2%	52.1%	88.3%
将来自給率	30.2%	44.2%	52.1%	88.3%

## (4) 累積事業収益分析結果の要約

天津市を事例として、下水汚泥単独処理と同量の生活系有機廃棄物の合同処理の事業効果を累積事業収益分析により評価した。

亜臨界水反応技術の導入効果は、マテリアルの損失が極小化されることおよび安全で機能性を持った価値ある製品化が可能であることの二つが大きなメリットである。汚水処理規模が大きく、初期投資が高い場合でも、販売ルートが確実であれば最も収益の高い事業として位置づけることが可能である。

一方、水熱メタン発酵発電は、「亜臨界水反応」によってメタンガス発生率を高めることにより、電力回収量を増大できる。従来の消化ガス発電では、現状の汚泥組成から消化ガス発電の事業収益は低い、「亜臨界水処理」導入により収益性の高い事業に転化できると考えられる。

## (5) 費用便益分析

費用便益分析の方法として様々な方法があるが、ここでは、問題を簡潔に見通すため、設

備費の償還期間(15年)における事業収益と地球温暖化削減による効果および環境損失回避効果の3つについて評価する。このほか、水熱固化反応に伴う重金属の環境安全リスク軽減効果がある。これについては、評価の研究段階であるので、ここでは取り扱わないこととする。

a) 事業収益効果

事業収益については 8.4.4 で詳述した通りである。

b) 地球温暖化ガス削減効果

地球温暖化ガス削減効果は、対象地域の汚泥に関する処理処分のベースラインをどう設定するかにかかっている。ここでは、現在中国の汚泥処理処分の主目的として①汚泥の安定化(主として病原微生物等の対策)、②汚泥の脱水性の向上および③汚泥の減量化を目的として、消化プロセスが導入されてきた。現在消化ガス発電を行っているところもあるが、その数はまだ多くなく、消化により発生したメタンガスは、消化槽の加温に廻され余剰ガスは燃焼されているケースが多い。このことから、ベースラインは、汚泥消化→脱水→衛生埋立のプロセスフローとする。

各ケースのCO<sub>2</sub>削減量は図 8.4.13 に示した通りである。

埋立地からのメタンガス排出量の推定式は、IPCC の計算式によると

$$CH_4 = MSWT \times MSWF \times MCF \times DOC \times DOCF \times F \times Conv - R$$

ここに、CH<sub>4</sub> : メタン発生量 (Gg/y)

MSWT : 年間廃棄物発生量埋立処分量 (Gg/y)

MSWF : 廃棄物収集埋立率 (1.0) とする

MCF : メタン修正係数(管理型の場合 1.0、不明の場合 0.6)

DOC : 有機炭素含有率

DOCF : 有機性炭素ガス化率 (0.77)

F : ガス中のメタン率 (0.5)

Conv : 16/12 (=CH<sub>4</sub>/C)

R : メタン回収量 (本節では0とする)

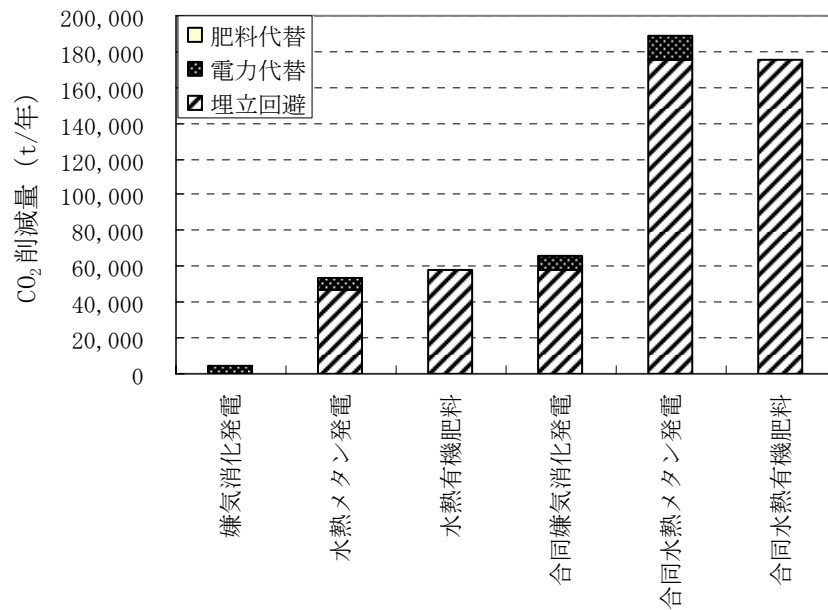


図 8.4.13 有機汚泥資源化による CO<sub>2</sub>削減効果

紀庄子污水处理場の将来ケースで、汚泥の発生量は 125t/日とする。DOC は、消化汚泥の DOC として、下記のように設定する。

$$\text{DOC} = \text{汚泥の有機物含有率} \times \text{炭素比率} = 0.4 \times 0.6 = 0.24$$

埋立地からのメタンガス排出量を計算すると、

$$\text{CH}_4 = 125 \times 106 / 109 \times 1.0 \times 1.0 \times 0.24 \times 0.77 \times 0.5 \times 16 / 12 = 5.621 \text{Gg/y}$$

これは CO<sub>2</sub>換算で  $5,621 \times 21 = 118,041 \text{t/年}$ となる。これは、 $2.587 \text{t:CO}_2/\text{t}$ (乾燥汚泥)となる。

家庭系有機ごみを合同処理する場合は、DOC として食物が 0.15、紙類が 0.4 であるのでほぼ汚水汚泥並みとなるとして、倍の約 236,000t/年が削減されることになる。

CO<sub>2</sub>排出権取引価格に換算すると、15 ユーロ/t:CO<sub>2</sub>として(出典 1. 参照)、約 1,600 円/t、中国元では 120 元/t の計算となり、汚泥単独では 1,416 万元/年、家庭系有機ごみの合同処理では 1,832 万元/年となる。

#### c) 環境便益

環境被害便益については、その算定根拠の詳細は把握できていないが、中国科学院の生態環境研究センターの研究によると 1 t の都市污水处理場の汚泥は環境に 38 元の損害を引き起こすとしている。ただしその中に運送費用を含まない(出典 2. 参照)。

$$\text{環境便益} = 125 \text{t/日} \times 365 \text{日} \times 38 \text{元/t} = 173 \text{ 万元/年}$$

と計算される。

以上の費用便益分析結果を表 8.4.17 に示した。表には、環境便益効果は加味していない。

表 8.4.17 費用便益効果の計算結果

資源化 Case	将来	単位	嫌気性 消化発電	水熱メタン 発電	水熱 有機肥料	合同嫌気性 消化発電	合同水熱 メタン発電	合同水熱 有機肥料
支出	建設投資	(万元/年)	216	368	649	460	740	1,299
	維持管理	(万元/年)	325	439	748	649	878	1,496
	支出計	(万元/年)	541	807	1,397	1,110	1,618	2,795
収入		(万元/年)	773	1,284	2,269	1,323	2,564	5,219
CO <sub>2</sub> 削減効果	埋立 CH <sub>4</sub> 回避	(t/年)	58,638	105,549	117,276	117,276	234,553	234,553
	埋立回避		0	46,911	58,638	58,638	175,915	175,915
	電力代替	(t/年)	4,307	6,572	0	7,379	13,144	0
	肥料代替	(t/年)	0	2	19	0	4	37
	CO <sub>2</sub> 削減合計	(t/年)	4,307	53,484	58,657	66,017	189,062	175,952
	埋立以外	(t/年)	4,307	6,574	19	7,379	13,148	37
排出権取引額	120 元/t:CO <sub>2</sub>	(万元/年)	52	642	704	792	2,269	2,111
便益計		(万元/年)	284	1,119	1,576	1,006	3,216	4,535

これらの結果を要約すると下記の通りとなる。

- 従来型の嫌気性消化発電システムでは、キャッシュフロー計算においても、収益事業は困難とみられるが、生活系有機ごみの下水汚泥と等量の合同処理により収益が見込まれる。
- 亜臨界水処理技術を導入した場合、単独処理、合同処理の全てのケースで収益性のある事業化を図ることができる。
- 下水汚泥を亜臨界水処理し直接有機肥料を製造する場合は最も収益性が高い。したがって、緑農地還元にも最も有利な資源化方法といえることができる。
- 亜臨界水処理技術を導入した水熱メタン発酵・発電は単独処理でも、合同処理でも収益性が高く、合同処理の場合は格段に収益性が高くなる。
- 水熱メタン発酵発電のケースでは、合同処理の方が約3倍の便益の増大効果がある。この場合、場内電力の約90%を自給でき、省電力化も合わせると電力の完全自給の可能性は十分あると考えられる。

以上の結果から、地域のバイオマス資源との合同利活用事業は、中国が現在抱える汚泥処理処分問題を現実的に解決するのみならず、地域経済に大きく貢献し同時に地球温暖化対策となる地域整備モデルとなりうるといえよう。

出典 1. 『週刊エコノミスト』 「図説 日本経済 2010」臨時増刊号（毎日新聞社、2010年2月

8日発行)

出典 2. 「污水处理厂污泥处置现状及对策」 中国環境資源情報

[http://www.epi88.com/master/news\\_view.asp?newsid=2673](http://www.epi88.com/master/news_view.asp?newsid=2673)

#### 8.4.6 システム導入の経済効果の評価

天津市紀庄子污水处理場をモデルとして、「亜臨界水処理技術」をメタン発酵発電と高機能有機肥料もしくは高機能有機堆肥として資源再生する事業効果について経済分析を行った。その結果を、経済性、収益性、事業実現性の観点から評価検討する。また、資源循環は経済効果のみならず地球環境対策にも大きく貢献することが見込め、温暖化ガス削減効果についてあわせて評価するものとする。

##### (1) 経済効果について

紀庄子污水处理場の現況および将来整備条件のもとで、汚泥の資源化効果の経済性を検討した。その結果、「亜臨界水処理技術」の導入が、下記の点で他の方式と特異的に有利な要素を見出すことができた。

- ① 有機質汚泥資源の量を処理プロセスで損失することなく再生利用できる。
- ② メタン発酵等の生物分解プロセスの前処理として導入した場合、反応速度を早くでき、施設容量を格段に小さくできる。ちなみに、メタン発酵の場合、発酵日数は通常 20 日～30 日を 5 日に短縮できる。またメタンガス生成量を汚水汚泥では約 2 倍に増強できる。
- ③ 最も特徴的有利性は、病原菌やウィルスその他あらゆる病原微生物を完全滅菌不活化することができ、あわせて重金属の固化により、安全性の確保をより一層高めることができる。このことは「廃棄物」から「資源」に転換できる基本条件を確保できる技術と位置づけられる。
- ④ 反応設備自体は小さく、また構造が簡単であるため操作性が良く、メンテナンス箇所も極めて少ないため、設備の自動化も容易であり、これらの長所から、開発途上国や分散型地域にも適した経済的技術として位置づけられる。

##### (2) 事業収益性について

事業収益性についてコスト計算およびキャッシュフロー分析により検討した。その結果事業収益性の観点から下記の特徴が見出された。

- ① マテリアルを全量有効に再生量できる、有機肥料化もしくは有機堆肥化事業が最も事業採算性が良い。特に、分散型の中小規模事業ではバイオエネルギー化より収益性が高く、中国の国土事情にあった方式といえる。
- ② 污水处理汚泥を対象とした場合、処理規模が大きい条件では、高効率メタン発酵・発電により、電力自給化が可能となり、需要再開発が必要でないことから、確実な採算性のある事業化が可能と考えられる。

- ③ 家庭系ゴミの有機質成分は、ガラス、ペットボトル、石類等を除けば有用なバイオマス資源であることから、合同処理システムについて検討した。

天津市の例では、発生する家庭ごみの有機質部分の量と汚水汚泥の有機質分がほぼ等量であり、これを合同処理した場合の事業収益性を検討した。その結果、初期投資レベルは高くなるため、利益発生期間は1年程度伸びるのみで、収益効果は充分にあがることがわかった。

### (3) 事業の実現性について

収益事業化を目指しその実現性を確実なものとするためには、第一に初期投資に対する資金調達の規模が問題となる。次いで資本回収時間および収益高である。そのような観点から、水熱メタン発酵法と高機能有機肥料製造を考えると、汚水処理汚泥を対象とする場合下記のような実現性の要点が考えられる。

- 嫌気性消化槽やガス発電システム等の既存インフラがある場合は亜臨界水処理技術の導入メリットが増大する。理由は、処理汚泥もしくは、他からの有機汚泥加入の場合であっても既存の槽容量で吸収でき、メタン発酵の反応部分は増設無しで実施できる可能性があるからである。このような条件では、水熱メタン発酵発電導入の実現性が高くなる。
- 嫌気性消化による汚泥の安定化を図っている汚水処理場では、混合汚泥の直接脱水に切り替え、水熱有機肥料を直接製造することで、事業収益性を早期の確保することが可能となる。
- 中小規模汚水処理場の場合では、汚泥の安定化のため、汚泥の減容・減量化のため長時間ばっ気法や、高温発効堆肥化が行われている。このため電力消費が高く、またマテリアルとしての収率は低い。

しかしながら、水熱有機肥料化を導入することで、消費から生産へ汚水処理場の機能を転換できる可能性が大きい。

「亜臨界水反応処理技術」では、基本的に原量の水等や有機汚泥の質の違いを考慮する必要がなく、処理物の後乾燥速度も速いことから自然乾燥で良く、乾燥操作も必要がない場合もあるため、導入がしやすい設備といえ、工事も相対的に短期に完成することが可能なため実現性は高い施設とみることができる。

## 8.5 亜臨界水処理技術導入の経済効果まとめ

亜臨界水処理は、多様なバイオマス廃棄物を多目的質変換できる汎用性を備えた技術システムである。まず概略的な収益分析をし、「亜臨界水処理技術」のコスト特性および導入システムにおけるコスト特性を分析した。

具体的な導入効果を見るため、天津市紀庄子污水处理場を対象として、現況および将来について、有機肥料化とバイオマスガス発電事業についてコスト分析を行った。

結果を要約すると以下の通りである。

- (1) 有機汚泥の資源化利用は、マテリアル利用においてもエネルギー利用においてもその中国市場内の条件内で十分な経済効果をあげることが可能である。
- (2) 導入の実行可能性は、装置が簡単であり、安定した処理が可能であることは実証済みであり、早期の導入への対応も可能である。
- (3) 亜臨界水処理方式の特徴から、高濃度あるいは固形分の高い領域での分解が可能であることから、処理対象規模が少なくても済む特徴から設備・施設ともコンパクトなものとなる。
- (4) 亜臨界水処理反応の特徴から、規模の効果は大きくなく、污水处理規模 20 万 $\text{m}^3$ /日規模でコスト優位性が変わる。すなわち、20 万 $\text{m}^3$ /日以下の規模領域では高機能有機肥料等のマテリアル利用がきわめて有利であり、それ以上では、エネルギー利用についても経済的に有利となってくる。このことは、小規模分散型の地域は基本的に農業生産が盛んであり、有機肥料や堆肥の供給が行え、また高速道路整備等における沿道緑化にも利用が容易となり出口確保性も高い有利な事業化ができると判断される。一方都市型で処理規模の大きい污水处理場等では、バイオマスメタン発酵の高効率化が可能であり、電力自給などの行うことで需要の安定的確保が高くなり事業リスクを大きく低減できるといえる。また、近年中国は都市の生態環境保全効果も含めた庭園緑化を強化しており、高機能土壌改良剤としての供給も可能な、メタン発酵発電と堆肥化併用型の亜臨界水処理も導入も考えられ、選択肢を広くできるメリットもある。
- (5) 紀庄子污水处理場の規模の場合、現況規模においても、高機能有機肥料製造事業は、3年～4年でプラス収益に転じ、15年後の累積純益は汚泥単独処理でも約 10,000 万元に達する収益性の高い事業が展開可能との試算結果を得た。またメタン発酵発電への導入では、15年後の累積純益は 4,000 万元程度となり、いずれも収益性は高いという結果が得られた。

以上から、低投入エネルギー型で維持管理性が高く、かつ施設がコンパクトな亜臨界水処理技術の導入は中国国情にも十分適用性の高い技術システムであるといえよう。

## 9 中国における技術移転マニュアル作成

中国に対する技術移転についてはその方式には様々な形態が考えられる。大きく分類すればハード整備技術とソフト整備技術に分けられる。これまでわが国はハード技術特に先端技術の移転を中心として展開してきた。

本調査では、経済循環の基本基盤である地域資源の循環システムを構築する日本型技術システムに関するもので、先導的に実施すべき内容は、そのシステム導入効果を総合的に評価できる計画論を明示することにあると考える。中国第十二次五ヵ年計画において重点整備事項に位置づけられてきた湖沼や河川の水質汚染制御対策において、流域の資源管理も含めた管理方針も盛り込まれつつあり、流域の総合的管理計画の重要性が示されている。

このような背景から、本調査で調査検討した効率的新技术の導入効果を計画論的に分析考察し、その具体的効果の中長期にわたり網羅評価するソフト整備の進め方についての技術移転マニュアルを作成した。

### 9.1 背景

中国は2011年から「第十二次五ヵ年計画」に入る。この計画では第十一次五ヵ年計画で達成した比較的速い中国経済の発展を持続しながらも、環境と調和のある持続的社会発展の建設に向け、経済の更なる発展と環境や生態保全との調和を目指している。

中国の著しい経済発展により都市人口、都市規模、都市の数、住民の収入と消費水準、都市住民ガス消費量等の絶え間なく増大している。また人民生活水準は着実に高まっている。このような中、都市部の有機汚泥等バイオマス再生は急務となり、いわゆる面整備を中心に整備が進んでいるが、現状では処理により確実に発生する汚泥の処理処分の整備が追いついていないのが現状である。図 9.1.1 は有機汚泥等バイオマス再生量の推移から推定される、脱水汚泥量を80%の湿潤重量と乾燥重量で示したものである。現在、脱水湿汚泥相当量で3,000万 m<sup>3</sup>/年に達し、かつその増加は加速されている。



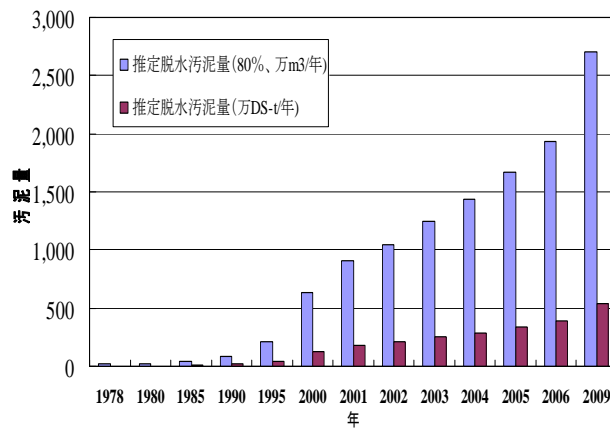


図 9.1.1 有機汚泥等バイオマス発生量の推移から推定

一方都市生活ゴミをみると、その生産量は都市人口増と生活水準の向上とが相まって増加の一途にある。ちなみに中国都市部の戸籍人口は1982年の $9.59 \times 10^7$ 人から2004年の $23.64 \times 10^7$ 人まで増大し、約1.5倍増加した一方、生活ごみは1982年の $31.25 \times 10^6$ tから2004年の $155.09 \times 10^6$ tと、5倍近く増大している（図 9.1.2）。

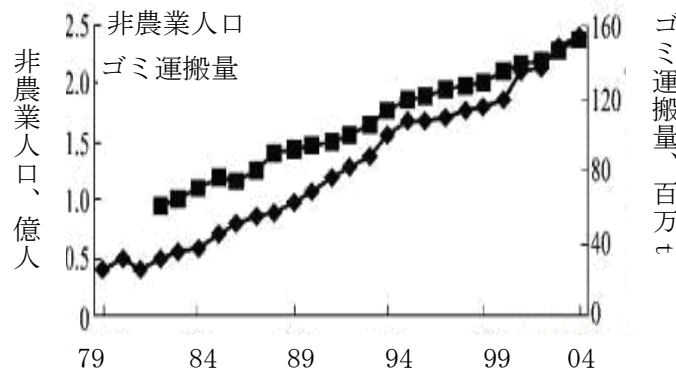


図 9.1.2 人口とゴミ運搬量<sup>1)</sup>

汚水汚泥においても都市生活ごみにおいても、都市部の政策として、乾燥化、焼却が推進されつつあるが、地球温暖化への影響も大きいことに対する解決策が国際的にも重要な課題となっている。中国は世界でも最大の農業国であり、また肥料の消費国でもある。都市と農村の調和的発展は中国が従来から掲げる国家政策の第一目標である。このような観点から、今後有機汚泥等の資源循環型地域社会の整備は必定となり、わが国の先進的取り組みを踏まえ、わが国との協働的推進を図る必要がある。

以上のような中国の有機汚泥等の処理処分環境の事情から適正処理整備の構想計画が不可欠であり、日本でも同時並行的に進めるべき課題であり、国家政策の早い実施が行われる中国で展開推進する指針づくりは両国にとっても有用なものとなる。特に有機汚泥等の処

処理分の整備には相当の投資と維持のための費用が必要であり、低コスト、低エネルギー、低維持管理型技術による総合的システム整備に向けた指針づくりが望まれる。

本ガイドラインは、以上の観点から、中国における適切な規模のモデル流域(日本の県域レベル)を相定し、具体的なビジョン策定を通じて計画検証を適応的に実施しながら進める、中国に適した地域有機汚泥等資源再生ビジョンの策定を目指す。

出典1： 杜吴鹏 高庆先 张恩琛;中国城市生活垃圾排放现状及成分分析 2010-01 环卫科技网  
<http://www.cn-hw.net/html/32/201001/13315.html>

## 9.2 有機汚泥資源環境の現状と課題の整理

### 9.2.1 対象地域の有機汚泥環境の実態調査

対象流域に係る有機汚泥環境の現況特性を既往資料から整理し、課題事項を抽出検討する。

#### (1) 有機汚泥等資源発生環境の現況

- 現状と課題の整理
- 過去 10 ヶ年程度の汚水汚泥および生活ごみ等有機固形廃棄物データの分析に基づいた現状認識と課題の抽出
- 汚泥資源環境の安全性に関する整理  
土壌基準や農用基準等望ましい環境基準等に照らした現状の特性と改善すべき有機汚泥等資源の質と量の問題について整理する。

#### (2) 有機汚泥等再生利用環境の現状

- 現状と課題の整理
- 過去 10 ヶ年程度の汚水汚泥および生活ごみ等有機廃棄物データの分析に基づいた現状認識と課題の抽出

### 9.2.2 土地利用環境の現状

#### (1) 現状と課題の整理

- (2) 過去 10 ヶ年程度の土地利用実態および土壌の重金属等の性状に関する情報を収集整理し観測データの分析に基づいた望ましい土壌環境指標等に照らした現状の特性と改善すべき土地利用問題を整理する。この中で農耕地土壌についてはその性状について整理する。
- (3) 過去 10 ヶ年程度の有機汚泥等処理処分と再生利用およびバイオマスエネルギーに関する調査データを収集整理する。その結果に基づき有機汚泥等処理処分と再生利用の問題点を抽出整理する。

### 9.2.3 有害化学物質等環境安全性の現状

#### (1) 現状と課題の整理

- (2) 重金属類や微量有害化学物質に関する過去 10 ヶ年程度の調査分析データの分析に基づいた汚泥資源環境の安全性に関する課題の整理
- (3) 土壌基準や農用基準や各種指針等望ましい環境基準等に照らした現状の特性と改善すべき有機汚泥等資源の質と量の問題について整理する。

### 9.3 地域有機汚泥等資源の現況解析

#### 9.3.1 地域有機汚泥等有機資源フレームの推移と現状

対象地域における有機汚泥等有機資源別のフレーム統計値を調査・推計し、大規模有機汚泥等バイオマス再生場、衛生埋立て処分場等の地域の特徴ある施設を中心とするブロック分割を行い、ブロック間の資源循環連携の整備方法について検討する。なお地理メッシュデータ等のGIS統計データが存在する場合は、メッシュデータ解析を行うことが望ましい。

#### 9.3.2 有機汚泥等資源別発生原単位の検討

##### (1) 発生原単位の現地調査

モデル地域で調査の必要な汚濁発生源については、必要な現地実測調査を実施する。汚泥系、生活系ゴミ系はいずれも地域によって排水区特性や生活様式が大きく異なるため、バイオマス発生量の原単位には大きな幅がある。このことは施設規模や適用技術が大きく変わることが予想されるため特に重要な調査事項となる。

##### (2) 地域有機汚泥等有機資源原単位の現況設定検討

地域の生活様式や生産活動に応じた適切な地域有機汚泥等有機資源減別原単位を検討設定する。

(2) で把握し実態調査結果に基づいて、地域の汚濁発生パターンおよび排出形態の特性を勘案して地域特性に応じた適切な地域有機汚泥等有機資源原単位を検討する。

#### 9.3.3 有機汚泥等バイオマス種別発生負荷量の地域特性

##### (1) 現況の地域有機汚泥資源発生特性の概要

各地域ブロック別の有機汚泥等資源別発生負荷量の現況を算定把握する。

整理は①バイオマス原料の種類、②各バイオマスの利活用の方向性、③現状と課題、④今後の方向の4項目について概要をまとめる。概要まとめの例を

図 9.3.1 に示す。

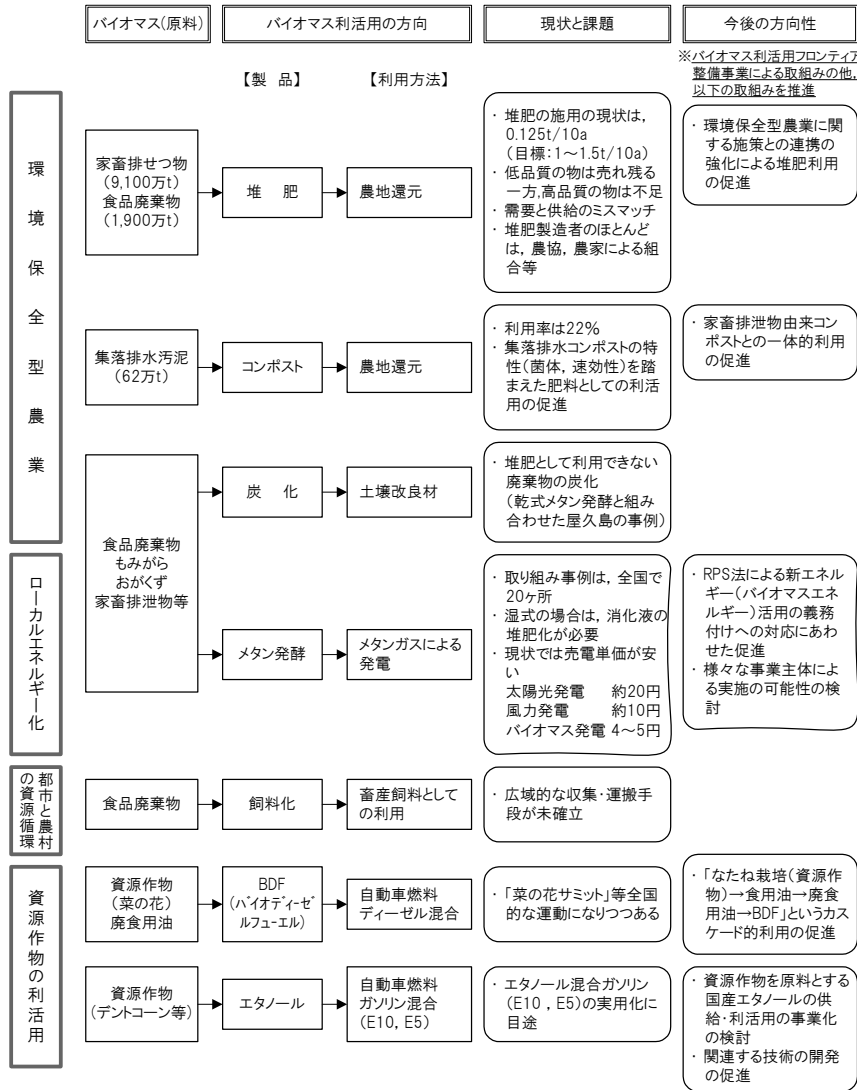


図 9.3.1 地域有機汚泥等バイオマス特性図(イメージ図)

(2) 現況排出地域有機汚泥等有機資源量の特性分析

地区ブロック別の有機汚泥等資源別負荷密度(面積あたりの地域有機汚泥等有機資源量)の相対比較、代表的地域の値等の比較検討し、重点整備地区等基礎情報の整理を行う。

(3) 有機汚泥等バイオマス資源処理処分再生構造の検討

地域の発生量分布と処分・再生利用分布の特性について検討し、将来予測を行う場合の基礎パラメータの検討を行う。

## 9.4 地域有機汚泥等バイオマス資源再生予測検討

### 9.4.1 将来フレームと地域有機汚泥等バイオマス資源量の予測

#### (1) 目標年次の検討

目標年次は、地域経済発展計画や生態農業計画、都市整備計画等の有機汚泥等資源フレームに関係する諸計画が存在する。各計画要素と計画目標について相互の整合性を考慮した目標年次を設定する必要がある。

この場合目標のレベルについては、下記に示すように短期目標と長期目標について検討する。

- I 短期目標(5ヵ年計画)
- II 長期目標(10年～20年)

#### (2) 将来フレームの検討

(1)の検討で設定した目標年次の有機汚泥等資源フレームを決定する。

将来フレームは、汚濁減別にも想定ケースが考えられるため、当該地域の事情を考慮して、特に重点化すべき対策フレームを念頭に将来フレームを決定もしくはケース設定する。

#### (3) 将来発生原単位の検討

現況調査の結果に基づき、将来の生活様式の変化、産業活動の動向変化の見通しにより、発生負荷原単や排出率の検討を行う。

地域有機汚泥等バイオマス資源別原単位は、諸計画のベースとなるものであり、事業規模、対策技術および対策システム、さらには費用負担に大きく影響するため、地域の実情を反映する実態調査を含めて検討する。

### 9.4.2 地域有機汚泥等バイオマス資源再生利用ケース検討

下記に例示する再生利用フレームに基づいた地域有機汚泥等バイオマス資源の再生利用ケースの検討を行う。

#### (1) 地域有機汚泥等バイオマス資源再生のシナリオ分析

- 地域における適正有機汚泥等バイオマス資源の重要構造の特徴
- 地域における適正有機汚泥等バイオマス資源の処理技術の選定
- 地域における適正有機汚泥等バイオマス資源の処分・再生技術の選定

## (2) 予測ケースの検討

- ① 処理技術の選定ケースの設定
- ② 資源再生技術のケース選定
- ③ 埋立等処分および再生利用のケース選定
- ④ その他

## (3) 将来有機汚泥等資源の予測計算

現況および10年もしくは20年程度の長期について、下記より予測を行う。

$$\text{将来有機汚泥等資源} = \text{有機汚泥資源将来フレーム} \times \text{将来原単位}$$

**9.4.3 地域有機汚泥等バイオマス資源再生利用ケースの評価検討**

## (1) 再生利用施策概算費用の検討

地域有機汚泥等バイオマス資源再生利用ケース毎の再生利用施策について、概算の整備費用および維持管理費用の算定を行う。

## (2) 地域有機汚泥等バイオマス資源再生利用効果の評価検討

河川および湖沼水質の改善量当たりの概算費用について分析し、その他の政策メリットを考慮して地域有機汚泥等バイオマス資源再生利用施策の重要度および優先順位を検討する。

## (3) 地域有機汚泥等バイオマス資源再生利用基本計画の策定

(4) (2)で実施した検討結果を総合的に整理し、モデル地域の地域有機汚泥等バイオマス資源再生利用基本計画を策定する。

### 9.5 有機汚泥等バイオマス資源再生技術の計画的選定

#### 9.5.1 バイオマス資源化技術の適用性

既往のバイオマス資源化技術について、マテリアル利用とエネルギー化利用技術について、当該地域に適用可能性を概略評価し適用可能技術のスクリーニングを行う。既往のバイオマス資源化技術は表 9.5.1 に示した。

表 9.5.1 バイオマス利活用技術の種類と適用技術および開発技術

		製材	建設系	林地	製炭	稲わら	家畜排	下水	有機排	食品	生ごみ	廃食	資源	
		端材	廃棄物	残材	固定枝	もみ殻	せつ物	汚泥	水汚泥	廃棄物		用油	作物	
		木質系(セルロース系含む)					有機汚泥系			有機物系		■■マシ		
マテリアル 利用	堆肥化	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	飼料化			○	○	●					●	●	●	
	木質マテリアル化	●	●	●										
	バイオマスプラスチック化									○	○		●	
エネルギー 利用	熱化学 的変換	直接燃焼	●	●	●	●	●							
		ボイラ発電	チップボイラ	●	●	●	●	●						
			木質ペレット	●	●	●	●	●						
	ガス化	ガス化発電	●	●	●	●	●							
		水素化	●	●	●	●	●				●	●		
	炭化	固形燃料化	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
		液化(メタノール化)	●	●	●	●	●							
		バイオディーゼル燃料化											●	●*
		生物化学 的変換												
	メタン発酵	エタノール化	○	○	○	○	○	●	●	●	●	●		●

●:適用可能な技術, ○:技術開発等によって適用可能な技術  
\* 菜種油によるバイオディーゼル燃料化

#### 9.5.2 有機汚泥等処理技術

汚泥処理の第一段階の目的は基本的に汚泥の安定化にある。安定化とは、病原微生物や寄生虫卵の死滅かと有機物の腐植質化の二つである。この衛生無害化には「亜臨界水処理技術」の適用に有効な手段である。

汚泥処理フローには下記の種類がある。

- ① 濃縮池 → 最終処分
- ② 濃縮池 → 消化池 → 機械脱水 → 最終処分
- ③ 濃縮池 → 消化池 → 乾燥床 → 最終処分
- ④ 濃縮池 → 乾燥床 → 最終処分
- ⑤ 濃縮池 → 機械脱水 → 最終処分
- ⑥ 濃縮池 → 好気性消化 → 濃縮池 → 機械脱水 → 最終処分
- ⑦ 濃縮池 → 嫌気性消化 → 濃縮池 → 機械脱水 → 最終処分

#### 9.5.3 有機汚泥等の資源化技術の選定

有機汚泥等の資源化技術システムフローとして、本調査の結果下記のフローを設定することができる。汚水処理場を主たる対象とする場合、濃縮池を処理フローの出発点として示す。



- a. 燃料化
  - ① 濃縮池→機械脱水→乾燥→固形燃料化
  - ② 濃縮池→機械脱水→水熱処理乾燥→固形燃料化
- b. ガス化
  - ① 濃縮池→メタン発酵(嫌気消化)→メタンガス生成→天然ガス
  - ② 濃縮池→機械脱水→「水熱処理」→メタン発酵(嫌気消化)→メタンガス生成→天然ガス
  - ③ 濃縮池→メタン発酵(嫌気消化)→汚泥脱水→(「水熱処理」メタン発酵返送)→メタンガス生成→天然ガス
  - ④ 濃縮池→機械脱水→「水熱処理」→乾燥→低温ガス化
- c. 電力エネルギー化
  - ① 濃縮池→機械脱水→「水熱処理」→メタン発酵(嫌気消化)→メタンガス生成→メタンガス発電
  - ② 濃縮池→メタン発酵(嫌気消化)-脱水(→「水熱処理」メタン発酵返送)→メタンガス生成→メタンガス発電
- d. 炭化
  - ① 濃縮池→機械脱水→炭化(キルン炭化等)
  - ② 濃縮池→機械脱水→「水熱処理炭化」
- e. 有機肥料・堆肥化
  - ① 濃縮池→機械脱水→「水熱処理」=有機肥料
  - ② 濃縮池→機械脱水→「水熱処理」→化成肥料調整→有機混合肥料
  - ③ 濃縮池→機械脱水→「水熱処理」→熟成堆肥
  - ④ 濃縮池→機械脱水→「水熱処理」→有用微生物添加→高機能生物堆肥
- f. 土壌改良材
  - ① 濃縮池→機械脱水→「水熱処理」→(成分・強度調整)→土壌改良材
- g. 飼料化
 

食品廃棄物や餐食残渣等の有用有機資源を対照として、

  - ① 原料→乳酸発酵→液体飼料(リキッドフィーディング)
  - ② 原料→「水熱処理」→固形飼料及び液体飼料
  - ③ 原料→「水熱処理」→固形飼料及び液体飼料
- h. 処分
  - ① 衛生理立
  - ② 焼却、焼却熔融、焼却発電

#### 9.5.4 有機汚泥の資源化再生技術の利用可能性検討

わが国では、地球温暖化防止、循環型社会形成、戦略的産業育成、農山漁村活性化等の観点から、農林水産省をはじめとした関係府省が協力して、バイオマスの利活用推進に関する具体的取り組みや行動計画を「バイオマス・ニッポン総合戦略」として2002年12月に閣議決定し、各市町村のバイオマス利活用促進を図るための事業構想策定の認定を行って

きている。

2004年3月には、これまでのバイオマスの利活用状況や2005年2月の京都議定書発効等の戦略策定後の情勢の変化を踏まえて見直しを行い、国産バイオ燃料の本格的導入、林地残材などの未利用バイオマスの活用等によるバイオマスタウン構築の加速化等を図るための施策を推進している。ここで適用されているバイオマス資源再生技術には下記の種類がある。これらの既往技術に加え、本調査で検証した、「亜臨界水処理」技術の適用性を検討するものとする。

#### 9.5.5 亜臨界水処理技術の特徴

亜臨界水反応を適用した、有機汚泥等の資源化技術には二つのシステムがある。

- ア、連続流式
- イ、バッチ式

連続流式については、先に事例紹介したように、日量10t程度の実用化試験がなされ、2010年8月に商用化された。本法は、亜臨界水領域で行う反応ではあるが、純粋に亜臨界水とよばれる「飽和水蒸気」を使った反応とは異なるものである。このため外熱による熱交換方式が採用されており、このため反応管の内径は小さい。このため高速循環を必要とし、また、脱水汚泥レベルの固形分濃度では流動性が保てないため適用が困難となる。このため反応容量自体は大規模となる。

本報告では、どのような含水率の性状も、あるいは投入できる形のものであれば有機系汚泥に適用できるバッチ式「亜臨界水処理」について解説する。

##### (1) 亜臨界水処理技術の原理と特徴

「亜臨界水」は、飽和水蒸気であり、有機汚泥等を無酸素状態で分解し低分子化する領域の反応を利用するものである。この領域は図 9.5.1 に示した。

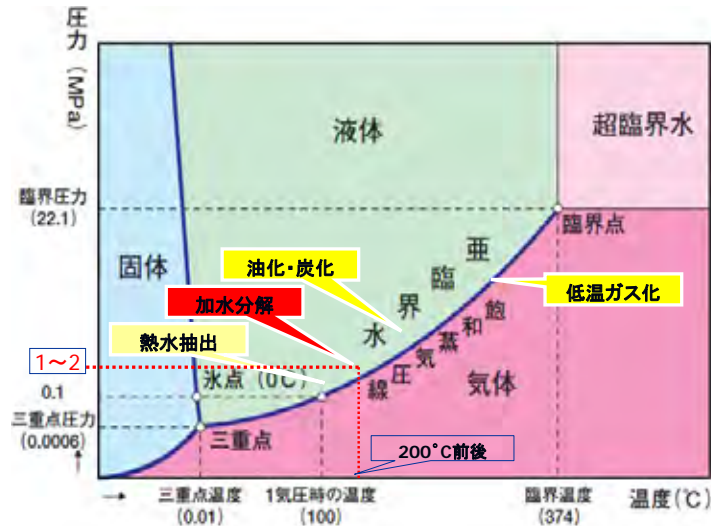


図 9.5.1 亜臨界水反応領域と反応の種類<sup>1)</sup>

出典 1)加藤善盛、水環境学会 2009

この加水分解領域は、温度で約 200℃前後であり、圧力で 1～2MPa(約 10～20 気圧)の範囲である。この領域で有機物の加水分解が進み、図 9.5.2 に示したようにセルロース系はオリゴ糖や、単糖類に、蛋白質はペプチドやアミノ酸に、脂肪は有機酸に分解される。こうした加水分解反応は、堆肥化の過程で微生物によって生じている反応でもあり、また動物の胃の中で生じている消化のプロセスと原理的には同様である。

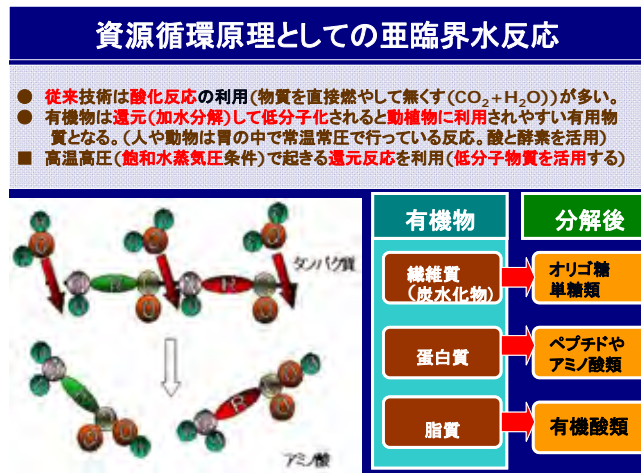


図 9.5.2 亜臨界水反応による加水分解機構

このような反応が 15 分から 1 時間の範囲で生じるため、コンパクトで操作が容易な設備構造とすることができる。

また亜臨界水反応は、現在一般的に行われている滅菌装置である「オートクレーブ」と同じ原理であり、「オートクレーブ」よりは高い温度と高圧条件で行われるため、ウィルス類や微量有害化学物質や残留医薬品等も分解できるため、様々な廃棄物の衛生安全化を完全

に達成することができる。

図 9.5.3 には亜臨界水処理技術による、様々な廃棄バイオマス等の多目的資源化の関連図を示した。

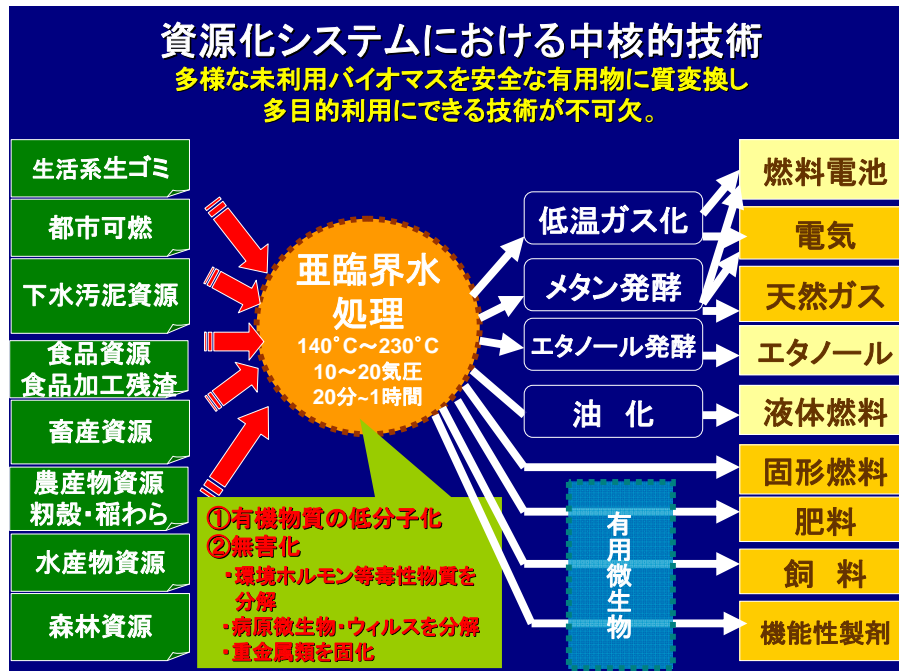


図 9.5.3 亜臨界水反応を利用した多目的質転換

一方、こうした衛生額的安全性のほか、下水汚泥等を再生利用する場合、重金属の汚染問題がある。

重金属の汚染制御にはこれまでいろいろな手法が開発されてきた。この中で自由金属により汚染された土壌の浄化再生を行うのに「水熱固化」と称される方法がある。これは一種の亜臨界水処理法であり、ケイ酸質とカルシウム成分が高温高压条件で結晶化し「トバモライト」といわれる鉱物結晶が成長していく時、重金属類が結晶の中に封じ込められ、固化する現象であり、重金属類の溶出を防ぐことができるとされている。今回調査では、具体的な実証試験を通じて、この「水熱固化」の程度を調べ、重金属類の低下の確証を得た。このほか、汚泥中に含まれる無機成分の反応でゼオライト化反応も起こるため、臭気成分の吸着効果や有機成分の吸着現象も生じるとされている。

このため、わが国ではケイ酸(シリカ)質を多く含んでいるものの、全国でその処分に困っている「籾殻」の利用が考えられる。これらの利活用にあたっては、有機汚泥の成分性状とも関係しその固化の程度が大きく異なることがあるため、重金属類の固化も目的とする場合には、予め試験的に確認しておく必要がある。

## (2) 亜臨界水処理システムフロー

亜臨界水処理システムフローは図 9.5.4 に示すとおりである。

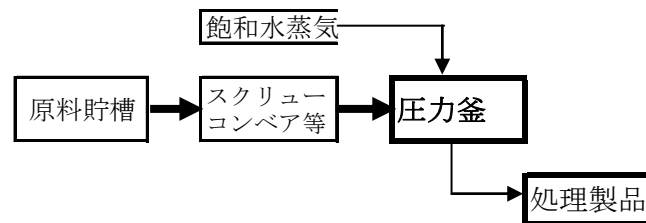


図 9.5.4 亜臨界水処理(水熱処理)フロー

## (3) 亜臨界水処理設備の構成

亜臨界水処理の主な設備構成は、処理本体の設備として、①ボイラ、②圧力タンク(攪拌機付)、③操作盤の 3 つである。このほか付帯設備として、原料貯槽、原料投入機(スクリーコンベア)、処理品移送機(スクリーコンベアやベルトコンベア)、製品倉庫である。

なお、処理本体周りの臭気対策は必須であり、特別な脱臭施設は必要ではないが通常の脱臭整備は不可欠である。

## (4) 亜臨界水反応条件

亜臨界水の主な反応要素は温度、圧力、および反応時間である。加水分解領域の亜臨界水反応の時間は比較的短いため、その反応条件は、対象とする原料の性状や水分含有率によって異なる。廃棄物関係での処理実績はまた多いとはいえないが、既に今回用いた処理試験機と同機のものも 2001 年頃から使われており、また種々の形式による反応設備が考案され、様々な処理場件の実績が増加しつつある。

今回の実証試験および既往データから、亜臨界水反応条件はおおよそ下記の範囲である。ただし、あくまでも取り扱う原料と目的とする処理製品によって反応条件が変わることはいうまでもない。

- 下水汚泥            温度 190℃前後    圧力 1.3MPa 前後    反応時間 30min~1hr
- 家庭系生ごみ      温度 180℃前後    圧力 1.1MPa 前後    反応時間 15min~30min
- 一般廃棄物        温度 200~230℃    圧力 1.6~3.0MPa    反応時間 1hr~3hr
- 草木類            温度 200~230℃    圧力 1.6~3.0MPa    反応時間 1hr~3hr

## (5) 導入にあたっての留意点

亜臨界水処理設備は、日本の場合第一種圧力容機としての機械設備としての扱いおよび設置場所に関する消防法等の規制事項および建築基準法に関する規制基準を満足しなければならない。本設備には騒音源はなく、問題とならないが、基本的な環境影響事項は考慮し

て設置場所を選定する必要がある。

なお、原料の移入ルートにおいては原料の腐敗等による悪臭が発生することも考えられ、輸送手段、輸送ルートの選定には留意する必要がある。

## 9.6 有機汚泥等バイオマス再生施設整備計画方針の検討

### 9.6.1 地域有機汚泥等資源フレームデータベースの作成

対象とする地域有機汚泥等資源の種類は概ね表 9.6.1 に示したとおりである。

表 9.6.1 対象となるバイオマス資源の分類

資源別	対象バイオマスの分類
廃棄物系資源	下水汚泥（污水処理場汚泥）
	都市生活ゴミ（一般家庭ゴミ）
	餐食ゴミ（レストランゴミ，食品産業残さ）
	木質資源（製材工場残材，建設廃材）
	畜産資源（家畜排せつ物）
未利用系資源	農産資源（コーン残渣等農産物残渣）
	林産資源（林地残材，剪定枝）

上表以外にも分類される廃棄物の種類もあるが、再生資源としての有用性および収集可能性の観点から上記のような種類を対象とすることとした。

地域有機汚泥等資源としての再生利用性を向上し、付加価値を上げるためには、特に生活系ゴミとの混合処理が有機肥料・堆肥を中心とするマテリアル利用の側面およびエネルギー回収効率の側面から有効と考えられる。

また、中国においては、都市生活ゴミを占める餐食ゴミの割合は都市部ほど大きく、約60%を占める都市もある。独立した都市内循環サイクルとして捕らえることの可能性もあるためあえて餐食ゴミを別途計上するものとした。

### 9.6.2 地域有機汚泥等発生原単位の作成

地域資源循環は、発生源の行政的管轄単位および発生後の有機質汚泥等の処分・再生利用等それぞれの管理部門が複雑に関係している。このため行政管轄間の調整は短期間には整い難い。その意味では、中長期構想の枠組みを早期に設定しておくことで、その後の柔軟な施策対応が可能と考えられる。したがって将来ビジョンの策定には発生原単位の作成は欠かせないものとなる。

発生原単位の作成は、現況の発生源単位を実態から把握しておくことが基本的条件になる。

なお推算も含めて、汚水汚泥系の原単位設定の方法は下記を参考とする。

- ① 発生固形物量(乾泥) 処理水量×流入 SS 濃度実測地(または設計値)
- ② 混合汚泥量 ②=①÷(1-混合汚泥含水率(例えば 96%等))
- ③ 脱水汚泥量 消化槽がない場合は、③=①÷(1-脱水汚泥含水率)  
消化槽がある場合は、③=③×(1-0.5\*VSS%)

### 9.6.3 有機汚泥等バイオマス再生施設マッピングの作成

既成市街地などの人口密集地域や、都市計画上の市街化区域および用途地域に指定されている区域、公共用水域の水質保全が必要とされる区域などについては、「集合処理」が原則となるが、それ以外の家屋が比較的分散している農村地域などは、管渠建設費が割高となる傾向があるため、「集合処理」と「個別処理」の選定については、以下に示す経済比較により判断をする必要がある。ただし、経済比較のみの評価ではなく、地域特性等を勘案し、地域の実情にあった整備手法も考慮する。

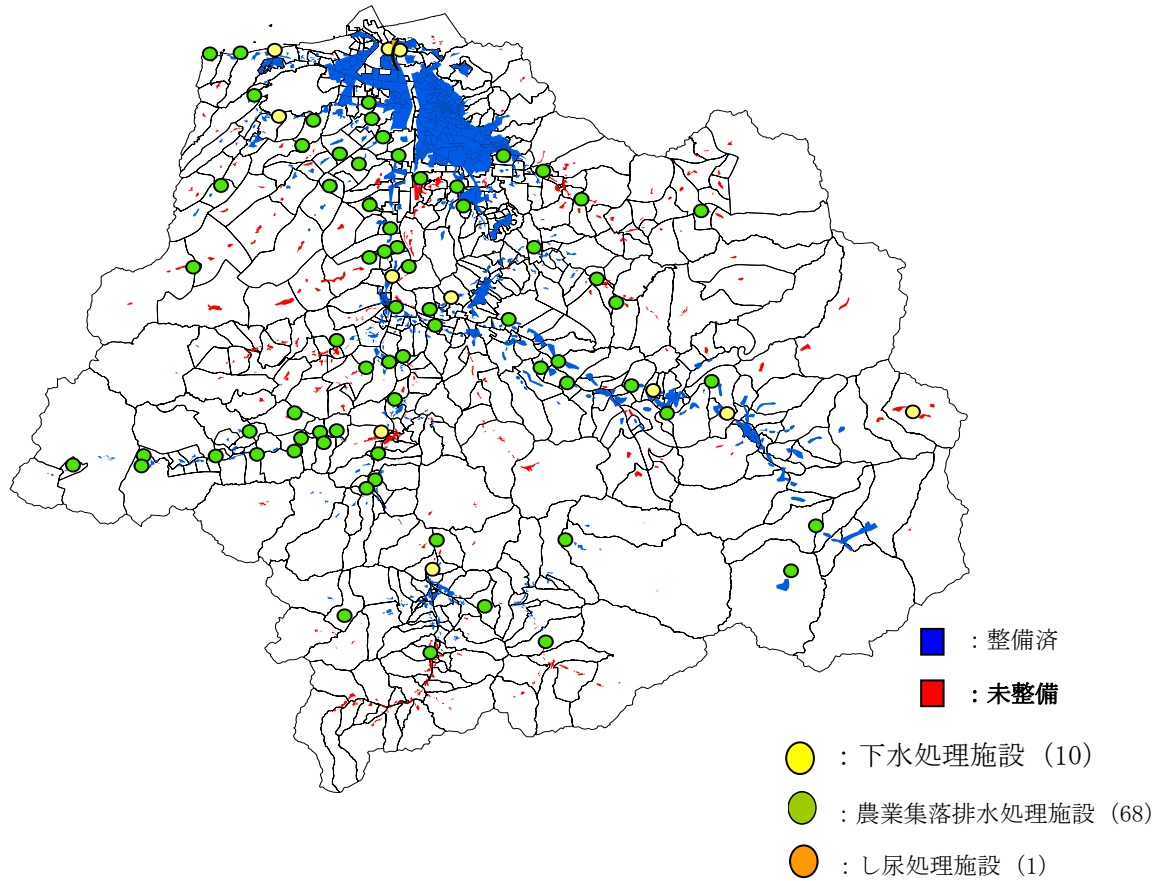


図 9.6.1 有機汚泥等バイオマス再生システム Mapping 図

### GISを用いた経済性による処理区域の配置検討

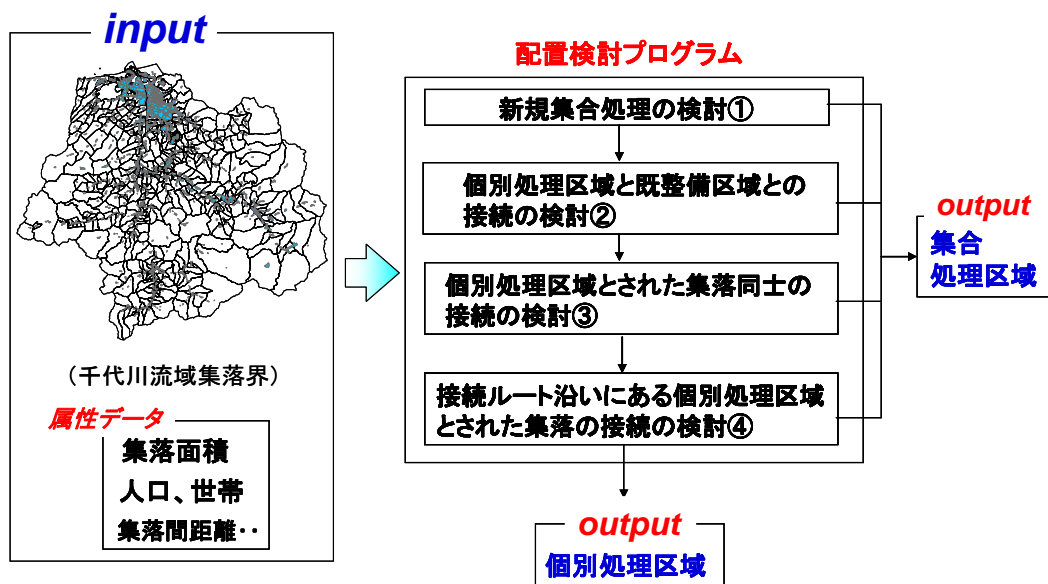


図 9.6.2 効率的整備計画のイメージ図



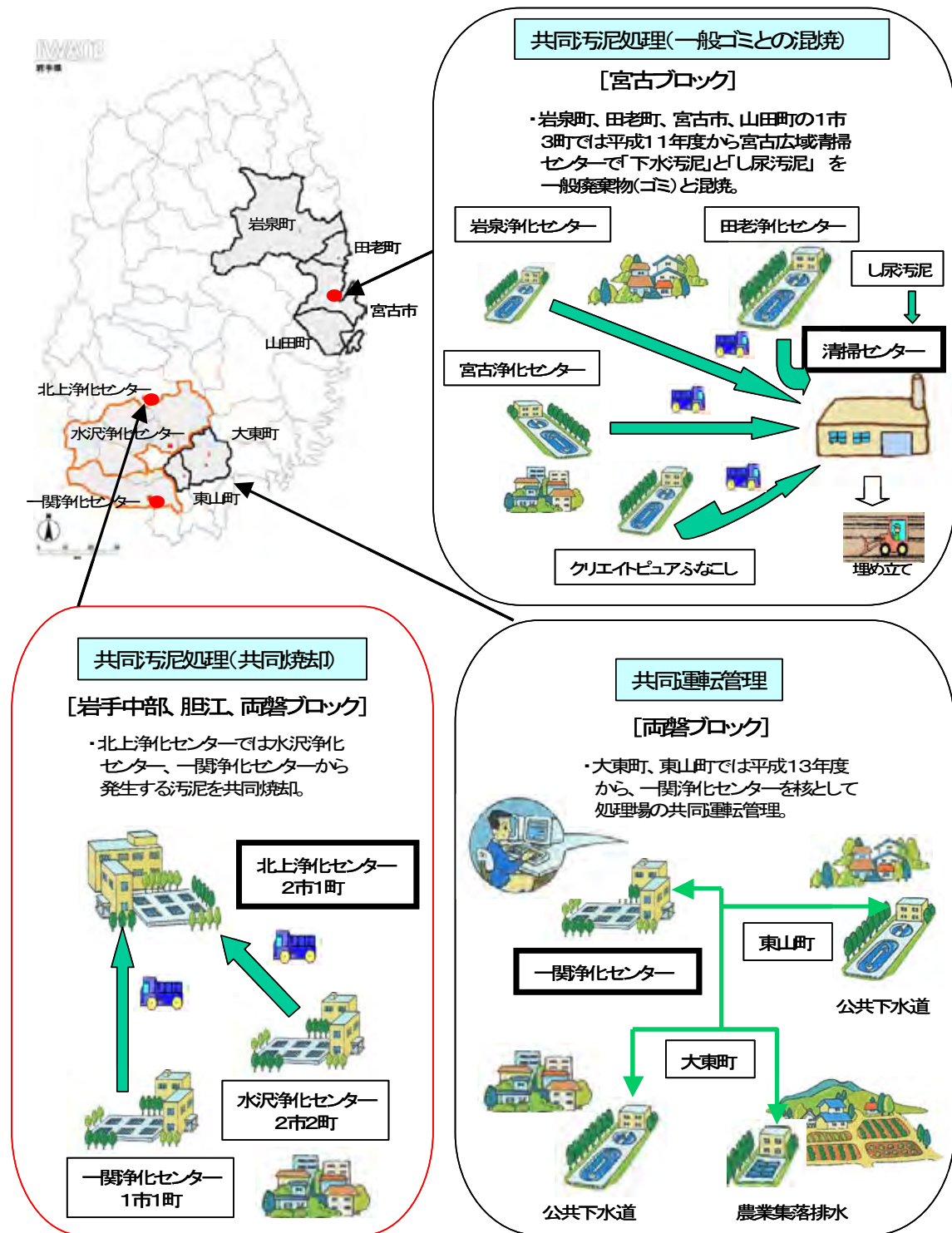


図 9.6.3 有機汚泥等バイオマス再生共同管理の実施例

費用比較にあたっては有機汚泥等バイオマス再生収集システム(管渠システム)が重要な要素のなるため、現状での有機汚泥等バイオマス再生システムについて GIS データ等に基づいてマッピング図を作成する。

### 9.7 有機汚泥等資源化施策効果の評価

有機汚泥等の資源化施策の効果を評価するには、様々な視点が必要である。

評価指標を列記すると大きく以下の四つの項目が挙げられる。

- ① 経済効果
- ② 製品供給の安定性評価
- ③ 製品の安全性評価と環境影響評価
- ④ 地球環境対策への貢献度

以下、それぞれの指標内容について示す。

#### 9.7.1 経済効果分析

経済効果の評価の対象となるシステムには下記の種類が上げられる。

- ① 個別システム(例えば污水处理場単位)
- ② 集中システム(例えば地域内のいくつかの污水处理場の汚泥を集中資源化する)
- ③ 合同処理システム(地域連携により、異種の有機汚泥や他のバイオマスを合同で資源化する)

これらの施策の計画ケースについて、下記手順でコスト計算と経済性の評価を行う。

- 1) コスト計算  
建設コスト(設備コスト)、維持コストの積算を行う。
- 2) 総括収益評価  
定額償還法で総括的収益評価を行う。
- 3) キャッシュフロー分析  
収益性の可能性のある施策ケースについてキャッシュフロー分析あるいは IRR(内部収益指標)等の計算を行い、資本回収年限および、単位資源化量あたりの収益額等から経済性の評価を行う。

#### 9.7.2 製品の安定供給性評価

製品供給の原則は、一定の品質のものを安定供給することにある。安定供給として、需要に適応した供給が行えることが望ましい。

都市汚水汚泥等は、安定した供給源となるが、その場合でも合流式下水道の場合のように

気象要因に影響される場合等があり、量的、質的変動が大きい場合は、安定供給のリスクが増大することになる。計画段階で、これらのリスクに関する評価を事前に行っておく必要があり、資源化プロセスの選定にも配慮が必要である。

製品の安定性評価は、需給バランス評価と製品品質評価の両面から行うことが望ましい。

### 9.7.3 安全性の評価

現在有機汚泥等の製品の安全性評価の一般的手法はないのが現状である。基本的に亜臨界水導入前後については下記の事項により評価を行う。

- 1) 肥料等の栄養成分レベルの評価(最小成分率比等)
- 2) 重金属類について、土壤環境基準、農用等の関連基準、指導指針値等の比較
- 3) 有害化学物質の含有量の評価

なお、一定規模の資源化工場の場合、法定の「環境影響評価」の報告審査が必要である。これらについては法規制に従う。

### 9.7.4 地球環境対策の貢献度評価

地球温暖化対策効果は、プロジェクトの実施で、化石燃料の削減となるエネルギー項目に関する削減CO<sub>2</sub>当量で評価する。メタンガスはCO<sub>2</sub>の21倍の温暖化係数をもつため、埋立地からのメタン削減効果も評価する。この場合 IPCC の計算式による埋立地からのメタンガス排出量の推定式は次式で示される。

$$CH_4 = MSWT \times MSWF \times MCF \times DOC \times DOCF \times F \times Conv - R$$

ここに、

CH<sub>4</sub> : メタン発生量 (Gg/y)

MSWT : 年間廃棄物発生量埋立処分量 (Gg/y)

MSWF : 廃棄物収集埋立率 (1.0) とする

MCF : メタン修正係数(管理型の場合 1.0、不明の場合 0.6)

DOC : 有機炭素含有率

DOCF : 有機性炭素ガス化率 (0.77)

F : ガス中のメタン率 (0.5)

Conv : 16/12 (=CH<sub>4</sub>/C)

R : メタン回収量

以上のCO<sub>2</sub>削減を経済的評価にするためには、現在の排出権取引額換算とし経済計算に組み込む。

## 9.8 人材育成方法

技術移転を適切かつ円滑に実施するためには、中国国内での人材育成が重要となる。

### (1) 技術移転セミナーの実施

技術を活用する人材を対象に、技術内容を把握するためのセミナーを実施する。

セミナーでは技術の概念説明から、機器の運用まで網羅し、セミナー終了時には参加者の技術の習得状況をヒアリングやアンケート等により把握することが望まれる。

### (2) 研修プログラムの実施

中国では、中国国内の地域間格差の是正・市場経済化の推進のため、日本の政府開発援助（ODA）の一つである有償資金協力（円借款）を活用し、中国国内における高等教育機関の質・量を強化することを目的とした人材育成事業を実施している。

この円借款人材育成事業に基づいた研修プログラムを活用する。

## 10 上海「日中汚泥等資源化技術ワークショップ 2010」

### 10.1 日中共同ワークショップ開催趣旨

中国において、下水汚泥等の処理処分問題が環境に対する二次汚染影響や地球温暖化問題においても緊急的に解決すべき課題となっている実情を踏まえ、汚泥等の有機性廃棄物の資源化技術としての日本型新技術である「亜臨界水反応技術」を紹介し、かつその適用性について相互理解を進めるため、大学や中国国家関連研究機関、全国の市政府等の関連機関代表の参加による日中共同ワークショップを開催することとし、開催案内を以下のとおり行った。なお、開催期日は当初予定どおり 2010 年 7 月 5 日～6 日に実施した。

中国では近年の高度経済成長に伴って都市開発や市民生活の向上、食生活の多様化・高度化等により、都市汚泥をはじめとする廃棄物の急激な増大への適切な対応施策が緊急的にも必要となってきています。

このような背景から中国建設部は汚泥の減容化、無害化と脱水率の向上等を図るため、2007 年に「都市部における汚水処理汚泥の取り扱い-埋立汚泥の性質」を発表し、汚泥埋立ての条件として含水率を 60%以下と規定しています。また中国環境保護部は土壌、地下水等への汚染防止を強化するため、2008 年に「生活ゴミ埋立所の汚染抑制基準」を公表し、埋立て時の汚泥含水率を建設部の規定と同じ水準の 60%を上限とするなど今後更なる排出規制の強化が進められていく趨勢にあります。

中国はこれまでの経済成長と環境との調和のとれた社会の実現を目指し、2006 年に始まった第十一次五ヵ年計画において、エコシティをはじめ環境と発展を両立させる取組みが積極的に行われており、「循環型経済促進」をキーワードに政策展開が実施されています。またまもなく実施される第十二次五ヵ年計画（2011～2015）の科学技術計画戦略研究において、バイオ技術およびその産業化が同計画の眼目となるとの見通しが明らかとなっています。

このような背景の中で、下水汚泥や可燃廃棄物が元来炭水化物からなる繊維質や蛋白質、窒素やリン、カリウム等の多様なミネラル成分や有用な有機質成分を含んでいることから、極めて有用なバイオマス資源であるとの認識を新たにし、加えて安定した有機質資源としてエネルギー源、マテリアル資源として安全化し再生利用することにより、コスト縮減のみならず地域の経済循環と地球温暖化対策、環境保全効果を同時に達成する新技術施策を目指すことが必要となっています。日本においては都市汚泥をはじめとする多種多様な有機性廃棄物を無害化し、多目的利用可能な資源に再生できる「亜臨界水反応技術」の導入も一つ施策として進められています。

本ワークショップでは、日中における都市汚泥の処理処分問題の新たな解決の方向性を見出すべく、

- (1) 両国の汚泥等処理処分問題の現状認識とその共有化。
- (2) 両国の今後の新たなエンジニアリングソリューションの方向付けに関する新資源再生技術の相互理解。
- (3) 両国の技術政策の一層の高度化の協力体制整備と技術政策の方向付けの可能性。

のため討議意見交換を行います。

なお、本ワークショップの開催タイトルは以下のとおりである。

日中汚泥資源化技術ワークショップ 2010

副題「亜臨界水反応技術と汚泥資源の再生」

## 10.2 開催結果のまとめ

開催結果を要約すると以下のとおりである。

- 会議参加規模は当初予定として約 30 名+10 名程度想定したが、参加者の若干の出入りはあったものの、一般参加を含め、約 50 名(事務局除く)が参加し、盛会となった。
- ワークショップの基本構成は、
  - (1) 日本における汚泥等資源化の取り組み紹介
  - (2) 「亜臨界水処理技術」の紹介および本プロジェクト調査結果に関する中間報告
  - (3) 汚泥等資源化技術、特に「亜臨界水処理技術」に関する質疑応答および今後の展望に関する討議の 3 本柱で実施した。
- 討議の結果、中国側の「亜臨界水処理技術」に対し大いなる関心と理解を得られ、これらの技術交流会の更なる継続を要望する声が多く好評を得られたものと思われる。
- ワークショップ開催の成果  
ワークショップ開催の成果を要約すると下記のとおりである。
  - ◆ 時間の制限はあったが、中国の汚泥処理処分問題の大きさと、中国側が処理技術と処分技術の双方について技術的ソリューションを希求していることが、具体的データをとおして日中相互の理解として進んだ。
  - ◆ 「亜臨界水反応技術」による汚泥処理処分の活用については、特にその経済性の検討の内容まで深く討議できた。コスト指標に関して、単位処理汚泥たりの数値が重要な指標としていることが理解された。
  - ◆ コストに関して、政府資金等の助成制度も極めて重要であるとの議論もあり、今後中国の財政補助制度等のあつかいの重要性が理解できた。
  - ◆ 中国側の要求は、建設技術の立場からの要求事項もあり、導入可能性より一歩進め、具体的な設置方法、例えば投入汚泥の貯留方法その処理運転の方法、製品取

り出し、後処理の問題、スペース配置、建屋寸法等の詳細議論もされた、より実務的理解が得られた。

- ◆ 中国側においても十二次五ヵ年計画で有機質汚泥等の処理処分ではなく、循環資源化方策として模索が始まっていることから、本調査における開催がタイムリーであったとの理解を得、資源化技術に関する日中技術協力の推進に期待が持たれた。

### 10.3 ワークショップ議事次第

名称：日中汚泥資源化技術ワークショップ2010 「亜臨界水反応技術と汚泥資源の再生」

日時：2010年7月6日（火曜） 09:00～17:00

場所：中華人民共和国 上海市 ルネッサンスホテル 3F クリスタルボールルーム

主催：日本国国際協力機構（JICA）

<タイムスケジュール>

【7月5日 会議登録受付】

13:00～17:00 受付案内

【7月6日 ワークショップ会議】

本会議は JICA 東・中央アジア部調査役 宮林由美子氏の総合司会により進行を図った。

9:00-9:20 「開会の辞」

国際協力機構（JICA）中国事務所 次長 広沢 正行

\*\*\*基調講演\*\*\*

9:20-10:10 「汚泥の資源価値と循環型社会」

松井 三郎 京都大学名誉教授

10:10-10:20 休憩

10:20-12:00 「日本における汚泥資源化の現状と課題について」

藤木 修（財）下水道新技術推進機構 所長

「中国における汚泥資源化の現状と課題について」

劉 俊新 中国科学院生態環境センター 教授

12:00-13:00 昼食

13:00-14:30 「亜臨界水処理技術による都市汚泥等の資源化」

JICA「中国汚泥等処理にかかる調査プロジェクト」総括 加藤善盛

14:30-15:00 質疑応答

15:00-15:10 休憩

\*\*\*技術検討会\*\*\*

「汚泥資源化技術の今後」（座長 松井三郎教授）

- 15:10-16:45 中国側代表発表 毛惟徳 上海市下水道協会 秘書長  
日本側代表発表 奥野長晴 滋賀県立大学名誉教授  
参加者全員による発言・質疑応答
- 16:45-17:00 総合まとめ 座長：松井三郎
- \*\*\*会議終了\*\*\*

#### 10.4 出席者

出席者は以下のとおりである。参加者 31 名、主催者側 6 名、事務局 9 名、一般参加 13 名の計 59 名が出席した。

##### 【参加者】 31 名

- 01 北京控股 水务有限公司
- 02 北京明天河湖治理工程有限公司
- 04 北京都市排水集团有限公司研修中心
- 05 北京市电子工业设计研究院
- 06 北京清能创新科技有限公司
- 07 中国科学院生態環境中心
- 08 大連金州新区环保局
- 09 大連东泰有机废物处理有限公司
- 10 大連市市政設計院
- 11 天津市供水集团
- 12, 13 天津市華創工貿有限公司 2 名
- 14 广东省建筑设计研究院 市政工程设计分院
- 15 広州大学土木工程学院
- 16 河海大学 環境科学及び工学
- 17 南京林業大学 工学系環境科学系
- 18 中国市政工程中南設計研究総院科研所
- 19, 20 貴陽市環境保護局 2 名
- 21 貴州省環境保護庁
- 22 中国科学院
- 23 西安市污水处理有限責任公司
- 24 上海交通大学環境科学及び工程学院
- 25 上海周浦污水处理厂
- 26 上海佛欣爰建河道治理有限公司
- 27, 28 上海市農業科学院 生態環境保護研究所 2 名
- 29 上海市下水道協会
- 30 上海市工商環保商会
- 31 海天健環保有限公司



【JICA 技術検討委員会】3名

【JICA】3名

【開催事務局】5名

【開催事務局現地補助員】4名

【一般参加】13名

### ワークショップ写真



1. ワークショップ会場



2. 開会挨拶（JICA 広沢次長）



3. 講演（中国科学院 劉教授）



4. 松井座長の総括

なお、メタン発酵の「亜臨界水処理技術」を導入する場合、処理規模が直接初期投資に影響することになる。このため、プロセスフローとしては、どの過程で「亜臨界水処理技術」を導入するかは、汚泥の性状等を含めた検討を要する。

いずれにしても「亜臨界水反応」を前処理とすることにより、メタン発酵効率を高めることができるため、エネルギー再生の効果を高めることができる。

#### (5) 汚泥等バイオマスの資源化に関する評価のまとめ

本調査で行った「亜臨界水反応処理」による下水汚泥等の実用機を使った試験の結果、以下のように評価される。

- 下水汚泥は亜臨界水処理により 190℃前後、12 気圧の飽和水蒸気圧の条件下、約 30 分の反応で、各種有機質資材として活用できる。
- 病原微生物の滅菌、寄生虫卵の死滅など、一旦、完全無菌化されるため衛生安全性が確保される。
- 農用有機肥料として十分な栄養価値がある。
- 重金属類については、中国汚泥も日本の汚泥についても、本調査の範囲で全ての試料につき、農用基準を超過していたものが基準をクリアすることができた。なお、日本の汚泥については籾殻の投入が重金属の固化等に有効であると判断された。
- メタン発酵等のエネルギー再生について従来の 2 倍程度に増強を図ることができる。

以上から、日本および中国の安全な有機肥料の供給体制が確立でき、農耕地土壌生態系の修復と地力の改善、さらには農産物の生産力の増強にとって、下水汚泥等の有機汚泥の資源循環システムを構築することが可能となろう。

## 11 結論および今後の課題と提案

### 11.1 結論

本調査の結果について結論を要約すると以下のとおりである。

- ◇ 中国で大きな環境影響問題を与え社会問題化している下水汚泥等の処理処分問題の解決に「亜臨界水反応技術」の導入することにより、収益性の高い事業降効果を得ることができるのみならず、地球温暖化対策に大きく貢献できる。
- ◇ 「亜臨界水反応技術」は汚水汚泥をはじめとする様々なバイオマスに柔軟に対応した資源化処理でき、全ての処理対象物について衛生安全性、安全性(重金属等にかかる)を確保した多様な処理製品に質転換できる。

以下、上記結論項目ごとに結果を要約する。

#### (1) 「亜臨界水反応技術」導入の経済効果

- 汚水汚泥等の有機汚泥について、高効率メタン発酵発電等によるエネルギー(天然ガスおよび電力エネルギー)回収と直接有機肥料化や堆肥化等の資源再生ができる。
- 生活系有機ごみ等との共同処理等により、汚水処理場の完全な電力自給が可能である。生活系有機ごみを汚泥と当量程度の処理を行い、少しの省エネルギー施策との組み合わせでほぼ完全な電力自給化が可能である。
- 無害化処理ができるため、安全で高機能有機堆肥を短時間に製造可能で約4年程度で資本回収ができる高収益性の事業化を行える。

#### (2) 「亜臨界水反応技術」の適用性・応用性

日本国内では「亜臨界水反応技術」の適用が様々な資源化の目的に応用され事業化されている実態を把握した。

- 「亜臨界水処理技術」は、多様な未利用バイオマスのほとんどを処理対象とすることができ、燃料化、メタン発酵効率化を含むエネルギー化、有用成分抽出、安全有機肥料・有機堆肥化、飼料化が可能である。
- 「亜臨界水処理技術」は、反応条件である温度、圧力、反応時間の使い分けにより、多様な有機物質に対応できるため、下水汚泥などの有機汚泥にかぎらず、原料によって高機能食品素材やアロマ油などの生体機能性素材を製造でき実用化もされている。また、エタノール発酵のセルロース糖化法等にも適用されようとしており、今後は資源活用型の新産業創造の技術的基盤として有望な技術に位置づけられる。
- 亜臨界水処理技術は「バッチ式」と「連続式」の二機種がある。「バッチ式」は汚水処理規模で30万m<sup>3</sup>/日以下で相対的に収益効果が高く、今後整備を拡大していく必要のある分散型汚水処理場の汚泥処理に導入しやすい方式である。連続式は処理規模に

制約条件はなく大規模処理にも対応可能と考えられる。しかし投入可能な固形物濃度にはその流動性から制約が考えられ両方式にはそれぞれの特徴があるため、汚泥性状や処理規模に応じた選択を行うことができると考えられる。

### (3) 「亜臨界水反応技術」による有機汚泥資源化の確証

肥料栄養成分は、汚泥の安定化処理(嫌気性消化)や堆肥化処理したものに対し、有機分の損失が少なく、かつ低分子化されミネラル成分等もあわせ、吸収しやすい性状に質転換することから、従来の堆肥より良質の有機肥料とすることができるとの確証を得た。また下水汚泥については適正な重金属固化に有用な籾殻等を添加することで、重金属類のより一層の安全化を図ることができ、かつ化学肥料と同等のハンドリングができる顆粒状有機肥料を直接製造できることを確認した。

日本国内では「亜臨界水反応技術」を応用した様々な資源化を目的とした事業が展開されており、今後さらに多目的資源化技術として応用発展することが期待され、とりわけ中国における有機汚泥の資源化、特に中国で方向づけが明確となっている農用地への安全利用や土壌改良材や道路・公園緑化等の土地利用に対する迅速な事業化も可能である。

このため、日中国際技術交流の促進を資源循環事業の具体的実施を通じて行っていくことが両国の大きな国益につながる結果をもたらすと考えられる。

## 11.2 今後の課題と提案

今回の調査では、「亜臨界水反応技術」による有機汚泥の資源化方法として極め有用であることが確認された。これまでの調査における課題事項をまとめると以下のとおりである。

### 11.2.1 技術的課題

短期間で日中双方において実証試験まで実施できた。この実証試験は、亜臨界水処理のプロセス効果の確認であり、今後事業化普及のためには「有機肥料」の高機能性あるいはエネルギー化としての高効率メタン発酵発電による電力回収システム等、資源化トータルシステムとしての実証的事業効果の評価も必要である。

また、今回予算制約上、実証的データを得られなかったが、近年問題が顕在化しつつある抗生物質の多量投入や残留医薬品の環境影響、さらには廃棄に伴う人体への直接影響の問題もあり、国際的技術推進のためにはこれらの実証データの評価を行っておく必要がある。その理由は、今後開発途上国に限らず、低炭素型社会の具現化のためには地域資源循環事業は一つの技術的プラットフォームであり、日本型モデルの国際イニシャチブの原動力となり得るからである。

このためには、下水汚泥に限らず、有機性廃棄物の全般にわたる地域資源化の有用性を確認しておく必要があり、このための実証試験調査は重要と思われる。

### 11.2.2 国際技術協力の推進課題

国際技術協力を強固に推進するためには、要素技術のプロセス原理の理解のみではなく、技術システムの原理的理解すなわち、どのような再生資源にどのように応用できるかの相互理解が重要である。それは需要と供給の一環性を確認することが技術伝播普及の原則となるためである。このためには今回実施したようなワークショップを定例化し、技術システムの総合的認識のプラットフォームとして活用していくことが望まれる。

### 11.2.3 提案課題について

国際資源循環システム整備のロードマップモデルで大きな枠組を試案として示した。この実現化のためには、小規模でも第一歩を具体的に実施することが肝要である。

「亜臨界水反応技術」は都市と農村を繋げる技術的手段となり得るもので、特に有機汚泥を安全な有機肥料や耕地土壌改良材として活用していくことは、土壌の物理的環境を健全にし、かつ土壌が本来有する抗菌物質や植物成長因子を産生する有用微生物の養分を供給することで土壌生態環境を健全化し、結果としてミネラル分や免疫力発現のもととなる生体機能物質が豊富で健全な農産物を生産するという、資源と経済の循環を実現する道である。

この実現の形は「社会実験事業」的に行い成功事例を提示するのが最も近道と考えられる。

今回、上海ワークショップの開催の機会に「上海市農業科学院」が参画された。農業分野からの広いディスカッションと提案があったことは、汚泥処理分野だけでなく、農業分野の関心も高いということを確認できる機会となったことはワークショップの大きな成果の一つである。中国の農業科学院は中央組織のほか各地に整備されておりその管理する試験農場はわが国と比較にならないほど広く、様々な栽培試験や家畜等の飼育を行っている。「上海市農業科学院」は需要と供給が一体的に評価できることにつながるとして、また各種試験機関を有しており「品質認証」等による安全管理方式の導入により「資源価値」認証制度も創出できる可能性があるとの提言もあった。このような事情に鑑み「亜臨界水処理技術」を導入した「日中共同パイロット事業」として国際協力拠点づくりの発起点とするには極めて良い条件が整ってきており、本調査結果に基づいてその実現を提案するものである。

パイロット事業の早期実現のためにも、地域の資源循環システムの全体構想の見通しをつけておくことが重要と考える。以下、その検討概要を示す。

### 11.2.4 有機汚泥等バイオマス再生ビジョンの策定に向けて

有機汚泥等バイオマス再生施設は、汚水汚泥や生活ゴミを適切に収集しかつ適切に処理再生することにより役割を担うことになるが、その体系的整備のためには、現況の有機汚泥等バイオマス再生やごみ処理・処分に係る法体系の系統的整理を行う必要がある。また有機汚泥等バイオマス再生施設は、有機汚泥等バイオマスの質変換を行い熱や利用可能なエネルギー再生して、資源循環型の社会の実現に向けた、実効的整備を図ることが可能となる。このためには、地域や流域において実施されている各種の個別施策、たとえば地域土壌環境の改善や地域農業生産性の向上、バイオマスエネルギーの利用によるエネルギー自給化施策等、各種の連携化を図ることで実現されるものと考えられる。

以上、社会的効果に基づく総合資源循環整備の計画手法を例として図 11.2.1 のような調査・計画フローが挙げられる。

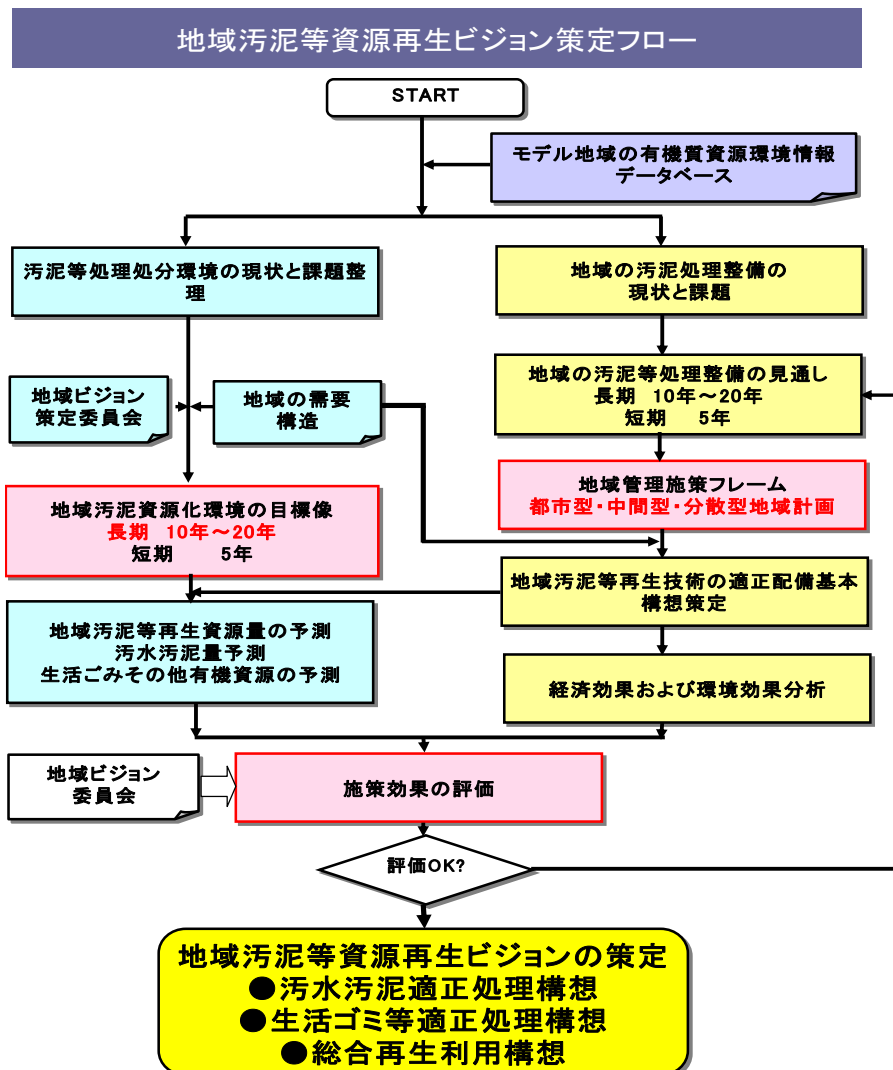


図 11.2.1 適正整備ビジョン調査フロー

### 11.2.5 調査・検討内容

整備ビジョンの策定においては、「整備計画の方針」、「有機汚泥処理の方針」、「維持管理の方針」、「地域連携システム整備のあり方」の4つの方針について検討することが望ましい。

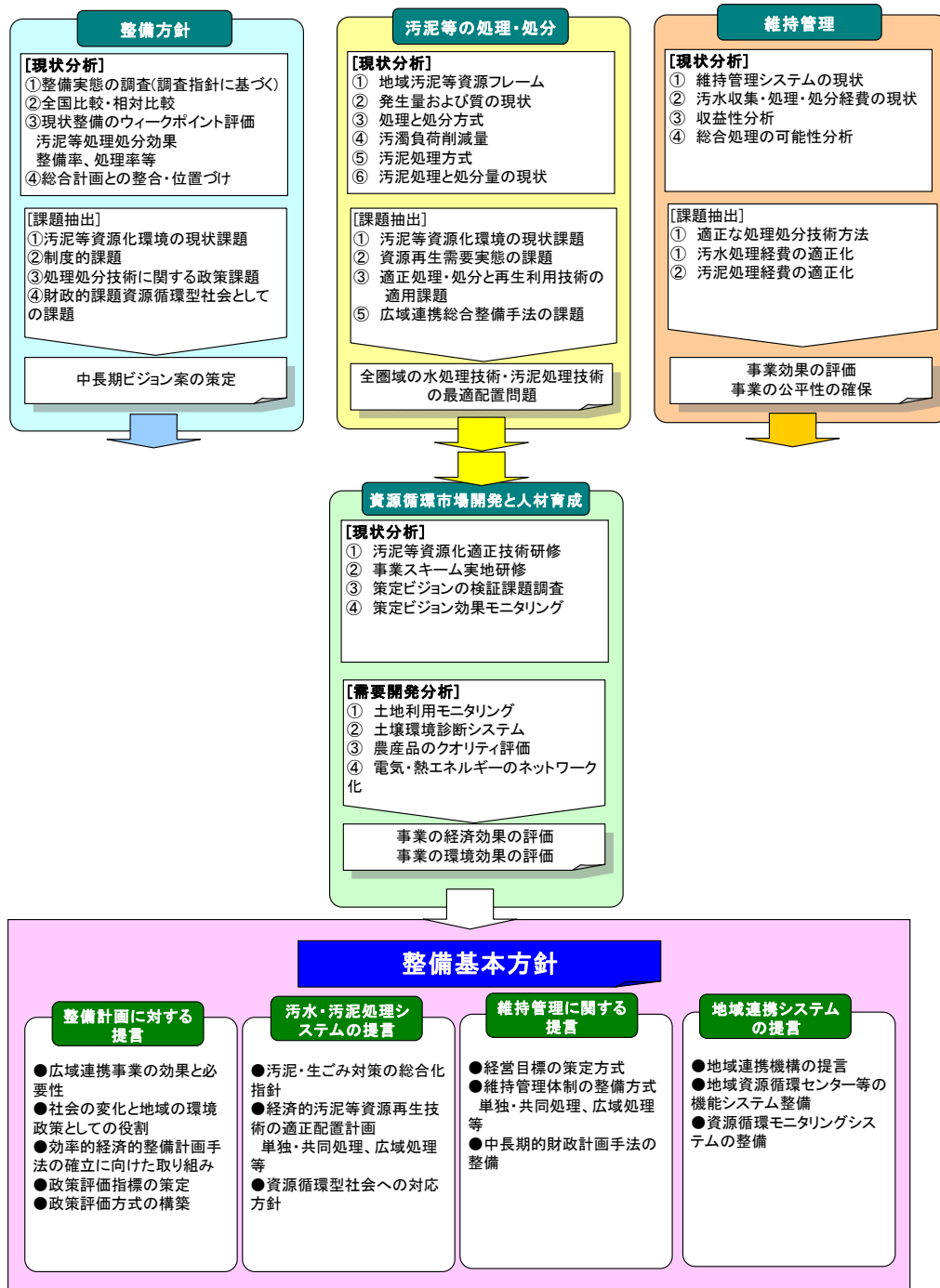


図 11.2.2 資源循環整備基本方針策定フロー

### 11.2.6 アジア地域資源循環社会国際協力事業(仮称)ロードマップモデル

地域資源循環整備システムをモデル地域で実践的に整備し、これをプラットフォームとして国際展開を推進するため下記のようなロードマップが提案される。

全体の事業構成は以下の三つの事業フェーズで構成される。

- 第Ⅰフェーズ：地域資源基礎調査(1～2年)
- 第Ⅱフェーズ：F/S事業調査(2年)
- 第Ⅲフェーズ：パイロット事業調査(2～3年)
- 第Ⅳフェーズ：資源循環地域実践モデル事業(5～7年)

#### (1) 第Ⅰフェーズ：地域資源基礎調査(1～2年)

地域の経済活動の特性についてその実態を把握するとともに、地域の下水汚泥等の有機汚泥を含めた地域バイオマスの発生および処理処分、利活用の実態を調査する。

その上で、資源循環システムの導入に関する基本的方向性を把握する。

なお、資源循環システムとは、マテリアル利用とエネルギー利用のバイオマス資源からの再生技術システムをいう。

#### (2) 第Ⅱフェーズ：F/S事業調査(2年)

(1)の調査結果に基づき、資源循環地域実践モデル拠点となる候補地域を選定し、複数の資源循環システム導入案を経済性や環境安全性、地球温暖化対策効果等の側面からシナリオ分析し、システム導入案の実行可能性を調査評価する。

#### (3) 第Ⅲフェーズ：パイロット事業調査(2～3年)

パイロット事業の目的は、資源循環技術の導入運転技能の習得と資源循環による地域経済への貢献度、環境保全効果等の定量的把握を目的とした計測化の技術調査を実地に行う。

#### (4) 第Ⅳフェーズ：資源循環地域実践モデル事業(5～7年)

現在中国で展開されている「エコシティ整備計画」等の各国で実施されている環境特区事業地域等において資源循環地域実践モデル事業を組み込み、具体的事業展開を行いつつ、拠点地域として、人材育成・交流拠点の整備、技術認証制度の創設、資源化製品の安全認証制度の創設等、資源循環事業のセンター的機能機関の整備も行う。

今後、亜臨界水処理技術をはじめとする資源循環型先進技術を投入した低炭素社会の事業モデルの具体化が望まれる。



## 資料編

### 附属資料 A 議事録

- (1) 第 1 回技術検討委員会
- (2) 第 2 回技術検討委員会
- (3) 第 3 回技術検討委員会

### 附属資料 B 収集資料リスト

### 附属資料 C バイオマス利活用のための要素技術の概要

- (1) 堆肥化
- (2) 飼料化
- (3) 資源の選別・回収
- (4) 生分解性プラスチック製造
- (5) 焼却・熱回収
- (6) 固形燃料化 (RDF・RPF)
- (7) ガス化
- (8) 炭化
- (9) バイオディーゼル燃料化 (BDF 化)
- (10) メタン発酵
- (11) エタノール発酵
- (12) 水蒸気加熱方式による固体燃料化

### 附属資料 D システム導入の経済分析

- (1) 中国都市汚泥資源化効益計算
- (2) 累積事業収益計算書

## 附属資料 A 議事録

### (1) 第1回技術検討委員会

日時：2010年（平成22年）4月2日 14:00～16:00

場所：国際協力機構（JICA）本部 6階会議室

出席者：

【委員】（所属は4月2日の段階）

松井三郎 京都大学名誉教授

吉田弘之 大阪府立大学特任教授

稲森悠平 福島大学教授（欠席）

松下 潤 芝浦工業大学教授

金谷年展 慶応義塾大学教授

杉浦則夫 筑波大学大学院教授

森 晶寿 京都大学大学院准教授

奥野長晴 滋賀県立大学名誉教授

野口基一 神奈川工科大学教授

藤木 修（財）下水道新技術推進機構下水道新技術研究所所長（次回以降に委嘱予定）

【JICA】

東・中央アジア部：神谷克彦次長、宮林由美子調査役、南アジア部：山本賢一課長、

地球環境部：森尚樹次長、田中氏

【糊日水コン】

加藤善盛、中田章雅、高島健一、松江龍南、斉藤秀仁

#### 1.主催者挨拶（神谷）

##### ・JICA 出席者の紹介

JICA からの出席者の紹介が行われた。

##### ・業務概要と委員会の位置づけ

「中華人民共和国汚泥等処理にかかる調査」の背景と主要目的の説明が行われた。この業務はNSCが受託して現地調査を含む実務が動きつつあるが、本委員会は左記の業務と並列の位置関係でJICAが主催して行うものであり、委員会事務局は東・中央アジア部に置くこととした。

##### ・座長要請と了解

神谷次長から松井委員への座長要請が行われ、他委員の賛同の下、松井委員が座長を務めることとなった。

#### 2.委員自己紹介

松井座長の要請により、各委員が自己紹介を行った。

### 3.資料説明（加藤）

中国の汚泥処理の現状に関する概要説明の上で、本業務のインセプションレポートの説明を行った。

### 4.議事

#### 4-1.調査について

##### ・奥野

本委員会において現段階で検証確認すべき事項として以下が挙げられる。

- ①湿式酸化などの他技術に照らした亜臨界水処理の優位性検証
- ②中国国内の他技術との比較による亜臨界水処理のメリットの明確化
- ③個別の企業・団体としての動きには無理があり、JICA（国）が中心となること

##### ・森

本件は、維持管理まで含めセットで売り込んでいく「ベオリア型」を想定しているか？亜臨界水処理の一号機が入ったとして、その後のシナリオを想定しておかないと、一号機をコピーされてそれで終わりになる。当面の技術導入に加え、継続的に維持管理に関わる]長期的シナリオが必要である。

##### ・加藤

森委員の指摘に関しては、第2回現地調査（大連）において数少ない日本のビジネスモデルの成功例のヒアリングを予定している。

##### ・松井

中国のマーケットリサーチにより採算分岐点を明らかにする必要がある。中国農業メジャーは土つくりの発想は無く、化学肥料を多用している。？

#### 4-2.実験について

##### ・吉田

資料説明で亜臨界水処理の実験方法が提示されたが、亜臨界水反応は僅かな条件設定の違いが大きな結果の相違につながる繊細なものである。この意味で昇温に時間を要する大規模なバッチ実験には疑問がある。本来的には小型バッチで当該試料に関する適正処理条件を探索し、大規模パイロットに移行することが安全である。

また、経済効果は汚泥の減量と、メタンガス発生量の両面で評価すべきと考える。

##### ・松井

分析については医薬品や環境ホルモンの一部を信頼のおける公的機関で分析することが望ましい。この技術を展開する上で重要なデータになると考えられる。

##### ・野口

ある公的分析機関から、協力可能性の示唆を受けている。具体化に向けて調整を進めることは可能である。

##### ・神谷

本件は、JICAが発注した「研究プロジェクト」とのスタンスで進めたい。これは政府の委員会ではなく、JICAの一業務に関するものである。どのような方法で分析を進めるのかはJICAの方で検討したい。

## ・杉浦

神谷次長にお願いしたいのは、行政としてのオーサライズである。

## ・神谷

行政のラインに乗せると、同じ作業を進めるのに非常に長い時間が必要となる。本件は時間制約が大きいため、環境科学院との研究ラインで進めたい。

## ・松井

国内試験は亜臨界水処理の処理条件を振って重金属の挙動について検証したい。

## ・奥野

温室効果ガスについても評価軸の一つにすべきである。

## 4-3.ワークショップについて

## ・奥野

ワークショップはJICAが主催されると思う。また、中国ではこのような会には意思決定者は通常は出てこない。今後の展開に向けて行政サイドから招聘措置を講ずることが考えられる。

## ・神谷

今回は前述のような「JICA主催の研究」という位置づけに徹したい。このため、行政として意思決定者を招聘するような措置は考えていない。ここでは、次の段階で何をすべきかの方向性を見出していくことが重要と思われる。

## 4-4.その他

## ・杉浦

バイオマスを専門とする中国出身の教授がおり、本委員会に追加推薦することを考えていたが、もう少し様子を見ることにしたい。

## 5.今後のスケジュール

- ・7月6日 ワークショップ（確定）
- ・第2回委員会：5月下旬を予定

**(2) 第2回技術検討委員会**

日時：2010年（平成22年）7月22日（木曜）11：00～12：30

場所：国際協力機構（JICA）本部 6階会議室

出席者：

## 【JICA】

東・中央アジア部	神谷克彦次長
東・中央アジア部 東アジア課	中里太治課長
東・中央アジア部 東アジア課	宮林由美子調査役
地球環境部 環境管理グループ	田中松生氏

## 【株日水コン】

加藤善盛、中田章雅、高島健一

## 1. 第4回現地調査結果報告

上記提出資料に基づき、主に日中共同ワークショップについて「開催主旨」、「開催結果の要約」、「質疑内容」などの説明を日水コンから行った。また、ワークショップの後に行った上海市石洞口污水处理場や上海市農業科学院の現地視察結果について報告を行った。この結果報告の要点は以下のとおりである。

## 1-1. ワークショップ開催主旨

以下の主旨でワークショップを開催した。

- ① 両国の汚泥等処理処分問題の現状認識とその共有化
- ② 両国の今後の新たなエンジニアリングソリューションの方向付けに関する新たな資源再生技術の相互理解
- ③ 両国の技術政策の一層の高度化に向けた協力体制整備と技術政策の方向付けの可能性

## 1-2. 開催結果の要約

## ① 出席者数

主要都市を中心に中国全土からの参加が得られ、合計で約50名（一般参加を含む、事務局は除く）の出席者数となり盛会となった。

## ② 基本構成

ワークショップは以下の3本柱を基本とし構成した。

- ・ 日本における汚泥等資源化の取り組み紹介
- ・ 「亜臨界水処理技術」の紹介及び本プロジェクト調査結果に関する中間報告
- ・ 汚泥等資源化技術（特に「亜臨界水処理技術」）に関する質疑応答および今後の展望に関する討議

## ③ 継続要望

討議の結果、「亜臨界水処理技術」に関する中国側の高い関心と理解を得られ、このような技術交流会の継続を要望する声が多く、好評を得られたものと思われる。

## ④ 成果

「亜臨界水処理技術」の具体的導入について、その推進に繋がる次のような糸口を見出すことができた。

- ・ 行政中心都市である北京における同様なワークショップの開催  
現在 JICA が実施中の下水汚泥処理処分マニュアル作成に係るプロジェクトを包括する内容で北京においてワークショップを開催していくことの意義が複数の参加者から提示された。
- ・ 上海市農業科学院との資源化技術開発連携  
本科学院は国家プロジェクト「低炭素型農業技術開発」を提案しており、その中核技術として「亜臨界水処理技術」の導入を考えたいとの意向が宋祥甫研究員から提示された。このためワークショップの翌日、現地を訪問して会談を行った。
- ・ MIO 社 (MIO ASSOCIATES CORPORATION) との連携  
滋賀で行われた環境展を契機として接点のあった MIO 社はフィリピンから遠路、一般参加していただいた。フィリピンにおける生活系および食品系廃棄物の資源化事業への「亜臨界水処理技術」導入可能性について会談を行い、事業化に向けた実施計画をフィリピン政府に要請していきたい旨の表明があった。

### 1-3. 質疑内容

主に「亜臨界水処理技術」に関する 11 件の質疑や意見提示が 9 名の中国側参加者から行われた。質問は「亜臨界水処理技術」のコストに係るものが多かった。日本側からの回答は中間評価、概算段階のものであることをお断りした上で、一定の数値をご提示したが、詳細は本ワークショップの議論を含めて検討を進め、追って正確な数値を提供していくこととした。

なお、質疑は活発であり、時間制約から座長判断により質疑時間を途中で打ち切らざるを得ない状況もあった。

### 2. 今後の展開に関する意見交換

「亜臨界水処理技術」の中国への展開に向けた課題、方向性などについて、以下のような意見交換が行われた。

#### 2-1. 技術のカスタマイズ

中国においてはメタン発酵施設が多く導入されており、その消化汚泥の熱量は濃縮汚泥に比べて低下している特性がある。このような現地特性に応じた技術のカスタマイズで、より使っていただき易い技術とすることが重要である。例えば、この場合には、濃縮汚泥に対して「亜臨界水処理技術」を適用してメタン発酵過程でのガス発生効率を高め、亜臨界水処理に要するエネルギーに活用するメリットや、メタン発酵槽更新負担を軽減するなどのメリットを謳うカスタマイズが想定される。

#### 2-2. 技術戦略（エンジニアリング）の重要性

中国における事業展開にあたっては、まずは使える技術であることを技術者、そして意思決定者に認識していただくことが第一である。このような技術的側面からの取り組みに加えて特許取得、商標登録などの法的防御措置を事前に整備し、模倣による損失を回避する基本条件とすることが重要である。

さらに、中国と日本では法律に関する感覚の相違があるため、上記の法的措置のみでは十分ではない。このため、事業の仕組みの面からも双方のメリットが継続できる措置を検討していく必要がある。

このような広範な視点で技術戦略を構築し、よい形で次の展開につなげていきたい。

### 2-3. 事業展開の選択肢

試案段階であるが、次のような選択肢が想定される。

プラントが現地に設置された場合には、A案の骨子であるリース方式にしても模倣される危険は避けられないため、継続的な事業維持のためにはB案が実際的と考えられる。

A案：日本技術の保全を優先することを目指し、「亜臨界水処理」プラントは日本からリース提供し事業が日本側の協力なしには進まないようにする。

B案：中国、日本が一体で共同事業を進める仕組みを初期段階で確認し、継続的に関係が維持されるようにする。

### 2-4. 事業の枠組み

中国の社会・経済情勢などを受け、「亜臨界水処理技術」などを軸とした汚泥等資源循環事業をわが国のODAで進めることは難しい面がある。海外投融资制度なども視野においた適切な枠組みの選択が重要である。

### 2-5. 事業に必要な連携

次のような各種機関の連携により、小規模の資源循環モデル事業を（まずは小規模で）具体化することが現実的と考えられる。

- ・ 事業スキームが構築可能な大学（学識経験者）、コンサル
- ・ 政府間の調整が可能な政府機関
- ・ 資本力のあるプラントメーカー
- ・ 「亜臨界水処理」の維持管理技術を有するメンテ会社

## 3. 次回委員会について

次回委員会は8月下旬実施を目処として、事務局（宮林調査役）で日程調整を進める。

日水コンは今回の報告会で議論した内容の背景をこれまでの調査結果から精査し、以下の事項の委員会審議が可能な資料を準備する。

#### 【主要審議課題】

- ① 技術検討委員会の継続の必要性とその背景
- ② 技術戦略（エンジニアリングベース）の必要性と中国における事業仕組みの提案
- ③ ビジネスモデルの具体的提案（事業実施者の想定ケースを含む）

**(3) 第3回技術検討委員会**

日時：平成22年8月27日（金）13：30～17：00

場所：国際協力機構（JICA）本部

出席者：

**【委員】**

京大名誉教授： 松井三郎、滋賀県立大名誉教授： 奥野長晴、大阪府大特任教授：  
吉田弘之、京大准教授： 森晶寿、神奈川工科大客員教授： 野口基一

**【JICA】**

東・中央アジア部： 北野尚宏部長、東アジア課 中里太治課長、宮林由美子調査  
役、南アジア部南アジア課： 山本賢一課長、地球環境部： 森尚樹次長、

【(株)日水コン】加藤善盛、中田章雅、高島健一、松江龍南、斉藤秀仁、前田千夏、

第3回技術検討委員会の議事概要は以下のとおりである。

討議及び指摘事項	該当箇所
1 バイオマスタウン構想での下水汚対応都市の網羅について、柏崎市、 珠洲市、留萌市について確認	3章
2 汚泥等の統計の網羅について し尿処理関係の統計資料を追加するものとする。	4章
3 中国現地ヒアリング調査結果 ①高碑店処理場の消化施設の技術提供国について ②高碑店処理場の消化槽を使っていない現況の解釈について 高碑店処理場のメタン発酵ガス発生率の低さが有機物含有率の低 さにあると推定。脱水性の良さと関連か? ③ 訪問下水処理場の流入水質データを補強すること。 ④ 上海市ごみ埋立処分場の外国資本(ベオリア)管理について情報 追加が望ましい。	
4 大連市の BOT 事業の状況について ・日本企業の苦戦の理由等について論議	5章
5 実証試験 汚泥提供処理場名の具体的記載を避けることについて了解	7章
6 重金属の分析結果について議論 ① 分析方法について意見交換 ② 重金属項目により、抽出用酸が異なるのでそれぞれ記載が望まし	



重要な成果である。

- 7 バッチ式亜臨界水処理法の特質について
  - ① 原料の含水率特性について確認があった
  - ② 投入量や、反応後の減圧、排ガス回収、1 バッチのサイクル時間等の処理条件確認
  
- 8 経済性の評価について 8 章
  - ① コスト比較として、建設費・維持管理のトータル比較を確認
  - ② コスト計算の基礎数値を明記のこと
  - ③ 評価方法としてCO<sub>2</sub>取引価格も考慮した経済益の比較を入れること。
  - ④ CO<sub>2</sub>削減のベースラインの設定は汚泥消化安定化までとして比較のこと。
  
- 9 ワークショップ開催の評価
  - ① 亜臨界水処理技術についての理解について確認された
  - ② ワークショップ開催を一時的なイベントとして終わらせないための意見交換があった。
  
- 10 連続式亜臨界水処理技術(長崎市西部下水処理場)の商用発売記事の紹介があった。
  
- 11 亜臨界水反応技術を導入して何ができるかを明示のこと—エネルギー自立型になる、生ごみ等の混入により収益性が増す等。
  
- 12 章構成について  
9 章 技術移転マニュアルは技術に特化し、構想検討は提案事項に振り分けのこと
  
- 13 教育・人材育成等の事項を追加のこと

## 附属資料 B

## 収集資料リスト List of Gathered Materials

番号	資料の名称	形態	版型	ページ数	オリジナル・コピーの別	部数	収集先名称又は発行機関	寄贈・購入の別
Serial No.	Title	Type	Size	Page No.	Orig/Copy	No.	Provided or Issued by	Presented/Purchased
1	中国農村統計資料、2008	本	B5	236	オリジナル	1	中国農業出版社	購入
2	中国都市統計年鑑、2009	本	A4	488	オリジナル	1	中国統計出版社	購入
3	北京農村年鑑、2009	本	A4	389	オリジナル	1	中国農業出版社	購入
4	天津統計資料、2009	本	A4	170	オリジナル	1	中国統計出版社	購入
5	環境管理に関する国家基準集	本	A4	250	オリジナル	1	中国標準出版社	購入
6	表流水に関する基準規格及び法律法規集	本	A4	594	オリジナル	1	中国標準出版社	購入
7	生活ゴミ処理及び資源化技術マニュアル	本	A4	1104	オリジナル	1	冶金工業出版社	購入
8	工業固形廃棄物の処理及び再利用	本	B5	404	オリジナル	1	中国環境科学出版社	購入
9	北京市地方環境保護基準集	本	A5	478	オリジナル	1	中国標準出版社	購入
10	中国環境保護基準全書 2007-2008 (上)	本	A4	892	オリジナル	1	中国環境科学出版社	購入
11	中国環境保護基準全書 2007-2008 (下)	本	A4	919	オリジナル	1	中国環境科学出版社	購入
12	中国環境統計年鑑、2009	本	B5	294	オリジナル	1	中国統計出版社	購入
13	都市汚泥資源化技術の進展	本	A5	180	オリジナル	1	化学工業出版社	購入
14	北京市市政工程設計研究総院、受注工事及びプロジェクト管理	本	A4	57	オリジナル	1	北京市市政工程設計研究総院	寄贈
15	汚染環境植物修復の原理と方法	本	B5	289	オリジナル	1	科学出版社	購入
16	農業環境汚染防止技術	本	A6	96	オリジナル	1	中国農業出版社	購入
17	十一五水汚染防止計画研究報告	本	A4	204	オリジナル	1	中国環境科学出版社	購入
18	農村環境汚染防止	本	A4	115	オリジナル	1	中国社会科学出版社	購入
19	滇池富栄養化及び総合的対策研究	本	A4	342	オリジナル	1	海洋出版社	購入
20	土壌重金属の植物汚染化学	本	B5	244	オリジナル	1	科学出版社	購入
21	汚泥の農業用規制基準 (GB 4284-84)		A4	2	コピー	1	建設部	寄贈
22	都市下水処理場の汚染物排出基準		A4	12	オリジナル	1	環境総局	寄贈

番号	資料の名称	形態	版型	ページ数	オリジナル・コピーの別	部数	収集先名称又は発行機関	寄贈・購入の別
Serial No.	Title	Type	Size	Page No.	Orig/Copy	No.	Provided or Issued by	Presented/Purchased
	(GB18918-2002)							
23	都市下水処理場汚泥処分 緑化用基準 (CJ/T 248-2007)	本	A4	5	オリジナル	1	住宅都市農村建設部	購入
24	生活ゴミ埋立処分場の汚染規制基準 (GB16889-2008)		A4	17	Download	1	環境保護部	
25	都市下水処理場汚泥質 (GB 24188-2009)		A4	6	コピー	1	環境保護部	寄贈
26	都市下水処理場汚泥処分 分類 (GB/T 23484-2009)	本	A4	2	オリジナル	1	中国国家標準化委員会	購入
27	都市下水処理場汚泥処分 混合埋立基準 (GB/T 23485-2009)	本	A4	5	オリジナル	1	中国国家標準化委員会	購入
28	都市下水処理場汚泥処分 緑化用基準 (GB/T 23486-2009)	本	A4	6	オリジナル	1	中国国家標準化委員会	購入
29	都市下水処理場汚泥処分 土壌改良用基準 (GB/T 24600-2009)	本	A4	5	オリジナル	1	中国国家標準化委員会	購入
30	都市下水処理場汚泥処分 焼却用基準 (GB/T 24602-2009)	本	A4	6	オリジナル	1	中国国家標準化委員会	購入
31	都市下水処理場汚泥処分 煉瓦用基準 (CJ/T 289-2009)	本	A4	5	オリジナル	1	住宅都市農村建設部	購入
32	都市下水処理場汚泥処分 農地用基準 (CJ/T 309-2009)	本	A4	5	オリジナル	1	住宅都市農村建設部	購入
33	都市下水処理場汚泥処分 セメント・クリンカー生産用基準 (CJ/T 314-2009)	本	A4	5	オリジナル	1	住宅都市農村建設部	購入
34	中国汚泥処理に関する調査報告書	本	A4	173	オリジナル	1	環境保護部環境計画院	寄贈
35	都市下水汚泥の乾燥新技術-焼却モデル事業研究	論文	A4	7	Download	1	北京市環境保護科学研究所	Download
36	中国における下水汚泥処理の現状分析	論文	A4	2	Download	1	お茶の水女子大学大学院	Download

番号	資料の名称	形態	版型	ページ数	オリジナル・コピーの別	部数	収集先名称又は発行機関	寄贈・購入の別
Serial No.	Title	Type	Size	Page No.	Orig/Copy	No.	Provided or Issued by	Presented/Purchased
37	中国における下水汚泥処理処分の現状	論文	A4	4	コピー	1	月刊下水道	
38	中国における汚泥処理にかかる規制強化の動き	レポート	A4	3	Download	1	NEDO レポート	
39	再生可能エネルギー法 (2005)		A4	6	Download	1		
40	循環型経済促進法 (2008)		A4	14	Download	1		
41	飼料衛生基準 (GB13078-91)		A4	3	コピー	1		寄贈
42	土壤環境基準 (GB15618-1995)		A4	3	コピー	1	環境総局	寄贈
43	中国環境統計年鑑、2005	本	B5	1	コピー	1	中国統計出版社	寄贈
44	中国環境統計年鑑、2006	本	B5	1	コピー	1	中国統計出版社	寄贈
45	中国環境統計年鑑、2007	本	B5	1	コピー	1	中国統計出版社	寄贈
46	中国環境統計年鑑、2008	本	B5	1	コピー	1	中国統計出版社	寄贈
47	下水汚泥処理コスト	資料	A4	2	コピー	1	北京市市政工程設計研究総院	寄贈
48	北京市におけるレストランゴミ管理対策に関する検討	論文	A4	4	コピー	1	環境衛生工程	寄贈
49	中国天津市における環境意識調査と生活ごみ処理状況の評価	論文	A4	7	Download	1		
50	ごみ資源化利用技術の研究	論文	A4	15	Download	1		

## 附属資料C バイオマス利活用のための要素技術の概要

### (1) 堆肥化

#### 1) 堆肥化技術の概要

堆肥化は、処理対象バイオマスを好気性発酵し、分解しやすい有機物を緑農地利用に適した安定した性状にするとともに、発酵熱によって病原菌や寄生虫、雑草種子類等を死滅させ、衛生的かつ安全なものにするものであり、旧来から一般的に行われてきた技術である。

堆肥化の方法は、①主な装置である発酵装置の方式や構造等、②通気、切返し、混合、移送機構等、③もみ殻や稲わら等堆肥製品の成分調整に有用な副資材を使用するかどうか等の条件によって分類できる。堆肥方式の機械装置面からの分類例を図C.1に示す。

各種堆肥の成分は、原料及び副資材の種類、量、製造方式によって大きく異なる。畜ふん堆肥の肥料成分含有率は、鶏ふん由来が最も高く、牛ふん由来は低く、豚ふん由来がその中間にある。生ごみ堆肥では、窒素1～6%、リン酸0.5～5%、カリ0.2～3%と変動幅が大きい。汚泥堆肥では、窒素は家畜ふん堆肥よりも高く、リン酸は家畜ふん堆肥と同程度含まれるが、カリは低濃度である。

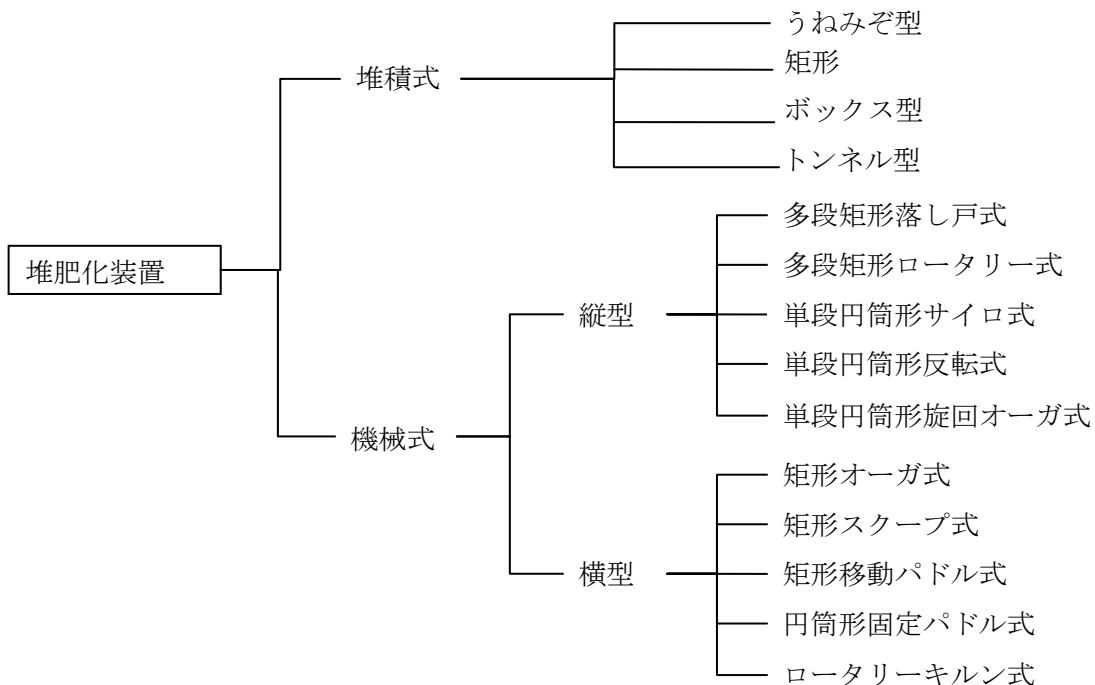


図 C.1 堆肥装置の分類例

最近では、用地の確保が困難であることや制御性の良さから、堆積式よりも、機械式で強制通気を行い、臭気対策や熱効率の向上の点から密閉式が多く採用されている。

堆積式の新しい方式として、バイオトンネル方式があり、密閉型構造のバイオトンネルでの好気性発酵により、バイオマスの堆肥化を図る方式で、送気量及び脱臭工程（バイオフィルター）の制御システムに特徴がある。維持管理が容易で、西欧での実績が多くあり、施設設置面積の制約がない地域には優れた方式である。

形式選定においては、設置スペース、経済性、制御性、運転管理の容易さ、安定性と併せて、臭気対策、閉塞時の対処方法を勘案して決定する必要がある。

基本技術は既に確立されているが、今後は大型化、処理の高速化、臭気の防止、省力化等の改良が進むものと予想される。

#### ア 対象バイオマス

家畜排せつ物、生ごみ、排水処理汚泥、剪定枝等

#### イ 製品利用の形態（利用形態）

- a. 肥料 → 農地還元
- b. 土壌改良剤等 → 農地還元

#### ウ 処理フロー

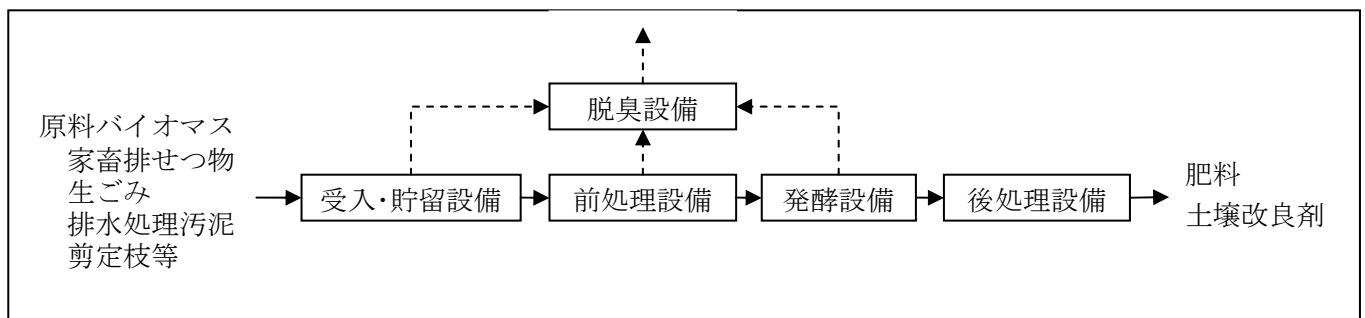


図 C.2 堆肥化システムの処理フロー例

#### 2) 高速堆肥化施設

高速堆肥化施設は、生ごみを中心とする有機物を好気性条件下で微生物によって生物化学的に分解させることにより、有用な堆肥（コンポスト）を生成して資源化を図ることのできる施設である。

高速堆肥化施設に投入できるごみは厨芥類などの有機分のみで、処理対象物にガラス類、金属類、プラスチック類等が含まれると堆肥中にそれらの一部が除去されずに異物として残存し、堆肥の品質を著しく低下させることとなるため、生ごみの分別収集の徹底、水分調整のための副資材の入手という安定した原料の確保、生産された堆肥の需要先確保が必要であり、収集・運搬体制の再編成等も課題となる。

また、有機分以外のごみは処理できず、残渣の処理を行うため、ごみ焼却施設との併用整

備が必要である。建設実績は小規模な施設が多い。

堆肥の利用に関して、熟成期間中は施設内に貯蔵しておくことは可能であるが、熟成期間を超えた期間、施設内に貯蔵しておくこととなると、広大な用地を必要とすることになるため、あらかじめJAなどの堆肥納入機関との連携を図り、円滑な供給と貯蔵体制を確立する必要がある。

## (2) 飼料化

### 1) 食品残渣の特徴と飼料化

食品産業等から排出される動植物性残渣は、高蛋白源やカロリー源を含んでおり、家畜、家禽、愛玩用哺乳動物の飼料や、魚介類、愛玩用鶏鳥類の餌料として有効利用できるものが多く、蛋白質の多いものを濃厚飼料、少ないものを粗飼料という。

しかし、食品残渣は、多くの水分を含み腐敗して品質が劣化しやすく、まとまった量が安定的に回収しにくいこと、栄養的なバランスや安定性に欠けていること、また配合飼料や輸入とうもろこしと比べて価格優位性がない場合もあること、さらに食品の流通段階や消費段階で発生するものは異物が混入すること等のため衰退してきたが、堆肥化よりは経済的に有利であり、食品廃棄物のリサイクル、国内の飼料原料の自給率向上という観点から、飼料化の促進が求められている。

なお、BSE 問題もあり反芻動物である牛の飼料としては使用できないため、主として養豚、養鶏の飼料となっている。

表 C.1 食品系残渣の飼料化資源の区分と特性

発生源	残渣の種類	飼料化の例	資源としての特性
畜産業	肉片、内臓、獣骨、羽毛等	ボーンミール・プラントで加熱蒸煮処理（飼料、獣油、ゼラチン等）	大量に安定供給されるのでまとまった扱いが可能 蛋白質等の栄養成分が豊富
水産業	斃死魚、斃死貝、貝殻	フィッシュミール・プラントで加熱蒸煮処理（飼料、肥料、魚油等）	蛋白質やカルシウムの多い飼料が得られる
食品製造業	食品加工くず、絞るかす等	加熱乾燥 脱水乾燥 発酵処理 液状処理	品質、内容が明らかで、大量に安定供給されるのでまとまった扱いが可能 水分が高く品質が劣化しやすい
給食産業、外食産業、レストラン	調理くず、食べ残し		異物混入、品質劣化を起しやすく、栄養成分も様々 大量に安定供給されるものは利用が容易
スーパー、コンビニ	調理くず、売れ残り、回収弁当等		発生源によって利用可能なものは限定的。
一般家庭	調理くず、食べ残し、果物の皮、廃食品等		腐敗物や異物の混入が多く、各家庭によって内容等が多様で少量ずつ発生

## 2) 飼料化技術

食品廃棄物を飼料化するためには、飼料としての品質を安定させる必要があり、食品残渣を乾燥させて水分率を10～30%程度の粉末の飼料する方法と、乾燥させずに液状の飼料(リキッドタイプ)にする方法がある。乾燥する方法は、加熱乾燥させるものと、発酵菌を投入して発酵乾燥させるタイプがある。発酵菌を利用する場合は発酵熱で水分が蒸発することもあり、乾燥のためのエネルギーが加熱乾燥型と比べ少なくて済む。

また、リキッドタイプは、乳酸発酵させることにより変質しないようにしたものであり、乾燥させないためにエネルギー消費量は少なくて済むが、給餌する場合に専用の給餌システムが必要となる。

## 3) レンダリング・プラント

屠畜場、食肉センター等から排出される獣肉、獣骨を対象にした施設はボーンミール・プラント、水産加工場等の斃死魚、斃死貝を対象にした施設はフィッシュミール・プラント、これらを総括してレンダリング・プラントと呼ばれており、加圧蒸煮後、飼料や油脂等を製造している。

また、カキ養殖などで排出される斃死貝や真珠養殖の肉付きの貝殻などは、そのまま破碎、乾燥して、蛋白質やカルシウムの多い養鶏用飼料にすることも行われている。

## 4) 飼料化の事例

札幌市では、市内事業所の厨芥残渣を、飼料化リサイクルセンター(処理能力50トン/日)油温減圧脱水乾燥により飼料化し、配合飼料の原料として販売している。

横浜市では、市内の小学校、食料品店、社員食堂等から排出された生ごみを、有機リサイクル協同組合の食品残渣飼料化施設(処理能力15トン/日)で加温乾燥により飼料化し、市内養豚農家向け飼料として使用している。飼育された豚は「はまぼーく」というブランドで市内スーパーなどで販売されている。この事業は市が全体計画をコーディネートする形で、市内の養豚農家や食品リサイクル法の施行に合わせて事業化した民間の飼料化業者の連携で行われている。

また、麺類、残飯等を酵母や乳酸菌によって発酵させたり、残飯等を煮沸、攪拌して給餌する液状処理や、パンくずを乾燥処理して腐敗しにくい原料とするなどの取り組みも行われている。

なお、米ぬかなど保存性のよいものは配合飼料の原料に使われるが、豆腐かす、醤油かす、コーヒーかすなどは1カ所での排出量が少なく、変質もしやすいので、その原料にするためには工夫を要するといわれている。



### (3) 資源の選別・回収

資源の選別・回収のため、前処理として、または中間処理の過程で破碎、選別等の技術が用いられる。

#### 1) 破碎

廃棄物のリサイクルのため、選別に先立ってあらかじめ、ばらばらに破碎し、分別可能な状態とする予備操作が行われることが多い。破碎は、体積をへらす、複合物を分離する、表面積を大きくして反応を促進するなどの目的のために行われ、選別のための破碎は、単に材料の寸法を小さくするというよりは、廃棄物を構成する各種材料を成分別の単体に切り離し分離、分散させるのが目的である。

破碎機は、機能によって圧縮式破碎機、衝撃式破碎機、せん断式破碎機、衝撃せん断併用式破碎機等に分類されたり、形式によって切断式破碎機（縦型、横型）、回転式破碎機（低速、高速）に分類される。

#### 2) 選別

選別は、破碎された廃棄物の大きさを揃えるためや、複合成分から有価物を分離・回収するための操作として行われる。

選別装置は、粒径のような破碎物性状の違いを利用したり、比重、磁気特性、光学的性質など素材の特性を利用した様々な形式のものがあるが、対象物によっては人力による選別（手選別）が行われることもある。

主な機械選別装置として以下のような種類があり、そのほか、各種センサーや識別ソフトの向上により、ガラスびんのサイズと色を識別する「ガラスびん自動色選別装置」、プラスチックボトルの塩化ビニール部分を除去するなどの材質別選別を行う「プラボトル自動選別機」、メタン発酵等の前処理として一般廃棄物から厨芥類を選別する「生ごみ簡易機械選別装置」等も開発されている。

ふるい選別機	——	振動ふるい選別機
	——	回転型トロンメル
比重差選別機	——	風力選別機
	——	水力選別機
磁気選別機	——	磁力選別機
渦電流選別機	——	アルミ選別機

#### 3) 水溶化処理による選別

使用済み紙おむつのリサイクルに用いられている方法である。使用済み紙おむつを破碎した後、塩化カルシウムを投入したポリマー分解槽で、高分子吸水ポリマーを塩化カルシウムによってモノマーに分解して水溶化する。その後、ビニールはビニール掻き揚げ装置で分離回収し、ポリマー分解槽の汚水をスクリーンにとおすことでパルプ成分を分離し、分離したパルプ成分は清水で洗浄後、脱水機で脱水し、再生パルプとして回収される。また、

回収されたビニールも固形燃料化することで利用可能である。

#### (4) 生分解性プラスチック製造

生分解性プラスチックとは、通常のプラスチック製品と同様に使用できるが、使用後は自然界の微生物や分解酵素によって水 (H<sub>2</sub>O) と二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) に分解されやすいプラスチックの総称である。これに似たものでバイオマスプラスチックがあるが、生分解性プラスチックは、生分解性が認められれば化石資源由来でもよいのに対し、バイオマスプラスチックは生分解性の如何にかかわらずバイオマスを起源にしたものを基本的に意味する。分かりやすくするために、表 3.2.4 に生分解性プラスチックとバイオマスプラスチックの違いを整理した。

バイオマス由来である生分解性プラスチックには、「化学合成型」、「微生物合成型」及び「天然高分子型」がある。

「化学合成型」の例としては、とうもろこし等のでんぷんを糖化、乳酸発酵して得た乳酸を、高分子にする段階で化学合成するポリ乳酸 (PLA) がある。

「微生物合成型」は、微生物にバイオポリエステルやバクテリアルセルロース等の高分子化合物を生産させて得られる。

「天然高分子型」は、バイオマスに含まれるでんぷん、セルロース、キトサン等を直接原料とするものである。

バイオマス由来の生分解性プラスチックは、現状ではプラスチック材料としての機能性向上や生産コストの低減が課題であるといわれている。

表 C.2 生分解性プラスチックとバイオマスプラスチックの違い

原料	石油系プラスチック	バイオマスプラスチック
生分解性なし	ポリエチレン (PE) ポリプロピレン (PP) ポリスチレン (PS) ポリ塩化ビニル (PVC) フェノール樹脂等	PPT* <sup>1</sup> 大豆ポリオール ポリウレタン* <sup>2</sup>
生分解性あり	脂肪族ポリエステル 脂肪族／芳香族ポリエステル	ポリ乳酸 (PLA) 澱粉樹脂 PHA* <sup>3</sup>

\*1 発酵法で得られる 1,3 プロパンジオールと化石資源由来のテレフタル酸ポリエステル

\*2 大豆油由来のポリオールを原料とするポリウレタン

\*3 微生物が生産するポリエステル

#### ア 対象バイオマス

- とうもろこし、大豆、米等のでんぷん系バイオマスや、セルロース（植物系）、キトサン（甲殻類）等の天然高分子
- イ 製品利用の形態（利用形態）
  - 衣料、繊維資材、農業資材、包装材、ごみ袋、レジ袋、紐類、日用雑貨品等
- ウ 処理フロー

バイオマス由来の生分解性プラスチックで、商業化されているポリ乳酸を原料にした生分解性プラスチックの処理フローは次のとおりである。

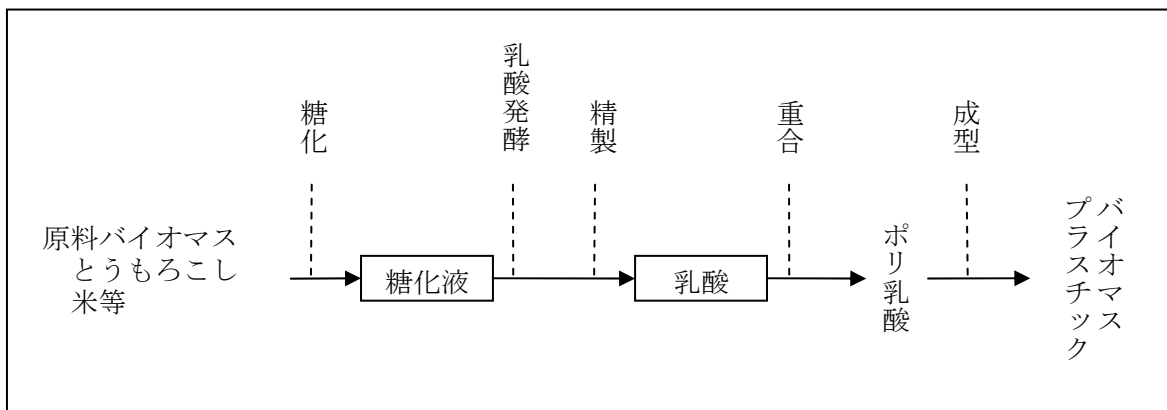


図 C.3 バイオマスプラスチック化システムの処理フロー例

#### (5) 焼却・熱回収

廃棄物の焼却（燃焼処理）は、廃棄物の減量化、無害化、安定化効果が高く、最も一般的なごみ処理技術である。しかし、排ガス等の環境負荷が問題となることが多く、資源化効果が低いため、従来の燃焼によるもののほか、燃焼残さである灰分を資源化する熱分解、溶融等の技術が実用化され普及が進んでいる。

廃棄物燃焼施設における循環的利用としては、燃焼熱の回収による発電や熱利用と、焼却灰や集じん灰等の焼却残さを溶融スラグやエコセメントなどの土木資材として再生利用する方法がある。廃棄物発電および熱利用は、太陽光・風力・バイオマス・その他未利用エネルギーとともにわが国のエネルギー政策において新エネルギーとして位置付けられており、廃棄物処理のほか化石燃料依存度の軽減に貢献することが期待されている。

#### 1) 廃棄物焼却・溶融施設の種類

##### ① 焼却施設

焼却処理は、約 850℃以上の温度で廃棄物を処理するもので、各種の処理方法の中で減容効果が大きく、しかも有機性成分を燃焼することによって、安定した無機物を生成し、病原性生物を高温処理によって死滅させることができ、ごみの安定化・無害化の意味でも優れた技術で実績も多い。

また、焼却処理により発生する熱源は、熱エネルギーとして有効利用することができ、発

電や温水・蒸気利用などのサーマルリサイクルが行われている。

## ② 焼却灰溶融施設

ごみ焼却施設から排出される焼却残さ（焼却灰）を高温で溶融することにより、焼却残さの安定化、無害化、減容化を図る施設である。生成物である溶融スラグは資源として再利用することができ、溶融飛灰は、無害化のための固化処理を行ってから埋立処分される場合が多い。焼却残さのうち、焼却主灰（ボトムアッシュ）及び飛灰（フライアッシュ）の両方を処理する場合と、飛灰だけを処理する場合がある。

現在、溶融スラグの利用方法は、路盤材の副資材、土地改良材、建設材料等、広い分野で開発研究されているものの、スラグの市場確保が大きな課題となっている。

## ③ 熱分解ガス化溶融施設

熱分解ガス化溶融施設は、1,300～1,400℃の高温でごみを溶融することによりごみの焼却と灰溶融を一体的に行う施設で、ごみ焼却施設と灰溶融施設の組み合わせに比べ減量化・資源化効果が高い。

生成物は、処理過程で回収される金属等のほか、溶融スラグ（資源化対象物）と溶融飛灰（埋立対象物）である。溶融スラグは、灰溶融施設におけるスラグと同様に、資源化が可能な性状ではあるが、市場開拓等の課題がある。

また、溶融処理により発生する熱源は、熱エネルギーとして有効利用することができ、発電や温水利用などのサーマルリサイクル効率の向上が可能である。

ごみ焼却・溶融施設の種別を図 C.4 に示す。

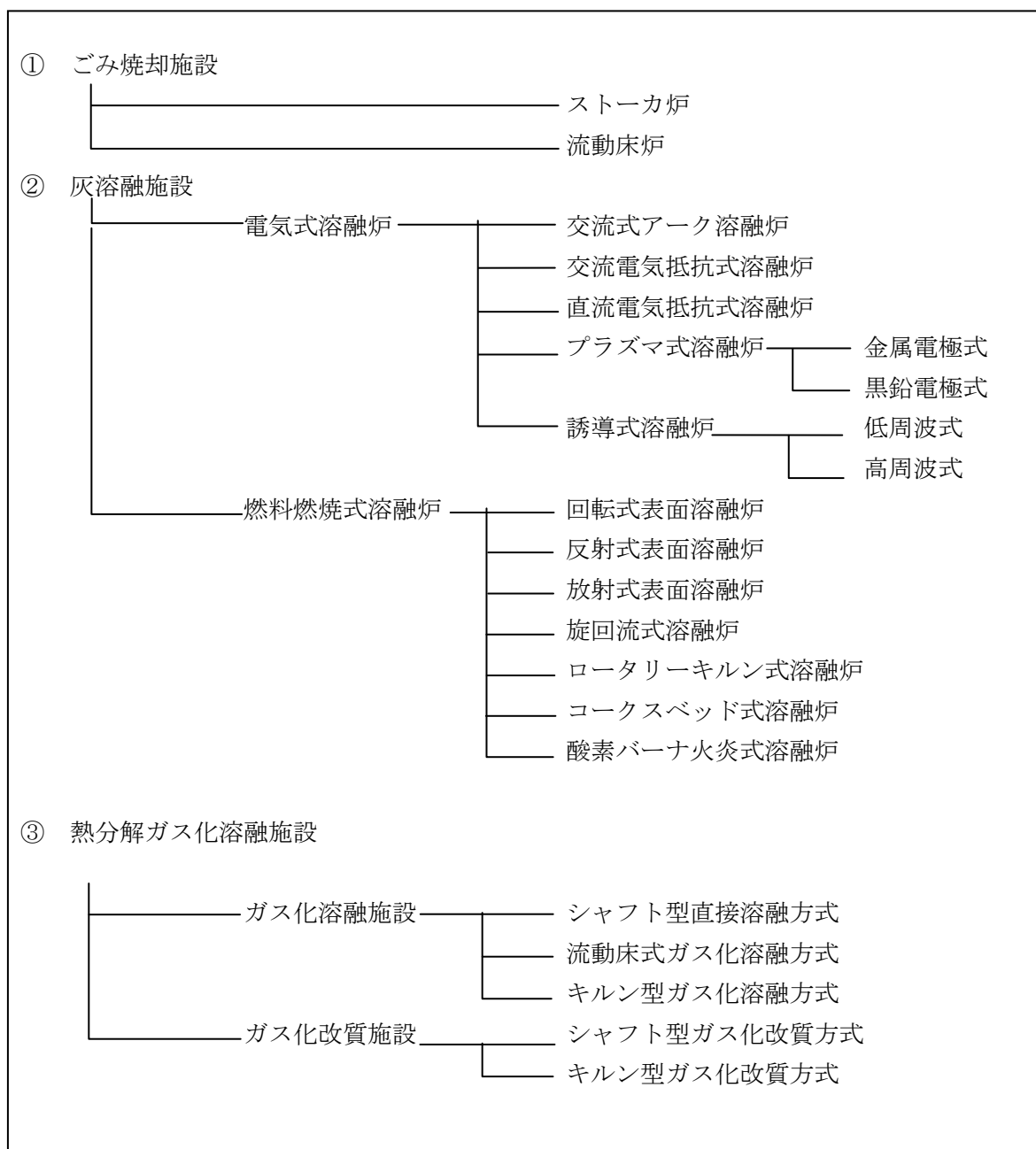


図 C.4 ゴミ焼却・溶融施設の種類

2) ゴミ発電・熱利用

ゴミ発電は、ゴミ焼却時に発生する高温の排ガスを廃熱ボイラに導き、約 300℃の過熱蒸気を発生し、蒸気タービン・発電機を回転させ、発電するシステムである。しかし、従来のシステムでは、ゴミに含まれる塩素分等により、過熱蒸気温度を 300℃以上にすると、焼却炉ボイラの過熱管が腐食の恐れがあるため、蒸気温度を上げることができず、発電効率が 15%以下となっている。

エネルギーの有効利用、あるいは省資源の観点から、ごみの持っているエネルギーを最大限活用するために、ごみ発電の高効率化に向けた取り組みが活発化しており、以下のような技術が実用化され、発電効率 25～30%の施設も実現している。

- 1 ボイラ蒸気条件の向上（圧力 40kg/cm<sup>2</sup>、温度 400 クラスの実用化）
- 2 再生サイクル（蒸気タービンの抽気蒸気を利用した給水の予熱）
- 3 タービン排気熱の低減、回収（水冷式復水器、ヒートポンプの採用）
- 4 再熱サイクル（再熱タービンの採用）
- 5 スーパーごみ発電（蒸気タービンとガスタービンの組み合わせ）

ごみ燃焼施設における発電以外の熱利用として、温水または蒸気の利用があり、排ガス煙道に温水発生器、熱交換器を設置して施設内での給湯・暖房や場外への熱供給が行われている。

#### (6) 固形燃料化（RDF・RPF）

固形燃料化は、廃棄物を破砕・乾燥し、不燃物、鉄、アルミを除去し、圧縮成型して固形燃料を製造する技術であり、一般廃棄物の可燃ごみから製造される RDF と、紙及びプラスチック等を原料とする RPF がある。

##### 1) RDF（ごみ固形燃料）

可燃ごみを、破砕、乾燥後、消石灰を加えて成形して固形燃料（RDF）とする施設である。処理対象物としては、従来、木くず及び紙くずを中心としてきたが、プラスチック類や厨芥類も対象とすることができる。焼却施設における即時的な熱回収と違い、貯留、運搬が可能で、別の場所でボイラ等の固形燃料として利用したり、広域処理施設での大規模発電を行うことができる。

RDF は 1 kg あたり約 4000～5000kcal と通常の一般廃棄物の 2 倍の発熱量を有し、また、加工の段階で有害物質の除去が可能になるため排ガス処理対策が講じやすいという長所がある。さらに、固形状であるため取扱いが容易で、通常のトラックでも搬送が可能であり、乾燥しているため防臭性、貯蔵性に優れた燃料となる。

RDF 化施設は、小規模な自治体で構成され、施設の集約化による効果が薄い広域ブロックなどで採用されている。

ごみの RDF 化は、金属類、軟質ごみ等の不適物を除くすべての燃やせるごみが処理可能であるが、処理不適物は分別収集により焼却処理または埋立処分を考慮する必要がある。

RDF 化処理の特徴をメリット及びデメリットに分けて整理すると次のとおりである。

## [メリット]

- ・ ごみ焼却施設と比較すると、焼却工程がないことにより排ガス量が少なく、高い煙突が不要である等、立地場所における環境負荷が少なく、景観的に有利であることから、建設に対する地域住民の理解が得られ易いものと考えられる。
- ・ 現在、未利用の廃棄物エネルギーの有効利用が可能となる。
- ・ 製造された固形燃料を公共施設や民間企業等の代替燃料として使用することにより、二酸化炭素の総排出削減効果があり、環境負荷の低減が図られる。

## [デメリット]

- ・ 固形燃料化施設は、製造された固形燃料を継続的に利用できる体制（流通も含む。）を確立する必要がある。
- ・ 通常のごみ焼却施設と比較し処理工程が複雑化し、エネルギー消費量が多くなる。
- ・ 固形燃料化に適さないごみに対しては、別途処理が必要である。
- ・ 固形燃料を利用する施設には、ごみ焼却施設と同程度以上の公害防止装置を備え、継続的に一定量を引き取れる確証が求められる。

**2) RPF（廃棄物由来の紙及びプラスチック等固形化燃料）**

主に産業廃棄物のうちマテリアルリサイクルが困難な古紙や（塩化ビニルを除いた）廃プラスチックを破碎し鉄を除去した後、圧縮成型したものは RPF（Refuse Paper & Plastic Fuel：廃棄物由来の紙及びプラスチック等固形化燃料）と呼ばれている。RPF は、一般廃棄物由来の可燃物を原料とする RDF に比べて、発生履歴の明らかな産業廃棄物等を使用しているため、乾燥工程が不要であり、製造プロセスが簡単になるという利点がある。また、古紙や廃プラスチックの混合比率を調整することにより、約 5,000～10,000kcal の発熱量を得ることができ、石炭やコークス等化石燃料の代替として、製紙メーカーや鉄鋼メーカー等の需要が大きい。

## (7) ガス化

ガス化とは、バイオマス固体原料を燃焼しないように酸素の不足する環境で 800～1000℃程度まで加熱し、熱分解と化学反応によりガス燃料又は化学原料ガス（合成ガス）に変換するプロセスをいう。ガス化形式は、200 種に及ぶといわれ、表 3-3-1 の条件因子の組合せで分類される。

生成するガス化ガス中の可燃ガス成分は、一酸化炭素（CO）、水素（H<sub>2</sub>）、炭化水素（C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>）であり、組成の違いにより発熱量は、直接ガス化ガスで 4～12MJ/m<sup>3</sup>、間接ガス化ガスで 13～20MJ/m<sup>3</sup> である。システムの構成は主に、前処理部、ガス化炉、ガス精製部、発電部からなっている。

代表的な方法は、常圧・直接ガス化であり、ガス化炉は固定床、流動床、噴流床が実用化されている。生成したガスは、タービンやエンジン等の発電装置に送られる。また、水素

のみを取り出して燃料電池に利用したり、ガス組成を調整してメタノール、ジメチルエーテル（DME）、ガソリンの合成も可能である。

表 C.3 ガス化方法の分類

分類	条件
ガス化圧力	常圧（0.1～0.12MPa）、加圧（0.5～2.5MPa）
ガス化温度	低温（700℃以下）、高温（700℃以上）、高温溶融（灰溶融点以上）
ガス化剤	空気、酸素、水蒸気及びこれらの組合せ（特殊な場合は二酸化炭素）
加熱方式 （温度場形成）	直接ガス化（ガス化原料の一部を酸素と反応させて発熱させる。） 間接ガス化（原料とガス化剤を外部より加熱する。）
ガス化炉形式	固定床、流動床、循環流動床、噴流床、かくはん床、ロータリーキルン、二塔式、溶融炉

## ア 対象バイオマス

剪定枝、製材所残材、間伐材等

## イ 製品利用の形態（利用形態）

a. ガス燃料 →ガスタービン、ガスエンジン、燃料電池

b. 化学原料ガス →メタノール、DME、ガソリン 等

## ウ 処理フロー

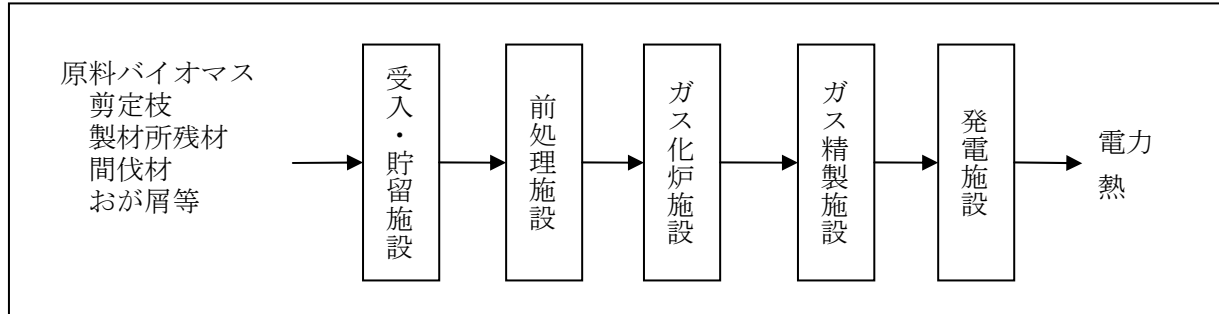


図 C.5 ガス化発電システムの処理フロー例

## (8) 炭化

木材、樹皮、竹、もみ殻等を空気（酸素）の供給を遮断又は制限して、400～600℃に加熱し、気体（木材が原料の場合、木ガスという。）、液体（酢酸、タール）、固体（炭）の生成物を得る技術である。炭の製造を主目的とする技術を製炭、気体や液体の回収・利用に重点を置く技術を乾留という。両者を合わせて炭化と称する場合もあるが、通常炭化といえは製炭を指すことが多い。炭化は直接燃焼と並んで最も古典的なバイオマスのエネルギー変換技術であり、発展途上国では今日でも重要な固体燃料製造方法である。

木炭の場合、木質はセルロース、ヘミセルロース、リグニンという成分であり、それらは炭素、酸素及び水素から成り立っている。これを酸素のない又は少ない条件で加熱すると



280℃前後で急激に分解が始まる。要素成分が熱分解を始めてから最も活発になる温度範囲は、ヘミセルロースで180～250℃、セルロースで240～300℃、リグニンで280～400℃といわれている。この温度において、炭酸ガス(CO<sub>2</sub>)、一酸化炭素(CO)、水素(H<sub>2</sub>)、炭化水素(C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>)類が揮発し、木質は徐々に炭素分の多い、小さな炭の結晶が不規則に並んだ無定形の炭素に変わる。650～700℃では、更に炭の中の酸素や水素が減って、表面の性質が大きく変わる。これを更に加熱すると炭の結晶化が進んで石墨に変わる。このように炭化の温度は炭の形状に大きく影響を与える。

炭化処理装置の方式は、直接乾燥・炭化方式と乾燥後炭化方式に分けられる。炭化炉は構造から内燃式ロータリーキルン、外燃式ロータリーキルン、外燃式スクリーキルン等に分けられる。

#### ア 対象バイオマス

RDF、家畜排せつ物、排水処理汚泥、食品廃棄物、木くず、  
もみ殻、稲わら、モミガス、メタン発酵残さ等

#### イ 製品利用の形態（利用形態）

炭化物→脱臭剤、土壤改良剤、融雪材、脱水助剤、吸着剤、炭材の代替、燃料  
木酢液→土壤改良剤ほか

#### ウ 処理フロー

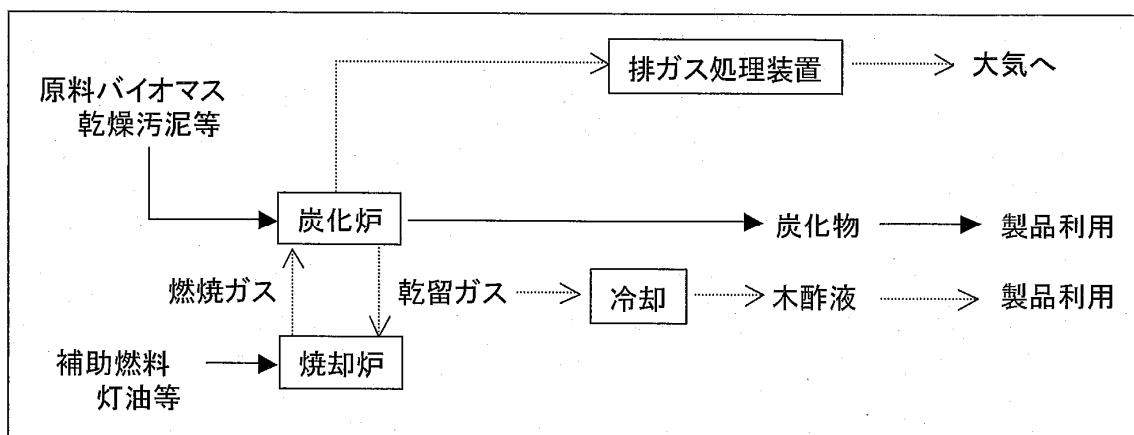


図 C.6 炭化システムの処理フロー例

#### (9) バイオディーゼル燃料化（BDF化）

バイオディーゼル燃料化（エステル化）とは、油糧作物から生産された植物油や廃食用油をメチルエステル化し、軽油代替燃料であるバイオディーゼル燃料（BDF）を生産する技術であり、既に一部地域で実用化されている。BDFは軽油の2倍程度の動粘度、軽油と同等のセタン価（着火性の指標）の特徴を持っている。バイオディーゼル燃料の原料となる油脂類は、軽油と比較して粘度と引火点が高いため、そのまま使用した場合、噴霧状態や燃焼状態の悪化によりエンジンに障害を与える。そこで油脂類の物性値を軽油のそれに近づけるために、植物油や廃食用油はメチルエステル化あるいはエチルエステル化が必要となる。

BDFの長所としては、軽油より含有有害物質の量が少なくSOxがほとんど発生しないことである。

食用油は年間250万トン使用されている。廃食用油として顕在化するの40～50万トン程度であり、うち半数が家庭から出されている回収ルートが未整備な廃食用油である。

燃料化自体についての許認可は必要ないが、燃料化プラント設置については、地域によって消防法令との関係で、設置場所、設備等についての条件に制限がある場合がある。

菜の花エコプロジェクトは1998年から始まり、それに先立ち滋賀県愛東町（現東近江市）にて廃食用油の燃料化が試験的に行われていた。愛東町等の例では廃食用油100Lにメタノール20Lと触媒を加え、約100Lのバイオディーゼル燃料を製造している。

課題としては、廃食用油の回収率の向上、軽油と混合して使用した際に軽油引取税が掛かること、発生するグリセリンの処理等がある。

#### ア 対象バイオマス

菜種、ひまわり、大豆等植物油、廃食用油等

#### イ 製品利用の形態（利用形態）

バイオディーゼル燃料 → 軽油代替燃料

#### ウ 処理フロー

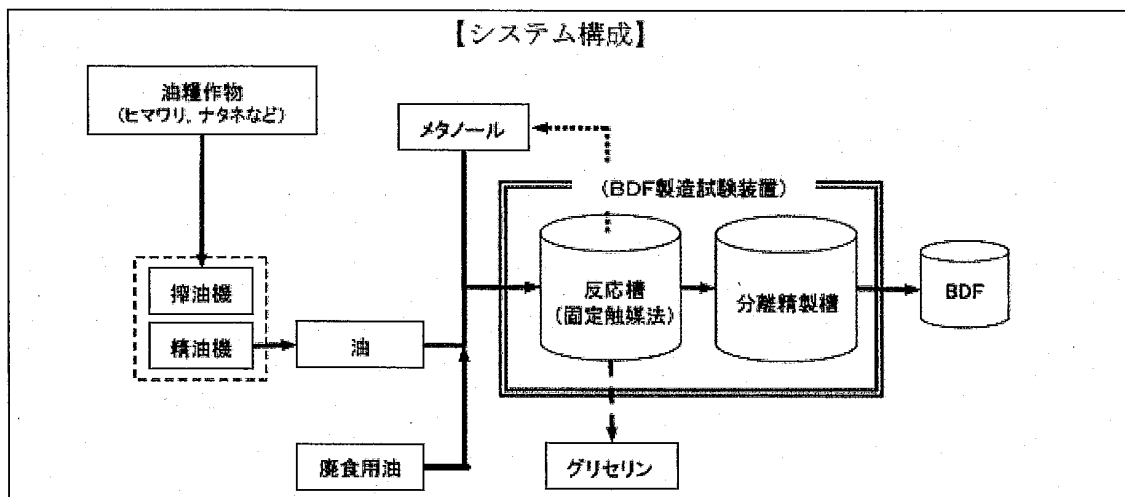


図 C.7 バイオディーゼル燃料化システムの処理フロー例

#### (10) メタン発酵

バイオマスと多様な嫌気性微生物が共存し、その環境が嫌気性であって、温度が5～70℃に、pHが中性付近になる等の条件が満たされると、最終的にメタン(CH<sub>4</sub>)と二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)が生成する。このような現象はメタン発酵といわれ、湖沼の底泥や廃棄物の埋立処分場で

は自然に行われている。この生物学的原理を利用した技術は、古くから有機性廃棄物や廃水の処理に用いられてきており、嫌気性消化といわれることが多い。

メタン発酵は、原料中のバイオマス濃度により、大きく湿式と乾式に分けられる。発酵温度は、高温（約 55℃）、中温（約 37℃）、低温に分けられ、中温発酵よりも高温発酵の方がよりバイオマス分解速度が速いため、新しいメタン発酵システムでは高温発酵が用いられるようになってきた。メタン発酵で生成するメタンと二酸化炭素の混合ガスは、バイオガスといわれる。バイオガスは、発熱量が 5,000～6,000 kcal/Nm<sup>3</sup>（21～25MJ/Nm<sup>3</sup>）であり、熱や電気としてエネルギーを回収するのに良好な発熱量を維持している。

メタン発酵技術は、家畜排せつ物や生ごみ等の廃棄物系バイオマスを分解してメタンを生成できるだけでなく、植物の肥料成分を多く含む消化液を回収できる。このため、メタン発酵は廃棄物系バイオマスの重要な再資源化技術として利用されている。家畜排せつ物や生ごみのメタン発酵は、エネルギー回収のために生成したバイオガスを燃焼しても、発生した二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）は光合成作用により、植物の成育のために消費されるので、大気中の二酸化炭素は増加しないとみなされる。

メタン発酵の長所には、エネルギー回収ができること、好気性の処理と比較して送風動力が必要でないこと、汚泥発生量が少ないこと、運転管理が比較的容易であること等が挙げられる。また、短所としては、好気的な処理に比べバイオマス分解率が低いこと、窒素化合物やリン酸の除去率が低いこと、処理時間が長いこと、発酵温度に保つために加温が必要になること等が挙げられる。

#### 1) 湿式メタン発酵

湿式メタン発酵とは、投入バイオマスを、その固形物濃度を 4～12%程度の液状に調整した後、メタン発酵槽へ投入するメタン発酵技術の代表的な方法である。一般的には、メタン発酵の分解効率を高めるために、前処理工程として粗大固形物を分離又は破碎する固液分離や破碎分別が行われる。

発酵槽は、通常、酸生成とメタン生成を 1 槽で行うが、可溶化・酸生成の促進のため、前段に可溶化槽を設ける場合もある。また、メタン発酵槽内の温度の均一化と恒温化のために、投入バイオマスを消化液で熱交換する場合がある。

現状では、メタン発酵技術は湿式が主流であるが、課題として発酵に長時間を要することや多量に排出される消化液の処理が残されている。発酵残さ（消化液）は、堆肥（液肥等）として利用しない場合は、汚水処理しなければならない。

#### ア 対象バイオマス

家畜排せつ物、排水処理汚泥、食品廃棄物、  
生ごみ等の高含水率バイオマス等

イ 製品利用の形態（利用形態）

- (a) バイオガス → 電力、熱
- (b) メタン発酵消化液 → 農地還元又は排水処理
- (c) 発酵残さ → たい肥

ウ 処理フロー

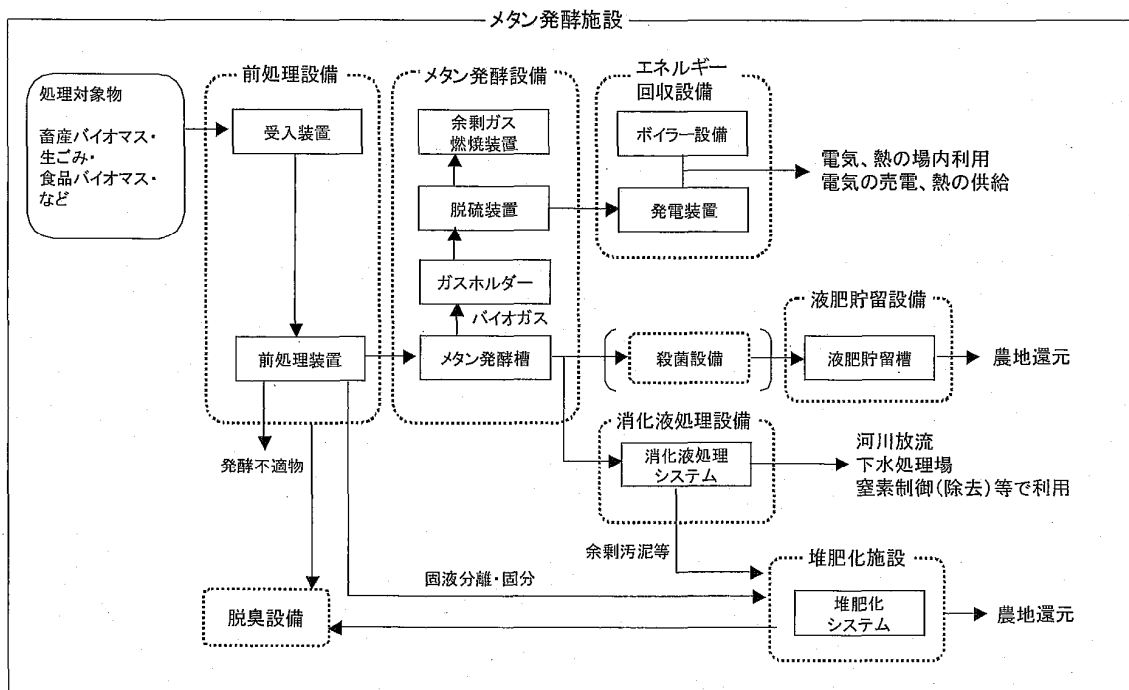


図 C.8 湿式メタン発酵システムの処理フロー例

2) 乾式メタン発酵

乾式メタン発酵では、投入するバイオマスの固形物濃度が 15~40%と高く、含水率の比較的低いものを対象に処理することができる。乾式メタン発酵には、高温発酵方式が採用されており、固形物濃度が高い分、ガス回収は効率的に行われる。さらに、原料の発酵槽への投入は、数 10mm 程度の粗破碎した状態で可能であり、原料の液状化を必要としないため、草本類、剪定枝、紙類等液状化困難な廃棄物であってもバイオガス化の原料とすることができる。また、生ごみ等廃棄物に混入する回収袋（プラスチック）等の異物が多少混入している原料であっても、発酵槽への投入は特別な前選別を必要としない。ただし、発酵残さを有効利用する場合には、その用途に応じて分別収集の徹底を図る必要がある。

発酵残さには、分解しにくい有機物質（セルロースやリグニン）を核として栄養塩が豊富に残っている。切り返し等で 1 か月程度好気状態に保持することで、熟成した良質の堆肥が得られる。

ア 対象バイオマス

生ごみ、草本類、紙類、剪定枝等の低含水率バイオマス

イ 製品利用の形態（利用形態）

(a) バイオガス → 電力、熱、燃料電池、自動車用燃料

(b) 発酵残さ → たい肥、炭化、RDF

#### ウ 処理フロー

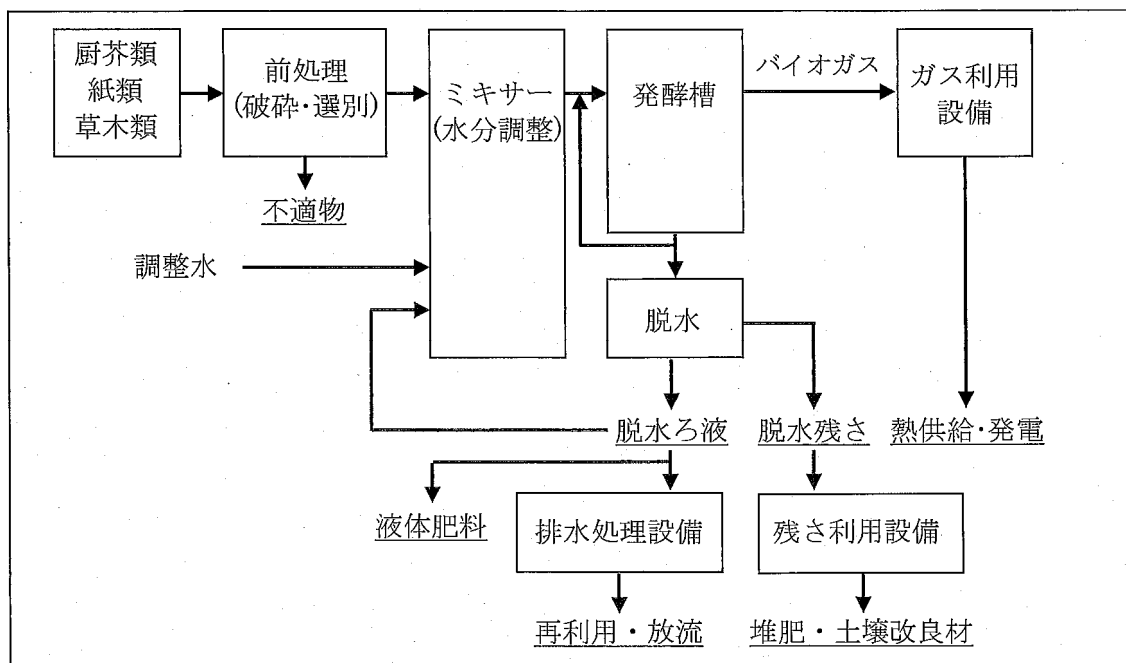


図 C.9 乾式メタン発酵システムの処理フロー例

#### (11) エタノール発酵

エタノール発酵とは、とうもろこしやさとうきび等の糖質・でんぷん系バイオマスより糖分を抽出し、微生物を利用して糖を発酵させエタノールを生産する方法である。

例えば、さとうきびの搾汁を糖分 50%に濃縮し、酒類と同様に発酵した後、濃縮精製することによりエタノールが得られる。また、とうもろこしの子実等は、亜硫酸に浸漬してでんぷん質を分離、加熱蒸煮し、液化アミラーゼと糖化アミラーゼの作用により糖分に分解する。その後、酵母の発酵作用でエタノール濃度 8～11%のもろみができ、これを蒸留分離してエタノールが得られる。

現在、燃料用として大量のエタノールを生産しているのはブラジルとアメリカである。ブラジルはさとうきびを、アメリカはとうもろこしを発酵してエタノールを生産している。これらの国では、自動車燃料として 10%のエタノール混合ガソリンが普及している。また、日本ではエタノール混合率 3%の混合が認められている (E3 燃料)。エタノールの発熱量 (6,400kcal/kg) は、ガソリン (10,500kcal/kg) に較べ小さく、また、ガソリンと混合した場合、エタノール濃度が高いとエンジンの腐食対策が必要になる場合がある。エタノールの利点は、すすや一酸化炭素 (CO)、硫黄酸化物 (SOx) の排出を減少できることである。

最近では、糖質・でんぷん系バイオマスは食糧問題と競合するため、木質系や草本系のセ

ルロース系バイオマスによるエタノール化が注目されている。しかし、セルロース系バイオマスである稲わら、林産物を原料として利用する場合、エタノール発酵の前処理に、薬品と熱、圧力による糖分の抽出工程が必要となる。このため、セルロース系バイオマスは糖質・でんぷん系バイオマスと比較すると、エタノール生産には手間と時間とコストがかかることが最大の課題となっている。

ア 対象バイオマス

とうもろこし、さとうきび、稲わら、廃木材等

イ 製品利用の形態（利用形態）

ガソリンに3%混合（E3）、ガソリンに10%混合（E10）

ウ 処理フロー

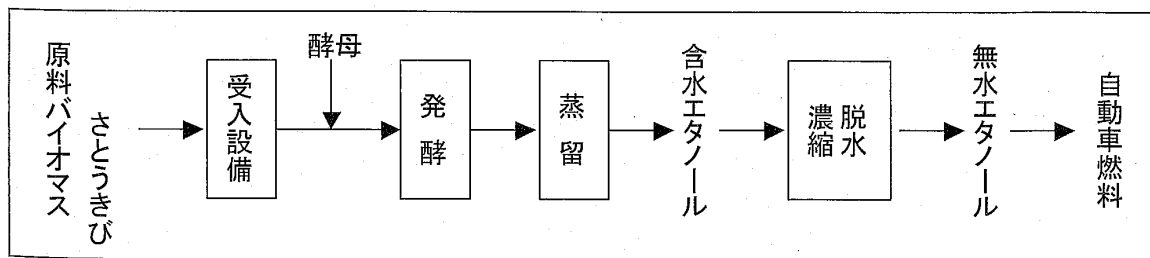


図 C.10 バイオエタノール製造の処理フロー例

## (12) 水蒸気加熱方式による固体燃料化

水蒸気加熱処理は、含水率の高い廃棄物・バイオマス資源を、加圧反応容器内に投入し、200℃の飽和水蒸気を容器内に投入し、約 20 気圧で亜臨界水処理による水熱及び爆砕処理して、固体燃料を製造する技術であり、水分を多く含むバイオマスの燃料化に適している。この処理によって、①固体生成物の乾燥速度の増加、②脱水性の向上、③臭気の改質、④粉碎細粒均一化等の効果が期待でき、生成物は燃焼用およびガス化用燃料として利用可能である。

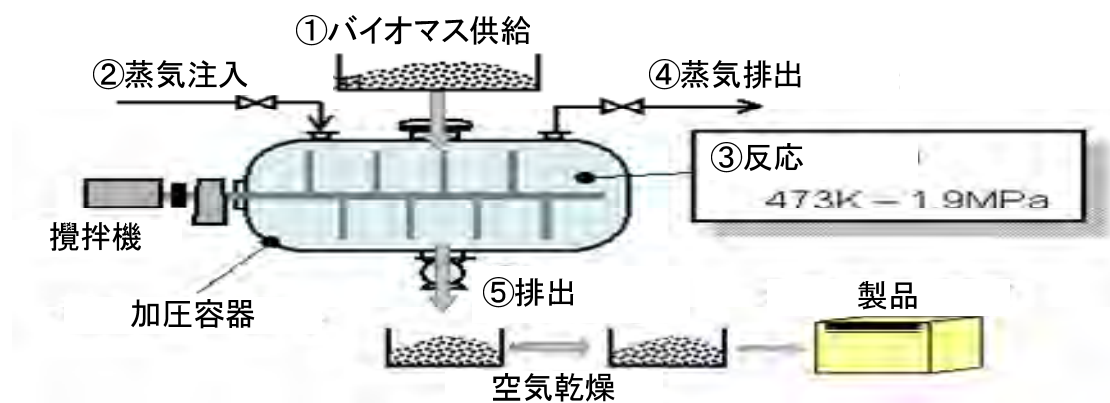
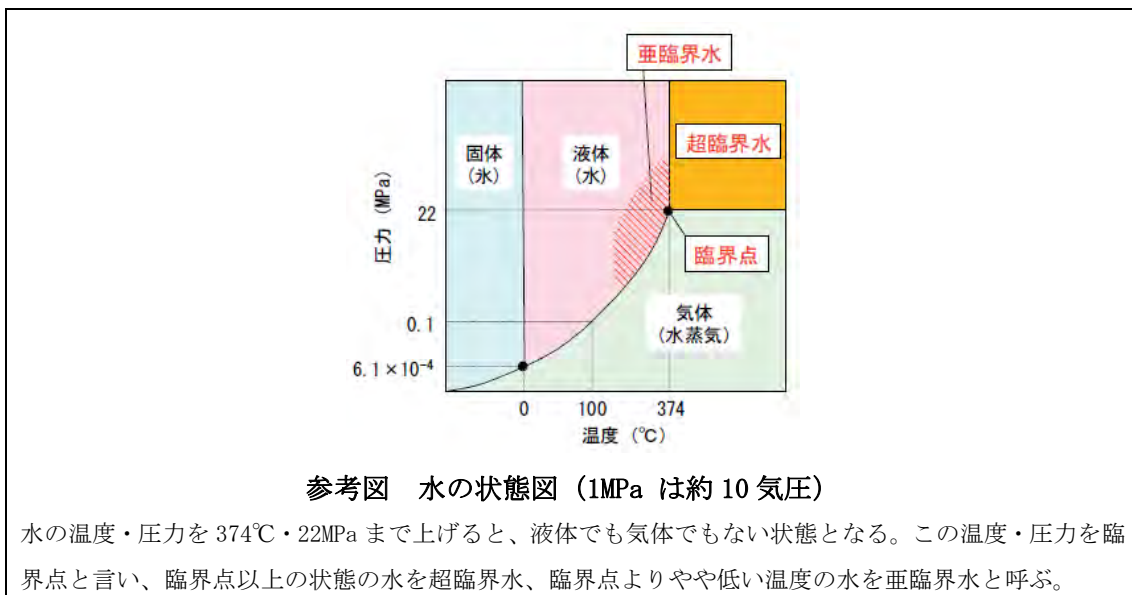


図 C.11 水蒸気加熱処理システム図



## 附属資料D システム導入の経済分析

中国都市汚泥資源化 効益計算

資源化Case	現況	単位	嫌気消化発電 K-1	水熱メタン 発電 K-3	水熱有機肥料 K-2	合同嫌気消化 発電 K4	合同水熱メ タン発電 K6	合同水熱有 機肥料 K5
大項目	中項目							
基礎条件	汚水処理規模	(万m <sup>3</sup> /d)	34	34	34	34	34	34
	発生汚泥量(含水率)	(t/d)	1,955	391	1,955	3,910	782	3,910
	脱水汚泥量(含水率)	(t/d)	391	391	391	391	391	782
	汚泥量(乾重)	(t/d)	78	78	78	78	78	78
	生活ゴミ系(乾重)	(t/d)	0	0	0	78	78	78
1.コスト計算項目								
(1) 資源化対象汚泥	単位		農縮混合汚泥	消化脱水汚泥	直接脱水汚泥	濃縮混合汚泥+生活ゴミ	消化脱水汚泥+生活ゴミ	直接脱水汚泥+生活ゴミ
	汚泥処理	(t/d)	1,955	391	0	3,910	782	0
	水熱処理	(t/d)	0	195.5	391	0	391	782
(2) 汚泥資源化製品								
	汚泥消化(温度)		35°C	35°C		35°C	35°C	
	汚泥消化率		50%	90%		50%	90%	
	ガス発生量	(m <sup>3</sup> /d)	31,280	56,304		66,470	112,608	
	発電効率		35%	35%		35%	35%	
	発電量	(kwh)	20,528	30,029		35,451	60,058	
	自己消費電力	(kwh)	977	196		1,955	391	
	有効電力	(kwh)	19,550	29,833		33,496	59,667	
	脱水汚泥(含水率 <sup>8</sup> )	(t/d)	196	39		391	78	
	乾燥汚泥(含水率 <sup>1</sup> )	(t/d)	46.0	9.2	92.0	92.0	18.4	184.0
(3) 汚泥最終処分								
	処分または製品	(t/d)	23.0	9.2	73.6	46.0	18.4	147.2
資源化Case								
収益計算			嫌気消化発電	水熱メタン発電	水熱有機肥料	合同嫌気消化発電	合同水熱メタン発電	合同水熱有機肥料
(1) 建設投資(償還費)								
	① 土建費単価	(万元/t)	1.6	1.6	0	1.6	1.6	0
	② 設備費単価	(万元/t)	1.2	1.2	0	1.4	1.4	0
	① 土建費	(万元)	3,203	641	0	6,406	1,032	0
	② 設備費	(万元)	2,395	479	0	5,323	923	0
	① 土建費(水熱)	(万元)		775	1,551		1,551	3,102
	② 設備費(水熱)	(万元)		2,585	5,170		5,170	10,339
	建設投資合計	(万元)	5,599	4,480	6,720	11,730	8,675	13,441
	自己資金比率		50%	50%	50%	50%	50%	50%
	① 土建費償還(償還年20年)	(万元/年)	76	34	37	152	61	74
	② 設備費償還(償還年10年)	(万元/年)	114	146	246	253	289	491
	建設費償還計	(万元/年)	190	179	282	405	351	565
(2) 維持管理費								
	① 維持管理単価	(元/t湿泥)	3.8	3.8	0	3.8	3.8	0
	② 水熱処理維持費単価	(元/t湿泥)	0.0	33.0	33.0	0.0	33.0	33.0
	① 維持管理費	(万元/年)	270	54	0	540	108	0
	② 水熱処理維持管理費	(万元/年)	0	235	471	0	471	942
	維持管理費計	(万元/年)	270	289	471	540	579	942
(3) 汚泥処分費								
	処分場への距離	(km)	15	0	0	15	0	0
	処分単価	(元/t)	35	0	0	35	0	0
	処分費	(万元)	29	0	0	58	0	0
(4) 経費計((1)+(2)+(3))		(万元/年)	489	469	753	1,003	930	1,507
(5) 収入								
	① 原料受入れ費	(万元/年)	428	428	428	856	856	1,284
	受入れ単価	(元/t)	30	30	30	30	30	30
	② 電力削減費	(万元/年)	428	653	0	734	1,307	0
	電力削減単価	(元/kw)	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
	③ 有機質肥料	(万元/年)	0	235	1,880	0	470	3,761
	有機質肥料単価(含水率)	(元/t)	0	700	700	0	700	700
	③ 補助金・税制措置等	(万元/年)	0	0	0	0	0	0
	収入計	(万元/年)	856	1,317	2,309	1,590	2,633	5,045
(6) 収益		(万元/年)	368	848	1,555	587	1,703	3,539



中国都市汚泥資源化 効益計算

資源化Case 将来		単位	嫌気消化発電 K-1	水熱メタン発電 K-3	水熱有機肥料 K-2	合同嫌気消化発電 K4	合同水熱メタン発電 K6	合同水熱有機肥料 K5
大項目	中項目							
基礎条件	污水处理規模	(万m <sup>3</sup> /d)	54	54	54	54	54	54
	発生汚泥量(含水率90%)	(t/d)	3,105	621	3,105	6,210	1,242	6,210
	脱水汚泥量(含水率80%)	(t/d)	621	621	621	621	621	1,242
	汚泥量(乾重)	(t/d)	124	124	124	124	124	124
	生活ゴミ系(乾重)	(t/d)	0	0	0	124	124	124
I.コスト計算項目								
(1) 資源化対象汚泥	単位		濃縮混合汚泥	消化脱水汚泥	直接脱水汚泥	濃縮混合汚泥+生活ゴミ	消化脱水汚泥+生活ゴミ	直接脱水汚泥+生活ゴミ
	汚泥処理	(t/d)	3,105	621	0	6,210	1,242	0
	水熱処理	(t/d)	0	310.5	621	0	621	1,242
(2) 汚泥資源化製品								
	汚泥消化(温度)		35°C	35°C		35°C	35°C	
	汚泥消化率		50%	90%		50%	90%	
	ガス発生量	(m <sup>3</sup> /d)	49,680	89,424		105,570	178,848	
	発電効率		35%	35%		35%	35%	
	発電量	(kwh)	32,603	47,693		56,304	95,386	
	自己消費電力	(kwh)	1,553	311		3,105	621	
	有効電力	(kwh)	31,050	47,382		53,199	94,765	
	脱水汚泥(含水率80%)	(t/d)	311	62		621	124	
	乾燥汚泥(含水率15%)	(t/d)	73.1	14.6	146.1	146.1	29.2	292.2
(3) 汚泥最終処分								
	処分または製品	(t/d)	36.5	14.6	116.9	73.1	29.2	233.8
資源化Case								
			嫌気消化発電	水熱メタン発電	水熱有機肥料	合同嫌気消化発電	合同水熱メタン発電	合同水熱有機肥料
収益計算								
(1) 建設投資(償還費)								
	① 土建費単価	(万円/t)	1.2	1.2	0	1.2	1.2	0
	② 設備費単価	(万円/t)	0.8	0.8	0	0.9	0.9	0
	① 土建費	(万円)	3,854	771	0	7,709	1,392	0
	② 設備費	(万円)	2,628	526	0	5,839	1,205	0
	① 土建費(水熱)	(万円)		1,783	3,566		3,566	7,133
	② 設備費(水熱)	(万円)		5,944	11,888		11,888	23,776
	建設投資合計	(万円)	6,482	9,023	15,454	13,548	18,051	30,908
	自己資金比率		50%	50%	50%	50%	50%	50%
	① 土建費償還(償還年20年)	(万円/年)	92	61	85	183	118	169
	② 設備費償還(償還年10年)	(万円/年)	125	307	565	277	622	1,129
	建設費償還計	(万円/年)	216	368	649	460	740	1,299
(2) 維持管理費								
	① 維持管理単価	(元/t湿泥)	2.9	2.9	0	2.9	2.9	0
	② 水熱処理維持費単価	(元/t湿泥)	0.0	33.0	33.0	0.0	33.0	33.0
	① 維持管理費	(万円/年)	325	65	0	649	130	0
	② 水熱処理維持管理費	(万円/年)	0	374	748	0	748	1,496
	維持管理費計	(万円/年)	325	439	748	649	878	1,496
(3) 汚泥処分費								
	処分場への距離	(km)	15	0	0	15	0	0
	処分単価	(元/t)	35	0	0	35	0	0
	処分費	(万円)	46	0	0	92	0	0
(4) 経費計((1)+(2)+(3))		(万円/年)	587	807	1,397	1,202	1,618	2,795
(5) 収入								
	① 原料受入れ費	(万円/年)	680	680	680	1,360	1,360	2,040
	受入れ単価	(元/t)	30	30	30	30	30	30
	② 電力削減費	(万円/年)	680	1,038	0	1,165	2,075	0
	電力削減単価	(元/kwh)	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
	③ 有機質肥料	(万円/年)	0	373	2,987	0	747	5,973
	有機質肥料単価(含水率15%)	(元/t)	0	700	700	0	700	700
	③ 補助金・税制措置等	(万円/年)	0	0	0	0	0	0
	収入計	(万円/年)	1,360	2,091	3,667	2,525	4,182	8,013
(6) 収益		(万円/年)	773	1,284	2,269	1,323	2,564	5,219

## 累積事業収益計算書

単独 水熱メタン発電(現況)

(単位:元)

時間	総コスト	収入	純利益	割引率	総コスト 現在価値	収入現在 価値	純益現在 価値	累計純益
年	①	②	③=②-①	④	⑤=①×④	⑥=②×④	⑦=③×④	⑧=Σ⑦
0	2,240	-2,240	0	1	2,240	0	-2,240	-2,240
1	469	1,317	848	0.9174	430	1,208	778	-1,462
2	469	1,317	848	0.8417	394	1,108	714	-748
3	469	1,317	848	0.7722	362	1,017	655	-94
4	469	1,317	848	0.7084	332	933	601	507
5	469	1,317	848	0.6499	305	856	551	1,058
6	469	1,317	848	0.5963	279	785	506	1,564
7	469	1,317	848	0.5470	256	720	464	2,028
8	469	1,317	848	0.5019	235	661	426	2,453
9	469	1,317	848	0.4604	216	606	390	2,844
10	469	1,317	848	0.4224	198	556	358	3,202
11	469	1,317	848	0.3875	182	510	329	3,530
12	469	1,317	848	0.3555	167	468	301	3,832
13	469	1,317	848	0.3262	153	429	277	4,109
14	469	1,317	848	0.2992	140	394	254	4,362
15	469	1,317	848	0.2745	129	361	233	4,595

単独 水熱有機肥料(現況)

(単位:元)

時間	総コスト	収入	純利益	割引率	総コスト 現在価値	収入現在 価値	純益現在 価値	累計純益
年	①	②	③=②-①	④	⑤=①×④	⑥=②×④	⑦=③×④	⑧=Σ⑦
0	3,360	-3,360	0	1	3,360	0	-3,360	-3,360
1	753	2,309	1,555	1	691	2,118	1,427	-1,933
2	753	2,309	1,555	1	634	1,943	1,309	-624
3	753	2,309	1,555	1	582	1,783	1,201	577
4	753	2,309	1,555	1	534	1,635	1,102	1,678
5	753	2,309	1,555	1	490	1,500	1,011	2,689
6	753	2,309	1,555	1	449	1,377	927	3,617
7	753	2,309	1,555	1	412	1,263	851	4,467
8	753	2,309	1,555	1	378	1,159	781	5,248
9	753	2,309	1,555	0	347	1,063	716	5,964
10	753	2,309	1,555	0	318	975	657	6,621
11	753	2,309	1,555	0	292	895	603	7,224
12	753	2,309	1,555	0	268	821	553	7,777
13	753	2,309	1,555	0	246	753	507	8,284
14	753	2,309	1,555	0	225	691	465	8,749
15	753	2,309	1,555	0	207	634	427	9,176

## 合同 メタン発酵発電(現況)

(単位:元)

時間 年	総コスト ①	収入 ②	純利益 ③=②-①	割引率 ④	総コスト 現在価値 ⑤=①×④	収入現在 価値 ⑥=②×④	純益現在 価値 ⑦=③×④	累計純益 ⑧=Σ⑦
0	4,338	-4,338	0	1	4337.714	0	-4337.71	-4337.71
1	930	2,633	1,703	0.9174	853	2,416	1,563	-2,775
2	930	2,633	1,703	0.8417	782	2,216	1,434	-1,341
3	930	2,633	1,703	0.7722	718	2,033	1,315	-26
4	930	2,633	1,703	0.7084	659	1,865	1,207	1,181
5	930	2,633	1,703	0.6499	604	1,711	1,107	2,288
6	930	2,633	1,703	0.5963	554	1,570	1,016	3,304
7	930	2,633	1,703	0.5470	509	1,440	932	4,236
8	930	2,633	1,703	0.5019	467	1,321	855	5,091
9	930	2,633	1,703	0.4604	428	1,212	784	5,875
10	930	2,633	1,703	0.4224	393	1,112	720	6,595
11	930	2,633	1,703	0.3875	360	1,020	660	7,255
12	930	2,633	1,703	0.3555	331	936	606	7,860
13	930	2,633	1,703	0.3262	303	859	556	8,416
14	930	2,633	1,703	0.2992	278	788	510	8,926
15	930	2,633	1,703	0.2745	255	723	468	9,393

## 合同 水熱有機肥料(現況)

(単位:元)

時間 年	総コスト ①	収入 ②	純利益 ③=②-①	割引率 ④	総コスト 現在価値 ⑤=①×④	収入現在 価値 ⑥=②×④	純益現在 価値 ⑦=③×④	累計純益 ⑧=Σ⑦
0	6,720	-6,720	0	1	6720.472	0	-6720.47	-6720.47
1	1,507	5,045	3,539	0.9174	1,382	4,629	3,247	-3,474
2	1,507	5,045	3,539	0.8417	1,268	4,247	2,978	-496
3	1,507	5,045	3,539	0.7722	1,163	3,896	2,733	2,237
4	1,507	5,045	3,539	0.7084	1,067	3,574	2,507	4,744
5	1,507	5,045	3,539	0.6499	979	3,279	2,300	7,044
6	1,507	5,045	3,539	0.5963	898	3,008	2,110	9,154
7	1,507	5,045	3,539	0.5470	824	2,760	1,936	11,090
8	1,507	5,045	3,539	0.5019	756	2,532	1,776	12,866
9	1,507	5,045	3,539	0.4604	694	2,323	1,629	14,495
10	1,507	5,045	3,539	0.4224	636	2,131	1,495	15,990
11	1,507	5,045	3,539	0.3875	584	1,955	1,371	17,361
12	1,507	5,045	3,539	0.3555	536	1,794	1,258	18,619
13	1,507	5,045	3,539	0.3262	491	1,646	1,154	19,773
14	1,507	5,045	3,539	0.2992	451	1,510	1,059	20,832
15	1,507	5,045	3,539	0.2745	414	1,385	972	21,804

## 単独 水熱メタン発電(将来)

(単位:元)

時間	総コスト	収入	純利益	割引率	総コスト 現在価値	収入現在 価値	純益現在 価値	累計純益
年	①	②	③=②-①	④	⑤=①×④	⑥=②×④	⑦=③×④	⑧=Σ⑦
0	4,512	-4,512	0	1	4511.8	0	-4511.8	-4,512
1	807	2,091	1,284	0.9174	740	1,918	1,178	-3,334
2	807	2,091	1,284	0.8417	679	1,760	1,081	-2,253
3	807	2,091	1,284	0.7722	623	1,615	992	-1,261
4	807	2,091	1,284	0.7084	572	1,481	910	-352
5	807	2,091	1,284	0.6499	524	1,359	835	483
6	807	2,091	1,284	0.5963	481	1,247	766	1,249
7	807	2,091	1,284	0.5470	441	1,144	702	1,951
8	807	2,091	1,284	0.5019	405	1,049	644	2,596
9	807	2,091	1,284	0.4604	372	963	591	3,187
10	807	2,091	1,284	0.4224	341	883	542	3,729
11	807	2,091	1,284	0.3875	313	810	498	4,227
12	807	2,091	1,284	0.3555	287	743	457	4,683
13	807	2,091	1,284	0.3262	263	682	419	5,102
14	807	2,091	1,284	0.2992	241	626	384	5,486
15	807	2,091	1,284	0.2745	222	574	353	5,839

## 単独 水熱有機肥料(将来)

累計純

時間	総コスト	収入	純利益	割引率	総コスト 現在価値	収入現在 価値	純益現在 価値	累計純益
年	①	②	③=②-①	④	⑤=①×④	⑥=②×④	⑦=③×④	⑧=Σ⑦
0	7,727	-7,727	0	1	7727.1	0	-7727.1	-7727.1
1	1,397	3,667	2,269	0.9174	1,282	3,364	2,082	-5,645
2	1,397	3,667	2,269	0.8417	1,176	3,086	1,910	-3,735
3	1,397	3,667	2,269	0.7722	1,079	2,831	1,752	-1,983
4	1,397	3,667	2,269	0.7084	990	2,598	1,608	-375
5	1,397	3,667	2,269	0.6499	908	2,383	1,475	1,100
6	1,397	3,667	2,269	0.5963	833	2,186	1,353	2,453
7	1,397	3,667	2,269	0.5470	764	2,006	1,241	3,694
8	1,397	3,667	2,269	0.5019	701	1,840	1,139	4,833
9	1,397	3,667	2,269	0.4604	643	1,688	1,045	5,878
10	1,397	3,667	2,269	0.4224	590	1,549	959	6,836
11	1,397	3,667	2,269	0.3875	542	1,421	879	7,716
12	1,397	3,667	2,269	0.3555	497	1,304	807	8,523
13	1,397	3,667	2,269	0.3262	456	1,196	740	9,263
14	1,397	3,667	2,269	0.2992	418	1,097	679	9,942
15	1,397	3,667	2,269	0.2745	384	1,007	623	10,565

## 合同 水熱メタン発電(将来)

(単位:元)

時間	総コスト	収入	純利益	割引率	総コスト 現在価値	収入現在 価値	純益現在 価値	累計純益
年	①	②	③=②-①	④	⑤=①×④	⑥=②×④	⑦=③×④	⑧=Σ⑦
0	9,025	-9,025	0	1	9,025	0	-9025.49	-9025.49
1	1,618	4,182	2,564	0.9174	1,484	3,837	2,353	-6,673
2	1,618	4,182	2,564	0.8417	1,361	3,520	2,158	-4,514
3	1,618	4,182	2,564	0.7722	1,249	3,229	1,980	-2,534
4	1,618	4,182	2,564	0.7084	1,146	2,963	1,817	-717
5	1,618	4,182	2,564	0.6499	1,051	2,718	1,667	949
6	1,618	4,182	2,564	0.5963	964	2,494	1,529	2,479
7	1,618	4,182	2,564	0.5470	885	2,288	1,403	3,881
8	1,618	4,182	2,564	0.5019	812	2,099	1,287	5,168
9	1,618	4,182	2,564	0.4604	745	1,926	1,181	6,349
10	1,618	4,182	2,564	0.4224	683	1,767	1,083	7,432
11	1,618	4,182	2,564	0.3875	627	1,621	994	8,426
12	1,618	4,182	2,564	0.3555	575	1,487	912	9,338
13	1,618	4,182	2,564	0.3262	528	1,364	836	10,174
14	1,618	4,182	2,564	0.2992	484	1,251	767	10,942
15	1,618	4,182	2,564	0.2745	444	1,148	704	11,646

## 合同 水熱有機肥料(将来)

(単位:元)

時間	総コスト	収入	純利益	0	総コスト 現在価値	収入現在 価値	純益現在 価値	累計純益
年	①	②	③=②-①	④	⑤=①×④	⑥=②×④	⑦=③×④	⑧=Σ⑦
0	15,454	-15,454	0	1	15454.2	0	-15454.2	-15454.2
1	2,795	8,013	5,219	0.9174	2,564	7,352	4,788	-10,667
2	2,795	8,013	5,219	0.8417	2,352	6,745	4,392	-6,274
3	2,795	8,013	5,219	0.7722	2,158	6,188	4,030	-2,245
4	2,795	8,013	5,219	0.7084	1,980	5,677	3,697	1,452
5	2,795	8,013	5,219	0.6499	1,816	5,208	3,392	4,844
6	2,795	8,013	5,219	0.5963	1,666	4,778	3,112	7,956
7	2,795	8,013	5,219	0.5470	1,529	4,384	2,855	10,810
8	2,795	8,013	5,219	0.5019	1,403	4,022	2,619	13,429
9	2,795	8,013	5,219	0.4604	1,287	3,690	2,403	15,832
10	2,795	8,013	5,219	0.4224	1,181	3,385	2,204	18,037
11	2,795	8,013	5,219	0.3875	1,083	3,105	2,022	20,059
12	2,795	8,013	5,219	0.3555	994	2,849	1,855	21,914
13	2,795	8,013	5,219	0.3262	912	2,614	1,702	23,616
14	2,795	8,013	5,219	0.2992	836	2,398	1,562	25,178
15	2,795	8,013	5,219	0.2745	767	2,200	1,433	26,611