

さまざまな有機性廃棄物を対象とする  
堆肥化施設・メタン発酵施設に関する  
調査分析

2011年3月

北海道大学  
廃棄物処分工学研究室

# 目 次

## 第1章 はじめに

1.1 背景 .....	1
1.1.1 有機性廃棄物の排出状況.....	1
1.1.2 有機性廃棄物の資源化方法 .....	2
1.2 本研究の目的と構成 .....	3

## 第2章 生ごみ堆肥化施設における物質収支と元素収支

2.1 目的 .....	4
2.2 研究方法 .....	4
2.2.1 一般廃棄物処理施設数 .....	4
2.2.2 アンケート調査 .....	5
2.2.3 回答施設の概要 .....	5
2.2.4 試料の分析方法 .....	6
2.3 施設調査及びサンプル分析結果 .....	7
2.3.1 堆肥化のプロセス .....	7
2.3.2 施設の物質収支 .....	8
2.3.3 堆肥, 副資材の特性 .....	9
2.4 物質収支及び堆肥の安定度 .....	9
2.4.1 欠測値の推定 .....	9
2.4.2 施設 A4 における堆肥除去率の推定 .....	11
2.4.3 搬入出物における灰分収支 .....	11
2.4.4 炭素・窒素の収支 .....	12
2.4.5 堆肥の安定度 .....	13
2.4.6 堆肥の元素含有量 .....	14
2.5 主な結論 .....	14

## 第3章 様々な有機性廃棄物の堆肥化施設における

### 物質収支, エネルギー消費及びコスト

3.1 目的 .....	16
3.2 調査方法 .....	16
3.2.1 データ収集とサンプル採取 .....	16
3.2.2 試料の分析 .....	16
3.3 物質収支 .....	16
3.3.1 施設調査の概要 .....	16
3.4.2 堆肥の N, P, K 含有量 .....	22
3.5 コスト及びエネルギー消費 .....	23
3.5.1 建設費 .....	23
3.5.2 ランニングコスト及びエネルギー消費 .....	24
3.6 主な結論 .....	27

<b>第4章</b>	<b>メタン発酵施設における物質収支およびコスト</b>	
4.1	目的	28
4.2	方法	28
4.2.1	調査対象施設の抽出	28
4.2.2	アンケート調査	29
4.2.3	試料の分析	30
4.3	調査結果及び考察	31
4.3.1	施設の分類	31
4.3.2	施設の概要	33
4.4	炭素収支	34
4.4.1	バイオガス発生量	34
4.4.2	生成物の利用	35
4.4.3	炭素の移行率	36
4.5	元素収支 (P, K)	41
4.5.1	固体と液体への移行率	44
4.6	コスト	45
4.6.1	建設費	45
4.6.2	ランニングコスト	45
4.7	主な結論	48
<b>第5章</b>	<b>おわりに</b>	
5.1	リン, カリウムの回収	49
5.1.1	日本のリンとカリウム資源の現状	49
5.1.2	有機性廃棄物からの N,P,K の回収可能性	49
5.2	堆肥化とメタン発酵のコスト比較	52
	<b>付表</b>	
付表 2-2	堆肥化施設における搬入出量一覧	54
付表 4-2	メタン発酵施設における搬入量, 搬出量	56
付表 4-3	メタン発酵施設の概要	59
付表 4-4	メタン発酵施設のコスト	61
付表 2-1	堆肥化施設アンケート用紙	63
付表 4-1	メタン発酵施設アンケート用紙	65

(本研究は、博士課程・張会均さん、修士課程・板倉彩夏さんによって行われたものです)

## まえがき

地球温暖化対策としての二酸化炭素排出量削減、資源循環の有機性廃棄物の資源化・リサイクルなどのため、バイオマスの有効利用が必要な課題として挙げられています。自治体の中には、積極的に取り組むところ、あるいは取り組みを検討しているところがあるでしょう。しかしどのような情報を参考にして、実施計画が立てられているのでしょうか。

一般的には、既存の施設を参考とすることが多いと思います。しかし、市町村の分別方法や人口規模で、利用する廃棄物の種類や量が違います。堆肥化の場合は副資材の調達や、利用先にも地域性があります。また、電力消費量（あるいは回収量）、コストの見積もりは確かでしょうか。それらも、施設の条件に左右されるはずで、こうした情報なしに新たな処理技術を採用するのは、「冒険」かもしれません。

国の委員会では、膨大な情報が集められます。しかし委員の一人とならない限り、私たちが目にすることはほとんどありませんし、その存在を知ることすら困難です。自治体の委員会の場合は、さらにその困難さが増します。研究の世界では、個々の研究者が独自にデータを集めます。これも研究論文として報告されると、もともとデータは表にでることなく仕舞い込まれます。その結果、同じような調査が、別々に、重複して、あるいは繰り返して実施されることになり、それらもまた目的を達したあと、目に触れずしまいこまれます。

多大な労力をかけたものを、「自分たちの財産」にしておきたいというのは人間の普遍的欲求でしょう。しかし、探査機はやぶさがイトカワから持ち帰った微量の試料が、各国の多数の機関で分析されるとのニュースは、大変新鮮でした。イトカワの微粒子を、さまざまな方法で分析したら、 $\mu\text{g}$ 単位の試料の価値は倍増します。データ収集に労力をかけるよりも、分析方法を変えたり、調査を追加したり、あるいは共同で研究したりすれば、生まれる知識や情報は、格段に大きくなるはずです。

本報告書は、有機性廃棄物の代表的な資源化方法である堆肥化とメタン発酵の調査結果をまとめたものです。上記のような考えのため、アンケートや分析で得られた元データも掲載しています。さまざまな廃棄物を原料とした施設を対象としていますが、同じ廃棄物が原料でも、施設によってこんなにも差があるのかと、驚かれるかもしれません。参考にいただければうれしいですし、情報を共有する試みが広がることも期待します。

2011年3月

北海道大学大学院工学研究院

環境創生工学部門

廃棄物処分工学研究室

松藤 敏彦

# 第1章 はじめに

## 1.1 背景

### 1.1.1 有機性廃棄物の排出状況

わが国の平成18年度における廃棄物排出量は一般廃棄物、産業廃棄物合わせて約5.8億トンであり、そのうち有機性廃棄物は約54%の約3.2億トンとなっている(表1-1)。その内訳を表1-2に示すが、全体に再生利用率は低い。

これらの有機性廃棄物は含水率が高いものが多く(例えば動物のふん尿は約80%、下水汚泥は約80-97%)、不適切な処分、管理は悪臭の発生原因となり、河川や地下水へ流出して水質汚染を招く可能性がある。また埋立されると温暖化ガスであるメタンガスを発生し、焼却は高含水率のためエネルギー回収を阻害することになる。

表1-1 わが国における廃棄物排出量(平成18年度実績)

区分	排出量(億トン)	割合
バイオマス系	3.2	55.0
無機廃棄物	2.1	36.1
金属系	0.4	6.4
化石系	0.2	2.6
合計	5.8	

出典:「環境循環社会白書」pp.177 環境省編(平成21年版)

表1-2 有機性廃棄物の内訳(平成18年度実績)

廃棄物	排出量	割合(%)	再生利用量					減量化量	最終処分量	文献	
			堆肥化	メタン発酵	飼料化	その他	合計				
一廃	生ごみ	16,000	5.1	-	-	-	-	1,000	-	約15000	a
	紙ごみ	19,000	6.1	-	-	-	-	6,000	-	約13000	a
	木竹草ごみ	5,000	1.6	-	-	-	-	-	-	約5000	a
	浄化槽汚泥	24,845	7.9	52	15	-	63	130	22,045	2,670	a
産廃	下水汚泥	78,339	24.9	-	-	-	-	2,040	75,963	396	c
	製造業有機汚泥	39,500	12.6	-	-	-	-	-	-	-	d
	紙くず	1,466	0.5	-	-	-	-	982	367	117	c
	木くず	5,971	1.9	-	-	-	-	4,060	1,552	358	c
	食品加工残渣	11,343	3.6	2,452	213	2,292	827	5,785	340	5,218	e
	動植物性残渣	3,066	1.0	-	-	-	-	1,857	1,138	71	c
	家畜糞尿	87,476	27.9	-	-	-	-	83,968	3,508	131	c
	動物の死体	197	0.1	-	-	-	-	-	-	-	c
その他	古紙	9,700	3.1	-	-	-	-	-	-	-	d
	稲わら	9,100	2.9	-	-	-	-	-	-	-	d
	麦わら	1,100	0.4	-	-	-	-	-	-	-	d
	籾殻	1,900	0.6	-	-	-	-	-	-	-	d
合計	314,003	100.0									

a 名倉良雄、工藤喜史:「廃棄物バイオマスの利活用のための政策・施策について」 廃棄物資源循環学会誌, Vol.21(1)、3-10(2010)

b 「日本の廃棄物処理(平成19年度版)」 環境省リサイクル対策部(平成21年9月)

c 「産業廃棄物排出・処理状況調査報告書(平成19年度実績)」 環境省リサイクル対策(平成22年3月)

d 環境省「第1回生ごみなど3R・処理に関する検討会資料」(2006) 平成14年度実績

e 「平成19年食品循環資源の再生利用等実態調査報告」(農林水産省統計部)より計算

### 1.1.2 有機性廃棄物の資源化方法

堆肥やバイオガス化の対象となる有機性廃棄物を、法律の区分と発生源で分類すると、図 1-1 のようになる。一般廃棄物では、家庭、事業、都市サービス等の都市から発生する生ごみやし尿浄化槽汚泥及び木竹草等があり、産業廃棄物では、都市から発生する下水汚泥のほか、畜産から発生する家畜ふん尿や食品工場から発生する食品加工残渣、食品工場排水が対象となる。

表 1-3 に、有機性廃棄物に関する近年の法律を示す。廃棄物減量のための資源化、バイオマス資源としての有効利用、温室ガス排出削減のためのエネルギー利用などの視点から様々な法律が制定されている。これに伴って、有機性廃棄物の資源化技術としては、エタノール化、水素発酵等の新規技術が提案されているが、それらが一般的な技術となるかどうかは未知数である。炭化やガス化なども、対象となる廃棄物は限られている。一方、図 1-1 に示すように堆肥化、メタン発酵は様々な廃棄物に適用が可能であり、表 1-2 のように実際に数多くの施設が稼働している実現性が高い処理法である。

しかし、それらに関しては、施設パンフレットに記載されている計画量やフローシート程度の情報しかない。また多くの研究が行われ、主に処理性能やエネルギー回収率に注目した

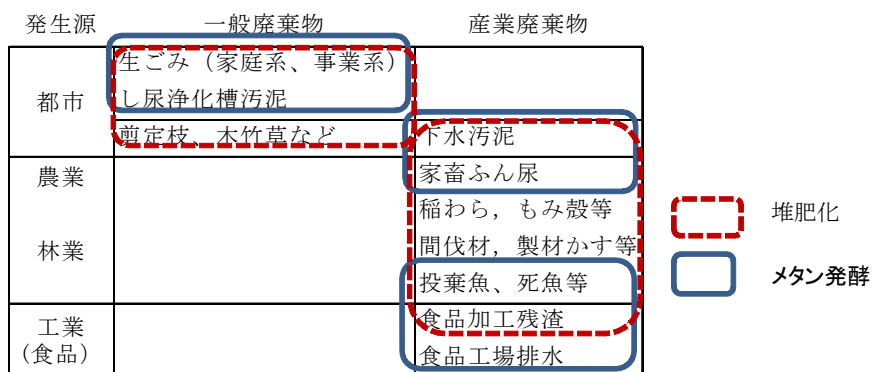


図 1-1 堆肥化とメタン発酵の対象となる有機性廃棄物

表 1-3 有機性廃棄物の利活用に関連する法令

分類	法例名(略称)	施行年度
有機性廃棄物の利活用の意義・目的などに関する法律	環境基本法	平成5年
	循環型社会形成推進基本法	平成13年
	地球温暖化対策の推進に関する法律(地球温暖化対策推進法)	平成11年
	資源の有効な利用の促進に関する法律(新リサイクル法)	平成13年
バイオマス資源の発生・収集に関する法律	廃棄物の処理及び清掃に関する法律(廃掃法)	昭和46年
	食品循環資源の再生量などの促進に関する法律(食品リサイクル)	平成13年
	家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律(家畜排せつ物法)	平成11年
有機性廃棄物の変換・利用に関する法律	持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律	平成11年
	新エネルギー利用などの促進に関する特別措置法(新エネ法)	平成9年
	電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法(RPS)	平成15年

ものが多いが、個別の施設、あるいはひとつの種類 of 廃棄物を対象としたものが大部分であった。そのため、処理廃棄物やプロセスが異なる場合に、施設の性能がどのように変化するかはわからない。新たに処理法を選択する、あるいは既存施設の評価を行い改善につなげるためには、廃棄物の種類や設備、規模等によって物質収支、エネルギー収支及びコスト等がどのように異なるかを知る必要がある。

## 1.2 本研究の目的と構成

本研究は、様々な有機性廃棄物処理の技術選択の基準となるような技術資料提供を目的とし、異なる廃棄物に適用できる廃棄物堆肥化とメタン発酵施設を対象にアンケート調査及びサンプル分析を行った。評価内容は、以下のとおりである。

- 異なる廃棄物の処理プロセスの特徴を把握する。
- 施設における物質収支及び栄養成分である N、P と K の収支を明らかにする。
- 堆肥の安定化や消化液の肥料成分などを分析し、生成物の利用性を検討する。
- 施設におけるエネルギー消費及びコストを検討する。

これらは、技術選択の基礎情報として利用できると考えている。

第 2 章では、全国の一般廃棄物堆肥化施設を対象としてアンケート調査を行った。回答であった 38 施設を六つのグループに分類し、まず生ごみ原料とした堆肥化施設における物質収支および元素バランスについて検討を行った。さらに製品堆肥の安定度も評価した。

第 3 章では、生ごみを含む全ての有機性廃棄物種類を対象とした。異なる有機性廃棄物の堆肥化施設における物質収支、エネルギー消費及びコストについて検討した。堆肥のサンプルを入手し、堆肥の灰分収支、C/N 及び肥料含有量を評価した。

第 4 章では、文献から抽出した全国のメタン発酵施設 (217 施設) を対象としアンケート調査を行った。消化液また脱水後の液体、固体のサンプルを入手して元素分析を行い、異なる廃棄物間に比較できるガス化率を推定した。液体、固体中の肥料含有率を算出し、肥料として利用の可能性を評価した。さらに施設におけるエネルギー消費及びコストも評価した。

## 第2章 生ごみ堆肥化施設における物質収支と元素収支

### 2.1 目的

廃棄物の種類，副資材の添加量，温度，水分といった条件の違いは，堆肥化処理に影響を及ぼす可能性がある。これらのうち，原料の種類は処理プロセスの選択や施設内の物質収支に最も栄養する要因である。そこで本章では，堆肥化原料とした廃棄物種類によって施設を分類し，生ごみ堆肥化施設における物質収支と元素バランスおよび堆肥の安定度について分析し比較した。

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 一般廃棄物処理施設数

環境省の一般廃棄物実態調査によれば，平成17年時点で全国の堆肥化施設は77施設であった。図2-1，表2-1に堆肥化施設の開始年と処理能力を示す。なお，平成20年時点では同調査に民間が含まれているが，平成17年調査では公営（自治体）のみが対象であった。また図2-1で「汚泥」としたのは，し尿浄化槽汚泥および下水汚泥である。

堆肥化施設の数 は 1997 年から増加し，小規模の施設も増加した。これは表1-3に示したような有機性廃棄物に関連する多くの法律が制定されたためである。1997年（平成9年）には生ごみを含む下水汚泥再生センターに助成金制度が導入され，1999年に家畜糞尿の適切処理を促進するために家畜排せつ物法が制定された。また，2000年のバイオマスニッポン戦略は，有機性廃棄物の有効利用を促進した。

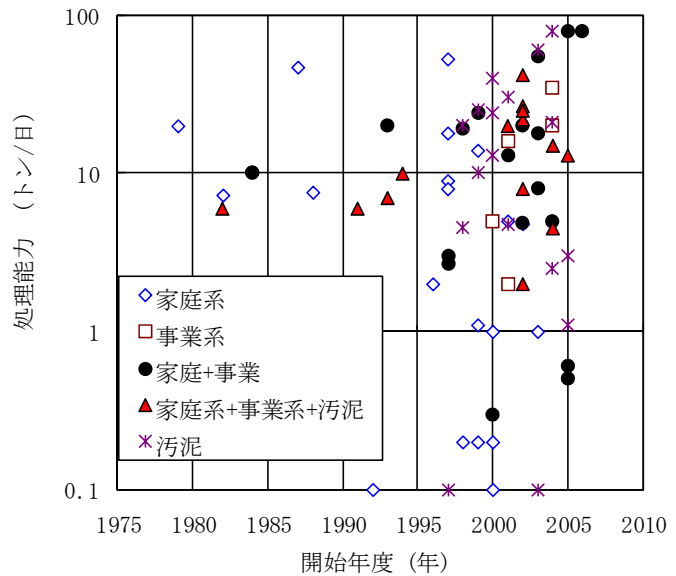


図2-1 一般廃棄物堆肥化施設の開始年度と処理能力

表2-1 一般廃棄物堆肥化施設の内訳（2006）

(a) 家庭系		(b) 事業系		(d) 家庭系+事業系		(e) 汚泥し尿	
開始年度 (年)	処理規模 (トン/日)	開始年度 (年)	処理規模 (トン/日)	開始年度 (年)	処理規模 (トン/日)	開始年度 (年)	処理規模 (トン/日)
1979	20	1989	0.2	1993	20	1997	0.1
1982	7.3	2000	5	1984	10	1998	20
1992	0.1	2001	16	1997	3	1998	4.5
1996	2	2001	2	1997	2.7	1999	10
1997	9	2004	20	1998	19	1999	25
1997	53	2004	35.1	1999	24	2000	40
1997	8			2000	0.3	2000	13
1997	18			2000	0.3	2000	24
1998	0.2			2001	13	2001	30
1999	14			2002	4.9	2001	4.8
1999	1.1			2002	20	2003	0.1
1999	0.2			2002	26.7	2003	60
2000	0.2			2002	22	2004	79
2000	0.1			2002	42	2004	21
2001	5			2002	8	2004	2.5
2002	4.8			2002	2	2005	3
2003	1			2002	25	2005	0.6
2000	1			2002	2	2005	0.5
1987	47			2004	15	2006	80
1988	7.6			2004	4.5	1984	10
				2005	13		
				1982	6		



## 2.2.2 アンケート調査

図 2-1 には、堆肥化施設における原料の種類が示されている。しかし環境省の調査では、複数種類の廃棄物を処理している場合に種類別の量の数値がない。また、施設パンフレット記載されている計画量やフローシート程度の情報しかなく、堆肥の生産量等の基礎的な情報も把握されていない。

そこで、より詳細な情報を得るため、2008年9月に表 2-1 に示すすべての施設（77 施設）に対し、アンケート調査を行った。表 2-2 に、アンケート内容の概要を示す。施設における物質収支（廃棄物の種類、搬入量および堆肥量）、収集方法を尋ね、システムを評価するのに必要な電力、燃料、および建設費、ランニング・コストなどについても質問した。回答が得られたのは、38 施設であった（回収率は 54%）。なお、アンケート調査票は、巻末に付表 2-1 として載せた。

表 2-2 アンケート調査項目

	項目	内容
搬入物	生ごみ	種類(家庭系、事業系)、量、含水率
	そのほか	種類(浄化槽汚泥、下水汚泥、家畜糞尿など)、量、含水率
	副資材	種類(もみ殻、モミぬか、おが屑など)、量、価格
搬出物	堆肥	量、価格、輸送費
	残渣	量、処理方法(埋立、焼却など)
収集方法	家庭系	量、対象人口、頻度、容器、方法、車両
	事業系	量、業種、方法、処理料金
用役使用量	電力、用水、燃料など	年間使用量
コスト	建設費	
	ランニングコスト	人件費、電力、燃料、副資材、薬品など
	堆肥売却益	
職員数		

(詳細は付表 2-1)

## 2.2.3 回答施設の概要

回答のあった 38 施設の処理物はさまざまであり、主に以下の 4 つに分類できる。

- 1) 家庭系生ごみ、食品加工残渣を含む事業系生ごみ
- 2) し尿、下水汚泥、浄化槽汚泥
- 3) 牛、豚、鶏の排泄物を含む家畜糞尿
- 4) 剪定枝

しかし廃棄物の種類によって含水率が異なるので、処理量をそのまま比較することはできない。そこで、文献より種類別の含水率を表 2-3(b)のように設定し、種類別の乾燥重量によって表 2-3(a)のように分類した。種類別の詳細データは、付表 2-2 に示している。

調査対象施設は一般廃棄物処理施設であるが、生ごみなどと一緒に産業廃棄物も処理されている。搬入物である生ごみ、家畜糞尿、浄化槽汚泥・下水汚泥、剪定枝は 100%以上を占める単独処理に近いものがそれぞれ 14 施設、10 施設、2 施設、2 施設であった。その他は複数種類の混合であり、それぞれ 6 施設と 4 施設であった。本章ではまず表 2-3(a)のうち、生

ごみのみを処理している施設を対象とした。生ごみ堆肥化施設の 14 施設のうち 1 施設はすでに運転を停止しており、2 施設はメタン発酵残さの堆肥化であったため、研究対象としたのはこれら 3 つの施設を除く 11 施設である。これらの施設に対して、さらに、プロセスフロー、設備構成、物質収支データの再確認などを、電話あるいはメールにより確認した。

また 11 施設に対して堆肥と副資材のサンプル提供を依頼し、すべての施設の協力が得られた。堆肥は 4L、副資材は 500mL の密閉容器を送り、堆肥については発酵終了物の堆積物から、3 か所ランダムにとり、それらをよく混合したものを送ってもらった。生ごみは代表サンプルを採取するのが難しいため、既往の研究で報告された数値を用いることにした(表 2-7 で後述する)。

表 2-3 搬入物による施設の分類

(a)搬入物の分類	搬入物の割合(乾ベース) (%)				施設数
	生ごみ	家畜糞尿	浄化槽汚泥 下水汚泥	剪定枝	
生ごみ	100	0	0	0	14
生ごみ主体 (50%) + その他	>50	0-20	0-40	0-13	6
家畜糞尿主体(80%) + その他	0-20	>80	0-20	0	10
浄化槽汚泥	0	0	100	0	2
生ごみ, 家畜糞尿と下水汚泥	20-50	0-50	0-60	0	4
剪定枝	0	0	0	100	2

(b)原料の含水率の仮定	レンジ (%)	仮定値 (%)	文献
生ごみ	70-80	75	Diaz et al. (2005)
	71.1-80.8		WRF (1999)
家畜糞尿	80	80	Diaz et al. (2005)
浄化槽汚泥		97	OWRRD (2005)
下水汚泥	70-80	75	Diaz et al. (2005)
剪定枝	35-40	37.5	OWRRD (2005)

## 2.2.4 試料の分析方法

分析は、独立行政法人農林水産消費安全技術センター「肥料取締法 2009」に基づいて行った (FAMIC, 2008)。含水率、灰分と元素及び酸素消費速度をそれぞれ 3 回、3 回、2 回繰り返し分析し、平均値を用いた。

### (a)含水率と灰分

堆肥、副資材の試料を四分法により縮分し、試料 5g をとり 100°C の乾燥機で 5 時間乾燥した。乾燥減量より含水率を求め、次に乾燥試料 2g をとり 3 時間、600°C で電気炉に強熱して灰分を求めた。

### (b)元素分析

上記(a)の乾燥試料を粉碎し、2-3 mg を北海道大学機器分析センターに送って炭素、水素、窒素を依頼分析した。また、堆肥の現物試料 10g を王水分解させ、5B 濾紙で濾過した後に、ろ液を原子吸光分析法(Z-8200; 日立)によって水銀、クロム、ニッケル、鉛、および亜鉛を分

析した。その他の元素は、誘導結合プラズマ分光計(ICPE-9000; 島津製作所)を用いて分析した。製品堆肥の重金属含有量(Cd, Cr, Cu, As, Hg, Ni, Pb, Zn, Ca, K, Na, および P)も測定した。

### (c)酸素消費速度

四分法により縮分した堆肥，副資材の中から現物試料 3g をとり，水分 50%に調整し，触手として農場の土壌を 0.3 g 添加した。容積 135-mL ガラスびんに封入して 37°C 恒温器に置き，10～14 時間おきに容器内内の酸素濃度を測定して求めた。また，濃度が 10%以下となったときは，ふたを取って空気を補給した。

## 2.3 施設調査及びサンプル分析結果

### 2.3.1 堆肥化のプロセス

調査対象とした 11 施設の概要を，表 2-4 に示す。プロセスの違いによって，以下の 3 グループに分類されることがわかった。

前処理，一次発酵，二次発酵と続く標準的なプロセス構成をもつ施設は，5 施設であった。これを A グループとする。一次発酵は 1 か月ほどであり，その後二次発酵（熟成）を 1～2 か月行う。発酵槽は，横型と縦型がある。各施設は破砕機，振動篩，風力選別機などの前処理，後選別設備をもつ。切り返し頻度は週 1～2 回，毎日，連続など，施設によって異なる。このグループの堆肥試料は，二次発酵後に採取した。

第 2 のグループ (AS) は，縦型の密閉式発酵槽を用いて生ごみを堆肥化している 2 施設である。両施設とも，前処理，後処理がある。生ごみは連続的に攪拌され，ジャケット式で温水を循環させ，発酵槽を加温している。さらに，発酵槽の上から約 80°C の熱風も送風している。発酵菌，副資材を添加し，処理時間は 1～3 日以内で，二次発酵を行っていない。

第 3 のグループ (B) は業務用堆肥化装置を用い，生ごみを堆肥化させるものである。年間処理量は A と AS グループにより小さく，前処理，後処理，二次発酵も行っていない。施設 B1-B3 の設備は発酵槽が 4 槽に分かれており，コンベアによって順次生ごみを移動し，電気ヒータで約 80°C に発酵槽を加温している。処理時間はわずか 6～8 時間内である。施設 B4 の発酵槽はドラム式であり，連続攪拌され，電気ヒータで約 60～70°C に加温している。AS グループと B グループの堆肥サンプルは処理後 1 週間以内のものを採取した。

表 2-4 に示すように，11 施設すべてに脱臭システムがある。製品堆肥を販売しているのは施設 A3 と AS2 であり，そのほかの施設は無料で市民と農家に配布している。AS2，B1 は事業系ごみのみ，A1，A3，AS1，B4 は，家庭系と事業系両方を処理している（付表 2-2 参照）。

表 2-4 堆肥施設の概要

施設	処理能力 (トン/日)	発酵槽	処理日数 (日)		繰り返し頻度
			一次発酵	二次発酵	
A1	3	横型	30	60	1回/2週
A2	0.5	横型	30-40	20-40	1回/日
A3	7	縦型 (多層)	30	20-60	連続
A4	4.8	横型	56	30	2回/週
A5	5	横型	30	-	1回/週
AS1	4.9	縦型 (円筒型)	2	-	連続
AS2	5	縦型 (円筒型)	2	-	連続
B1	0.5	横型	8h	-	連続
B2	0.3	横型	8h	-	連続
B3	0.3	横型	8h	-	連続
B4	0.6	横型	1	-	連続

(つづき)

施設	前処理	後処理	脱臭	売却
A1	破碎	振動選別	活性炭	無料配布
A2	破碎	トロンメル選別	おが屑	無料配布
A3	破碎	振動選別	土壌	12000円/トン、300円/15L(袋)
A4	破碎、磁選、風選	振動選別、磁選、風選	ウッドチップ	無料配布
A5	破碎	振動選別	土壌	無料配布
AS1	破碎	トロンメル選別	ビートモス	無料配布
AS2	破碎	振動選別	活性炭	18900円/トン、240円/20L(袋)
B1	-	-	高温触媒	無料配布
B2	-	-	高温触媒	無料配布
B3	-	-	高温触媒	無料配布
B4	-	-	もみ殻	無料配布

### 2.3.2 施設の物質収支

表 2-5 に各施設の、搬入量、搬出量を湿ベースで示す。しかし A2 と B1 の副資材、堆肥、残渣の量が不明であった。施設へのヒアリングにより、生ごみ搬入量に対する副資材であるおが屑の添加割合は量施設とも 20%であることから、副資材量を推定した(表 2-5 中に“a”とした)。また、両施設における堆肥生産量の推定については、2.4.1 で述べる。

表 2-5 施設の物質収支(湿ベース)

施設	搬入物 (トン/年)		搬出物 (トン/年)	
	生ごみ	副資材	堆肥	残渣
A1	699.4	59.2	142.7	0.1
A2	33.0	6.6 <sup>a</sup>	NA <sup>b</sup>	NA
A3	400.0	97.5	350.0	5
A4	792.0	146.0	35.0	181.9
A5	75.0	2.4	9.9	NA
AS1	661.0	14.4	111.7	6.6
AS2	264.5	5.4	43.0	12.1
B1	56.0	11.2 <sup>a</sup>	NA <sup>b</sup>	NA
B2	12.7	0.3	3.5	0
B3	9.2	0.2	2.3	0
B4	147.0	3.7	4.9	0

NA: データ不明

a 副資材の添加率は20%とした

b 堆肥量を2.4.1で推定

### 2.3.3 堆肥, 副資材の特性

表 2-6(a)(b)に堆肥と副資材の三成分, 元素組成, および酸素消費速度を示す。堆肥の含水率は施設ごとで異なり, AS グループと B1~B3 は含水率が低い (5~10%)。これは, 発酵槽が乾燥タイプに近いためである。

酸素消費速度 (安定度の指標とする) は表 2-6(a)に示すようにばらつきが大きい。2.4.5 節でこのばらつきの理由について検討する。副資材の C/N 比は堆肥より高い。

表 2-6 サンプルの分析値

(a) 堆肥の三成分及び酸素消費速度

施設	乾ベース [%]				含水率 (%)	酸素消費速度 (g-O <sub>2</sub> /kg-DS-週)
	Ash	C	N	H		
A1	10.1	44.8	2.4	5.7	22.6	215
A2	31.6	39.7	1.5	4.9	19.7	16
A3	29.2	30.7	2.9	3.8	48.3	12
A4	42.7	29.3	3	3.7	34.2	127
A5	46.2	27.3	2.8	3.8	31.1	26
AS1	11.1	45.8	3.7	6.5	10.6	182
AS2	10	48.3	4	6.8	5.7	133
B1	6.8	51.2	4.2	7.4	5.5	79
B2	13.1	47.8	4.1	6.8	11.5	90
B3	13.1	47	4.8	6.7	10.7	80
B4	31.5	30.6	2.2	4	35.5	19

(b) 副資材の三成分及び酸素消費速度

施設	乾ベース [%]				含水率 (%)	酸素消費速度 (g-O <sub>2</sub> /kg-DS-週)	
	Ash	C	N	H			
A1	0.8	47.9	0.1	6	12.5	24	おが粉
A2	0.8	49.1	0.2	6.2	13.2	18	おが屑
A3	0.6	48.3	0.1	6.1	13.2	16	おが屑
A4	5.8	47.4	0.8	6	39	46	チップ
A5	20.4	34.7	0.5	4.8	13	19	もみ殻
AS1	0.5	47.4	0.1	6.1	12.6	7	おが粉
AS2	11	47.8	2.6	7.3	10.4	610	もみ糠
B1	0.8	48.3	0.1	6.4	13.5	15	おが屑
B2	26	41	0.5	5.4	11.4	221	もみ殻
B3	31	39.5	0.5	5.2	10.3	39	もみ殻
B4	35.3	38.1	0.3	5.1	13	209	もみ殻

## 2.4 物質収支及び堆肥の安定度

### 2.4.1 欠測値の推定

乾ベースでの物質収支をもとに, データが欠測であった A2, B1 の堆肥生産量 (2.3.2 参照) を推定する。堆肥と副資材の水分は表 2-6(a)(b)を用い, 生ごみの含水率は 75%と仮定した。文献値より設定した生ごみの特定値を, 表 2-7 に示している。

表 2-5 において A4 と AS2 の残渣量が多かったため, 両施設から残渣試料を送付してもらい含水率を測定したところ, それぞれ 31.9%, 13.8%であった。残渣は堆肥選別後に取り除

表 2-7 本報告で使用した生ごみの特定値

	レンジ(%)	平均 (%)	仮定値(%)	文献
含水率	70-80	75	75	Diaz et al. (2005)
	71.1-80.8	75.4		WRF (1999)
灰分	6.3-14.8	10.5	10	WRF (1999)
炭素	33.7-45.9	-	40	WRF (1999)
窒素	1.9-2.0	-	2	WRF (1999)

いたものなので、そのほかの施設の残渣含水率は堆肥と同じであると仮定した。これらのデータを用いて、乾ベース重量を算出すると表 2-8 となる。表 2-5 中不明であった A2 と B1 の堆肥量は、以下のように推定した。

表 2-8 に示すように、A1 と A3 の残渣量は少ないため無視できる。A2, A5, B1 は残渣量が不明だが、施設へのヒアリング調査によりわずかであることから、やはり無視する。副資材は分解せずにそのまま堆肥中に残っていると仮定すると、残渣量=0 の施設に対して乾ベース重量は、次式となる。

$$(1 - \eta)m_f + m_b = m_c \quad (2-1)$$

$$\text{または} \quad \eta = 1 - (m_c - m_b) / m_f \quad (2-2)$$

ここで  $\eta$  は生ごみの分解率、 $m$  は乾燥重量で、添え字  $f, b, c$  はそれぞれ生ごみ、副資材、堆肥を表す。

式(2-2)に表 2-8 を代入すると、A グループの A1, A3, A5 の分解率はそれぞれ 0.66, 0.04, 0.75, B グループの B2, B3, B4 はそれぞれ 0.13, 0.19, 1.01 であった。A3 と B4 は、堆肥生産量が過大または過小であったため、データの信頼性は低いと考えられる。そこで A グループは A1 と A5 の平均値 0.70, B グループは B2 と B3 の平均値 0.15 を分解率として、A2 と B1 の堆肥生産量を表 2-8 のように推定した。

また、副資材は堆肥化によってどれだけ減少するだろうか。表 2-6(b)に示した酸素消費速度を見ると、A グループは低い。AS と B グループのうち、AS2, B2, B4 は高いが、副資材の添加率が小さい。分解による副資材の減少量を表 2-8 の括弧に示すが、堆肥の乾燥重量に比較してわずかであり無視できることがわかる。すなわち、副資材は堆肥化後にもほとんど分解せずに残ると考えられる。

表 2-8 堆肥化施設における乾重量

施設	搬入物 (トン/年)		搬出物 (トン/年)	
	生ごみ	副資材	堆肥	残渣
A1	175	52(0.5)	110	0.1
A2	8	6(0.0)	8 (推定)	NA
A3	100	85(0.5)	181	3
A4	198	89(1.5)	23	124
A5	19	2(0.0)	7	NA
AS1	165	13(0.1)	100	6
AS2	66	5(1.1)	41	10
B1	14.0	9.7(0.1)	21.6 (推定)	NA
B2	3.2	0.3(0.0)	3.1	0.0
B3	2.3	0.2(0.0)	2.1	0.0
B4	36.8	3.2(0.3)	3.0	0.0

( ) に堆肥化による副資材の減少量を示す。

## 2.4.2 施設 A4 における堆肥除去率の推定

乾ベース重量（表 2-8）、および灰分（表 2-6(a)(b)）より、搬入物、搬出物中の灰分を推定し、表 2-9 に示す。残渣量が多い施設 A4 と AS2 については、残渣サンプルの実測値（それぞれ 33.1% と 31.0% であった）を用いた。また、施設 A1, A3, AS1 の残渣量は少ないので、灰分量も無視した。生ごみの灰分含有量は表 2-7 に示すように、10% と仮定した。

表 2-9 灰分収支

施設	搬入物（トン/年）			搬出物（トン/年）	
	生ごみ	副資材	合計	堆肥	残渣
A1	17.5	0.4	17.9	11.2	-
A2	0.8	0.0	0.9	2.7	NA
A3	10.0	0.5	10.5	52.8	-
A4	19.8	5.1	24.9	9.8	28.7
A5	1.9	0.4	2.3	3.2	NA
AS1	16.5	0.1	16.6	11.1	-
AS2	6.6	0.5	7.1	4.1	2.2
B1	1.4	0.1	1.5	1.5	NA
B2	0.3	0.1	0.4	0.4	0.0
B3	0.2	0.1	0.3	0.3	0.0
B4	3.7	1.1	4.8	0.9	0.0

施設 A4 においては、残渣の灰分量が堆肥量のそれよりも大きい。施設に尋ねたところ、副資材として使用したおが屑の大部分が残渣として除去されているとのことであった。残渣量は、副資材投入量よりも多いことから、生ごみ由来の堆肥の一部も残渣へ混入していると考えられた。送付してもらった残渣試料（2.4.1 で入手）から、おが屑に堆肥が混入していることも確認できた。残渣が、生ごみ由来の堆肥（生ごみ Food waste 由来の意味で、堆肥-F と書く）と除去された副資材の混合物であるとする、残渣中灰分量は表 2-6(a)(b) に示した副資材の灰分(5.8%)と堆肥の灰分(42.7%)から計算できる。残渣の灰分測定値は 23.1% であったので、表 2-8 の堆肥と残渣の灰分は  $23 \times 0.427 + 124 \times 0.231$  トン、仮に残渣 124 トンの半分とすると生ごみ由来の堆肥は  $23 + 62 = 85$  なので灰分は  $85 \times 0.427 + 62 \times 0.058$  トンとなり、両者はほぼ一致する。すなわち、残渣として除去されたおが屑量は 62t であり、生ごみから生産された堆肥（堆肥-F）の量は  $33 + 62 = 85t$  と推定できる。2.4.4 では、これらの量を用いて炭素収支を検討した。

施設 A4 では、堆肥、残渣、おが屑の含水率はすべて高い（それぞれ 34%、33% および 39%）。施設へのヒアリングによれば、切り返し頻度が 2 回/週と少なく、かつ発酵温度が上がらないとのことだった。含水率が高いため、後処理における振動スクリーンの選別効率が低く、堆肥が除去されたものと思われる。

## 2.4.3 搬入出物における灰分収支

図 2-2 に、搬入物（生ごみ+副資材）と搬出物（堆肥+残渣）における灰分収支を示している。灰分は堆肥化前後に変化し

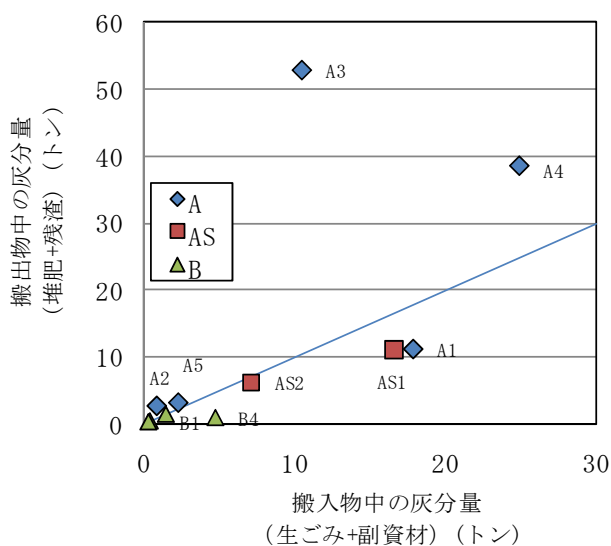


図 2-2 搬入出物における灰分収支

ないので、両者の比は 1:1 でなければならない。大部分の施設は 1:1 であり、収支がとれている。外れた施設は、搬入量あるいは搬出量データの誤差、含水率設定の誤差によると思われる。2.4.1 で述べたように、施設 A3 の堆肥の量は非常に大きく、施設 B4 は非常に小さい(表 2-8 のはそのため、図 2-2 にも表れている)。

#### 2.4.4 炭素・窒素の収支

炭素と窒素の収支を、表 2-10(a)(b)に示す。生ごみの炭素と窒素含有量は、表 2-7 よりそれぞれ 0.4 と 0.02 とした。

表 2-10 炭素及び窒素収支

施設	(a)炭素		(a)炭素			(b)窒素		(b)窒素	
	搬入物 (トン/年)	搬入物 (トン/年)	搬出物 (トン/年)	搬出物 (トン/年)	搬出物 (トン/年)	搬入物 (トン/年)	搬入物 (トン/年)	搬出物 (トン/年)	搬出物 (トン/年)
	生ごみ	副資材	堆肥	堆肥-F	堆肥(-)	生ごみ	副資材	堆肥	堆肥-F
A1	69.9	24.8	49.4	24.6	0.50	3.50	0.05	2.67	2.62
A2	3.3	2.8	3.3	0.5	0.16	0.17	0.01	0.13	0.12
A3	40.0	40.8	55.6	14.8	0.27	2.00	0.08	5.16	5.07
A4	79.2	42.2	24.9	-	-	3.96	0.72	2.51	-
A5	7.5	0.7	1.9	1.1	0.61	0.38	0.01	0.19	0.18
AS1	66.1	6.0	45.7	39.7	0.87	3.31	0.01	3.74	3.72
AS2	26.4	2.3	19.6	17.3	0.88	1.32	0.13	1.62	1.50
B1	5.6	4.7	11.1	6.4	0.58	0.28	0.01	0.91	0.90
B2	1.3	0.1	1.5	1.4	0.92	0.06	0.00	0.13	0.12
B3	0.9	0.1	1.0	0.9	0.92	0.05	0.00	0.10	0.10
B4	14.7	1.2	0.9	(-0.3)	(-0.33)	0.74	0.01	0.07	0.06

炭素窒素比 (C/N) は堆肥の安定度を表す指標のひとつである。しかし、堆肥中の炭素と窒素は、生ごみ由来だけではなく副資材も含んでいる。副資材がほとんど分解せず(2.4.1 参照)、炭素と窒素が堆肥にそのまま残ると仮定し、堆肥中の炭素、窒素から副資材由来のもの差し引くと、生ごみ由来堆肥 (堆肥-F) の炭素、窒素が算出できる。表 2-10 (a)(b)に生ごみ由来堆肥 (堆肥-F) の炭素と窒素量を示す。ただし 2.4.3 で述べたように施設 A4 の堆肥には副資材が含まれないと考えられるため、2.4.2 より堆肥の量を 85 トンとして堆肥中の炭素、窒素を計算し、堆肥-F は計算しなかった。

堆肥-F と堆肥を比較すると、副資材の添加によって炭素量が大きくなっていることがわかる。施設 A2 と A3 における堆肥-F/堆肥の比は約 0.2 であり、堆肥中炭素の 80%は副資材の炭素である。一方、副資材であるおが屑、もみ殻、ウッドチップ等は窒素含有量が小さいため、窒素は副資材の影響をほとんど受けない。施設 B4 の堆肥-F

表 2-11 生ごみ由来堆肥の C/N 及び酸素消費速度

施設	(a)C/N (-)		(b)酸素消費速度
	堆肥	堆肥-F	(g-O <sub>2</sub> /kg-DS-週)
			堆肥-F
A1	18.5	9.4	405
A2	26.1	4.4	51
A3	10.8	2.9	22
A4	9.9	-	-
A5	9.6	6.2	37
AS1	12.2	10.7	208
AS2	12.1	11.5	151
B1	12.1	7.1	143
B2	11.7	10.9	99
B3	9.8	9.1	89
B4	13.7	(-5.3)	(-286)



の炭素が負数となっているのは、搬出量、搬入量の誤差のためと思われる。表 2-11(a)に、堆肥および堆肥-F の C/N を示す。

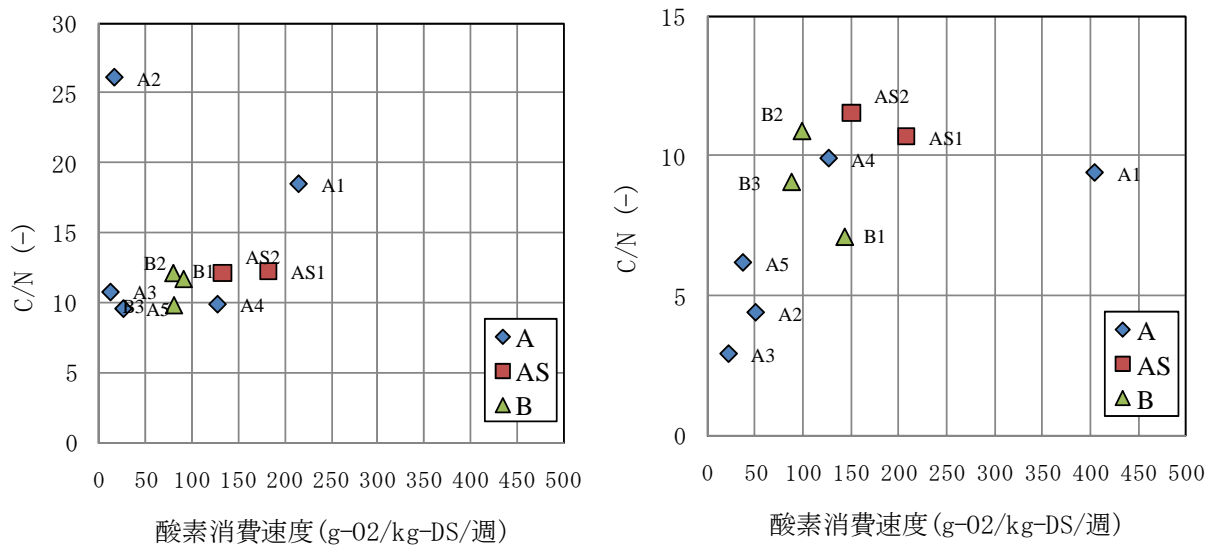
### 2.4.5 堆肥の安定度

堆肥中の副資材はほとんど分解しないので、酸素消費は無視できる(2.4.1 参照)。したがって表 2-6(a)に示した堆肥の酸素消費速度は、堆肥-F (生ごみ由来堆肥) のみによっている。堆肥-F の酸素消費速度は、堆肥の酸素消費速度に乾ベースの堆肥量/堆肥-副資材)の比をかけることで算出できる。例えば施設 A1 に関しては表 2-6(a)の堆肥酸素消費速度と表 2-8 の乾燥重量より、 $215 \times 110 / (110 - 52) = 408$  となる。こうして推定した堆肥-F の酸素消費速度を、表 2-11(b)に示す。

図 2-3 は横軸に C/N 比をとり、(a)に堆肥、(b)に堆肥-F を示す。堆肥の場合、C/N 比と酸素消費速度に相関は見られないが、堆肥-F とすると、よい相関がある。ただし(b)において、施設 A4 は堆肥の酸素消費速度を用いた、B4 は酸素消費速度が負となったため示していない。

図 2-3(b)において、標準的な堆肥化施設 A グループのうち、施設 A2, A3, A5 は C/N 比、酸素消費速度ともに低い。藤田(1993)によると、熟成した堆肥の酸素消費速度は週に  $30 \text{g-O}_2/\text{kg-DS}$  以下であるが、A2, A3, A5 のそれは  $22 \sim 51 \text{g-O}_2/\text{kg-DS}$  であった。A グループの中では、A1, A4 が高い。A1 における切り返し頻度が 2 週に 1 回と少なく、エアレーションも行っていない。藤田(1993)は、一次発酵の際に切り返し頻度は 1 回/日必要であるとしている。A4 は 2.4.3 で述べたように、発酵時の含水率が高く、切り返し頻度が低いため、分解が進んでいないと考えられる。

施設 AS1 と AS2 は、温水を循環し発酵槽を  $80^\circ\text{C}$  まで加熱して温風を送り、処理時間は 1 ~ 2 日である。二次発酵はなく、廃棄物の乾燥に近い。施設 B1, B2, B3 は温風吹き込みはないが発酵槽を加熱しており、AS グループにより酸素消費速度、C/N 比は低く、生ごみがある程度に分解されている。しかし、A グループには及ばない。施設 B4 の堆肥-F の酸素消



(a)堆肥 (副資材含む) (b)堆肥-F (副資材を除く生ごみ由来)

図 2-3 生ごみに由来した堆肥の C/N 及び酸素消費速度

費速度は負となったが、堆肥の酸素消費速度(表 2-6)は B グループの他施設より低く、施設 A2, A3, A5 に近い。2.3.1 で述べた連続繰り返しと高い発酵温度のためと考えられる。

## 2.4.6 堆肥の元素含有量

表 2-12 に堆肥の元素含有量を示す。すべて、農林水産消費安全技術センターによる、有機肥料として利用できる基準値以下であった。基準値は、水銀 2mg/kg, カドミウム 5mg/kg, 砒素 50mg/kg, 銅 600mg/kg, 亜鉛 1800mg/kg である。

表 2-12 堆肥の重金属及び肥料成分

施設	重金属 (mg/kg)								肥料成分 (%)				
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Ca	K	Na	P	
A1	4.2	1.7	1.7	24.8	0.8	1.0	2.1	42.6	3.2	0.8	0.7	0.4	
A2	4.6	1.6	1.6	17.2	0.5	2.2	3.8	34.1	5.1	1.1	0.7	0.8	
A3	8.3	2.6	1.6	49.3	1.0	0.8	1.6	28.4	4.1	2.4	0.8	1.1	
A4	6.8	2.5	4.1	37.1	1.0	2.6	2.8	31.3	14.6	2.0	1.6	0.9	
A5	7.0	1.5	2.6	71.1	0.5	1.2	2.6	39.6	9.3	2.6	1.3	1.4	
AS1	4.4	1.2	2.2	17.6	1.3	1.3	2.5	29.1	3.2	1.0	0.9	0.5	
AS2	5.2	1.6	1.2	20.4	0.2	0.7	1.2	16.5	2.7	0.9	1.1	0.8	
B1	4.0	1.8	0.9	7.1	0.5	0.2	0.9	16.1	2.6	0.5	0.5	1.0	
B2	5.3	1.2	1.8	16.3	1.1	1.1	0.9	19.5	4.9	1.2	1.0	0.7	
B3	5.4	1.0	1.6	18.2	0.7	0.9	2.2	29.0	3.3	0.9	1.1	0.7	
B4	1.3	1.6	3.2	35.5	1.0	4.4	1.0	13.5	5.9	1.4	0.6	0.5	
検出限界 ( $\mu\text{g/kg}$ )	1.25	0.25	1.0	1.25	2.5	1.25	5.0	0.75	-	-	-	-	
参考となる基準値	50 <sup>*1</sup>	5 <sup>*1</sup>		600 <sup>*2</sup>	2 <sup>*1</sup>			1800 <sup>*2</sup>					
文献値 (WRF, 1999)	平均値	1.2	0.4	1-10	33	0.04	42	3.9	52.3		1.5	1.8	1.7
	最大値	2.9	0.7		76	0.11		7.7	103		2.3	1.8	4.7
	最小値	0.6	0.1		<1	<0.01		<0.1	0.21		0.7	1.8	0.2

\*1肥料取締法「特殊肥料」

\*2農業協会組合「特殊肥料」

## 2.5 主な結論

- 1)さまざまな廃棄物を原料とする一般廃棄物堆肥化施設 77 施設に対して調査を行い、38 施設から回答が得られた。原料の含水率が種類によって異なるため、乾ベース重量割合で施設を分類した。本章はまず、生ごみを原料とする 14 施設を対象とした。
- 2)生ごみ堆肥化施設は、処理プロセスが異なる 3 つのグループに分けられた。標準的なタイプは 5 施設であり、処理時間が短く加温、温風送付を行う乾燥に近いグループが 2 施設、業務用堆肥化装置を使用している施設が 4 施設であった。
- 3)搬入量、搬出量には、不明なデータがあった。処理前後で変化しない灰分の収支から堆肥生産量を推定し (2.4.1)、また生産された堆肥が残渣として排出されている場合は、その割合を推定した (2.4.2)。
- 4)堆肥には、副資材が含まれており、C/N 比、酸素消費速度は副資材の割合に左右される。そこで、堆肥のうち生ごみに由来する部分の C/N 比と酸素消費速度を求めたところ、堆肥の安定度として適切であることを示した。

## 第 2 章の参考文献

- FAMIC : [肥料など試験法], 独立行政法人農林水産消費安全技術センター,2008.
- 藤田 賢二:「コンポスト化技術」, 技術堂出版, ISBN-7655-3131-7 C3050, 1993.
- Diaz, L.F., Savage, G.M., Eggerth, L.L., Chiumenti, A., Chiumenti, R., Goldstein, N., 2005.  
Modern composting technologies. Edited by the staff of Biocycle, Journal of  
Composting & Organics Recycling, Emmaus, PA, USA
- OWRRD:「有機性廃棄物資源化大辞典」農山漁村文化協会（農文協）出版,  
ISBN4-540-96131-4 C3061 p15450E, 2005.
- WRF:「廃棄物製品化にかかる品質安全基準作成のための調査研究報告書」廃棄物研究財団,  
1999.

(本章は、以下の発表論文を和訳し、データを加えるなどして再構成したものである。

Hui-Jun Zhang, Toshihiko Matsuto: Mass and element balance in food waste composting facilities, Waste Management, 30 (8), p.1477-1485, Aug 2010)

## 第 3 章 様々な有機性廃棄物の堆肥化施設における 物質収支，エネルギー消費及びコスト

### 3.1 目的

本章では、表 2-3 で分類した 6 つのグループすべてについて、物質収支、元素収支、堆肥の特性、およびコストについて分析した。対象としたのは表 3-1 の施設である。生ごみ堆肥化施設は、乾燥タイプ 2 施設 (AS グループ) や業務用堆肥化施設 4 施設 (B グループ) を除く A グループの 5 施設とし、またメタン発酵残渣の堆肥化を行っている 4 施設を除く、計 25 施設を対象とした。

### 3.2 調査方法

#### 3.2.1 データ収集とサンプル採取

2.2.2 で述べたアンケート調査に基づいて、搬入出物量、用役使用量、コスト、稼働状況を把握した。また、処理プロセスや処理条件に関して、発酵槽の種類、処理時間、通気の有無、繰り返し頻度、前処理および後処理の方法、脱臭方法、水処理設備の構成なども調査した。

各施設から、製品堆肥の試料を入手した。熟成した堆肥層の 3 か所から試料をとり、それらを十分混合した後に代表試料として 1 リットル採取してもらった。研究室において、すべての試料の 20mm ふるい通過分を、四分法を用いて 100g のサンプルを取り分けて分析に使用した。

#### 3.2.2 試料の分析

含水率、灰分、炭素、水素、窒素のほか、元素含有率(Cd, Cu, Hg, Zn, K および P)も分析した。含水率は 3 回、灰分は 3 回、元素は 2 回分析を行い、それらの平均値を用いた(分析手順は 2.2.4 参照)。

### 3.3 物質収支

#### 3.3.1 施設調査の概要

施設の概要を表 3-2 に示す。A グループは、第 2 章表 2-4 の再掲である。

ほとんどの施設で、破砕機が使用されている。家畜糞尿、浄化槽汚泥や下水汚泥を処理している C, D, E グループでは、脱水設備がある。これらのグループのうち、施設 C1, D1,

表 3-1 堆肥化施設の種類

分類	施設数
A 生ごみ	5 (6)
C 生ごみ (50%) + その他	4 (2)
D 家畜糞尿 (60%) + その他	10
E 浄化槽汚泥 (80%) + その他	1 (1)
G 生ごみ、家畜糞尿、下水汚泥	3 (1)
H 剪定枝	2
計	25

施設数のうち、カッコ内は対象から除外した施設

D5, D10 および G3 に脱水がない。これは C1, D10, G3 は天日乾燥された牛糞が搬入され、施設 D1 では原料牛糞の含水率を下げるため、生産した堆肥の一部を戻し堆肥として投入しているためである。また施設 D5 では、堆肥発酵槽へ投入する前に温風により 6 日間乾燥されている。

大部分の施設は一次発酵として、表 3-2 中「H」で示される横型発酵槽を用いており、処

表 3-2 堆肥化施設の概要

施設	処理能力 (トン/)	一次発酵			二次発酵		
		発酵槽*	日	切り返し	発酵槽	日	切り返し
A1	3	H-ホイールローダー	30	1回/2週	なし	60	1回/2週
A2	0.5	H-ホイールローダー	30-40	1回/日	なし	20-40	1回/週
A3	7	V 多槽	30	連続	なし	60	1回/週
A4	5	H-スクープ	56	2回/週	なし	20-60	2回/週
A5	0.5	H-ホイールローダー	30	1回/日	なし	30	1回/週
C1	13	H-パドル	10	1回/日	H-パドル	30	1回/日
C2	22	V 多層	4-6	連続	H-スクープ	6-8	1-2回/日
C3	9	H-パドル	15	1-2回/日	なし	25	1回/日
C4	15	H-ロータリー	30	1回/日	なし	30	1回/月
D1	35	H-スクープ	20	1回/日	なし	15	1回/5日
D2	31	H-ホイールローダー	30-35	1回/週	なし	30-35	1回/週
D3	22	H-ロータリー	25	1回/日	なし	65	1回/8-10日
D4	7	H-ロータリー	45	1回/2週	なし	45	1回/2週
D5	27	H-ロータリー	27	1回/週	なし	65	1回/2週
D6	20	H-スクープ	12	1回/日	H-スクープ	12	1回/2日
D7	18	円型スクリュウ	25	連続	H-スクリュウ	65	1回/日
D8	24	H-パドル	14-21	1回/日	H-パドル	14-21	1回/日
D9	42	H-スクープ	20	1回/日	なし	28-34	1回/週
D10	20	H-ロータリー	30	1-2回/日	なし	30	1回/7-10日
E	2	V 多層	6	連続	なし	30	1回/週
G1	4	H-ショベルローダー	30	1回/週	なし	30	1回/10-20日
G2	25	H-パドル	14	1回/日	なし	28	1回/日
G3	30	H-スクープ	18	1-2回/日	なし	55	1回/7-10日
H1	10	H-スクープ	60	1回/3日	なし	90	1回/月
H2	30	H-ショベルローダー	30	1回/週	なし	30	2回/月

\* H: 横型、V: 堅型;

施設	前処理	後処理	脱臭	堆肥売却
A1	破碎	振動篩	活性炭	無料
A2	破碎	トロンメル	おが屑	無料
A3	破碎	振動篩	土壌、薬品洗浄	有料
A4	破碎、磁選、風選	振動篩、磁選、風選	ウッドチップ	無料
A5	破碎	振動篩	土壌、薬品洗浄	無料
C1	破碎	トロンメル	ゼオライト吸着	有料
C2	破碎、脱水	トロンメル、磁選	土壌、活性炭、	有料
C3	破碎、乾燥	トロンメル、磁選	土壌	有料
C4	破碎、脱水	振動篩	土壌	有料
D1	破碎	振動篩	堆肥	有料
D2	脱水	振動篩	薬品洗浄	有料
D3	脱水	トロンメル	もみ殻	有料
D4	破碎、脱水	トロンメル	オゾン脱臭	有料
D5	破碎、混合、乾燥	トロンメル	ウッドチップ	有料
D6	破碎、脱水	振動篩	バーク	有料
D7	脱水	トロンメル	バーク	有料
D8	破碎、脱水	トロンメル、磁選	もみ殻、薬品洗	有料
D9	脱水	トロンメル	薬品洗浄	有料
D10	なし	トロンメル	土壌	有料
E	破碎、脱水	トロンメル	薬品洗浄	有料
G1	破碎	トロンメル	バーク	無料
G2	破碎、脱水	トロンメル	ゼオライト、水	無料
G3	なし	振動篩	土壌	有料
H1	破碎、磁選、風選	なし	なし	無料
H2	破碎、磁選、風選	なし	なし	無料

理時間は10～60日である。切り返し頻度は、連続～毎日、1～2週に一度の2グループに分かれ、パドル、ロータリー、スクープ、スクリーなど、さまざまな攪拌装置が用いられている。3つの施設は縦型発酵槽(表3-2中「V」で示している)を用い、連続攪拌し、発酵時間は6～30日である。

二次発酵は、大部分が堆積である(表中、発酵槽「なし」としている)。C1,C2,D6,D7,D8は横型発酵槽を使用している。二次発酵の切り返し頻度は、一次発酵と同様に2つに分けられる。表の網掛けは、頻度大を示す。一次発酵、二次発酵の切り返し頻度の組み合わせは、多-多、多-少、少-少のパターンに分かれる。

後処理の方法はトロンメル、振動ふるいが多い。脱臭には、生物脱臭(もみ殻、バーク、活性炭、堆肥、チップなど)、土壌脱臭、薬液洗浄、オゾン脱臭がある。ほぼすべての施設で生産した堆肥を販売し、販売価格は4000円/トン程度である。

### 3.3.2 乾ベース物質収支

搬入物、搬出物の湿ベース、乾ベース重量を表3-3(a)(b)に示す。堆肥の乾燥重量は堆肥の含水率(表3-3(c))を用いて計算した。残渣は後選別で除去されたものなので、含水率は堆肥と同じとした。原料と副資材の含水率は、それぞれ表2-3、表2-6(b)に示す含水率を仮定した。このうち、8つの施設については、アンケートで回答が得られた含水率を用いた。搬入

表3-3 堆肥化施設における搬入出量

施設	(a) 湿重量(トン/年)				(b) 乾燥重量(トン/年)				(c) 堆肥の生産率など				
	搬入量		搬出量		搬入量		搬出量		副資材	堆肥含水率(%)	堆肥生産率(-)	副資材添加率(%)	原料の組成*
原料	副資材	堆肥	残渣	原料	副資材	堆肥	残渣						
A1	699	59	143	0	175	52	110	0	おが粉	23	0.48	0.23	FW100
A2	33	7	NA	NA	8	6	8	NA	おが屑	20	0.57	0.43	FW100
A3	400	98	350	5	100	85	181	3	おが屑	48	0.98	0.46	FW100
A4	792	146	129	91	198	89	23	124	チップ	34	0.08	0.31	FW100
A5	75	2	10	NA	19	2	7	NA	籾殻	31	0.33	0.10	FW100
C1	1154	43	266	70	496	37	194	51	籾殻	27	0.36	0.07	FW75 LM25
C2	18012	1036	1225	127	1497	622	968	100	バーク	21	0.46	0.29	FW 73 NS12
C3	1373	164	353	21	321	143	163	10	籾殻	54	0.35	0.31	FW72 LM28
C4	2279	606	144	600	510	364	110	328	チップ	24	0.13	0.42	FW57 SS43
D1	2540	172	1486	0	762	150	858	0	籾殻	42	0.94	0.16	LM100
D2	4341	46	2375	0	2244	41	1594	0	籾殻, 籾糠	33	0.70	0.02	LM98
D3	3485	702	2392	NA	530	614	1715	NA	おが屑	28	1.50	0.54	LM97
D4	3308	150	1300	60	897	131	803	37	籾殻	38	0.78	0.13	LM91
D5	6080	1060	4180	0	1237	636	1938	0	チップ	54	1.03	0.34	LM88
D6	4386	1554	3125	334	844	932	1681	180	バーク	46	0.95	0.52	LM87
D7	4481	991	1600	0	453	796	1118	0	穀	30	0.90	0.64	LM77 FW23
D8	3677	732	1550	15	772	637	NA	NA	籾殻	NA	NA	0.45	LM77 FW23
D9	5402	0	3519	0	1543	0	2332	0	なし	34	1.51	0.00	LM65 FW28
D10	194	16	81	NA	68	14	58	NA	籾殻	28	0.71	0.17	LM64 FW36
E	3069	0	44	0	69.3	0	NA	NA	籾殻	NA	NA	0.00	ST88
G1	1924	832	1126	0	414	499	869	0	バーク	23	0.95	0.55	FW36 LM37 SS28
G2	2713	12	570	20	817	7	336	12	チップ	41	0.41	0.01	FW23 TB43 SS33
G3	2813	349	1342	NA	776	304	738	NA	籾殻	45	0.68	0.28	FW16 LM36 SS35
H1	2081	0	2550	0	1248	0	1020	0	なし	60	1	0	TB100
H2	1168	0	1586	7	701	0	555	2	なし	65	1	0	TB100

NA: 不明; \* FW: 生ごみ, LM: 家畜糞尿, SS: 下水汚泥, NS: 浄化槽汚泥, TB: 剪定枝 乾ベース 乾ベース 乾ベース

廃棄物、副資材の種類別の内訳は、付表 2-2 に示している（原料別に得られた含水率は、カッコ内に示している。）施設 D8, E からは堆肥試料が得られなかったため、3.3.3, 3.3.4 における物質収支では検討から除外している。

表 3-3(c)には、副資材の種類、堆肥の生産率（＝堆肥/（原料＋副資材））、搬入物中の添加率、および原料の組成を示す。量はすべて、乾ベースである。搬入物に対する副資材の添加率は、乾ベースで 0～64%の幅があった。表 3-3(c)の最右欄は、搬入物原料の乾ベース割合が 10%以上占める組成を記号（表脚注）で示した。

堆肥化处理によって、有機物は分解して重量が減少するが、副資材であるおが屑やもみ殻などはほとんど分解せずに堆肥中に残る（2.4.1 参照）。したがって堆肥の生産率（＝堆肥量/搬入物量）は、副資材の添加率（＝副資材量/搬入物量）が大きいほど増加することになる。図 3-1 に、副資材の添加率と堆肥の生産率（表 3-3(c)）の関係を示す。

堆肥と副資材の分解率をそれぞれ  $\eta_w$ ,  $\eta_b$  とする。 $\eta_b = 0$  と仮定すると、堆肥の生産率は次式であらわされる。

$$CP/Input = (1 - \delta)(1 - \eta_w) + \delta(1 - \eta_b) = (1 - \delta)(1 - \eta_w) + \delta \quad (3-1)$$

ここで  $\delta$  は副資材の添加率である。図 3-1 に、分解率  $\eta_w = 0.3, 0.5, 0.7$  とした場合の堆肥の生産率を直線で示した。

文献によれば(OWRRD, 2005), 分解率は生ごみ (70%), 家畜糞尿 (30%) と剪定枝 (20%) である。図 3-1 では生ごみ主体の A と C グループは 0.7, 家畜糞尿 D グループは 0.3, 剪定枝 H グループは 0.2 の付近であり、文献の分解率とほぼ一致し、収支が取れていることからデータの信頼性が確認できた。

H グループの堆肥生産率が高いのは、剪定枝の分解率が低いためである。施設 A4 と C4 の堆肥生産率が低いのは、残渣への除去率が高いため、A4 は生産した堆肥の一部が残渣として除去され、C4 は添加した副資材がほとんど残渣として除去されている。D グループの堆肥生産率が大きいのは、原料の含水量を過大に評価したと考えられる。

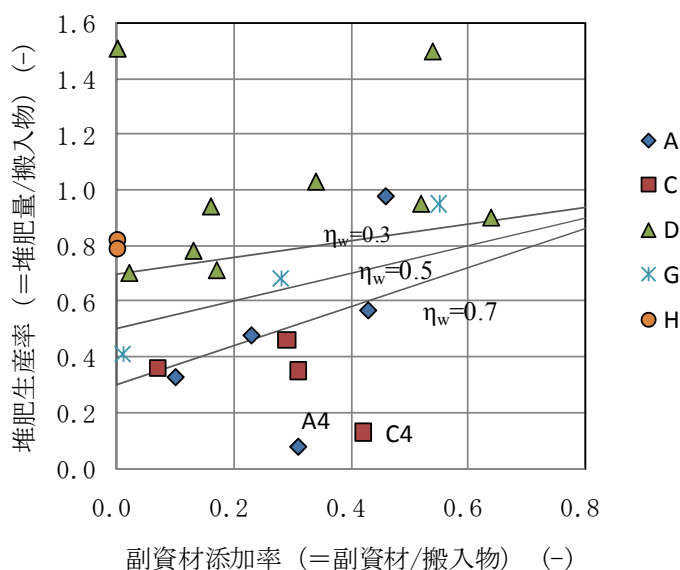


図 3-1 副資材添加率と堆肥生成率の関係

### 3.3.3 灰分と炭素収支

表 3-4 に製品堆肥の元素分析値を、図 3-2(a)に堆肥中の炭素、窒素、灰分の関係を乾ベースで示す。灰分は 10%～50%と差が大きい。副資材の灰分が小さく、副資材添加率は施設によって大きな差があることから、この添加率が堆肥の灰分に影響している可能性がある。しかし相関を調べたところ、そうした関係は見られなかった。すなわち、D グループにおける

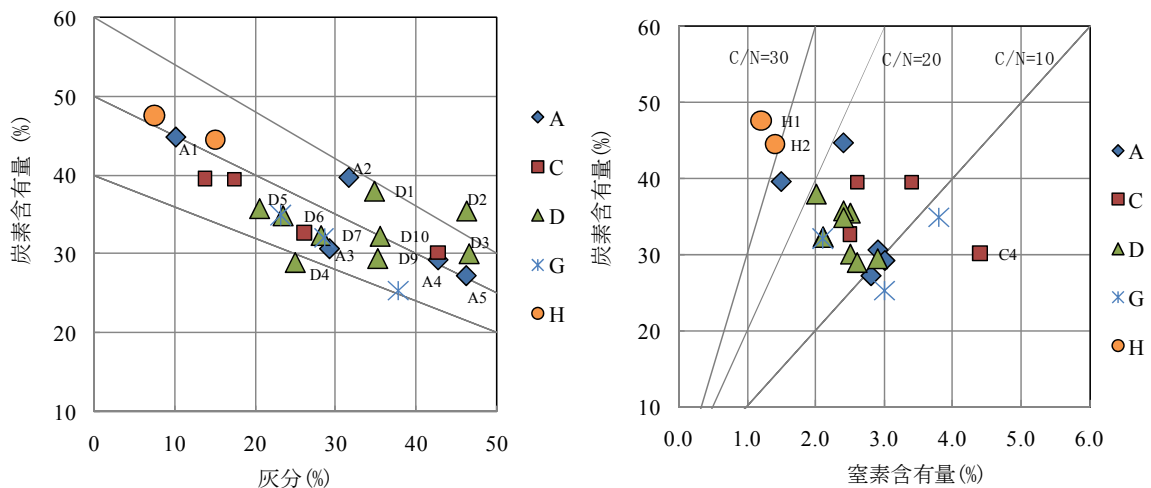
灰分は 20～30%の間であるが、その間の 4 点の副資材添加率は 0.13, 0.34, 0.52, 0.64 と大きな差があり、A グループの灰分が A1(低い), A2, A3(中), および A5(高い)に対して副資材添加率はそれぞれ 0.23, 0.41, 0.46, 0.1 で相関がみられなかった。したがって、堆肥の灰分含有量は原料の違いによるもので、同じ原料でも灰分に差が大きいことが分かった。

三成分のうち水分を除くと、乾ベースでは灰分と可燃分（有機物）からなる。そこで堆肥の灰分を  $A$ 、可燃分中の炭素割合を  $\beta$  とすると、

$$\text{堆肥の酸素含有量} = (1-A) \beta \quad (3-2)$$

表 3-4 堆肥の元素分析値

施設	乾ベース(%)						C/N
	Ash	H	C	N	S	Cl	
A1	10.1	5.7	44.8	2.4	-	-	18.7
A2	31.6	4.9	39.7	1.5	-	-	26.5
A3	29.2	3.8	30.7	2.9	-	-	10.6
A4	42.7	3.7	29.3	3.0	-	-	9.8
A5	46.2	3.8	27.3	2.8	-	-	9.8
C1	13.80	5.05	39.58	2.60	0.43	0.90	15.2
C2	17.41	4.59	39.51	3.35	0.32	0.89	11.8
C3	26.13	3.99	32.66	2.53	0.41	1.13	12.9
C4	42.73	4.02	30.22	4.38	1.06	0.97	6.9
D1	34.84	4.61	37.96	1.97	0.43	0.56	19.3
D2	46.22	4.16	35.48	2.49	0.52	0.95	14.2
D3	46.53	3.56	30.07	2.47	0.52	0.51	12.2
D4	24.98	3.30	28.95	2.62	0.62	0.97	11.1
D5	20.61	4.15	35.84	2.38	0.34	0.79	15.1
D6	23.48	4.16	34.90	2.38	0.47	1.04	14.7
D7	28.20	3.85	32.43	2.12	0.35	0.79	15.3
D9	35.22	3.63	29.50	2.88	1.33	0.95	10.2
D10	35.47	3.26	32.25	2.14	0.55	0.61	15.1
G1	37.84	2.74	25.28	3.04	0.71	3.44	8.3
G2	23.23	4.12	34.87	3.80	1.22	0.54	9.2
G3	28.64	3.18	32.10	2.14	0.39	0.59	15.0
H1	7.50	5.28	47.63	1.23	0.00	0.00	38.7
H2	15.13	4.89	44.45	1.35	0.00	0.00	32.9



(a) 炭素と灰分

(b) 炭素と窒素の含有量

( $\beta$  は可燃分中の炭素割合)

図 3-2 堆肥の特性値 (乾ベース)



となる。

図 3-2(a)は、 $\beta=0.4, 0.5$  および  $0.6$  として計算した堆肥の炭素含有量を直線で示した。廃棄物の種類にかかわらずほとんど  $\beta = 0.4 \sim 0.5$  の範囲にある。文献によれば、有機物中の炭素割合は生ごみ (20%~5.9%)、家畜糞尿 (約 40%) と剪定枝 (約 50%) である。副資材の炭素含有量はおがくず (40.4%)、チップ、バーク (52.24%) ともみ殻 (35%~40%) であった(有機性廃棄物資源化大辞典, 2005)。図 3-2(a)に示す堆肥の炭素含有量は、これらの値とほぼ一致している。すなわち、有機物中の炭素割合は堆肥化の前後で変化していないことが分かった。有機物が分解するに従って灰分が増加するので、図中の右下に移動する。しかし、表 3-2 に示した切り返し頻度や発酵時間との関係は見られなかった。

図 3-2(b)に堆肥の炭素と窒素の関係を示す。C/N は 10~20 の範囲であった。副資材の C/N が 60~500 と高いため、副資材の割合に影響することが考えられる。C4 が低いのは添加された副資材がほとんど残渣として除去されたためであり、H グループは原料自体の C/N 比が高い。しかしこれ以外は、明らかな副資材添加率の影響は見られず、副資材添加率が低い施設が必ず低 C/N 比となっているわけではない。

### 3.4 重金属および栄養成分

#### 3.4.1 堆肥の重金属含有量

図 3-3 に、堆肥の重金属含有量を示す。分析値は表 3-5 に示す。日本における特殊肥料としての基準値も図中に示しているが、すべての施設ではこの基準以下であり、肥料として使用可能である。C と D グループにおけるばらつきが大きいのが、搬入物中の廃棄物種類別割合、副資材の種類と添加量との関連は認められなかった。

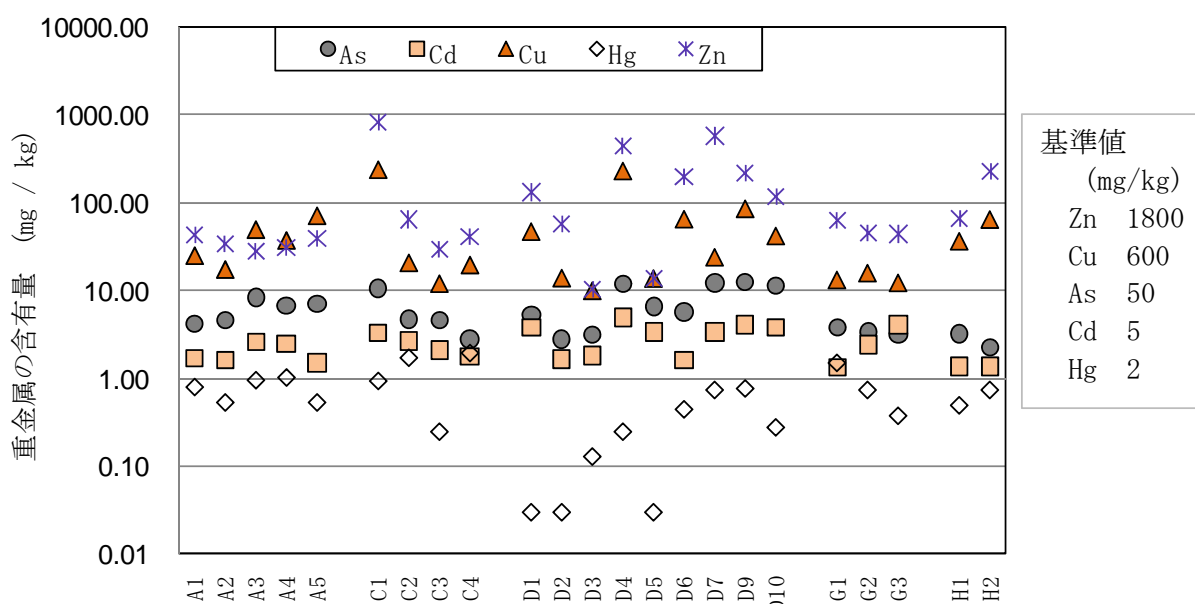


図 3-3 堆肥の重金属含有量

表 3-5 堆肥の重金属及び肥料成分

施設	重金属 (mg/kg)								肥料成分 (%)				
	As	Cd	Cu	Hg	Zn	pb	Cr	Ni	P	K	N	Ca	Mg
A1	4.20	1.70	24.81	0.81	42.57	2.13	1.74	0.97	0.38	0.78	2.42	3.16	-
A2	4.60	1.60	17.21	0.54	34.15	3.82	1.61	2.21	0.78	1.15	2.52	5.07	-
A3	8.30	2.60	49.32	0.97	28.44	1.55	1.55	0.78	1.11	2.38	2.85	4.15	-
A4	6.80	2.50	37.06	1.04	31.28	2.80	4.12	2.63	0.94	1.99	2.95	14.62	-
A5	7.00	1.50	71.14	0.54	39.61	2.58	2.58	1.21	1.37	2.57	2.84	9.33	-
C1	10.57	3.29	240.17	0.95	830.31	18.58	14.78	11.11	0.39	1.43	2.60	0.87	0.36
C2	4.71	2.67	20.53	1.75	64.41	6.72	6.35	0.56	0.52	0.73	3.35	1.69	0.29
C3	4.64	2.11	11.85	0.25	29.83	6.23	7.92	2.81	0.68	2.09	2.53	1.02	0.29
C4	2.81	1.78	19.37	1.98	40.89	4.91	2.23	0.01	1.13	1.46	4.38	3.71	0.42
D1	5.35	3.85	46.84	0.03	132.99	11.99	36.64	18.50	1.74	1.74	1.97	0.70	0.53
D2	2.78	1.65	13.71	0.03	56.64	3.61	23.39	13.41	1.62	1.19	2.49	0.84	0.39
D3	3.15	1.82	9.81	0.13	10.42	3.59	1.95	0.65	1.09	1.43	2.47	1.17	0.43
D4	12.00	4.97	231.99	0.25	446.74	20.35	9.59	11.31	2.06	2.41	2.62	4.58	0.75
D5	6.61	3.39	13.56	0.03	13.68	20.73	2.20	0.58	1.53	1.80	2.38	0.82	0.40
D6	5.72	1.64	64.99	0.45	197.97	4.13	3.24	6.85	1.46	2.11	2.38	0.89	0.34
D7	12.24	3.36	23.80	0.75	575.65	10.71	5.61	2.16	1.75	1.67	2.12	0.98	0.46
D9	12.69	4.10	85.42	0.78	220.10	20.88	16.63	9.94	2.24	2.55	2.88	2.89	0.89
D10	11.38	3.78	41.74	0.28	118.82	10.16	14.00	6.57	1.48	2.31	2.14	2.70	0.77
G1	3.79	1.33	13.07	1.53	62.23	3.29	1.68	0.39	0.53	1.51	2.05	3.55	0.30
G2	3.41	2.43	15.64	0.75	44.71	6.00	9.40	2.95	0.42	0.16	2.10	1.27	0.40
G3	3.19	4.12	12.11	0.38	44.17	9.80	4.27	0.84	0.54	0.66	2.14	0.86	0.50
H1	3.24	1.37	36.31	0.50	66.61	5.74	5.38	2.44	0.16	0.52	1.23	0.45	0.12
H2	2.26	1.36	64.40	0.75	227.77	7.74	6.52	4.37	0.13	0.71	1.35	1.61	0.30

### 3.4.2 堆肥の N, P, K 含有量

表 3-5 に肥料成分の含有量を示す。A, C, D, G およびグループでは窒素含有量の平均値はそれぞれ 2.7%, 3.2%, 2.4%, 2.1% と 1.0% であった。生ごみ主体原料とした A と C グループの窒素含有量が高い。

図 3-4 はリンとカリウムの含有量を示す。家畜糞尿の D グループは、リン、カリウムともに高い。鶏ふん肥料が高い含有量をもつが (P: 5%~8%, K: 2%~4%) (有機性廃棄物資源化大辞典, 2005), 原料中の鶏ふん割合との相関は見られなかった。

一方、A と C グループ(生ごみ主体)では、カリの含有量が高く、H グループ(剪定枝)では窒素、カリとリンとも低い。H グループを除くと、大部分の堆肥は日本における有機肥料の肥料成分含有率 1.0%以上(FAMIC, 2009)を満足している

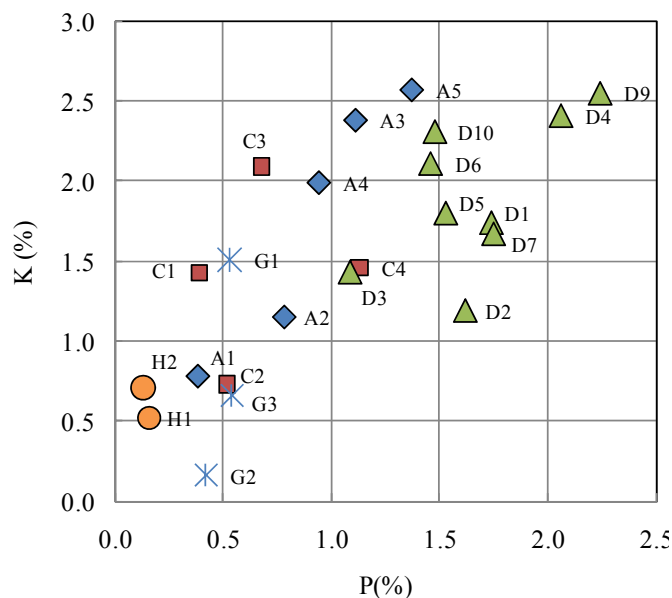


図 3-4 堆肥の肥料成分含有量

### 3.5 コスト及びエネルギー消費

#### 3.5.1 建設費

一般に、建設費は施設の規模には比例せず、スケールメリット（規模の経済性）がある。すなわち規模を大きくすることによって、ごみトンあたり処理単価が低減するそこで、処理規模あたり建設費は以下のように表すことができる。

$$C/V = (C/C_0)(V/V_0)^{-\alpha} \quad (3-3)$$

ここで、 $C$ : 建設費[百万円],  $V$ : 処理規模(トン/日)であり、 $V = V_0$ の場合に  $C = C_0$ とする。式(3-3)を変形すると、以下の式になる。

$$C/C_0 = (V/V_0)^{(1-\alpha)} \quad (3-4)$$

$\alpha$  はスケールメリットの程度を表している。式(3-4)より、建設費は規模の  $(1-\alpha)$  乗に比例する。 $\alpha=0$  のとき、 $C$  は  $V$  に比例する。すなわち、スケールメリットがない。 $\alpha$  が大きいほど、スケールメリットが大きいことを示す。一般的には  $(1-\alpha)$  の値は約 0.6 とされている(MOE, 2006)。

図 3-5 に規模あたり建設費を、処理規模に対して両対数で示す。(建設費、ランニングコストの詳細は表 3-6, 施設規模当たりの建設費は表 3-7 に示している。) 全ての施設は 2000 年以後の建設であったので、物価補正は行っていない。図 3-5 に示すように、処理規模が大きくなるほど建設費単価は減少する傾向があった。すなわち、スケールメリットが見られた。しかし、原料の種類ごとに見ると規模の幅は 1 ケタ程度にすぎないので、スケールメリットの係数  $\alpha$  を検討することは意味がない。

施設 C2(生ごみ主体)と E (浄化槽汚泥) の建設費単価は 1 億を超え、他のグループの約 5 倍であった。これは原料を脱水し、その処理のために高度排水処理システムを持つためと考えられる。これら以外の施設には、水処理システムがない。施設 A2 と A5 は、ビニールハウスを使用する小規模の実験施設である

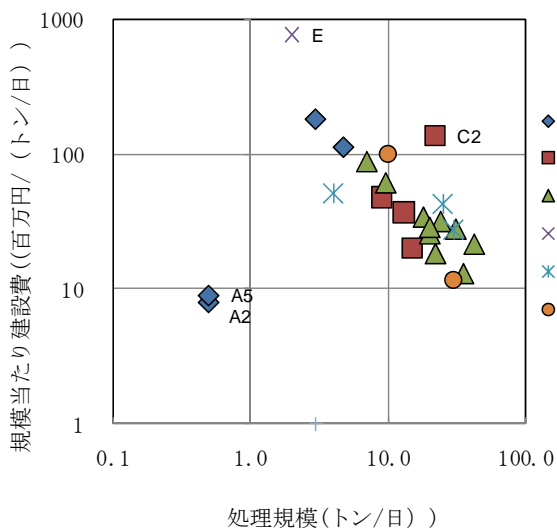


図 3-5 建設費

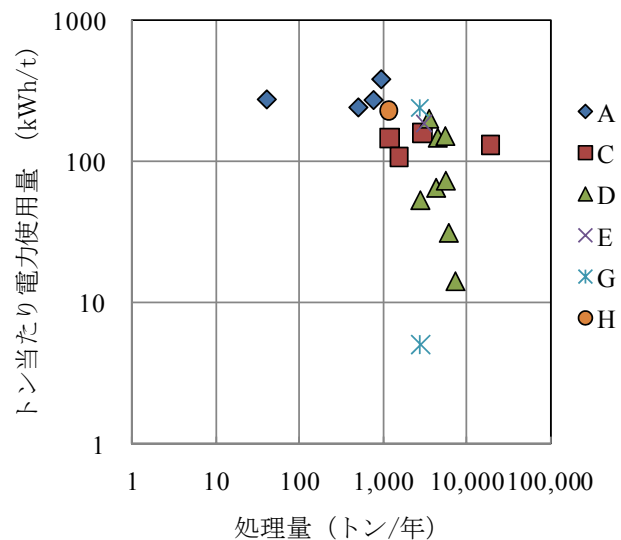


図 3-6 湿ベースあたり電力使用量

表 3-6 堆肥化施設における建設費及び年間コスト

施設	処理能力 (t/日)	建設費 (百万円)	電力 (MWh/年)	ランニングコスト(千円/年)								
				電力費	燃料費	用水費	費	薬品費	人件費	委託費	修繕費	合計
A1	3	549	206	3,617	4,067	62	975	-	-	7,150	12,788	28,659
A2	1	8	11	160	229	-	5	-	-	1,283	472	2,149
A3	7	-	120	1,800	600	100	2,300	600	6,000	-	-	11,400
A4	5	567	359	539	512	94	-	-	-	-	15,900	17,044
A5	1	9	-	2,497	-	-	-	-	-	12,487	141	15,124
C1	13	480	174	2,428	626	-	-	-	1,354	10,899	-	15,307
C2	22	2,993	2482	31,177	2,802	-	7,440	21,038	41,898	64,126	-	168,482
C3	9	430	164	2,443	376	921	-	-	15,131	528	18,524	37,922
C4	15	300	460	6,843	547	-	2,499	-	-	9,624	-	19,513
D1	35	450	143	3,168	654	-	-	-	6,031	1,194	4,418	15,465
D2	31	858	650	10,273	1,765	356	1,768	500	16,332	693	3,948	35,635
D3	22	401	272	2,585	1,732	16	4,055	-	8,214	1,003	2,179	19,783
D4	7	620	700	9,635	2,407	897	598	-	11,999	4,598	9,084	39,217
D5	10	615	102	1,731	2,000	35	7,000	-	-	6,090	6,922	23,778
D6	20	511	186	2,840	3,063	-	2,767	-	15,475	11,202	5,873	41,221
D7	18	614	400	7,000	2,000	-	6,000	10	8,000	4,600	900	28,510
D8	24	758	406	6,089	1,712	-	-	437	13,241	7,334	11,257	40,068
D9	42	900	823	5,741	3	-	-	5,725	18,377	445	10,500	40,790
D10	20	572	27	400	73	-	11	12	488	-	426	1,410
E	2	1,530	571	7,865	1,756	-	6,590	8,490	34,495	2,630	862	62,688
G1	4	205	14	682	-	-	1,029	-	-	10,080	34	11,825
G2	25	1,062	650	8,765	36	46	100	4,546	19,135	696	9,544	42,869
G3	30	821	184	2,765	1,174	113	416	457	4,775	-	14,317	24,017
H1	10	996	479	7,185	-	-	-	-	-	48,900	-	56,085
H2	30	348	270	4,867	-	56	-	-	-	33,129	9,403	47,455

表 3-7 堆肥化施設における湿ベーストン当たりコスト

施設	処理量 (t/年)	建設費(百 万円/(t/ 日)	電力 (KWh/t)	ランニングコスト(円/トン)								
				電力費	燃料費	用水費	副資材 費	薬品費	人件費	委託費	その他	合計
A1	759	183	271	4,765	5,358	82	1,285	-	-	9,420	16,848	37,759
A2	40	8	275	4,000	5,725	-	125	-	-	32,075	11,800	53,725
A3	498	-	241	3,614	1,205	201	4,618	1,205	12,048	-	-	22,892
A4	938	113	383	575	546	100	-	-	-	-	16,951	18,171
A5	77	9	-	32,429	-	-	-	-	-	162,169	1,831	196,416
C1	1,197	37	145	2,028	523	-	-	-	1,131	9,105	-	12,788
C2	19,048	136	130	1,637	147	-	391	1,104	2,200	3,367	-	8,845
C3	1,537	48	107	1,589	245	599	-	-	9,845	344	12,052	24,673
C4	2,885	20	159	2,372	190	-	866	-	-	3,336	-	6,764
D1	2712	13	53	1,168	241	-	-	-	2,224	440	1,629	5,702
D2	4387	28	148	2,342	402	81	403	114	3,723	158	900	8,123
D3	4187	18	65	617	414	4	968	-	1,962	240	520	4,725
D4	3458	89	202	2,786	696	259	173	-	3,470	1,330	2,627	11,341
D5	7140	62	14	242	280	5	980	-	-	853	969	3,330
D6	5940	26	31	478	516	-	466	-	2,605	1,886	989	6,940
D7	5472	34	73	1,279	365	-	1,096	2	1,462	841	164	5,210
D8	4409	32	92	1,381	388	-	-	99	3,003	1,663	2,553	9,088
D9	5402	21	152	1,063	1	-	-	1,060	3,402	82	1,944	7,551
D10	210	29	129	1,905	348	-	52	57	2,324	-	2,029	6,714
E	3,070	765	186	2,562	572	-	2,147	2,765	11,236	857	281	20,420
G1	2,756	51	5	247	-	-	373	-	-	3,657	12	4,291
G2	2,725	42	239	3,217	13	17	37	1,668	7,022	255	3,502	15,732
G3	3,162	27	58	874	371	36	132	145	1,510	-	4,528	7,596
H1	2,081	100	230	3,453	-	-	-	-	-	23,498	-	26,951
H2	1,168	12	231	4,167	-	48	-	-	-	28,364	8,051	40,629

### 3.5.2 ランニングコスト及びエネルギー消費

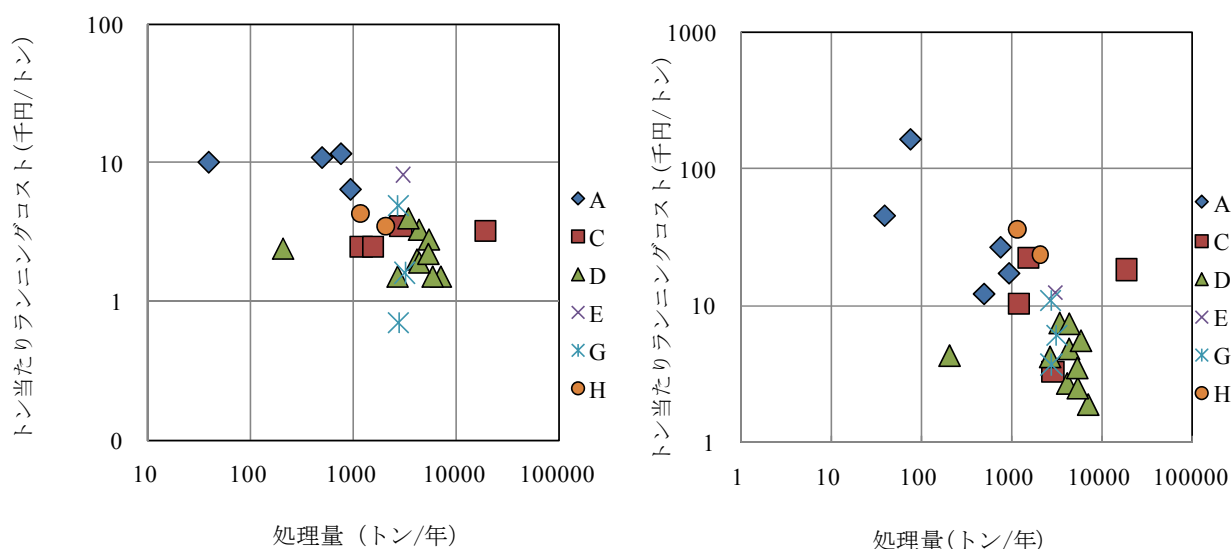
図 3-6 に、湿ベースで投入物量あたり電力使用量を示す。電力は主に発酵槽と後選別の過程で消費されるので、D グループは含水率が高いため、湿重量（脱水前の重量）あたりとすると小さく評価される。D グループを除くと、電量使用量は搬入物の種類や施設規模によらずほぼ一定であった。

図 3-6 に示した電力使用量と同じように、燃料費、用水費、副資材費や薬品費なども処理量に比例する（処理量あたりは一定）と考えられる。一方、人件費、委託費、修繕費は、処理量ではなく、施設の規模に応じて増加する（スケールメリットがある）。図 3-7 は、この 2 つのグループに分けてランニングコストを比較した。処理量当たりのコストは表 3-7 に、図 3-7 のデータは表 3-8 に示した。

図 3-7(a)は、電力費、燃料費、用水費、副資材費、薬品費の合計、図 3-7(b)は人件費、委託費や修繕費などである。図 3-7(b)では規模による人件費、維持修繕費等の幅が大きくスケールメリットが見られ、図 3-7(a)は図 3-7(b)ほどスケールメリットは大きくなかった。図 3-7(a)のコストはランニングコスト全体の 10～40%である。すなわち、ランニングコストは人件費、委託費などの割合が大きい。

図 3-8 に図 3-7(a)の内訳を示す。施設 A5 はデータが得られなかったので記載していない。電力費の割合が高く、30～80%を占めている。また、D3, D5, D6, D7, G1, E の副資材費は、電力費とほぼ同程度と高い。A1 と A2 の燃料費が高いが、A1 には近接しているごみ燃料化施設での使用量が含まれていると思われ、A2 はビニールハウスの加温に燃料が使用されている。C2 と E の薬品が多いが、排水処理に使用されるためである。A3, D9 では脱臭に薬品が使用されている。

用役使用量（電力、燃料、用水など）にかかるコストは主に発酵槽や後選別の過程で使用される。D グループ（家畜糞尿）のランニングコストはほかのグループにより低いのは、原料を脱水後に堆肥槽へ投入量が減少し、用役使用量も少なくなるためである。H グループではその反対で用役使用量のコストは高く、固体分量が多いためである。



(a) 電力、燃料、薬品、副資材など (b) 人件費、委託費など

図 3-7 ランニングコスト

表 3-8 ランニングコスト (図 3-7) のデータ

施設	(a) 用役使用量のコスト (電力費、用水費、燃料費など)		(b) 人件費、委託費と修繕費のコスト	
	千円/年	円/トン	千円/年	円/トン
A1	8,721	11,490	19,938	26,268
A2	394	9,850	1,755	43,875
A3	5,400	10,843	6,000	12,048
A4	1,145	1,221	15,900	16,951
A5	2,497	32,429	12,628	164,000
C1	3,054	2,551	12,253	10,236
C2	62,457	3,279	106,024	5,567
C3	3,740	2,433	34,183	22,241
C4	9,889	3,428	9,624	3,336
D1	3,822	1,409	11,643	4,293
D2	14,662	3,342	20,973	4,781
D3	8,388	2,003	11,396	2,722
D4	13,537	3,914	25,681	7,427
D5	10,766	1,507	13,012	1,822
D6	8,670	1,460	32,550	5,480
D7	15,010	2,742	13,500	2,467
D8	8,238	1,868	31,832	7,219
D9	11,469	2,124	29,322	5,428
D10	496	2,362	914	4,353
E	24,701	8,046	37,987	12,374
G1	1,711	620	10,114	3,669
G2	13,493	4,952	29,375	10,779
G3	4,925	1,558	19,092	6,038
H1	7,185	3,453	48,900	23,498
H2	4,923	4,215	42,532	36,415

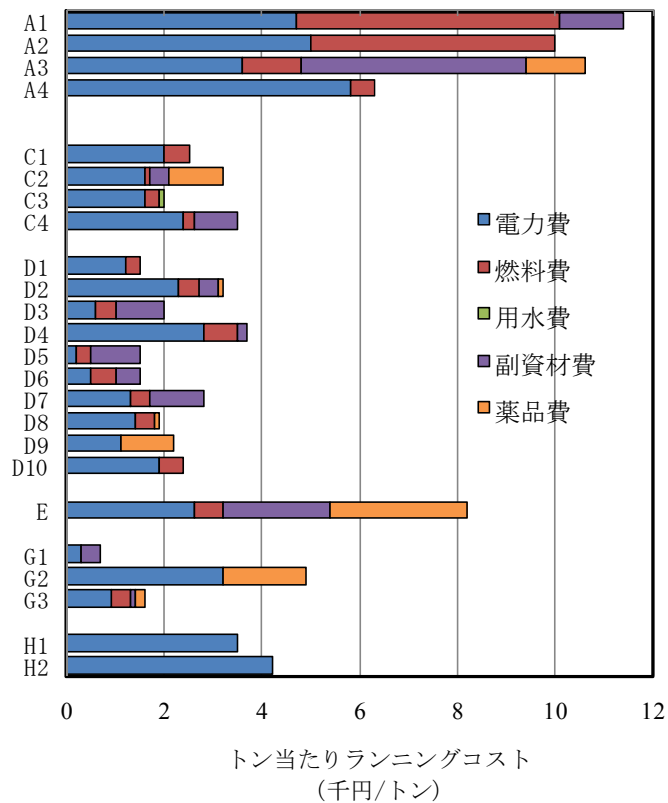


図 3-8 電力等コスト (図 3-7(a)) の内訳

### 3.6 主な結論

- 1) 堆肥化の設備は、前処理、発酵槽、後処理、脱臭等であり、原料による大きな違いなかった。一般的に横型発酵槽を使用し、発酵後に後選別を行っている。搬入物に対する乾ベースの副資材添加率は、0~65%の大きな差があったが、副資材による堆肥の特性との関係は認められなかった。
- 2) 有機物の分解率は堆肥生産率(乾ベースにおける堆肥生産量/搬入物量の比率)と副資材の添加率(副資材量/搬入物量の比率)から計算された。推定した分解率はほぼ文献値と一致し、この研究における物質収支の信頼性を確認できた。
- 3) 副資材は灰分が小さいが、副資材添加率と堆肥灰分との関係は見られず、堆肥の灰分幅の大きさから、同一種類であっても原料の特性にはばらつきがあることがわかった。
- 4) C/N 比, 重金属含有量は、副資材添加率, 原料の種類によって大きな差はなかった。窒素, リン, カリウムの含有量は廃棄物の種類によって異なっている。生ごみ主体は窒素が、家畜糞尿主体のはリンとカリウムが高い。
- 5) ランニングコストは、2つのグループに分けられた。人件費, 委託費, 修繕費にはスケールメリットが見られ、ランニングコストに占める割合は高い。電力費, 用水費, 燃料費などは施設によってその内訳も費用も大きく異なるが、電力費の割合が最も高い。

### 第3章の参考文献

FAMIC:「肥料等試験法」, 独立行政法人農林水産消費安全技術センター,2008.

OWRRD:「有機性廃棄物資源化大辞典」農山漁村文化協会(農文協)出版,  
ISBN4-540-96131-4 C3061 p15450E, 2005.

(本章は、以下の発表論文を和訳し、データを加えるなどして再構成したものである。

Hui-Jun Zhang, Toshihiko Matsuto:Comparison of mass balance, energy consumption and cost of composting facilities for different types of organic waste, Waste Management, 31, pp.416-422, 2011)

## 第4章 メタン発酵施設における物質収支およびコスト

### 4.1 目的

資源化の点で考えると、堆肥化は固形物を生産するのに対し、メタン発酵はガスを取り出すが消化液の処理が必要となる。本章では、さまざまな有機性廃棄物を処理する多数の施設を調査し、施設内の物質収支、エネルギー収支、栄養成分の収支、コストを分析する。また、消化液の液肥としての利用可能性を明らかにする。

### 4.2 方法

#### 4.2.1 調査対象施設の抽出

調査対象施設を、以下の4つの資料より抽出した。

環境省の一般廃棄物実態調査によると、平成18年度時点では生ごみを対象とする施設が8施設、し尿浄化槽汚泥を処理する施設が24施設あった。また、産業廃棄物処理施設は、NEDO「バイオマスエネルギー導入ガイドブック(第2版)」、廃棄物研究財団メタン発酵研究会「メタン発酵情報資料集2006」、地域資源循環技術センター「バイオマス利活用技術情報データベース調査票(2009年5月現在)」をもとに合計すると、下水汚泥が21施設、畜産系が74施設、食品系が107施設であった。食品系の107施設中6施設は、一般廃棄物の生ごみと重複していた。図4-1中には資料名を四角で囲んで示したが、重複を除いて調査対象とした。

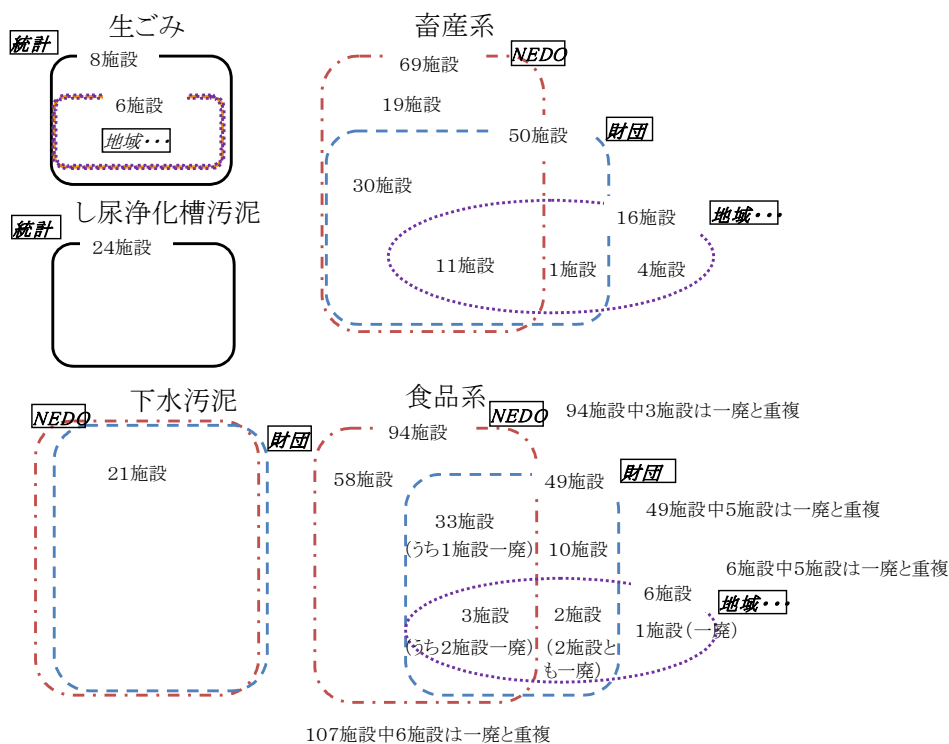


図4-1 各資料に掲載されていた処理施設の数



#### 4.2.2 アンケート調査

図 4-1 を合計すると、2008 年時点のメタン発酵施設は 217 施設であった。それらに関する情報は、施設パンフレットに記載されている計画量やフローシート程度の情報しかなく、また調査研究も個別の施設に対するものであり、条件の異なる施設を比較したものはない。そこで、施設におけるより詳細な情報を把握するために、2009 年 7 月に全ての施設を対象としてアンケート調査を実施した。

##### (1) アンケート内容

アンケート項目を図 4-2 に示す。質問は大きく、搬入ごみ、生成物、設備の概要、用役使用量、コストに分けた。処理施設の構成については、図 4-3 のような内容とした。アンケート用紙は、付表 3-1 に掲載している。

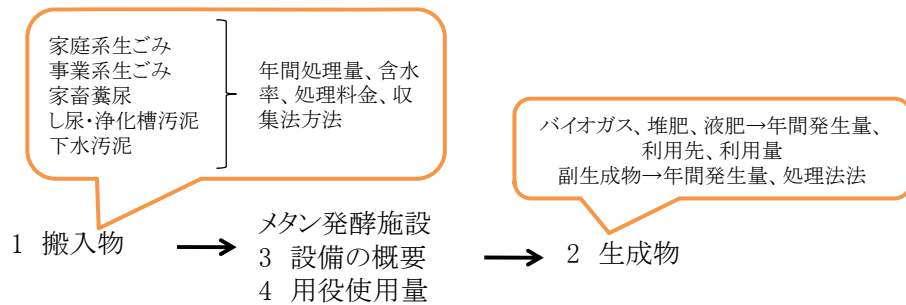


図 4-2 アンケート質問項目

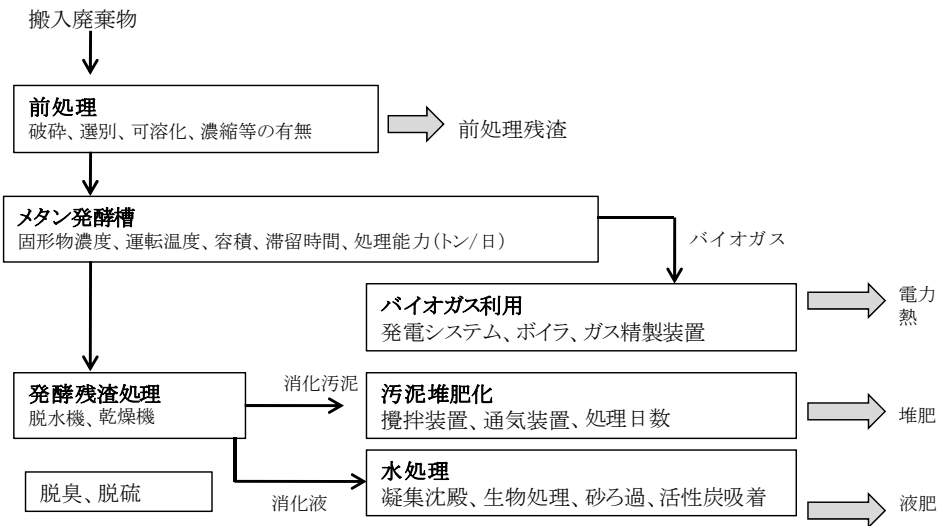


図 4-3 施設構成に関する質問

##### (2) アンケート回収率

表 4-1 に回収率を示す。全体の回収率は 50.8% (100 施設) であり、その内訳は一般廃棄物主体が 23 施設 (回収率 71.9%)、産業廃棄物主体が 77 施設 (回収率 46.7%) であった。送付は未達・重複を除いた実質的な依頼数であり、回答は送付に対する回答数である。また、有効回答は全回答から休停止と社外秘を引いたものとし、回収率は、全回答/送付とした。

表 4-1 アンケート回収状況

	送付	回答			有効回答	回収率 (%)	分析対象施設	
		全回答	休停止	社外秘				
一廃	生ごみ	8	7	0	0	7	87.5	7
	し尿浄化槽汚泥	24	16	1	0	15	66.7	15
産廃	下水汚泥	21	17	0	0	17	81	20 <sup>a)</sup>
	家畜ふん尿	65	26	5	0	21	40	19 <sup>b)</sup>
	食品加工残渣	36	21	5	4	12	58.3	13 <sup>c)</sup>
	食品工場排水	43	13	1	0	12	30.2	12
一般廃棄物 (計)		32	23	1	0	22	71.9	22
産業廃棄物 (計)		165	77	11	4	62	46.7	64
合計		197	100	12	4	84	50.8	86

a) 1通のアンケートで4施設分の回答があったため3施設加えた

b) 回答のうち堆肥化施設であった2施設は除く

c) 1通のアンケートで2施設分の回答があったため1施設加えた

#### 4.2.3 試料の分析

メタン発酵槽後の炭素及び肥料成分におけるガス、液体分、固体分への移行率を明らかにするため、アンケート回答施設にサンプリングの可否を質問した。承諾の得られた 42 施設に試料の採取と送付を依頼し、メタン発酵槽後に処理残渣の脱水を行う 27 施設からは脱水後の液体分と固体分、脱水を行っていない 15 施設からは発酵槽後の処理残渣である消化液の採取を依頼した。すべて 1L 密閉容器を送付し、返送してもらった。

##### (1) 分析項目

消化液、脱水ろ液、脱水汚泥の分析項目を表 4-2 に示す。消化液の液体分(脱水ろ液)に関しては、肥料としての有効性を示すのに必要な一般項目及び主成分を分析した。消化液の固体分(脱水汚泥)に関しては、肥料取締法に基づく一般項目及び主成分を分析した。

表 4-2 試料分析項目

一般項目	含水率、pH、EC、灰分
元素	炭素、窒素
肥料成分	リン、カリ、マグネシウムなど アンモニア態窒素
汚染物質	重金属 (ひ素、カドミウム、水銀、ニッケル、クロム、亜鉛、銅など) 塩素

##### (2) 分析方法

それぞれの分析方法を表 4-3 に示す。施設で混液分離を行っていない消化液は、前処理として実験室で遠心分離 (5000rpm, 2hour) を行い、固体分と液体分に分けてそれぞれ分析した。

分析手順については独立行政法人農林水産消費安全技術センター「肥料取締法 2009」、越野正義編著「第二改訂詳解肥料分析法」(養賢堂出版)、日本分析化学会北海道支部編「水の分析第 4 版」(化学同人出版)を参考にした。

表 4-3 分析方法

		消化液(液体分)、脱水ろ液	消化液(固体分)、脱水汚泥
含水率		水の分析4.5	肥料等試験法 3.1.a
灰分			肥料等試験法 3.2.a
pH		肥料等試験法 3.3.a	
EC		肥料等試験法 3.4.a	
全炭素		乾式燃焼法 (CNコーダー分析法)	乾式燃焼法 (CNコーダー分析法)
全窒素		乾式燃焼法 (CNコーダー分析法)	乾式燃焼法 (CNコーダー分析法)
アンモニア態窒素		高速液体クロマトグラフ (陽イオン) 法	
リン酸		肥料等試験法 4.2.4.b	肥料等試験法 4.2.1.a
加里		肥料等試験法 4.3.3.a	肥料等試験法 4.3.1.a
石灰		詳解肥料分析法 4.5.1.2	肥料等試験法 4.5.1.a
苦土		肥料等試験法 4.6.3.a	詳解肥料分析法 4.6.2
塩素		高速液体クロマトグラフ (陰イオン) 法	乾式燃焼法 (CNコーダー分析法)
重金属	亜鉛	ICP-MS分析法	ICP-MS分析法
	銅	ICP-MS分析法	ICP-MS分析法
	水銀	肥料等試験法 5.1.a	肥料等試験法 5.1.a
	ひ素	肥料等試験法 5.2.a	肥料等試験法 5.2.a
	カドミウム	ICP-MS分析法	ICP-MS分析法
	ニッケル	ICP-MS分析法	ICP-MS分析法
	クロム	ICP-MS分析法	ICP-MS分析法
	鉛	ICP-MS分析法	ICP-MS分析法

### 4.3 調査結果及び考察

#### 4.3.1 施設の分類

搬入物の種類によって含水率が異なるため、湿ベースの搬入量を相互に比較できない。そこで、文献値をもとに種類別の含水率を表 4-4) のように仮定し、種類別の施設搬入量に乗じて乾ベース割合を求めた。表 4-5 の最右欄に、搬入廃棄物の投入割合を示す。(搬入、搬出物の詳細な数値は、付表 4-2 として巻末に掲載した。)

搬入物の乾ベース割合によって、生ごみ主体(A1)9 施設、食品加工残渣(A2)6 施設、し尿浄化槽汚泥(B1)12 施設、家畜糞尿(B2)17 施設、下水汚泥(C)23 施設、し尿浄化槽汚泥と生ごみと混合(D)5 施設、食品工場排水(E)13 施設に分類した。表には、サンプルが入手できた施設のみを示した(付表 4-2 には、アンケート回答 86 施設すべてを載せている。)

処理量には、施設への搬入量とメタン発酵槽投入量がある。脱水などの前処理がある場合には、両者は大きく異なってしまう。表 4-5 には、メタン発酵槽投入量を示した。投入量が不明な施設については、メタン発酵槽の処理能力に運転日数 350 日(アンケート調査による平

表 4-4 含水率の文献値

搬入物種類	文献値
生ごみ	80
し尿浄化槽汚泥	97
下水汚泥	97
家畜ふん尿	
牛, 豚	88
鶏糞	70
食品加工残渣	
動植物性残渣	80
食品汚泥	97
食品工場排水	99

(単位%)

(有機性廃棄物資源化大辞典、2005)

表 4-5 施設における搬入量

施設	発酵槽搬入 (トンwet/ 年)	消化液 (トンwet /年)			バイオガス (Nm <sup>3</sup> /年)	廃棄物投入割 合 (%) <sup>c</sup>	
		ろ液	汚泥	含水率 (%)			
A1	a1-1	1,430	8,934	1,566 <sup>b</sup>	91	455,243	FW100
	a1-2	1,325	1,610	390 <sup>b</sup>	89	133,000	FW100
	a1-3	2,788	2,460	279	74	262,466	FW100
	a1-4	6,953	21,600	1,280	81	963,800	FW100
	a1-5	3,193	7,500	600	52	562,002	FW100
	a1-6	5,900	6,640	300 <sup>b</sup>	98	1,000,000	FW100
A2	a2-1	49,000	161,522	3,477 <sup>b</sup>	95	710,000	FPR100
	a2-2	102,000	87,400	6,600	87	3,900,000	FPR100
	a2-3	5,766	10,443	1,716	86	1,183,982	FPR98 FW2
	a2-4	13,500	12,500	5,500	87	764,494	FPR98 LM2
B1	b1-1	5,215 <sup>a</sup>	129	1,150	81	57,256	NS98 FW2
	b1-2	1,712 <sup>a</sup>	6,448	649	83	22,212	NS84 FW16
	b1-3	3,500 <sup>a</sup>	6,248	1,005	84	16,350	NS96 FW4
	b1-4	8,750 <sup>a</sup>	9,341	1,039	83	40,297	NS93 FW7
	b1-5	32,671	35,425	4,257	80	296,188	NS100
	b1-6	26,392	3,836	122	65	78,914	NS100
	b1-7	17,500 <sup>a</sup>	13,215	2,726	73	394,356	NS80 FW20
	b1-8	11,900 <sup>a</sup>	7,408	1,301	80	62,781	NS99 FW1
B2	b2-1	15,239	10,162	1,158 <sup>b</sup>	82	207,466	LM92 FW8
	b2-2	12,675	7,092	2,408 <sup>b</sup>	84	153,289	LM99 FPR1
	b2-3	586	433	92 <sup>b</sup>	84	16,876	LM84 FPR16
	b2-4	6,570	5,368	1,232 <sup>b</sup>	85	146,000	LM98 FPR2
	b2-5	1,533	1,048	412 <sup>b</sup>	83	54,750	LM100
	b2-6	263	243	17 <sup>b</sup>	91	1,277	LM100
	b2-7	6,000	4,464	1,536 <sup>b</sup>	87	200,750	LM100
	b2-8	22,862	16,626	4,550 <sup>b</sup>	84	226,581	LM74 FPR26
	b2-9	23,824	30,770	4,563	80	753,740	LM100
C	c-1	NA	205,892	29,658	79	2,366,349	SS100
	c-2	148,455	144,622	14,403	81	4,905,218	SS100
	c-3	56,973	48,683	4,589	83	1,112,993	SS100
	c-4	29,638	33,567	2,315	84	426,765	SS100
	c-5	19,888	17,691	1,197	84	274,116	SS100
	c-6	4,780	102,037	4,678	73	1,570,082	SS100
	c-7	160,355	183,512	9,243	80	2,254,417	SS100
	c-8	840,000 <sup>a</sup>	802,750	125,000	82	16,997,457	SS100
	c-9	76,920	33,264	4,692	66	1,388,327	SS100
D	d-1	6,230 <sup>a</sup>	5,201	652 <sup>b</sup>	83	169,280	FW45 NS55
	d-2	2,800 <sup>a</sup>	5,000	375	81	168,000	FW68 NS32
	d-3	2,860 <sup>a</sup>	4,490	1,691	98	128,761	FW55 NS40
	d-4	4,460	7,313	1,231 <sup>b</sup>	90	65,879	FW64 NS36
E	e-1	358,973	256,230	9,235	93	425,000	FPW100
	e-2	39,600	38,506	1,094 <sup>b</sup>	82	84,372	FPW100

<sup>a</sup> 処理規模×350日から算出した。

<sup>b</sup> 実験室で消化液を固液分離した。発生量は固体量と液体量の比率から算出した。

<sup>c</sup> FW: 生ごみ (80%<sup>\*1</sup>), FPR: 食品加工残渣 (80%<sup>\*1</sup>), NS: 浄化槽汚泥 (97%<sup>\*2</sup>), LM: 家畜糞尿 (75%<sup>\*1</sup>), SS: 下水汚泥 (97%<sup>\*1</sup>), FPW: 食品工場排水 (99%<sup>\*2</sup>). 含水率を文献から <sup>\*1</sup>: Diaz et al. (2005) and <sup>\*2</sup>: OWRRD (2005) .

均稼働日)をかけて推定した (表 4-5)中「a」で示している。また、消化液を実験室で固液分離したサンプルは、固体と液体の重量割合及び消化液量から液体分、固体分の量を推定した (表 4-5 に「b」と記載した)。

### 4.3.2 施設の概要

施設の概要を表 4-6 に示す。ここでも、サンプルが得られた施設のみを示した処理能力はばらつき大きく、下水汚泥 C と工場排水処理 E は、ほとんど水であるため処理能力が大きい。

開始年度は C グループ（脱水汚泥）と E は 70 年代と早い。これは、1970 年に水質汚濁防止法、廃棄物処理法が制定されたため、COD 総量規制への対応として高度処理の普及が始まったためである。それほかの施設では 2000 年以後が多く、1999 年に家畜排せつ物法が施行され、また食品リサイクル法やバイオマスニッポン戦略によって資源化が促進されたためと考えられる。

表 4-6 施設の概要

施設	開始年度	処理能力(トン/日)	前処理		発酵槽		脱水	水処理			生成物の利用						
			破碎	濃縮・固液分離	温度(°C)	滞留日数(日)		生物処理	活性炭吸着	膜処理	電力	熱	液肥	堆肥			
A1	a1-1	2003	5	x		55	9					x	x				
	a1-2	2003	5	x		55	12						x				
	a1-3	2003	16	x		55	5	x		x		xx	x				
	a1-4	2003	55	x		35	20	x	x		x	xx	x		xx		
	a1-5	2003	22	x		55	10	x			x	xx	x				
	a1-6	2003	20	x		55	10				x	x			x		
A2	a2-1	2003	614		x	36	22							x			
	a2-2	2006	420	x		55	5	x			x			x			
	a2-3	2003	30	x		37	20	x	x					xx			
	a2-4	2005	160	x		37	30	x		x		xx			x		
B1	b1-1	2003	15	x	x	35	16	x		x	x			x	x		
	b1-2	2001	5	x	x	37	36	x		x	x			x	x	xx	
	b1-3	2002	10	x	x	55	16	x		x	x			x	x		
	b1-4	2003	25	x	x	38	20	x		x	x			x	x	xx	
	b1-5	1995	NA			36	25	x		x			x	x	x		
	b1-6	1969	100			26	30	x						x	x		
	b1-7	2000	50	x	x	55	16	x		x	x		x			xx	
	b1-8	2006	34	x	x	35	26	x		x				x		x	
B2	b2-1	2005	48	x	x	37	25					x	x	xx	xx		
	b2-2	2003	NA		x	55	NA					xx	x	x			
	b2-3	2004	3		x	35	30							x	x		
	b2-4	2002	20			38	30					xx		x	x		
	b2-5	2001	4			55	15					xx		x	x		
	b2-6	2002	1		x	38	30							x	x		
	b2-7	2000	15		x	37	10					xx		x			
	b2-8	2001	50		x	37	30					xx		x	x	x	
	b2-9	1998	65			35	25	x		x	x		xx		xx	xx	
C	c-1	1982	22		x	35	33	x				x		x			
	c-2	1979	870		x	37	42	x				x					
	c-3	1987	327		x	35	32	x				x		x			
	c-4	1992	200		x	35	31	x						x			
	c-5	1990	85		x	36	32	x						x			
	c-6	1973	16			42	39	x				x		x			
	c-7	1974	546		x	35	30	x				x		x			
	c-8	1987	2,400		x	36	30	x				x		x			
	c-9	1965	266		x	35	20	x				x		x		x	
D	d-1	2006	18	x	x	37	22					x			xx		
	d-2	2000	8	x		55	15	x		x	x		x				
	d-3	2002	8	x	x	54	20	x		x	x			x		xx	
	d-4	2003	NA	x		55	16			x	x		x		x		
E	e-1	1993	4,000			30	NA			x				x			
	e-2	1999	200			35	12hr.	x						x		x	

NA: 不明, x: 処理プロセスがあり, xx: 外部へ売却。(詳細は付表4-3)

前処理については、投入物が生ごみの A1，および生ごみを混合している処理施設 D ではすべて破碎処理があった。食品残渣の A2 は焼酎かすを原料とする a2-1 を除いて破碎があり，B1 も生ごみがある施設は破碎設備を持っている。B1 グループ（浄化槽汚泥）と C グループ（下水汚泥）は大部分が固液分離または濃縮を行い，濃縮された有機汚泥をメタン発酵している。B2 グループ（家畜糞尿）の b2-1, b2-8, b2-9 では固液分離を行っているが，これらは固形分を堆肥化するためであり，液分をメタン発酵している。

処理日数は，メタン発酵温度 30～38℃では 10～43 日（平均 28 日），53～55℃は 5～30 日（平均 15 日）であった。ここでは，サンプルが得られなかった施設も含めた 85 施設の内訳であり，中温発酵は 58 施設，高温発酵は 27 施設であった。E グループ（食品工場排水）は 4～30 時間と短い，処理液を循環しており，反応槽の滞留時間を表している。

消化液は，B2 グループ(家畜糞尿)を除いて脱水，水処理を行っている。水処理は主に生物処理であり，生ごみを含む施設で活性炭吸着，膜処理を行っている。

生成物（ガス，堆肥，液肥）の利用については，4.4.2 で詳細に述べる。

## 4.4 炭素収支

### 4.4.1 バイオガス発生量

発生ガス量をメタン発酵処理能力に対してプロットすると，図 4-4 となる。ガス量は，処理量あたり（湿ベース）で示した。さまざまな原料を相互に比較するためには有機物の乾燥重量当たりとするのが良いが，含水率に大きな誤差を伴うため，湿ベースあたりとした。また，サンプルが得られなかった施設のデータもプロットした。

発生量の範囲および平均を原料種類別に較べると，生ごみ主体 A1：94～318（172），A2：14～205（75），B1：3～218（30），B2～5-66(23)，C：37～328(37)，E：0.5～4.0（1.3）である。

文献値によると生ごみや食品残渣は 80～200m<sup>3</sup>/トン（野池ら，2009），家畜糞尿，下水汚泥やし尿浄化槽は 5～50m<sup>3</sup>/トン（野池ら，2009；松田，2000），食品工場排水は 6m<sup>3</sup>/トン（松田，2000）程度であった。これらのデータは文献値と一致している。

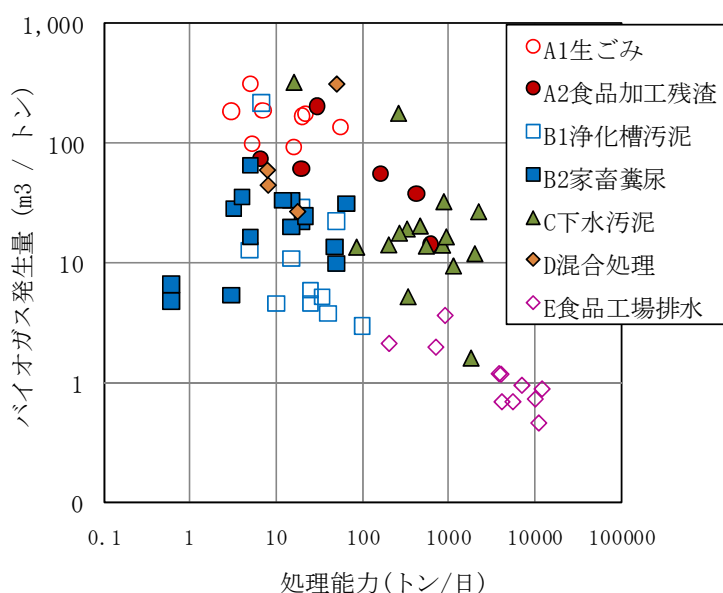


図 4-4 バイオガス発生量（湿ベース）

#### 4.4.2 生成物の利用

表 4-6 の右には、生成物の利用状況を示した。左から2つがガスで、発電を行うか、熱利用か、次に液肥、堆肥の利用である。施設における処理プロセスがある、または生産している施設に「×」、そのうち有料で販売している施設は「××」で示した。表 4-6 は分析試料が入手うできた施設のみだが、全 86 施設について利用状況をまとめると、表 4-7 となる。

このうち、ガス、電力の利用状況を図 4-5 に示す。発電は、A1、B2、C、D で多く行われている。しかし、うち有価での売却は B2 の3分の2、A1 の約半分だけである。熱利用とは、生産したガスをボイラで燃焼し施設で利用するもので、原料の種類によらず大部分の施設で行われている。有料販売の A2 (2 施設) は、ガスと売却している。

液肥、堆肥の利用状況を図 4-6 に示す。液肥は B2 の施設の大部分で生産しているが、それ以外の施設は水処理を行っている。液肥利用は、自家圃場に散布が大部分である。堆肥は B1、D で製造しているが、全体的には焼却や埋立処分している施設が多い。堆肥は、市民や農家、園芸に販売及び無料配布していた。

表 4-7 生成物の利用状況

施設数	電力		熱		消化液		堆肥		
	生産 (%)	売却 (%)	生産 (%)	売却 (%)	生産 (%)	売却 (%)	生産 (%)	売却 (%)	
A1	9	78	33	67	0	11	0	22	11
A2	6	33	17	83	33	0	0	33	17
B1	12	25	0	92	0	0	0	83	25
B2	17	76	53	76	0	94	18	29	12
C	23	70	0	87	4	0	0	22	4
D	5	80	0	60	0	20	20	60	20
E	13	15	0	100	0	0	0	8	0

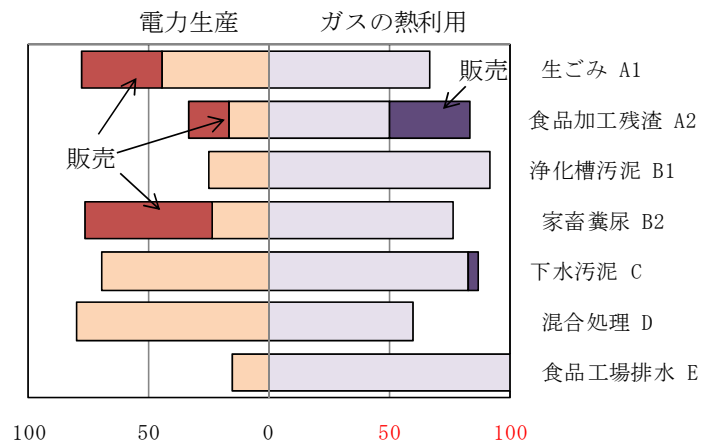
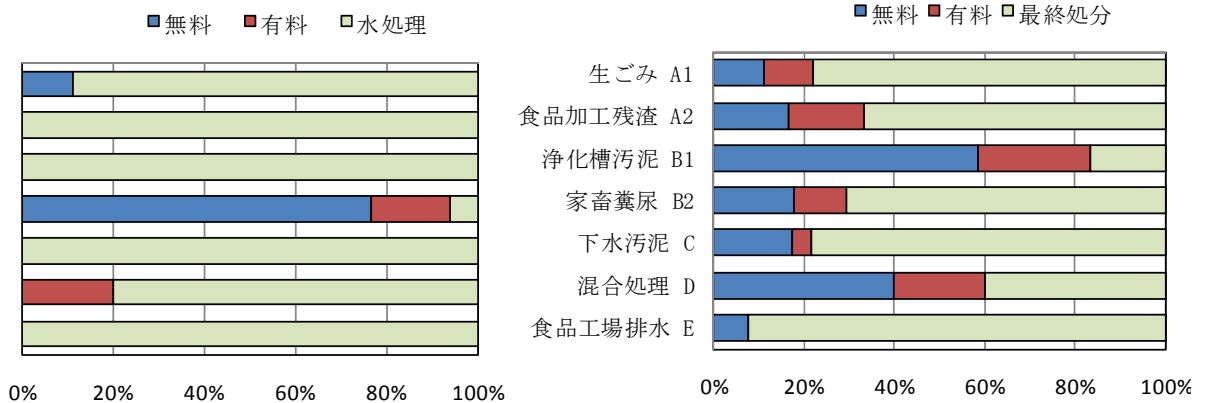


図 4-5 ガス・電力の利用率と販売状況



(a)液肥 (または液分)

(b)堆肥 (または固体分)

図 4-6 消化液の利用状況

#### 4.4.3 炭素の移行率

表 4-8(a)に、消化液、固体分中の炭素、水素、塩素含有量、および液、個体の発生量を示す。付表 4-2 の数値は湿ベースであるが、表 4-8(a)の固体分は乾燥重量であり、施設で固液分離されたか、実験室で遠心分離したかを、表の左に示した。

この表の濃度に発生量をかけると、ガス、液、固体への元素の移行率が計算できる。この結果を、表 4-8(b)に示す。バイオガスは、すべてメタンガスと二酸化炭素であると仮定した。また固液中の炭素は、全炭素として定量した（表 4-3 参照）。

炭素のガス、液、固体への移行率を、図 4-7 に示す。三角形の左下はすべて固体中であり、すべてがガス化すると右下の頂点となる。通常は図 4-4 のように原料あたりのバイオガス発生量が用いられているが、有機物量、含水率が異なる廃棄物間で比較することはできなかった。図 4-5 のようにガス、液、固体への移行率を考えると、ガスへの移行率が有機物分解率を表すことがわかり、廃棄物の種類に係らず比較が可能である。

ガスへの移行率はおおよそ、生ごみ(A1)および食品加工残渣(A2)約 70~90%、下水汚泥 (C) 約 50~70%、家畜ふん尿(B2)約 30~50%、し尿汚泥(B1)約 15~30%の順となっており、この順に分解率が高いと言える。また、家畜糞尿は液中への移行率が比較的高い。

ガス化率とメタン発酵槽の運転温度、滞留時間、固形物濃度との関係を図 4-8~4-10 に示す（データは表 4-9 に示す）。炭素のガス化率とメタン発酵槽の温度との相関は見られず、また滞留時間、固形濃度との相関も見られなかったことから、炭素のガス化率は搬入物の種類によるものといえる。ガス化率の高い搬入物は、生ごみや動植物性残渣といった安定率が低いものであり、ガス化率の低い搬入物は、し尿汚泥や家畜ふん尿といった体内で一度消化され、炭水化物、たんぱく質、脂肪といった易分解性の炭素がすでに分解された後の安定率の高いものであるといえる。

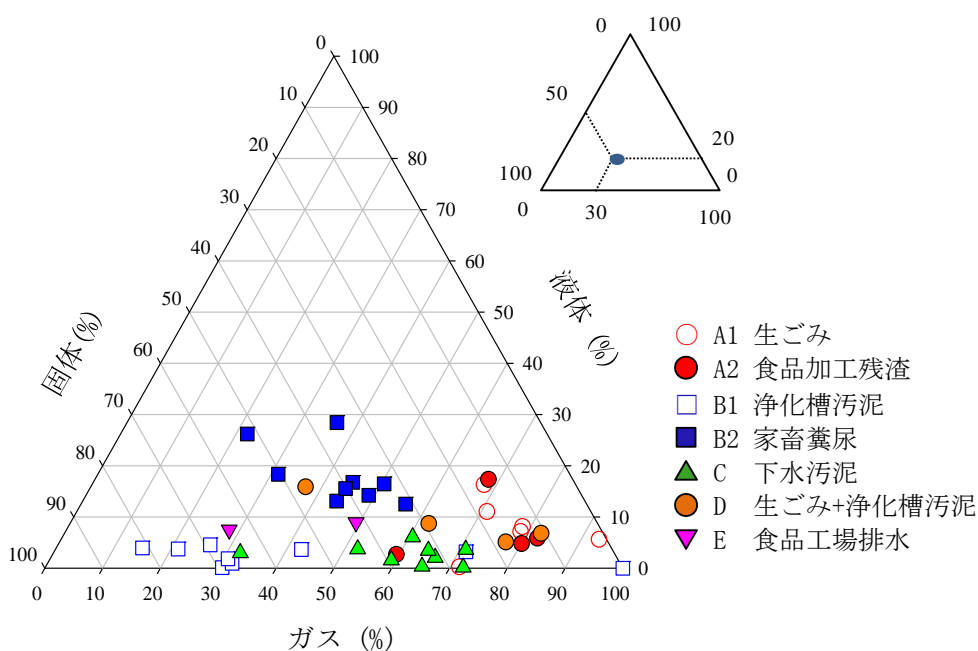


図 4-7 ガス、液体及び固体への炭素移行率



また、し尿浄化槽汚泥(B1)でばらつきが大きかった要因はし尿汚泥の中の生ごみの混合割合と浄化槽汚泥の混合割合による可能性がある。し尿汚泥中の生ごみ、浄化槽汚泥の混合割合とガス化率の関係を図4-11に示すが、明らかな相関は見られなかった。

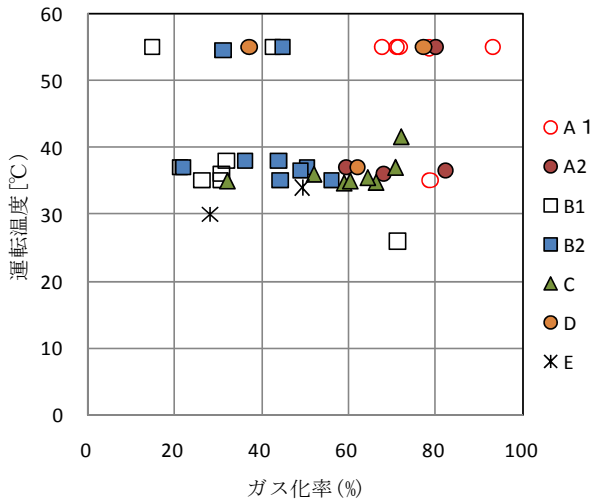


図 4-8 ガス化率と運転温度

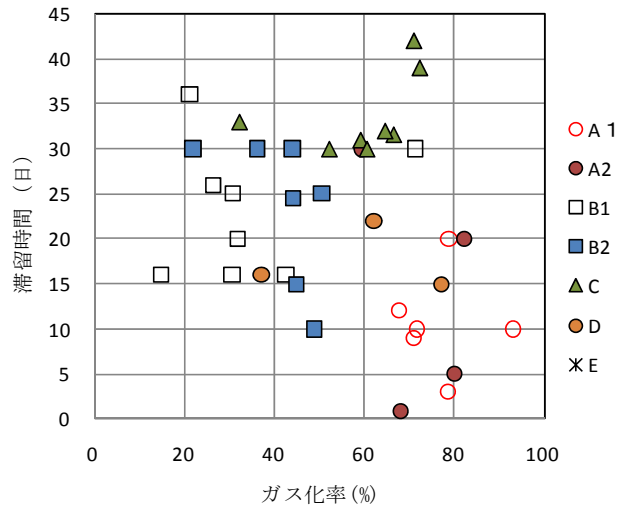


図 4-9 ガス化率と滞留時間

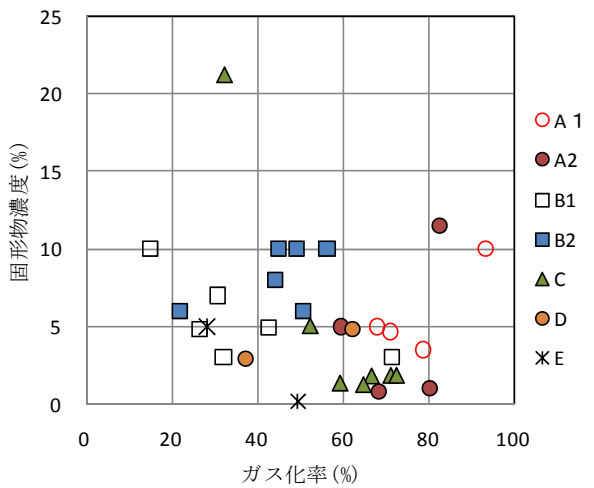


図 4-10 ガス化率と固形物濃度

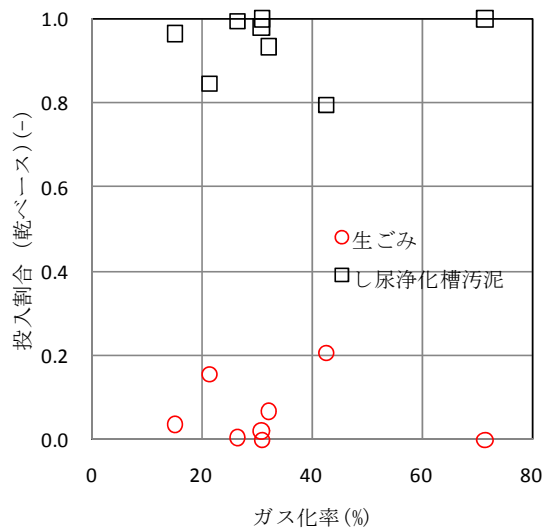


図 4-11 ガス化率とし尿汚泥割合 (B1 グループ)

表 4-8 炭素・窒素・塩素の分析値

(a)液体分, 固体分の濃度

	固液分離の方法	ガス	液体分				固体分 (乾ベース)			
		発生量 [Nm <sup>3</sup> ]	炭素 [mg/L]	窒素 [mg/L]	塩素 [mg/L]	量 [t]	炭素 [%]	窒素 [%]	塩素 [%]	量 [dry-t]
a1-1	実験室で遠心分離	455,243	4,243	2,667	2,102	8,934	48.75	7.92	1.42	127
a1-2	実験室で遠心分離	133,000	10,661	1,756	1,525	1,610	42.25	3.64	1.13	39
a1-3	施設で脱水	262,466	5,892	1,557	2,091	2,460	32.27	4.72	0.53	74
a1-4	施設で脱水	963,800	2,167	976	1,680	21,600	37.71	6.42	0.45	245
a1-5	施設で脱水	562,002	142	77	479	7,500	41.07	6.85	0.70	288
a1-6	実験室で遠心分離	1,000,000	3,695	2,023	2,231	8,737	48.92	8.96	1.06	15
a2-1	実験室で遠心分離	710,000	599	469	319	161,522	49.81	11.09	0.46	163
a2-2	施設で脱水	3,900,000	1,436	316	592	87,400	44.50	7.99	0.31	885
a2-3	施設で脱水	1,183,982	4,322	4,529	6,641	10,443	38.43	5.22	3.41	237
a2-4	施設で脱水	764,494	1,482	1,671	486	12,500	37.24	6.41	0.34	699
b1-1	施設で脱水	57,256	797	575	227	129	30.92	4.22	0.00	224
b1-2	施設で脱水	22,212	326	256	855	6,448	38.77	6.39	0.31	109
b1-3	施設で脱水	16,350	371	205	895	6,248	29.93	4.69	0.41	159
b1-4	施設で脱水	40,297	68	156	245	9,341	25.28	4.15	0.30	179
b1-5	施設で脱水	296,188	267	412	135	35,425	40.83	6.44	0.00	851
b1-6	施設で脱水	78,914	496	225	246	3,836	35.60	1.91	0.00	43
b1-7	施設で脱水	394,356	1,374	857	585	13,215	36.54	4.47	0.00	731
b1-8	施設で脱水	62,781	788	752	288	7,408	33.77	4.91	0.00	261
b2-1	実験室で遠心分離	207,466	3,566	1,394	1,461	10,162	36.75	4.03	0.60	198
b2-2	実験室で遠心分離	153,289	6,801	1,696	1,461	7,092	35.77	2.31	0.40	371
b2-3	実験室で遠心分離	16,876	4,656	1,703	1,590	433	35.18	3.17	0.55	14
b2-4	実験室で遠心分離	146,000	4,345	1,251	1,013	5,368	43.09	3.46	0.36	177
b2-5	実験室で遠心分離	54,750	10,462	1,846	1,590	1,048	36.36	2.83	0.39	69
b2-6	実験室で遠心分離	1,277	2,207	1,386	3,833	243	40.84	3.33	0.83	2
b2-7	実験室で遠心分離	200,750	7,005	2,091	1,205	4,464	40.57	2.40	0.48	200
b2-8	実験室で遠心分離	226,581	8,726	1,925	1,782	16,626	39.95	2.80	0.73	719
b2-9	施設で脱水	753,740	4,611	1,217	1,828	30,770	40.54	3.87	0.45	904
c-1	施設で脱水	2,366,349	571	289	93	205,892	40.03	4.56	0.00	6334
c-2	施設で脱水	4,905,218	931	851	117	144,622	34.98	6.03	0.00	2682
c-3	施設で脱水	1,112,993	380	521	107	48,683	35.96	6.04	0.00	783
c-4	施設で脱水	426,765	181	256	118	33,567	39.92	6.70	0.00	380
c-5	施設で脱水	274,116	443	528	103	17,691	38.66	6.77	0.00	188
c-6	施設で脱水	1,570,082	17	11	100	102,037	25.47	3.64	0.37	1257
c-7	施設で脱水	2,254,417	659	854	440	183,512	36.82	6.26	0.00	1804
c-8	施設で脱水	16,997,457	812	943	2,673	802,750	34.85	5.77	0.00	22002
c-9	施設で脱水	1,388,327	117	146	168	33,264	25.01	4.00	0.59	1578
d-1	実験室で遠心分離	169,280	2,450	2,475	1,205	5,201	39.20	4.95	0.67	109
d-2	実験室で遠心分離	65,879	3,311	3,251	1,461	4,552	37.48	5.68	1.00	119
d-3	施設で脱水	168,000	1,189	617	1,225	5,000	29.09	4.47	0.41	71
d-4	施設で脱水	128,761	1,268	633	1,963	4,490	30.05	4.27	0.93	30
e-1	実験室で遠心分離	84,372	212	135	185	38,506	52.86	8.55	0.00	72
e-2	施設で脱水	425,000	237	36	78	256,230	31.97	6.06	0.00	1628

搬入物種類ごとの平均値

A1	生ごみ		4,621	1,407	1,576		40.41	5.91	0.85	
A2	食品加工残渣		1,960	1,746	2,010		42.50	7.68	1.13	
B1	し尿汚泥		561	430	435		33.96	4.65	0.13	
B2	家畜ふん尿		5,820	1,612	1,751		38.78	3.13	0.53	
C	下水汚泥		457	489	435		34.63	5.53	0.11	
D	生ごみ+し尿		2,055	1,744	1,463		33.96	4.84	0.75	
E	食品工場排水		225	86	131		42.42	7.31	0.00	

表 4-8 (つづき)

(b) 移行量

	ガス			液体分			固体分		
	炭素 [t]	炭素 [t]	窒素 [t]	塩素 [t]	炭素 [t]	窒素 [t]	塩素 [t]		
a1-1	244	37.9	7.2	18.8	61.8	10.0	1.8		
a1-2	71	17.2	1.7	2.5	16.7	1.4	0.4		
a1-3	141	14.5	4.0	5.1	23.8	3.5	0.4		
a1-4	516	46.8	15.5	36.3	92.4	15.7	1.1		
a1-5	301	1.1	0.3	3.6	118.3	19.7	2.0		
a1-6	536	32.3	5.4	19.5	7.5	1.4	0.2		
a2-1	380	96.7	14.9	51.6	81.4	18.1	0.8		
a2-2	2,089	125.5	40.9	51.7	394.0	70.7	2.7		
a2-3	634	45.1	28.3	69.4	91.2	12.4	8.1		
a2-4	410	18.5	10.5	6.1	260.4	44.8	2.4		
b1-1	31	0.1	0.1	0.0	69.3	9.5	0.0		
b1-2	12	2.1	1.3	5.5	42.1	6.9	0.3		
b1-3	9	2.3	1.0	5.6	47.6	7.5	0.7		
b1-4	22	0.6	1.8	2.3	45.4	7.4	0.5		
b1-5	159	9.5	9.0	4.8	347.4	54.8	0.0		
b1-6	42	1.9	0.6	0.9	15.1	0.8	0.0		
b1-7	211	18.2	8.4	7.7	266.9	32.7	0.0		
b1-8	34	5.8	3.5	2.1	88.2	12.8	0.0		
b2-1	111	36.2	6.0	14.9	72.8	8.0	1.2		
b2-2	82	48.2	5.0	10.4	132.7	8.6	1.5		
b2-3	9	2.0	0.3	0.7	5.0	0.5	0.1		
b2-4	78	23.3	3.0	5.4	76.4	6.1	0.6		
b2-5	29	11.0	1.0	1.7	25.0	1.9	0.3		
b2-6	1	0.5	0.1	0.9	0.7	0.1	0.0		
b2-7	108	31.3	4.0	5.4	81.0	4.8	1.0		
b2-8	121	145.1	15.6	29.6	287.2	20.1	5.2		
b2-9	404	141.9	26.4	56.2	366.4	35.0	4.1		
c-1	1,268	117.5	79.8	19.2	2535.3	288.8	0.0		
c-2	2,628	134.7	93.0	16.9	938.3	161.7	0.0		
c-3	596	18.5	18.9	5.2	281.5	47.3	0.0		
c-4	229	6.1	6.2	4.0	151.6	25.4	0.0		
c-5	147	7.8	6.3	1.8	72.6	12.7	0.0		
c-6	841	1.7	1.6	10.2	320.3	45.8	4.7		
c-7	1,208	120.9	91.5	80.7	664.2	112.9	0.0		
c-8	9,106	652.0	562.0	2146.0	7667.7	1269.5	0.0		
c-9	744	3.9	6.7	5.6	394.7	63.1	9.3		
d-1	91	12.7	3.4	6.3	42.7	5.4	0.7		
d-2	35	15.1	3.3	6.7	44.6	6.8	1.2		
d-3	90	5.9	2.4	6.1	20.6	3.2	0.3		
d-4	69	5.7	2.0	8.8	9.0	1.3	0.3		
e-1	45	8.2	1.1	7.1	38.1	6.2	0.0		
e-2	228	60.6	1.4	20.1	520.3	98.6	0.0		

(c) 移行率

ガス [%]	炭素			窒素		塩素	
	液体 [%]	固体 [%]	炭素 [%]	液体 [%]	固体 [%]	液体 [%]	固体 [%]
71.0	11.0	18.0	41.6	58.4	91.3	8.7	
67.8	16.3	15.9	54.2	45.8	84.6	15.4	
78.6	8.1	13.3	53.7	46.3	92.9	7.1	
78.8	7.1	14.1	49.7	50.3	97.0	3.0	
71.6	0.3	28.1	1.5	98.5	64.1	35.9	
93.1	5.6	1.3	79.7	20.3	99.2	0.8	
68.1	17.3	14.6	45.1	54.9	98.6	1.4	
80.1	4.8	15.1	36.7	63.3	95.0	5.0	
82.3	5.9	11.8	69.5	30.5	89.5	10.5	
59.5	2.7	37.8	19.0	81.0	71.9	28.1	
30.7	0.1	69.2	0.6	99.4	100.0	0.0	
21.2	3.8	75.0	15.3	84.7	94.2	5.8	
14.9	3.9	81.1	11.8	88.2	89.6	10.4	
31.9	0.9	67.1	19.8	80.2	80.9	19.1	
30.8	1.8	67.4	14.1	85.9	100.0	0.0	
71.3	3.2	25.5	41.5	58.5	100.0	0.0	
42.6	3.7	53.8	20.4	79.6	100.0	0.0	
26.3	4.6	69.1	21.6	78.4	100.0	0.0	
50.5	16.5	33.1	42.8	57.2	92.6	7.4	
31.2	18.3	50.4	36.8	63.2	87.5	12.5	
56.2	12.5	31.3	37.2	62.8	89.7	10.3	
43.9	13.1	42.9	32.7	67.3	89.5	10.5	
44.9	16.8	38.3	33.8	66.2	86.1	13.9	
36.3	28.4	35.2	62.2	37.8	98.6	1.4	
48.9	14.2	36.9	45.3	54.7	84.9	15.1	
21.9	26.2	51.9	43.6	56.4	85.0	15.0	
44.3	15.6	40.2	43.0	57.0	93.3	6.7	
32.3	3.0	64.7	21.7	78.3	100.0	0.0	
71.0	3.6	25.4	36.5	63.5	100.0	0.0	
66.5	2.1	31.4	28.6	71.4	100.0	0.0	
59.2	1.6	39.2	19.5	80.5	100.0	0.0	
64.6	3.4	31.9	33.1	66.9	100.0	0.0	
72.3	0.1	27.5	3.4	96.6	68.7	31.3	
60.6	6.1	33.3	44.8	55.2	100.0	0.0	
52.3	3.7	44.0	30.7	69.3	100.0	0.0	
65.1	0.3	34.5	9.6	90.4	37.5	62.5	
62.1	8.7	29.2	38.3	61.7	89.6	10.4	
37.2	15.9	46.9	32.7	67.3	84.8	15.2	
77.2	5.1	17.7	43.6	56.4	95.5	4.5	
82.5	6.8	10.7	60.6	39.4	96.9	3.1	
49.4	8.9	41.7	14.6	85.4	100.0	0.0	
28.2	7.5	64.3	1.4	98.6	100.0	0.0	

搬入物種類ごとの移行率平均値

搬入物種類	炭素			窒素	
	ガス [%]	液体 [%]	固体 [%]	液体 [%]	固体 [%]
A1 生ごみ	73.6	8.6	17.9	40.2	59.8
A2 食品加工残渣	72.5	7.7	19.8	42.6	57.4
B1 し尿汚泥	33.7	2.8	63.5	18.1	81.9
B2 家畜ふん尿	42.0	18.0	40.0	41.9	58.1
C 下水汚泥	60.4	2.7	36.9	25.3	74.7
D 生ごみ+し尿	64.7	9.1	26.1	43.8	56.2
E 食品工場排水	38.8	8.2	53.0	8.0	92.0

塩素	
液体 [%]	固体 [%]
86.0	14.0
88.7	11.3
95.6	4.4
89.7	10.3
89.6	10.4
91.7	8.3
100.0	0.0

表 4-9 ガス化率と運転条件の関係

		ガス化率	固形物濃度 [%]	運転温度 [°C]	滞留時間 [日]	処理能力 [t/日]	容積 [m <sup>3</sup> ]
A1	a1-1	71.0	4.65	55	9	5	180
	a1-2	67.8	5	55	12	5.2	67
	a1-3	93.1	10	55	10	20	400
	a1-4	78.6	3.5	54.9	3	16	302
	a1-5	78.8		35	20	55	2100
	a1-6	71.6		55	10	22	440
A2	a2-1	68.1	0.8	36	0.92	614	552
	a2-2	80.1	1	55	5	420	2240
	a2-3	82.3	11.5	36.5	20	30	1650
	a2-4	59.5	5	37	30	160	4800
B1	b1-1	30.7	7	35	16	14.9	328
	b1-2	21.2		37	36	4.89	134
	b1-3	14.9	10	55	16	10	160
	b1-4	31.9	3	38	20	25	330
	b1-5	30.8		36	25		4900
	b1-6	71.3	3	26	30	100	3400
	b1-7	42.6	4.9	55	16	50	1000
	b1-8	26.3	4.8	35	26	34	900
B2	b2-1	50.5	6	37	25	47.5	1400
	b2-2	31.2		54.5			540
	b2-3	56.2	10	35			86
	b2-4	43.9	8	38	30	20	600
	b2-5	44.9	10	55	15	4	60
	b2-6	36.3		38	30	0.6	18000
	b2-7	48.9	10	36.5	10	15	260
	b2-8	21.9	6	37	30	50	1500
	b2-9	44.3		35	24.5	65.2	2700
C	c-1		0.03	37	1	10	1020
	c-2	32.3	21.2	35	33	22.2	13848
	c-3	71.0	1.8	37	42	870	17447
	c-4	66.5	1.76	34.8	31.6	326.7	6534
	c-5	59.2	1.3	34.7	31	200	4000
	c-6	64.6	1.2	35.5	32	85	1700
	c-7	72.3	1.8	41.5	39	16	8799
	c-8	60.6		35	30	546	16222
	c-9	52.3	5	36	30	2400	81600
D	d-1		3.42	37.3	28.9	840	24240
	d-2	62.1	4.8	37	22	17.8	400
	d-3	37.2	2.9	55	16		410
	d-4	77.2		55	15	8	200
	e-1	49.4	0.18	34		200	87
	e-2	28.2	5	30		4000	700

## 4.5 元素収支 (P, K)

### 4.5.1 固体と液体への移行率

リンとカリウム含有量の分析値 (表 4-10(a)), ろ液量, 固体量及び脱水後の固液分量 (表 4-5) を用い, 液, 固体中の移行率を算出した結果を表 4-10(b)に示す。液への移行率を図 4-12 に示す。リンの移行率は, 固液分離方法, 凝集剤の種類などにより一定の傾向があったため, それらのグループ別に並び変えた。図中に消化液を施設で脱水した場合に, 高分子凝集剤添加使用(■), そのほかの凝集剤使用(▲), 凝集剤使用なし(△), 及び実験室における固液分離 (●) で示す。

固液分離方法による違いは, A1, D, E グループの間に見られる。実験室において遠心分離で固液分離すると, 施設で脱水した場合よりも液へのリンの移行率が大きかった。B2 にも, その傾向がみられる。一方, 施設で脱水されたものには凝集剤による違いがみられた。B1 は, 凝集剤を使用していない場合(b1-6, b1-7)に液への移行率が高くなっている。これらの結

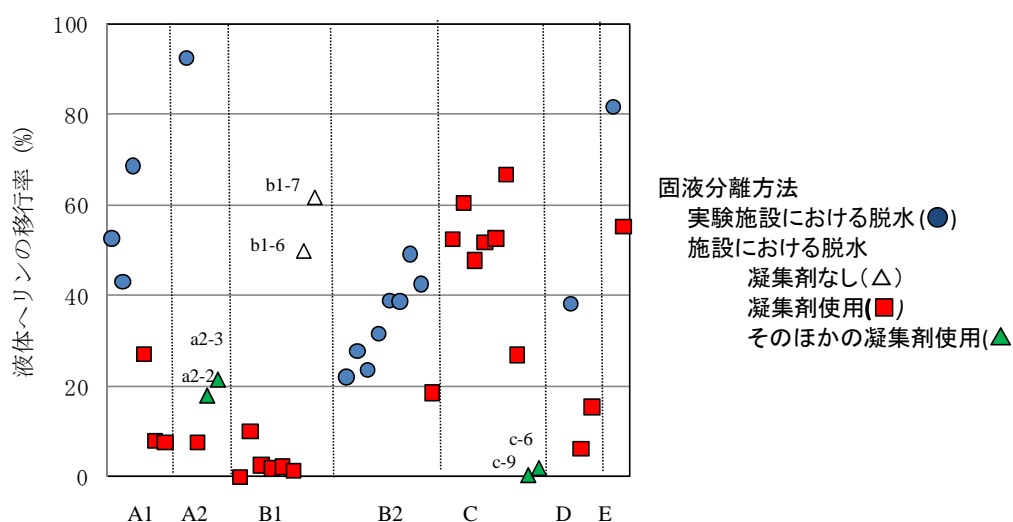


図 4-12 液へのリンの移行率

果は, 凝集剤によってリンが固体へ移行していることを表す。また, 凝集剤には高分子凝集剤が使われているが, a2-2, a2-3 はポリ硫酸鉄と高分子凝集剤を併用し液への移行率が高く, C-6, C-9 は硝石灰と塩化第二鉄と高分子凝集剤と併用し固体側へ移行している。

凝集剤の使用は, 施設で水処理をする際にリンを低減させたいという施設の意向によるものであり, 消化液の利用に不利となっている。また脱水に凝集剤を添加するのはコスト面で負担となっている現状もある。

液体へのカリウムの移行率は脱水方法や凝固剤にかかわらず高く 68.9~85.7%(平均, 78.0%)であった。マグネシウムとカルシウムについては固体への移行率が高く見られ, それぞれ 48.3-93.3% (67.2%)と 38.7-80.8% (68.4%)であった (表 4-9(b)参照)

表 4-10 リン，カリウム，カルシウム，マグネシウムの分析値

(a)液体分，固体分中の濃度

	固液分離の方法	液体分					固体分 (乾ベース)				
		リン [mg/L]	カリウム [mg/L]	カルシウム [mg/L]	マグネシウム [mg/L]	量 [t]	リン [%]	カリウム [%]	カルシウム [%]	マグネシウム [%]	量 [dry-t]
a1-1	実験室で遠心分離	161	347	95	137	8,934	1.02	0.10	0.83	2.47	127
a1-2	実験室で遠心分離	416	4,388	236	51	1,610	2.24	3.31	1.63	1.07	39
a1-3	施設で脱水	204	1,464	62	54	2,460	1.84	0.41	6.41	0.71	74
a1-4	施設で脱水	18	1,402	35	77	21,600	1.85	0.68	4.86	0.56	245
a1-5	施設で脱水	50	323	40	27	7,500	1.57	1.28	1.77	0.38	288
a1-6	実験室で遠心分離	138	1,187	146	86	8,737	3.61	4.81	0.23	0.46	15
a2-1	実験室で遠心分離	207	1,335	23	37	161,522	1.70	28.89	0.74	1.40	163
a2-2	施設で脱水	40	2,540	48	93	87,400	1.80	2.06	0.64	0.48	885
a2-3	施設で脱水	85	1,479	105	22	10,443	1.36	0.81	1.16	0.49	237
a2-4	施設で脱水	89	504	78	10	12,500	1.93	0.44	1.25	0.50	699
b1-1	施設で脱水	10	119	15	14	129	2.09	0.08	0.96	0.36	224
b1-2	施設で脱水	37	333	122	49	6,448	1.97	0.45	0.46	0.37	109
b1-3	施設で脱水	21	368	35	39	6,248	3.18	0.43	1.34	0.76	159
b1-4	施設で脱水	11	280	151	58	9,341	3.01	0.23	0.96	0.52	179
b1-5	施設で脱水	488	142	45	21	35,425	2.03	0.16	1.62	0.39	851
b1-6	施設で脱水	91	55	39	19	3,836	0.51	0.12	0.80	0.39	43
b1-7	施設で脱水	26	431	99	28	13,215	2.09	0.25	1.59	0.35	731
b1-8	施設で脱水	13	130	52	33	7,408	2.51	0.09	1.07	0.46	261
b2-1	実験室で遠心分離	99	3,162	120	61	10,162	1.81	1.26	0.53	0.42	198
b2-2	実験室で遠心分離	253	4,898	354	381	7,092	1.26	1.97	1.61	1.05	371
b2-3	実験室で遠心分離	242	3,702	564	215	433	2.37	1.97	3.24	2.12	14
b2-4	実験室で遠心分離	141	2,633	333	380	5,368	0.92	1.12	2.12	0.93	177
b2-5	実験室で遠心分離	512	6,075	853	516	1,048	1.22	1.74	1.62	1.33	69
b2-6	実験室で遠心分離	59	4,420	174	168	243	1.39	2.68	2.24	1.57	2
b2-7	実験室で遠心分離	181	3,503	307	544	4,464	0.42	1.61	1.66	0.89	200
b2-8	実験室で遠心分離	390	4,431	564	173	16,626	1.22	2.34	0.99	1.15	719
b2-9	施設で脱水	82	3,326	75	355	30,770	1.23	1.42	1.36	0.84	904
c-1	施設で脱水	585	187	44	37	205,892	1.72	0.35	0.75	0.65	6,334
c-2	施設で脱水	806	241	23	2	144,622	2.84	0.31	0.89	0.73	2,682
c-3	施設で脱水	507	136	24	3	48,683	3.45	0.39	1.49	1.25	783
c-4	施設で脱水	298	88	32	14	33,567	2.45	0.09	1.13	0.96	380
c-5	施設で脱水	343	137	30	5	17,691	2.91	0.14	1.37	1.13	188
c-6	施設で脱水	5	17	55	11	102,037	1.90	0.13	7.21	0.69	1,257
c-7	施設で脱水	465	244	47	9	183,512	2.37	0.23	1.38	0.89	1,804
c-8	施設で脱水	229	115	46	10	802,750	2.27	0.23	0.69	0.63	22,002
c-9	施設で脱水	5	67	3,107	0	33,264	1.99	0.40	7.35	0.51	1,578
d-1	実験室で遠心分離	91	1,266	101	16	5,201					109
d-2	実験室で遠心分離	435	1,044	97	8	4,552	2.70	1.40	1.81	0.89	119
d-3	施設で脱水	20	643	31	52	5,000	2.12	0.63	2.06	0.38	71
d-4	施設で脱水	28	1,028	74	76	4,490	2.35	0.78	1.88	0.75	30
e-1	実験室で遠心分離	156	434	33	51	38,506	1.88	14.49	0.59	1.82	72
e-2	施設で脱水	50	25	22	14	256,230	0.64	0.12	0.39	0.28	1,628

搬入物種類ごとの平均値

A1	生ごみ	170	1,585	94	69		1.71	1.15	3.10	1.04	
A2	食品加工残渣	105	1,465	63	41		1.70	8.05	0.95	0.72	
B1	し尿汚泥	87	232	70	33		2.17	0.23	1.10	0.45	
B2	家畜ふん尿	218	4,017	372	310		1.31	1.79	1.71	1.15	
C	下水汚泥	360	137	379	10		2.43	0.25	2.48	0.83	
D	生ごみ+し尿	144	995	76	38		2.39	0.94	1.92	0.67	
E	食品工場排水	103	229	28	32		1.26	7.31	0.49	1.05	

表 4-10 (つづき)

(b) 移行量

	液体分				固体分			
	リン [t]	カリウム [t]	カルシウム [t]	マグネシウム [t]	リン [t]	カリウム [t]	カルシウム [t]	マグネシウム [t]
a1-1	1.44	3.10	0.85	1.23	1.29	0.12	1.05	3.13
a1-2	0.67	7.06	0.38	0.08	0.88	1.30	0.64	0.42
a1-3	0.50	3.60	0.15	0.13	1.36	0.30	4.72	0.52
a1-4	0.39	30.28	0.76	1.67	4.53	1.67	11.91	1.37
a1-5	0.37	2.42	0.30	0.20	4.53	3.68	5.10	1.08
a1-6	1.20	10.37	1.28	0.75	0.55	0.73	0.03	0.07
a2-1	33.42	215.60	3.69	5.90	2.78	47.24	1.21	2.29
a2-2	3.51	221.97	4.16	8.15	15.95	18.24	5.70	4.25
a2-3	0.88	15.45	1.09	0.23	3.22	1.92	2.76	1.17
a2-4	1.12	6.30	0.97	0.13	13.52	3.08	8.74	3.51
b1-1	0.00	0.02	0.00	0.00	4.69	0.18	2.14	0.80
b1-2	0.24	2.15	0.78	0.31	2.13	0.49	0.50	0.40
b1-3	0.13	2.30	0.22	0.25	5.05	0.68	2.13	1.21
b1-4	0.10	2.62	1.41	0.54	5.40	0.41	1.72	0.94
b1-5	17.29	5.03	1.58	0.75	17.28	1.36	13.81	3.31
b1-6	0.35	0.21	0.15	0.07	0.22	0.05	0.34	0.17
b1-7	0.34	5.70	1.30	0.36	15.30	1.83	11.62	2.57
b1-8	0.10	0.97	0.38	0.24	6.55	0.23	2.80	1.20
b2-1	1.01	32.14	1.22	0.62	3.58	2.50	1.04	0.82
b2-2	1.80	34.74	2.51	2.71	4.67	7.32	5.97	3.91
b2-3	0.10	1.60	0.24	0.09	0.34	0.28	0.46	0.30
b2-4	0.76	14.14	1.79	2.04	1.63	1.98	3.76	1.65
b2-5	0.54	6.36	0.89	0.54	0.84	1.20	1.11	0.92
b2-6	0.01	1.07	0.04	0.04	0.02	0.04	0.04	0.03
b2-7	0.81	15.64	1.37	2.43	0.84	3.22	3.32	1.78
b2-8	6.48	73.66	9.37	2.88	8.76	16.81	7.15	8.28
b2-9	2.53	102.35	2.31	10.91	11.08	12.86	12.34	7.59
c-1	120.50	38.52	9.03	7.56	108.96	22.29	47.69	40.91
c-2	116.51	34.89	3.32	0.35	76.09	8.20	23.98	19.47
c-3	24.67	6.60	1.19	0.16	26.98	3.08	11.68	9.80
c-4	10.00	2.95	1.08	0.46	9.30	0.35	4.31	3.64
c-5	6.06	2.42	0.53	0.09	5.47	0.26	2.57	2.11
c-6	0.51	1.75	5.56	1.09	23.94	1.65	90.65	8.65
c-7	85.24	44.83	8.56	1.71	42.67	4.13	24.97	16.11
c-8	183.74	92.57	37.16	7.91	499.24	50.54	152.79	138.69
c-9	0.17	2.22	103.34	0.00	31.46	6.30	115.91	8.06
d-1	0.48	6.58	0.52	0.08				
d-2	1.98	4.75	0.44	0.04	3.20	1.67	2.15	1.05
d-3	0.10	3.22	0.16	0.26	1.50	0.44	1.46	0.27
d-4	0.13	4.62	0.33	0.34	0.70	0.23	0.56	0.22
e-1	6.01	16.69	1.26	1.95	1.36	10.46	0.42	1.31
e-2	12.69	6.45	5.73	3.55	10.43	2.01	6.27	4.58

(c) 移行率

	リン		カリウム		カルシウム		マグネシウム	
	液体 [%]	固体 [%]	液体 [%]	固体 [%]	液体 [%]	固体 [%]	液体 [%]	固体 [%]
	52.6	47.4	96.2	3.8	44.8	55.2	28.2	71.8
	43.1	56.9	84.4	15.6	37.1	62.9	16.3	83.7
	27.0	73.0	92.3	7.7	3.1	96.9	20.4	79.6
	7.9	92.1	94.8	5.2	6.0	94.0	55.0	45.0
	7.6	92.4	39.7	60.3	5.6	94.4	15.9	84.1
	68.6	31.4	93.4	6.6	97.4	2.6	91.5	8.5
	92.3	7.7	82.0	18.0	75.3	24.7	72.0	28.0
	18.0	82.0	92.4	7.6	42.2	57.8	65.7	34.3
	21.6	78.4	88.9	11.1	28.4	71.6	16.6	83.4
	7.6	92.4	67.2	32.8	10.0	90.0	3.6	96.4
	0.0	100.0	7.7	92.3	0.1	99.9	0.2	99.8
	10.0	90.0	81.5	18.5	61.1	38.9	43.7	56.3
	2.6	97.4	77.3	22.7	9.3	90.7	16.9	83.1
	1.8	98.2	86.5	13.5	45.0	55.0	36.6	63.4
	50.0	50.0	78.7	21.3	10.3	89.7	18.6	81.4
	61.8	38.2	80.5	19.5	30.6	69.4	30.8	69.2
	2.2	97.8	75.7	24.3	10.1	89.9	12.4	87.6
	1.5	98.5	80.5	19.5	12.0	88.0	17.0	83.0
	22.0	78.0	92.8	7.2	54.0	46.0	43.1	56.9
	27.8	72.2	82.6	17.4	29.6	70.4	40.9	59.1
	23.5	76.5	85.0	15.0	34.5	65.5	23.4	76.6
	31.7	68.3	87.7	12.3	32.2	67.8	55.3	44.7
	38.9	61.1	84.2	15.8	44.5	55.5	37.1	62.9
	38.8	61.2	96.1	3.9	53.7	46.3	61.4	38.6
	49.1	50.9	82.9	17.1	29.2	70.8	57.6	42.4
	42.5	57.5	81.4	18.6	56.7	43.3	25.8	74.2
	18.6	81.4	88.8	11.2	15.8	84.2	59.0	41.0
	52.5	47.5	63.3	36.7	15.9	84.1	15.6	84.4
	60.5	39.5	81.0	19.0	12.2	87.8	1.8	98.2
	47.8	52.2	68.2	31.8	9.2	90.8	1.6	98.4
	51.8	48.2	89.4	10.6	20.1	79.9	11.2	88.8
	52.6	47.4	90.2	9.8	17.2	82.8	3.9	96.1
	2.1	97.9	51.5	48.5	5.8	94.2	11.2	88.8
	66.6	33.4	91.6	8.4	25.5	74.5	9.6	90.4
	26.9	73.1	64.7	35.3	19.6	80.4	5.4	94.6
	0.5	99.5	26.1	73.9	47.1	52.9	0.0	100.0
	38.2	61.8	74.0	26.0	17.0	83.0	3.5	96.5
	6.3	93.7	87.9	12.1	9.7	90.3	48.6	51.4
	15.4	84.6	95.2	4.8	37.2	62.8	60.3	39.7
	81.6	18.4	61.5	38.5	74.9	25.1	59.7	40.3
	54.9	45.1	76.2	23.8	47.7	52.3	43.6	56.4

(c) 搬入物種類ごとの移行率の平均値

	搬入物種類	リン		カリウム		カルシウム		マグネシウム	
		液体 [%]	固体 [%]	液体 [%]	固体 [%]	液体 [%]	固体 [%]	液体 [%]	固体 [%]
A2	食品加工残渣	34.9	65.1	82.6	17.4	39.0	61.0	39.5	60.5
B1	し尿汚泥	16.2	83.8	71.1	28.9	22.3	77.7	22.0	78.0
B2	家畜ふん尿	32.6	67.4	86.8	13.2	38.9	61.1	44.9	55.1
C	下水汚泥	40.1	59.9	69.5	30.5	19.2	80.8	6.7	93.3
D	生ごみ+し尿	20.0	80.0	85.7	14.3	21.3	78.7	37.5	62.5
E	食品工場排水	68.2	31.8	68.9	31.1	61.3	38.7	51.7	48.3

#### 4.5.2 液体分と固体分の肥料成分

液体中の肥料成分の含有率を、グループ別に平均値として図 4-13(a)に示す。市販液肥は、使用時 300 倍希釈の表示により、300 倍希釈したときの値を用いて比較した。し尿汚泥(B1)、下水汚泥(C)、食品工場排水(E)がほぼ 0.1%以下であり、し尿汚泥(B1)は窒素主体の N 肥料、下水汚泥(C)は窒素とリン主体の NP 肥料、食品工場排水(E)はカリウム主体の K 肥料となり得る。生ごみ(A1)と食品加工残渣(A2)が 0.25%程度、生ごみ+し尿(D)が約 0.15%、家畜糞尿(B2)が 0.5%程度であり、いずれも窒素とカリ主体の NK 肥料となり得る。市販液肥に比べて、全体的にリンの含有率が小さいが、リンは凝集剤なし、または凝集剤の種類を選択することで液体分の肥料成分の含有率が上がると考えられる。

固体中の肥料成分の含有率を図 4-13(b)に示す。窒素、リン、カリウムの総含有率は乾ベースで、生ごみ(A1)、食品加工残渣(A2)が 10%程度と大きく、し尿汚泥 (B1) 約 7%、下水汚泥(C)と食品工場排水 (E) が 8%程度、家畜糞尿(B2)が 6%であった。廃棄物由来の堆肥と比べると同程度またその以上の肥料成分を含有していた。

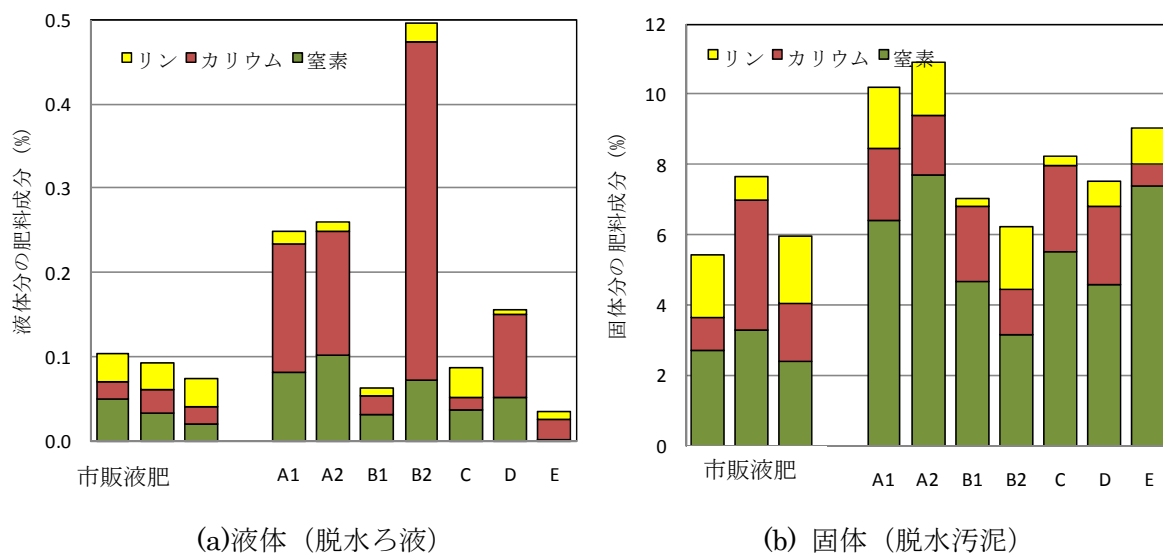


図 4-13 液体（脱水ろ液）と固体（脱水汚泥）における肥料成分含有量



## 4.6 コスト

### 4.6.1 建設費

図 4-14 に処理能力あたり建設費を示す。建設年度が異なるため、物価指数(CPI)1956-2005年までを用いて金額を補正した (MIC, 2010)。コストのデータは表 4-11 に示す (詳細な内訳は付表 4-4)。

C グループでは下水汚泥のメタン発酵処理施設は、下水処理の一部として行われており、建設費はその全体である。したがって、以下のコスト分析からは除外する。全体として、規模と建設単価には負の相関がみられる。すべての施設を比較すると、傾きが-1になるかのように見える。しかし E と A2 の一部を除くと、施設規模の幅は小さく、規模の効果を評価することは適当ではない。そこで廃棄物の種類ごとにみる。

E 以外の施設について 10t/d 程度の施設を比較すると、 $B1 > D$ ,  $A1, A2 > B2$  である。B1, D, A1, A2 はいずれも水処理を行っている。B1 はすべて堆肥化施設を持っており、そのために建設費が高いと思われる。A1, D の中でも、建設費の高い施設は堆肥化施設がある。一方、最も建設費の安い B2 は水処理がない。建設費の高い 3 施設(b2-1, b2-8, b2-9)には、堆肥化施設がある

### 4.6.2 ランニングコスト

ランニングコストでは電力、燃料、用水、薬品、残渣処分、人件費、委託費、点検補修費を尋ねた。電力などは処理量に比例して増加するのに対し、人件費以下は規模が大きくなるほど効率的となって単価が安くなると考えられる。

そこで、図 4-15 に処理量 (湿ベース) あたりの人件費、委託費、

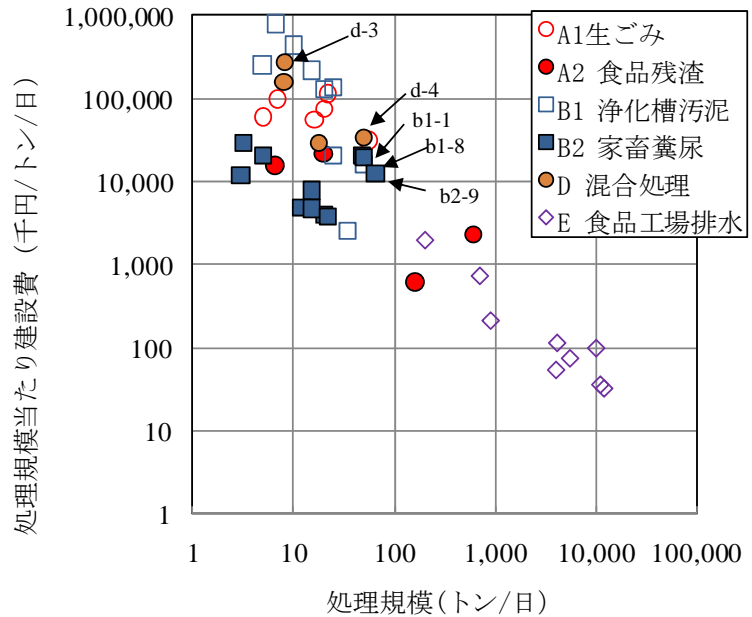


図 4-14 建設費

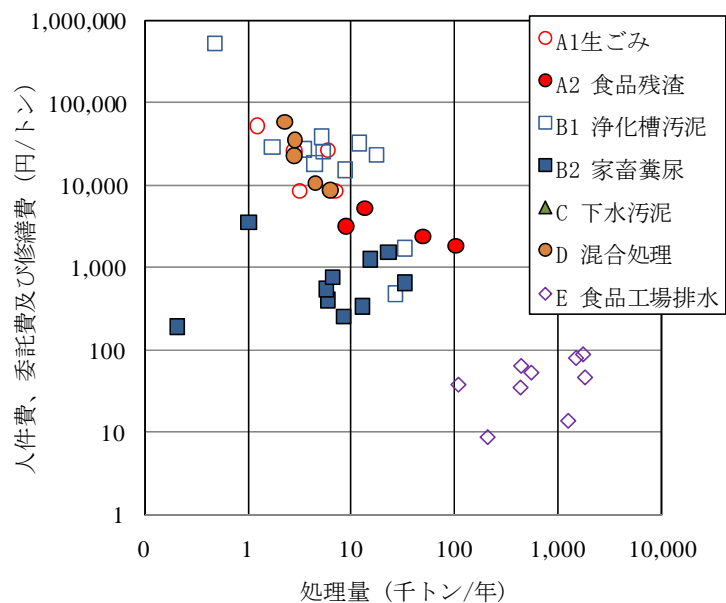


図 4-15 ランニングコスト (人件費、委託費など)

点検補修費の合計を、年間処理量に対してプロットした。廃棄物種類別の単価は、図 4-8 の建設単価とほぼ同じ順となっている。しかし A1, B1, D と, A2, B2 の差は大きく, 10 倍以上の違いがある。E はさらに 10 分の 1 以下である。これは湿重量当たりで表したためと思われる。

図 4-16 に、電力、燃料、用水、薬品などの費用（残渣処分費を含む）を示す。主に、用役コストである。図 4-16(a)の A1, A2, B1, D は 4.6.1 で述べたように水処理を行っており、薬品が多いのはそのためと思われ、用役コストの 29-55%を占めている。ここでも、単価の大きさは図 4-14, 図 4-153 の廃棄物種類順となっている。すなわち、建設費が大きい施設は人

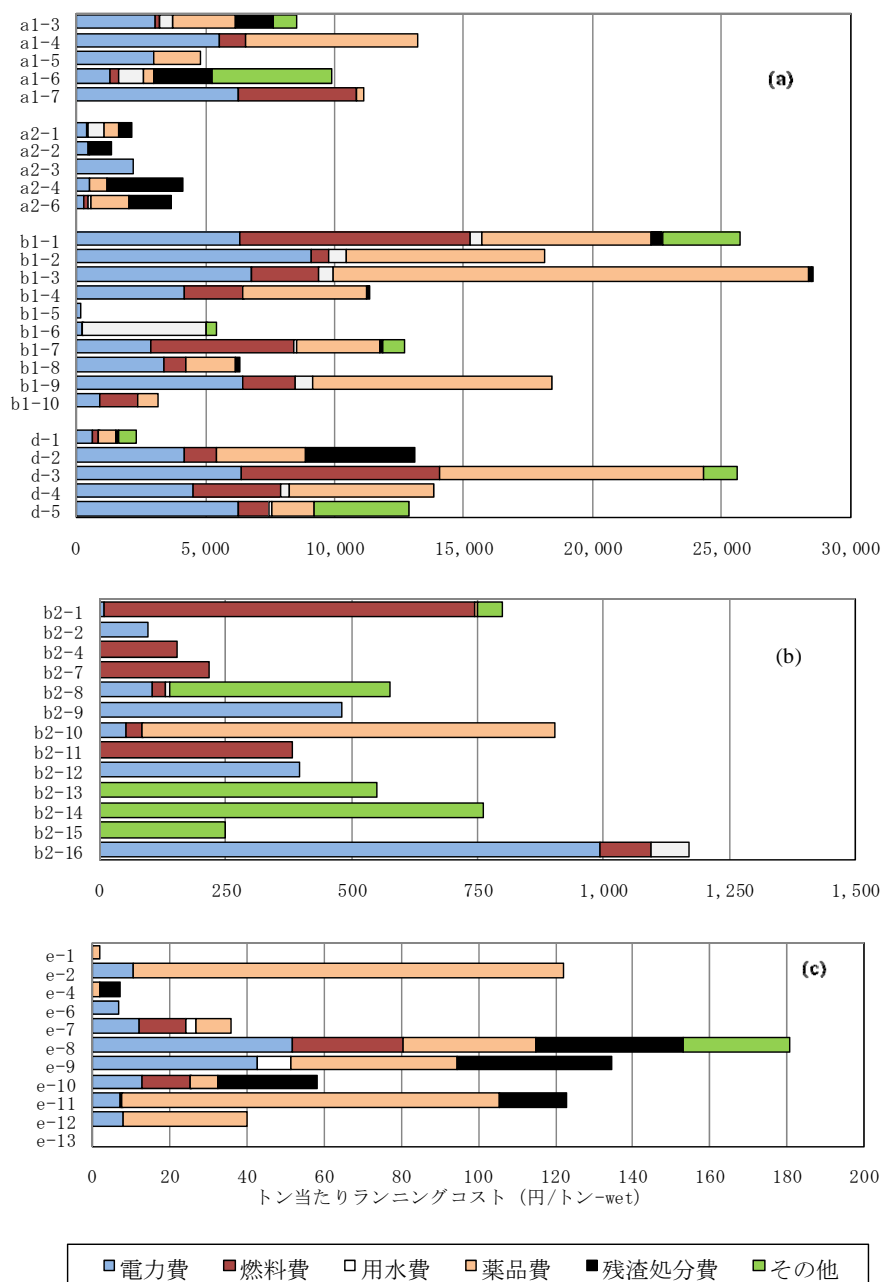


図 4-16 ランニングコスト（電力、燃料など）の内訳（湿ベース）

表 4-11 メタン発酵施設のコスト

施設	運転開始年度	処理能力 (t/日)	発酵槽への投入量 (トン/年)	建設費* (百万円)	ランニングコスト (千円/年)	処理能力あたり建設費 (百万円/(t/日))	湿ベーストン当たりランニングコスト (円/トン)		
							電力費など	人件費など	合計
a1-1	2003	5	1,430	299		59.8			
a1-3	2003	16	2,788	886	95,675	55.4	8,540	25,777	34,317
a1-4	2003	55	6,953	1,717	150,188	31.2	13,215	8,385	21,600
a1-5	2003	22	3,193	2,502	42,308	113.7	4,824	8,426	13,250
a1-6	2003	20	5,900	1,525	174,590	76.3	2,981	26,610	29,592
a1-7	2007	7	1,230	686	77,618	-	11,142	51,962	63,104
a2-1	2003	614	49,000	1,396	195,500	2.3	1,643	2,347	3,990
a2-2	2006	420	102,000	-	295,200	-	492	1,833	2,894
a2-3	2003	30	5,766	-	12,557	-	2,178		-
a2-4	2005	160	13,500	100	86,000	0.6	1,185	5,185	6,370
a2-6	2004	20	8,907	419	46,270	21.4	2,021	3,174	5,195
b1-1	2003	15	5,215	3,260	316,519	218.8	22,276	38,418	60,694
b1-2	2001	5	1,712	1,239	79,944	253.3	18,115	28,581	46,696
b1-3	2005	10	5,364	4,369	235,790	436.9	18,448	25,512	43,959
b1-4	2002	25	3,500	3,443	193,914	137.7	28,379	27,025	55,404
b1-5	2003	-	8,750	3,622	233,258	-	11,263	15,395	26,658
b1-6	1995	100	32,671	-	61,207	-	174	1,700	1,873
b1-7	1969	50	26,392	790	144,970	15.8	5,015	478	5,493
b1-8	2000	34	17,500	85	606,656	2.5	11,763	22,903	34,666
b1-9	2006	20	11,900	2,573	455,339	129.3	6,136	32,128	38,264
b1-10	1979	25	4,397	512	94,210	20.5	3,151	18,275	21,426
b1-12	2003	7	484	5,339	373,221	796.9	247,132	523,986	771,118
b2-1	2005	48	15,239	986	30,684	20.8	750	1,264	2,013
b2-2	2003	-	12,675	199	5,452	-	95	335	430
b2-3	2004	3	586	94		29.3			-
b2-4	2002	20	6,570	80	1,000	4.0	152		-
b2-7	2000	15	6,000	118	3,700	7.8	217	400	617
b2-8	2001	50	22,862	989	38,200	19.8	140	1,531	1,671
b2-9	2007	65	23,824	825	11,437	12.7	480		480
b2-10	1998	-	32,916	1,669	51,280	-	903	655	1,558
b2-11	2005	1	210	90	120	149.6	381	190	571
b2-12	2003	3	630	36	250	11.9	397		397
b2-13	2004	12	5,713	59	3,140	4.9		550	550
b2-14	2003	15	6,580	71	5,020	4.7		763	763
b2-15	2003	22	8,400	83	2,100	3.8		250	250
b2-16	2002	5	1,015	105	4,789	20.9	1,170	3,548	4,719
c-3	1987	327	56,973	-	146	-	3		-
c-4	1992	200	29,638	-	1,315	-	44		-
c-5	1990	85	19,888	-	6,451	-	324		-
c-6	1973	16	4,780	-	395,423	-	22,957	59,767	82,724
c-7	1974	546	160,355	20,784	330,362	38.1	660	1,401	2,060
c-8	1987	2,400	840,000	-	1,818,178	-	563	1,602	2,164
c-9	1965	266	76,920	65,988	371,172	248.1	1,602	3,223	4,825
c-10	1969	840	306,385	-	185,906	-	607		-
c-11	1976	463	78,656	12,696	547,459	27.4	1,225	5,735	6,960
c-12	1983	160	59,800	55,885	522,199	349.3	1,880	6,852	8,732
c-13	1983	1,990	533,220	1,135	1,700,645	0.6	652	2,538	3,189
c-14	1966	-	402,757	-	1,985,656	-	1,103	3,827	4,930
c-15	1979	1,124	258,520	160,479	1,929,236	142.8	2,211	5,252	7,463
c-16	1981	-	64,649	-	6,061	-	94		-
c-17	1966	335	77,142	10,082	260,851	30.1	660	2,722	3,381
c-18	1989	2,200	506,000	-	1,733,284	-	386	3,039	3,425
c-19	1986	929	213,670	133,144	1,668,393	143.3	2,074	5,734	7,808
c-21	1979	1,798	309,112	55,146	153,204	30.7	191	305	496
c-22	1995	-	60,565	-	428,987	-	1,128	5,955	7,083
c-23	1978	-	87,394	4,055	28,631	-	328		-
d-1	2006	18	6,230	518	63,603	29.1	1,533	8,676	10,209
d-2	2000	8	2,800	1,254	88,645	156.7	8,843	22,816	31,659
d-3	2002	8	2,860	2,198	170,480	269.0	24,303	35,305	59,608
d-4	2003	-	4,460	2,310	109,064	-	13,838	10,616	24,454
d-5	2004	50	2,272	1,719	154,012	34.4	9,236	58,551	67,787
e-1	1989	4,000	358,973	217	662	0.05	1.8		-
e-2	1990	200	39,600	389	6,330	1.95	122	38	160
e-4	1999	896	110,000	190	1,156	0.21	1.9	8.6	-
e-6	1992	700	210,400	509	18,426	0.73	7.0	81	88
e-7	2002	11,000	1,500,000	398	106,200	0.04	36	35	71
e-8	1998	7,000	437,318	-	89,392	-	115	89	204
e-9	1996	10,000	1,754,420	990	259,414	0.10	95	53	148
e-10	2000	5,500	555,756	411	53,826	0.07	32	64	97
e-11	1995	4,100	443,190	469	67,408	0.11	106	47	152
e-12	2000	12,000	1,834,000	392	98,710	0.03	40	14	54

\* 物価指数 (CPI) 1956年から2005年までを用いて金額を補正した (MIC, 2010)

件費などのように規模に依存する費用，電力費などの処理量に比例する費用も大きい。これは，原料の含水率の差による，つまり含水率が高く，固形分が少ないほど，湿ベース処理量あたりの単価が低めになっているためと思われる。B1の施設について，ランニングコスト中の図 4-16(a)の割合は，総ランニングコストの 40%程度である。

図 4-16(b)(c)の単価が，(a)に較べて 10 分の 1，100 分の 1 となっているのは，やはり含水率の違いによると考えられる。同処理物グループ内のばらつきが，開始年度，発酵温度及び滞留日数による理由が認められなかった。

#### 4.7 主な結論

- 1) 炭素の固体，液体，ガスへの移行率を算出した。このうちガス移行率はガス化率＝分解率として，異なる廃棄物間で比較可能となった。
- 2) 消化液は，大部分の施設で水処理したのち公共水域などへ放流されている。消化液を脱水後のろ液は窒素，リン，カリウムを十分な濃度で含み，重金属の含有量も基準値以下であって液肥として利用可能である。また脱水時の凝集剤利用をやめれば，リンの含有率はさらに高くできる。
- 3) 発生したガスが施設内利用がほとんどであることを考えると，消化液を液肥とし利用することが望ましい。水処理のコストも削減できる。また堆肥化は処理コストがかかるが，埋立量，処分コストも減らすことができる。
- 4) 建設費にはスケールメリットが見られ，水処理，堆肥化施設を持つ施設のコストが高い。維持管理費は廃棄物の種類間で差が大きいことがわかった。

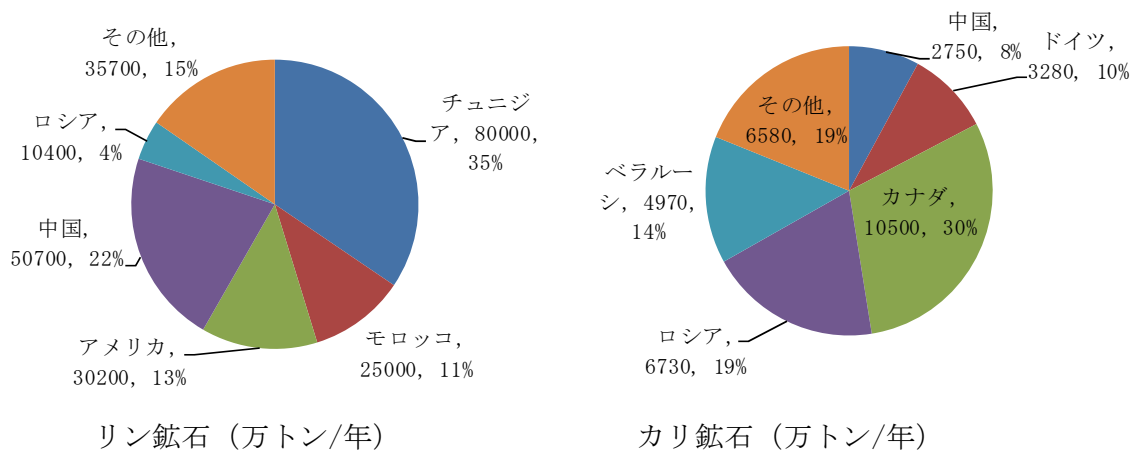
(本章の研究は，大阪湾広域臨海環境整備センター「廃棄物・海域水環境保全に係る調査研究費助成事業」(平成 21 年度)(課題番号 210006)の助成を受けて実施した。記して謝意を表します。)

## 第5章 おわりに

### 5.1 リン、カリウムの回収

#### 5.1.1. 日本のリンとカリウム資源の現状

リンおよびカリは農業への不可欠であるが、日本はほとんどを輸入に頼っている。図 5-1 は国別の産出量であるが、リンの鉱石のうち世界の約 70 パーセントは中国、アメリカやモロッコなどの 3 つの国で生産される。カリウムに関しては、世界の 70 パーセント以上はカナダ、ロシアおよびベラルーシを含む 4 つの国である。



出典：米国地質調査所の資料（2010年）

図 5-1 リン鉱石とカリ鉱石の国別産出量

#### 5.1.2 有機性廃棄物からの N, P, K の回収可能性

4 章までの結果をもとに、堆肥化、メタン発酵を行うことでどれだけ回収可能かを推定する。まず表 1-1 より、本研究で対象とした有機性廃棄物を抜き出すと表 5-1 となる。これらを、すべて堆肥化あるいはメタン発酵で処理すると考える。

次に、表 5-2(a) に表 5-1 の発生量とそれぞれの含水率、文献から引用した分解率（乾ベース）、および堆肥の N, P, K 含有量を示す。N, P, K は副資材も含むが、ここでは廃棄物から生産された堆肥の特性と仮定する。堆肥としての栄養成分回収可能量は、表 5-2(a) の発生量（1-含水率）（1-分解率）で乾ベース堆肥量を求め、これに堆肥の肥料成分を乗じて求める。メタン発酵については、廃棄物量ほぼすべてが消化液になり、表 5-2(b) に示す成分を乗じて回収量が得られる。

表 5-1 本章で対象とする有機性廃棄物

廃棄物		排出量 (千トン/年)
一廃	生ごみ	16,000
	木竹草ごみ	5,000
	浄化槽汚泥	24,845
産廃	下水汚泥	78,339
	食品加工残渣	11,343
	動植物性残渣	3,066
	家畜糞尿	87,476

表 5-2 堆肥化とメタン発酵における仮定

(a) 堆肥化

廃棄物	発生量	含水率 (%)	分解率* (%)	堆肥の肥料成分 (%)		
				N	P	K
生ごみ	16,000	80	70	2.70	0.92	1.77
家畜糞尿	87,476	80	30	2.40	1.66	1.91
浄化槽汚泥	24,845	97	20	3.02	3.01	1.02*
下水汚泥	78,339	97	40	2.90	1.41	0.25*
木竹草ごみ	5,000	38	20	1.29	0.15	0.61

参考:

表4-4(a)

表3-5

\*文献値 (有機性廃棄物資源化大辞典, 2005)

(b) メタン発酵

廃棄物	消化液の液体の肥料成分 (脱水ろ液) (%)			
	N	P		K
生ごみ	0.812	0.091	(0.238)	1.518
浄化槽汚泥	0.309	0.023	(0.058)	0.232
下水汚泥	0.375	0.36	(0.900)	0.137
食品加工残渣	0.017	0.05	(0.156)	0.23
動植物性残渣	0.418	0.071	(0.207)	1.465
家畜糞尿	0.719	0.082	(0.235)	3.017

参考:

表4-5

()は凝集剤を添加しない時、リンの含有量を示す。

表 5-4 は、表 5-3 の合計と、農地への利用量，輸入量を比べたものである。メタン発酵のリンの回収量は堆肥化よりも小さいが、これは凝集剤利用によって固形分に移行するためであり、かっこ内に凝集剤を使用しない場合の量を示す。図 5-2 は、凝集剤添加なしの場合の回収量を、農地への利用量，輸入量と比較した。

図に示すように、堆肥化による堆肥生産によって、ほぼ輸入量に相当するリンが回収できる。窒素は堆肥化によって、またカリウムは堆肥化，メタン発酵によって、いずれも農地利用分に相当する回収量が得られる計算となる。

表 5-3 堆肥化とメタン発酵による回収量（単位千トン）

(a) 堆肥化

廃棄物	堆肥量(dry)	N	P	K
生ごみ	960	25.9	8.8	17.0
家畜糞尿	12,247	293.9	203.3	233.9
浄化槽汚泥	596	18.0	17.9	6.1
下水汚泥	1,410	40.9	19.9	3.5
木、竹、草ごみ	2,480	32.0	3.7	15.1
合計	17,693	411	254	276

(b) メタン発酵

廃棄物	消化液量	N	P	K
生ごみ	16,000	13.0	1.5 (3.8)	24.3
浄化槽汚泥	24,845	7.7	0.6 (1.5)	5.8
下水汚泥	78,339	29.4	28.2 (70.5)	10.7
食品加工残渣	39,500	0.7	2.0 (6.2)	9.1
動植物性残渣	3,066	1.3	0.2 (0.6)	4.5
家畜糞尿	87,476	62.9	7.2 (20.5)	263.9
合計	249,226	115	40 (99.0)	318

表 5-4 農地利用量，輸入量と回収量の比較（単位千トン）

	農地利用 <sup>*1</sup>	輸入量 <sup>*2</sup>	堆肥化	メタン発酵
N	388	124	411	115
P	431	214	254	40(99)
K	344	329	276	318

<sup>\*1</sup> 農林水産省統計部「耕地及び作付面積統計」, 2008

<sup>\*2</sup> 財務省貿易統計、2008.

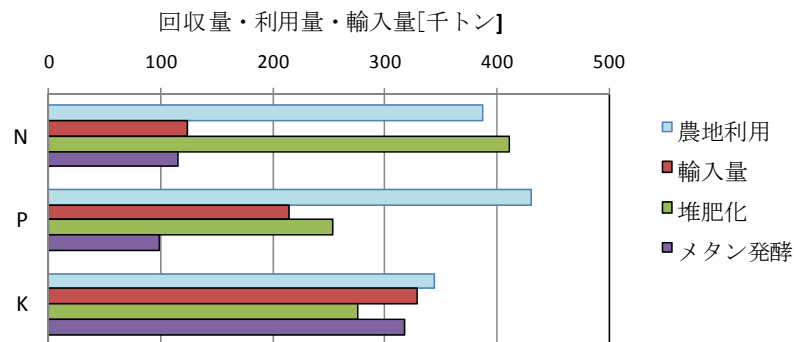


図 5-2 農地利用量，輸入量と回収量の比較

## 5.2 堆肥化とメタン発酵のコスト比較

最後に、現実的な問題として重要なコストを、堆肥化とメタン発酵で比較する。

本文中で述べたように、廃棄物の種類によって含水率が異なるため、含水率の高い廃棄物を原料とする施設は実質的な有機物量が少ないため、湿ベースあたりではコストが小さめに算出される。このため、異なった廃棄物間で比較することは誤解を招きやすい。本節の内容は、そのことを理解した上で見ていただきたい。

図 5-3 は建設コスト、図 5-4 はランニングコストである。いずれも右下がりであり、規模が大きくなるほど単価が安くなるように見える。しかし、メタン発酵の場合、規模が大きいのは含水率の高い廃棄物である。堆肥化とメタン発酵の違いも、廃棄物が同じとは限らない。むしろ、同じ規模でも大きなばらつきがあることが重要である。

焼却施設の建設単価は、t/日あたり 5 千万円程度と言われる。図 5-3 は 1 億円を超える点が多くあり、焼却よりも高い施設のように見える。しかし、焼却施設は規模が 100t/d 程度かそれ以上であるので、堆肥化、メタン発酵は大規模施設になりにくい、つまりスケールメリットを働かせにくい施設といえる。

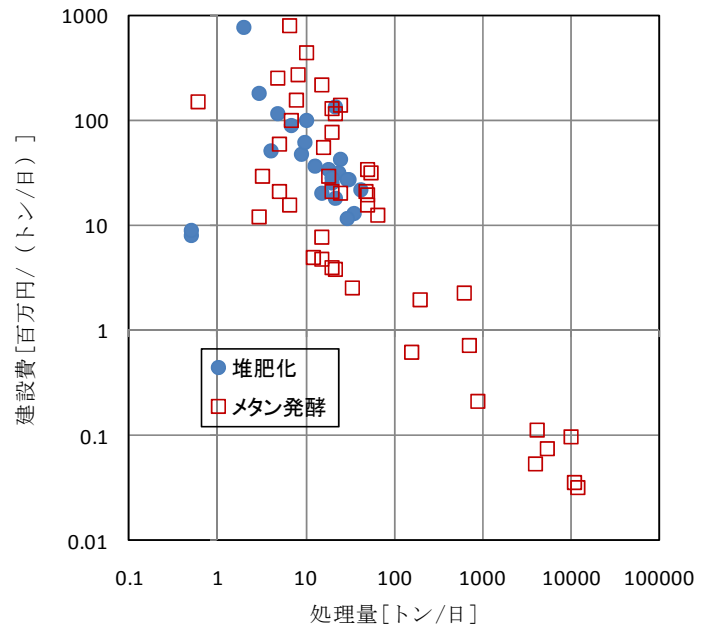
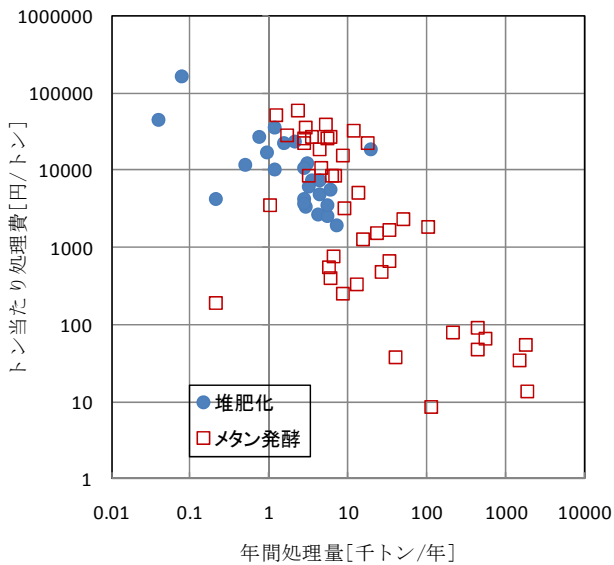
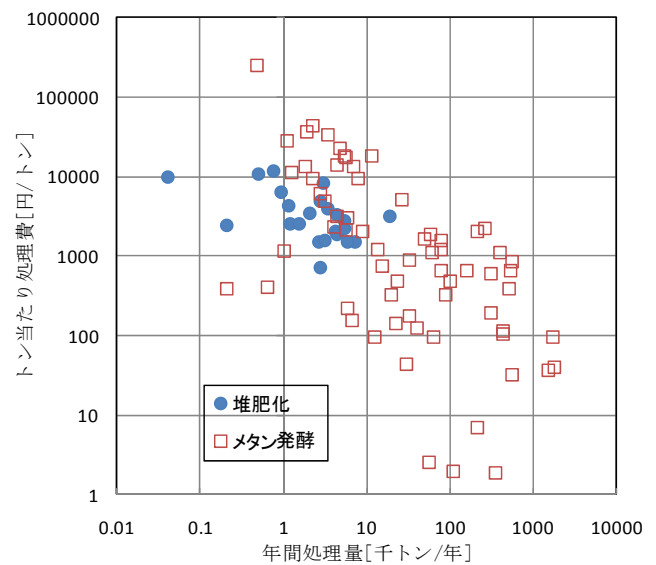


図 5-3 建設コスト



(a) 人件費, 委託費など



(b) 電力, 燃料, 薬品など

図 5-4 ランニングコスト



## 付表

- 付表 2-2 堆肥化施設における搬入出量一覧
  - 付表 4-2 メタン発酵施設における搬入量, 搬出量
  - 付表 4-3 メタン発酵施設の概要
  - 付表 4-4 メタン発酵施設のコスト
- 
- 付表 2-1 堆肥化施設アンケート用紙
  - 付表 4-1 メタン発酵施設アンケート用紙

付表 2-2 堆肥化施設における搬入量, 搬出量

(a)湿ベース重量

施設番号	廃棄物(湿ベース) [トン/年]									副資材(湿ベース) [トン/年]						
	家庭系生ごみ	事業系生ごみ	家畜糞	下水汚泥	家畜糞尿	し尿	浄化槽汚泥	剪定枝	合計	おが屑	籾殻	米ぬか	枯葉	バーク	チップ	合計
A1	493	206						699	59							59
A2	33							33	NA							7
A3	350	50						400					98			98
A4	792							792						146		146
A5	75							75		2						2
AS1	622	39						661	14							14
AS2		264						264			5					5
B1		56						56	NA							11
B2	13							13								
B3	9							9								
B4	120	27						147		4						4
C1	588 (50%)	297 (50%)	269					1,154		43						43
C2	2,798	1,565				9,251	4,168	230	18,012					1036 (18%)		1,036
C3	927		446					1,373		164						164
C4	732	430		1094 (80%)		23		2,279						606		606
D1			2540 (70%)					2,540		172						172
D2			4024 (45%鶏糞)	317 (90%)				4,341		25	21					46
D3		69	3416 (85%)					3,485	702							702
D4		310	2998 (73%)					3,308		150						150
D5	427 (78%)		5,420	233				6,080							####	1,060
D6	255		3,849	282				4,386						####		1,554
D7	176	235	3500 (90%)		570 (99%)			4,481	387	350		254				991
D8	640	86			2951 (80%)			3,677		732						732
D9	1,235	465	3126 (66%)	131 (70%)			444	5,402								
D10	54	43	97 (55%)					194		16						16
E	1	27 (70%)					3035 (98%)	3,063		0						0
G1	420	172	761	571 (80%)				1,924					832			832
G2		756 (65%)					1365 (98.5%)	591 (10%)	2,713						12	12
G3	100	408	939 (75%)	1366 (70%)				2,813		349						349
H1								2,081	2,081							
H2								1,168	1,168							

\*カッコ内は、施設から得られた含水率データ

付表 2-2 (つづき)

(b)乾ベース重量

施設番号	廃棄物(乾ベース) [トン/年]									副資材(乾ベース) [トン/年]						
	家庭系生ごみ	事業系生ごみ	家畜糞	下水汚泥	家畜糞尿	し尿	浄化槽汚泥	剪定枝	合計	おが屑	穀殻	米ぬか	枯葉	パーク	チップ	合計
A1	123	52							175	52						52
A2	8								8	NA						
A3	88	13							100				85			85
A4	198								198						89	89
A5	19								19		2					2
AS1	156	10							165	13						13
AS2		80							66			5				5
B1		14							14	NA						
B2	3								3							
B3	2								2							
B4	30	7							37			3				3
C1	294	149	54						496		37					37
C2	700	391				93	125	189	1,497					622		622
C3	232		89						321		143					143
C4	183	108		219		0			510						364	364
D1			762						762		150					150
D2			2,213	32					2,245		21	19				40
D3		17	512						530	614						614
D4		77	820						897		131					131
D5	94		1,084	58					1,236						636	636
D6	64		712	71					846					932		932
D7	44	59	345			6			453	290	298		208			796
D8	160	21				590			772		637					637
D9	309	116	1,065	40			13		1,543							
D10	14	11	44						68	14						14
E	0	8							61							
G1	105	43	152	114					414					499		499
G2		265						20	532						7	7
G3	25	102	239	410					776		304					304
H1								1,248	1,248							
H2								701	701							

付表 4-2 メタン発酵施設における搬入量, 搬出量

		搬入量(湿ベース)[t-wet/年]											消化液・消化汚泥量[t]	脱水の液量[t]	脱水汚泥量[t]	前処理残渣量[t]	液肥搬出量[t]	堆肥搬出量[t]					
		家庭系生ごみ	事業系生ごみ	し尿浄化槽汚泥	下水汚泥	乳牛ふん尿	肉牛ふん尿	豚ふん尿	鶏糞	工場排水	食品残渣	焼酎・蒸コ・ビール粕							食品汚泥	剪定枝	人ふん尿	合計	
A1	a1-1		1,430												1,430	10,500							
	a1-2		1,325												1,325	2,000							
	a1-3		1,949	839											2,788	2,740	2,460	279	551				
	a1-4		4,492	2,461											6,953	19,630	21,600	1,280			278		
	a1-5		1,912	1,281											3,193	6,000	7,500	600	319				
	a1-6		300	5,600											5,900	9,500	6,640	300	690		2,300		
	a1-7		717	446											1,210	834							
	a1-8		50	300											350	530							
	a1-9			1											0.3	1	1				1		
A2	a2-1													49,000	165,000				11,000				
	a2-2								6,000	2,000	84,000	10,000		102,000	94,000	87,400	6,600						
	a2-3		92	1						3,861				5,766	8,701	10,443	1,716	694					
	a2-4					100				2,000				13,500	18,000	12,500	5,500	78			2,600		
	a2-5									2,061					2,061								
	a2-6										2,854	6,053			8,907							1,354	
B1	b1-1		77	24,858										24,935	3,285	129	1,150	123			197		
	b1-2		300	10,841										11,141	6,860	6,448	649	37			88		
	b1-3		123	22,265										22,388	7,252	6,248	1,005	8			144		
	b1-4		381	35,162										35,543	9,341	9,341	1,039	76			135		
	b1-5			32,671										32,671	39,692	35,425	4,257						
	b1-6			26,392										26,392	3,958	3,836	122					122	
	b1-7		2,676	69,341										72,017	13,880	13,215	2,726	614				323	
	b1-8		39	49,052										49,091	5,657	7,408	1,301					33	
	b1-9		1,112	36,762										37,875	121			142				339	
	b1-10			4,397										4,397								250	
	b1-11			8,354										8,354									
	b1-12			484	15,591									16,075	24				38			92	
B2	b2-1		248	536		0	9,354	1,606	3,495					15,239	11,320			12	11,320		2,989		
	b2-2						11,575				1,100			12,675	9,500					9,500			
	b2-3						525					61		586	525					525			
	b2-4						14					4		18	6,600					6,600		300	
	b2-5						1,460							1,533	1,460					1,460			
	b2-6						263							263	260					260			
	b2-7						6,000							6,000	6,000					6,000			
	b2-8						17,906							22,862	21,176				1	21,176		2,613	
	b2-9			2,264			30,652							32,916	19,884	30,770	4,563			884		5,049	
	b2-10						23,824							23,824	22,677						22,677		
	b2-11								105	105				210									
	b2-12						630							630	630						630		
	b2-13						5,713							5,713	5,713						5,713		
	b2-14						6,580							6,580	6,580						6,580		
	b2-15						8,400							8,400	8,400						8,400		
	b2-16						341	578		31				1,015	1,702				800	1,702			
	b2-17						1,400							1,610	1,400				600	1,400		600	
C	c-1					270,100								270,100	148,004	205,892	29,658						
	c-2					148,455								148,455	159,025	144,622	14,403						
	c-3					56,973								56,973	53,272	48,683	4,589						
	c-4					29,638								29,638	35,882	33,567	2,315						
	c-5					19,888								19,888	18,888	17,691	1,197						
	c-6					4,780								4,780	90,207	102,037	4,678						
	c-7					129,696								129,696	142,972	183,512	9,243						
	c-8					2,944,142								2,944,142	845,000	802,750	125,000						
	c-9					76,920								76,920	31,322	33,264	4,692					1,126	
	c-10					306,385								306,385					1,241			22,635	
	c-11					78,656								78,656	107,750								
	c-12					68,123								68,123	5,100								
	c-13					533,220								533,220	26,035								
	c-14					402,757								402,757									
	c-15					52,788,262								52,788,262	222,648								
	c-16					64,649								64,649								17	
	c-17					34,528	6,167,540							6,202,068	47,151					13			
	c-18					41,000	3,069,000							3,360,000	4,874,000								
	c-19						37,844,063							37,844,063	273,226								
	c-20						281,076							281,076	5,493								
	c-21						309,112							309,112	4,285,978					2,628		2,712	
	c-22						41,553							41,553	31,350								
	c-23						87,394							87,394	2,840							1,324	
D	d-1		721	501	9,946									11,168	5,853				66	5,853			
	d-2		176	927	3,441									4,544	4,800	5,000	375						
	d-3		1,089		5,334		700							7,124	1,691	4,490	1,691				123		
	d-4		735	191	3,534									4,460	5,741	7313	1231					212	
	d-5			1,151										2,272	7,000				290			1	
E	e-1													358,973	1,533,000	256,230	9,235						
	e-2													39,600	39,600							33	
	e-3													252,150									
	e-4													110,000									
	e-5													358,973	1,533,000	256,230	9,235						
	e-6													39,600	39,600							33	
	e-7													1,680,000									
	e-8													210,400									
	e-9													1,500,000									
	e-10													437,318							40		
	e-11													1,754,420		1,369,000							
	e-12													554,251		12,000					13,282		
	e-13													443,190									

付表 4-2 (つづき, その2)

	搬入量(乾ベース)[t-dry/年]							搬入量(乾ベース)割合[-]							メタンガス発生量[Nm3]	湿重量あたりメタンガス発生量[Nm3/t-wet]
	生ごみ(家庭,事業)	し尿浄化槽汚泥	下水汚泥	家畜ふん尿(乳牛,肉牛,豚,鶏糞)	食品工場排水	食品加工残さ,汚泥,排水	合計	生ごみ(家庭,事業)	し尿浄化槽汚泥	下水汚泥	家畜ふん尿(乳牛,肉牛,豚,鶏糞)	食品工場排水	食品加工残さ,汚泥,排水			
a1-1	286	0	0	0	0	286	1	0	0	0	0	0	0	455,243	318	
a1-2	265	0	0	0	0	265	1	0	0	0	0	0	0	133,000	100	
a1-3	557.6	0	0	0	0	557.6	1	0	0	0	0	0	0	262,466	94	
a1-4	1390.6	0	0	0	0	1390.6	1	0	0	0	0	0	0	963,800	139	
a1-5	638.602	0	0	0	0	638.602	1	0	0	0	0	0	0	562,002	176	
a1-6	1180	0	0	0	0	1180	1	0	0	0	0	0	0	1,000,000	169	
a1-7	232.6	0	0	0	28.2	260.8	0.89	0	0	0	0	0	0.11	235,340	191	
a1-8	70	0	0	0	0	70	1.00	0	0	0	0	0	0.00	65,000	186	
a1-9	0.14	0	0	0	0	0.036	0.176	0.8	0	0	0	0	0.2			
a2-1	0	0	0	0	19600	19600	0	0	0	0	0	1	710,000	14		
a2-2	0	0	0	60	34300	34360	0	0	0	0	0.002	1.00	3,900,000	38		
a2-3	18.6	0	0	0	826.56	845.16	0.02	0	0	0	0	0.98	1,183,982	205		
a2-4	0	0	12	0	704	716	0	0	0	0.02	0	0.98	764,494	57		
a2-5	0	0	0	0	412.1	412.1	0	0	0	0	0	1	155,452	75		
a2-6	0	0	0	0	1323.233	1323.233	0	0	0	0	0	1	547,141	61		
b1-1	15.382	745.7394	0	0	761.1214	761.1214	0.02	0.98	0	0	0	0	57,256	11.0		
b1-2	60	325.23	0	0	385.23	385.23	0.16	0.84	0	0	0	0	22,212	13.0		
b1-3	24.6	667.95	0	0	692.55	692.55	0.04	0.96	0	0	0	0	16,350	4.7		
b1-4	76.2	1054.86	0	0	1131.06	1131.06	0.07	0.93	0	0	0	0	40,297	4.6		
b1-5	0	980.13	0	0	980.13	980.13	0	1	0	0	0	0	296,188	9.1		
b1-6	0	791.76	0	0	791.76	791.76	0	1	0	0	0	0	78,914	3.0		
b1-7	535.2	2080.23	0	0	2615.43	2615.43	0.20	0.80	0	0	0	0	394,356	22.5		
b1-8	7.8	1471.56	0	0	1479.36	1479.36	0.01	0.99	0	0	0	0	62,781	5.3		
b1-9	222.488	1102.865	0	0	1325.353	1325.353	0.17	0.83	0	0	0	0	159,287	29.7		
b1-10	0	131.91	0	0	131.91	131.91	0	1	0	0	0	0	26,567	6.0		
b1-11	0	250.611	0	0	250.611	250.611	0	1	0	0	0	0	31,860	3.8		
b1-12	96.8	467.718	0	0	564.518	564.518	0.17	0.83	0	0	0	0	105,387	217.7		
b2-1	156.8	0	1734.6	0	1891.4	1891.4	0.08	0	0	0.92	0	0	207,466	13.6		
b2-2	0	0	1389	0	11	1400	0	0	0	0.99	0	0.01	153,289	12.1		
b2-3	0	0	63	0	12.12	75.12	0	0	0	0.84	0	0.16	16,876	28.8		
b2-4	0	0	1.68	0	0.04	1.72	0	0	0	0.98	0	0.02	146,000	22.2		
b2-5	0	0	175.2	0	0.73	175.93	0	0	0	1.00	0	0.004	54,750	35.7		
b2-6	0	0	31.56	0	0	31.56	0	0	0	1	0	0	1,277	4.9		
b2-7	0	0	720	0	0	720	0	0	0	1	0	0	200,750	33.5		
b2-8	0	0	2148.72	0	757.73	2906.45	0	0	0	0.74	0	0.26	226,581	9.9		
b2-9	452.8	0	3678.24	0	0	4131.04	0.11	0	0	0.89	0	0	753,740	31.6		
b2-10	0	0	2858.88	0	0	2858.88	0	0	0	1	0	0	1,063,235	32.3		
b2-11	0	0	44.1	0	0	44.1	0	0	0	1	0	0	1,400	6.7		
b2-12	0	0	75.6	0	0	75.6	0	0	0	1	0	0	3,459	5.5		
b2-13	0	0	685.56	0	0	685.56	0	0	0	1	0	0	192,690	33.7		
b2-14	0	0	789.6	0	0	789.6	0	0	0	1	0	0	133,627	20.3		
b2-15	0	0	1008	0	0	1008	0	0	0	1	0	0	209,028	24.9		
b2-16	0	0	119.58	0	0.84	120.42	0	0	0	0.99	0	0.01	66,668	65.7		
b2-17	0	0	168	0	42	210	0	0	0	0.8	0	0.2	27,000	16.8		
c-1	0	0	8103	0	0	8103	0	0	1	0	0	0	2,366,349			
c-2	0	0	4453.65	0	0	4453.65	0	0	1	0	0	0	4,905,218	33.0		
c-3	0	0	1709.19	0	0	1709.19	0	0	1	0	0	0	1,112,993	19.5		
c-4	0	0	889.14	0	0	889.14	0	0	1	0	0	0	426,765	14.4		
c-5	0	0	596.64	0	0	596.64	0	0	1	0	0	0	274,116	13.8		
c-6	0	0	143.4	0	0	143.4	0	0	1	0	0	0	1,570,082	328.5		
c-7	0	0	3890.88	0	0	3890.88	0	0	1	0	0	0	2,254,417	14.1		
c-8	0	0	88324.26	0	0	88324.26	0	0	1	0	0	0	16,997,457	20.2		
c-9	0	0	2307.6	0	0	2307.6	0	0	1	0	0	0	1,388,327	18.0		
c-10	0	0	9191.55	0	0	9191.55	0	0	1	0	0	0	4,394,153	14.3		
c-11	0	0	2359.68	0	0	2359.68	0	0	1	0	0	0	1,626,780	20.7		
c-12	0	0	2043.69	0	0	2043.69	0	0	1	0	0	0	10,820,000	180.9		
c-13	0	0	15996.6	0	0	15996.6	0	0	1	0	0	0	6,472,382	12.1		
c-14	0	0	12082.71	0	0	12082.71	0	0	1	0	0	0	3,713,598	9.2		
c-15	0	0	1583648	0	0	1583648	0	0	1	0	0	0	2,482,985	9.6		
c-16	0	0	1939.47	0	0	1939.47	0	0	1	0	0	0	224,240	3.5		
c-17	0	1035.84	185026.2	0	0	186062	0	0.01	0.99	0	0	0	409,751	5.3		
c-18	0	1230	92070	0	7500	100800	0	0.01	0.91	0	0	0.07	13,791,028	27.3		
c-19	0	0	1135322	0	0	1135322	0	0	1	0	0	0	3,587,955	16.8		
c-20	0	0	8432.28	0	0	8432.28	0	0	1	0	0	0	3,964,600	14.1		
c-21	0	0	9273.36	0	0	9273.36	0	0	1	0	0	0	504,048	1.6		
c-22	0	0	1246.59	0	0	1246.59	0	0	1	0	0	0	373,075	6.2		
c-23	0	0	2621.82	0	0	2621.82	0	0	1	0	0	0	1,786,877	20.4		
d-1	244.52	298.368	0	0	0	542.888	0.45	0.55	0	0	0	0	169,280	27.2		
d-2	220.6	103.23	0	0	0	323.83	0.68	0.32	0	0	0	0	168,000	60.0		
d-3	217.896	160.0329	20.9922	0	0	398.9211	0.55	0.40	0.05	0	0	0	128,761	45.0		
d-4	185.2	106.02	0	0	0	291.22	0.64	0.36	0	0	0	0	65,879	14.8		
d-5	230.2	0	0	0	234.45	464.65	0.50	0	0	0	0	0.50	707,119	311.2		
e-1	0	0	0	3589.73	0	3589.73	0	0	0	0	1	0	425,000	1.2		
e-2	0	0	0	396	0	396	0	0	0	0	1	0	84,372	2.1		
e-3	0	0	0	2521.5	0	2521.5	0	0	0	0	1	0	452,499			
e-4	0	0	0	1100	0	1100	0	0	0	0	1	0	400,000	3.6		
e-5	0	0	0	3589.73	0	3589.73	0	0	0	0	1	0	425,000	0.7		
e-6	0	0	0	396	0	396	0	0	0	0	1	0	84,372	2.0		
e-7	0	0	0	16800	0	16800	0	0	0	0	1	0	1,098,101	0.5		
e-8	0	0	0	2104	0	2104	0	0	0	0	1	0	417,500	1.0		
e-9	0	0	0	15000	0	15000	0	0	0	0	1	0	700,000	0.7		
e-10	0	0	0	4373.18	0	4373.18	0	0	0	0	1	0	419,000	0.7		
e-11	0	0	0	17544.2	0	17544.2	0	0	0	0	1	0	1,293,743	0.7		
e-12	1	0	45	5542.51	0	5588.51	0.0002	0	0.008	0	0.99	0	389,010	0.9		
e-13	0	0	0	4431.9	0	4431.9	0	0	0	0	1	0	310,000	1.2		

付表 4-2 (つづき, その3)

	ガス利用量						
	総発電量 [kWh]	外部供給電 力量[kWh]	総熱量 [kJ]	外部供給熱 量[kJ]	直接・精製 ガス利用量 [Nm3]	外部供給直 接・精製ガ ス量[Nm3]	余剰ガス燃 焼量[Nm3]
a1-1	519,261		21,145,000				
a1-2			2,620,000,000				
a1-3	379,348	238,506	893,885,000		237,957		24,509
a1-4	1,220,400	1,333,800			711,697		212,287
a1-5	700,664	3,160	1,329,854,000				
a1-6	610,000				450,000		550,000
a1-7	324,480						
a1-8							
a1-9							
a2-1			73,100,000,000				370,000
a2-2					1,600,000		2,300,000
a2-3					1,183,982	1,183,982	
a2-4	1,528,988	288,552					
a2-5			63,579,000,000				
a2-6	34,275		5,944,059	1,103,207			46,941
b1-1			1,536,907,063		54,674		2,582
b1-2					4,692		17,520
b1-3					15,638		712
b1-4			13,950		2,163		38,134
b1-5							
b1-6					48,880		30,034
b1-7	746,265						8,430
b1-8			1,528,000,000		54,233		8,548
b1-9	166,352						
b1-10							
b1-11					31,860		
b1-12					71,794		33,593
b2-1	496,719		5,067,693,580				
b2-2	98,632	41,006					
b2-3	12,208						
b2-4	242,964	2,378					
b2-5	43,800	17,520					
b2-6							
b2-7	400,000	300					
b2-8	528,638	147,247	2,327,167,652				
b2-10	1,110,665	254,015					
b2-9	1,364,226	624,739	5,986,287				65,859
b2-11							
b2-12					3,315		144
b2-13	351,971	196,317					26,237
b2-14	164,575	14,567					39,019
b2-15							
b2-16	71,723		921,919				
b2-17							
c-1	819,080		4,801,962,560				3,758
c-2	1,038,560				1,075,530		1,991,563
c-3	392,874		145,472,659,200				832,296
c-4			13,797,786,000				95,334
c-5			8,189,425				114,970
c-6	1,146,160		15,252,000,000				141,667
c-7	1,040,908		4,513,677,000		1,541,429		151,768
c-8	23,274,120		3,910,000,000,000		16,875,317		122,140
c-9	2,484,980		43,640				
c-10	5,817,170						674,368
c-11					577,308	555,799	4,500
c-12	744,060		83,110,000,000				341,000
c-13	2,394,950		5,661,171,906		5,308,461		30,350
c-14	866,964				2,218,171		
c-15					2,340,151		142,796
c-16							118,456
c-17			7,429,200,400				76,603
c-18	14,194,100				13,680,998	2,601,727	110,030
c-19	8,519,583				2,571,231		35,385
c-20					1,943,100		2,021,500
c-21	351,076				235,838		268,210
c-22	849,541						
c-23	2,034,910				1,300,652		485,992
d-1	187,320		1,489,381		155,458		13,822
d-2	205,500						
d-3			2,000				
d-4	21,149	ガス8653m3			57,226		
d-5	759,441				6,372		101,869
e-1			12,453,350,000				4,000
e-2	35,019						40,000
e-3							
e-4					340,000		60,000
e-5			12,453,350,000				4,000
e-6	35,019						40,000
e-7			300,000,000,000				54,634
e-8			11,200,000,000				
e-9							
e-10					384,000		35,000
e-11					1,030,672		
e-12			11,000,000				
e-13					300,000		

付表 4-3 メタン発酵施設の概要

		運転開始年度[年]	年間稼働日数[日]	前処理							メタン発酵槽				脱水					乾燥		
				破碎	選別	可溶化(スラリー化)	攪拌	固液分離	濃縮	混合	pH調整池	調整	その他	固形物濃度%	運転温度℃	滞留時間日	処理能力t/日	遠心分離	スクリーンプレス		フィルタープレス	多重円盤
A1	a1-1	2003	365	○	○	▲							55	9	5	なし						なし
	a1-2	2003	365	○								5	55	12	5.2	なし						なし
	a1-3	2003	310	○	○	○		○				3.5	55	3	16	○						なし
	a1-4	2003	308	○	○	○							35	20	55	○						○
	a1-5	2003	310	○	○	○							55	10	22				○			○
	a1-6	2003	230	○	○	○						10	55	10	20			○				なし
	a1-7	2007	310	○								20	55	70	7							○
	a1-8	1999	350	○								10	55	20	3	○						なし
	a1-9	1999	365	なし											0.017	なし						なし
A2	a2-1	2003	300					○				0.8	36	0.92	614	なし					なし	
	a2-2	2006	300	○					○			1	55	5	420	○			○		なし	
	a2-3	2003	310	○	○				○			11.5	36.5	20	30	○			○		○	
	a2-4	2005	365	○	○							5	37	30	160	○					なし	
	a2-5	2004	317			○						4	55	15	6.5	なし					なし	
	a2-6	2004	350	○					○			11	55	22	19.6	○						○
B1	b1-1	2003	365	○	○	○						7	35	16	14.9	○					なし	
	b1-2	2001	365	○	○	○			○	○	○	37	36	4.89	○	○					なし	
	b1-3	2002	365	○								10	55	16	10	○					なし	
	b1-4	2003	240	○△	○							3.0	38	20	25	○						○
	b1-5	1995	365	○									36	25		○	○				なし	
	b1-6	1969	300	なし								3	26	30	100	○						なし
	b1-7	2000	365	○△	○△				○	●		4.9	55	16	50		○					○
	b1-8	2006	365	○△	○△				○		●	4.8	35	26	34				○			○
	b1-9	2005	365	○△	○△	△				●	●	15	55	16	19.9	○						なし
	b1-10	1979	365	○									37	30	25	○						なし
	b1-11	1973	365	○	○								37	15	40	○						○
	b1-12	2003	256	○△	○△	△					●	4	55	16	6.7	○						なし
B2	b2-1	2005	365	△	△	△				○		6	37	25	47.5	なし					なし	
	b2-2	2003	365	○					○	○			54.5			なし					なし	
	b2-3	2004	△					○				湿式	中温									
	b2-4	2002	365									8	38	30	20	なし					なし	
	b2-5	2001	365									10	55	15	4	なし					なし	
	b2-6	2002	365										38	30	0.6	なし					なし	
	b2-7	2000	365	なし								10	36.5	10	15				○			なし
	b2-8	2001	365	△								6	37	30	50	なし						なし
	b2-9	1998	365							○			35	24.5	65.2	○						なし
	b2-10	2007	307	なし																		なし
	b2-11	2005	350	なし									37	30	0.6	なし						なし
	b2-12	2003	322						○			6.7	42	10	3	なし						なし
	b2-13	2004	365						○				38	30	12							なし
	b2-14	2003	365						○				38	30	15							なし
	b2-15	2003	365						○				42	40	22							なし
	b2-16	2002	365								○	10.4	55	22	5	なし						なし
	b2-17	2005	364						○			25	36.5	27	5		○					なし
C	c-1	1982	365						○			21.2	35	33	22.2		○			○	なし	
	c-2	1979	365						○			1.8	37	42	870		○				なし	
	c-3	1987	365						○			1.76	34.8	31.6	326.7			○			なし	
	c-4	1992							○	○		1.3	34.7	31	200				○		なし	
	c-5	1990	365						○	○		1.2	35.5	32	85				○		なし	
	c-6	1973	365									1.8	41.5	39	16							○
	c-7	1974	365										35	30	546	○						○
	c-8	1987	365									5	36	30	2400	○						○
	c-9	1965	365									4.2	35	20	266			○				なし
	c-10	1969	365									3.42	37.3	28.9	840	○						なし
	c-11	1976	365									4.04	38	39	463	○						なし
	c-12	1983	365									2.1	35.2	31	16	○				○		なし
	c-13	1983	365									1.3	53.1	17.6	1990			○				なし
	c-14	1966	365									3.29	46	24				○				なし
	c-15	1979	365									2.8	32	49.6	1124					○		なし
	c-16	1981	365									1.94	33.5	31.5						○		なし
	c-17	1966	365									1.99	34.1	22.05	335.4				○			なし
	c-18	1989	365	なし								5	36	26	2200	○	○			○		なし
	c-19	1986	365									2.01	33.5	43.4	929						○	○
	c-20	1970	365							○		1.85	37.5	35		○						○
	c-21	1979	365							○		2.59	31	25	1798	○						なし
	c-22	1995	365										38	25			○	○				なし
	c-23	1978	365							○	○		36	30		○						○
D	d-1	2006	365	△	△					○	4.8	37	22	17.8	なし						なし	
	d-2	2000	260	○△	○△	△						55	15	8								なし
	d-3	2002		○△	○△							3.1	53.5	20	8.17	○						○
	d-4	2003	365	○△	○△							2.9	55	16		○						○
	d-5	2004	352	○	○							27.5	55	30	50		○					なし
E	e-1	1993								○	5	30		4000						○		なし
	e-2	1999	360	なし							0.18	34		200	○							なし
	e-3	1989	150							○	0.3	37	1	10	なし						なし	
	e-4	1990	120	なし									36.5	2.08	10	なし						なし
	e-5	1997	300								10	33.5	0.13	10	なし							なし
	e-6	1992	363							○	3	37	1.25	700	なし							なし
	e-7	2002	365							○		35	0.42	11000						○		なし
	e-8	1998	365							○		30	0.625	24	○							なし
	e-9	1996	365									36	0.88	10000					○			なし
	e-10	2000	250								○	75	35	1.5	5500					○		なし
	e-11	1995	300										30	0.19	4100				○			○
	e-12	2000	340									0	36	0.17	35		○					○
	e-13	1993	365							○	○	19	32	0.25	18							○

△は生ごみ、食品加工残さ  
●は○と△の混合









# 堆肥化施設に関する調査

## アンケート回答用紙

施設名		
所在地		
公称処理能力		
運転開始年度		
ご記入いただいた 方の連絡先等	お名前	
	所属・職名	
	電話	
	Fax	
	e-mail	
2ページ以降に記載されたデータの年度		年

回答用紙は、同封の返信用封筒にてご返送ください。  
6月25日までをお願いいたします。

問い合わせ先  
〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目  
北海道大学大学院工学研究科 環境循環システム専攻  
廃棄物資源工学講座 廃棄物処理工学研究室 張 会均(大学院生)  
電話 011-706-6830 E-mail zhang@wdlms2-sw.eng.hokudai.ac.jp

### 1. 堆肥化原料

以下のものうち、何を堆肥化原料としていますか。該当する項目について、お答えください。

#### (1)家庭系生ごみ

年間処理量		トン
収集対象人口		人
世帯		世帯
収集頻度		週 回
収集容器	例 [袋 専用袋 バケツ コンテナ ]	
収集方法	例 [ステーション収集 戸別収集 施設持ち込み]	
収集車の種類	例 [トラック バッカー車 ]	

#### (2)事業系生ごみ

年間処理量		トン
対象業種	例 [飲食店 デパート レストラン 食品製造業 など]	
収集方法	例 [委託 持ち込み など]	
処理料金	無料	有料( 円/トン)

#### (3)その他 [例:剪定枝, 下水汚泥, し尿, 牛糞, 鶏糞 など]

種類	年間処理量	含水率 (測定値がある場合)
	トン	%

## 2. 副資材・添加物

種類	年間使用量[トン・m <sup>3</sup> ]	購入価格	入手先
例:もみがら		例:5000円/m <sup>3</sup>	例:近隣の農協

## 3. 搬出物

### (1) 堆肥

年間生産量	トン
利用先	例 [農家 園芸など]
販売価格	
バラ売り	円/トン
袋売り	円(     リットル) 円(     リットル)
輸送	利用者引取り
(どちらかに○)	生産者が輸送(輸送費負担)
引き取り率	(生産量がすべて利用されれば100%)

### (2) 処理残さ

年間発生量	トン
処理方法	例 [焼却 埋立]

## 4. 用役使用量

種類	年間使用量
電気	kWh
ガス	m <sup>3</sup>
水道	m <sup>3</sup>

## 5. コスト

### (1)建設費等

建設費	円
補助金交付額	円

### (2)ランニングコスト(年間)

人件費	円
電力費	円
燃料費	円
用水費	円
副資材購入費	円
薬品・薬剤費	円
委託費	円
その他	円

### (3)収入 (年間)

堆肥売却益	円
-------	---

### (4)その他

職員数	名(職員)
	名(非常勤, 臨時, パート)

## 6. 課題等がありましたら、ご記入ください。

- ① 収集方法(容器、収集車両、集積場所の有無など)
- ② 残渣処理の問題
- ③ 堆肥利用の問題点(利用先 人力・機械 施肥後の病害など)

1) 施設の機器構成、プロセスフローに関する資料  
2) 分別収集方法に関するチラシ、パンフレット  
がありましたら、同封をお願いいたします。

ご協力、ありがとうございました。

メタン発酵施設に関する調査  
アンケート回答用紙

施設の名称		
所在地		
対称処理能力		
運転開始年度		
年間稼働日数		
ご記入頂いた方の 連絡先等	お名前	
	所属・職名	
	電話番号	
	FAX番号	
	e-mail	
2ページ以降に記載されたデータの年度		年

- 1) 施設の機器構成、プロセスフローに関する資料  
2) 分別収集方法に関するチラシ、パンフレット

がありましたら、同封をお願いいたします。

回答用紙は、同封の返信用封筒にてご返送ください。  
7月24日までをお願いいたします。

1. 搬入ごみ

搬入量合計	年間	トン
-------	----	----

搬入物の内訳をお答えください。  
選択式の項目については該当するものの番号を○で囲んでください。  
「その他」の場合は( )内に具体的な内容を記入してください。

(1) 家庭系生ごみ

処理量(実績)	年間	トン	(含水率	%)
収集対象	人口	人	(	世帯)
収集頻度	週	回		
収集容器	1. 専用袋    2. バケツ    3. コンテナ 4. その他( )			
収集方法	1. ステーション収集    2. 施設持ち込み 3. 戸別収集    4. その他( )			
収集車の種類	1. トラック    2. パッカー車 3. その他( )			

(2) 事業系生ごみ

処理量(実績)	年間	トン	(含水率	%)
対象業種	1. 飲食店    2. デパート    3. レストラン    4. 給食 5. 食品製造業    6. その他( )			
収集方法	1. 委託    2. 持ち込み 3. その他( )			
処理料金	1. 無料    2. 有料 (    円/トン)			

(3) 家畜ふん尿

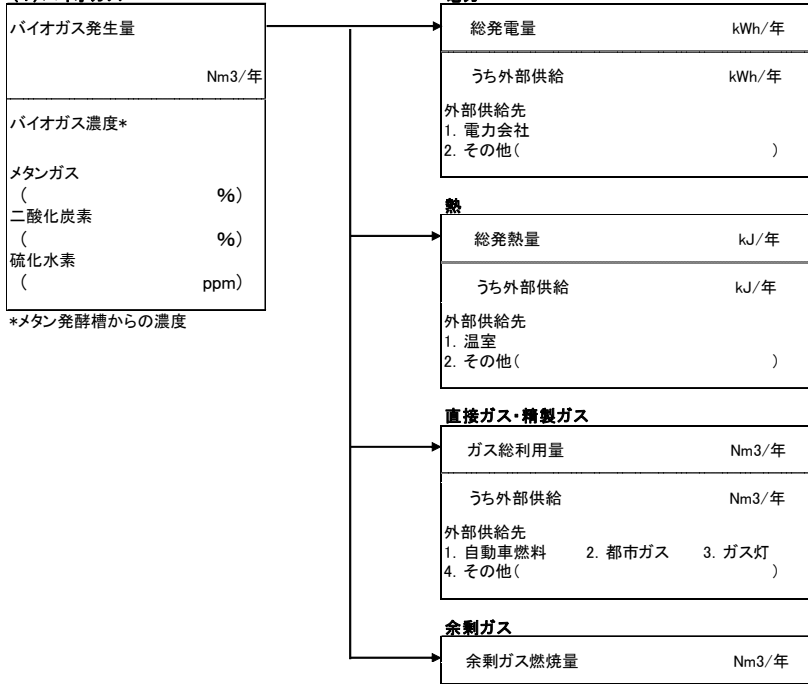
年間処理量 (実績)	乳牛	(m3・トン)	(含水率	%)
	肉牛	(m3・トン)	(含水率	%)
	豚	(m3・トン)	(含水率	%)
収集方法	1. 委託    2. 持ち込み    3. その他( )			
処理料金	1. 無料    2. 有料 (    円/(m3・トン))			

(4) その他(鶏糞, 稲わら, 剪定枝, し尿汚泥, 浄化槽汚泥, 下水汚泥, 自社工場排水等)

種類	処理量(年間)	( 含水率 )
	トン	( % )
		( % )
		( % )
		( % )
		( % )

## 2. 生成物

### (1) バイオガス



### (2) 堆肥・液肥

生産物	堆肥	液肥
年間生産量	トン	トン
利用先	例 [農家, 園芸など]	例 [農家, 園芸など]
販売価格	ばら売 円/トン	円/トン
	袋売 円( リットル)	円( リットル)
	円( リットル)	円( リットル)
輸送	1. 利用者引取り 2. 生産者が輸送(輸送費負担)	1. 利用者引取り 2. 生産者が輸送(輸送費負担)
引渡し量	トン	トン

### (3) 処理残さ

種類	年間発生量	活用又は処理方法
前処理残さ	トン/年	1. 焼却 2. 埋立 3. その他( )
消化液* (液肥以外)	トン/年	1. 下水処理 2. 放流 3. その他( )
消化汚泥 (堆肥以外)	トン/年	1. 農地還元 2. 埋立 3. 焼却 4. その他( )
その他( )	トン/年	1. 焼却 2. 埋立 3. 放流 4. その他( )

\*消化液: 水処理設備がある場合, 処理後の排水

### 3. 設備の概要

#### (1)メタン発酵槽

メタン発酵槽	固形物濃度	%	運転温度	℃
	容積	m3	滞留時間	( )
処理能力	トン/日	プロセス構成	1. 一相プロセス 2. 二相プロセス	

#### (2)前処理設備 (複数ある場合は、該当する番号を全て選択してください)

施設構成	1. 破碎 2. 選別 3. 可溶化(スラリー化) 4. 濃縮 5. 混合 6. pH調整池 7. 調質 8. その他( ) 9. なし			
------	--	--	--	--

#### (3)バイオガス利用設備

発電システム	1. あり ( kW) 2. なし	1. ガスエンジン 2. ガスタービン 3. 燃料電池 4. その他( )
ボイラー	1. あり ( m3) 2. なし	1. 温水ボイラー 2. 蒸気ボイラー 3. その他( )
ガス精製装置	1. 湿式吸収 2. PSA 3. 膜分離 4. その他( ) 5. なし	
余剰ガス燃焼	1. あり 2. なし	

#### (4)発酵残渣処理設備

脱水機	1. 遠心分離 2. スクリュープレス 3. フィルタープレス 4. 多重円盤 5. その他( ) 6. なし			
乾燥機	1. あり 2. なし			

#### (5)水処理設備 (複数ある場合は、該当する番号を全て選択してください)

施設構成	1. 凝集沈殿 2. 生物処理(活性汚泥) 3. 生物処理(接触酸化) 4. 砂ろ過 5. 活性炭吸着 6. 消毒 7. 膜 8. キレート処理 9. 促進酸化 10. その他( ) 11. なし( 下水放流 ・ 他施設へ運搬 )			
------	--	--	--	--

#### (6)汚泥堆肥化設備

攪拌装置	1. あり 2. なし	処理日数	日
通気装置	1. あり 2. なし		

#### (7)脱臭, 脱硫設備 (複数ある場合は、該当する番号を全て選択してください)

脱臭設備	1. 水洗式 2. 活性炭吸着 3. 薬液処理 4. 土壌脱臭 5. 活性汚泥脱臭 6. その他( ) 7. なし				
脱硫設備	1. 乾式 2. 湿式 3. アルカリ洗浄方式 4. 生物脱硫 5. その他( ) 6. なし				

### 4. 用役使用量

種類	年間使用量
電力	kwh
ガス	Nm3
上水道	m3
下水道	m3
薬品(苛性ソーダ)	リットル
薬品(塩化鉄+高分子凝集材使用)	リットル
薬品( )	リットル
その他( )	
その他( )	

## 5. コスト

### (1)建設費等

建設費	円
土地購入費	円
補助金交付額	円

### (2)ランニングコスト(年間)

人件費	円
電力費	円
燃料費	円
用水費	円
薬品・薬剤費	円
委託費	円
点検補修費	円
残さ処分費	円
その他( )	円

### (3)収入(年間)

バイオガス売却費	円
堆肥・液肥売却費	円

### (4)その他(年間)

人員数	
常勤(職員)	名
非常勤, 臨時, パート	名

## 6. 課題等がありましたら, ご記入ください

- ①収集方法 (容器, 収集車両, 集積場所の有無など)  
②残渣処理の問題  
③生成ガス, 堆肥, 液肥利用の問題点 (利用先, 施肥後の病害など)

ご協力, ありがとうございました.

問い合わせ先

〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目

北海道大学大学院工学研究科 環境循環システム専攻

廃棄物資源工学講座 廃棄物処分工学研究室 板倉 彩夏(大学院生)

電話 011-706-6830 E-mail itakuraa@eng.hokudai.ac.jp