

バイオマス再資源化技術の性能・コスト評価

柚山義人*・生村隆司**・小原章彦**・小林 久***・中村真人*

目 次

緒 言	61	9 結果の総括	79
バイオマスと再資源化技術	61	各種再資源化施設のコスト試算	79
各種再資源化技術の特性評価	63	1 試算の全般的な考え方	79
1 堆肥化	64	2 各種再資源化施設のコスト試算方法及び結果	79
2 メタン発酵	66	3 結果の総括	84
3 炭化	71	結 言	84
4 飼料化	72	参考文献	85
5 B D F 化	73	巻末資料	88
6 直接燃焼	74	A．物質収支とエネルギー収支の試算結果.....	88
7 溶融ガス化	75	B．コスト試算結果	92
8 固形燃料化	77		

緒 言

バイオマスを適切に利活用し、循環型社会の形成に貢献することが大きな社会的課題となっている。2002年12月27日に閣議決定された「バイオマス・ニッポン総合戦略」(バイオマス・ニッポン総合戦略, 2006)は、その方向性を示し、各種の施策が精力的に推進されている。

本研究では、まず、原料となるバイオマスの性状をとりまとめるとともに、各種の再資源化技術(施設)について適用性の高いバイオマスの種類を特定する。次に、施設規模を設定した上で、各種再資源化技術の性能及びコストの試算を行う。試算は、(社)日本有機資源協会内に「各種再資源化施設の性能・コスト評価委員会」(委員長; 森川則三)を組織して行った。個々の具体的な数値の算出根拠は、評価委員会参加メーカー各社等の事情により明記できない部分もあるが、全ての情報源の明記を条件とすると必要な情報を収集できないという側面があるので、常識的な数値のとりまとめを優先した。本報は、得られた結果を点検し修正を行うとともに、バイ

オマス利活用計画策定に携わる市町村の担当者等を意識して加筆・整理したものである。

本研究は、農林水産技術会議事務局のプロジェクト研究「農林水産バイオリサイクル」の中で実施したものである。同プロジェクト「施設・システム化チーム」リーダーの高橋順二博士(地域資源部長)をはじめとする関係各位の御指導、御助言、御協力に感謝します。

バイオマスと再資源化技術

本研究では、様々なバイオマスのうち、Table 1に示す家畜排せつ物、食品加工残さ、生ごみ、汚泥類及び農林業残さを検討対象とする。Table 1には、これらの性状の違いから、適用可能性の高い再資源化技術を抽出した結果も示している。対象バイオマスの性状は、Table 2に示すように設定した。性状設定の項目は、熱的変換技術の熱量計算に含水率が、生物学的変換技術の性能計算に分解率が必要であることから、大きく「水分」と「固形物」に、固形物は「有機物」と「無機物」に、さらに有機物は「微生物分解性」と「難分解性」に分類した。これにより各種のバイオマス原料を混合して再資源化しようとする場合にも必要な性状の情報が得られる。また、エネルギー収支や再生資源を農地施用した場合の肥効を検討できるよう、C(炭素)、N(窒素)、P(リン)、K(カリウム)の含有率についても設定した。

バイオマスの再資源化技術は、再生資源をマテリアル利用するものとエネルギー利用するものに大別できる。マテリアル利用のための再資源化技術は、実用化されて

*地域資源部資源循環研究室

**日本有機資源協会

***茨城大学農学部

平成18年1月10日受理

キーワード: バイオマス変換技術, 変換能力, 物質・エネルギー収支, コスト, 堆肥化, メタン発酵, 炭化

Table 1 本研究で対象とするバイオマスと適用性の高い再資源化技術
Objective biomass in this study and applicable biomass conversion technologies

対象バイオマス			再資源化(変換)技術								
			堆肥化	湿式 メタン発酵	乾式 メタン発酵	炭化	飼料化	BDF化	直接燃焼	溶融ガス化	固形燃料化
家畜排せつ物	肉牛糞尿	混 合									
	乳牛糞尿	分 離									
		混 合									
	豚糞尿	分 離									
		混 合									
鶏糞	プロイラー										
食品加工残さ	おから(豆乳粕)										
	焼耐粕(芋)										
	精糖残さ(バガス)										
ゴミ	廃食用油										
	生ごみ										
	可燃ごみ										
汚泥類	下水汚泥										
	し尿										
	浄化槽汚泥										
農林業残さ	林産残さ(木くず)										
	農産残さ(もみがら)										

Table 2 対象バイオマスの性状設定値
Designed quality of objective biomass in this study

処理対象			性状									
			含水率 (%)	固形分(%)			無機物	成分(乾物%)				
				微生物分解性	難分解性	計		T-C	T-N	T-P	T-K	
家畜排せつ物 ^{注1)}	肉牛糞	糞	78.0	5.3	12.3	17.6	4.4	35.1	2.5	1.0	1.5	
	乳牛糞尿	糞	85.0	3.6	8.4	12.0	3.0	35.1	2.5	1.0	1.5	
		糞尿混合	90.0	2.4	5.6	8.0	2.0	35.1	2.5	1.0	1.5	
	豚糞尿	糞	72.0	10.5	10.5	21.0	7.0	35.1	3.5	2.5	1.5	
		糞尿混合	90.0	3.8	3.8	7.5	2.5	35.1	3.5	2.5	1.5	
鶏糞	プロイラー	70.0	15.8	5.2	21.0	9.0	35.1	5.5	3.0	3.0		
食品加工残さ ^{注2)}	おから		豆乳粕	80.0	17.4	1.6	19.0	1.0	44.2	4.5	0.5	1.0
			上越市京都市 ^{注3)}	80.0	14.2	2.5	16.7	3.3	44.2	2.5	2.4	3.4
ゴミ	生ごみ		下伊那 ^{注4)}	75.9	16.2	3.6	19.8	4.3	44.2	2.5	2.4	3.4
			可燃ごみ ^{注5)}	50.0	29.4	12.6	42.0	8.0	55.0	1.0	-	-
	廃食用油 ^{注6)}		-	-	-	-	-	71.4	-	-	-	
	汚泥類 ^{注7)}	し尿		97.8	0.7	1.0	1.7	0.5	38.4	4.5	2.1	0.2
浄化槽汚泥		99.0	0.3	0.5	0.8	0.2	38.4	4.5	1.1	0.1		
下水汚泥		78.0	5.8	8.6	14.4	7.6	38.4	4.5	2.3	0.3		
農林業残さ ^{注8)}	林産残さ	おがくず	35.0	12.8	51.2	64.0	1.0	52.0	0.4	0.02	0.1	
	農産残さ	もみがら	12.0	32.0	38.7	70.7	17.3	40.9	0.6	0.09	0.4	

注1) 家畜ふん尿処理・利用の手引き(畜産環境整備機構, 1998), 家畜排せつ物を中心としたメタン発酵処理施設に関する手引書(畜産環境整備機構, 2001b), バイオマスハンドブック(日本エネルギー学会, 2002a)を参考にした。

注2) 含水率は, 家畜排せつ物を中心としたメタン発酵処理施設に関する手引書(畜産環境整備機構, 2001b)の値。粗繊維を難分解性有機物とし, 固形分あたりの有機物, 灰分を日本標準飼料成分表(農業技術研究機構, 2002)から計算した。

注3) 固形物あたり有機物は上越市生ごみ(清水ら, 2002)を参考にした。微生物分解性と難分解性は85:15とした。固形分中の割合は, 京都市のデータ(中村一夫, 2001)を用いた。

注4) 早川ら(2002)を参考にした。生ごみと汚泥の混合物の分解率73%より, 生ごみ81.9%, 汚泥25%と割振り, 微生物分解性の割合を計算。CODcr分解率とTS分解率から灰分割合を計算。リンについては, 汚泥再生処理センター等施設整備の計画・設計要領(全国都市清掃会議, 2001)における生ごみの性状の平均値。カリについては, 堆肥化前後でカリ/リンが変わらないので, 有機廃棄物資源化大事典(有機質資源化推進会議, 1997c)の事業系生ごみ堆肥化物の化学性より, 平均値カリ/リン 1.4として計算。

注5) ごみ処理施設の計画・設計要領(全国都市清掃会議・廃棄物研究財団, 1999)を参考にした。

注6) バイオマス情報ヘッドクォーター(2006)を参考にした。

注7) 汚泥再生処理センター等施設整備の計画・設計要領(全国都市清掃会議編, 2001)を参考にした。

注8) 含水率は, 堆肥化施設設計マニュアル(中央畜産会, 2000)の値。チップについては, 同マニュアルより有機物中の難分解性有機物を80%として計算。もみがらは, 粗繊維を難分解性有機物とし, 固形分あたりの有機物, 灰分を日本標準飼料成分表(農業技術研究機構, 2002)から計算。

いるものが多いが、利用者から見た品質の安定性や利便性の向上が課題となっており、改良が進められているものもある。バイオマスをエネルギーに変換する技術は、熱的変換技術と生物学的変換技術に分類することができる。一般に、含水率の低いバイオマスほど熱的変換技術を適用する方が有利であり、含水率が高くなると水の蒸発に消費されるエネルギーが多くなるため、生物学的変換技術を適用する方が有利となる。

Table 3は、バイオマスのエネルギー化技術のうち、実用段階にあるもの、実証や研究の段階であってもその導入の必要性が高いと思われるものについて整理したものである。熱的変換技術のうち、木くず焚きボイラーやペレットストーブ等による直接燃焼、固形燃料化については北欧諸国で多くの実績がある。炭化とRDF(Refuse Derived Fuel)化は国内での実績がある。ガス化については種々の方法が研究されているが、部分酸

化やガス化経由のメタノール合成技術の実現可能性が高いと考えられる。廃食用油からBDF(バイオディーゼル燃料; Bio Diesel Fuel)を作り出すエステル化技術については実用段階にあり、ディーゼル機関用の代替燃料として有望視されている。一方、生物学的変換技術については、実用段階にあるものは家畜排せつ物等を原料とするメタン発酵と糖・でんぷん系を原料とするエタノール発酵である。将来的には、水素生産に係る技術が有望と考えられる。これらについては、エネルギー変換効率の更なる向上や製造コストの低減に係わる技術革新、残さの処理等が課題となっている。

各種再資源化技術の特性評価

本研究で対象とする再資源化技術の概要をTable 4に示す。本章では、各種再資源化技術について、技術の特

Table 3 バイオマスのエネルギー化技術
Outline of bio-energy technologies

種類	変換によって得られるエネルギーまたは生成物	対象バイオマス	段階
熱的変換技術	炭化, 固形燃料化	炭, 木質ペレット, RDF	木質系 食品廃棄物 実用
	エステル化によるバイオディーゼル油合成	メチルエステル(ディーゼル機関用燃料)	廃食用油 実用
	直接燃焼	熱(ストーブ, ボイラー), 電気・熱(蒸気タービン発電)	木質系 実用
	ガス化(部分酸化)	電気・熱(蒸気タービン・ガスタービン発電), 合成メタノール(自動車用燃料)	木質系 実証
生物学的変換技術	メタン発酵	電気・熱(ガスエンジン発電)	家畜排せつ物 食品廃棄物 実用
	エタノール発酵	エタノール(自動車用燃料)	糖・でんぷん系 木質系 実用 実証
	嫌気性発酵による水素生産	電気・熱(水素ガス 燃料電池)	糖・でんぷん系 家畜排せつ物 研究
	光合成による水素生産		

(注)日本農業土木総合研究所(2003a)を加工。

Table 4 本研究で対象とする再資源化技術の概要
Outline of biomass conversion technologies dealing in this study

名称	概要	対象原料	利用態様
堆肥化	好気性微生物を利用してバイオマスを分解し、作物の生育にとって有用で、農作業にとって取扱いやすく、安全なものにする技術である。	家畜排せつ物, 食品廃棄物	肥料, 土壌改良材
メタン発酵	嫌気性微生物を利用してバイオマスを分解し、メタンガスを回収する技術	家畜排せつ物, 食品廃棄物	電気・熱(ガスエンジン発電)
炭化	バイオマスを低酸素雰囲気下で加熱し、熱分解(乾留)し、炭を作る技術	家畜排せつ物, 食品廃棄物	肥料, 土壌改良材, 燃料
飼料化	バイオマスを乾燥, 液状化し、飼料を作る技術	食品廃棄物	飼料
BDF(バイオディーゼル燃料)化	エステル化反応により廃食用油などの食用油を軽油代替燃料に変換する技術	廃食用油 (使用済み天ぷら油等)	ディーゼルエンジンの燃料
直接燃焼	バイオマスを直接燃焼し 蒸気タービンで発電する技術	木質系バイオマス, 農産廃棄物, 鶏ふん	電気・熱(蒸気タービン発電)
溶融ガス化	バイオマスを溶融ガス化することにより、減量化処理と発電をする技術	食品廃棄物(生ごみ), 一般廃棄物, 産業廃棄物, 下水汚泥, し尿汚泥	電気, 熱(蒸気タービン発電), 溶融物(スラグ, メタル)
固形燃料化	バイオマスを木質ペレット, RDFなどの固形燃料	木質系バイオマス(木質ペレット化), 食品廃棄物(RDF化)	固形燃料

徴と物質・エネルギー収支に関わる情報をとりまとめた上で、後者については総括した結果を示す。熱収支の試算では、物質収支の試算に合わせて主として施設規模25t/dについて検討し、1t/d当りに換算する。この場合、施設規模が小さくなれば体積当りの表面積が大きくなり放熱量が増大し、その対策として保温のための建設費がかかったり、加温のエネルギーが必要となったり、適当な大きさの発電機が無かったりする。このため、試算結果は、任意の施設規模に対する1t/d当りの熱収支を表現するものではない。なお、メタン発酵については、対象バイオマス(原料)の含水率の違いから「乾式」と「湿式」があるが、ここでは一本化して試算する。

1 堆肥化

a 技術の特徴

(1) 堆肥化とは

堆肥化は、家畜排せつ物や汚泥、生ごみ等のバイオマス、作物の生育にとって有用で、農業者にとっても取り扱いやすく、安全なものにする技術である(中村真人ら, 2005)。コンポスト化と呼ばれることもある。家畜排せつ物や食品廃棄物は、分解しやすい有機物を多く含み、そのまま農地に施用すると急激な分解による窒素飢餓を引き起こす危険性がある。このため、堆肥化により分解しやすい成分を分解し、安定化する必要がある。また、家畜排せつ物中には家畜が消化しきれない雑草の種子等を含むため、雑草の種子を不活性化にする必要がある。このように、バイオマスをそのまま農地に施用する際の問題を解決するため、堆肥化を行う。堆肥化により、易分解性の有機物を分解するとともに、その過程で発生する反応熱により、雑草の種子等の不活性化、病原菌の死滅を図る。堆肥化により、易分解性の有機物は分解され、二酸化炭素やアンモニア及び水分を多く含むガスが発生する。その発酵熱による水分が蒸発することにより、取扱性が向上する。堆肥として具備しなければならない品質は、次のとおりである。

易分解性の有機物が十分に分解され、農地に施用しても窒素飢餓をおこさないこと。

病原菌、寄生虫卵が死滅していること。

草種子が不活性化されていること。

肥料取締法による基準を満足していること。

悪臭がしないこと。

異物が含まれていないこと。

(2) 堆肥化の歴史

家畜排せつ物の堆肥化の歴史は、牛や馬などを家畜として飼育していた時代からと思われる。明治になって牛や豚などの肉が食生活の中に入ってくるとともに、家畜排せつ物も増大することになり、その利用が大いに高まったと推定できる。化学肥料のない時代において家畜排せつ物は重要な肥料資源であった。化学肥料が入る前においては庭先畜産が多く、耕種農家が畜産農家を兼ね、自家で堆肥をつくり農地で利用していた。その際には、需給関係がバランスしていたが、省力化や化学肥料を多用した農家経営が、堆肥の利用を困難にさせた。農地の近くまで宅地化が進むとともに、従来技術での堆肥の製造が困難な状況になった。このような背景から、堆肥の使用が減り、土地が痩せてきた。その後、米や野菜の生産において量よりも質の面が重要視されるようになり、土づくりには堆肥が不可欠という考え方も根強くなり、良質の堆肥を要望する声が大きくなってきている。

(3) 化学肥料との比較

化学肥料と堆肥には次のような違いがある。化学肥料は、肥料成分を化学的に合成したものであり、肥効特性は速効的であり、施肥量や施肥時期の調整により肥効のコントロールがしやすい。一方、堆肥は、肥料成分の他、有機物や微量元素を含むため、土壌の生物的・物理化学的な改善及び微量元素の供給源としての効果があり、地力増進に役立つ。肥効特性は土壌中の微生物の分解により肥料成分が徐々に有効化(無機化)してくるため緩効的で、地温等に影響され、肥効のコントロールは難しい。

このように、両者はその使用目的及び効果が異なり、単純に代替できるものではなく、農業生産においては両者の適切な組み合わせが必要である。肥料成分の高い堆肥等を施用する場合にはその成分含有量や肥効特性等に応じて、化学肥料の施肥量を減少させる必要がある。遅効性である堆肥であっても、長期的には窒素の無機化が起こり、化学肥料と同じように作物に吸収させるように

Table 5 たい肥等特殊肥料に係わる品質保全推奨基準(有機質資源化推進会議, 1997a)

Quality standard of composts

項目 原料	水分 (%)	有機物量 (%DS)	C/N比	全窒素量 (%DS)	無機態窒素量 (mg/100gDS)	P ₂ O ₅ (%DS)	K ₂ O (%DS)	EC (mS/cm)	CEC (meq/100gDS)
家畜ふんたい肥	70以下	60以上	30以下	1以上	-	1以上	1以上	-	-
パークたい肥	60以下	70以上	40以下	1以上	25以上	-	-	3以下	70以上

共通品質基準:

1) ヒ素、カドミウム及び水銀については、「肥料取り締まり法に基づく特殊肥料の指定」に掲げる規制に適合すること。

2) 植物の生育に異常を認めないこと。なお幼植物試験により異常の有無を検定することが望ましい。

3) 乾物当たりの銅及び亜鉛の含有率が、それぞれ600ppm及び1,800ppm以下であること。

なることを認識しておく必要がある。

(4) 肥料としての堆肥の位置づけ

肥料取締法（平成12年10月1日）による肥料の分類としては、堆肥は、「わら、もみ殻、樹皮、動物の排せつ物、その他の動植物由来の有機性物質を堆積し又は攪拌し腐熟させたもの」とされている。肥料には普通肥料と特殊肥料があり、家畜ふん堆肥は魚かすや米ぬかと同じ特殊肥料として扱われる。特殊肥料は、本来は自給肥料の性質を持つもので、外観などから肥料としての性質が使用者に容易に識別でき、品質の保全及び公正な取引の確保のために特別な措置を必要としないものとしている。普通肥料と異なり法律上は公定規格がなく、生産者保証票の添付などの義務付けはない。Table 5に全農中央会有機質肥料等品質保全研究会がまとめた品質保全推奨基準を示す。

(5) 再生資源の利用方法

堆肥は主として農地に施用することになる。代表的な堆肥の肥効成分含有量をTable 6に示す。家畜糞堆肥の品質については、畜産環境整備機構（2005）に最新情報が掲載されている。

(6) 周辺環境への配慮

堆肥化施設は、原料そのものが臭気の発生源であるため、臭気対策には万全の対策を講じる必要がある。対策の基本は密閉・局部捕集である。発酵物は低水分の混合物であり、切返しや移送等に多くの動力が必要となるばかりでなく、移送等で開放にせざるを得ない箇所が生ずる。このため、原料や堆肥が搬入・搬出通路に付着したりして臭気発生源になっている事例も多い。合理的な臭気捕集と脱臭設備が必要である。また、もみ殻を水分調整材として施設に搬入する場合には、強風時にも散乱しないよう注意する必要がある。

b 堆肥化による物質・エネルギー収支に関する情報

(1) 堆肥化工程

堆肥化の好気性発酵における有機物の分解過程は、易分解性有機物の分解から始まり難分解性有機物の分解へと進行する。この2段階の分解過程は、一次発酵、二次発酵と称される。堆肥化の工程は次のとおりである。

(i) 前処理工程

原料の通気性の改善や水分、pHの調整などを目的とする工程である。良好な発酵が進行する条件に原料を調整する設備であり、原料と戻し堆肥の混合、もみ殻、おがくず等の副資材の添加、原料そのものの乾燥などにより、原料の水分を調整し、通気性を確保する。

(ii) 発酵工程

製品の品質を決める最も重要な工程である。好気的な条件を保つため、切返しや送気・吸気により堆肥混合物中に酸素を供給し、発酵を促進させる。

(iii) 製品化工程

発酵を完了した堆肥を製品化する工程である。保管、貯蔵、輸送、散布など用途に合わせて篩い分け、造粒、袋詰めなどを行う。

堆肥化により、バイオマス原料は好気性発酵を受け、微生物分解性有機物が水と二酸化炭素及びアンモニア等に分解される。その際に発生する反応熱で水分蒸発が促進される。堆肥化過程での反応熱により高温が保たれると、病原菌、寄生虫卵の死滅や雑草種子の不活性化がなされる。

原料となるバイオマスの固形物は有機物と無機物（灰分）からなり、有機物は微生物分解性有機物（易分解性有機物+可分解性有機物）と微生物難分解性有機物に分けられる。原料中の有機物はタンパク質、脂質、炭水化物のような易分解性有機物と可分解性のセルロース、難分解性のリグニン等の物質などからなる。堆肥化における好気性発酵の基質となるのは主に易分解性有機物であり、リグニンなど難分解性有機物はほとんど分解されない。家畜排せつ物や生ごみに関する微生物分解性はTable 2に示したとおりである。

堆肥化による炭素と窒素の形態変化をFig. 1に示す。原料バイオマス中のCは二酸化炭素に分解される。また、Nはアンモニアに分解されることにより可溶化され固相から液相に移動する。堆肥化は好気的な変換であり、開放系送気あるいは吸気が行われることが多い。一部のア

Table 6 代表的な堆肥の肥効成分含有量（有機質資源化推進会議，1997b）

Content of nutrients in representative composts

種類	pH	TN (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)
牛糞堆肥	7.8	2.4	3.7	1.4	4.1	1.0
豚糞堆肥	7.8	2.8	6.8	1.9	5.2	1.5
鶏糞堆肥	9.1	2.2	7.7	5.0	22.5	0.7
もみ殻堆肥	7.1	1.1	1.2	1.0	1.5	0.3
パーク堆肥	8.0	1.6	1.6	1.7	1.9	0.8

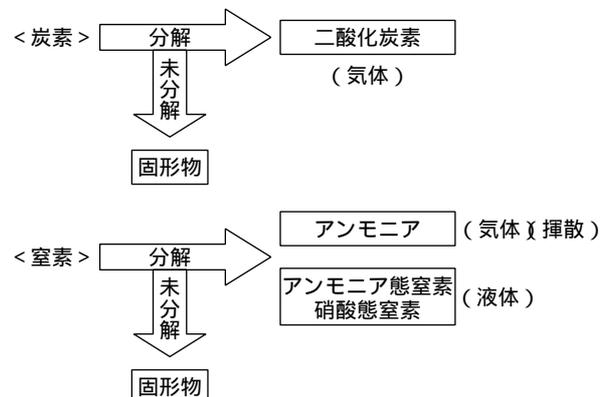


Fig.1 堆肥化による炭素及び窒素の形態変化
Change of forms of carbon and nitrogen by composting

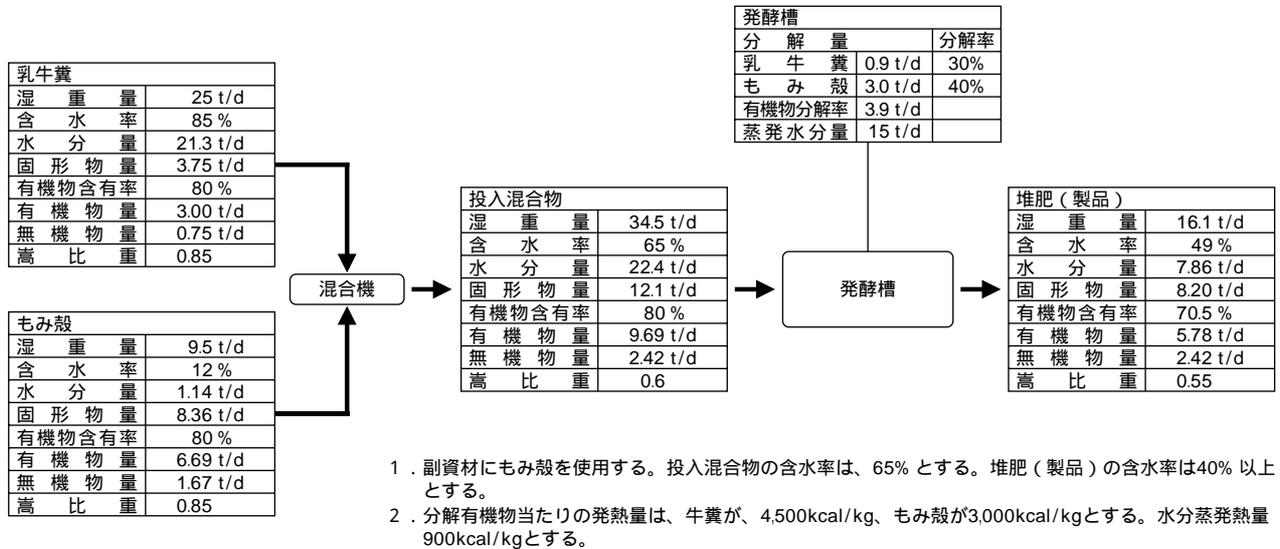


Fig.2 乳牛糞の堆肥化における物質収支
Material balance by composting of cow wastes

ンモニアは揮散する。P及びKは、堆肥(製品)中に残る。

(2) 堆肥化のフロー

乳牛糞の堆肥化を例にとると、物質収支はFig. 2に示すようになる。乳牛糞の含水率は85%程度と高いので、水分調整、通気性の向上のために、もみ殻、おがくず等を加える。Fig.2は、乳牛糞をもみ殻で水分調整する場合の物質収支である。もみ殻は裁断したり、膨満化したりして吸湿性の改善を図る場合がある。もみ殻と乳牛糞は混合機で均質に混合する。この混合が堆肥化における最も重要なポイントである。混合機からは一次発酵槽へ投入する。一次発酵槽では強制的に空気を送気もしくは吸気して、混合物に酸素供給を行う。易分解性有機物の分解と有機態窒素成分の無機化が進み第一段階の分解を終了するのが一次発酵槽である。混合物を移送するとともに混合・攪拌するのが切返し機である。その後、二次発酵槽に移し、可分解性有機物の分解とアンモニア態窒素の硝化を経て安定した堆肥となる。肥料として販売する際には、バラで販売するほか、造粒品として機械散布を可能としたり、家庭で使用することを考慮して10~15kgの袋詰めにするなど取扱い性の向上を図る。

2 メタン発酵

a 技術の特徴

(1) メタン発酵とは

メタン発酵(日本農業土木総合研究所, 2003b; 李, 2005; 畜産環境整備機構, 2001a; 地域資源循環技術センター, 2005)とは、無酸素(嫌気性)条件下で活動する微生物の代謝機能を利用して、バイオマスを最終的にメタン(CH₄)と二酸化炭素(CO₂)を多く含むガス(バイオガス)に分解する技術をいう。バイオマスのエネルギー化利用におけるメタン発酵の最大の利点は、

熱的変換技術に適さない含水率の高い家畜排せつ物や食品廃棄物からでも効率的なエネルギー化ができる点にある。

(2) メタン発酵の歴史

メタン発酵の歴史は古く、中国では家庭での煮炊き照明用に小型のものが一説には500万基稼働していると言われている。ヨーロッパでは1806年に家畜排せつ物に適用されたと言われる。下水汚泥への適用はイギリスで1896年に始まった。現在もドイツ、デンマーク、オーストリアなどで、家畜排せつ物、生ごみ等を原料とするメタン発酵施設が稼働している。国内では、1950年代以降に下水汚泥、し尿、家畜排せつ物などへの適用が始まった(畜産環境整備機構, 2001a)。最近では、欧州からの技術導入や技術開発によって、より高効率なメタン発酵が可能となっており、この成果が施設に採用されるに至っている。

(3) メタン発酵の分類

メタン発酵は発酵温度によって大きく2つに分類され、50~55℃で運転する「高温発酵」と35℃前後で運転する「中温発酵」がある。高温発酵と中温発酵とではメタン生成菌の種類が異なり、高温発酵の有機物の分解速度は中温発酵の2倍以上と報告されている。経験的に高温発酵の容積負荷は中温の倍程度に設定できる。従って、発酵に要する日数は高温発酵の方が短く、高温発酵が15日間程度、中温発酵が25~30日間である。処理特性の観点から中温発酵と高温発酵を比較すると、高温発酵は加水分解率や病原微生物の死滅率が高く、発酵速度が速くて高負荷を実現しやすい反面、有機酸を蓄積しやすい。それに対して中温発酵は分解速度が遅いものの、安定性が比較的良好。現状では中温発酵の方が普及しているが、高温発酵も採用されるようになってきている。共同利用施設で殺菌の必要性が高い場合には、高温発酵

が望ましいとされている。

また、メタン発酵槽内の固形物濃度に関し、十数%程度かそれ以下で運転する「湿式メタン発酵」と20~40%で運転する「乾式メタン発酵」に分類される場合もある。

(4) 再生資源の利用方法

バイオガスの利用方法としては、ガスボイラーによる熱利用、ガスエンジン発電などによる電気・熱利用がある。メタン発酵では発酵温度を維持する必要があるため、回収した熱は優先的にメタン発酵槽の加温に利用される。電気については、設備動力として使用されるほか、余剰分については売電することも可能である。また、メタン発酵消化液は、液肥として農業利用することも可能であるが、臭気や施用作業性が悪い等の問題があり、現在のところ、施用はほぼ牧草に限定されている。水田、畑への施用は各地で研究段階での取り組みが進んでおり、今後の進展が期待される。

(5) 周辺環境への配慮

メタン発酵消化液の液肥散布ができない場合には河川等に放流することになり、通常は脱水後に活性汚泥法による処理が行われる。放流先に窒素濃度規制があり、高率の窒素除去が必要な場合には、好気と嫌気を組み合わせた回分式活性汚泥法などを採用する必要がある。メタン発酵は完全密閉の嫌気性条件下で行うために臭気発生は少ないが、臭気対策を強化するためには受入貯留設備、堆肥化設備等の高濃度臭気の発生設備の脱臭が不可欠である。臭気対策はプラント設置場所の環境条件によって様々な方式が考えられ、場合によってはコストの大きな部分を占めることとなる。

b メタン発酵による物質・エネルギー収支に関する情報

(1) 分解過程

メタン発酵における有機物の分解過程は、Fig. 3に示す4段階から成り、とを酸生成相、とをメタン

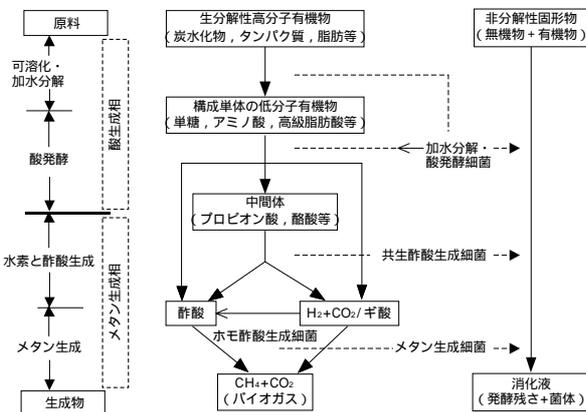


Fig.3 メタン発酵における有機物の分解過程 (李, 2004, 2005による)

Decomposition process of organic substances by methane fermentation

生成相と呼ぶ。各段階の概要は次のとおりである。

固形または高分子有機物から溶解性有機物(糖, アミノ酸および高級脂肪酸)を生成する加水分解。

加水分解生成物から有機酸(蟻酸, 酢酸, プロピオン酸, 酪酸など), アルコール類などを生成する酸生成。プロピオン酸や酪酸などC3以上の揮発性脂肪酸から酢酸と水素を生成する酢酸生成。

水素や酢酸などからメタンと二酸化炭素を生成するメタン生成。

メタン発酵による炭素と窒素の形態変化をFig. 4に示す。分解有機物中のCはメタンガスと二酸化炭素に変換される。生成したメタンガスはガス発電設備で二酸化炭素となる。また、Nはアンモニアに分解されることにより可溶化され、固相から液相に移動する。メタン発酵は嫌気条件下での反応なので、液相のアンモニアはほとんど大気に放散されない。原料バイオマス中のPは、消化液へ移動するが、脱水処理工程での無機凝集剤の使用の有無、凝集剤の種類等により、固相と液相中への移動割合が変化する。ここでの試算は、無機凝集剤不使用の場合の実績値をもとに行う。また、Kは液相に移動する。

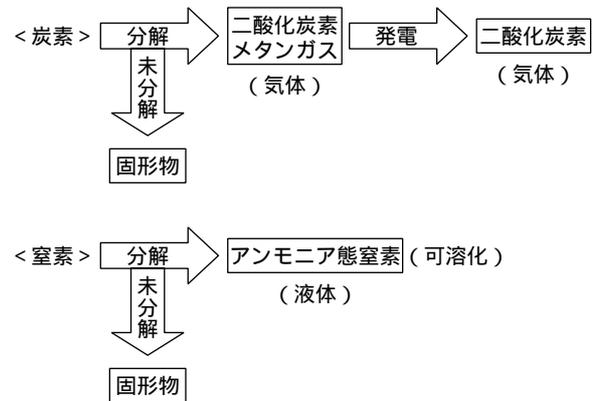


Fig.4 メタン発酵による炭素及び窒素の形態変化
Changes of forms of carbon and nitrogen by methane fermentation

Table 7 家畜排せつ物と生ごみのメタン発酵における一般的な分解特性 (畜産環境整備機構, 2001d)
Decomposability of livestock wastes and raw garbage

	TS/原料 %	VS/TS %	VS分解率 %	メタン発生率 m ³ [Normal] ⁽¹⁾ /t-分解VS	メタン濃度 %
豚糞尿	4~9	70~80	45~55	650~750	65~75
乳牛糞尿	7~11	70~85	40~50	450~550	55~70
生ごみ	10~20	90~95	70~90	450~650	55~60

TS: 蒸発残留物 (Total Solid) 固形物
VS: 蒸発残留物 (TS)を約600 で30分間熱して揮発する物質。有機物量を示す。強熱減量 (Volatile Solid)とも言う。
(*) m³[Normal]: m³[Normal]とは 標準状態における体積 (m³)を意味する。標準状態とは 0 (273.15K), 1気圧 (1atm = 101.325kPa) の状態をいう。気体の体積 (V)は温度(T)と圧力(P)によって変化するため (V = T/P), その大きさを客観的に評価するには温度と圧力を指定する必要がある。これには一般に標準状態が適用される。

(2) 再資源化物質と生成量

対象バイオマス原料の内、固形物は有機物と灰分から成り、有機物は易分解性のタンパク質、脂質、でんぷんや難分解性のセルロース、リグニンなどからなる。メタン発酵の基質となるのは主に易分解性有機物であり、セルロースやリグニンなど難分解性有機物はほとんど分解されない。家畜排せつ物や生ごみに関してはTable 7に示すとおりであり、生ごみ、豚糞尿、乳牛糞尿、の順で有機物分解率が高く、従ってガス発生量もこの順で大きくなる。

バイオガスの構成比率は原料に依存するが、通常は容積基準でメタンが50~70%程度、二酸化炭素が30~50%程度である。同様に原料に依存するものであるが、数百~数千ppm程度の硫化水素(H₂S)を含む。そのため、バイオガスを利用するにあたっては脱硫が必要になる。また、バイオガスには飽和状態の水蒸気を含むため、

バイオガスの利用に際しては適所に水取器を設置する必要がある。

バイオガスの発生量は、原料によって異なる。Table.2に示したバイオマスの性状値を用いると、一般的な数値としては、固形物濃度10%程度の原料1t当たり、乳牛糞尿では20m³程度、豚糞尿では30m³程度である。生ごみについては、固形物濃度20%の原料1t当たり100m³程度である。

(3) メタン発酵のフロー

乳牛糞尿及び生ごみをメタン発酵する場合において、消化液を液肥利用するシステムにおける物質・エネルギー収支の例をFig. 5及びFig. 6に示す。Fig. 7及びFig.8は、消化液を液肥として利用できない地域において消化脱離液の水処理までを行うシステムの物質・エネルギー収支例である。メタン発酵施設を構成する諸設備の概要は次のとおりである。

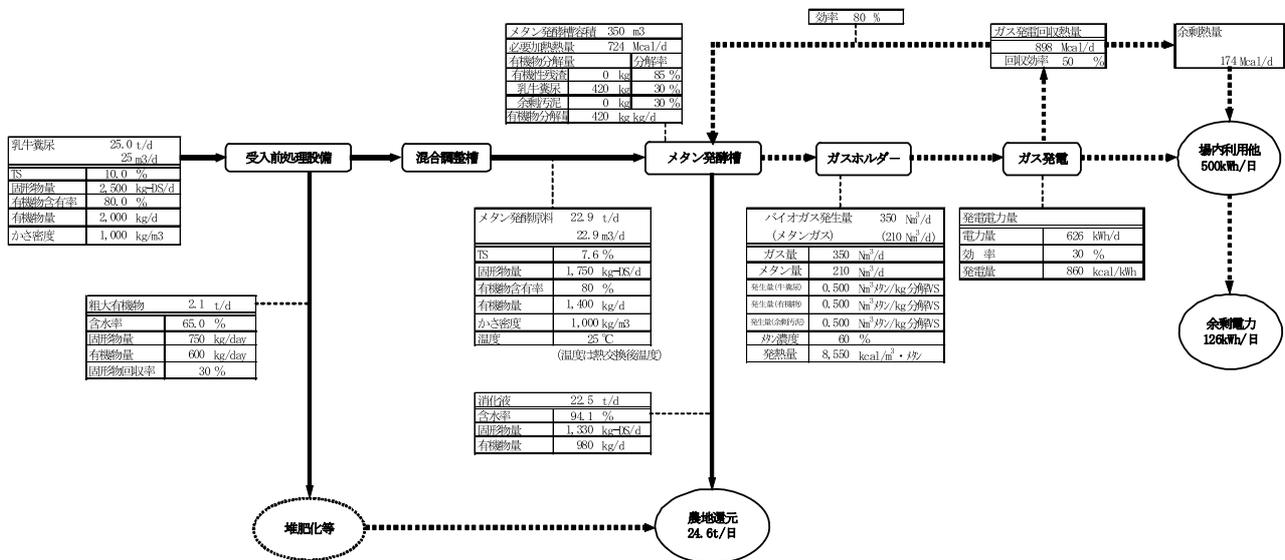


Fig.5 乳牛糞尿 (25t/d) のメタン発酵 (液肥利用)

Methane fermentation for cow wastes (25t/d) (the digested liquid is used in agricultural fields)

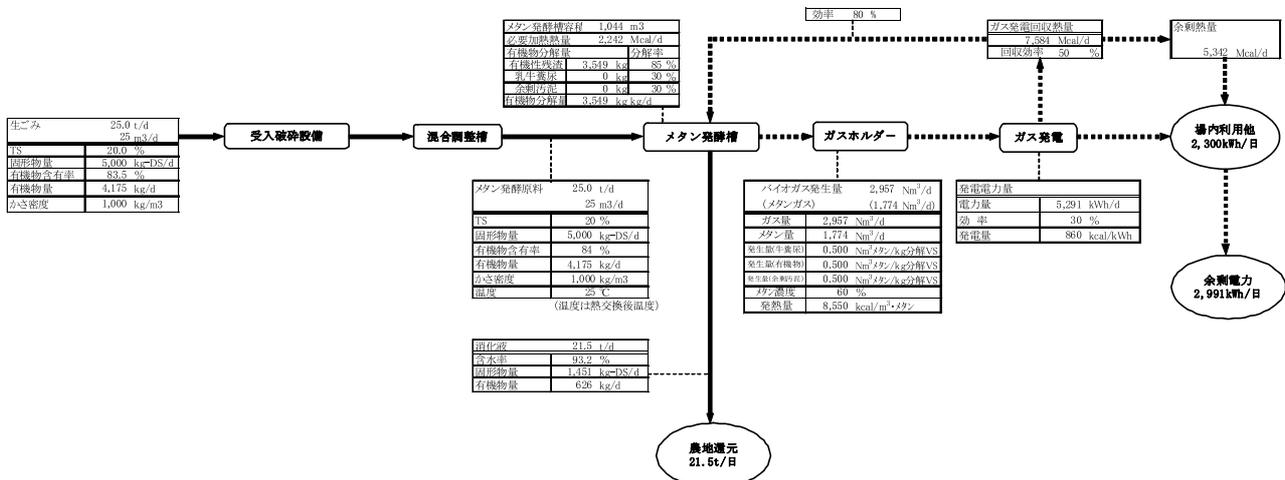


Fig.6 生ごみ (25t/d) のメタン発酵 (液肥利用)

Methane fermentation for raw garbage (25t/d) (the digested liquid is used in agricultural fields)

(i) 前処理設備

家畜の飼育方法は多種多様で、また生ごみもその排出形態によって発酵不適物の混入状況が様々である。粗大な有機物は、長期間のプラント運転によって配管内部やメタン発酵槽内に堆積し、配管閉塞や有効容積の減少等、トラブルの原因となる。このため、原料の排出性状に合った前処理が必要である。家畜排せつ物の前処理の目的

は毛や敷料等、粗大有機物の除去であり、生ごみの前処理の目的は破碎、夾雑物の分離である。

Fig.5, Fig.7では前処理での粗大有機物分離率を固形物で30%としたが、用いる機械性能によって固形物の分離率が異なる。

(ii) メタン発酵設備

メタン発酵設備の概要は次のとおりである。

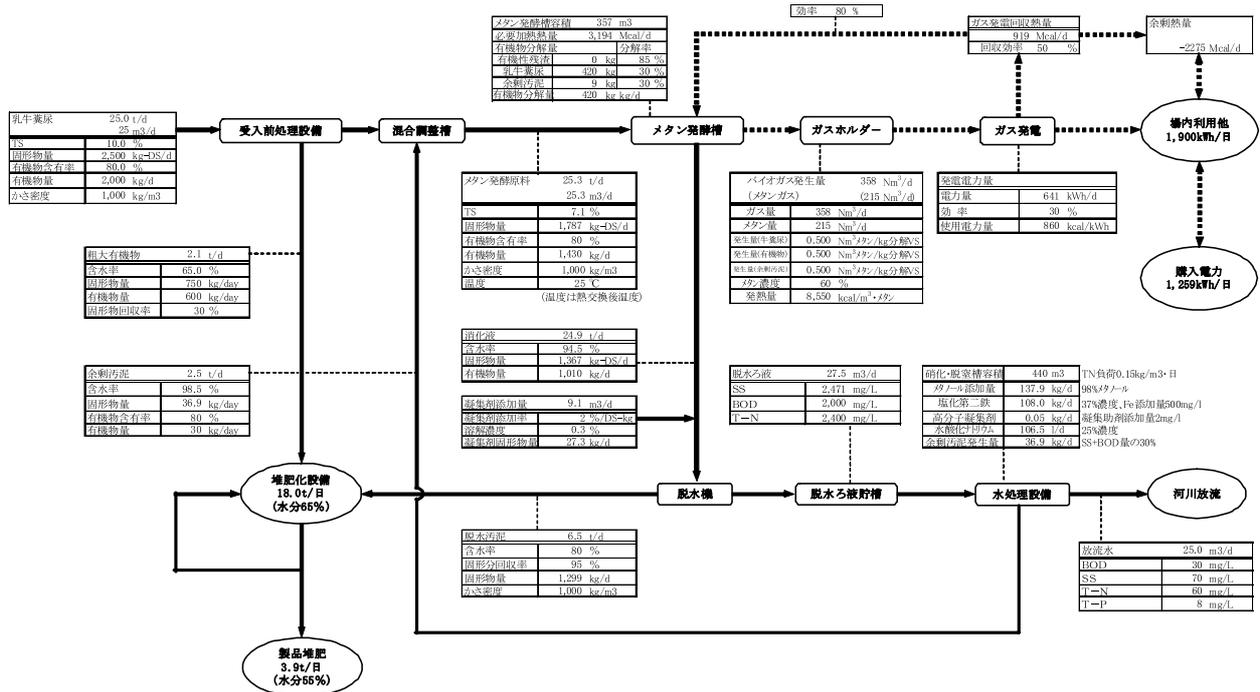


Fig.7 乳牛糞尿 (25t / d) のメタン発酵 (河川放流)

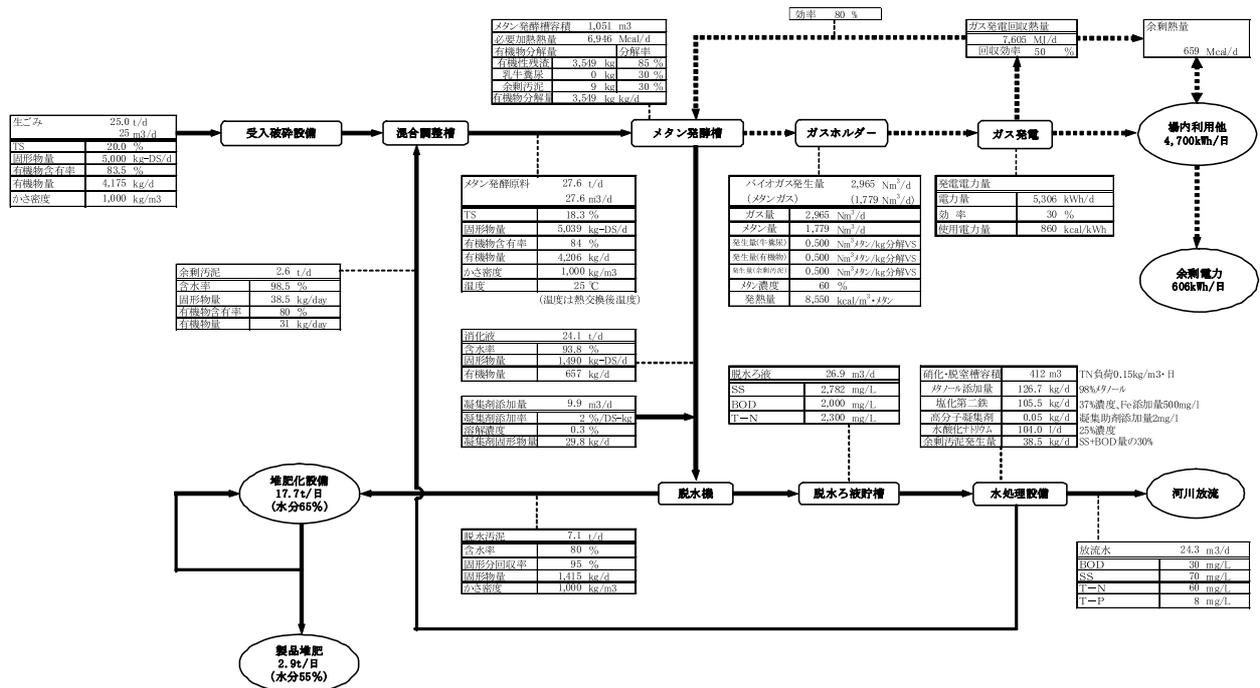


Fig.8 生ごみ (25t / d) のメタン発酵 (河川放流)

1) 原料投入方法

原料の投入は24時間連続または限られた時間内に間欠的に行う場合が考えられる。連続投入または間欠投入によって、バイオガスの発生の様子は異なる。バイオガス発生量は、連続投入の場合24時間で均等化したガス発生量を基準にガスホルダー等の周辺設備を設計できるが、間欠投入の場合にはガス発生量の経時変化を考慮して周辺設備を設計する必要がある。連続投入はバイオガス貯留設備の小型化、発電機への負荷の均等化に効果がある。

2) 発酵温度

発酵温度は先に述べたように、中温と高温で発酵速度、殺菌性において違いがあるので、目的に合わせて選択する必要がある。

3) 発酵槽容積

メタン発酵槽の容積は、滞留日数または有機物負荷を基準に決定されるが、有機物の種類によって分解性が異なるため、容積の決定は実績値や実験値を用いるのが望ましい。中温メタン発酵では発酵槽の有機物負荷 (VS 負荷) は $2 \sim 5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 程度、高温メタン発酵では $5 \sim 6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 程度が妥当と思われる。容積は対象とする原料各々についての実験データ等を基準に決めるのが望ましい。滞留時間から発酵槽容積を決める場合は、中温発酵では20~30日、高温発酵では15~20日程度で運転されている例が多い (畜産環境整備機構, 2001c)。

メタン発酵によるVS分解率は実験値から求めるのが確実な方法であるが、種々のメタン発酵原料からのバイオガス発生量をまとめた文献 (加藤・野池, 1999; 日本環境衛生センター, 2000) もある。Fig. 5~8の計画例では、牛糞尿、有機性残さ、余剰汚泥を分解した有機物量 (VS量) を計算し、分解有機物1kgあたりのメタンガス発生量を、いずれの原料の場合にも 0.5 Nm^3 としてメタンガス発生量を算出した。また、バイオガス発生量は、バイオガス中のメタンガス組成を60%として算出した。

4) 温度管理方法

中温または高温の発酵温度を維持するためには、加温設備が必要である。バイオガスを直接燃焼して生成した熱を用いる場合とガス発電のコジェネレーションで回収した熱を用いる場合がある。また、発酵液を加温する手段としては、管状熱交換器、スパイラル熱交換器等の熱交換器を用いて間接的に発酵液を加温する方法と、スチームを直接発酵液中に吹き込む方法がある。スチームを直接吹き込む場合、スチームを吹き込んだ量だけ発酵液が増加することとなる。

5) 攪拌方法

発酵槽の攪拌は、機械式攪拌、ガス攪拌、ポンプ攪拌等により行うのが一般的である。発生したバイオガスの圧力を利用した無動力攪拌や発酵槽の外部で原料と発酵

液を混合する攪拌方法もある。

(iii) エネルギー利用設備

バイオガス中の硫化水素除去には、湿式と乾式脱硫法がある。湿式には水洗、苛性ソーダ法等があり大容量のガス処理に適している。また、乾式には、酸化鉄にソーダ灰とおが粉を混ぜた成形脱硫剤やパーク材に酸化鉄とソーダ灰を混合した脱硫剤等がある。また、最近ではバイオガスに空気を混入させて連続的に脱硫剤を再生する連続再生脱硫装置等がある。

バイオガス貯留には、湿式ないし乾式のガスホルダーが用いられる。湿式は水槽もしくはメタン発酵槽上部に鋼板製のフローティングタンクを設け、液または水でガスを封入して貯留する。乾式はガスを封入する鋼板製タンクや耐候性メンブレン複合シートで風船状のホルダーを設けてガスを貯留する。

バイオガス利用設備にはボイラー、ガスエンジン、燃料電池、ガスタービン等が用いられる。

設備選定にあたっては、エネルギー効率も重要である。Fig. 5~8は、発電効率30%、熱回収効率50%、全回収率80%とした試算である。余剰電力が生じる場合には、売電を検討できる。また、エンジンの冷却熱は回収して発酵槽の加温に用い、余剰分は堆肥化設備等で加温用に利用することができる。

(iv) 消化液脱水設備

消化液を液肥利用できない場合、消化液は脱水し減量化する必要がある。脱水設備では高分子凝集剤を用いて脱水処理するのが一般的である。ただし、高分子凝集剤は高価である。農業にとって安全な高分子凝集剤を用いる場合には、脱水汚泥を前処理脱水の粗大有機物と混合して堆肥化し、農地還元できる。脱水後の消化脱離液は水処理設備へ送り放流先の放流基準値にまで水処理する必要がある。

(v) 水処理設備

Fig.7, Fig. 8の水処理設備の処理水質は、水質汚濁防止法の生活環境項目の基準値とした。Fig.7, Fig. 8の水処理設備は硝化脱窒素処理と凝集沈殿処理の組み合わせとした計画であるが、家畜排せつ物を対象にする場合にあっては畜舎で使用する管理水を希釈水として用いることによって、生物処理は低コスト化できる。また、広域の計画であれば下水放流、農業集落排水施設、し尿処理施設等、周辺の水処理システムとの連携も模索して低コスト化を図ることが今後の課題である。

(vi) 堆肥化設備

Fig.7, Fig. 8では、前処理からの粗大有機物及びメタン発酵脱水汚泥は機械切り返しによる堆肥化を行うこととした。メタン発酵システムで水処理までを行う場合、対象原料中の塩の一部は水処理系に排出されるため、直接堆肥化を行う場合に比較して塩濃度の低い堆肥が生産できるという特徴を持たせることができる。

(vii) 脱臭設備

各種の方法があるが、生物脱臭による方法のランニングコストが安価である。今回の試算では、生物脱臭を適用する。

3 炭化

a 技術の特徴

(1) 炭化とは

炭化技術(凌・東理, 2005)は、木材から木炭を製造する技術として広く知られている。低酸素雰囲気下で、原料を直接または間接に加熱すると、水分や揮発性ガスを放出しながら熱分解(乾留)が起こり、やがて固定炭素に富んだ物質が得られる。この一連の工程を「炭化」、得られる物質を「炭化物」と呼ぶ。

(2) 炭化システムの分類

炭化システムは、原料の移送、熱伝達、原料の前処理、熱回収等の違いにより、様々な方式がある。ここでは、原料の移送形式と熱伝達方式による分類について整理した。

(i) 移送形式

1) ロータリーキルン炭化炉

横型円筒の炉体で、キルンの傾斜と回転運動、あるいはキルン内側に取付けられた案内羽根と回転運動により、キルン内に投入された原料を移送する。

2) スクリュー炭化炉

炉内にスクリューコンベヤが設置されており、このスクリューコンベヤにより炉内の原料を移送する。スクリューコンベヤは、単段または多段で構成する。

(ii) 熱伝達方式

1) 内熱式炭化炉

燃料燃焼ガスおよび炭化工程で原料から発生する乾留ガスを、低酸素雰囲気下で燃焼して、原料と燃焼ガスを直接接触させることにより熱伝達を行う。内熱式は炉の構造が簡単で、炭化に要する時間が短いという特徴がある。

2) 外熱式炭化炉

燃料燃焼ガスおよび炭化工程で原料から発生する乾留ガスを、理論空気比以上の空気で燃焼し、原料を間接的に加熱する。外熱式は温度制御が容易で、収率が高いという特徴がある。

(3) 炭化物の特徴と用途

製造される炭化物の特徴は、次のとおりである。重量が軽く臭いもなく変質しないので、扱いやすく長期保管が可能である。

多孔質で、透水性・通気性・吸着能力がある。自然可能な程度の発熱量がある。木炭と同程度の黒色度がある。原料中に含まれていたカリウム、カルシウムなどのミネラル分、あるいはリンなどが濃縮されている。

(4) 再生資源の利用方法

炭化物は、Table 8に示す用途が実用化あるいは検討

されている。

炭化物は、通常、特に加工を行わないで使用される例が多いが、次のような場合も見受けられる。

(i) 賦活

木炭から活性炭を製造するように、原料を炭化後、さらに高温・高水分雰囲気下で処理し、より多孔質で吸着能を高めた炭化物を製造する。

(ii) 造粒

原料を炭化する前に造粒、あるいは製造した炭化物を造粒することで、炭化物使用時の飛散防止、土壌中での空隙率の確保など、機能性を高めた炭化物を製造する。

(5) 周辺環境への配慮

炭化炉の設置に必要な環境対策は、次のとおりである。

(i) 排ガス対策

原料の熱分解により生じる乾留ガスは、燃焼炉にて完全燃焼し、大気中へ放出される。原料を焼却する場合と比較すると、排ガス発生量が少ない、ダイオキシン類の発生が少ない、ばいじんの発生が少ない、という特徴があるので、焼却する場合よりも簡易な排ガス処理設備となる場合が多い。ただし、窒素酸化物、塩化水素、水銀などの濃度は、焼却する場合と同程度の濃度となる。また、原料中に含まれている水銀以外の重金属も、一部は排ガス側へ移行する。

(ii) 臭気対策

悪臭をもつ原料を炭化する場合、原料貯留部や原料搬送系統、乾燥装置など炭化炉へ投入する前の工程からの臭気対策が重要となる。各機器は密閉構造とし、要所にノズルを設け、燃焼用ブロウにより内部から吸引することで臭気を外部へ漏らさない対策をとる例が多い。

(iii) 土壌へ施用する場合の注意事項

炭化物には、原料中のリンやカリウムなどの肥効成分が濃縮されるため、肥料として有効である。また、保水性や通気性改善などの効果があるため、土壌改良材としても有効である。しかし、原料中のカドミウム、鉛、亜鉛などの重金属類も濃縮されるため、事前に原料中の重金属類の濃度を確認し、土壌へ施用しても一般土壌あるいは農用地に係わる環境基準値を満足することを確認しておく必要がある。

Table 8 炭化物の特徴と用途
Characteristics of carbonized substances and their usages

用途	軽量無臭	多孔質吸着能	発熱量	黒色度	ミネラル成分
土 壌 改 良 材					
水 質 浄 化 材					
脱 水 助 剤					
助 燃 材					
調湿材,建設資材					
各 種 吸 着 剤					
融 雪					

b 炭化による物質・エネルギー収支に関する情報
(1) 炭化のフロー

炭化システムの一般的な変換フローをFig. 9に示す。前処理装置としては、乾燥機、造粒機、混合機、破砕機などが採用されている。前処理装置により、原料の水分や大きさを調整した後、炭化炉へ投入する。炭化炉では、低酸素状態で原料を炭化する。炭化温度は500 以上、炭化時間は20~60分程度が一般的である。炭化物は、自然冷却、あるいは強制冷却した後排出する。炭化炉から出る排ガスは、二次燃焼させた後、熱回収装置で排熱回収される。その後、排ガス処理装置でクリーンなガスにして、大気へ放出される。熱回収装置には、ボイラーや熱交換器などが採用されている。排熱回収を行うことで、燃料使用量の削減を図ることができる。排ガス処理装置には、サイクロンや湿式洗浄塔、バグフィルタなどが採用されている。

炭化による炭素と窒素の形態変化をFig. 10に示す。原料バイオマス中のCは乾留ガスとして排出され、後段の焼却施設にて二酸化炭素に変換される(気相へ移動)。また、Nも同様に乾留ガスとして排出され、後段の焼却施設を経て窒素ガスとして排出される(気相へ移動)。原料バイオマス中のPやKは、固相、液相に関わらず製品炭化物に移動する。

(2) 炭化物の組成

原料は、水分・有機物・灰分からなる。有機物は、揮発分と固定炭素から成る。原料を加熱すると、まず原料中の水分の蒸発が起こる。続いて、原料に含まれている炭素・水素・酸素・窒素などから構成される有機物が分

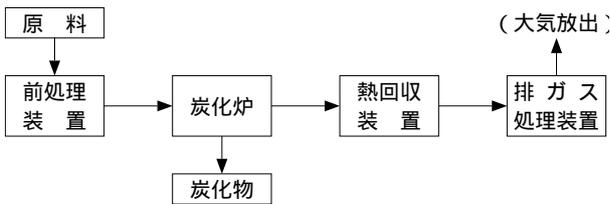


Fig.9 炭化のフロー
Flow of carbonization

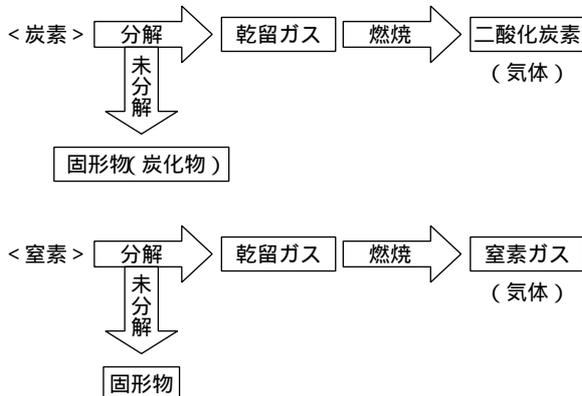


Fig.10 炭化による炭素及び窒素の形態変化
Change of forms carbon and nitrogen by carbonization

解し、メタン、エタン、エチレン等の低分子物質、またはタール状の高分子物質として揮発する。さらに加温を続けると、やがて有機物の揮発が少なくなり、炭化物が得られる。炭化物は、主に固定炭素と灰分で構成される。一例として、有機汚泥を炭化した場合の乾燥汚泥と炭化物の組成を、Fig. 11に示す。

4 飼料化

a 技術の特徴

(1) 飼料化の対象物と現状

飼料化は食品工場から排出される事業系廃棄物や家庭から排出される生ごみ等を動物の飼料として加工する技術である。飼料化の原料としてはTable 9に示すようなバイオマスがある。

原料により飼料への変換率は様々である。産業廃棄物や事業系一般廃棄物である食品廃棄物の場合には約74%と比較的高いが、稲・麦わら類、もみ殻類は利用率が15%程度になっている。飼料化は、原料の発生の時期・量に変動があり安定的利用が難しい、水分が多く輸送費がかさむ、原料が変質・腐敗しやすいという副産物なるがゆえの特性を持つ。水産加工副産物や果実・

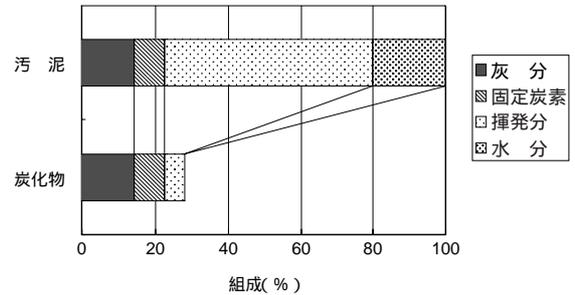


Fig.11 乾燥汚泥と炭化物の組成比較
Constitution of dried sludge and carbonized substances

Table 9 飼料化の対象となるバイオマス
Biomass for animal feed

種別	発生業種・事業場等	対象バイオマス
産業廃棄物	パン・麺類・製菓製造業	パン屑、パン生地、ラーメン屑、米菓子、白米等
	果汁加工業	ジュースかす、缶詰かす等
	酒造業	ビールかす、焼酎かす等
	大豆加工	大豆ホエー、豆腐かす(おから)等
	乳製品工場	チーズホエー、牛乳、アイス等
事業系一般廃棄物	給食施設、社員食堂、病院	調理残渣、食残渣、売れ残り食品・弁当野菜、魚腸骨、肉類、米飯、麺類、パン類等
	スーパーマーケット、レストラン、コンビニ、弁当屋、ホテル、旅館等	
一般廃棄物	家庭	生ごみ等

(注) 阿部(2004)を加工

野菜加工副産物の場合は、各々の発生箇所から少量ずつしか発生せず収集に手間がかかる、多種類の混入がありその分離が困難であるなどのため、飼料化には適しくくい。

(2) 飼料化技術の種類

飼料化の方法は製品利用の方法によって異なってくるが、大きく分けると乾燥と液化処理に分けられる。乾燥は原料を乾燥させ、固形性のものとして製品化するものである。一方、液化処理はいわゆるリキッドフィーディングといわれるもので、原料を液状の飼料にするものである。

乾燥方法には油温脱水、乾熱乾燥、減圧乾燥、ボイル乾燥、発酵乾燥がある。このうち、油温乾燥は、原料と同量の廃食用油を混合し加熱することで原料中の水分を除去する方法である。油分を分離し飼料化する。札幌市においてこの方法を採用した50t/d規模の施設が稼働している。乾熱乾燥は、原料を熱風により乾燥させる方法である。乾燥物は篩い分けにより製品化される。減圧乾燥は、原料を減圧させて乾燥させる方法である。減圧させることにより加温熱が低くて済むという特徴を持っている。

(3) 再生資源の利用方法

飼料は家畜の健康な生活、成長、健全な繁殖を維持し、畜産物の生産を行うために供給される。したがって、その安全性と品質の安定性が確保されなければならない。原料から飼料化されるまでには多種多様な流通経路があるため、安全性を阻害する要因は多い。安全を確保するためには、HACCPシステムの導入、金属探知器の導入、従事者教育の徹底による異物混入対策などが必要である。

また、施設の計画段階から利用者を確保し、要望される飼料の性状を反映した施設計画をたてる必要がある。

(4) 周辺環境への配慮

施設から発生する悪臭、振動、騒音、排水、排ガス等は関係法令に適合しなければならない。また、原料の腐敗速度が速いため、原料の貯蔵期間を最小にし、腐敗防止につとめる必要がある。

b 飼料化による物質・エネルギー収支に関する情報

飼料化の方法により設備構成は異なってくるが、いずれの場合も異物の分別除去は重要なプロセスとなる。都市厨芥のように様々な混在物がある場合、前処理に分別装置を備える必要がある。人手によることが確実であるが、人件費がかさむ等の理由により機械的分別も行われている。また、含水率の高い原料を受け入れる場合には、フィルタープレス、遠心脱水機などにより脱水を行う。飼料化の一般的なフローをFig. 12に示す。

飼料化による炭素と窒素の形態変化をFig. 13に示す。原料バイオマス中のCやNは分解されない。また、PやKも、固形物（製品）中に移動する。

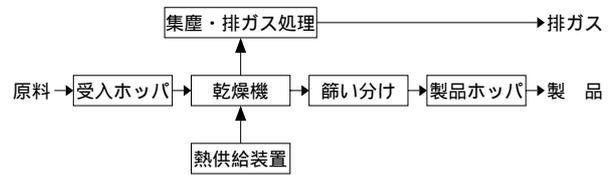


Fig.12 飼料化の一般的なフロー
Flow of processing to feed

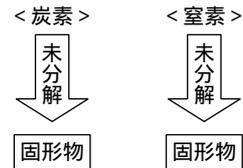


Fig.13 飼料化による炭素及び窒素の形態変化
Change of forms carbon and nitrogen by processing to feed

5 BDF化

a 技術の特徴

(1) BDF (バイオディーゼル燃料) とは

BDFは、菜種油や廃食用油などの植物油を原料とし、副資材のメタノールを加えてエステル化反応をさせることにより得られる脂肪酸メチルエステルの総称をいう。この性状が軽油に似ていることから、ディーゼルエンジン車用の燃料として使用されている。BDFをそのまま燃料として用いる場合と、軽油に20%程度混合して使用する場合がある。BDFの原料となるバイオマスは、Fig. 14のように分類できる。

化学反応の観点からは、動物油も原料として利用できるが、この場合は得られる脂肪酸メチルエステルの凝固点が高いため、単独では使用できない。植物油に少量混合した状態で使用するか、凝固点降下の添加剤を付加しなければならない。廃食用油の場合はコストの問題から植物油が中心となる。

(2) BDFの歴史

約百年前にディーゼル機関が発明されたとき、その燃料はピーナッツ油であった。その当時は植物油がそのまま燃料として使われることもあったと言われているが、その後の安価な石油の普及により、ほとんど利用されなくなった。その後、1970年代の石油危機に端を発して、再度バイオマス燃料が注目されることとなった。ガソリンエンジンに使用されているエタノールに遅れを取った

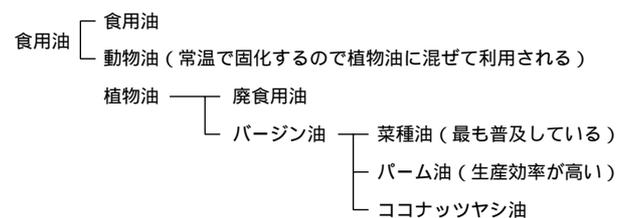


Fig.14 BDF原料の分類
Feedstock for BDF

ものの、1990年代になると徐々に生産量が増え、1990年代後半からは石油代替燃料として認知されて急速に普及した。

菜種油を原料として製造されたBDFはドイツ・オーストリア・フランスなどで広範囲に普及しており、年間数万トンのBDF製造プラントがいくつも建設されている。一番普及しているドイツでは、ディーゼル燃料の5%を占めるに至っている。普及の理由は、農作物(バイオマス)由来の原料であることから、カーボンニュートラルで、CO₂の排出削減に寄与するという点である。この評価から、優遇税制により利用者に経済的にも有利して普及を図るといった政策を取る国が多い。

一方、我が国では廃食用油の回収業者が小型の装置を開発して限られた範囲で利用しているに過ぎなかった。1997年に京都で開催されたCOP3に合わせて、京都市はBDFによって、ごみ収集車(BDF100%)や市バス(BDFを軽油に20%混合)を走らせるプロジェクトをスタートさせて、1日5tのBDFを製造委託・使用する体制を構築した。一方、滋賀県は琵琶湖の水質保全のために、廃食用油の下水投棄を防止するために、天ぷら油から石鹸を作る運動を続けていたが、1990年代の後半からBDFに注目し、廃食用油だけでなく、休耕田に菜種を栽培して、そこから得られる菜種油を原料とするBDFを製造するプロジェクトを開始し、琵琶湖に就航している学習船や農業用のトラクターにBDFを使用した。他にも青森県横浜町も菜種の栽培に力を入れて、BDFへの取組を進めている。最近は多くの自治体が廃食用油の回収に力を入れているが、回収量が多くないので、小型の装置によってBDFを製造しているのが現状である。

b BDF化による物質・エネルギー収支に関する情報

(1) 原理と製造工程

油脂とメタノールを1:3のモル比で混合し、KOHまたはNaOHのアルカリ触媒のもとで反応させると、エステル交換反応が起こる。反応生成物は、グリセリンと油脂を構成していた脂肪酸のメチルエステルである。このメチルエステルの性状が軽油に近いことから、ディーゼルエンジンの燃料として使用することができる。反応工程における反応条件は、温度70℃で圧力10大気圧である。廃食用油中のCはメタノールと反応し、メチルエステルとグリセリンに変換される。廃食用油中のN, P, Kについてはデータがなく、不明である。製造されたBDFは、タンクに貯蔵し、そこから車両に直接給油するのが一般的である。BDFが普及すると、タンクローリーで小売店(ガソリンスタンド)に輸送するのが一般的になると考えられる。BDFの製造工程は、Fig. 15に示すとおりである。

(2) 再資源化物質と生産量

Fig. 15のプロセスによると、廃食油1,000kg、メタ

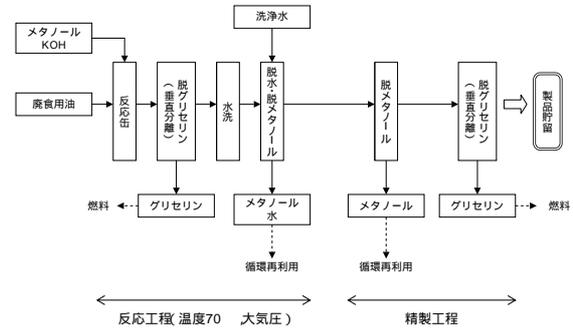


Fig.15 BDFの製造工程
Processing process of BDF

ノール199.6kg、アルカリ触媒7.0kgからBDFが909.1kg生成できる。物質収支の算出に当たっては、メタノールの循環再利用の取扱いによって差が生じる。NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構、2002)によれば、国内における廃食用油からのBDF生産規模は、100L/d規模のものが多いが、10,000L/d規模のものも検討されている。

6 直接燃焼

a 技術の特徴

(1) 直接燃焼とは

直接燃焼は、木質系バイオマスや鶏糞を燃焼させ、その際に発生する熱をボイラーで回収し蒸気を発生させ、その蒸気を用いて蒸気タービンにて発電する技術である。

(2) バイオマスボイラーの歴史

国内における木質系バイオマスのエネルギー利用は、合板工場等が製品製造工程から生じる自社廃材をボイラー燃料に利用し、低圧の蒸気で諸設備の加熱源とするのが一般的で実績も多い。1960年代から木皮、廃木材が自家発電や熱源の化石代替燃料として商用に供されており、1980年代からは建築廃材が代替燃料として燃料市場を形成してきた。近年では、これをさらに発展させ、高圧蒸気で発電も行う熱併給発電事例も多く見受けられるようになってきている。

木質燃料燃焼ボイラーは、原料の種類と性状の変化、蒸気用途の変化、制御性および性能の高度化の要求などにより改良、開発が進められてきた。燃焼方式としては水平あるいは傾斜固定火格子から水冷傾斜火格子へ、さらには移動床式および流動層式へと変遷してきている。

(3) バイオマスボイラーの効用

2002~2003年にかけてバイオマスエネルギーに関わる助成措置やRPS等の新制度が制定され、これに誘起された地方自治体や森林組合を中心に、エネルギーセンター構想や廃棄物処理とリンクした新ビジネスの事業化が多く検討されている。それらのバイオマスの対象は賦存量や地域性から木質系が中心である。木質系バイオマスのエネルギー利用が注目されている背景としては、次の効

用があげられる。

疲弊傾向の林業の再生または活性化に寄与する（経済効果、雇用創出、就業人口の産業間移転等）

山林整備の推進（森林保全 植林、間伐等循環型林業への展開）

製材業の再生（外材依存の打破）

地域環境の保全（治水対策、自然環境保全）

地域分散型エネルギーの開発・導入

新エネルギー源の開発・普及

再生型エネルギーによる温室効果排出の削減（循環再生が植林により担保されることが条件）

建設廃材の不法投棄の抑制（建設廃材の有効利用）

（４）木質系バイオマスの賦存量

国内で産出する木質系バイオマスは、プランテーション材はなく、廃棄物系が利用の対象である。これらは、間伐材・林地残材等の林業系、製材・合板等の木材加工業系、建設廃材系に大別される。2000年度の農林水産省推計資料（農林水産省、2002）によると、産出量は1470万tで、その内エネルギー利用が18%、未利用分が49%である。2000年度の木材資源の国内伐採量は1,150万tで、その内約34%が林地残材になっている。輸入丸太は721万t、チップやパルプ材等の輸入材は2,393万tである。総国内消費量は3,876万tで、製材、合板、製紙等に使用されており、製材残材、建設廃材、黒液等として3,006万tが排出されている。また、今後の利用対象となる木質系バイオマス賦存量は、林地残材と建設廃材の700万t / 年に間伐材を含む材と考えられる。木質系バイオマスは、直接燃焼による化石燃料や産業廃棄物等との混焼が可能である。出力の増強や信頼性の向上に、近隣地域で排出する農産・畜産廃棄物や可燃性産業廃棄物を加えた処理業と融合した利用法も可能で相乗効果が期待できる有力な方策である。

（５）再生資源の利用方法

再生資源は電力である。また、発電を行うと、焼却灰および飛灰が発生する。純粋な木質系バイオマス自体に塩素等はほとんど含まれない。このため、排ガス中の塩化水素を除去する際に用いられる消石灰を使用する必要がない場合には、焼却灰・飛灰の土壌還元が可能である。

（６）周辺環境への配慮

ボイラーにて発電を行う際、必ず煙突から排ガスが排出される。木質系バイオマス自体にダイオキシン類発生の原因となる塩素はあまり含まれないが、NO_xなどの有害ガスは発生する。環境基準を達成するために有害ガスの発生を燃焼制御、または排ガス処理により行う必要がある。鶏糞を燃料とする際は、ピットを設け、ピット内の空気を燃焼空気として利用するなどの配慮が必要となる。

b 直接燃焼による物質・エネルギー収支に関する情報

直接燃焼による炭素及び窒素の形態変化をFig. 16に

示す。原料バイオマス中のCは二酸化炭素に変換される。また、Nは窒素ガスに変換される。PやKは、灰分中に移動する。直接燃焼のフローの例をFig. 17に示す。

7 溶融ガス化

a 技術の特徴

（１）溶融ガス化とは

溶融ガス化とは、間接加熱や部分燃焼により、有機分をガス化する工程と熱分解残渣の燃焼・灰化・溶融をする工程とを併せ持つプロセスである。対象物としては、食品廃棄物、生ごみを含む一般廃棄物、下水汚泥、石炭、廃プラ、木くず等があり、対象物によって実用化の段階が異なる。ガス化の目的は、生成ガスの燃焼による廃熱利用、燃料ガス（ガスタービン用、燃料電池用を含む）としての利用、化学原料ガスとしての利用等がある。また、溶融の目的は、スラグ化により残渣のリサイクルや処理・処分を容易にすることである。

（２）溶融ガス化の歴史

一般廃棄物や下水汚泥の溶融ガス化は、残渣の溶融処理を主眼とし、ガスは炉内で燃焼してボイラーで廃熱回収して発電する方法が普及している。このうち、下水汚泥の溶融炉は1985年代のエースプラン構想で開発・普及し、一般廃棄物のガス化溶融炉はダイオキシン対策をきっかけとする灰溶融の推進、広域化の推進、廃棄物研究財団による1997年からの次世代炉開発により広く普及した。

近年、ガスを炉内燃焼せずに高温改質・ガス精製することによりガスを回収し、ガスエンジン等で利用するプロセスも出現しており、さらに、廃プラ、木質バイオマス、下水汚泥等を対象としたガス化プロセスも検討され

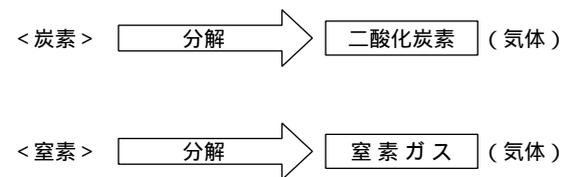


Fig.16 直接燃焼による炭素及び窒素の形態変化
Change of forms carbon and nitrogen by direct burning

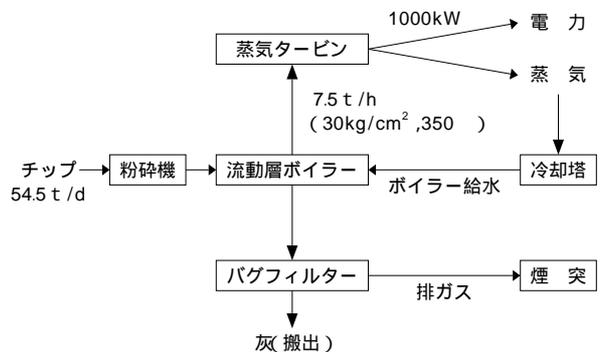


Fig.17 直接燃焼のフロー例
Processing process of direct burning

ている。

(3) 溶融ガス化の分類

一般廃棄物を対象とするガス化溶融炉は、ガス化部分の加熱方式により「直接加熱」と「間接加熱」とに、またガス化炉と溶融炉の配置により「一体型」と「分離型」に分類できる。ガス利用方法については、「ガス燃焼方式」と「ガス回収方式」に分類できる。一般的には、ガス化炉の形式によって、Table 10に示す シャフト炉式、流動床式、キルン式に分類されることが多い。

これら3種類のガス化溶融炉のうち、以下では、一般廃棄物処理で実績が多いシャフト炉方式の溶融ガス化プロセスを取り上げ、性能・コスト評価を行う。

(4) 再生資源の利用方法

一般的な溶融ガス化の生成物は、電力、溶融物(スラグ、メタル)、溶融飛灰である。発電した電力は、自己消費分を除く余剰電力が売電となる。溶融物のうちスラグは、通常インターロッキングブロック、アスファルト骨材等の用途に再資源化、メタルはカウンターウェイトもしくは製鋼原料、銅精錬用鉄として再資源化される。溶融飛灰は従来のキレート処理+最終処分に替わって、非鉄精錬原料(銅、鉛、亜鉛など)として山元還元(鉱山や精錬所)に戻し有価金属として再利用)される場合がある。

(5) シャフト炉方式の溶融ガス化の例

(i) 処理プロセス

縦型シャフト炉で構成するガス化炉内は 上部から乾燥予熱帯(300~400)、熱分解帯(300~1,000)、燃焼帯(1,000~2,700)、溶融帯(1,700~1,800)に区分できる。乾燥予熱帯では、ガス化炉内を上昇する熱分解ガスとの熱交換により、ゴミ中水分が蒸発・乾燥する。次に乾燥ゴミは熱分解帯に降下して、さらに熱交換することにより300~1,000 まで昇温、ゴミ中の揮発分がタール及びCO、H₂、CH₄等の熱分解ガスとしてガス化する。水分、揮発分がガス化した後の熱分解残渣は、燃焼・溶融帯に降下し、コークス火格子上の高温場で燃焼して灰化すると同時に溶融し、液状となって1,700~1,800 の高温状態のコークス火格子表面上を流下して昇温する。この昇温によって溶融物は粘度の低い液体となって炉底に貯留し均一化される。また、コークスとの接触により一部金属が還元揮発する。ガス化機構としては、高温CO₂によって固定炭素がCOガスに転化(ソリ

ューション反応)する点が、コークスベッド方式の特徴である。これらガス化炉で発生する熱分解ガスはガスバーナーを介して独立型燃焼室に導入し、拡散混合と旋回流れにより完全燃焼する。

(ii) 溶融機構

コークスベッド式シャフト炉では、炉底に1,700~1,800 の高温のコークス火格子を形成させて、溶融物処理を図る。ごみ発熱量の変動(1,500~2,500kcal/kg程度)や金属、陶器、ガレキ等高融点物質の混入を前提としても、高温のコークス火格子は確実性があり、容リプラの分別収集や下水汚泥の併せ処理等の低カロリー化にも柔軟に対応可能である。炉底に貯留する溶融物は、石灰石の添加(塩基度調整)と間欠出湯により、高温コークスと熱交換し高温で均質な溶融物となる。この結果、スラグ中鉛濃度が低減(還元揮発)するとともにスラグ・メタルの分離性が向上し、資源化可能な溶融物とすることができる。

(iii) 工程

1) ゴミの流れ

ゴミはFig.18に示すように、トラックスケールで計量後、ゴミピットに投入・貯留し、受入れ量の変動を吸収する。ゴミピットに貯留したゴミは、ゴミクレーンを用いて投入ホッパに投入し、炉頂シール装置を経由して溶融ガス化炉に移送する。

ゴミ中灰分は溶融スラグとなり炉の底部に貯まり、定期(間欠)的に溶融ガス化炉の出湯口から流出させ、水砕ピットで急冷しながら水砕する。水砕された溶融物は、磁力選別機でスラグとメタルに分離し、それぞれ資源化物として有価で取り引きされる。

2) ガスの流れ

溶融ガス化炉ではゴミの一部(熱分解残渣)及びコーク

Table 10 一般廃棄物用のガス化溶融炉の分類
Types of gasification

ガス化溶融方式	ガス化炉の加熱方式	ガス化炉と溶融炉の配置	構成例
シャフト炉方式	直接加熱	一体型(直接溶融)	シャフト炉+2次燃焼室 シャフト炉+ガス洗浄
流動床式	直接加熱	分離型	流動床式ガス化炉+旋回溶融炉
キルン式	間接加熱	分離型	熱分解ドラム(キルン)+旋回溶融炉

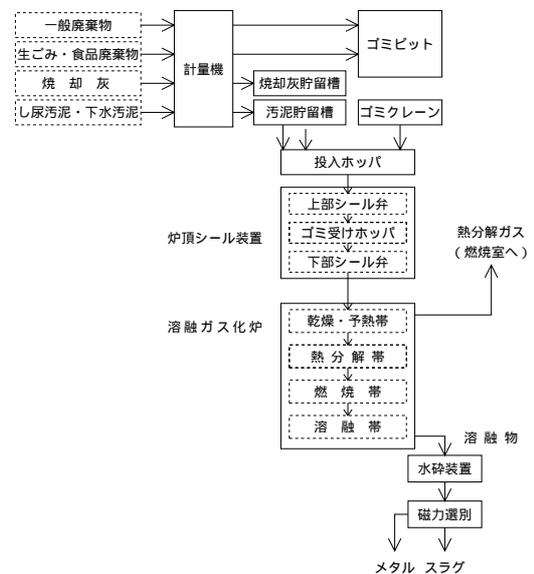


Fig.18 ゴミの流れ
Flow of garbage

スを燃焼させ、これを熱源として熱分解ガス化を行う。溶融ガス化炉で発生した可燃性ガスは、燃焼室で完全燃焼し、ボイラーで熱回収して所定のガス温度まで急速に冷却し、さらに排ガス温度調節器で冷却水を吹き込み、ろ過式集じん器の通過可能な温度まで減温し、ろ過式集じん器、誘引通風機を通過させる。誘引通風機を出た排ガスは、一部を循環排ガスとして燃焼室に戻し、残りを触媒反応塔に導いて、クリーンな排ガスとして大気放散する。これらのフローは、Fig. 19に示すとおりである。

燃焼排ガス中のHCl、SO_xは、排ガス温度調節器出口で消石灰を吹き込むことにより中和反応させ除去する。その際、煙突のHCl (SO_x) 濃度を確認しながら、消石灰切出量を調整することで、HCl、SO_x濃度を規制値以下とする。燃焼排ガス中のばいじんは、ろ過式集じん器のろ布で除去する。ろ過式集じん器は、未反応消石灰がろ布上に付着しガスと接触する事でHCl、SO_xとの反応を促進する効果も有する。燃焼排ガス中のNO_xは、触媒反応塔の前段でアンモニアを吹き込むことにより、触媒作用により脱硝する。NO_xもHCl同様に煙突濃度を確認しながら、アンモニア量を調整してNO_x濃度を規制値以下とする。燃焼排ガス中のダイオキシンは、同じ触媒に吸着する事で分解(酸化・脱塩素)させ、ダイオキシン濃度を規制値以下とする。

b 溶融ガス化による物質・エネルギー収支に関する情報

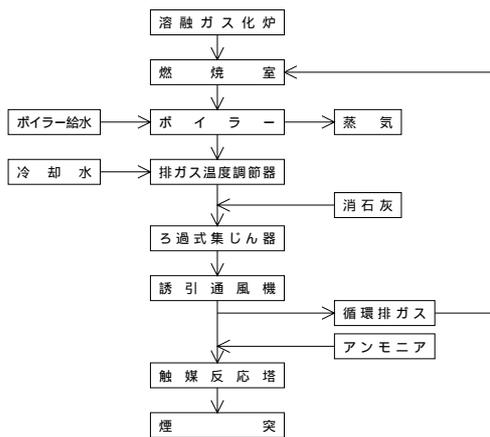


Fig.19 ガスの流れ
Flow of gases

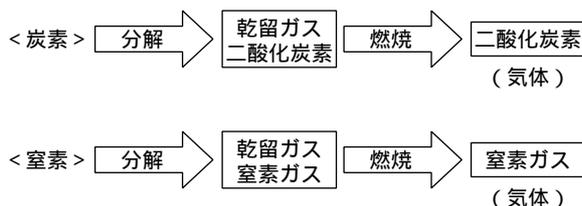


Fig.20 溶融ガス化による炭素及び窒素の形態変化
Change of forms carbon and nitrogen by gasification

溶融ガス化による炭素及び窒素の形態変化をFig. 20に示す。原料バイオマス有機物中のCは熱分解し乾留ガスとして排出されて後段の焼却施設にて二酸化炭素に変換されるか、燃焼過程で直接燃焼され二酸化炭素に変換される。また、Nも同様に熱分解し乾留ガスとして排出されて後段の焼却施設を経て窒素ガスとして排出されるか、燃焼過程で直接燃焼され窒素ガスに変換される。バイオマス中のPやKは、スラグあるいはメタル中に移動する。

8 固形燃料化

a 技術の特徴

(1) 固形燃料化とは

固形燃料化(日本農業土木総合研究所, 2003c)とは、木質や食品廃棄物などの可燃ゴミを破砕・圧縮・成型することで、燃料を生産する技術である。固形燃料化には、木質ペレット化やRDF化などがある。これらは、バイオマスのエネルギー化利用においては直接燃焼の補完技術として位置づけることができる。なお、木質ペレット化については、国内では試験的な実施が始まったばかりであり、性能・コストをとりまとめる段階には至っていない。

2003年8月のゴミ固形燃料保管施設の爆発事故を受け、「ごみ固形燃料適正管理検討会」により適正管理に関するガイドラインが作成された。RDF製造施設を検討する際は、このガイドラインが周知徹底される必要がある。

(2) RDF化とは

RDF化とは、RDFを製造する技術をいう。RDFとは、ゴミから製造した固形燃料のことで、広義には破砕しただけのものも含むが、日本では一般に成形した固形燃料をさす。日本では、1980年代頃から産業廃棄物を原料とした研究開発が進められ、近年では一般廃棄物を原料とした事業化がなされるに至っている。

RDFは、都市ゴミに比べて、輸送性、貯蔵性に優れ、発熱量が高く性状が安定している。Table 11は、木くず、紙くず、プラスチックを原料とし、重量比でそれぞれ4:5:1の割合で混合して製造したRDFの分析例で

Table 11 RDFの分析例(日本エネルギー学会, 2002b)
Components of RDF

分析項目	平均	範囲
水分 (%)	3.50	2.20 ~ 5.40
水素 (%)	7.08	6.56 ~ 7.39
塩素 (%)	0.28	0.19 ~ 0.36
全硫黄 (%)	0.09	0.06 ~ 0.14
灰分 (%)	7.61	6.70 ~ 9.30
低位発熱量 (cal/g)	4,370	3,950 ~ 4,740
低位発熱量 (MJ/kg)	18.3	16.5 ~ 19.8
揮発成分 (乾物当たり%)	77.8	
固定炭素 (乾物当たり%)	13.7	

ある。

(3)再生資源の利用方法

RDFの利用方法としては、ボイラーによる熱利用、ボイラー・蒸気ボイラー発電による電気・熱利用などがある。ただし、製造や輸送・貯蔵までを含めると、トータルのエネルギー効率は必ずしも高いわけではない。

(4)周辺環境への配慮

生ごみをRDF化施設で処理する場合は、臭気対策が重要である。特に受入から乾燥までの前処理工程では生ごみ由来の腐敗臭が発生するため、脱臭には十分な配慮が必要である。破碎・乾燥工程では粉じん対策が、破碎工程では騒音・振動対策が必要となる。

b 固形燃料化による物質・エネルギー収支に関する情報

RDFの製造工程は、一般に破碎、選別、乾燥、成形の組合せからなるが、含水率が低い場合には乾燥を省いて破碎後に成形するものもある。また、貯蔵性の向上、燃焼時の塩化水素の発生抑制を目的として消石灰や生石灰などの添加剤を加えたり、よりよい成形のために一定量のプラスチックを粘結剤として混合するものもある。RDF化のフロー例をFig. 21に示す。

固形燃料化による炭素及び窒素の形態変化をFig. 22に示す。原料バイオマス有機物中のCやNは分解されな

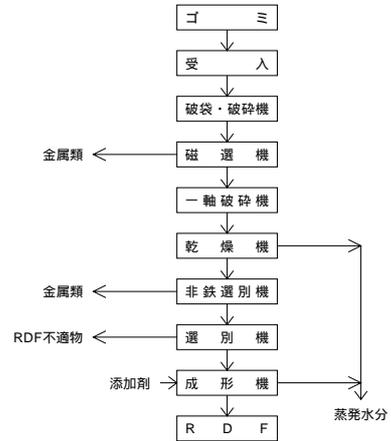


Fig.21 RDF化のフロー例
Flow of conversion to RDF

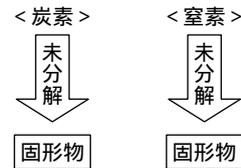


Fig.22 固形燃料化による炭素及び窒素の形態変化
Change of forms carbon and nitrogen by conversion to RDF

Table 12 バイオマス原料1tの再資源化によって生成される主な物質及びエネルギー
Materials and energy produced by conversion of biomass

対象バイオマス	変換技術	必要エネルギー [MJ/d]		生成エネルギー [MJ/d]		生成物(kg)				試算規模
						物質名	総量	炭素(C)	窒素(N)	
畜産排せつ物	乳牛糞尿	メタン発酵		54	熱	脱水ケーキ	237	24	1.8	25t/d
				58	電力	脱水ろ液	763	1.3	0.7	
	乳牛糞	堆肥化	237	熱	堆肥	637	112	3.7	25t/d	
			310	電力						
		炭化	4188	熱	炭化物	66	24.0	3.0	25t/d	
			240	電力						
食品残さ	豚糞尿	メタン発酵		180	熱	脱水ケーキ	190	17	1.9	25t/d
				133	電力	脱水ろ液	810	0.9	1.6	
	豚糞	堆肥化	195	熱	堆肥	413	75	6.8	25t/d	
			255	電力						
	鶏糞	堆肥化	189	熱	堆肥	326	45	11	25t/d	
			246	電力						
食品残さ	おから	メタン発酵		1180	熱	脱水ケーキ	50	6.7	1.1	25t/d
				752	電力	脱水ろ液	950	0.4	7.9	
	飼料化	3516	熱	飼料	222	88	9.0	5t/d		
		276	電力							
ゴミ	廃食用油	BDF化	493	熱	BDF	1004	806		5t/d	
			521	電力						グリセリン
	生ごみ	堆肥化	194	熱	堆肥	360	68	4.1	25t/d	
			276	電力						
		メタン発酵			脱水ケーキ	153	12.4	1.2	25t/d	
			896	熱	脱水ろ液	847	0.7	3.8		
	可燃ゴミ	固形燃料化	2140	熱	固形燃料	515	275	5.0	25t/d	
			540	電力						残さ
汚泥類	下水汚泥	炭化	2624	熱	炭化物	97	35.2	4.4	25t/d	
			224	電力						
農林業残さ	もみ殻	炭化	70	電力	炭化物	295	100	1.0	25t/d	
										灰
	木くず	直接燃焼		1417	電力				50t/d	

い。PやKは、固形燃料中に移動する。

9 結果の総括

各種のバイオマス原料 1 t を再資源化（変換）する時に必要なエネルギー，得られるエネルギー，生成物量，炭素及び窒素の含有量をTable 12にとりまとめた。試算に当たって想定した施設規模は右端に記したとおりである。試算結果の詳細は巻末資料A付図1～15に示すとおりである。

各種再資源化施設のコスト試算

1 試算の全般的な考え方

コスト試算の対象バイオマスは、乳牛糞尿と食品廃棄物（生ごみ等）等、それぞれの再資源化施設にふさわしい原料とした。乳牛糞尿については、メタン発酵（消化液を液肥利用する場合と固液分離後に堆肥化及び水処理する場合の2通り），炭化及び堆肥化について試算した。食品廃棄物については、メタン発酵（同上），炭化，溶融ガス化，固形燃料化及び堆肥化について試算した。施設規模は基本的にバイオマス原料量25，50及び100t/dの3ケースとした。総コストは，再資源化施設の建設費，維持管理費及び原料受入費（処理委託費）や製品販売利益等の収入を考慮し，20年間で必要経費として次式で算出した。このうち，建設費は，公定金利を約4%とし，20年で返済金が1.5倍になるとして計算した。試算に当たっての共通条件をTable 13に示す。総コストがマイナス値の場合は，収益があがるということを意味する。

$$\text{総コスト} = \text{建設費} \times 1.5 + (\text{維持管理費} - \text{収入}) \times 20\text{年}$$

2 各種再資源化施設のコスト試算方法及び結果

a 堆肥化

乳牛糞と生ごみを原料バイオマスとして試算した。

Table 13 コスト試算の条件
Conditions to calculate costs

牛糞尿受入費	500円 / t
食品廃棄物(生ごみ)受入費	15,000円 / t
電力料金	東京電力の高圧電力Aの料金体系
上・下水道料金	東京23区の料金体系
廃食用油購入費	20円 / L
電力販売費	買電と等価(買電電力の削減分として)
堆肥販売費	5,000円 / t 300円 / 袋 (15kg袋詰め)
液肥販売費	1,000円 / t
炭化物販売費	10,000円 / t (原料:糞尿) 1,000円 / t (原料:生ごみ)
飼料販売費	1,000円 / t
B D F 販売費	78円 / L
溶融物販売費	150円 / t

堆肥生産量全体の25%は15kg袋詰め販売とする

(1) 建設費

実績例をもとにして算出。

建築面積：25t/dで2,400m²，50t/dで4,200m²，100t/dで7,500m²と想定。

敷地面積：建築面積の約2.5～3.5倍と想定。

(2) 支出

電気料金：東京電力の電力供給規定に基づいて算出。基本料金1,175円/kW・月，従量料金は夏期（7～9月）10.47円/kWh，その他の期9.52円/kWhとして算出。

上水道，下水道料金：東京都の水道，下水道料金に基づいて算出。

袋代：15kg詰めビニル袋を1枚当たり30円として算出。

燃料代：重油1L当たり40円，軽油1L当たり70円として算出。

副資材費：もみ殻1,000円/tとして算出。

点検・補修費：設備機器の2%を想定して算出。

(3) 維持管理費

人件費を1人4,500千円/yとして算出。

(4) 収入

堆肥販売費：15kg袋詰めを300円/袋及びバラ売りで5,000円/tとして算出。

処理受託費：500円/tとして算出。

(5) 環境負荷軽減効果

堆肥利用分のアンモニア製造にかかるCO₂排出量の削減が可能である。

(6) 堆肥化のコスト試算結果

巻末資料Bの付表1～6及びフローに基づき，堆肥化のコストを算定した結果をTable 14に示す。建設費は20年償却として算出した。建設費，維持管理費について，スケールメリットが出ている。

b メタン発酵

乳牛糞尿と生ごみを原料バイオマスとして試算した。

(1) 建設費

次のA，B，C，Dの4ケース毎に，各々25，50，100t/dの原料バイオマス再資源化する場合について，計12通りの試算を行った。

A：牛糞尿をメタン発酵後，消化液を液肥利用するケー

Table 14 堆肥化のコスト試算結果
Cost for composting

原料	規模 (t/d)	支出		収入		総コスト計	
		建設費 (百万円)	維持管理費 (百万円/y)	販売利益 (百万円/y)	原料受入費 (百万円/y)		合計 (百万円/y)
乳牛糞	25	930	46.98	51.42	4.56	55.98	1,215
	50	1,350	76.21	102.83	9.13	111.96	1,310
	100	2,000	135.96	205.66	18.25	223.91	1,241
生ごみ	25	960	44.12	28.65	136.88	165.52	-988
	50	1,350	69.83	57.30	273.75	331.05	-3,199
	100	2,000	123.42	114.59	547.50	662.09	-7,773

ス

前処理：受入槽 + 破砕処理 + 固液分離

変換：メタン発酵 + 液肥貯留，バイオガス貯留 + 発電 + 熱利用

B：生ごみをメタン発酵後，消化液を液肥利用するケース

前処理：受入槽 + 破砕処理

変換：メタン発酵 + 液肥貯留，バイオガス貯留 + 発電 + 熱利用

C：牛糞尿をメタン発酵後，消化液を固液分離し，固形分は堆肥化，液分は水処理するケース

前処理：受入槽 + 破砕処理 + 固液分離

変換：メタン発酵 + 固液分離 + 水処理，バイオガス貯留 + 発電 + 熱利用及び固液分離汚泥の堆肥化（堆肥化は今回のコスト試算に含まない）

D：生ごみをメタン発酵後，消化液を固液分離し，固形分は堆肥化，液分は水処理するケース

前処理：受入槽 + 破砕処理

変換：メタン発酵 + 固液分離 + 水処理，バイオガス貯留 + 発電 + 熱利用及び固液分離汚泥の堆肥化（堆肥化は今回のコスト試算に含まない）

(2) 運転経費

人件費，電力使用量，上水使用量，薬剤，燃料費を算出。

(3) 維持管理費

経年補修費を建設費の1%として算出。

(4) 収入

以下の販売単価を適用。

- 牛糞尿受入費 : 500円/t
- 生ごみ受入費 : 15,000円/t
- 電力販売費 : 9.76円/kWh
- 堆肥販売費 : 5,000円/t

(5) 環境負荷軽減効果

年間の売電量は，Table 15に示すようになり，本電

力量に見合う電力を発電するために発電所で必要となる化石燃料（CO₂排出）が削減可能である。乳牛糞尿を対象に水処理までを行う場合には，ガス発生量が少なく発電量より施設電力消費量の方が大きいため，売電量はゼロとなっている。

(6) メタン発酵のコスト試算結果

巻末資料Bの附表7～18及びフローに基づき，メタン発酵のコストを算定した結果をTable 16に示す。25t/d，50t/d，100t/dの施設における変換量あたりの単価比は，1：0.87：0.76であり，集約化によるスケールメリットが表れている。

c 炭化

乳牛糞と生ごみを原料バイオマスとして試算した。

(1) 建設費

炭化炉形式：内熱式ロータリーキルン炭化炉

設備能力：30 t/24h

設置面積：約500m² (20m × 25m)

総建設費：5億円 (対象物：生ごみ)

(2) 支出

運転条件：305d/y，24 h/d

必要人数：7～8人

主なユーティリティ：A重油，電気

(3) 収入

原料受入単価は，乳牛糞500円/t，生ごみ15,000円/tに設定。炭（製品）の販売単価は，乳牛糞を原料とする炭化物は10,000円/tと設定。生ごみを原料とする炭化物は，含有する塩分濃度が高くなると予想されるので1,000円/tと設定。

(4) 環境影響

乳牛糞や生ごみ等の含水率が高い原料では，燃料（A重油を想定）を多量に消費する。さらに，発電設備の設置は見込めず，使用する電気量を削減する手段もないため，環境負荷が増大する。換算係数として，A重油 1.0L = 原油 1.01L，電気 1kWh = 原油 0.265Lを使用

Table 15 メタン発酵による売電量
Electric power selling by methane fermentation

原料 (消化液の取扱い方法)	規模 (t/d)	売電量 (千kWh/y)
乳牛糞尿 (液肥利用)	25	46
	50	129
	100	321
生ごみ (液肥利用)	25	1,092
	50	2,352
	100	4,999
乳牛糞尿 (堆肥利用 + 水処理)	25	0
	50	0
	100	0
生ごみ (堆肥利用 + 水処理)	25	221
	50	785
	100	2,170

Table 16 メタン発酵によるコスト試算結果
Cost for methane fermentation

原料	規模 (t/d)	支 出		収 入			総コスト (百万円)
		建設費 (百万円)	維持管理費 (百万円/y)	販売利益 (百万円/y)	原料受入費 (百万円/y)	合計 (百万円/y)	
乳牛糞尿 (液肥利用)	25	540	24.25	9.43	4.56	13.99	1,015
	50	940	33.47	19.22	9.13	28.34	1,512
	100	1,637	46.37	39.02	18.25	57.27	2,238
生ごみ (液肥利用)	25	1,090	33.33	18.51	136.88	155.38	-806
	50	1,898	49.93	38.62	273.75	312.37	-2,402
	100	3,304	76.21	80.11	547.50	627.61	-6,072
乳牛糞尿 (堆肥利用 + 水処理)	25	900	51.77	12.46	4.56	17.02	2,045
	50	1,567	86.13	25.20	9.13	34.33	3,387
	100	2,728	143.46	50.49	18.25	68.74	5,586
生ごみ (堆肥利用 + 水処理)	25	1,350	53.71	11.43	136.88	148.31	133
	50	2,350	89.62	26.48	273.75	300.23	-687
	100	4,092	146.39	58.80	547.50	606.30	-3,060

し、例として、原料が生ごみで施設規模が25t/dの場合を試算すると、燃料使用量731,050 L/y、電気使用量559,000 kWh/yとなり、A重油換算で環境負荷が146.7m³/yの増加となる。

(5) 炭化のコスト試算結果

巻末資料Bの付表19~24及びフローに基づき、炭化のコストを算定した結果を、Table 17に示す。スケールメリットとして、次のことがあげられる。

運転に必要な人員は、小規模施設でも大規模施設でもあまり変わらないので、施設が大規模化するほど、単位処理量当りに必要となる人件費が削減できる。

機器点数や建設期間などの点で、施設が大規模化するほど、単位処理量当りに必要となる建設費が削減できる。

原料の含水率や発熱量など、性状変動がある場合、大規模施設の方がその変動を受けにくく、より安定運転が可能となる。

d 飼料化

(1) 試算の前提条件及び建設費

ここでの検討は、原料の品質及び量の確保が安定している事業所排出の食品残さ(おから)を飼料化する事業を想定した。検討した飼料化施設のフローをFig.23に示す。

Table 17 炭化のコスト試算結果
Cost for carbonization

原料	規模 (t/d)	支出		収入		総コスト計	
		建設費 (百万円)	維持管理費 (百万円/y)	販売利益 (百万円/y)	原料受入費 (百万円/y)		合計 (百万円/y)
乳牛糞	25	480	86.67	5.49	4.56	10.05	2,252
	50	850	137.10	10.98	9.13	20.11	3,615
	100	1,450	232.40	21.96	18.25	40.21	6,019
生ごみ	25	500	84.35	0.73	136.88	137.61	-315
	50	900	131.59	1.46	273.75	275.21	-1,522
	100	1,500	220.62	2.93	547.50	550.43	-4,346

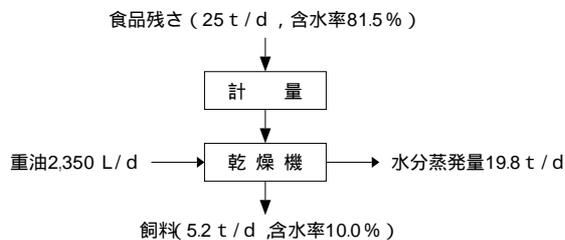


Fig.23 検討した飼料化施設のフロー
Flow of processing to feed

Table 18 施設規模毎の建設費と必要面積
Construction cost and needed area by scale of facilities of processing to feed

規模 (t/d)	25	50
建設費 (百万円)	500	850
必要面積 (m ²)	400	600

す。施設の運転時間はユーティリティが低く抑えられるよう1日24時間、年間300日運転するものとしている。規模毎の建設費と必要面積はTable 18に示すように算出した。建設費には、設備費、電気計装設備、土木建築工事を含んでいる。

(2) 支出

運転職員は6人(8時間2人の3交替制)と想定。飼料化施設では乾燥工程が主となるため、熱源である燃料代が多くなる。定期補修費は20年間に必要な費用を1年間に平均して算出。算出値をTable 19に示す。

(3) 収入

原料受入費は15,000円/t、販売費は1,000円/tと想定。算出値をTable 20に示す。購入者に対して製品の品質・量の面で安定供給することができれば、この販売価格はさらに高いものに設定できる。

(4) 使用エネルギー

施設の運転に係る重油、電力消費量を原油換算するとTable 21のようになる。

(5) 飼料化のコスト試算結果

巻末資料Bの付表25,26及びフローに基づき、飼料化のコストを算定した結果をTable 22に示す。50t/d規模を25t/d規模と比較すると、ユーティリティの中の水道、薬品、燃料にかかる費用はほぼ2倍量必要となる。

Table 19 施設規模毎の支出額
Expenditure by scale of facilities of processing to feed

規模 (t/d)	25	50
支出 (千円/y)	64,066	98,349
(内訳) 人件費	27,000	27,000
電気代	5,062	7,593
水道代	1,008	2,016
薬品代	1,800	3,600
燃料代	24,696	49,140
定期補修費	4,500	9,000

Table 20 施設規模毎の収入額
Income by scale of facilities of processing to feed

規模 (t/d)	25	50
収入 (千円/y)	138,459	227,880
(内訳) 原料受入費	136,875	225,000
飼料販売費	1,584	2,880

Table 21 検討規模での使用エネルギー
Energy consumption for operation

規模 (t/d)	25	50
原油換算量(kL/y)	825	1,587
(内訳) 重油使用量(kL/y)	705.6	1,404
消費電力量(kWh/y)	432,000	648,000

(換算)重油1kL = 原油1.01kL, 電力量10,000kWh = 原油2.6kL

Table 22 おから飼料化のコスト試算結果
Cost for processing to feed

規模 (t/d)	支 出		収 入			総コスト 計 (百万円)
	建設費 (百万円)	維持管理費 (百万円/y)	販売利益 (百万円/y)	原料受入費 (百万円/y)	合計 (百万円/y)	
25	500	62.27	1.58	136.88	138.46	-774
50	850	98.35	2.88	273.75	276.63	-2,716

人件費については変換規模が2倍になっても人数を増やさなくとも運転が可能であるためスケールメリットが出る。建設費も同様で規模が拡大することによりスケールメリットが出る。

e B D F 化

廃食油を原料バイオマスとして試算した。

(1) 建設費

5トン/dのB D F生産設備の概算建設費：4億円
(敷地面積 1,700m²)

(2) 支出

- ・人件費：従業員を4名として算出。
- ・基本電力料金：電気設備の設備容量の合計から、約電力を150kWとして算出。
- ・従量電力料金：稼働日数330d/y、稼働時間8h/d、稼働率2/3として算出。
- ・上水道：1tのB D F生産に、1.2tの上水道が必要として算出。
- ・工水：1tのB D F生産に、70tの工水が必要として算出。
- ・廃水処理：物質収支より算出。
- ・薬剤費：K O Hの量を物質収支より算出。
- ・燃料費：1tのB D F生産に、126Lの灯油が必要として算出。
- ・副資材費用：メチルアルコールの量を物質収支より算出。
- ・点検・補修費：建設費の3%として算出。

(3) 収入

- ・原料受入費：20円/Lを支払うとして算出。
- ・販売費：5t (5.82kL) /dを販売するとして算出。

(4) B D F 化のコスト試算結果

廃食油の収集量が少ないことから、一箇所当たり5t/dの規模についてのみ検討した。巻末資料Bの付表27及びフローに基づき、B D F化のコストを算定した結果をTable 23に示す。

Table 23 B D F 化のコスト試算結果
Cost for conversion to BDF

規模 (t/d)	支 出		収 入			総コスト 計 (百万円)
	建設費 (百万円)	維持管理費 (百万円/y)	販売利益 (百万円/y)	処理受託費 (百万円/y)	合計 (百万円/y)	
5	40	65.36	149.65	-40.33	109.32	819

f 直接燃焼

木くずを原料バイオマスとして試算した。

(1) 建設費

ボイラー形式：流動層ボイラー

発電方法：復水蒸気タービン + 発電機

蒸発量：7.5t/h

発電量：1,000kW (所内180kW含む)

総建設費：10億円

必要面積：200m² (50m × 40m)

必要人員：1人 (主任技術者) + 2人 × 4班 = 9人

(2) 支出

総事業期間を通して年間平均で算出。

(3) 収入

原料受入費と維持管理費を計上。

(4) 環境負荷軽減効果

送電端出力値をもとに算出すると、50t/d、100t/d規模の場合、それぞれ原油換算で1970kL、3940kLの削減効果が認められた。

(5) 直接燃焼のコスト試算結果

巻末資料Bの付表28、29及びフローに基づき、直接燃焼のコストを算出した結果をTable 24に示す。バイオマスボイラー発電は変換量が倍になれば発電量も倍になる。しかし、運転人員は施設のオートメーション化により増加させる必要がほとんどない。また、建設費もスケールメリットが大いに期待できる。このことより事業としてとらえるとスケールメリットが多い事業といえる。但し、スケールメリットを追求するがゆえに燃料となるバイオマスの供給が途絶えるということがないように、バイオマスの賦存量及び供給可能量調査を厳密に行う必要がある。

g 溶融ガス化

(1) 前提条件

コスト試算に当たって、以下を前提条件とした。

- ・可燃ゴミを原料バイオマスとする。
- ・通常の一般廃棄物処理施設と同様の2炉構成。
- ・年間連続して稼働の場合と年間変換量と同じにして、Table 25に示す現実的な年間稼働率で炉規模を設定。
- ・25t/dでは小規模すぎるため、50t/d、100t/d、200t/dの3ケースについて試算。
- ・各ケースの物質収支を算出し、各種コストを算出。

(2) 建設費

建設費は、自治体向け一般廃棄物処理施設と同等の仕

Table 24 直接燃焼のコスト試算結果
Cost for direct burning

規模 (t/d)	支 出		収 入			総コスト 計 (百万円)
	建設費 (百万円)	維持管理費 (百万円/y)	販売利益 (百万円/y)	原料受入費 (百万円/y)	合計 (百万円/y)	
50	1,000	76.81	78.47	90.85	169.32	-340
100	1,400	95.40	156.94	181.70	338.64	-2,765

Table 25 施設の年間稼働計画
Annual operation plan of direct burning

	稼働状態	1号	2号	d/y	備考
1	2炉稼働			282	
2	1炉稼働, 1炉休止		x	38	休止炉はメンテナンス(予防保全)
3		x		38	
4	2炉休止	x	x	7	ボイラー定期検査
延べ稼働日数				640	

ガス化のコストを算定した結果をTable 26に示す。建設費はスケールアップ効果が存在し、加えて、発電効率もスケール効果で向上すること、運転人員は一定であること等のため、コストのスケールアップ効果が期待できる。収入と支出がバランスし、総合コストがゼロになるように原料受入費を計算すると、50t/d, 100t/d, 200t/d規模の場合、それぞれ約27,500円/t, 約19,000円/t, 約13,500円/tとなる。その比率は

Table 26 溶融ガス化のコスト試算結果
Cost for gasification

規模 (t/d)	施設規模 (t/d×炉数)	支 出		収 入			総コスト 計 (百万円)
		建設費 (百万円)	維持管理費 (百万円/y)	販売利益 (百万円/y)	原料受入費 (百万円/y)	合計 (百万円/y)	
50	28.5×2	3,500	251.27	12.96	273.75	286.71	4,541
100	57×2	6,000	310.84	68.67	547.50	616.17	2,893
200	114×2	10,000	414.01	183.85	1095.00	1278.85	-2,297

注 処理量50 t/dの場合、年間処理量18,250t/y (= 50×365)と年間延べ稼働日数から、施設規模28.5t/d・炉×2炉とした。

様を想定して算出。

- 50t/d(28.5t/d×2炉) : 35億円
- 100t/d(57t/d×2炉) : 60億円
- 200t/d(114t/d×2炉) : 100億円

(3) 運転経費

- ・人件費：操業人員19人(交代4×4人, クレーン1人, 整備2人)で算出。
- ・電力：稼働状態を考慮して基本契約枠及び売電量を算出(50t/d, 1炉稼働時は買電)
- ・上下水：プラント用水のほか、洗車用水, 生活用水(施設運転員事務室, 風呂)を考慮。
- ・燃料費：コークス, 灯油のコストを算出。
- ・薬剤：石灰石(塩基度調整剤), 消石灰(バグ反応剤), アンモニア(脱硝用)のコストを算出。
- ・維持管理費(点検補修費)：20年程度の設備維持を想定して算出。

(4) 収入

原料受入費(15,000円/t)のほかに、余剰電力(9.76円/kWh)及び溶融物(スラグ, メタル150円/t)の販売収入を算出。

(5) 環境負荷軽減効果

年間の売電量で評価すると、次のように本電力量に見合う電力を発電するために発電所で必要となる化石燃料(CO₂排出)が削減可能である。

- 50t/d : 売電量 1,306千kWh/y
(但し, 1炉運転時に買電量283千kWh/dのため, 売電量 - 買電量=1,023千kWh/y)
- 100t/d : 売電量 6,990千kWh/y
- 200t/d : 売電量 18,745千kWh/y

(6) 溶融ガス化のコスト試算結果

巻末資料Bの付表30~32及びフローに基づき、溶融

1:0.69 : 0.49とスケールアップメリットが大きいと言える。但し、スケールアップによる原料受入費低減の一方で、原料確保のために収集輸送が長距離(広域)化する場合は、収集輸送コスト上昇やそれによる環境負荷上昇があるので、変換と収集輸送を併せたトータル評価が必要になる。

h 固形燃料化

可燃ゴミを原料バイオマスとして試算した。

(1) 建設費

全国で稼働中の実施設から比較的新しいものを選び、その建設費をもとに日量25t, 50t, 100t変換のRDF化施設について、それぞれの建設費をTable 27のように試算した。

(2) 支出

主な支出として、電力費, 燃料費, 消耗品・保守点検費がある。原料によっては、乾燥用燃料費および破砕刃など消耗品費の割合が高くなる。

(3) 収入

収入としては、原料受入費及び生産したRDFの販売費がある。ただし、RDFの販売費は、その需要先や輸送コストを考慮すると、収入として期待できない場合が多い。

Table 27 RDF化施設の建設費および必要面積
Construction cost and needed area of RDF facilities

規模 (t/d)	25	50	100
建設費(百万円)	2,560	4,020	6,380
機械設備(百万円)	2,160	3,220	4,780
建築面積(m ²)	2,000	4,000	8,000

(4) 環境負荷低減効果

RDFの製造・利用により、小規模のゴミ処理施設からもエネルギーを回収することが可能となる。RDFの利用先としては、ボイラーによる熱利用や発電などがある。RDFの発熱量を4,000kcal/kgと仮定すると、単純に発熱量を重油換算した場合、環境負荷低減効果は約0.4kg-重油/kg-RDFとなる。ただし、製造に関わるエネルギーや製品の輸送等を考慮すると、使用エネルギーが回収エネルギーを上回る場合も考えられる。

(5) 固形燃料化のコスト試算結果

巻末資料Bの付表33~35及びフローに基づき、固形燃料化のコストを算定した結果をTable 28に示す。今回の検討では、変換規模の増加にともない建設単価が若干低下した。維持管理費については、燃料費や薬剤費など、処理量に比例して増加するものの割合が高いことから、顕著なスケールメリットは見られなかった。

Table 28 固形燃料化のコスト試算結果
Cost for conversion to RDF

規模 (t/d)	支出		収入			総コスト (百万円)
	建設費 (百万円)	維持管理費 (百万円/y)	販売利益 (百万円/y)	原料受入費 (百万円/y)	合計 (百万円/y)	
25	2,560	115.80	4.56	136.88	141.44	3,327
50	4,020	206.22	9.13	273.75	282.88	4,497
100	6,380	377.97	18.25	547.50	565.75	5,814

3 結果の総括

乳牛糞尿と食品廃棄物(生ごみ等)の再資源化に必要な経費について、再資源化技術と施設規模による比較を行った。必要経費は、建設費の負担分(補助を受けない金額)を耐用年数と考えられる20年で割った額と年維持管理費の和である。結果をFig.24~29に示す。

乳牛糞尿を対象とした場合については、適応技術として湿式メタン発酵(「液肥利用」と「堆肥化+水処理」の2ケース)、炭化及び堆肥化を検討した。何れの場合もコスト収支はマイナスとなった。スケールメリットについては、施設規模の拡大によって収支改善の傾向があると判断できた。

食品廃棄物(生ごみ等)を対象とした場合については、適応技術として湿式メタン発酵(液肥利用と堆肥化+水処理の2ケース)、炭化、溶融ガス化、固形燃料化及び堆肥化を検討した。溶融ガス化と固形燃料化を除いてコ

スト収支はプラスとなった。また、施設規模が大きくなるに従ってコスト収支のプラス幅が大きくなることからスケールメリットがあると判断できた。

建設費に対する補助の有無に関しては、当然、補助ありの方が再資源化施設のライフサイクルコストを地元負担という点では抑えることになるが、補助金は元々税金であり、国益という観点では補助なしをベースに検討を進めるべきである。

なお、ここでは各種再資源化施設単独の試算を行っており、収集・運搬費を考慮していないこと、製品は100%販売できるとしていること、売電価格は買電電力の削減とみなし買電価格と等価と設定していることなどにより、現実よりも採算性が見込める設定となっていることに留意する必要がある。需要がなければ、有用と思われる製品でも廃棄物となる。だからこそ、バイオマスの利活用計画は着実な需要のある物質・エネルギーを生成していくことが重要と言える。一方、バイオマスの利活用は、再資源化施設における採算性だけでなく、外部不経済の解消効果や地域の社会・経済へのプラスの波及効果も勘案すべきであることは言うまでもない。

結 言

持続可能なバイオマス利活用システムを構築するためには、種々の課題(柚山ら, 2004)を解決し、再生資源の需要を見極めるなど地域を適切に診断(柚山, 2005)する必要がある。

本研究では、バイオマスの効率的な利活用システム構築に資するという観点から、各種再資源化技術の特性と経済性をとりまとめた。本報で整理した情報は全国の代表的な数値を算出したものであり、それぞれの地域で精査していく場合には追加の情報が必要となる。しかし、想定されるバイオマス再資源化技術を適用した場合に、地域の中でシステムとして成立するかどうかの一次判定には十分な精度を有している。

これらの情報の精度向上や拡張は、バイオマス成分データベース(中村・柚山, 2005)の強化や各種再資源化技術を適用した実績値の盛り込みによって可能となる。実績値等が得られた場合には情報を提供頂きたい。提供頂いた情報は、「バイオマス再資源化技術の性能・コスト評価」情報に組み込み、共有データとして活用頂けるように整備したいと考えている。

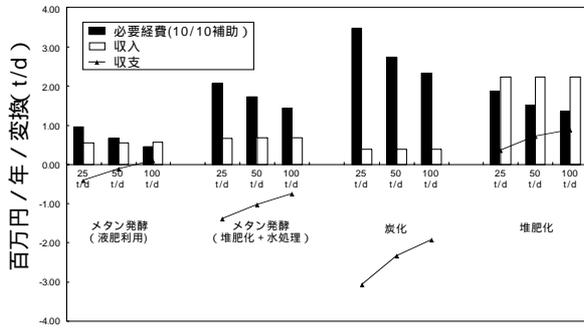


Fig.24 乳牛糞尿の再資源化に必要な経費の比較 (建設費100%補助の場合)

Comparison of conversion costs for cow wastes (under 100% subsidy of construction cost)

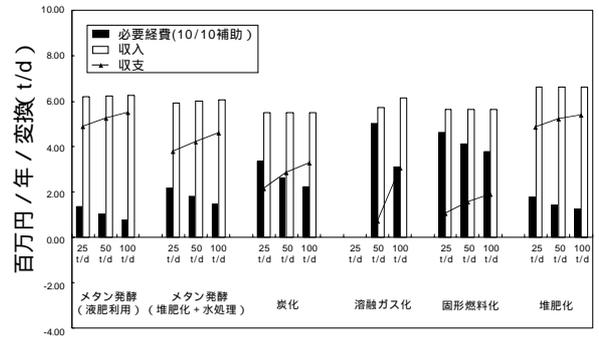


Fig.27 食品廃棄物(生ごみ等)の再資源化に必要な経費の比較(建設費100%補助の場合)

Comparison of conversion costs for food wastes (under 100% subsidy of construction cost)

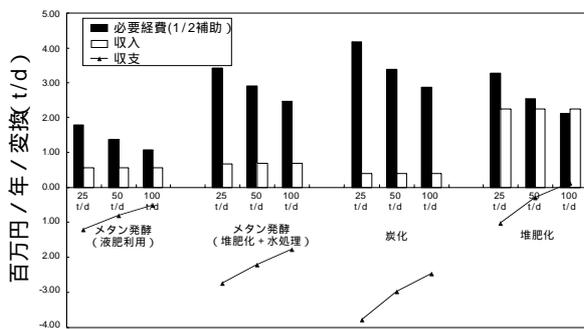


Fig.25 乳牛糞尿の再資源化に必要な経費の比較 (建設費1/2補助の場合)

Comparison of conversion costs for cow wastes (under 50% subsidy of construction cost)

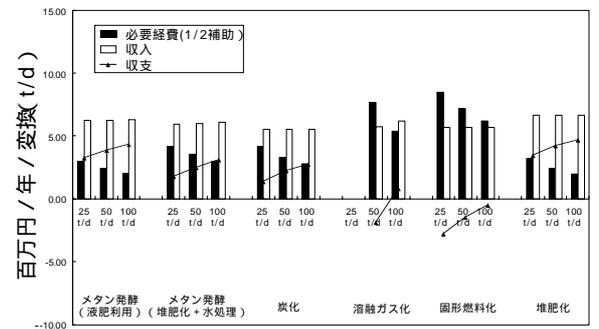


Fig.28 食品廃棄物(生ごみ等)の再資源化に必要な経費の比較(建設費1/2補助の場合)

Comparison of conversion costs for food wastes (under 50% subsidy of construction cost)

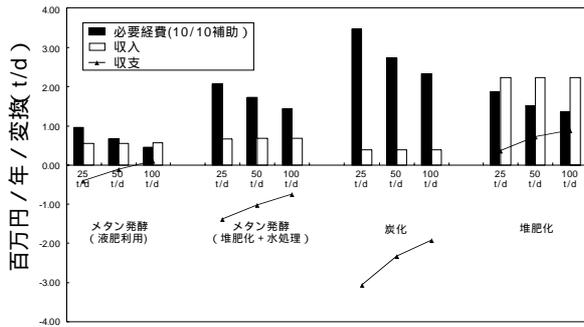


Fig.26 乳牛糞尿の再資源化に必要な経費の比較 (補助なしの場合)

Comparison of conversion costs for cow wastes (under no subsidy of construction cost)

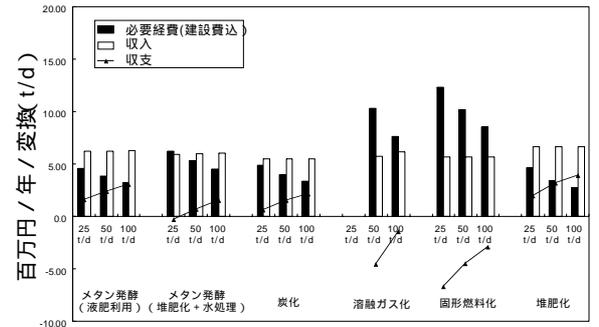


Fig.29 食品廃棄物(生ごみ等)の再資源化に必要な経費の比較(補助なしの場合)

Comparison of conversion costs for food wastes (under no subsidy of construction cost)

参考文献

- 1) 阿部 亮 (2004) : 食品廃棄物の飼料化の現状と展望および課題, 化学工学会関東支部第5回旬の技術・見学講演会資料, 6
- 2) バイオマス情報ヘッドクォーター : <http://www.biomass-hg.jp/index.html> (2006年3月1日最終確認)

3) バイオマス・ニッポン総合戦略:

<http://www.maff.go.jp/biomass/index.html> (2006年3月1日最終確認)

- 4) 中央畜産会 (2000) : 堆肥化施設設計マニュアル, 6
- 5) 地域資源循環技術センター (2005) : 平成16年度農村資源利活用検討調査委託業務報告書 - メタン発酵利活用施設技術指針(案) -

- 6) 畜産環境整備機構 (1998) : 家畜ふん尿処理・利用の手引き, 5
- 7) 畜産環境整備機構 (2001a) : 家畜排せつ物を中心としたメタン発酵処理施設に関する手引き
- 8) 畜産環境整備機構 (2001b) : 家畜排せつ物を中心としたメタン発酵処理施設に関する手引き, 37
- 9) 畜産環境整備機構 (2001c) : 家畜排せつ物を中心とするメタン発酵処理施設に関する手引き, 55
- 10) 畜産環境整備機構 (2001d) : 家畜排せつ物を中心としたメタン発酵処理施設に関する手引き, 56
- 11) 畜産環境整備機構 (2005) : 堆肥の品質実態調査報告書
- 12) 早川豊雄・岩尾 充・根立 修・藤井芳晴・安部剛 (2002) : メタン発酵を付加した汚泥再生処理センターの運転報告 (下伊那西部衛生施設組合の事例), 第23回全国都市清掃研究発表会講演論文集, 全国都市清掃会議, 397-399
- 13) 加藤明德・野池達也 (1999) : 各種農畜産廃棄物の嫌気性消化処理におけるメタンガス発生量, 廃棄物学会論文誌, 10(1), 1-8
- 14) 李 玉友 (2004) : 嫌気性処理, 須藤隆一編著「水環境保全のための生物学」, 産業用水調査会, 144
- 15) 李 玉友 (2005) : メタン発酵技術, 講座「バイオマス利活用」(その3), 農業土木学会誌, 73(8), 77-82
- 16) 中村一夫 (2001) : 厨芥類を中心とする今後のごみ処理システムの方向性について, エネルギー・資源, 22(3), 44-48
- 17) 中村真人・岩淵和則・柚山義人 (2005) : 堆肥化技術, 講座「バイオマス利活用」(その2), 農業土木学会誌, 73(7), 55-60
- 18) 中村真人・柚山義人 (2005) : 各種バイオマス成分のデータベース整備, 農業工学研究所技報, 203, 57-80
- 19) 日本エネルギー学会編 (2002a) : バイオマスハンドブック, 65, オーム社
- 20) 日本エネルギー学会編 (2002b) : バイオマスハンドブック, 222, オーム社
- 21) 日本環境衛生センター (2000) : し尿・汚泥, ちゅう芥類等有機性廃棄物の地域総合リサイクル処理システム (仮称エコランド計画) 構想に関する委員会最終報告書, 84-94
- 22) 日本農業土木総合研究所 (2003a) : 平成14年度地域資源リサイクル等における事業効率化推進検討調査報告書, 第3章1-2
- 23) 日本農業土木総合研究所 (2003b) : 平成14年度地域資源リサイクル等における事業効率化推進検討調査報告書, 第3部
- 24) 日本農業土木総合研究所 (2003c) : 平成14年度地域資源リサイクル等における事業効率化推進検討調査報告書, 第3部, 8
- 25) 農業技術研究機構編 (2002) : 日本標準飼料成分表 (2001年版), 中央畜産会
- 26) 農林水産省 (2002) : 日本における主要なバイオマスのフロー, バイオマス・ニッポン総合戦略策定アドバイザリーグループ第2回会合配布資料 http://www.maff.go.jp/biomass/advisory/ad2/ad2_shiryo_t.htm
- 27) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (2002) : バイオマスエネルギー導入ハンドブック, 267
- 28) 清水紀久夫・米山 豊・竹野勝彦 (2002) : し尿系汚泥と生ごみを対象としたメタン発酵処理 (新潟県上越地域広域行政組合の実施例), 第23回全国都市清掃研究発表会講演論文集, (社) 全国都市清掃会議, 391-393
- 29) 凌 祥之, 東理 裕 (2005) : 炭化技術, 講座「バイオマス利活用」(その4), 農業土木学会誌, 73(9), 51-56
- 30) 有機質資源化推進会議編 (1997a) : 有機廃棄物資源化大事典, 54, 農文協
- 31) 有機質資源化推進会議編 (1997b) : 有機廃棄物資源化大事典, 304, 農文協
- 32) 有機質資源化推進会議編 (1997c) : 有機廃棄物資源化大事典, 330, 農文協
- 33) 柚山義人・森 淳・中村真人・清水夏樹 (2004) : 有機性資源の利活用推進方策, 農業土木学会誌, 72(8), 13-18
- 34) 柚山義人 (2005) : バイオマス利活用のための地域診断, 講座「バイオマス利活用」(その1), 農業土木学会誌, 73(6), 37-42
- 35) 全国都市清掃会議・廃棄物研究財団 (1999) : ごみ処理施設の計画・設計要領, 36
- 36) 全国都市清掃会議編 (2001) : 汚泥再生処理センター等施設整備の計画・設計要領, 37-38

Evaluation of Performance and Costs of Various Biomass Conversion Technologies

YUYAMA Yoshito, IKUMURA Takashi, OHARA Akihiko,
KOBAYASHI Hisashi and NAKAMURA Masato

Summary

Adequate biomass conversion technology must be adopted to promote sound biomass utilization system in a region. Characteristics of various feedstock biomass resources differ widely in terms of water content, decomposability, content of carbon and nitrogen. Basically, thermo conversion technologies and biological conversion technologies should be chosen according to the water content of biomass.

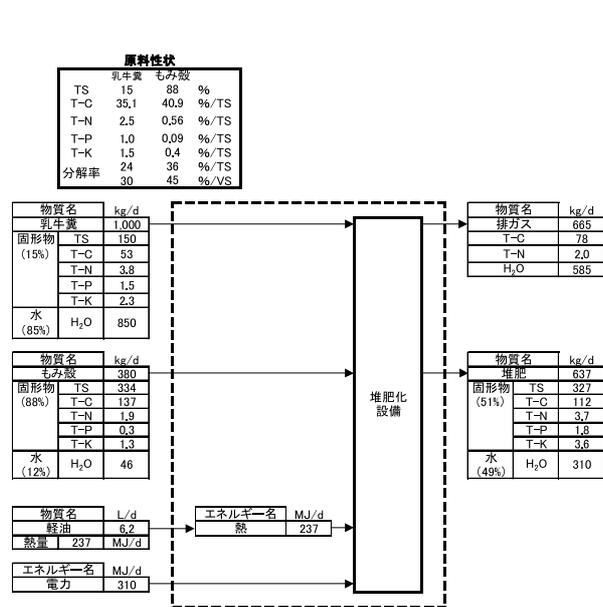
We evaluated the performance and costs of various biomass conversion technologies based on material and energy balance. Technologies such as composting, methane fermentation, carbonization, processing to feed, conversion to BDF, direct burning, gasification, conversion to RDF, were focused on. Objective biomass included livestock wastes, food wastes, rice husks, wood residues, sewage sludge and others. Material and energy balance was estimated considering feasible conversion capacity within the range from 5 to 50 tons daily. The income and expenditures through construction and operation of biomass conversion plants for 20 years was accounted for with conversion capacities of 25, 50 and 100 ton/day.

Designers of biomass utilization system can effectively use this information to diagnose plans in a region at the beginning stages.

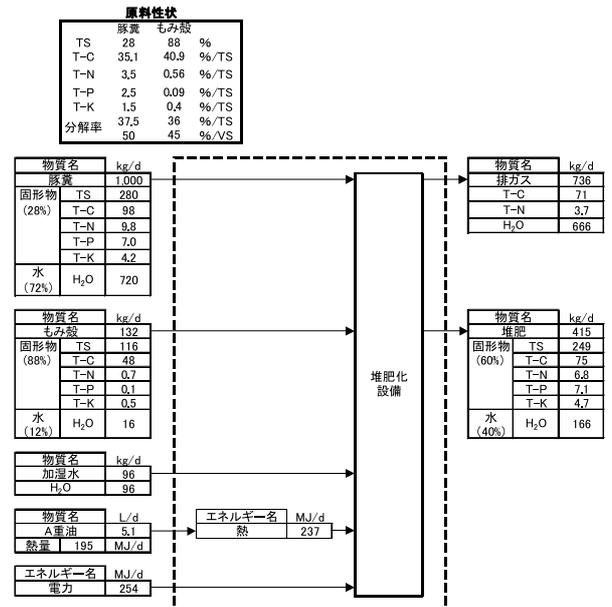
Keywords : conversion technology, conversion capacity, material and energy balance, cost, composting, methane fermentation, carbonization

巻末資料

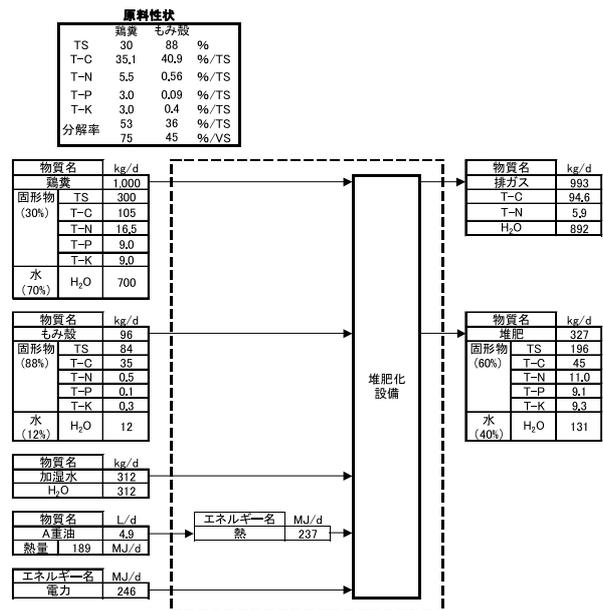
A. 物質収支とエネルギー収支の計算結果



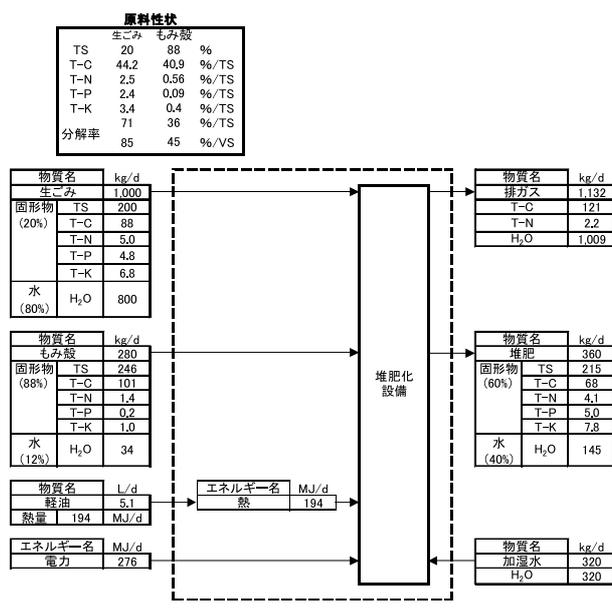
付図1 乳牛糞堆肥化(25t/d)の物質・エネルギー収支試算結果



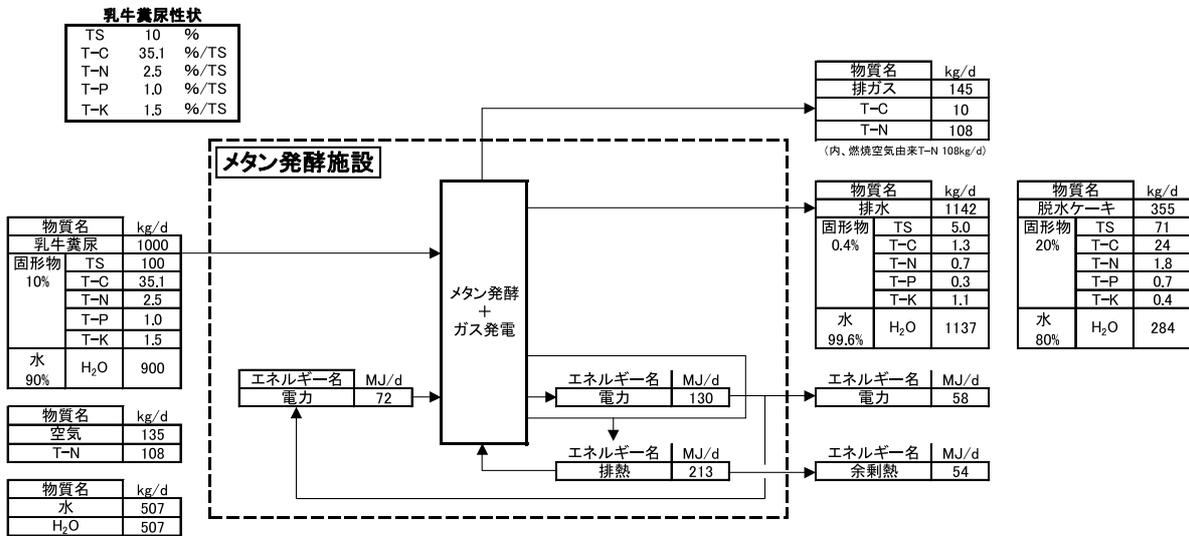
付図2 豚糞堆肥化(25t/d)の物質・エネルギー収支試算結果



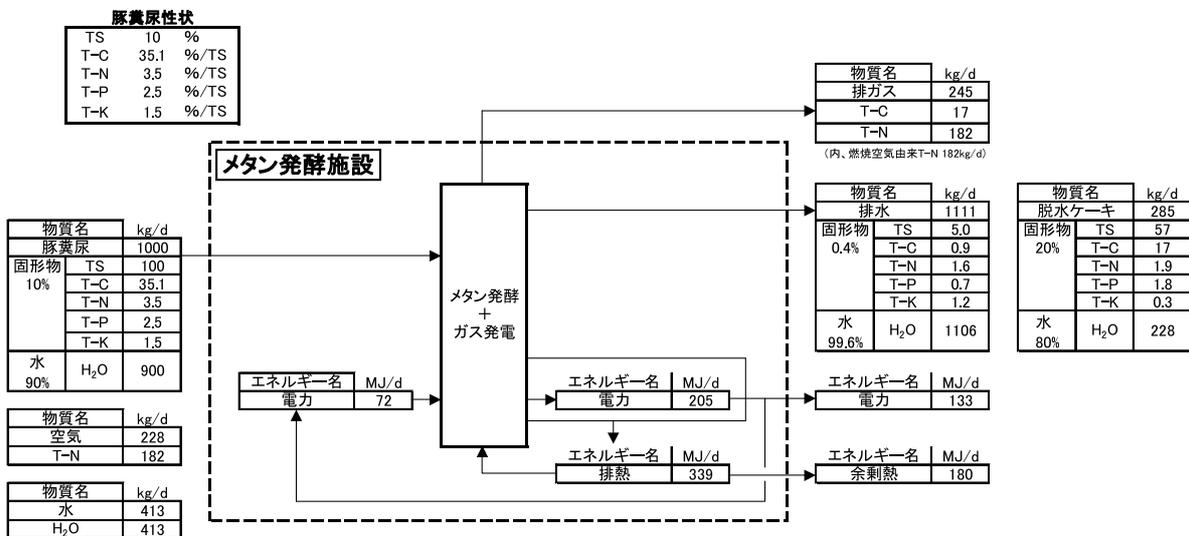
付図3 鶏糞堆肥化(25t/d)の物質・エネルギー収支試算結果



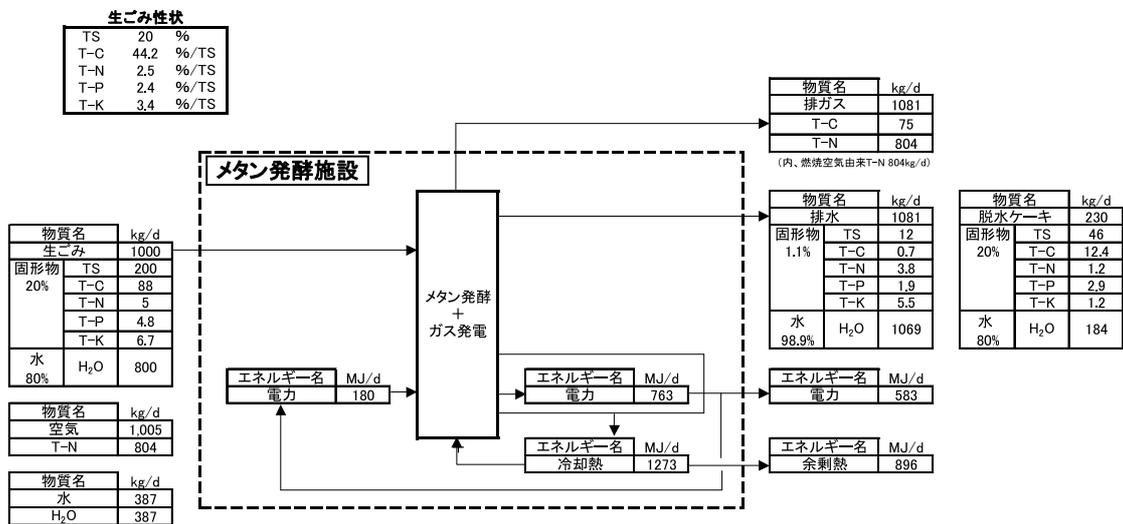
付図4 生ごみ堆肥化(25t/d)の物質・エネルギー収支試算結果



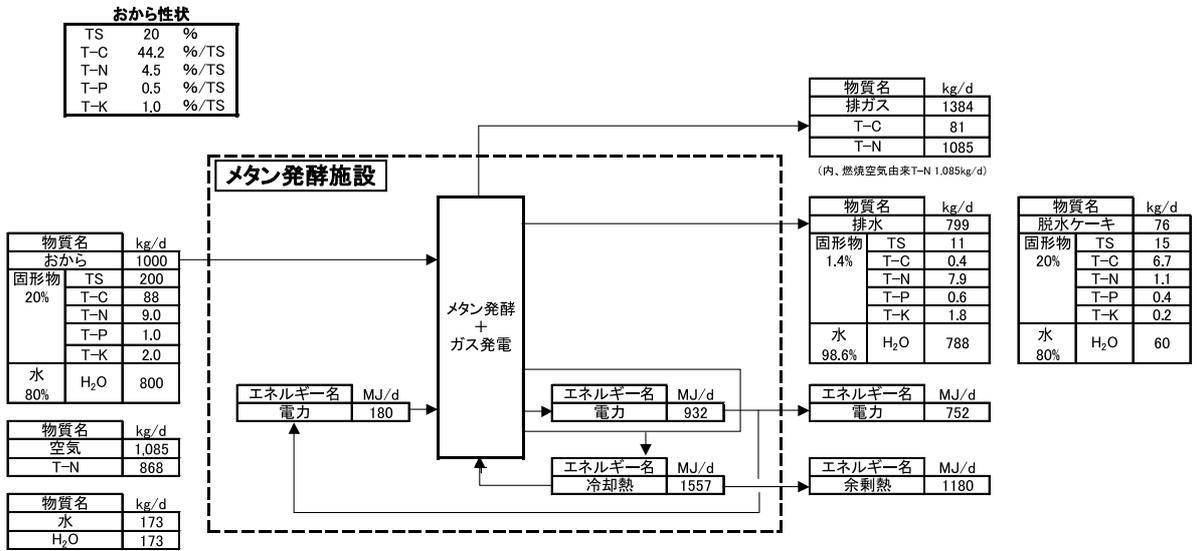
付図5 乳牛糞尿メタン発酵(25t/d)の物質・エネルギー収支試算結果



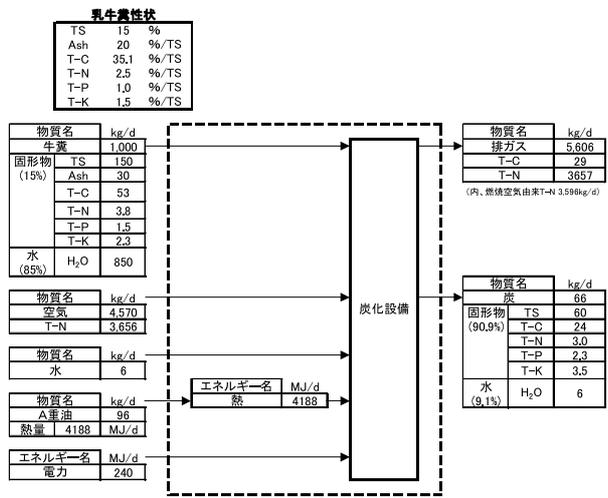
付図6 豚糞尿メタン発酵(25t/d)の物質・エネルギー収支試算結果



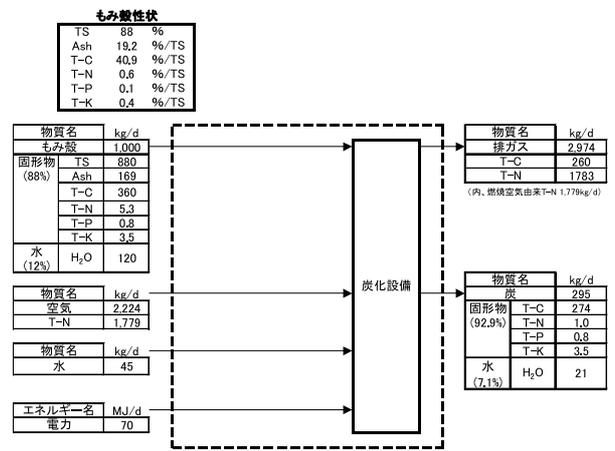
付図7 生ごみメタン発酵(25t/d)の物質・エネルギー収支試算結果



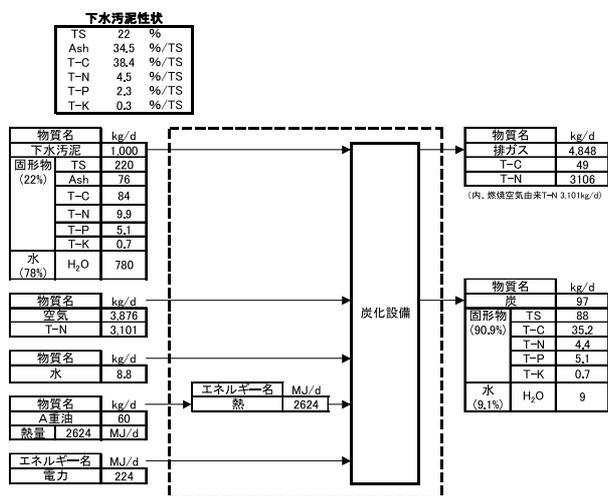
付図8 おからメタン発酵(25t/d)の物質・エネルギー収支試算結果



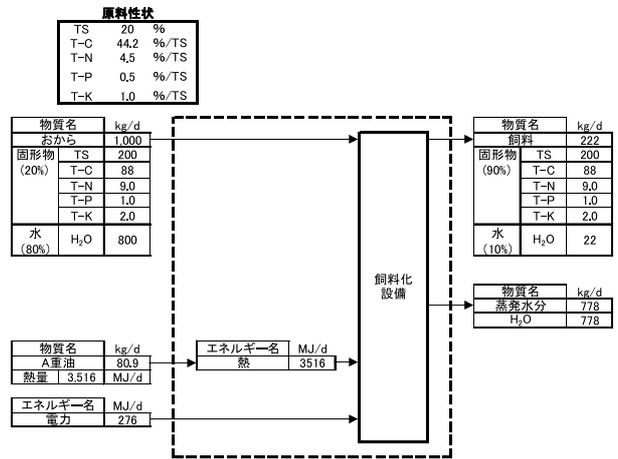
付図9 乳牛糞炭化(25t/d)の物質・エネルギー収支試算結果



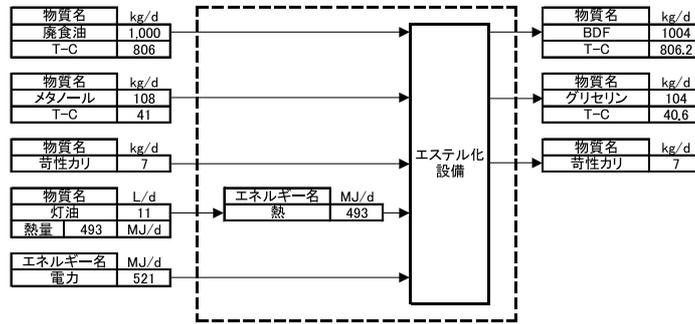
付図10 もみ殻炭化(25t/d)の物質・エネルギー収支試算結果



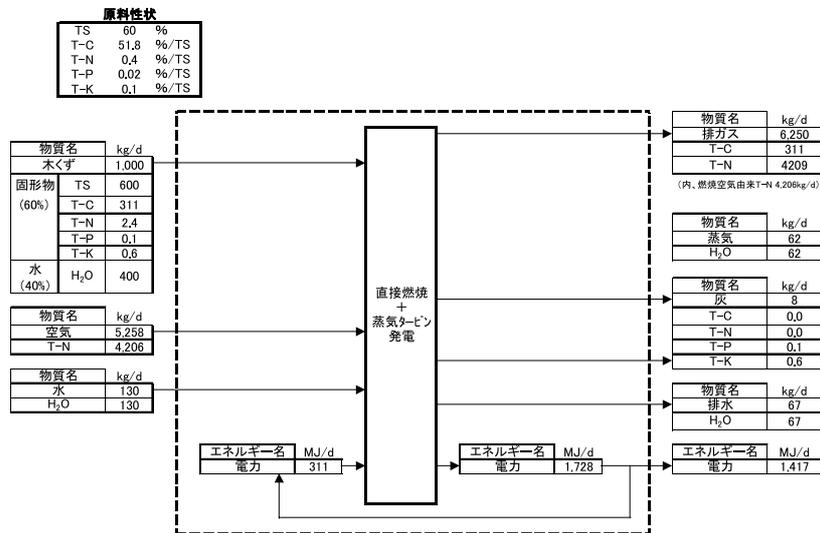
付図11 下水汚泥炭化(25t/d)の物質・エネルギー収支試算結果



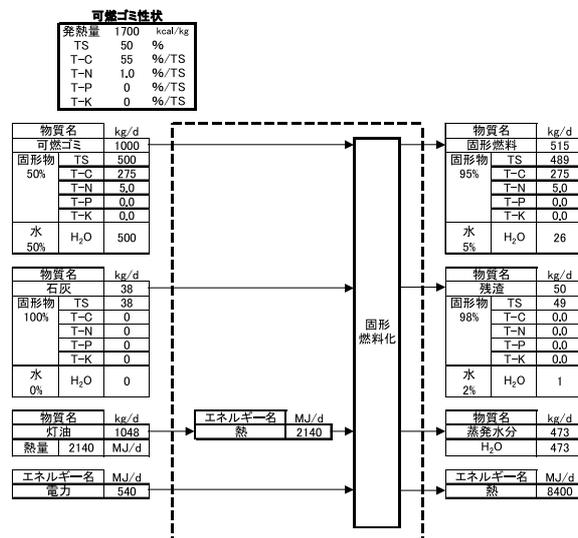
付図12 おから飼料化(5t/d)の物質・エネルギー収支試算結果



付図13 廃食用油BDF化(5t/d)の物質・エネルギー収支試算結果



付図14 木くず直接燃焼(50t/d)の物質・エネルギー収支試算結果



付図15 可燃ゴミ固形燃料化(25t/d)の物質・エネルギー収支試算結果

B. コスト試算結果

付表1 乳牛糞の堆肥化(25t/d)のコスト試算結果

1 計画		堆肥化	
変換技術		乳牛糞	
対象バイオマス		乳牛糞	
変換量	原料	25	t/d
	稼働日	250	d/y
	稼働日当り	36.5	t/稼働日

2 建設費 930,000千円

3 維持管理費及び収入

項目	数量	単位	単価	金額	備考
維持管理費	人件費	4人	4,500,000円/y・人	18,000千円/y	
	基本電力料金	204kW	14,100円/kW・y	2,876千円/y	東京電力 高圧電力A
	従量電力料金	744,600kWh/y	9.76円/kWh	7,267千円/y	東京電力 高圧電力A
	上水道	1,241t/y	円/t	215千円/y	東京23区
	工水	0t/y	円/t	0千円/y	
	下水道	0t/y	円/t	0千円/y	
	薬剤・消耗品費	97,942枚/y	30円/枚	2,938千円/y	袋代(製品コンポストの25%)
	燃料費	74,800L/y	40円/L	2,992千円/y	重油(乾燥)
	燃料費	52,120L/y	70円/L	3,648千円/y	軽油
	副資材費用	3,467t/y	1,000円/t	3,467千円/y	もみ殻
	点検・補修費			5,580千円/y	
	計			46,984千円/y	
	収入	原料受入費	9,125t/y	500円/t	4,563千円/y
製品販売費		4,407t/y	5,000円/t	22,035千円/y	バラ
		97,942袋/y	300円/袋	29,383千円/y	袋詰め
副産物販売費		0t/y	円/t	0千円/y	
売電電力料金		0kWh/y	円/kWh	0千円/y	
余剰熱量		0Mcal/y	円/Mcal	0千円/y	
計				55,980千円/y	

付表2 乳牛糞の堆肥化(50t/d)のコスト試算結果

1 計画		堆肥化	
変換技術		乳牛糞	
対象バイオマス		乳牛糞	
変換量	原料	50	t/d
	稼働日	250	d/y
	稼働日当り	73	t/稼働日

2 建設費 1,350,000千円

3 維持管理費及び収入

項目	数量	単位	単価	金額	備考
ランニングコスト	人件費	5人	4,500,000円/y・人	22,500千円/y	
	基本電力料金	380kW	14,100円/kW・y	5,351千円/y	東京電力 高圧電力A
	従量電力料金	1,385,175kWh/y	9.76円/kWh	13,519千円/y	東京電力 高圧電力A
	上水道	2,518t/y	円/t	526千円/y	東京23区
	工水	0t/y	円/t	0千円/y	
	下水道	0t/y	円/t	0千円/y	
	薬剤・消耗品費	195,884枚/y	30円/枚	5,877千円/y	袋代(製品コンポストの25%)
	燃料費	150,000L/y	40円/L	6,000千円/y	重油(乾燥)
	燃料費	105,777L/y	70円/L	7,404千円/y	軽油
	副資材費用	6,935t/y	1,000円/t	6,935千円/y	もみ殻
	点検・補修費			8,100千円/y	
	計			76,212千円/y	
	収入	原料受入費	18,250t/y	500円/t	9,125千円/y
製品販売費		8,814t/y	5,000円/t	44,070千円/y	バラ
		195,866袋/y	300円/袋	58,760千円/y	袋詰め
副産物販売費		0t/y	円/t	0千円/y	
売電電力料金		0kWh/y	円/kWh	0千円/y	
余剰熱量		0Mcal/y	円/Mcal	0千円/y	
計			111,955千円/y		

付表3 乳牛糞の堆肥化(100t/d)のコスト試算結果

1 計画		堆肥化	
変換技術		乳牛糞	
対象バイオマス		乳牛糞	
変換量	原料	100	t/d
	稼働日	250	d/y
	稼働日当り	146	t/稼働日

2 建設費 2,000,000千円

3 維持管理費及び収入

項目	数量	単位	単価	金額	備考
ランニングコスト	人件費	8人	4,500,000円/y・人	36,000千円/y	
	基本電力料金	690kW	14,100円/kW・y	9,729千円/y	東京電力 高圧電力A
	従量電力料金	2,518,500kWh/y	9.76円/kWh	24,581千円/y	東京電力 高圧電力A
	上水道	5,039t/y	円/t	1,246千円/y	東京23区
	工水	0t/y	円/t	0千円/y	
	下水道	0t/y	円/t	0千円/y	
	薬剤・消耗品費	391,768枚/y	30円/枚	11,753千円/y	袋代(製品コンポストの25%)
	燃料費	299,300L/y	40円/L	11,972千円/y	重油(乾燥)
	燃料費	211,554L/y	70円/L	14,809千円/y	軽油
	副資材費用	13,870t/y	1,000円/t	13,870千円/y	もみ殻
	点検・補修費			12,000千円/y	
	計			135,959千円/y	
	収入	原料受入費	36,500t/y	500円/t	18,250千円/y
製品販売費		17,628t/y	5,000円/t	88,140千円/y	バラ
		391,733袋/y	300円/袋	117,520千円/y	袋詰め
副産物販売費		0t/y	円/t	0千円/y	
売電電力料金		0kWh/y	円/kWh	0千円/y	
余剰熱量		0Mcal/y	円/Mcal	0千円/y	
計			223,910千円/y		

付表4 生ごみの堆肥化(25t/d)のコスト試算結果

変換技術		堆肥化	
対象バイオマス		生ごみ	
変換量	原料	25	t/d
	稼働日	250	d/y
	稼働日当り	36.5	t/稼働日

2 建設費 960,000千円

3 維持管理費及び収入

項目	数量	単位	単価	金額	備考
維持管理費	人件費	4人	4,500,000円/人	18,000千円/y	
	基本電力料金	192kW	14,100円/kW・y	2,707千円/y	東京電力 高圧電力A
	従量電力料金	700,800kWh/y	9.76円/kWh	6,840千円/y	東京電力 高圧電力A
	上水道	1,132t/y	円/t	196千円/y	東京23区
	工水	0t/y	円/t	0千円/y	
	下水道	0t/y	円/t	0千円/y	
	薬剤・消耗品費	54,567枚/y	30円/枚	1,637千円/y	袋代(製品コンポストの25%)
	燃料費	74,800L/y	40円/L	2,992千円/y	重油(乾燥)
	燃料費	49,056L/y	70円/L	3,434千円/y	軽油
	副資材費用	2,555t/y	1,000円/t	2,555千円/y	もみ殻
	点検・補修費			5,760千円/y	
	計			44,121千円/y	
収入	原料受入費	9,125t/y	15,000円/t	136,875千円/y	
	製品販売費	2,455t/y	5,000円/t	12,275千円/y	バラ
	製品販売費	54,567袋/y	300円/袋	16,370千円/y	袋詰め
	副産物販売費	0t/y	円/t	0千円/y	
	売電電力料金	0kWh/y	円/kWh	0千円/y	
	余剰熱量	0Mcal/y	円/Mcal	0千円/y	
	計			165,520千円/y	

付表5 生ごみの堆肥化(50t/d)のコスト試算結果

計画		堆肥化	
対象バイオマス		生ごみ	
変換量	原料	50	t/d
	稼働日	250	d/y
	稼働日当り	73	t/稼働日

2 建設費 1,350,000千円

3 維持管理費及び収入

項目	数量	単位	単価	金額	備考
維持管理費	人件費	5人	4,500,000円/人	22,500千円/y	
	基本電力料金	352kW	14,100円/kW・y	4,963千円/y	東京電力 高圧電力A
	従量電力料金	1,284,800kWh/y	9.76円/kWh	12,540千円/y	東京電力 高圧電力A
	上水道	2,264t/y	円/t	473千円/y	東京23区
	工水	0t/y	円/t	0千円/y	
	下水道	0t/y	円/t	0千円/y	
	薬剤・消耗品費	109,134枚/y	30円/枚	3,274千円/y	袋代(製品コンポストの25%)
	燃料費	150,000L/y	40円/L	6,000千円/y	重油(乾燥)
	燃料費	98,112L/y	70円/L	6,868千円/y	軽油
	副資材費用	5,110t/y	1,000円/t	5,110千円/y	もみ殻
	点検・補修費			8,100千円/y	
	計			69,828千円/y	
収入	原料受入費	18,250t/y	15,000円/t	273,750千円/y	
	製品販売費	4,911t/y	5,000円/t	24,555千円/y	バラ
	製品販売費	109,134袋/y	300円/袋	32,740千円/y	袋詰め
	副産物販売費	0t/y	円/t	0千円/y	
	売電電力料金	0kWh/y	円/kWh	0千円/y	
	余剰熱量	0Mcal/y	円/Mcal	0千円/y	
	計			331,045千円/y	

付表6 生ごみの堆肥化(100t/d)のコスト試算結果

計画		堆肥化	
対象バイオマス		生ごみ	
変換量	原料	100	t/d
	稼働日	250	d/y
	稼働日当り	146	t/稼働日

2 建設費 2,000,000千円

3 維持管理費及び収入

項目	数量	単位	単価	金額	備考
維持管理費	人件費	8人	4,500,000円/人	36,000千円/y	
	基本電力料金	640kW	14,100円/kW・y	9,024千円/y	東京電力 高圧電力A
	従量電力料金	2,336,000kWh/y	9.76円/kWh	22,799千円/y	東京電力 高圧電力A
	上水道	4,528t/y	円/t	1,120千円/y	東京23区
	工水	0t/y	円/t	0千円/y	
	下水道	0t/y	円/t	0千円/y	
	薬剤・消耗品費	218,270枚/y	30円/枚	6,548千円/y	袋代(製品コンポストの25%)
	燃料費	299,300L/y	40円/L	11,972千円/y	重油(乾燥)
	燃料費	196,224L/y	70円/L	13,736千円/y	軽油
	副資材費用	10,220t/y	1,000円/t	10,220千円/y	もみ殻
	点検・補修費			12,000千円/y	
	計			123,419千円/y	
収入	原料受入費	36,500t/y	15,000円/t	547,500千円/y	
	製品販売費	9,822t/y	5,000円/t	49,110千円/y	バラ
	製品販売費	218,270袋/y	300円/袋	65,481千円/y	袋詰め
	副産物販売費	0t/y	円/t	0千円/y	
	売電電力料金	0kWh/y	円/kWh	0千円/y	
	余剰熱量	0Mcal/y	円/Mcal	0千円/y	
	計			662,091千円/y	

付表7 乳牛糞尿のメタン発酵(消化液の液肥利用)(25t/d)のコスト試算結果

1 計画		湿式メタン発酵(液肥利用)				
変換技術		乳牛糞尿				
変換量	原料	25 t/d				
	稼働日	365 d/y				
	稼働日当り	25 t/稼働日				
2 建設費		540,000 千円				
3 維持管理費及び収入						
項目	数量	単位	単価	金額	備考	
維持管理費	人件費	4 人	4,500,000 円/y・人	18,000 千円/y		
	基本電力料金	40 kW	14,100 円/kW・y	564 千円/y	東京電力 高圧電力A	
	従量電力料金	0 kWh/y	円/kWh	0 千円/y		
	上水道	0 t/y	円/t	0 千円/y		
	工水	0 t/y	円/t	0 千円/y		
	下水道	0 t/y	円/t	0 千円/y		
	薬剤・消耗品費	1,450 k/y	200 円/k	290 千円/y	脱硫剤	
	燃料費	0 L/y	円/L	0 千円/y		
	副資材費用	0 t/y	円/t	0 千円/y		
	点検・補修費			5,400 千円/y		
	計			24,254 千円/y		
	収入	原料受入費	9,125 t/y	500 円/t	4,563 千円/y	
		製品販売費	8,979 t/y	1000 円/t	8,979 千円/y	
副産物販売費		0 t/y	円/t	0 千円/y		
売電電力料金		45,990 kWh/y	9.76 円/kWh	448 千円/y	発電効率 30 %	
余剰熱量		0 Mcal/y	円/Mcal	0 千円/y		
計				13,990 千円/y		
合計				-10,264 千円/y		

付表8 乳牛糞尿のメタン発酵(消化液の液肥利用)(50t/d)のコスト試算結果

1 計画		湿式メタン発酵(河川放流)				
変換技術		乳牛糞尿				
変換量	原料	50 t/d				
	稼働日	365 d/y				
	稼働日当り	50 t/稼働日				
2 建設費		940,000 千円				
3 維持管理費及び収入						
項目	数量	単位	単価	金額	備考	
維持管理費	人件費	5 人	4,500,000 円/y・人	22,500 千円/y		
	基本電力料金	70 kW	14,100 円/kW・y	987 千円/y	東京電力 高圧電力A	
	従量電力料金	0 kWh/y	円/kWh	0 千円/y		
	上水道	0 t/y	円/t	0 千円/y		
	工水	0 t/y	円/t	0 千円/y		
	下水道	0 t/y	円/t	0 千円/y		
	薬剤・消耗品費	2,910 k/y	200 円/k	582 千円/y	脱硫剤	
	燃料費	0 L/y	円/L	0 千円/y		
	副資材費用	0 t/y	円/t	0 千円/y		
	点検・補修費			9,400 千円/y		
	計			33,469 千円/y		
	収入	原料受入費	18,250 t/y	500 円/t	9,125 千円/y	
		製品販売費	17,960 t/y	1000 円/t	17,960 千円/y	
副産物販売費		0 t/y	円/t	0 千円/y		
売電電力料金		128,850 kWh/y	9.76 円/kWh	1,258 千円/y	発電効率 30 %	
余剰熱量		0 Mcal/y	円/Mcal	0 千円/y		
計				28,343 千円/y		
合計				-5,126 千円/y		

付表9 乳牛糞尿のメタン発酵(消化液の液肥利用)(100t/d)のコスト試算結果

1 計画		湿式メタン発酵(河川放流)				
変換技術		乳牛糞尿				
変換量	原料	100 t/d				
	稼働日	365 d/y				
	稼働日当り	100 t/稼働日				
2 建設費		1,637,000 千円				
3 維持管理費及び収入						
項目	数量	単位	単価	金額	備考	
維持管理費	人件費	6 人	4,500,000 円/y・人	27,000 千円/y		
	基本電力料金	130 kW	14,100 円/kW・y	1,833 千円/y	東京電力 高圧電力A	
	従量電力料金	0 kWh/y	円/kWh	0 千円/y		
	上水道	0 t/y	円/t	0 千円/y		
	工水	0 t/y	円/t	0 千円/y		
	下水道	0 t/y	円/t	0 千円/y		
	薬剤・消耗品費	5,820 k/y	200 円/k	1,164 千円/y	脱硫剤	
	燃料費	0 L/y	円/L	0 千円/y		
	副資材費用	0 t/y	円/t	0 千円/y		
	点検・補修費			16,370 千円/y		
	計			46,367 千円/y		
	収入	原料受入費	36,500 t/y	500 円/t	18,250 千円/y	
		製品販売費	35,880 t/y	1000 円/t	35,880 千円/y	
副産物販売費		0 t/y	円/t	0 千円/y		
売電電力料金		321,200 kWh/y	9.76 円/kWh	3,135 千円/y	発電効率 30 %	
余剰熱量		0 Mcal/y	円/Mcal	0 千円/y		
計				57,265 千円/y		
合計				10,898 千円/y		

付表10 生ごみのメタン発酵（消化液の液肥利用）(25t/d) のコスト試算結果

1 計画		湿式メタン発酵(液肥利用)					
変換技術		生ごみ					
対象バイオマス		生ごみ					
変換量	原料	25	t/d				
	稼働日	365	d/y				
	稼働日当り	25	t/稼働日				
2 建設費							
1,090,000 千円							
3 維持管理費及び収入							
項目	数量	単位	単価	金額	備考		
維持管理費	人件費	4	人	4,500,000	円/y・人	18,000 千円/y	
	基本電力料金	140	kW	14,100	円/kW・y	1,974 千円/y 東京電力 高圧電力A	
	従量電力料金	0	kWh/y		円/kWh	0 千円/y	
	上水道	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	工水	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	下水道	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	薬剤・消耗品費	12,300	k/y	200	円/k	2,460 千円/y 脱硫酸剤	
	燃料費	0	L/y		円/L	0 千円/y	
	副資材費用	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	点検・補修費					10,900 千円/y	
	計					33,334 千円/y	
	収入	原料受入費	9,125	t/y	15,000	円/t	136,875 千円/y
		製品販売費	7,848	t/y	1,000	円/t	7,848 千円/y
副産物販売費		0	t/y		円/t	0 千円/y	
売電力料金		1,092,000	kWh/y	9.76	円/kWh	10,658 千円/y 発電効率 30 %	
余剰熱量		1,950,000	Mcal/y	0	円/Mcal	0 千円/y	
計						155,381 千円/y	
合計					122,047 千円/y		

付表11 生ごみのメタン発酵（消化液の液肥利用）(50t/d) のコスト試算結果

1 計画		湿式メタン発酵(液肥利用)					
対象バイオマス		生ごみ					
変換量		生ごみ					
変換量	原料	50	t/d				
	稼働日	365	d/y				
	稼働日当り	50	t/稼働日				
2 建設費							
1,898,000 千円							
3 維持管理費及び収入							
項目	数量	単位	単価	金額	備考		
維持管理費	人件費	5	人	4,500,000	円/y・人	22,500 千円/y	
	基本電力料金	250	kW	14,100	円/kW・y	3,525 千円/y 東京電力 高圧電力A	
	従量電力料金	0	kWh/y		円/kWh	0 千円/y	
	上水道	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	工水	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	下水道	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	薬剤・消耗品費	24,600	k/y	200	円/k	4,920 千円/y 脱硫酸剤	
	燃料費	0	L/y		円/L	0 千円/y	
	副資材費用	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	点検・補修費					18,980 千円/y	
	計					49,925 千円/y	
	収入	原料受入費	18,250	t/y	15,000	円/t	273,750 千円/y
		製品販売費	15,660	t/y	1,000	円/t	15,660 千円/y
副産物販売費		0	t/y		円/t	0 千円/y	
売電力料金		2,352,000	kWh/y	9.76	円/kWh	22,956 千円/y 発電効率 30 %	
余剰熱量		3,900,000	Mcal/y	0	円/Mcal	0 千円/y	
計						312,366 千円/y	
合計					262,441 千円/y		

付表12 生ごみのメタン発酵（消化液の液肥利用）(100t/d) のコスト試算結果

1 計画		湿式メタン発酵(液肥利用)					
対象バイオマス		生ごみ					
変換量		生ごみ					
変換量	原料	100	t/d				
	稼働日	365	d/y				
	稼働日当り	100	t/稼働日				
2 建設費							
3,304,000 千円							
3 維持管理費及び収入							
項目	数量	単位	単価	金額	備考		
維持管理費	人件費	6	人	4,500,000	円/y・人	27,000 千円/y	
	基本電力料金	450	kW	14,100	円/kW・y	6,345 千円/y 東京電力 高圧電力A	
	従量電力料金	0	kWh/y		円/kWh	0 千円/y	
	上水道	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	工水	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	下水道	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	薬剤・消耗品費	49,100	k/y	200	円/k	9,820 千円/y 脱硫酸剤	
	燃料費	0	L/y		円/L	0 千円/y	
	副資材費用	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	点検・補修費					33,040 千円/y	
	計					76,205 千円/y	
	収入	原料受入費	36,500	t/y	15,000	円/t	547,500 千円/y
		製品販売費	31,320	t/y	1,000	円/t	31,320 千円/y
副産物販売費		0	t/y		円/t	0 千円/y	
売電力料金		4,999,000	kWh/y	9.76	円/kWh	48,790 千円/y 発電効率 30 %	
余剰熱量		7,800,000	Mcal/y	0	円/Mcal	0 千円/y	
計						627,610 千円/y	
合計					551,405 千円/y		

付表13 乳牛糞尿のメタン発酵(消化液の水処理+堆肥化)(25t/d)のコスト試算結果

1 計画							
変換技術		湿式メタン発酵(河川放流)					
対象バイオマス		乳牛糞尿					
変換量	原料	25	t/d				
	稼働日	365	d/y				
	稼働日当り	25	t/稼働日				
2 建設費					900,000 千円		
3 維持管理費及び収入							
項目	数量	単位	単価	金額	備考		
維持管理費	人件費	4	人	4,500,000	円/y・人	18,000 千円/y	
	基本電力料金	120	kW	14,100	円/kW・y	1,692 千円/y 東京電力 高圧電力A	
	従量電力料金	459,500	kWh/y	9.76	円/kWh	4,485 千円/y 東京電力 高圧電力A	
	上水道	3,320	t/y	289	円/t	959 千円/y 東京23区	
	工水	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	下水道	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	薬剤・消耗品費	0	k/y		円/k	13,712 千円/y 0/μL塩化第二鉄 苛性ソーダ 高分子凝集剤 脱色剤等	
	燃料費	112,000	L/y	35	円/L	3,920 千円/y	
	副資材費用	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	点検・補修費					9,000 千円/y	
	計					51,768 千円/y	
	収入	原料受入費	9,125	t/y	500	円/t	4,563 千円/y
製品販売費		1,068	t/y	5000	円/t	5,340 千円/y	バラ
		356	袋/y	300	円/袋	7,120 千円/y	袋詰め
副産物販売費		0	t/y		円/t	0 千円/y	
売電電力料金		0	kWh/y		円/kWh	0 千円/y	
余剰熱量		0	Mcal/y		円/Mcal	0 千円/y	
計					17,023 千円/y		
合計					-34,746 千円/y		

付表14 乳牛糞尿のメタン発酵(消化液の水処理+堆肥化)(50t/d)のコスト試算結果

1 計画							
変換技術		湿式メタン発酵(河川放流)					
対象バイオマス		乳牛糞尿					
変換量	原料	50	t/d				
	稼働日	365	d/y				
	稼働日当り	50	t/稼働日				
2 建設費					1,567,000 千円		
3 維持管理費及び収入							
項目	数量	単位	単価	金額	備考		
維持管理費	人件費	5	人	4,500,000	円/y・人	22,500 千円/y	
	基本電力料金	220	kW	14,100	円/kW・y	3,102 千円/y 東京電力 高圧電力A	
	従量電力料金	781,000	kWh/y	9.76	円/kWh	7,623 千円/y 東京電力 高圧電力A	
	上水道	6,640	t/y	289	円/t	1,919 千円/y 東京23区	
	工水	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	下水道	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	薬剤・消耗品費	0	k/y		円/k	27,440 千円/y 0/μL塩化第二鉄 苛性ソーダ 高分子凝集剤 脱色剤等	
	燃料費	225,000	L/y	35	円/L	7,875 千円/y	
	副資材費用	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	点検・補修費					15,670 千円/y	
	計					86,129 千円/y	
	収入	原料受入費	18,250	t/y	500	円/t	9,125 千円/y
製品販売費		2,160	t/y	5000	円/t	10,800 千円/y	バラ
		720	袋/y	300	円/袋	14,400 千円/y	袋詰め
副産物販売費		0	t/y		円/t	0 千円/y	
売電電力料金		0	kWh/y		円/kWh	0 千円/y	
余剰熱量		0	Mcal/y		円/Mcal	0 千円/y	
計					34,325 千円/y		
合計					-51,804 千円/y		

付表15 乳牛糞尿のメタン発酵(消化液の水処理+堆肥化)(100t/d)のコスト試算結果

1 計画							
変換技術		湿式メタン発酵(河川放流)					
対象バイオマス		乳牛糞尿					
変換量	原料	100	t/d				
	稼働日	365	d/y				
	稼働日当り	100	t/稼働日				
2 建設費					2,728,000 千円		
3 維持管理費及び収入							
項目	数量	単位	単価	金額	備考		
維持管理費	人件費	6	人	4,500,000	円/y・人	27,000 千円/y	
	基本電力料金	390	kW	14,100	円/kW・y	5,499 千円/y 東京電力 高圧電力A	
	従量電力料金	1,319,000	kWh/y	9.76	円/kWh	12,873 千円/y 東京電力 高圧電力A	
	上水道	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	工水	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	下水道	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	薬剤・消耗品費	0	k/y		円/k	55,125 千円/y 0/μL塩化第二鉄 苛性ソーダ 高分子凝集剤 脱色剤等	
	燃料費	448,000	L/y	35	円/L	15,680 千円/y	
	副資材費用	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	点検・補修費					27,280 千円/y	
	計					143,457 千円/y	
	収入	原料受入費	36,500	t/y	500	円/t	18,250 千円/y
製品販売費		4,328	t/y	5000	円/t	21,638 千円/y	バラ
		1,443	袋/y	300	円/袋	28,850 千円/y	袋詰め
副産物販売費		0	t/y		円/t	0 千円/y	
売電電力料金		0	kWh/y		円/kWh	0 千円/y	
余剰熱量		0	Mcal/y		円/Mcal	0 千円/y	
計					68,738 千円/y		
合計					-74,720 千円/y		

付表16 生ごみのメタン発酵（消化液の水処理 + 堆肥化）(25t/d) のコスト試算結果

1 計画		湿式メタン発酵(河川放流)					
変換技術		生ごみ					
対象バイオマス		生ごみ					
変換量	原料	25	t/d				
	稼働日	365	d/y				
	稼働日当り	25	t/稼働日				
2 建設費		1,350,000 千円					
3 維持管理費及び収入							
項目	数量	単位	単価	金額	備考		
維持管理費	人件費	4	人	4,500,000	円/y・人	18,000 千円/y	
	基本電力料金	290	kW	14,100	円/kW・y	4,089 千円/y	東京電力 高压電力A
	従量電力料金	0	kWh/y		円/kWh	0 千円/y	
	上水道	3,610	t/y	289	円/t	1,043 千円/y	東京23区
	工水	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	下水道	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	薬剤・消耗品費	0	k/y		円/k	15,650 千円/y	メーセル塩化第二級 苛性ソーダ 高分子凝集剤 吸着剤等
	燃料費	40,900	L/y	35	円/L	1,432 千円/y	
	副資材費用	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	点検・補修費					13,500 千円/y	
	計					53,714 千円/y	
収入	原料受入費	9,125	t/y	15000	円/t	136,875 千円/y	
	製品販売費	795	t/y	5000	円/t	3,975 千円/y	バラ
		265	袋/y	300	円/袋	5,300 千円/y	袋詰め
	副産物販売費	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	売電電力料金	221,000	kWh/y	9.76	円/kWh	2,157 千円/y	発電効率 30 %
	余剰熱量	238,000	Mcal/y	0	円/Mcal	0 千円/y	
計					148,307 千円/y		
合計					94,593 千円/y		

付表17 生ごみのメタン発酵（消化液の水処理 + 堆肥化）(50t/d) のコスト試算結果

1 計画		湿式メタン発酵(河川放流)					
変換技術		生ごみ					
対象バイオマス		生ごみ					
変換量	原料	50	t/d				
	稼働日	365	d/y				
	稼働日当り	50	t/稼働日				
2 建設費		2,350,000 千円					
3 維持管理費及び収入							
項目	数量	単位	単価	金額	備考		
維持管理費	人件費	5	人	4,500,000	円/y・人	22,500 千円/y	
	基本電力料金	520	kW	14,100	円/kW・y	7,332 千円/y	東京電力 高压電力A
	従量電力料金	0	kWh/y		円/kWh	0 千円/y	
	上水道	7,260	t/y	289	円/t	2,098 千円/y	東京23区
	工水	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	下水道	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	薬剤・消耗品費	0	k/y		円/k	31,325 千円/y	メーセル塩化第二級 苛性ソーダ 高分子凝集剤 吸着剤等
	燃料費	81,900	L/y	35	円/L	2,867 千円/y	
	副資材費用	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	点検・補修費					23,500 千円/y	
	計					89,622 千円/y	
収入	原料受入費	18,250	t/y	15000	円/t	273,750 千円/y	
	製品販売費	1,613	t/y	5000	円/t	8,063 千円/y	バラ
		538	袋/y	300	円/袋	10,750 千円/y	袋詰め
	副産物販売費	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	売電電力料金	785,000	kWh/y	9.76	円/kWh	7,662 千円/y	発電効率 30 %
	余剰熱量	478,000	Mcal/y	0	円/Mcal	0 千円/y	
計					300,224 千円/y		
合計					210,602 千円/y		

付表18 生ごみのメタン発酵（消化液の水処理 + 堆肥化）(100t/d) のコスト試算結果

1 計画		湿式メタン発酵(河川放流)					
変換技術		生ごみ					
対象バイオマス		生ごみ					
変換量	原料	100	t/d				
	稼働日	365	d/y				
	稼働日当り	100	t/稼働日				
2 建設費		4,092,000 千円					
3 維持管理費及び収入							
項目	数量	単位	単価	金額	備考		
維持管理費	人件費	6	人	4,500,000	円/y・人	27,000 千円/y	
	基本電力料金	940	kW	14,100	円/kW・y	13,254 千円/y	東京電力 高压電力A
	従量電力料金	0	kWh/y		円/kWh	0 千円/y	
	上水道	14,500	t/y	289	円/t	4,191 千円/y	東京23区
	工水	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	下水道	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	薬剤・消耗品費	0	k/y		円/k	55,250 千円/y	メーセル塩化第二級 苛性ソーダ 高分子凝集剤 吸着剤等
	燃料費	165,000	L/y	35	円/L	5,775 千円/y	
	副資材費用	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	点検・補修費					40,920 千円/y	
	計					146,390 千円/y	
収入	原料受入費	36,500	t/y	15000	円/t	547,500 千円/y	
	製品販売費	3,225	t/y	5000	円/t	16,125 千円/y	バラ
		1,075	袋/y	300	円/袋	21,500 千円/y	袋詰め
	副産物販売費	0	t/y		円/t	0 千円/y	
	売電電力料金	2,170,000	kWh/y	9.76	円/kWh	21,179 千円/y	発電効率 30 %
	余剰熱量	956,000	Mcal/y	0	円/Mcal	0 千円/y	
計					606,304 千円/y		
合計					459,915 千円/y		

付表19 乳牛糞の炭化(25t/d)のコスト試算結果

1 計画		炭化		含水率 85%, 低位発熱量 15.9 MJ/kg-DS				
変換技術		乳牛糞						
対象バイオマス								
変換量	原料	25	t/d					
	稼働日	305	d/y					
	稼働日当り	30	t/稼働日	30t/24h × 1系列				
2 建設費				480,000	千円			
3 維持管理費及び収入								
項目								
維持管理費	人件費	7	人	4,500,000	円/y・人	31,500	千円/y	
	基本電力料金	100	kW	14,100	円/kW・y	1,410	千円/y	東京電力 高圧電力A
	従量電力料金	543,000	kWh/y	9.76	円/kWh	5,300	千円/y	東京電力 高圧電力A
	上水道	840	t/y	193	円/t	162	千円/y	東京23区
	工水	0	t/y		円/t	0	千円/y	
	下水道	770	t/y	167	円/t	129	千円/y	東京23区
	薬剤・消耗品費	0.052	t/y	2,000,000	円/t	104	千円/y	消耗品は点検・補修費に含む
	燃料費	859,000	L/y	35	円/L	30,065	千円/y	立上げ・立下げ 50回/年, 130kg/回
	副資材費用	0	t/y		円/t	0	千円/y	
	点検・補修費					18,000	千円/y	20年間平均
	計					86,689	千円/y	
収入	原料受入費	9,125	t/y	500	円/t	4,563	千円/y	
	製品販売費	549	t/y	10,000	円/t	5,490	千円/y	
	副産物販売費	0	t/y		円/t	0	千円/y	
	売電電力料金	0	kWh/y		円/kWh	0	千円/y	
	余剰熱量	0	Mcal/y		円/Mcal	0	千円/y	
計					10,053	千円/y		
合計					-76,617	千円/y		

付表20 乳牛糞の炭化(50t/d)のコスト試算結果

1 計画		炭化		含水率 85%, 低位発熱量 15.9 MJ/kg-DS				
変換技術		乳牛糞						
対象バイオマス								
変換量	原料	50	t/d					
	稼働日	305	d/y					
	稼働日当り	60	t/稼働日	30t/24h × 2系列				
2 建設費				850,000	千円			
3 維持管理費及び収入								
項目								
維持管理費	人件費	7	人	4,500,000	円/y・人	31,500	千円/y	
	基本電力料金	170	kW	14,100	円/kW・y	2,397	千円/y	東京電力 高圧電力A
	従量電力料金	1,082,000	kWh/y	9.76	円/kWh	10,560	千円/y	東京電力 高圧電力A
	上水道	915	t/y	193	円/t	177	千円/y	東京23区
	工水	0	t/y		円/t	0	千円/y	
	下水道	770	t/y	167	円/t	129	千円/y	東京23区
	薬剤・消耗品費	0.103	t/y	2,000,000	円/t	206	千円/y	消耗品は点検・補修費に含む
	燃料費	1,718,000	L/y	35	円/L	60,130	千円/y	立上げ・立下げ 50回/年・系, 130kg/回・系
	副資材費用	0	t/y		円/t	0	千円/y	
	点検・補修費					32,000	千円/y	20年間平均
	計					137,099	千円/y	
収入	原料受入費	18,250	t/y	500	円/t	9,125	千円/y	
	製品販売費	1,098	t/y	10,000	円/t	10,980	千円/y	
	副産物販売費	0	t/y		円/t	0	千円/y	
	売電電力料金	0	kWh/y		円/kWh	0	千円/y	
	余剰熱量	0	Mcal/y		円/Mcal	0	千円/y	
計					20,105	千円/y		
合計					-116,994	千円/y		

付表21 乳牛糞の炭化(100t/d)のコスト試算結果

1 計画		炭化		含水率 85%, 低位発熱量 15.9 MJ/kg-DS				
変換技術		乳牛糞						
対象バイオマス								
変換量	原料	100	t/d					
	稼働日	305	d/y					
	稼働日当り	120	t/稼働日	40t/24h × 3系列				
2 建設費				1,450,000	千円			
3 維持管理費及び収入								
項目								
維持管理費	人件費	8	人	4,500,000	円/y・人	36,000	千円/y	
	基本電力料金	260	kW	14,100	円/kW・y	3,666	千円/y	東京電力 高圧電力A
	従量電力料金	1,943,000	kWh/y	9.76	円/kWh	18,964	千円/y	東京電力 高圧電力A
	上水道	1,070	t/y	193	円/t	207	千円/y	東京23区
	工水	0	t/y		円/t	0	千円/y	
	下水道	915	t/y	167	円/t	153	千円/y	東京23区
	薬剤・消耗品費	0.206	t/y	2,000,000	円/t	412	千円/y	消耗品は点検・補修費に含む
	燃料費	3,400,000	L/y	35	円/L	119,000	千円/y	立上げ・立下げ 50回/年・系, 160kg/回・系
	副資材費用	0	t/y		円/t	0	千円/y	
	点検・補修費					54,000	千円/y	20年間平均
	計					232,401	千円/y	
収入	原料受入費	36,500	t/y	500	円/t	18,250	千円/y	
	製品販売費	2,196	t/y	10,000	円/t	21,960	千円/y	
	副産物販売費	0	t/y		円/t	0	千円/y	
	売電電力料金	0	kWh/y		円/kWh	0	千円/y	
	余剰熱量	0	Mcal/y		円/Mcal	0	千円/y	
計					40,210	千円/y		
合計					-192,191	千円/y		

付表22 生ごみの炭化(25t/d)のコスト試算結果

1 計画		炭化		含水率 80%, 低位発熱量 13.25 MJ/kg-DS	
変換技術		生ごみ			
対象バイオマス					
変換量	原料	25t/d			
	稼働日	305d/y			
	稼働日当り	30t/稼働日		30t/24h × 1系列	
2 建設費				500,000千円	
3 維持管理費及び収入					
項目	数量	単位	単価	金額	備考
維持管理費	人件費	7人	4,500,000円/人	31,500千円/y	
	基本電力料金	100kW	14,100円/kW・y	1,410千円/y	東京電力 高圧電力A
	従量電力料金	559,000kWh/y	9.76円/kWh	5,456千円/y	東京電力 高圧電力A
	上水道	840t/y	193円/t	162千円/y	東京23区
	工水	0t/y	円/t	0千円/y	
	下水道	770t/y	167円/t	129千円/y	東京23区
	薬剤・消耗品費	0.052t/y	2,000,000円/t	104千円/y	消耗品は点検・補修費に含む
	燃料費	731,050L/y	35円/L	25,587千円/y	立上げ・立下げ 50回/年・系, 130kg/回
	副資材費用	0t/y	円/t	0千円/y	
	点検・補修費			20,000千円/y	20年間平均
	計			84,347千円/y	
収入	原料受入費	9,125t/y	15,000円/t	136,875千円/y	
	製品販売費	732t/y	1,000円/t	732千円/y	
	副産物販売費	0t/y	円/t	0千円/y	
	売電電力料金	0kWh/y	円/kWh	0千円/y	
	余剰熱量	0Mcal/y	円/Mcal	0千円/y	
	計			137,607千円/y	
合計			53,260千円/y		

付表23 生ごみの炭化(50t/d)のコスト試算結果

1 計画		炭化		含水率 80%, 低位発熱量 13.25 MJ/kg-DS	
変換技術		生ごみ			
対象バイオマス					
変換量	原料	50t/d			
	稼働日	305d/y			
	稼働日当り	60t/稼働日		30t/24h × 2系列	
2 建設費				900,000千円	
3 維持管理費及び収入					
項目	数量	単位	単価	金額	備考
維持管理費	人件費	7人	4,500,000円/人	31,500千円/y	
	基本電力料金	180kW	14,100円/kW・y	2,538千円/y	東京電力 高圧電力A
	従量電力料金	1,118,000kWh/y	9.76円/kWh	10,912千円/y	東京電力 高圧電力A
	上水道	915t/y	193円/t	177千円/y	東京23区
	工水	0t/y	円/t	0千円/y	
	下水道	770t/y	167円/t	129千円/y	東京23区
	薬剤・消耗品費	0.103t/y	2,000,000円/t	206千円/y	消耗品は点検・補修費に含む
	燃料費	1,462,100L/y	35円/L	51,174千円/y	立上げ・立下げ 50回/年・系, 130kg/回・系
	副資材費用	0t/y	円/t	0千円/y	
	点検・補修費			35,000千円/y	20年間平均
	計			131,634千円/y	
収入	原料受入費	18,250t/y	15,000円/t	273,750千円/y	
	製品販売費	1,464t/y	1,000円/t	1,464千円/y	
	副産物販売費	0t/y	円/t	0千円/y	
	売電電力料金	0kWh/y	円/kWh	0千円/y	
	余剰熱量	0Mcal/y	円/Mcal	0千円/y	
	計			275,214千円/y	
合計			143,580千円/y		

付表24 生ごみの炭化(100t/d)のコスト試算結果

1 計画		炭化		含水率 80%, 低位発熱量 13.25 MJ/kg-DS	
変換技術		生ごみ			
対象バイオマス					
変換量	原料	100t/d			
	稼働日	305d/y			
	稼働日当り	120t/稼働日		40t/24h × 3系列	
2 建設費				1,500,000千円	
3 維持管理費及び収入					
項目	数量	単位	単価	金額	備考
維持管理費	人件費	8人	4,500,000円/人	36,000千円/y	
	基本電力料金	280kW	14,100円/kW・y	3,948千円/y	東京電力 高圧電力A
	従量電力料金	2,020,000kWh/y	9.76円/kWh	19,715千円/y	東京電力 高圧電力A
	上水道	1,070t/y	193円/t	207千円/y	東京23区
	工水	0t/y	円/t	0千円/y	
	下水道	915t/y	167円/t	153千円/y	東京23区
	薬剤・消耗品費	0.206t/y	2,000,000円/t	412千円/y	消耗品は点検・補修費に含む
	燃料費	2,862,500L/y	35円/L	100,188千円/y	立上げ・立下げ 50回/年・系, 160kg/回・系
	副資材費用	0t/y	円/t	0千円/y	
	点検・補修費			60,000千円/y	20年間平均
	計			220,622千円/y	
収入	原料受入費	36,500t/y	15,000円/t	547,500千円/y	
	製品販売費	2,928t/y	1,000円/t	2,928千円/y	
	副産物販売費	0t/y	円/t	0千円/y	
	売電電力料金	0kWh/y	円/kWh	0千円/y	
	余剰熱量	0Mcal/y	円/Mcal	0千円/y	
	計			550,428千円/y	
合計			329,806千円/y		

付表25 食品残さ(おから)の飼料化(25t/d)のコスト試算結果

1 計画		変換技術	飼料化
対象バイオマス		食品残さ(おから)	
変換量	原料	25	t/d
	稼働日	300	d/y
	稼働日当り	30	t/稼働日

2 建設費 500,000千円

3 維持管理費及び収入

項目	数量	単位	単価	金額	備考
維持管理費	人件費	6人	4,500,000円/y・人	27,000千円/y	
	基本電力料金	60kW	14,100円/kW・y	846千円/y	東京電力 高圧電力A
	従量電力料金	432,000kWh/y	9.76円/kWh	4,216千円/y	東京電力 高圧電力A
	上水道	0t/y	円/t	0千円/y	
	工水	14,400t/y	70円/t	1,008千円/y	
	下水道	0t/y	円/t	0千円/y	
	薬剤・消耗品費	0t/y	円/t	0千円/y	考慮しない
	燃料費	705,600L/y	35円/L	24,696千円/y	
	副資材費用	0t/y	円/t	0千円/y	
	点検・補修費			4,500千円/y	20年間平均
	計			62,266千円/y	
	収入	原料受入費	9,125t/y	15,000円/t	136,875千円/y
製品販売費		1,584t/y	1,000円/t	1,584千円/y	
副産物販売費		0t/y	円/t	0千円/y	
売電電力料金		0kWh/y	円/kWh	0千円/y	
余剰熱量		0Mcal/y	円/Mcal	0千円/y	
計				138,459千円/y	
合計			76,193千円/y		

付表26 食品残さ(おから)の飼料化(50t/d)のコスト試算結果

1 計画		変換技術	飼料化
対象バイオマス		食品残さ(おから)	
変換量	原料	50	t/d
	稼働日	300	d/y
	稼働日当り	61	t/稼働日

2 建設費 850,000千円

3 維持管理費及び収入

項目	数量	単位	単価	金額	備考
維持管理費	人件費	6人	4,500,000円/y・人	27,000千円/y	
	基本電力料金	90kW	14,100円/kW・y	1,269千円/y	東京電力 高圧電力A
	従量電力料金	648,000kWh/y	9.76円/kWh	6,324千円/y	東京電力 高圧電力A
	上水道	0t/y	円/t	0千円/y	
	工水	28,800t/y	70円/t	2,016千円/y	
	下水道	0t/y	円/t	0千円/y	
	薬剤・消耗品費	3,600t/y	1,000,000円/t	3,600千円/y	
	燃料費	1,404,000L/y	35円/L	49,140千円/y	
	副資材費用	0t/y	円/t	0千円/y	
	点検・補修費			9,000千円/y	20年間平均
	計			98,349千円/y	
	収入	原料受入費	15,000t/y	15,000円/t	225,000千円/y
製品販売費		2,880t/y	1,000円/t	2,880千円/y	
副産物販売費		0t/y	円/t	0千円/y	
売電電力料金		0kWh/y	円/kWh	0千円/y	
余剰熱量		0Mcal/y	円/Mcal	0千円/y	
計				227,880千円/y	
合計			129,531千円/y		

付表27 廃食用油のBDF化(5t/d)のコスト試算結果

1 計画		変換技術	BDF(バイオディーゼル燃料)
対象バイオマス		廃食用油	
変換量	原料	5,525	L/d
	稼働日	330	d/y
	稼働日当り	6,111	L/稼働日

2 建設費 750,000千円

3 維持管理費及び収入

項目	数量	単位	単価	金額	備考
維持管理費	人件費	4人	4,500,000円/y・人	18,000千円/y	
	基本電力料金	150kW	14,100円/kW・年	2,115千円/y	東京電力 高圧電力A
	従量電力料金	264,000kWh/y	9.76円/kWh	2,577千円/y	東京電力 高圧電力A
	上水道	1,980t/y	247円/t	489千円/y	東京23区
	工水	115,500t/y	70円/t	8,085千円/y	
	下水道	185t/y	7,000円/t	1,294千円/y	東京23区
	薬剤・消耗品費	13t/y	150,000円/t	1,931千円/y	KOH
	燃料費	207,900L/y	35円/L	7,277千円/y	
	副資材費用	362t/y	32,000円/t	11,595千円/y	メタノール
	点検・補修費			12,000千円/y	20年間平均(建設費の3%)
	計			65,361千円/y	
	収入	原料受入費	2,016kL/y	-20,000円/kL	-40,326千円/y
製品販売費		1,919kL/y	78,000円/kL	149,651千円/y	78円/Lで販売
副産物販売費		0t/y	円/t	0千円/y	
売電電力料金		0kWh/y	円/kWh	0千円/y	
余剰熱量		0Mcal/y	円/Mcal	0千円/y	
計				109,325千円/y	
合計			43,964千円/y		

付表28 木くずの直接燃焼（50t/d）のコスト試算結果

1 計画		変換技術	直接燃焼
対象バイオマス		木くず	
変換量	原料	50t/d	
	稼働日	335d/y	
	稼働日当り	55t/稼働日	

2 建設費	1,000,000千円
-------	-------------

3 維持管理費及び収入					
項目	数量	単位	単価	金額	備考
維持管理費	人件費	9人	4500000円/人	40,500千円/y	
	基本電力料金	180kW	14100円/kW・y	2,538千円/y	東京電力 高圧電力A
	従量電力料金	0kWh/y	円/kWh	0千円/y	
	上水道	0t/y	円/t	0千円/y	
	工水	13870t/y	70円/t	971千円/y	
	下水道	0t/y	円/t	0千円/y	
	薬剤・消耗品費	t/y	円/t	1,304千円/y	
	燃料費	0L/y	円/L	0千円/y	
	副資材費用	26t/y	29.7円/t	772千円/y	
	点検・補修費			30,000千円/y	
	計			76,085千円/y	
収入	原料受入費	18,170t/y	5,000円/t	90,852千円/y	
	製品販売費	0t/y	円/t	0千円/y	
	副産物販売費	140t/y	0円/t	0千円/y	収入ゼロ
	売電電力料金	8,040,000kWh/y	9.76円/kWh	78,470千円/y	発電効率 16%
	余剰熱量	0Mcal/y	円/Mcal	0千円/y	
計			169,322千円/y		
合計			-93,238千円/y		

付表29 木くずの直接燃焼（100t/d）のコスト試算結果

1 計画		変換技術	直接燃焼
対象バイオマス		木くず	
変換量	原料	100t/d	
	稼働日	335d/y	
	稼働日当り	109t/稼働日	

2 建設費	1,400,000千円
-------	-------------

3 維持管理費及び収入					
項目	数量	単位	単価	金額	備考
維持管理費	人件費	9人	4500000円/人	40,500千円/y	
	基本電力料金	270kW	14100円/kW・y	3,807千円/y	東京電力 高圧電力A
	従量電力料金	0kWh/y	円/kWh	0千円/y	
	上水道	0t/y	円/t	0千円/y	
	工水	27740t/y	70円/t	1,942千円/y	
	下水道	0t/y	円/t	0千円/y	
	薬剤・消耗品費	t/y	円/t	2,608千円/y	
	燃料費	0L/y	円/L	0千円/y	
	副資材費用	t/y	円/t	1,544千円/y	
	点検・補修費			45,000千円/y	
	計			95,401千円/y	
収入	原料受入費	36,341t/y	5,000円/t	181,704千円/y	
	製品販売費	0t/y	円/t	0千円/y	
	副産物販売費	280t/y	0円/t	0千円/y	収入ゼロ
	売電電力料金	16,080,000kWh/y	9.76円/kWh	156,941千円/y	発電効率 16%
	余剰熱量	0Mcal/y	円/Mcal	0千円/y	
計			338,645千円/y		
合計			-243,244千円/y		

付表30 可燃ゴミの溶融ガス化（50t/d）のコスト試算結果

1 計画		変換技術	溶融ガス化
対象バイオマス		可燃ゴミ	
変換量	原料	50t/d	
	稼働日	320d/y	
	稼働日当り	57t/稼働日	

2 建設費	3,500,000千円
-------	-------------

3 維持管理費及び収入					
項目	数量	単位	単価	金額	備考
維持管理費	人件費	19人	4,500,000円/人	85,500千円/y	
	基本電力料金	1,058kW	14,100円/kW・y	14,915千円/y	東京電力 高圧電力A
	従量電力料金	282,720kWh/y	9.76円/kWh	2,759千円/y	東京電力 高圧電力A
	上水道	16,711t/y	278円/t	4,642千円/y	東京23区
	工水	0t/y	円/t	0千円/y	
	下水道	2,911t/y	177円/t	516千円/y	東京23区
	薬剤・消耗品費	107t/y	179,627円/t	19,210千円/y	
	燃料費	230,400L/y	35円/L	8,064千円/y	
	副資材費用	1,277t/y	14,427円/t	18,420千円/y	
	点検・補修費			97,240千円/y	20年間平均
	計			251,266千円/y	
収入	原料受入費	18,250t/y	15,000円/t	273,750千円/y	
	製品販売費	1,240t/y	150円/t	186千円/y	スラグ販売
	副産物販売費	146t/y	150円/t	22千円/y	メタル販売
	売電電力料金	1,306,224kWh/y	10円/kWh	12,749千円/y	発電効率 14%
	余剰熱量	0Mcal/y	円/Mcal	0千円/y	
計			286,707千円/y		
合計			35,441千円/y		

付表31 可燃ゴミの溶融ガス化 (100t/d) のコスト試算結果

1 計画		溶融ガス化	
変換技術		可燃ゴミ	
対象バイオマス			
変換量	原料	100t/d	
	稼働日	320d/y	
	稼働日当り	114t/稼働日	

2 建設費	6,000,000千円
-------	-------------

3 維持管理費及び収入					
項目	数量	単位	単価	金額	備考
維持管理費	人件費	19人	4,500,000円/人	85,500千円/y	
	基本電力料金	1,640kW	14,100円/kW・y	23,124千円/y	東京電力 高圧電力A
	従量電力料金	0kWh/y	円/kWh	0千円/y	
	上水道	21,711t/y	280円/t	6,087千円/y	東京23区
	工水	0t/y	円/t	0千円/y	
	下水道	3,208t/y	182円/t	582千円/y	東京23区
	薬剤・消耗品費	193t/y	174,532円/t	33,760千円/y	
	燃料費	230,400L/y	35円/L	8,064千円/y	
	副資材費用	2,554t/y	14,427円/t	36,840千円/y	
	点検・補修費			116,880千円/y	20年間平均
	計			310,837千円/y	
収入	原料受入費	36,500t/y	15,000円/t	547,500千円/y	
	製品販売費	2,627t/y	150円/t	394千円/y	スラグ販売
	副産物販売費	292t/y	150円/t	44千円/y	メタル販売
	売電電力料金	6,990,960kWh/y	10円/kWh	68,232千円/y	発電効率 17%
	余剰熱量	0Mcal/y	円/Mcal	0千円/y	
計			616,170千円/y		
合計			305,333千円/y		

付表32 可燃ゴミの溶融ガス化 (200t/d) のコスト試算結果

1 計画		溶融ガス化	
対象バイオマス		可燃ゴミ	
変換量	原料	200t/d	
	稼働日	320d/y	
	稼働日当り	228t/稼働日	

2 建設費	10,000,000千円
-------	--------------

3 維持管理費及び収入					
項目	数量	単位	単価	金額	備考
維持管理費	人件費	19人	4,500,000円/人	85,500千円/y	
	基本電力料金	2,776kW	14,100円/kW・y	39,135千円/y	東京電力 高圧電力A
	従量電力料金	0kWh/y	円/kWh	0千円/y	
	上水道	31,465t/y	283円/t	8,906千円/y	東京23区
	工水	0t/y	円/t	0千円/y	
	下水道	3,479t/y	185円/t	643千円/y	東京23区
	薬剤・消耗品費	319t/y	145,168円/t	46,360千円/y	
	燃料費	230,400L/y	35円/L	8,064千円/y	
	副資材費用	5,107t/y	14,429円/t	73,690千円/y	
	点検・補修費			151,710千円/y	20年間平均
	計			414,008千円/y	
収入	原料受入費	73,000t/y	15,000円/t	1,095,000千円/y	
	製品販売費	5,399t/y	150円/t	810千円/y	スラグ販売
	副産物販売費	584t/y	150円/t	88千円/y	メタル販売
	売電電力料金	18,745,392kWh/y	10円/kWh	182,955千円/y	発電効率 19%
	余剰熱量	0Mcal/y	円/Mcal	0千円/y	
計			1,278,852千円/y		
合計			864,845千円/y		

付表33 可燃ゴミの固形燃料化 (25t/d) のコスト試算結果

1 計画		固形燃料化	
対象バイオマス		可燃ゴミ	
変換量	原料	25t/d	
	稼働日	310d/y	
	稼働日当り	30t/稼働日	

2 建設費	2,560,000千円
-------	-------------

3 維持管理費及び収入					
項目	数量	単位	単価	金額	備考
維持管理費	人件費	7人	4,500,000円/人	31,500千円/y	
	基本電力料金	360kW	14,100円/kW・y	5,076千円/y	東京電力 高圧電力A
	従量電力料金	1,551,250kWh/y	9.76円/kWh	15,140千円/y	東京電力 高圧電力A
	上水道	4,106t/y	円/t	998千円/y	東京23区
	工水	0t/y	円/t	0千円/y	
	下水道	2,100t/y	円/t	344千円/y	東京23区
	薬剤・消耗品費	237t/y	円/t	38,000千円/y	
	燃料費	420,000L/y	35円/L	14,700千円/y	
	副資材費用	0t/y	円/t	0千円/y	
	点検・補修費			10,038千円/y	20年間平均
	計			115,796千円/y	
収入	原料受入費	9,125t/y	15,000円/t	136,875千円/y	
	製品販売費	4,563t/y	1,000円/t	4,563千円/y	
	副産物販売費	0t/y	円/t	0千円/y	
	売電電力料金	0kWh/y	円/kWh	0千円/y	
	余剰熱量	0Mcal/y	円/Mcal	0千円/y	
計			141,438千円/y		
合計			25,642千円/y		

付表34 可燃ゴミの固形燃料化（50t/d）のコスト試算結果

1 計画		固形燃料化	
変換技術		可燃ゴミ	
対象バイオマス		可燃ゴミ	
変換量	原料	50	t/d
	稼働日	310	d/y
	稼働日当り	59	t/稼働日

2 建設費	4,020,000	千円
-------	-----------	----

3 維持管理費及び収入									
項目	数量	単位	単価	金額	備考				
維持管理費	人件費	9	人	4,500,000	円/y・人	40,500	千円/y		
	基本電力料金	570	kW	14,100	円/kW・y	8,037	千円/y	東京電力 高圧電力A	
	従量電力料金	3,102,500	kWh/y	9,76	円/kWh	30,280	千円/y	東京電力 高圧電力A	
	上水道	8,213	t/y		円/t	2,184	千円/y	東京23区	
	下水道	0	t/y		円/t	0	千円/y		
	薬剤・消耗品費	4,100	t/y		円/t	781	千円/y	東京23区	
	燃料費	473	t/y		円/t	75,000	千円/y		
	副産物販売費	839,000	L/t	35	円/L	29,365	千円/y		
	副資材費用	0	t/t		円/t	0	千円/y		
	点検・補修費					20,075	千円/y	20年間平均	
	計					206,222	千円/y		
	収入	原料受入費	18,250	t/y	15,000	円/t	273,750	千円/y	
		製品販売費	9,125	t/y	1,000	円/t	9,125	千円/y	
副産物販売費		0	t/y		円/t	0	千円/y		
売電電力料金		0	kWh/y		円/kWh	0	千円/y		
余剰熱量		0	Mcal/y		円/Mcal	0	千円/y		
計						282,875	千円/y		
合計					76,653	千円/y			

付表35 可燃ゴミの固形燃料化（100t/d）のコスト試算結果

1 計画		固形燃料化	
変換技術		可燃ゴミ	
対象バイオマス		可燃ゴミ	
変換量	原料	100	t/d
	稼働日	310	d/y
	稼働日当り	118	t/稼働日

2 建設費	6,380,000	千円
-------	-----------	----

3 維持管理費及び収入									
項目	数量	単位	単価	金額	備考				
維持管理費	人件費	11	人	4,500,000	円/y・人	49,500	千円/y		
	基本電力料金	980	kW	14,100	円/kW・y	13,818	千円/y	東京電力 高圧電力A	
	従量電力料金	6,205,000	kWh/y	9,76	円/kWh	60,561	千円/y	東京電力 高圧電力A	
	上水道	16,425	t/y		円/t	4,560	千円/y	東京23区	
	下水道	0	t/y		円/t	0	千円/y		
	薬剤・消耗品費	8,000	t/y		円/t	1,647	千円/y	東京23区	
	燃料費	946	t/y		円/t	149,000	千円/y		
	副産物販売費	1,678,000	L/t	35	円/L	58,730	千円/y		
	副資材費用	0	t/t		円/t	0	千円/y		
	点検・補修費					40,150	千円/y	20年間平均	
	計					377,966	千円/y		
	収入	原料受入費	36,500	t/y	15,000	円/t	547,500	千円/y	
		製品販売費	18,250	t/y	1,000	円/t	18,250	千円/y	
副産物販売費		0	t/y		円/t	0	千円/y		
売電電力料金		0	kWh/y		円/kWh	0	千円/y		
余剰熱量		0	Mcal/y		円/Mcal	0	千円/y		
計					565,750	千円/y			
合計					187,784	千円/y			