



Title	メタン発酵を中心とした地域バイオマス利活用システムの評価
Author(s)	井上, 陽仁
Citation	北海道大学. 博士(工学) 甲第11134号
Issue Date	2013-09-25
DOI	10.14943/doctoral.k11134
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/53890
Type	theses (doctoral)
File Information	Takahito_Inoue.pdf



[Instructions for use](#)

メタン発酵を中心とした
地域バイオマス利活用システムの評価

北海道大学大学院 工学院
環境創生工学専攻
廃棄物処分工学研究室

井上 陽仁

目 次

第1章 はじめに

1.1 背景	1-1
1.2 バイオマスを取り巻く状況	1-2
1.3 バイオマス利用技術の動向	1-4
1.4 本研究の目的	1-5

第2章 農村型小規模バイオマス利活用システムの評価

2.1 はじめに	2-1
2.2 検討対象シナリオ	2-2
2.2.1 地域内の廃棄物系バイオマス	2-2
2.2.2 現在の処理状況	2-7
(1)有効利用されているバイオマス	
(2)未利用バイオマスの処理方法	
(3)バイオマス乾燥物量	
2.2.3 本研究で対象とするバイオマス	2-8
2.2.4 検討対象とするシナリオ	2-9
2.3 計算における仮定	2-13
2.3.1 処理施設の用役使用量	2-13
2.3.2 処理施設の回収物等	2-14
2.3.3 温室効果ガス排出係数	2-14
2.4 シナリオの評価	2-17
2.4.1 用役使用量	2-17
2.4.2 温室効果ガス直接排出量	2-17
2.4.3 評価に影響する不確実性	2-20
(1)堆肥化	
(2)メタン発酵	
(3)焼却, し尿処理	
2.5 おわりに	2-23

第3章 都市部におけるバイオガス利活用システムの評価

3.1 はじめに	3-1
3.1.1 生ごみ利活用の背景	3-1
3.1.2 生ごみメタン発酵施設の現状	3-1
3.1.3 研究目的	3-3
3.2 研究方法	3-4
3.2.1 対象地域の選定	3-4
3.2.2 旭川市の現状	3-4

3.2.3	メタン発酵施設	3-6
3.2.4	評価シナリオ	3-7
3.2.5	設定条件等	3-9
	(1)パラメータ等	
	(2)計算式	
3.3	シナリオ評価結果	3-13
3.3.1	コンバインドシステム	
3.3.2	紙ごみメタン発酵の効果	3-16
3.3.3	評価のまとめ	3-16
3.3.4	感度解析	3-17
3.4	おわりに	3-27
第4章 バイオマス利活用事業評価の方法		
4.1	はじめに	4-1
4.2	バイオマス利活用先進事例の調査	4-2
4.2.1	調査項目の設定	4-2
4.2.2	アンケート調査の検討項目	4-3
	(1)事業収支に関する検討	
	(2)事業リスク	
	(3)キャッシュフロー	
4.2.3	先進事例の解析結果	4-5
4.3	事業化に向けた課題と工夫	4-10
4.3.1	事業リスク	4-10
4.3.2	ケーススタディ	4-14
4.4	都市ごみ事業とバイオマス事業の比較	4-19
4.4.1	原料（バイオマス）の調達	4-20
4.4.2	施設整備の考え方	4-21
4.4.3	エネルギー利用及び処理コスト	4-22
4.4.4	まとめ	4-23
第5章 固定買取制度によるバイオマス発電事業への影響		
5.1	地域バイオマス利活用計画への反映にあたって	5-1
5.2	固定価格買取制度によるバイオマス発電事業への影響	5-1
5.2.1	固定価格買取制度の概要	5-1
5.2.2	モデルの設定	5-3
	(1)可燃ごみのバイオマス比率の設定	
	(2)モデルの設定	
5.2.3	固定価格買取制度による影響の検証	5-8
第6章 おわりに		
		6-1

第1章 はじめに

1.1 背景

地球温暖化問題は、現在最も中心的な環境問題となっている。「バイオマス・ニッポン総合戦略」(平成14年12月27日閣議決定, 平成18年3月31日改定)では、エネルギーや製品として、バイオマスを総合的に最大限活用し、持続可能な社会「バイオマス・ニッポン」を早期に実現するため、平成22年度を目途に具体的な目標が設定された。平成19年5月には環境省中央環境審議会が「21世紀環境立国戦略の策定に向けた提言」を示し、同年6月1日に「21世紀環境立国戦略」¹⁾が閣議決定された。その中で廃棄物系バイオマスに関しては、戦略3「3Rを通じた持続可能な資源循環」の中で「廃棄物系バイオマスの活用」、戦略5「環境・エネルギー技術の中核とした経済成長」の中で「バイオマス等の再生可能エネルギー利用の推進」を図ることとしている。また、平成21年6月には「バイオマス活用推進基本法」が成立し、平成22年12月には同法に基づく「バイオマス活用推進基本計画」²⁾が閣議決定された。「バイオマス活用推進基本計画」では、「バイオマス・ニッポン総合戦略」において各地域でバイオマスタウン構想の策定が進んだもの、実際の実施は必ずしも十分に進まなかったこと等の課題があるといった総括を行った上で、バイオマスの活用の推進に関する目標及び施策が示されている。施策の基本的な方針として、図1-1に示す11の方針が示されており、バイオマスを種類ごとの特性に応じて最大限活用する利用体系の確立を推進するとともに、バイオマスのエネルギー源としての利用を促進することがうたわれている。

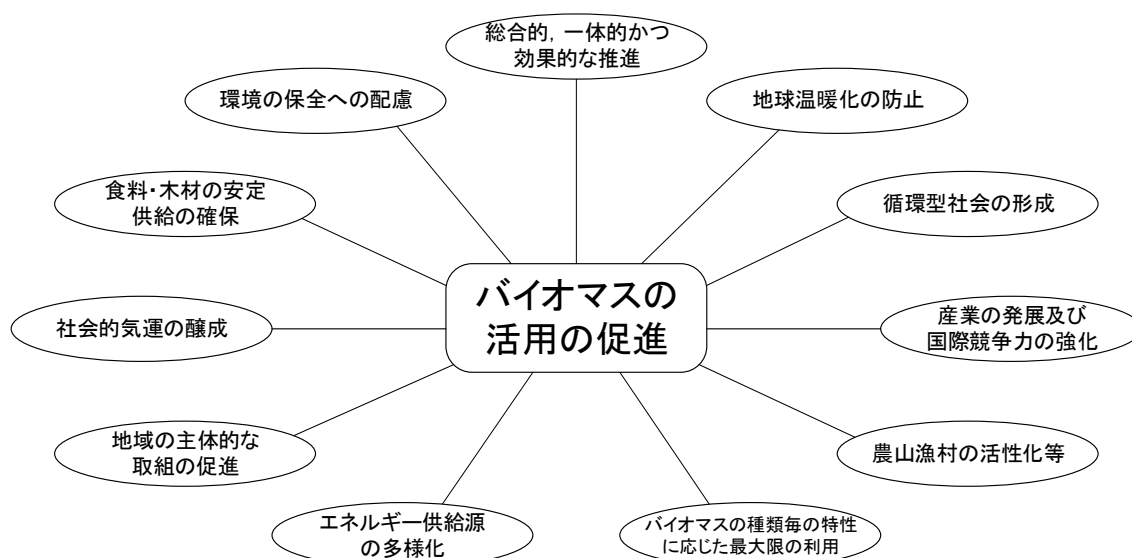


図1-1 バイオマスの利用の推進に関する施策の基本的方針

平成 24 年 7 月には、太陽光、風力、バイオマスなどの再生可能エネルギー電気の導入拡大を図るため、再生可能エネルギーの固定価格買取制度（以下、「固定価格買取制度」という。）が施行された。さらに、平成 24 年 9 月 6 日には、バイオマス活用推進基本計画の目標達成に向け、コスト低減と安定供給、持続可能性基準を踏まえつつ、技術とバイオマスの選択と集中によるバイオマス活用の事業化を重点的に推進し、地域におけるグリーン産業の創出と自立・分散型エネルギー供給体制の強化を実現していくための指針として「バイオマス事業化戦略」³⁾がバイオマス活用推進会議により策定された。

「バイオマス事業化戦略」では、基本戦略として、コスト低減と安定供給、持続可能性基準を踏まえつつ、技術とバイオマスの選択と集中による事業化を重点的に推進することとしており、その技術としてメタン発酵・堆肥化、直接燃焼、固体燃料化及び液体燃料化があげられており、対象バイオマスとしては、木質、食品廃棄物、下水汚泥及び家畜排せつ物を対象としている。

自治体が行う一般廃棄物処理に関しては、一定以上のエネルギー回収を行う中間処理施設の整備に対し、循環型社会形成推進交付金を上乗せすることで推進をはかっている。また、食品廃棄物、製材廃材などの廃棄物系バイオマス利活用に対しては、新エネルギー導入促進協議会による補助金制度等の施設整備に関する補助金、日本政策金融公庫による融資制度、エネルギー需給構造改革推進投資促進税制による特別控除等の各種政策によって推進が図られている。

1.2 バイオマスを取り巻く状況

1.2.1 バイオマスエネルギーのポテンシャル

「バイオマス活用推進基本計画」では、バイオマスの種類毎に表 1-1 に示す利用率目標が設定されている。

「バイオマス事業化戦略」では、表 1-1 に示す 2020 年の目標を全てエネルギー利用により達成した場合におけるバイオマスエネルギーの年間ポテンシャルは、持続可能性基準を考慮しない場合で、総発熱量約 460PJ、電力利用可能量で約 130 億 kWh（約 280 万世帯分）、燃料利用可能量（原油換算）で約 1,180 万 kL（ガソリン自動車約 1,320 万台分）、温室効果ガス削減可能量で約 4,070 万 t-CO₂（我が国の温室効果ガス排出量の約 3.2%相当）となるとされている。また、国内のバイオマスの未利用分を全てエネルギーに利用すると仮定すると、その年間ポテンシャルは、持続可能性基準を考慮しない場合で、総発熱量約 720PJ、電力利用可能量で約 220 億 kWh（約 460 万世帯分）、燃料利用可能量（原油換算）で約 1,850 万 kL（ガソリン自動車約 2,080 万台分）、温室効果ガス削減可能量で約 6,340 万 t-CO₂（我が国の温室効果ガス排出量の約 5.0%相当）となると試算されている。

表 1-1 バイオマス活用推進基本計画におけるバイオマス利用率目標²⁾

バイオマスの種類	現在の年間発生量	現在の利用率	2020年の目標
家畜排せつ物	約 8,800 万 t	約 90%	約 90%
下水汚泥	約 7,800 万 t	約 77%	約 85%
黒液	約 1,400 万 t ^{※1}	約 100%	約 100%
紙	約 2,700 万 t	約 80%	約 85%
食品廃棄物	約 1,900 万 t	約 27%	約 40%
製材工場等残材	約 340 万 t ^{※1}	約 95%	約 95%
建設発生木材	約 410 万 t	約 90%	約 95%
農作物非食用部	約 1,400 万 t	約 30% (すき込みを除く)	約 45%
		約 85% (すき込みを含む)	約 90%
林地残材	約 1,800 万 t ^{※1}	ほとんど未利用	約 30%以上 ^{※2}

※1 黒液、製材工場等残材、林地残材については乾燥重量、他のバイオマスについては湿潤重量。

※2 数値は現時点での試算値であり、今後「森林・林業再生プラン」(2009年12月25日公表)に掲げる木材自給率50%達成に向けた具体的施策とともに検討し、今後策定する森林・林業基本計画に位置付ける予定。

1.2.2 主なバイオマスの状況³⁾

(1) 木質バイオマス

木質バイオマスは、発生形態によって林地残材、製材工場等残材及び建設発生木材の3つに分類される。このうち製材工場等残材は、自工場内の木材乾燥用ボイラー等の燃料や製紙等の原料として大部分が利用されている。また、建設発生木材は、建設リサイクル法に基づく施策の推進により、製紙原料、ボード原料、発電用燃料等としての利用が進んでいる。しかし、林地残材は、収集・運搬コストがかかるため間伐等の際に搬出されず、年間約800万トン(約2,000万m³相当)が林地内に残され発生している。

「森林・林業再生プラン」を踏まえて作成された新たな森林・林業基本計画(平成23年7月閣議決定)では、2020年の木材自給率50%を目指し、森林施業の集約化、路網整備の加速化、人材育成等により効率的かつ安定的な林業経営の基盤づくりを推進するとともに、木材の安定供給体制を構築し、木材のマテリアルからエネルギーまでの多段階利用により木材利用の拡大を推進することとしている。

(2) 食品廃棄物

食品廃棄物は、家畜排せつ物等に比べエネルギーポテンシャルが高く、かつ未利用分

が多い。食品廃棄物の年間発生量約 1,900 万トンのうち再生利用されているのは約 27% で、残りは焼却（熱回収を含む）・埋立処分されている。また、飼料や堆肥への再生利用は、分別や需給のマッチング等の課題があるため大幅な普及拡大は難しい状況にある。

(3) 下水汚泥

下水汚泥は、主にエネルギー消費が多い都市部で発生し、有機分が多く生分解性に優れるためエネルギー利用価値が高く、かつ発生量が安定し下水処理場に集積するという特徴を有している。下水汚泥の年間発生量約 7,800 万 t の約 77% は有効利用されており、その主な用途は建設資材利用である。一方、下水汚泥に含まれる有機物のエネルギー利用割合は約 13% に止まっている。

(4) 家畜排せつ物

家畜排せつ物は、約 90% が周辺農地の堆肥等に利用されているが、メタン発酵による多段階利用を推進するとともに、家畜排せつ物が需要量を超えて過剰に発生している地域等では、直接燃焼・固体燃料化等の堆肥化以外の方法により家畜排せつ物の処理・利用を図ることが重要となっている。

1.3 バイオマス利用技術の動向

バイオマスには、表 1-1 で示したように多種多様なものがある。これらのバイオマス利用する技術には、直接燃焼などの単純なものから糖化・発酵、ガス化・再合成などの高度なものまで様々なものがあり、その技術の到達レベルも基礎研究段階～実証段階にあるもの、既に実用化されているものなど様々である。このバイオマス利用技術の到達レベル、技術的な課題及び実用化の見通しについては、関係省庁・研究機関・企業による横断的な評価を行った結果として「バイオマス事業化戦略」の別添資料⁵⁾に「技術ロードマップ」としてまとめられている。技術到達レベルは、現状(2012 年)、概ね 5 年後(2017 年頃)、概ね 10 年後(2022 年頃)、概ね 20 年後(2032 年頃)のタイムフレームの中で、技術的な観点から研究、実証、実用化の 3 段階で評価されている。

技術ロードマップにおいて技術レベルが実用化となっている技術について、その技術概要は表 1-2 に示すとおりである。幅広いバイオマスに対応する技術としては、直接燃焼とメタン発酵があり、特に乾式メタン発酵は実証段階とされているものの、既に技術的には実用段階にあり、近年採用する自治体も現れ始めている。

表 1-2 主要なバイオマス利用技術の現状⁵⁾

技術	原料	製造物	技術の概要
固体燃料化	木質系, 草本系等	チップ, ペレット等	木材を切断・破砕したチップ, 粉碎後圧縮成型したペレット, 厨芥類を原料とする RDF(Refuse Derived Fuel), 下水汚泥を乾燥成型したバイオソリッド等がある。
直接燃焼 (専焼, 混焼)	木質系, 草本系, 鶏ふん, 下水汚泥, 食品廃棄物等	熱, 電気	木質下水汚泥等のバイオマスを直接燃焼して熱として利用するまたはボイラー発電を行う技術。
固体燃料化 (炭化)	木質系, 草本系, 下水汚泥等	固体燃料, バイオコークス	木質等のバイオマスを、酸素供給を遮断又は制限して 400℃~900℃程度に加熱し、熱分解により炭素含有率の高い固体生成物を得る技術。
液体燃料製造 (エステル化)	廃食用油, 油糧作物	バイオディーゼル燃料 (BDF)	廃食用油や植物油にメタノールとアルカリ触媒を加えてエステル交換する等の方法で、バイオディーゼル燃料である脂肪酸メチルエステル(FAME)を得る技術。
メタン発酵 (湿式, 乾式)	下水汚泥, 家畜排せつ物, 食品廃棄物等	ガス・熱・電気	下水汚泥、家畜排せつ物、食品廃棄物等のバイオマスを微生物による嫌気性発酵によってメタンガスを発生させる技術で、液状原料を利用する湿式と水分 80%程度の固形原料を利用する乾式がある。メタンガスは熱や発電利用のほか、都市ガスや自動車燃料等に利用可能。技術的には実用化段階であるが、乾式及び小型設備は実証段階。
糖質・澱粉質系発酵(第1世代)	余剰・規格外農産物, 食品廃棄物(甜菜, コメ, 小麦等)	エタノール, 化学品	糖質・澱粉質系原料を酵素で糖化し、酵母, 細菌等によりエタノール発酵させることにより、エタノールを生成する技術。
バイオマテリアル	糖質・澱粉質系	バイオプラスチック・素材	各種バイオマスからポリ乳酸やプラスチック・素材を製造する技術で、とうもろこし等糖質・澱粉質系は実用化。

1.4 本研究の目的

現在、バイオマスは、広く薄く発生源が分散しているその特徴とその種類毎に所管官庁が異なるという社会的要因からそれぞれ個別に利活用が図られている。廃棄物系バイオマスの発生状況の一例として、表 1-3 は、都市規模別の自治体数と食品廃棄物等(家庭系食品廃棄物と食品リサイクル法対象外の事業系食品廃棄物)の発生量、食品廃棄物等の規模別の一日当たり発生量を示したものである。これによると、大都市では、約 300t/日の食品廃棄物等が発生しているが、地方中心都市では約 50t/日に減少し、農山漁村に行くほどにその発生量は大きく減少している。このことから、都市部と農村部では、バイオマスの最適な利活用方法は異なることが推測される。

表 1-3 都市規模別の自治体数及び食品廃棄物等発生量⁶⁾

	自治体数 (件)	発生量 (千 t/年)	発生量/自治体 (t/日)
全 体	1,751	11,865	18.6
大 都 市	34	3,714	299.2
地方中心都市	259	4,595	48.6
小規模都市	691	2,916	11.6
農 山 漁 村	767	640	2.3

研究においても一般廃棄物系と産業廃棄物系のバイオマスは、別個に扱われることが多い。一般廃棄物処理における代替案の評価を行った例としては、中野ら⁷⁾が全国の広域処理計画に基づくブロック割りを考慮し、広域ごみ処理システムの導入によるエネルギー削減効果に着目しており、中田・浦邊⁸⁾は全国を対象とした可燃性の一般廃棄物処理システム全般におけるマテリアルフローと経済性評価を行っている。また、天野・曾和⁹⁾は特定の自治体における中間処理の組合せに着目し温室効果ガス、最終処分量及びコストの評価を行ない、永ら¹⁰⁾は可燃性一般廃棄物処理について都市間の地域特性を考慮した温室効果ガス排出量及びコストの比較を行っている。しかしこれはいずれも、一般廃棄物の処理に限定したものとなっている。一方、廃棄物系バイオマスを対象とした研究は、畜産廃棄物など、単独種類を対象とした研究が多数行われている。しかし、複数種類の廃棄物系バイオマスを対象とした研究は、矢野ら¹¹⁾による食品廃棄物・下水汚泥・木質バイオマスといった都市由来の廃棄物系バイオマスを対象としたエネルギー変換技術による温室効果ガス排出量及びコストに関する研究や横井ら¹²⁾による産業団地のような小地域から発生する廃棄物系バイオマスを対象とした地域エネルギー供給効果に関する研究など、限られている。

ある地域を考えると、そこには一般廃棄物系以外に産業系の廃棄物系バイオマスも存在する。すべてのバイオマスを、地域循環を考慮に入れつつ総合的に処理することは地域の持続性、経済効率性を高めることが期待できる。一般廃棄物、産業廃棄物の区分に拘束されているこれまでの廃棄物資源化処理を見直し、将来目指すべき方向であると考ええる。

本論文では、現在、種類毎に利活用が行われている地域のバイオマスについて、農村部と都市部に大別したうえで、実際のシステム導入を考慮した現実に即したシナリオを設定し、バイオマス利活用システムの評価及び将来起こりうる条件の変化に対する提案を行う。対象技術は、幅広い種類のバイオマスを混合してエネルギー回収が可能なメタン発酵技術と直接燃焼(焼却発電)とするが、農村部では畜産業が盛んなところも多く、

畜産系廃棄物の発生量も多いと考えられることから、既に畜産系廃棄物の処理で多くの採用実績がある堆肥化技術も対象とする。

メタン発酵を利用したごみ処理システムの評価に関しては、以下の研究がある。生ごみを対象としたメタン発酵施設の特性に関する研究は多々あり、例えば谷川ら¹³⁾は、実稼働中の生ごみメタン発酵施設を対象にメタン発生量、エネルギー収支及び維持管理コスト等を調査し、その特性を明らかにしている。佐野ら¹⁴⁾は、生ごみとその他可燃ごみを分別収集しメタン発酵+ガス化溶融を行うシナリオを考えて、ライフサイクルコスト及びCO₂、SO_x、NO_xを対象物質とした環境負荷の比較を行っている。天野・曾和¹⁵⁾は、草津市が処理を行う一般廃棄物を対象として、マテリアルリサイクル及びサーマルリサイクルを考慮したシナリオを設定し、CO₂排出量、最終処分量及びコストを比較している。その中で、焼却対象ごみを厨芥類と厨芥以外の普通ごみに分別し、堆肥化及びメタン発酵の導入による影響を評価している。矢野ら¹⁶⁾は、京都市をモデルに生ごみ処理として焼却、メタン発酵、堆肥化を考えて、CO₂排出量を比較している。対象としているのは一般廃棄物であり、堆肥化は家庭系、事業系の生ごみを分別、メタン発酵はそれに加えて紙ごみを分別するとのシナリオで、焼却に代わって資源化を行う場合の評価を行っている。いずれも、焼却かメタン発酵かなど、択一的選択であり、廃棄物も処理に適した組成を分離するものである。以上の研究は、矢野らの研究を除き湿式メタン発酵を対象としている。本研究では、紙類へも対応可能な乾式メタン発酵を対象とする。また、バイオマス利用事業と一般廃棄物処理事業の比較及び固定価格買取制度による事業への影響を考察する。

第2章において、人口規模の小さい農村部を対象とした廃棄物系バイオマスの総合的な利用について温室効果ガス排出量の評価を行う。第3章では、都市をモデルに食品廃棄物等の廃棄物系バイオマスの利活用について、メタン発酵か焼却かの選択的なシステムではなく、乾式メタン発酵と焼却熱回収の併用システムを評価する。第4章では、例えば木質バイオマス等の特定のバイオマスを利用する事業と主に一般廃棄物を対象とする廃棄物系バイオマス利用事業（一般廃棄物処理事業）の比較評価を行い、その事業の違いについて分析を行う。第5章では、固定価格買取制度による廃棄物処理事業への影響について考察を行う。

参考文献

- 1) 環境省：21世紀環境立国戦略，2007
- 2) 農林水産省：バイオマス活用推進基本計画，2012
- 3) バイオマス利用推進会議：バイオマス事業化戦略 ～技術とバイオマスの選択と集中による事業化の推進～，2012
- 4) 農林水産省：森林・林業再生プラン ～コンクリート社会から木の社会へ～，2009

- 5) 文献 3) の別添資料 1
- 6) (株)三菱総合研究所：平成 24 年度廃棄物系バイオマス利用推進事業報告書，p2-1，2013
- 7) 中野加都子，三浦浩之，和田安彦，谷口正修：広域ごみ処理システムの導入による環境負荷低減に関する研究，廃棄物学会論文誌，Vol. 13，No. 6，pp. 351-360，2002.
- 8) 中田俊彦，浦邊理郎：最終処分量と再資源化率を考慮した廃棄物処理システムの経済性評価，日本エネルギー学会誌，Vol. 85，pp. 49-57，2006.
- 9) 天野耕二，曾和朋弘：中間処理方法の組み合わせに着目した一般廃棄物処理システムの包括的評価，土木学会論文集 G，Vol. 63，No. 4，pp. 391-402，2007.
- 10) 永富悠，山本博巳，山路憲治：廃棄物処理システムに対する地域特性と温室効果ガス対策の影響評価，日本エネルギー学会誌，Vol. 86，pp. 693-699，2007.
- 11) 矢野貴之，吉田登，曾田真也，金子泰純，山本祐吾：都市由来のバイオマス廃棄物のエネルギー変換における技術や事業収支要因の不確実性が環境負荷や事業性に及ぼす影響の分析，環境システム研究論文集，Vol. 35，pp. 481-489，2007.
- 12) 横井隆志，山本祐吾，齋藤修，盛岡通：小地域で廃棄物・バイオマス由来の電力・熱を融通する地域エネルギー供給による効果の算定システムの構築，環境システム論文集，Vol. 35，pp. 109-119，2007.
- 13) 谷川昇，古市徹，石井一英，西上耕平：生ごみバイオガス化施設におけるメタン回収量，環境保全性，経済性の検討，廃棄物学会論文誌，vol. 19，No. 3，pp. 182-190，2008
- 14) 佐野充，森部総一，加藤博和，日比野高士：生ごみのバイオガス化によるごみ処理の適切なシステムの検討，人間環境学研究，vol. 5，No. 1，pp. 1-5，2007
- 15) 天野耕二，曾和朋弘：中間処理方法の組み合わせに着目した一般廃棄物処理システムの包括的評価，土木学会論文集 G，vol. 63，No. 4，pp. 391-402，2007
- 16) 矢野順也，平井康宏，酒井伸一，出口晋吾，中村一夫，堀寛明：都市ごみの厨芥類および紙類の利用システムによる温室効果ガスの削減効果，廃棄物資源循環学会論文誌，vol. 22，No. 1，pp38-51，2011

第2章 農村型小規模バイオマス利活用システムの評価

2.1 はじめに

我が国においては一般廃棄物と産業廃棄物は処理主体が異なるため、一般廃棄物と廃棄物系バイオマスは一般に、別々に処理されている。

研究においても、一般廃棄物系と産業廃棄物系のバイオマスは、別個に扱われることが多い。一般廃棄物処理における代替案の評価を行った例としては、中野ら¹⁾が全国の広域処理計画に基づくブロック割りを考慮し、広域ごみ処理システムの導入によるエネルギー削減効果に着目しており、中田・浦邊²⁾は全国を対象とした可燃性の一般廃棄物処理システム全般におけるマテリアルフローと経済性評価を行っている。また、天野・曾和³⁾は特定の自治体における中間処理の組合せに着目し温室効果ガス、最終処分量及びコストの評価を行ない、永ら⁴⁾は可燃性一般廃棄物処理について都市間の地域特性を考慮した温室効果ガス排出量及びコストの比較を行っている。しかしこれはいずれも、一般廃棄物の処理に限定したものとなっている。一方、廃棄物系バイオマスを対象とした研究は、畜産廃棄物など、単独種類を対象とした研究が多数行われている。しかし、複数種類の廃棄物系バイオマスを対象とした研究は、矢野ら⁵⁾による食品廃棄物・下水汚泥・木質バイオマスといった都市由来の廃棄物系バイオマスを対象としたエネルギー変換技術による温室効果ガス排出量及びコストに関する研究や横井ら⁶⁾による産業団地のような小地域から発生する廃棄物系バイオマスを対象とした地域エネルギー供給効果に関する研究など、限られている。

ある地域を考えると、そこには一般廃棄物系以外に産業系の廃棄物系バイオマスも存在する。すべてのバイオマスを、地域循環を考慮に入れつつ総合的に処理することは地域の持続性、経済効率性を高めることが期待できる。一般廃棄物、産業廃棄物の区分に拘束されているこれまでの廃棄物資源化処理を見直し、将来目指すべき方向であると考えらる。

以上のことから、本研究は地域内で発生するすべての廃棄物系バイオマスを対象とし、地域内で循環する複数のシステム案の評価を行った。

研究の実施にあたっては、以下の点を考慮した。「 」内が、本研究のキーワードである。

廃棄物系バイオマスの種類は多様である。しかし日本では一般廃棄物は自治体、産業廃棄物は民間という区分があり、また畜産廃棄物は農林水産省、下水汚泥は国土交通省といった管轄省庁の違いという制度上の制約が対象範囲を狭くしている。その結果、現実のシステムとしても、また研究においても一部のバイオマスを対象とすることが多かった。これは部分的な最適化にすぎない。本研究は、「地域内の廃棄物系バイオマスを対象とした総合的な利活用」を考える。

また、バイオマスの処理方法としては、技術としての成熟性、対象の広さの点で、バイ

オガス化、堆肥化が代表的かつ実行可能性の高い技術である。しかしバイオマスの種類によって製品の品質が異なり、利用の可能性が変化する。また現時点で有効に利用されているならば、新たな資源化を行う必要性は低い。本研究では、盲目的・機械的に資源化を図ろうとするのではなく、バイオマスの種類ごとに資源化の必要性を考慮した、「現実に即したシナリオ」を設定し、将来起こりうる条件の変化に対する提案も行う。

本研究では温室効果ガス排出量を指標とするが、対象システムのマテリアルフローが作成されると、その後の結果はどのような温室効果ガス排出係数を用いるかによって決定する。さまざまな処理の温室効果ガス排出係数が推定されているが、精度が不確かなものも少なくない。本研究ではシナリオ評価の際に、結果を大きく左右する温室効果ガス排出係数について感度を評価し、「さらに調査研究を実施すべき要因を抽出」する。

2.2 検討対象シナリオ

2.2.1 地域内の廃棄物系バイオマス

本研究の対象として、本研究の目的に合致した条件をもつ熊本県天草市を選定した。天草市は、平成 18 年 3 月に 2 市 8 町が合併して誕生し、熊本県南西部の天草上島と天草下島及び御所浦島などで構成する天草諸島の中心部に位置しており、人口は 92,613 人（平成 23 年 1 月末現在）、面積は 683.07km² で熊本県最大の面積を有する自治体である。合併によって誕生したため、天草市には焼却施設が 5 施設、し尿処理施設が 3 施設ある。このうちいくつかは竣工後 20 年以上が経過し、効率的な処理のためにも集約化が必要とされている。またほとんどが山林で占められ、年間平均気温 16.7℃ と温暖な気候を活かした農業（コメ、果物）、畜産、豊かな水産資源を活かした漁業を主としていることから、製材廃材、林地残材、家畜ふん尿、稲わら、水産加工残渣など、多様な廃棄物系バイオマスが発生している。さらに、海に囲まれていることから処理・資源化の地域内完結性、資源物の地域内循環が望ましい地域である。

天草市における廃棄物系バイオマスの発生量は表 2-1 に、フローは図 2-1 に示すとおりである。それぞれの発生量は、市の推計値であるが、このうち家畜ふん尿は、表 2-1(b) 中の飼養頭羽数にふん尿の原単位を乗じて算出した。牛は乳用牛と肉用牛に分類されるが、ふん尿の発生量、水分が異なり、また乳用牛は育成牛、搾乳牛、豚は肥育豚、繁殖豚などに分けられ、やはりふん尿の発生量が異なる。年齢による違いもある。本研究ではまず牛を乳用牛、肉用牛に分け、乳用牛は搾乳牛を、肉用牛は 2 歳以上の原単位を用いた。表 2-1(b) 中の窒素含有量は 4 でメタンガス、亜酸化窒素の排出量を計算するのに用いるが、前者は「温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル」²¹⁾ から、また後者は同マニュアルから一頭当たりのふん（または尿）からの年間窒素排出量／年間ふん（または尿）排出量を計算して求めた。

市外から持ち込まれるおがくず a, b は市内で発生するバイオマスではないが，堆肥化の水分調整材として利用する場合のみ対象とする。

表 2-1 対象バイオマスに関する数値

(a) 廃棄物系バイオマスの発生量と処理状況

	発生量 [t-wet/年]	発生量[t-dry/年]		本研究の 対象	現在の処理方法	含水率(%)	
			利用状況				出典
家畜ふん尿	乳用牛	989	138		○	堆肥化	86.0 7)
	肉用牛	64,194	14,123		○	堆肥化	78.0 7)
	豚	82,293	23,042		○	堆肥化	72.0 7)
	鶏	1,480	444		○	堆肥化	70.0 7)
製材廃材	277	235		○	敷料等	15.2 8)	
剪定枝	2,894	1,736	未利用	○	野積み	40.0 9)	
水産加工残渣	3,720	677			飼料化	81.8 10)	
一般廃棄物(可燃ごみ)	22,528	10,183	未利用	○	5施設で焼却処理	54.8 11)	
廃食用油	889	889			BDF化	0.05 12)	
し尿	20,307	296	未利用	○	3施設で処理	98.5 13), 14)	
浄化槽汚泥	29,443	270	未利用	○	3施設で処理	99 13), 14)	
集落排水汚泥	344	27			濃縮汚泥及び一部脱水汚泥はし尿処理施設で処理。その他脱水汚泥は堆肥化	92.1 15), 16), 17)	
下水汚泥(脱水汚泥)	1,388	296			堆肥化	78.7 15), 16), 17)	
稲わら	7,442	5,209			農地鋤込み(40%)、飼料(60%)	30 18)	
もみ殻	1,861	1,303		○	主に敷料利用、一部園芸利用・自家利用等	30 18)	
規格外果実	160	21			堆肥化、廃棄物処理	87 19)	
林地残材	7,160	2,363	未利用		林地還元	67 8)	
おがくずa(市外より)	10,094	3,099		○	敷料利用	30.7 7)	
おがくずb(市外より)	27,788	8,531		○	家畜堆肥の水分調整用副資材	30.7 7)	

(b) 家畜飼養頭羽数及びふん尿発生原単位等

	飼養 頭羽数 ²⁰⁾	ふん尿発生原単位 ²¹⁾ [t-wet/頭年]		窒素含有量 ²¹⁾ [t-N/t-wet]		備考
		ふん	尿	ふん	尿	
乳用牛	46	16.6	4.9	0.0034	0.0114	搾乳牛
肉用牛	6,618	7.3	2.4	0.0031	0.0127	2歳以上
豚	37,923	0.77	1.4	0.0039	0.0068	肥育豚
採卵鶏	20,200	0.05	-	0.024	-	成鶏
ブロイラー	10,000	0.047	-	0.0213	-	

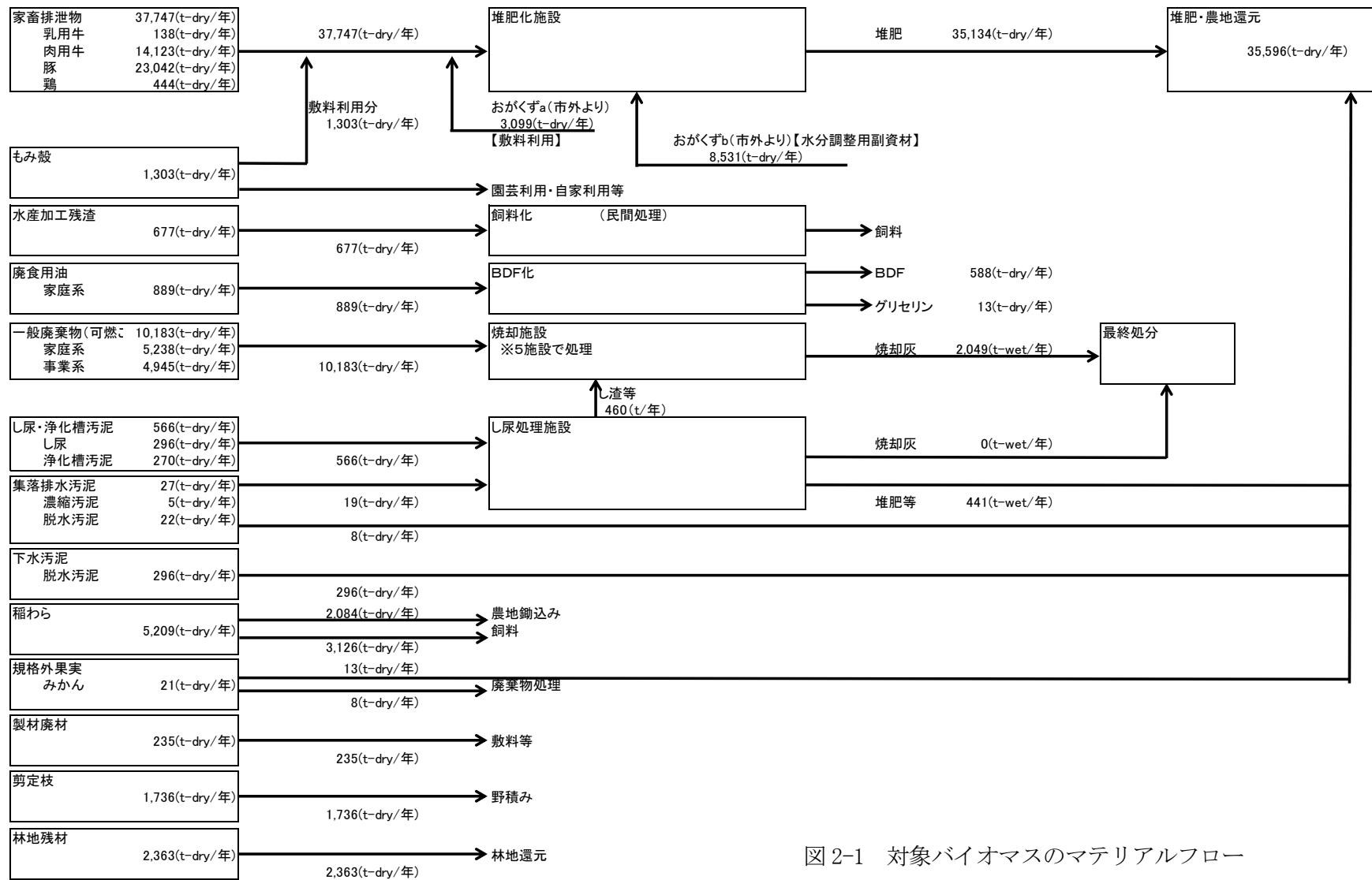


図 2-1 対象バイオマスのマテリアルフロー

2.2.2 現在の処理状況

各廃棄物系バイオマスの処理，資源化状況は，以下のとおりである。

(1) 有効利用されているバイオマス

家畜ふん尿は全量が堆肥化され，敷料としてもみ殻，製材廃材が使用されている。乳用牛や肉用牛で必要とされる敷料は市内だけでは不足なので，市域外から約 4 万 t のおがくずで補っている（表 2-1(a)最下段）。水産加工残渣は全量が飼料化されており，家庭から排出される廃食油についても市内において BDF 化し，利用が図られている。稲わらは飼料及び農地への鋤込み利用されている。下水汚泥は全量堆肥化され利用されている。集落排水汚泥は，一部が堆肥化され利用されているが，その他は濃縮汚泥として排出され，し尿処理施設において再度処理が行われている。

(2) 未利用バイオマスの処理方法

一方，一般廃棄物（可燃ごみ，事業系も含む）は，表 2-2(a)に示す 5 つの焼却施設で焼却処理されている。4 施設は竣工年が平成 4～8 年と古く，老朽化している。最も新しい施設は平成 12 年竣工だが，すでに建て替えの検討を開始している。エネルギー利用としては，施設(No. 5)で場内熱利用が図られているのみである。し尿，浄化槽汚泥は，表 2-2(b)に示す市内 3 施設(No. 1～3)で処理し，し尿の約 4 割は焼却処理している。市内のし尿処理施設は竣工後約 30 年が経過し，設備更新を行いながら運転を継続している状況である。約 1 万 t は，市外にあるし尿処理施設(No. 4)で処理されている。また，剪定枝や林地残材は利用されることなく，林地還元等が行われている。

表 2-2 現在稼働中の焼却施設及びし尿処理施設の概要

(a) 焼却施設

施設No.	1	2	3	4	5
処理方式(炉型式)	ストーカ (バッチ)	ストーカ (バッチ)	ストーカ (バッチ)	ストーカ (バッチ)	流動床 (准連続)
施設規模[t/日](竣工年)	10(平4)	17(平7)	34(平8)	36(平4)	93(平12)
年間処理量[t-wet/年]	572	2,116	7,342	5,406	16,903

(b) し尿処理施設

施設No.	1	2	3	4
対象物	し尿,浄化槽汚泥	し尿	浄化槽汚泥	し尿,浄化槽汚泥
方式	硝化脱窒素+ 高度処理	焼却	固液分離+凝 集沈殿処理+ 接触酸化処理	硝化脱窒素+ 高度処理
汚泥処理方式(資源化方法)	乾燥(堆肥化)	焼却	焼却	脱水(堆肥化)
施設規模 [kL/日](竣工年)	46(昭57)	30(昭53)	45(平5)	115(平16)
年間処理量[kL/年]	18,748	7,795	12,637	10,570

(3) バイオマス乾燥物量

廃棄物系バイオマスの含水率は種類別に大きく異なるため、乾燥物量で比較することが適当である。文献より含水率を仮定して乾燥固形物量を計算したところ、図 2-2 のようになる。ただし、ここには市外からのおがくずは含めていない。家畜ふん尿、し尿・浄化槽汚泥が全体の 63%を占めている。

2.2.3 本研究で対象とするバイオマス

表 2-1(a)には、現時点での有効利用の有無を示した。図 2-2 に示すように未利用バイオマスは 24%であり、本研究ではこのうち、適切に処理されず林地還元されている剪定枝、熱回収がほとんど行われず施設が老朽化している可燃ごみ、複数の老朽化した施設で処理しているし尿・浄化槽汚泥を取り上げる。林地残材は回収が容易ではなく、利活用は困難であるため除くことにする。一方、現時点で有効利用されているものについては、家畜ふん尿は堆肥化されているが、大部分が堆肥舎利用であり、メタンガス排出が大きい可能性があるため、これも対象とする。敷料として利用されている製材廃材、もみ殻も併せて対象に含める。水産加工残渣など、現在すでに十分に有効利用されているものは、新たな資源化方法を選択する必要がないと考え、対象外とする。

以上より、本研究で対象とするバイオマスは表 2-1(a)に「○」で示すものであり、

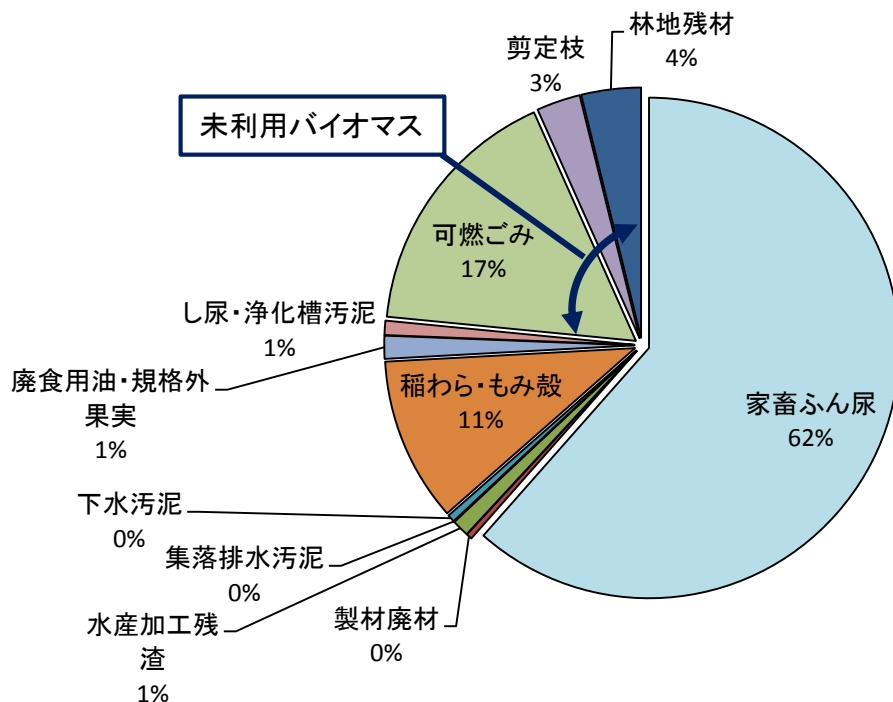


図2-2 天草市におけるバイオマスの発生及び利用状況
(乾重量, 市外からのおがくずを除く)

乾燥重量割合で全廃棄物系バイオマスの82%となる。

2.2.4 検討対象とするシナリオ

本研究では、表 2-3(a)に示す 3 つの有効利用シナリオを考える。これらの効果を、現在の処理方法と比較する。現状及びシナリオ毎のマテリアルフローは図 2-3 に示すとおりである。有効利用方法の基本的な考え方は、環境影響が大きいと考えられる家畜ふん尿堆肥舎に代わる資源化方法の選択、資源化方法としては多様な廃棄物に適用でき実施の例も多い堆肥化、メタン発酵のいずれかの利用、自治体合併によって複数存在しかつ老朽化している焼却、し尿処理施設の集約を行うことである。可燃ごみのうち生ごみは分別収集後資源化し、製材廃材、もみ殻は敷料として家畜ふん尿とともに処理されるとする。生ごみを分別した可燃ごみは、焼却する。なお本研究では、「高速堆肥化」というときは強制通気、攪拌を行う高速堆肥化方式を指し、機械的操作のない堆積方式を「堆肥舎」として区別する。

シナリオ I は廃棄物系バイオマスすべてを堆肥化するもので、マテリアルリサイクル優先、シナリオ II はすべてをメタン発酵してエネルギー回収優先のシナリオである。シナリオ I においては、し尿および浄化槽汚泥は含水率が高い（表 2-1(a)参照）ため堆肥化には脱水施設、水処理が必要となる。そのため、現在市内にある 3 施設を集約化した新規のし尿処理施設で処理するとした。本研究の対象地域にはし尿処理施設があるため、より現実的と考えたためである。焼却も、現在の 5 施設を集約化した新施設で処理するとする。シナリオ II においては生ごみ、し尿および浄化槽汚泥、家畜ふん尿をメタン発酵の対象とし、脱水施設は設けない。しかし、家畜ふん尿のうち鶏ふんはメタン発酵を行うとアンモニア阻害が起こる。発生量が少なく、水分も低いため堆肥舎での処理とする。現在、家畜堆肥の水分調整用副資材として利用されているお

表2-3 想定するシナリオ

(a) 対象バイオマス毎のシナリオ別処理方法

	[t-dry/年]	現在	シナリオ I	シナリオ II	シナリオ III
		家畜ふん尿(鶏ふん以外)	37,303	堆肥舎	高速堆肥化
家畜ふん尿(鶏ふん)	444	堆肥舎			
剪定枝	1,736	放置	焼却	焼却	焼却
可燃ごみ(生ごみ以外)	7,902	焼却			
生ごみ	2,281		高速堆肥化	メタン発酵	メタン発酵
し尿+浄化槽汚泥	598	し尿処理	し尿処理	メタン発酵	メタン発酵
製材廃材	235	堆肥舎	高速堆肥化	メタン発酵	高速堆肥化
もみ殻	1,303				
おがくず ^a (市外から)	3,099	堆肥舎	高速堆肥化	使用せず	高速堆肥化
おがくず ^b (市外から)	8,531				

注:網掛けは施設集約を示す。

(b) シナリオ毎の処理量

上段:湿重量[t-wet/年], 下段:乾重量[t-dry/年]

	現在	シナリオ I	シナリオ II	シナリオ III
焼却	22,528	14,813	14,813	14,813
	10,183	9,638	9,638	9,638
高速堆肥化		199,585		187,496
		53,196		50,915
メタン発酵			220,031	60,323
			44,819	2,879
堆肥舎	188,976		1,480	
	50,915		444	
標準脱窒	49,750	49,750		
	598	598		

がくず b は不要となる。表 2-3(a)では集約化した施設を網掛けで示した。集約後の焼却施設は全連続ストーク式，し尿処理は現在の施設のうち最も新しい硝化脱窒素，高度処理で汚泥乾燥処理とする。メタン発酵は消化液を水処理し放流する施設を仮定する。また，し尿はし渣除去後にメタン発酵，浄化槽汚泥は遠心分離による固液分離後に固形分をメタン発酵し液分は水処理する施設を仮定した。

シナリオ I, II は堆肥化，メタン発酵のいずれかとしたが，家畜ふん尿は敷料を

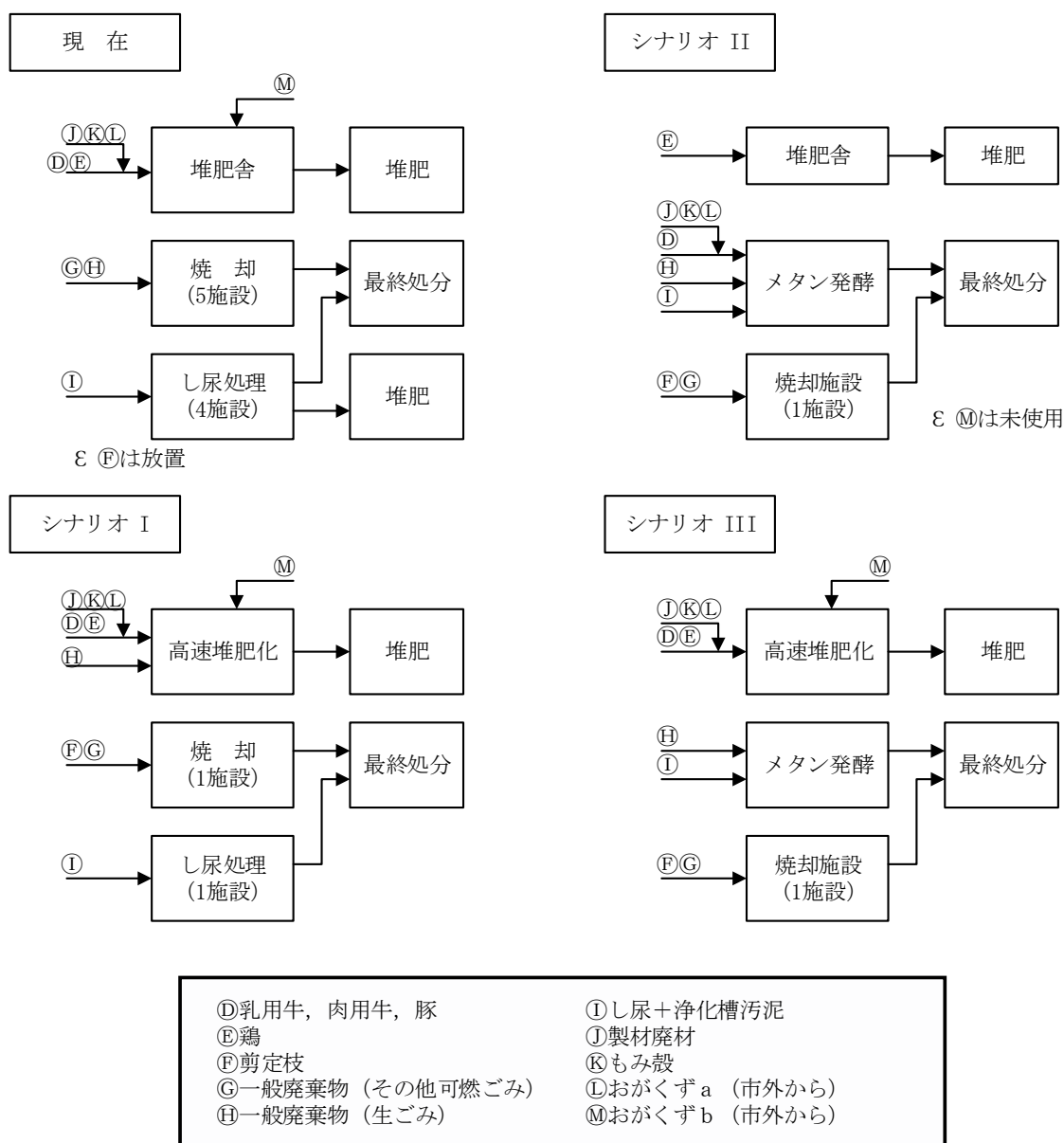


図 2-3 シナリオ毎のフロー図

むため含水率が調整されているのに対し、し尿、浄化槽汚泥は含水率が高いことから、メタン発酵が有利である。また家畜ふん尿堆肥は有料で販売されているため、シナリオ I, II の中間として、家畜ふん尿を堆肥化、それ以外をメタン発酵するシナリオ III を想定する。

いずれのシナリオにおいても、敷料として利用されている製材廃材、もみ殻は、家畜ふん尿と同じ処理となる。表 2-3(a)の市外からのおがくずのうち敷料として使用されるおがくず a も同様であるが、水分調整材として使用されているおがくず b は、シナリオ II では不要となる。表 2-3(b)に、各シナリオの処理方法別バイオマス系廃棄物の量を、湿重量、乾重量ともに示す。おがくずの含水率は 69%とし、天草市における可燃ごみの組成データが入手できなかったため、可燃ごみ組成、組成ごとの水分から、生ごみ量は表 2-4(a)のように推定した（表 2-4(a)のプラスチックの量は焼却による二酸化炭素排出量推定に用いる）。堆肥化から排出される亜酸化窒素の原単位は窒素量当たりで与えられているので、表 2-4(b)に畜ふん、生ごみの窒素含有量を示した。もみ殻、おがくず、剪定枝などの副資材は窒素含有量をゼロとする。また、し尿、浄化槽汚泥のうち市外で処理されている約 1 万 t は、簡単化のため、現状を含むすべてのシナリオにおいて市内で処理されていると考える。

表2-4 可燃ごみ質の設定値及び生ごみ等の窒素含有量

(a) 可燃ごみ質の設定値²²⁾

	発生量		水分 [%]	プラス チックの 比率 [%]	低位発熱量 [kJ/kg]
	[t-wet/年]	[t-dry/年]			
可燃ごみ(生ごみ以外)	11,919	7,902	33.7	27.9	8,686
生ごみ	10,609	2,281	78.5	0.0	3,390

(b) 生ごみ、し尿、浄化槽汚泥の窒素含

	窒素含有量 [t-N/t-wet]	出典
生ごみ	0.0049	23)
し尿・浄化槽汚泥	0.0015	23)

2.3 計算における仮定

2.3.1 処理施設の用役使用量

処理施設における用役使用量を，表 2-5 のように設定した。焼却施設は既設の 5 施設の実績値を合計して処理量で割ったが，施設が古く，また規模が小さいために電気使用量が高めである可能性がある。本研究で想定するシナリオでは複数施設を集約するが，その際に新設による用役使用量の削減が期待できる。そこで新規施設の電気，燃料使用量を最近の調査結果から設定した。し尿処理についても新規施設に対して最近の数値を用いるが，電気使用量は逆に大きくなった。これは設備の構成が高度化したためと思われる。焼却施設の薬剤等使用量は排出基準値を満足するよう決定するので，新規施設も既設施設と同じとする。

高速堆肥化施設，メタン発酵施設については新規のみ考えればよいので，新旧の比較は必要ない。堆肥化，メタン発酵の処理対象物はさまざまであり，電気，燃料使用量は対象とするバイオマスの種類によって異なる。天草市における表 2-3 (b) のシナリオ I，III においては乾重量の 70%以上が畜ふんであるので，表 2-4 中「家畜ふん尿主体」の数値を用いる。シナリオ II のメタン発酵は，乾重量の 83%が畜ふんであり，やはり「家畜ふん尿主体」の数値を用いる。

メタン発酵，堆肥化からも残渣が発生し，焼却あるいは埋め立てされることになる。しかし焼却量，埋立量中で大きな割合を占めることはない。また焼却施設の残渣は埋め立てされるが，いずれのシナリオにおいても焼却量は大きく変化せず（表 2-3 (b) 参照），既往の研究において，エネルギー使用量，二酸化炭素排出量の埋立地の寄与は

表2-5 施設毎の用役使用量の設定

		既存施設	新規施設	出典
焼却施設	電気[kWh/t-wet]	231.6	175.9	26)
	A重油使用量[L/t-wet]	3.36	1.1	26)
	灯油使用量[L/t-wet]	3.27	A重油に計上	
	尿素[kg/t-wet]	0.29	同左	
	消石灰[kg/t-wet]	4.35	同左	
	活性炭[kg/t-wet]	0.54	同左	
	キレート剤[kg/t-wet]	0.39	同左	
	セメント[kg/t-wet]	6.29	同左	
堆肥化施設	電気[kWh/t-wet]	-	95.9	24)
	燃料[L/t-wet]	-	3.7	24)
メタン発酵施設	電気[kWh/t-wet]	-	20	25)
し尿処理施設	電気[kWh/kL]	50.2	67	27)
	A重油使用量[L/kL]	19.2	8.5	27)

小さいため、本研究において埋め立ては無視する。また、収集・輸送は、いずれのシナリオにおいても必要であるため、これも計算対象外とする。

2.3.2 処理施設の回収物等

表 2-6 に、各施設からの回収物を示す。

表2-6 施設からの回収物等の設定

		設定値	出典
発電効率[%]	ごみ焼却施設	12	28)
	ガスエンジン	32	メーカー情報
メタンガス発生量 [Nm ³ -CH ₄ /t-wet]	牛ふん(乳牛)	16.8	29)
	牛ふん(肉牛)	22.2	29)
	豚ふん	27	29)
	し尿浄化槽汚泥	2.1	30)
	生ごみ	87.3	31)
堆肥生産率 [t-dry/t-dry]	畜ふん	0.61	7)
	生ごみ	0.3	32)
	おがくず、もみ殻、製材廃材	0.81	7)

新規焼却施設の施設規模は 60t/日程度となるため、発電効率は文献²⁸⁾より 100t/日以下の数値を用いる。既設の施設においては、発電は行われていない。メタン発酵は、回収したガスをガスエンジンによって発電するとする。発電効率は、「メタンガス化（生ごみメタン）施設整備マニュアル」（平成 20 年 1 月、環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課）では、ガスエンジンの発電効率（25～35%程度）とされていることから、メーカー情報を参考にして設定し、規模による効率の変化は考慮しない。

メタンガス発生量は、バイオマスの種類別に設定する。本研究ではバイオマスを乾重量で表しているが、ガス発生量の文献値は湿重量あたりのみしか得られなかった。ガス発生に占めるメタン濃度は、畜ふんは 60%，し尿浄化槽汚泥は 55%，生ごみは 55%とした。堆肥の生産収率は畜ふん、生ごみなど種類によらず一定とし、高速堆肥化、堆肥舎で差がないとする。ただし、もみ殻、おがくずなどは分解しないと考える（そのため、表 2-3 中おがくず b を含めるかどうかは無関係となる。）。

2.3.3 温室効果ガス排出係数

焼却施設から排出される温室効果ガスを、「温室効果ガス排出量算定・報告マニユ

アル」²¹⁾より表 2-7(a)のように設定した。既設の焼却施設のうち 1 施設が准連続式、4 施設がバッチ燃焼式であるので、准連続式とバッチ燃焼式の平均値を用い、新規施設に対しては全連続式の数値とする。これらは、可燃ごみ焼却に対する数値であるが、剪定枝に対しても同じとする。二酸化炭素は、可燃ごみのうち非バイオマスであるプラスチック焼却によるもののみを考える。既設のし尿焼却については、汚泥焼却の数値を用いる。

堆肥化の温室効果ガス排出係数は、バイオマスの種類別に設定した。現行の堆肥舎については堆積発酵、新規施設の高速堆肥化については強制発酵の数値を用いる。亜酸化窒素 (N_2O) の原単位は焼却に対しては処理量あたりであったが、堆肥化については窒素量あたりで示されている。メタン発酵の反応装置は閉鎖式のためガス排出はなく、また発酵後の固形残渣からのガス発生も無視する。生ごみはシナリオ I において堆肥化の対象としている。副資材として使用するもみ殻、おがくずは家畜ふん尿と較べて量が少なく (表 2-3(a) 参照)、分解率も低いことからメタンガス、亜酸化窒素の排出はないと考える。

し尿浄化槽汚泥処理は、既存施設、新設施設とも標準脱窒素処理の数値を用いる。メタンガス、亜酸化窒素の地球温暖化係数²¹⁾は、それぞれ二酸化炭素の 21 倍、310 倍とする。

表 2-8 に、電気、燃料、薬剤の温室効果ガス排出係数を示す。用役使用量にこれらの数値を乗じて、二酸化炭素排出量を計算する。新設施設の焼却、メタンガス化によって回収する電力、堆肥化により回収する堆肥は、それらの製造に伴う二酸化炭素排出を削減するが、表 2-8 の数値を用いる。

表2-7 施設から発生する温室効果ガスの設定

(a) 焼却処理

	CO ₂ [CO ₂ /t]	CH ₄ [tCH ₄ /t]	N ₂ O [tN ₂ O/t]	備考
全連続式	-	9.50E-07	5.67E-05	新規施設
准連続燃焼式	-	7.70E-05	5.39E-05	既設施設
バッチ燃焼式	-	7.60E-05	7.24E-05	
廃プラスチック類	2.77	-	-	可燃ごみ由来

(b) 堆肥化处理

	堆積発酵		強制発酵	
	CH ₄ [tCH ₄ /t]	N ₂ O [tN ₂ O/tN]	CH ₄ [tCH ₄ /t]	N ₂ O [tN ₂ O/tN]
乳用牛(糞尿混合)	4.74E-03	3.80E-02	5.49E-05	3.10E-02
肉用牛(糞尿混合)	1.78E-04	2.50E-02	4.65E-05	3.10E-02
豚(ふん尿混合)	1.19E-04	3.90E-02	7.20E-05	3.10E-02
鶏(ふん)	2.10E-04	3.10E-02	2.10E-04	3.90E-03
生ごみ ³³⁾	-	-	7.50E-04	1.25E-02

(c) し尿・汚泥処理

	標準脱窒素処理	
	CH ₄ [tCH ₄ /m ³]	N ₂ O [tN ₂ O/tN]
し尿・浄化槽汚泥処理	5.90E-06	5.45E-06

表2-8 用役の温室効果ガス排出係数

	CO ₂	単位	出典
電気	0.000348	tCO ₂ /kWh	34)
A重油	2.71	tCO ₂ /kL	34)
灯油	2.49	tCO ₂ /kL	34)
尿素	0.916	tCO ₂ /t	35)
消石灰	1.1	tCO ₂ /t	3)
活性炭	0.279	tCO ₂ /t	36)
キレート剤	2.66	tCO ₂ /t	3)
セメント	0.502	tCO ₂ /t	34)
堆肥	0.044	tCO ₂ /t	37)

2.4 シナリオの評価

2.4.1 用役使用量

表 2-9 に、各シナリオの中間計算値をまとめた。横方向は各シナリオで実施する処理のみとし、用役使用量は表 2-3(b)の処理量と表 2-5 の原単位から求めた。後述のように薬品由来の温室効果ガス排出量は少ないので、薬品等は合計量とした。回収量の最上段は焼却対象ごみのもつ発熱量であり、これに表 2-6 の発電効率、および熱等価値（1kWh=3.6MJ）から発電量を算出した。メタンガス回収量は種類別の処理量に表 2-6 の原単位を乗じて求め、ガス発電の発電効率から発電量を算出した。堆肥は乾燥重量として算出した。

一方、メタンガス、亜酸化窒素排出量は、表 2-7 の原単位から算出した。

2.4.2 温室効果ガス直接排出量

表 2-9 に表 2-8 の温室効果ガス排出係数を乗じ、シナリオごとの二酸化炭素排出量を図 2-4 に示す。添付の表は、シナリオごとの排出量と削減量、それらを合計した正味の排出量である。

表2-9 各シナリオの計算結果

現状	施設の種類	焼却	堆肥舎	し尿処理
	処理量 [t-wet/年]	22,528	188,976	49,714
用役使用	電気 [MWh/年]	5,217		2,494
	重油・灯油 [kL/年]	149		956
	薬品等[t/年]	267		
回収量	総熱量(焼却) [GJ/年]	139,493		
	電力(焼却) [MWh/年]			
	メタンガス [Nm ³ /年]			
	電力(メタン) [MWh/年]			
	堆肥[t/年]		33,696	
	CH ₄ 排出量 [t/年]	1.7	26.2	0.3
	N ₂ O排出量 [t/年]	1.4	28.6	0.0

シナリオI	施設の種類	焼却	高速堆肥化	し尿処理
	処理量 [t-wet/年]	14,813	199,585	49,714
用役使用	電気 [MWh/年]	2,606	19,140	3,331
	重油・灯油 [kL/年]	65	738	423
	薬品等[t/年]	176		
回収量	総熱量(焼却) [GJ/年]	136,196		
	電力(焼却) [MWh/年]	4,540		
	メタンガス [Nm ³ /年]			
	電力(メタン) [MWh/年]			
	堆肥[t/年]		34,381	
	CH ₄ 排出量 [t/年]	0.01	17.2	0.3
	N ₂ O排出量 [t/年]	0.8	26.6	0.0

シナリオII	施設の種類	焼却	メタン発酵	堆肥舎
	処理量 [t-wet/年]	14,813	220,031	1,480
用役使用	電気 [MWh/年]	2,606	4,401	
	重油・灯油 [kL/年]	65		
	薬品等[t/年]	176		
回収量	総熱量(焼却) [GJ/年]	136,196		
	電力(焼却) [MWh/年]	4,540		
	メタンガス [Nm ³ /年]		4,687,970	
	電力(メタン) [MWh/年]		14,918	
	堆肥[t/年]			271
	CH ₄ 排出量 [t/年]	0.01	0.0	0.3
	N ₂ O排出量 [t/年]	0.8	0.0	1.1

シナリオIII	施設の種類	焼却	高速堆肥化	メタン発酵
	処理量 [t-wet/年]	14,813	188,976	60,323
用役使用	電気 [MWh/年]	2,606	18,123	1,206
	重油・灯油 [kL/年]	65	699	
	薬品等[t/年]	176		
回収量	総熱量(焼却) [GJ/年]	136,196		
	電力(焼却) [MWh/年]	4,540		
	メタンガス [Nm ³ /年]			1,030,565
	電力(メタン) [MWh/年]			3,279
	堆肥[t/年]		33,696	0
	CH ₄ 排出量 [t/年]	0.01	9.3	0.0
	N ₂ O排出量 [t/年]	0.8	25.9	0.0

まず処理方法別にみると、堆肥舎、高速堆肥化の直接排出が大きい。これはメタンガスと亜酸化窒素によるもので、シナリオ I の堆肥化の場合はメタンガスと亜酸化窒素の排出量は 2 : 3 だが、亜酸化窒素の温室効果が大きいため、二酸化炭素換算は、1 : 22 となる。高速堆肥化は電力消費による間接排出があるため、堆肥舎と比べて排出量が多い。

一方で、メタン発酵は格段によい結果となった。電気、燃料の使用量が少なく、メタンガス、亜酸化窒素の排出もない。さらに電力回収による削減効果が高いためである。焼却、し尿処理の集約化によってある程度の電力使用量等の低減効果はあるが、大きいとは言えない。

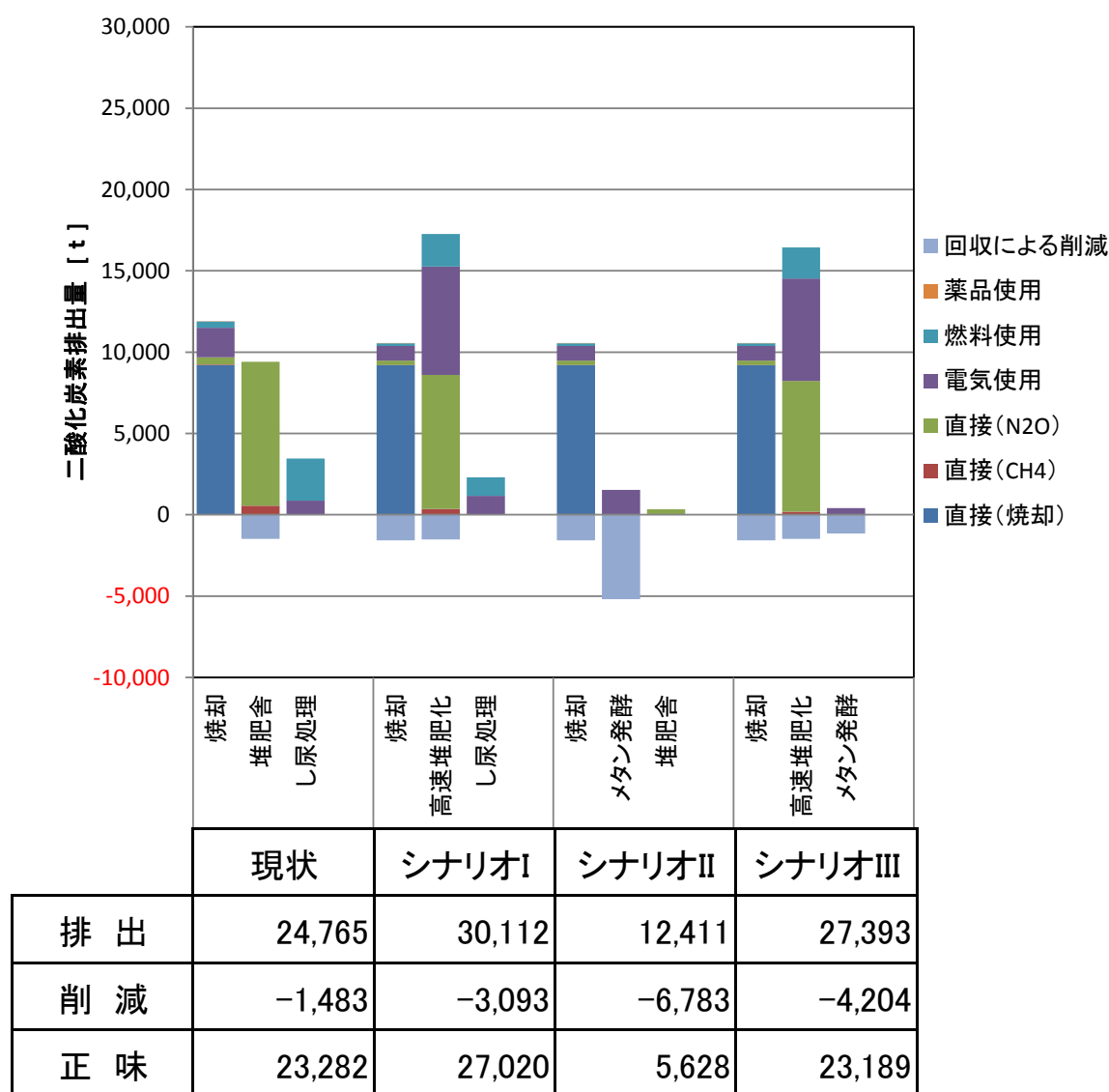


図2-4 各シナリオの温室効果ガス排出量

2.4.3 評価に影響する不確実性

(1) 堆肥化

堆肥化の評価が低くなったのは、表 2-7(b)のメタンガス、亜酸化窒素排出があるとしたためである。しかし温室効果の高い亜酸化窒素排出量は、堆積発酵と強制発酵でほとんど差がなく、肉用牛のふん尿、鶏ふんは強制発酵のほうが大きな数値となっている。野積みの堆肥舎の方が亜酸化窒素等の排出が大きいであろうことは直感的に想像できる。温室効果算定のため、さまざまな分野でデータの収集が進められている。すべての数値を正確に得ることは労力的に困難であるが、本研究のようにバイオマスの現実的なマスバランスにもとづく検討により結果を大きく左右する重要な数値を特定して、集中的なデータ収集が必要である。

また、堆肥化は電力使用に由来する二酸化炭素排出の割合も大きい。本研究で使った表 2-5 中の数値は 10 か所の施設の平均値である。家畜ふん尿を主体とする施設の電気使用量は、14~202kWh/t-wet の幅がある。この最小値を用いるならば、シナリオ I 中の堆肥化の二酸化炭素排出量は図 2-5 に示すように、図 2-4 の 0.79 倍に減少し、最大値を使うと図 2-6 に示すように 1.27 倍となる。廃棄物処理施設、資源化施設にはさまざまな施設があり、高速堆肥化施設も発酵時間、送気量、破碎・選別等の前処理方法が異なる。想定する処理方法に対し適切な数値を選択する、あるいは幅を持たせた数値を用いて一般性の高い考察を行う必要がある。

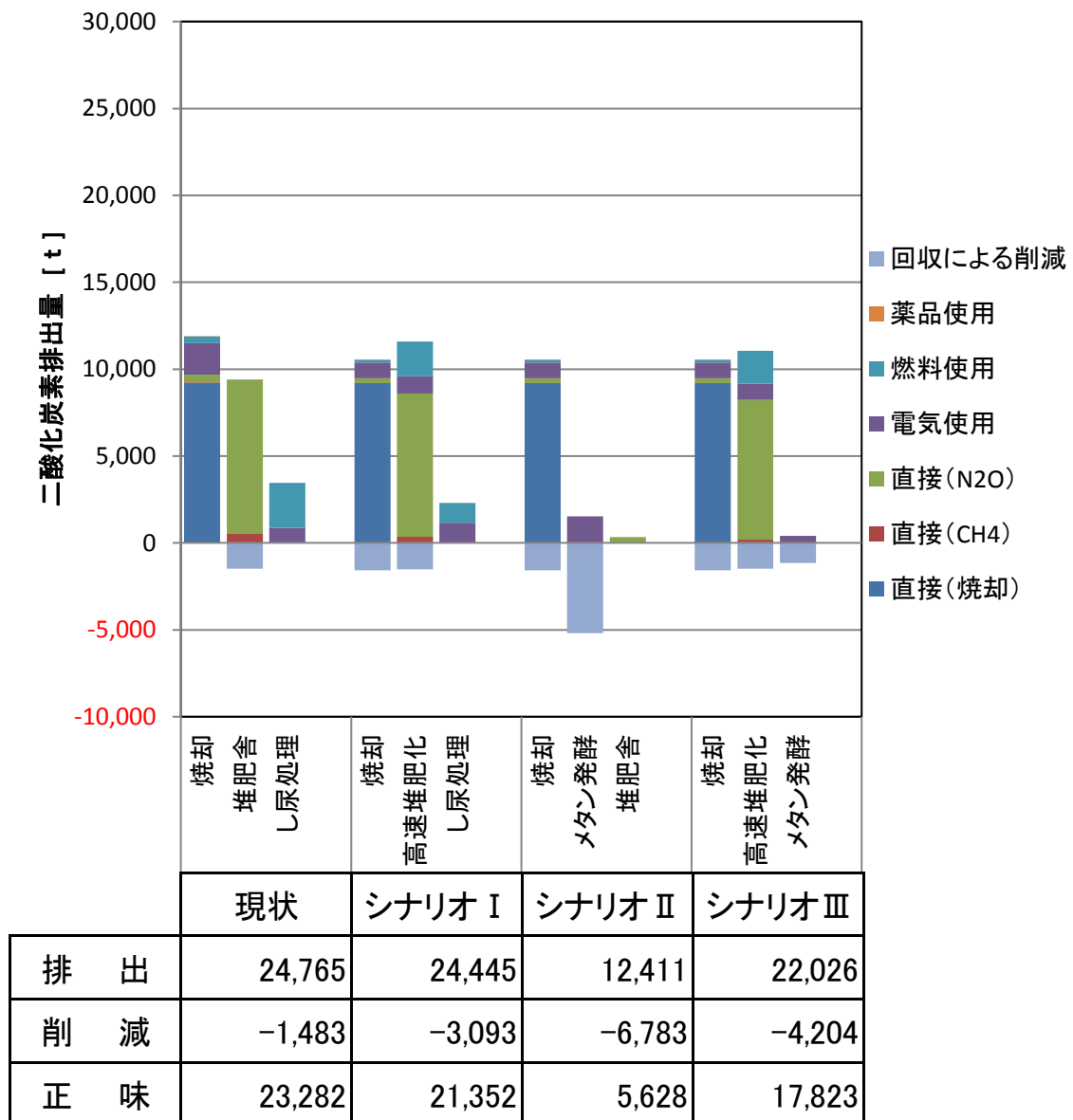


図 2-5 各シナリオの温室効果ガス排出量
(家畜ふん尿を主体とする施設の電気使用量が最小の場合)

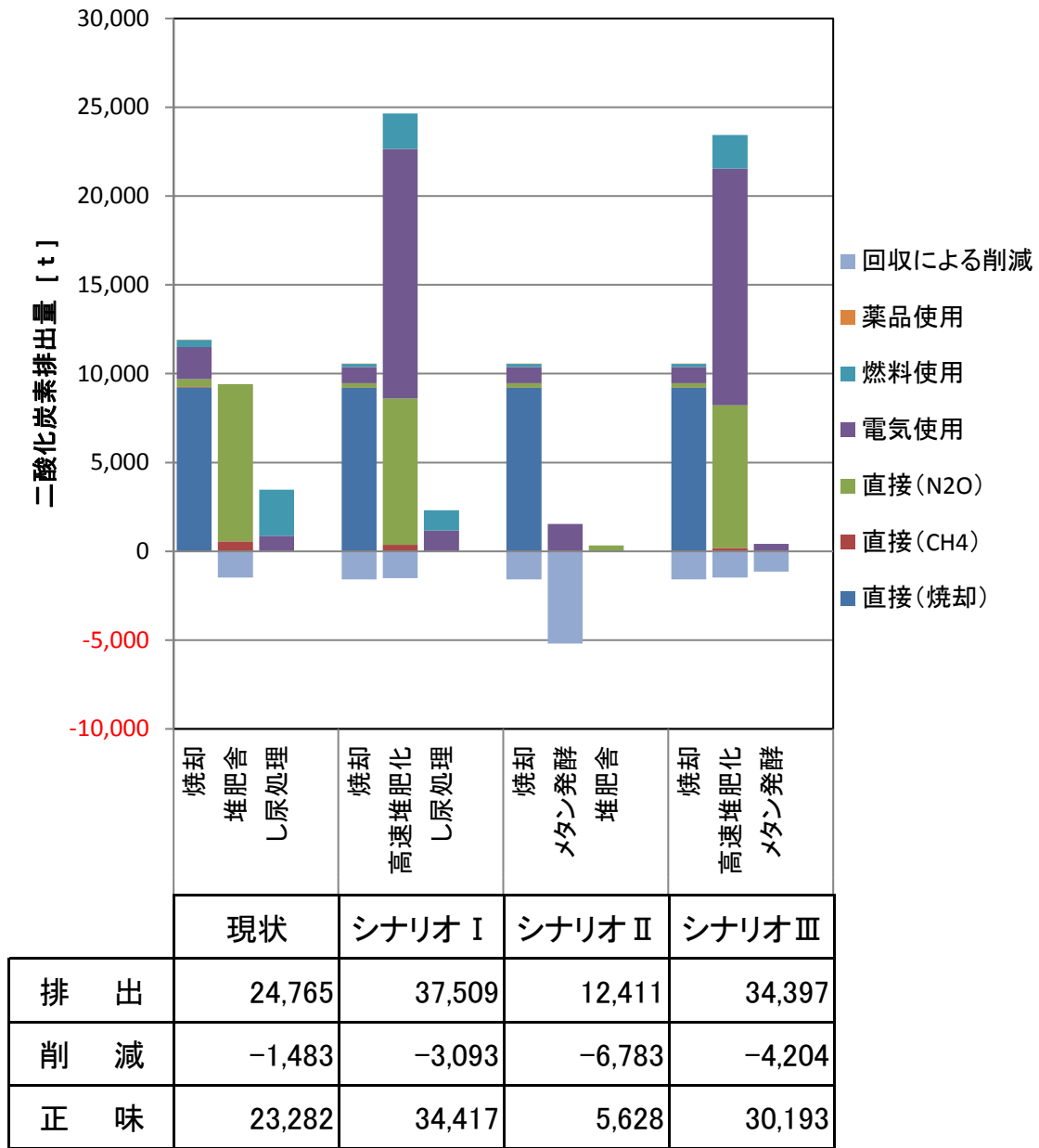


図 2-6 各シナリオの温室効果ガス排出量
 (家畜ふん尿を主体とする施設の電気使用量が最大の場合)

(2) メタン発酵

メタン発酵は、メタンガス、亜酸化窒素の排出がないとした。しかしメタン発酵の消化液を固液分離し、固形分を堆肥化あるいは埋立処分する場合があります、メタンガス等の排出がゼロではなくなる。また前処理としての破砕処理の有無、消化液の水処理方法など、施設によって構成は一定ではない。

また発生ガスを発電に使用する場合には、発生ガス中の不純物除去やメタン濃度の調整等によって電気消費量が増加する可能性がある。ガス発電による二酸化炭素排出削減が大きい結果となったが、専用ガスエンジン等、メタン発酵発生ガス専用の発電機器を使用しなければならないなどの技術的課題もある。発酵槽を 35℃あるいは 55℃に保つための熱源も必要となる。本研究ではシナリオ間の評価のため、発生ガスをすべてガス発電に使用するという簡単なシナリオを想定したが、以上のような課題を認識して推定の精度を上げることが必要である。

(3) 焼却、し尿処理

焼却、し尿処理については、発電による削減を除き、分散する既存施設利用と集約化した新設施設で大きな差がないとの結果となった。用役使用量は既存施設と新設施設に違いを与えたが、焼却施設にはさまざまな方式があり、高速堆肥化施設、メタン発酵施設と同様に施設間の違いも大きく、さらにデータ収集が必要である。

2.5 おわりに

「2.1 はじめに」の最後に述べたように、これまでの廃棄物系バイオマス利活用は、一般廃棄物と産業廃棄物という法的区分のため、一部のバイオマスのみを対象とすることが多かった。本研究は、経済効率性、持続可能性が高い、未利用バイオマスの総合的な利活用、地域循環のあり方を提案し、その評価を行ったものである。単に未利用バイオマスすべてを利用するのではなく、現実に収集可能なものを選択し、現在利用されている廃棄物もより適正な処理が期待できる場合は対象とするなど、現実性も考慮し、より正確性の高い評価のために必要な課題を整理した。

以上の方法論を明確にするため、多様なバイオマスが存在し、地理的条件のため周囲との孤立性が高く地域循環の必要性が高い、また実際に市町村の合併、施設老朽化のために新規処理計画の必要な天草地域を、モデルとして選定した。その結果、未利用バイオマスの総合的利活用をはかるために、以下のような政策立案に有効な知見が得られた。

施設の建て替え現状を含む 4 つのシナリオを評価したところ、メタン発酵を積極的に推し進めるシナリオ II が唯一大幅な温室効果ガスの排出削減が可能なシナリオであり、一部のバイオマスにメタン発酵を導入するシナリオ III が現状と同程度となった。

しかし、堆肥化の二酸化炭素排出に占める電力使用量の影響は大きく、施設間のばらつきが大きい。電力使用量の最小値を採用すれば、シナリオ I は現状の 91%、シナリオ III は現状の 75%の温室効果ガス排出量となり、堆肥化は温室効果ガス排出量低減のためには消費電力の削減が課題であることが明確となった。それでもなおメタン発酵を積極的に推し進めるシナリオ II の優位性は変わらないが、堆肥化については、堆肥化時に排出される亜酸化窒素量の設定によって、結果が大きく変わる可能性がある。

また、シナリオ I の結果から、焼却施設及びし尿処理施設の集約により、現状の約 73%の温室効果ガス排出量となり、天草市内に複数分散する焼却施設及びし尿処理施設の集約は、天草市の施策として温室効果ガスの排出削減に効果がある施策であるといえる。

最後に、本研究の結果に基づいて考えられる、天草地区におけるバイオマス利活用についての展望を述べる。

天草市では現状で堆肥がうまく流通している。温室効果ガスの削減に効果的という理由のみで全てをメタン発酵へ移行させることは、堆肥を利用する農業等への影響を考慮すると現実的に難しい。そこで、シナリオ I とシナリオ III を比較する。生ごみとし尿・浄化槽汚泥といった天草市内で発生するバイオマスの中で、行政による回収が比較的行きやすいものを同時にメタン発酵するシナリオ III により、すべてを堆肥するシナリオ I の温室効果ガス排出量を 85%に削減することが可能となる。さらに、現状と比較すると、シナリオ III では堆肥舎から高速堆肥化への移行によって温室効果ガス排出量が増加するため、ほぼ同程度の排出量となっているが、高速堆肥化による電力使用量等を抑制し、温室効果ガス排出量を堆肥舎と同程度とした場合、現状と比較して約 68%の温室効果ガス排出量となる。これは、これまでのし尿処理はし尿及び浄化槽のみを処理し、エネルギー投入型であったが、エネルギーを回収しやすい生ごみをし尿、浄化槽汚泥を併せてメタン発酵することにより、し尿処理をエネルギー回収施設に転換できたことが大きな要因となっている。

現状の天草市では堆肥がうまく流通している状況であるが、需給のバランスが保てるかどうかには、不確実性がある。さらに、シナリオ I の結果より、堆肥化から直接排出する温室効果ガスについても焼却施設と同程度であり、温室効果ガス排出の観点からも有効な手法ではない。持続可能な資源循環を図るためには、メタン発酵によるエネルギー回収を含めた社会システムの導入検討も考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 中野加都子, 三浦浩之, 和田安彦, 谷口正修: 広域ごみ処理システムの導入による環境負荷低減に関する研究, 廃棄物学会論文誌, Vol. 13, No. 6, pp. 351-360, 2002.

- 2) 中田俊彦, 浦邊理郎: 最終処分量と再資源化率を考慮した廃棄物処理システムの経済性評価, 日本エネルギー学会誌, Vol. 85, pp. 49-57, 2006.
- 3) 天野耕二, 曾和朋弘: 中間処理方法の組み合わせに着目した一般廃棄物処理システムの包括的評価, 土木学会論文集 G, Vol. 63, No. 4, pp. 391-402, 2007.
- 4) 永富悠, 山本博巳, 山路憲治: 廃棄物処理システムに対する地域特性と温室効果ガス対策の影響評価, 日本エネルギー学会誌, Vol. 86, pp. 693-699, 2007.
- 5) 矢野貴之, 吉田登, 曾田真也, 金子泰純, 山本祐吾: 都市由来のバイオマス廃棄物のエネルギー変換における技術や事業収支要因の不確実性が環境負荷や事業性に及ぼす影響の分析, 環境システム研究論文集, Vol. 35, pp. 481-489, 2007.
- 6) 横井隆志, 山本祐吾, 齋藤修, 盛岡通: 小地域で廃棄物・バイオマス由来の電力・熱を融通する地域エネルギー供給による効果の算定システムの構築, 環境システム論文集, Vol. 35, pp. 109-119, 2007.
- 7) (財)畜産環境整備機構: 家畜糞尿処理・利用の手引き, p. 5, 1997.
- 8) 寺澤 眞: 木材乾燥のすべて〔改訂増補版〕, p. 598, 海青社, 2004.
- 9) 貝原洋平, 宮本輝仁, 原口暢朗, 池田繁成, 新堂高広: ウンシュウミカン樹における枝体積含水率の年間変動と水分環境及び水管理, 園芸学研究, Vol. 7, No. 4, p. 519, 2008.
- 10) 農事組合法人支倉牧場生産組合, (株)北海道自然エネルギー研究センター: サイト内エネルギー自己完結型地域内有機廃棄物資源循環利活用システムの構築事業調査, p. 34, 2005.
- 11) 環境省: 一般廃棄物実態調査 平成 21 年度調査結果.
- 12) 全国バイオディーゼル燃料利用推進協議会: バイオディーゼル燃料の製造・利用に係るガイドライン (2010 修正), p. 4, 2010.
- 13) (財)日本環境衛生センター: 熊本県牛深市し尿処理場精密機能検査報告書, p. 22, 2004.
- 14) (財)日本環境衛生センター: 熊本県本渡市衛生センター精密機能検査報告書, p. 43, 2005.
- 15) 「廃棄物処理・再資源化技術ハンドブック」編集委員会: 廃棄物処理・再資源化技術ハンドブック, p. 468, 建設産業調査会, 1993.
- 16) 農林水産バイオリサイクル研究「システム化サブチーム」: バイオマス利活用システムの設計と評価, (独)農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所, 2006.
- 17) 森田昭, 竹野勝彦, 久芳良則, 坂上正美, 木村俊範, 小川人士, 道宗直昭, 塩津浩一, 新保秀人, 山海敏弘, 松原善治, 清水康利, 西守信二: 生物系廃棄物資源化リサイクル技術, p. 64, NTS, 2000.
- 18) 小山瑞樹, 野口良造: 農村社会におけるバイオマスエネルギーの精算と運輸部門

- への利用, JSD 学会誌システムダイナミックス, No. 8, p. 82, 2009.
- 19) 文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会：日本食品標準成分表 2010, 7 果実類, 食品番号 07027.
 - 20) 熊本県：熊本県統計年鑑(平成 21 年度), 5-11 家畜飼養農家数及び飼養頭羽数, 2001.
 - 21) 環境省・経済産業省：温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル ver. 3.0, 第 II 編温室効果ガス排出量の算定方法, 2010.
 - 22) (財)全国都市清掃会議：ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2006 改訂版, p. 138, p. 147, 2006.
 - 23) 平井康宏, 村田真樹, 酒井伸一, 高月紘：食品残渣を対象とした循環・資源化処理方式のライフサイクルアセスメント, 廃棄物学会論文誌, Vol. 12, No. 5, pp. 219-228, 2001.
 - 24) Zhang, H.-J. and Matsuto, T. : Comparison of mass balance, energy consumption and cost of composting facilities for different types of organic waste, *Waste Management*, Vol. 31, No. 3, pp. 416-422, 2011.
 - 25) 蒲原弘継, 橘隆一, 熱田洋一, 後藤尚弘, 藤江幸一：地域の窒素バランスと家畜糞尿の処理方法の評価, 環境システム論文集, Vol. 36, pp. 227-235, 2008.
 - 26) (財)廃棄物研究財団：ごみ焼却施設台帳 (全連続燃焼方式編) 平成 21 年度版, 2011.
 - 27) 岡崎貴之, 清水敏秀, 森田昭：し尿処理施設の精密機能検査にみる運転実績の現状について (第 4 報), 日本環境センター所報, No. 28, pp. 81-97, 2001.
 - 28) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課：高効率ごみ発電施設整備マニュアル, 2009.
 - 29) 川西英明, 盛岡泰樹, 中田俊彦：畜産廃棄物利活用のための地域最適システム設計に関する研究, 日本エネルギー学会誌, Vol. 86, pp. 256-264, 2007.
 - 30) 北海道大学廃棄物処分工学研究室：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.
 - 31) 谷川昇, 古市徹, 石井一英, 西上耕平：生ごみバイオガス化施設におけるメタン回収量, 環境保全性, 経済性の検討, 廃棄物学会論文誌, Vol. 19, pp. 182-190, 2008.
 - 32) Zhang, H.-J. and Matsuto, T. : Mass and element balance in food waste composting facilities, *Waste Management*, Vol. 30, No. 8, pp. 1477-1485, 2010.
 - 33) 劉玉紅, 近藤加代子：LCA 手法による家庭系生ごみ処理の地域システム評価ーコンポストの普及率等の実際条件を考慮した分析ー, 廃棄物学会論文誌, Vol. 19, No. 2, pp. 110-119, 2008.

- 34) 環境省・経済産業省：温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル ver. 3.0, 算定・報告・公表制度における排出方法・排出係数一覧, 2010.
- 35) 蒲原弘継, アヌグラ ウィデイヤント, 熱田洋一, 橘隆一, 後藤尚弘, 大門裕之, 藤江幸一：インドネシア産パーム油由来の BDF 生産・輸入に伴う環境負荷, 環境科学会誌, Vol.22, No.4, pp.247-256, 2009.
- 36) NPO 法人日本炭化研究協会, ホームページ
<http://www.jcra.or.jp/recycle/recycle3.html>
- 37) 松藤敏彦：都市ごみ処理システムの分析・計画・評価, 技報堂出版, 2005.

第3章 都市部におけるバイオガス利活用システムの評価

3.1 はじめに

3.1.1 生ごみ利活用の背景

都市ごみ中の主なバイオマスは生ごみと紙類であり、生ごみの利活用方法としては、大きく飼料化、堆肥化といったマテリアル利用とメタン発酵、水素発酵、エタノール化などのエネルギー利用に分類される。このうち温室効果ガス排出削減に直接的効果があるのは後者である。環境省に2005年9月に設置した「生ごみ等の3R・処理に関する検討会」では、食品廃棄物のエネルギー利用は、枯渇性の資源から再生可能な資源への転換を促し、地球温暖化対策にもなり、利活用の点で付加価値が高いことから積極的に推進すべきとされ、特に食品廃棄物のメタン化は発酵残さや発酵廃液を伴うので既存の熱回収システムや水処理システムと連携したコンバインドシステムが適当であり、これを推進することを検討すべきとされている。コンバインドシステムとは、既存のごみ焼却とメタン発酵を組合せ、トータルとしてより高効率なエネルギー回収を目指しつつ、ごみ焼却の既存設備等を活用し、発酵残さや発酵廃液の処理を完結できるシステム¹⁾をいう。

3.1.2 生ごみメタン発酵施設の現状

メタン発酵は、畜ふん、下水汚泥など、含水率の高い、大量に発生する廃棄物に適した技術である。環境省²⁾によると平成22年度現在、地方公共団体設置のメタン発酵施設整備状況は表3-1のとおりである。No.1~6の生ごみ割合は、文献3)、4)より実績値を記載し、No.7は文献5)の報告により施設計画値とした。No.8~9は2012年以降の施設であり、施設概要資料^{6)、7)}より引用した。No.8では2013年4月よりし尿浄化槽汚泥を受入予定となっており、生ごみ割合はし尿浄化槽受入後の比率を記載した。No.6及び7は主に畜産系廃棄物を中心としている。No.1~3は民間焼却施設の機能制限上の理由から生ごみ処理システムを導入した。No.4は実証施設である。なお、メタン発酵施設は循環型社会形成推進交付金対象事業となっている。

メタン発酵は処理対象物の固形分濃度により、湿式方式と乾式方式に分類される。乾式方式とは、メタン発酵槽へ投入する固形物濃度が15~40%程度のシステムで、固形分濃度が10%前後の湿式方式と比較して水処理を小規模化することができる。また、湿式方式では処理しにくい剪定枝や紙ごみ類を投入することができる⁸⁾。表3-1の中ではNo.4が乾式であり、家庭系ごみ及び事業系ごみの生ごみ、紙ごみ及び草本類を分別収集し、発生したバイオガスは脱硫を行った後、ガスエンジンで発電を行い施設の運転に利用されている。また、固形残渣は乾燥し、造粒した上で固形燃料として、汚泥焼却炉で利用されている。ガスエンジンと汚泥焼却炉から温水を回収し、本施設の加温に利

表 3-1 現在稼働中のメタン発酵施設（地方自治体整備，5t/日以上）

	整備主体	施設名	施設規模 ^{注1)} [t/日]	供用開始 年度	処理対象物	生ごみ割合 (湿重量)	文献
1	北空知衛生センター組合 (北海道)	生ごみバイオガス化施設	16	2003	生ごみ(家庭系, 事業系)	100	3)
2	砂川地区保健衛生組合(北海道)	砂川地区保健衛生組合クリーンプラザくるくる	22	2003	生ごみ(家庭系, 事業系)	100	3)
3	中空知衛生施設組合(北海道)	高速メタン発酵処理施設	55	2003	生ごみ(家庭系, 事業系)	100	3)
4	穂高広域施設組合(長野県)	乾式メタン発酵実験施設	7	2006	生ごみ, 紙類	30	4)
5	大木町(福岡県)	おおき循環センター	42	2006	し尿, 生ごみ(家庭系, 事業系), 浄化槽汚泥	45	3)
6	山鹿市(熊本県)	山鹿市バイオマスセンター	79.1	2005	生ごみ(家庭系, 事業系), 家畜ふん尿	8	3)
7	日田市(大分県)	日田市バイオマス資源化センター	80	2006	生ごみ, 廃食用油, 家畜ふん尿	30	5)
8	北広島市(北海道)	バイオガス化処理施設	154	2011	下水汚泥, 生ごみ(家庭系, 事業系), し尿浄化槽汚泥等 ^{注2)}	11	6)
9	稚内市(北海道)	バイオエネルギーセンター	34	2012	生ごみ, 紙類, 廃食用油, 下水汚泥, 水産汚泥	57	7)

注1：施設規模は，下水汚泥 1m³/日，し尿浄化槽汚泥等 1kL/日をそれぞれ 1t/日で換算。

注2：し尿浄化槽汚泥等は，2013年4月より受入予定。生ごみ割合はし尿浄化槽汚泥受入後の割合を記載。

用されている⁹⁾。また表 3-1 には示していないが，京都市では 1999 年に 3t/日の実証プラントを建設し，一般廃棄物を対象としてホテル厨芥、青果市場ごみ、新聞古紙、草木類などの高温メタン発酵実験を行った。2007～2009 年には高効率メタン発酵技術開発¹⁰⁾として，分別収集された生ごみや給食ごみのみでなく，バイオウェイスト（生ごみに使用済みティッシュペーパー等のリサイクル不可能な汚れた紙類を混合したごみ）を対象に実証運転を行っている。

都市ごみに対して乾式メタン発酵を採用すると、以下の利点があると考えられる。

- 1) 消化液は液肥利用が難しいため水処理が必要となり、脱水後の固形物は堆肥化しても無料配布か単に埋め立てられることが大部分である¹¹⁾が、乾式は消化液発生量が少ない。
- 2) 紙類を加えることができるため、バイオガス発生量が増加する。
- 3) 紙類を加えることで施設規模が大きく、スケールメリットが発生する。

さらに焼却と併設して、3.1.1で述べたコンバインドシステムとすれば

- 4) メタン発酵施設の消化液発生量は少ないため、焼却炉への吹き込みを行うと無放流となる。(あるいは、消化液が発生しない)
- 5) メタン発酵施設の固形分を焼却処理し、埋立量が減少し、エネルギー回収量も増加する。
- 6) 焼却施設との間で、電力・熱の融通ができる。ガスを焼却で利用することもできる。

3.1.3 研究目的

以上のことから、本研究は乾式メタン発酵のコンバインドシステムについて、複数のシナリオを想定して評価を行う。

これまで、メタン発酵の評価に関しては、以下の研究がある。佐野ら¹²⁾は、生ごみとその他可燃ごみを分別収集しメタン発酵+ガス化溶解を行うシナリオを考えて、ライフサイクルコスト及びCO₂、SO_x、NO_xを対象物質とした環境負荷の比較を行っている。天野・曾和¹³⁾は、草津市が処理を行う一般廃棄物を対象として、マテリアルリサイクル及びサーマルリサイクルを考慮したシナリオを設定し、CO₂排出量、最終処分量及びコストを比較している。その中で、焼却対象ごみを厨芥類と厨芥以外の普通ごみに分別し、堆肥化及びメタン発酵の導入による影響を評価している。平井ら¹⁴⁾は、京都市をモデルに生ごみ処理として焼却、メタン発酵、堆肥化を考えて、CO₂排出量を比較している。対象としているのは一般廃棄物であり、堆肥化は家庭系、事業系の生ごみを分別、メタン発酵はそれに加えて紙ごみを分別するとのシナリオで、焼却に代わって資源化を行う場合の評価を行っている。いずれも、焼却かメタン発酵かなど、択一的選択であり、廃棄物も処理に適した組成を分離するものである。

本研究は、焼却かメタン発酵かではなく両者が並列する並列システムを考え、複数の処理シナリオに対してエネルギー評価を行うことを目的とする。事業系を含めた一般廃棄物全体を対象とて、都市内での処理が完結するシステムを考える点に、特徴がある。

3.2 研究方法

3.2.1 対象地域の選定

ごみ処理システムの評価は、仮想的なケースを想定して行うことが多い。しかし、ある自治体で、現状をどう変えるとよいかを検討することが、現実問題として必要性が高い。現在実際に、都市ごみ処理のユニットとしてメタン発酵システムを取り込む動きが存在する。防府市（人口約 11.8 万人（2013 年 2 月末現在））では家庭系、事業系の混合ごみを焼却しているが、生ごみ、紙ごみを機械選別してメタン発酵を行うことを計画している。しかしすでに乾式メタン発酵施設を建設中であり、研究対象として稼働前に他者が評価を行うことは問題がある。南但広域行政事務組合でも乾式メタン発酵施設を建設中であるが、人口が約 6 万人（平成 24 年 2 月末現在）と小さく、メタン発酵によるエネルギー回収は可能であるが焼却発電によるエネルギー回収は難しい。

実規模で乾式メタン発酵を行っている地方公共団体設置の施設はないので、現在は焼却を行っており、それに乾式メタン発酵を加えるとどうなるかを検討することは意味がある。また、既存の可燃ごみ処理施設の更新期を迎える都市であれば、さらに問題は現実的である。そのため、

- ①更新前後の比較を簡単にするため、現有施設が自治体内に 1 施設であり、焼却・発電を実施している。
- ②新規施設の整備には、候補地選定等の計画を含めると 10 年以上の期間が必要となることから、15 年以上の運転期間を経ている。
- ③廃棄物発電を行いやすい施設規模（200t/日以上）を有している。

を満足する対象として、北海道旭川市を検討対象とした。現状のごみ処理を基準とし、メタン発酵処理対象ごみのオプションを変更することでどのような効果が得られるかを検証する。

3.2.2 旭川市の現状

表 3-2 に、旭川市の家庭系ごみ、事業系ごみの分別方法、処理方法、処理量を示す。家庭系ごみのうち、プラ製容器包装、紙製容器包装、缶・びん等、ペットボトル、段ボール、剪定枝、布類、廃食用油を分別してリサイクルしている、表 3-2 ではこれらをまとめて「資源化物」とした。乾電池・蛍光管等も収集しているが、表 3-では省略した。

表 3-2 旭川市の分別方法及び処理方法(平成 23 年度実績)

区 分		現在の処理方法	処理量[t/年]
家庭系 ごみ	燃やせるごみ	焼却	46,128
	燃やせないごみ	埋立	8,002
	資源化物 ^{注)}	資源化	16,581
	粗大ごみ・自己搬入・その他	再使用・埋立	2,706
事業系 ごみ	燃やせるごみ	焼却	31,802
	資源物	資源化	2,803
	その他	埋立	588

注：家庭系ごみの資源化物には、プラ製容器包装，紙製容器包装，缶・びん等，ペットボトル，段ボール，乾電池・蛍光管等，剪定枝，布類，廃食用油を含む。

旭川市では燃やせるごみを，近文清掃工場で焼却している。市内の焼却施設はひとつであり，施設建設から 16 年経過している。処理規模は 280t/日で発電を行い，隣接するリサイクル施設及び近文市民ふれあいセンターへ熱，電気を供給し，余剰電力は電力会社へ売電している。図 3-1 に物質，電力，熱の収支を示す。数値は，旭川市資料¹⁵⁾，環境省調査²⁾，ごみ焼却施設台帳¹⁶⁾に基づき作成した。ごみの発熱量に対する発電効率は 6.9%，ごみ量あたりの発電量，および電力の収支から計算される電力使用量はそれぞれ 150kWh/t，97kWh/t である。

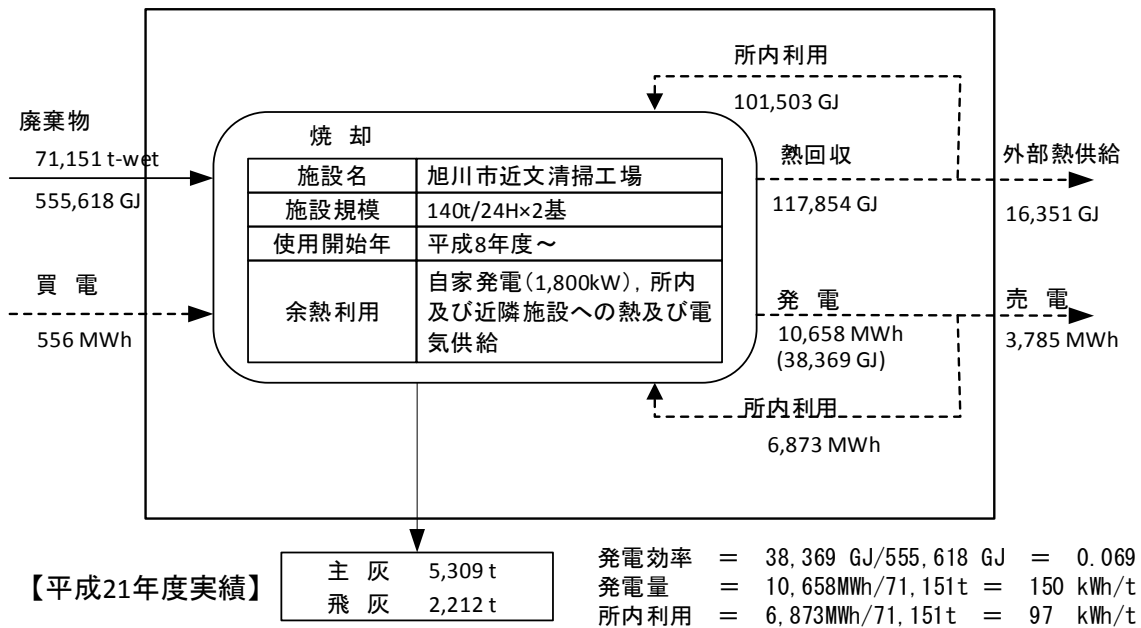


図 3-1 旭川市における焼却施設の物質・エネルギーフロー

3.2.3 メタン発酵施設

乾式メタン発酵のデータは、A社メタン発酵施設へのアンケートによって入手した。2004年に運転を開始した高温、乾式方式、施設規模50t/日の施設であり、フローを図3-2に示す。焼却施設を併設しており、ボイラで回収された蒸気を発電及びプラント動力に利用し、逆にメタン発酵施設の排水をガス冷却室に噴霧し、さらにメタン発酵の固形残さを焼却するという連携を行っている。発生したバイオガスは脱硫後、すべてガスエンジンで発電に利用し、発電した電力は全量所内で利用されている（所外からの購入もある）。図3-2に記載した数値のうち、加水量は廃棄物の含水率を文献17)より69.8%と設定し、排水処理後の排水量が7,300³であることから水分バランスより推定した。その結果、メタン発酵槽投入時点での固形物濃度は約20%と推定される。発酵槽は1,400³が2基、固液分離後の汚泥は80³/8hのスクリーンプレスで脱水、消化液は硝化脱窒生物処理、凝集沈殿処理を行っている。バイオガスの発熱量に対するガスエンジンの発電効率は22%（アンケート調査に基づく推計値）、ごみ量あたりの発電量、電力使用量はそれぞれ125kWh/t-wet、290kWh/t-wetである。

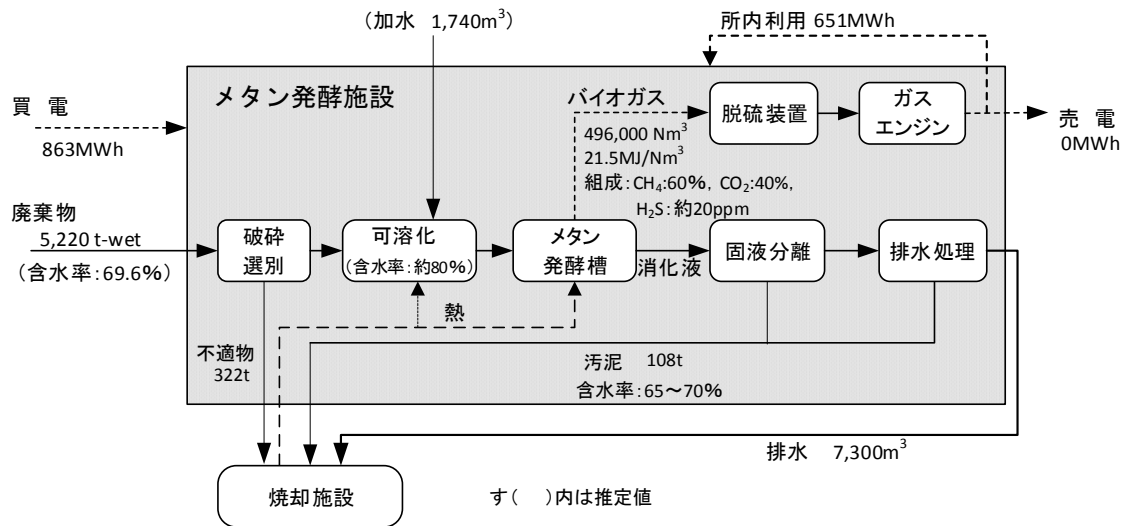
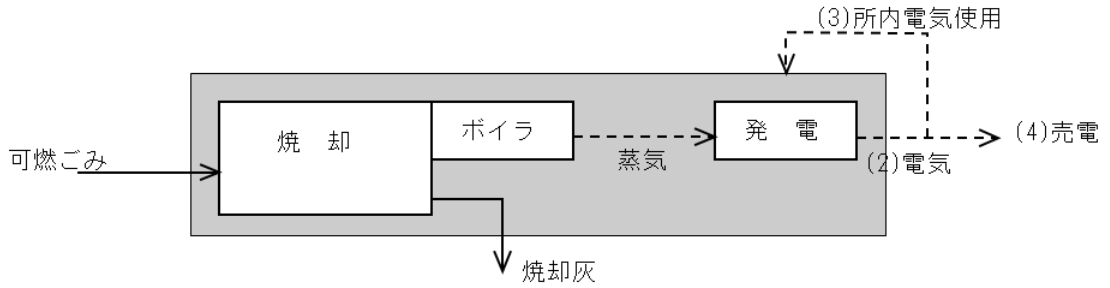


図 3-2 A 社におけるバイオガス化施設の物質・エネルギーフロー

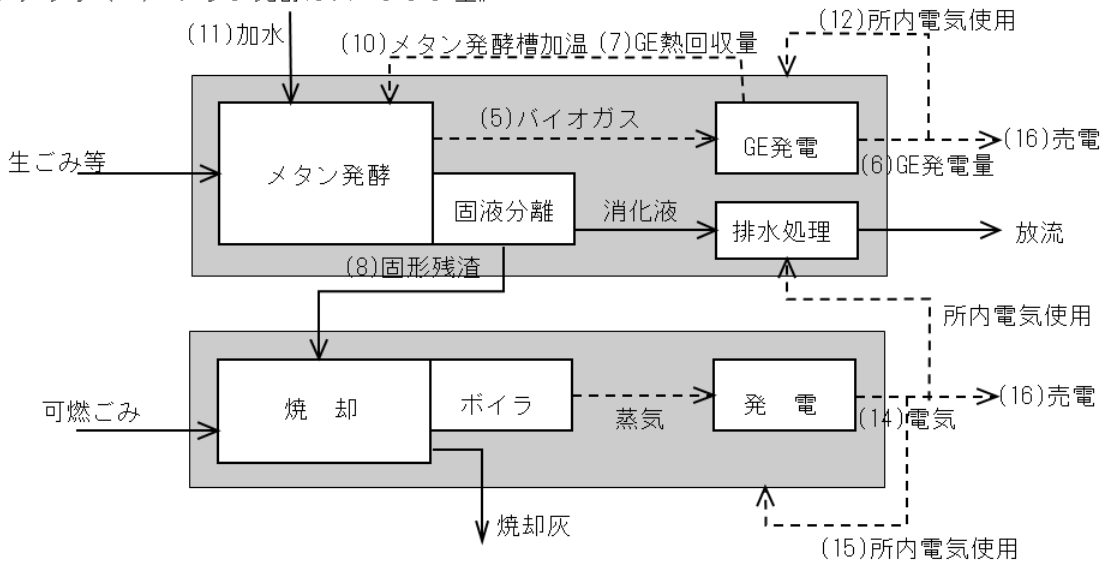
3.2.4 評価シナリオ

評価シナリオは、図 3-3 に示す 4 ケースを設定する。カッコ内は、2-5(2)中の計算式番号である。燃やせるごみの焼却を、現状シナリオとして評価の基準とし、シナリオ 1(S1)では、現状の焼却施設と比較し、発電効率を高めた高効率発電を導入することを想定した。ここで高効率発電とは、施設規模 1000t/日程度で発電効率 23%相当以上の施設をいい、文献¹⁸⁾により施設規模毎に発電効率が設定されている。なお、旭川市と同程度の規模(200~300t/日)の場合は 17%となる。シナリオ 2(S2)では、生ごみを分別収集してメタン発酵、生ごみ以外の燃やせるごみを焼却する。メタン発酵の処理対象物としては乾式の特徴として、紙類も加えることができる。バイオガスは発電効率の高いバイオガス専用ガスエンジン(以下 GE)を利用して発電し、焼却施設にはシナリオ 1と同様に高効率発電を導入することとする。メタン発酵施設残渣は焼却し、排水は下水道放流を想定する。シナリオ 3(S3)はバイオガスを、焼却施設排熱ボイラの独立加熱器に利用することを想定した。焼却施設で一体的に発電を行うことによりガスエンジンが不要となるだけでなく、独立加熱器では腐食性の少ないバイオガスを利用するためごみ焼却特有の腐食の影響を受けず、より高い蒸気条件での発電を行うことが可能となる。

《現状、シナリオ1(S1)：焼却発電型》



《シナリオ2(S2)：メタン発酵ガスエンジン型》



《シナリオ3(S3)：メタン発酵独立加熱器型》

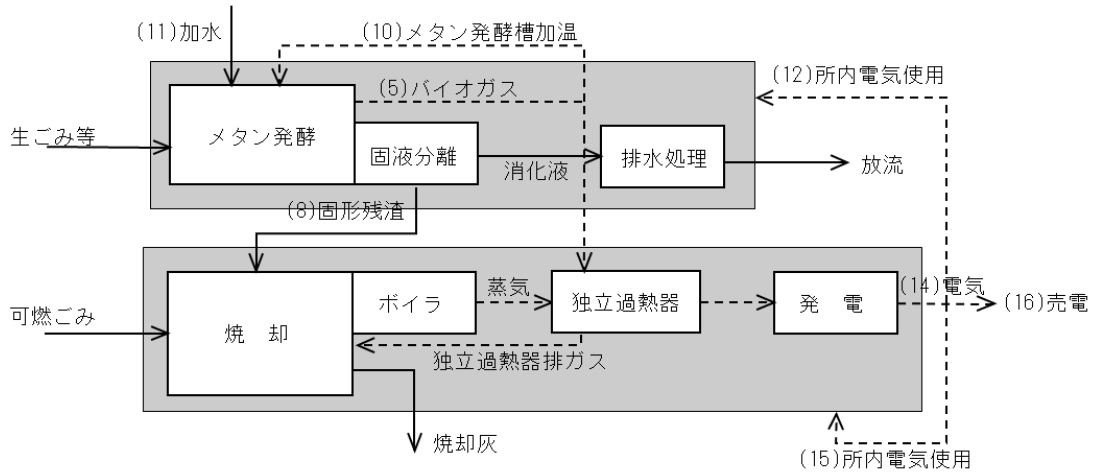


図 3-3 各シナリオのシステム構成

3.2.5 設定条件等

(1) パラメータ等

表 3-3 に、旭川市における燃やせるごみの組成を示す。以下の計算は湿ベースで行うが、分析値は乾ベースである。そこで、文献値^{17),19),20)}より水分及び低位発熱量を仮定し、湿ベース組成を推定した。

表 3-3 処理対象ごみのごみ質推定

	組成[%]		水分		低位発熱量 ²⁰⁾ [kJ/kg]	
	乾基準	湿基準	[%]	出典	乾基準	湿基準
紙類	55.2	32.5	8.9	18)	16,000	14,354
草本	14.2	15.3	50.0	19)	17,900	7,700
繊維	10.0	5.9	7.9	18)	18,100	16,473
厨芥	13.9	42.7	82.5		17,300	965
プラスチック類	5.9	3.2	1.9	18)	36,000	35,269
ゴム・皮革	0.1	0.1	12.8	18)	36,000	31,072
その他	0.7	0.4	3.0	18)	0	0
燃やせるごみ全体	—	—	46.4	実績値	—	8,370

$$\text{湿基準低位発熱量[kJ/kg]} = \text{乾基準低位発熱量[kJ/kg]} \times (1-w) - 2500w$$

(w:水分比率)

表 3-4 に、計算で使用するパラメータを示す。「既存施設実績」は旭川市、A 施設の実績値であるが、他の文献や調査結果等と比較して、消費電力が小さいなどの偏りがみられた。そこでより一般的な数値とするために文献値を参考とした。

焼却施設の所内電力消費量実績値は低めであると考えたため、多数の施設調査における平均値、メタン発酵施設の電力消費量は、対象廃棄物の TS を一定としたため排水処理量に関係なく一定であると考え、A 施設の稼働率が約 30%と低いことから、実績値の 70%とした。バイオガス発生量及び排出汚泥の含水率は文献値を用い、残さ発生量は生ごみ、紙ごみの分解率をそれぞれ 74.4%、66%として算出した。ガスエンジンの発電効率及び熱回収効率は、メタンガス化(生ごみメタン)施設整備マニュアル(環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課,平成 20 年 1 月)で、発電効率は 25~35%、廃熱回収を含めた総合効率は 50~70%とされているため、その中間の発電効率 30%、熱回収効率 30%とした。

表 3-4 パラメータの設定値

(a) 既存施設実績

		実績値		
		算出方法, 根拠		
焼却	所内消費電力	97 kWh/t	旭川市実績	
	発電効率	6.9 %	旭川市実績	
メタン発酵	所内消費電力	290 kWh/t-wet	A社実績, 排水処理を含む	
	バイオガス発生量	生ごみ	313 m ³ /t-TS	A社実績, TSに変換
		紙	—	
	CH ₄ :60%			
	バイオガス発熱量	21.5 MJ/m ³		
	生ごみ分解率	66.6 %-dry	A社実績より推定	
	紙ごみ分解率	—		
	発酵槽入口固形物濃度	—		
	污泥含水率	65.0 %	想定値	
	污泥乾基準低位発熱量	—	不明	
	ガスエンジン発電効率	22 %	A社実績値	
	ボイラ効率	—		
ガスエンジン熱回収率	—			

※ガスエンジンの発電効率は、バイオガスの熱量に対する発電効率を示す。

※既存施設実績: 旭川市及びA社の実績値

(b) 建て替え施設

		設定値		
		算出方法, 根拠		
焼却	所内消費電力	180 kWh/t	21)	
	発電効率	—	22)より, 原料熱量で変動	
メタン発酵	所内消費電力	200 kWh/t-wet	A社実績の70%	
	バイオガス発生量	生ごみ	470 m ³ /t-TS	23)
		紙	546 m ³ /t-TS	23)
	CH ₄ :60%			
	バイオガス発熱量	21.5 MJ/m ³		
	生ごみ分解率	74.4 %-dry	23)	
	紙ごみ分解率	66.0 %-dry	23)	
	発酵槽入口固形物濃度	30 %		
	污泥含水率	69.0 %	3)	
	污泥乾基準低位発熱量	18,900 kJ/kg-dry	18)	
	ガスエンジン発電効率	30 %	24)	
	ボイラ効率	90 %	焼却施設ボイラと同程度	
ガスエンジン熱回収率	30 %	24)		

(2) 計算式

①シナリオ1 (S1)

焼却施設の発電効率は、ごみ発熱量によって変化するとした²²⁾。式(1)は、300t/日に対して与えられている。

$$\text{焼却発電効率}[\%] = 1.08 \times 10^{-3} \times \text{低位発熱量}[\text{kJ/kg}] + 7.38 \quad \text{式(1)}$$

$$\begin{aligned} \text{焼却発電量}[\text{kWh/年}] &= \text{ごみ低位発熱量}[\text{kJ/kg}] \times \text{焼却量}[\text{t/年}] \times 1000\text{kg/t} \\ &\quad \times \text{焼却発電効率}[-] \div 3,600[\text{kJ/kWh}] \end{aligned} \quad \text{式(2)}$$

$$\text{所内電気使用量}[\text{kWh/年}] = \text{電気使用量原単位}[\text{kWh/t}] \times \text{ごみ量}[\text{t-/年}] \quad \text{式(3)}$$

$$\text{売電量} = \text{式(2)} - \text{式(3)} \quad \text{式(4)}$$

②シナリオ2 (S2)

メタン発酵施設のガス発生量、発電量は、以下の式で計算する。

$$\begin{aligned} \text{バイオガス発生量}[\text{Nm}^3/\text{年}] &= \text{ごみ量}[\text{t-dry/年}] \times \text{分解率}[-] \\ &\quad \times \text{バイオガス発生原単位}[\text{Nm}^3/\text{t-TS}] \end{aligned} \quad \text{式(5)}$$

$$\begin{aligned} \text{GE 発電量}[\text{kWh/年}] &= \text{式(5)} \times \text{ガス発熱量}[\text{kJ/Nm}^3] \\ &\quad \times \text{GE 発電効率}[-] \div 3,600[\text{kJ/kWh}] \end{aligned} \quad \text{式(6)}$$

$$\text{GE 熱回収量}[\text{MJ/年}] = \text{式(5)} \times \text{ガス発熱量}[\text{kJ/Nm}^3] \times \text{GE 熱回収率}[-] \quad \text{式(7)}$$

固形残渣量は、生ごみ及び紙ごみそれぞれの乾重量分解率から、固形残渣の乾重量を算出する。プラスチック、不燃物などの異物は考慮しない。

$$\begin{aligned} \text{固形残渣量}[\text{t-dry/年}] &= \text{生ごみ搬入量}[\text{t-dry/年}] \times (1 - \text{生ごみ分解率}[-]) \\ &\quad + \text{紙ごみ搬入量}[\text{t-dry/年}] \times (1 - \text{紙ごみ分解率}[-]) \end{aligned} \quad \text{式(8)}$$

$$\begin{aligned} \text{固形残渣低位発熱量[kJ/kg-wet]} &= \text{汚泥発熱量[kJ/kg-dry]} \times (1 - \text{汚泥含水率[-]}) \\ &\quad - 2,500 \times \text{汚泥含水率[-]} \end{aligned} \quad \text{式(9)}$$

発酵槽は加温が必要であり、ごみおよび加水量の合計を、年平均気温を 5℃（北海道）として発酵槽温度との差だけ加温する熱量が必要とした。式中の 0.9 は熱交換効率、4.186 はメタン発酵槽内の比熱、加水量算出の 0.7 は槽内入口の固形物濃度を 30% と仮定したためである。また、発酵槽の加温は、式(7) > 式(10)であれば GE 熱回収量でまかなえるものとした。

$$\begin{aligned} \text{メタン発酵加温熱量[MJ/年]} &= (\text{ごみ量[t/年]} + \text{加水量[t/年]}) \times (55 - 5) \\ &\quad \times 4.186 [\text{kJ/kg}^\circ\text{C}] \div 0.9 \end{aligned} \quad \text{式(10)}$$

$$\text{加水量 } W[\text{t/年}] = (0.7 - \text{ごみの含水率}) \times \text{ごみ量[t/年]} \div (1 - 0.7) \quad \text{式(11)}$$

メタン発酵所内電気使用量は TS 濃度によって変化する可能性があるが、メタン発酵の TS が一定なので電気使用量原単位は変化しないとする。

$$\begin{aligned} \text{メタン発酵所内電気使用量} &= \text{電気使用量原単位[kWh/t]} \\ &\quad \times \text{ごみ量 [t-wet/年]} \end{aligned} \quad \text{式(12)}$$

焼却ごみの発熱量は、メタン発酵固形残さを加えるため次式で計算する。所内電気使用量は、固形残さ分だけ増加し、売電量はメタン発酵施設、焼却施設の発電量からそれぞれの所内利用を引き、合計した量となる。

$$\begin{aligned} \text{低位発熱量[kJ/kg]} &= (\text{ごみ低位発熱量[kJ/kg]} \times \text{焼却量[t/年]} + \text{残さ発熱量[kJ/kg]} \\ &\quad \times \text{固形残さ量[t/年]}) \div (\text{ごみ量[t/年]} + \text{固形残渣量[t/年]}) \end{aligned} \quad \text{式(13)}$$

$$\begin{aligned} \text{焼却発電量[kWh/年]} = & (\text{ごみ低位発熱量[kJ/kg]} \times \text{焼却量[t/年]} \\ & + \text{残さ発熱量[kJ/kg]} \times \text{固形残さ量[t/年]}) \\ & \times 1000 [\text{kg/t}] \times \text{式(1)} / 100 \div 3,600 [\text{kJ/kWh}] \end{aligned} \quad \text{式(14)}$$

$$\begin{aligned} \text{焼却所内電気使用量[kWh/年]} = & \text{原単位[kWh/t]} \\ & \times (\text{ごみ量[t/年]} + \text{固形残さ量[t/年]}) \end{aligned} \quad \text{式(15)}$$

$$\text{総合売電量} = \text{式(6)} + \text{式(14)} - [\text{式(12)} + \text{式(15)}] \quad \text{式(16)}$$

③シナリオ3 (S3)

S3 では基本的に S2 と同様の算出を行うが、ガスエンジンを使用しないため、式(6) (7) は使用しない。

本シナリオでは、バイオガスをメタン発酵槽の加温、および焼却施設のボイラからの回収蒸気の加熱に用いる。前者のために温水ボイラを、後者のために独立加熱器を設ける。ボイラ効率（焼却施設、温水ボイラとも）を 0.9 としたが、独立加熱器の熱交換効率はボイラ効率と大差がない。また、独立加熱器で熱交換後のバイオガスの排ガスも焼却炉へ投入する。したがって、焼却炉から発電までを考えると、独立加熱器で利用するバイオガスの発熱量だけ見かけ上焼却ごみの低位発熱量が増加すると考えてよい。低位発熱量の算出には式(13)を使用せず、式(17) (18)を使用する。

$$\begin{aligned} \text{メタン発酵槽加温用バイオガス使用量[Nm}^3\text{/年]} = & \text{メタン発酵槽加温熱量[MJ/年]} \\ & \div (\text{バイオガス発熱量[MJ/kg]} \times 0.9) \end{aligned} \quad \text{式(17)}$$

$$\begin{aligned} \text{低位発熱量[kJ/kg]} = & \{ \text{可燃ごみ低位発熱量[kJ/kg]} \times \text{焼却量[t/年]} \\ & + \text{残さ発熱量[kJ/kg]} \times \text{固形残さ量[t/年]} \\ & + (\text{バイオガス量[Nm}^3\text{/年]} - \text{式(17)}) \times \text{バイオガス発熱量[MJ/Nm}^3\text{]} \} \\ & \div (\text{可燃ごみ量} + \text{固形残渣量}) \end{aligned} \quad \text{式(18)}$$

3.3 シナリオ評価結果

各シナリオの計算結果を図 3-4 に、また主な数値を表 3-5 に示す。シナリオ 2, 3 では、生ごみのみを分別する場合を S2, S3, 生ごみおよび紙ごみを分別する場合を S2P, S3P (P は紙の意) で表 3-5。分別率は他都市で行われたモデル事業²⁵⁾の分別参加率を

参考に 35%とし、簡単のため、事業系、家庭系の区別をせずに表 3-3 からメタン発酵施設、焼却施設へのごみ量を算出した。なお旭川市では紙製容器包装を資源物として回収しているため、ここでの紙ごみは資源化可能物が除かれている。図 3-4 は電力の収支であり、棒グラフは上が回収量、下が消費量、折れ線は正味の回収量である。

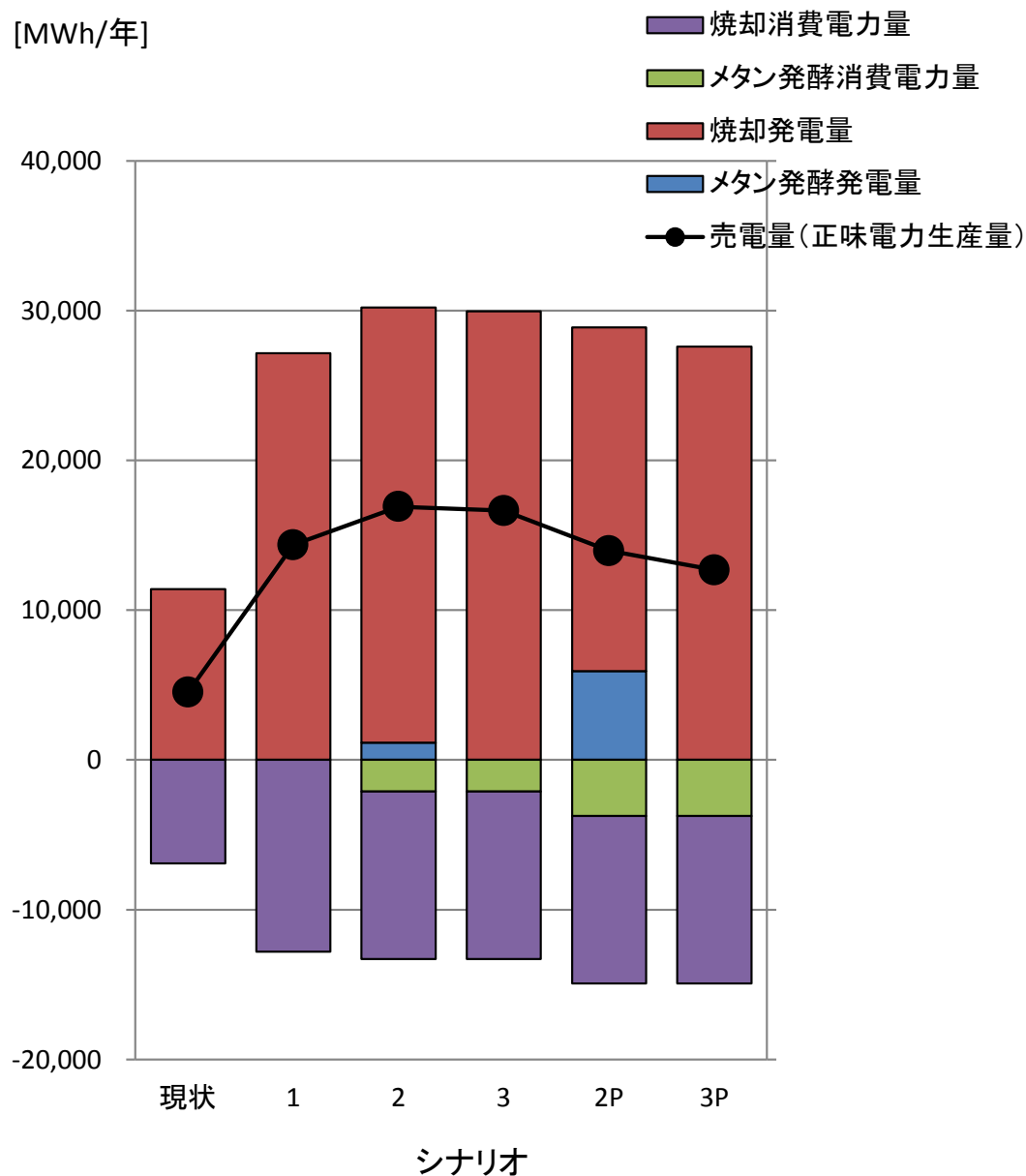


図 3-4 各シナリオの電力収支

表 3-5 各シナリオの計算結果

(a) 施設ごとの主な数値

			シナリオ				
			S1	S2	S3	S2P	S3P
メタン発酵施設	分別		-	生ごみ		生ごみ+紙類	
	処理量	[t/年]	-	10,600	10,600	18,700	18,700
	処理量	[t-dry/年]	-	1,855	1,855	9,234	9,234
	施設規模	[t/日]	-	30	30	53	53
	バイオガス発生量	[1000Nm ³ /年]	-	649	649	3,308	3,308
	GE発電効率	[%]	-	30	-	30	-
	GE発電量	[MWh/年]	-	1,162	-	5,926	-
	GE熱回収可能量	[GJ/年]	-	4,184	-	21,335	-
	固形残渣発生量	[t-wet/年]	-	1,532	1,532	9,625	9,625
	固形残渣低位発熱量	[kJ/kg-wet]	-	4,134	4,134	4,134	4,134
	メタン発酵槽加温熱量	[GJ/年]	-	2,465	2,465	7,158	7,158
	メタン発酵槽加水量	[t/年]	-	0	0	12,080	12,080
	所内電気使用量	[MWh/年]	-	2,120	2,120	3,740	3,740
焼却施設	処理量	[t/年]	71,151	60,551	60,551	52,451	52,451
	可燃ごみ低位発熱量	[kJ/kg-wet]	8,370	9,666	9,666	8,942	8,942
	焼却対象ごみ低位発熱量	[kJ/kg-wet]	8,370	9,530	9,714	8,197	9,227
	施設規模	[t/日]	265	231	231	231	231
	バイオガスによる蒸気加熱熱量	[GJ/年]	-	-	11,481	-	63,959
	発電効率	[%]	16.4	17.7	17.9	16.2	17.3
	発電量	[MWh/年]	27,162	29,042	29,940	22,942	27,596
	所内電気使用量	[MWh/年]	12,807	11,175	11,175	11,174	11,174

(b) 各施設の熱の出入り（低位発熱量）

単位：GJ/年

メタン発酵	焼却		S1	S2	S3	S2P	S3P
IN		生ごみ等		10,229	10,229	126,244	126,244
OUT		バイオガス		13,946	13,946	71,117	71,117
	IN	内 独立加熱器利用			11,481		63,959
OUT	IN	メタン発酵残さ		6,333	6,333	39,790	39,790
	IN	可燃ごみ	595,534	585,286	585,286	469,017	469,017

3.3.1 コンバインドシステム

高効率発電の S1 は、現状と比較して電力回収が増大する。S1 を基準とすると、生ごみのみをメタン発酵する S2, S3 の正味回収量は焼却発電のみの S1 を上回るが、主として焼却発電量の増加のためである。表 3-5 に示すように焼却ごみ量が少なくなるが、生ごみの減少によってごみの発熱量が増加し、固形残さと合わせた焼却ごみの発熱量が焼却のみの場合と大差ない。メタン発酵では有機物すべてがガス化するわけではなく、未分解の有機物が固形残さに残留する。表 3-5 (2) にメタン発酵、焼却施設に搬入されるごみの熱量収支を示すが、バイオガスと固形残さの熱量比は、おおよそ 2 : 1 であり、固形残さの焼却は、メタン発酵へ投入した原料の有効なエネルギー利用となる。焼却からみると、生ごみ分別による投入熱量減少はわずかで、発熱量増加による発電効率の向上によって、発電量が増加する。S2 におけるバイオガス発電量は、焼却に較べるとわずかである。

また S3 はバイオガスによって蒸気を加熱するが、発生したバイオガスの総熱量は 13,946MJ であり、メタン発酵加熱分を差し引いた 11,481MJ が利用される。これはごみと固形残さの保有熱量 591,619MJ の 2.1% に過ぎない。このため、バイオガスによる蒸気加熱の効果は大きくない。

3.3.2 紙ごみメタン発酵の効果

生ごみと紙をメタン発酵する S2P, S3P について、まず S2P を S2 と較べると処理量は 1.76 倍の増加であるが、VS 量が大幅に増加するため、バイオガス発生量は約 5 倍となる。しかし紙ごみが減るため焼却対象ごみの発熱量が小さくなり、発電効率が低下する。さらに S2P はメタン発酵処理量の増加（紙投入による加水量増加を含む）のため、施設消費電力が増加するとマイナスもあり正味の電力回収量は S2 より少なくなる。

次に S2P, S3P を比較すると、バイオガス発電効率が焼却発電効率より大きいため、正味取り出し電力は S2P > S3P となる。

3.3.3 評価のまとめ

生ごみのメタン発酵は、生ごみからガス燃料を取り出すため、エネルギー回収としてはプラスである。しかしごみ全体でみるとエネルギー取り出し量は大きいとは言えず、むしろ生ごみを減らすことによる焼却ごみの発熱量増加、発電効率向上の効果が大きい。

紙ごみのメタン発酵は、バイオガス生産量を大幅に増加させる。しかしコンバインドシステムにおける意味を考えると、紙を直接燃焼するか一旦ガス化して燃焼するかの違いである。メタン発酵施設における消費電力の増加、焼却ごみの発熱量低下および発電効率低下により、正味の電力生産は単純焼却を下回ってしまう。

S2 と S3 を比較するとガスエンジンの発電効率が高いため S2 がやや有利である。S3

の焼却におけるバイオガス利用は、バイオガスの保有熱量が焼却ごみに較べて小さいため、効果は限られている。

3.3.4 感度解析

本研究でパラメータを文献等によって設定したが、それらには幅があり、場合によって変化するかもしれない。そこで最後に、考えられる下限、上限としたときにどのパラメータの影響が大きいかを、検討する。これは逆に、感度の高いパラメータを制御することが効率の改善となることを示す。表 3-6 に設定値を示す。それぞれ文献値等から Min~Max としたが、メタン発酵、焼却施設の所内消費電力は低いほどよいので、最大と最小を入れ替えた。生ごみ分別率は、文献 25 のコミュニティ型堆肥化モデル実験における生ごみ分別への参加率が高いところで 48%であることから、最大の生ごみ分別率を 50%とした。

表 3-4 の設定値における正味電力回収量を 1 とした変化を、図 3-5 に示す。図 3-5 中の赤色の塗りつぶしは数値が小さいほど回収量が高いことを示している。紙ごみの分別率は低いほど回収量が高いので、やはり塗りつぶした。また、表 3-6 の設定値毎に最大の効果が得られる場合の検討結果は、表 3-7 に示すとおりであり、感度解析の設定値により、直接的に数値が変更になったところを黄色で着色している。

いずれのシナリオにおいても、焼却施設における所内消費電力量の削減、発電効率の向上が、正味エネルギー回収量増加に最も効果がある。生ごみ分別率の向上はプラスの効果はあるものの、それほど大きくなく、紙ごみ分別率は 3.2 で述べた理由のため、メタン発酵と焼却のコンバインドシステム全体としては回収量減少となる。紙ごみの分別

表 3-6 感度解析におけるパラメータの最小～最大

施設	項目	Min	設定値	Max
メタン発酵	生ごみの分別率[-]	0.20	0.35	0.5
	紙ごみの分別率[-]	0.20	0.35	0.5
	バイオガス発生量(生ごみ)[Nm ³ /t-TS]	376	470	564
	バイオガス発生量(紙ごみ)[Nm ³ /t-TS]	437	546	655
	GE発電効率[%]	25	30	35
	メタン発酵消費電力量[kWh/t]	240	200	160
焼却	発電効率[%]	-1	計算式	1
	焼却施設消費電力量[kWh/t]	216	180	144

率の影響はGEを使用する場合よりも独立加熱器を利用する場合の方が大きい。

バイオガス発生量は、生ごみよりも VS 大の紙ごみの影響が大きく、バイオガス発電を行う S2P では GE 発電効率の変動の影響が大きくなる。

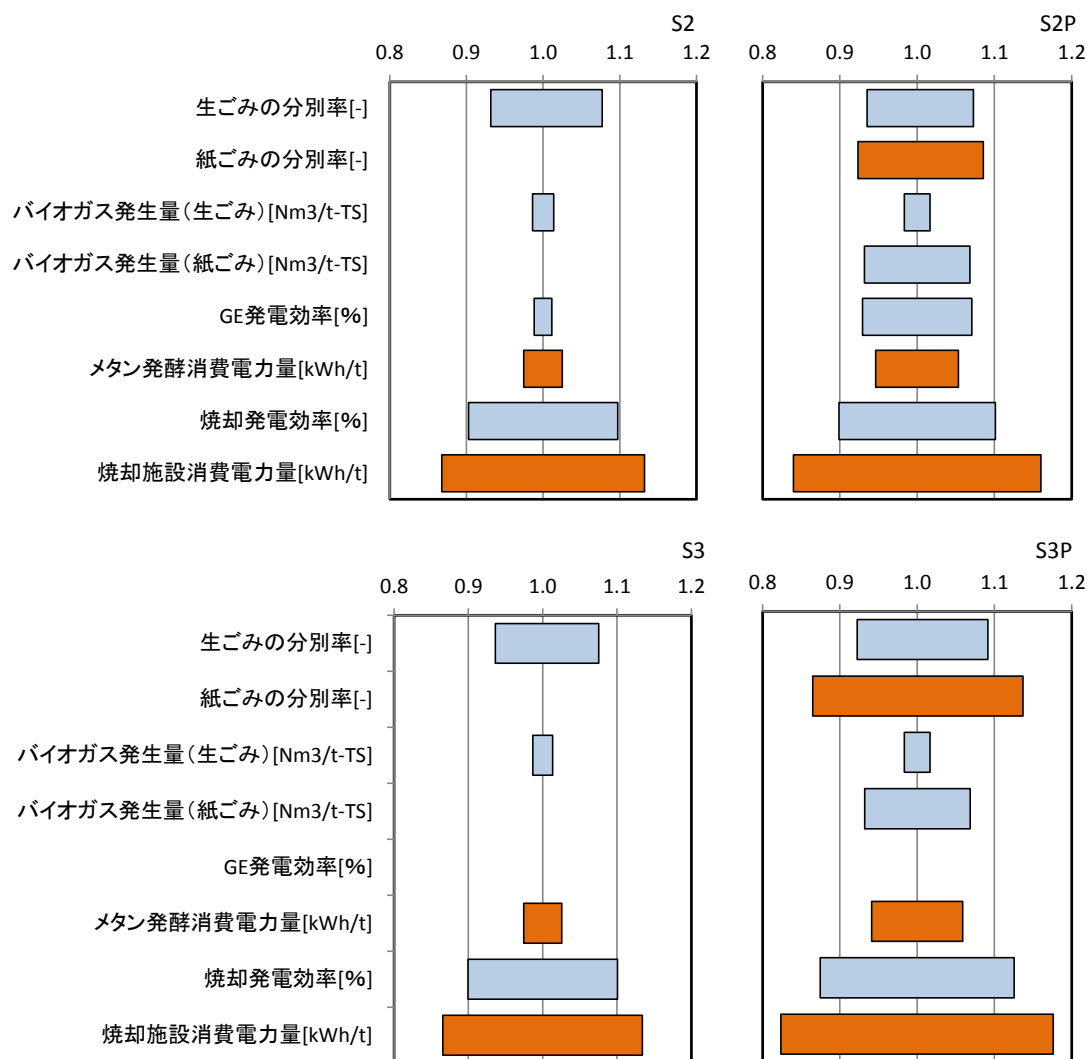


図 3-5 感度解析における正味電力回収量の増加割合

表 3-7(1) 生ごみ分別率 Max での各シナリオの計算結果

(a) 施設ごとの主な数値

			シナリオ				
			S1	S2	S3	S2P	S3P
メタン発酵施設	分別		-	生ごみ		生ごみ+紙類	
	処理量	[t/年]	-	15,200	15,200	23,300	23,300
	処理量	[t-dry/年]	-	2,660	2,660	10,039	10,039
	施設規模	[t/日]	-	43	43	66	66
	バイオガス発生量	[1000Nm ³ /年]	-	930	930	3,589	3,589
	GE発電効率	[%]	-	30	-	30	-
	GE発電量	[MWh/年]	-	1,667	-	6,431	-
	GE熱回収可能量	[GJ/年]	-	5,999	-	23,151	-
	固形残渣発生量	[t-wet/年]	-	2,197	2,197	10,290	10,290
	固形残渣低位発熱量	[kJ/kg-wet]	-	4,134	4,134	4,134	4,134
	メタン発酵槽加温熱量	[GJ/年]	-	3,535	3,535	7,782	7,782
	メタン発酵槽加水量	[t/年]	-	0	0	10,164	10,164
	所内電気使用量	[MWh/年]	-	3,040	3,040	4,660	4,660
焼却施設	処理量	[t/年]	71,151	55,951	55,951	47,851	47,851
	可燃ごみ低位発熱量	[kJ/kg-wet]	8,370	10,382	10,382	9,709	9,709
	焼却対象ごみ低位発熱量	[kJ/kg-wet]	8,370	10,146	10,429	8,722	9,916
	施設規模	[t/日]	265	216	216	216	216
	バイオガスによる蒸気加熱熱量	[GJ/年]	-	-	16,463	-	69,387
	発電効率	[%]	16.4	18.3	18.6	16.8	18.1
	発電量	[MWh/年]	27,162	30,052	31,405	23,666	28,968
	所内電気使用量	[MWh/年]	12,807	10,467	10,467	10,465	10,465

(b) 各施設のマテリアルフロー

単位：GJ/年

メタン発酵	焼却		S1	S2	S3	S2P	S3P
IN		生ごみ等		14,668	14,668	157,298	157,298
OUT		バイオガス		19,998	19,998	77,169	77,169
	IN	内 独立加熱器利用			16,463		69,387
OUT	IN	メタン発酵残さ		9,081	9,081	42,538	42,538
	IN	可燃ごみ	595,534	580,883	580,883	464,585	464,585

表 3-7(2) 紙ごみ分別率 Min での各シナリオの計算結果

(a) 施設ごとの主な数値

			シナリオ				
			S1	S2	S3	S2P	S3P
メタン発酵施設	分別		-	生ごみ		生ごみ+紙類	
	処理量	[t/年]	-	10,600	10,600	15,200	15,200
	処理量	[t-dry/年]	-	1,855	1,855	6,046	6,046
	施設規模	[t/日]	-	30	30	43	43
	バイオガス発生量	[1000Nm ³ /年]	-	649	649	2,159	2,159
	GE発電効率	[%]	-	30	-	30	-
	GE発電量	[MWh/年]	-	1,162	-	3,868	-
	GE熱回収可能量	[GJ/年]	-	4,184	-	13,925	-
	固形残渣発生量	[t-wet/年]	-	1,532	1,532	6,128	6,128
	固形残渣低位発熱量	[kJ/kg-wet]	-	4,134	4,134	4,134	4,134
	メタン発酵槽加熱熱量	[GJ/年]	-	2,465	2,465	4,686	4,686
	メタン発酵槽加水量	[t/年]	-	0	0	4,952	4,952
	所内電気使用量	[MWh/年]	-	2,120	2,120	3,040	3,040
焼却施設	処理量	[t/年]	71,151	60,551	60,551	55,951	55,951
	可燃ごみ低位発熱量	[kJ/kg-wet]	8,370	9,666	9,666	9,281	9,281
	焼却対象ごみ低位発熱量	[kJ/kg-wet]	8,370	9,530	9,714	8,773	9,445
	施設規模	[t/日]	265	231	231	231	231
	バイオガスによる蒸気加熱熱量	[GJ/年]	-	-	11,481	-	41,730
	発電効率	[%]	16.4	17.7	17.9	16.9	17.6
	発電量	[MWh/年]	27,162	29,042	29,940	25,498	28,634
	所内電気使用量	[MWh/年]	12,807	11,175	11,175	11,174	11,174

(b) 各施設のマテリアルフロー

単位：GJ/年

メタン発酵	焼却		S1	S2	S3	S2P	S3P
IN		生ごみ等		10,229	10,229	102,615	102,615
OUT		バイオガス		13,946	13,946	46,417	46,417
	IN	内 独立加熱器利用			11,481		41,730
OUT	IN	メタン発酵残さ		6,333	6,333	25,335	25,335
	IN	可燃ごみ	595,534	585,286	585,286	519,281	519,281

表 3-7(3) バイオガス発生量(生ごみ)Max での各シナリオの計算結果

(a) 施設ごとの主な数値

			シナリオ				
			S1	S2	S3	S2P	S3P
メタン発酵施設	分別		-	生ごみ		生ごみ+紙類	
	処理量	[t/年]	-	10,600	10,600	18,700	18,700
	処理量	[t-dry/年]	-	1,855	1,855	9,234	9,234
	施設規模	[t/日]	-	30	30	53	53
	バイオガス発生量	[1000Nm ³ /年]	-	778	778	3,437	3,437
	GE発電効率	[%]	-	30	-	30	-
	GE発電量	[MWh/年]	-	1,395	-	6,159	-
	GE熱回収可能量	[GJ/年]	-	5,021	-	22,172	-
	固形残渣発生量	[t-wet/年]	-	1,532	1,532	9,625	9,625
	固形残渣低位発熱量	[kJ/kg-wet]	-	4,134	4,134	4,134	4,134
	メタン発酵槽加熱熱量	[GJ/年]	-	2,465	2,465	7,158	7,158
	メタン発酵槽加水量	[t/年]	-	0	0	12,080	12,080
	所内電気使用量	[MWh/年]	-	2,120	2,120	3,740	3,740
焼却施設	処理量	[t/年]	71,151	60,551	60,551	52,451	52,451
	可燃ごみ低位発熱量	[kJ/kg-wet]	8,370	9,666	9,666	8,942	8,942
	焼却対象ごみ低位発熱量	[kJ/kg-wet]	8,370	9,530	9,759	8,197	9,272
	施設規模	[t/日]	265	231	231	231	231
	バイオガスによる蒸気加熱熱量	[GJ/年]	-	-	14,270	-	66,748
	発電効率	[%]	16.4	17.7	17.9	16.2	17.4
	発電量	[MWh/年]	27,162	29,042	30,160	22,942	27,808
	所内電気使用量	[MWh/年]	12,807	11,175	11,175	11,174	11,174

(b) 各施設のマテリアルフロー

単位：GJ/年

メタン発酵	焼却		S1	S2	S3	S2P	S3P
IN		生ごみ等		10,229	10,229	126,244	126,244
OUT		バイオガス		16,735	16,735	73,906	73,906
	IN	内 独立加熱器利用			14,270		66,748
OUT	IN	メタン発酵残さ		6,333	6,333	39,790	39,790
	IN	可燃ごみ	595,534	585,286	585,286	469,017	469,017

表 3-7(4) バイオガス発生量(紙ごみ)Max での各シナリオの計算結果

(a) 施設ごとの主な数値

			シナリオ				
			S1	S2	S3	S2P	S3P
メタン発酵施設	分別		-	生ごみ		生ごみ+紙類	
	処理量	[t/年]	-	10,600	10,600	18,700	18,700
	処理量	[t-dry/年]	-	1,855	1,855	9,234	9,234
	施設規模	[t/日]	-	30	30	53	53
	バイオガス発生量	[1000Nm ³ /年]	-	649	649	3,840	3,840
	GE発電効率	[%]	-	30	-	30	-
	GE発電量	[MWh/年]	-	1,162	-	6,879	-
	GE熱回収可能量	[GJ/年]	-	4,184	-	24,765	-
	固形残渣発生量	[t-wet/年]	-	1,532	1,532	9,625	9,625
	固形残渣低位発熱量	[kJ/kg-wet]	-	4,134	4,134	4,134	4,134
	メタン発酵槽加熱熱量	[GJ/年]	-	2,465	2,465	7,158	7,158
	メタン発酵槽加水量	[t/年]	-	0	0	12,080	12,080
	所内電気使用量	[MWh/年]	-	2,120	2,120	3,740	3,740
焼却施設	処理量	[t/年]	71,151	60,551	60,551	52,451	52,451
	可燃ごみ低位発熱量	[kJ/kg-wet]	8,370	9,666	9,666	8,942	8,942
	焼却対象ごみ低位発熱量	[kJ/kg-wet]	8,370	9,530	9,714	8,197	9,411
	施設規模	[t/日]	265	231	231	231	231
	バイオガスによる蒸気加熱熱量	[GJ/年]	-	-	11,481	-	75,393
	発電効率	[%]	16.4	17.7	17.9	16.2	17.5
	発電量	[MWh/年]	27,162	29,042	29,940	22,942	28,470
	所内電気使用量	[MWh/年]	12,807	11,175	11,175	11,174	11,174

(b) 各施設のマテリアルフロー

単位：GJ/年

メタン発酵	焼却		S1	S2	S3	S2P	S3P
IN		生ごみ等		10,229	10,229	126,244	126,244
OUT		バイオガス		13,946	13,946	82,551	82,551
	IN	内 独立加熱器利用			11,481		75,393
OUT	IN	メタン発酵残さ		6,333	6,333	39,790	39,790
	IN	可燃ごみ	595,534	585,286	585,286	469,017	469,017

表 3-7(5) GE 発電効率 Max での各シナリオの計算結果

(a) 施設ごとの主な数値

			シナリオ				
			S1	S2	S3	S2P	S3P
メタン発酵施設	分別		-	生ごみ		生ごみ+紙類	
	処理量	[t/年]	-	10,600	10,600	18,700	18,700
	処理量	[t-dry/年]	-	1,855	1,855	9,234	9,234
	施設規模	[t/日]	-	30	30	53	53
	バイオガス発生量	[1000Nm ³ /年]	-	649	649	3,308	3,308
	GE発電効率	[%]	-	35	-	35	-
	GE発電量	[MWh/年]	-	1,356	-	6,914	-
	GE熱回収可能量	[GJ/年]	-	4,184	-	21,335	-
	固形残渣発生量	[t-wet/年]	-	1,532	1,532	9,625	9,625
	固形残渣低位発熱量	[kJ/kg-wet]	-	4,134	4,134	4,134	4,134
	メタン発酵槽加温熱量	[GJ/年]	-	2,465	2,465	7,158	7,158
	メタン発酵槽加水量	[t/年]	-	0	0	12,080	12,080
	所内電気使用量	[MWh/年]	-	2,120	2,120	3,740	3,740
焼却施設	処理量	[t/年]	71,151	60,551	60,551	52,451	52,451
	可燃ごみ低位発熱量	[kJ/kg-wet]	8,370	9,666	9,666	8,942	8,942
	焼却対象ごみ低位発熱量	[kJ/kg-wet]	8,370	9,530	9,714	8,197	9,227
	施設規模	[t/日]	265	231	231	231	231
	バイオガスによる蒸気加熱熱量	[GJ/年]	-	-	11,481	-	63,959
	発電効率	[%]	16.4	17.7	17.9	16.2	17.3
	発電量	[MWh/年]	27,162	29,042	29,940	22,942	27,596
	所内電気使用量	[MWh/年]	12,807	11,175	11,175	11,174	11,174

(b) 各施設のマテリアルフロー

単位：GJ/年

メタン発酵	焼却		S1	S2	S3	S2P	S3P
IN		生ごみ等		10,229	10,229	126,244	126,244
OUT		バイオガス		13,946	13,946	71,117	71,117
	IN	内 独立加熱器利用			11,481		63,959
OUT	IN	メタン発酵残さ		6,333	6,333	39,790	39,790
	IN	可燃ごみ	595,534	585,286	585,286	469,017	469,017

表 3-7(6) メタン発酵消費電力量 Max での各シナリオの計算結果

(a) 施設ごとの主な数値

			シナリオ				
			S1	S2	S3	S2P	S3P
メタン発酵施設	分別		-	生ごみ		生ごみ+紙類	
	処理量	[t/年]	-	10,600	10,600	18,700	18,700
	処理量	[t-dry/年]	-	1,855	1,855	9,234	9,234
	施設規模	[t/日]	-	30	30	53	53
	バイオガス発生量	[1000Nm ³ /年]	-	649	649	3,308	3,308
	GE発電効率	[%]	-	30	-	30	-
	GE発電量	[MWh/年]	-	1,162	-	5,926	-
	GE熱回収可能量	[GJ/年]	-	4,184	-	21,335	-
	固形残渣発生量	[t-wet/年]	-	1,532	1,532	9,625	9,625
	固形残渣低位発熱量	[kJ/kg-wet]	-	4,134	4,134	4,134	4,134
	メタン発酵槽加温熱量	[GJ/年]	-	2,465	2,465	7,158	7,158
	メタン発酵槽加水量	[t/年]	-	0	0	12,080	12,080
	所内電気使用量	[MWh/年]	-	1,696	1,696	2,992	2,992
焼却施設	処理量	[t/年]	71,151	60,551	60,551	52,451	52,451
	可燃ごみ低位発熱量	[kJ/kg-wet]	8,370	9,666	9,666	8,942	8,942
	焼却対象ごみ低位発熱量	[kJ/kg-wet]	8,370	9,530	9,714	8,197	9,227
	施設規模	[t/日]	265	231	231	231	231
	バイオガスによる蒸気加熱熱量	[GJ/年]	-	-	11,481	-	63,959
	発電効率	[%]	16.4	17.7	17.9	16.2	17.3
	発電量	[MWh/年]	27,162	29,042	29,940	22,942	27,596
	所内電気使用量	[MWh/年]	12,807	11,175	11,175	11,174	11,174

(b) 各施設のマテリアルフロー

単位：GJ/年

メタン発酵	焼却		S1	S2	S3	S2P	S3P
IN		生ごみ等		10,229	10,229	126,244	126,244
OUT		バイオガス		13,946	13,946	71,117	71,117
	IN	内 独立加熱器利用			11,481		63,959
OUT	IN	メタン発酵残さ		6,333	6,333	39,790	39,790
	IN	可燃ごみ	595,534	585,286	585,286	469,017	469,017

表 3-7(7) 焼却施設発電効率 Max での各シナリオの計算結果

(a) 施設ごとの主な数値

			シナリオ				
			S1	S2	S3	S2P	S3P
メタン発酵施設	分別		-	生ごみ		生ごみ+紙類	
	処理量	[t/年]	-	10,600	10,600	18,700	18,700
	処理量	[t-dry/年]	-	1,855	1,855	9,234	9,234
	施設規模	[t/日]	-	30	30	53	53
	バイオガス発生量	[1000Nm ³ /年]	-	649	649	3,308	3,308
	GE発電効率	[%]	-	30	-	30	-
	GE発電量	[MWh/年]	-	1,162	-	5,926	-
	GE熱回収可能量	[GJ/年]	-	4,184	-	21,335	-
	固形残渣発生量	[t-wet/年]	-	1,532	1,532	9,625	9,625
	固形残渣低位発熱量	[kJ/kg-wet]	-	4,134	4,134	4,134	4,134
	メタン発酵槽加温熱量	[GJ/年]	-	2,465	2,465	7,158	7,158
	メタン発酵槽加水量	[t/年]	-	0	0	12,080	12,080
	所内電気使用量	[MWh/年]	-	2,120	2,120	3,740	3,740
焼却施設	処理量	[t/年]	71,151	60,551	60,551	52,451	52,451
	可燃ごみ低位発熱量	[kJ/kg-wet]	8,370	9,666	9,666	8,942	8,942
	焼却対象ごみ低位発熱量	[kJ/kg-wet]	8,370	9,530	9,714	8,197	9,227
	施設規模	[t/日]	265	231	231	231	231
	バイオガスによる蒸気加熱熱量	[GJ/年]	-	-	11,481	-	63,959
	発電効率	[%]	17.4	18.7	18.9	17.2	18.3
	発電量	[MWh/年]	28,817	30,685	31,615	24,355	29,187
	所内電気使用量	[MWh/年]	12,807	11,175	11,175	11,174	11,174

(b) 各施設のマテリアルフロー

単位：GJ/年

メタン発酵	焼却		S1	S2	S3	S2P	S3P
IN		生ごみ等		10,229	10,229	126,244	126,244
OUT		バイオガス		13,946	13,946	71,117	71,117
	IN	内 独立加熱器利用			11,481		63,959
OUT	IN	メタン発酵残さ		6,333	6,333	39,790	39,790
	IN	可燃ごみ	595,534	585,286	585,286	469,017	469,017

表 3-7(8) 焼却施設消費電力量 Max での各シナリオの計算結果

(a) 施設ごとの主な数値

			シナリオ				
			S1	S2	S3	S2P	S3P
メタン発酵施設	分別		-	生ごみ		生ごみ+紙類	
	処理量	[t/年]	-	10,600	10,600	18,700	18,700
	処理量	[t-dry/年]	-	1,855	1,855	9,234	9,234
	施設規模	[t/日]	-	30	30	53	53
	バイオガス発生量	[1000Nm ³ /年]	-	649	649	3,308	3,308
	GE発電効率	[%]	-	30	-	30	-
	GE発電量	[MWh/年]	-	1,162	-	5,926	-
	GE熱回収可能量	[GJ/年]	-	4,184	-	21,335	-
	固形残渣発生量	[t-wet/年]	-	1,532	1,532	9,625	9,625
	固形残渣低位発熱量	[kJ/kg-wet]	-	4,134	4,134	4,134	4,134
	メタン発酵槽加熱熱量	[GJ/年]	-	2,465	2,465	7,158	7,158
	メタン発酵槽加水量	[t/年]	-	0	0	12,080	12,080
	所内電気使用量	[MWh/年]	-	2,120	2,120	3,740	3,740
焼却施設	処理量	[t/年]	71,151	60,551	60,551	52,451	52,451
	可燃ごみ低位発熱量	[kJ/kg-wet]	8,370	9,666	9,666	8,942	8,942
	焼却対象ごみ低位発熱量	[kJ/kg-wet]	8,370	9,530	9,714	8,197	9,227
	施設規模	[t/日]	265	231	231	231	231
	バイオガスによる蒸気加熱熱量	[GJ/年]	-	-	11,481	-	63,959
	発電効率	[%]	16.4	17.7	17.9	16.2	17.3
	発電量	[MWh/年]	27,162	29,042	29,940	22,942	27,596
	所内電気使用量	[MWh/年]	10,246	8,940	8,940	8,939	8,939

(b) 各施設のマテリアルフロー

単位：GJ/年

メタン発酵	焼却		S1	S2	S3	S2P	S3P
IN		生ごみ等		10,229	10,229	126,244	126,244
OUT		バイオガス		13,946	13,946	71,117	71,117
	IN	内 独立加熱器利用			11,481		63,959
OUT	IN	メタン発酵残さ		6,333	6,333	39,790	39,790
	IN	可燃ごみ	595,534	585,286	585,286	469,017	469,017

3.4 おわりに

「3.1 はじめに」で述べたように、これまでの研究が焼却かメタン発酵かを選択するものが多かったのに対し、本研究ではメタン発酵と焼却処理を並列で行う乾式メタン発酵方式のコンバインドシステムについて、正味エネルギー回収量の評価を行った。

メタン発酵のみを考えると、生ごみに紙ごみを加えることで、3.1.2で述べたようにメタンガス発生量が増加し、施設としてのスケールメリットが得られる。これは、メタン発酵に都合のよいごみを集めるからである。しかし本研究のように都市ごみ処理として考えると、紙ごみのメタン発酵は焼却ごみの熱量を低下させるという、マイナス効果が生まれる。紙ごみからバイオガスを取り出すのがよいか、直接焼却するのがよいかを、比較しなければならない。本研究では直接焼却 (S1)、バイオガスのガスエンジンによる発電 (S2P)、焼却施設の独立加熱器利用 (S3P) を考え、どの経路が望ましいか比較した。

都市ごみ処理にメタン発酵を採用するときには、メタン発酵はまずガス化しそれをエネルギー利用する技術であり、エネルギーが増加するわけではないことに注意しなければならない。どのようなシステム構成がよいかは、プロセスの効率(特に発電効率)と、所内消費エネルギーが大きく影響する。仮に表 3-6 においてすべてのパラメータを最良の値とすると各シナリオの検討結果は表 3-8、各シナリオの正味エネルギー回収量は図 3-6 の白丸のようになる。シナリオ間の比較だけではなく、どのようにして各シナリオの効率を上げるかを考えることが、より好ましいシステムを得るために必要となる。

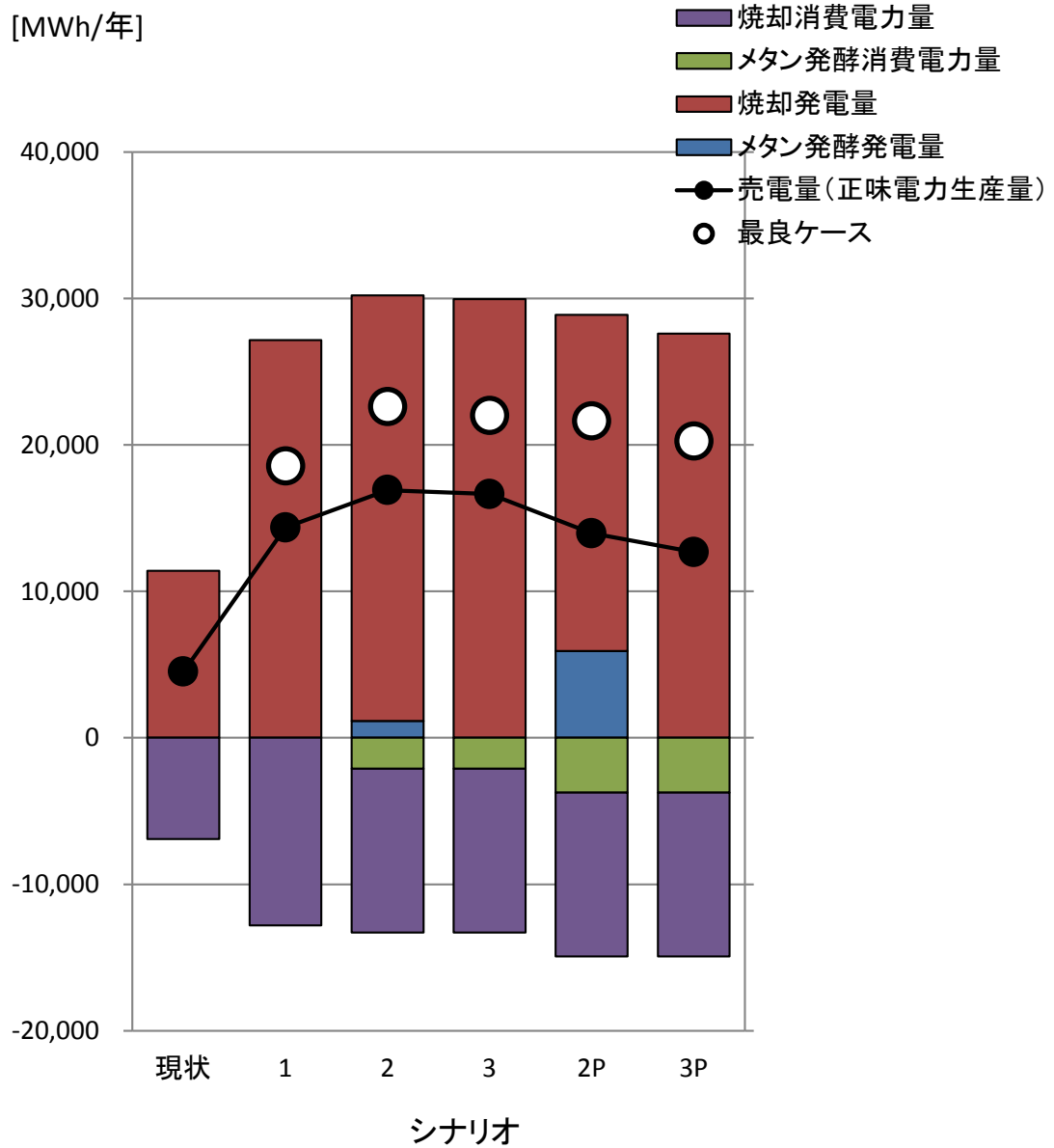


図 3-6 各シナリオの電力収支 (最良ケース追加)

表 3-8 最良条件での各シナリオの計算結果

(a) 施設ごとの主な数値

			シナリオ				
			S1	S2	S3	S2P	S3P
メタン発酵施設	分別		-	生ごみ		生ごみ+紙類	
	処理量	[t/年]	-	15,200	15,200	19,800	19,800
	処理量	[t-dry/年]	-	2,660	2,660	6,851	6,851
	施設規模	[t/日]	-	43	43	56	56
	バイオガス発生量	[1000Nm ³ /年]	-	1,116	1,116	2,929	2,929
	GE発電効率	[%]	-	35	-	35	-
	GE発電量	[MWh/年]	-	2,333	-	6,121	-
	GE熱回収可能量	[GJ/年]	-	7,199	-	18,889	-
	固形残渣発生量	[t-wet/年]	-	2,197	2,197	6,793	6,793
	固形残渣低位発熱量	[kJ/kg-wet]	-	4,134	4,134	4,134	4,134
	メタン発酵槽加温熱量	[GJ/年]	-	3,535	3,535	5,310	5,310
	メタン発酵槽加水量	[t/年]	-	0	0	3,035	3,035
	所内電気使用量	[MWh/年]	-	3,040	3,040	3,960	3,960
焼却施設	処理量	[t/年]	71,151	55,951	55,951	51,351	51,351
	可燃ごみ低位発熱量	[kJ/kg-wet]	8,370	10,382	10,382	10,026	10,026
	焼却対象ごみ低位発熱量	[kJ/kg-wet]	8,370	10,146	10,498	9,338	10,329
	施設規模	[t/日]	265	216	216	216	216
	バイオガスによる蒸気加熱熱量	[GJ/年]	-	-	20,463	-	57,652
	発電効率	[%]	17.4	19.3	19.7	18.5	19.5
	発電量	[MWh/年]	28,817	31,690	33,434	27,847	32,591
	所内電気使用量	[MWh/年]	10,246	8,373	8,373	8,373	8,373

(b) 各施設のマテリアルフロー

単位：GJ/年

メタン発酵	焼却		S1	S2	S3	S2P	S3P
IN		生ごみ等		14,668	14,668	133,670	133,670
OUT		バイオガス		23,998	23,998	62,963	62,963
	IN	内 独立加熱器利用			20,463		57,652
OUT	IN	メタン発酵残さ		9,081	9,081	28,083	28,083
	IN	可燃ごみ	595,534	580,883	580,883	514,845	514,845

参考文献

- 1) エコ燃料利用推進会議：熱利用エコ燃料の普及拡大について，2006，pp. 2-8，環境省
- 2) 環境省：平成 22 年度一般廃棄物処理実態調査結果，2010
- 3) 北海道大学廃棄物処分工学研究室：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，p. 32
- 4) (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構，平成 19～21 年度バイオマスエネルギー地域システム化実験事業先進型高効率乾式メタン発酵システム実験事業成果報告書，2010，p. 149
- 5) 川崎敦，山下哲生，宇根伸之，赤司昭，斉藤彰：「日田市バイオマス資源化センター」の運転実績と微生物群集解析，第 19 回廃棄物学会研究発表 3-会講演論文集，pp. 459-461，2008
- 6) 村上清志：北広島市バイオマス利活用施設，都市清掃，No. 65，vol. 308，pp. 415-419，2012
- 7) 稚内市：稚内市バイオエネルギーセンター施設概要
- 8) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課：メタンガス化（生ごみメタン）施設整備マニュアル，2008，p. 9
- 9) 二條久男，西嶋真幸，深澤愛：「先進型高効率乾式メタン発酵システム実験事業」（第 2 報）——実験事業の概要及び実験システムの運転状況，第 19 回廃棄物学会研究発表 3-会講演論文集，pp. 456-458，2008
- 10) 中村一夫，酒井伸一，堀寛明，宍田健一，岩崎大介，久堀泰佑，坪田潤：京都バイオリサイクルプロジェクト 高効率メタン発酵技術開発（第 1 報），第 20 回廃棄物資源循環学会研究発表 3-会講演論文集，pp. 295-296，2009
- 11) 3)と同じ，p. 35
- 12) 佐野充，森部総一，加藤博和，日比野高士：生ごみのバイオガス化によるごみ処理の適切なシステムの検討，人間環境学研究，vol. 5，No. 1，pp. 1-5，2007
- 13) 天野耕二，曾和朋弘：中間処理方法の組み合わせに着目した一般廃棄物処理システムの包括的評価，土木学会論文集 G，vol. 63，No. 4，pp. 391-402，2007
- 14) 矢野順也，平井康宏，酒井伸一，出口晋吾，中村一夫，堀寛明：都市ごみの厨芥類および紙類の利用システムによる温室効果ガスの削減効果，廃棄物資源循環学会論文誌，vol. 22，No. 1，pp. 38-51，2011
- 15) 旭川市：平成 23 年度清掃事業概要，2011
- 16) (公財) 廃棄物・3R 研究財団：ごみ焼却施設台帳 平成 21 年度版（全連続燃焼方式編），2011
- 17) (社) 全国都市清掃会議：ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2006 改訂版，2006，p. 138，表 1.3.3-1～2

- 18) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課：高効率ごみ発電施設整備マニュアル，環境省，2010，p. 6
- 19) 山下茂樹，二階靖樹，山田耕土，瀬田文治，白山幸一：果樹剪定枝のバイオマス利活用事業構想検討，農業土木学会大会講演会講演要旨集，2006，pp. 400-401
- 20) 資源エネルギー庁省エネルギー・新エネルギー部長通知：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の適用に関する留意事項等，2003年2月13日
- 21) 松藤敏彦：一般廃棄物焼却施設の物質収支・エネルギー消費・コスト分析，季刊環境技術会誌，No. 148，pp. 278-284，2012.7
- 22) 18)と同じ，p. 286
- 23) 野池達也編著：メタン発酵，2009，p. 143，p. 152，技報堂出版
- 24) 8)と同じ，p. 49
- 25) 京都市：生ごみ等の分別収集による新たなエネルギー生成モデル実験結果，第9回新京都市循環型社会推進基本計画策定に係る専門部会 報告資料1，2009年12月16日

第4章 バイオマス利活用事業評価の方法

4.1 はじめに

新たなバイオマス利活用システムを検討するには、事前に十分な評価を行う必要がある。そこで本章では、第2章、第3章では対象外とした、経済性を考慮した事業性の評価について述べる。

平成21年1月末時点で159の市町村がバイオマスタウン構想を公表していた。しかし、バイオマス事業¹⁾²⁾が事業化されている事例は少なく、個別地域の特性に応じた創意工夫により、草の根的に実施されている状況であった。事業化に必要な工夫が数多く蓄積されている可能性があり、それらを調査・解析し、整理することは重要と考えた。また、バイオマス発生量や利用可能量、事業展開の方法等について、事業を推進させるための情報や客観的な評価方法の整備が必要と考えられた。

一般的に、バイオマス関連事業の事業化検討においては、地域に現存するバイオマスをオンサイトで利用、または効率的に収集・活用する事業化モデルを検討し、その経済性分析及び環境負荷評価が行われる。既に、これらの一連の検討を簡易に行うための評価システムの研究が行われ、「一般・産業廃棄物・バイオマスの複合処理・再資源化プロジェクト」によるPEGASUS³⁾や産総研バイオマス研究センターの簡易経済性シミュレーション等⁴⁾の成果が得られている。また、システム化されていなくとも、各種の検討が行われている状況である。⁵⁾⁶⁾⁷⁾

しかし、これらのシステムでは、経済性や環境負荷の判断に必要なデータの提示にとどまっている。そこで、本研究では、バイオマス利活用事業を推進するため、経済性分析や環境負荷評価に基づいた客観的なデータを提示し、どのようにすれば事業実施が可能となるのかを示唆し、事業実施へと導くことを目的とした。

対象は主にバイオマス利活用事業構想を検討する市町村とし、構想を具体的な計画へ落とし込む初期の事業化検討段階を想定している。対象技術は、木質バイオマスによるボイラー発電事業及びガス化発電事業、農産バイオマス及び資源作物によるエタノール化事業とした。初期の事業化検討に必要な経済性分析及び環境負荷評価のみでなく、既に事業化されている類似のバイオマス関連事業の成功要因を調査・解析したうえでこれらの体系的な整理も試みた。

地域でのバイオマス利用システムの経済性評価を行う場合、経済的に成立しないことが多い。しかし、経済性に大きな影響を及ぼす要素について改善を行うことにより、経済性を向上させ、事業を成立させることも可能である。

そこで、評価にあたっては、既存事業における工夫を整理、解析し、①事業収支、②事業リスク、③キャッシュフローの3つの視点から、経済性の改善策を検討した。

検討の流れは、図4-1に示すとおりである。先進事例における成功要因を解析し、バイオマス燃料化のための技術データの収集及び整理、経済性分析及び環境負荷評価のた

めの基本データの収集及び整理を行い、これらを基本データとして整理し、最終的に事業化に向けた検討を行うものである。

以下では、「事例収集及び工夫の解析」及び「事業化に向けたアドバイス」を中心に述べる。なお、バイオマス賦存量等のデータは、NEDOにて公開されている「バイオマス賦存量・利用可能量の推計」を使用した。

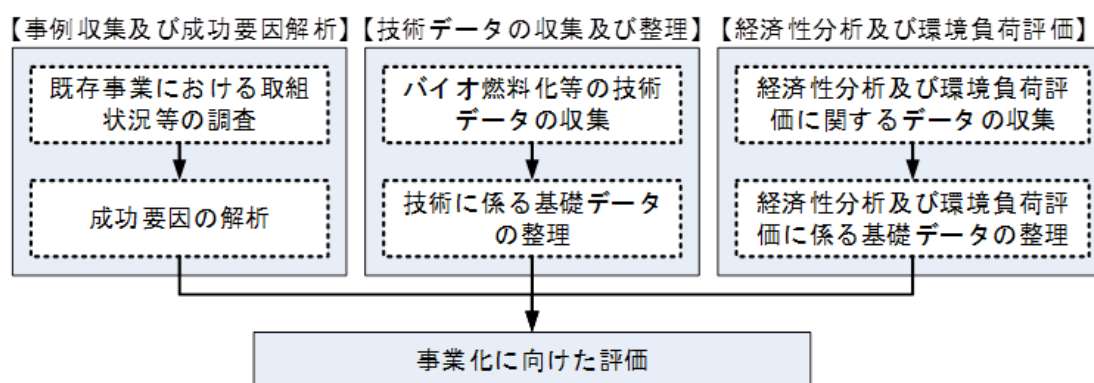


図 4-1 事業化に向けたアドバイス提示までの流れ

4.2 バイオマス利活用先進事例の調査

4.2.1 調査項目の設定

バイオマス事業の先進事例は、平成 19 年 7 月 31 日時点でバイオマスタウン構想を公表している 101 市町村を対象に郵送によるアンケート調査を行うとともに既にバイオマス利活用事業を実施している団体及びエタノール化の実証事業を行っている団体を対象にヒアリング調査を行った。

アンケート調査は、バイオマスタウン構想書の「6. バイオマスタウン形成上の基本的な構想」に記載している『エネルギー利用技術を採用している事業』のうち、最も重点的に位置付けている事業について、表 4-1 に示す各種質問を行った。なお、アンケート調査にあたっては、課題と解決の仕方をできるだけ具体的に回答頂くように依頼した。

表 4-1 アンケート調査の概要

調査期間	平成 19 年 9 月 19 日 ～平成 19 年 10 月 3 日
主な質問事項	バイオマスタウン構想書の「6.バイオマスタウン形成上の基本的な構想」に記載している『エネルギー利用技術を採用している事業』のうち、最も重点的に位置付けている事業の概要及び事業に係る各種質問に対して回答を得た。
回答状況	発送数 : 101 件 回答数 : 38 件 (回答率=37.6%) 内、バイオ燃料事業に関する回答数 : 23 件 (有効回答率=22.8%)

4.2.2 アンケート調査の検討項目

得られたアンケート結果をバイオマス利用の観点ごとに整理し、さらに各課題に関連して行われている工夫を抽出、整理した。さらに、この工夫を踏まえた評価システムを構築した。

経済性分析に基づく評価結果の提示は、図 4-2 に示す手順で行い、評価結果に基づいて検討条件を変更することで繰り返し検討を行うことを想定している。経済性分析によって得られる①事業収支、②事業リスク、③キャッシュフローについて、事業化に向けた情報を提示するものである。以下のような流れとなっている。

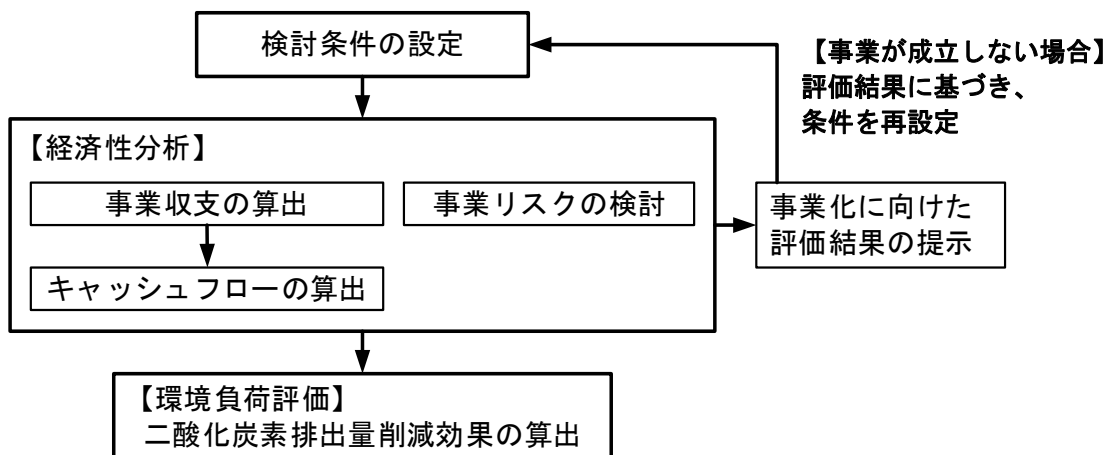


図 4-2 経済性分析に基づく検討の流れ

(1) 事業収支に関する検討

(a) 提示項目

事業収支に関しては、事業収支が黒字の場合は収入増加策、赤字の場合は事業収支の改善策を提示する。

また、表 4-2 に示すとおり、収支の内訳毎に設定した。コストに関する設定値は、既存文献やメーカーへのヒアリング結果等から初期値を設定しているが、任意の数値に変更することも可能である。

表 4-2 設定する項目

イニシャルコスト	建設費
ランニングコスト	電力購入費，上水道費，LP ガス購入費，A 重油購入費，酵素・酵母購入費，消耗品費，補修費，ガスエンジンのメンテナンス費，残渣処理費，人件費
原料調達コスト	原料購入費，原料輸送費
収入	廃棄物処理費，売電収入，エタノール販売収入

(b) 評価結果の提示方法

事業収支が黒字の場合は、①具体的な年間収支額、②事業化できる可能性が高いこと及び③事業収支をより改善させるための収入増加策を提示する。

一方、事業収支が赤字の場合は、①具体的な年間収支額、②事業化できる可能性が低いこと及び③具体的な事業収支改善策の 3 点を事業化に向けた評価結果として提示する。提示する項目は、経済性分析の結果、総支出額の 10%以上を占める項目について、事業改善の必要性和項目毎の具体的な手法を提示する。

なお「A という対策を行うことにより、売電単価を B 円/kWh 程度まで高めることができる」など、可能な限り具体的な数値を提示する。しかし、人件費など地域差がある項目や定量的な評価が難しい項目については、「C という対策を行うことにより、人件費を低減化できる」など、定性的表現としている。

(2) 事業リスク

事業での処理対象物量のうち、林地残材のように発生量が季節により変動する品目（以下、「季節変動品目」という。）や解体廃木材や剪定枝のように一時的に発生する品目（以下、「スポット品目」という。）の割合が高い場合、原材料の変動に伴う設備の安定稼働に支障が生じる可能性がある。事業で得られる資源化物（電力またはエタノール）についても、季節変動品目やスポット品目由来の割合が高い場合、収入の変動リスクが

伴う。また、原料調達コストについては、なるべく季節変動の少ない安定品目の調達に係る費用の割合が高いほうが望ましい。

そこで、処理対象物量、資源化物及び原料調達コストについて、季節変動する品目の割合が高い場合、事業リスクの低減化策を事業化に向けた提案を行う。

処理対象物は、安定品目の割合が80%以上を占める場合は、設備の安定した稼働が期待できることを提示する。一方、季節変動品目またはスポット品目のいずれかの割合が20%以上の場合は、設備の安定した稼働に支障が生じる可能性があること及び安定稼働に向けた具体的な工夫を提示する。

資源化物については、処理対象物と同様に、安定品目由来の割合が80%以上を占める場合は、安定して収入を得ることができると提示する。一方、季節変動品目またはスポット品目のいずれかの割合が20%以上の場合は、収入の変動リスクが伴うこと及び原料調達の安定性を高め、収入の変動リスクを低減化するための具体的な工夫を提示する。

原料調達コストについては、季節変動品目またはスポット品目のいずれかの割合が20%以上の場合は、安定品目の調達に係る費用の割合が高い方が望ましいことを提示する。

(3) キャッシュフロー

単年度の事業収支が黒字の場合でも、事業期間中に累積キャッシュフローが赤字になる場合もあり、その場合は事業が破綻する。そこで、キャッシュフローについて提案を行う。

事業期間中に累積キャッシュフローが黒字になる場合は、黒字になる事業年度を提示する。また、事業期間中に初期コスト回収率が100%にならない場合及び初期コストを回収するまでに10年以上を要する場合は、事業条件の見直しが必要であることを提示する。

一方、事業期間中に累積キャッシュフローが黒字にならない場合は、事業に必要な資金が不足すること及び事業条件の見直しが必要であることを提示する。

4.2.3 先進事例の解析結果

アンケート調査の回答率は37.6%であり、さらにバイオ燃料事業に関する回答率は22.8%であった。バイオマス種別及び技術別の有効回答の内訳は、図4-3に示すとおりである。

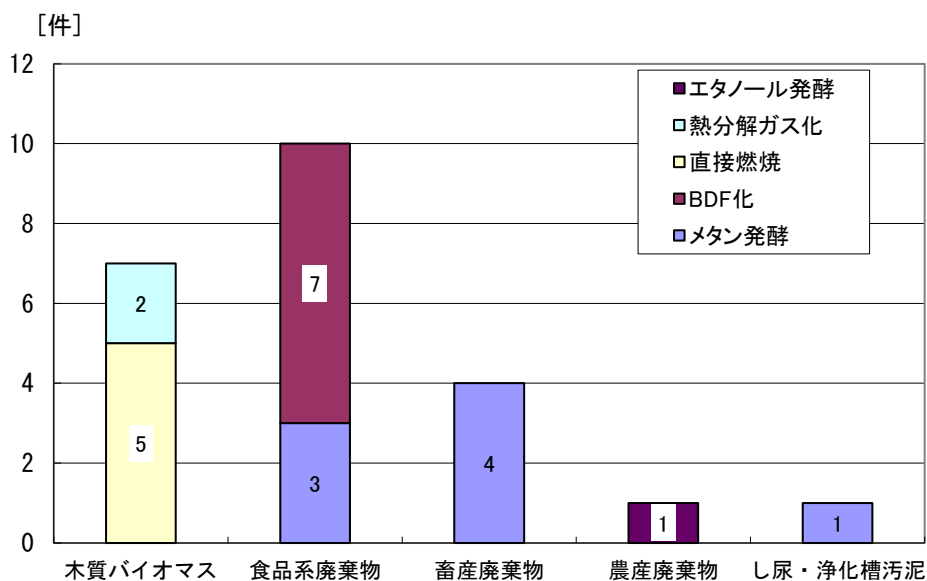


図 4-3 バイオマス毎の燃料化事業回答数

アンケート調査結果の概要を表 4-5 に示す。バイオマス利用の観点から、原料、エネルギー利用、経済性、事業のポイント及びその他に大別して回答を示している。また、原料については、原料の確保と効率的な収集に分類して整理を行った。その結果、対象とするバイオマスの種類によらず、事業のポイントとしては原料の安定的な確保が最重要であり、次いで原料の効率的な収集が重要であることが分かった。さらに、原料を安定的に確保するための手法として、大口排出者との連携やインセンティブの付与が有効であるが、一方で排出者との契約が特に行われていない事例が多いことなど、具体的な問題点とこれに対する工夫を得ることができた。これは、アンケートを採るにあたって、課題と解決の方法をできるだけ具体的な回答が得られるよう依頼したことが有効だったものと考えられる。

表 4-5(1) アンケート調査結果の概要

調査項目			調査結果の概要
大分類	中分類	小分類	
原料	原料の安定的な確保	大口排出者との連携	<ul style="list-style-type: none"> 原料の安定確保のため、大口の排出者が事業に参画している事例が多い。特に、木質バイオマス対象事業ではその傾向が強い。 食品廃棄物を原料とする事業では、大口の排出者が参画していない事例が多い。後述のとおり、小ロットの原料も対象としている事例がほとんどであることが影響していると推測される。
		原料の処理実態	<ul style="list-style-type: none"> 排出者が原料の処理に困っていたという実態がある場合が多く、その傾向は食品廃棄物以外を原料とする事業で強い。 食品廃棄物を原料とする事業では、排出者が処理に困っている事例と困っていない事例が同程度となっている。
		排出者へのインセンティブ	<ul style="list-style-type: none"> 排出者に対し、現状よりも安価に処理できることをインセンティブとしている事例が多い。バイオマス関連事業では排出者の協力を得るには経済的なインセンティブの付与が重要である。
		排出者との契約年数	<ul style="list-style-type: none"> 特に契約に基づいていない事例が多い。
	原料の効率的な収集	原料の運搬担当	<ul style="list-style-type: none"> 食品廃棄物を原料とする事業では、一般廃棄物は行政、産業廃棄物は産業廃棄物収集運搬業者が担当している事例が多い。 木質バイオマスを原料とする事業では、排出者が担当している事例が多い。
		排出者による共同の運搬車両の購入等の取組状況	<ul style="list-style-type: none"> 排出者による共同の収集車両購入等の取組を行っている事例はない。
		産業廃棄物収集運搬業者との連携	<ul style="list-style-type: none"> 産業廃棄物収集運搬業者が事業に参画している事例は少ない。 畜産廃棄物を原料とする事業では参画している事例もある。
		収集頻度	<ul style="list-style-type: none"> 毎日収集の事例が最も多く、木質バイオマス及び畜産バイオマスでその傾向が強い。 食品廃棄物は、回答が分散しており、事業により対応は様々である。
		小ロットの原料に対する対応	<ul style="list-style-type: none"> 小ロットの原料を事業の対象としている事例が多いが、その傾向は対象バイオマスにより異なっている。 食品廃棄物を原料とする事業では、小ロットの原料を対象としている事例がほとんどであるのに対し、木質バイオマスを原料とする事業では対象としていない事例が多い。

表 4-5(2) アンケート調査結果の概要

調査項目			調査結果の概要
大分類	中分類	小分類	
原料	原料の効率的な収集	自治会や NPO 等との連携	<ul style="list-style-type: none"> 原料の収集を効率的に行うために自治会や NPO 等との連携を行っている事例と行っていない事例の割合は同程度である。 食品廃棄物を原料とする事業では、自治体等と連携を行っている事例が多い。
		原料の収集運搬に係る実証試験	<ul style="list-style-type: none"> 実証試験を実施していない事例が多いが、食品廃棄物では実証試験を行った事例もある。木質バイオマス及び農産廃棄物を原料とする事業では、今後実施する予定の事例もある。
エネルギー利用	エネルギー販売先の確保	公共によるエネルギーの買い取り	<ul style="list-style-type: none"> バイオマス関連事業で得られるエネルギーを公共で買い取っていない事例が多い。特に、木質バイオマスを原料とする事業では、エネルギーの利用に関して公共が関与している事例はない。
		エネルギーの大口需要家との連携	<ul style="list-style-type: none"> エネルギーの大口需要家の事業スキームへの参画は、特に、木質バイオマスを原料とする事業において多い傾向がある。 木質バイオマスを原料とする事業では、エネルギーの利用に関して公共が関与していないことが影響していると推測される。
		事業で得られるエネルギーの利用施設	<ul style="list-style-type: none"> エネルギー化施設に加えて、事業で得られるエネルギーの利用施設を整備していない事例が多く、今後整備する予定を含めても整備例は少ない。
経済性	事業採算性の向上	補助金の活用	<ul style="list-style-type: none"> エネルギー化施設整備時に補助金を活用した事例がほとんどであり、活用していないのは食品廃棄物で 2 例のみである。
		補助金未活用での事業実施の可能性	<ul style="list-style-type: none"> 回答の全てが補助金なしでの事業実施は不可能である。現状では、バイオマス関連事業の実施には、補助金は不可欠である。
		行政負担による事業実施の可能性	<ul style="list-style-type: none"> 行政負担によるバイオマス関連事業実施は難しいとの意見が多いが、行政の参画を考慮している事例もある。 行政参画の場合は、1/3～1/2 の補助金が必要との意見が多い。
		原料の調達状況	<ul style="list-style-type: none"> 廃棄物処理費を徴収している事例が多い。 食品廃棄物を原料とする事業では無償引取の事例も多い。 木質バイオマスを原料とする事業では購入事例が多い。

表 4-5(3) アンケート調査結果の概要

調査項目			調査結果の概要
大分類	中分類	小分類	
経済性	事業採算性の向上	事業の主な収入源	<ul style="list-style-type: none"> 事業の主な収入源は、エネルギー販売収入である事例と廃棄物処理費である事例の割合が同じである。 食品廃棄物及び畜産廃棄物を原料とする事業では廃棄物処理費が主な収入源となっている。一方、木質バイオマスを対象とする事業ではエネルギー販売収入が主な収入源となっている。
		廃棄物処理費を徴収しない場合の事業実施の可能性	<ul style="list-style-type: none"> 廃棄物処理費を徴収しない場合、事業実施は不可能である事例が多い。一方、廃棄物処理収入に頼っていない事業もある。
		事業採算性を確保するための取組	<ul style="list-style-type: none"> 事業採算性確保のための取組を行っている、または、今後取組予定の事例は2例のみであり、特に事業採算性の向上を目的とした特別な取組は行っていないものが多い。
事業のポイント	事業を行う上での最重要事項		<ul style="list-style-type: none"> バイオマスの種類によらず、原料の安定的確保を最重要事項としている事例が最も多く、次いで原料の効率的な収集運搬となっている。バイオマス関連事業では、原料の確保が最重要事項となっている。 コスト低減化のためには、残渣の有効利用がポイントである。 エネルギー化施設整備時の補助率の向上やランニングコストの低減化がポイントであるとの意見もあり、原料確保だけではなく、施設でのコスト低減化も重要である。
	行政の役割		<ul style="list-style-type: none"> バイオマス関連事業における行政の役割としては、事業主体の事例が最も多く、次いで原料収集が多い。特に食品廃棄物を対象とした事業でその傾向が強い。 地元住民や関連事業者との調整役、バイオマスタウン構想を策定し、地域バイオマス利活用交付金事業の計画主体となっている事例もある。
その他	事業の目的		<ul style="list-style-type: none"> 地域活性化を目的とした事業が最も多く、次いで処理に困っているものの適正処理事業となっている。 エネルギーの有効利用に関する意見が多い。
	事業スキーム	事業主体	<ul style="list-style-type: none"> 事業主体は公共が多いが、NPO 法人等が事業主体となる事例もある。 木質バイオマスでは、民間事業者が事業主体となる事例が多い。
		地域の人的資源の活用状況	<ul style="list-style-type: none"> 地域の人的資源を活用していない事例が多いが、活用している事例も散見される。
	既存インフラ（ごみ焼却施設）の立て替え予定		<ul style="list-style-type: none"> 既存インフラ（ごみ焼却施設）の立替は予定していない場合が多いが、既存インフラの更新を考慮している事例もある。

4.3 事業化に向けた課題と工夫

4.3.1 事業リスク

図 4-3 にアンケート調査及びヒアリング調査で得られたバイオマス関連事業における課題と課題を解決するための工夫を分類・整理した結果を示す。バイオマス関連事業では、大別すると『原料』、『エネルギー転換』、『エネルギー利用』、『経済性』、『その他』に関する課題があり、特に原料については確保と収集に課題がある。これらの課題を解決するための工夫として、量の確保、年間を通じた原料の確保、原料輸送の効率化、適切な施設規模の設定、処理の効率化、エネルギー販売先の確保、エネルギー販売価格の低減化、原料の調達方法、原料の輸送方法、施設整備に係る工夫、ランニングコストの低減化、発生残渣の有効利用及び環境価値の利用等が行われていた。これらの工夫は、ある課題に対して効果を発揮するが一方で他の項目についてリスクが生じる可能性がある。事業実施に向けた工夫とその効果及びリスクを表 4-6 に示す。

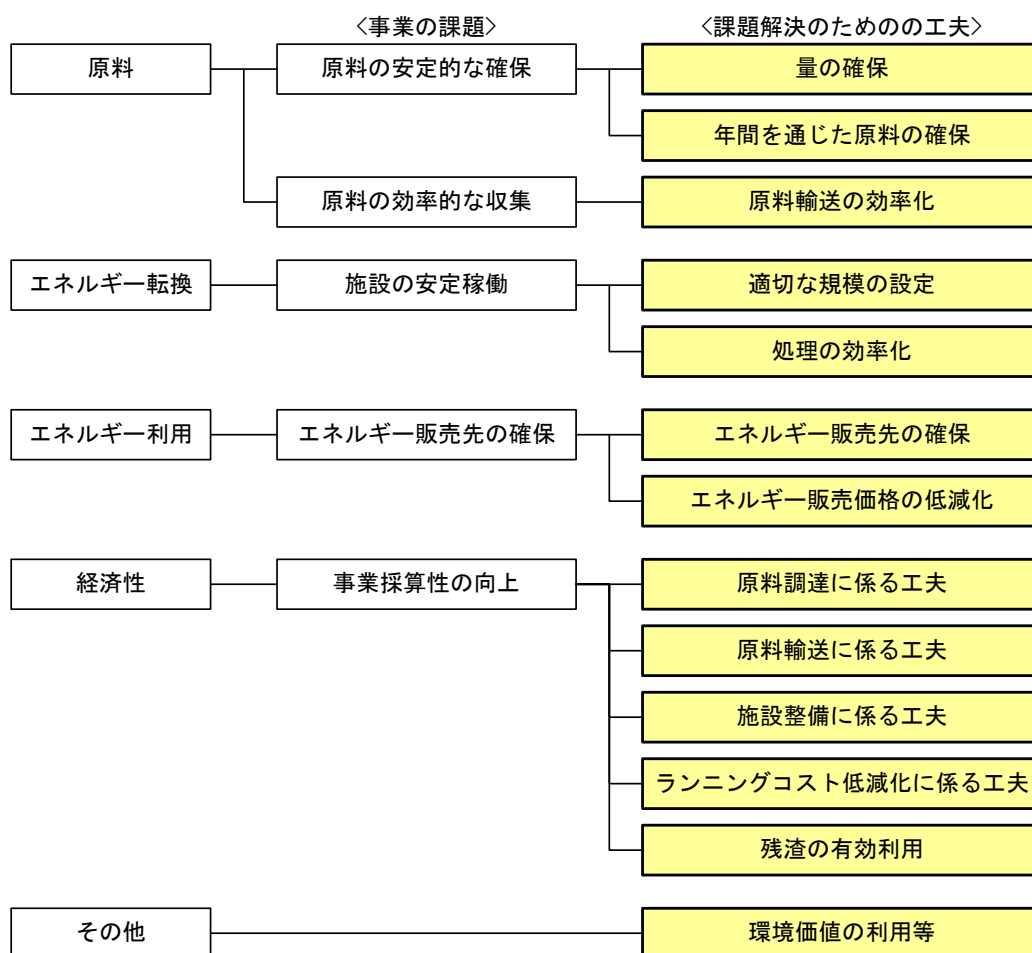


図 4-3 バイオマス事業における課題と工夫

表 4-6(1) 事業実施に向けた工夫とその効果及びリスク

課題解決のための工夫	工夫の例	効果	リスク	
原料に関する工夫	量の確保	排出者から原料を購入	排出者に経済的インセンティブを与えることができる。	事業採算性が悪化する。 購入価格が排出者の希望と乖離している場合、原料は集まらない。
		処理価格を通常の処理費用よりも安価に設定	排出者に経済的インセンティブを与えることができる。	他施設が処理費用の値下げを行った場合、そちらに原料が流れる可能性がある。
		大口排出者と連携	安定的に原料を確保できる。	市場の状況によっては、他施設に原料が流れる可能性がある。
		近隣市町村と連携	安定的に原料を確保できる。	近隣市町村との連携に向けた協議が必要となる。
		事業スキームに産業廃棄物収集運搬業者を参画	安定的に原料を確保できる。	市場の状況により、他施設に原料が流れる可能性がある。 廃棄物処理事業として事業実施とが前提となる。
		通常よりも収量の多い飼料作物を栽培し、原料とする。	効率的に原料を確保できる。 収穫時期に確実に原料を確保できる。	1種類しか栽培しない場合、原料が得られる時期は限定される。 不作時は、原料調達量減となる。
		補助金を活用して原料作物栽培を行う。	原料作物栽培者の協力を得やすい。	補助金を活用できなくなった場合、原料確保が困難になる。
	年間を通じた原料の確保	複数の原料を対象とする。	原料排出の季節変動等を吸収できる。	複数の原料を処理できる施設とする必要がある。
		1年分の原料保管場所を整備する。	原料排出の時期的変動の影響を受けない。	原料保管場所を整備するための広大な敷地が必要となる。
	原料輸送の効率化	施設を原料排出先に併設する。	原料の輸送が不要になる。	原料排出先に敷地の余裕があることが条件になる。
		排出者に原料を輸送してもらう。	原料輸送手間が省ける。	排出者の協力を得ることが前提となる。
		行政に原料を輸送してもらう。	原料輸送手間が省ける。	行政の協力を得ることが前提となる。
		大ロット排出される原料を中心に調達する。	原料輸送を効率的に行える。	市場変動により、大口排出者が他施設に原料を流すこととなった場合、原料調達量減に直結する。
		排出者が加盟する団体等と連携する。	排出者が加盟する団体に原料の保管場所を整備し、原料をまとめて輸送することができ、輸送効率が上がる。	排出者が加盟する団体等の協力を得ることが前提となる。
		事業化に先立ち、収集の効率化に向けた実証実験を行う。	事業化時に効率的に収集を行えるとともに、予想外のトラブルを回避できる。	実証事業のための費用が必要になる。

表 4-6(2) 事業実施に向けた工夫とその効果及びリスク

課題解決のための工夫	工夫の例	効果	リスク	
エネルギー転換に関する工夫	適切な規模の設定	エネルギー需要量から施設規模を算出する。	得られるエネルギーを全て有効利用できる。	条件によっては、事業採算性が厳しくなる可能性がある。
	処理の効率化	不適物が少ない原料や品質が安定した原料を中心に調達する。	施設において、安定した処理が可能になる。	排出者に敬遠される可能性がある。また、排出者の選別が必要になる。
		前処理が不要な原料を対象とする。	前処理設備費が削減される。	ペレット等、原料が限定される。
		ある程度の異物混入を許容し、前処理装置を導入する。	排出者の協力を得やすい。また、プラントにおいて、安定した処理が可能になる。	前処理設備費がかさむ。
		大学等の研究機関と連携する。	研究機関の技術・ノウハウを活用できる。	研究レベルの技術の場合、実用化レベルにスケールアップした際、うまく機能するかどうかを実証事業等で確認する必要がある。
エネルギー利用に関する工夫	エネルギー利用先の確保	大口需要家と連携する。	エネルギーを安定的に販売できる。	市場の状況によっては、契約が打ち切られる可能性がある。
		公共施設でエネルギーを利用する。	エネルギーを安定的に販売できる。 発電事業の場合、条件によっては高値で売電が可能となる。	民間工場等より、公共施設でのエネルギー需要量は少ない。 発電事業では、夜間電力需要が小さい等、公共施設への供給だけでは事業が成立しない場合がある。
	エネルギー販売価格の低減化	未納税移出制度を利用する。	E3 ガソリン価格の販売を安価に設定できるため、通常のガソリンとの価格競争が可能となる。	石油元売りとの連携が条件になる。
		地域内利用を行う。	エタノールの輸送コスト低減化を図れ、エタノールを安価に供給でき、販売量拡大が期待できる。	販売先、販売量が限定される。
		エタノールとガソリンの混合を自ら行う。	委託する場合よりも安価にE3 ガソリンを製造することができる。	混合事業が可能な事業者と連携するか、自ら許可取得の必要がある。
		自社の販売網を活用する。	エタノールまたは E3 ガソリンを安定的に販売できる。	販売先、販売量が限定される。

表 4-6(3) 事業実施に向けた工夫とその効果及びリスク

課題解決のための工夫	工夫の例	効果	リスク	
経済性改善に関する工夫	原料調達に係る工夫	排出者から処理費を徴収する。	エネルギー販売収入とともに、大きな収入源になる。	市場の状況によっては、類似施設に原料が流れる可能性がある。
	原料輸送に係る工夫	原料の輸送を排出者に担当してもらう。	原料輸送費が不要となる。	排出者の理解を得られない可能性がある。
	施設整備に係る工夫	補助金を活用する。	施設整備費の低減化が図れる。	補助金を活用できない場合、事業実施が困難となる。
		近隣市町と連携する。	建設費単価が安価になる。	近隣市町との連携に向けた検討が必要になる。
		事業採算性ベースで施設規模を算出する。	事業採算性を確保できる。	原料の確保、エネルギー供給先の確保が困難になる可能性がある。
	ランニングコスト低減化に係る工夫	シルバー人材等を活用する。	定年退職者の活用が容易となり、人件費の低減化を図れる。地域の雇用促進につながる。	場合によっては、資格取得が必要になる。
		(公共事業の場合)公共で残渣処理処分を行う。	残渣の処理費が削減できる。	公共事業であることが前提となる。
		既存焼却施設から電気及び蒸気を調達する。	電気・蒸気を通常よりも安価に購入できるため、電力購入費及びボイラー用燃料購入費が削減できる。	エネルギー化プラントを既存の焼却施設に併設するか、あるいは焼却施設更新に合わせてエネルギー化プラントを整備する必要がある。
		未納税移出制度の活用	揮発油税の負担が不要になる。	石油元売りとの連携が条件になる。
	残渣の有効利用	残渣を飼料化、肥料化して有効利用する。	残渣の処理費が削減され、副収入も得られる。	飼料や肥料の販売先を確保する必要がある。
残渣をボイラー燃料として有効利用する。		ボイラー用燃料の購入費が削減できる。	熱量不足の場合、他燃料と混焼できるボイラーを設置する必要がある。	
その他の工夫	C02 削減量を環境価値として利用する。	環境価値が収入となるため、事業採算性が向上する。	環境価値を費用に転換するための検討が必要になる。	
	官民連携により事業を実施する。	【行政のメリット】 民間資金を利用した事業実施ができる。 【民間事業者のメリット】 補助金取得が容易になる。地元住民の理解を得やすい。	民間事業者が倒産した場合、事業が頓挫する。	
	(民間事業の場合)地元調整役として行政の協力を得る。	地元調整がスムーズに進む。	—	
	事業が軌道に乗るまで、行政が事業を先導する。	民間事業者が事業に参画しやすい。	行政が事業を先導する必要がある。	

4.3.2 ケーススタディ

(1) 初期設定における検討

本システムの有効性を確認するには、多くの事例による検証が望ましいが、具体的な一つの例について深く検討することも有効である。ここでは、木質バイオマスの発電施設導入を検討しているN市についてケーススタディを行った。N市のバイオマス賦存状況等の概要は、表 4-3 に示すとおりである。ここでは簡易な比較を行うため、賦存量全量を事業に利用することとし、原料は林地残材を 2,000 円/t-wet、製材所廃材を 1,000 円/t-wet で購入し、建築解体廃材及び新・増築廃材を 5,000 円/t-wet で処理をする前提としている。また、施設建設には 50%の補助金が得られるものとし、施設の償却年数は 15 年間、借入金利 2%の元金均等払いとした。運転は 24 時間運転で年間 300 日稼働するものとした。

表 4-3 N市の基本設定値

		基本設定値
木質 バイオ マス 量	林地残材	12,820t/年
	製材書廃材	2,005 t/年
	果樹剪定枝	771 t/年
	公園剪定枝	37 t/年
	建築解体廃材	26 t/年
	新・増築廃材	841 t/年
	合計	16,500 t/年
原料購入費		23 百万円/年
平均輸送距離		22km
運搬費		42 百万円/年

基本設定値における事業性の検討結果は、図 4-4 に示すとおりである。本ケースでは、事業収支が 65 百万円/年の赤字であるため、その改善策として、全体コストに占める割合が 10%を超えるイニシャルコスト、ガスエンジンのメンテナンス費、人件費、原料購入費及び原料輸送費について、全体のコストに占める割合及び事業収益の改善方法がアドバイスとして提示される。

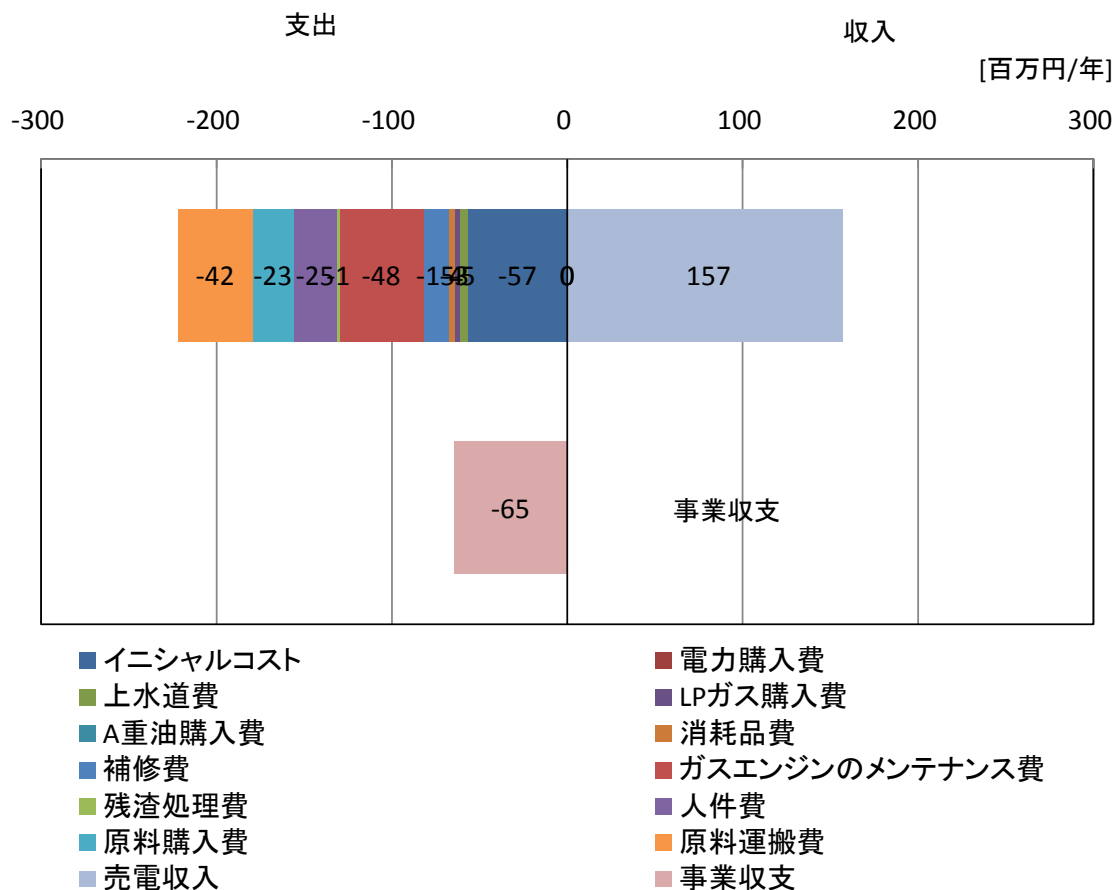


図 4-4 経済性の検討結果

(2) アドバイスに基づく事業改善策

前項で示された事業化へのアドバイスに基づき、表 4-7 に示す事業改善策を取り入れた 2 ケースの事業スキームについて検討を行った結果を以下に示す。事業検討の設定値は表 4-8 に示すものを採用した。

図 4-5 に事業性検討結果を示す。対象範囲を拡大し、施設のスケールメリットによる建設コストの削減を図った Case 2 では、事業収支は改善されていない。一方、発電電力の所内利用を想定した Case 3 では、16 円/kWh で事業性の確保が期待できることが分かる。

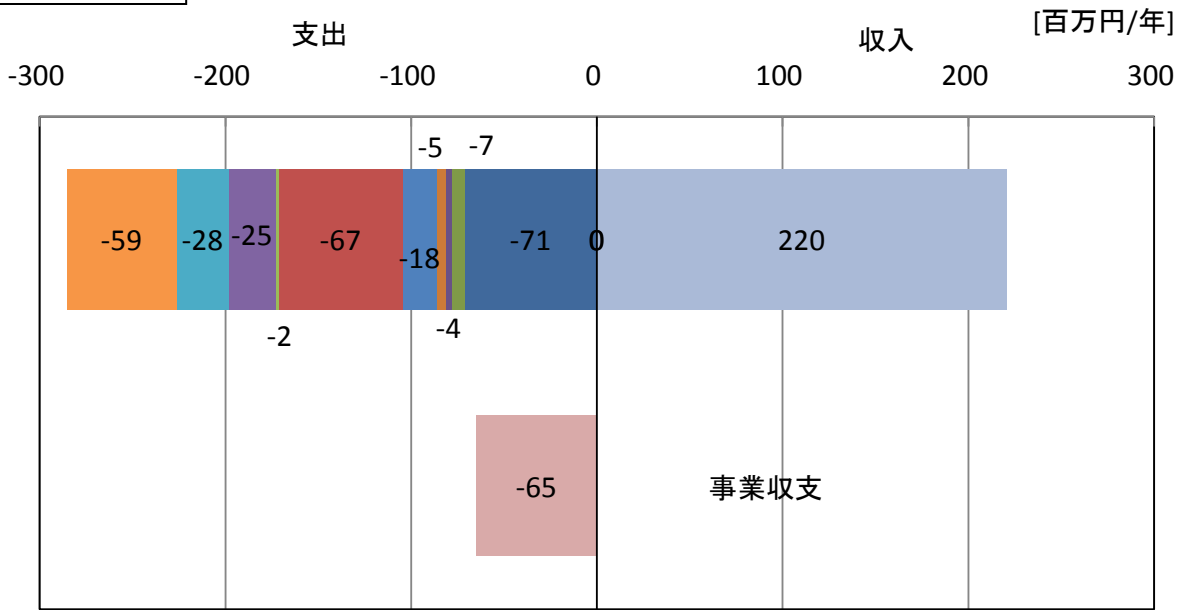
表 4-7 N市において導入を検討する事業改善策

Case1	N市単体での標準設定
Case2	隣接市まで対象範囲を拡大し，施設規模を拡大
Case3	発電電力を所内利用し，実質売電単価を 16 円/kWh に設定

表 4-8 N市のアドバイスに基づき改善した事業検討設定値

		Case1	Case2	Case3
木質バイオマス量	林地残材	12,820t/年	16,696 t/年	12,820t/年
	製材書廃材	2,005 t/年	2,936 t/年	2,005 t/年
	果樹剪定枝	771 t/年	1,610 t/年	771 t/年
	公園剪定枝	37 t/年	88 t/年	37 t/年
	建築解体廃材	26 t/年	63 t/年	26 t/年
	新・増築廃材	841 t/年	1,580 t/年	841 t/年
	合計	16,500 t/年	22,964	16,500 t/年
原料購入費		23 百万円/年	28 百万円/年	23 百万円/年
平均輸送距離		22km	29km	22km
運搬費		42 百万円/年	59 百万円/年	42 百万円/年

Case2



Case3

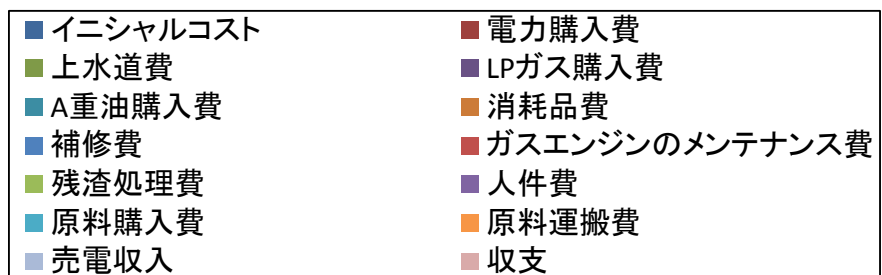
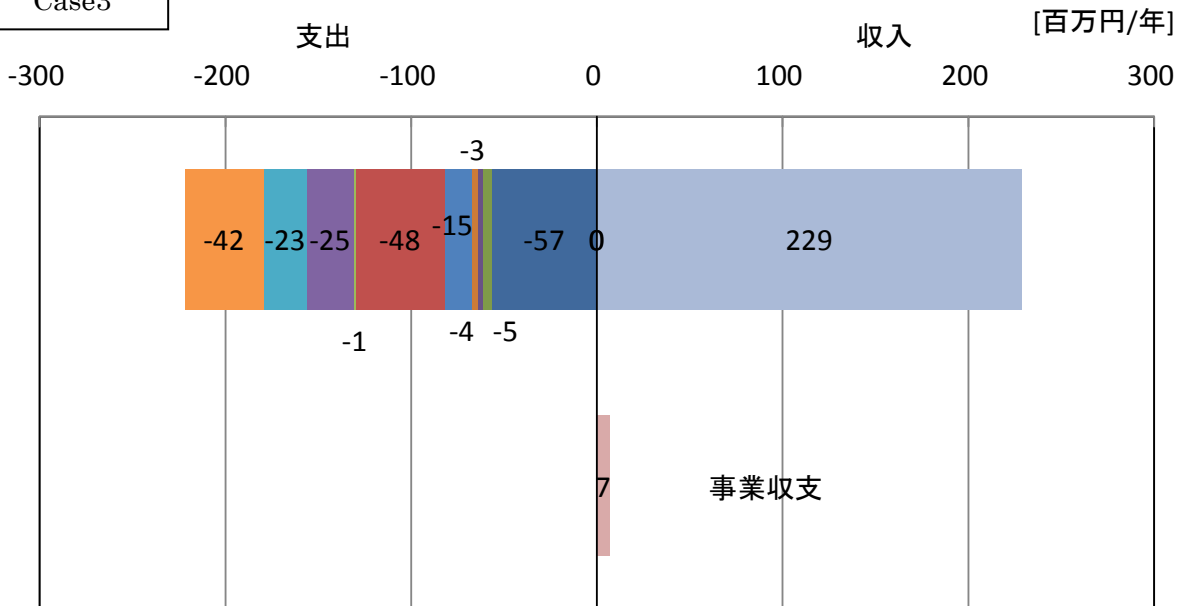


図 4-5 事業改善策を導入後の事業性評価結果

事業成立の可能性がある Case 3 における対象バイオマスの特性による事業リスク及び収支バランスの検討結果は、図 4-6 及び図 4-7 に示すとおりである。図 4-6 では、処理対象物、原料調達コスト及び資源化物（エネルギー）の 3 つの視点から対象バイオマスの調達特性毎にその構成比で示したものである。原料調達コストのうちスポット品目でマイナスとなっているのは、産業廃棄物として処理料を徴収することを想定している。

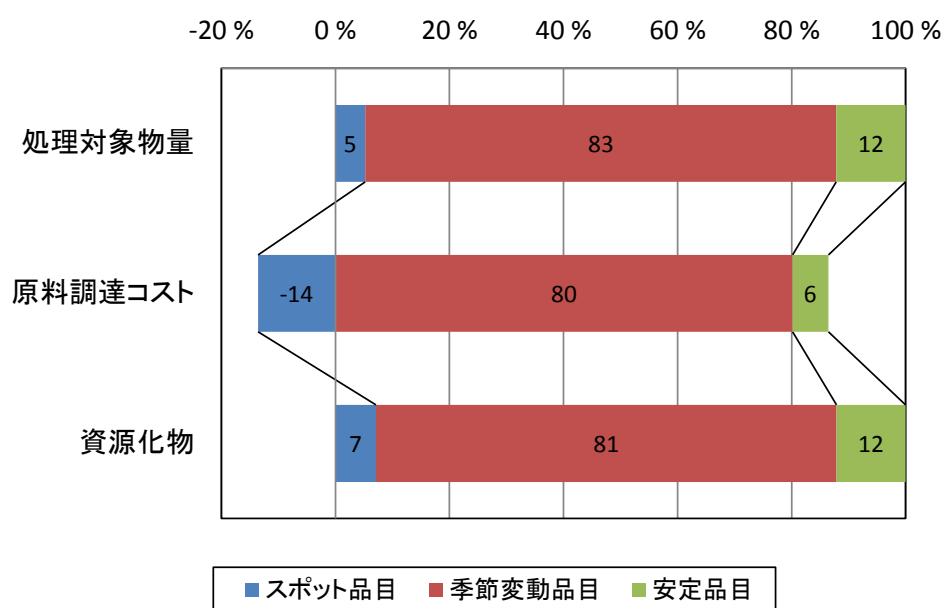


図 4-6 対象バイオマスの特性による事業リスクの状況

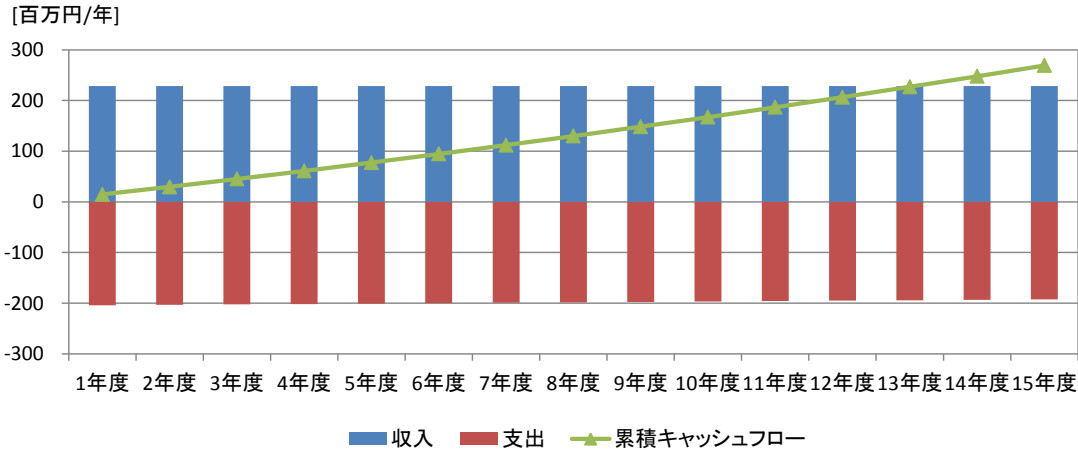


図 4-7 収支バランス

事業収支は、年間の黒字を確保できているが、事業リスクという視点で評価した結果、発生時期に季節的な偏りのある原料の比率が高いことが明確となり、設備の安定稼働に支障が生じる可能性が指摘される。さらに、その対応策として、①季節変動の影響が少ない安定品の割合向上、②変動を吸収するストックヤードの整備、③発生時期の異なる複数原料を対象にする、といった評価結果が提示される。また、キャッシュフローについても、累積キャッシュフローは黒字になるものの事業期間中に初期コストが回収できない旨の指摘をおこないさらに収益性の改善が必要であることが評価結果として提示される。

このように、本システムは事業に向けた詳細検討に向けて留意する必要がある項目を評価結果として提示することにより、事業化の初期検討時の課題や事業スキーム検討の方向性を示唆することが可能となる。

4.4 都市ごみ事業とバイオマス事業の比較

特定の未利用バイオマスを対象とした事業（以下、「特定バイオマス事業」という。）と第2章で検討した農村地域を対象とした廃棄物系バイオマス事業及び第3章で検討した都市地域を対象とした廃棄物処理事業の比較を行う。対象とするバイオマスは、表 4-9 に示すとおりとし、①原料（バイオマス）の調達、②施設整備の考え方、③エネルギー利用及び処理コストについて相対的に比較した。

表 4-9 比較対象トスバイオマス事業の対象バイオマス

事業の種類		対象バイオマス
特定バイオマス事業		未利用バイオマス
廃棄物系バイオマス事業	農村地域	家庭系，事業系，農業系（畜産系も含む）廃棄物
	都市地域	家庭系，事業系廃棄物

4.4.1 原料（バイオマス）の調達

原料の調達として、原料確保や収集コストの面から比較し、その結果は表 4-10 に示すとおりである。

廃棄物を対象とした事業は、家庭系廃棄物や事業系廃棄物の収集体制が確立しており、年間を通じて一定量の確保が可能である。ただし、農村地域で農林水産系廃棄物等を対象とする場合は、特定バイオマス事業と同様に収集体制を確立する必要がある。一方、特定バイオマス事業では原料を購入することとなり、原料の調達に対するリスクが大きい。

収集コストでは、特定バイオマス事業は複数原料を対象とすること、対象地域を拡大等の対策が容易である反面、発生量の変動をカバーするため大規模な原料保管場所の整備等が必要となる。一方で廃棄物系バイオマス事業では、ごみ処理費を徴収できる体制を構築しているものの家庭系廃棄物の収集は大半が行政サービスとして実施されているため、発生量の密度に関係なく区域内全体を対象としているうえ、その発生源が区域内で分散しているため収集費が高い状況にある。

表 4-10 原料の調達に関する比較

		有利なもの	どちらでもない	不利なもの
特定バイオマス		<ul style="list-style-type: none"> ● 原料作物栽培に補助金を活用 ● 複数原料利用等で対象の拡大が可能 ● 産業廃棄物収集運搬業者を事業参画 	<ul style="list-style-type: none"> ● 発生源は分散しているが、1カ所毎の発生量はある程度見込める 	<ul style="list-style-type: none"> ● 排出者から原料を購入 ● 収集体制を新たに構築
廃棄物系バイオマス	農村地域	<ul style="list-style-type: none"> ● 年間を通じて一定量の確保が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ● 収集体制は確立（家庭系，事業系），農村系は，収集必要 	<ul style="list-style-type: none"> ● 発生源が分散し，収集費が高い ● 処理業者との連携難しい
	都市地域	<ul style="list-style-type: none"> ● 年間を通じて一定量の確保が可能 ● 収集体制は確立 	<hr/>	<ul style="list-style-type: none"> ● 発生源が分散し，収集費が高い ● 処理業者との連携難しい

4.4.2 施設整備の考え方

施設整備の考え方として、事業体制や施設規模の設定等の面から比較し、その結果は表 4-11 に示すとおりである。

事業体制としてみたとき、特定バイオマス事業では異業種の連携が容易であり、対象物にあわせて収集から処理まで一貫した体制を構築することが可能であるが、公共が事業主体となる廃棄物系バイオマス事業では、特定の処理業者との連携が難しい。

表 4-11 施設整備の考え方に関する比較

		有利なもの	どちらでもない	不利なもの
特定バイオマス		<ul style="list-style-type: none"> ● エネルギー需要量から事業採算性ベースで施設規模を設定 ● 大口排出者、近隣市町村との連携容易 ● 原料品質安定、不純物小の対象選択可 ● プロセスが簡単 	_____	<ul style="list-style-type: none"> ● 大規模な原料保管場所を整備必要（発生量の年間変動大のため）
廃棄物系バイオマス	農村地域	_____	<ul style="list-style-type: none"> ● 廃棄物処理量から全量処理できる施設規模を設定 ● 発生量にあわせて施設規模を設定し、スケールメリットが少ない ● 家庭系、事業系は質のコントロールが困難 	<ul style="list-style-type: none"> ● 近隣の市町村と連携（広域処理） ● 一定以上の品質を求める処理を行う場合、その他の処理も検討が必要
	都市地域	_____	<ul style="list-style-type: none"> ● 廃棄物処理量から全量処理できる施設規模を設定 	<ul style="list-style-type: none"> ● 近隣の市町村と連携（広域処理） ● 発生量にあわせて施設規模を設定し、小規模でスケールメリットがない ● 分別等によりある程度の原料品質は確保可能だが、一定量の不適物が含有 ● 一定以上の品質を求める処理を行う場合、その他の処理も検討が必要

施設の規模の設定に対する考え方も特定バイオマス事業と廃棄物系バイオマス事業では大きく異なる。特定バイオマス事業では、エネルギー需要量や事業採算性に最適化した状態で、柔軟に大口排出者や近隣市町村と連携した施設規模を設定でき、更に、対象となる原料を限定できるため処理プロセスも簡易になる。一方、廃棄物系バイオマス事業では、廃棄物を全量処理することが一番の目的となることから、施設規模の設定は発生量のピーク時にあわせざるを得ず、また、堆肥化のように一定以上の品質を求められる場合は、対象外となったその他のバイオマスについても最終的には処理を行う必要があることから、全体として処理効率の高い運転が難しい。さらに、近隣の市町村と連携した広域処理は容易ではないため、規模が小さくなりがちでありスケールメリットを出せない。ただし、農村地域における農林水産系バイオマスについては、特定バイオマス事業に近い特徴を持っており、都市地域における廃棄物系バイオマス事業よりも事業の安定性を向上させることができる。

4.4.3 エネルギー利用及び処理コスト

施設整備の考え方として、エネルギー利用先の確保や処理コストの面から比較し、その結果は表 4-12 に示すとおりである。

エネルギーの利用先確保については、燃料としての利用の場合、特定バイオマス事業は大口需要家との連携や既存販売網を活用するなど、比較的容易に体制を構築することができるが、公共が中心となる廃棄物を対象とした事業の場合、地域内利用や公共施設での利用に頼らざるを得ないため、そのバランス確保が難しい。電気としての利用であれば両者に需要の条件の違いはない。

処理コストの視点では、公共が実施する廃棄物系バイオマス事業については補助金（交付金を含む）制度が充実しているうえ、関連施設からのエネルギー供給や残渣の処理において連携を図ることも比較的容易に行うことが可能である。特定バイオマス事業では、間接的な支援制度はあるものの直接的な補助金等は乏しいため、特に事業の立ち上げ時の事業運営が難しい。

表 4-12 施設整備の考え方に関する比較

		有利なもの	どちらでもない	不利なもの
特定バイオマス		<ul style="list-style-type: none"> ● 大口需要家と連携しやすい ● 既存販売網の活用 	<ul style="list-style-type: none"> ● 既存施設と連携が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ● 施設建設補助金なし ● 排出者から原料を購入 ● 残渣処理処分先の確保 ● 地域内利用や公共施設利用は困難
廃棄物系バイオマス	農村地域	<ul style="list-style-type: none"> ● 施設建設補助金あり ● 家庭系収集ごみ以外はごみとして処理費徴収 ● 行政が事業（処理）を主導するので立ち上げ安定 ● 公共を含む安価な残渣処理処分を実施 ● 既存施設と連携が容易 ● 地域内利用や公共施設利用は容易 	—	<ul style="list-style-type: none"> ● 大口需要家との連携難しい ● 自らの販売網確保は困難
	都市地域	<ul style="list-style-type: none"> ● 施設建設補助金あり ● 行政が事業（処理）を主導するので立ち上げ安定 ● 公共を含む安価な残渣処理処分を実施 ● 既存施設と連携が容易 ● 地域内利用や公共施設利用は容易 	<ul style="list-style-type: none"> ● 一部はごみとして処理費徴収（家庭系収集ごみはサービス） 	<ul style="list-style-type: none"> ● 大口需要家との連携難しい ● 自らの販売網確保は困難

4.4.4 まとめ

特定バイオマスを対象とした事業では、対象物を限定することにより、原料に対するリスクを抑え、適度な施設規模と高い処理効率を確保することで、収益事業として成立させることが可能である。廃棄物を対象とした事業は、原料の安定性は確保しやすいものの、処理の安定性が求められるため、費用をかけられる高度な施設が必要となる。更に、発生源が少量で分散しており、質の不安定性が高いため、処理効率が低く、スケールメリットを出せない。これらのことは事業実施者のみの努力で解決することが難しいことから、公共が関与する事業に向いているということが明確となった。

参考文献

- 1) 閣議決定「バイオマス・ニッポン総合戦略」(2003)
- 2) 閣議決定「バイオマス・ニッポン総合戦略改訂版」(2006)
- 3) Masaaki Hosomi "No sustainability without survival", *Clean Technologies and Environmental Policy*, 9(4), 241-243(2007)
- 4) 朝野賢司, 美濃輪智朗「日本におけるバイオエタノールの生産コストと CO2 削減コスト分析」 *J. Jpn. Inst. Energy*, 86(12) 957-963 (2007)
- 5) 朝野賢司, 藤本真司, 美濃輪智朗「ドイツのバイオ燃料政策評価 軽油とバイオディーゼルの市場という観点から」 *J. Jpn. Inst. Energy*, 86(9) 682-687 (2007)
- 6) Yukihiro Matsumura, Tomoaki Minowa and Hiromi Yamamoto, "Amount, availability, and potential use of rice straw(agricultural residue) biomass as an energy resource in Japan", *Biomass and Bioenergy*, 29(5), 347-354 (2005).
- 7) 伊藤吉紀, 中田俊彦「規模の効果と需給均衡を考慮した木質系バイオマスエネルギーシステムの試設計」, *J. Jpn. Inst. Energy*, 86(9) 718-729 (2007)

第5章 固定買取制度によるバイオマス発電事業への影響

5.1 地域バイオマス利活用計画への反映にあたって

本論文では、第2章において農村地域を対象としたバイオマスの利活用にかかる温室効果ガスの削減効果、第3章において都市地域を対象とした廃棄物系バイオマスの利用にかかるエネルギー評価、第4章において主に特定のバイオマス利活用による経済性の評価を行い、補助金等の施設整備にかかる支援や売電価格等のエネルギー利用にかかる支援によるバイオマスのエネルギー利用にかかる経済性評価を行った。

そのような中、平成24年7月より再生可能エネルギーの固定価格買取制度が導入され、バイオマス利活用にかかる国等による支援方法が、これまでの補助金等による施設整備支援から事業運営への支援へと事業を取り巻く環境が大きな変更となった。次節では、本制度の導入に伴うバイオマス発電事業への影響について検討を行う。

5.2 固定価格買取制度によるバイオマス発電事業への影響

5.2.1 固定価格買取制度の概要

「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」（平成二十三年法律第百八号）の施行により、再生可能エネルギー源（太陽光、風力、水力、地熱、バイオマス）を用いて発電された電気を、国が定める固定価格で一定の期間電気事業者が調達義務づけられることとなった。この固定価格買取制度の概要は、図5-1に示すとおりであり、平成25年度現在のバイオマスを利用した発電の調達価格は、表5-1に示すとおりである。バイオマス発電の特徴的な点として、他の再生可能エネルギーの調達価格は発電規模によって分類されているが、バイオマス発電は、バイオマスを利用する技術の種類と使用する原料によって調達価格が異なっていることである。そのため、バイオマスの利用方法・技術の選択により、売電量と売電価格が比例関係ではなくなることとなる。ただし、本制度は、一定の期間（バイオマスの場合は20年間）のみ調達価格が固定されるので、自治体の一般廃棄物処理施設のように20年を超えて稼働する施設の場合は、ライフサイクルを考慮した上で、優劣を検討する必要がある。

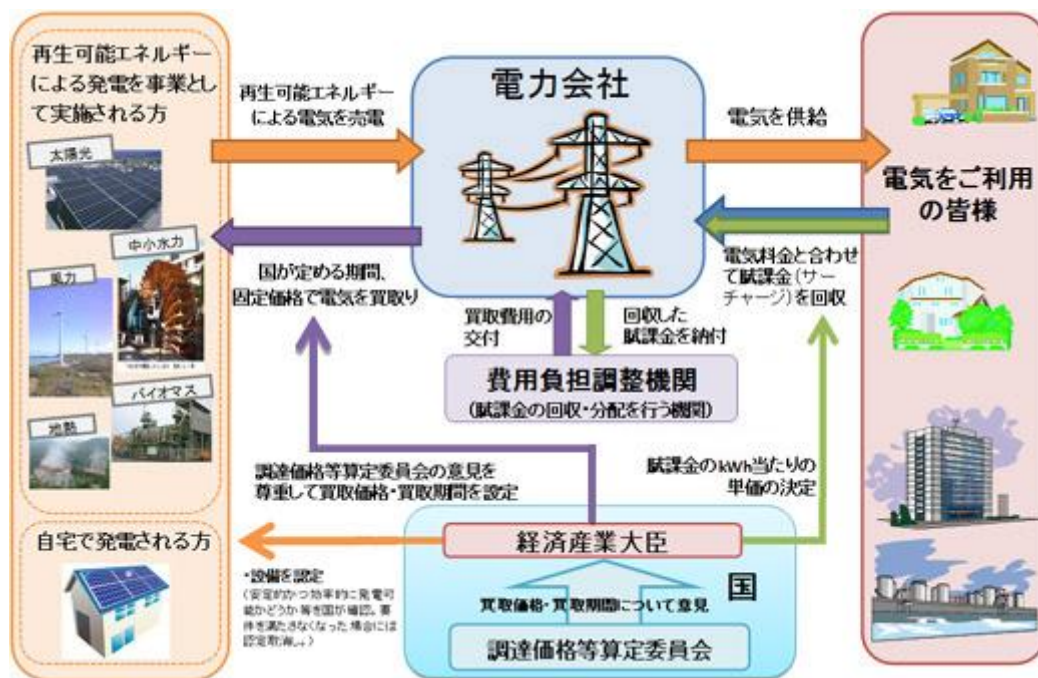


図 5-1 固定価格買取制度の概要¹⁾

表 5-1 バイオマス発電による電力の調達価格等²⁾

バイオマス	メタン発酵 ガス化発電	未利用木材 燃焼発電 (※1)	一般木材等 燃焼発電 (※2)	廃棄物 (木質以外) 燃焼発電 (※3)	リサイクル 木材燃焼発電 (※4)
調達価格	40.95 円 (39 円+税)	33.6 円 (32 円+税)	25.2 円 (24 円+税)	17.85 円 (17 円+税)	13.65 円 (13 円+税)
調達期間	20 年間	20 年間	20 年間	20 年間	20 年間

- (※1) 間伐材や主伐材であって、後述する設備認定において未利用であることが確認できたものに由来するバイオマスを燃焼させる発電
- (※2) 未利用木材及びリサイクル木材以外の木材（製材端材や輸入木材）並びにパーム椰子殻、稲わら・もみ殻に由来するバイオマスを燃焼させる発電
- (※3) 一般廃棄物、下水汚泥、食品廃棄物、RDF、RPF、黒液等の廃棄物由来のバイオマスを燃焼させる発電
- (※4) 建設廃材に由来するバイオマスを燃焼させる発電

5.2.2 モデルの設定

(1) 可燃ごみのバイオマス比率の設定

固定価格買取制度による売電を行う場合、バイオマス分のみが固定価格買取制度の対象となるので、焼却対象ごみのバイオマス組成を設定する必要がある。そこで、表 3-3 より可燃ごみの組成別湿重量を推定し、組成別湿重量と組成別単位発熱量からバイオマスとその他ごみの湿基準発熱量の構成比をシナリオ毎に整理することとした。シナリオ毎の可燃ごみ組成別湿重量は表 5-2 に、シナリオ毎の可燃ごみ質基準発燃料の構成比を整理したものが表 5-3 である。両図とも緑色に着色した部分がバイオマスに相当する。

表 5-2 可燃ごみの組成別湿重量

単位：t/年

	S1	S2		S2P	
	焼却	メタン発酵	焼却	メタン発酵	焼却
紙類	25,350		25,350	8,900	16,450
草本	11,934		11,934		11,934
繊維	4,602		4,602		4,602
厨芥	33,306	11,700	21,606	11,700	21,606
プラスチック類	2,496		2,496		2,496
ゴム・皮革	78		78		78
その他	312		312		312

表 5-3 可燃ごみの湿基準発熱量の構成比

単位：%

	S1	S2		S2P	
	焼却	メタン発酵	焼却	メタン発酵	焼却
紙類	55.6	0.0	56.6	91.9	45.8
草本	14.0	0.0	14.3	0.0	17.8
繊維	11.6	0.0	11.8	0.0	14.7
厨芥	4.9	100.0	3.2	8.1	4.0
プラスチック類	13.5	0.0	13.7	0.0	17.1
ゴム・皮革	0.4	0.0	0.4	0.0	0.5
その他	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
バイオマス分	86.1	100.0	85.9	100.0	82.3
その他	13.9	0.0	14.1	0.0	17.6

(2) モデルの設定

固定価格買取制度による廃棄物処理事業への適用による影響について、焼却施設及びメタン発酵施設をモデルに表 5-4 に示す第 3 章シナリオ S1, S2, S2P の計算結果を使用して検証する。表 5-4(b) で着色しているバイオガス、メタン発酵残渣及び可燃ごみが発電に使用される原料であり、バイオガスはガスエンジン発電を行い、メタン発酵残渣及び可燃ごみはごみ焼却発電を行う。

各シナリオのフローは、図 5-2 に示すとおりである。施設立地の前提条件として、同一敷地内にメタン発酵施設と焼却施設があるものとする。売電は、発電後、所内消費電気を減じた残りである余剰電力を送電することとし、以下の式に示す熱量の比率で売電量を案分し、売電額を算出することとした。

$$H_{AU} = H_{MG} + H_{IB1} + H_{IB2} + H_{INB}$$

H_{AU} ：発電に寄与する熱量

H_{MG} ：バイオガスの熱量

H_{IB1} ：可燃ごみ中のバイオマスの熱量

H_{INB} ：可燃ごみ中のバイオマス以外の熱量

$$\text{メタン発酵対象熱量} = \frac{H_{MG}}{H_{All}}$$

$$\text{焼却対象熱量(バイオマス)} = \frac{H_{IB1} + H_{IB2}}{H_{All}}$$

$$\text{焼却対象熱量(バイオマス以外)} = \frac{H_{INB}}{H_{All}}$$

なお、固定価格買取制度では、発電分について別回線で売電することが認められており、バイオガスで発電した電力を全量売電することも可能であるが、ごみ処理施設は固定価格買取制度が適用される 20 年間を超えて運転される施設も数多くあること及び固定価格買取制度適応終了後も発電のメリットである所内利用ができることを考慮し、余剰電力のみを送電する方が現実的であると考え。本論文では考察していない。

表 5-4 各シナリオの計算結果 (表 3-5 より抜粋)

(a) 施設毎の主な数値

		シナリオ		
		S1	S2	S2P
メタン発酵施設	分別	-	生ごみ	生ごみ+紙類
	処理量 [t/年]	-	10,600	18,700
	処理量 [t-dry/年]	-	1,855	9,234
	施設規模 [t/日]	-	30	53
	バイオガス発生量 [1000Nm3/年]	-	649	3,308
	GE発電効率 [%]	-	30	30
	GE発電量 [MWh/年]	-	1,162	5,926
	固形残渣発生量 [t-wet/年]	-	1,532	9,625
	固形残渣低位発熱量 [kJ/kg-wet]	-	4,134	4,134
	メタン発酵槽加温熱量 [GJ/年]	-	2,465	7,158
	メタン発酵槽加水量 [t/年]	-	0	12,080
所内電気使用量 [MWh/年]	-	2,120	3,740	
焼却施設	処理量 [t/年]	71,151	60,551	52,451
	可燃ごみ低位発熱量 [kJ/kg-wet]	8,370	9,666	8,942
	焼却対象ごみ低位発熱量 [kJ/kg-wet]	8,370	9,530	8,197
	施設規模 [t/日]	265	231	231
	発電効率 [%]	16.4	17.7	16.2
	発電量 [MWh/年]	27,162	29,042	22,942
	所内電気使用量 [MWh/年]	12,807	11,175	11,174
売電量 [MWh/年]	14,355	16,909	13,955	

(b) 各施設のマテリアルフロー

単位 : GJ/年

メタン発酵	焼却		S1	S2	S2P
IN		生ごみ等 H_M [GJ/年]		10,229	126,244
OUT		バイオガス H_{MG} [GJ/年]		13,946	71,117
OUT	IN	メタン発酵残さ H_{IB2} [GJ/年]		6,333	39,790
	IN	可燃ごみ $H_{IB1}+H_{INB}$ [GJ/年]	595,534	585,286	469,017

備考 : 着色部は発電に使用される原料

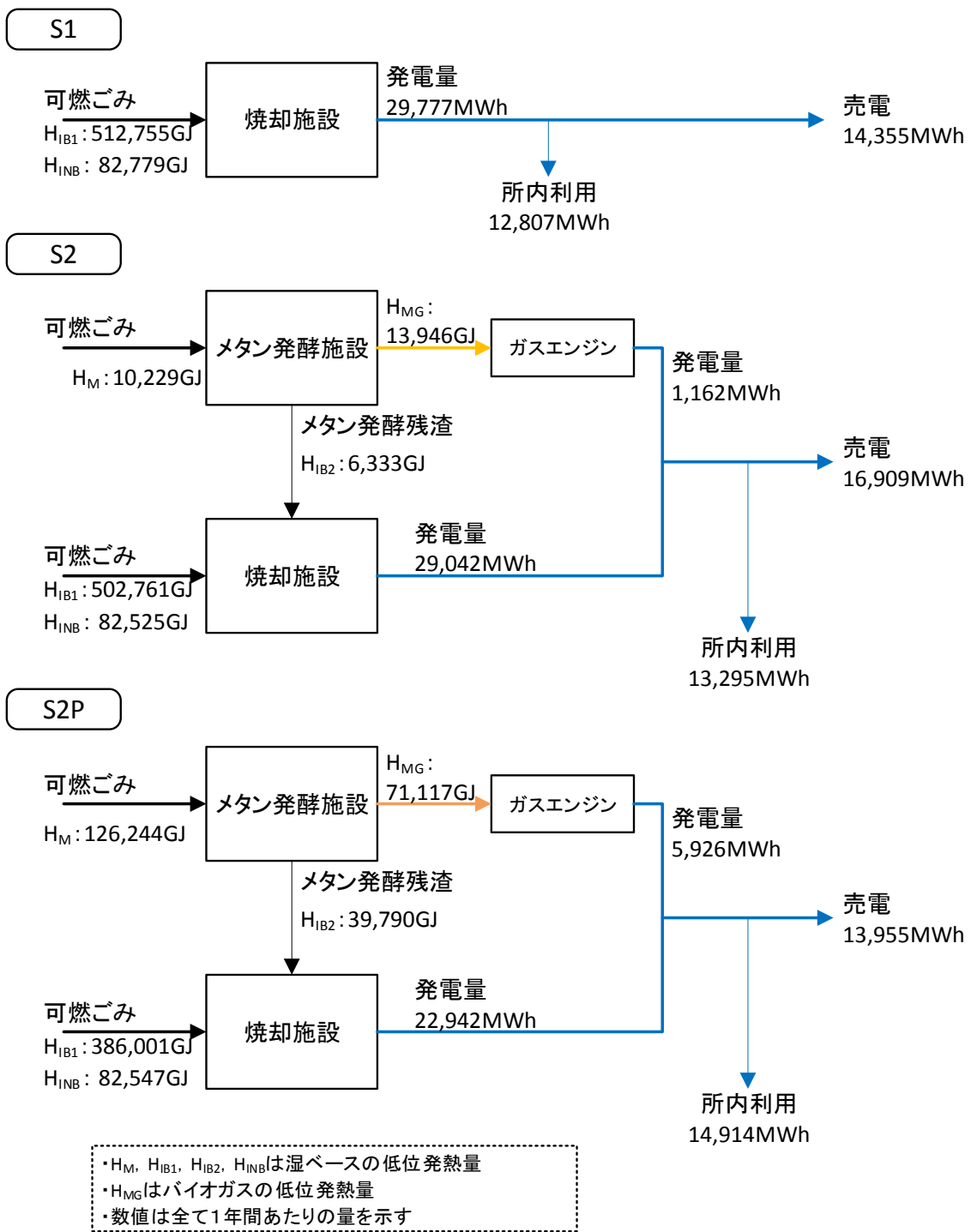


図 5-2 各シナリオにおける低位発熱量と発電電力量及び消費電力量の流れ

5.2.3 固定価格買取制度による影響の検証

固定価格買取制度による売電額の検討結果は、表 5-5 に示すとおりである。バイオマス分の売電単価は表 5-1 を採用し、固定価格買取制度を適用しない場合の売電単価を 10 円/kWh、固定価格買取制度適用時のバイオマス以外の売電単価を 7 円/kWh（特定電気事業者及び特定規模電気事業者の回避可能費用単価³⁾相当）とした。

図 5-3 に示すように可燃ごみは熱量基準でバイオマスが約 86%を占めており、固定価格買取制度の恩恵を大きく受ける。そのため、図 5-4 に示すように固定価格買取制度の導入による売電額の増加率は全てのシナリオで 150%以上となる。特に、バイオガスを多く回収する S2P ではその増加率は最も高く、焼却量が減少し発電量は 3 つのシナリオで最も少ないにもかかわらず、固定価格買取制度適用後の売電額は S1 より 14%多くなる。いずれの場合も売電額が最も大きいのは S2 である。固定価格買取制度適用時において S1 と S2 の売電額の差をごみ量当たり直すと約 680 円/t の差額であることから、メタン発酵施設の導入に伴うその他のコスト増がこの金額以下であれば、メタン発酵導入の経済的なメリットが生じるものといえる。

表 5-5 固定価格買取制度による施設及び原料の種類毎の売電額の検討結果

			熱量 [GJ/年]	熱量構成比 [%]	売電量 [MWh/年]	売電単価 [円/kWh]	売電収入 [百万円/年]
S1	メタン発酵	バイオガス H _{MG}	-	-	-	39	-
		焼却					
		メタン発酵残渣 H _{IB2}	-	-	-	17	-
		バイオマス H _{IB1}	512,755	86.1	12,360	17	210.1
	その他 H _{INB}	82,779	13.9	1,995	7	14	
S2	メタン発酵	バイオガス H _{MG}	13,946	2.3	389	39	15.2
		焼却					
		メタン発酵残渣 H _{IB2}	6,333	1.0	169	17	2.9
		バイオマス H _{IB1}	502,761	83.0	14,034	17	238.6
	その他 H _{INB}	82,525	13.6	2,300	7	16.1	
S2P	メタン発酵	バイオガス H _{MG}	71,117	12.3	1,716	39	66.9
		焼却					
		メタン発酵残渣 H _{IB2}	39,790	6.9	963	17	16.4
		バイオマス H _{IB1}	386,001	66.6	9,294	17	158
	その他 H _{INB}	82,547	14.2	1,982	7	13.9	

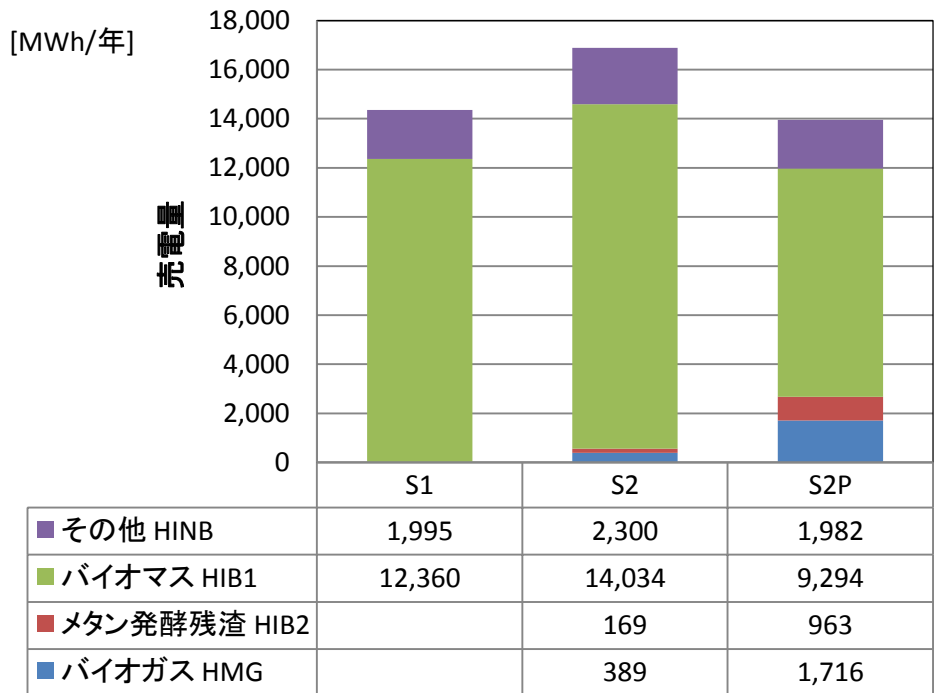


図 5-3 シナリオ毎の発電量

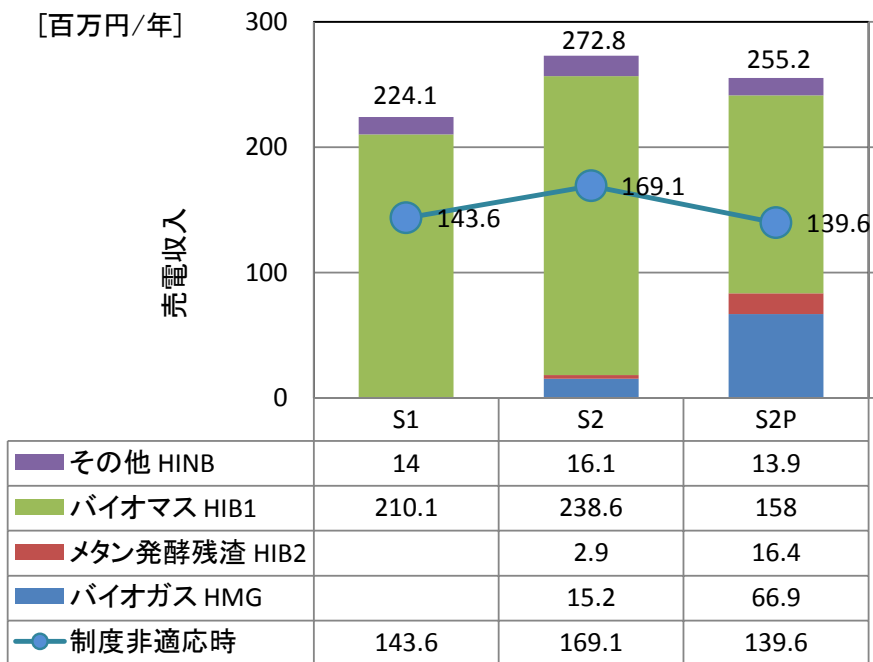


図 5-4 シナリオ毎の売電収入

参考資料

- 1) 資源エネルギー庁ホームページ : <http://www.enecho.meti.go.jp/saiene/kaitori/index.html>
- 2) 資源エネルギー庁ホームページ : <http://www.enecho.meti.go.jp/saiene/kaitori/kakaku.html>
- 3) 回避可能費用単価等を定める告示（平成二十四年六月十八日経済産業省告示第四百四十四号）〔平成 25 年 3 月 29 日最終改正〕

第6章 おわりに

本研究では、廃棄物系バイオマスを対象に、既に技術が確立され、今後、広範囲な種類のバイオマス利用技術の一つとして導入が進む可能性があるメタン発酵技術に着目し、堆肥化や焼却といった既存のバイオマス利用技術にメタン発酵を導入した場合における効果について、現実に採用可能なシナリオを設定した上で、農村部及び都市を対象に評価を行った。更に、バイオマス利活用事業の評価を行うため、先行事例の調査・解析を行い、事業で発生するリスクやその対応について体系的に整理し、特定のバイオマスを利用する事業と主に一般廃棄物を対象とする事業の比較評価を行った。最後に、再生可能エネルギーの固定価格買取制度による廃棄物処理事業への影響について考察を行った。

農村部における廃棄物系バイオマス利用では個々の廃棄物系バイオマスの発生量が少ないため、その総合的な利用が有効である。そこで、熊本県天草市を対象に、未利用廃棄物系バイオマスの総合的な利活用方法とその環境負荷低減効果の評価を行った。天草市の人口は約9万人であるが、合併により誕生したため、焼却施設が5施設、し尿処理施設が3施設と多くの施設を抱えている。これらの施設を集約したうえで、堆肥化を推進するシナリオ、メタン発酵を推進するシナリオ及びその中間的なシナリオを比較評価した結果、堆肥化に伴うメタンガスと亜酸化窒素の排出により、メタン発酵の導入が温室効果ガス排出削減に効果的であることが明確となった。その効果は、生ごみとし尿・浄化槽汚泥のメタン発酵導入のみで現状よりも最大25%の温室効果ガス排出量を削減することが可能であることが示された。

地方中心都市における廃棄物系バイオマス利用では、一般廃棄物としてその多くが焼却処理されている食品廃棄物等の廃棄物系バイオマスに着目し、そこからのエネルギー回収方法としてメタン発酵を採用した場合におけるごみ処理システムとしての評価をエネルギー回収の視点から行った。食品廃棄物のメタン発酵は発酵残さや発酵廃液を伴いその処理が必要となるため、焼却施設と連携したコンバインドシステムが有利とされる。本研究はコンバインドシステムとして発酵残さを焼却し、バイオガスのガスエンジンによる発電、焼却施設の独立加熱器での利用のシナリオを考え、正味エネルギー回収量を行った。メタン発酵は乾式とし、焼却施設の更新時期を迎える実都市を想定した。またメタン発酵は生ごみのみと紙ごみを加えた場合を考え、さらに多くのパラメータの影響を知るため感度解析を行った。単純焼却と較べると、コンバインドシステムのエネルギー回収量は増加する。しかし主として焼却発電量の増加によるものであり、そのため紙ごみのメタン発酵はシステム全体の回収率を低下させることになる。焼却施設における所内消費電力量の削減、発電効率の向上が、正味エネルギー回収量増加に最も効果があることが示唆された。

バイオマス利活用事業の評価では、バイオマスタウン構想策定自治体を対象にバイオマス利活用先進事例の調査を行い事業実施に向けた課題を解析、体系的に整理することで、

改善点を示唆することが可能な地域バイオマス利活用事業の経済性評価が可能なシステムを構築した。また、廃棄物系バイオマス事業と未利用バイオマス事業について、①原料の調達、②施設整備の考え方、③エネルギー利用及び処理コストの面から相対的に比較した。その事業特性の違いから、未利用バイオマスを対象とした事業では、対象物を限定することにより原料の調達リスクを抑え、適度な施設規模と高い処理効率を確保すれば、収益事業となりうる。廃棄物系バイオマス事業は、原料の安定性は確保しやすいが、処理の安定性が求められ、費用がかかる高度な施設が必要となる。更に、原料が少量で分散しており、質の不安定性が高いため、処理効率が低く、スケールメリットを出せない。これらのことは事業実施者のみの努力で解決することが難しく、公共関与事業に向いているといえる。

一般廃棄物の可燃ごみ中には熱量基準でバイオマスが約 86%を占めており、固定価格買取制度の恩恵を大きく受ける。そのため、可燃ごみ量が年間約 7.1 万 t 程度発生する地方都市を例に試算すると固定価格買取制度の導入で売電額は 50%以上増加する。特に、バイオガスを多く回収する生ごみ+紙ごみをメタン発酵させるケースで増加率が高いが、売電額が最も大きくなるのは、生ごみのみをメタン発酵させたケースであった。メタン発酵施設の導入に伴うコスト増が、売電額の差の範囲内であればメタン発酵導入の経済的なメリットが得られる。