

東京大学大学院新領域創成科学研究科
社会文化環境学専攻

2018 年度
修 士 論 文

下水道事業におけるバイオガス発電と地域バイオマス
混合消化導入の是非に関する検討
Study on introduction of biogas power generation and
anaerobic Co-digestion of regional biomass and sewage sludge

2019 年 1 月 21 日提出
指導教員 味埜 俊 教授

西 村 智 之
Nishimura, Tomoyuki

目次

第1章 序章	4
1.1 研究の背景	4
1.2 研究の目的と本論文の構成	5
第2章 既往の知見	6
2.1 下水汚泥	6
2.1.1 下水汚泥の処理工程	6
2.1.2 下水汚泥の有効利用	7
2.2 バイオガス発電	8
2.2.1 仕組み	8
2.2.2 普及状況	10
2.3 地域バイオマス	10
2.3.1 地域バイオマス利活用の意義	10
2.3.3 地域バイオマスの種類	11
第3章 バイオガス発電の発電ポテンシャルの検討	15
3.1 検討方法	15
3.2 検討結果	15
3.3 考察	17
第4章 地域バイオマス導入の事例調査	19
4.1 概要	19
4.1.1 調査対象地	19
4.1.2 調査方法	25
4.2 インタビュー結果と考察	26
4.2.1 導入背景	26
4.2.2 各バイオマス導入における課題	27
4.2.3 有効利用先の決定要因	28

第5章 バイオガス発電の導入コスト検討ー下水汚泥単独ー	30
5.1 概要	30
5.2 ケース設定と検討条件	34
5.2.1 ケース設定	34
5.2.2 検討項目	35
5.3 ケーススタディ結果	40
5.3.1 ケース 1(消化槽既設＋場内利用)	40
5.3.2 ケース 2(消化槽既設＋売電)	44
5.3.3 ケース 3(消化槽新設＋場内利用)	47
5.3.4 ケース 4(消化槽新設＋売電)	51
第6章 バイオガス発電の導入コスト検討ー地域バイオマス混合ー	55
6.1 概要	55
6.2 ケース設定と検討項目	56
6.2.1 ケース設定	56
6.2.2 検討項目	57
6.3 ケーススタディ結果	58
6.3.1 バイオガス発生量の算出	58
6.3.2 コスト検討結果	60
第7章 結論	65
研究のまとめ	65
謝辞	67
参考文献	68
付録	70

第1章 序章

1.1 研究の背景

世界の資源・エネルギー需要は、今後大幅に増加することが見込まれており、資源・エネルギーの枯渇化が問題視されている。資源エネルギー庁の報告によると¹⁾、中国を含むアジア大洋州・アフリカ・中東諸国のエネルギー消費が増加する見込みとなっており、世界全体におけるエネルギー消費量は増加することが示されている。このように石炭、石油、天然ガスなどの消費性の一次エネルギーに代わる再生可能エネルギーの普及が喫緊の課題であると考えられる。

日本国内においてもエネルギー構造の変化は起こっている。2010年に発生した東日本大震災の影響による原子力発電所の相次ぐ停止が原因で、原子力の代替燃料である化石燃料の割合が増加し、減少傾向であった一次エネルギーの消費率がますます今後増え続けることが予想される。一次エネルギー国内供給に占める化石エネルギーの依存度を世界の主要国と比較した場合、2015年の日本の化石エネルギーの依存度は93.6%であり、原子力や風力、太陽光などの導入を積極的に進めているフランスやドイツなどと比べると依然として高い水準となっている²⁾。このように日本のエネルギー構造を考えると、再生可能エネルギーをはじめとした新たなエネルギー源が必要であり、将来のエネルギー構造を改めて見直さなければならない。

さて、下水を処理する際に生じる下水汚泥は、その中に含まれている有機分の割合が高く、質・量ともに安定したエネルギー源となっている。しかしそのエネルギーの有効利用状況は下水汚泥中の有機物のうちバイオガスや固形燃料として利用されているのは約16%にとどまり、リン資源等の農業利用を除くと約75%が未利用の状況となっている³⁾。これら未利用のエネルギー源を有効活用するための一つの技術として、バイオガス発電が注目されている。バイオガス発電とは下水汚泥を消化する際に生じるバイオガスを燃料として、ガスエンジンあるいはマイクロガスタービンの回転で発電機を稼働させ、発電する技術である⁴⁾。バイオガス発電を普及させることで、下水道分野から日本のエネルギー供給に貢献できる可能性を秘めている。また、下水汚泥だけでなく、生ごみやし尿・浄化槽汚泥など地域で発生するバイオマス(以下、地域バイオマス)を混合消化させることで、地域バイオマスの効率的な処理が可能になるだけでなく、発生するバイオガスが増加することによるエネルギー源の増大が見込まれる⁵⁾。

国としても、下水汚泥を含むバイオマスの活用の推進に向け、2009年に「バイオマス活用推進基本法」が制定され、バイオマス活用の推進が求められることとなった⁶⁾。また、2016年には同法に基づく「バイオマス活用推進基本計画」の改定が閣議決定され⁷⁾、下水汚泥についても、バイオガス化や固形燃料化等のエネルギーとして利用を推進することで2025年には下水汚泥のリサイクル率を85%まで引き上げることが目標として掲げられている。

このように、化石燃料をはじめとする一次エネルギーだけでなく、再生可能エネルギー

などの新たなエネルギー源が求められる今、下水道分野からどのように日本のエネルギーミックスに貢献できるかが重要となっている。

1.2 研究の目的と本論文の構成

本研究では、下水汚泥の有効利用法のうち、下水汚泥を消化し、発生するバイオガスを利用して発電するバイオガス発電に着目し、その導入意義を検討する。また、下水道事業内にとどまらず、地域バイオマスを下水汚泥とともに混合消化することの利点・課題を調査するとともに、混合消化とバイオガス発電を合わせた効果を検討することを目的とする。

そこで、本論文の構成としては、第 2 章に既往の知見を整理し、第 3 章でバイオガス発電のポテンシャルエネルギーを試算した。第 4 章では、実際に地域バイオマスを導入し、下水汚泥と混合消化している自治体へのインタビュー結果をもとに、その利点や課題を整理した。第 5 章ではいくつかの条件のもとバイオガス発電を導入した際のコスト評価を行い各ケースの比較検討を行った。第 6 章では地域バイオマスを導入し、下水汚泥と混合消化した際のコスト検討を行った。第 7 章は研究のまとめ、今後の課題を示した。

第2章 既往の知見

2.1 下水汚泥

2.1.1 下水汚泥の処理工程

下水汚泥の処理は濃縮、消化、脱水、乾燥、焼却、溶融など個々のプロセスの組み合わせによって行われる。図 2.1 に汚泥処理プロセスと処理場数を示す。一番処理プロセスとして多いのは濃縮—脱水で 1011 処理場と全体の 40%を超えている。次いで多いのは脱水のみで 351 処理場、その次に濃縮—消化—脱水で 231 処理場となっている。

汚泥の処理は量の減少(水分除去)、固形物の減少、質的安定化、有効利用の目的で行われる⁹⁾。それぞれのプロセスの目的は以下の通りである。

- ①量の減少：濃縮、脱水、乾燥
- ②固形物の減少：消化、焼却、溶融
- ③質的安定化：嫌気性消化、焼却、溶融

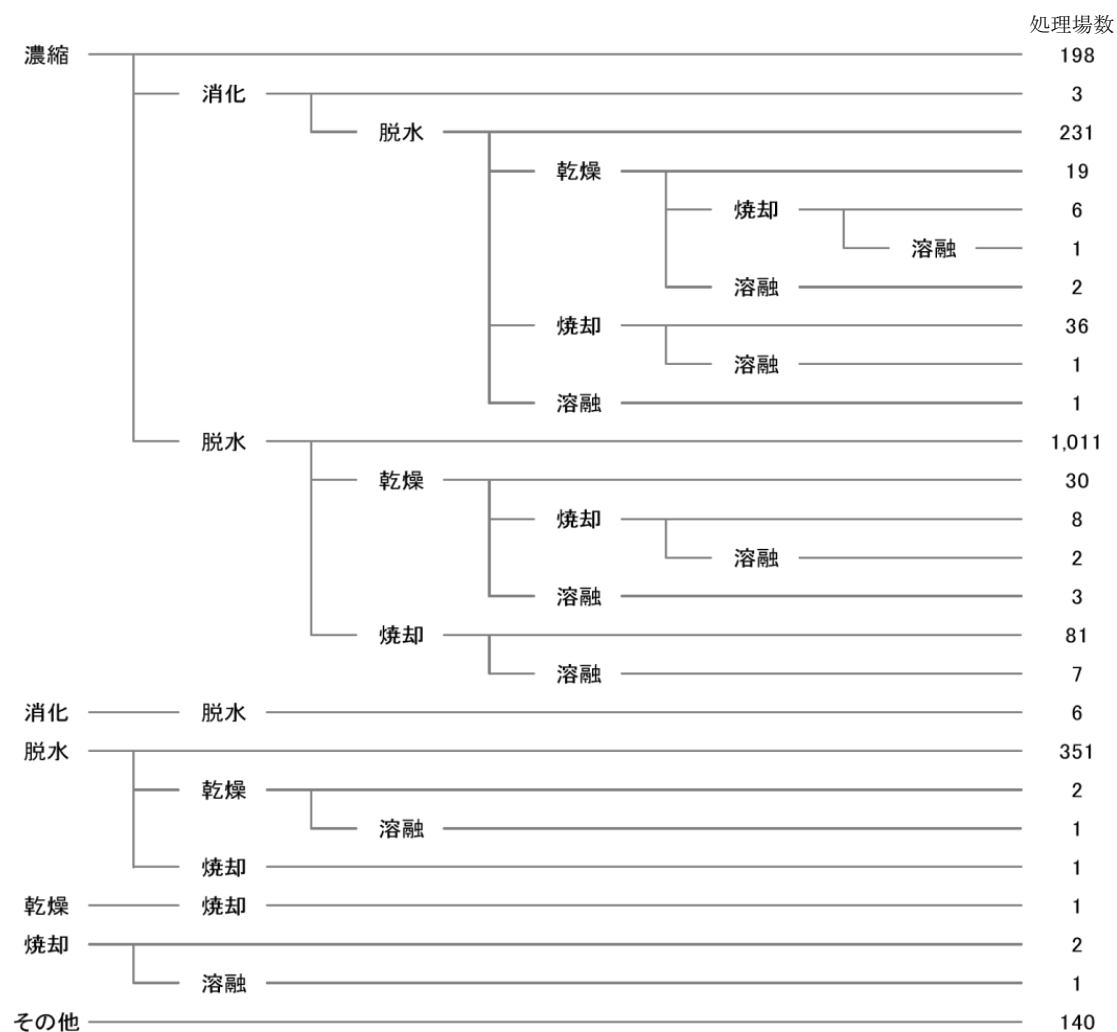


図 2.1 下水汚泥処理プロセスと処理場数⁸⁾

2.1.2 下水汚泥の有効利用

下水汚泥の有効利用方法は、セメント化などの建築資材利用、コンポスト化による緑農地利用、燃料化などのエネルギー利用などが挙げられる¹⁰⁾。図 2.2 に発生汚泥量及び汚泥の有効利用状況の推移を示す。2017 年時点で下水道の普及率は 78.3%に達し、下水汚泥の処理過程で生じる下水汚泥量は年間で約 234 万 t に達している。発生汚泥の有効利用の推移を見ると、下水汚泥のリサイクル率は、2010 年時点で 78%、2015 年時点では 68%(2011 年の急激な減少は東日本大震災の影響)となっているものの、その大半がセメント化等の建築資材の利用である。下水汚泥は有機分の割合が大きく、質・量ともに安定したエネルギー源であるが、そのエネルギー利用状況は、下水汚泥の有機物のうちバイオガスや固形燃料として利用されているのはわずか 16%にとどまっており、リン資源等の農業利用を除くと下水汚泥の有機分のうち約 75%が未利用となっている(図 2.3)。

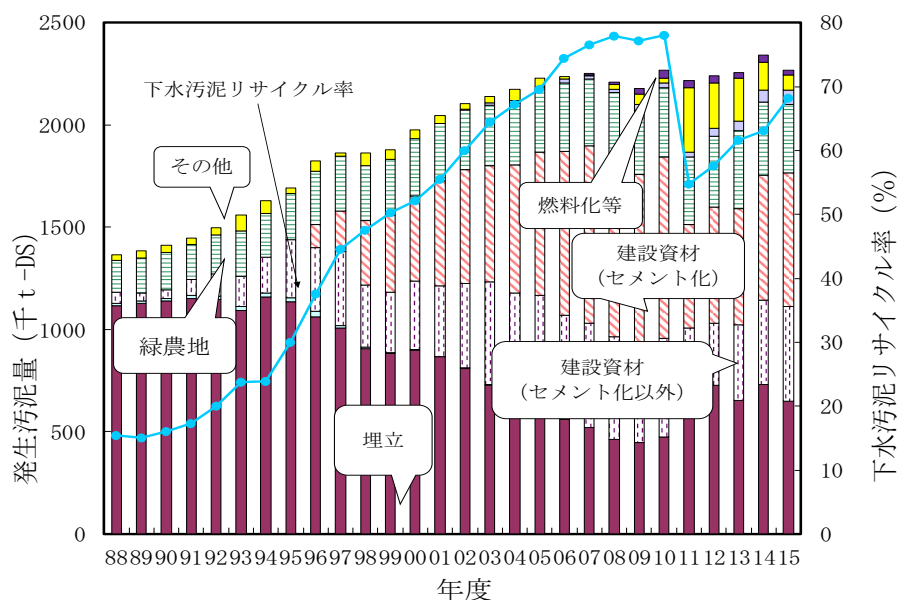


図 2.2 発生汚泥量及び汚泥の有効利用状況の推移³⁾

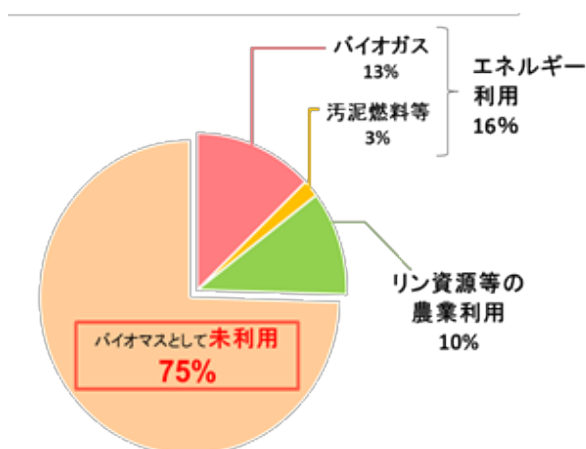


図 2.3 下水汚泥のエネルギー化率³⁾

2.2 バイオガス発電

2.2.1 仕組み

1) ガスエンジン方式

ガスエンジンは、消化ガス用として最初に実用化された発電方式で、小容量から大容量までそろっており、消化ガス用の発電システムとしては最も一般的な方式となっている⁴⁾。この設備における発電原理は以下のとおりである。

- ①供給された消化ガスをガスエンジン内で空気と混ぜ、燃焼し、発電機を動かす。
- ②ガスエンジンから得られた動力から、ガスエンジンと直結した発電機を動かし、発電を行う。

これまで、消化ガスを燃料とするガスエンジンでは、エンジン部品や NO_x 除去触媒の寿命が短く、結果として設備維持費用が高くなるという課題があったが、消化ガス中の微量不純物成分(シロキサン)の存在が明らかになり、これがエンジン内で燃焼して生成したシリカ SiO₂ に起因することが解明されている¹¹⁾。その結果、消化ガス中のシロキサンを除去することによる対策が可能となり、従来は経済性の観点から消化ガス発電の導入が難しかった中小規模の処理場に対しても、消化ガス発電の導入が進むものと予想される。

2) マイクロガスタービン

マイクロガスタービンは、基本的な発電原理はガスタービンと同様であるが、タービンからの排熱を利用する再生サイクルの採用により小容量でも比較的高い発電効率を達成している。この再生サイクルの仕様によって、もともとのマイクロガスタービンの発電効率は 10 数%だが、25%～28%程度まで上昇する。また排熱を温水回収することにより 70～80% の高い総合効率を得ることができる。

なお、マイクロガスタービンもガスエンジンと同様、燃焼をとまなう発電方式のため、消化ガス中のシロキサンの燃焼で生成するシリカ SiO₂ によって、エンジン部品の損傷を受けることが予想されるため、除去する必要がある。

3) 燃料電池

燃料電池方式は、水の電気分解の逆反応を利用した発電システムであり、発電原理は以下の通りである。図 2.4 にフロー図を示す。

- ①ガスホルダから取り出した消化ガスを前処理装置によって不純物除去を行う。
- ②消化ガス中の炭化水素(CH₄ 等)から、触媒反応により水素(H₂)を発生させる。
- ③発生した水素を燃料電池の燃料極に、空気を空気極に供給する。
- ④改質ガス中の水素(H₂)と空気中の酸素(O₂)を電気化学的に反応させ外部に電力を取り出す。

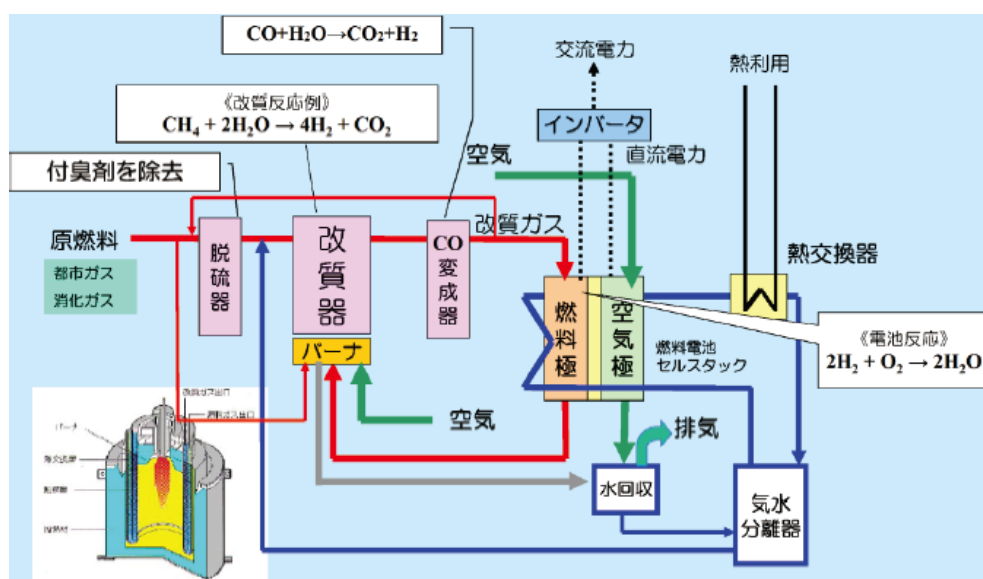


図 2.4 燃料電池方式の概略フロー⁴⁾

燃料電池は、低騒音・低騒動で大気汚染物質の発生が少ないため、環境性が良好である。また、電気化学反応による発電方式であるため発電効率が低いのが特徴である。

表 2.1 に各方式の発電出力、効率をまとめた。

表 2.1 各発電方式の発電出力と効率⁽³⁾より筆者改変)

	ガスエンジン方式	燃料電池方式	その他発電技術	
			マイクロガスタービン	ロータリーエンジン
発電出力 (kW)	25～1000	105	30～95	40
発電効率 (%)	25～39	42	25～28	22～23
排熱効率 (%)	40～55	20～49	約 45	57～58
総合効率 (%)	約 80	62～91	70～80	約 80

2.2.2 普及状況

バイオガス発電の実施状況を表 2.2 に示す。

平成 26 年度水道統計によると全国 2175 処理場あるうち、消化工程を有している処理場数は 329(全体の 15.1%)、そのうちバイオガス発電を実施しているのは 64(全体の 2.9%)であった。バイオガス発電においてバイオガス発電の普及が求められている一方、実際にその普及は広がっていないのが現状である。

表 2.2 バイオガス発電の実施状況(下水道統計より筆者作成)

		処理場数	割合(%)
消化槽あり	バイオガス発電○	64	2.9
	バイオガス発電×	265	12.2
消化槽なし		1846	84.9
計		2175	100

2.3 地域バイオマス

2.3.1 地域バイオマス利活用の意義

地域の未利用バイオマスとしては、生ごみ、し尿・浄化槽汚泥、農業集落排水汚泥、食品廃棄物、家畜の糞尿、剪定枝などの木質系バイオマス等が想定されるが、それらと下水汚泥との混合消化が必要な理由は以下のようなものとされている⁵⁾。

①下水処理場の有効利用：

日本の将来、人口減少により既設の下水処理場の処理能力に余裕が生じる可能性があると考えられる。この余裕分を活用し、地域バイオマスを下水処理場で受け入れることで下水処理場を有効活用できるとともに、既存の污水处理施設の廃止や縮小により、污水处理施設の建設費削減になることが予想される。

②地域バイオマス処理の効率化：

地域バイオマスは、多くの場合別々に処理・処分されており、施設の老朽化等で処理し続けられない状況も起こりうる。既存の下水処理場を活用し、これらの地域バイオマスをまとめて利活用あるいは処理することで、資源やエネルギーの産出やスケールメリットによる市町村全体での処理費用削減の効果が予想される。

③温室効果ガス排出量の削減：

下水処理や地域バイオマスの処理では、温室効果ガスを排出する。下水処理場やし尿処理場などの地域バイオマスの処理施設における温室効果ガスの排出は、多くの場合、施設運転時における排出が全体排出量の 8 割を占める。施設運転時の温室効果ガス排出源は主

に下記Ⅰ～Ⅳがある。地域バイオマスの利活用による施設の統廃合を図ることで、市町村全体での温室効果ガス排出量の削減が可能である。

Ⅰ 電力、燃料（石油、ガス）等のエネルギー消費に伴う排出

Ⅱ 施設の運転に伴う各処理プロセスからの排出

Ⅲ 上水、工業用水、薬品類の消費に伴う排出

Ⅳ 下水道資源の有効利用による排出削減量

2.3.3 地域バイオマスの種類

①し尿、浄化槽

図 2.5 に污水处理人口及び污水处理人口普及率を示す。下水道の普及や浄化槽における污水处理人口の増加により、污水处理人口に含まれないし尿くみ取り、単独浄化槽の人口は減少しており、H26 年度では、総人口の 10.5%(約 1300 万人)となっている。また、浄化槽の污水处理人口は増加傾向にあり、H26 年度で 1124 万人に達している。

また、くみ取りし尿および浄化槽汚泥の 90%以上はし尿処理施設で処理されている現状¹²⁾を踏まえると、今後もし尿・浄化槽汚泥の処理は必要であるが、し尿処理場も下水道と同様に比較的多くのエネルギーを消費する施設であることから、施設の老朽化に伴う改築・更新時には、施設の統廃合や他の污水处理施設との共同処理も念頭に置き、経済性や環境性の面でより効率的な污水处理システムとなるよう検討が必要である。今後の処理や施設整備を検討する際においては、下水道との共同処理も検討対象となっている事例が多くみられる¹³⁾。つまり、し尿・浄化槽汚泥を地域バイオマスとして、下水汚泥とともに処理することが求められている。

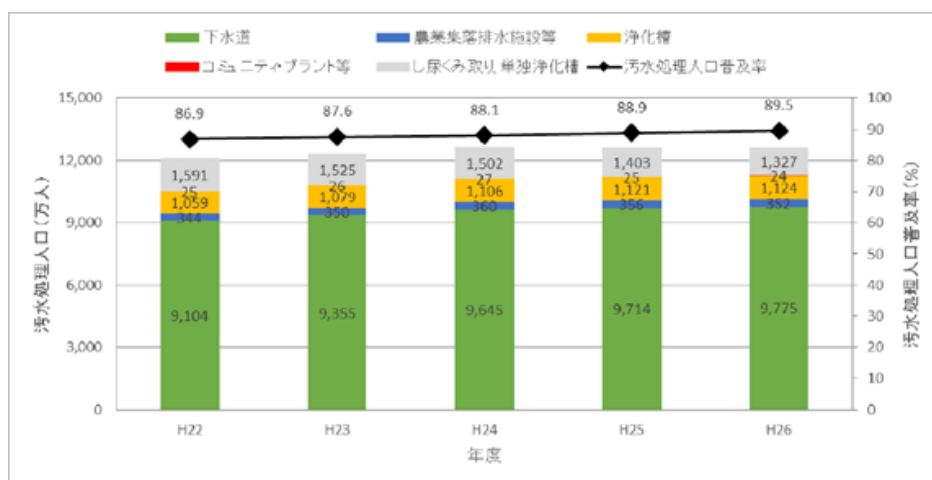


図 2.5 污水处理人口及び処理人口普及率の推移⁵⁾

②農業排水汚泥

H26 年度末において、農業集落排水施設は全国約 5,300 地区で稼働している。農業集落排水施設から発生する汚泥（集排バイオマス）の約 69%が、農地還元等でリサイクルされており、多くの地域で資源循環の取組が推進されている(図 2.6)。

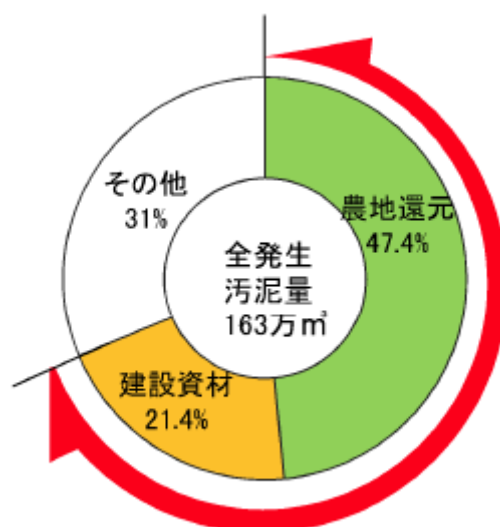


図 2.6 集落排水汚泥のリサイクル状況 ¹⁴⁾

③生ごみ

生ごみ等食品廃棄物は、肥料・飼料等への再生利用や、熱・電気に転換するエネルギー利用の可能性がある。メタンガス等としてエネルギー利用することは、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く、積極的に推進する必要がある。また、生ごみを焼却処分している場合は、分別回収し下水処理場で利活用することにより、廃棄物焼却施設での処理量が削減できる。

生ごみは、一般家庭から排出される家庭系生ごみと事業所等から排出される事業系生ごみに大分される。

家庭系生ごみは、地方公共団体のごみ収集形態が、生ごみ収集の可能性に大きく影響するため、現状のごみ収集体系で生ごみを分別回収していない場合は、ごみ収集形態の変更や、それに伴う地域住民への説明、収集事業者との調整が必要となる。

事業系生ごみに関しては、分解性が良く、家庭系生ごみより収集は容易であることが多いが、発生量が将来大きく変動する可能性があること、地域によっては性状に偏りが発生することなどの留意が必要である。

④家畜排せつ物

表 2.3 に家畜排せつ物の発生量、表 2.4 にその処理・保管状況を示す。

国内における家畜排せつ物の年間発生量は約 8 千万トンと推計され、乳用牛・肉用牛・豚がそれぞれ 2000 万 t を超え大きな割合を占めている。これは、家畜排せつ物と同じくバイオマス資源として期待されている食品廃棄物(年間発生量約 2 千万 t)、間伐材・被害木を含む林地残材(年間発生量約 4 百万 t)に比べても非常に大きく、国内におけるバイオマス資源の全体量(約 3 億 4 千万 t)の概ね 4 分の 1 を占めている⁵⁾。畜産業が盛んな地域など、バイオマス賦存量としては地域によって偏りがあるが、全体量を考えると地域バイオマスとしての利用が期待される。

表 2.3 家畜排せつ物発生量(平成 28 年度)⁵⁾

畜種	年間発生量 (万 t)
乳用牛	2,200
肉用牛	2,300
豚	2,100
採卵鶏	800
ブロイラー	500
合計	7,900

表 2.4 家畜排せつ物の保管・処理状況⁵⁾

処理方法	平成 11 年時点	→	平成 16 年 12 月時点
野積み・素掘り	約 9 百万 t/年		約 1 百万 t/年
たい肥化・液肥化等	約 75 百万 t/年		約 80 百万 t/年
浄化・炭化・焼却等	約 6 百万 t/年		約 7 百万 t/年

⑤剪定枝等

剪定枝等には樹木の枝などの木質系と刈り草等の草木系がある。剪定枝のうち公道、公園、河川敷の管理で定期的に発生するものは公共事業由来のバイオマスであり下水処理場においても利活用を円滑に進められると考えられる。木質系のものに関して、図 2.7 に示す通り、製材工場等残材、建築発生木材に関しては 90%以上が製紙原料、エネルギー等に再生利用されているが、林地残材等に関しては約 9%と再生利用の割合がまだ少ない状況である。

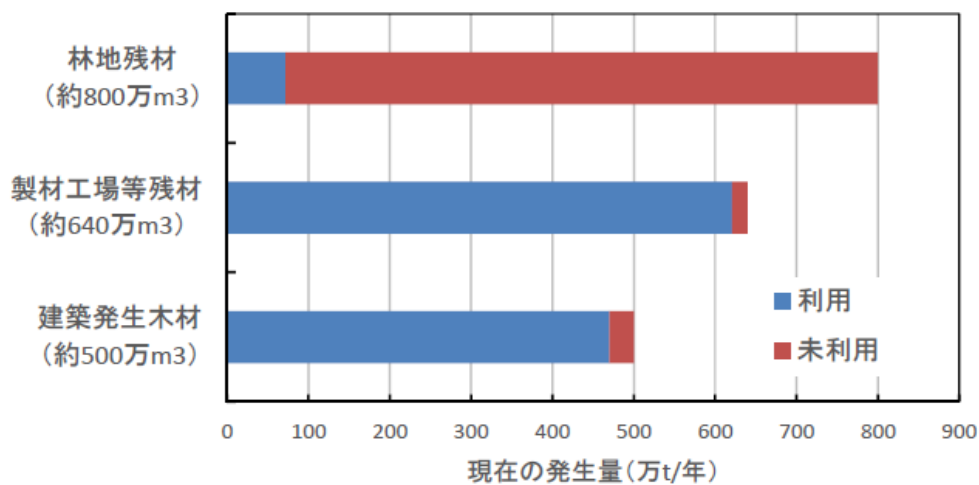


図 2.7 剪定枝を含む木質系バイオマスの発生量と利用状況⁵⁾

⑥農作物非食用部

稲わら、麦わら、もみ殻等の農作物非食用部は、主に農作業の現場で発生し、そのまま農地への農地還元が古くから行われている。バイオマス活用推進基本計画⁷⁾によると、農作物の非食用部は、年間約 1300 万トン発生しており、そのうち約 32%が飼肥料や敷料、燃料等として利用されているが、約 68%は未利用となっている。燃料化等によるエネルギー利用や有用物質抽出等のマテリアル利用技術の進展を見極めながら、利用量の増加を図ることが望まれる。

第3章 バイオガス発電の発電ポテンシャルの検討

3.1 検討方法

平成26年度下水道統計¹⁵⁾を用いて、日本中の下水処理場においてバイオガス発電を実施した場合に得られるエネルギー量を試算した。方法は以下の手順に従った。

- ①消化槽を導入している処理場を対象とし、投入汚泥量当たりのバイオガス発生量を算出(n=273)
- ②バイオガス発電を実施している処理場を対象とし、バイオガス使用量当たりの発電量を算出(n=60)
- ③上記①、②の結果から投入汚泥量当たりの発電量を算出し、日本全体で発生する汚泥量から得られる発電量のポテンシャルを推定

以上の手順によって算出された発電量を、日本全体の電力需要、下水道で使用されている総電力量と比較することで、バイオガス発電のポテンシャルエネルギーの評価を行った。

3.2 検討結果

投入汚泥量(濃縮汚泥)と消化ガス量(発生量)の相関を図3.1、バイオガス量(使用量)と発電量の相関を図3.2に示す。

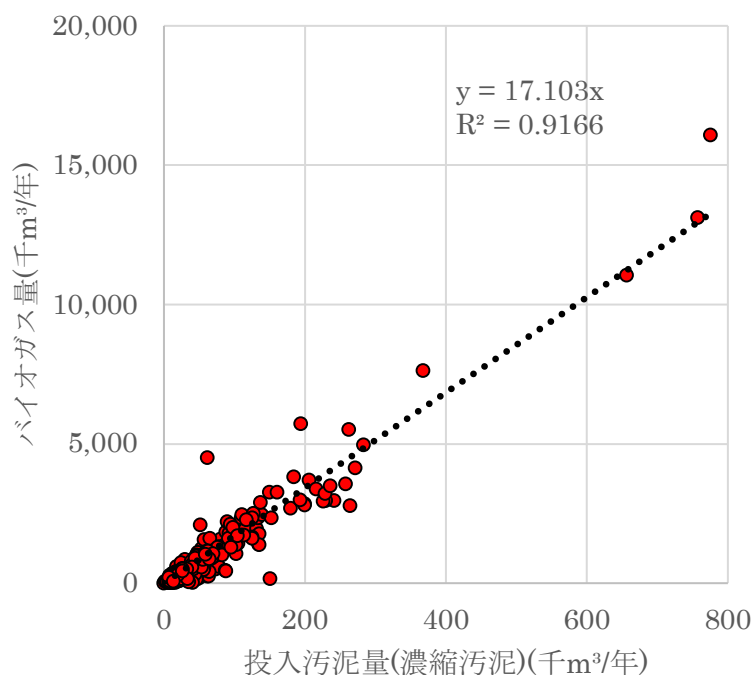


図3.1 投入汚泥量とバイオガス量の相関 (n=273)

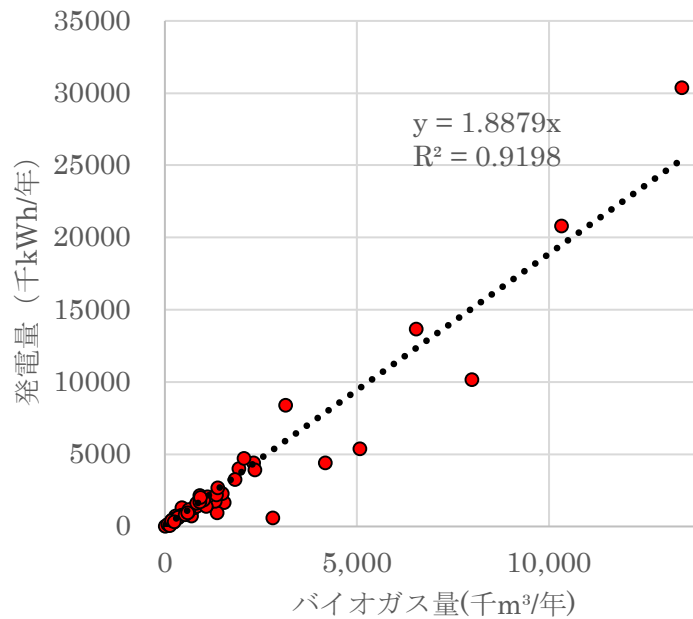


図 3.2 バイオガス量と発電量の相関 (n=30)

図 3.1 より投入汚泥量とバイオガス量は強い相関があることが分かった(決定係数 $R^2 = 0.9166$)。また回帰直線の式より投入汚泥量とバイオガス量は以下の式 3.1 で表されることが分かった。

$$\langle \text{バイオガス量}(\text{m}^3) \rangle = 17.103 \times \langle \text{汚泥量}(\text{m}^3) \rangle \quad (\text{式 3.1})$$

図 3.2 よりバイオガス量と発電量は強い相関があることが分かった(決定係数 $R^2 = 0.9198$)。また回帰直線の式よりバイオガス量と発電量は以下の式 3.2 で表されることが分かった。

$$\langle \text{発電量}(\text{kWh}) \rangle = 1.8879 \times \langle \text{バイオガス量}(\text{m}^3) \rangle \quad (\text{式 3.2})$$

式 3.1 と 3.2 から発電量は以下の式 3.3 で表される。

$$\langle \text{発電量}(\text{kWh}) \rangle = 32.289 \times \langle \text{投入汚泥量}(\text{m}^3) \rangle \quad (\text{式 3.3})$$

下水汚泥の重量換算係数($=1.1(\text{t}/\text{m}^3)$)を用いると、最終的に発電量と投入汚泥量の関係は以下の式 3.4 のように表される。

$$\langle \text{発電量}(\text{kWh}) \rangle = 32.289 \times \frac{\langle \text{投入汚泥量}(\text{t}) \rangle}{1.1(\text{t}/\text{m}^3)} \quad (\text{式 3.4})$$

下水道統計より全下水処理場を対象に発生する汚泥量(濃縮汚泥)を算出すると 8200 万 t になることから、日本全体で発生する汚泥量から得られる発電量のポテンシャル(以下発電ポテンシャル量とする)は約 24 億 kWh/年であることが分かった。

3.3 考察

3.2 の結果より日本の全下水処理場で発生する下水汚泥を用いてバイオガス発電をしたところ発電量は約 24 億 kWh/年と試算され、日本全体の電力需要・下水処理場での消費電力と比較することで考察を行った。

電気事業連合会の報告¹⁶⁾によると、2015 年度の電力需要は 7971 億 kWh/年であるとされている(2016 年度より電力小売全面自由化の開始に伴い、それ以降の集計データがないため、2015 年度の値を採用)。電力需要と比較すると、発電ポテンシャル量は電力需要の約 0.3% と小さい割合となっている。実際、バイオガスを全下水処理場で実施するのは現実的に無理があるため、その割合はさらに小さくなる。つまり、バイオガス発電を実施することの意義は、日本の電力需要に対し量的に貢献することではないことが示された。

続いて、下水処理場での消費電力と比較を行う。図 3.3 に全国の下水道分野別の電力消費量を示す。

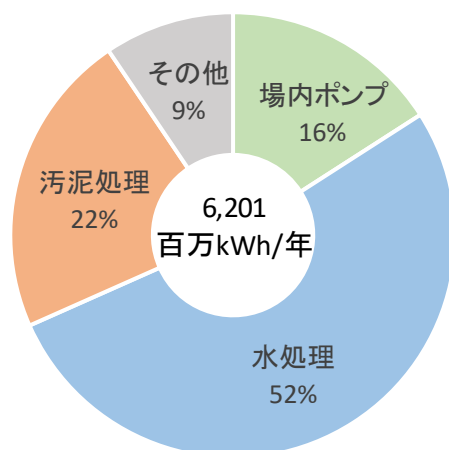


図 3.3 全国の下水道分野別電力消費量(下水道統計¹⁵⁾より作成)

平成 26 年度では下水道全体で約 62 億 kWh/年の電力が消費されている。これは下水道が日本の電力需要のうち約 0.8% を占める大口需要家(100 万 kW 級の原子力発電所 1 基分の年間電力使用量)であることを示している。下水道分野の中でも最も消費電力が多いのは水処理で、52% と過半数を占めている。次いで汚泥処理に 22%、場内ポンプに 16% を占めている。下水道全体の消費電力とバイオガス発電による発電ポテンシャル量とを比較すると、発電ポテンシャル量は下水道全体の消費電力の約 40% を占める割合となった。

新下水道ビジョン¹⁷⁾において、下水道の長期ビジョンとして「水・資源・エネルギーの集約・自立・供給拠点化」が大きく掲げられているように、エネルギー自立型下水処理場を実現するためには、バイオガス発電は有用ではないかと考える。さらに下水汚泥だけで

なく、地域バイオマスとの混合消化を導入することを検討するとより新下水道ビジョンで掲げられている目標に近づくのではないかと。

第4章 地域バイオマス導入の事例調査

4.1 概要

下水道における地域バイオマスの導入が期待されている中、全国の下水处理場において実際に地域バイオマスが導入されているのは、平成30年3月時点で北海道北広島市、北海道恵庭市、新潟県新潟市、栃木県鹿沼市、富山県黒部市、石川県珠洲市、石川県中能登町、愛知県豊橋市、兵庫県神戸市の9箇所にとどまり、あまり普及しているとは言えない状況となっている。

地域のバイオマスを下水道とともに共同処理することで、下水道分野ではバイオガス量の増加、発電をして入れば発電量の増加につながる。一方地域にとっては、本来ごみや個別処理しなければならないものとして排出されるものを下水道との共同処理のため、処分量低下に伴う処分費の削減につながる。

このように下水道と地域の双方にメリットがあるように思われる地域バイオマスの導入がなぜあまり普及していないか、実際に導入をしている処理場を対象に調査することで明らかにする。また地域バイオマスを導入する際の技術的・政策的課題、有効利用法の選定などについても調査を行った。

4.1.1 調査対象地

本調査では、実際に地域バイオマスを導入している5処理場に対し調査を行った。調査対象地は以下の5都市である。図4.1に調査対象地を示す。



図 4.1 調査対象地

1)北海道北広島市

表 4.1 に北広島市の地域バイオマス導入の事業概要を示す。

北広島市ではバイオマスとしてし尿・浄化槽汚泥、生ごみ(家庭系、事業系)、農業集落排水汚泥を導入している。バイオガスの有効利用法としては、発生したバイオガスを発電するまでには至っておらず、消化槽加温の熱源、汚泥乾燥の熱源として利用している。汚泥の有効利用としては、消化汚泥を脱水したのち、乾燥させ農地や市民緑化のための肥料として利用している。

表 4.1 北広島市の地域バイオマス導入の事業概要(調査より筆者作成)

項目	内容			
名称	バイオマス利活用施設整備事業			
事業方式	公設公営(DB方式)			
総事業費	バイオマス混合調整棟の新設，消化タンク1 基の増設，し尿・浄化槽汚泥予備貯留槽の新設，処理センター場内道路の改修等を含め，約20億円			
事業期間	平成21 年度～平成24 年度			
処理対象物	下水汚泥(濃縮汚泥)，し尿・浄化槽汚泥，生ごみ（家庭系，事業系），農業集落排水汚泥(長沼町，南幌町，由仁町より)			
バイオマス 計画受入量	種別	平成23年度	H25年実績	平成27年度 (計画)
	下水汚泥	94m ³ /日	94m ³ /日	114m ³ /日
	生ごみ	17 t/日 (家庭系11.8t/日，事業系5.5t/日)		18t/日
	農業集落排水汚泥	—	40kL	35t/日
	浄化槽汚泥			
	し尿			
バイオガス利用方法	バイオガス 3,000 Nm ³ /日 →消化槽加温熱源，汚泥乾燥熱源			
温暖化ガス削減量	CO2 削減量 約1,500 t/年（H27 年度試算値）			
汚泥有効利用法	乾燥汚泥 704 t/年 →農地利用631 t/年，市民緑化73 t/年			

2)北海道恵庭市

表 4.2 に恵庭市の地域バイオマス導入の事業概要を示す。

恵庭市ではバイオマスとしてし尿・浄化槽汚泥、生ごみ(家庭系、事業系)を導入している。バイオガスの有効利用法としては、発生したバイオガスを、消化槽加温や場内暖房設備の

熱源として利用するとともに、マイクロガスタービンによるバイオガス発電を行っている。バイオガス発電によって、1290 千 kWh/年(平成 27 年度)場内電力として利用している。汚泥の有効利用としては、肥料やセメント原料として利用している。

表 4.2 恵庭市の地域バイオマス導入の事業概要(調査より筆者作成)

項目	内容		
名称	生ごみの分別回収によるバイオガス化事業		
事業方式	公設公営		
総事業費	①生ごみ・し尿処理場：約3.85 億円 生ごみ受入施設（建築），受入ホッパ・生ごみ破砕分別機等（機械・電気設備），付帯設備（外構等） ②下水終末処理場：約10 億円 汚泥調整設備（建築，土木，機械設備），脱硫設備（機械設備），ガスタンク，MGT（機械・電気設備） 事業費合計 約13.85 億円		
事業期間	平成21 年度～平成26 年度		
処理対象物	下水汚泥，し尿・浄化槽汚泥，生ごみ（家庭系，事業系）		
バイオマス 計画受入量 （消化槽投入汚泥量） （t/日）	種別	計画	H27年実績
	下水汚泥	243	254.9
	し尿・浄化槽汚泥	13	16.8
	生ごみ	11	8.9
	計	291	280.6
バイオガス利用方法	バイオガス1,714,999 Nm ³ /年（＝4,699 Nm ³ /日） →消化タンクの加温，場内施設暖房用の蒸気ボイラ燃料 →MGT 発電による場内電力（1,290 千kWh/年）（平成27 年度実績）		
温暖化ガス削減量	CO ₂ 削減量 約2,600 t/年 （生ごみの埋立処分により発生するメタンガス量の削減量）		
汚泥有効利用法	全て肥料やセメント原料などに有効利用（下水汚泥肥料は市民へ還元）		

3)石川県珠洲市

表 4.3 に珠洲市の地域バイオマス導入の事業概要を示す。

珠洲市ではバイオマスとしてし尿・浄化槽汚泥、農業集落排水汚泥、生ごみは事業系のみ導入している。バイオガスの有効利用法としては、発生したバイオガスを、消化槽加温や生ごみの可溶化、汚泥乾燥設備の燃料として利用している。バイオガス発電は実施していない。また、汚泥有効利用法としては肥料として利用している。

表 4.3 珠洲市の地域バイオマス導入の事業概要(調査より筆者作成)

項目	内容		
名称	珠洲・バイオマスエネルギー推進プラン		
事業方式	公設公営		
総事業費	バイオマス受入前処理設備，汚泥濃縮設備，メタン発酵設備，汚泥脱水設備，汚泥乾燥設備の新設・増設費，測量試験費，事務費を含め，約13.9 億円		
事業期間	平成17年度～平成20年度		
処理対象物	下水汚泥，農業集落排水汚泥，し尿・浄化槽汚泥，生ごみ（事業系）		
バイオマス 計画受入量 (t/日)	種別	日平均	日最大
	下水汚泥	15.3	22.5
	農業集落排水汚泥	0.5	0.7
	し尿・浄化槽汚泥	15.7	25.9
	生ごみ	1.4	2.4
	計	32.9	51.5
バイオガス利用方法	バイオガス 135 Nm ³ /日 →メタン発酵槽の加温，生ごみの可溶化，汚泥乾燥設備補助燃料		
温暖化ガス削減量	CO ₂ 削減量 約2370 t/年（H22 年度試算値）		
汚泥有効利用法	乾燥汚泥 →有機質肥料269 kg/日，91 t/年		

4)石川県中能登町

表 4.4 に中能登町の地域バイオマス導入の事業概要を示す。

中能登町ではバイオマスとしてし尿・浄化槽汚泥、農業集落排水汚泥、事業系生ごみ、食品加工残渣を導入している。食品加工残渣はおもに油揚げで、近くの食品加工工場から収集し導入している。バイオガスの有効利用法としては、発生したバイオガスを民間の発電事業者に売却しバイオガス発電を実施している。また、汚泥有効利用法としては肥料として地域住民へ広く配布している。

表 4.4 中能登町の地域バイオマス導入の事業概要(調査より筆者作成)

項目	内容	
名称	鹿島中部クリーンセンター	
事業方式	公設公営	
処理対象物	下水汚泥，農業集落排水汚泥，し尿・浄化槽汚泥，事業系生ごみ，食品加工残渣	
バイオマス 計画受入量 (消化槽投入汚泥量) (t/日)	種別	計画(H25年度事業計画)
	下水汚泥	3.44
	農業集落排水汚泥	0.12
	し尿・浄化槽汚泥	4.03
	事業系厨芥類	0.13
	食品加工残渣	0.19
	計	7.91
バイオガス利用方法	バイオガス86,000 Nm ³ /年(H25年度事業計画) →マイクロガスエンジンによる発電(場内利用、FIT制度活用)	
汚泥有効利用法	乾燥汚泥を肥料化	

5)富山県黒部市

表 4.5 に黒部市の地域バイオマス導入の事業概要を示す。

黒部市ではバイオマスとして浄化槽汚泥、農業集落排水汚泥、生ごみ、食品加工残渣を導入している。生ごみは各家庭に設置している直投式ディスポーザーを活用し集約している。食品加工残渣はおもにコーヒー粕で、近くの飲料工場から収集し導入している。バイオガスの有効利用法としては、マイクロガスタービンによりバイオガス発電を実施し、発電した電力を場内電力として利用している。また、汚泥有効利用法としては肥料や発電燃料として利用している。

表 4.5 黒部市の地域バイオマス導入の事業概要(調査より筆者作成)

項目	内容		
名称	黒部市下水道バイオマスエネルギー利活用施設整備運営事業		
事業方式	PFI事業(BTO方式)		
総事業費	建設費：約16 億円（うち国費 7 億2 千万円） 維持管理運営費：約20 億円 計36 億円		
設計・建築期間	平成21 年4 月～平成23 年4 月		
維持管理・運営期間	平成23 年5 月～平成38 年4 月（15 年間）		
処理対象物	既存下水道処理施設より下水汚泥（濃縮汚泥），農集排水汚泥，浄化槽汚泥，生ごみ（デスポーザ汚泥），事業系食品残渣（コーヒー粕）		
バイオマス 計画受入量 (H36年度計画値) (m ³ /年)	種別	計画値	備考
	下水汚泥(濃縮汚泥)	25034	うち，デスポーザ由来汚泥688 m ³ /年
	農業集落排水汚泥(濃縮汚泥)	1080	
	浄化槽汚泥(濃縮汚泥)	134	
	事業系食品残渣	2884	コーヒー粕
	計	29132	
バイオガス利用方法	バイオガス約2700m ³ /日 ①マイクロガスタービンで発電し，場内利用 ②ボイラにより，消化槽加温熱源および汚泥乾燥熱源として利用		
MGT発電量	平均約38万kW/年		
温暖化ガス削減量	CO2 削減量 約1,000t/年 (生ごみの埋立処分により発生するメタンガス量の削減量)		
汚泥有効利用法	乾燥汚泥化し，発電燃料や肥料として利用		

4.1.2 調査方法

5 市町村の処理場それぞれに質問書送付し、後日実際に訪問し、下水処理場関係者、行政の方々にインタビューを行った。表 4.6 に質問書を示す。ただしこれはあくまで一例であり、各市町村によって内容を実際には変えているため、残りについては付録に示す。

表 4.6 調査に用いた質問書(筆者作成)

分類	No.	質問事項	備考
概要確認	1	概要で記したデータに誤りはありませんか？	
事業	2	本事業が発足した背景を教えてください	
	3	本事業計画時に検討していた懸念事項があれば教えてください	
	4	本事業の採算性を評価するべく、どのようなコスト評価をしたか具体的なデータがあれば参照させてください	
	5	本事業によるCO ₂ 削減量など環境評価の試算データがあれば参照させてください	
バイオマス全般	6	概要で記した処理対象物以外に処理対象として検討していたバイオマスはありますか？	
	7	6の質問に関してもしあれば、それを処理対象として断念した理由を教えてください	
	8	混合消化する場合、下水汚泥単独で消化する場合に比べ考慮すべきことは何かありますか？	
個別バイオマス	9	し尿・浄化槽汚泥を下水汚泥と混合消化する際の技術的課題と政策的課題があれば教えてください	
	10	生ごみ(家庭系・事業系)を下水汚泥混合消化する際の技術的課題と政策的課題があれば教えてください	
有効利用方法	11	発生したメタンガス・処理汚泥の有効利用先の選定はどのように、またなぜそのような有効利用方法となったか教えてください	
	12	バイオガス発電を実施してきた中で技術的課題、政策的課題があれば教えてください	

調査した内容は、以下の三つに分類される。

1)事業に関する項目：

事業背景、発足時の懸念事項、コスト評価・環境評価の詳細データ

2)バイオマスに関する項目：

バイオマス賦存量の調査、各バイオマスを導入する上での課題やメリット

3)有効利用法に関する項目：

有効利用法の選定理由、将来計画、バイオガス発電の実施の有無に関する理由

4.2 インタビュー結果と考察

4.2.1 導入背景

導入背景に関する分類をしたものを図 4.2 に示す。

地域バイオマス導入に至るまでの背景は主に三つ存在していた。

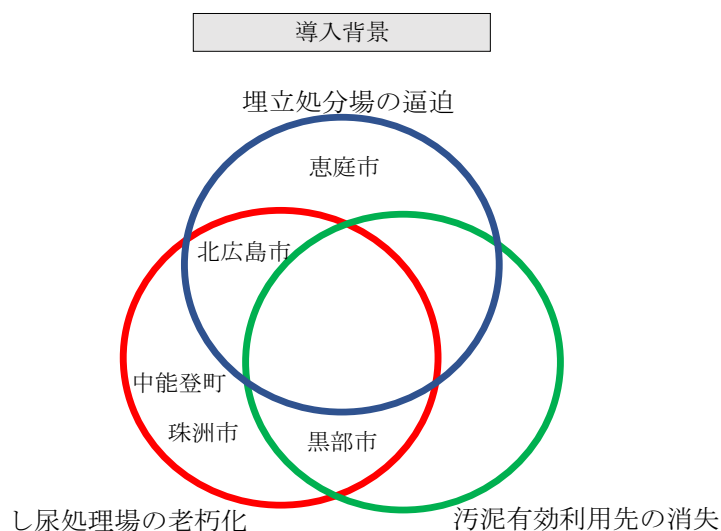


図 4.2 地域バイオマス導入の背景(筆者作成)

1)埋め立て処分場の逼迫

埋立処分場の逼迫を背景としている自治体は、埋め立て処分場の埋立割合のうち多くを占めている生ごみを下水汚泥とともに混合消化することで埋め立て処分量の減量化を図るというものであった。

恵庭市の場合、平成 14 年度の焼却処理施設の休止以降、生ごみを埋め立て処分していたが、埋立処分場の延命化及び適正処理等の課題解消のため平成 20 年度「恵庭市循環型社会形成推進施策」に生ごみのバイオガス化が位置づけられ、平成 24 年度 4 月より生ごみの分別回収がなされ、同年 9 月より生ごみ処理施設の供用開始に伴い下水終末処理場において、生ごみを導入しバイオガス化している。

北広島市の場合、ごみ処理はリサイクル可能な資源ごみを除き、その全量を最終処分場

にて埋め立て処分を行っていたため、埋め立て容量が逼迫することが明らかであり、平成 11 年度から近隣市町で広域的なごみ処理の検討を行い、平成 23 年度から焼却処理を行うとする基本方針(案)を策定した。一方、最終処分場は平成 24 年度にはその容量を超えるとの予測から、ごみ処分量(埋め立て量)を減らすため、平成 20 年 10 月から家庭ごみの有料化を実施し、さらに、排出されるごみに含まれる生ごみを別途分別収集し、バイオガス化処理を行うことと決定した。

2) し尿処理場の老朽化

し尿処理場の老朽化を背景とした自治体は、し尿処理場の更新を個別でおこなうのではなく、し尿・浄化槽汚泥を集約し、下水汚泥とともに混合消化するほうが、経済的効果が得られるとして、し尿・浄化槽汚泥を地域バイオマスとして利用するというものであった。

北広島市、中能登町、珠洲市、黒部市いずれにおいても、し尿処理場の老朽化や、し尿処理を委託していた自治体の合併等により、し尿処理先の確保が求められ、下水汚泥との共同処理に至ったというものであった。

3) 汚泥有効利用先の消失

汚泥有効利用先の消失を背景とした自治体は、下水汚泥の有効利用法として、セメント化なされていたが、関連工場の閉鎖、需要の減少により、新たな有効利用が必要となり、その際にバイオガス量の確保が必要であるため地域バイオマスを導入するといったものであった。黒部市がこれに該当する。

このように、地域に存在するバイオマスを有効活用しようという積極的動機によって地域バイオマス活用事業が発足しているのではなく、以上に挙げたような背景の解決策として地域バイオマスが導入され、下水汚泥とともに処理されていることが明らかとなった。

4.2.2 各バイオマス導入における課題

各バイオマスを導入した際の政策的課題、技術的課題を 4.7 に示す。

表 4.7 各バイオマス導入の課題(筆者作成)

	政策的課題	技術的課題
生ごみ(家庭系)	<ul style="list-style-type: none"> ・収集率向上 ・回収の運搬費、人件費 	<ul style="list-style-type: none"> ・有機酸への対応 ・汚泥の性状の把握 ・夾雑物の除去
生ごみ(事業系)	<ul style="list-style-type: none"> ・受入事業者との調整 ・前処理設備の国の補助率が低い 	<ul style="list-style-type: none"> ・有機物濃度、ガス発生量管理 ・破砕、異物除去の前処理
し尿・浄化槽汚泥	<ul style="list-style-type: none"> ・運搬費の他市町村との調整 ・管理局との調整が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・搬入量の季節変動 ・搬入毎の濃度 ・夾雑物の除去
農業集落排水汚泥	<ul style="list-style-type: none"> ・管理局との調整が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・搬入量の季節変動 ・濃度、ガス発生量管理

家庭系生ごみに関しては一番の課題として、収集率の向上があげられた。北広島市は H25 の実績投入量が計画値の 27%と収集率が低い状況にあった。恵庭市においては、収取率を上げるべく、生ごみを戸別回収し、収集率も 93%と高い値となっているが、その分収集コストの高さを課題として挙げていた。珠洲市や中能登町など事業系生ごみのみ導入している自治体は、市民への分別周知の徹底や、収集が困難であることから家庭系生ごみの導入を断念した自治体も存在した。

事業系生ごみは受入事業者との調整を政策的課題としている自治体が多く、補助率が低いことも挙げられていた。しかし、近くに食品工場や飲料工場があり安定的に食品残渣の供給を受け入れることのできる黒部市、中能登町をはじめ、事業系生ごみを導入している自治体は家庭系生ごみを導入している自治体よりも多く、生ごみのなかでも比較的導入しやすいことが示唆された。

し尿・浄化槽汚泥はもともと下水道部局ではなく環境部局で管理していたなど、管理体制が異なることから発生する課題などがあげられた。

農集排汚泥に関しては下水汚泥と形状があまり変わらないため、あまり課題としては挙げられていないが管理部局との調整を挙げている自治体も存在した。

4.2.3 有効利用先の決定要因

バイオガスの有効利用方法として、恵庭市・中能登町・黒部市に関してはガス発電を実施しており、北広島市・珠洲市は消化槽の加温や汚泥乾燥設備の熱源など熱利用を行っている。このような有効利用先を決定づける要因についての考察を行う。図 4.3 に各処理場の処理水量とバイオガス発生量の関係を示す。

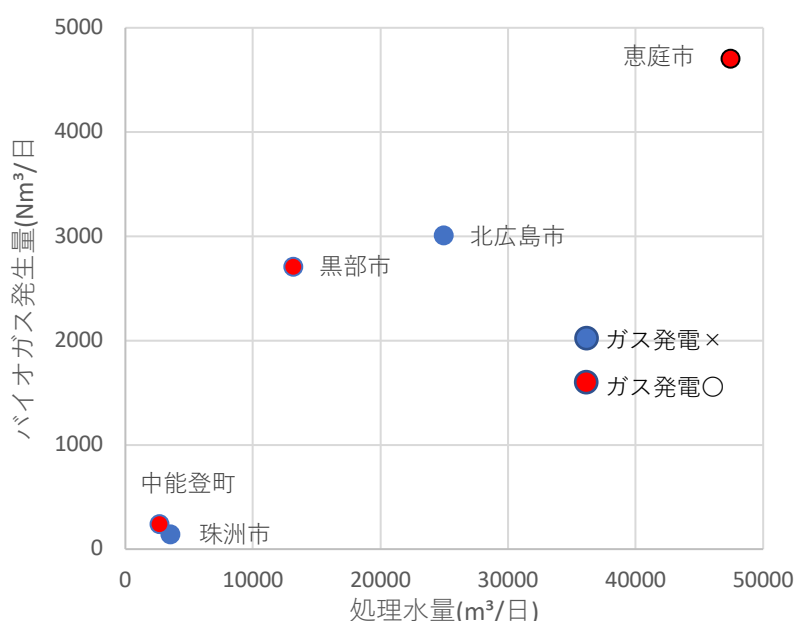


図 4.3 各処理場の処理水量とバイオガス発生量の関係(下水道統計より筆者作成)

まずバイオガス発電を実施するためにある程度のバイオガス発生量が必要なのではないかと考えられる。処理水量が 10000m³/日以下の中能登町、中能登町はバイオガス発電を実施しているのに対し、珠洲市は実施していない。珠洲市がバイオガス発電を実施していない理由としては、バイオガス発生量が少ないこと、また事業発足が FIT 制度の施行前であったため考慮に入れていなかったことが要因として挙げられた。また中能登町は小規模処理場にもかかわらずバイオガス発電を実施している。中能登町は食品残渣などの安定したバイオマス供給先が存在し、処理場の規模に比べて多くのバイオガス量を得られていることが分かる。またガス発電の実施方法においても、民間の発電事業者がガスを販売することでコストを削減している。このように民間の力を借り PFI 事業とすることで、導入が比較的困難な小規模処理場においてもバイオガス発電が実施できることが考えられる。

もう一つは、地域特有の理由が考えられる。北海道北広島市は寒冷地であり、消化ガスは加温ボイラー及び乾燥機の燃料として全量使用しており、余剰ガスはあまり発生していない。そのためガス発電実施の積極的動機がなく熱利用を選択していると考えられる。

黒部市は消化から発電に至るまで PFI 事業としており、またコーヒー粕などの安定したバイオマス供給先が存在している。恵庭市に関しては公設公営で発電事業を行い、発電した電力は場内利用し施設電力の 42%を賄っている。平成 32 年度には処理場の隣にごみ焼却施設を建設することから、その排熱を熱源利用できるため、バイオガス全量を発電に用いることができ、FIT 制度を活用した民間事業者による売電を予定している。

このように有効利用先としてバイオガス発電の実施の有無を決定づける要因としては、

- 1)施設規模(バイオガス発生量)
 - 2)バイオマスの安定供給先の有無
 - 3)熱利用の必要性
- があることが示唆された。

第5章 バイオガス発電の導入コスト検討—下水汚泥単独—

5.1 概要

本章では下水汚泥を単独消化し、バイオガス発電を導入した場合のコスト検討を行う。事業化に伴うコストと、それにより得られる便益を考え、2つを比較することでコスト検討を行う。バイオガス発電より得られる電力の利用方法は以下の2パターン考えられる。

- ①下水処理場内で利用(以下、場内利用)
- ②FIT 制度¹⁸⁾による売電

※FIT 制度¹⁸⁾(固定価格買取制度)

再生可能エネルギーで発電した電気を、電力会社が一定価格で一定期間買い取ることを国が約束する制度。電力会社が買い取る費用の一部を、電気の使用者から賦課金という形で集め、今はまだコストの高い再生可能エネルギーの導入を支える。この制度により、発電設備の高い建設コストなども回収の見通しが立ちやすくなり、より普及が進むと考えられている。

また消化槽が既設、または新設であるかについても場合分けを行う。図 5.1 にケース分けのイメージを示す。

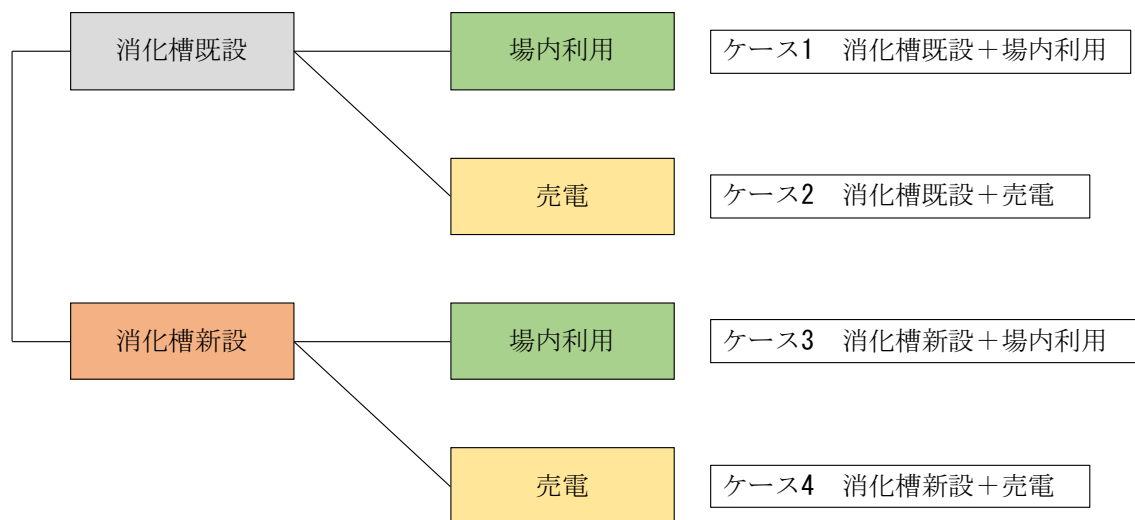


図 5.1 ケース分けのイメージ図

それぞれのケースについて、コスト検討のイメージを①、②の各場合におけるコスト評価に関するイメージを図 5.2、5.3、5.4、5.5 に示す。

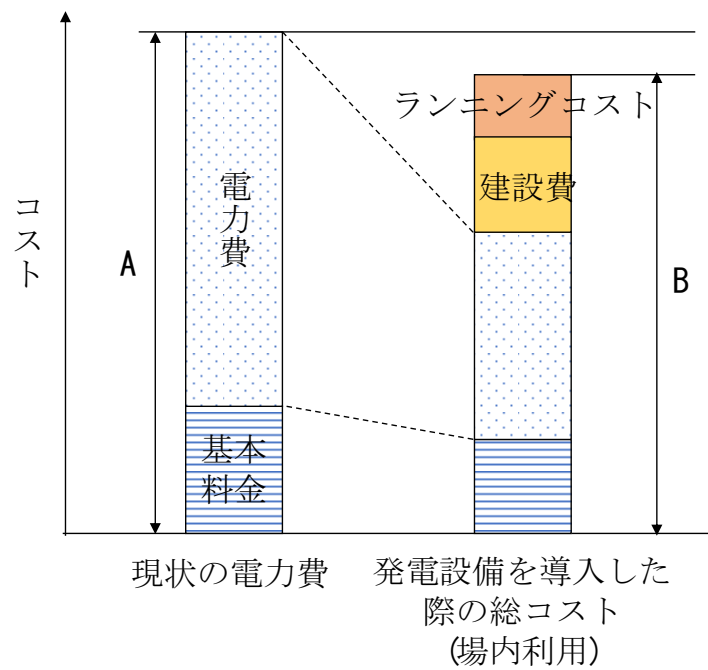


図 5.2 消化槽既設+場内利用

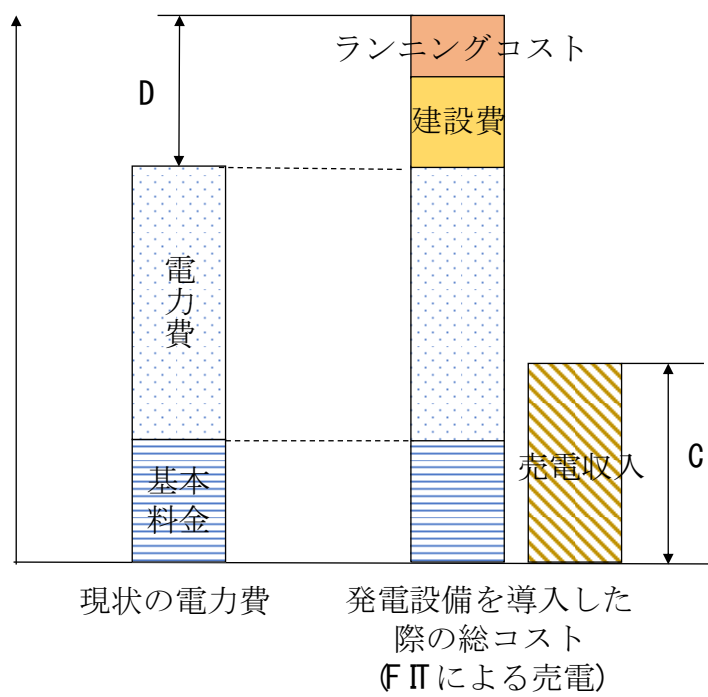


図 5.3 消化槽既設+売電

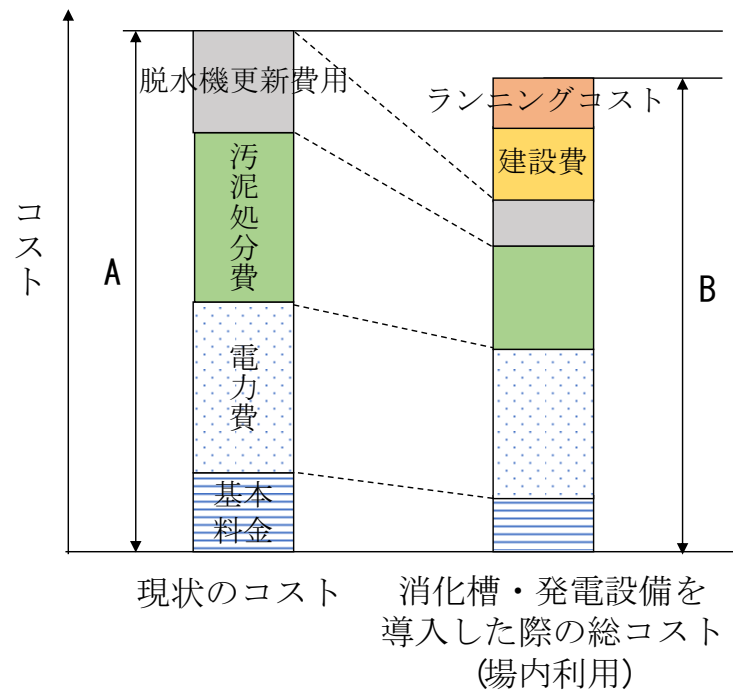


図 5.4 消化槽新設+場内利用

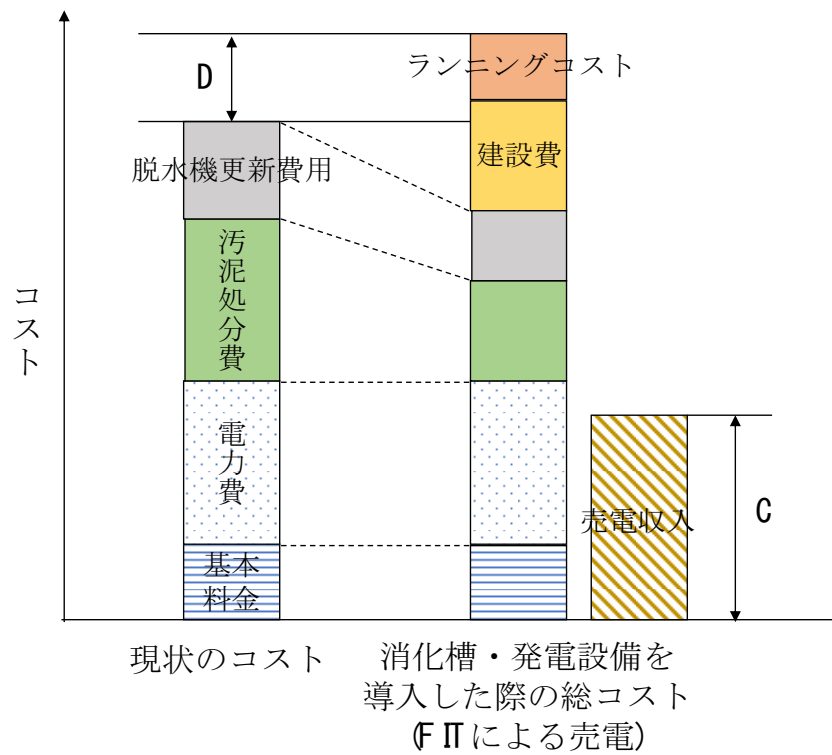


図 5.5 消化槽新設+売電

<ケース 1：消化槽既設＋場内利用の場合>

図 5.2 のように、既存設備の電力費と基本料金の合計(=A)と発電設備を導入した際の総コスト(=B)を比較することでコスト検討を行った。消化槽は既設であるため、発電設備を導入した際のコストには発電設備の建設費・ランニングコストのみを考えることとした。

発電した分の電力費の削減、また発電で常に得られる分の電力の基本料金の削減が見込まれ、その費用が建設費・ランニングコストよりも大きければ事業性ありと判断することとした。つまり、A と B を比較し、 $A < B$ ならば事業性なし、 $A > B$ ならば事業性あり、ということである。

<ケース 2：消化槽既設＋売電の場合>

図 5.3 のように発電設備を導入した際の建設費・ランニングコストの合計(=D)と売電によって得られる収入(=C)を比較することでコスト検討を行った。発電した電力は場内では利用しないので、下水処理場内で使用する電力費、基本料金は発電設備導入前後で変化しないものとする。

C と D を比較し、 $C < D$ ならば事業性なし、 $C > D$ ならば事業性ありと判断することとした。

<ケース 3：消化槽新設＋場内利用の場合>

ケース 4 も含め、消化槽新設の場合には図 5.4 に示したように、汚泥処分費・脱水機更新費用を考慮した。消化槽を新設し下水汚泥の処理工程として消化工程を加えることで、汚泥の有機分が除去され、汚泥の減量化が図れる。その結果、後段の汚泥処分費の削減が見込まれる。また消化工程後の脱水工程においても汚泥の減量による脱水機更新費(建設費・維持管理費)削減も見込まれる。以上のことから消化槽新設の場合には、汚泥処分費・脱水機更新費も考慮し、コスト評価を行った。

図 5.4 中の A と B を比較し、 $A < B$ ならば事業性なし、 $A > B$ ならば事業性ありと判断した。

<ケース 4：消化槽新設＋売電の場合>

ケース 3 同様、汚泥処分費・脱水機更新費用を考慮した。

図 5.5 中の C と D を比較し、 $C < D$ ならば事業性なし、 $C > D$ ならば事業性ありと判断することとした。

5.2 ケース設定と検討条件

5.2.1 ケース設定

本項目ではコスト検討を行う際のケース設定について記述する。5.1 で示した場合分けに加え、下水処理場の規模がコスト評価に及ぼす影響を考慮するべく、処理水量を 10000m³/日、20000m³/日、50000m³/日、100000m³/日の 4 段階を設定し、バイオガス発電を導入した場合のコスト評価を行った。処理水量が 10000m³/日、20000m³/日は小規模処理場、50000m³/日は中規模処理場、100000m³/日は大規模処理場と想定した。以下の表 5.1 にケース設定をまとめた。

表 5.1 ケース設定

ケース設定	消化工程	発電電力の利用方法	想定規模	備考
ケース1	既設	場内利用	10000m ³ /日	発電電力を場内で利用
			20000m ³ /日	
			50000m ³ /日	
			100000m ³ /日	
ケース2	既設	売電	10000m ³ /日	FIT制度を利用して発電電力を売電する
			20000m ³ /日	
			50000m ³ /日	
			100000m ³ /日	
ケース3	新設	場内利用	10000m ³ /日	発電電力を場内で利用
			20000m ³ /日	
			50000m ³ /日	
			100000m ³ /日	
ケース4	新設	売電	10000m ³ /日	FIT制度を利用して発電電力を売電する
			20000m ³ /日	
			50000m ³ /日	
			100000m ³ /日	

5.2.2 検討項目

各ケースにおける検討項目を示す。

1)濃縮汚泥

①濃縮汚泥量

濃縮汚泥量(=消化槽投入汚泥量)は以下の式より算出した。式中の各項目の値を表 5.2 に示す。

$$(式 5.1) \quad \text{濃縮汚泥} = \text{生汚泥} + \text{余剰汚泥}$$

$$(式 5.2) \quad \text{生汚泥} = (\text{流入 SS} - \text{反応槽流入 SS}) \times \text{水量} \times 10^6 \\ \div (100 - \text{濃縮生汚泥含水率}) \times 100$$

$$(式 5.3) \quad \text{余剰汚泥} = \{(a \times \text{反応槽流入 S-BOD} + b \times \text{反応槽流入 SS} - c \times \text{HRT} / 24 \times \text{MLSS}) \times \text{水量} \\ \times 10^{-6}\} \div (100 - \text{濃縮余剰汚泥含水率}) \times 100$$

表 5.2 濃縮汚泥量算出式に用いた項目と値³⁾

	単位	値
S-BODの汚泥転換率a	—	0.5
SSの汚泥転換率b	—	0.95
自己分解率c	—	0.04
流入BOD	m g/L	200
流入SS	m g/L	180
反応槽流入BOD	m g/L	140
反応槽流入S-BOD	m g/L	93
反応槽流入SS	m g/L	90
HRT	hr	8
M LSS	m g/L	1500
濃縮生汚泥含水率	%	97
濃縮余剰汚泥含水率	%	96

②濃縮汚泥濃度、有機物濃度

濃縮汚泥中の汚泥濃度と有機物濃度は以下の値に設定した。

$$\text{濃縮汚泥濃度} = 3.5\%$$

$$\text{濃縮汚泥有機物濃度} = 80\%$$

③濃縮汚泥固形物量、有機物量

濃縮汚泥中の固形物量と有機物量は以下の式により算出した。

$$(式 5.4) \quad \text{濃縮汚泥固形物量} = \text{濃縮汚泥量} \times \text{濃縮汚泥濃度}$$

$$(式 5.5) \quad \text{濃縮汚泥有機物量} = \text{濃縮汚泥固形物量} \times \text{濃縮汚泥有機物濃度}$$

2)消化汚泥

①消化汚泥固形物量、有機物量

下水道施設計画・設計指針⁹⁾より、消化による有機分の除去率を 50%と設定した。固形分としては、濃縮汚泥有機物濃度(=80%)から計算すると 40%除去されることとなる。よって消化汚泥中の有機物量、固形物量は以下の式で表される。

$$(式 5.6) \quad \text{消化汚泥有機物量} = \text{濃縮汚泥有機物量} \times 0.5$$

$$(式 5.7) \quad \text{消化汚泥固形物量} = \text{濃縮汚泥固形物量} \times 0.6$$

3)脱水汚泥

①脱水汚泥含水率

下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン³⁾を参考に、脱水汚泥の含水率は 81%と設定した。

$$(式 5.8) \quad \text{脱水汚泥含水率} = 81\%$$

②脱水汚泥量

脱水汚泥量は式 5.8 を用い、以下の式により算出した。

$$(式 5.9) \quad \text{脱水汚泥量} = \text{消化汚泥固形物量} \div \{(100 - \text{脱水汚泥含水率}) / 100\}$$

4)バイオガス

①発生バイオガス量

下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン³⁾より、バイオガス量は以下の式より求めた。

$$(式 5.10) \quad \text{発生バイオガス量}$$

$$= \text{濃縮汚泥量} \times \text{濃縮汚泥固形物濃度} \times \text{濃縮汚泥有機物濃度} \times \text{ガス転化量}(\%)$$

$$\text{※ガス転化量} = 0.550 \text{Nm}^3/\text{kgVS}(\text{投入 VS あたり})$$

②加温ガスの割合

下水道統計より発電設備が導入されている施設の発生バイオガス量と加温ガス量から、発生したバイオガスのうち消化槽の加温に使用されるバイオガス量を、以下のように設定した。

$$(式 5.11) \quad \text{加温ガス/バイオガス} = 0.32 (=32\%)$$

5)電力

①電力使用量

下水道統計より処理水量と電力使用量の相関を図 5.6 に示す。処理水量と電力使用量は $R^2 = 0.8885$ と強い相関があることが分かる。このことから、電力使用量は処理水量を用いて以下の式で表される。

$$(式 5.12) \quad \text{電力使用量(千 kWh/年)} = 0.1406 \times \text{処理水量}(\text{m}^3/\text{日})$$

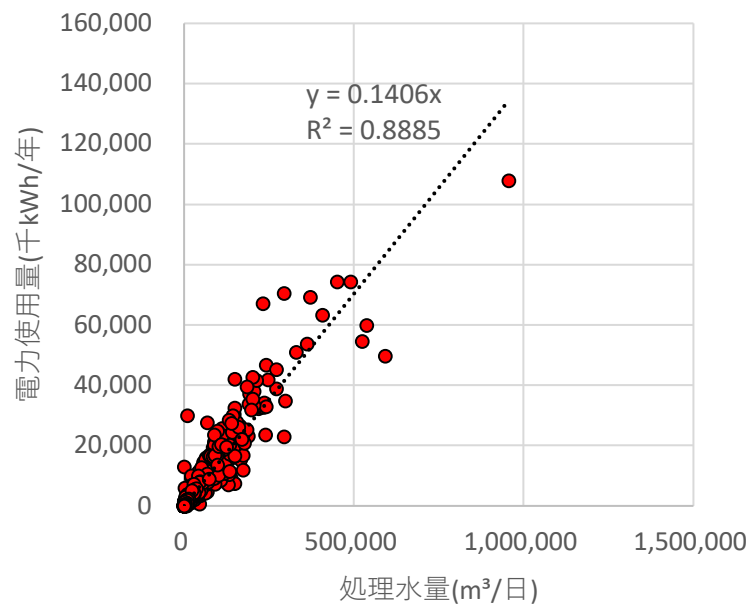


図 5.6 処理水量と電力使用量の相関(n=2176)

②契約電力量

下水道統計より電力使用量と契約電力の相関を図 5.7 に示す。電力使用量と契約電力は $R^2=0.9302$ と強い相関があることが分かる。このことから、契約電力は電力使用量を用いて以下の式で表される。

(式 5.13) 契約電力(kW/月) = $0.1727 \times$ 電力使用量(千 kWh/年)

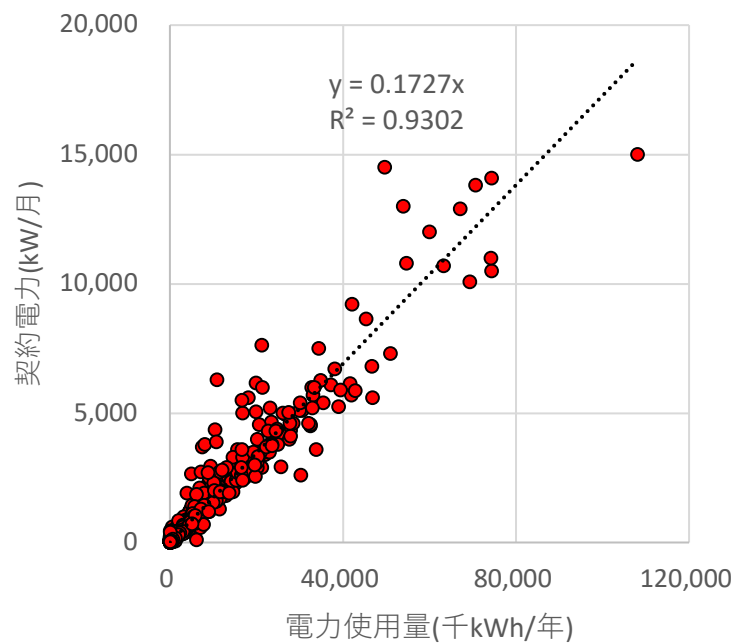


図 5.7 電力使用量と契約電力の相関(n=2176)

③電力料金

下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン³⁾より、電量料金単価を 14 円/kWh とした。電力料金は以下の式で表される。

$$(式 5.14) \quad \text{電力料金} = 14 \times \text{電力使用量}$$

④基本電力単価、基本料金

下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン³⁾より、契約電力と基本電力単価の関係の表を以下に示す。

表 5.3 契約電力と基本電力単価の関係

種別	契約電力	基本料金 契約電力1kWにつき
特別高压電力B	2000kW以上	1510円
高压電力	500kW以上 2000kW未満	1560円

表 5.3 の値を用い、基本料金を以下の式より算出した。

$$(式 5.15) \quad \text{基本料金} = \text{契約電力} \times \text{基本電力単価} \times 12 \text{ カ月}$$

6)発電設備

①発電量

下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン³⁾を参考に以下の二つの発電機を用いることとした。表 5.4 に発電設備の仕様を示す。それぞれのケースにおいて、発電に使用するバイオガス量と発電設備のバイオガス消費量を考慮し、出力と台数を決定した。発電量は以下の式より算出した。

$$(式 5.16) \quad \text{発電量} = \text{出力} \times \text{台数} \times \text{運転時間}(24\text{h}) \times 365(\text{日}) \times \text{稼働率}$$

表 5.4 発電設備の仕様

	小型発電機	中型発電機
出力	25kW	280kW
発電効率	32%	39%
排熱回収率	52%	41%
バイオガス消費量	13m ³ /h	131m ³ /h
負荷率	100%	100%
稼働率	99%	95%

②発電設備建設費、維持管理費

下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン³⁾より発電設備の建設費は以下の式で表されることを用いた。

$$(式 5.17) \quad \text{発電設備建設費(機械・電気)(百万円)} = 4.8485 \times \text{総発電規模(kW)}^{0.7556}$$

$$(式 5.18) \quad \text{発電設備建設費(土木・建築)(百万円)} = 0.0407 \times \text{総発電規模(kW)}^{1.288}$$

式 5.17、5.18 より求められた建設費を用いて建設費の年価を以下の式を用いて算出した。国庫補助率は場内利用：55% 売電：0%とする。売電の場合、売電用の送電設備建設費として、さらに発電設備建設費の10%を見込んだ。

$$(式 5.19) \quad \text{建設費年価} = \text{建設費} \times [r + \{r/(r+1)^{(n-1)}\}]$$

r：利子率、n：耐用年数(※)

(※)利子率 r：2.3%とし、耐用年数 n：15 年(機械・電気)、50 年(土木・建築)

発電設備の維持管理費は以下の式で表されることを用いた。売電の場合、売電用の送電設備維持管理費として発電設備維持管理費の10%を見込んだ。ただし維持管理費には人件費は含まれない。

$$(式 5.20) \quad \text{発電設備維持管理費(百万円)} = 0.0296 \times \text{総発電規模(kW)} + 5.9964$$

7)消化槽、脱水機更新費(消化槽新設の場合のみ)

バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル¹⁹⁾より次の費用関数を用いる。

表 5.5 消化槽・脱水機建設費、維持管理費算出式

設備	項目		算出式	備考
消化槽	建設費	機械	$Y = (0.516Qd)^{0.385}$	Y：建設費(億円)
		土木・建築	$Y = (0.169Qd)^{0.539}$	Qd：計画投入汚泥量(m ³ /日)
	維持管理費		$Y = (0.171Qy)^{0.390}$	Y：維持管理費(百万円/年) Qy：計画投入汚泥量(m ³ /年)
脱水機	建設費	機械	$Y = (0.434Qd)^{0.373}$	Y：建設費(億円)
		土木・建築	$Y = (0.227Qd)^{0.444}$	Qd：計画投入汚泥量(m ³ /日)
	維持管理費		$Y = (0.039Qy)^{0.596}$	Y：維持管理費(百万円/年) Qy：年間処理汚泥量(m ³ /年)

8)汚泥処分費(消化槽新設の場合のみ)

消化槽を新設する場合は、脱水汚泥処分費の削減分を維持管理費削減分として考慮し、汚泥処分単価は 16000 円/t-wet とする。

$$(式 5.21) \quad \text{汚泥処分費} = 16000 \times \text{脱水汚泥量} \times 365 \text{ 日}$$

9)便益

①購入電力削減効果

発電した電力を場内利用する場合、発電分の購入電力を削減できることから、購入電力削減効果は以下の式で表せる。

$$(式 5.22) \quad \text{購入電力削減効果} = \text{発電量} \times 14 \text{ 円/kWh}$$

②基本料金削減効果

発電した電力を場内利用する場合、常時発電している分の契約電力が下がることを想定し、基本料金の削減を見込む。それぞれのケースにおいて、発電機が何らかのトラブルで 1 台停止しても、ほかの発電設備が稼働しているため「常時運転台数－1 台」は常に稼働しているとし、基本料金の削減を見込む。基本料金の削減効果は以下の式で表せる。

$$(式 5.23) \quad \text{基本電力削減効果} = \text{発電設備出力} \times (\text{台数} - 1) \times \text{基本電力単価} \times 12 \text{ カ月}$$

③売電収入

発電した電力を、FIT 制度を用いて売電する場合、売電によって得られる売電収入は、以下の式で表される。ただし発電電力のうち、全量を売電するのではなく、80%を売電、残りの 20%を消化槽攪拌のために用いることとした。

$$(式 5.24) \quad \text{売電収入} = 39 \text{ 円/kWh} \times \text{発電量} \times 0.8$$

5.3 ケーススタディ結果

5.3.1 ケース 1(消化槽既設+場内利用)

ケース 1 の結果を表 5.6 と図 5.8、5.9、5.10、5.11 に示す。

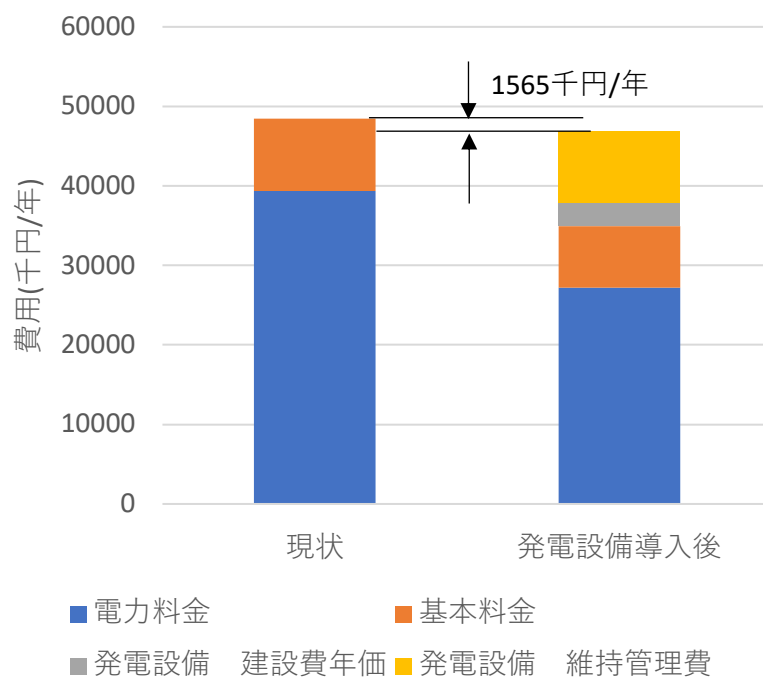
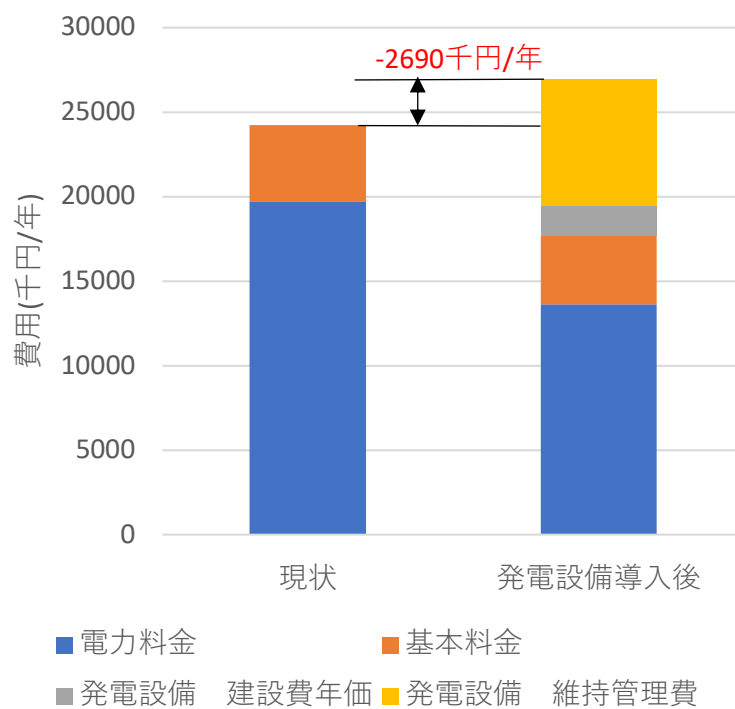
消化槽が既設の処理場にバイオガス発電を導入し、発電した電力を処理場内で利用した場合、処理水量が 20000m³/日以上の場合 1-2、1-3、1-4 において、発電による購入電力削減費用と基本料金削減費の合計が発電施設の建設費年価と維持管理費の合計を上回りバイオガス発電導入による効果があると試算された。また処理場の規模が大きければ大きいほど費用対効果があることが分かった。

ケース 1-3、1-4 では出力 280kW の中型発電機を採用したが、複数の小型発電機を採用することでトラブル時・点検時の発電機停止による影響が少なく済むのに加えて、常時稼働している発電機が多くなるため基本料金の削減がさらに見込めることが考えられる。

ケース 1-1 ではバイオガス発電導入による効果が得られないことが示唆された。ケース 1-2、1-3、1-4 に比べ、総コストに占める発電設備維持管理費の割合が 8 割を超え、一番高くなっていた。バイオガス発電の導入検討の際、以下の 2 つの項目を考慮することで導入効果が大きくなることが考えられる。一つは、発生バイオガスのうち発電に使用するバイオガスの割合を高くすることである。その結果、発電量が増加し、便益が増えることが予想される。もう一つは、消化設備の更新時期に合わせてバイオガス発電を導入することである。ガスタンクやガス精製設備を更新する際、性能を高めることで脱硫装置、シロキサン除去装置などの建設費・維持管理費の削減が見込まれる。

表 5.6 ケース 1 の算出結果

項目		単位	消化槽既設＋場内利用				備考・算出根拠	
			ケース1-1	ケース1-2	ケース1-3	ケース1-4		
施設規模	処理水量	m³/日	10000	20000	50000	100000	設定値	
濃縮汚泥	汚泥量	m³/日	53	105	264	527	式5.1、5.2、5.3	
	汚泥濃度	%	3.5	3.5	3.5	3.5	設定値	
	有機物濃度	%	80	80	80	80	設定値	
バイオガス	バイオガス量	Nm³/日	893	1786	4466	8932	式5.10	
	バイオガス量	m³/h	43	86	214	428	単位換算	
	加温ガス/バイオガス	%	32	32	32	32	設定値	
電力	電力使用量	千kWh/年	1406	2812	7030	14060	式5.12	
	契約電力	kW/月	243	486	1214	2428	式5.13	
	電力料金	千円/年	19684	39368	98420	196840	式5.14	
	基本電力単価	kW/円	1560	1560	1560	1510	表5.3	
	基本料金	千円/年	4546	9091	22728	43998	式5.15	
発電設備	出力	kW	25	25	280	280	表5.4	
	台数	台	2	4	1	2		
	発電量	kWh/年	433620	867240	2266320	4532640	式5.16	
発電設備コスト	建設費	機械・電気設備	百万円	93	157	343	578	式5.17
		土木・建築設備	百万円	6	15	58	141	式5.18
		計	百万円	99	173	400	719	
		建設費年価	千円/年	1752	3023	6917	12277	式5.19
	維持管理費		千円/年	7476	8956	14284	22572	式5.20
事業費の合計(=C)		千円/年	9229	11980	21202	34849	発電設備の建設費 年価＋維持管理費	
便益	購入電力削減	千円/年	6071	12141	31728	63457	式5.22	
	基本料金削減	千円/年	468	1404	0	5242	式5.23	
	便益の合計(=B)	千円/年	6539	13545	31728	68699		
収支(B－C)		千円/年	-2690	1565	10527	33849		



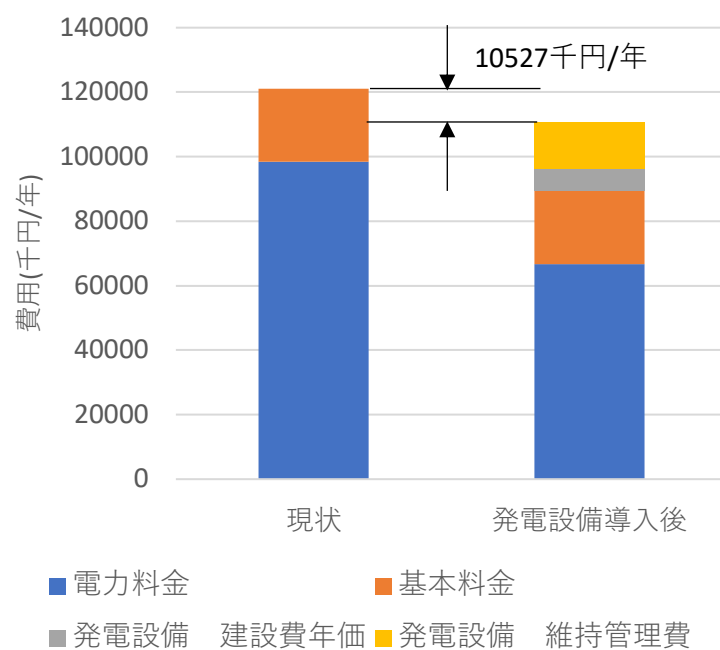


図 5.10 ケース 1-3 (処理水量：50000m³/日)

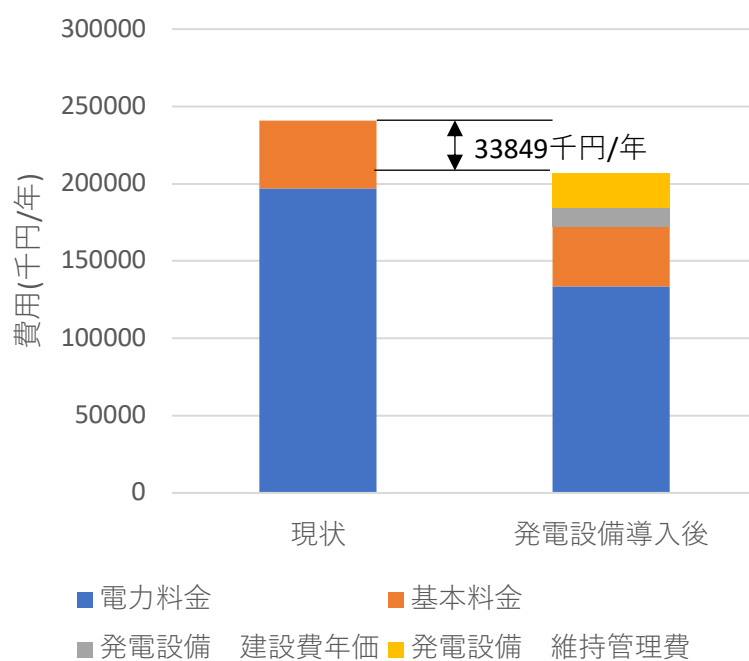


図 5.11 ケース 1-4(処理水量 100000m³/日)

5.3.2 ケース 2(消化槽既設＋売電)

ケース 2 の結果を表 5.7 と図 5.12、5.13、5.14、5.15 に示す。

消化槽が既設の処理場にバイオガス発電を導入し、FIT 制度を活用し発電した電力を売電した場合、2-1~2-4 のすべてのケースにおいて導入効果があると試算された。導入効果については、図中に示されているように発電設備の建設費年価と維持管理費の合計から、売電収入を引いた値で評価した。

便益については、ケース 1 の場内利用による購入電力削減費と基本料金削減費の合計よりも、ケース 2 の売電収入の方が二倍を上回る結果となった。

ケース 1 では費用対効果が負であった 10000m³/日のケースでは、発電した電力を売電することで費用対効果が得られ、また施設規模が大きければ大きいほど、導入による費用対効果が高いことが示唆された。

ケース 1、2 を比較すると発電した電力を場内利用よりも売電した方が導入効果を得やすいことが考えられる。

表 5.7 ケース 2 の算出結果

項目			単位	消化槽既設＋売電				備考・算出根拠
				ケース2-1	ケース2-2	ケース2-3	ケース2-4	
施設規模	処理水量		m³/日	10000	20000	50000	100000	設定値
濃縮汚泥	汚泥量		m³/日	53	105	264	527	式5.1、5.2、5.3
	汚泥濃度		%	3.5	3.5	3.5	3.5	設定値
	有機物濃度		%	80	80	80	80	設定値
バイオガス	バイオガス量		Nm³/日	893	1786	4466	8932	式5.10
	バイオガス量		m³/h	43	86	214	428	単位換算
	加温ガス/バイオガス		%	32	32	32	32	設定値
電力	電力使用量		千kWh/年	1406	2812	7030	14060	式5.12
	契約電力		kW/月	243	486	1214	2428	式5.13
	電力料金		千円/年	19684	39368	98420	196840	式5.14
	基本電力単価		kW/円	1560	1560	1560	1510	表5.3
	基本料金		千円/年	4546	9091	22728	43998	式5.15
発電設備	出力		kW	25	25	280	280	表5.4
	台数		台	2	4	1	2	
	発電量		kWh/年	433620	867240	2266320	4532640	式5.16
発電設備コスト	建設費	機械・電気設備	百万円	93	157	343	578	式5.17
		土木・建築設備	百万円	6	15	58	141	式5.18
		計	百万円	99	173	400	719	
		建設費年価	千円/年	4283	7391	16909	30010	式5.19
	維持管理費		千円/年	8224	9852	15713	24830	式5.20
事業費の合計(＝C)			千円/年	12507	17243	32622	54840	発電設備の建設費 年価＋維持管理費
便益	売電収入(＝B)		千円/年	13529	27058	70709	141418	式5.24
収支(B－C)			千円/年	1022	9815	38087	86578	

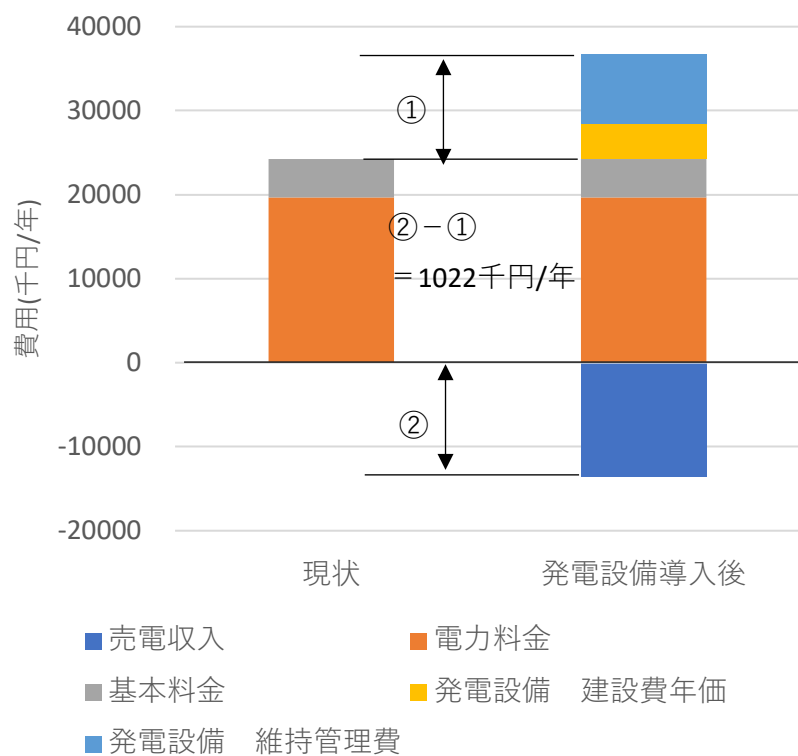


図 5.13 ケース 2-1(処理水量：10000m³/日)

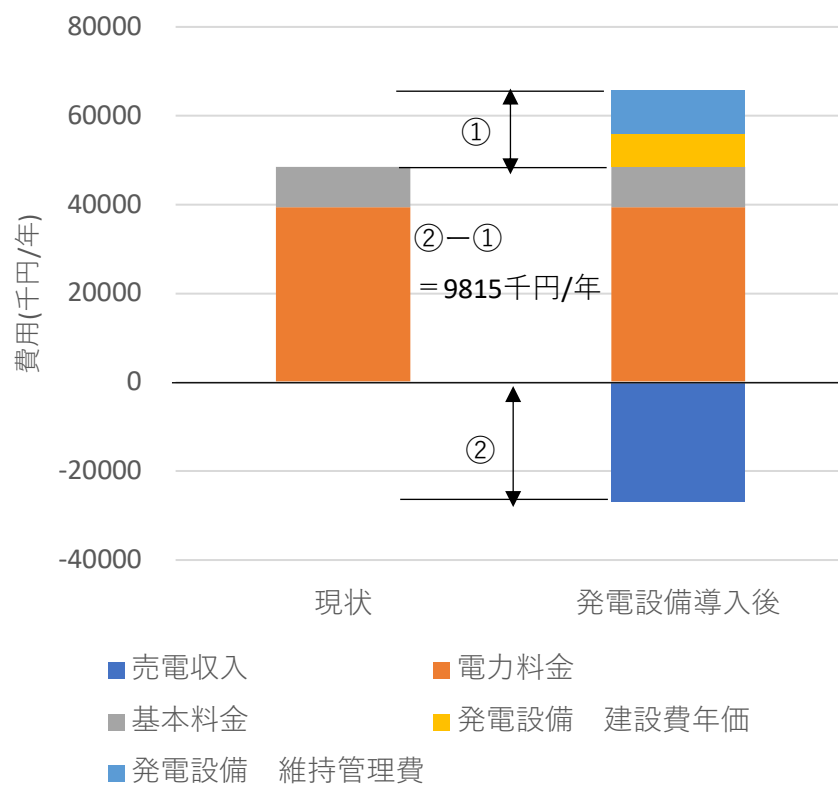


図 5.14 ケース 2-2(処理水量：20000m³/日)

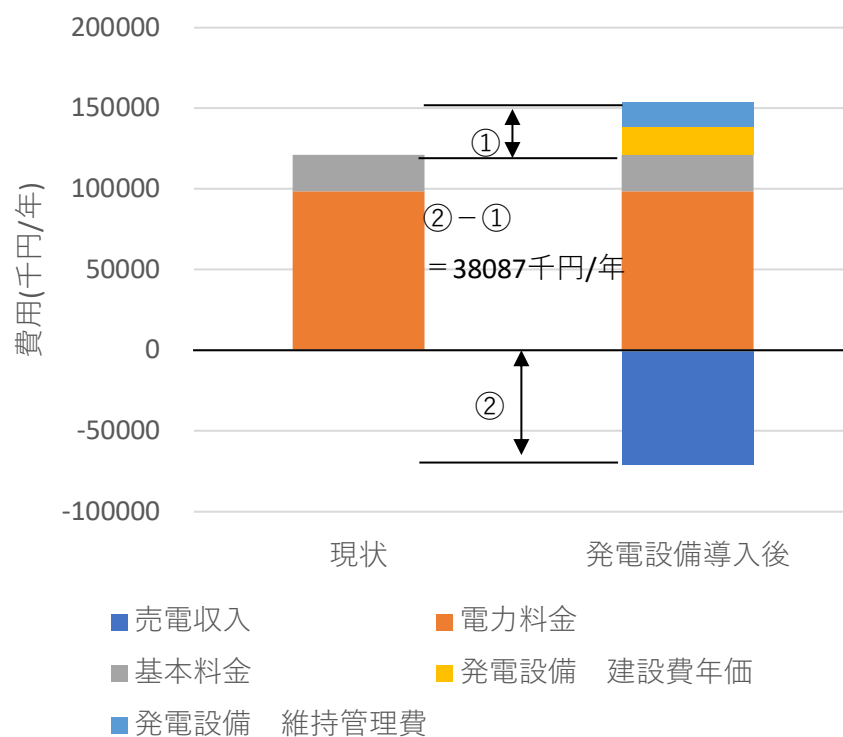


図 5.15 ケース 2-3(処理水量：50000m³/日)

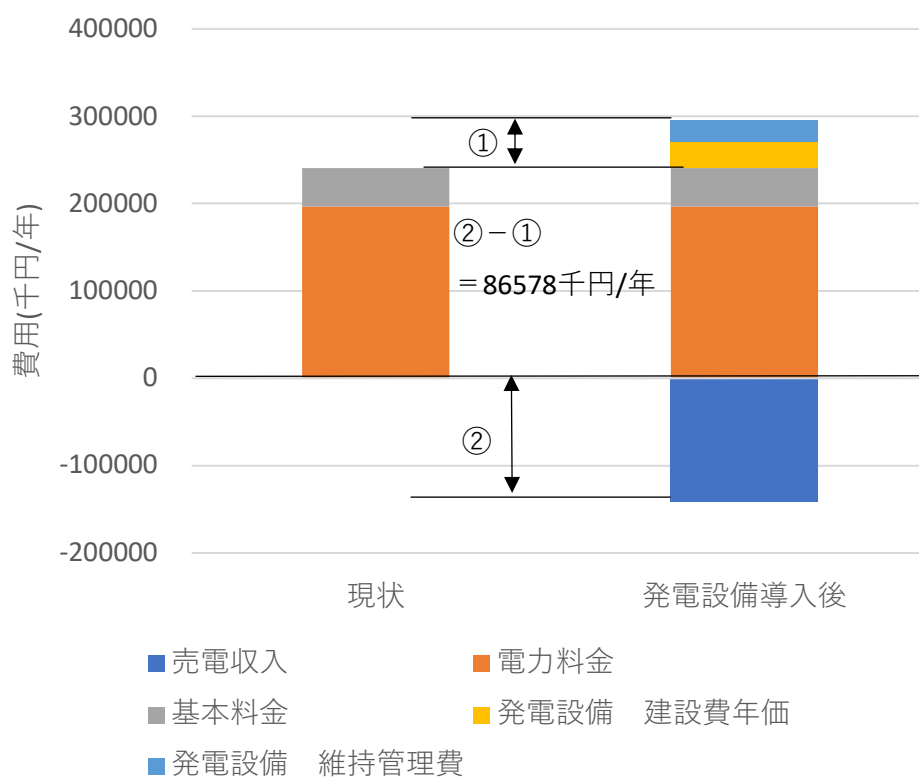


図 5.16 ケース 2-4(処理水量：100000m³/日)

5.3.3 ケース 3(消化槽新設+場内利用)

ケース 3 の結果を表 5.8 と図 5.17、5.18、5.19、5.20 に示す。

消化槽を新設することで、消化槽の建設費年価と維持管理費が加わる。また便益には発電電力の場内利用による電力削減効果に加え、消化槽新設によって脱水機更新費用(建設費年価・維持管理費)の削減、汚泥処分費の削減が加わる。これは下水汚泥の処理工程において、消化工程を加えることで、後段の脱水機に投入する汚泥・最終処分する汚泥の量が減量化するためである。

施設規模別の結果を見ると、処理水量が 10000m³/日、20000m³/日の小規模下水処理場は、それぞれ 2162 万円/年、1437 万円/年、コストの方が便益を上回る結果となり、あまり導入効果が得られないことが示唆された。消化槽を新設しても、しばらく既存の脱水設備を継続使用する場合を考えると、脱水機更新費用削減効果が見こまれないことからこの値よりもさらにコストの方が上回ることも考えられる。

コストの中で一番大きい割合を占めている汚泥処分費は、処理水量が多ければ大きいほど、汚泥処分費の削減額も大きくなるため、小規模処理場では、スケールメリットが働きづらい結果となったことが示唆された。

中規模処理場、大規模処理場などある程度まとまった下水汚泥と、そこから発生するバイオガスが存在する場合はバイオガス発電を導入することで効果が得やすいが、小規模処理場では、汚泥やバイオガスの有効利用としてバイオガス発電を導入するのが必ずしも正解とは限らない結果となった。有効利用法としては、処理場ごとの特性を踏まえ検討していく必要があると考えられる。

表 5.8 ケース 3 の算出結果

項目			単位	消化槽新設+場内利用				備考・算出根拠
				ケース3-1	ケース3-2	ケース3-3	ケース3-4	
施設規模		処理水量	m³/日	10000	20000	50000	100000	設定値
濃縮汚泥		汚泥量	m³/日	53	105	264	527	式5.1、5.2、5.3
		汚泥濃度	%	3.5	3.5	3.5	3.5	設定値
		有機物濃度	%	80	80	80	80	設定値
		固形物量	t-DS/日	2.03	4.06	10.15	20.3	式5.4
		有機物量	t-VS/日	1.624	3.248	8.12	16.24	式5.5
消化汚泥		固形物量(日平均)	t-DS/日	1.218	2.436	6.09	12.18	式5.7
		有機物量(日平均)	t-VS/日	0.812	1.624	4.06	8.12	式5.6
脱水汚泥		含水率	%	81	81	81	81	式5.8
		汚泥量(日平均)	t-wet/日	6.41	12.82	32.05	64.11	式5.9
バイオガス		バイオガス量	Nm³/日	893	1786	4466	8932	式5.10
		バイオガス量	m³/h	43	86	214	428	単位換算
		加温ガス/バイオガス	%	32	32	32	32	設定値
電力		電力使用量	千kWh/年	1406	2812	7030	14060	式5.12
		契約電力	kW/月	243	486	1214	2428	式5.13
		電力料金	千円/年	19684	39368	98420	196840	式5.14
		基本電力単価	kW/円	1560	1560	1560	1510	表5.3
		基本料金	千円/年	4546	9091	22728	43998	式5.15
発電設備		出力	kW	25	25	280	280	表5.4
		台数	台	2	4	1	2	
		発電量	kWh/年	433620	867240	2266320	4532640	式5.16
発電設備コスト	建設費	機械・電気設備	百万円	93	157	343	578	式5.17
		土木・建築設備	百万円	6	15	58	141	式5.18
		計	百万円	99	173	400	719	
		建設費年価	千円/年	1752	3023	6917	12277	式5.19
	維持管理費		千円/年	7476	8956	14284	22572	式5.20
消化槽コスト	建設費	土木・建築施設	億円	3.6	5.3	8.7	12.6	表5.5
		機械設備	億円	4.0	5.2	7.4	9.7	
		計	億円	7.6	10.5	16.1	22.3	
		建設費年価	千円/年	12136	16583	25165	34613	
	維持管理費		千円/年	21576	28272	40417	52962	
脱水機コスト	更新費 (消化しない場合)	土木建築施設	億円	3.3	4.5	6.8	9.2	
		機械設備	億円	3.6	4.7	6.6	8.5	
		計	億円	6.9	9.2	13.3	17.7	
		建設費年価	千円/年	10975	14511	21008	27813	
	維持管理費(消化しない場合)		千円/年	12211	18458	31868	48169	
	更新費 (消化する場合)	土木建築施設	億円	3.3	4.5	6.7	9.1	
		機械設備	億円	3.6	4.6	6.5	8.4	
		計	億円	6.9	9.1	13.2	17.6	
		建設費年価	千円/年	10913	14428	20888	27655	
	維持管理費(消化する場合)		千円/年	12109	18303	31601	47766	
汚泥処分費			千円/年	37437	74875	187187	374375	式5.21
便益	購入電力削減		千円/年	6071	12141	31728	63457	式5.22
	基本料金削減		千円/年	468	1404	0	5242	式5.23
	脱水機更新費削減効果		千円/年	62.1	82.3	119.4	158.5	
	脱水機維持管理費削減効果		千円/年	102.2	154.5	266.7	403.1	
	汚泥処分費削減効果		千円/年	14975	29950	74875	149750	
事業費(=C)			千円/年	42940	56836	86783	122424	発電設備コスト+ 消化槽コスト
便益(=B)			千円/年	21315	42465	107184	214021	
収支(B-C)			千円/年	-21625	-14371	20400	91597	

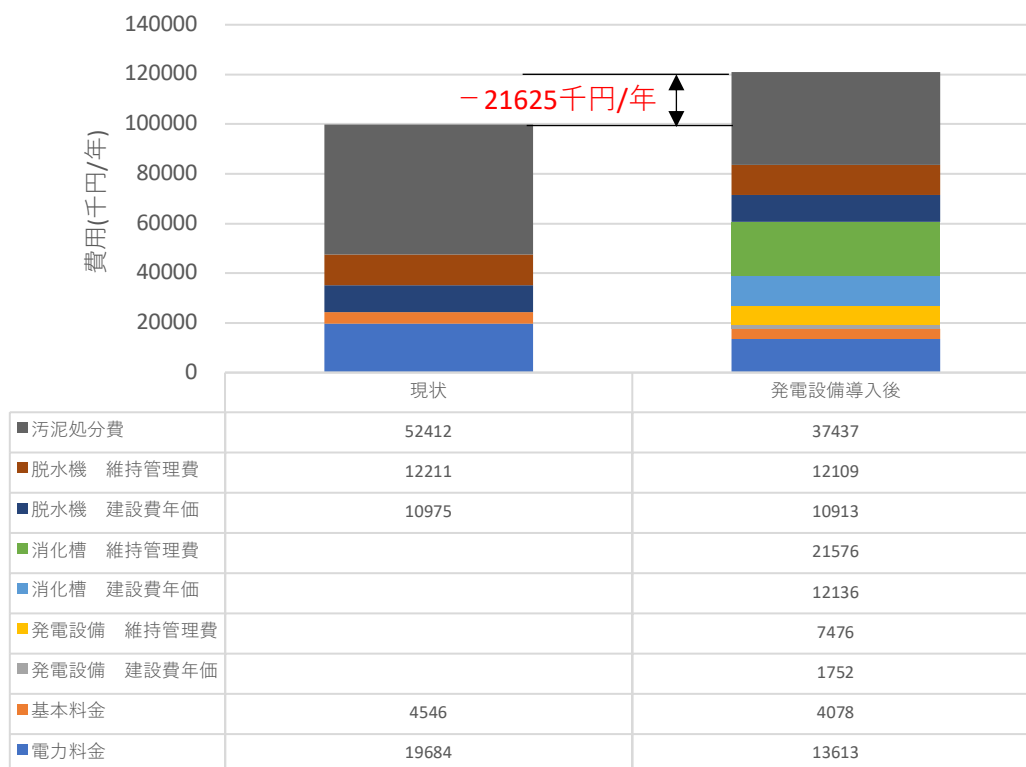


図 5.17 ケース 3-1(処理水量 10000m³/日)

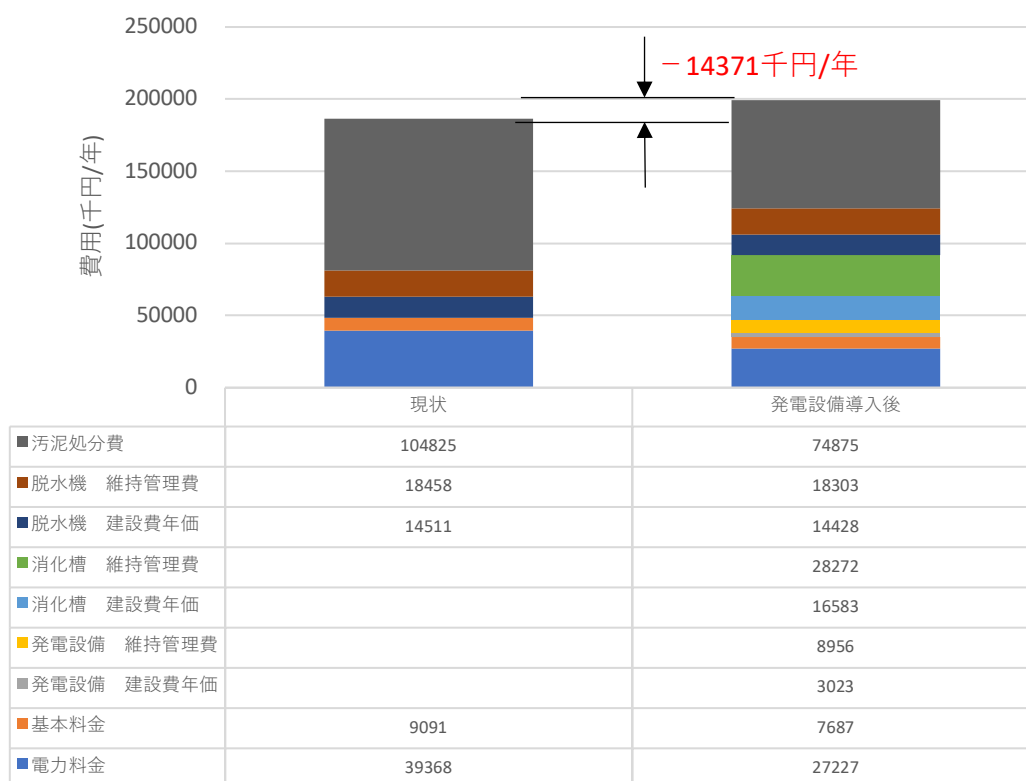


図 5.18 ケース 3-2(処理水量 20000m³/日)

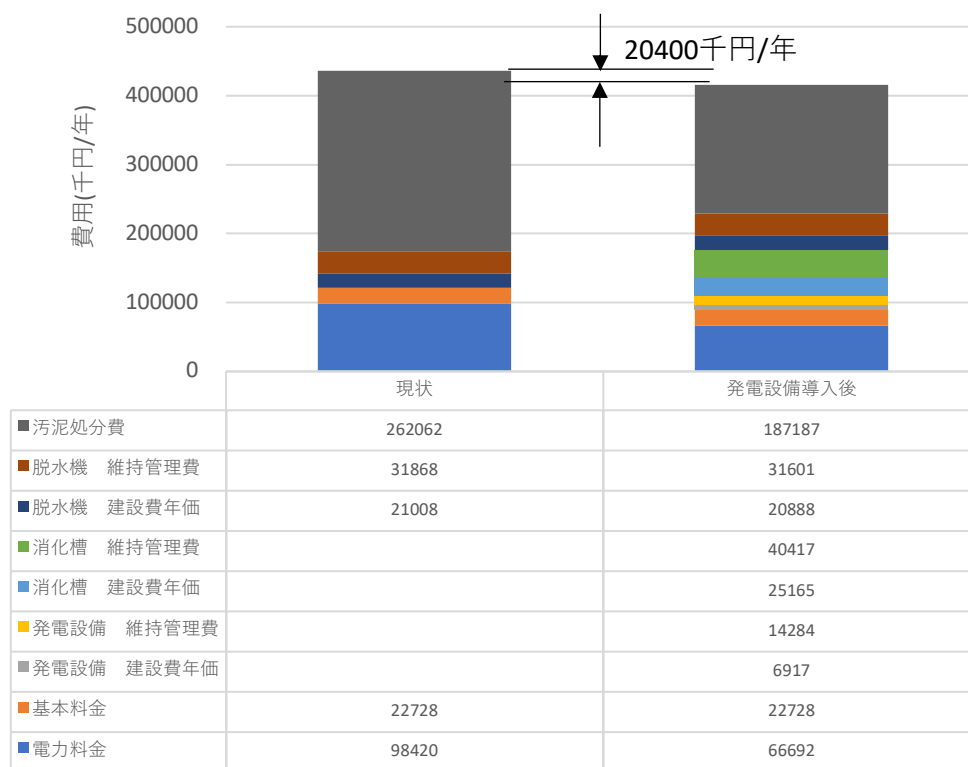


図 5.19 ケース 3-3(処理水量：50000m³/日)

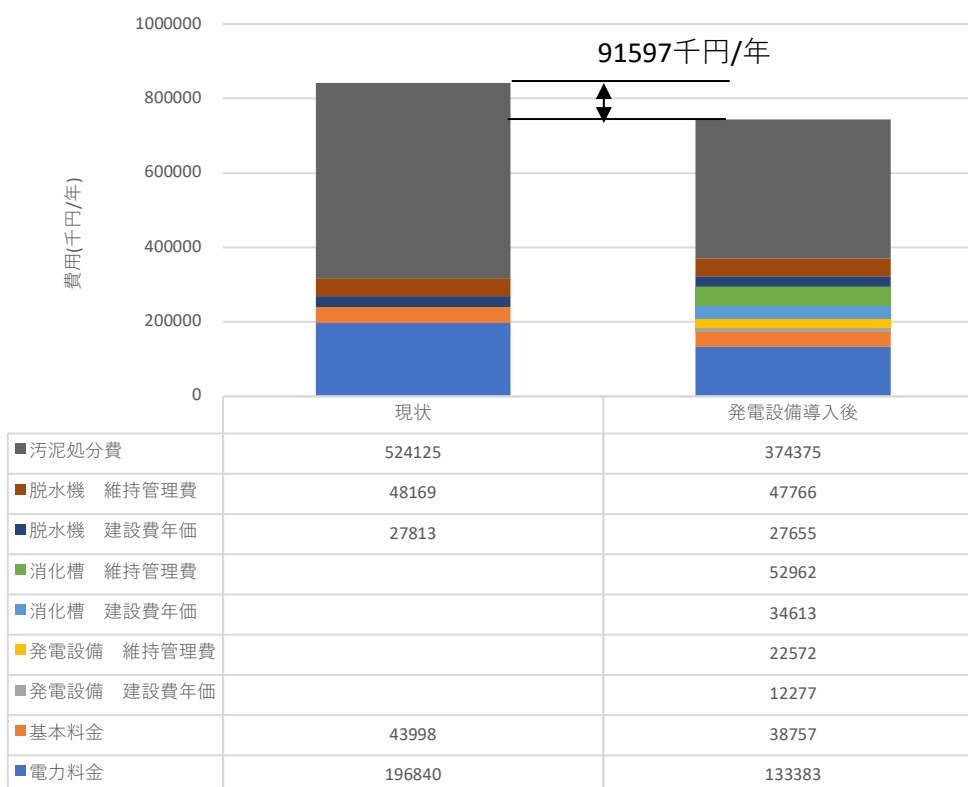


図 5.20 ケース 3-4(処理水量：100000m³/日)

5.3.4 ケース 4(消化槽新設+売電)

ケース 4 の結果を表 5.9 と図 5.21、5.22、5.23、5.24 に示す。

ケース 3 同様、消化槽を新設することで、消化槽の建設費年価と維持管理費が加わる。また便益には発電電力の売電収入に加え、消化槽新設によって脱水機更新費用(建設費年価・維持管理費)の削減、汚泥処分費の削減が加わる。

施設規模別の結果を見ると、処理水量が 10000m³/日、20000m³/日の小規模下水処理場は、それぞれ 1744 万円/年、471 万円/年、コストの方が便益を上回る結果となり、あまり導入効果が得られないことが示唆された。しかし、ケース 3 と比較すると、発電電力を場内利用するよりも、売電した方が効果を得やすいことが分かる。処理水量が 50000m³/日のケース 4-3 では 4796 万円/年、100000m³/日のケース 4-4 では約 1 億 5000 万円/年の効果が得られると試算されたことから、スケールメリットが働きやすいことが分かった。図 5.24 を見ると、処理場の施設規模が一番大きいケース 4-4 は、消化槽の建設費年価と維持管理費、発電設備の建設費年価と維持管理費よりも汚泥処分費の削減費用が上回り、売電収入を除いても便益が上回ると試算された。このことから、施設規模が大きいと発電設備導入による効果よりも、消化槽を新設する小尾から得られる汚泥処分費の削減効果の方が大きいことが示唆された。

表 5.9 ケース 4 の算出結果

項目			単位	消化槽新設＋売電				備考・算出根拠
				ケース4-1	ケース4-2	ケース4-3	ケース4-4	
施設規模		処理水量	m ³ /日	10000	20000	50000	100000	設定値
濃縮汚泥		汚泥量	m ³ /日	53	105	264	527	式5.1、5.2、5.3
		汚泥濃度	%	3.5	3.5	3.5	3.5	設定値
		有機物濃度	%	80	80	80	80	設定値
		固形物量	t-DS/日	2.03	4.06	10.15	20.3	式5.4
		有機物量	t-VS/日	1.624	3.248	8.12	16.24	式5.5
消化汚泥		固形物量(日平均)	t-DS/日	1.218	2.436	6.09	12.18	式5.7
		有機物量(日平均)	t-VS/日	0.812	1.624	4.06	8.12	式5.6
脱水汚泥		含水率	%	81	81	81	81	式5.8
		汚泥量(日平均)	t-wet/日	6.41	12.82	32.05	64.11	式5.9
バイオガス		バイオガス量	Nm ³ /日	893	1786	4466	8932	式5.10
		バイオガス量	m ³ /h	43	86	214	428	単位換算
		加温ガス/バイオガス	%	32	32	32	32	設定値
電力		電力使用量	千kWh/年	1406	2812	7030	14060	式5.12
		契約電力	kW/月	243	486	1214	2428	式5.13
		電力料金	千円/年	19684	39368	98420	196840	式5.14
		基本電力単価	kW/円	1560	1560	1560	1510	表5.3
		基本料金	千円/年	4546	9091	22728	43998	式5.15
発電設備		出力	kW	25	25	280	280	表5.4
		台数	台	2	4	1	2	
		発電量	kWh/年	433620	867240	2266320	4532640	式5.16
発電設備コスト	建設費	機械・電気設備	百万円	93	157	343	578	式5.17
		土木・建築設備	百万円	6	15	58	141	式5.18
		計	百万円	99	173	400	719	
		建設費年価	千円/年	4283	7391	16909	30010	式5.19
	維持管理費		千円/年	8224	9852	15713	24830	式5.20
消化槽コスト	建設費	土木・建築施設	億円	3.6	5.3	8.7	12.6	表5.5
		機械設備	億円	4.0	5.2	7.4	9.7	
		計	億円	7.6	10.5	16.1	22.3	
		建設費年価	千円/年	12135.9	16583.3	25164.9	34613.1	
	維持管理費		千円/年	21575.5	28272.4	40416.6	52961.7	
脱水機コスト	更新費 (消化しない場合)	土木建築施設	億円	3.3	4.5	6.8	9.2	
		機械設備	億円	3.6	4.7	6.6	8.5	
		計	億円	6.9	9.2	13.3	17.7	
		建設費年価	千円/年	10975	14511	21008	27813	
	維持管理費(消化しない場合)		千円/年	12211	18458	31868	48169	
	更新費 (消化する場合)	土木建築施設	億円	3.3	4.5	6.7	9.1	
		機械設備	億円	3.6	4.6	6.5	8.4	
		計	億円	6.9	9.1	13.2	17.6	
		建設費年価	千円/年	10913	14428	20888	27655	
	維持管理費(消化する場合)		千円/年	12109	18303	31601	47766	
汚泥処分費			千円/年	37437	74875	187187	374375	式5.21
便益	売電収入		千円/年	13529	27058	70709	141418	式5.24
	脱水機更新費削減効果		千円/年	167	219	314	412	
	脱水機維持管理費削減効果		千円/年	102	154	267	403	
	汚泥処分費削減効果		千円/年	14975	29950	74875	149750	
事業費(=C)			千円/年	46219	62099	98203	142415	発電設備コスト＋ 消化槽コスト
便益(=B)			千円/年	28773	57381	146164	291983	
収支(B－C)			千円/年	-17446	-4717	47961	149568	

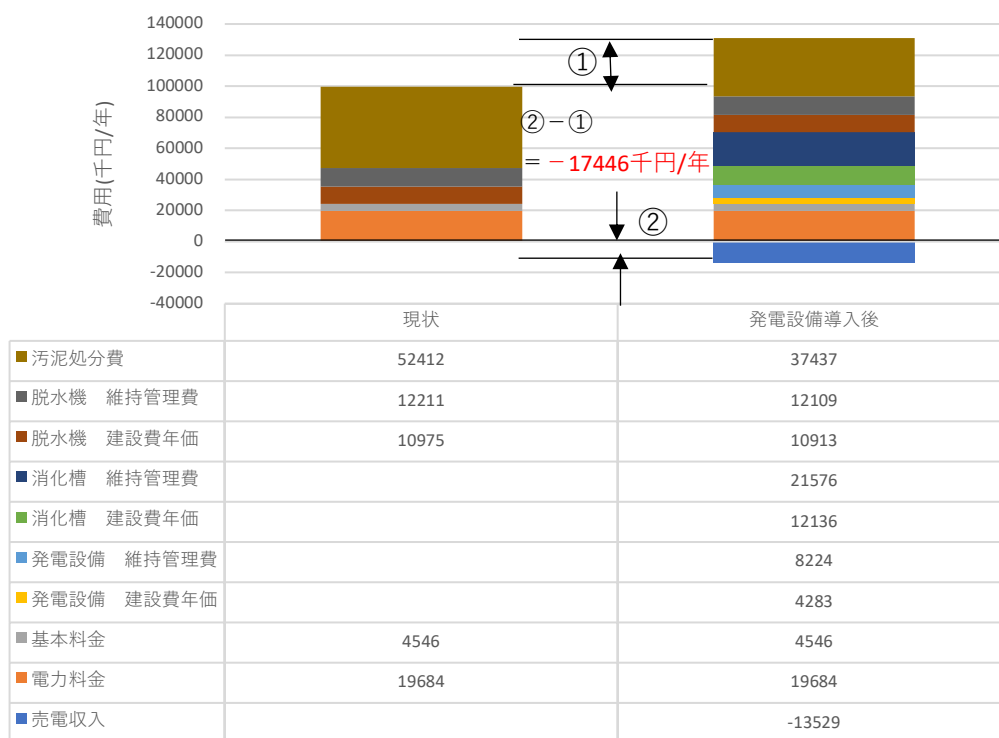


図 5.21 ケース 4-1(処理水量：10000m³/日)

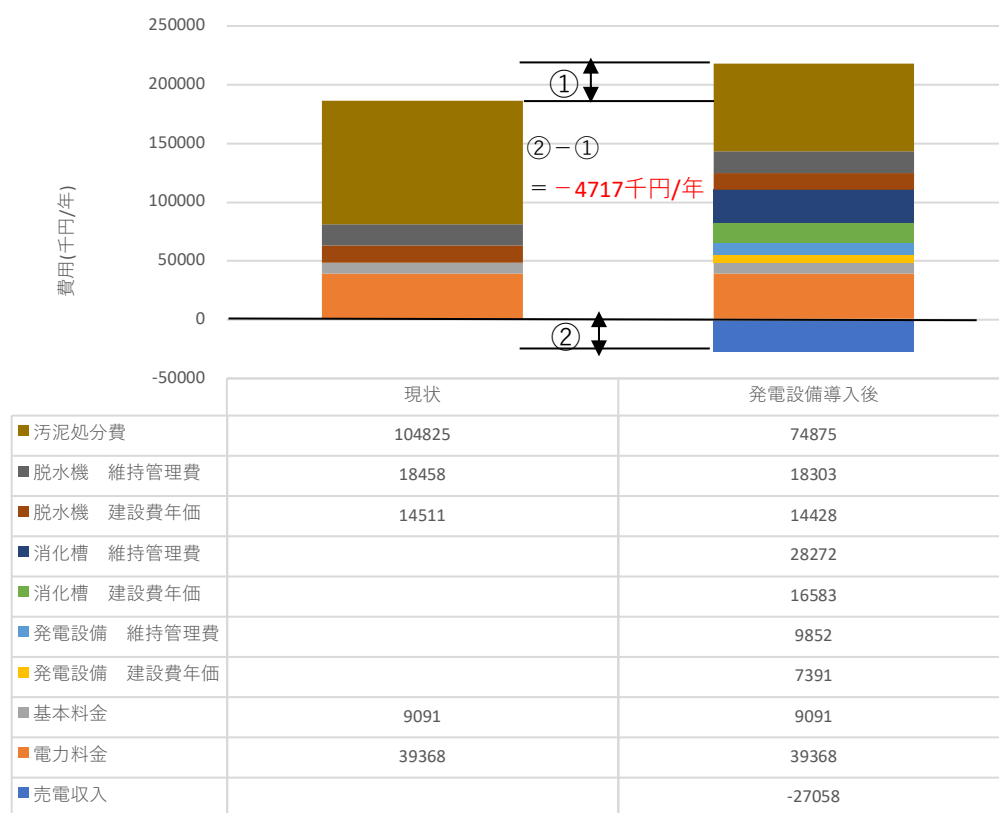


図 5.22 ケース 4-2(処理水量：20000m³/日)

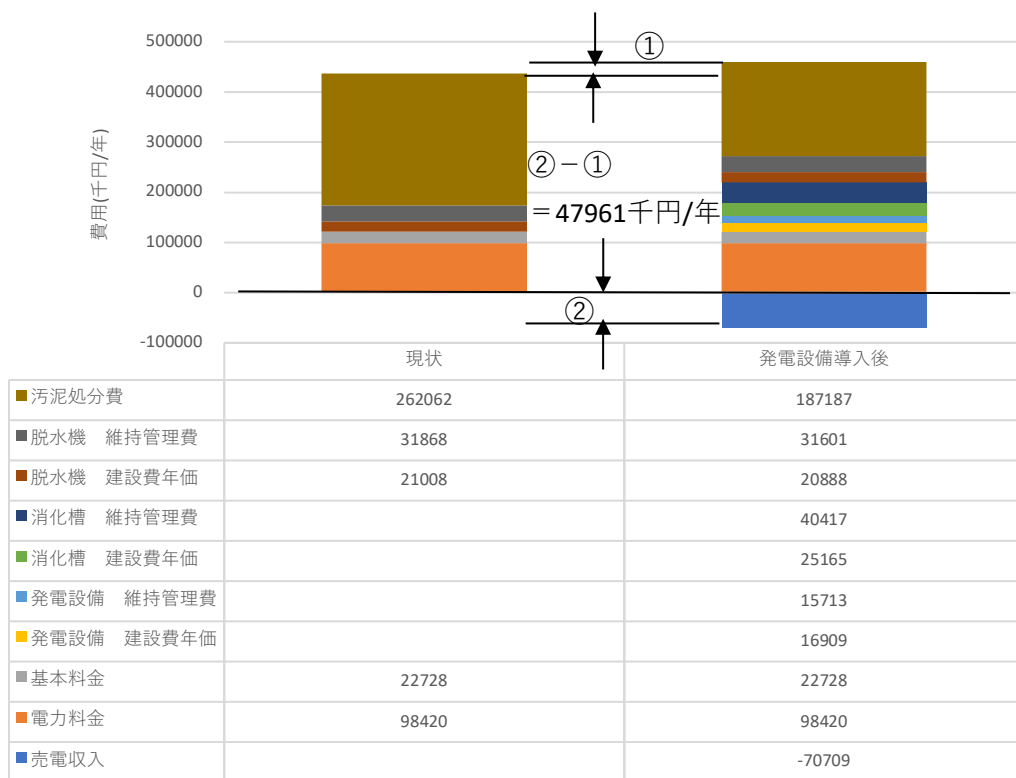


図 5.23 ケース 4-3(処理水量：50000m³/日)

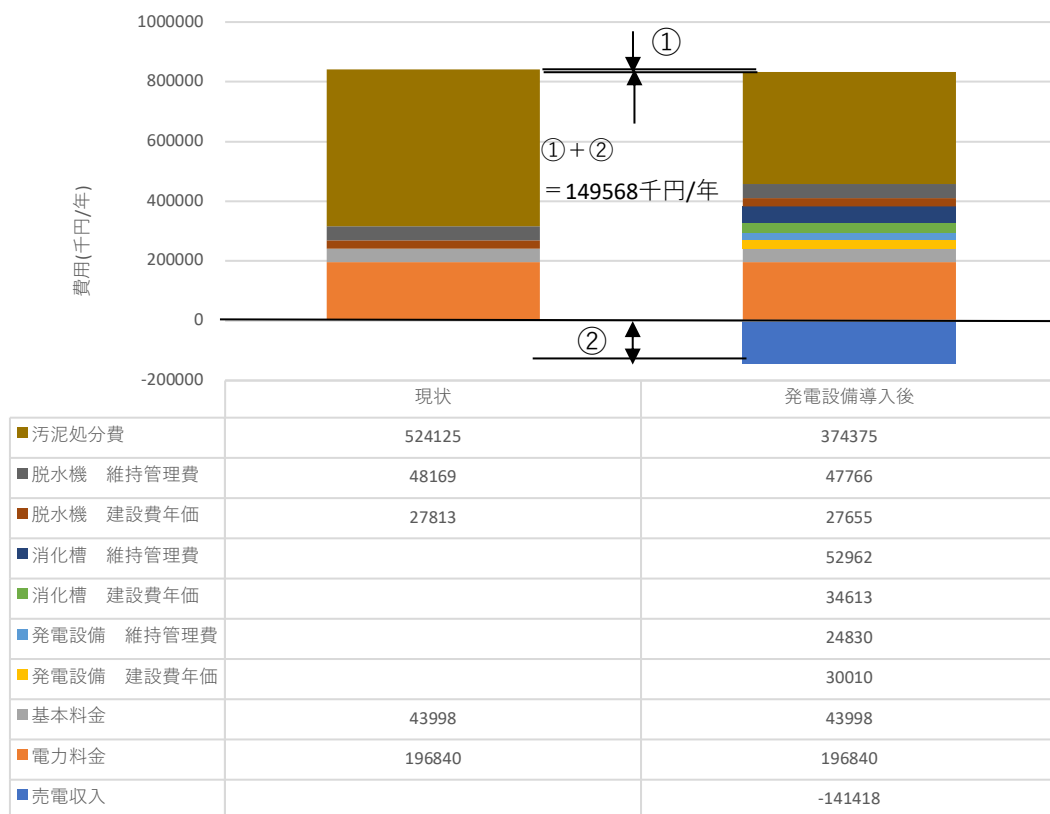


図 5.24 ケース 4-4(処理水量：100000m³/日)

第6章 バイオガス発電の導入コスト検討ー地域バイオマス混合ー

6.1 概要

5章では施設規模の異なる4ケースを対象に消化ガス発電を導入した際のコスト検討を行った。本章では、5章におけるケース4(消化槽新設+売電)の場合に、地域バイオマス混合消化を導入した場合のコスト検討を行った。

図6.1に地域バイオマス導入のイメージ図を示す。

地域バイオマスを導入すると、受入設備、前処理設備、混合設備を新設する必要がある。下水汚泥は濃縮後、混合設備にて地域バイオマスと混合し、その後消化する。地域バイオマスを導入することで、発生するバイオガス量が増加し、バイオガス発電で得られる電力はさらに増加することが見込まれる。

受け入れる地域バイオマスの対象は、事業系生ごみ、し尿、浄化槽汚泥とし、バイオガス発電より得られた電力はFIT制度を利用して売電することとした。生ごみについては、家庭系生ごみと事業系生ごみがあるが、家庭系生ごみは収集率が低いこと、住民への周知が必要で分別の徹底が困難であることを踏まえ、事業系生ごみのみ混合消化することとした。下水処理場で受け入れることで生ごみ中の有機物が持つエネルギーをバイオガスとして取り出し有効利用することができるとともに、生ごみが減ることで、焼却施設へのごみの量が減量し、焼却費・施設更新費を抑えることができる。し尿処理施設も下水道と同様に多くのエネルギーを消費する施設であることから、施設の老朽化に伴う改築・更新時期には、下水処理場と連携し混合消化することで、コスト面を考慮すると効率的な処理システムが求められている。

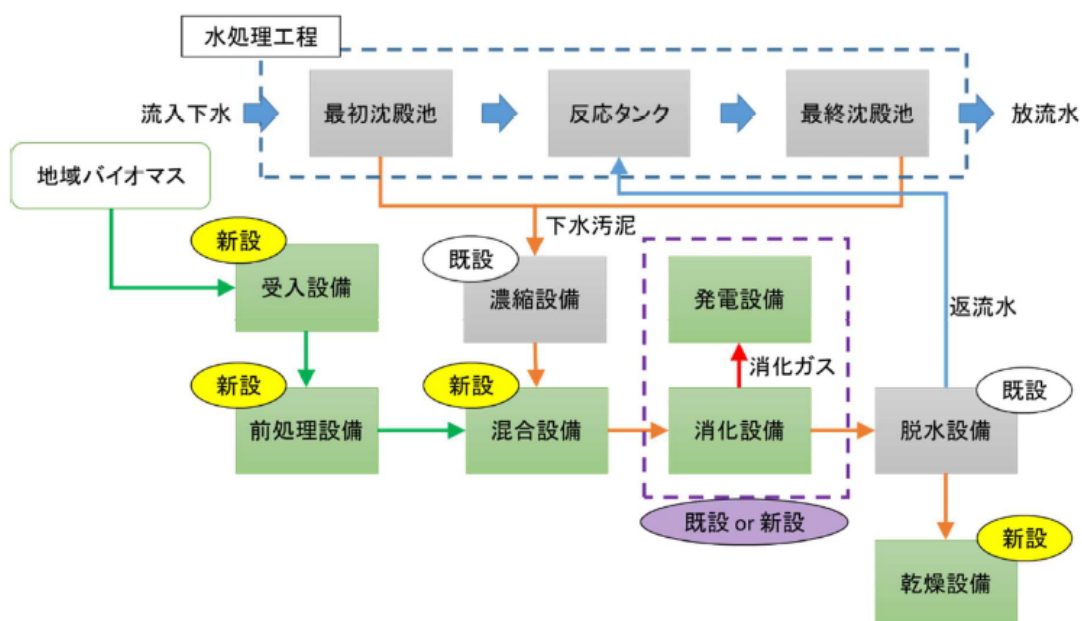


図 6.1 地域バイオマス導入のイメージ⁵⁾

6.2 ケース設定と検討項目

6.2.1 ケース設定

本項目では、コスト検討をするためのケース設定について示す。

1)施設規模

5 章と同様に処理水量 10000m³/日、20000m³/日、50000m³/日、100000m³/日の 4 ケースを想定した。

2)人口

処理水量のうち 6 割が生活排水と設定し、生活排水量の原単位を 250L/人・日として以下の式 6.1 より人口を求めた。下水道人口は全人口の 90%、し尿くみ取り人口、浄化槽を利用している人口を全人口の 5%と設定した。

$$(式 6.1) \quad \text{人口} = \text{処理水量} \times 0.6 \div 250$$

3)水処理

下水道施設計画・設計指針と解説⁹⁾より晴天時日平均汚水量、晴天時日最大汚水量、下水処理場の現有処理能力を以下のように設定した。

$$(式 6.2) \quad \text{晴天時日平均汚水量} = \text{処理水量}$$

$$(式 6.3) \quad \text{晴天時日最大汚水量} = \text{晴天時日平均汚水量} \times 0.8$$

$$(式 6.4) \quad \text{現有処理能力} = \text{晴天時日最大汚水量} \times 1.5$$

4)地域バイオマス

①事業系生ごみ

事業系生ごみは表 6.1 に示したとおり、一人一日ごみ排出量・事業系ごみの割合・事業系ごみ中の可燃ごみの割合、事業系可燃ごみの生ごみの割合をもとに算出した。

表 6.1 事業系生ごみの算出根拠

項目	単位	値	備考・出典
一人一日ごみ排出量	g/人/日	925	環境省資料「一般廃棄物の排出及び処理状況等（平成 28 年度）について ²⁰⁾ 」
事業系ごみの割合	—	0.3	
事業系ごみ中の可燃ごみの割合	—	0.8	設定値
生ごみ比率	—	0.3	環境省資料「九州地方環境事務所平成 22 年度報告書 ²¹⁾ 」
排出率	—	0.85	設定値

②し尿、浄化槽汚泥

下水汚泥エネルギー化技術ガイドラインより、し尿排出量原単位を 2.3L/(人・日)とした。浄化槽汚泥については合併浄化層汚泥排出原単位を 2.6L/(人・日)、単独浄化槽汚泥排出原単位を 1.1L/(人・日)とし、人口の割合を 1 : 1 と設定した。これを用いてし尿、浄化槽汚泥の排出量は以下の式で算出した。

$$(式 6.5) \quad \text{し尿排出量} = 2.3\text{L}/(\text{人} \cdot \text{日}) \times \text{人口}$$

$$(式 6.6) \quad \text{浄化槽汚泥排出量} = \{(1.1 + 2.6) \div 2\} \times \text{人口}$$

以上より、表 6.2 にケース設定をまとめた。

表 6.2 ケース設定

項目		単位	ケース4-1'	ケース4-2'	ケース4-3'	ケース4-4'	備考・算出根拠
施設規模	処理水量	m ³ /日	10000	20000	50000	100000	設定値
	人口	人	24000	48000	120000	240000	式6.1
人口	下水道	人	21600	43200	108000	216000	全人口の90%
	し尿くみ取り	人	1200	2400	6000	12000	全人口の5%
	浄化槽	人	1200	2400	6000	12000	全人口の5%
水処理	晴天時日平均汚水量	m ³ /日	10000	20000	50000	100000	式6.2
	晴天時日最大汚水量	m ³ /日	12500	25000	62500	125000	式6.3
	現有処理能力	m ³ /日	18750	37500	93750	187500	式6.4
地域バイオマス	事業系生ごみ	t-wet/日	1.4	2.7	6.8	13.6	表6.1
	し尿	kL/日	2.8	5.5	13.8	27.6	式6.5
	浄化槽汚泥	kL/日	2.2	4.4	11.1	22.2	式6.6

6.2.2 検討項目

下水処理費用、ごみ処理費用、し尿処理費用について、地域バイオマス混合消化導入した場合に費用増加・減少する項目を表 6.3 に挙げた。

表 6.3 検討項目

項目		項目	費用増加(+) or 減少(−)	内容	検討	備考
下水処理費用対象項目	建設費	導入施設建設費	+	各バイオマス受入・前処理設備、混合設備、ガスホルダ、脱硫設備、(増設または新設する)消化設備・脱水設備	○	
		導入施設運転費	+	電力費、点検補修費	○	
	運転費	既施設運転費の変化分	+	消化設備運転費(電力費)、脱水設備運転費(電力費)	○	
		既施設運転費の変化分	−	バイオガス発電による売電収入の増加	○	
	その他	前処理異物処分費	+	受入バイオマス由来の増加分	○	
		脱水汚泥処分費	+	受入バイオマス由来の増加分	○	
ごみ処理費用対象項目	建設費	焼却施設建設費	−	下水道受入生ごみ分の焼却施設建設費	○	
	収集運搬費	生ごみ分別回収費	+	人件費、燃料費等	×	収集方法等の詳細検討が必要、人件費に関するデータなし
	運転費	焼却施設運転費	−	下水道受入生ごみ分の焼却施設運転費(電力費)、補助燃料費	○	
し尿処理費用対象項目	建設費	し尿処理施設建設費	−	下水道受入し尿等の処理施設建設費	○	
	収集運搬費	し尿等の収集費	+	し尿等を収集し下水処理場へ搬送	×	収集方法等の詳細検討が必要、人件費に関するデータなし
	運転費	し尿処理施設運転費	−	下水道受入し尿等の処理施設運転費	○	

下水処理費用対象項目としては、建設費、運転費、異物・汚泥処分費が挙げられる。建設費は、各バイオマスを受入・前処理するための設備、下水汚泥との混合設備、ガスホルダ、脱硫設備、消火設備、脱水設備を含んでいる。運転費は、導入施設の電力費・点検補修費、地域バイオマス導入したことによる増加分の消化設備運転費・脱水設備運転費を費用増加項目とし、バイオガス発電による売電収入の増加を費用減少項目とした。

ごみ処理費用対象項目としては、焼却施設の建設費、運転費を費用減少項目とした。費用増加項目として生ごみの分別回収費が挙げられるが、収集方法によってコストが異なること、人件費を把握するのが困難であることから検討項目として外した。

し尿処理費用対象項目としては、し尿処理施設の建設費、運転費を費用減少項目とした。生ごみと同様し尿の収集費が費用増加項目として挙げられるが、人件費や収集費を把握するのが困難であるため検討項目として外した。

6.3 ケーススタディ結果

6.3.1 バイオガス発生量の算出

事業系生ごみ、し尿、浄化槽汚泥受け入れによって増加するバイオガス量を試算した。試算結果を表 6.4 に示す。処理水量 10000m³/日では、バイオガス発生量が 1043Nm³/日になると試算され、20000m³/日、50000m³/日、100000m³/日ではそれぞれ 2070Nm³/日、4066Nm³/日、10381Nm³/日になると試算された。導入したバイオマスの中でも事業系生ごみはバイオガス発生量が多く、施設規模関係なく全体の約 20%を占めていた。これはし尿や浄化槽汚泥よりも含んでいる有機物量が多いこと、ガス転化量の値が大きく、消化しやすく高効率でバイオガスを集められることが原因であると考えられる。ガス転化量に関しては、生ごみ 0.74、濃縮汚泥 0.55 と生ごみが濃縮汚泥を上回っており、消化に適しているバイオマスだといえる。

表 6.4 地域バイオマス受入によるバイオガス発生量(日平均)

記号	項目	根拠	単位	処理水量																					
				10000m ³ /日				20000m ³ /日				5000m ³ /日				100000m ³ /日									
				事業系 生ごみ	し尿	浄化槽汚泥	濃縮汚泥	合計	事業系 生ごみ	し尿	浄化槽汚泥	濃縮汚泥	合計	事業系 生ごみ	し尿	浄化槽汚泥	濃縮汚泥	合計							
a	受入物	e/(1-A)	twe/日	1.5	2.8	2.2	53.0	59.5	3.0	5.6	4.5	105.0	118.0	7.5	13.9	11.1	264.0	296.6	15.1	27.8	22.3	527.0	592.2	合計	
b	投入物	a×A	twe/日	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.8	0.1	0.0	0.0	0.9	1.5	1.6	0.2	0.1	0.0	1.8
c	消入	濃重量	twe/日	1.4	2.8	2.2	53.0	59.3	2.7	5.5	4.4	105.0	117.7	6.8	13.8	11.1	264.0	295.7	13.6	27.6	22.2	527.0	590.4		
d	化入	固形物量	t+DS/日	0.3	0.0	0.0	0.0	1.9	2.2	0.6	0.1	0.0	3.7	4.4	1.5	0.2	0.1	9.2	11.1	3.0	0.4	0.2	18.4	22.1	
e	タ	投入物	水分量	t/日	1.1	2.7	2.2	51.1	57.1	2.1	5.4	4.4	101.3	113.3	5.3	13.6	11.0	254.8	284.6	10.6	21.2	22.0	508.6	568.3	
f	ン	排水量	d×C	t-VS/日	0.28	0.02	0.02	1.48	1.81	0.56	0.05	0.04	2.94	3.59	1.40	0.12	0.09	7.39	9.01	2.81	0.25	0.18	14.76	17.99	
g	ク	固形物濃度	d/C	%	—	0.07	0.03	2.32	2.42	—	0.14	0.06	4.59	4.79	—	0.35	0.14	11.55	12.03	—	0.69	0.28	23.06	24.02	
A	受入	異物割合	%	10	0.7	0.3	0																		
B	投入物	固形物濃度TS	%	22	1.5	1	3.5																		
C	消化	有機物濃度VS	%-TS	94	60	80	80	80	94	60	80	80	80	94	60	80	80	80	94	60	80	80	80	80	
D	消化	有機物分解率	%	80	50	40	50	50	80	50	40	50	50	80	50	40	50	50	80	50	40	50	50	50	
E	タ	消化ガス転化量	Nm ³ /kg-VS	0.74	0.5	0.35	0.55																		
F	ン	メタンガス低位	kJ/Nm ³	35739	35739	35739	35739	35739	35739	35739	35739	35739	35739	35739	35739	35739	35739	35739	35739	35739	35739	35739	35739	35739	
G	ク	メタン発生量	%	60	70	65	60																		
H	脱水機	ガス発熱量	F×G	21443	25017	23230	21443	91134	21443	25017	23230	21443	91134	21443	25017	23230	21443	91134	21443	25017	23230	21443	91134	91134	
L	分解有機物量	f×D	t-VS/日	0.225	0.012	0.007	0.742	0.986	0.450	0.025	0.014	1.470	1.959	1.124	0.062	0.036	3.696	4.917	2.248	0.124	0.071	7.378	9.821	81	324
①	消化	消化汚泥	f-①	0.056	0.012	0.011	0.742	0.821	0.112	0.025	0.021	1.470	1.629	0.281	0.062	0.053	3.696	4.092	0.562	0.124	0.107	7.378	8.171	81	
②	タ	固形物量	②×(d-f)	0.074	0.029	0.015	1.113	1.231	0.148	0.068	0.030	2.205	2.441	0.371	0.145	0.075	5.544	6.135	0.741	0.290	0.151	11.067	12.249	62	
③	ン	発生量	f×E×100	208	12	6	816	1043	416	25	12	1617	2070	1040	62	31	4066	5198	2079	124	62	8116	10381	60	
④	ク	ガス発生	H×④/100	4458	311	144	17502	22416	8917	621	289	34674	44501	22292	1554	722	87180	111748	44584	3107	1444	174030	223166	60	
⑤	脱水機	投入汚泥量	e	1.4	2.8	2.2	53.0	59.3	2.7	5.5	4.4	105.0	117.7	6.8	13.8	11.1	264.0	295.7	13.6	27.6	22.2	527.0	590.4	60	
⑥	脱水機	投入汚泥濃度	③/⑥	—	1.05	0.68	2.1	3.83	—	1.05	0.68	2.1	3.83	—	1.05	0.68	2.1	3.83	—	1.05	0.68	2.1	3.83	81	
⑦	脱水機	脱水汚泥量	③/(1-L)	0.39	0.15	0.08	5.86	6.48	0.78	0.31	0.16	11.61	12.85	1.95	0.76	0.40	29.18	32.29	3.90	1.53	0.79	58.25	64.47	81	
⑧	脱水機	脱水汚泥固形物量	③	0.07	0.03	0.02	1.11	1.23	0.15	0.06	0.03	2.21	2.44	0.37	0.14	0.08	5.54	6.14	0.74	0.29	0.15	11.07	12.25	60	
⑨	脱水機	脱水汚泥固形物量	e-⑧	1.0	2.6	2.1	47.1	52.9	1.9	5.2	4.3	93.4	104.8	4.8	13.0	10.7	234.8	263.4	4.97	26.1	21.4	468.8	525.9	60	

6.3.2 コスト検討結果

処理水量 10000m³/日、20000m³/日、50000m³/日、100000m³/日の 4 ケースについて、地域バイオマス受入によって、表 6.3 に示した検討項目の費用の増加、減少分を試算した。試算結果を図 6.2、6.3、6.4、6.5、表 6.5 に示す。また算出する際に用いた費用関数を表 6.6 にまとめた。

費用が減少する項目としては、焼却施設(ごみ処理施設)の建設費と運転費を含む更新費、し尿処理施設の建設費と運転費含む更新費、売電収入がある。費用が増加する項目としては、導入施設の建設費、補修費と電気料金含む維持管理費、増加汚泥の処分費がある。

費用減少項目の合計と費用増加項目の合計を比較すると、処理水量 10000m³/日では 1960 万円/年の赤字、20000m³/日では 990 万円/年の赤字、50000m³/日では 3500 万円/年の削減効果、100000m³/日では 1 億 2660 万円/年の削減効果と試算された。つまり小規模処理場では地域バイオマス導入における費用対効果があまり得られないことが示唆された。

費用減少項目において割合が高い項目としては焼却施設運転費、し尿処理施設運転費が挙げられ、費用増加項目としては導入施設の補修費が一番高い結果となっている。10000m³/日、20000m³/日などの小規模処理場では導入施設の維持管理費が、焼却施設やし尿処理施設の更新費の削減効果を上回っていることが原因で地域バイオマス導入の効果が得られないことが示唆された。逆に 50000m³/日、100000m³/日では焼却施設やし尿処理場の更新費削減効果が大きく、全体においても地域バイオマス導入の効果が得られることが示唆された。

本検討では、費用増加項目として地域バイオマスの収集費、人件費等を考慮していないため、示された結果よりもさらに地域バイオマス導入による効果は下がることが予想される。より詳細な検討を行うには、このような検討項目も含んで試算する必要があり、今後の課題としたい。また地域バイオマス導入は、地域の特性に左右されるため、バイオマス賦存量の把握などより具体的な調査の上で検討するのが現実的であると考ええる。

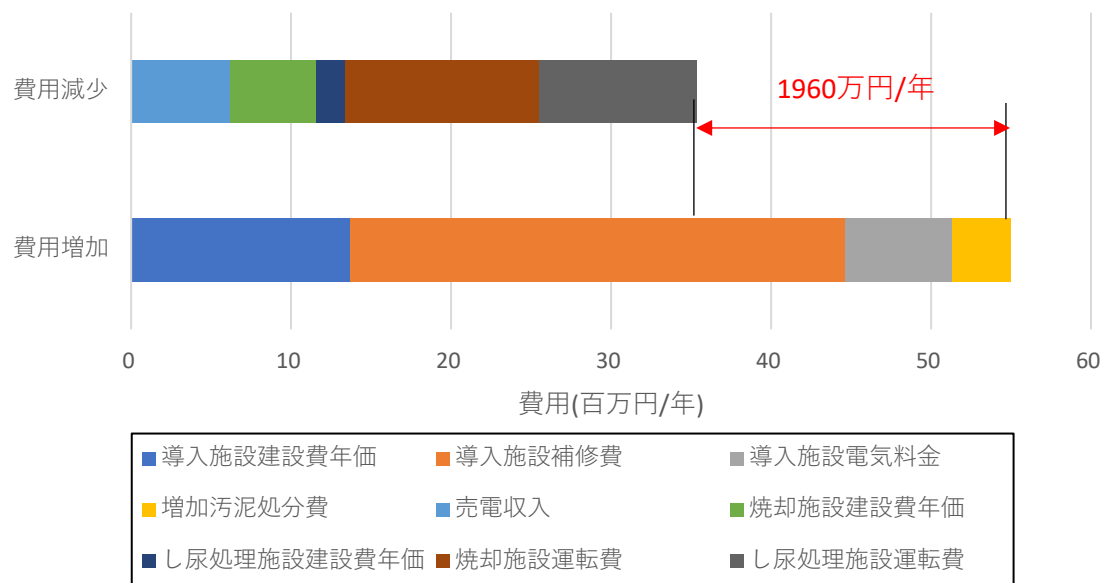


図 6.2 バイオマス受入による費用対効果(処理水量：10000m³/日)

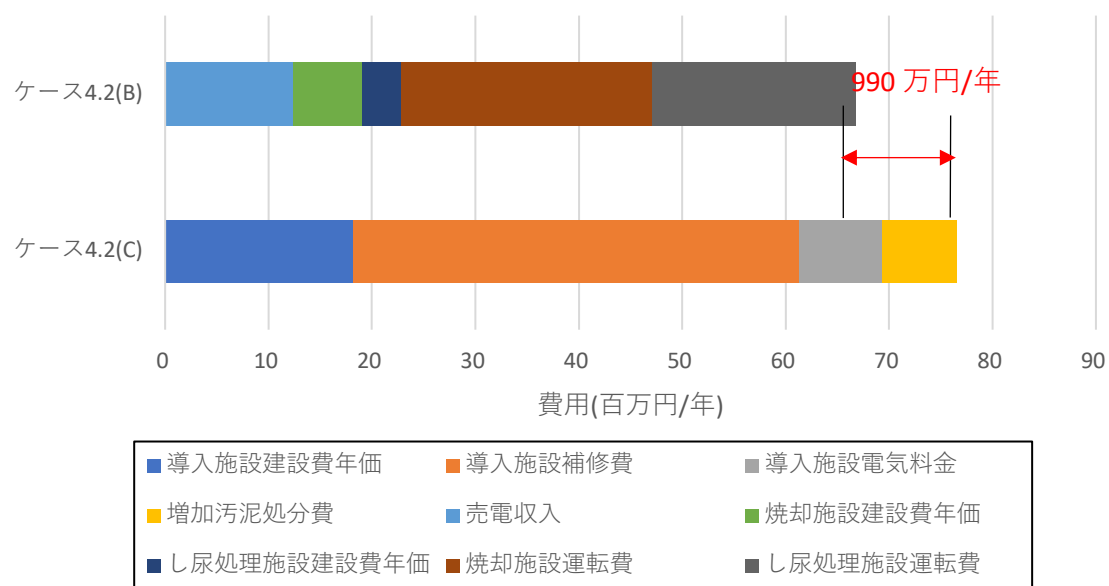


図 6.3 バイオマス受入による費用対効果(処理水量：20000m³/日)

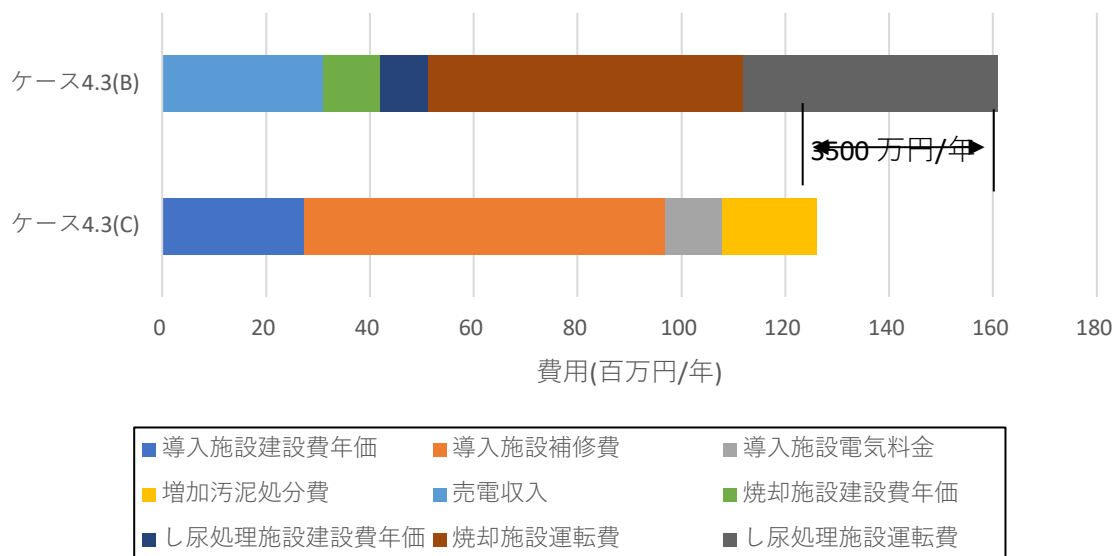


図 6.4 バイオマス受入による費用対効果(処理水量：50000m³/日)

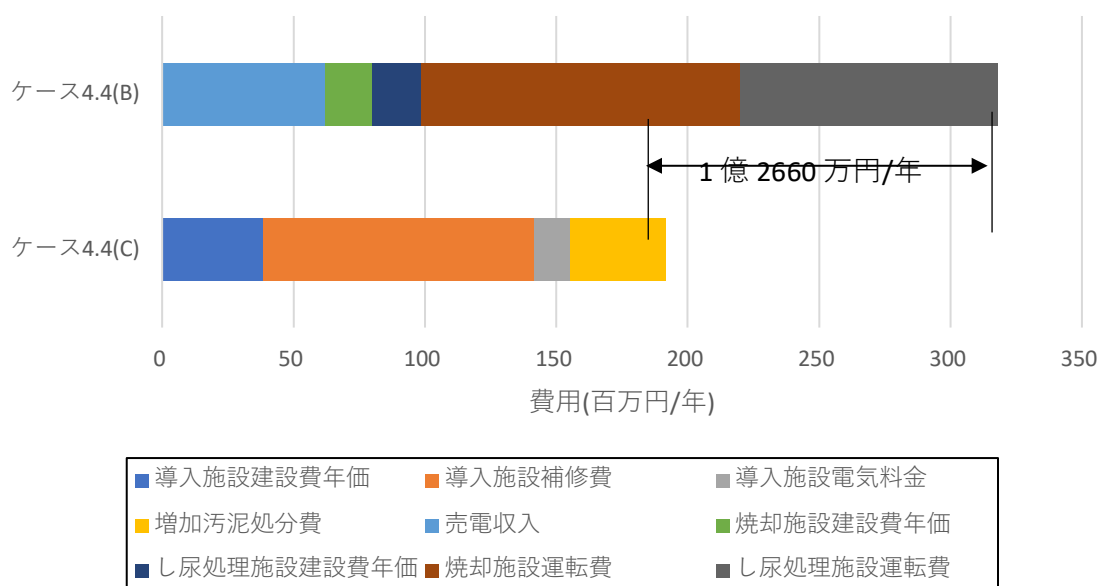


図 6.5 バイオマス受入による費用対効果(処理水量：100000m³/日)

表 6.5 バイオマス受入による費用対効果算定結果

				単位	処理水量								備考			
					10000m ³		20000m ³		50000m ³		100000m ³					
					費用増加	費用減少	費用増加	費用減少	費用増加	費用減少	費用増加	費用減少				
下水道処理費用対象項目	建設費	生ごみ前処理	土木	億円	0.32		0.46		0.73		1.03					
			建築	億円	0.99		1.25		1.71		2.17					
			機械設備	億円	1.39		1.94		3.00		4.16					
			電気設備	億円	0.20		0.40		1.00		2.00					
			合計	億円	2.90		4.05		6.43		9.36					
		し尿前処理	土木・建築	億円	1.41		1.52		1.68		1.82					
			機械設備	億円	1.83		2.09		2.50		2.86					
			電気設備	億円	0.51		0.60		0.74		0.87					
			合計	億円	3.74		4.21		4.92		5.55					
		混合設備	土木・建築	億円	0.39		0.58		0.99		1.48		下水汚泥、し尿浄化槽汚泥生ごみ2日分の容量を想定			
			機械設備	億円	0.64		0.84		1.21		1.60					
			電気設備	億円	0.13		0.18		0.30		0.43					
			合計	億円	1.15		1.60		2.50		3.51					
		脱硫装置	建設費	億円	0.16		0.27		0.55		0.93		消化ガス生ごみ+し尿+浄化槽汚泥分			
			機械電気	億円	0.45		0.77		1.53		2.58					
			土木・建築	億円	0.02		0.04		0.14		0.35		バイオマス導入による増加分			
			合計	億円	0.47		0.81		1.67		2.93					
		ガスホルダ	建設費	億円	1.16		1.58		2.35		3.18		消化ガス生ごみ+し尿+浄化槽汚泥の0.5日分			
			土木	億円	0.01		0.02		0.03		0.04					
			機械	億円	0.02		0.02		0.03		0.04					
			合計	億円	0.03		0.04		0.06		0.09		バイオマス導入による増加分			
		脱水設備	土木	億円	0.01		0.02		0.03		0.04					
			機械	億円	0.02		0.02		0.03		0.04					
			合計	億円	0.03		0.04		0.06		0.08					
		建設年価	生ごみ前処理	土木	百万円/年	0.74		1.05		1.67		2.37		耐用年数40年		
				建築	百万円/年	2.27		2.88		3.93		4.99		40年		
				機械設備	百万円/年	3.21		4.46		6.89		9.57		20年		
				電気設備	百万円/年	0.46		0.92		2.30		4.60		15年		
				合計	百万円/年	6.68		9.31		14.79		21.53				
				し尿前処理	土木・建築	百万円/年	3.24		3.49		3.87		4.18		40年	
					機械設備	百万円/年	4.20		4.81		5.75		6.58		20年	
					電気設備	百万円/年	1.17		1.37		1.70		2.00		15年	
					合計	百万円/年	8.61		9.68		11.32		12.76			
				混合設備	土木・建築	百万円/年	0.89		1.33		2.27		3.40		40年	
					機械設備	百万円/年	1.47		1.93		2.79		3.68		20年	
					電気設備	百万円/年	0.29		0.42		0.69		1.00		15年	
	合計				百万円/年	2.65		3.68		5.75		8.08				
	脱硫装置			建設費	百万円/年	0.37		0.63		1.27		2.14		10年		
				機械電気	百万円/年	1.04		1.76		3.52		5.94		15年		
				土木・建築	百万円/年	0.04		0.10		0.33		0.80		40年		
				合計	百万円/年	1.08		1.86		3.84		6.73				
	ガスホルダ			建設費	百万円/年	2.68		3.62		5.41		7.32		15年		
				土木	百万円/年	0.03		0.04		0.07		0.10		45年		
				機械	百万円/年	0.04		0.05		0.08		0.10		15年		
				合計	百万円/年	0.07		0.09		0.14		0.20				
	し尿前処理			土木	百万円/年	0.03		0.04		0.06		0.09		50年		
				機械	百万円/年	0.04		0.05		0.07		0.09		15年		
				合計	百万円/年	0.07		0.09		0.13		0.18				
			建設年価(国庫補助控除)	生ごみ前処理	百万円/年	6.68		9.31		14.79		21.53		国庫補助率0%		
				し尿前処理	百万円/年	3.87		4.36		5.09		5.74				
				混合設備	百万円/年	1.19		1.66		2.59		3.64				
				脱硫装置	百万円/年	0.17		0.28		0.57		0.96				
				発電設備	百万円/年	0.49		0.84		1.73		3.03		55%		
				ガスホルダ	百万円/年	1.20		1.63		2.43		3.29				
				消化設備	百万円/年	0.03		0.04		0.06		0.09				
				脱水設備	百万円/年	0.03		0.04		0.06		0.08				
				合計	百万円/年	13.67		18.15		27.33		38.36				
				補修費	生ごみ前処理	百万円/年	8.45		10.15		12.92		15.52			
			し尿前処理		百万円/年	3.72		4.26		5.09		5.82				
			混合設備		百万円/年	1.36		1.79		2.58		3.41				
			脱硫装置		百万円/年	1.40		2.37		4.77		8.07				
			発電設備		百万円/年	6.26		10.92		23.03		40.35				
			ガスホルダ		百万円/年	1.46		1.79		2.37		2.92				
			消化設備		百万円/年	3.83		5.01		7.17		9.39				
			脱水設備		百万円/年	4.51		6.81		11.76		17.78				
			合計		百万円/年	30.99		43.10		69.70		103.26				
			電気料金		消費	生ごみ前処理	kWh/年	113347.4		153661		229752		311466.6		
						し尿前処理	kWh/年	253262		270481.7		295054.6		315115.7		
						混合設備	kWh/年	111140.3		155764.2		245324.6		344974.1		
	合計					kWh/年	477749.8		579906.9		770131.2		971556.4			
	料金					百万円/年	6.688497		8.118697		10.78184		13.60179		14円/kWh	
	発電			電力量	kWh/年		159021.7		318043.3		795108.3		1590217			
		電力販売		百万円/年		6.20		12.40		31.01		62.02		39円/kWh		
		脱水汚泥等処分費		百万円/年	3.63		7.27		18.17		36.33		16000円/t			
		ごみ・し尿処理費用対象項目		建設費	生ごみ前処理	土木・建築	億円		0.87		1.10		1.78		2.94	全体の1/4と設定
						機械・電気	億円		2.61		3.29		5.34		8.82	全体の3/4と設定
	合計		億円				3.48		4.39		7.12		11.76			
	し尿処理施設		土木・建築		億円		0.30		0.61		1.52		3.04			
			機械・電気		億円		0.91		1.82		4.55		9.11			
			合計		億円		1.21		2.43		6.07		12.14			
	建設費年価		生ごみ前処理	土木・建築	百万円/年		2.00		2.52		4.10		6.76	耐用年数40年		
				機械・電気	百万円/年		6.00		7.56		12.29		20.29	15年		
				合計	百万円/年		8.01		10.09		16.38		27.06			
			し尿処理施設	土木・建築	百万円/年		0.70		1.40		3.49		6.98	40年		
				機械・電気	百万円/年		2.09		4.19		10.47		20.95	15年		
				合計	百万円/年		2.79		5.59		13.97		27.93			
	建設費年価(国庫補助控除)	生ごみ前処理	百万円/年		5.34		6.72		10.92		18.04		国庫省補助(1/3)			
		し尿処理施設	百万円/年		1.86		3.72		9.31		18.62		国庫省補助			
	合計	百万円/年		7.20		10.45		20.23		36.66						
		運転費	ごみ処理施設	百万円/年		12.12		24.24		60.61		121.22		22000円/t		
	し尿処理施設		百万円/年		9.82		19.64		49.11		98.22		7800円/tL			
	事業推計				百万円/年	55.0	35.3	76.6	66.7	126.0	161.0	191.6	318.1			
差し引き				百万円/年		19.6		9.9		35.0		126.6				

表 6.6 算出に用いた費用関数²²⁾

	項目		単位	値	備考
建設費	生ごみ前処理設備	機械設備	百万円	$Y=98.6\times Q^{0.475}$	Q：ごみ処理量 [t-wet/日]
		電気設備	百万円	$Y=29.6\times Q^{0.512}$	
		土 木	百万円	$Y=22.4\times Q^{0.504}$	
		建 築	百万円	$Y=75.9\times Q^{0.342}$	
	し尿等前処理設備	機械設備	百万円	$Y=137.2\times Q^{0.195}$	Q：し尿等処理量 [kL/日]
		電気設備	百万円	$Y=36.5\times Q^{0.232}$	
		土木・建築	百万円	$Y=117.2\times Q^{0.111}$	
	混合設備	機械設備	百万円	$Y=8.26\times Q^{0.400}$	Q：混合槽容量[m3]
		電気設備	百万円	$Y=0.836\times Q^{0.535}$	
		建 築	百万円	$Y=2.01\times Q^{0.583}$	
	ガスホルダ	機械設備	百万円	$Y=10.4\times Q^{0.437}$	Q：貯留容量[m3]
	脱硫設備	機械設備	百万円	$Y=0.878\times Q^{0.761}$	Q：処理能力量[m3/h]
	ごみ処理施設建設費		百万円	$Y=-0.087X^2+59.53X+258$	X：処理量[t-wet/日]
し尿処理施設建設費	40kL/日以下	百万円/(kL/日)	44		
	41～99kL/日	百万円/(kL/日)	33		
	100kL/日以上	百万円/(kL/日)	28		
維持管理費	生ごみ前処理設備	消費電力量	MWh/年	$Y=94.6\times Q^{0.430}$	Q：ごみ処理量[t-wet/日]
		補修費	百万円/年	$Y=7.58\times Q^{0.264}$	
	し尿等前処理設備	消費電力量	MWh/年	$Y=230\times Q^{0.0949}$	Q：し尿等処理量[kL/日]
		補修費	百万円/年	$Y=3.05\times Q^{0.195}$	
	混合設備	消費電力量	MWh/年	$Y=9.45\times Q^{0.493}$	Q：混合槽容量[m3]
		補修費	百万円/年	$Y=0.184\times Q^{0.400}$	
	ガスホルダ	補修費	百万円/年	$Y=0.283\times Q^{0.302}$	Q：貯留容量[m3]
	脱硫設備	運転費	百万円/年	$Y=0.0796\times Q^{0.761}$	Q：処理能力量[m3/h]
消化ガス発電の売電単価		円/kWh	39	固定価格買取制度2018年度価格	

(※発電設備、消化設備、脱水設備に関しては5章と同様の費用関数を用いた)

第7章 結論

研究のまとめ

<第3章>

バイオガス発電によって得られる発電量のポテンシャルを試算した。その結果、日本で発生する下水汚泥から約 24 億 kWh/年発電ポテンシャル量を得られることが分かった。これは日本の総電力需要(約 8000 億 kWh/年)、下水道全体の消費電力量(約 62 億 kWh/年)と比較すると、それぞれ約 0.8%、約 40%を占める割合であった。

これらからバイオガス発電の導入は、日本全体のエネルギー構成に影響を及ぼすほどではないが、日本の電力需要のうち大口需要家である下水道分野がエネルギー自立型処理場を実現するためには必要であると考えられる。さらに下水道がもつ処理機能を、地域バイオマスにも活用し、地域バイオマスがもつエネルギーを回収することができれば、下水道分野でのエネルギー自立に近づくことができるのではないかと考えられる。

<第4章>

地域バイオマスを導入し、エネルギー回収を行っている 5 自治体(北海道北広島市、恵庭市、石川県珠洲市、中能登町、富山県黒部市)について、事例調査を行った。

事例調査では、主に事業背景、バイオマス導入の課題やメリット有効利用法に関して焦点を絞り、調査を行った。地域バイオマスを導入した背景は、埋め立て処分場の逼迫、し尿処理場の老朽化、汚泥有効利用先の消失の三つに分類された。

埋め立て処分場の逼迫を背景とした自治体は、生ごみを下水処理場で共同処理することで、ごみの減量化を図り、し尿処理場の老朽化を背景とした自治体は、経済的效果を考え、し尿処理場の更新を個別に行うより、集約して下水汚泥との共同処理に至った。汚泥有効利用先の消失を背景とした自治体は、これまでの有効利用先が、需要の減少・関連工場の閉鎖により、新たな有効利用先が必要であるとして導入に至った。

このように、地域に存在するバイオマスを有効活用しようという積極的動機によって地域バイオマス活用事業が発足しているのではなく、以上に挙げたような背景の解決策として地域バイオマスが導入され、下水汚泥とともに処理されていることが明らかとなった。

続いて、有効利用先の決定要因を検討した。5 自治体は全て地域バイオマスを導入し、エネルギー回収を行っているが、バイオガスの有効利用方法は一様ではなかった。北広島市、珠洲市に関してはバイオガス発電を行わず、消化槽の加温などの熱利用に活用し、中能登町、黒部市、恵庭市に関してはバイオガス発電を実施している。調査によって、バイオガス発電の実施の有無を決定づける要因として以下の三つが関係していることが分かった。

- 1)施設規模(バイオガス発生量)
- 2)地域バイオマスの安定供給先の確保
- 3)熱利用の必要性

＜第 5 章＞

消化槽が既設であるか新設か、発電電力を場内利用するか売電するかの 4 つのケースについて、それぞれ処理水量を 10000m³/日、20000m³/日、50000m³/日、100000m³/日に設定した場合に、バイオガス発電を実施した場合のコスト検討を行った。結果をまとめた表を表 7.1 に示す。

表 7.1 5 章の結果まとめ

	処理水量			
	10000m ³ /日	20000m ³ /日	50000m ³ /日	100000m ³ /日
消化槽既設＋場内利用	×	○	○	○
消化槽既設＋売電	○	○	○	○
消化槽新設＋場内利用	×	×	○	○
消化槽新設＋売電	×	×	○	○

結果はスケールメリットが働き、処理水量が多い処理場ほど費用対効果が得られた。消化槽を既設する場合は、10000m³/日で発電電力を場内利用する場合を除いて、費用対効果を望めた。消化槽を新設する場合には、消化槽の建設費・維持管理費が小規模処理場ではコストの割合を多く占めており、発電電力を場内利用する場合・売電する場合ともに 10000m³/日、20000m³/日では費用対効果があまり得られないことが試算された。

＜第 6 章＞

下水単独ではなく地域バイオマス(事業系生ごみ、し尿、浄化槽汚泥)を導入した際のコスト検討を行った。処理水量の分類は 5 章と同様に、10000m³/日、20000m³/日、50000m³/日、100000m³/日の四つに分類し検討した結果、地域バイオマスを導入して費用対効果が得られるのは 50000m³/日と 100000m³/日の比較的大規模処理場に限られるという結果となった。人件費や収集費などを含んだ検討は今後の課題とする。

以上より、地域バイオマスを導入し、ガス発電を行うことは必ずしも費用対効果を得られるわけではないことが明らかとなった。とくに小規模処理場における、これらの技術の導入検討をするためには、バイオマスの安定的確保、自治体が抱えている課題を考えることが重要であると考えられる。

謝辞

指導教員である味埜先生には二年間大変お世話になりました。未熟でマイペースであった自分を最後まで面倒見ていただき、本当にありがとうございました。

また毎週の研究会では佐藤先生にご指導いただきました。下水道に関する知識はもちろん、自分にはない視点から気づきを与えてくださりました、ありがとうございました。

副指導教員の清家先生には、短い間ではありましたが、他研究室の自分に親身になってご指導いただきありがとうございました。

地域バイオマス導入に関する事例調査にご協力いただきました、北海道北広島市下水処理センターの方々、北海道恵庭市生活環境部環境政策室の方々、石川県珠洲市生活環境課の方々、石川県中能登町役場下水道課の方々、富山県黒部市都市建設部上下水道工務課の方々は、突然の連絡にもかかわらず、快く訪問を引き受けていただき、丁寧に対応してくださりました。本当にありがとうございました。

研究室のみんな、研究室に顔を出すことは少なかったけれど、いつも話し相手として、良き相談相手として精神的な支えとなりました。ありがとうございました。

学生生活を常に支えてくれた家族には、感謝してもしきれません。ありがとうございました。

参考文献

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁、エネルギー白書 2017「平成 28 年度エネルギーに関する年次報告」、2017
<http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2017html/2-2-1.html> (1/6 参照)
- 2) 経済産業省資源エネルギー庁、エネルギー白書 2018、2018
http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2018pdf/whitepaper2018pdf_2_1.pdf (1/6 参照)
- 3) 国土交通省 水管理・国土保全局 下水道部、下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン—平成 29 年度版—、2018
- 4) 日本下水道新技術機構、消化ガス発電普及のための導入マニュアル、2016
- 5) 国土交通省 水管理・国土保全局 下水道部、下水処理場における地域バイオマス活用マニュアル、2017
- 6) 農林水産省、バイオマス活用推進基本法、2009
<http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/attach/pdf/index-5.pdf>
- 7) 農林水産省、バイオマス活用推進基本計画、2016
- 8) 日本下水道新技術機構、省エネ型汚泥処理システムの構築に関する技術マニュアル、2016
- 9) 日本下水道協会、下水道施設計画・設計指針と解説 2009 年版、2009
- 10) 日本下水道協会、下水汚泥有効利用促進マニュアル—持続可能な下水汚泥の有効利用を目指して—、2015
- 11) 清水明、下水消化ガス利用バイオガスエンジン発電システム—システム及びシロキサンの影響と対策、マリンエンジニアリング 51(1)、72-78、2016
- 12) 環境省、一般廃棄物処理事業実態調査の結果（平成 26 年度）について、2014

- 13)渡辺仁史、森智志、庄司友里、し尿等の下水道との共同処理における施設規模の考え方、
廃棄物資源循環学会研究発表会講演集 29(0)、87、2018
- 14)地域環境資源センター、農業集落排水の手引き「より良い保全・管理・整備のために」、
2018
三章
- 15)日本下水道協会、平成 26 年度下水道統計、2014
- 16)電気事業連合会、電力需要実績 2015 年度確報、2016
- 17)日本下水道協会、国土交通省 水管理・国土保全局 下水道部、新下水道ヴィジョン～
「循環の道」の持続と進化～、2014
- 18)経済産業省資源エネルギー庁、再生可能エネルギー固定価格買取制度ガイドブック 2018
年度版、2018
- 19)日本下水道協会、バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル、2004
- 20)環境省、一般廃棄物の排出及び処理状況等（平成 28 年度）について、2016
- 21)環境省九州地方環境事務所、平成 22 年度報告書「事業系生ごみの資源化」、2010
- 22)下水道新技術推進機構、下水処理場へのバイオマス（生ごみ等）受け入れマニュアル、
2011

付録

付録1 北広島市質問書

分類	No.	質問事項	備考
概要確認	1	概要で記したデータに誤りはありませんか？	
事業	2	本事業が発足した背景を教えてください	
	3	本事業計画時に検討していた懸念事項があれば教えてください	
	4	本事業の採算性を評価するべく、どのようなコスト評価をしたか具体的なデータがあれば参照させてください	
	5	本事業によるCO ₂ 削減量など環境評価の試算データがあれば参照させてください	
バイオマス全般	6	概要で記した処理対象物以外に処理対象として検討していたバイオマスはありますか？	
	7	6の質問に関してもしあれば、それを処理対象として断念した理由を教えてください	
	8	混合消化する場合、下水汚泥単独で消化する場合に比べ考慮すべきことは何かありますか？	
個別バイオマス	9	し尿・浄化槽汚泥を下水汚泥と混合消化する際の技術的課題と政策的課題があれば教えてください	
	10	農業集落排水汚泥を下水汚泥と混合消化する際の技術的課題と政策的課題があれば教えてください	
	11	生ごみ(家庭系・事業系)を下水汚泥と混合消化する際の技術的課題と政策的課題があれば教えてください	
有効利用方法	12	発生したメタンガス・処理汚泥の有効利用先の選定はどのように、またなぜそのような有効利用方法となったか教えてください	
	13	現在発生するバイオガスの有効利用方法として場内のエネルギー利用を実施しているが、バイオガス発電など新たな有効利用法を取り入れるなど将来の事業計画について教えてください	

付録2 恵庭市質問書

分類	No.	質問事項	備考
概要確認	1	概要で記したデータに誤りはありませんか？	
事業	2	本事業が発足した背景を教えてください	
	3	本事業計画時に検討していた懸念事項があれば教えてください	
	4	本事業の採算性を評価するべく、どのようなコスト評価をしたか具体的なデータがあれば参照させてください	
	5	本事業によるCO ₂ 削減量など環境評価の試算データがあれば参照させてください	
バイオマス全般	6	概要で記した処理対象物以外に処理対象として検討していたバイオマスはありますか？	
	7	6の質問に関してもしあれば、それを処理対象として断念した理由を教えてください	
	8	混合消化する場合、下水汚泥単独で消化する場合に比べ考慮すべきことは何かありますか？	
個別バイオマス	9	し尿・浄化槽汚泥を下水汚泥と混合消化する際の技術的課題と政策的課題があれば教えてください	
	10	生ごみ(家庭系・事業系)を下水汚泥混合消化する際の技術的課題と政策的課題があれば教えてください	
有効利用方法	11	発生したメタンガス・処理汚泥の有効利用先の選定はどのように、またなぜそのような有効利用方法となったか教えてください	
	12	バイオガス発電を実施してきた中で技術的課題、政策的課題があれば教えてください	

付録3 珠洲市質問書

分類	No.	質問事項	備考
概要確認	1	概要で記したデータに誤りはありませんか？	
事業	2	本事業が発足した背景を教えてください	
	3	本事業計画時に検討していた懸念事項があれば教えてください	
	4	本事業の採算性を評価するべく、どのようなコスト評価をしたか具体的なデータがあれば参照させてください	
	5	本事業によるCO ₂ 削減量など環境評価の試算データがあれば参照させてください	
バイオマス全般	6	概要で記した処理対象物以外に処理対象として検討していたバイオマスはありますか？	
	7	6の質問に関してもしあれば、それを処理対象として断念した理由を教えてください	
	8	混合消化する場合、下水汚泥単独で消化する場合に比べ考慮すべきことは何かありますか？	
個別バイオマス	9	し尿・浄化槽汚泥を下水汚泥と混合消化する際の技術的課題と政策的課題があれば教えてください	
	10	農業集落排水汚泥を下水汚泥と混合消化する際の技術的課題と政策的課題があれば教えてください	
	11	生ごみ(事業系)を下水汚泥と混合消化する際の技術的課題と政策的課題があれば教えてください	
有効利用方法	12	発生したメタンガス・処理汚泥の有効利用先の選定はどのように、またなぜそのような有効利用方法となったか教えてください	
	13	現在発生するバイオガスの有効利用方法としてメタン発酵槽の加温・生ごみの可溶化などを実施しているが、バイオガス発電など新たな有効利用法を取り入れるなどの予定はありますか？将来の事業計画について教えてください	

付録4 中能登町質問書

分類	No.	質問事項	備考
概要確認	1	概要で記したデータに誤りはありませんか？	
事業	2	本事業が発足した背景を教えてください	
	3	本事業計画時に検討していた懸念事項があれば教えてください	
	4	本事業の採算性を評価するべく、どのようなコスト評価をしたか具体的なデータがあれば参照させてください	
	5	本事業によるCO ₂ 削減量など環境評価の試算データがあれば参照させてください	
バイオマス全般	6	概要で記した処理対象物以外に処理対象として検討していたバイオマスはありますか？	
	7	6の質問に関してもしあれば、それを処理対象として断念した理由を教えてください	
	8	混合消化する場合、下水汚泥単独で消化する場合に比べ考慮すべきことは何かありますか？	
個別バイオマス	9	し尿・浄化槽汚泥を下水汚泥と混合消化する際の技術的課題と政策的課題があれば教えてください	
	10	農業集落排水汚泥を下水汚泥と混合消化する際の技術的課題と政策的課題があれば教えてください	
	11	事業系厨芥類を下水汚泥と混合消化する際の技術的課題と政策的課題があれば教えてください	
	12	食品加工残渣とは具体的にどのようなものですか？また、それを下水汚泥と混合消化する際の技術的課題と政策的課題があれば教えてください	
有効利用方法	13	発生したメタンガス・処理汚泥の有効利用先の選定はどのように、またなぜそのような有効利用方法となったか教えてください	
	14	バイオガス発電を実施してきた中で技術的課題、政策的課題があれば教えてください	

付録5 黒部市質問書

分類	No.	質問事項	備考
概要確認	1	概要で記したデータに誤りはありませんか？	
事業	2	本事業が発足した背景を教えてください	
	3	本事業計画時に検討していた懸念事項があれば教えてください	
	4	本事業の採算性を評価するべく、どのようなコスト評価をしたか具体的なデータがあれば参照させてください	
	5	本事業によるCO ₂ 削減量など環境評価の試算データがあれば参照させてください	
バイオマス全般	6	概要で記した処理対象物以外に処理対象として検討していたバイオマスはありますか？	
	7	6の質問に関してもしあれば、それを処理対象として断念した理由を教えてください	
	8	混合消化する場合、下水汚泥単独で消化する場合に比べ考慮すべきことは何かありますか？	
個別バイオマス	9	各バイオマスの受入量の実績値があれば教えてください	
	10	生ごみを下水汚泥と混合消化する際の技術的課題と政策的課題があれば教えてください	
	11	農業集落排水汚泥を下水汚泥と混合消化する際の技術的課題と政策的課題があれば教えてください	
	12	浄化槽汚泥を下水汚泥と混合消化する際の技術的課題と政策的課題があれば教えてください	
	13	食品加工残渣(コーヒー粕)を下水汚泥と混合消化する際の技術的課題と政策的課題があれば教えてください	
	14	食品加工残渣(コーヒー粕)をバイオマスとして利用とすることに決まった経緯を教えてください。また、その発生元は具体的にどこか教えてください。	
有効利用方法	15	発生したメタンガス・処理汚泥の有効利用先の選定はどのように、またなぜそのような有効利用方法となったか教えてください	
	16	バイオガス発電を実施してきた中で技術的課題、政策的課題があれば教えてください	