

平成24年度  
環境研究総合推進費補助金 研究事業  
総合研究報告書

バイオマスの利活用を基軸とした  
地域循環圏のモデル化と普及方策に関する研究  
(K2410, ) K2333, K22002

平成25年3月

北海道大学 古市 徹

補助事業名 環境研究総合推進費補助金研究事業（平成 22 年度～平成 24 年度）

所 管 環境省

国庫補助金 57,752,000 円

研究課題名 バイオマスの利活用を基軸とした地域循環圏のモデル化と普及方策に関する研究

研究期間 平成 22 年 4 月 1 日～平成 25 年 3 月 31 日

研究代表者名 古市 徹（北海道大学）

研究分担者名 西 則雄（北海道大学）  
石井一英（北海道大学）  
金 相烈（北海道大学）  
翁 御棋（北海道大学）  
谷川 昇（財団法人日本産業廃棄物処理振興センター）  
齊藤 修（国連大学）  
山本佳世子（電気通信大学）  
福士 明（北海学園大学）  
日向貴久（地方独立行政法人北海道立総合研究機構農業研究本部中央農業試験場）  
三津橋浩行（地方独立行政法人北海道立総合研究機構工業試験場）  
阿賀裕英（地方独立行政法人 北海道立総合研究機構環境・地質研究本部  
環境科学研究センター）

「バイオマスの利活用を基軸とした地域循環圏のモデル化と普及方策に関する研究」

プロジェクトメンバー

主任研究者	北海道大学大学院工学研究院循環計画システム研究室	教授	古市 徹
研究分担者	北海道大学大学院工学研究院バイオウエイストマネジメント工学講座	教授	西 則雄
	北海道大学大学院工学研究院循環計画システム研究室	准教授	石井一英
		助教	翁 御棋
	北海道大学大学院工学研究科バイオウエイストマネジメント工学講座	助教	金 相烈
	(財)日本産業廃棄物処理振興センター事業推進部 部長代理		谷川 昇
	国連大学 サステイナビリティと平和研究所	学術研究官	齋藤 修
	電気通信大学	准教授	山本佳世子
	北海学園大学法学部	教授	福士 明
	地方独立行政法人北海道立総合研究機構		
		農業研究本部中央農業試験場	生産研究部長
		主査	木村義彰(H23)
		主査	日向貴久(H24)
	産業技術研究本部工業試験場		
	環境エネルギー部生物資源・分析応用グループ	主査	三津橋浩行
	環境・地質研究本部環境科学研究センター		
	環境保全部 情報・水環境グループ	研究主任	阿賀裕英
研究協力者	地方独立行政法人北海道立総合研究機構		
	農業研究本部中央農業試験場	生産研究部 主査	鈴木 剛
	工業試験場 環境エネルギー部エネルギー・環境グループ	主査	上出光志

# 目 次

最初のページ	
プロジェクトメンバー	
総合研究報告書概要	1
I 部 序論	11
1. 研究目的	11
II 部 北海道における地域循環圏のシステム解析	12
1. 広域のごみ処理における混合バイオガス化システム ー宗谷地域におけるバイオガス化とごみ燃料化による地域循環圏シナリオのシステム解析ー	12
2. 家畜ふん尿を中心とした混合バイオガス化システム	14
2.1 バイオガスプラントへの有機物性廃棄物の安定的投入に向けた条件の解明	14
2.2 地域特性と事業採算性を考慮した集中型家畜ふん尿バイオガス化施設のシステム化の検討	17
2.3 牛ふん尿バイオガス化プラントへの食品廃棄物投入による混合発酵の安定条件の 実験的検討	18
3. 工業団地とエネルギー連携した混合バイオガス化システム	20
3.1 石狩湾新港地域から排出されるバイオマス原料の性状調査と混合発酵特性の評価	20
3.2 食品廃棄物の混合発酵特性に関する実験的考察	22
3.3 石狩湾新港地域バイオガス化システムの事業化に向けた検討 - 2 項ロジットモデル を用いた食品廃棄物収集量推定手法の提案 -	24
3.4 石狩湾新港地域における採算性を考慮した食品廃棄物バイオガス化施設規模に関する 研究	25
4. 下水処理施設と連携した混合 BGS - 生ごみと下水汚泥との混合バイオガス化システムにおけるシステムの評価 -	26
5. 未利用廃棄物の利活用システム	28
5.1 稲わらペレットの製造条件の明確化	28
5.2 農作物残渣燃料の燃焼試験	30
5.3 未利用廃棄物（木質系、農業残渣）の利活用システムと生態系サービス評価	33
5.4 廃 CCA 処理木材の分別処理とリサイクルシステムの研究	36
III 部 全国ベースでの地域循環圏のモデルの普及方策の検討	38
1. 国内外のバイオマス事業化の成功要因の分析	38
2. バイオマス利活用の推進戦略のための GIS を用いた土地利用解析	39
3. バイオマスの再生可能エネルギー源としての利活用のための制度設計と運用 ー北海道におけるバイオマスの利活用を中心に	41
4. 地域循環圏の普及方策の提案	43
IV 部 結論	45
論文発表・学会発表	46
ポンチ絵	48
英文概要	49

- ・研究課題名=バイオマスの利活用を基軸とした地域循環圏のモデル化と普及方策に関する研究
- ・研究番号= K2410, K2333, K22002
- ・国庫補助金精算所要額 (円) = 57,752,000 (平成 22 年度～24 年度の総計)
- ・研究期間 (西暦) =2010-2012
- ・代表研究者名=古市徹 (北海道大学)
- ・共同研究者名=西則雄 (北海道大学)、石井一英 (北海道大学)、金相烈 (北海道大学)、翁御棋 (北海道大学)、谷川昇 (財団法人日本産業廃棄物処理振興センター)、齊藤修 (国連大学)、山本佳世子 (電気通信大学)、福士明 (北海学園大学)、日向貴久 (地方独立行政法人北海道立総合研究機構農業研究本部中央農業試験場)、三津橋浩行 (地方独立行政法人北海道立総合研究機構工業試験場)、阿賀裕英 (地方独立行政法人北海道立総合研究機構環境・地質研究本部 環境科学研究センター)

## 1. 研究目的

ほとんど実施事例がない地域循環圏のモデルを、バイオマスの利活用を基軸として、道内の地域特性とバイオマスの種類に応じてシステム解析することにより、全国ベースで普及するための方策を検討する。

- 1) 北海道における地域循環圏の5つのモデル {1)広域のごみ処理における混合バイオガス化システム(BGS)、2)家畜ふん尿を中心とした混合 BGS、3)工業団地とエネルギー連携した混合 BGS、4)下水処理施設と連携した混合 BGS、5)未利用廃棄物の利活用システム} を、受入れバイオマスの質と量、供給先の需要、変換装置 (施設)、事業主体、地域特性の各要因について技術的・社会的側面から統合的に検討し、事業採算性と技術・環境・社会の総合的観点から、各モデルが成立するための共通条件や課題を抽出する。
- 2) 上記システム解析から得られた共通条件や課題の検討を踏まえて、全国ベースでの地域循環圏モデルの普及方策を検討する。

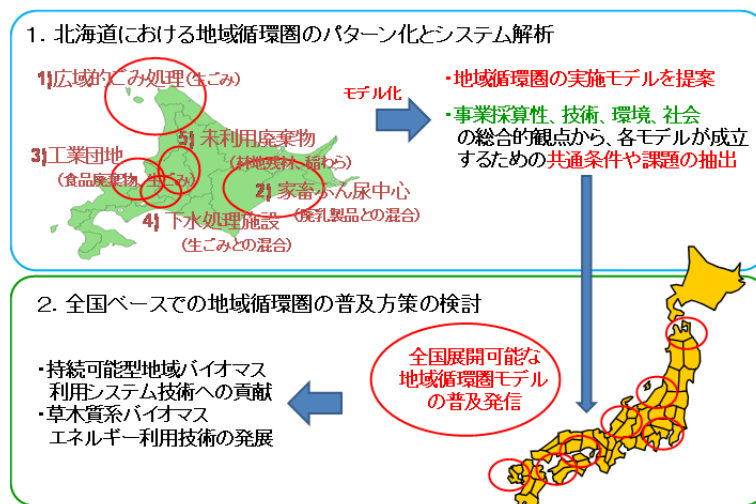


図 1-1 本研究の全体構成

## 2. 研究方法

### 2.1 北海道における地域循環圏のシステム解析

次の5つの地域循環圏モデルのシステム解析により、各モデルが成立する共通条件と課題を抽出する。

#### 1) 広域のごみ処理における混合バイオガス化システム(BGS)

離島を含む北海道宗谷地域を対象に、生ごみのバイオガス化と新たに分別区分した燃料ごみ(紙・プラ・布・木)のごみ燃料(RDF)化による地域循環圏シナリオ(図 2-1)について、ごみ組成調査等の現地調査および自治体提供資料に基づき、コストおよび最終処分量、リサイクル率を評価し、経済的に成立する実行可能な地域循環圏の具体例を提示する。

#### 2) 家畜ふん尿を中心とした混合 BGS

酪農地域での牛ふん集中型 BG 施設の事例調査に基づく事業採算性解析により、事業成立条件を明らかにする。そして事業採算性に大きな影響を及ぼす有機性廃棄物(産業廃棄物)受入を唯一行っている施設での、産業廃棄物受入実績データと BG 発生量を解析した。そして特に一時大量投入されていたため発酵阻害の懸念があった液状ホエイ(チーズ製造時の副産物)による発酵阻害機構をバッチ試験により明らかにし、さらに連続試験(図 2-2)により、発酵阻害が生じない安定発酵条件を検討した。

#### 3) 工業団地とエネルギー連携した混合 BGS

①都市地域圏である石狩湾新港で排出される食品廃棄物(産廃)、石狩市・札幌市(一部の区)で排出される食品廃棄物(事業系一廃)と生ごみ(家庭系)の収集量を住民の分別協力度に基づき推定し、図 2-3 に示す民間企業が運営する BG 施設を想定し、各種廃棄物の受入量と処理料金の関係図を用いた施設規模決定手法の検討を行った(FIT 制度適用(売電価格 39 円/kWh)、事業期間 20 年間)。また熱・精製ガス利用の場合の工業団地内でのエネルギー連携方法を検討した。

②炭水化物、たんぱく質、脂質の割合がバイオガス発生量に及ぼす影響をバッチ試験にて評価した。その上で、飼料・堆肥に向かない高脂質含有有機性廃棄物の BG 施設受入を想定し、連続試験(図 2-2)により、脂質含有割合および脂質投入負荷量が BG 発生量に及ぼす影響を明らかにした。

#### 4) 下水処理施設と連携した混合 BGS

焼却施設を持たない北海道北広島市における、生ごみを既設消化槽で混合発酵する地域循環圏を対象に、生ごみ、紙類、プラスチックの分別協力量を表 2-1 のように向上させた場合の最終処分場延命化と温室効果ガス削減効果を評価した。

#### 5) 未利用廃棄物の利活用システム

①図 2-4 に示す稲わらの地域循環圏を日本で初めて実践した南幌町の実機にて、稲わらペレットの歩留まり率と燃料特性(発熱量、機械的耐久性)に及ぼす初期含水率および破碎粒度、成形温度の影響を解析し、高品質稲わらペレット製造条件を明らかにする。そして、これまで実例が無い稲わらペレットの燃焼実験および発熱量ベースの価格解析により、稲わらペレットの化石燃料代替性を明らかにする。

②未利用バイオマスの利活用向上に伴う、土地改変による炭素蓄積損失など生態系サービスへの影響を明示的かつ定量的に評価するプロトタイプを新たに提示し、ケーススタディにより生態系サービスを考慮した事業評価を試みる。

### 2.2 全国ベースでの地域循環圏の普及方策の検討

#### 2.2.1 全国ベースでの地域循環圏の普及のための必要条件

1)GIS データベースを利用した土地利用解析により、土地利用とバイオマスとの関連性を把握するために、GIS データベース構築に必要な各種データ収集、可視化システムの構築、土地利用・環境情報の

解析を行った。

- 2) 米国および独国における再生可能エネルギー、特にバイオエネルギー普及のための制度設計や運用についてレビューを行い、国内の現状との比較を通じて、北海道におけるバイオエネルギー進展のための制度設計とその運用について考察した。

## 2.2.2 地域循環圏の普及方策の提案

- 1) 全国の先進的バイオマス利活用事例の解析を行い、事業主体別に事業化のための条件設定と課題の抽出を行った。
- 2) 海外の先端事例も踏まえ、北海道で構築した 5 つの地域循環圏モデルを全国ベースで普及させるための普及方策を検討した。

## 3. 結果と考察

### 3.1 北海道における地域循環圏のシステム解析

#### 1) 広域のごみ処理における混合バイオガス化システム (BGS)

離島からの生ごみフェリー輸送による生ごみバイオガス化による地域循環圏の可能性を示した。そして生ごみバイオガス化に加えて、新たに分別区分する燃料ごみ（紙・プラ・布・木）の RDF 化の両方を考慮した場合、宗谷地域全体の年間の廃棄物管理にかかるコストは現状と比べて削減できることを示した（図 3-1）。また、図には示していないが、発酵汚泥の堆肥化と RDF 化によりリサイクル率は現状の 29.6%から 50.6%に、最終処分量は現状と比べて 83.3%削減することを示した。すなわち、これまで具体的検討がされてこなかった地域循環圏について、北海道宗谷地域の生ごみと燃料ごみの複数の資源に着眼し、各資源の物質特性と地域特性に基づいた経済的に実現可能な、かつリサイクル率と最終処分場量を大幅に改善する地域循環圏モデルを提示することができた。

#### 2) 家畜ふん尿を中心とした混合 BGS

牛ふん集中型 BG 施設の事例および事業採算性解析により、売エネルギーのみならず、液肥販売や産業廃棄物受入による収入の有無が事業成立の条件であることを明らかにした。そこで事業成立条件の一つである産業廃棄物（乳製品工場からの食品廃棄物）を受け入れている牛ふん混合 BG 施設の実績調査より、1 回当たりの最大搬入量と年間総投入量に占める割合（集中度）を算出したところ（表 3-1）、1 回の投入が年間総投入量の 50%を超える場合が多く見られること、さらに貯蔵可能な固形物である廃バター、廃チーズのバイオガス発生量増大割合に比べて、貯留槽が無い場合保管が困難である液状ホエイによる BG 発生量増加割合が著しく低く、発酵阻害が生じている可能性を指摘した（表 3-2）。すなわち、発酵阻害を防ぐために、貯留槽を整備し発酵槽への投入量を調整する必要性を示した。そこで貯留槽設置によりホエイを定常投入できると想定した場合、バター2%の定常投入を前提とすると、アンモニア蓄積の観点から、ホエイの毎日の投入割合を 8%程度に制御することが、安定発酵のための投入条件であること（表 3-3）を実験的に明らかにした。以上より国内ではまだ実施事例は少ない牛ふんと産廃の混合バイオガス化による実行可能な地域循環圏モデルを提示した。

#### 3) 工業団地とエネルギー連携した混合 BGS

- ① BG プラント事業採算性解析による事業採算を満足する施設規模決定例の一つとして、都市近郊の食品廃棄物（事業系一廃）・家庭系生ごみの各受入量と内部利益率（IRR）の解析結果を表 3-4 に示した（受入料金は固定）。これより地域特性に応じて事業採算性を満足する施設規模を決定できる手法を開発することができた。また、図には示していないが、工業団地内でのエネルギー連携の一つの形態として、LNG プラントへの BG 注入がエネルギー効率面で有効であり、売ガス価格次第では事業

性は向上することを示した。すなわち、工業団地内でのエネルギー連携による都市域生ごみ等の BG による実行可能な地域循環圏モデルを提示した。

- ②バッチ試験により、BG 発酵槽の滞留時間である 18 日間を想定したメタンガス発生量は、炭水化物、たんぱく質、脂質の割合によっておおよそ推測できることが明らかとなった(図 3-2)。そして今後、受入量確保のために重要となる飼料・堆肥に向かない高脂質含有有機性廃棄物の混合発酵特性を把握するための連続試験により、図 3-3 に示すように投入割合が増加する程 BG 発生量は低下し、脂質割合が 40%になると発酵が停止してしまうことが分かった。また、脂質割合 40%の条件で 0.05~0.15 kg-VS/m<sup>3</sup>/day のごく低い投入負荷量でも発酵阻害が生じてしまうことを明らかにした。

#### 4) 下水処理施設と連携した混合 BGS

生ごみおよびプラ、紙類の分別協力率向上による最終処分量および地球温暖化ガスの削減量をそれぞれ図 3-4 と図 3-5 に示した。既設消化槽容量の余裕分に生ごみや食品廃棄物を投入しバイオガス化すると同時に紙類やプラスチックの資源化を総合的に推進すること(シナリオ C)で、家庭ごみ埋立量は 4737 t/年(約 BAU の 55.9%)、地球温暖化ガス排出量は 7143.8 t-CO<sub>2</sub>/年(2009 年北広島市全体の排出量の 31.2%に相当)削減可能であることを示した。

#### 5) 未利用廃棄物の利活用システム

- ①図 3-6 に、稲わらペレットの含水率と発熱量および歩留まり率(=稲わらペレット製造量/稲わら量)の関係を示す。低含水率の方が、発熱量は高いが、歩留まり率が低くなる(成形がうまくいかない)。すなわち、含水率が重要な製造パラメータであり、製造後の稲わらペレット含水率が 12~15%程度になるように、調整する必要がある。そこで、含水率を事前に 15%に調整し製造(製造後の含水率約 12%)した時の破碎粒径と成形温度が、歩留まり率に及ぼす影響を図 3-7 に示した。破碎粒径によらず、含水率 15%、成形温度 60~80°Cであれば十分に良質な稲わらペレットの製造が可能であり、このとき、木質ペレット品質規格である機械的耐久性とほぼ同等の品質を有することが分かった。また、稲わらペレットの発熱量はおおよそ 13MJ/kg(木質ペレットは 16.5MJ/kg)であり、発熱量ベースの価格解析により、重油および灯油共に 20 円高騰した将来には十分に代替燃料として使用可能であることを示した。さらに、稲わらペレットの実ボイラ燃焼試験の結果、木質ペレットと混合燃焼することでクリンカ生成による燃焼障害を改善できることから、木質ペレットボイラで十分に稲わらペレットの燃焼が可能であることを示した。

- ②未利用バイオマスの利活用向上に伴う生態系サービスへの影響を評価する枠組みを新たに提案し、その解析の一例として、北海道南幌町および下川町にて炭素蓄積損失量の定量的評価を試みた結果、単にエネルギー収支や経済性だけではなく、炭素蓄積損失などの生態系サービスを考慮し、未利用バイオマス利活用の事業評価をすることが重要であることを示した。

以上、5つの地域循環圏のシステム解析により、具体的実施モデルを図 3-8~3-12 に提案し、各モデルが成立するための共通条件を抽出し同図に示した。

### 3.2 全国ベースでの地域循環圏の普及方策の検討

#### 3.2.1 全国ベースでの地域循環圏の普及のための必要条件

- 1) GIS データベースを利用した土地利用解析により、土地利用とバイオマスとの関連性が把握でき、バイオマスの利活用の可能性を詳細な地区単位で示唆することができた。林地残材や稲わら等の未利用バイオマスの利活用は土地利用政策と密接な関連を有することから、GIS を用いた土地解析と土地利用管理が重要であることを示した。
- 2)再生可能エネルギーおよびバイオエネルギー普及が進んでいる米国と独国では、制度設計上、法律で



目標を設定し、さらに詳細な実施計画（行程表）を策定し、各地方と連携しながら実施している点が成功要因の一つであることを示した。日本においても目標値を強制力のある実質的なものと位置づけ、国と地方が連携し詳細な実施計画（行程表）を策定し運用していくことが必要であることを示した。

### 3.2.2 地域循環圏の普及方策の提案

- 1) 全国のバイオマス利活用事例のシステム解析により、事業化成功のためのポイントを表 3-5 のように、事業者別に整理し、その違いを明確にした。
- 2) バイオエネルギーの普及が進んでいる先進国（ドイツ、フィンランド、スウェーデン、オーストリア）での技術的・社会的側面からの調査結果（表 3-6）を踏まえて、図 3-8 から図 3-12 に、本研究で提案した 5 つの地域循環圏の実施モデルを全国ベースで普及させるための方策について示した。

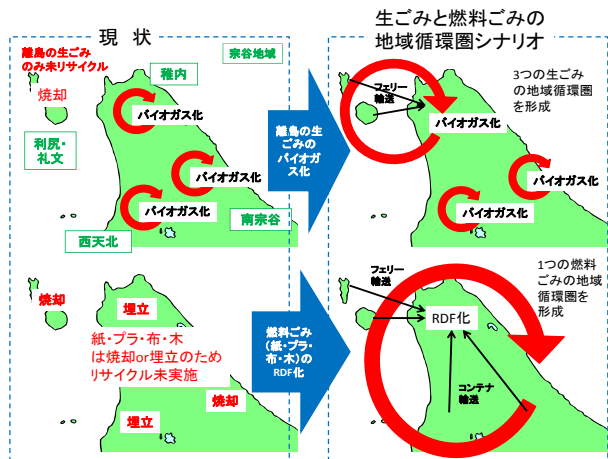


図 2-1 地域循環圏シナリオの構築

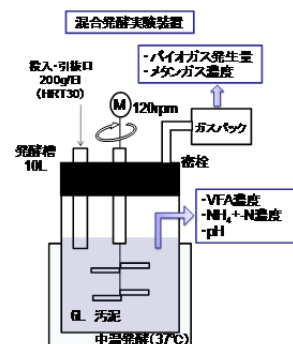


図 2-2 メタン発酵連続試験装置

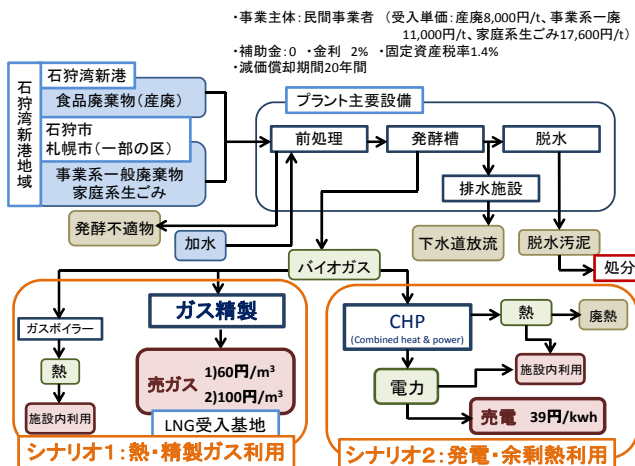
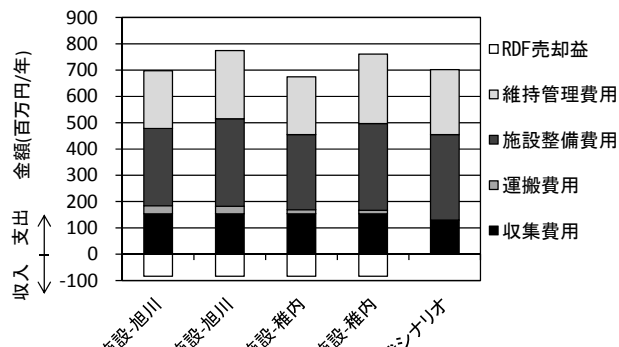


図 2-3 バイオガス化施設規模決定のための計算条件

表 2-1 分別回収率の設定

シナリオ	分別回収率		
	生ごみ	紙類	プラスチック
BAU (現状)	0.04	0.18	0.38
A	0.42	0.18	0.38
B	0.62	0.26	0.64
C	0.82	0.33	0.83



1施設：稚内市にRDF化施設建設  
 3施設：稚内市、利尻島、礼文島にそれぞれRDF化施設建設  
 旭川：RDFを旭川市内既存製紙工場で利用  
 稚内：RDFを稚内市新規熱利用施設で利用

図 3-1 宗谷地域全体での年間費用の比較

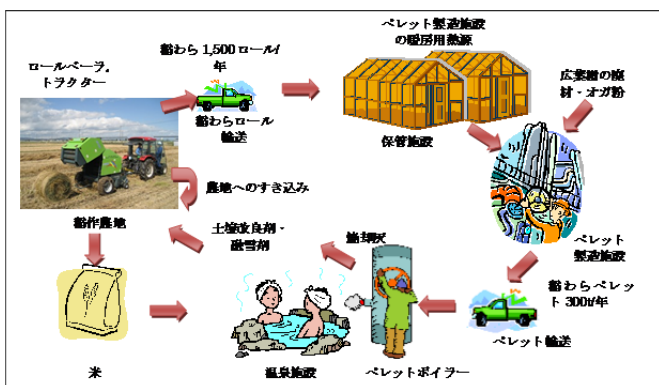


図 2-4 南幌町の稲わらペレット事業の概要

表 3-1 有機系廃棄物の受入状況

形態	資材名	最大	集中度
		日搬入量 (t)	
業者	液状物		
	廃用牛乳	24.5	12%
	廃チーズホエイ	260.0	89%
	廃シロップ・バターミルク	45.2	12%
業者	半固形物		
	合併洗浄槽汚泥	340.6	77%
	廃生クリーム・練乳	48.1	12%
	廃脱脂粉乳	12.4	10%
業者	固形物		
	廃バター	1.2	11%
	廃チーズ	45.0	50%
	水産加工残滓	6.7	5%
農家	スラリー		
	尿尿処理汚泥	5.0	66%
	糞糞類	0.3	4%
	小計	143.4	-

表 3-2 有機系廃棄物の平均貯留日数とガス発生増加割合

形態	資材名	平均	ガス発生量
		貯留日数 (day)	増加割合 (%/t-DM)
業者	液状物		
	廃用牛乳	0.1	7.1
	廃チーズホエイ	0.3	3.1
業者	半固形物		
	廃シロップ・バターミルク	0.0	6.8
業者	固形物		
	廃生クリーム・練乳	7.3	7.0
	廃脱脂粉乳	35.8	6.3
業者	廃バター	22.6	10.4
	廃チーズ	15.0	11.3

表 3-3 ホエイ定常投入条件下における安定 BG 発生時期の BG 発生量と汚泥分析の結果

実験区名		対照区	run2(ホエイ8%)	run3(ホエイ13%)	run4(ホエイ18%)
メタンガス	安定期から20日間のメタンガス合計発生量(L)	99	104	107	111
	ホエイVSあたりメタンガス発生量(L/gVS)	-	0.33	0.36	0.39
汚泥	VFA濃度(mg/L)	2087	2153	2760	3105
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N濃度(mg/L)	2378	3200	3711	4201
	pH	7.7	7.8	8	8.2
	全窒素(mg/L)	5600	5600	6300	7000

表 3-4 各廃棄物の受入量と IRR の関係

食品廃棄物(事業系一廃) 受入量(t/d) (11,000円/t)	IRR (%)	家庭系生ごみ受入量(t/d) (17,600円/t)			
		0	12	24	36
0	-	-	-6.40 (-10.04)	0.83 (-1.47)	3.37 (1.54)
12	-	-	-2.39 (-5.44)	1.77 (-0.33)	3.88 (2.00)
24	-	-7.55 (-11.69)	-0.26 (-2.92)	2.56 (0.59)	4.40 (2.45)
36	-	-3.21 (-6.55)	1.11 (-1.28)	3.26 (1.32)	4.90 (2.89)

上部:施設利用分を差し引いた電力を売電した場合(39円/kwh)  
 ()内:LNGプラントに精製ガスを売却した場合(100円/m<sup>3</sup>)

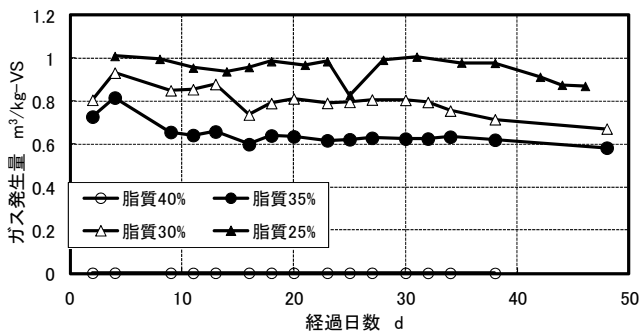


図 3-3 脂質含有割合と BG 発生量の関係

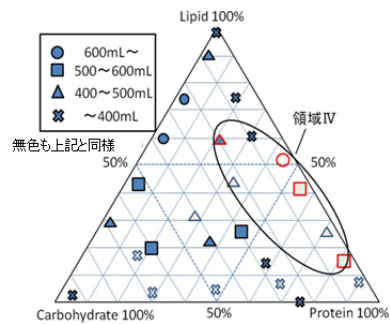


図 3-2 VS1g 当たりのメタンガス発生量

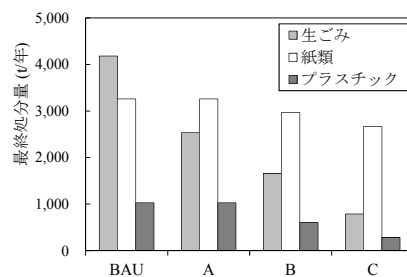


図 3-4 最終処分量の変化

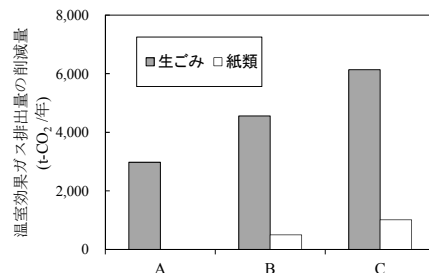


図 3-5 温室効果ガス削減量

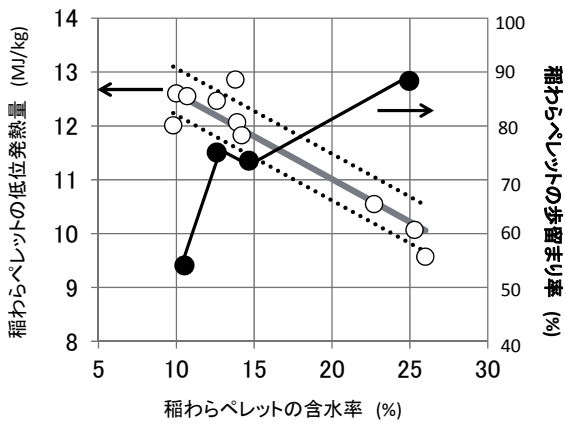


図 3-6 含水率と発熱量および歩留まり率の関係

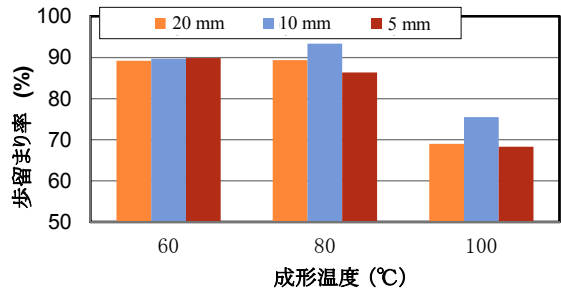
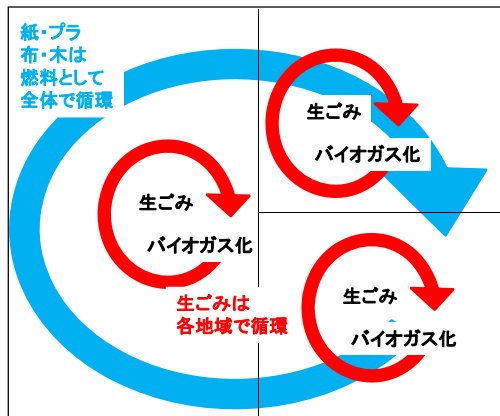


図 3-7 成形温度と歩留まり率の関係  
(破碎粒径をパラメータ)

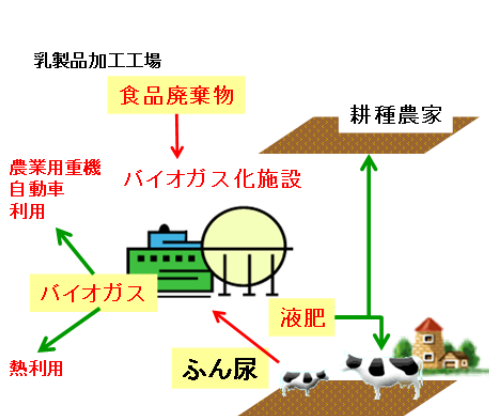
1) 広域のごみ処理におけるバイオガス化システム(BGS)による地域循環圏モデル  
(生ごみは各地域で循環、紙・プラ・布・木は全体で循環)



- 本研究の成果  
高リサイクル率を達成する経済的に実施可能なバイオガス化とRDF化による地域循環圏の具体例の提示
- モデル成立のための共通条件  
・中小自治体の組み合わせ  
・生ごみの循環とそれ以外の可燃ごみ(紙・プラ・布・木)の循環を同時に考慮
- 普及方策  
・焼却施設のみには頼らないさらなる広域連携の推進と施設補助の多様化  
・RDFを利用する地域エネルギー供給プラントなどのインフラ整備と既存民間施設との積極的連携  
・事務組合などの運営方式の再考(ごみ種によって管轄する自治体の組み合わせが異なる場合がある)

図 3-8 広域のごみ処理における BGS 地域循環圏

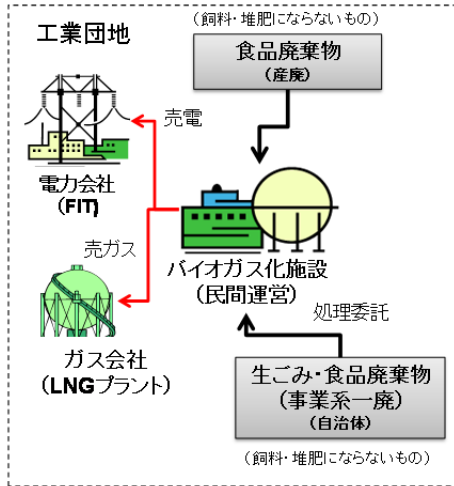
2) 家畜ふん尿を中心とした混合BGSによる地域循環圏モデル



- 本研究の成果  
・集中型BGSでの混合発酵による事業可能な地域循環圏の具体的例示
- モデル成立のための共通条件  
・売エネルギー+液肥販売+産業廃棄物受入による収入の確保  
・液肥散布可能な耕種農家の存在  
・乳製品加工工場など、農家に受け入れられる産業廃棄物の受入可能地域
- 普及方策  
・ふん尿の適正処理(悪臭改善、地下水汚染改善)と液肥利用による窒素とリンの適正循環に価値をおいた補助制度の見直し  
・プラント規格の統一化などコストダウン  
・酪農地域での送電網の拡充あるいはBG利用可能な農業用重機の普及

図 3-9 家畜ふん尿中心混合 BGS 地域循環圏

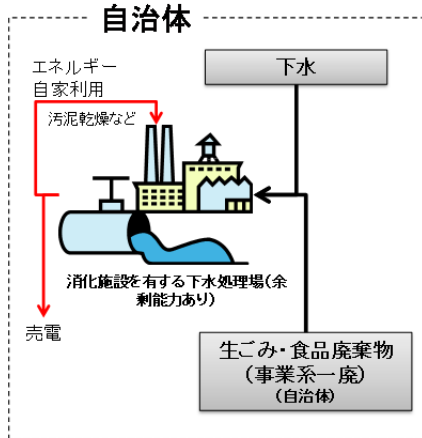
### 3) 工業団地とエネルギー連携した混合BGSによる地域循環圏モデル



- 本研究の成果
  - ・都市地域の飼料・堆肥化にならない家庭系生ごみと食品廃棄物(事業系一廃、産廃)のバイオガス化による地域循環圏の具体例の提示
  - ・特に、事業成立する施設規模決定手法の提示
- モデル成立のための共通条件
  - ・事業系一廃としての食品廃棄物及び家庭系生ごみの量の確保(民間処理委託)
  - ・工業団地での、施設間のエネルギー連携(BGの熱利用との連携が効率的)
- 普及方策
  - ・一般廃棄物の民間処理委託の推進
  - ・リサイクル率向上策としての家庭系生ごみ分別の強化・義務化
  - ・食品廃棄物の再生利用率向上のための食品卸売業および外食産業への分別強化
  - ・一廃および産廃の混合処理に関する規制緩和

図 3-10 工業団地エネルギー連携混合 BGS 地域循環圏

### 4) 下水処理施設と連携した混合BGSによる地域循環圏モデル



- 本研究の成果
  - ・既存消化槽の余裕能力を活用したバイオガス化による地域循環圏モデルの具体的例示
- モデル成立のための共通条件
  - ・余剰能力のある消化槽を有する自治体
- 普及方策
  - ・消化槽を有する下水施設の生ごみとの混合発酵のニーズが低いことから、具体的実施事例の情報発信
  - ・リサイクル率向上策としての家庭系生ごみ分別の強化・義務化
  - ・食品廃棄物の再生利用率向上のための食品卸売業および外食産業への分別強化
  - ・下水道部局と廃棄物部局の連携が必要

図 3-11 下水処理施設混合 BGS 地域循環圏

### 5) 未利用バイオマスである稲わらペレットの利活用による地域循環圏モデル



- 本研究の成果
  - ・野焼き禁止以降、鋤込みされていた稲わらの圃場からの搬出(適正処理)と有効利用のための、稲わらペレット化による地域循環圏の具体例示
  - ・稲わらペレット製造条件および燃焼特性の明確化
- モデル成立のための共通条件
  - ・全国各地での米作地域で、未利用(鋤込みされている)稲わらの発地域
  - ・公共施設やビニールハウスなど熱利用が可能である施設を有する地域
- 課題
  - ・稲わら収集・運搬のための重機の整備
  - ・稲わら収集・運搬のコスト削減
  - ・「稲わらペレット及び木質ペレット」と「重油・灯油」の熱量当たりの売価差額の補填の仕組み

図 3-12 稲わらペレット熱利用による地域循環圏

表 3-5 バイオマス利活用事例システム分析による事業化成功のポイント

	成功要因		
	排出事業者	処理事業者	自治体
目的設定	関連法律への対応、遵守 コスト削減(廃棄物処理費、 購入電力・燃料費) 企業イメージ、CSR	ビジネスの契機 循環型社会構築への貢献	・廃棄物管理の広域化対応 ・地域特有の問題対応
インプット	・事業主体=排出事業者なので、インプットの量と質の管理が容易	・大都市や工業地域での立地によりインプットの確保が可能	・住民への分別指導の徹底 ・複数の種類のバイオマスの受入
アウトプット	・比較的閉じた系での流通(グループ内利用)、エネルギー利用(自家利用) ・既存施設、既存販路の利用、販売計画への反映、ブランド化	・アウトプットの需要確保・拡大の努力を継続的に行っている	・自施設のみならず、関連施設へのエネルギー供給が可能 ・堆肥の非農業利用も考慮(公園などの公共利用)
変換技術	・インプットの量と質の管理がなされているので、前処理の手間が軽減 ・既存施設の利用によるコスト削減 ・需要先のニーズを満たす製品の製造技術	・低コスト、低環境負荷型の施設 ・副産物の二次利用による維持管理費低減化を実現	・住民への協力徹底による前処理手間の軽減 ・副産物の二次利用も含めた低コスト化 ・再生品の需要を考慮した運転管理
地域特性	・インプットとアウトプット対象が、比較的近隣に存在(需要と供給のバランスがとれている)	・大都市や工業地域での立地	・地域特有の問題対応

表 3-6 海外先進事例の技術的・社会的調査結果

国	参考事例	成功要因
ドイツ	・ユンデ村 (Bioenergy village) ・生ごみバイオガスプラント ・牛ふんバイオガスプラント (資源作物、有機廃棄物混合)	・FIT制度による全量買取(発電量全量) ・生ごみの分別(Biowasteとして分別) ・バイオガスの非精製利用(低コスト)とガス管導入の促進(ガス質は日本ほど厳しくない)
フィンランド	・バイオマスCHPプラント(地域エネルギー供給プラント) ・牛ふんバイオガスプラント (有機廃棄物混合) ・木質ペレット工場	・重油ボイラからバイオマスボイラへの転換促進 ・地域熱供給インフラの存在 ・バイオガスの自動車燃料利用促進
スウェーデン	・バイオガススタンド	・下水消化槽のバイオガスの自動車燃料の利用促進 ・炭素税導入によるインセンティブ
オーストリア	・生ごみバイオガスプラント	・自治体からの民間処理委託 ・FIT制度

#### 4. 環境政策への貢献

全国ベースで本研究での成果を展開するにあたり、以下の環境政策への貢献が期待できる。

- 1) 高リサイクル率、高エネルギー利用効率を実現するために、生ごみを含む可燃ごみの「焼却処理」に代わる「バイオガス化+RDF化システム」によるさらなる広域化を推進すべきである。本研究ではこのようなシステムがコストを考慮しても優位であることをケーススタディとして示した。
- 2) 酪農家のふん尿処理に対する金銭的負担の限界を考慮すると、現状の牛ふん尿の集中型BG施設の運営は難しい。よって、エネルギー面だけではなく、牛ふん尿の悪臭等の環境面を考慮した「適正処理の側面」と良質肥料の生産の「資源の側面」の両側面を考慮した補助制度に転換を図るべきである。また、事業性向上のための有機性廃棄物受入を促進するために、産廃処理業の許可等の規制の緩和、および液肥の耕種農家での利用促進策が必要である。
- 3) 都市域での民間事業を想定した場合のバイオガス化施設の事業成立のための施設規模決定手法を構築し、そのケーススタディにより、一定規模の家庭系生ごみや食品廃棄物(事業系一廃)の受け入れが可能であれば十分にビジネスとして成立することを示した。そのためには、リサイクル率目標値の引き上げや義務化が必要であり、結果として都市域での生ごみのリサイクル率および食品廃棄物の再生利用率の向上に大きく貢献する。その際、中小規模の飲食店から排出される堆肥や飼料に向かない食品廃棄物のリサイクルの受け皿としてのバイオガス化プラント導入促進を図るべきである。また、民間による処理事業を推進するために、一般廃棄物の民間処理委託の推進が必要である。
- 4) 既存インフラとしての消化槽を有効利用することで、地域の生ごみ等の有機性廃棄物からの資源回収が可能であり、地球温暖化ガス発生抑制や最終処分量削減に貢献することを示した。このような既存消化槽の余裕分を、生ごみやし尿汚泥(浄化槽汚泥も含む)との混合発酵のために有効利用することを積極的に推進すべきである。
- 5) 野焼き禁止以降鋤込み処理されていた稲わらの適正処理と資源化のために、本研究では稲わらペレ

ットが、固形燃料として製造可能であり、また木質ペレットボイラ等で燃焼可能であることを示した。しかし、現状では化石燃料との発熱量ベースでの価格差から普及が困難である。稲わらペレットの利用拡大のために、灯油・重油との価格の差額に対して補助（熱版 FIT）政策を検討すべきである。

- 6) 本研究で行った混合バイオガス化実験において、従来の COD 等の総合指標よりも炭水化物、たんぱく質、脂質の 3 成分の割合を考慮することがバイオガス発生予測にとっては重要であり、特に発酵阻害等の未然防止のためには重要であることを示した。そして異種の食品廃棄物の混合発酵時および牛ふん尿と廃乳製品との混合発酵時において発酵阻害の生じる条件を実験的に明らかにした。これらの知見は、これまで国内で例の無かった混合発酵を行う際の一つの指針となり得るものである。
- 7) バイオマス利活用に伴う生態系サービス（生態系から人間が得ている恵みの総称）を評価する枠組みを新たに提案し、ケーススタディにより生態系サービスを考慮したバイオマス事業のあり方について提案した。すなわち、循環型社会、低炭素社会、自然共生社会の 3 つの社会を統合する評価モデルのプロトタイプを提案した。
- 8) バイオマス利用に関する土地利用や関連情報を対象とした、GIS を利用した可視化システムの構築、土地利用・環境情報の解析により、特に森林保全の観点から、木質バイオマスの積極的利活用を考えていく必要があることを示した。すなわち、バイオマスと土地利用という観点から GIS データベースを整備していく必要がある。
- 9) バイオエネルギー利用も含めた再生可能エネルギー利用について、強制力を持った目標値を設定すべきであり、また、国と各地域は、その目標値を達成するために、詳細な実施計画を策定し、連携して施策を実施できる仕組みを検討すべきである。

## 5. 研究成果の実現可能性

生ごみや食品廃棄物の利活用のためには、従来の慣習的な収集・運搬・処理・処分方法に大きな変更が伴うため、自治体をはじめ関連業者、住民のコンセンサスが必要である。よって、そのような大きな変更には、国などからの強制力をもった制度転換（例えば、生ごみ分別義務化など）も必要である。韓国や台湾では、生ごみ分別の義務化など強制力をもった資源化政策を進めており、国内においてもそのような強制力をもった制度が、地域循環圏構築のドライビングフォースとなり得る。

## 6. 結論

本研究では、バイオマス利活用を基軸とした、以下の 5 つの地域循環圏の具体的実施モデルを、北海道の地域特性とバイオマスの種類に応じたシステム解析により提案し、各モデルの事業成立ための共通条件および課題を明らかにした。

- ①広域のごみ処理におけるバイオガス化システム(BGS)による地域循環圏モデル
- ②家畜ふん尿を中心とした混合 BGS による地域循環圏モデル
- ③工業団地とエネルギー連携した混合 BGS による地域循環圏モデル
- ④下水処理施設と連携した混合 BGS による地域循環圏モデル
- ⑤未利用バイオマスである稲わらペレットの利活用による地域循環圏モデル

そして、明確化された共通条件や課題、および海外の先進事例を踏まえて、これら地域循環圏実施モデルを全国ベースでの普及方策を提示した。これらより、本研究が提示する 5 つのバイオマス利活用を基軸とする地域循環圏モデルは実行可能であり、日本が目指す 3 つの社会の統合による持続可能な社会形成に大きく貢献しうることを示した。



# I 部 序論

## 1. 研究目的

ほとんど実施事例がない地域循環圏のモデルを、バイオマスの利活用を基軸として、道内の地域特性とバイオマスの種類に応じてモデル解析することにより、全国ベースで普及するための方策を検討する。

- 1) 北海道における地域循環圏の 5 つのモデル {1)広域のごみ処理における混合バイオガス化システム (BGS)、2)家畜ふん尿を中心とした混合 BGS、3)工業団地とエネルギー連携した混合 BGS、4)下水処理施設と連携した混合 BGS、5)未利用廃棄物の利活用システム} を、受入れバイオマスの質と量、供給先の需要、変換装置 (施設)、事業主体、地域特性の各要因について技術的・社会的側面から統合的に検討し、事業採算性と技術・環境・社会の総合的観点から、各モデルが成立するための共通条件や課題を抽出する。
- 2) 上記モデル解析から得られた共通条件や課題の検討を踏まえて、全国ベースでの地域循環圏モデルの普及方策を検討する。

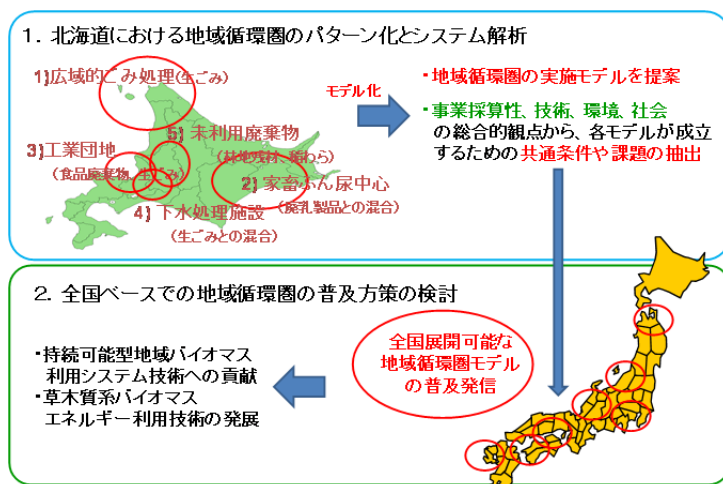


図 1-1 本研究の全体構成

表 1-1 研究計画と役割分担

分類	想定地域	担当	項目	22年度	23年度	24年度	
1 北海道における地域循環圏のパターン化とシステム解析	1) 広域のごみ処理における混合バイオガス化システム	種内、礼文、利尻 中北空知	北大	1-1 離島における生ごみ(家庭系、事業系)の発生形態と排出者の意向調査	○	○	
				1-2 生ごみ海上輸送システムの構築		○	○
				1-3 生ごみ以外の一般廃棄物のリサイクルシステムの検討	○		
				1-4 事業採算性と技術・環境・社会の総合評価		○	○
				2-1 混合対象物の発生特性および排出者意向調査	○		
	2) 家畜ふん尿を中心とした混合バイオガス化システム	鹿追、別海	北大 道中央農 試	2-2 混合発酵特性と発生バイオガス量の評価		○	
				2-3 農村地域におけるバイオガス直接利用システムの検討		○	
				2-4 発酵残渣の液肥・堆肥特性の評価			○
				2-5 事業採算性と技術・環境・社会の総合評価			○
				3-1 バイオガス化可能バイオマスの発生形態と排出者意向調査	○		
	3) 工業団地とエネルギー連携した混合バイオガス化システム	石狩湾新港	北大 道工試	3-2 混合発酵特性と発生バイオガス量の評価	○	○	○
				3-3 バイオガス精製条件の検討			○
				3-4 発酵残渣のリサイクルの検討			○
				3-5 事業採算性と技術・環境・社会の総合評価		○	○
				4-1 バイオガス化可能バイオマスの発生形態と排出者意向調査	○		
4) 下水処理施設と連携した混合バイオガス化システム	北広島	北大 道工試	4-2 混合発酵特性と発生バイオガス量の評価				
			4-3 発酵残渣の汚泥処理特性の評価				
			4-4 発酵残渣のリサイクル(堆肥、固形燃料)の検討			○	
			4-5 事業採算性と技術・環境・社会の総合評価		○		
			5-1 稲わら、木材チップの収集・保管システムの構築	○		○	
5) 未利用廃棄物(木質系、農業残渣、水産系)の利活用システム	南幌、道央地域	北大 道大 道工試 道環セ	5-2 ベレト燃料特性と燃焼条件の把握	○	○	○	
			5-3 ベレト燃焼灰のリサイクルの検討				
			5-4 事業採算性と技術・環境・社会の総合評価		○	○	
			5-5 水産廃棄物の高付加価値産物への変換技術の開発			-	
			2-1 北海道の地域循環圏のモデル解析に基づいた全国ベースでのモデル化のための条件設定と課題の検討	○	○		
2 全国ベースでの地域循環圏の普及方策の検討	北大 道大 道工試 道環セ	北大 道大 道工試 道環セ	2-2 全国ベースでの地域循環圏モデルのパターン化		○	○	
			2-3 地域に適合した地域循環圏モデルの普及方策の検討			○	

## Ⅱ部 北海道における地域循環圏のシステム解析

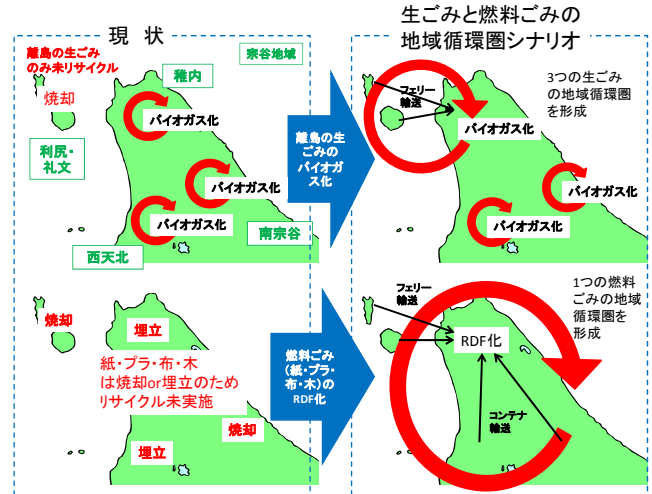
### 1. 広域のごみ処理における混合バイオガス化システム

—宗谷地域におけるバイオガス化とごみ燃料化による地域循環圏シナリオのシステム解析—

主任研究者 北海道大学大学院工学研究院 教授 古市 徹  
 分担研究者 准教授 石井一英  
 (財)日本産業廃棄物処理振興センター 部長代理 谷川 昇

#### 1.1 研究背景と目的

本研究で対象とする宗谷地域では、稚内市、西天北、南宗谷、利尻、礼文の5つの自治体がそれぞれ一般廃棄物の管理を行ってきた。特に離島である利尻と礼文では、観光客によるごみ発生量が多い上、焼却炉の老朽化に伴い新たな廃棄物管理システムへの転換が求められている。一方、他の稚内、西天北、南宗谷の3地域では既にバイオガス化により生ごみ資源化に取り組んでいるが、各地域で問題を抱えている。焼却炉を持たない稚内市と西天北では、紙・プラスチック（以下プラ）・布・木を含むごみを一般ごみとして直接埋立を行っており、最終処分量削減を今後推進して行かなくてはならない。また、稚内市で稼働中のバイオガス化施設は、人口減に伴う廃棄物量の減少により、処理容量に余裕が生じるようになり、バイオガス発生量の観点から、他の地域の生ごみ等の受入も検討する必要がある。また、南宗谷では可燃ごみの焼却を行っており、最終処分量も削減されてきているが、今後の焼却炉の更新といった問題を抱えている。



図Ⅱ 1.2-1 地域循環圏シナリオの構築

そこで本研究では、宗谷地域を対象に、離島の生ごみをフェリー輸送しバイオガス化し、そして、宗谷地域全体の、可燃ごみ中の資源物である紙・プラ・布・木を燃料ごみとしてごみ燃料（RDF）化する、この両方の循環を考慮した地域循環圏を構築し、コスト、リサイクル率、最終処分量の評価軸で解析することによって宗谷地域における実行可能な具体的地域循環圏を提示する。

#### 1.2 バイオガス化とごみ燃料化による地域循環圏シナリオの構築

図Ⅱ 1.2-1 に示すように、生ごみと燃料ごみ（紙・プラ・布・木）の両方の廃棄物に着目しシナリオを構築する。生ごみについては、利尻・礼文以外の地域では既にバイオガス化により資源化が実施されているので、利尻・礼文の生ごみをフェリー輸送にて稚内市のバイオガス化施設の余裕容量分で資源化を行う。一方、燃料ごみについては、直接埋め立てしている稚内と西天北、焼却している利尻、礼文、南宗谷の全ての地域の燃料ごみを RDF 化するシナリオを構築した。

表Ⅱ 1.2-1 RDF施設に関するシナリオ

		RDF製造施設設置	
		稚内市に1つ	稚内市・利尻島・礼文島に計3つ
RDF 利用先	旭川市の製紙工場	シナリオ① (1施設-旭川)	シナリオ② (3施設-旭川)
	稚内市内の新規事業者	シナリオ③ (1施設-稚内)	シナリオ④ (3施設-稚内)

また、RDF化施設に関しては、RDF施設数と設置場所および製造されたRDFの利用先について、表Ⅱ 1.2-1 に示す4通りのシナリオの試算を行った。

#### 1.3 地域循環圏シナリオのシステム解析と提案

##### 1.3.1 地域循環圏シナリオの評価軸

シナリオ解析の評価軸としては、コストの他、循環型社会形成に関わる指標であるリサイクル率と最終処分量も含めた計3つの評価軸で解析を行うこととする。

表Ⅱ 1.2-2 地域循環圏シナリオ費用項目

	インプット	リサイクル施設	アウトプット
初期費用	車両購入費	RDF製造施設建設費	
	積み替え施設建設費		
維持管理費用	収集費	RDF輸送費	RDF燃焼維持管理費
	運搬費・フェリー費	RDF製造維持管理費	埋立施設維持管理費
		バイオガス化処理費	
収入			RDF売却益

表Ⅱ 1.2-3 現状シナリオ費用項目

	インプット	中間処理施設	アウトプット
初期費用		焼却施設建設費	埋立施設建設費
維持管理費用	収集費	焼却施設維持管理費	埋立施設維持管理費
収入			

##### 1.3.2 コスト・リサイクル率・最終処分量の計算方法

表Ⅱ 1.2-2 と表Ⅱ 1.2-3 に計算項目を整理した(表-8 と表-9)。さらに維持管理費用の項目を収集・運搬費用、とそれ以外の維持管理費用に分類し、最終的に「収集・運搬費用」、「施設設備整備費用」、「維持管理費用」、「収入」の4分類とした。それから、表Ⅱ 1.2-4 と表Ⅱ 1.2-5 に示す計算式に基づきコスト計算した。リサイクル率は再生利



用量を一般廃棄物排出量で除した値で、表Ⅱ1.2-5の式21により求めた。最終処分量は、稚内市と西天北については、現状の最終処分量から燃料ごみ分を差し引いた値、利尻・礼文、南宗谷については可燃ごみから燃料ごみを差し引いた量が新たに埋立

表Ⅱ1.2-4 運搬費用算出式<sup>1)</sup>

式No.	計算式
式1	人件費(円) = 運転人員数(人) × 一人当たり人件費(円/人)
式2	運搬車台数(台) = 運搬回数(回/年) ÷ 1台の年間運搬可能回数(回/台・年)
式3	運搬回数(1/年) = (月間変動を考慮した年間排出量(t/年) ÷ 運搬物のかさ密度(t/m <sup>3</sup> ) ÷ (車両内の圧縮率(-) × 荷箱容積(m <sup>3</sup> ))
式4	燃料費(円) = 燃料単価(円/L) × 運搬車の燃料消費量(L/km) × 年間走行距離(km/年)
式5	年間走行距離(km/年) = 2 × 処理施設までの距離(km) × 運搬回数(回/年)
式6	フェリー代(円) = フェリー運搬の回数(回/年) × 1往復のフェリー代(円・年)

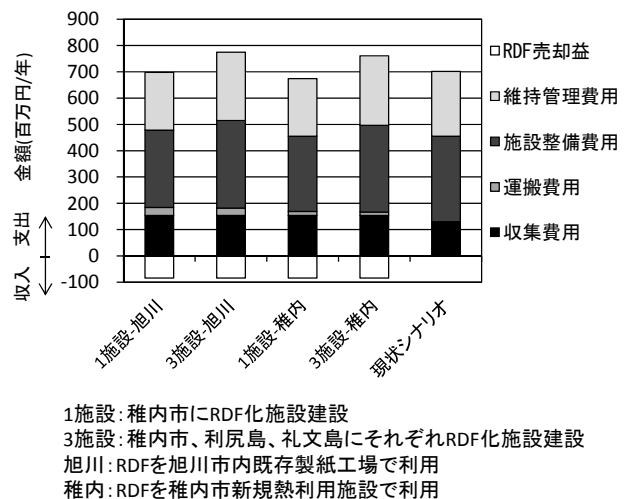
表Ⅱ1.2-5 費用等の算出式<sup>1)</sup>

式No.	計算式
式7	収集費(円) = 現在の収集費(円) × (シナリオの収集回数(回/年) ÷ 現在の収集回数(回/年))
式8	車両購入費(円) = 車両価格(円) × 購入台数(-) ÷ 耐用年数(年) × 使用年数(年)
式9	建設費(円) = 基準建設費(円) × (施設規模(t/日) ÷ 基準施設規模(t/日)) <sup>0.7</sup> ÷ 耐用年数(年) × 使用年数(年)
式10	建設費(円) = {1 + 設備形式の付加係数(-) + (1 + ガス処理形式の付加係数(-)) × (湿りガス発生量(m <sup>3</sup> N/kg) ÷ 基準湿りガス発生量(m <sup>3</sup> N/kg-ごみ)) × 建設費中のガス設備率(-)} × 基準建設費(円) × (施設規模(t/日) ÷ 基準施設規模(t/日)) <sup>0.7</sup> ÷ 耐用年数(年) × 使用年数(年)
式11	建設費(円) = 現在の施設の単位容量当たり建設費(円/m <sup>3</sup> ) × シナリオの埋立量(m <sup>3</sup> )
式12	維持管理費(円) = 人件費(円) + 電力費(円) + 燃料費(円) + 薬品費(円) + 整備補修費(円)
式13	人件費(円) = 一人当たり人件費(円/人) × (基準人員(人) + 施設規模当たり追加人員(人/(t/日)) × 施設規模(t/日))
式14	電力費(円) = 電力単価(円/kWh) × RDF成形量当たり電気消費量(kWh/t) × RDF製造量(t)
式15	燃料費(円) = 燃料単価(円/L) × [(0.33 × (1 - ごみ含水率(-) + ごみ含水率(-)) × (100 - 20) × 選別後ごみ量(t) + 539 × {選別後のごみ量(t) × (ごみ含水率(-) - RDFの含水率(-)) ÷ (1 - RDFの含水率(-))}] ÷ 乾燥効率(-) ÷ 燃料エネルギー消費(Mcal/L)
式16	薬品費(円) = 消石灰単価(円/t) × 消石灰添加率(-) × RDF製造量(t)
式17	整備補修費(円) = 建設費に対する整備補修費の割合(-) × 建設費(円)
式18	電力費(円) = 電力単価(円/kWh) × 処理量当たり電力使用量(kWh/t) × ごみ排出量(t)
式19	薬品費(円) = 苛性ソーダ単価(円/t) × 処理量当たり苛性ソーダ使用量(t/t-原料) × ごみ排出量(t) + 塩化鉄単価(円/t) × 処理量当たり塩化鉄使用量(t/t-原料) × ごみ排出量(t)
式20	RDF単価(円/t) = -RDF低位発熱量(Mcal/t) × 単位熱量あたり重油価格(千円/Mcal)
式21	リサイクル率(%) = 現在のリサイクル率(%) + (RDF製造量(t) + 液肥製造量(t)) ÷ (現在の一廃排出量(t) × シナリオの人口(人) ÷ 現在の人口(人)) × 100

されると考え最終処分量を算出し、現状シナリオと比較した場合の最終処分量の削減率で評価することとした。つまり、利尻・礼文島と南宗谷地域の不燃物埋立量については、シナリオ間で差が無いので考慮していない(全廃棄物を対象とした最終処分量の削減率とは異なる)。

### 1.3.3 解析結果と考察

図Ⅱ1.3-1に示すように、生ごみのバイオガス化と燃料ごみ(紙・プラ・布・木)のRDF化による地域循環圏シナリオにおける宗谷地域全体の年間平均費用は、稚内市にRDF化施設を1つ建設した場合(1施設)の方が、稚内市および利尻島、礼文島にそれぞれ1つずつ建設(3施設)するよりも、フェリー輸送による運搬費を考慮しても低くなり、かつ現状よりもコストが削減することを示した。また、図には示していないが、発酵汚泥の堆肥化とRDF化によりリサイクル率は現状の29.6%から50.6%に、最終処分量は現状と比べて83.3%削減することを示した。



図Ⅱ1.3-1 宗谷地域全体での年間費用の比較

### 1.4 結論

これまで具体的検討がされてこなかった地域循環圏について、北海道宗谷地域の生ごみと燃料ごみの複数の資源に着眼し、各資源の物質特性と地域特性に基づいた経済的に実現可能な、かつリサイクル率と最終処分量を大幅に改善する地域循環圏モデルを提示することができた。

### 参考文献

- 1) 松藤敏彦: 都市ごみ処理システムの分析・計画・評価 - マテリアルフロー・LCA 評価プログラム -, 技報堂出版, 2005.

## 2. 家畜ふん尿を中心とした混合バイオガス化システム

### 2.1 バイオガスプラントへの有機物性廃棄物の安定的投入に向けた条件の解明

分担研究者 地方独立行政法人北海道立総合研究機構 農業研究本部中央農業試験場 主査 日向貴久

#### 2.1.1 研究背景と目的

農業系バイオガスプラント（以下、バイオガスプラント）の内、有機性廃棄物（地域の食品加工場や一次産業から排出される廃棄物等）と家畜ふん尿を混合処理することが可能な大型バイオガスプラントを有する町村を対象に、発酵原料としての性状等を調査し、バイオガス生成量増加程度を予測し、プラントの安定的な利用のための条件を提示する。さらに副資材である有機性廃棄物の収集システム構築にあたり、ステークホルダーとなる排出者、プラント運営者の位置付け、排出者の意向および相互関係を整理・解析し受け入れにおける条件を明らかにする。その上で、プラントによる有機性廃棄物の有効活用による CO<sub>2</sub>削減効果を明らかにする

#### 2.1.2 研究方法

##### (1) 調査対象のバイオガスプラントの運営体制

概要と現状、処理の実態、有機性廃棄物の種類、投入状況

##### (2) 各副資材の投入がバイオガス発生量に与える影響

対象：A 町共同利用型バイオガスプラント（成牛換算処理頭数 1,000 頭）

方法：以下の 2 点を検討した。

###### 1) バイオガスプラントに搬入される資材の種類と年間変動、月間変動の把握

2006～2009 年度の 4 年間にプラントへ搬入された乳牛ふん尿（スラリー、糞混合ふん尿）および副資材の量をプラント搬入日報より収集し、年間変動、月間変動を見ることで安定性を検証した。

###### 2) プラントでの副資材投入量とガス発生量との関係把握

同プラントへの日別副資材別投入量とバイオガス発生量データから、ガス発生量の重回帰分析を行ない、副資材投入の投入安定性や投入の特徴がバイオガス発生に与える影響を検証した。

##### (3) 有機性廃棄物排出者における処理方法選択要因

対象：有機性廃棄物排出者のうち排出規模の大きい乳業メーカー 2 社、受入側であるプラント運営者

方法：排出側には AHP によって処理方法選択要因を定量化する。受入側には、排出側の処理方法の選択要因を予想してもらい、同様に定量化する。

評価基準－4 属性（処理費用、委託処理量の柔軟性、環境負荷、取扱廃棄物）

代替案－2 案（産業廃棄物処理場への処理委託、BGP への処理委託）

##### (4) バイオガスプラントによる副資材受け入れに係る SWOT 分析

対象：プラントを所有する A 町担当者、およびプラント職員

方法：廃棄物処理として副資材を受け入れることに対する、プラントが持つ強み（Strength）、弱み（Weakness）、プラスに働く外部環境（機会、Opportunity）、マイナスに働く外部環境（脅威、Threat）について調査対象の両者より聞き取り項目を発話にて聴取し、共通する項目を SWOT 図にて整理した。

##### (5) バイオガスプラントへの副資材投入による環境負荷削減効果

対象：A 町共同利用型バイオガスプラントおよび、排出者である乳業メーカー

方法：LCA によって既存のふん尿処理、バイオガスプラントによる処理、普及のための更なる手段として、余剰バイオガスを利用した際の温室効果ガス排出量を定量化する。

#### 2.1.3 結果と考察

##### (1) 調査対象のバイオガスプラントの運営体制

A 町を対象に、排出者および消化液利用者の意向および発酵原料としての性状調査、有機性廃棄物の収集システムに係る調査の結果、以下の点が明らかとなった。

① 有機性廃棄物を副資材とした農業系バイオガスプラントに係わるプレーヤーの内、核となるステークホルダーは廃棄物処理業者であった。

② 恒常的に搬入され、さらに高カロリー、すなわち、メタン菌の基質となる有機酸を多く含有する副資材は、残飯類、シロップであった。

③ 調査対象のプラントへの副資材の投入量は投入原料量の 10% であった。しかし、副資材投入時における投入量や資材選択のガイドラインの再構築と精査が必要である。

## (2) 各副資材の投入がバイオガス発生量に与える影響

発酵槽への各投入資材の1回あたり最大搬入量と、年間総投入量に占める割合より、廃チーズホエイのように水分率の高い資材や、合併洗浄化槽汚泥、廃チーズ、し尿処理汚泥で1回の搬入量が年間の50%を超えていた。このことより、副資材の搬入は廃棄物処理としての性格上、搬入の計画が立てづらいと考えられる(表Ⅱ2.1-1)。また、副資材の搬入から発酵槽投入までの平均貯蔵日数では、液状資材は、搬入から発酵槽への投入が即座に行われていた(表Ⅱ2.1-2)。

プラントでは、副資材の投入に際して全投入量の10%以下にすることが指示される一方、実際の投入量や副資材の選択についてはスタッフに任されている。これにより、発酵槽内の成分組成が日によって大きく異なっている可能性があり、良好な発酵条件を維持していく上でネックとなっていると考えられる。また、液状物や半固形物の発酵槽内への投入によるガス発生量の増加割合を見ると、廃用牛乳や廃シロップ・バターミルクでは、廃バター、廃チーズのようにガス発生量が増加しなかった。このことより、高カロリー資材の大量投入による発酵阻害が示唆された。即ち、高カロリー資材のうち液状物は現状で投入量をコントロールできておらず、発酵阻害の一因となっていると判断される。

これを回避するためには、ストックヤード等の一時保管施設の設置等による投入量のコントロールが必要であると考えられる。同時に、副資材搬出業者との連携によって、プラントへの搬入をできるだけ分散させるといった計画的な搬入のための検討が必要であると考えられる。

表Ⅱ2.1-1 最大日搬入量と年間総量における集中度 表Ⅱ2.1-2 副資材の貯蔵日数とガス発生量増加

形態	資材名	最大日搬入量集中度		形態	資材名	平均貯蔵日数とガス発生量増加割合	
		(t)	(%)			(day)	(%/t-DM)
液状物	廃用牛乳	24.5	12%	液状物	廃用牛乳	0.1	7.1
	廃チーズホエイ	260.0	89%		廃チーズホエイ	0.3	3.1
	廃シロップ・バターミルク	45.2	12%		廃シロップ・バターミルク	0.0	6.8
	合併洗浄化槽汚泥	340.6	77%		廃生クリーム・練乳	7.3	7.0
半固形物	廃生クリーム・練乳	48.1	12%	半固形物	廃生クリーム・練乳	7.3	7.0
	廃脱脂粉乳	12.4	10%		廃脱脂粉乳	35.8	6.3
固形物	廃バター	1.2	11%	固形物	廃バター	22.6	10.4
	廃チーズ	45.0	50%		廃チーズ	15.0	11.3
	水産加工残滓	6.7	5%				
	尿処理汚泥	5.0	66%				
	残飯類	0.3	4%				
農家	スラリー	89.4	1%				
	糞混合ふん尿	54.0	1%				
	小計	143.4	-				

資料) プラント日報から作成

## (3) 有機性廃棄物排出者における処理方法選択要因

産業廃棄物の処理を委託する際に重要視する属性においてAHPを行なうと(表Ⅱ2.1-3)、排出側の考えと受入側の想定との間に齟齬が生じていた。排出側は処理が適切に行われ、環境への配慮がされていることを重要視していることから、受入側はこれらへの対応をとることで乳業廃棄物の受入可能性が増加すると判断される。

表Ⅱ2.1-3 廃棄物処理に求める属性の重要度と受入側の想定

	排出側	受入側
	乳業メーカー	バイオガスプラント
処理費用	0.14	0.63
受入量の日間変動への対応	0.22	0.20
受入可能な廃棄物の種類	0.07	0.06
処理による環境負荷	0.56	0.11

註) 一対比較法による聞き取り結果をAHPにより重みづけした。

整合度指数: 排出側0.11、受入側0.08

## (4) バイオガスプラントによる副資材受け入れに係るSWOT分析

プラントを所有するA町担当者、およびプラント職員から、廃棄物処理として副資材を受け入れることに対する、プラントの持つ強み(Strength)、弱み(Weakness)、プラスに働く外部環境(機会、Opportunity)、マイナスに働く外部環境(脅威、Threat)を聴取し、共通する項目をSWOT図にて整理した(図Ⅱ2.1-1)。

図Ⅱ2.1-1より、第1に、他の産廃業者より処理価格が低廉であることは、プラントが大いにアピールすべ

き強みである。今後はこの強みを活かし、更に CO<sub>2</sub> 排出に対する国際世論も背景に、GHG など環境に与える影響も定量化しつつ顧客を取り込むことが重要である。

第2に、発酵槽への1日当たりの投入量が制限されることはプラントの弱みであるが、本質的には発酵阻害よりも、処理が的確に行われなかった場合に今後の取引を停止されることにある。廃棄物供給者へ計画的な搬入を求めると同時に、ストックヤード等の一次貯留施設を構築することにより、不測の事態の対応をし、廃棄物供給者との信頼関係醸成に努めることが重要である。

第3に乳業メーカーは、リスクヘッジの観点から廃棄物処理を1社だけに絞ることは避ける傾向にある。既存の産廃業者はプラントよりも搬入の実績があり、競合する事態は今後も継続する。また、現在廃棄されている乳業系廃棄物が、家畜飼料等として再利用されることも十分に考えられる。これらは、プラントへの搬入量が減少する脅威であるため、関係機関の動向を常に注目することが重要である。

		内的要因	外的要因
目標達成 へ貢献	<b>S</b> Strength (強み)	廃棄物価値の内部化 低廉な処理価格	<b>O</b> Opportunity (機会) 産廃処理料金の高価格化 長距離輸送の必要性 CO <sub>2</sub> 排出に関する国際世論
	<b>W</b> Weakness (弱み)	発酵阻害による発酵槽の停止 発酵槽への投入量の調整 廃棄物供給者との信頼関係の未成熟	<b>T</b> Threat (脅威) 既存の産廃業者による処理の実績 乳業廃棄物の転用

図Ⅱ.1-1 バイオガスプラント SWOT 分析結果

#### (5) バイオガスプラントへの副資材投入による環境負荷削減効果

バイオガスプラントによるふん尿処理によって、GHG の発生は従来のスラリー処理より抑制される。乳業廃棄物処理をバイオガスプラントで行なうことで、従来の処理による GHG 発生がなくなることと、プラントでのバイオガスが増産されることにより温暖化負荷はさらに 60t・CO<sub>2</sub>eq 程度抑制されると考えられた (表Ⅱ.2.1-4)。

表Ⅱ.2.1-4 モデルケースによる GHG 発生量の変化

		ケース1	ケース2	ケース3
条件	バイオガス プラント設置	—	○	○
	プラントへの 副資材投入	—	—	○
GHG 量	ふん尿処理 (t-CO <sub>2</sub> eq)	99	18	18
	乳業廃棄物 (t-CO <sub>2</sub> eq)	52	52	-10
	合計 (t-CO <sub>2</sub> eq)	151	70	8

#### 2.1.4 結論

プラントで処理できる産業廃棄物のうち、最大の排出者となりうるのは乳業メーカーである。プラントで地域の産業廃棄物を処理する場合は、液状の投入物の発酵槽への投入量のコントロールが必要となる。廃棄物の排出側と受入側では、取引の際に重要になると考える属性の認識に齟齬がある。排出側は処理委託した廃棄物が適切に処理されると同時に、処理による環境への影響を重要視していることから、受入側もそのニーズに応じることや、環境情報を外部公開する環境会計の実施などで対外的にも自らの技術をアピールすることが重要である。乳業廃棄物処理をプラントで行なうことで、温暖化負荷は 60t・CO<sub>2</sub>eq 程度抑制される。

## 2.2 地域特性と事業採算性を考慮した集中型家畜ふん尿バイオガス化施設のシステム化の検討

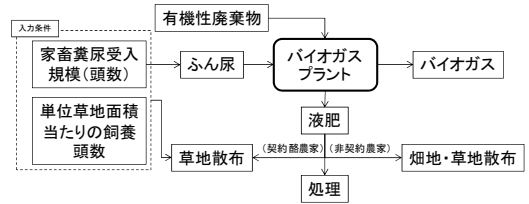
主任研究者 北海道大学大学院工学研究院 教授 古市 徹  
 分担研究者 准教授 石井一英

### 2.2.1 研究目的

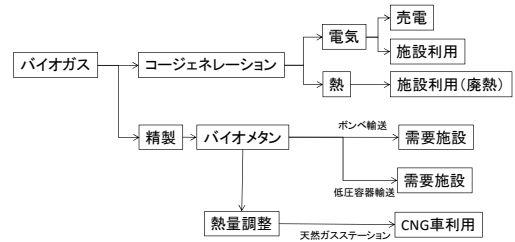
現在継続して事業を運営している家畜糞尿バイオガス化事業者へのヒアリング調査を基に、事業採算性に大きく影響を及ぼす因子について感度解析を行うことで、地域特性と事業採算性を考慮したシステム化の考え方を示す。

### 2.2.2 事業採算性に及ぼす各システム要素の感度解析方法

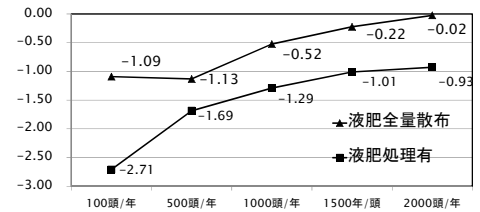
図Ⅱ.2.2-1 に示すようなシステムを構築し、家畜糞尿受入規模および単位面積当たりの飼養頭数を与条件として与え、ふん尿および有機廃棄物をバイオガス化する。液肥は契約酪農家が有する草地に必要量散布し、残りは非契約農家の畑地・草地に散布する。散布できなかった液肥は、水処理設備を設置し処理してから放流することにした。一方、図Ⅱ.2.2-2 に示すように、発生したバイオガスはコージェネレーションにより電気と熱に変換される。電気の半分は施設利用し、残りの半分を売電することにした。一方、熱については施設利用した残りは廃熱することにした（今回は、コストの計算を目的にしているため、廃熱量は計算していない）。また、売電以外のシナリオとして前述したように、バイオメタンにまで精製後、ボンベ輸送、低圧容器輸送により需要施設にまで配送するシナリオ、およびプロパンガスを混入し、12A 相当の熱量まで調整した後、CNG 車の燃料とするシナリオも考慮した。本研究では、自治体によるサポートを考慮した組合運営方式を想定した。施設のイニシャルコストを半額補助となる国や自治体を含めた事業主体として固定して考える。事業の成立条件を事業開始から 15 年後の初期投資回収率（以下、B/C とする）として  $B/C \geq 1$  の時、事業の成立条件を満たすものとする。



図Ⅱ.2.2-1 バイオガスシステム



図Ⅱ.2.2-2 バイオガスの利用方法



図Ⅱ.2.2-3 家畜糞尿受入規模と液肥処理の有無の感度解析

### 2.2.3 感度解析に基づく集中型バイオガス化システム構築の考え方

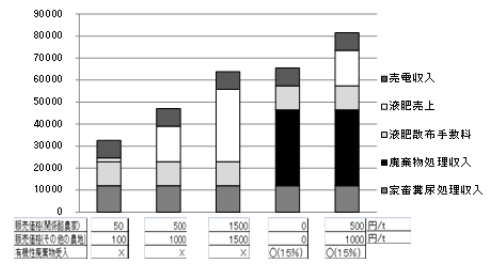
システムの構築手順は、事業採算性に対して影響の大きいものから考慮していく必要がある。図Ⅱ.2.2-3～図Ⅱ.2.2-5 の結果を踏まえて、システムを構成する事業採算性に対する影響因子の影響の大きさは次のように分かった。

- ①家畜糞尿受入規模（100頭から2000頭へ規模拡大することにより1.11の改善）
- ②液肥処理の有無（0.91の差）
- ③液肥販売価格（窒素ベースで決定される最大価格での販売により1.11の改善）
- ④有機性廃棄物受入（最大15%の受入により1.23の改善）
- ⑤バイオガス利用方法（パイプラインにより近隣移設でそのままバイオガスが利用になった時0.48の改善）

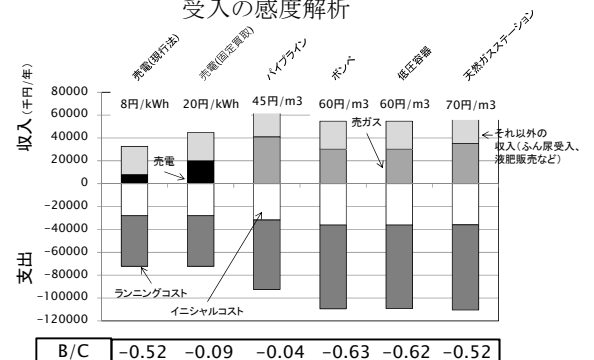
すなわち今回の感度解析の範囲内では、バイオガスの利用法については、相対的に感度は小さく、システム構築の際の優先順位は低いことが分かった。

### 2.2.4 結論

事業採算性を考慮した牛ふん尿の集中型バイオガス化システムを構築するためには、まず糞尿の受入規模を決定した上で、液肥全量散布を検討し、その際有料で販売をすることが重要である。さらに、液肥の散布や販売が無理な場合は、水処理費用が必要であるが、その代わりに産廃受入により、事業採算性を改善できることが明らかになった。すなわち、酪農家の負担のみでは集中型バイオガス化プラントの運営は困難であり、売エネルギー収入以外の液肥販売や産廃受入による収入が不可欠であることを明らかにした。



図Ⅱ.2.2-4 液肥販売価格と有機性廃棄物受入の感度解析



図Ⅱ.2.2-5 バイオガス利用方法の感度解析



## 2.3 牛ふん尿バイオガス化プラントへの食品廃棄物投入による混合発酵の安定条件の実験的検討

主任研究者 北海道大学大学院工学研究院  
分担研究者

教授 古市 徹  
准教授 石井 一英

### 2.3.1 研究背景と目的

集中型バイオガス化の事業採算性向上のために牛ふん尿以外の食品廃棄物を有料受入し、混合発酵する方が考えられる。しかし、食品廃棄物の過剰投入により発酵が阻害され、メタンガス回収量の減少、更には発酵停止の危険性がある。また、食品廃棄物が投入されることで液肥である消化液中の窒素量が増加し、過剰な窒素散布による環境汚染の可能性が考えられる。2.1 節で示したように、A 町プラントでは不定期に食品廃棄物が搬入され、固形物（バターなど）は一時保管して投入量を調節できるものの、液状物（ホエイなど）は保管タンクがないため一度に大量投入している。こうした現場での投入条件を踏まえて混合発酵の安定条件を明らかにする必要がある。そこで本研究では以下 3 点を明らかにする。

- ①一時的に食品廃棄物を大量投入した場合の発酵特性
- ②定常的に食品廃棄物を投入した場合の発酵特性
- ③投入条件の異なる混合発酵における消化液中の窒素量への影響

### 2.3.2 回分実験による発酵阻害機構解明

#### (1) 実験方法と条件

表 II 2.3-1 にホエイの性状を示す。種汚泥は札幌近郊で乳牛のみ飼育しているごく一般的な B 牧場のバイオガスプラントから採取した。また、ホエイも一般的な製造工程から排出されるものとして B 牧場のものを使用した。量約 200 mL のバイアル瓶に種汚泥 100 mL とホエイ（種汚泥に対して 3, 20, 40%）を入れた後、ヘッドスペースを窒素で置換後、密栓して 37°C の恒温槽で静置した。また、対照区として種汚泥のみの試料も作成した。なお、同じ試料を 3 つずつ作成した。

#### (2) 実験結果と考察

図 II 2.3-1 にホエイ投入区と対照区のメタンガス発生量の経日変化を示す。表 II 2.3-2 に各条件の実験開始後 24 日目における汚泥中の pH, VFA (Volatile Fatty Acid) 濃度およびアンモニア性窒素濃度の分析結果を示す。

既存研究<sup>1,2)</sup>より、バイオガスプロセスに発酵阻害が発生すると、まず投入 VS あたりメタンガス発生量やメタンガス濃度などの発酵性能の低下がみられ、最終的には発酵プロセスが完全に停止することもあることが報告されている。図 II 2.3-1 よりホエイ 20% は経過日数 10 日までホエイ 3% と同程度のメタンガス発生量に留まっており、VS あたりのメタンガス発生量は低下していることが分かる。さらに、ホエイ 40% は実験開始直後から経過日数 20 日までほぼメタンガスが発生しなかった。その後、急激にメタンガス発生量が向上した。表 II 2.3-2 より、ホエイ 40% の場合、他実験区と比較して VFA 濃度が 7540mg/L と高濃度であり（主たる VFA はプロピオン酸、以降同じ）、pH が 6.6 と低い値であった。一般に、pH6.5 以下になるとメタン発酵プロセスにおいて阻害が著しく発生すると言われて<sup>2)</sup>いる。メタンガス発生が見られる直前の 24 日時点で pH は 6.6 であったため、実験開始後の初期段階では、さらに pH 低下していたものと考えられ、メタン発酵が阻害されていたと推測される。一方、アンモニア態窒素濃度は 2103mg/L であり、既存研究<sup>2)</sup>で発酵阻害が生じると報告されている 4500 ~ 5000mg/L 以下で、問題が生じる濃度ではないことがわかった。このことから、ホエイ 40% 区ではホエイが過剰に投入されたために、酸発酵菌群による VFA 生成量が、増殖速度が比較的遅いメタン生成菌群の分解能力を超えて増加したために、VFA が蓄積し、結果として pH が低下したために発酵阻害が生じたと考えられる。

### 2.3.3 連続実験による安定発行条件の検討

#### (1) 連続試験装置

図 II 2.3-2 に実験装置の概略図を示す。発酵槽は容積 10L のガラス円筒製の広口瓶を用いた。広口瓶の上部を塞ぐゴム栓に、発酵原料投入・汚泥引抜口とバイオガス捕集口を設け、プロペラ式攪拌機シャフトが通る様に加工した。発酵槽内スラリーはプロペラ式攪拌機により、攪拌回転数 120 rpm として連続攪拌を行

表 II 2.3-1 ホエイの成分

	TS(%)	VS(%)	脂質(%)	たんぱく質(%)	炭水化物(%)
ホエイ	7.2	7.0	16.4	11.7	64.4

TS: total solid, VS: volatile solid

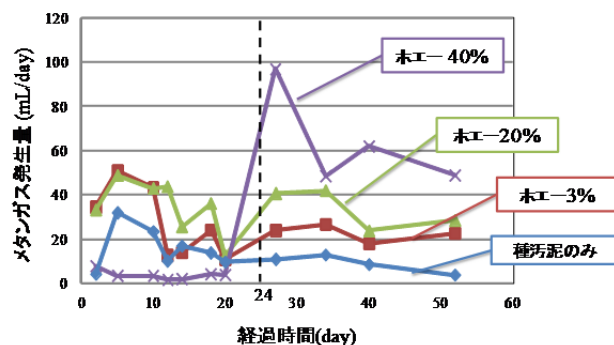


図 II 2.3-1 メタンガス発生量経日変化

表 II 2.3-2 汚泥の分析結果 (24 日目)

	種汚泥のみ	ホエイ-3%	ホエイ-20%	ホエイ-40%
pH	7.7	7.6	7.6	6.6
VFA 濃度 (mg/L)	-	1	1	7540
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N 濃度(mg/L)	20	1167	1762	2103

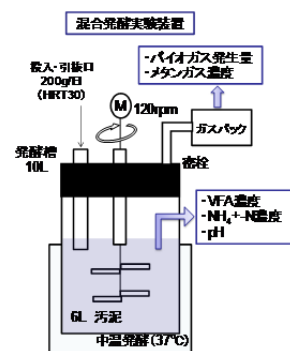


図 II 2.3-2 メタン発酵連続試験装置

なった。温度調節器により調節された温水で発酵液温度を中温発酵に適した 37°C に保った。発酵資材の投入・汚泥の引抜量は 200 g/日として、A 町プラントの滞留時間 30 日と同様の条件とした。

### (2) ホエイの一時大量投入実験

表 II 2.3-3 のように、牛ふん尿とバターが定常的に投入されている状態の発酵槽に、一時的にホエイの割合が高い条件で発酵槽に投入した。図 II 2.3-3 に対照区と run1 のメタンガス発生量と pH の経日変化を示す。ホエイの大量投入により、一時的にプロピオン産の蓄積による pH 低下により、発酵阻害は生じるものの、阻害の程度は軽度になる傾向にあることが観察された。これは、ホエイ発酵特性の把握で行った回分実験においても、メタン生成細菌の馴養により、メタン発酵プロセスの回復が観察されていることから、ホエイを大量投入することで、一時的にメタン生成細菌の活動が弱まるものの、環境の変化に対応するメタン生成細菌が馴養され、阻害の程度が軽度になったと考えられる。

しかし、実プラントでは、極めて不定期に、しかも大量のホエイが受け入れられることから、いつもメタン生成菌の馴養が期待される訳ではない。よって、ホエイの大量投入はできるだけ避ける方が望ましく、貯留タンクで一時貯留し、定常条件で投入すべきであることが示唆された。

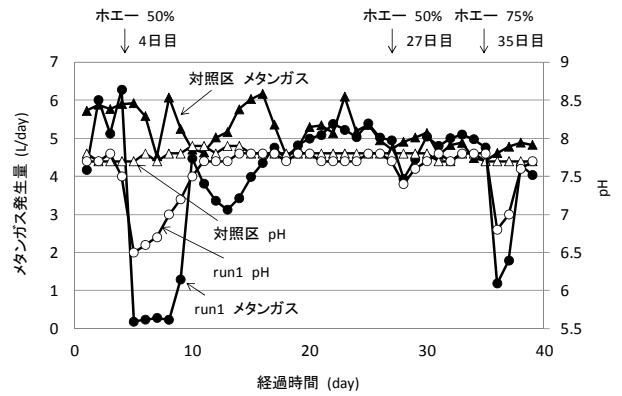


図 II 2.3-3 メタンガス発生量と pH の経日変化

表 II 2.3-3 ホエイの一時大量投入実験の投入条件

混合実験	対照区		run1							
	定常投入条件		定常投入条件		ホエイ50%投入			ホエイ75%投入		
	牛ふん尿	バター	牛ふん尿	バター	牛ふん尿	バター	ホエイ	牛ふん尿	バター	ホエイ
質量混合割合 (%)	98	2	98	2	48	2	50	23	2	75
投入VS負荷 (gVS/day)	10	3.3	10	3.3	4.9	3.3	7	2.3	3.3	10.5
総VS負荷 (gVS/day)	13.3		13.3		15.2			16.1		

表 II 2.3-4 ホエイの定常投入条件下における安定 BG 発生時期の BG 発生量と汚泥分析の結果

実験区名	対照区	run2(ホエイ8%)	run3(ホエイ13%)	run4(ホエイ18%)
メタンガス	安定期から20日間のメタンガス合計発生量(L)	99	104	107
	ホエイVSあたりメタンガス発生量(L/gVS)	—	0.33	0.36
汚泥	VFA濃度 (mg/L)	2087	2153	2760
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N濃度 (mg/L)	2378	3200	3711
	pH	7.7	7.8	8
	全窒素 (mg/L)	5600	5600	6300

### (3) ホエイの定常投入実験

次に、液状物の貯留タンクが設置されたと想定し、ホエイを定常的に発酵槽に投入するホエイ定常投入実験にて、発酵特性を把握する。表 II 2.3-4 のように、バターが定常的に 2% 投入されたと想定し、ホエイの投入量に変化を与えて、実験を行った。メタン発酵が比較的安定している 20 日目以降を発酵安定期とみなして、20 日～39 日の間の各実験区のメタンガス合計発生量と 39 日目の VFA 濃度と NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 濃度、pH、および T-N の分析結果を表 II 2.3-4 に示す。これより、安定期のメタンガス合計発生量が対照区 < run2 < run3 < run4 であり、ホエイの投入割合増加に伴ってメタンガス発生量は増加する傾向が分かった。ホエイは 11% のたんぱく質を含むため、ホエイの投入割合増加に伴い、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N も増加した。よって、長期の連続投入の場合は、VFA よりもアンモニア蓄積に注意を払う必要があると考えられる。そのような観点から、run2 のホエイ 8% (バター 2% 投入条件下) が、安定発酵を維持するための投入量と言える。また、ホエイの投入量増加にともない肥効成分である窒素量が増加することが分かった。

### 2.3.4 結論

- ①ホエイの一時大量投入は VFA が一時大量に蓄積され pH が低下するためメタンガス発生量が低減し、発酵が不安定になることから、ホエイの大量投入は避け、貯留タンクを設置し、定常投入すべきである。
- ②本研究の範囲では、ホエイの定常投入の際は総投入量に対してバター 2%、ホエイ 8% であれば、長期的に安定的なメタン発酵を運転できることが分かった。
- ③汚泥中の肥効成分である窒素量は、ホエイの投入量に比例して増加することが分かった。

### 参考文献

- 1) 中久保亮・石田哲也・松田従三・近江谷和彦:牛ふん尿のメタン発酵における食品廃棄物投入の効果, 廃棄物資源循環学会論文誌, Vol. 19, No. 6, pp. 392-299, 2008
- 2) 野池達也:メタン発酵, 技報堂出版, 2009

### 3. 工業団地とエネルギー連携した混合バイオガス化システム

#### 3.1 石狩湾新港地域から排出されるバイオマス原料の性状調査と混合発酵特性の評価

分担研究者 北海道立総合研究機構工業試験場 三津橋浩行

##### 3.1.1 研究背景と目的

食品工業や食品卸売業が立地する工業団地で発生する多種多様な廃棄物系バイオマス（加工残渣や流通不適物、食品汚泥等）のバイオガス化では定常的に発生する混合原料の組成に対する発酵特性を把握し、さらに組成比等の調整により適正化を図ることで効率的なシステムとなる。また、計画外のバイオマスを受け入れた場合、組成比の変動による発酵特性への影響が懸念される<sup>1)</sup>。

工業団地における混合バイオガス化システムのモデルとして石狩湾新港地域で排出される廃棄物系バイオマスを用いて混合メタン発酵試験を行い、組成比に対する発酵特性を評価した。

##### 3.1.2 研究方法

###### (1) 廃棄物系バイオマスの性状調査

バイオマスは石狩湾新港地域内の事業所より入手した畜肉、魚類加工残渣2種、果物、たけのこ加工食品を用い、一般性状（水分、灰分、有機分(VS)）、成分組成（炭水化物、脂質、タンパク質）を分析<sup>2)</sup>した。また、発酵処理液の利用に肥料化が予想されることから、肥料分析法に準拠して有害元素含有量を分析した。

###### (2) 混合バイオガス化発酵特性

混合比により組成比の異なる混合バイオガス化原料を調整し、10Lスケールで半回分法による中温(36℃)メタン発酵処理試験を行った。発生ガス量、ガス組成、発酵液分析を行い、発酵特性を評価した。

##### 3.1.3 結果と考察

###### (1) 廃棄物系バイオマスの性状調査

石狩湾新港地域で排出された廃棄物系バイオマスの一般性状および成分組成を表 II-3.1-1 に示す。廃棄物系バイオマスは、畜肉、魚介類残渣の排出比が高く、混合バイオマス有機分(VS)中のタンパク質含有率は約60%となる。タンパク質含有率が高い原料をメタン発酵処理した場合、メタン発酵阻害物質であるアンモニアの濃度を増加させる可能性がある。これを回避する一方法としてタンパク質含有率が低く、排出量が高い厨芥生ゴミの混合が挙げられ、これによりタンパク質含有率を低下させるとともに、バイオガス化原料の増加によるバイオガス生成量の増加も期待できる。

また、廃棄物系バイオマス中の重金属含有量を表 II-3.1-2 に示す。規制値は肥料取締法に基づく汚泥肥料の有害成分最大量および銅・亜鉛にあっては特殊肥料における銅、亜鉛の品質表示含有量である。いずれの廃棄物系バイオマスの重金属含有量は有害成分最大量以下であり、混合バイオマスのメタン発酵処理液を肥料として用いても重金属含有量は規制値以下となる。

表 II-3.1-1 石狩湾新港地域廃棄物系バイオマス性状（湿重量ベース）

廃棄物系 バイオマス 種類	排出量 kg/日	水分 g/100g	固形分 g/100g					灰分	固形分計
			有機分				有機分計		
			炭水化物	脂質	タンパク質	有機分計			
畜肉	30	67.9	0.8	12.5	17.7	31.0	1.1	32.1	
魚介類残渣1	100	60.0	1.4	19.3	15.8	36.6	3.4	40.0	
魚介類残渣2	15	78.6	0.4	1.5	17.8	19.8	1.6	21.4	
廃棄果実類	55	78.9	18.7	0.2	1.1	20.1	1.0	21.1	
廃棄野菜類	10	90.0	7.3	0.3	2.2	9.8	0.2	10.0	
廃棄加工野菜	16	87.0	8.3	0.8	2.5	11.6	1.5	13.0	
廃棄物系混合	226	70.1	2.3	7.4	14.2	23.9	6.0	29.9	

(参考)

厨芥生ゴミ	—	68.6	15.5	6.8	7.7	30.0	1.4	31.4
-------	---	------	------	-----	-----	------	-----	------

水分：105℃、2hr乾燥(JIS-K-0102工業排水試験法)

脂質：ソックスレー抽出(ジエチルエーテル)

タンパク質：ケルダール窒素より換算(6.25)

灰分：600℃、0.5h強熱灰化(JIS-K-0102 工業排水試験法)

炭水化物：残分

表 II-3.1-2 石狩湾新港地域廃棄物系バイオマスの有害元素含有量（mg/kg 乾重量ベース）

	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Hg
畜肉	1	1	2	84	5	3	5	0.01
魚介類残渣1	1	1	3	25	5	0.5	5	0.02
魚介類残渣2	1	1	300	104	5	3	5	0.07
廃棄果実類	1	1	6	10	5	0.5	5	0.01
廃棄野菜類	4	1	9	9	5	0.5	5	0.06
廃棄加工野菜	1	1	3	4	5	0.5	5	0.01
規制値	500	300	300	900	50	5	100	2
QL	1	1	1	0.5	5	0.5	5	0.01

QL：固体中定量下限値



## (2) 混合バイオガス化発酵特性

石狩湾新港地域の混合バイオマスに対し札幌市で収集された事業系厨芥生ゴミを 100:0、50:50、30:70 で混合し、図 II-3.1-1 に示す成分組成の発酵原料を調整した。メタン発酵試験は発酵原料を有機物負荷 0.27～1.42kg-VS/日/m<sup>3</sup> まで段階的に上げて行った結果、バイオガス発生量は、図 II-3.1-2 に示すように成分組成に関わらず有機物負荷が 0.85kg-VS/日/m<sup>3</sup> で最も高く、1.42kg-VS/日/m<sup>3</sup> では全ての混合バイオマスで発生量が急激に減少した。この時、消化液の COD<sub>Cr</sub> も著しく増加しており、バイオガス発生量の低下と同時に発酵・有機物分解が停止したことを示した。消化液の VFA は 5000-8000ppm (酢酸換算) に増加しており、pH が 7 以下に低下するなど VFA 蓄積による障害が発生し、発酵停止したことを示唆した<sup>3)</sup>。

成分組成に対する発酵特性は厨芥生ゴミの混合比を上げ、炭水化物含量が増加およびタンパク質含量が低下するに従い、バイオガス発生量が高くなる傾向を示した。特に有機物負荷 0.85kg-VS/日/m<sup>3</sup> 以下では最もタンパク質含量が低い混合バイオマス(30:70)で 1 m<sup>3</sup>-BG/kg-VS の高い発生量を得ている。また、図 II-3.1-3 に示す脂質含量を増加させた発酵原料を調整して発酵試験を行った結果、図 II-3.2-4 に示すように脂質含量増加によりバイオガス発生量が低下し、40%以上では試験開始より発酵停止した。脂質含量の増加が、発酵特性に大きく影響することがあきらかになった。

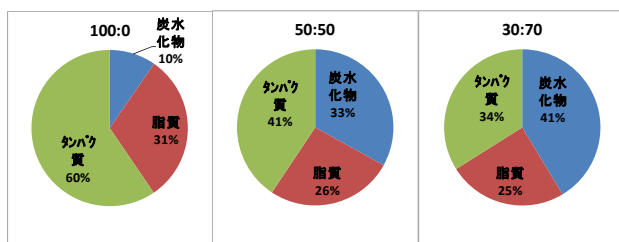


図 II-3.1-1 厨芥生ゴミ混合バイオマス成分組成

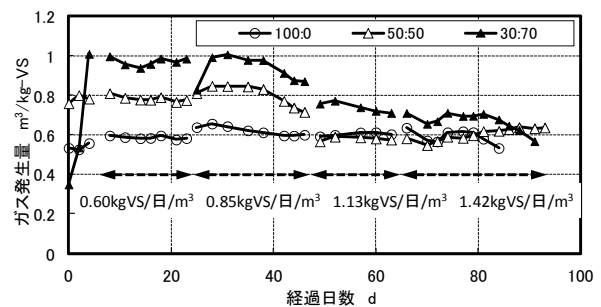


図 II-3.1-2 バイオガス発生量 (有機物重量基準)

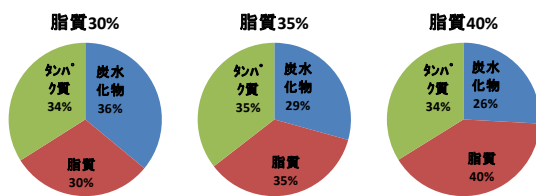


図 II-3.1-3 脂質加重混合バイオマス成分組成

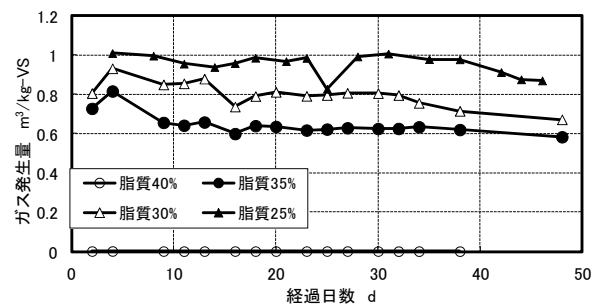


図 II-3.1-4 脂質含量による影響

### 3.1.4 まとめ

工業団地とエネルギー連携した混合バイオガス化システムの構築と実現可能性について、石狩湾新港地域をモデルとして調査を行った。同地域より入手した廃棄物系バイオマスのバイオガス化 (メタン発酵処理) 原料はタンパク質含有量が高く、また排出量も少ないことから、厨芥生ゴミ等を混合することが必要であることが示唆された。

混合バイオマスのメタン発酵試験からタンパク質、脂質成分組成比が高い混合バイオマス原料では発酵阻害物質が蓄積し、バイオガス生成量および有機物分解率が低くなることが認められた。これに対し、定常的に発生する混合原料に対する効率的なバイオガス化に向けた適正な成分組成や適正有機物負荷量を明らかにした。また、計画外の原料を受け入れる場合、特に脂質含量が高い成分は、投入と同時に発酵停止となる危険性が明らかになった。

また、同地域から発生する廃棄物系バイオマスを用いた混合バイオガス化原料は重金属含有量が規制値よりも低く、メタン発酵処理液の肥料利用における規制値をクリアできることが認められた。

### 参考文献

- 1) 生物系廃棄物資源化・リサイクル技術, エヌ・ティー・エス, 337pp, 2000
- 2) 香川芳子監修: 五訂食品成分表 2003, 女子栄養大学出版部, 464pp, 2003
- 3) 大野真穂・東城清秀・前田悠貴・渡辺兼五: 乾式メタン発酵における発酵阻害とモニタリング手法の検討, 第 16 回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp.509-511, 2005 ほか

### 3.2 食品廃棄物の混合発酵特性に関する実験的考察

主任研究者 北海道大学大学院工学研究院 教授 古市 徹  
 研究分担者 北海道大学大学院工学研究院 特任助教 金 相烈

#### 3.2.1 研究背景と目的

工業団地から発生する生ごみは異物の割合が少なく、飼料・堆肥に向いているものがほとんどであり、既にそのルートが確立されている場合が多い。一方、脂質が多いなど栄養成分が偏っているものや、一気に大量の不良品が発生する食品廃棄物、異物が多いため飼料や堆肥が難しい家庭系生ごみなどは、ほとんどそのまま燃焼処分されるのが現状である。

そこで、本研究では、堆肥化や飼料化に適していない工業団地からの食品廃棄物と家庭系生ごみを対象に、炭水化物、タンパク質、脂質の割合からバイオガス発生特性をバッチ試験にて定量的に評価する。その上で、飼料・堆肥にむかない高脂質含有有機性廃棄物と家庭系生ごみの混合を想定し、連続実験より、脂質含有割合および脂質投入負荷量がバイオガス発生量に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

#### 3.2.2 研究方法

##### (1) 混合試料の準備

バナナ、鮭、イカ、肉類、バター、市販のプロテイン(栄養剤)、生ごみなどを用いてそれぞれの炭水化物、タンパク質、脂質の成分を分析し、一定の割合になるように試料を混合する。

##### (2) 実験装置

図 3.2-1、図 3.2-2 にバッチおよび連続実験装置の概略図をそれぞれ示す。バッチ実験は 200mL バイアル瓶に試料 1g と F/M 比 0.3 になるように種汚泥を入れ、嫌気状態にして 35°C 恒温槽の中に静置させて行った。連続実験は容積 10L の発酵槽を用いて攪拌回転数 120rpm、温度 37°C で行った。

##### (3) 分析項目

分析項目は、炭水化物、タンパク質、脂質のほか、TS (Total Solid)、VS (Volatile Solid)、灰分、バイオガス発生量、メタン濃度、汚泥の pH、VFA 濃度、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  濃度を適時測定した。

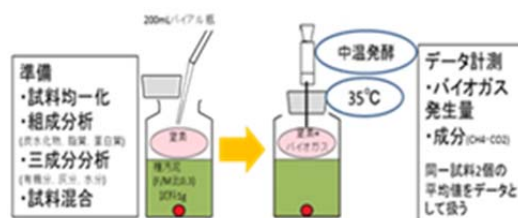


図 II 3.2-1 バッチ実験装置

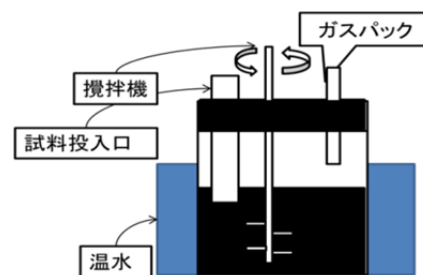


図 II 3.2-2 連続実験装置

#### 3.2.3 結果と考察

##### (1) バッチ実験

発酵 18 日目で各試料のガス発生量がほとんど出なかったため、18 日目までの累積ガス発生量を図 II 3.2-3 のように三角ダイアグラムを用いてプロットした。

混合比の違いによるバイオガス発生量の傾向を 3 つのグループに分けることができた。つまり、脂質を 6 割程度かつタンパク質が少ない条件で最も多い発生する領域(領域 I)、脂質の割合とバイオガス発生量が比例する領域(領域 II)、脂質が 2 割以下になると発生量が特に少ない領域(領域 III)である。

本実験より、インプットの混合物の中の炭水化物、タンパク質、脂質の 3 成分の割合を事前に分かれば、バイオガス量をおおよそ推測できることが明らかになった。

##### (2) 連続実験

各発酵槽 (run1~4、計 4 つ) に一定負荷量 ( $0.725 \text{ kg-VS/m}^3$ ) の生ごみスラリーを投入し、発酵槽内を安定させてから、脂質 40% に調整 (run1 と run2 は肉類で調整、run3 と run4 はバターで調整) した高脂質のものを VS 負荷量  $0.1 \sim 0.15 \text{ kg-VS/m}^3$  に調整して投入した。その結果、10 日前後ですべての発酵槽でバイオガスの発生が止まった。すべての run において VFA、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、pH の値は安全側で領域に入っていたが、すべての run で油脂の膜が確認できたことから、高級脂肪酸がメタン菌の表面に付着し、発酵阻害を与えたと思われる。そこで、再度各 run に生ごみスラリーのみを投入し発酵槽内を安定させてから、run1 と run3 は脂質 40% に調整した高脂質のものを VS 負荷量  $0.05 \text{ kg-VS/m}^3$  に、run2 と run4 は VS 負荷量  $0.01 \text{ kg-VS/m}^3$

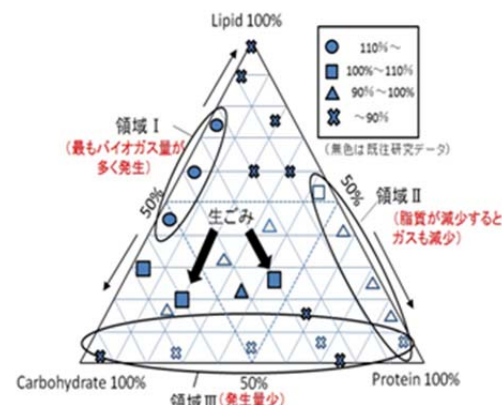


図 II 3.2-3 三角ダイアグラム (VS1g 基準)

に調整して投入した。図Ⅱ 3.2-4 はその時のガス発生量の推移を示している。

図Ⅱ 3.2-4 のように、同じ脂質の割合（脂質 40%）でも run3 は run1 と同じく VS 負荷量 0.05kg-VS/m<sup>3</sup> を投入したが、発生量は著しく低く、55 日目にはガス発生が止まり、投入を中止した。

一方、VS 負荷量 0.01kg-VS/m<sup>3</sup> を投入した run2 と run4 はほぼ同じガス量が発生した。

以上の結果から

0.01 kg-VS/m<sup>3</sup> ≤ バター ≤ 0.05 kg-VS/m<sup>3</sup>

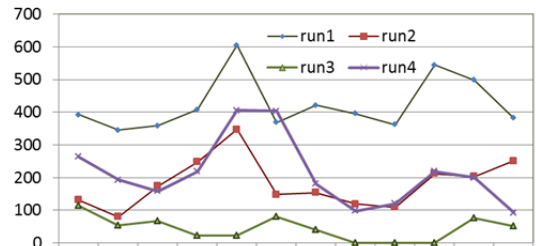
0.05 kg-VS/m<sup>3</sup> ≤ 肉 < 0.15 kg-VS/m<sup>3</sup>

の範囲に最大に投入できる負荷量があることがわかった。

本実験より、同じ脂質であってもその脂質の種類により阻害範囲が異なることが明らかになった。一般的に脂質の高級脂肪酸の割合とその成分により影響を受けると言われている。楮ら 2) によると、中温でのメタン発酵の際に阻害に影響を与える高級脂肪酸はリノール酸、オレイン酸の順であると報告しているが、今回は肉とバターでは、表Ⅱ 3.2-1 のように、高級脂肪酸の総量もリノール酸とリノレン酸の割合も肉の方が多くなっているが、本実験では肉よりもバターが先に発酵阻害が起き、既存の研究と不一致である。

一方、図Ⅱ 3.2-5 のように、バッチ実験では、既存の研究と一致するような結果が見られた。

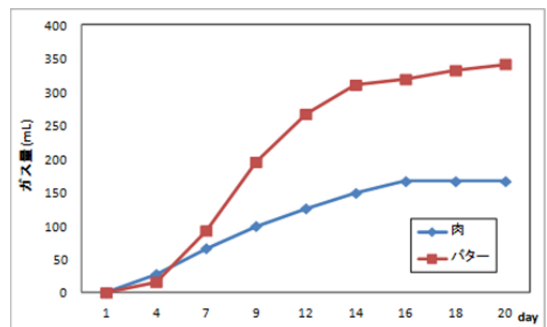
以上の結果より、連続実験でバターの方が阻害影響を受けやすくなった理由は、中温におけるバターと肉の物性の違いに起因すると思われる。つまり、中温でバターは液体状になり一気に油膜を形成するが、肉は徐々に分解していくためであると考えられる。このことより、高級脂肪酸の量と成分の割合だけではなく、脂質を提供する原料の物理的な特性も重要なファクターであることを示唆している。



図Ⅱ 3.2-4 run1~run4 のガス発生推移

表Ⅱ 3.2-1 肉とバターの高級脂肪酸の比較

	オレイン酸	リノール酸	総和
肉	44.04	4.50	9.65
バター	26.70	3.60	2.09



図Ⅱ 3.2-5 VS1g あたりの累積ガス発生量

### 3.2.4 結論

- ①炭水化物・脂質・タンパク質の有機成分の割合を示す三角ダイアグラムにより、混合発酵の際、メタン発酵特性をおおよそ推測できることが明らかとなった。
- ②高脂質含有の食品廃棄物をメタン発酵で処理する際、阻害の指標である有機物の負荷量、VFA、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、pH の他に、発酵槽内の汚泥の油膜の形成の有無を観察する必要がある。
- ③脂質の割合が 40% の食品廃棄物の安定に発酵できる VS 負荷量は 0.05 kg-VS/m<sup>3</sup> 以下であり、バターを主成分とした食品廃棄物では高級脂肪酸の量や成分より、物理的な特性（中温で溶けやすさ）に大きく左右されることが分かった。

### 参考文献

- 1)野池達也:メタン発酵、技報堂出版、2009
- 2)楮春鳳・李玉友・宮原高志・野池達也：中温および高温メタン発酵に及ぼす高級脂肪酸の阻害効果の比較、土木学会論文集 No.559、pp.31-38、1997

### 3.3 石狩湾新港地域バイオガス化システムの事業化に向けた検討 - 2項ロジットモデルを用いた食品廃棄物収集量推定手法の提案 -

主任研究者 北海道大学大学院工学研究院 教授 古市 徹  
 分担研究者 准教授 石井一英

#### 3.3.1 研究目的

2項ロジットモデルを用い、排出者の協力度より食品廃棄物の収集量を推定する手法を提案し、石狩湾新港地域にて収集量を推定する。

#### 3.3.2 食品廃棄物の収集量推定手法の提案

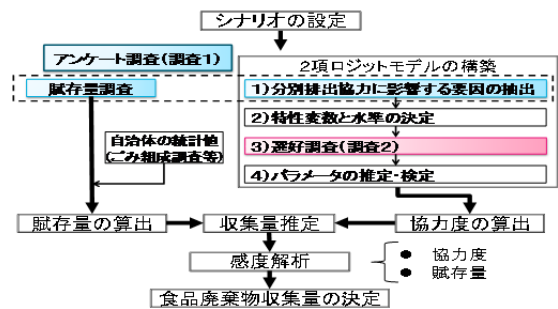
食品廃棄物の収集量推定手法(Collectable Amount of Food Waste Estimation Method)を図II 3.3-1に示す。本手法の特徴は、①②段階の調査から2項ロジットモデルを構築、②そのモデルを用い算出した協力度から収集量を推定することにある。賦存量は、自治体の組成調査等の統計値やアンケート調査結果を用い算出する。2項ロジットモデルは、「1.協力する or 2.しない」の2つの選択肢間の問題において、事象の選択確率(本研究の協力度) $P_{ij}$ と説明変数 $X_{ijn}$ (以下、特性変数)をロジスティック関数でリンクさせたモデルで、次のように表現される。

$$V_{ij} = a_1 X_{ij1} + a_2 X_{ij2} + \dots + a_n X_{ijn} \quad (1)$$

ただし、 $V_{ij}$ :個人*i*が選択肢*j*(=1,2)から受ける効用の確定項、 $a_n$ :*n*番目の未知パラメータ

$$P_{i1} = \frac{e^{V_{i1}}}{e^{V_{i1}} + e^{V_{i2}}} = \frac{1}{1 + e^{-(V_{i1} - V_{i2})}} \quad (2)$$

(2)式より協力度 $P_{ij}$ は効用差 $V_{i1} - V_{i2}$ に依存する。つまり、効用差に影響を与える影響要因を抽出し特性変数とすることが重要である。そこで、本手法では、①排出主体毎に分別排出協力の影響要因をアンケート調査から抽出し特性変数として決定、②その特性変数を用いて選好調査を行いパラメータの推定・検定を行う、という2段階の調査によって、より排出者の意向を反映した手法の提案を行った。



図II 3.3-1 食品廃棄物の収集量推定手法の提案

#### 3.2.3 選好調査によるパラメータの推定

表II 3.3-1に札幌市および石狩市の一般家庭および事業者に行った調査によるパラメータ推定結果を示す。

表II 3.3-1 家庭と事業者のパラメータ推定結果

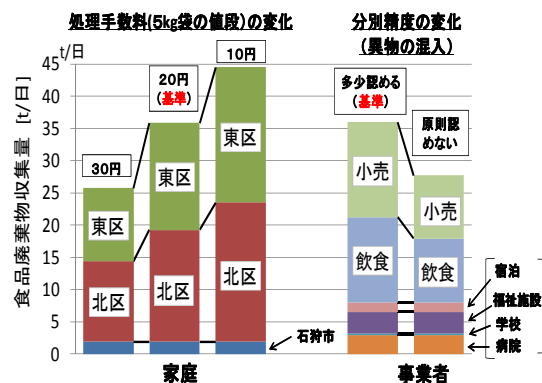
	一般家庭			分別実施事業者(石狩+北区+東区)	石狩市分別未実施事業者			札幌市分別未実施事業者			
	石狩市	北区	東区		食リ法対象 飲食+宿泊 小売	食リ法対象 飲食+宿泊 小売	食リ法対象外	食リ法対象 伝票収集 プラバド収集	食リ法対象外	食リ法対象外	
収集回数	0.218	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ごみ袋の値段	-0.087 ***	-0.069 ***	-0.079 ***	0.997 *	1.979 *	1.055 *	-0.677	-1.103 **	-	-	
収集方法	-	-0.353 **	-0.519 **	-	-	-	-2.750 ***	1.203	-1.279 ***	-0.731 ***	
生ごみ保管庫への補助	0.630 ***	-	-	-	-	-	-0.030 ***	-0.033	-	-0.019 *	
定数	-0.695 ***	-0.266 **	-0.308 **	-	-	-	0.846	-	0.706 *	0.260	
サンプル数	1182	778	528	0.341	-0.321	-3.537 ***	-0.129	1.832	0.168	1.170 *	
$\rho$ (信頼度比)	0.248	0.162	0.204	145	89	72	143	54	36	144	
的中率	75.0	69.5	72.4	0.407	0.568	0.183	0.318	0.393	0.227	0.123	
	*:p<0.1, **:p<0.05, ***:p<0.01			0.407	0.568	0.183	0.318	0.393	0.227	0.123	0.182
				84.8	89.9	70.8	69.1	81.5	72.2	66.0	72.9

#### 3.3.4 収集量の推定と感度解析

図II 3.3-3に食品廃棄物等の賦存量と協力度を乗じて求めた収集量の推定結果と処理手数料に変化を与えた場合、および分別精度として異物の多少の混入を認めた場合の収集量の変化を示した。

#### 3.3.5 結論

- ①排出者の意向を反映するために2段階の調査を実施し、2項ロジットモデルを構築したところ、適合度の高いモデルの構築が行うことができた。
- ②収集量を確保に向けて排出者の協力度を向上させるためには、小売業・飲食業では「分別精度」、また、家庭では「処理手数料」が重要な要因であることを示した。



図II 3.3-3 収集量の推定と感度解析



### 3.4 石狩湾新港地域における採算性を考慮した食品廃棄物バイオガス化施設規模に関する研究

主任研究者 北海道大学大学院工学研究院 教授 古市 徹  
 分担研究者 准教授 石井一英

#### 3.4.1 研究目的

大都市の札幌市近郊に位置する石狩湾新港地域では、食品廃棄物からのバイオガス（BG）化事業が検討されている。具体的な事業成立のための施設規模を、収集量、処理料金やBG利用方法を考慮して決定する必要がある。そこで本研究では、当該地域でのBG化施設規模を検討するために、石狩湾新港地域を対象に、3.2節で求めた収集量を最大値ととらえ、その範囲内で事業採算性が成立する施設規模決定手法を検討した。

#### 3.4.2 バイオガスプラントの事業採算性評価

##### (1) 想定するシステム構成

図Ⅱ3.4-1のように、当該地域の食品廃棄物を受入れ、メタン発酵によりBGを回収する。BG利用方法として施設内必要熱量をガスボイラーで賄い、残りのBGはすべて精製しLNGプラントへ売ガスする場合（シナリオ1）と、すべてのバイオガスを発電し、FIT制度を想定して売電する場合（シナリオ2）の二つを想定した。

##### (2) 事業採算性解析の方法

イニシャルコストの項目として「施設建設費」、「エネルギー変換設備費」、「パイプライン施工費」を、ランニングコストの項目として、「メンテナンス費」、「人件費」、「電力購入費」、「ガス精製費」、「水道代」、「排水処理費」、「残渣処理費」、「一般管理費」、「支払金利」、「租税公課」を考慮し、イニシャルコストを「減価償却費」としたうえで、ランニングコストと減価償却費を合計して単年度の支出合計とした。収入の項目として「廃棄物処理料金」、「売ガス収入」、「売電収入」を設定し、現状を踏まえて図Ⅱ3.3-1のように設定した。なお、事業主体は民間事業者とし、施設整備にかかる補助金は無し、金利等の設定は図Ⅱ3.3-1に示した。そして、20年後の内部利益率（IRR）を算出した。なお、発電シナリオの発電効率は0.3で計算した。

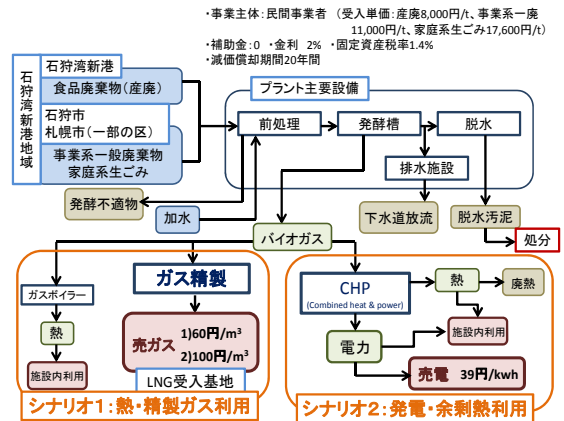
##### (3) 計算結果と考察

表Ⅱ3.4-1に売電と売ガスの場合について、各廃棄物受入量毎のIRRの計算値を示す。このように、廃棄物受入量および受入単価、売電価格および売ガス価格を地域特性に応じて設定し、事業成立する施設規模を決定できる。この場合はまず、処理料金が高い家庭系生ごみの受入量をできるだけ確保することが重要であり、24t/d確保できれば食品廃棄物の受入は無くとも成立する。逆に家庭系生ごみの受入が無い場合には事業は成立しないことが分かる。

また、表Ⅱ3.4-2に各シナリオの5年目の収支内訳を示す（生ごみ36t/d、食品廃棄物36t/d受入の場合）。売ガス価格など価格設定の仕方によって収支は大きく異なるが、この場合は売電よりも売ガスの方が収入は良いが、電気購入費とバイオガス精製費のために支出は大きくなる事が分かる。しかしながらエネルギー効率を考慮すると、近隣にLNGプラントなどの条件がそろった場合には、売ガス価格も含めてよりエネルギー効率の高いバイオガス利用方法を検討すべきことを示した。

#### 3.4.3 結論

- ① 廃棄物受入量および受入単価、売電価格および売ガス価格を地域特性に応じて設定し、事業成立する施設規模を決定する手法を開発した。
- ② LNGプラントとの連携による地域特性を活かしたバイオガス化システムの提案を行った。



図Ⅱ3.4-1 想定するバイオガス化システム

表Ⅱ3.4-1 IRRの算出結果

		家庭系生ごみ受入量 (t/d) (17,600円/t)			
		IRR (%)	0	12	24
食品廃棄物(事業系生ごみ) 受入量 (t/d) (11,000円/t)	0	-	-6.40 (-10.04)	0.83 (-1.47)	3.37 (1.54)
	12	-	-2.39 (-5.44)	1.77 (-0.33)	3.88 (2.00)
	24	-7.55 (-11.69)	-0.26 (-2.92)	2.56 (0.59)	4.40 (2.45)
	36	-3.21 (-6.55)	1.11 (-1.28)	3.26 (1.32)	4.90 (2.89)

上部:施設利用分を差し引いた電力を売電した場合(39円/kWh)  
 ( )内:LNGプラントに精製ガスを売却した場合(100円/m<sup>3</sup>)

表Ⅱ3.4-2 5年目の収支内訳  
 (生ごみ36t/d、食品廃棄物36t/d)

収入・支出(百万円)	売ガス	売電
収入合計	608	537
売電収入	0	158
売ガス収入	230	0
処理料金	379	379
支出合計	553	430
維持管理	44	39
人件費	20	20
電気購入費	39	0
バイオガス精製費	57	0
水処理費	13	13
発酵不適物処理費	13	13
汚泥処分費	152	152
一般管理費	2	2
減価償却費	137	123
金利	44	39
租税公課	31	28

#### 4. 下水処理施設と連携した混合 BGS

##### - 生ごみと下水汚泥との混合バイオガス化システムにおけるシステムの評価 -

主任研究者 北海道大学大学院工学研究院  
分担研究者

教授 古市 徹  
助教 翁 御棋

#### 4.1 研究背景と目的

現在大量生産・大量消費・大量廃棄という社会システムによって、廃棄物の適正処理、資源の枯渇、地球温暖化、エネルギー問題といった様々な社会問題が深刻化してきた。我が国では、ゼロエミッションを目標とした廃棄物の適正処理・処分、リサイクルが求められ、2007年には21世紀環境立国戦略が閣議決定され、循環型社会・低炭素社会・自然共生社会という3つの社会の形成を統合的に進めていくことにより持続可能な社会を目指すことが示された<sup>1)</sup>。そのため、カーボンニュートラルである有機系廃棄物の中のバイオマスの利活用に注目が集まっている。特に、都市地域で、現在エネルギーとしての利用率の低い下水汚泥と食品廃棄物の利用が考えられる<sup>2)</sup>。したがって、エネルギー利用の可能性および廃棄物の適正処理といった観点から、下水汚泥と食品廃棄物を廃棄物系バイオマスとしてエネルギー利用することで循環型社会・低炭素社会を推進しつつ、エネルギー供給源の多様化や自立分散型エネルギー供給システムの強化が期待できる。

地域での有機系廃棄物の循環利活用のため、本章では、下水汚泥の利活用に基ついた有機系廃棄物処理システムの構築を行った。廃棄物焼却処分施設を持たない自治体において、下水汚泥と生ごみの混合発酵システムの構築によって、最終処分場の延命効果・温室効果ガス排出量の削減効果がどれだけ得られるか検討した。地域での有機系廃棄物の循環利活用と焼却に頼らない廃棄物処理システムの構築の実行可能性を示した。

#### 4.2 研究方法

##### (1) シナリオの設定

本章の研究対象がごみ焼却処理を行われていない北広島市にしました。現在、北広島市で、生ごみと下水汚泥の混合発酵が行われているので、生ごみと資源ごみの分別収集が積極的に進まれている。したがって、北広島市のシナリオでは、対象廃棄物が決定し、それらを組み合わせた分別回収率シナリオを設定する。ここで、本研究における分別回収率の定義は以下のようなものと定義しておく。

$$\text{分別回収率} = \frac{\text{正しく分別回収された廃棄物量}(t)}{\text{正しく分別回収された廃棄物量}(t) + \text{普通ごみに混入された量}(t)} \quad (1)$$

本研究では、まず、研究地域における必要なデータを収集し、現状の把握を行った。データ収集は主に北広島市のホームページ<sup>3)</sup>、ヒアリング調査によって行った。また、平成22年度のごみ分別回収のデータを用い、生ごみは他の自治体の回収率を参考し、紙類・プラスチックはそれぞれの組成より普通ごみから表II 4.2-1に示した回収しリサイクル可能なものが正しく分別された場合を設定した。

表 II 4.2-1 シナリオ設定

シナリオ	分別回収率		
	生ごみ	紙類	プラスチック
BAU (現状)	0.04	0.18	0.38
A	0.42	0.18	0.38
B	0.62	0.26	0.64
C	0.82	0.33	0.83

##### (2) 廃棄物処理・処分における最終処分場の延命効果

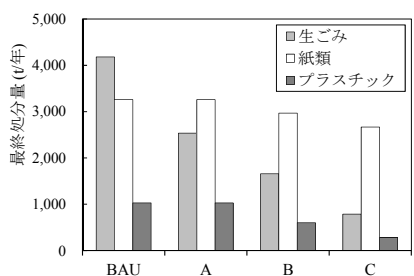
本研究では、最終処分場の延命効果が最終処分の必要容量の削減量とそれに関するコストの削減と考えた。対象廃棄物の分別回収率シナリオ毎に最終処分場の処理量[t/年]を推計し、松藤(2005)が構築した廃棄物技術データベースにおける算出式、ごみ別のかさ密度、圧縮率を参考にして、必要な処分場の容量[m<sup>3</sup>/年]を推計した。また、最終処分必要容量の減量によって削減されるコストの推計について、削減される最終処分必要容量に、最終処分場の体積当たりの建設単価と計画に関わる委託費の単価を乗じて削減コストを計算する。澤部ら(2011)のコスト調査結果によって、最終処分場1m<sup>3</sup>当たりの建設単価は4,522.61円/m<sup>3</sup>、また計画に関わる委託費の単価は240.93円/m<sup>3</sup>として計算を行った。

##### (3) 廃棄物処理・処分における温室効果ガス排出量の推計

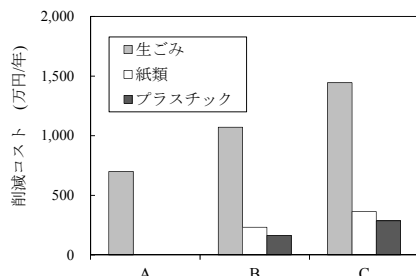
ごみ処理方法の変革によって、生ごみは最終処分場で分解されるはず部分が混合発酵で利活用することができれば、最終処分場での温室ガス排出量が削減できる。そこで、2006年IPCCガイドライン<sup>4)</sup>に示されるDefault法を用いてメタンガス排出量を算定する。生分解性の対象廃棄物中の炭素含有率(DOC)、生分解性廃棄物中の炭素のガス化率(DOC<sub>g</sub>)、埋め立て処分場の構造による好気分解補正係数(MCF)、発生ガス中のCH<sub>4</sub>比率(体積ベース)(F)の定数を調べる必要がある。また、環境省の調査結果を利用して、日本のごみにおけるパラメータで計算した<sup>5)</sup>。

### 4.3 結果と考察

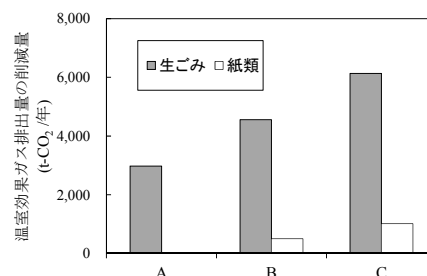
4.2節で述べた方法によって、まず、各シナリオの分別回収率向上によって、種類ごとの廃棄物のフローを計算し、各シナリオの最終処分の必要な容量、削減したコスト、最終処分による温室効果ガス削減効果を推計し、分別回収の効果定量的に示された(図II 4.3-1、図II 4.3-2、図II 4.3-3)。生ごみ、紙類、プラスチックの分別向上による最終処分場延命効果と温室効果ガス削減効果として、BAUと比較すると、一番積極的な分別回収シナリオCでは、北広島市家庭ごみの廃棄物埋め立て量から更に4737t/年(約BAUの55.9%)、北広島市全体の温室効果ガス排出量から更に7143.8t-CO<sub>2</sub>/年(約2009年北広島市全体の排出量の31.2%)削減可能であることを示した。



図II 4.3-1 シナリオ毎の最終処分必要容量



図II 4.3-2 シナリオ毎の削減コスト



図II 4.3-3 シナリオ毎の温室効果ガス削減量

図II 4.3-1、図II 4.3-2では、生ごみとプラスチックに比べて、紙類の最終処分量は最終処分必要容量の主な部分となっている。これは、想定したシナリオでは、普通ごみ中の紙類組成の約8割を占める「その他紙類」が回収されることを考慮しなかったためと考えられる。したがって、最終処分量や温室効果ガス排出量のさらなる低減化を図るには新たな技術の導入が必要である。新たな技術の例としては、近年注目されているMBTという未分別の廃棄物に機械選別・前処理を施した後に、埋め立て処分するという処理方法の導入によって紙類をしっかりと前処理してから埋め立てること、また生ごみと同様に一部の紙類をバイオガス化することによって紙類のリサイクルの幅をマテリアルリサイクル以外に広げること、住民の協力によって今以上にリデュースを促進することなどが考えられる。そのため、本研究では一部分として分別回収率の向上を想定したが、他の様々な改善策を取り入れた場合の最終処分量や温室効果ガスの発生量、さらにコストの推計を行い、それぞれの結果を比較し、考察していくことが必要であると考えられる。また、本研究の想定シナリオまで、現状の分別回収率を向上させるためにどのような政策が必要となるか、またその政策による分別回収率向上の見込みはどれほどあるのかを推計することも非常に重要である。また、混合発酵が下水汚泥の単独発酵より、バイオガスの製造効率が二倍まで促進され、処理過程の維持管理費も削減できるメリットがある<sup>8)</sup>。しかし、本研究では、各シナリオの分別回収と処理過程による悪臭問題、エネルギー消費量など環境負荷を考慮しなかったため、それに関する評価を将来の課題として検討する必要がある。

### 4.4 まとめ

生ごみ分別収集およびバイオガス化処理による温室効果ガス排出量の削減効果が顕著であると明らかにした。北海道北広島市を対象地域として生ごみ、紙類、プラスチックの分別向上による最終処分場延命効果と温室効果ガス削減効果として、BAUと比較すると、一番積極的な分別回収シナリオCでは、北広島市家庭ごみの廃棄物埋め立て量から更に4737t/年、北広島市全体の温室効果ガス排出量が更に7143.8t-CO<sub>2</sub>/年の削減が可能であることを示した。また、混合発酵を採用することで、下水汚泥の単独発酵より、バイオガスの発生量も向上した。したがって、下水汚泥と食品廃棄物の混合発酵が廃棄物の適正処理、地域資源の循環利活用、低炭素社会の構築に大きな効果をもたらすことを明らかにした。ただし、混合発酵の効率の増進のため、食品廃棄物の分別回収率の向上が必要である。

### 参考文献

- 1) 環境省：21世紀環境立国戦略, 2007. [http://www.env.go.jp/guide/info/21c\\_ens/21c\\_strategy\\_070601.pdf](http://www.env.go.jp/guide/info/21c_ens/21c_strategy_070601.pdf) (参照 2011-10-01)
- 2) 環境省, 食品廃棄物系バイオマスのエネルギー利用システムについて一現状、課題及び今後の方向性一, 2005. [http://www.env.go.jp/recycle/waste/conf\\_raw\\_g/04/mat02.pdf](http://www.env.go.jp/recycle/waste/conf_raw_g/04/mat02.pdf) (参照 2011-10-01)
- 3) 北広島市役所 HP, 2011. <http://www.city.kitahiroshima.hokkaido.jp/> (参照 2011-12-10)
- 4) 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.
- 5) 澤部咲余, 中山裕文, 島岡隆行, 小出秀雄：一般廃棄物最終処分に関わる費用の増減要因に関する一考察都市清掃, Vol.64, No.301, pp.253-258, 2011.
- 6) IPCC, Fourth Assessment Report (AR4), 2007. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf> (参照 2011-10-15)
- 7) 環境省：「温室効果ガス排出量算定に関する検討結果」, 2006. <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/santeiho/kento/h1808/index.html> (参照 2011-12-15)
- 8) 八村幸一：「第5回バイオマス事業化戦略検討チーム資料：バイオマスエネルギー関連事業のご紹介」, 2012. [http://www.maff.go.jp/j/biomass/b\\_kenntou/05/pdf/siryu2.pdf](http://www.maff.go.jp/j/biomass/b_kenntou/05/pdf/siryu2.pdf) (参照 2012-06-10)

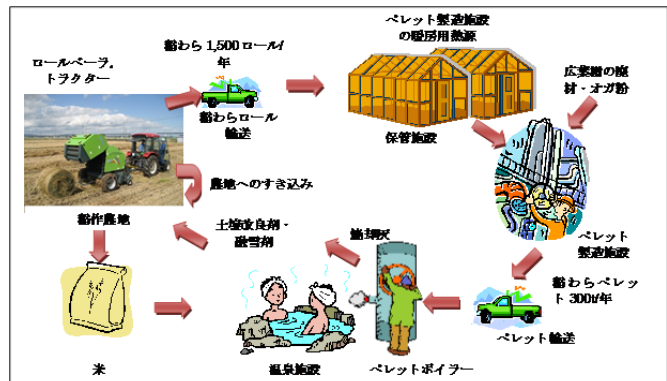
## 5. 未利用廃棄物の利活用システム

### 5.1 稲わらペレットの製造条件の明確化

主任研究者 北海道大学大学院工学研究院 教授 古市 徹  
 分担研究者 准教授 石井一英

#### 5.1.1 研究目的

日本では稲わらの約7割が鋤き込みされている。稲わらの鋤き込みは、作物生育障害の発生やメタン排出量増加が懸念されていることから、稲わらの有効利用が望まれている。本研究では、全国で唯一稲わらペレットを実プラントで製造し、温泉で熱利用している南幌町（図Ⅱ5.1-1）を対象とし、①稲わらペレット製造の歩留まり率およびペレットの発熱量の影響因子を明らかにし、②重油や灯油との熱量あたりの取引価格から算出したペレット価格について考察を行った。さらに、ペレット製造時の成形性（歩留まり率・機械的耐久性）の低さが問題となっていることから、③稲わらペレットの成形性の影響因子として考えられる破碎粒径と成形温度に着目し、稲わらペレットの成形性に及ぼす破碎粒径と成形温度の影響について実験的に明らかにすることを目的とした。



図Ⅱ5.1-1 南幌町の稲わらペレット事業の概要

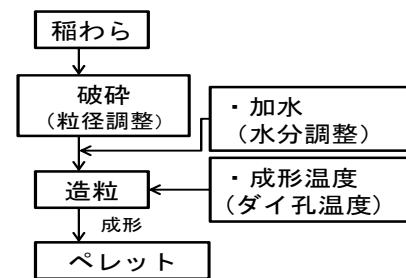
#### 5.1.2 稲わらペレットの製造の歩留まり率および発熱量の影響因子の考察

##### (1) 実験方法

南幌町の稲わらペレット製造実機を用いて、図Ⅱ5.1-2に示す工程で、表Ⅱ5.1-1の5つの条件の稲わらを用いて、稲わらペレットの製造を行い、歩留まり率（＝稲わらペレット重量/投入稲わら量）および、稲わらペレットの低位発熱量、含水率、灰分、固定炭素量の測定を行った。

##### (2) 結果と考察

図Ⅱ5.1-3に、稲わらペレットの含水率と発熱量および歩留まり率（＝稲わらペレット製造量/稲わら量）の関係を示す。低含水率の方が、発熱量は高いが、歩留まり率が低くなる（成形がうまくいかない）。すなわち、含水率が重要な製造パラメータであり、製造後の稲わらペレット含水率が12～15%程度になるように、調整する必要があることが分かった。



図Ⅱ5.1-2 稲わらペレット製造工程

表Ⅱ5.1-1 試験材料

稲わらロール	含水率 (%)	重量 (kg)	ペレット化した日付	収集年	保管期間	乾燥方法
No. 1	8.0	154	2011年11/17	2010年11月	約1年	自然通気
No. 2	11.7	22.1	2011年1/20	2011年11月	約2ヶ月	強制乾燥
No. 3	17.0	31.5	2012年1/20	2011年11月	約2ヶ月	強制乾燥
No. 4	18.8	33.2	2012年1/20	2011年11月	約2ヶ月	強制乾燥
No. 5	25.0	177	2011年12/20	2011年11月	約1ヶ月	自然通気

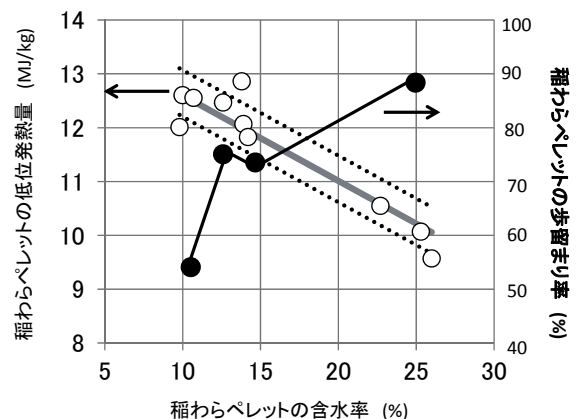
#### 5.1.3 稲わらペレット価格の考察

図Ⅱ5.1-3の稲わらペレット発熱量と含水率の関係を用いて、熱量ベースで重油、灯油に競争可能なペレット価格とペレット含水率の関係を考察する。まず(1)式を用いて、熱量ベースで灯油・重油価格と等価になるように稲わらペレット価格を算出する。

$$\text{稲わらペレット価格 (円/kg)} = \frac{\text{灯油・重油価格 (円/L)} \div \text{灯油・重油の発熱量 (KJ/L)}}{\times \text{稲わらペレットの発熱量 (MJ/kg)}} \dots (1)$$

(1)式の灯油・重油価格には、現行の灯油価格90円/L、現行の重油価格85円/L、灯油の将来想定される価格110円/L、重油の将来価格105円/Lを用い、灯油、重油の発熱量には36.7MJ/L、39.1MJ/Lを用いた。そして、図Ⅱ5.1-3の各含水率毎の稲わらペレットの発熱量から、灯油と重油と熱量ベースで等価な価格を算出した。図Ⅱ5.1-4に、以上より求められた稲わらペレット価格と稲わらペレット含水率の関係図を示す。

現状の稲わらペレット取引価格は35円/kgであること



図Ⅱ5.1-3 含水率と発熱量および歩留まり率の関係



から、現行の灯油価格 90 円、重油価格 85 円と比較したペレット価格を考えた場合、含水率を 10%程度で考えても厳しい。

しかし、将来の重油・灯油価格が 20 円高騰した場合には、現行のペレット取引価格でも十分に、化石燃料と代替できる可能性を示した。

#### 5.1.4 稲わらペレットの成形に及ぼす影響因子の考察

##### (1) 実験方法

次に、稲わらペレットの成形性に大きな影響を及ぼすと考えられる破碎粒径と成形温度に着目し、稲わらペレットの製造試験を行った。破碎粒径は、5mm、10mm、20mm の 3 段階、成形温度は 60℃、80℃、100℃ の 3 段階の合計 9 条件にて、予め含水率は 15%に調整した稲わらを用いて試験を行った。

##### (2) 結果と考察

図 II 5.1-5 より、破碎粒径によらず、含水率 15%、成形温度 60~80℃であれば十分に良質な稲わらペレットの製造が可能であることが分かった。同様に、図 II 5.1-6 より、機械的耐久性(ペレットのもろさ)についても同条件であれば、木質ペレットの品質規格である 97.5%と同等のレベルに達することが分かった。

しかしながら、成形温度 100℃の場合には、成形中の水分の蒸発により、リグニンの軟化が不十分なため歩留まり率と機械的耐久性共に低下した。成形温度を制御できるペレット製造機は限られており、ペレット製造中に摩擦熱により成形温度が上昇してしまい、成形に悪影響を及ぼすことが多い。そこで、含水率を 20%に調整し、成形温度 100℃で製造を試みたところ、歩留まり率および機械的耐久性共に改善することを確認した。すなわち、成形温度に応じた含水率の調整が、安定的に高品質なペレットを大量に生産するために重要であることを示した。

#### 5.1.5 結論

- ①唯一実プラントで製造された稲わらペレットの歩留まり率と発熱量を測定した結果、原料としての稲わらロールの含水率と造粒時の加水量が、歩留まり率と稲わらペレットの発熱量を管理するための重要因子となることを示した。含水率調整の目安として 15%が適当であることを示した。
- ②発熱量ベースで重油・灯油価格に競争できるペレットの発熱量と含水率の関係を明らかにし、現状では製造コスト削減が必要であること、また将来重油・灯油価格が 20 円高騰した際には、現状で生産されている 14~22%のペレット含水率で十分競争可能であることを示した。
- ③-1 破碎粒径 5mm から 20mm の範囲では、成形性に大きな違いは見られなかった。破碎に必要な時間やエネルギーを考慮すると破碎粒径 20mm で十分に成形できることを示した。
- ③-2 含水率 15%、成形温度 60℃および 80℃の条件において成形性の高い稲わらペレットを製造することができた。
- ③-3 含水率 15%・成形温度 100℃ではすべての粒径で成形性が低下した。そこで、含水率 20%・成形温度 100℃で追加実験を行ったところ成形性は向上した。つまり、温度調整が造粒器では、成形中に成形温度が上昇することがあるので、その成形温度に応じた加水による含水率の調整が必要であることを示した。

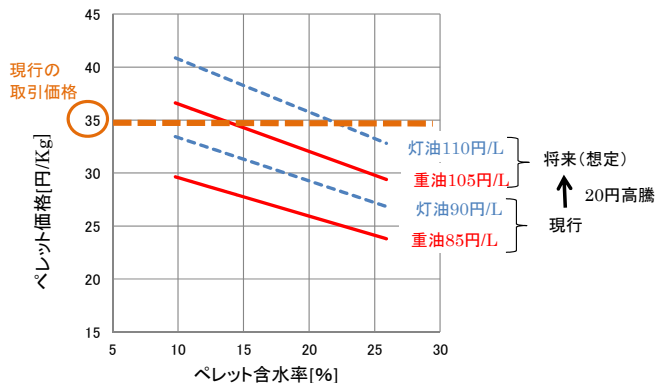


図 II 5.1-4 稲わらペレット含水率とペレット価格の関係

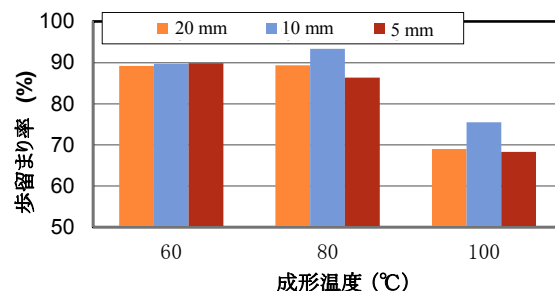


図 II 5.1-5 成形温度と歩留まり率の関係 (破碎粒径をパラメータ)

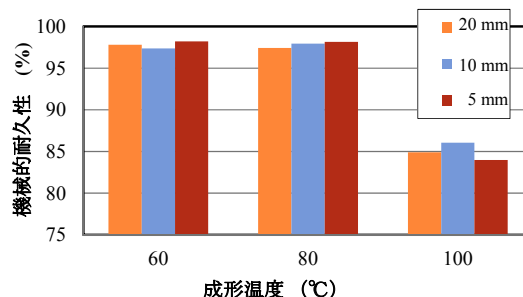


図 II 5.1-6 成形温度と機械的耐久性の関係 (破碎粒径をパラメータ)

## 5.2 農作物残渣燃料の燃焼試験

研究分担者 道総研工業試験場 上出 光志

### 5.2.1 研究目的

農作物残渣の燃料化は化石燃料など他の燃料と比較してエネルギー密度が低く経済性が低いと言われている。しかしながら農業地帯が集中し、広大な耕作地が存在する北海道においては燃料化が可能である。その対象となる残渣は地域によって大きく異なるが、ペレット燃料の原料となる条件として、第一に地域に多く賦存し(収集し易い)他に用途がないこと、第二に自然乾燥が可能であることが上げられる。また、さらには消費地の近傍にペレット生産工場が存在すれば経済的に既存化石燃料に対抗できる条件となる。

農作物残渣の燃料化とくにペレット化は北海道を除いて国内で取り組まれている事例はない。この要因として前述のように多量の残渣を収集できないこと、発熱量が低く、灰分が多く、クリンカーを生じやすく燃料としての質が低いと考えられているためと推測できる。

また、エネルギーの多様化、自給率の向上を考えると、地域で排出されるバイオマスをその地域で消費するエネルギーの地産地消は、これまで域外へ流出してきたエネルギーマネーをできる限り地域内で循環させようとする試みで、地域の発展にとっても新たな産業が生まれるなど有効な手段といえる。

本研究分野では稲わらペレットあるいは木質ペレットとの混焼がボイラの燃焼性能に与える影響を明らかにし実際の燃焼に応用すること、クリンカーの生成が継続燃焼に与える障害を軽減することを目的とし、自治体が推進するバイオマスの熱利用、農作物残渣の燃料化を技術面から支援する。なお、本事業では稲わらの燃料化施策を導入した南幌町の温泉施設のペレットボイラでの実証試験を対象としている。

### 5.2.2 ペレットの基礎燃焼試験

#### (1) 供試ペレット燃料

各種燃焼実験で使用した稲わらペレットは、南幌町で排出された原料から成形し、木質ペレット燃料は広教資材(株)(南幌町)から提供いただいた。それぞれの分析値を表Ⅱ5.2-1に示す。

表Ⅱ5.2-1 燃料の分析値および物性値

	単位密度 g/cm <sup>3</sup>	粉化率 %	水分 %	灰分 %	揮発分 %	固定炭素 %	総発熱量 MJ/kg
稲わらペレット 100%	1.27	2.0以下	7.4	12.7	63.7	16.2	15.18
木質ペレット 100%	1.22	7.1	7.1	0.4	78.3	14.2	17.73

#### (2) ペレットの燃焼速度測定

コーンカロリメータにより木質ペレットに稲わらペレットを混合したサンプルで、それぞれの燃焼速度を測定した結果を図Ⅱ5.2-1に示す。図から分かるように稲わらペレットを混合しても顕著な差は見られず、燃焼速度は15.2g/s・m<sup>2</sup>となった。

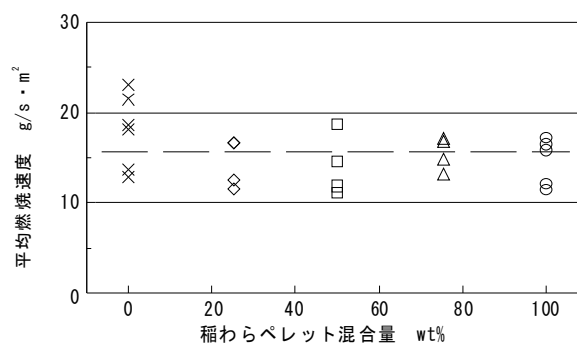
#### (3) クリンカー障害

クリンカーは灰が熔融し固化したときに発生する。写真Ⅱ5.2-1は発生初期段階のクリンカーで空気孔の部

分が吹き飛ばされたドーナツ状となる。このような結果から、火格子の空気孔をスリット状にし、クリンカーを細かく破壊され易いようにした結果クリンカー障害は克服された。

### 5.2.3 温泉施設での実燃焼試験

南幌町が推進するバイオマスの熱利用、農作物残渣の燃料化を技術面から支援することを目的に、同町内の南幌温泉ハート&ハートでの加温用ボイラを使用した実燃焼試験をおこなった。



図Ⅱ5.2-1 サンプルの平均燃焼速度



写真Ⅱ5.2-1

### (1) 建屋およびボイラ設備

この温泉施設での熱供給は、出力 350,000kcal/h のペレットボイラ 2 基と重油ボイラで行われている。2F は客室である。ペレットボイラへは木質ペレット 50%、稲わらペレット 50%の混合燃料が供給される。木質燃料は 1 基あたり 95kg/h 供給されているので、ボイラ熱効率を推算すると 87%と計算される。実際には重油ボイラ主体で運転されているため、頻繁に on-off 運転されており、実際の熱効率は低いと推測される。

### (2) 実燃焼実験

バイオマスボイラの運転モードは 2 基とも図 II 5.2-2 の制御で運転されている。午前 8 時から午前 10 時までは厨房の清掃、客室の清掃などの営業準備、温泉の営業時間は午前 10 時から午後 10 時までの 12 時間であり、この間はボイラは on-off 運転を繰り返す。この間の温水設定温度は通常 80℃である。それ以外の時間は設定温度は通常 80℃である。それ以外の時間は種火運転モードで 1 時間 30 分毎に 3 分間燃料供給を行っている。

ボイラ 2 基の最大可能熱供給量は 1 日あたり 16.8Gcal である。図 II 5.3-2 はボイラの運転状況である。図中の白抜きは休日の結果で熱需要が高くなっている。日帰り入浴客が増加するためである。図中の 60℃とあるのは貯湯槽の設定温度を意味している。この設定では熱応答性の悪いバイオマスボイラが本格稼働する前に主ボイラである重油ボイラが温水を加温してしまうためバイオマスボイラはほとんど稼働していないのがわかる。

表 II 5.3-2 は月別燃料消費量、図 II 5.2-4 はペレットボイラの稼働率などを示した図である。夏場の A 重油消費量は冬場の 50%程度になる。ペレットボイラの稼働率は平均 10%以下で全熱需要量 10%程度の熱量しか供給していない。ここで、ペレットボイラの稼働率が低いこと、ペレットの消費量が極めて少ないのは技術的要因ではなく、温泉施設の経営上の問題が大きく起因している。当施設では一般市場価格より 15~20 円ほど易く A 重油を購入していることが一番大きな原因である。ここで、ペレット価格と重油価格の関係について述べる。

重油ボイラの熱効率を 85%、バイオマスボイラの熱効率を 70%、75%、85%と設定したときのエネルギーコストについて検討を行った。木質ペレットの価格は 40 円/kg で、稲わらペレット価格はエネルギー単価が 2.26 円/MJ で計算され 35 円/kg と設定されている。また、稲わらペレットは多くの灰分を含み、その処理費用は 25 円/kg で燃料 1kg あたり 3.18 円の処理費用が必要となる。

図 II 5.2-5 は横軸に混合ペレットの発熱量、図中の実線は灰処理を外部委託したときのエネルギーコスト、破線は灰処理が必要ないときのエネルギーコスト縦軸は A 重油価格(或いは A 重油と同等の熱量をペレットボイラで得ようとしたときのエネルギーコスト)を表す。図から分かるように、ペレット燃料に木質燃料の

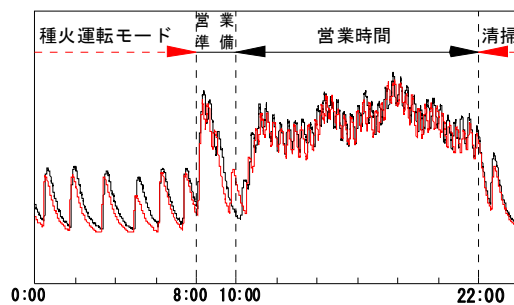


図 II 5.2-2 ボイラの運転モード

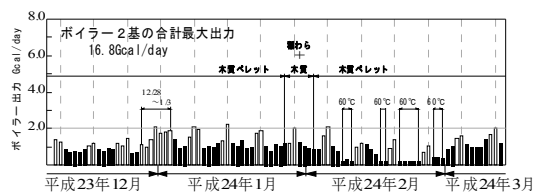


図 II 5.2-3 ボイラ運転状況

表 II 5.2-2 月別燃料消費量

日時	H23.3	H23.4	H23.5	H23.6	H23.7	H23.8
A重油 (kL)	38	32	26	16	16	16
稲わらペレット (t)	3	5.5	1.5	0	0.5	3.5
木質ペレット (t)	10.3	15.0	14.8	17.8	6.7	6.5
日時	H23.9	H23.10	H23.11	H23.12	H24.1	H24.2
A重油 (kL)	16	32	26	32	38	48
稲わらペレット (t)	2	2	2.437	0	0	0
木質ペレット (t)	11.4	13.6	22.6	21.6	28.1	16.6
日時	H24.3	H24.4	H24.5	H24.6	H24.7	H24.8
A重油 (kL)	38	28	32	22	22	16
稲わらペレット (t)	1.5	2.5	1.5	0	0	0
木質ペレット (t)	13.2	12.2	14.7	7.6	4.9	—
日時	H24.9	H24.10	H24.11	H24.12	H25.1	H25.2
A重油 (kL)	16	32	38	48	48	—
稲わらペレット (t)	0	0	0	0	0	—
木質ペレット (t)	4.9	6.1	6.1	12.6	12.6	—

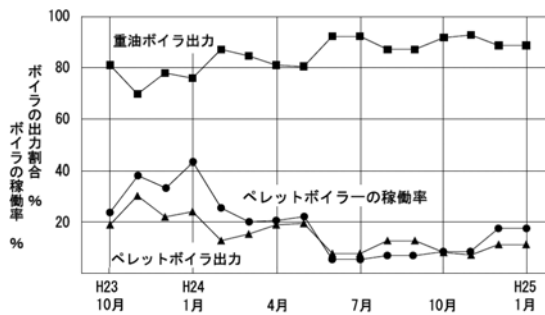


図 II 5.2-4 ペレットボイラの稼働率

みを使用し、ボイラの熱効率が低いほどエネルギーコストは低下する。これに稲わらが混合されることにより発熱量が低下するためコストが上昇する。木質ペレット価格が 40 円/kg である本事業ではボイラ効率 0.8、灰を融雪促進剤として使用する条件下で、重油価格が 90 円/L 以上であればビジネスが成り立つ。

#### 5.2.4 まとめと将来への提言

今日までの試験で、稲わらペレットを燃料としてボイラで施設の熱需要を十分にまかなえることがわかった。またクリンカー対策も十分にされて連続運転が可能であった。しかしながら、重油ボイラが設備されている温泉施設での実験であったためボイラ能力を最大限活かした実験には至らなかった。これには、ペレットの熱量単価が重油よりも高く営業上大きな問題があったためペレット主体の運転ができなかったと考えられる。これまでの実験で今後明らかにしなければならず、現実の運転上では以下に示したことを明らかにしなければならないと考えられる。

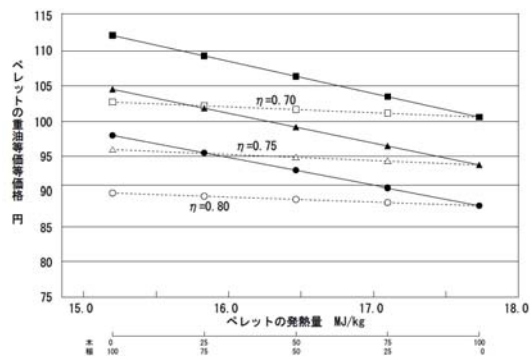


図 II 5.2-5 エネルギーコスト

- ・ボイラの熱効率

on-off 運転では正確な熱効率が測定できないため連続運転する必要がある。

- ・ボイラの運転では、バイオマスボイラを主とし重油ボイラを従とする。
- ・重油ボイラを稼働させないときには、バイオマスボイラでは急激な熱需要に対応するのは不可能であるため、貯湯槽を増設し蓄熱する。
- ・今後のビジネス展開を図るにあたって、冬期間の農作物栽培が有効な手立てである。

その他、今後の展開について、重油ボイラでは急激な熱需要に対応可能な出力を得ることができるが、バイオマスボイラでは困難であるため、熱需要のピーク時の熱量不足対策として貯湯槽の増設し、蓄熱して熱需要のピークに対応する必要がある。現状は重油ボイラ主体で運転されているため、ペレットボイラの稼働時間が極めて短くなっている。ペレットボイラ的能力を最大限活用できる運転システムを構築する必要がある。

稲わらペレットの価格は木質ペレットの価格を基準に熱量比で決定されているが灰分が多い、クリンカーが発生するなどの欠点があるため、価格は熱量以下に設定しなければならない。そのため、稲わらペレット生産設備の粉砕機の拡充、生産工程の効率化によってペレット価格を下落させる必要がある。また、稲わらペレットには灰分が多く含まれているため、その灰処理にはペレット 1kg あたり 2.6 円の処理費用が必要で、利用者側にすればペレット購入価格に燃焼後の灰処理コストが上乘せされた価格が実際のペレット価格となるため、稲わらペレット利用のメリットが見いだせない。このようなことから、燃焼灰の有効利用（融雪促進剤）の方策を早急に造るべきである。

行政は稲わらペレット利用を促進しマーケットの拡大を図らなければならない。例えば、稲わらペレットで栽培用ハウスを加温して貸し家庭菜園を厳冬期間に設定する。それにより、近郊大都市部からの人の流入、金銭の流入を促進するとともに、稲わらペレットの認知度を上げ、冬期間のボイラ運転方法の知見を得る。そのためには、クリンカー障害対策された小型ボイラの開発、省エネ栽培を目指した局所加熱方式を採用した新しい栽培技術の開発、新品種などの栽培促進を政策的に行うべきである。



### 5.3 未利用廃棄物（木質系、農業残渣）の利活用システムと生態系サービス評価

研究分担者 国際連合大学 学術研究官 齊藤 修

#### 5.3.1 研究目的

2008年3月に閣議決定された第二次循環型社会形成推進基本計画では、新たに「地域循環圏」の概念が導入されたほか、循環型社会づくりにおいて、低炭素社会だけでなく、自然共生社会形成との統合的な取組の推進が強調されている。しかしながら、循環型社会と自然共生社会の統合的な展開については具体的な事例に乏しい。一方、東日本大震災の発生や人口減少の進展をはじめとする昨今の社会状況を踏まえ、これまでの人と自然との関係を問い直し、今後の自然共生社会のあり方を示すことが必要となった。これを受けて、生物多様性国家戦略の見直しが進められ、「生物多様性国家戦略 2012-2020」が2012年9月に閣議決定された。この新国家戦略では、主要課題のひとつとして、生態系サービス（生態系から人間が得ている恩恵の総称）の需給関係にある地域を「自然共生圏」として捉え、生態系の保全・回復等の取組を地域間の連携・交流により進めていく考え方が新たに提示されている。

本研究の目的は、このような国の計画や戦略で提示された「地域循環圏」と「自然循環圏」の概念を、北海道内の研究対象地域でシステムとして構築する場合、生態系サービスへの影響を評価することを介して、自然共生と調和した地域循環圏形成のあり方と方法論を提示することである。

#### 5.3.2. 研究方法

##### (1) 自然共生社会と生態系サービス評価の概念枠組みに関する文献レビュー

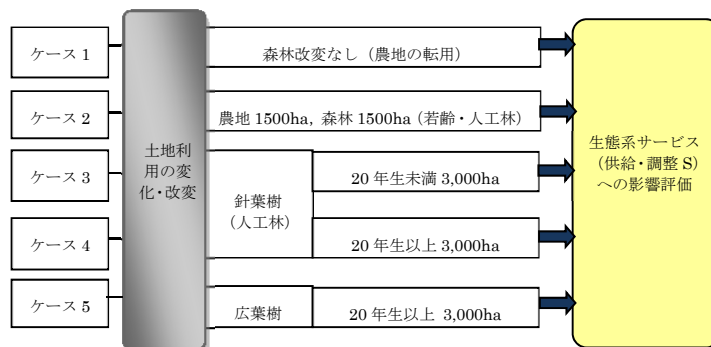
国内外の文献レビューに基づき、「生態系サービス」概念とその分析枠組みを介した自然共生社会と循環型社会形成の連携・協調について理論的な整理を行った。

##### (2) 北海道における各種生態系サービスのインベントリデータベース構築

北海道の市町村別での各種生態系サービスのインベントリデータベースを構築し、市町村、流域圏、北海道全域などマルチスケールで生態系サービスを評価できるようにした。森林系木質バイオマスと農業系バイオマス（農業残渣）を対象とし、影響を受ける生態系サービスとして、バイオマス資源の供給サービスを、調整サービスとして炭素蓄積と炭素吸収速度、洪水緩和機能を、文化的サービスとして森林所有者の在村状況と森林スポーツ・レクリエーション施設数を評価した。

##### (3) ケーススタディ地域を対象とした未利用バイオマス利活用のモデル分析

本研究では、札幌近郊の南幌町（人口9千人余）と上川総合振興局管内の北部に位置する下川町（人口4千人余）を研究対象とした。南幌町は、稲作が盛んであり、水田が全町の土地利用の半分近くを占めることもあり、稲わらを軸としたバイオマス利用が展開されている。一方、下川町は森林が町の約90%以上を占めることから、森林・林業を産業の基盤として発展してきた。南幌町では農業残渣である稲わらを、下川町では製材くずや林地残材、ヤナギ植林を対象として、有効利用方式を検討し、利用に伴う土地利用変更、バイオマス資源の収集範囲、収集方法、関係主体、技術オプション等を組み合わせた複数のケース（たとえば図II.5.3-1）を設定し、ケース毎での生態系サービスへの影響の評価とケース間での比較分析を行った。

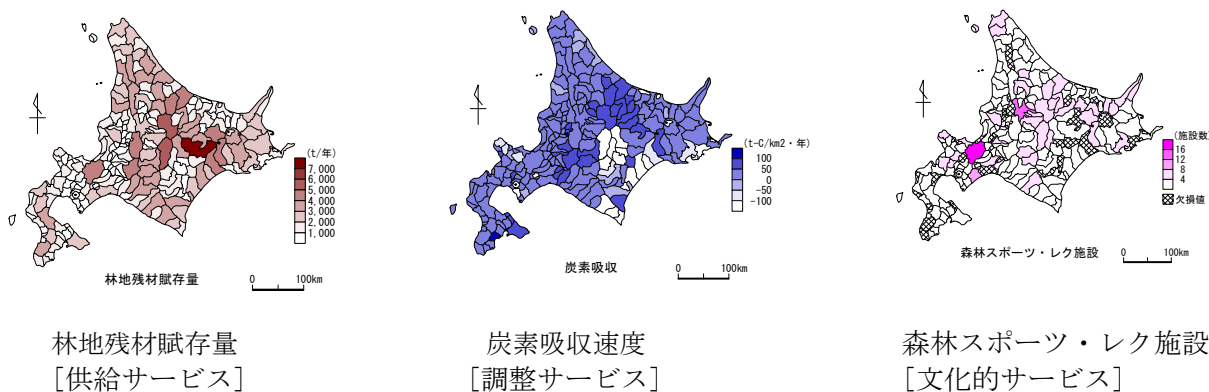


図II.5.3-1 下川町でのヤナギ植林によるエネルギー利用のケース分析の評価枠組み

#### 5.3.3. 結果と考察

##### (1) 北海道市町村ベースでの森林系木質バイオマスと生態系サービスのインベントリ

北海道における市町村別での森林系木質バイオマスと生態系サービスのインベントリを構築し、その結果を図II.5.3-2のように地図化した。供給サービスでは、木材生産と林地残材の分布はほぼ重なるものの、道央付近での分布にやや差異がある。調整サービスの炭素蓄積と炭素吸収速度も似たような分布ではあるが、炭素吸収速度に関しては十勝支庁で蓄積のわりに低い値を示す市町村が分布していることが見てとれた。文化的サービスのうち、森林スポーツ・レク施設は、森林面積や森林生産量よりも、中核都市からのアクセスや観光地としての魅力がより強く影響していると推察される。また、北海道の市町村別インベントリを用いて、生態系サービス間の相関分析を行った結果、地域の森林系木質バイオマスの資源循環（供給サービスの維持・拡大）と調整サービスである炭素蓄積との間に有意な相関が検出された。これは、バイオマス利用拡大による地域循環圏の形成にあたっては、特に地域スケールでの森林炭素蓄積との関係に留意する必要があることを示唆している。



林地残材賦存量  
[供給サービス]

炭素吸収速度  
[調整サービス]

森林スポーツ・レク施設  
[文化的サービス]

図 II 5.3-2 森林系木質バイオマスに関連する生態系サービスの市町村別評価結果のサンプル図

(2) ケーススタディ地域を対象とした未利用バイオマス利活用のモデル分析

1) 南幌町(稲わら利用システム)

南幌町の稲わらの利用事業の評価を行った結果、稲わらの乾燥および運搬方法を工夫・効率化することで、コスト削減の余地があること、稲わらの収集から運搬までの過程での CO<sub>2</sub> 排出量と比較して、稲わらすき込みによる水田土壌からのメタン排出量が相当大きいこと、稲わら施用による土壌炭素貯留まで考慮した場合には、稲わらの燃料化による GHG 削減効果は限定的になりうることが示唆された。

次に、南幌町の人口、稲作農家数、水稲作付面積、稲わら発生量の将来的な変化について4つの将来シナリオを設定して、生態系サービスへの影響を評価した。供給サービスとしては、稲わらのペレット化による燃料生産量を将来シナリオ別に算定するだけでなく、地域内での燃料性生産による民生部門のエネルギーの地域自給率を同地域の民生部門エネルギー消費量の推計結果を用いて算出した。その結果、南幌町では、賦存稲わら燃料化率が最も高くするシナリオ(燃料化率30%)において、稲わら19,500ロールが必要となり、その燃料化による重油代替と稲わらのすき込み回避によるメタン発生量の削減によって、GHG 排出量の収支は約6,000t-CO<sub>2</sub>等量/年の削減になること、これは同町における民生部門のエネルギー消費に伴う炭素排出量の12%に相当することを明らかにした。

2) 下川町(ヤナギ植林からのバイオマス利用システム)

ヤナギ植林開発対象区域を把握するため、傾斜度区分図と道路からのバッファ(200m, 400m)を重ね合わせ、道路からアクセスが良い傾斜度5度以下の区域を抽出した。その結果、200m バッファで約5,790ha、400m バッファで約6,740haが抽出された。400m バッファ・傾斜度5度以下の6,740haの中には、ヤナギ植林対象となりうる耕作放棄地78ha、裸地22haが含まれているものの、大半は農耕地(3,199ha、47.5%)であり、自然林(1,501ha、22.3%)と植林地(854ha、12.7%)がそれに続くことが判明した(図II 5.3-3)。すなわち、ヤナギ植林が事業として成立しやすい平坦で道路からアクセスのよいところを対象として長期目標3,000haを確保しようとした場合、下川町内では既存の農地や林地の転用を伴いうる。

次に、3,000haのヤナギ植林を開発した場合、ヤナギ植林は3年周期で収穫することから、年間収穫面積は1,000haとなり、そこから得られる素材からのチップ製造量、ボイラ熱量、同量の熱量をA重油から得る場合のA重油換算量とA重油によるGHG排出量を算定した。その結果、ヤナギ植林からのチップを熱利用することで、A重油換算で年間3,9176t-CO<sub>2</sub>が削減できること、ヤナギ栽培からチップ製造、暖房用熱利用の各工程でのGHG排出量は5,797t-CO<sub>2</sub>であることから、正味の純オフセット量は年間33,380t-CO<sub>2</sub>となることを明らかにした。そして、この純オフセット量とケース1からケース5(表II 5.3-1)のヤナギ植林化開発に伴う森林炭素蓄積の損失量(t-C)を用いて、各ケースの炭素回

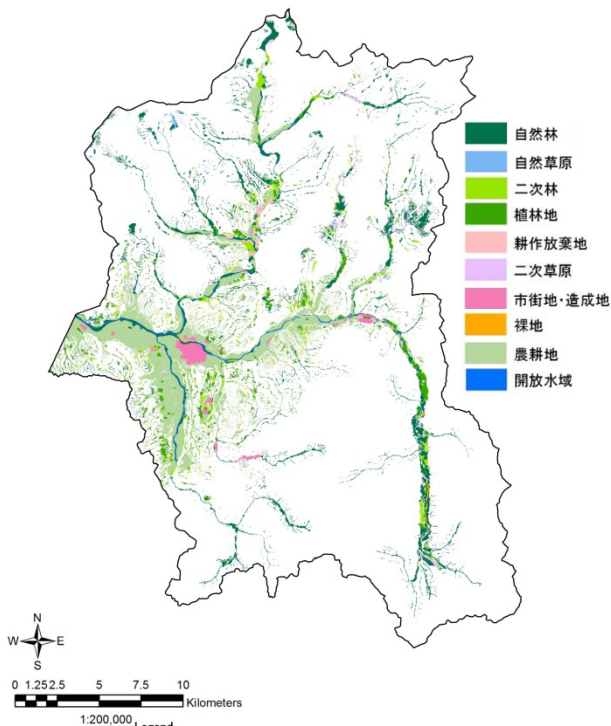


図 II 5.3-3 傾斜度5度以下かつ道路から400m以内の区域内の植生区分図

収年数（ペイバック年数）を算定した（表Ⅱ5.3-1）。これによると、20年生未満の針葉樹（人工林）を転用した場合の炭素回収年数（ケース3）は約8年であり、20年生以上の針葉樹ないし広葉樹を用いる場合には炭素回収年数が20年以上かかることがわかった。特に炭素蓄積量の多い20年生以上の広葉樹（天然林）を転用すると、炭素回収に30年近く要すると推定された。

表Ⅱ5.3-1 ヤナギ植林地開発に伴う森林炭素蓄積の損失と炭素回収年数

		ヤナギ植林地開発に伴う森林炭素蓄積の損失量 (t-C)	チップ化による暖房用熱利用のGHG純オフセット量 (t-C/year)	炭素回収年数 (ペイバック年数)
ケース1	農地 3,000ha (森林改変なし)	0	9,104	-
ケース2	農地 1,500ha, 森林 1,500ha	35,897		3.9
ケース3	20年生未満の針葉樹 (人工林) 3,000ha	71,794		7.9
ケース4	20年生以上の針葉樹 (人工林) 3,000ha	194,965		21.4
ケース5	20年生以上の広葉樹 (天然林) 3,000ha	259,068		28.5

#### 5.3.4. 結論

本研究では、「生態系サービス」概念とその分析枠組みを介した自然共生社会と循環型社会形成の連携・協調のあり方について、北海道の南幌町と下川町を対象として木質系および農業残渣系の未利用廃棄物を対象に解析し、地域循環圏の形成にあたって、生態系サービスとの関係性を明示的・定量的に扱うための基礎データと勘定方式のプロトタイプを開発した。これにより、未利用バイオマス資源供給のエネルギー収支や経済性だけでなく、土地改変による炭素蓄積損失など複数の生態系サービスへの影響を定量的に評価する方法を提示すること可能になった。研究成果は、研究対象地域におけるバイオマス開発目標の設定の一助となるだけでなく、一連の評価手法は他の地域（市町村）にも適用可能である。

## 5.4 廃 CCA 処理木材の分別処理とリサイクルシステムの研究

主任研究者 北海道立総合研究機構環境・地質研究本部環境科学研究センター 阿賀 裕英

### 5.4.1 研究背景と目的

廃棄物系木質バイオマスは熱利用を中心に利活用が進んでいるが、木造住宅の土台を中心に全国で利用された CCA (クロム・銅・ヒ素化合物系木材保存材) 処理木材は、その有害性から建設リサイクル法基本方針にて家屋解体時の分別・適正処理が求められているものの、罰則などの強制力がないこと等から十分に分別されず、各リサイクルルートへ混入していることが懸念されている。そこで廃 CCA 処理廃木材の分別状況と課題を把握し、分別推進策について検討を行うほか、リサイクル技術の確立も分別推進の鍵になると考えられることから、希硫酸による重金属除去条件を検討し、木質成分の硫酸糖化によるバイオエタノール等への原料化へ道筋をつける。さらには、廃酸からの各重金属の個別分離回収法を検討し、各金属成分のリサイクルの可能性も検討する。

以上のように、廃 CCA 処理木材の分別処理とリサイクルシステムを確立することにより、廃棄物系木質バイオマスの適正なリサイクルの推進を目指す。

### 5.4.2 研究方法

#### (1) 廃 CCA 処理木材の分別処分状況調査

電話帳に建設業（建物解体工事）として登録されている道内 303 事業所の全てを対象にアンケートを行い、CCA 処理木材の認識や分別実施状況、処理処分法などについて調査した。

リサイクルルートへの混入状況については、ボイラ燃料として 1 市 6 社から家屋解体廃木材チップを受け入れている H 社、ボード原料として多数の業者から家屋解体廃木材チップを受け入れている I 社から、複数のチップサンプルの提供を受け、酸分解後、ICP-AES や ICP-MS により、溶解液中の As、Cr、Cu を内標準法により定量した。

また、ボイラ燃料の焼却灰が土壌改良資材として利用されるケースもあることから、建築解体廃木材を主に扱う産廃焼却施設 5 施設分、木くずボイラ施設 3 施設分の炉床残渣や飛灰について、環境庁告示第 13 号法により溶出試験を行い、CCA 成分について土壌環境基準と比較検討した。

#### (2) 希硫酸による CCA 処理木材からの重金属除去条件の検討

既存研究例の中で好成績を示す文献<sup>1)</sup>の条件を参考に、CCA 処理木材の 2mm チップ化試料 3g を 50ml 遠沈管に秤り取り、希硫酸 40ml を加え（固液比 7.5%・・・本チップを十分に振とう攪拌可能なおよそ最大の固液比）、波動形シェーカー（65rpm）により攪拌した。検討した条件は、抽出液の希硫酸濃度（0.5N、1N の 2 通り）、抽出温度（25℃、35℃、50℃の 3 通り）、抽出時間（1、2、4、8、12、24 時間の 6 通り）である。

#### (3) 廃酸から各重金属成分の個別分離回収法の検討

文献調査を基にキレート樹脂やイオン交換樹脂を選択し、良好な分離回収が得られる手法を検討した。実験は、試薬から調整した模擬廃酸と、実際に CCA 処理木材を処理した実サンプルのそれぞれについて行った。廃酸中 CCA 成分の各濃度を以下に示す。

模擬廃酸の組成(mg/l)・・・Cr:124, Cu:81, As:51

廃酸（実サンプル）の組成(mg/l)・・・Cr:124, Cu:79, As:52

### 5.4.3 結果と考察

#### (1) 廃 CCA 処理木材の分別処分状況調査

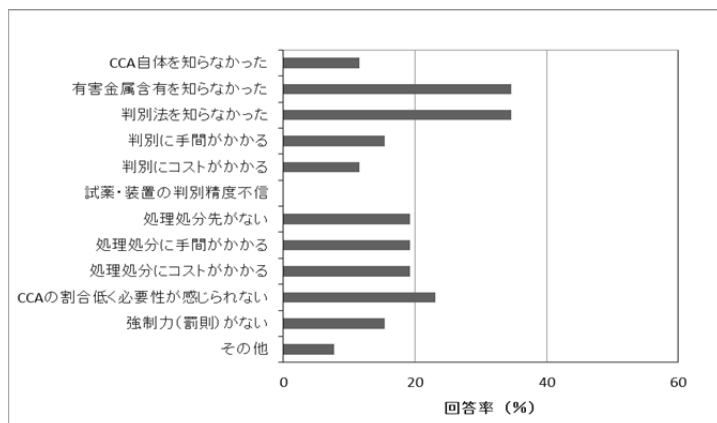
アンケート調査から、CCA 処理木材のことを知らなかった解体業者は 5%、CCA 処理木材が有害金属を含有していることを知らなかった解体業者は 30%もあり、CCA 処理木材の基本的情報さえ解体業者に十分認識されていないことが分かった。そして分別を実施していない解体業者は約 4 割に上った。また、分別実施時における CCA 処理木材使用家屋の発見割合は、ゼロと回答する業者が 26%、2 割未満と回答する業者が 37%で、両者を合わせると 6 割を超えた。2010 年に解体される木造家屋の約半数に CCA 処理木材が使用されているとの試算がある<sup>2)</sup>ことから、分別を実施していても十分な分別が出来ていないケースが多いと考えられた。その原因として、分別実施業者のほぼ全てが目視判別しており（アンケート後のヒアリング調査から、多くの業者が緑色を帯びたものを CCA 処理木材と判断）、CCA 処理木材の着色は僅かで老朽化による汚損などから判別困難となることから、目視判別の精度の低さが問題と考えられた。

CCA 処理木材を分別していない場合の理由としては、図-Ⅱ5.4-1 に示すように、CCA 処理木材の有害性や判別法など、基本的情報を知らなかったとする回答が最も多かった。

続いて、主に解体廃木材由来の燃料向けチップ、ボード向けチップのサンプルを道内で収集し分析した結果、全てのサンプルからヒ素が平均で 3.0mg/kg（最大 7.9mg/kg）検出され、不十分な分別を裏付けるデータが得られた。



さらに建築解体廃木材を主に扱う産廃焼却施設や木くずボイラ施設の炉床残渣や飛灰を道内で収集し、CCA 成分について環境庁告示第 13 号法により分析した結果、ヒ素について土壤環境基準値 0.01mg/l を超えたものが 1 施設（炉床残渣：0.01mg/l、飛灰：0.02mg/l）、6 価クロムについて土壤環境基準値 0.05mg/l を超えたものは 6 施設あり（最大で 6.54mg/l）、土壤改良資材の原料とされた場合は利用先の土壤汚染が懸念される実態であることが分かった。ただし 6 価クロムについては、CCA 以外にも塗料由来などの影響も大きいと考えられる。



図Ⅱ 5.4-1 CCA 処理木材を分別していない場合の理由（複数回答可）

## (2) 希硫酸による CCA 処理木材からの重金属除去条件の検討

硫酸濃度 0.5N、温度 50℃、抽出時間 12 時間とすることにより、有機炭素溶出率を 2%程度に抑制しつつ、CCA 成分をいずれもほぼ 90%以上除去できることが分かった。

## (3) 廃酸から各重金属成分の個別分離回収法の検討

キレート樹脂（DOWEX M4195）により、試薬から調整した模擬廃酸から銅を 98%、続いてイオン交換樹脂（DOWEX 50W×8）によりクロムを 96%選択的に分離回収することに成功したが、実際に CCA 処理木材を処理した廃酸（実サンプル）による実験では、銅は 96%選択的に回収できたものの、クロムの回収率は 41%に留まった。クロムイオンと有機酸イオンの錯体形成が阻害原因ではないかと推測する。

### 5.4.4 結論

廃 CCA 処理木材の分別状況について、分別していない解体業者は約 4 割に上るほか、分別時の見落としもかなり多いと推測され、道内で収集したボイラ燃料、ボード原料向けの解体廃木材チップサンプルの全てからヒ素が平均で 3.0mg/kg（最大 7.9mg/kg）検出されたことから、分別が不十分であることが分かった。建築解体廃木材を主に扱う産廃焼却施設や木くずボイラ 8 施設の焼却灰に対する環境庁告示第 13 号法試験から、ヒ素について環境基準値を超えたものが 1 施設、6 価クロムについては 6 施設が環境基準値を超えており、焼却灰が土壤改良資材へ利用された場合、土壤汚染が懸念される実態であることも分かった。

分別の推進策として、アンケート結果などから、CCA 処理木材の有害性や判別法などの基本的情報について、特に地方の事業者や小規模事業者に対して周知徹底することが重要であり、一定の強制力も必要と考えられた。さらには、精度が高くかつ手間やコストのなるべくかからない判別法の確立も重要と考えられた。

CCA 処理木材の処理とリサイクルシステムについては、チップ化試料に対し、硫酸濃度 0.5N、温度 50℃、抽出時間 12 時間で、有機炭素の溶出を抑制しつつ CCA 成分をいずれもほぼ 90%以上除去でき、木質成分の硫酸糖化によるバイオエタノール等への原料化へ可能性を示すことができた。

廃酸からの各重金属成分の個別分離回収法については、キレート樹脂（DOWEX M4195）とイオン交換樹脂（DOWEX 50W×8）の組み合わせにより、試薬から調整した模擬廃酸から銅とクロムをそれぞれ 100%近く選択的に分離回収することに成功したが、実際に CCA 処理木材を処理した廃酸（実サンプル）による実験では、銅は選択的に回収できたものの、クロムの回収率は 41%に留まった。おそらくクロムイオンと有機酸イオンの錯体形成が阻害原因として推測され、課題として残った。

### 参考文献

- 1) Amelie Janin, Jean-Francois Blais, Guy Mercier, Patrick Drogui : Optimization of a chemical leaching process for decontamination of CCA-treated wood, Journal of Hazardous Materials, Vol.169, pp.136-145, 2009.
- 2) 清野新一, 東智則, 石河周平 : 北海道における木質廃棄物発生量の推定, 第 13 回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp.13-15, 2002.

### Ⅲ部 全国ベースでの地域循環圏のモデルの普及方策の検討

#### 1. 国内外のバイオマス事業化の成功要因の分析

主任研究者 北海道大学大学院工学研究科 教授 古市 徹  
 研究分担者 准教授 石井一英  
 (財)日本産業廃棄物処理振興センター 部長代理 谷川 昇

#### 1.1 研究と目的

リサイクルシステムを構築するにあたっては、(0)目的設定(動機付け)、(1)インプット、(2)アウトプット、(3)変換技術、(4)事業主体、(5)地域特性の視点が重要である。この中でも特に重要なのが、(4)事業主体と(0)目的設定であり、この2つは事業化を検討する際の出発点となる。すなわち、事業主体によって、事業の目的が大きく異なり、またこの目的設定によりシステムの構築の考え方、システムの評価軸や優先順位が多く異なってくる。よって、本章では、事業主体ごとに事業化事例を分析し、成功要因の抽出を試みる。次に、成功要因の抽出のために、表Ⅲ1.1-1のように、事業主体と変換技術(アウトプットと同等と考えてい

表Ⅲ1.1-1 解析対象とした事例

	排出事業者 主体	処理事業者 主体	自治体 主体
飼料化	・(株)小田急ビルサー ビス	・三造有機リサイクル (株)	
堆肥化	・ユニー(株) ・JRタワー(札幌駅総 合開発(株)) ・牛ふん堆肥の流通	・ばんけいリサイクル センター	・北海道ニセコ町 ・北海道三笠市 ・北海道富良野地区
バイオガス化	・(株)アレフ ・町村農場	・バイオエナジー(株)	・北海道中北空知地域 ・北海道鹿追町
複合システム	・生協共同組合コープ こうべ ・霧島酒造(株)	・富山グリーンフード リサイクル(株)	・京都府南丹市 ・石川県珠洲市 ・大分県日田市 ・北海道別海町

る)ごとに、事業化事例を解析した。これらの事例は、成功要因を抽出する上で特徴的な事例であると考えられたからである。また、同様にドイツ、フィンランド、スウェーデン、オーストリアでの特にバイオガスプラントの成功事例を解析した。

表Ⅲ1.1-2 システム分析により明らかにした事業化成功のポイント

	成功要因		
	排出事業者	処理事業者	自治体
目的設定	・関連法律への対応、遵守 ・コスト削減(廃棄物処理費、 購入電力・燃料費) ・企業イメージ、CSR	・ビジネスの契機 ・循環型社会構築への貢献	・廃棄物管理の広域化対応 ・地域特有の問題対応
インプット	・事業主体-排出事業者なので、インプ ットの量と質の管理が容易	・大都市や工業地域での立地によりイン プットの確保が可能	・住民への分別指導の徹底 ・複数の種類のバイオマスの受入
アウトプット	・比較的閉じた系での流通(グループ内利 用)、エネルギー利用(自家利用) ・既存施設、既存管路の利用、 販売計画への反映、ブランド化	・アウトプットの需要確保・拡大の努力を継 続的に行っている	・自施設のみならず、関連施設へのエネル ギー供給が可能 ・堆肥の非農業利用も考慮(公園などの 公共利用)
変換技術	・インプットの量と質の管理がなされてい るので、前処理の手間が軽減 ・既存施設の利用によるコスト削減 ・需要先のニーズを満たす製品の製造技術	・低コスト、低環境負荷型の施設 ・副産物の二次利用による維持管理費低 減化を実現	・住民への協力徹底による前処理手間の 軽減 ・副産物の二次利用も含めた低コスト化 ・再生品の需要を考慮した運転管理
地域特性	・インプットとアウトプット対象が、比較的 近隣に存在(需要と供給のバランスがとれ ている)	・大都市や工業地域での立地	・地域特有の問題対応

#### 1.2 結果と考察

表Ⅲ1.1-2と表Ⅲ1.1-3に、国内および海外のバイオマスの利活用事業の成功要因をまとめた。国内では、事業主体によって、バイオマス利活用の目的設定(動機付け)が異なり、それに応じて事業収支の組み立て方が異なることを明らかにした。例えば、排出事業者が事業主体の場合には、まず廃棄物処理費用の削減がある。またリサイクルに多少の費用がかかっても、それは企業イメージのアップや企業の社会的責任の上で事業を成立させている。一方、海外では、ドイツ、オーストリアではFIT制度を背景にバイオガス化プラントの普及が進んでいる。また焼却処理施設が少ないため、従来よりBiowasteとして、生ごみを分別する仕組みがあることも要因の一つである。また、フィンランドでは既存インフラとして地域熱供給の重油ボイラのバイオマスボイラへの転換が急ピッチで進んでいる。スウェーデンでは、炭素税の導入により化石燃料よりもバイオ燃料を利用した方が安いというインセンティブをうまく活用しながら、下水処理施設の消化槽から発生するバイオガスの自動車燃料に利用することを推進している。

表Ⅲ1.1-3 海外のバイオガス化事業の成功要因

国	参考事例	成功要因
ドイツ	・ユンデ村(Bioenergy village) ・生ごみバイオガスプラント ・牛ふんバイオガスプラント (資源作物、有機廃棄物混合)	・FIT制度による全量買取(発電量全量) ・生ごみの分別(Biowasteとして分別) ・バイオガスの非精製利用(低コスト)と ガス管導入の促進(ガス質は日本ほど 厳しくない)
フィンランド	・バイオマスCHPプラント(地域エネ ルギー供給プラント) ・牛ふんバイオガスプラント (有機廃棄物混合) ・木質ペレット工場	・重油ボイラからバイオマスボイラへの 転換促進 ・地域熱供給インフラの存在 ・バイオガスの自動車燃料利用促進
スウェーデン	・バイオガススタンド	・下水消化槽のバイオガスの自動車燃 料の利用促進 ・炭素税導入によるインセンティブ
オーストリア	・生ごみバイオガスプラント	・自治体からの民間処理委託 ・FIT制度

下水処理施設の消化槽から発生するバイオガスの自動車燃料に利用することを推進している。

## 2. バイオマス利活用の推進戦略のための GIS を用いた土地利用解析

研究分担者 電気通信大学大学院情報システム学研究所 准教授 山本佳世子

### 2.1 研究背景と目的

北海道の土地利用の特徴として、広大な札幌大都市圏に加えて、各地の諸都市を中心とした都市圏が発達し、市街地が分布していることがあげられる。そしてわが国最大の農業地域、牧畜地域に加えて、森林地域の面積も著しく多い。このような北海道の土地利用の特徴は、バイオマスの利活用の大きな可能性があることを指している。特に森林に着目すると、北海道では、2000年に『北の森』づくりビジョン』を策定し、このビジョンに基づき、2002年に「北海道森林づくり条例」と「北海道森林づくり基本計画」を定めた。「北海道森林づくり基本計画」では、木質バイオマスのエネルギー利用量を、2012年度には20万m<sup>3</sup>（副材利用を含む）、2022年度には34万m<sup>3</sup>（副材利用を含む）増加することが記載されている。このことには、北海道の土地利用における森林の重要性が明確に示されているといえる。

北海道は広大な面積をもつがゆえに、市街地と農地や森林等の各種土地利用の競合の問題が、深刻化かつ拡大化することが強く懸念される。しかしながら、北海道を研究対象とした土地利用研究は少なく、前述のように三大都市圏とその周辺地域が主として研究対象とされてきたのがこれまでの関連分野の研究動向の現状である。この理由として、上述のように北海道は広大な面積であるため、土地利用解析を行うこと自体が非常に困難であり、どのような空間スケールの研究対象地域を選定すべきか、またどのような解析方法を用いるべきか、検討の余地が非常に大きいことが考えられる。つまり、研究対象地域を北海道全域とするのか、一部地域に焦点を絞るのかという相違によっても、土地利用の解析方法が異なってしまうため、研究課題の設定や研究方法がとても難しいといえる。以上の背景を踏まえて、本研究は北海道全域を研究対象地域とし、GISを利用したバイオマス利活用を推進するための土地利用解析を行うことを目的とする。

### 2.2 研究方法

本研究では平成23年度－平成24年度間に以下の5段階に分けて研究を行った。

- (1)研究対象地域の基礎的情報の収集
- (2)各種データの収集とGISデータベースの整備
- (3)可視化システムの構築
- (4)土地利用・環境情報の解析
- (5) バイオマスと土地利用との関連性の解析

### 2.3 結果と考察

本研究の主な結果は以下の3点であり、それぞれについて考察を加える。

#### (1)GISを利用した可視化システムの構築

ESRI社のArcGIS Desktop ver10と電子国土Webシステムを利用した可視化システムの2つを構築し、用途に応じて使い分けを行うことを目指した。前者のシステムとして利用したGISアプリケーション・ソフトウェアには多様な専門的な機能があるため、多様な解析評価などを行うシステムとした。後者は、国土地理院の地図を背景地図とし、Web-GISを用いて利用者グループ間で情報を掲載・検索・共有化できるシステムとした。

#### (2)土地利用・環境情報の解析

本研究で構築した可視化システムを利用して、GISデータベースを用いて主に土地利用解析を行った。解

析結果から、おおよその基礎的な土地利用に関する情報を得ることができたとともに、線引き都市計画区域では都市地域を中心とした解析、これ以外の地域では森林が多いため森林バイオマスとの可能性について解析することが必要であることが明らかになった。

### (3) 森林バイオマス資源の利活用の可能性の検討

上記の研究成果を受け、上川郡下川町に焦点を当てて、森林バイオマスの利活用の可能性について検討した。この結果として、(1)下川町の木質系廃材の発生量は年間 12,795 トンあり、堆肥化や燃料として年間 12,725 トン（利用率 99.0%）が再利用されているものの、未利用間伐材や林地残材などの発生量は年間 8,252 トンであり、すべて再利用されていない状況であること、(2)2007 年度の実績では年間 500 万円の経費削減と約 300 トンの CO<sub>2</sub> を削減し、持続的な森林経営を行うことにより、現在までに合計 65 人の雇用規模を生み出していることを明らかにした。

## 2.4 結論

本研究の結論は、以下の 3 点に要約することができる。

- (1) 本研究では土地利用、バイオマスの賦存量を中心とした多様な地域環境に関する情報を収集し、GIS を用いてこれらの情報の統合化を図り、GIS データベースを作成した。また情報の統合化にあたっては電子地図を基盤とすることから、地図上での情報を可視化することができるシステムを 2 種類構築した。さらにこのような電子地図を基盤とした GIS データベースを利用して、土地利用解析を行い、土地利用とバイオマスとの関連性を把握し、バイオマスの利活用の可能性を詳細な地区単位で示唆することができた。
- (2) 北海道全域の土地利用規制と土地利用現況を比較すると、10 の線引き都市計画区域内では土地利用基本計画の五地域の（都市地域、農業地域、森林地域、自然公園地域、自然環境保全地域）うち都市地域を中心として、市街地と農地や森林等の各種土地利用の競合の問題に着目した土地利用規制の評価を行うことが必要であるといえる。また線引き都市計画区域以外の地域では、都市計画区域内外ともに特に森林に着目して、森林バイオマスの可能性について土地利用規制の評価を行うことが必要であるといえる。
- (3) 上記(2)の解析結果をもとに、森林バイオマス資源の利活用の全国的な先進事例である下川町を研究対象として、全国のバイオマス戦略の動向を踏まえ、他の事例との比較を行うことにより特徴を把握した。この結果から、下川町では持続的な森林経営と木質バイオマス資源の安定的な確保を実現するとともに、公共施設への木質バイオマスボイラの導入、農業用ハウスや家庭などへの暖房用のペレット製造施設整備、地域暖房やバイオエタノール実証プラントなどの導入を実現していることが明らかになった。またこれらの取り組みにより、諸経費の削減、CO<sub>2</sub> の削減、雇用の新規創出という二次的な効果も得ていた。

## 参考文献

- 1) Kayoko YAMAMOTO(2012)An Evaluation of Land Use Control in Hokkaido, Japan. World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol.68, 1428-1436
- 2) 張世峰・山本佳世子・和泉潤（2012a）日本の山村地域における森林バイオマス資源の利活用事例に関する調査研究。環境科学会 2012 年年会要旨集，69
- 3) 張世峰・山本佳世子・和泉潤（2012b）日本における森林バイオマス資源の利用事例に関する比較研究－北海道下川町，岡山県真庭市，大分県日田市を事例として－。日本計画行政学会第 35 回全国大会研究報告要旨集，145-148

### 3. バイオマスの再生可能エネルギー源としての利活用のための制度設計と運用

#### ー北海道におけるバイオマスの利活用を中心に

研究分担者 北海学園大学 福士 明

#### 3.1 研究背景と目的

「バイオマス活用推進基本計画」(2011年)では、2020年には、年間約2,600万炭素トンのバイオマスを利用することなどが目標として設定されている。また、「エネルギー基本計画」(2003年10月閣議決定、2010年改定)では、2020年までに、一次エネルギー供給に占める再生可能エネルギー割合の10%到達およびバイオ燃料の全国ガソリンの3%相当以上の導入を目標としている。しかし、わが国において2010年度におけるバイオマスエネルギーの一次エネルギー供給量に占める割合は1.91%となっており、バイオマスのエネルギー源としての利活用は未だ低調な状況にある。

本研究は、国におけるバイオマスの利活用推進政策の下で、北海道においてバイオマスの利活用を進展させるための制度設計とその運用について提言することを目的としている。

#### 3.2 研究方法

研究方法としては、比較法の方法によっている。アメリカ合衆国では、2010年時点において、全体のエネルギー源に占める再生可能エネルギーの割合は、約10.7%、そして再生可能エネルギーのうちバイオマスは、約53%を占めている。ドイツでは、電力固定価格買取制度の導入が成功を収め、2010年時点で、最終エネルギー消費総量に占める再生可能エネルギーの割合は、11.3%、バイオマスは、そのうち72%を占めるに至っている。そこで、比較法の対象としては、アメリカ合衆国とドイツを取り上げた。

#### 3.3 結果と考察

アメリカ合衆国とドイツの制度の調査結果およびそれに対する考察は次のとおりである。

##### (1) アメリカ合衆国の制度

アメリカ合衆国では、連邦と州の政策協働によってバイオマスの利活用が進展している。

##### 1) 連邦の制度

アメリカ合衆国では、2000年には、バイオマス調査開発法が制定されており、2007年には、エネルギー独立・安全保障法が制定され、2022年までに、360億ガロンの再生可能運輸燃料を市場に供給する目標が設定された。そして、この目標を達成するため、合衆国エネルギー省エネルギー効率・再生可能エネルギー局が、「バイオマス複数年プログラム計画」(2011年)を策定し、目標達成のための工程表を定めている。また、合衆国を5つの圏域に分けて、「圏域プログラム」を策定し、連邦と各州の政策連携を図っている。

##### 2) 州の制度—オレゴン州の取組

オレゴン州では、オレゴン州エネルギー局が「オレゴン州・再生可能エネルギー・アクションプラン」(2005年)を策定し、再生可能エネルギー利用に関する目標および工程表を定め、また住民および事業者に対しては、①免税、②資金貸与、および③補助金などの利益付与政策が採用されている。

##### (2) ドイツの制度

ドイツは、2000年に、再生可能エネルギー法を制定し、電力の固定価格買取制度を導入し、その結果、再生可能エネルギーの利用が飛躍的に伸びた。同法は、2004年、2008年、2010年および2011年に改正されている。



### 1) 2011年改正再生可能エネルギー法

本法は、電力供給に占める再生可能エネルギーの割合について、遅くとも、①2020年までに35%、②2030年までに50%、③2040年までに65%、④2050年までに80%とすることを目標として設定している(1条2項)。また、①の目標は、2020年までに最終エネルギー総消費量に占める再生可能エネルギーの割合を18%以上に引き上げる目標にも資することが特に規定されている(1条3項)。

本法は、この目標を達成するために、再生可能エネルギーによる電力の固定価格買取制度を採用している。

### 2) 固定価格買取制度の成果

電力の総消費量に占める再生可能エネルギーの割合は、2000年の6.4%から2011年には、20%となっている。また、バイオガスプラント数は、1999年の850カ所から2010年には5,800カ所に増加し、その発電能力は、約6倍以上に増加した。そして、この制度により、ドイツのフェルトハイム村では、エネルギーの自給自足を達成している。

### (3) 考察

以上の調査結果から次のようなことを導くことができると思われる。

#### 1) 制度の成功要因

アメリカ合衆国では、法律で目標を設定し、それを詳細な「実施計画」(工程表)を策定して各州と連携しながら実施し、州においても、目標設定と詳細な「実施計画」(工程表)を策定・実施していることが成功要因と考えられる。ドイツでも、再生可能エネルギーによる発電量の比率の目標設定を法律で行っており、これを達成するために固定価格買取制度を運用していることが成功の要因となっていると考えられる。

#### 2) 制度設計と運用

わが国では、国が目標を設定し、国段階では、「バイオマス事業化戦略」(2012年9月6日)、北海道では、「北海道省エネルギー・新エネルギー促進行動計画」(2012年)が策定されている。これらを目標達成の実施計画(工程表)として洗練すること、固定価格買取制度を有効活用すること、および事業化の財政支援等が重要な課題である。

## 3.4 まとめ

以上をまとめると次のとおりである。

### 1) 制度設計

わが国では、バイオマス活用推進基本法(2009年)に基づく「バイオマス活用推進基本計画」(2011年)に目標設定をし、それを「バイオマス事業化戦略」等で実施する制度になっているが、これを実施計画(工程表)として明確に法的に位置づけ、同時に国と北海道が政策連携する制度を構築する必要がある。法律で目標設定をすることも考えられる。

### 2) 制度の運用

国および北海道において、目標を設定し、両者の政策連携を基礎にして、これを可能な限り詳細な実施計画(工程表)を策定して運用していくことが必要である。

## 参考文献

- 1) 経済産業省編『エネルギー白書 2012年版』(エネルギーフォーラム、2012年)
- 2) 古市徹・西則雄『バイオマス地域循環』(環境新聞社、2012年)
- 3) 渡辺富久子「ドイツの2012年再生可能エネルギー法」外国の立法 252号(2012年) 80頁

## 4. 地域循環圏の普及方策の提案

### 4.1 地域循環圏の実施モデルの提案とその成立条件

図Ⅲ4-1～図Ⅲ4-5 に、Ⅱ部で本研究が提案した 5 つの地域循環圏の実施モデルを示す。Ⅱ部で実施した各モデルのシステム解析により明らかになったモデル成立のための共通条件を、各図には示してある。

### 4.2 全国ベースでの地域循環圏実施モデルの普及方策

Ⅲ部 3 章で実施した国内・国外のバイオマス活用事例の成功要因の解析から得られた結果を踏まえて、これら地域循環圏の実施モデルを全国ベースで普及させるための方策についても、図Ⅲ4-1～図Ⅲ4-5 に示すと共に、以下にその要約を示す。

1) 高リサイクル率、高エネルギー利用効率を実現するために、生ごみを含む可燃ごみの「焼却処理」に代わる「バイオガス化+RDF化システム」によるさらなる広域化を推進すべきである。

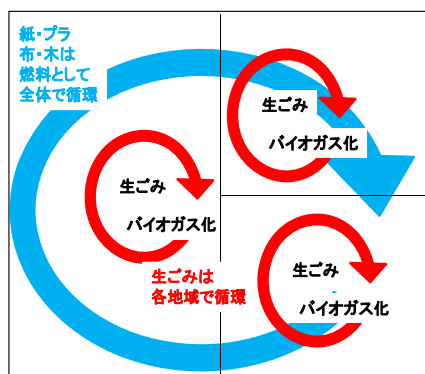
2) 酪農家のふん尿処理に対する金銭的負担の限界を考慮すると、現状の牛ふん尿の集中型 BG 施設の運営は難しい。よって、エネルギー面だけではなく、牛ふん尿の悪臭等の環境面を考慮した「適正処理の側面」と良質肥料の生産の「資源の側面」の両側面を考慮した補助制度に転換を図るべきである。また、事業性向上のための有機性廃棄物受入を促進するために、産廃処理業の許可等の規制の緩和、および、液肥の耕種農家での利用促進策が必要である。

3) 都市域での生ごみのリサイクル率および食品廃棄物の再生利用率をさらに向上させるためには、リサイクル率目標値の引き上げや義務化が必要である。その際、中小規模の飲食店から排出される堆肥や飼料に向かない食品廃棄物のリサイクルの受け皿としてのバイオガス化プラント導入促進を図るべきである。

4) このような既存消化槽の余裕分を、生ごみや尿汚泥（浄化槽汚泥も含む）との混合発酵のために有効利用することを積極的に推進すべきである。

5) 野焼き禁止以降鋤込み処理されていた稲わらの適正処理と資源化のために、本研究では稲わらペレットが、固形燃料として製造可能であり、また木質ペレットボイラ等で燃焼可能であることを示した。しかし、現状では化石燃料との発熱量ベースでの価格差から普及が困難である。稲わらペレットの利用拡大のために、灯油・重油との価格の差額を補助（熱版 FIT）政策を検討すべきである。

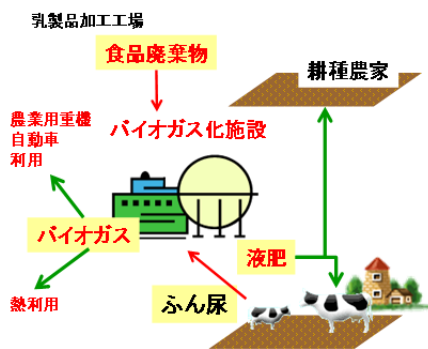
#### 1) 広域的生ごみ処理におけるバイオガス化システム(BGS)による地域循環圏モデル (生ごみは各地域で循環、紙・プラ・布・木は全体で循環)



- 本研究の成果  
高リサイクル率を達成する経済的に実施可能なバイオガス化とRDF化による地域循環圏の具体例の提示
- モデル成立のための共通条件  
・中小自治体の組み合わせ  
・生ごみの循環とそれ以外の可燃ごみ（紙・プラ・布・木）の循環を同時に考慮
- 普及方策  
・焼却施設のみには頼らないさらなる広域連携の推進と施設補助の多様化  
・RDFを利用する地域エネルギー供給プラントなどのインフラ整備と既存民間施設との積極的連携  
・事務組合などの運営方式の再考（ごみ種によって管轄する自治体の組み合わせが異なる場合がある）

図Ⅲ4-1 広域的生ごみ処理における BGS 地域循環

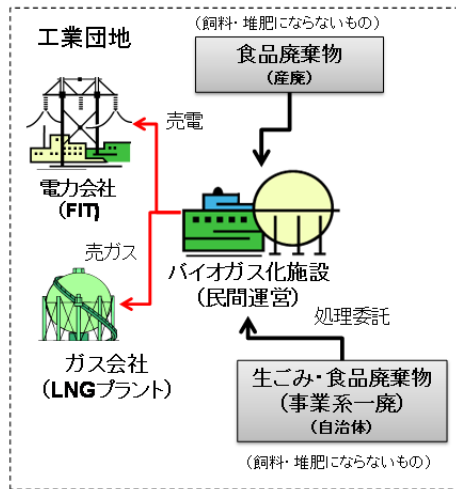
#### 2) 家畜ふん尿を中心とした混合BGSによる地域循環圏モデル



- 本研究の成果  
・集中型BGSでの混合発酵による事業可能な地域循環圏の具体例の提示
- モデル成立のための共通条件  
・売エネルギー+液肥販売+産廃廃棄物受入による収入の確保  
・液肥散布可能な耕種農家の存在  
・乳製品加工工場など、農家に受け入れられる産廃廃棄物の受入可能地域
- 普及方策  
・ふん尿の適正処理(悪臭改善、地下水汚染改善)と液肥利用による窒素とリンの適正循環に価値をおいた補助制度の見直し  
・プラント規格の統一化などコストダウン  
・酪農地域での送電網の拡充あるいはBG利用可能な農業用重機の普及

図Ⅲ4-2 家畜ふん尿中心混合 BGS 地域循環

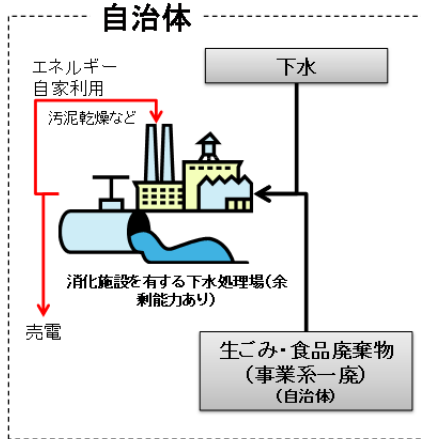
### 3) 工業団地とエネルギー連携した混合BGSによる地域循環圏モデル



- 本研究の成果
  - ・都市地域の飼料・堆肥にならない家庭系生ごみと食品廃棄物(事業系一廃、産廃)のバイオガス化による地域循環圏の具体例の提示
  - ・特に、事業成立する施設規模決定手法の提示
- モデル成立のための共通条件
  - ・事業系一廃としての食品廃棄物及び家庭系生ごみの量の確保(民間処理委託)
  - ・工業団地での、施設間のエネルギー連携(BGの熱利用との連携が効率的)
- 普及方策
  - ・一般廃棄物の民間処理委託の推進
  - ・リサイクル率向上策としての家庭系生ごみ分別の強化・義務化
  - ・食品廃棄物の再生利用率向上のための食品卸売業および外食産業への分別強化
  - ・一廃および産廃の混合処理に関する規制緩和

図Ⅲ4-3 工業団地エネルギー連携混合 BGS 地域循環圏

### 4) 下水処理施設と連携した混合BGSによる地域循環圏モデル



- 本研究の成果
  - ・既存消化槽の余裕能力を活用したバイオガス化による地域循環圏モデルの具体的例示
- モデル成立のための共通条件
  - ・余剰能力のある消化槽を有する自治体
- 普及方策
  - ・消化槽を有する下水施設の生ごみとの混合発酵のニーズが低いことから、具体的実施事例の情報発信
  - ・リサイクル率向上策としての家庭系生ごみ分別の強化・義務化
  - ・食品廃棄物の再生利用率向上のための食品卸売業および外食産業への分別強化
  - ・下水道部局と廃棄物部局の連携が必要

図Ⅲ4-4 下水処理施設混合 BGS 地域循環圏

### 5) 未利用バイオマスである稲わらペレットの利活用による地域循環圏モデル



- 本研究の成果
  - ・野焼き禁止以降、鋤込みされていた稲わらの圃場からの搬出(適正処理)と有効利用のための、稲わらペレット化による地域循環圏の具体例の提示
  - ・稲わらペレット製造条件および燃焼特性の明確化
- モデル成立のための共通条件
  - ・全国各地での米作地域で、未利用(鋤込みされている)稲わらの発生地域
  - ・公共施設やビニールハウスなど熱利用が可能である施設を有する地域
- 課題
  - ・稲わら収集・運搬のための重機の整備
  - ・稲わら収集・運搬のコスト削減
  - ・「稲わらペレット及び木質ペレット」と「重油・灯油」の熱量当たりの売価差額の補填の仕組み

図Ⅲ4-5 稲わらペレット熱利用による地域循環圏

## IV部 結論

本研究では、バイオマス利活用を基軸とした、以下の5つの地域循環圏の具体的実施モデルを、北海道の地域特性とバイオマスの種類に応じたシステム解析により提案し、各モデルの事業成立ための共通条件および課題を明らかにした。

### ①広域のごみ処理におけるバイオガス化システム(BGS)による地域循環圏モデル

北海道宗谷地域の生ごみと燃料ごみの複数の資源に着眼し、各資源の物質特性と地域特性に基づいた経済的に実現可能な、かつリサイクル率と最終処分量を大幅に改善する地域循環圏モデルを提示した。

### ②家畜ふん尿を中心とした混合 BGS による地域循環圏モデル

牛ふん集中型 BGS の事業採算成立のための要件を明らかにし、現地調査および室内実験を踏まえて、国内ではまだ実施事例は少ない牛ふんと産業廃棄物の混合バイオガス化による実行可能な地域循環圏モデルを提示した。

### ③工業団地とエネルギー連携した混合 BGS による地域循環圏モデル

都市域の家庭系生ごみと食品廃棄物（事業系一廃）の収集量を推測モデルおよびその収集量を踏まえた事業採算成立する生ごみ BG プラントの規模を決定する手法を開発することにより、工業団地内でのエネルギー連携による都市域生ごみ等の BG による実行可能な地域循環圏モデルを提示した。

### ④下水処理施設と連携した混合 BGS による地域循環圏モデル

既存消化槽の余裕能力を利用した生ごみと下水汚泥の混合 BGS の事例調査により、生ごみ埋立回避による最終処分量および地球温暖化ガス排出量の大幅な削減を図れることを示した。

### ⑤未利用バイオマスである稲わらペレットの利活用による地域循環圏モデル

これまで、鋤込みされておりその適正処理と有効利用が望まれていた稲わらについて、本研究で初めて稲わらペレットの燃料特性および燃焼特性を、実証実験を踏まえて明らかにし、稲わらペレットの燃料利用が、技術的・社会的に可能であることを示した。

そして、明確化された共通条件や課題、および国外の先進事例を踏まえて、これら地域循環圏実施モデルを全国ベースでの普及方策を提示した。これらより、本研究が提示する5つの地域循環圏モデルは実行可能であり、日本が目指す3つの社会の統合による持続可能な社会形成に大きく貢献することを示した。

## 論文発表・学会発表

1. 五島典英、古市徹、石井一英、谷川昇；動脈系・静脈系連携によるエネルギー循環のための廃棄物バイオガス化システムの提案－石狩湾新港地域でのバイオガス直接利用システムの検討－，土木学会環境システム研究論文集， Vol. 38, pp. 389-400, 2010
2. Kazuei Ishii, Toru Furuichi, Norihide Goshima and Noboru Tanikawa ; Proposal of Waste Biomass Biogasification for an Energy Cycle by Partnership between Arterial and Venous Industries: Utilization System of Upgraded Biogas in Ishikari Bay New Port Area in Japan, Proceedings of The 6th International Conference on Biomass for Energy, CD-ROM, 2010
3. Kazuei Ishii, Toru Furuichi, Syo Watanabe: Development of an Estimation Method for the Collectable Bio-waste as Inputs of Regional Biogasification Systems, The Proceedings of 26th International Conference on Solid Waste Technology and Management, CD-ROM, 2011
4. 矢萩健太、古市徹、石井一英、金相烈、谷川昇；南幌町稲わら熱利用システムの事業性評価のための影響要因の検討，土木学会第 38 回環境システム研究論文発表会講演集, pp. 339-344, 2010
5. 田中警悟、古市徹、石井一英、谷川昇；生ごみと下水・し尿汚泥との混合処理によるバイオガス化システム－アンケート調査による道内の下水・し尿処理場における普及可能性の検討－，土木学会第 38 回環境システム研究論文発表会講演集, pp. 345-352, 2010
6. 谷川昇、古市徹、石井一英、近藤恭平：海上輸送による離島の生ごみ広域処理システムの検討，第 21 回廃棄物資源循環学会研究発表会, CD-ROM, 2010
7. 荒木英美、古市徹、谷川昇、石井一英：アンケート調査による食品廃棄物のバイオガス化処理実態の解析，第 21 回廃棄物資源循環学会研究発表会, CD-ROM, 2010
8. 石井一英、古市徹、谷川昇、橋本翔伍：木質系バイオマスエネルギー利用実態のアンケート調査による分析，第 21 回廃棄物資源循環学会研究発表会, CD-ROM, 2010
9. 齊藤修:地域循環圏形成と生態系サービス管理をめぐるインターリンクージュについての基礎研究，第 38 回環境システム研究論文発表会講演集, pp.265-372, 2010
10. D. T. Tu , O. Saito, Y. Yamamoto, A. Tokai: Scenarios For Sustainable Biomass Use in The Mekong Delta, Vietnam, *Journal of Sustainable Energy and Environment*, Vol. 1, pp.137-148, 2010
11. 齊藤修: リスクトレードオフ分析の概念枠組みと分析方法 1：リスクトレードオフ分析の概念枠組み，日本リスク研究学会誌， Vol.20, No.2, pp.97-106, 2010
12. 齊藤修: リスクトレードオフ分析の概念枠組みと分析方法 2：リスクトレードオフ分析の方法論，日本リスク研究学会誌 Vol.20, No.2, pp.107-114, 2010
13. 本間隆之、古市徹、石井一英：林地残材熱利用システムの事業規模の検討－足寄町を対象とした熱需要構造調査に基づく考察－，土木学会論文集 G, Vol. 67, No. 6, II415-426, 2011
14. 渡邊翔、古市徹、石井一英：石狩湾新港地域バイオガス化システムの事業化に向けた検討－2 項ロジックモデルを用いた食品廃棄物収集量推定手法の提案，土木学会論文集 G, Vol. 67, No. 6, II501-512, 2011
15. 古市徹、石井一英：バイオマスの利活用を基軸とした地域循環圏のモデル化と普及方策－EU の再生エネルギー推進戦略を背景として－，都市清掃, Vol. 64, No. 304, pp.571-577, 2011
16. Kazuei Ishii, Toru Furuichi and Syo Watanabe : Development of an estimation method for the collectable bio-wastes as inputs of regional biogasification systems. The Proceedings of 26th International Conference on Solid Waste Technology and Management, CD-ROM, 2011
17. Kazuei Ishii, Toru Furuichi and Takayuki Homma : Estimation of the Economic Capacity of the Pellet Plant For Heat Recovery in Ashoro Area in Japan, The Proceedings of Bioenergy 2011, USB, 2011
18. S.Mori, T.Furuichi and K. Ishii : Development of Utilization Systems for Forest Residue in Hokkaido according to Japanese Strategy for Sustainable Society, Oral presentation was held in Ravage of the Planet 2011  
Paper will be published in the Proceedings of the Sustainable City 2012 Conference
19. 日向貴久、木村義彰、西村直樹、竹中秀行、石井一英、古市徹：バイオガスプラントにおける副資材の投入体系に関する研究（第 1 報），第 22 回廃棄物資源循環学会研究発表会, CD-ROM, 2011
20. 阿賀裕英、谷川昇、石井一英、古市徹：北海道における CCA 処理廃木材の分別状況，第 22 回廃棄物資源循環学会研究発表会, CD-ROM, 2011
21. 武部玲央、古市徹、石井一英：離島地域を組み入れた生ごみ地域循環システムの検討，第 39 回環境システム研究論文発表会講演集, pp. 335-340, 2011
22. 森俊介、古市徹、石井一英、金相烈：北海道の林地残材利活用システムの持続可能社会に向けた検討，第 39 回環境システム研究論文発表会講演集, pp. 341-348, 2011
23. 諏訪部力、古市徹、金相烈、石井一英：石狩湾新港地域における食品廃棄物のメタン発酵特性の考察，第 39 回環境システム研究論文発表会講演集, pp. 371-376, 2011
24. Kazuei Ishii, Toru Furuichi and Yukihiko Oishi : Experimental Study on the Proper Loading Rate for



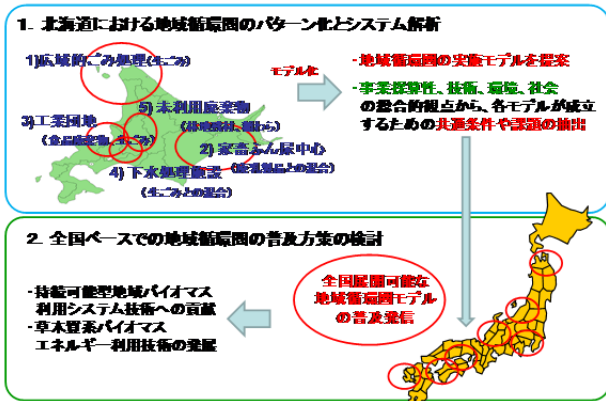
- Cofermentation in a Cow-manure Biogas Plant, The Proceedings of 27th International Conference on Solid Waste Technology and Management, CD-ROM, 2012
25. 齊藤修・橋本禪・高橋俊守: 東日本大震災による里山・里海の生態系サービスへの影響評価と将来復興シナリオ, 土木学会第 39 回環境システム研究論文発表会講演集, pp.203-208, 2011.
  26. Osamu Saito and Hideaki Shibata: Satoyama and satoumi, and ecosystem services: A conceptual framework, 2012. In Anantha Kumar Duraiappah, Koji Nakamura, Kazuhiko Takeuchi, Masataka Watanabe, Maiko Nishi (ed.) Satoyama satoumi Ecosystems and Human Well-being: Socio-ecological Production Landscapes of Japan, 500pp. United Nations Press, 2012.
  27. Kazuei Ishii, Toru Furuichi and Yu Tomokawa: Study on Influence of Heating Factors for Making Rice Straw Pellets at An Actual Plant In Japan, Asia Pacific Clean Energy, USB, 2012
  28. Kazuei Ishii, Toru Furuichi and Keigo Tanaka: Strategy for Growing the Availability of Biomass for Energy in Hokkaido, Asia Pacific Clean Energy, USB, 2012
  29. 友川 悠・古市 徹・石井 一英・金 相烈. 翁 御棋: 南幌町の稲わらペレットの発熱量に影響を及ぼす因子の実プラントによる検討, 第 40 回環境システム研究論文発表会講演集, pp.81-88, 2012
  30. 佐竹 佑太・古市 徹・翁 御棋・石井 一英・金 相烈: 焼却に頼らない廃棄物処理による最終処分量と温室効果ガス排出量の低減化の検討 -北広島市ごみの分別回収の向上による資源化の効果-, 第 40 回環境システム研究論文発表会講演集, pp.89-94, 2012
  31. 眞部 薫・古市 徹・金 相烈・石井 一英: 廃棄物系バイオマスの炭水化物、脂質、タンパク質の混合比に注目したメタン発酵特性の実験的考察, 第 40 回環境システム研究論文発表会講演集, pp.95-100, 2012
  32. 矢萩 健太・古市 徹・石井 一英・翁 御棋: 地域特性と事業採算性を考慮した集中型家畜糞尿バイオガス化施設のシステム化の検討, 第 40 回環境システム研究論文発表会講演集, pp.153-162, 2012
  33. 田中 慧悟・古市 徹・石井 一英・翁 御棋: 北海道におけるバイオエネルギーの利用可能量の推計とその推進策の提案 -牛ふん尿と林地残材に着目して-, 第 40 回環境システム研究論文発表会講演集, pp.163-172, 2012
  33. 大石 千博・古市 徹・石井 一英・金 相烈: 牛ふん尿バイオガス化プラントへの食品廃棄物投入による混合発酵の安定条件の実験的検討, 第 40 回環境システム研究論文発表会講演集, pp.173-180, 2012
  34. 坂本 嵩延・古市 徹・石井 一英・翁 御棋・金 相烈: 自治体生ごみバイオガス化施設からの熱供給と自動車燃料利用のシステム解析 -将来の法制度を想定した事業採算性評価-, 第 40 回環境システム研究論文発表会講演集, pp.233-242, 2012
  35. Kazuei Ishii, Toru Furuichi, SangYul Kim and Yu-Chi Weng: A New Concept of Final Disposal Systems for MSW Management Considering Storage of Recyclable Materials and Disaster Waste, The Proceedings of 7th Asian-Pacific Landfill Symposium, CD-ROM, 2012
  36. Yu-Chi Weng, Toru Furuichi, kazuei Ishii, Sang-Yul Kim, Yuta Satake: Study of Reduction of Final Disposal Amount and GHG Emission by Waste Management Strategy for the Municipalities without Incinerators -Effectiveness of Recycling by Improved Separation of Kitchen Waste, Papers, and Plastics in Kitahiroshima City-, The Proceedings of 7th Asian-Pacific Landfill Symposium, CD-ROM, 2012
  37. Kazuei Ishii, Toru Furuichi, Shintaro Watanabe and Yu Tomokawa: A Study of Influencing Factors on Quality of Rice Straw Pellets, The Proceedings of 28th International Conference on Solid Waste Technology and Management, CD-ROM, 2013
  38. 森俊介, 古市徹, 石井一英, 翁御棋, 金相烈: 原発事故被災農地起因の汚染稲わらエネルギー化のための固形燃料化・保管方策の提案, 土木学会環境システム委員会第 41 会研究発表会全文審査部門論文 (投稿中)
  39. 武部玲央, 古市徹, 石井一英: バイオガス化とごみ燃料化による地域循環圏シナリオのシステム解析 -宗谷地域を対象としたケーススタディ-, 土木学会環境システム委員会第 41 会研究発表会全文審査部門論文 (投稿中)

#### 著書

1. 古市徹監修、有機廃棄物資源循環システム研究会編著：循環型社会の廃棄物系バイオマスー利活用事業成功のためのシステム化ー, 環境新聞社, 2010
2. 古市徹、西則雄編著：バイオマス地域循環ー再生可能エネルギーのあるべき姿ー, 環境新聞社, 2012

# K2410 バイオマスの利活用を基軸とした地域循環圏のモデル化と普及方策に関する研究

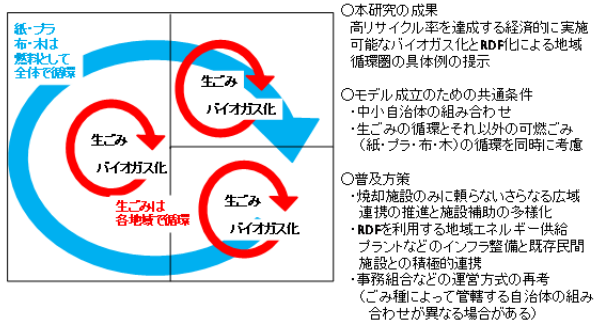
## A. 本研究のコンセプト



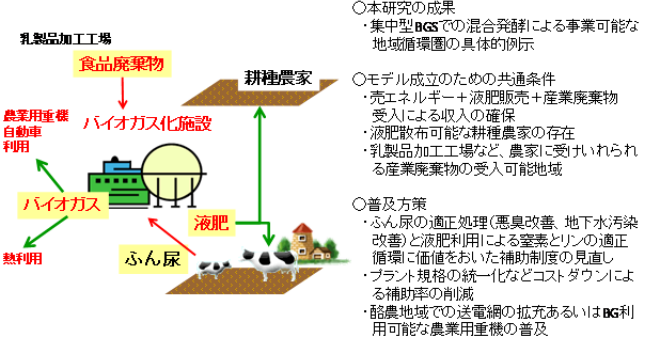
1. 本研究では、バイオマス利活用を基軸とした、1)~5)の5つの地域循環圏の具体的実施モデルを、北海道の地域特性とバイオマスの種類に応じたシステム解析により提案し、各モデルの事業成立のための共通条件および課題を明らかにした。
2. 明確化された共通条件や課題、および国外の先進事例を踏まえて、これら地域循環圏実施モデルを全国ベースでの普及方策を提示した。これらより、本研究が提示する5つの地域循環圏モデルは実行可能であり、日本が目指す3つの社会の統合による持続可能な社会形成に大きく貢献することを示した。

## B. 本研究で提案する地域循環圏の具体的実施モデルと各モデル成立のための共通条件および全国ベースでの普及方策

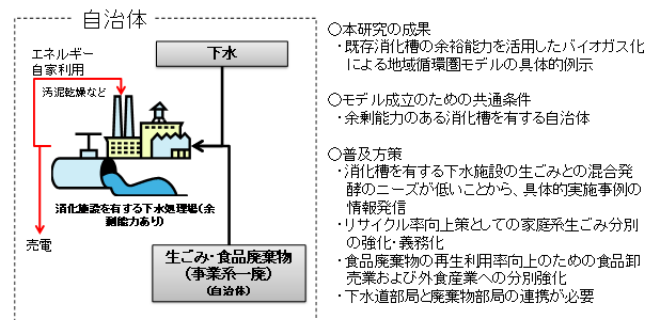
### 1) 広域のごみ処理におけるバイオガス化システム(BGS)による地域循環圏モデル (生ごみは各地域で循環、紙・プラ・布・木は全体で循環)



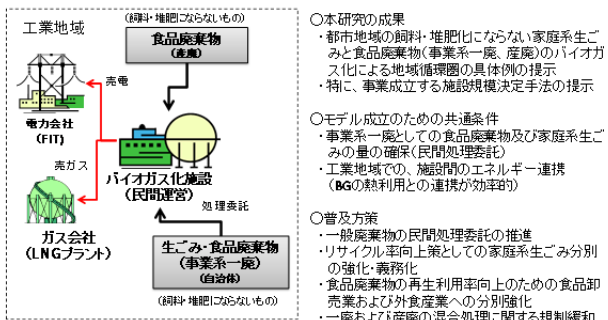
### 2) 家畜ふん尿を中心とした混合BGSによる地域循環圏モデル



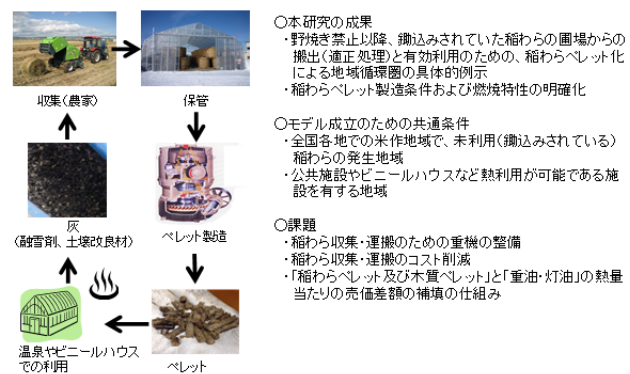
### 4) 下水処理施設と連携した混合BGSによる地域循環圏モデル



### 3) 工業団地とエネルギー連携した混合BGSによる地域循環圏モデル



### 5) 未利用バイオマスである稲わらペレットの利活用による地域循環圏モデル



## 英文概要

Research title:

Systems Analysis for Biomass Utilization Based on Local Sound Material-Cycle Society Blocks

Representative researcher:

Toru Furuichi (Hokkaido University)

Members:

Norio Nishi (Hokkaido University), Kazuei Ishii (Hokkaido University), SangYul Kim (Hokkaido University), Yu-Chi Weng (Hokkaido University), Noboru Tanikawa (Japan Industrial Waste Technology Center), Osamu Saito (United Niteion University), Kayoko Yamamoto (The University of Electro-Communications), Akira Fukushi (Hokkai-Gakuen University), Takahisa Hinata (Hokkaido Research Organization, Central Agricultural Experiment Station), Hiroyuki Mitsuhashi (Hokkaido Research Organization, Industrial Research Institute), Hirohide Aga (Hokkaido Research Organization, Institute of Environmental Science)

Abstracts:

This study clarified conditions required for biomass utilization based on local sound material-cycle society blocks in Hokkaido by systems analysis for the following five biomass utilization models.

- 1) Biogasification system of kitchen and food wastes in regional waste management
- 2) Biogasification system of cow liquid manure and food wastes in dairy regions
- 3) Biogasification system with energy collaboration in an industrial complex
- 4) Co-Digestion of sewage sludge and kitchen waste in sewage treatment plants
- 5) Unused biomass such as rice straw and forest residue

Based on the above clarified conditions and successful factors obtained from case studies in Japan, Korea, Taiwan and European countries, we proposed five technically- and economically-feasible models for creation of local sound material-cycle society blocks based on biomass utilization. In addition, we presented strategies required for application of our models to whole of Japan. Our models can contribute creation of the sustainable society including sound material-cycle society, low carbon society and natural symbiosis society.

Keywords:

Local sound material-cycle society blocks, biomass utilization, systems analysis, case study, sustainable society