

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-

五島 典英¹・古市 徹²・石井 一英³・谷川 昇⁴

¹非会員 北海道大学修士 大学院工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)
E-mail: goshima@kanri-er.eng.hokudai.ac.jp

²会員 北海道大学教授 大学院工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)
E-mail: t-furu@eng.hokudai.ac.jp

³会員 北海道大学助教 大学院工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)
E-mail: k-ishii@eng.hokudai.ac.jp

⁴非会員 北海道大学准教授 大学院工学院 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)
E-mail: tanikawa@eng.hokudai.ac.jp

本研究では、食品工場などの動脈系施設が存在する地域に静脈系であるバイオガス化施設を立地し、生成されたエネルギーを動脈系で利用する動脈系・静脈系の連携によるエネルギー循環のためのバイオガス化システムの構築をめざし、石狩湾新港地域を対象として、事業採算性とその影響要因を明らかにした。特に、検討例が少ないバイオガスを発電せずに精製後直接利用した場合の売ガス価格の検討を行った。バイオガス直接利用を前提とした事業採算性への影響因子として、「精製バイオガスの供給先までの距離」、「売ガス価格」、「熱量調整・付臭プロセスの有無」があげられ、これらはバイオガス化施設の立地に大きく依存することを示した。また、対象地域の食品廃棄物処理価格を考慮した場合の、事業採算性がとれる売ガス価格を明らかにすることができた。

Key Words : waste biomass, utilization of upgraded biogas, cost-benefit analysis,
Ishikari bay new port area

1. 研究背景

我が国では21世紀環境立国戦略が閣議決定され、3つの社会（循環型社会・低炭素社会・自然共生社会）の構築を目指して様々な取り組みが行われている。特に、循環型社会と低炭素社会の構築の取り組みの一つとして廃棄物系バイオマスのエネルギー利用が進められている。本研究では廃棄物系バイオマスのエネルギー利用の中でも特に食品廃棄物や下水汚泥など多様な有機系廃棄物からエネルギー回収できるバイオガス化に着目した。しかしながら、バイオガス化は、インプットの確保やアウトプットの需要（買い取り価格）の面から採算を確保することが困難であることが多く、必ずしも普及は進んでいない。そこで、インプット確保のため、食品工場などの動脈系施設が多数存在する地域に静脈系であるバイオガ

ス化施設を立地し、生成されたエネルギーを動脈系で使用する、「動脈系・静脈系によるエネルギー循環のためのバイオガス化システム」の提案を、事業採算性の検討を通じて行うこととした。

このような動脈系・静脈系エネルギー連携はエコタウン事業で一部見られるが、バイオガス化施設を中心とした事例は少ない。富山市エコタウンのバイオガス化施設において、木質廃棄物リサイクル施設へ燃料として売ガスしている例がある程度である¹⁾。そこで本研究では、図-1に示す食品工場や下水処理場、産業廃棄物焼却施設（以下、産廃焼却施設）が立地する石狩湾新港地域を対象の場として、食品廃棄物と下水汚泥を受け入れてバイオガス化し、得られたエネルギーの一部を売電あるいは売ガスするシステムを検討することにした。

バイオガスの利用については、経済産業省による「エネルギー供給構造高度化法」や「再生可能エネルギーの全量買取に関する検討」などの制度整備が進むことから、バイオガスの電気または精製ガスとしての利用が今後一層進むものと思われる。

バイオガスの発電による売電は国内でも多くの事例がある。一方、バイオガスの直接利用は欧米ではタクシーやバスでの利用による事業化が進んでいるものの、日本においてははまだ検討段階で、長岡市の下水処理場の消化槽から発生するバイオガスの直接利用²⁾や東京ガスと大阪ガスによる導管投入の実証試験³⁾が行われている段階である。そのため、バイオガス事業の採算性についての研究は、発電利用に関しては数多く行われている⁴⁾が、バイオガスの直接利用に関する研究は少ない。バイオガスの直接利用方法には、2章で示すようにいくつかのオプションがあり、廃棄物系バイオマスのエネルギー利用を普及させるためにも、これらを考慮した事業採算性の検討を行う必要がある。

以上より本研究の目的は、①石狩湾新港地域を対象に図-1に示すような動脈系・静脈系連携したバイオガス化システムを構築し、事業採算性の評価を行うことにより、バイオガス利用方法による事業採算性の違いや特徴

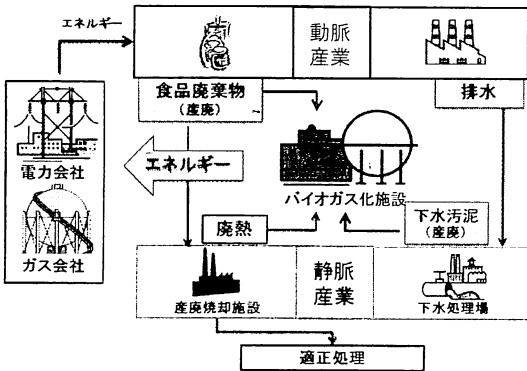


図-1 想定する動脈系・静脈系連携によるエネルギー循環のための廃棄物バイオガス化システム

表-1 バイオガス直接利用システムの概要

供給先	LNG受入基地	都市ガス導管	天然ガスステーション
供給形態	都市ガス原料	都市ガス	CNG燃料
ガス品質	CO ₂ < 5%	CO ₂ < 5%	CO ₂ < 5%
バイオガスの精製等	精製のみ 熱量>36MJ/Nm ³	精製+熱調・付臭 熱量>46MJ/Nm ³	精製+熱調・付臭+圧縮充填 熱量>46MJ/Nm ³
メリット	熱調・付臭費の削減	比較的立地に制約がない	立地に制約がない
デメリット	立地に制約がある。	厳しい品質基準を満たすために精製、熱調・付臭費がかかる。	高圧ガス取扱の専門家や申請が必要。
制度上の規制	ガス事業法 ガス会社の基準値	ガス事業法 ガス会社の基準値	ガス事業法 高圧ガス取締法

を明らかにするとともに、バイオガス利用を前提とした事業採算性に及ぼす影響要因を抽出する。②また、事業採算を満足する廃棄物処理料金と売ガス料金の設定に關しての知見を得ることとした。

2. 本研究で対象とするバイオガス直接利用システム

本研究で対象とするバイオガス直接利用システムは下記の①～③を想定する。表-1にその概要とメリット、デメリットおよび関連する法規制についてまとめた。

- ①バイオガス化施設で脱硫・脱湿・CO₂回収（以下、精製とする）されたガスをLNG（Liquid Natural Gas）受入基地へ輸送し、LNG受入基地において熱量調整・付臭（以下、熱調・付臭）後、既存の都市ガス導管で供給する。
- ②バイオガス化施設で都市ガスと同品質にまで精製及び熱調・付臭されたガスを、近くの都市ガス導管に供給する。
- ③バイオガス化施設で都市ガスと同品質にまで精製及び熱調・付臭をされたガスを、併設した天然ガスステーションにてCNG（Compressed Natural Gas）燃料として車両に供給する。

3. バイオガス直接利用を考慮したバイオガス化システムのシナリオ構築

(1) 前提条件

a) 対象地域

本研究では、食品工場や下水処理場などが立地する石狩湾新港地域を対象とする。

b) 対象バイオマス

本対象地域の原料となる廃棄物系バイオマスは、産業廃棄物である食品廃棄物（食品加工残さ）と下水処理場から排出される脱水汚泥を対象とし、過去の検討例⁹⁾と下水処理施設へのヒアリング調査より、日平均で

食品廃棄物 19.4t/日（含水率 77.8%）

脱水汚泥 6.5t/日（含水率 81.7%）

を用いることとした。

c) 連携可能な関連施設

対象地域には連携可能な施設として、下水処理場、産業廃焼却施設が存在する。また、2013年にはLNG受入基地が稼働予定である。それぞれの施設の概要と本研究で検討する連携内容を表-2に示す。

なお、産廃焼却施設の廃熱を利用した場合には、施設で必要な熱量の不足分をバイオガスボイラーにて補うものとする。また、排水処理は下水道放流とし、固形残さは脱水・乾燥処理して減量化したのち産廃焼却施設にて焼却処理を行うこととした。

d) その他の条件

事業主体は民間主体とした。また、補助金は建設費の1/2とした。立地場所は廃熱の利用を考慮して、産廃焼却施設の敷地内を基本とした。バイオガス供給先までの必要なパイプラインの距離については、LNG受入基地が2000m、都市ガス導管が950m、ステーションが100mとした。

(2) シナリオ構築

図-2に示すようにバイオガスの利用方法の違いに注目して、5つのシナリオの設定を行った。

シナリオ0（発電）

：バイオガスをガスエンジンにより全量発電し、施設で利用した余剰分を売電する。熱も同時に回収し、可能な限り施設内で利用を図る。

シナリオ1（LNG）

：バイオガスを精製し、都市ガス原料としてLNG受入基地に供給する。

シナリオ1'（LNG'）

：上記のシナリオ1について、立地場所を産廃焼却施設内からLNG受入基地敷地内へと変更する。この変更で、必要なパイプラインが2000mから100mと短縮される。ただし、焼却施設との距離が長くなるため、廃熱の供給は行わない。そのため、発生したバイオガスの施設内での熱利用分が増えるため、売ガス量は減少する。

シナリオ2（導管）

：都市ガスと同品質まで精製及び熱調・付臭されたバイオガスを導管に供給する。

シナリオ3（ステーション）

：都市ガスと同品質まで精製及び熱調・付臭されたバイオガスを、併設された天然ガスステーションで、CNG車の燃料として販売する。

なお、バイオガス中に含まれるCO₂の量は混合する都市ガス量に比べて非常に微量なため、混合時の影響はないものとする。また、バイオガス直接利用シナリオ1、1'、2および3は施設に必要な電力は外部から購入するものとする。

(3) 事業採算性の評価方法

本研究では図-2に示したバイオガス化システムシナリオのバイオガス化施設の範囲において、バイオガス化事業の事業採算性を評価する。すなわち、食品廃棄物や下水汚泥は持ち込みを想定し輸送費は含まない。また、精製ガス供給のためのパイプラインは考慮したが、発電された電力の近隣の系統までの送電線、乾燥汚泥の焼却施設までの輸送費、廃熱利用の際のパイプライン設置費などは考慮しなかった。そして、設備投資回収計画表を作成し設備投資費の回収年数から評価を行った。なお「税引き前利益」、「法人税等」、「税引き後利益」「毎年キャッシュフロー」「回収率」の計算は文献『の方法を用いた。

a) 物質・エネルギー収支

図-3の物質フロー概念図での「前処理装置」、「受入槽」、「発酵槽」、「排水処理設備」及び「脱水・乾燥機」における各段階での含水率や固形物量⁹⁾から表-3の値を用いて物質フローを算出した。また、エネルギー収支については、図-2で示したシナリオ毎に、図-4のエネルギー収支概念図に基づき、表-4の値と式を用いて算出を行った。

表-2 関連施設の概要

種類	下水処理場	産廃焼却施設	LNG受入基地
主な設備	下水処理設備（活性汚泥法）	キルン炉	熱調・付臭設備 貯蔵タンク他
能力	14000 m ³ /日	60 t/日×2	180,000 kL
連携内容	排出される脱水汚泥の処理	焼却時の廃熱の有効利用	精製バイオガスの受入

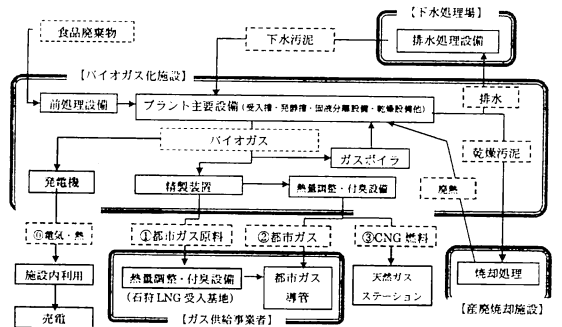


図-2 バイオガス化システムシナリオ

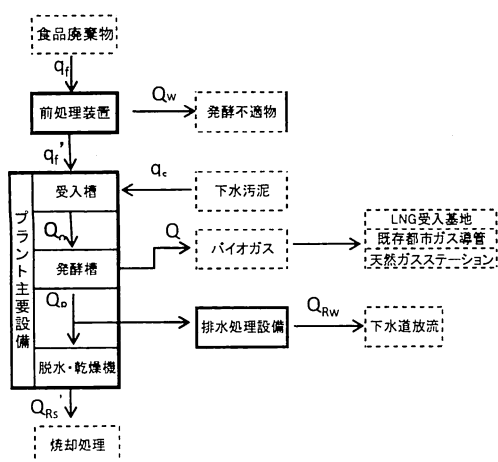


図-3 物質フロー概念図

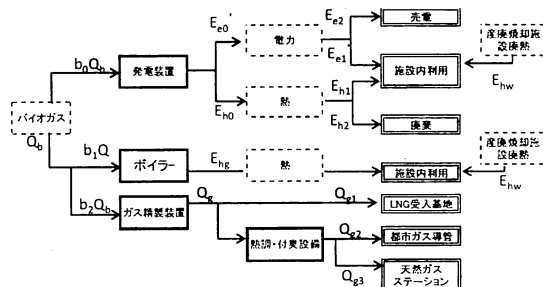


図-4 エネルギー収支概念図

表-3 物質フローデータと計算式

パラメーター	記号	単位	式 または 値	参考文献
食品廃棄物量	q_f	t/年	7,081	6)
含水率	r_f	%	77.8	
発酵不適物量	Q_w	t/年	$= r_w/100 \times q_f$	
不適物割合	r_w	%	5	
不適物除去後 食品廃棄物量	q_f'	t/年	$= q_f - Q_w$	
下水汚泥量(脱水汚泥)	q_m	t/年	2388	9)
含水率	r_m	%	81.7	
下水汚泥量(水分調整後)	q_s	t/年	16,170	9)
含水率	r_s	%	97.3	
発酵対象物量	Q_0	t/年	$= q_s + q_f' = q_s + (1 - r_w/100)q_f$	
消化液発生量	Q_R	t/年	$= Q_0 \times R_R / 100$	
発生率	R_R	%	95.9	9)
含水率	r_R	%	96.5	9)
固形物量	q_{ss}	t/年	$= Q_R \times (1 - r_R/100)$	
脱水汚泥量	Q_{Rs}	t/年	$= q_{ss} / (1 - r_{Rs}/100)$	
下水放流量	Q_{RW}	t/年	$= Q_R - Q_{Rs}$	
脱水汚泥の含水率	r_{Rs}	%	78.8	9)
乾燥汚泥量	Q_{Rs}'	t/年	$= q_{Rs} / (1 - r_{Rs}'/100)$	
含水率	r_{Rs}'	%	46.2	9)
固形物量	q_{Rs}'	t/年	$= q_{ss} \times 0.8$	9)
バイオガス発生量	Q_b	m ³ /年	$= a_1 \times Q_0$	
バイオガス発生原単位 (混合物:食品+下水)	a_1	m ³ /t	55	6)

b) コスト

コストは前記の物質フローデータとエネルギー収支データをを用いて算出を行った。イニシャルコストの項目として、「前処理設備費」、「プラント主要設備費(受入槽、発酵槽、固液分離装置、乾燥装置)」、「排水処理設備費」、「エネルギー変換設備費」、「パイプライン施工費」、「ステーション設置費」を表-5の値や計算式を用いて算出した。また、単年度事業収支の評価項目としては、イニシャルコストを「減価償却費」とした上

で、表-6に示す「メンテナンス費」、「人件費」、「電力購入費」、「ガス精製費」、「排水処理費」、「発酵不適物・乾燥汚泥処理費」、「支払い金利」、「租税公課」とした。収入の項目は「食品廃棄物処理料金」、「下水汚泥処理料金」、「売電収入」及び「売ガス収入」として表-7を用いた。売ガス価格はガス供給事業者売却するガスは品質の違いにより売却価格に20円/m³の差を設けた。また、CNG燃料として供給する際は市場価格⁸⁾を参考に80円/m³とした。

表-4 エネルギー収支データと計算式

パラメーター		記号	単位	式 または 値	参考文献・備考
バイオガス発生エネルギー		E _b	MJ/年	= Q _b × a ₂	
	バイオガス熱量	a ₂	MJ/m ³	22	CH ₄ =60%時
バイオガス利用	バイオガス利用率	b ₁	%	b ₀ : 発電装置	シナリオ1: b ₀ =100
		(b ₀ +b ₁ +b ₂ =100)		b ₁ : ガスボイラー b ₂ : ガス精製装置	シナリオ1-3: b ₁ =30 b ₂ =70 シナリオ1': b ₁ =45 b ₂ =55
エネルギーロス		b ₃	-	0.1	
発電装置	投入バイオガス量	b ₀ Q _b	m ³ /年	=b ₀ × Q _b	
	回収エネルギー量	E _{e0}	MJ/年	=E _b × b ₀ /100 × a ₃ /100 × (1-b ₃)	
	発電効率	a ₃	%	30	
	回収電力量	E _{e0'}	kWh/年	= E _{e0} /3.6	1 kWh = 3.6 MJ
	回収熱量	E _{h0}	MJ/年	=E _b × b ₀ /100 × a ₄ /100 × (1-b ₃)	
	発熱効率	a ₄	%	50	
	施設内利用 電力量	E _{e1}	kwh/年	= E _{e0} × a ₅ /100	
	発生電力の施設内利用割合	a ₅	%	50	
	売電量	E _{e2}	kwh/年	= E _{e0} - E _{e1}	
	施設内利用 熱量	E _{h1}	MJ/年	= E _{h0} × a ₆ /100	
	発生熱量の施設内利用割合	a ₆	%	75	7)
	廃熱受入量	E _{hw}	MJ/年	3193385 (シナリオ1'=0)	9)
ガスボイラー	廃棄熱量	E _{h2}	MJ/年	= E _{h0} - E _{hw} - E _{h1}	
	回収熱量	E _{hg}	MJ/年	= E _b × b ₁ /100 × a ₇ /100 × (1-b ₃)	
ガス精製装置	発熱効率	a ₇	%	85	
	精製ガス発生量	Q _g	m ³ /年	=Q _b × b ₂ /100 × a ₈ /100	
	バイオガス利用割合	b ₂	%	= 100-b ₁	
	精製ガス回収率	a ₈	%	61.2	9)
	精製ガスエネルギー量	E _g	MJ/年	= Q _g × (a ₁₀ /a ₉) × a ₂ × (1-b ₃)	
	精製前ガスメタン含有量	a ₉	%	60	
	精製後ガスメタン含有量	a ₁₀	%	90	
	LNG基地投入精製ガス量	Q _{g1}	m ³ /年	=Q _g	
	都市ガス導管投入精製ガス量	Q _{g2}	m ³ /年	=Q _g × (1+a ₁₁ /100)	
	プロパン添加割合	a ₁₁	%	15.6	9)
熱量調整後 精製ガス熱量		E _{g2}	MJ/m ³	46	
天然ガスステーション投入精製ガス量		Q _{g3}	m ³ /年	=Q _{g2}	

表-5 イニシャルコスト計算式

パラメーター	記号	単位	式 または 値	参考文献
イニシャルコスト	C_C	百万円	$= C_{PF} + C_{B2} + C_W + C_E + C_{H1} + C_G + C_{GH} + C_{GT} + C_F + C_{GS}$	
前処理設備				
前処理対象施設規模	S_{PF}	t/日	$= Q_d / 365 \times \alpha$	
変動係数	α	—	1.2	
前処理設備費	C_{PF}	百万円	$= C_{O1} \times S_{PF}$	
前処理設備単価	C_{O1}	百万円/(t/日)	15.5	7)
プラント主要設備				
施設規模	S	t/日	$= Q_d / 365 \times \alpha$	
プラント主要設備費(発電設備込)	C_{B1}	百万円	$= C_{O2} \times S_0 (S/S_0)^{0.7}$	
プラント主要設備単価	C_{O2}	百万円/(t/日)	11	8)
基準施設規模	S_0	t/日	50	8)
プラント主要設備費(発電設備なし)	C_{B2}	百万円	$= C_{O2} (1 - C_1 / 100) \times S_0 (S/S_0)^{0.7}$	
プラント建設費に占める発電設備の割合	C_1	%	30	7)
排水処理設備				
排水処理設備費	C_W	百万円	$= C_{O8} \times S_W$	
排水処理設備単価	C_{O8}	百万円/(t/日)	2.7	5)
排水処理量	S_W	t/日	$= Q_R / 365 \times \alpha$	
エネルギー変換設備費				
発電				
発電設備費	C_E	百万円	$= C_{H1} - C_{B2}$	
ガスボイラー				
ガスボイラー設置費	C_{H1}	百万円	$= C_{O3} \times b_5$	
ガスボイラー単価 (2t-steam/h)	C_{O3}	百万円	10	7)
ガスボイラ台数	b_5	台	$= Q_b \times C_2 / 24 / 365 / 2$	
バイオガス単位発生蒸気量	C_2	t-steam/m ³	0.009	7)
バイオガス精製装置				
バイオガス精製装置費	C_G	百万円	$= C_{O4} \times Q_{b0} (b_2 \times Q_b / (365 \times b_6) / Q_{b0})^{0.7}$	
バイオガス精製装置単価	C_{O4}	百万円/(m ³ /h)	1.5	7)
投入バイオガス量	Q_{b0}	m ³ /h	98	
1日あたり稼働時間	b_6	h/日	24	
熱調・付臭設備				
熱調・付臭設備費	C_{GH}	百万円	15	7)
バイオガス貯留設備				
バイオガス貯留設備費	C_{GT}	百万円	$= C_{O5} \times b_7$	
バイオガス貯留設備単価	C_{O5}	百万円	6	7)
貯留タンク必要数	b_7	台	$= \text{roundup}(Q_b / b_8)$	
貯留タンク容量	b_8	m ³	3000	
パイプライン				
パイプライン設置費	C_P	百万円	$= C_{O5} \times b_7 \times 1000$	
パイプライン設置単価	C_{O6}	百万円/m	0.054	7)
精製ガス供給先までの距離	l_i	m	$l_1 = 2000$ $l_1' = 100$ $l_2 = 950$ $l_2 = 100$	(シナリオ1) (シナリオ1') (シナリオ2) (シナリオ3)
ステーション設置費				
ステーション設置費	C_{GS}	百万円	$= C_{O7} \times b_9$	
ステーション設置単価	C_{O7}	百万円	100	7)
設置箇所数	b_9	箇所/(250m ³ /h)	1	

表-6 ランニングコスト計算式

パラメーター	記号	単位	式 または 値	参考文献
単年度収支	C_{OM}	百万円/年	$= C_m + C_p + C_{eo} + C_{ggh} + C_h + C_w + C_a + C_x + C_i + C_y$	
メンテナンス費	C_m	百万円/年	$= a_{11}/100 \times C_C$	
対建設費割合	a_{11}	%	1.6	
人件費	C_p	百万円/年	$= a_{12} \times b_8$	
人件費単価	a_{12}	百万円/人/年	5	
人員数	b_8	人	4	
電力購入費	C_{eo}	百万円/年	$= (E'_{e1} - E'_{e0}) \times a_{13}/10^6$	
電力単価	a_{13}	円/Kwh	15	
ガス精製費	C_{ggh}		$= C_g + C_{gh}$	
バイオガス精製費	C_g	百万円/年	$= Q_g \times c_9/10^6$	
バイオガス精製単価	c_9	円/m ³	15.21	9)
熱量調整費用	C_{gh}	百万円/年	$= b_2 \times Q_b \times a_{14}/100 \times C_{10}$	
プロパン添加割合	a_{14}	%	15.6	9)
プロパン単価	C_{10}	円/m ³	240	9)
排水処理費	C_h		$= C_d + C_{11} \times Q_{RW}/10^6$	
薬品使用料	C_d	百万円/年	6	6)
下水処理単価	C_{11}	円/m ³	183	
発酵不適物・乾燥污泥処理費	C_w		$= C_{wf} + C_{ws}$	
発酵不適物処理費	C_{wf}	百万円/年	$= Q_w \times C_{12}/10^6$	
発酵不適物処理単価	C_{12}	円/t	10,000	9)
乾燥污泥処理費	C_{ws}	百万円/年	$= Q_{Rs} \times C_{13}/10^6$	
乾燥污泥処理単価	C_{13}	円/t	19,000	9)
一般管理費	C_a	百万円/年	$= C_p \times a_{17}/100$	
対人件費割合	a_{17}	%	10	
減価償却費	C_x	百万円/年	$= C_1 \times (1 - b_9/100) / b_{10}$	
イニシャルコスト	C_1	百万円	$= C_c - C_s$	
残存簿価	b_9	%	10	7)
償却期間	b_{10}	年	15	
補助金	C_s	Myen	$= 0.5 \times C_1$	
支払い金利	C_i	百万円/年	$= \{C_r - C_l/b_{12} \times (y-1)\} \times b_{11}/100$	
利率	b_{11}	%	2	
返済期間	b_{12}	年	15	
年次	y	年		
租税公課	C_y	百万円/年	$= \{C_r - C_x \times (y-1)\} \times c_{13}/100$	
税率	c_{13}	%	1.4	7)

表-7 収入項目計算式

パラメーター	記号	単位	式 または 値	参考文献
廃棄物処理料金	I_b	百万円/年	$= (q_m \times a_{18} + q_r \times a_{19})/10^6$	
下水汚泥処理単価	a_{18}	円/t	19000	
食品廃棄物処理単価	a_{19}	円/t	10,000	
売電収入	I_c	百万円/年	$= E_{e2} \times a_{21}/10^6$	
売電単価	a_{21}	円/kWh	10.2	
売ガス収入	I_g	百万円/年	$= (Q_{e1} \text{ or } Q_{e2} \text{ or } Q_{e3}) \times (a_{22} \text{ or } a_{23} \text{ or } a_{24}) \times 10^6$	
売ガス単価(LNG)	a_{22}	円/m ³	100	
売ガス単価(導管)	a_{23}	円/m ³	120	
売ガス単価(ステーション)	a_{24}	円/m ³	80	8)

4. 結果と考察

(1) 物質フロー・エネルギー収支

物質フローのバランスシートを図-5に示す。前処理後食品廃棄物 6,627 t/年と水分調整後の下水汚泥 16,170 t/年の合計 22,897t/年（62.7t/年）の混合物を発酵槽に投入し、1,259,335 Nm³/年(3,450Nm³/日)のバイオガス量を回収する。また、乾燥汚泥処理量は 1,143 t/年(3.1 t/日)、そして排水処理量が 18,333 t/年（50.2 t/日）となった。バイオガスのエネルギー収支を図-6に示す。1,259,335 Nm³/年のバイオガスは、シナリオ 0（発電）では 1,038,951kWh/年の電力を売電できる。また、シナリオ 1 では 539,499 Nm³/年、シナリオ 1' は 423,892 Nm³/年（廃熱供給が無く施設利用ガス量の増大のため売ガス量が減る）の都市ガス

原料を供給でき、シナリオ 2 と 3 では 623,661 Nm³/年（熱調のためのプロパン添加による）の都市ガスと同品質レベルの精製ガスを供給できる。これらシナリオ 1～3 の供給ガス量は、対象地域の都市ガス供給会社の全供給量¹⁰⁾の 0.1～0.15%に相当する。

(2) コスト

a) イニシャルコスト

以上のバランスシートを用いて算出された各シナリオのイニシャルコストの内訳を図-7に示す。バイオガス化システム全体としては、発酵の前処理設備やプラント主要設備（発酵槽他）の費用の割合が大きくなっている。各シナリオで異なる点としては、発電・精製設備費とパイプライン設備費、ステーション設置費があげられる。発電利用のシナリオ 0 では直接利用シナリオ（1, 2, 3）に比べて、コージェネレーション設備費は大きいのが、今回の計算では、売電に関わる電線などの整備費は含めていないこともあって、トータルのイニシャルコストは小さい結果となった。

シナリオ 1 とシナリオ 2, 3 での発電・精製設備費の違いは、熱調・付臭設備プロセスの有無を反映しており比較的寄与率が高い。また、シナリオ 1 と 1' では、精製ガス供給先までの距離が 2000m と 100m という距離の違いがパイプライン設備にかかる費用に大きな影響を与えており、重要な影響因子であることが分かる。

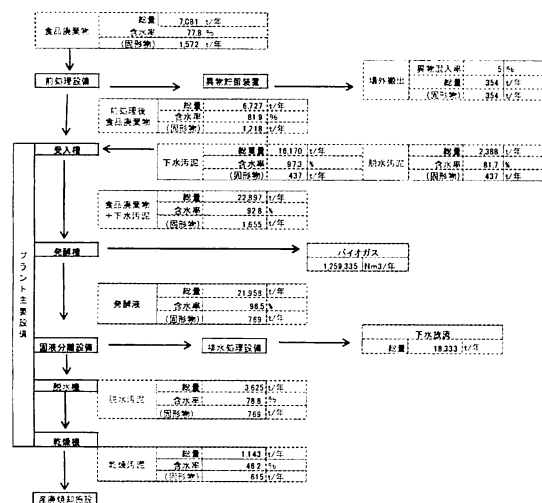


図-5 物質フロー計算結果

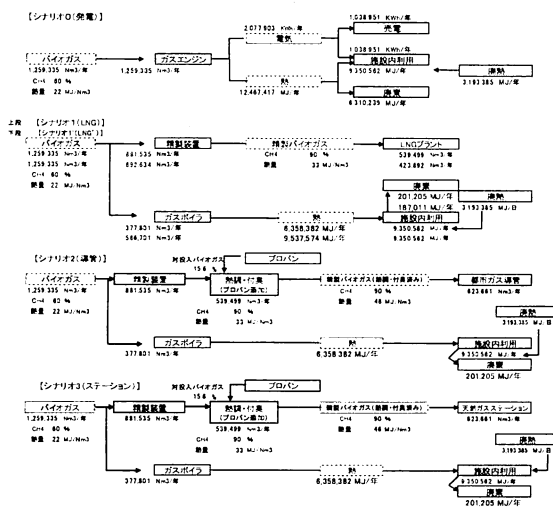


図-6 エネルギー収支計算結果

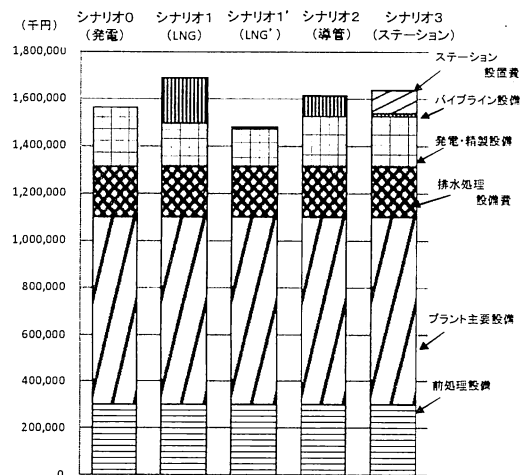


図-7 各シナリオのイニシャルコストの内訳

b) 単年度事業収支

各シナリオの初年度のランニングコストと収入および、それら内訳を図-8に示す。バイオガス化施設のランニングコストは、減価償却費以外では、メンテナンス費や人件費、乾燥汚泥処理費の割合が比較的大きい。バイオガスの利用方法の違いとしては、シナリオ0のランニングコストは、精製費用と購入する電力費が無いため、直接利用のシナリオ1~3に比べて小さくなった。また、熱調・付臭プロセスが必要なシナリオ2,3では、熱調・付臭プロセスが必要ないシナリオ1,1'と比べてランニングコストが増大しており、熱調・付臭プロセスの有無が重要な影響要因であることが分かる。

c) 初期投資回収率

各シナリオの初期投資回収率を示したグラフを図-9に示す。回収年度の早いものから、シナリオ1'(LNG)', シナリオ2(導管), シナリオ0(発電), シナリオ1(LNG), シナリオ3(ステーション)の順であった。

シナリオ0(発電)は、他のシナリオにくらべてイニシャルコストとランニングコストは安いですが、図-8に示したように、売電収入額が熱調・付臭後の精製ガスの売ガス収入額に比べて安いことからシナリオ2(導管)に比べて、採算性は劣る結果となった。

シナリオ1(LNG)は、シナリオ2(導管)と比べて、ランニングコストは安いですが、パイプラインの設備費用が高いこと、熱量・付臭プロセスを省略した都市ガス原料としての売ガス価格(100 円/Nm³)が、シナリオ2の売ガス価格(120 円/Nm³)と比べて安いことなどから、初

期投資回収率はわずかに劣る結果となった。シナリオ1(LNG)の立地場所を変更したシナリオ1'(LNG)では、供給先までの距離が近くなったことによるパイプライン設備費の削減により、初期投資回収率は著しく改善された。

また、シナリオ3(ステーション)はステーションの設置費によるイニシャルコストの増加や、現在の流通価格として設定したCNG燃料料金(80 円/Nm³)から、15年以内の初期投資の回収は難しいという結果となった。

以上より、バイオガス直接利用を前提とした場合、その事業採算性に与える主な影響要因としては、「売ガス価格」、「ガス供給先までの距離」、「熱量調整・付臭プロセスの有無」が重要であることがわかる。これは、事業採算性を考える上で、立地場所が重要であることを示している。つまり、バイオガス供給のためのパイプラインの距離や熱量調整・付臭プロセスの有無を左右するLNG基地との隣接可能性、という点は立地に大きく関係しており、その結果が売ガス価格にも反映されるからである。

(2) 売ガス価格と食品廃棄物処理料金の関係

今後、バイオガス直接利用システムの事業化を検討するにあたっては、収入の主な部分である精製したバイオガスの「売ガス価格」と食品廃棄物の「処理料金」の設定が重要となってくる。そこで、先ほどシナリオのシナリオ1~3について、売ガス価格と食品廃棄物処理料金の関係性をみるために、感度解析を行った。なお今回は、脱水汚泥に関しては、当該施設の現行の委託処理料金を設定したので感度解析は行わなかった。

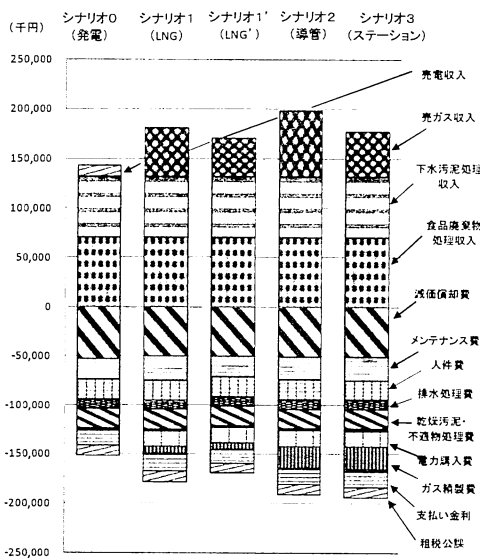


図-8 各シナリオの初年度事業収支の内訳

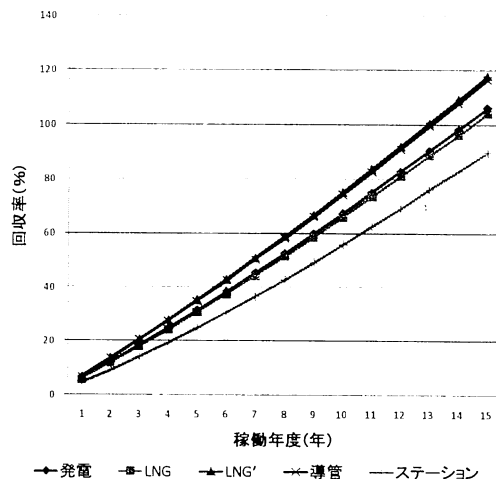


図-9 各シナリオの初期投資回収率

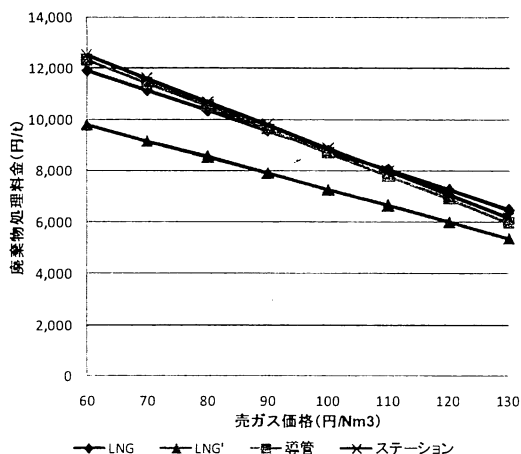


図-10 売ガス価格と食品廃棄物処理料金の関係

図-10 には各シナリオにおいて、15 年度にちょうど初期投資を回収することができる売ガス価格と食品廃棄物処理料金の関係を示した。

対象地域における食品廃棄物処理価格の相場が10,000 円/t程度であることを考慮すると、採算がとれる売ガス価格は、精製のみ（熱量調整・付臭なし）都市ガス原料で85 円/Nm³（シナリオ1），または60円/Nm³（シナリオ1'）となった。また、精製後、熱量調整・付臭された都市ガスと同質レベルのガスの場合にはシナリオ2（導管）とシナリオ3（ステーション）では、ほぼ同額の90 円/Nm³となった。

5. 結論

石狩湾新港地域を対象とした、特にバイオガス直接利用システムに着目したバイオガス化システムを構築し、その事業採算性の評価の検討を通じて以下の結論を得た。

- ① バイオガス直接利用を前提とすると、その事業採算性に与える主な影響要因として「売ガス価格」、「ガス供給先までの距離」、「熱量調整・付臭プロセスの有無」が重要であることを明らかにした。
- ② 従って、バイオガスの直接利用システムを検討する際には、バイオガス供給のためのパイプラインの距離や熱量調整・付臭プロセスの有無を左右する LNG 基地との隣接可能性などの「立地場所」が非常に重要となることを示した。
- ③ 本対象地域での、事業採算的に成立する食品廃棄物処理料金と売ガス価格の関係を明らかにした。

例えば、現行の食品廃棄物処理料金である 10,000 円/t を考慮すると、事業採算性が成立する売ガス価格は、熱量調整・付臭なしの都市ガス原料では 85 円/Nm³（LNG 受入基地に隣接した場合は 60 円/Nm³），そして熱量調整・付臭をした都市ガスと同質レベルのガスでは 90 円/Nm³であった。

今後は、都市ガスとの混合割合を考慮した場合のバイオガスの精製レベルや、自治体の廃棄物収集車をバイオガス専用車にした場合のバイオガス精製レベルなど、利用状況に応じたバイオガスの精製レベルを考慮することによって、バイオガス精製費用が削減し、さらなる事業採算性の向上の可能性があるので検討すべきである。

謝辞：北海道ガス株式会社、各施設の関係各位には各種データの収集にご協力頂いた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 富山市エコタウンホームページ:生ごみ及び選定枝のリサイクル施設, (2010 年 3 月閲覧).
<http://www.toyama-ecotown.jp/guide/09/index.html>
- 2) 日本下水道協会ホームページ:エネルギーリサイクルのススメ,(2010 年 3 月閲覧).
<http://www.jswwa.jp/energy/pdf/jirei/12.pdf>
- 3) 大阪ガス:プレスリリース,2009.10.19.
- 4) 新エネルギー財団:バイオマス技術ハンドブック PP370-424,オーム社,2008.
- 5) 五島典英,古市徹,石井一英,谷川昇:大都市圏における食品廃棄物のバイオガス化施設の建設のための費用便益分析,第 19 回廃棄物学会研究発表会講演論文集,pp.347-349, 2008.
- 6) (株)北海道電力:石狩湾新港値域内の事業系加工残さを利用したバイオガス事業の可能性調査報告書,2007.
- 7) (独)新エネルギー・産業技術総合研究開発機構:バイオマス導入ガイドブック(第2版),2005.
- 8) 東京ガス:東京ガスホームページ 天然ガス自動車 輸送用ガス料金(2009 年 12 月閲覧).
http://eee.tokyo-gas.co.jp/ryokin/tanka_tokyo.html
- 9) ヒアリング調査より.
- 10) 北海道ガス株式会社:ホームページ IR 情報(2010 年 3 月閲覧).
<http://www.hokkaido-gas.co.jp/ir/data/data02.html>

PROPOSAL OF WASTE BIOMASS BIOGASIFICATION FOR ENERGY CYCLE
BY A PARTNERSHIP BETWEEN ARTERIAL AND VENOUS INDUSTRIES
-STUDY ON UTILIZATION SYSTEMS OF UPGRADED BIOGAS
IN ISHIKARI BAY NEW PORT AREA-

Norihide GOSHIMA, Toru FURUICHI, Kazuei ISHII and Noboru TANIKAWA

In this study, in order to develop "a biogasification system for energy cycle" where a biogasification plant (BGP) is constructed at the area having a lot of arterial industry plants such as food-processing plants and where upgraded biogas is used at arterial industry, we investigated profitability of biogasification business and clarified its influencing factors when an objective area of this study was Ishikari Bay New Port area, Hokkaido. Especially, we discussed about selling price of upgraded biogas without power generation. As a result, the influencing factors on the profitability of biogasification business with utilization of the upgraded biogas were found to be mainly 1) distance to the gas supplier, 2) price of upgraded biogas, and 3) a process of caloric adjustment and addition of odor. These factors were mainly affected by site location of BGP. In addition, we clarified the selling price of upgraded biogas considering the average industrial waste treatment fee in this area.