

十勝地域の可燃ごみからエネルギーを回収する 高効率廃棄物処理システムの検討

北島 弘¹・古市 徹²・藤山 淳史³・石井 一英⁴・翁 御棋⁵

¹非会員 北海道大学修士課程 大学院工学院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)
E-mail: mutsu563@eis.hokudai.ac.jp

²正会員 北海道大学客員教授 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正会員 北海道大学特任助教 大学院工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)
E-mail: fujiyama@eng.hokudai.ac.jp

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

⁵正会員 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: clyde.weng@gmail.com

2007年の「21世紀環境立国戦略」閣議決定以降、循環型社会の実現を目指す動きが活発となっている。循環型社会では、廃棄物に対して発生抑制、再利用、再生利用、エネルギー回収、適正処理が求められているが、わが国の一般廃棄物の処理を見てみると、含水率の高い生ごみが未分別のまま焼却処理されているため、効率の良い熱回収が行われていないのが現状である。本研究では、一般廃棄物の処理システムに生ごみのバイオマス化を導入した場合を想定し、シナリオ分析を行うことで、電力生産量・温室効果排出量・コスト・最終処分量の4つの指標を用いて、効率の良いエネルギー回収を行う廃棄物処理システムの検討を行った。

Key Words : recycling society, domestic waste, incineration, biogasification, energy collection

1. 序論

(1) 研究背景

我が国では一般廃棄物の処理の方法として、多くの自治体が焼却処理施設を所有し、焼却による減量・減容化後、焼却残渣の埋立処分というシステムが一般的に形成されている。しかし、近年はリサイクルの推進により焼却するごみの質も変化している。その一つとして含水率の高い生ごみがあり、量的にも多く含まれていることから、焼却工程への負荷を与えているとともに、効率の良い熱回収を妨げる要因となっている可能性がある。生ごみは有機物を豊富に含んでいることに加え、カーボンニュートラルという特性を有していることから有用なバイオマス資源であり、近年、その利活用に注目が集まっている。しかし、前述のように生ごみの大部分は焼却処理されており、利活用が進んでいないのが現状である。環境省は、「廃棄物系バイオマス活用ロードマップ」において、生ごみをバイオガス化することによって利活用を

促進するための方向性を示している。

このような背景のもと、ある程度生ごみの量が確保される地域においては、適正処理を確保しつつ廃棄物から効率的にエネルギーが回収できるシステムとして、バイオガス化と焼却を組み合わせた廃棄物処理システムが考えられる。

バイオガス化のためのメタン発酵には、対象物の形状によって固形分の少ない湿式メタン発酵と固形分の多い乾式メタン発酵の2つの方式がある。湿式メタン発酵は国内にも多くのプラントがあり、対象物も食品廃棄物、家畜糞尿、下水汚泥と様々なものがある。特に下水汚泥については、現在、国内の約20%の下水処理場がメタン発酵処理を行うなど、多くの既存施設が存在する。食品廃棄物の湿式メタン発酵を導入する際、混合処理の形で既存の消化タンクを活用することは、新規でプラントを建設せずに済むため、イニシャルコスト（施設の用地確保なども含む）やランニングコストの面から非常に有効な方法の一つである。一方、固形分の多い乾式メタン発

酵は対象物の固形分が多いという特性から、異物や固形物など、対応できる形状に幅があるのが特徴である。現在、国内での導入事例は少ないが、異物に対応できることから、既存施設では食品廃棄物や紙などの混ざった可燃ごみを分別せずに回収し、機械選別を行うことにより対象物を選別し、メタン発酵処理がされている。なお、選別残渣や発酵残渣は焼却処理されている。このように乾式メタン発酵と焼却処理を組み合わせで構成されている施設を乾式コンバインドシステムという。乾式コンバインド施設の導入は、収集段階で住民に食品廃棄物の分別をお願いしなくてよいという点で住民の負担が少なく、機械選別により一定の処理量を確保できるという点で、有効なシステムであると考えられる。

(2) 目的

本研究では背景を踏まえ、廃棄物の適正な処理を確保しつつ、現在、焼却施設で処理されている廃棄物を対象として、効率的なエネルギー回収を行う廃棄物処理システムについて検討を行う。なお、本研究でいう「効率的なエネルギー回収」とは、環境低負荷および低コストを両立するエネルギー回収システムのことである。

2. 対象地域とシナリオの設定

(1) 十勝地域の現状^{1), 2)}

本研究では、北海道の道東地域に位置する十勝総合振興局のうち十勝環境複合事務組合によって一般廃棄物を広域処理している9市町村（帯広市、音更町、芽室町、中札内村、更別村、幕別町、池田町、豊頃町、浦幌町）を対象地域とした。この地域の呼称を、本研究では十勝地域とする。十勝地域は、平成26年3月31日現在、人口は282,728人、世帯は133,600世帯、面積は4,046.61km²であり、豊かな自然に恵まれた地域である。豊富な流量を誇る十勝川、広大な十勝平野を有しており、農業を主産業とし、日本の食糧基地としての役割を果たしている。

十勝地域では、一般廃棄物を燃やすごみ、燃やさないごみ、資源ごみ（缶、びん、ペットボトル、紙パック、紙製容器包装、プラスチック製容器包装、ダンボール、新聞紙、雑誌類）、大型ごみ、有害ごみ（使用済乾電池、蛍光灯、水銀体温計）の5種15分別で収集、処理されており、燃やすごみと破碎施設からコンベヤで運ばれてくる可燃物については、くりりんセンター（帯広市にあり、焼却施設と破碎処理施設が一体となった施設）で焼却処理されている。本研究では、このように焼却施設で燃やされるごみのことを、焼却ごみとする。平成25年度に焼却施設へ直接搬入された焼却ごみは61,877tで、破碎処理施設からの可燃物は7,839tであるため、焼却ごみの年間

焼却量は69,716tである。また、下水は年間26,923,547m³が十勝川浄化センター（帯広市）で処理されている。十勝川浄化センターでは、湿式メタン発酵が導入されている。し尿・浄化槽汚泥は年間53,595m³排出され、中島処理場（帯広市）で処理されている。し尿・浄化槽汚泥は、平成29年から十勝川浄化センターで下水汚泥と混合処理されることが決定している。

本研究では、焼却ごみと十勝川浄化センターで処理される汚泥を対象物とする。

(2) シナリオの設定

くりりんセンターが更新されるものと想定される年である平成38年に、廃棄物処理施設を新規建設するとし、現状の可燃ごみを全て焼却するシステムと、焼却とメタン発酵を組み合わせたシステムを比較するため、以下の3つのシナリオを設定した。なお、評価指標については、「効率的なエネルギー回収」という視点で、エネルギー回収量、温室効果ガス排出量、コスト、最終処分量の4つの指標とする。

a) シナリオA（現状の処理フロー）

シナリオAでは、図-1で示すように、十勝地域の現状の一般廃棄物処理フローとし、焼却ごみは新規の焼却施設で焼却処理、焼却残渣は全量埋め立てとする。下水汚泥とし尿・浄化槽汚泥は十勝川浄化センターで湿式メタン発酵で処理を行う。

b) シナリオB（乾式コンバインドシステム）

シナリオBでは、図-2で示すように、乾式コンバインドシステムを導入した処理フローを想定する。焼却ごみを機械選別により「乾式メタン発酵の対象物」と「焼却処理の対象物（選別残渣）」に選別し、選別残渣と発酵残渣を焼却処理する。下水汚泥とし尿・浄化槽汚泥はシナリオAと同様に、十勝川浄化センターで湿式メタン発酵で処理を行う。

c) シナリオC

（生ごみ分別回収→湿式メタン発酵+焼却）

シナリオCでは、図-3で示すように、生ごみを分別回収し、十勝川浄化センターで下水汚泥とし尿・浄化槽汚泥と共に湿式メタン発酵するフローを想定する。生ごみ以外の燃やすごみは新規の焼却施設で焼却処理を行う。

3. シナリオの評価

(1) パラメーター等の設定

a) ごみ排出量

図-4に、平成20年から平成24年の十勝地域のごみ排出原単位³⁾を示す。この5年間で大きな変動は見られないため、5年間の平均値を原単位として設定した。下水汚泥

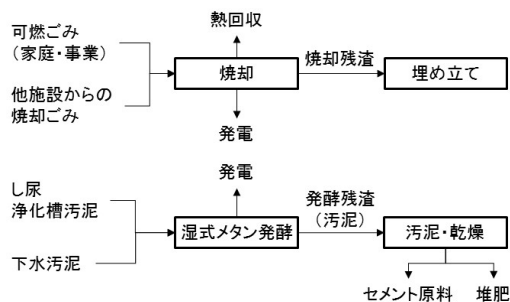


図-1 シナリオAにおける廃棄物処理フロー

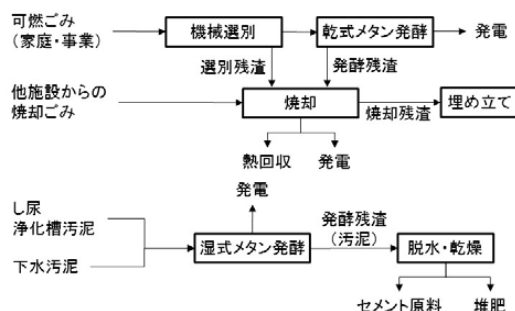


図-2 シナリオBにおける廃棄物処理フロー

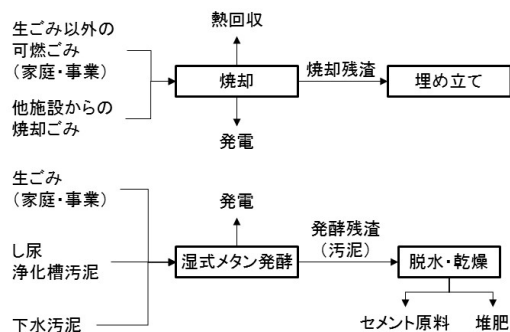


図-3 シナリオCにおける廃棄物処理フロー

とし尿・浄化槽汚泥については、平成24年度の排出量⁹⁾から原単位を算出した。ただし、下水流入量に対する下水汚泥の体積⁹⁾は、0.00542 [m³/m³]とし、下水汚泥、し尿・浄化槽汚泥の単位容積重量は1[t/m³]とした。

十勝地域の将来人口は、国立社会保障・人口問題研究所⁹⁾により図-5に示すように平成27年より5年間隔で推計されている。平成37年から平成42年の間は、人口が線形的に変化するとし、平成38年の人口を求めた。

この推計人口に排出原単位を乗じて、平成38年の排出量を算出した。その結果を表-1に示す。

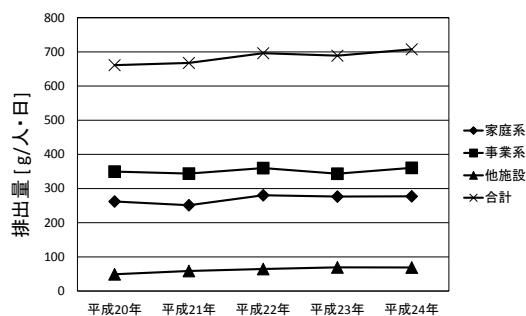


図-4 十勝地域における焼却ごみ排出原単位の推移

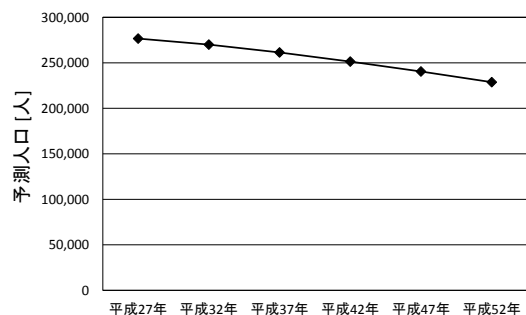


図-5 十勝地域の人口予測

表-1 平成38年における廃棄物排出量

推計人口 [人]	焼却ごみ [t/年]	下水汚泥 [t/年]	し尿・浄化槽汚泥 [t/年]
259,365	60,785	121,482	50,874

b) ごみ質

平成38年の焼却ごみのごみ質は現在のごみ質から変化しないと仮定した。具体的には、平成24年度の十勝地域のごみ質の分析値⁹⁾を用いるが、分析値が乾ベースであるため、表-2の文献値^{7),8)}を用いて水分および低位発熱量を求め、湿ベースでの組成を算出した。この値はシナリオAにおけるごみ組成である。シナリオBの機械選別による選別割合は、表-3に示す国内で稼働している乾式コンバインド施設の実績値⁹⁾をもとに推計した。ただし、酵残渣乾燥物発生量¹⁰⁾は、メタン発酵槽投入量の13.3%、発酵残渣の低位発熱量は6,600 [kJ/kg]とした。シナリオCにおける生ごみ分別回収率は、北海道北広島市の平成23年度実績43%¹¹⁾を参考に50%と仮定し、生ごみ分別回収量を除いた焼却ごみの組成を求めた。これらの結果を表-4に示す。

c) 施設規模

施設規模¹²⁾は、年間処理量を年間稼働日数（焼却施設：1炉あたり280日、機械選別施設：350日、メタン発酵施設：365日）と調整稼働率0.96で除して設定した。

表-2 ごみの成分毎の三成分と低位発熱量

		紙類	プラ類	厨芥類	繊維類	木竹類	その他
三成分（湿ベース）	水分[%]	35.5	16.8	80	28.3	30.1	5
	可燃分[%]	58.4	74.2	17.5	66.9	65.9	73.0
	灰分[%]	6.1	17.0	2.5	4.8	4.0	22.0
乾基準低位発熱量[kJ/kg]		16,000	36,000	17,300	18,100	17,900	0
湿基準低位発熱量[kJ/kg]		9,433	29,532	1,460	12,270	11,760	0

※湿基準低位発熱量[kJ/kg]=乾基準低位発熱量[kJ/kg]×(1-w)-2500w

w：水分比率[%]

表-3 機械選別による選別割合

	厨芥類	紙類	プラスチック類	繊維類	その他
選別ごみ[%]	100	65	20	15	92
選別残渣[%]	0	35	80	85	8

表-4 各シナリオの焼却ごみ組成と発熱量

	シナリオ A	シナリオ B	シナリオ C
紙類	20.4	24.5	20.8
プラスチック類	10.8	13.1	25.4
重量比 厨芥類	34.8	21.1	17.8
繊維類	7.1	8.6	6.2
木竹類	26.1	31.7	29.7
その他	0.5	1.0	0.2
湿基準低位発熱量 [kJ/kg]	9,556	12,389	11,273

表-5 各シナリオにおける施設の規模

		年間処理量 [t/年]	規模 [t/日]
シナリオA	焼却施設	60,785	226
	機械選別施設	60,785	173.5
シナリオB	メタン発酵施設	46,138	132
	焼却施設	20,662	77
シナリオC	焼却施設	50,209	186.5
	生ごみ前処理施設	10,576	30

d) 発電量

既往研究によって、規模300 t/日の焼却施設の発電効率については、以下の式¹³⁾が与えられている。

$$\text{焼却発電効率}[\%]=1.08 \times 10^{-3} \times \text{HL} + 7.38 \quad (1)$$

HL：低位発熱量[kJ/kg]

また、規模による発電効率の変化は、以下の式¹⁴⁾が与えられている。

$$Y(x)=Y(300)+2.4789 \log(x/300) \quad (2)$$

Y(x)：施設規模x[t/日]における発電効率[%]

x：施設規模[t/日]

これらの式から、本論文では、以下の式を用いて焼却施設の発電効率を推計した。

$$Y(x, \text{HL})=1.08 \times 10^{-3} \times \text{HL} + 7.38 + 2.4789 \log(x/300) \quad (3)$$

発電量は、以下の式¹⁵⁾が与えられている。

$$\text{焼却発電量}[\text{kWh}/\text{年}]=\text{HL}[\text{kJ}/\text{kg}] \times \text{焼却量}[\text{t}/\text{年}]$$

表-6 各施設のメタンガス発生量原単位

	メタンガス発生量 [Nm ³ /t-wet]
乾式メタン発酵	114
湿式メタン発酵 (下水汚泥+し尿・浄化槽汚泥)	6
湿式メタン発酵 (生ごみ+下水汚泥+し尿・浄化槽汚泥)	10.7

表-7 各施設の用役使用量

	電気[kWh/t-wet]	式(1)
焼却施設	A重油使用[L/t-wet]	1.10
	尿素[kg/t-wet]	0
	消石灰[kg/t-wet]	3.77
	活性炭[kg/t-wet]	0
	キレート剤[kg/t-wet]	0.5
	セメント[kg/t-wet]	0
乾式メタン発酵施設	電気[kWh/t-wet]	20
下水処理施設	電気[kWh/m ³]	78.20
	A重油使用量[L/m ³]	1.17

$$\times 1,000[\text{kg}/\text{t}] \times \text{発電効率}[\%] \div 3,600[\text{kWh}/\text{kJ}] \quad (4)$$

$$\text{メタンガス発電量}[\text{kWh}/\text{年}]=\text{メタンガス発生量}[\text{Nm}^3/\text{年}]$$

$$\times \text{メタン発熱量}[\text{kJ}/\text{Nm}^3]$$

$$\times \text{ガスエンジン発電効率}[\%] \div 3,600[\text{Wh}/\text{kJ}] \quad (5)$$

ただし、メタン発熱量=35,800[kJ/Nm³]

ガスエンジン発電効率=0.3

e) メタンガス発生量原単位

各施設からのメタンガス発生量原単位については、類似施設の実績データ^{16), 17), 18)}をもとに設定した。その値を表-6に示す。

f) 処理施設の用役使用量

設定した処理施設における用役使用量を表-7に示す。焼却施設の薬剤等使用量は排出基準を満たすように決定されるため、くりりんセンターの実績値¹⁹⁾を用いた。既往の研究により、埋立工程でのエネルギー使用量および二酸化炭素排出量は小さいことが示されているため、本研究では埋立工程は対象外とした。また、収集・輸送行程についても計算の対象外とした。焼却施設の電力使用量については、松藤ら²⁰⁾の報告書より、以下の式を用いて算出した。

$$\begin{aligned} \text{消費電力量 [kWh/t]} &= 176.08 \times (\text{施設規模 [t/日]} / 210)^{0.15} \\ &\times (\text{排ガス設計量 [m}^3/\text{h]} / [\text{t/日}] / 180)^{0.04} \\ &\times (\text{稼働率 [\%]} / 211)^{0.22} \end{aligned} \quad (6)$$

g) 温室効果ガス排出係数

「日本国温室効果ガスインベントリ報告書」²⁰⁾を参考に設定した各施設から発生する温室効果ガス量を表-8に示す。焼却による二酸化炭素の排出は、IPCCガイドラインの考えに則り、バイオマス起源は考慮せず、プラスチックの燃焼分のみを考慮して設定した。乾式メタン発酵施設においては、メタン発酵の反応槽は閉鎖式のため外部へのガス排出はないものとし、発酵残渣からのガス発生もないものとした。

メタンガス、亜酸化窒素の地球温暖化係数は、「IPCC AR5」²⁰⁾を参考に、それぞれ二酸化炭素の34倍、298倍と設定した。

設定した各用役の二酸化炭素排出係数を表-9²⁰⁾に示す。各施設で発電を行った場合については、発電量に電気の二酸化炭素排出係数を乗じて、その値を削減分として計上した。

h) 減量化率

減量化率とは、焼却施設では焼却量のうち排出される焼却残渣の割合（重量）、乾式メタン発酵施設では処理量のうち排出される発酵残渣乾燥物の割合（重量）のことである。焼却施設の減量化率はごみ質を考慮して設定する必要があり、本研究ではシナリオA、Cの焼却施設の値についてはくりりんセンターの実績値¹⁾、シナリオBの焼却施設の値については防府クリーンセンターの実績値²⁴⁾、乾式メタン発酵施設の値は文献値¹⁰⁾を参考に設

表-8 施設からの温室効果ガス排出量

	焼却施設		下水処理施設
	全連続式	廃プラスチック	標準窒素処理
CO ₂ [t-CO ₂ /t]	—	2.62	—
CH ₄ [t-CH ₄ /t]	0.0000001	—	0.00000088
NO ₂ [t-NO ₂ /t]	0.000049	—	0.00000016

表-9 各用役の温室効果ガス排出係数

	排出原単位
電気 [t-CO ₂ /kWh]	0.000348
A重油使用量 [t-CO ₂ /kL]	2.71
尿素 [t-CO ₂ /t]	0.916
消石灰 [t-CO ₂ /t]	1.1
活性炭 [t-CO ₂ /t]	0.279
キレート剤 [t-CO ₂ /t]	2.66
セメント [t-CO ₂ /t]	0.502

表-10 各施設の減量化率

	焼却施設 A, C	焼却施設 B	乾式メタン 発酵施設
減量化率 [%]	10.8	14.8	13.3

定した。

i) コスト

焼却施設、乾式コンバインド施設にかかる費用については、環境省が施設規模を50 t/日、65 t/日、162 t/日、200 t/日を想定して試算⁹⁾を行っている。本研究では施設規模の影響を把握するため、スケールメリットを考慮する必要があり、この試算結果を用いて施設規模とコストの関係を示す以下の近似式を作成し、コストを算出した。

下水処理場のランニングコスト、生ごみ前処理施設のイニシャルスト・ランニングコストについては、十勝川浄化センターの実績値²⁵⁾、恵庭終末下水処理場の実績値²⁶⁾から処理量当たりの原単位を算出し、その値に処理量乗じて算出した。

収集・運搬にかかる費用については、岡田²⁷⁾によって分別収集の有無を考慮して下記に示す計算式が作成されており、これをもとに算出した。なお、生ごみを燃えるごみとして収集するシナリオA、Bは分別項目数を1、生ごみ分別回収をするシナリオCは、分別項目数を2として試算を行った。

【焼却施設のイニシャルコスト】

$$\begin{aligned} \text{施設建設費単価 [千円/(t/日)]} \\ = 36,747 \times \text{施設規模 [t/日]}^{0.492} \end{aligned} \quad (7)$$

【焼却施設のランニングコスト】

$$\text{電力費 [円/t]} = 355 \times \text{施設規模 [t/日]}^{0.239} \quad (8)$$

$$\text{燃料費 [円/t]} = 2,228 \times \text{施設規模 [t/日]}^{0.679} \quad (9)$$

$$\text{上水道料金 [円/t]} = 7,099 \times \text{施設規模 [t/日]}^{0.949} \quad (10)$$

$$\text{薬品費 [円/t]} = 8,053 \times \text{施設規模 [t/日]}^{0.491} \quad (11)$$

$$\text{人件費 [円/t]} = 4,143 \quad (12)$$

$$\text{修繕費 [円/t]} = 88,696 \times \text{施設規模 [t/日]}^{0.669} \quad (13)$$

$$\text{最終処分費 [円/t]} = 10,678 \times \text{最終処分量 [t]} \quad (14)$$

【乾式コンバインド施設のイニシャルコスト】

$$\begin{aligned} \text{施設建設費単価 [千円/(t/日)]} \\ = 36,747 \times \text{施設規模 [t/日]}^{0.492} \end{aligned} \quad (15)$$

【乾式コンバインド施設のランニングコスト】

$$\text{電力費 [円/t]} = 1,238 \times \text{施設規模 [t/日]}^{0.0374} \quad (16)$$

$$\text{燃料費 [円/t]} = 4,526 \times \text{施設規模 [t/日]}^{0.831} \quad (17)$$

$$\text{上水道料金 [円/t]} = 3,510 \times \text{施設規模 [t/日]}^{0.797} \quad (18)$$

$$\text{薬品費 [円/t]} = 7,234 \times \text{施設規模 [t/日]}^{0.482} \quad (19)$$

$$\text{人件費 [円/t]} = 5,102 \times \text{施設規模 [t/日]}^{0.048} \quad (20)$$

$$\text{修繕費 [円/t]} = 78,152 \times \text{施設規模 [t/日]}^{0.631} \quad (21)$$

$$\text{最終処分費 [円/t]} = 10,678 \times \text{最終処分量 [t]} \quad (22)$$

【収集・運搬コスト】

$$\begin{aligned} C_{\text{collect}} &= \exp(10.08 + 0.124 D_h + 0.0066 D_p) \times X_{\text{sp}}^{0.331} \\ &\times X_w^{-0.281} \times X_a^{0.175} \times X_{\text{cr}}^{-0.324} \times X_{\text{kil}}^{-0.066} \end{aligned} \quad (23)$$

C_{collect} : 単位収集コスト [円/t]

D_h : 生ごみ個別収集 (0 or 1)

D_p : 人口 1 万人以上 (0 or 1)

X_{sp} : 分別項目数 [種]

X_w : ゴミ収集量 [t]
 X_a : 面積 [ha]
 X_{α} : 老年人口割合 [%]
 X_{1st} : 第1次産業就業者割合 [%]

(2) シナリオ評価結果

各シナリオでの物質フローの結果を図-6～図-8に示す。

a) エネルギー回収量（正味電力生産量）

エネルギー回収量は、各施設の発電量から消費電力量

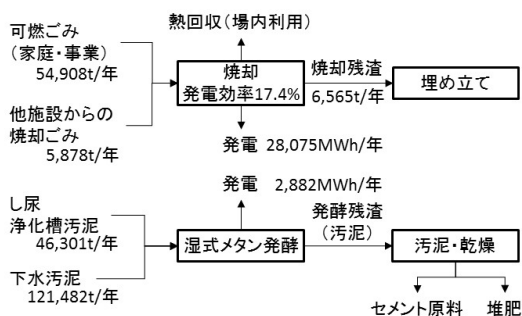


図-6 シナリオAの物質フロー

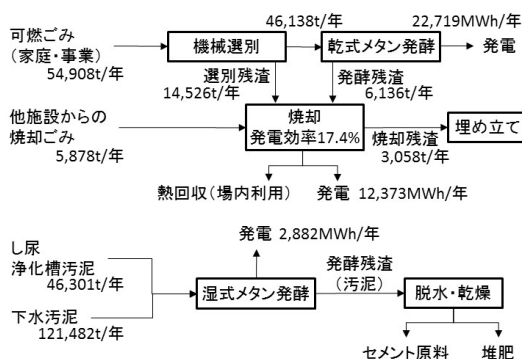


図-7 シナリオBの物質フロー

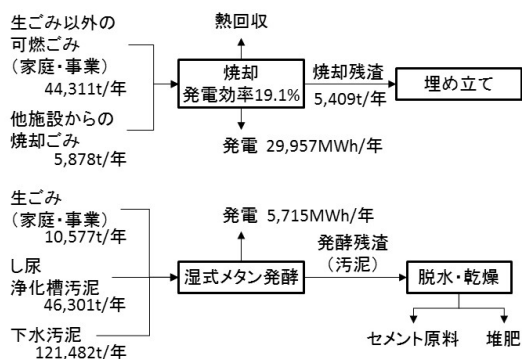


図-8 シナリオCの物質フロー

を除いた正味電力生産量で評価する。算出した各シナリオの正味電力生産量を図-9に示す。シナリオBでは、乾式メタン発酵施設から発生したメタンガスによるメタンガス発電量が多くなることがわかった。シナリオCでは、ゴミ発熱量の上昇により、焼却発電効率が他シナリオよりも高くなり、焼却発電量が多くなることがわかった。また、下水処理場で、生ごみを汚泥と混合処理することにより、下水処理場での発電量が他シナリオに比べ、大きく上昇することがわかった。

b) 温室効果ガス排出量

各シナリオでの温室効果ガス排出量の算出結果を図-10に示す。廃棄物を処理する際、主に温室効果ガスを排出するのは、焼却時であるため、基本的には焼却量が減

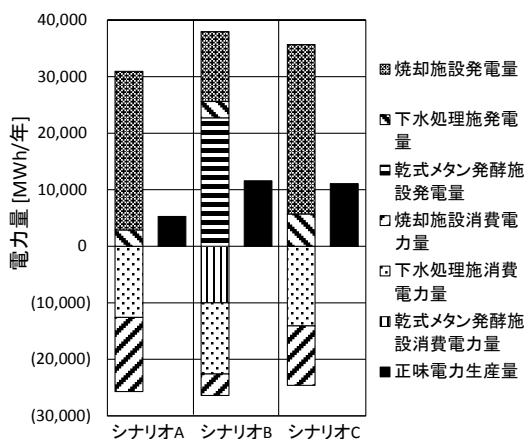


図-9 各シナリオの正味電力生産量

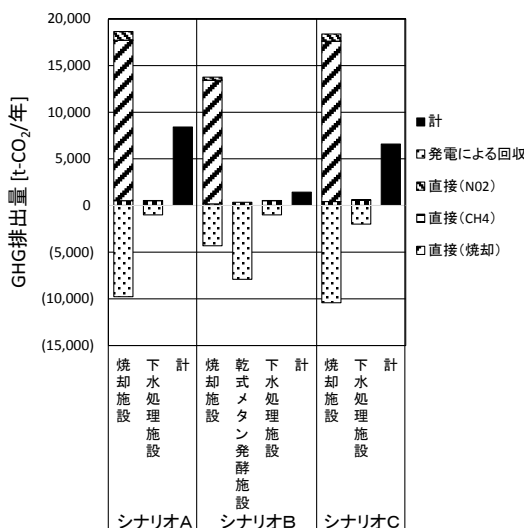


図-10 各シナリオの温室効果ガス排出量 (CO₂換算)

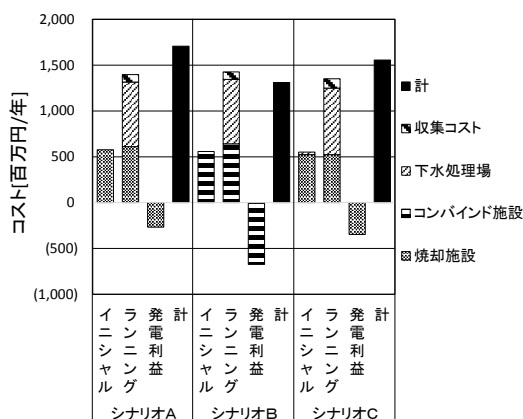


図-11 各シナリオのコスト

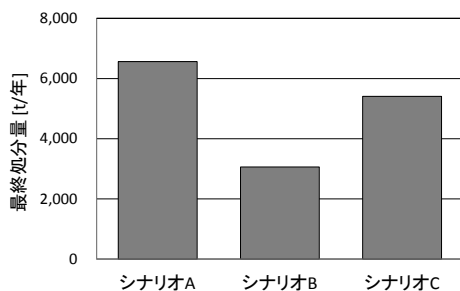


図-12 各シナリオの最終処分量

少するほど温室効果ガス排出量は減少する傾向にある。そのため、シナリオBの温室効果ガス排出量は顕著に少ない結果となった。また、本研究では発電による二酸化炭素排出量の削減を考慮したため、シナリオB、Cで大きな削減効果が見られた。

c) コスト

各シナリオのコストを試算した結果を図-11に示す。イニシャルコストおよびランニングコストについては、各シナリオで大きな差は見られなかった。これは、焼却施設は1炉あたり年間で280日の稼働と設定したのに対し、メタン発酵施設は年間で365日稼働すると設定したため、シナリオBの施設規模が小さくなったことが影響しているものと考えられる。本研究では、固定価格買取制度を利用すると仮定し、売電による利益を考慮した。そのため、発電量の多いシナリオB、Cは利益が増加したために全体のコストが大きく削減され、その結果売電単価の高いバイオガス発電を行っているシナリオBのコストが最も安くなるという結果となった。

d) 最終処分量

各シナリオでの最終処分量の算出結果を図-12に示す。現状と同様、焼却残渣は全量埋立処分を行い、下水処理

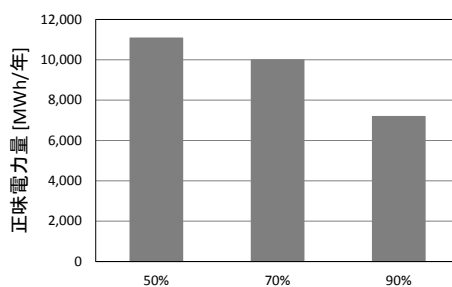


図-13 感度分析における正味電力量の結果

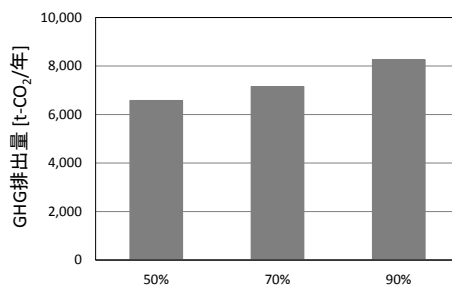


図-14 感度分析における温室効果ガス排出量の結果

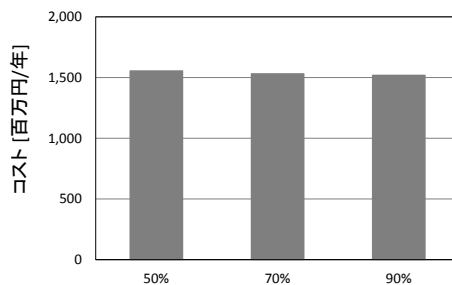


図-15 感度分析におけるコストの結果

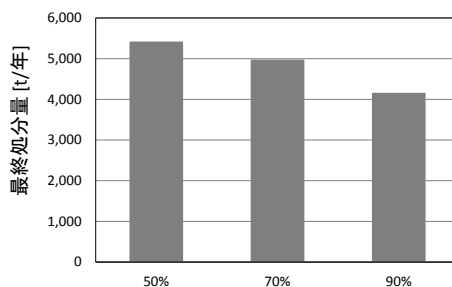


図-16 感度分析における最終処分量の結果

場の発酵残渣は全量有効利用すると設定したため、焼却量が少ないほど、最終処分量が減少することになる。シナリオBは、焼却量がシナリオAの3分の1程度と少なく、最終処分量が顕著に少ない。

(3) 生ごみ分別の感度分析

シナリオCの評価結果については、生ごみの分別回収

率の設定により結果に影響を与えてしまうため、生ごみの分別率について感度分析（シナリオでの設定値50%の他に、70%と90%の場合を試算した）を行った。分析を行った結果を図-13～図-16に示す。生ごみ分別率が上昇すると、下水処理場での処理量が上昇するが、下水処理場では処理量当たりの消費電力が処理量当たりの発電量を上回るため、正味電力生産量が大きく減少することがわかった。また、温室効果ガスの排出量は増加し、売電による利益も減少することがわかった。分別率が上昇するにつれ、焼却量が減少するため、コストの削減（売電額が減少するため総計コストの削減はわずか）と最終処分量の削減効果が得られる一方で、正味電力量の大幅な減少により、エネルギー回収効率は悪化することがわかった。

4. 結論

十勝地域の一般廃棄物処理システムを対象に、可燃ごみを全て焼却するシナリオと焼却とメタン発酵を組み合わせたシナリオを、エネルギー回収量・温室効果ガス排出量・コスト・最終処分量を評価指標として評価した結果、下記の結果を得た。

- 焼却処理にメタン発酵を組み合わせることにより、現状よりも効率の良いエネルギー回収を行うことが出来ることを示した。
- 生ごみの分別回収による下水処理場での湿式メタン発酵の導入に比べ、乾式コンバインドシステム（乾式メタン発酵と焼却の組み合わせ）の方が優位性であることを示した。
- 生ごみの分別回収を行い下水処理場で汚泥と混合し湿式メタン発酵により処理を行う場合、生ごみの分別率が上昇するにつれ、最終処分量は減少する一方で、エネルギー回収量は低下し、温室効果ガス排出量は増加する傾向にあることが示唆された。

本研究では、バイオガス発生量の計算において、文献値や他地域に立地する施設の実績値を原単位に用いたため、より十勝地域の実状を反映させて検討を行うためには、十勝地域で実際にサンプルを回収し、実験などを通してデータを収集する必要がある。また、生ごみの分別回収に伴う収集・運搬への影響については、コスト面では考慮できていないため、その他の影響についても評価を行い、検討する必要がある。また、乾式コンバインドシステムの導入に関する検討に関しては、国内でも先進的な取り組みであるため導入施設が少なく、必ずしも技術的な観点も踏まえて導入の可否についての検討はできていない。そのため、今後は乾式コンバインドシステム

を模擬した実験を行い、様々な地域でコンバインドシステムの導入に向けた実験的検討を行っていくことも必要である。

謝辞：ヒアリング調査にご協力頂きました十勝環境複合事務組合くりりんセンターの皆様、防府クリーンセンターの皆様に厚く御礼申し上げます。本研究は公益財団法人日本生命財団「平成26年度ニッセイ財団環境問題 若手研究・奨励研究助成」を受けて実施した研究成果の一部である。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 環境省：平成 24 年度一般廃棄物処理実態調査結果，2014。
- 2) 十勝環境複合事務組合：十勝環境複合事務組合の概要，2014。
- 3) 環境省：平成 20 年度～平成 24 年度一般廃棄物処理実態調査結果，2010～2014。
- 4) 十勝環境複合事務組合：十勝環境複合事務組合の概要，2014。
- 5) 国土交通省：平成 20 年度下水道統計及び国土交通省調査，2009。
- 6) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の地域別将来推計人口，2013。
- 7) （社）全国都市清掃会議：ごみ処理施設整備の計画・設計要領，2006。
- 8) 経済産業省：電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法の運用に関する留意事項等，2013。
- 9) 環境省：平成 25 年度廃棄物系バイオマス利活用導入推進事業報告書 2，2013。
- 10) 環境省：廃棄物系バイオマス活用ロードマップ，2013。
- 11) 北広島市 HP：
<http://www.city.kitahiroshima.hokkaido.jp/>。
- 12) 環境省：メタンガス化（生ごみメタン）施設整備マニュアル，2008。
- 13) 井上陽仁：メタン発酵を中心とした地域バイオマス利活用システムの評価，2013。
- 14) 環境省：高効率ごみ発電施設整備マニュアル，2010。
- 15) 環境省：メタン発酵処理に関する経済性の検討例。
- 16) 環境省：平成 25 年度廃棄物系バイオマス利活用導入推進事業報告書 1，2013。
- 17) 土幌町：総務文教常任委員会所管事務調査報告書，2014。
- 18) 小宮山秀一：下水道汚泥から発生する消化ガスを利用した発電について，2014。
- 19) くりりんセンターへのヒアリング調査，2014。
- 20) 松藤敏彦・黄仁姫：一般廃棄物焼却施設の物質収支・エネルギー消費・コスト算出モデルの作成，平成 23 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，2012。
- 21) 国立環境研究所：日本国温室効果ガスインベントリ報告書，2006。
- 22) Intergovernmental Panel on Climate Change：IPCC AR5，2014。
- 23) 蒲原弘継・橘隆一・熱田洋一・後藤尚弘・藤江幸一：地域の窒素バランスと家畜糞尿の処理方法の評価，環

- 境システム論文集 Vol.36, pp227-235, 2008.
- 24) 防府クリーンセンターへのヒアリング調査, 2015.
- 25) 北海道庁：特定課題評価調書，十勝川流域下水道，
2014.
- 26) 恵庭市：下水終末処理場の利用可能性.
- 27) 岡田進太郎・古市徹・翁御棋・石井一英・藤山淳史：
家庭系食品廃棄物の分別収集促進のためのシステム解

析－北海道の市町村を対象として－，第 42 回環境シ
ステム研究論文発表会講演集，pp25-32，2014.

(2015. 7. 16 受付)

EVALUATING THE HIGHLY-EFFECTIVE MUNICIPAL SOLID WASTE TREATMENT SYSTEMS CONSIDERING ENERGY RECOVERY FROM THE COMBUSTIBLE WASTE IN TOKACHI AREA

Hiroshi KITAJIMA, Toru FURUICHI, Atsushi FUJIYAMA, Kazue ISHII
and Yu-Chi WENG

After "21st century environment nation strategy" cabinet decision of 2007, movement aiming at realization of the recycling society becomes active. In the recycling society, to reduce, reuse, recycling, energy collection, appropriate disposal of waste are demanded. However, efficient heat collection is not carried out to work to burn up the water-rich waste in our country. In this study, I performed scenario analysis when biomass of the garbage introduced becoming it into wastes processing. And I examined the waste disposal treatment system which performed efficient energy collection, Using four indexes: electric power generation, Greenhouse gas charge, cost, Quantity of last disposal.