

家庭の電力・熱需要を考慮した 生ごみ由来バイオガス供給の環境影響評価

田畑 智博¹・稲葉 琢人²・蔡 佩宜³

¹正会員 神戸大学准教授 人間発達環境学研究科 (〒657-8501 神戸市灘区鶴甲3-11)

E-mail: tabata@people.kobe-u.ac.jp

²非会員 元神戸大学 発達科学部 (〒657-8501 神戸市灘区鶴甲3-11)

³非会員 神戸大学学術推進研究員 人間発達環境学研究科 (〒657-8501 神戸市灘区鶴甲3-11)

本研究では、ごみ発電による電力供給と生ごみ由来のバイオガスを用いた熱供給が、家庭の電力・熱需要にどのような影響を持つのかを、人口減少や世帯の高齢化を踏まえた将来推計をもとに考察した。ここでは神戸市を事例として、生ごみの下水汚泥との混合消化によるバイオガス生産の環境影響評価およびエネルギー生産量の評価を、2010～2035年度の期間で行った。また、エネルギー消費機器の保有数量と使用時間をたずねるアンケートを実施し、1世帯あたりのエネルギー消費原単位を作成した。これを踏まえて上記期間における家庭のエネルギー需要量を算出するとともに、ごみ由来のエネルギー供給量とエネルギー需要量との関係性を考察した。

Key Words : *population decline, municipal solid waste management, segregation of kitchen waste, projected energy production by biogas and electricity, projected household energy consumption*

1. はじめに

近年、神戸市、恵庭市、珠洲市、北広島市、黒部市などの自治体において、生ごみや食品廃棄物と下水汚泥を混合することでバイオガスを生産する取り組みが進んでいる^{1,2)}。このようなごみ処理システムと下水処理システムとの連携は、既存インフラを効率的に利用したエネルギー回収の新しい形態であるといえる。特に人口減少や超高齢社会が進展している我が国において、廃棄物と下水処理という自治体の課をまたいだ連携は、環境面、コスト面からみて重要であるといえる。

本研究は、生ごみと下水汚泥から生産したバイオガスを用いた地域の熱供給とごみ発電による電力供給が、家庭の電力・熱需要にどのような影響を持つのかを、人口減少や世帯の高齢化を踏まえた将来推計をもとに考察することを目的とする。本稿では、神戸市を事例とし、生ごみを下水汚泥と混合してバイオガスを生産・利用した場合の環境影響評価とエネルギー生産量(電力・ガス)の将来変化を評価した。続いて、エネルギー需要量(電力・熱)の将来変化を評価した。エネルギーの生産量と需要量をもとに、廃棄物由来のエネルギー生産量が家庭のエネルギー需要にどれだけの影響を持つかを考察した。

2. 研究の方法

(1) 対象地域

対象地域は神戸市とする。2015年の基礎データをみると、人口は約1,538千人、世帯数は約705千世帯、土地面積は557km²、人口密度は2,761km²/人である。国勢調査の結果より、神戸市はすでに人口減少が始まっている。国立社会保障・人口問題研究所(以下、社人研)³⁾によると、本市における2040年の人口は、2015年比で約12%減少すると予測されている。またこれに伴い、高齢化率(総人口に占める65歳以上人口の割合)も、2015年の26.6%から、2040年には37.6%まで増加すると予測されている³⁾。

神戸市におけるごみ総排出量は、2014年度実績で約563千tであり、うち約77%は直接焼却されている⁴⁾。2016年現在4ヶ所の焼却施設が稼働している。施設の老朽化やごみ排出量の減少等の理由から、2017年度に2ヶ所の焼却施設を廃止し、建設中(2016年時点)の1施設を稼働予定である。また、現在(2016年)、生ごみは分別収集されていない。

神戸市の東南に位置する東灘下水処理場では、下水汚泥からバイオガスを生産している⁵⁾。作られたバイオガスは、市営バスの燃料に使用されるほか、成分調製後、都市ガスとして大阪ガスに導管するための実証試験を行

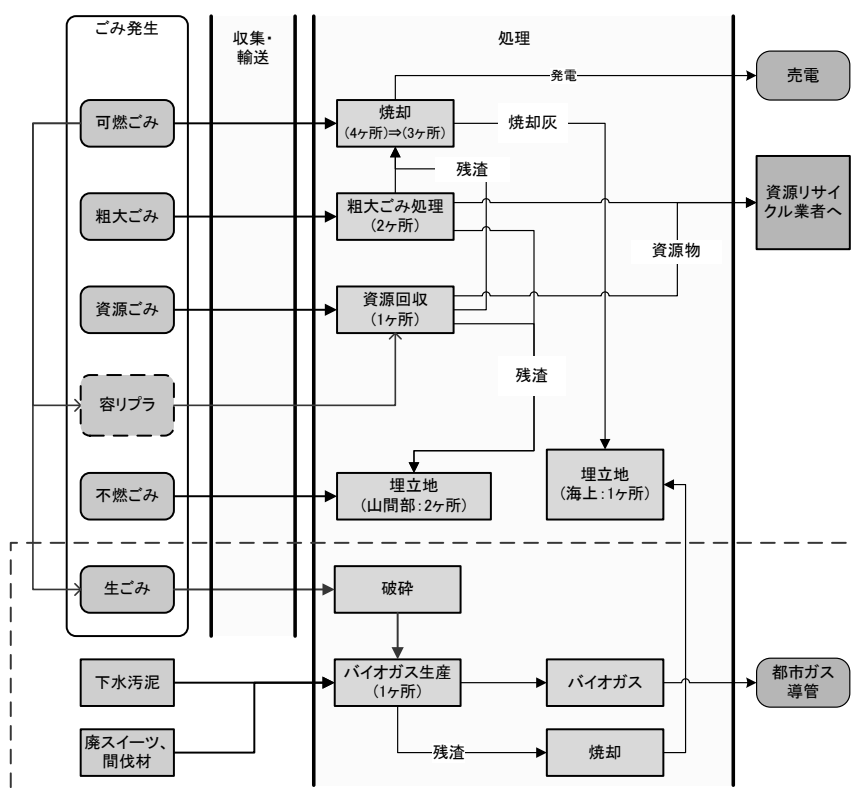


図-1 システム境界(点線の枠線内は、「分別+バイオ」シナリオで追加するプロセス)

っている。なお、東灘下水処理場では「KOBEグリーン・スイーツプロジェクト」を2012年度より開始しており、廃棄菓子と下水汚泥を混合させてバイオマス生産量を増加させるための実験を行っている。また同時に、下水汚泥からリンの回収実験も行っている。

(2) ごみ処理とバイオガス化施設を連携したシステムの環境影響評価

本稿では、2010-2035年度までの5年ごとにおけるごみ処理システムの評価を実施する。図-1に、本研究のシステム境界を示す。現在(2016年)は、図-1の点線の枠線外のフローで、ごみ処理が行われている。想定したシナリオは、現在(2016年)の評価が2035年度まで継続された場合(BaU)、2020年度に生ごみを分別収集および破砕後、下水汚泥と混合消化しバイオマスを生産、精製後に都市ガスに導管する事業が追加された場合(分別+バイオ)である。また、分別+バイオでは、各焼却施設で高効率発電を行うと想定する。シナリオ2の場合、図-1の点線内の枠線内のプロセスが追加される。また、各シナリオとも、2020年度に焼却施設を4ヶ所から3ヶ所に集約する。機能単位はごみ1tとし、収集・運搬、処理等に伴う環境負荷(CO₂, SO_x, NO_x, PM, 最終処分量)とエネルギー生産量を算出項目とする。対象とする環境影響項目は、地

球温暖化(CO₂)、酸性化(SO_x, NO_x)、都市域大気汚染(PM)、土地資源消費(最終処分量)である。

ごみ処理施設、バイオガス化施設等の稼働に伴うデータは、神戸市への聞き取り調査およびWeb調査により得た(データは2011年度の実績)。ごみおよび汚泥1t処理にかかるデータは、将来も変化しないと仮定した。主要なデータは、電気消費量、燃料・水・薬剤等の使用量、施設の建設費、残渣発生量、発電効率等である。これらのデータにMiLCA[®]、3EID[®]等に掲載されている環境負荷原単位を乗じることで、各プロセスの単位環境負荷排出量を算出した。これに、LIME Ver.2[®]の環境負荷別の統合化係数を乗じることで各環境影響項目を算出した。

2035年度までのごみ排出量は、社人研³⁾の神戸市の人口予測値に、同市の2014年度の一人一日あたりごみ排出量(856g)⁹⁾を乗じることで算出した。なお、2014年度の一人一日あたりごみ排出量は、将来も変化しないと仮定した。図-2に、人口とごみ排出量の将来の推移を示す。人口減少に伴い、2035年のごみ排出量は2010年比で約13%減少する。

(3) 家庭のエネルギー消費に関するアンケート調査

神戸市在住の市民を対象として、家庭で使用しているエネルギー消費機器43種類別の保有数量や使用時間等を

(カッコ内の数字は機器の数)

図-2 人口、ごみ排出量の将来の推移
(人口は社人研³⁾、ごみ排出量は筆者が推計)

図-3 調査画面
(機器ごとに、使用時間にチェックを入れる)

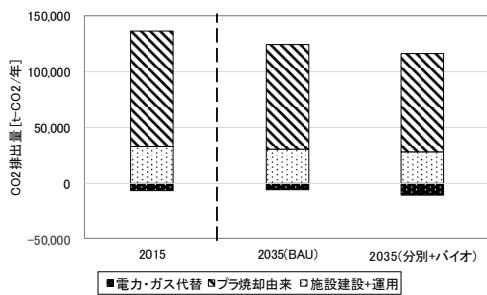


図-4 CO₂排出量の結果(2015年と2035年)

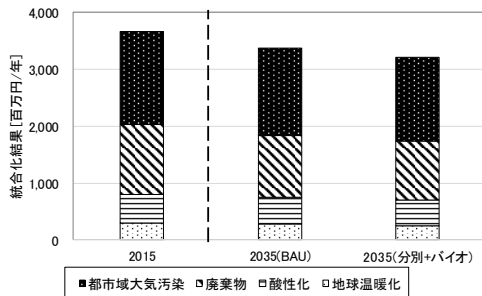


図-5 環境影響評価の結果(2015年と2035年)

(2) 家庭のエネルギー消費量

図-7に世帯人数・世帯主年齢別の1世帯あたりエネルギー消費量の推計結果(中央値)を示す。結果として、世帯人数が増えるほど、また世帯主年齢が上がるほど、エネルギー消費量が増加する傾向がみられた。世帯人数の増加は、エネルギー消費機器の保有数量や使用時間の増加に繋がるためと考えられる。エネルギー消費量が多いエネルギー消費機器についてみると、上位6品は給湯機(34.8%)、エアコン(11.7%)、ビルトインコンロ(8.7%)、IHクッキングヒーター(5.9%)、照明(4.8%)、温水便座(3.7%)であった。

上述の調査結果を元に作成したエネルギー消費原単位を表-2に示す。これを用いて神戸市の家庭全体のエネルギー消費量の将来推計結果を、図-8に示す。神戸市の世帯数は2020年を境に減少すること、2035年の世帯数は2010年比で約5%減少することが予測されている³⁾。これに伴い、エネルギー消費量も2020年を境に減少する。結果として、1人世帯は増加するものの、2035年のエネルギー消費量は、2010年と比べて約6.0%減少する結果となった。世帯主年齢別のエネルギー消費原単位を用いて同様の推計を行った結果、こちらも世帯数は減少するため、2035年のエネルギー消費量は2010年と比べて約4.4%減少した。2035年時点のエネルギー消費量を世帯主年齢別でみると、世帯主年齢70歳以上の世帯が、全体の30.3%を占めていた。2035年時点のエネルギー消費量に占める電力、ガス、灯油の割合は、それぞれ45.1%、33.5%、20.2%であった(残り1.2%はその他)。

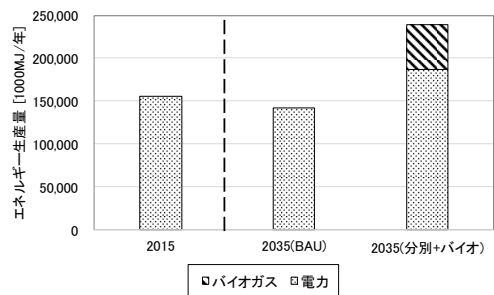


図-6 エネルギー生産量(2015年と2035年)

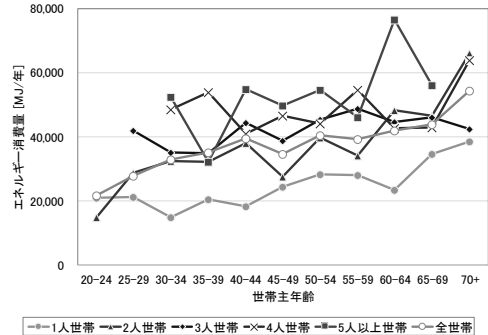


図-7 世帯主年齢別のエネルギー消費量

表-2 エネルギー消費原単位

(1)世帯人数	全世帯	39,640	3人世帯	41,650
	1人世帯	23,980	4人世帯	47,490
	2人世帯	39,680	5人以上世帯	53,910
(2)世帯主年齢	20-24	21,720	50-54	40,510
	25-29	27,760	55-59	39,170
	30-34	32,890	60-64	42,080
	35-39	35,060	65-69	45,320
	40-44	39,410	70+	54,240
	45-49	34,520		

単位: MJ/世帯・年

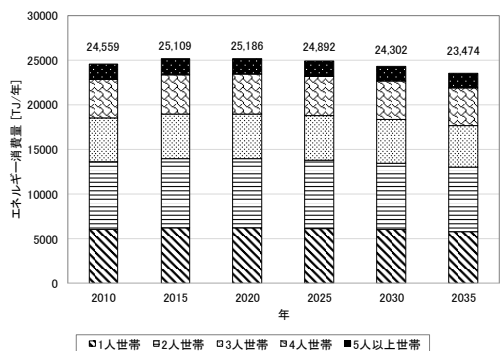


図-8 エネルギー消費量の変化

(3) エネルギー需要からみた供給の影響

以上の評価で得られたごみ処理とバイオガス施設の連携によるエネルギー生産量と家庭のエネルギー需要量をもとに、エネルギー供給の影響を考察した。まず、ガス

消費量をバイオガス生産量と比較すると、神戸市全世帯のガス消費量の約0.7%に相当することがわかった。同様に、電力消費量をごみ発電による電力生産量と比較すると、神戸市全世帯の電力消費量の約1.8%に相当することがわかった。これらの数値は決して大きいものではなく、化石燃料由来の温室効果ガス削減対策を実施する際のオプションの1つになりうるものの、ごみ由来の再生可能エネルギーのシェアの小ささを示している。自治体のごみ由来の再生可能エネルギーを推進していくのであれば、エネルギー生産量を如何に増加できるかを検討すべきである。そのためのごみ処理広域化は、有効であると考ええる。

また、高齢者が安全性の観点から電化住宅にリフォームする傾向があることを踏まえ、2010年～2035年までの間で、65歳の年齢に達した世帯主は電化住宅へのリフォームを選択すると仮定した場合の、エネルギー消費構造の変化を調べた。この際、リフォームを選択する世帯数をリフォーム対象世帯全体の0～90%とした場合の、エネルギー消費量を推計した。図-9は2035年時点におけるエネルギー消費量の結果である。リフォームを実施しない場合(0%)と比較して、リフォーム対象世帯全体の90%がリフォームした場合は、ガス消費量の割合は約25%減少することがわかった。但し、バイオガスによるガス代替への影響は少なく、高齢者世帯以外にも電化住宅が普及しない限りは考慮する必要はないといえる。

4. おわりに

本稿では、神戸市を事例として、生ごみの分別回収および下水汚泥との混合消化によるバイオガス生産の環境影響評価およびエネルギー生産量の評価を行った。また、生活形態を考慮した家庭のエネルギー需要量を算出することで、ごみ由来のエネルギー供給が家庭のエネルギー需要に及ぼす影響を考察した。ごみ処理事業や下水処理事業は、主に家庭を対象としたものであり、これらの事業から生産された再生可能エネルギーが生活に役立っているということを定量的に示すことは、自治体の実施事業を消費者に知ってもらううえで重要である。

また、今回の結果ではエネルギー供給の影響は小さいということがわかったが、もし、連携により再生可能エネルギーの生産を現状よりも拡大していくことを検討する場合は、縦割り行政の解消を含めて自治体全体での議論が必要である。その際、家庭のエネルギー消費構造を含むエネルギー消費量の将来変化を考慮して、どのような形態で再生可能エネルギーを普及促進していくべきかを議論することが肝要であると考ええる。

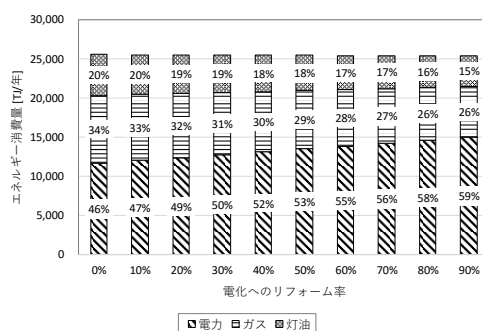


図-9 電化住宅へのリフォームによるエネルギー消費割合の変化(2035年時点における結果)

謝辞：本研究の一部は、環境研究総合推進費(3K143016)、三井住友海上福祉財団、JSPS科研費(JP16K12687)の助成を受けて実施した。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) Tabata, T., Tsai, P.: Heat Supply from Municipal Solid Waste Incineration Plants in Japan: current situation and future challenges, *Waste Management & Research*, Vol.34, No. 2, pp.148-155.
- 2) 石田 貴：下水処理場へのバイオマス(生ごみ等)受け入れマニュアルの概要，月刊下水道，Vol.34，No.13，pp.54-58，2011.
- 3) 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（平成 25（2013）年 3 月推計），2013，<http://www.ipss.go.jp/pp-shicyoson/j/shicyoson13/t-page.asp>.
- 4) 環境省：平成 26 年度一般廃棄物実態調査結果，2016，http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/stats.html.
- 5) 神戸市：神戸市東灘処理場の概要，2014，<http://www.city.kobe.lg.jp/life/town/waterworks/sewage/higashinada-gaiyo.html>.
- 6) 産業環境管理協会：MiLCA，2015，<http://www.milca-milca.net>.
- 7) 国立環境研究所：産業関連表による環境負荷原単位データブック(3EID)，2013，<http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/>.
- 8) 伊坪ら：LIME2—意思決定を支援する環境影響評価手法，産業環境管理協会，2010.
- 9) 神戸市：平成 26 年度版神戸市一般廃棄物処理基本計画，2015，<http://www.city.kobe.lg.jp/life/recycle/environmental/26nenndonenzirepo-to.pdf>.

(2016.8.26 受付)

ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF BIOGAS SUPPLY DERIVED FROM KITCHEN WASTE CONSIDERING RESIDENTIAL ENERGY DEMAND

Tomohiro TABATA, Takuto INABA and Peii TSAI

In this paper, we discuss the relationship between the supply of electricity and biogas from a municipal solid waste (MSW) management system and the demand for electricity and heat by residents. Firstly, we conducted an environmental impact assessment of the MSW management system in combination with biogas production from sewage sludge in the city of Kobe, Japan, including an evaluation of electricity and biogas production in these systems. Secondly, we conducted a survey in questionnaire format on the usage time and quantity of energy consumption equipment, relevant to Kobe's residents. Then, we calculated the rate of energy consumption for each household type.

We estimated the projected supply of electricity and biogas and demand for electricity and heat by combining the evaluation results with the projected population and number of households. We also discuss the impact of the supply of electricity and biogas from the MSW on the demand for residential electricity and heat.