

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—

田中 慧悟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 大学院工学院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)
E-mail: tanaka@kanri-er.eng.hokudai.ac.jp

²正会員 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: k-ishii@eng.hokudai.ac.jp

⁴非会員 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: tanikawa@eng.hokudai.ac.jp

近年、生ごみや下水汚泥等の廃棄物系バイオマスの利活用が推進されており、エネルギー回収可能なバイオガス化システムの普及が期待されている。しかし、中小自治体が多い道内で廃棄物系バイオマスを個別処理するのではスケールメリットが得られず採算がとれないという問題がある。そこで本研究は、地域で発生する生ごみや下水・し尿汚泥を下水・し尿処理場に集約し、スケールメリットを生かした混合バイオガス化システムの普及可能性について検討するため、道内の下水・し尿処理場へのアンケート調査を行った。これより、下水・し尿汚泥のエネルギー資源としての利用意向や、混合バイオガス化に対する意向や課題を明らかにした。さらに、消化槽の余裕分に生ごみを投入した場合のバイオガス発生増加量や生ごみリサイクル率の向上に関する効果を示した。

Key Words : cofermentation, sewage sludge, kitchen waste, questionnaire survey analysis

1. 序論

(1) 研究背景

大量生産、大量消費、大量廃棄の社会は、環境汚染や資源枯渇といった環境問題を深刻化させた。そこで、廃棄物の発生を抑制し、資源を有効利用する循環型社会の構築が進められてきた。2007年には「21世紀環境立国戦略」が閣議決定され、「低炭素社会」、「循環型社会」、「自然共生社会」の3つの社会の統合化を進めていくことにより地球環境の危機を克服する持続可能な社会を目指した取り組みが進められている¹⁾。この一環として、バイオマスの利活用の推進や、再生可能エネルギーの普及のための様々な取り組みが行われてきている。

バイオマスの利活用の技術は対象とするバイオマスの種類により様々なものがあるが、その中でも地球温暖化を背景に、家畜ふん尿、下水・し尿汚泥、生ごみ等の廃

棄物系バイオマスからエネルギーを回収するバイオガス化が注目されている。これは廃棄物の適正処理技術であることと同時に、バイオガスをエネルギーとして利用できるため、地球温暖化の抑制や、循環型社会の構築に寄与するという2つのメリットを併せ持つことから、今後事業として普及することが期待されている。しかし、道内では中小自治体が多く、バイオマスを単独で事業化するのには、スケールメリットが得られず、採算をとることが困難であるため、地域で発生する廃棄物系バイオマスを集約し、スケールメリットを生かした混合バイオガス化システムの導入が期待されている。また、混合バイオガス化システムの事業化の方法としては、下水・し尿処理場における集約処理や、生ごみバイオガス化プラントによる集約処理が考えられるが、本研究では、下水汚泥のエネルギー利用が下水道処理施設での地球温暖化対策のため推進されていることと、現行のし尿処理施設では、

老朽化や広域化が課題となっており、汚泥再生処理センターへの更新が今後進められると考えられるという点に着目し、下水・し尿処理場における生ごみとの混合バイオガス化システムの普及の観点から研究に取り組むこととした。

(2) 目的

本研究では、道内の下水・し尿処理場における生ごみとの混合バイオガス化システム（以下混合バイオガス化）の普及可能性を検討するため、1)アンケート調査を行い、混合バイオガス化導入の意向と導入の際の課題を明らかにする。2)混合バイオガス化の意向のある施設と、既存の消化槽の余力を用いた混合バイオガス化の導入効果について明らかにすることとした。

2. 下水・し尿汚泥、生ごみのリサイクルの現状

(1) 下水汚泥・し尿汚泥⁴⁾

下水汚泥は下水道の普及率が高くなるにつれて発生量は年々増加しており、平成19年度の道内の下水汚泥発生量は発生時乾燥量ベースで年間約 138.3千t-ds である³⁾。また、51.1%が建設資材として、34.5%が緑農地利用されており、残りは主に埋立処分されている。下水汚泥は大きなエネルギーポテンシャルを有しているが、エネルギーとしての利用率は低く、道内における消化槽を有し、バイオガスを回収している処理場は22か所である。また、下水処理施設では処理過程において多くの電力を消費しており、大量の温室効果ガスを排出していることから、消化槽の導入または既存の消化槽による消化ガスの有効利用等の取組が重要であると考えられる。

そこで、下水汚泥のバイオマスとしての利活用の推進のために国交省による助成制度として、平成15年にバイオマス利活用事業が新世代下水道支援事業に加わった³⁾。これは、下水汚泥とその他のバイオマスを下水汚泥処理施設において集約処理し、回収したメタンガスを処理場内で活用するものであり、下水汚泥とその他のバイオマスを共同処理する施設が助成の対象となった。これより、生ごみなどのバイオマスを集約処理する汚泥処理システムを推進することで下水処理場における汚泥のエネルギーとしての利活用が進むものと考えられる。

また、し尿汚泥については、道内における発生量は年間約90万tであるが、堆肥化等の利活用率は35%と低い。さらに、現在のし尿処理場は施設の老朽化が課題となっており、今後施設更新の際に、環境省による助成の対象である汚泥再生処理センターへの更新が考えられる。

(2) 生ごみ

道内における生ごみ発生量は、生活系・事業系生ごみ合計で年間約71万t発生しているが、その内リサイクルされている生ごみ量は年間4.7万tであり、資源化率は7%と低い⁴⁾。また、生活系生ごみの資源化は道内180市町村のうち73市町村で実施されているが、小規模市町村の取り組みが多く、その対象人口は道内人口の約1割にすぎず、札幌市、北見市(一部)を除く人口5万人以上の13市では焼却や埋立によって処分されている⁵⁾。

(3) 混合バイオガス化の事例

a) 珠洲市⁶⁾

珠洲市では、「珠洲市・バイオマスエネルギー推進プラン」と銘打ち、下水汚泥をはじめとする地域のバイオマス5種類を一括混合処理する「複合バイオマスメタン発酵施設」の取り組みにより、平成19年8月に稼働を開始した。この施設は、下水道処理場内に設置され、下水汚泥、生ごみ、農集排汚泥、浄化槽汚泥、し尿を集約混合処理するものであり、処理の過程で発生するバイオガスはエネルギーとして場内で全量有効活用し、処理残物である消化汚泥は乾燥・肥料化し、緑農地還元している。この事業は、国土交通省新世代下水道支援事業制度における未利用エネルギー活用型の補助を受け、さらに、環境省の循環型社会形成推進交付金の適用も受けており、全国初の国土交通省と環境省の連携事業の事例である。

b) 西天北クリーンセンター

西天北クリーンセンターは、西天北五町衛生施設組合によって2003年4月に汚泥再生処理センターとして供用を開始し、し尿汚泥、浄化槽汚泥、生ごみ、下水汚泥を一括処理している。発生したバイオガスは、設内の蒸気ボイラの燃料として有効活用され、副生成物である消化液は液肥として、脱水汚泥は乾燥後に堆肥として利活用されている。また、事業化の際は、環境省による助成制度である廃棄物処理施設整備費補助金を利用した。

3. アンケート調査による下水・し尿処理場の混合バイオガス化導入の意向の分析

(1) アンケート調査

a) 目的

道内の下水・し尿処理場における混合バイオガス化に対する意向や現在の汚泥処理の現状を明らかにし、普及の方向性を示すことを目的としアンケート調査を行った。

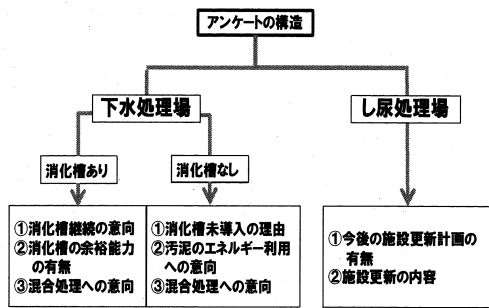


図-1 アンケートの構造

表-1 処理規模別施設数

処理規模（千 m^3 /日）	消化槽無	消化槽有
1-5	84	0
5-10	8	2
10-20	9	3
20-50	1	6
50-100	1	4
100-	8	1
合計	111	16

b) 対象

アンケート対象は、道内の下水処理場、及びし尿処理場とした。

c) 方法

道内の下水処理場を有する130市町村、し尿処理場を有する市町村または組合54施設に対し返信用封筒を同封し、アンケート票を郵送した。アンケートは平成22年1月11日に発送し、回収率を高めるため1月16日には感謝状と督促状を兼ねたはがきを送付した。

d) 内容

アンケート票は、図-1のように、下水処理場とし尿処理場ごとに調査項目を作成し、汚泥処理の現状や混合バイオガス化への意向を調査した。

e) 回収率

アンケートの回収率は以下に示す通りとなった。

下水処理場…送付数130通のうち回答95通、回収率73%

し尿処理場…送付数54通のうち回答23通、回収率43%

(2) 下水処理場の現状

a) 処理規模と消化槽の有無

表-1にアンケートで回答の得られた処理場の処理規模別処理場数と消化槽の有無について示す。処理規模が1～5（千 m^3 /日）の処理場が大半を占めていた。

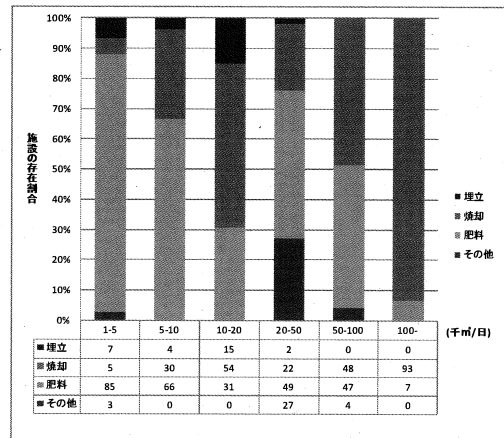


図-2 処理規模別汚泥処理方法の割合

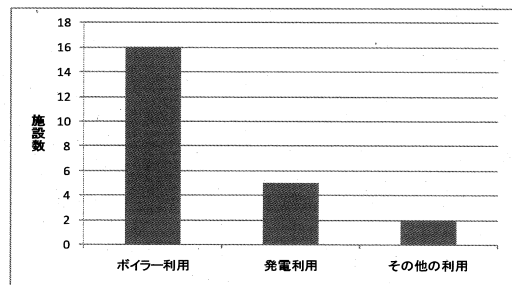


図-3 バイオガスの利用用途

また、消化槽は処理規模が10～100（千 m^3 /日）の処理場で主に採用されているという傾向があった。この処理規模別施設数と消化槽の有無の施設分布の関係は全国傾向とほぼ一致していた。

b) 処理規模別の汚泥処理の状況

図-2に処理規模別の脱水汚泥処理・リサイクル方法の割合を示す。処理規模が1～10（千 m^3 /日）の施設では汚泥は主に肥料原料・コンポストとしてリサイクルされている。また、大規模処理場では焼却処理が中心であることが分かった。

(3) 消化槽を有する下水処理場の現状

a) バイオガスの利用用途

図-3にバイオガスの利用用途について示す。消化槽を有する処理場は16施設から回答を得た。16施設すべてがボイラによる消化槽の加温や施設の暖房による利用を行っており、そのうち4施設が発電による電力を施設内で利用していた。また、汚泥焼却炉の燃料、汚泥乾燥機の燃料としてバイオガスを利用している施設もあった。

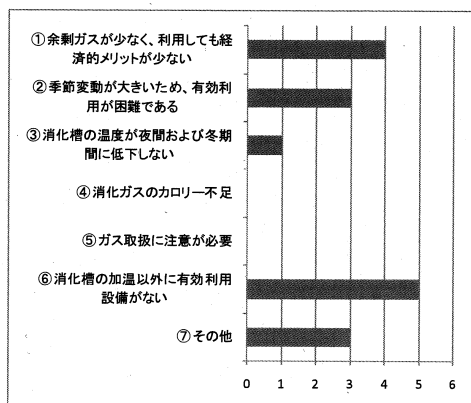


図-4 余剰ガスが発生する理由

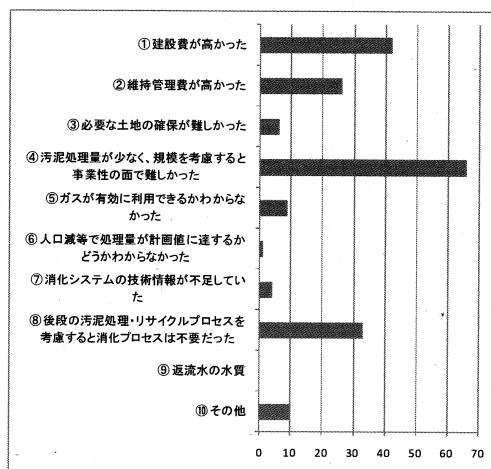


図-6 消化槽を導入しなかった理由

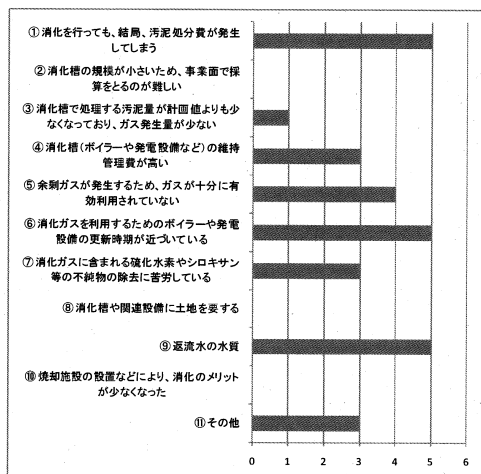


図-5 消化槽を用いた汚泥処理の課題

表-2 消化槽の余裕能力の割合

	消化槽の余裕能力の割合 (%)
A市	15.3
B町	27
E市	4.1
F市	49
H市	19.6
I市	32
KH市	31
K市	27
M市	55
N市	33
O市	40.7
SB市	23
S町	35
T市	25.8
平均	29.7

b) 余剰ガス

図-4に余剰ガスが発生している10施設における、余剰ガスが発生する理由を示す。⑥消化槽の加温以外に有効利用設備がない、という回答が多く、ボイラ以外の発電設備が無く、ガスが有効に利用されていない施設が多いことがわかった。また、①余剰ガスが少なく、利用しても経済的メリットが少ない、という回答も多かった。その他の理由としては、ガスエンジンの不具合、等の回答があった。

c) 消化槽を用いた汚泥処理の課題

図-5に消化槽を用いた汚泥処理の課題について示す。回答が多かった項目としては、①消化を行っても汚泥処分費が発生してしまう、⑥消化ガスを利用するためのボイラや発電設備の更新時期が近づいている、⑨消化による返流水の水質、等が挙げられた。

d) 消化槽の余裕能力

現在の消化槽の能力について調査したところ表-2に示すように14施設において消化槽に余裕能力があることがわかった。また、各施設の消化槽の余裕能力の割合を調査したところ平均で約30%の余裕能力があることがわかった。

(4) 消化槽が無い処理場の現状

a) 消化槽を導入しなかった理由

図-6に消化槽を導入しなかった理由についての調査結果を示す。④汚泥処理量が少なく、規模を考慮すると事業性の面で難しかった、①建設費が高かった、という回答が多く、消化槽がない施設は小規模な施設が多いため、規模などの問題から消化槽を導入できなかったと考えられる。

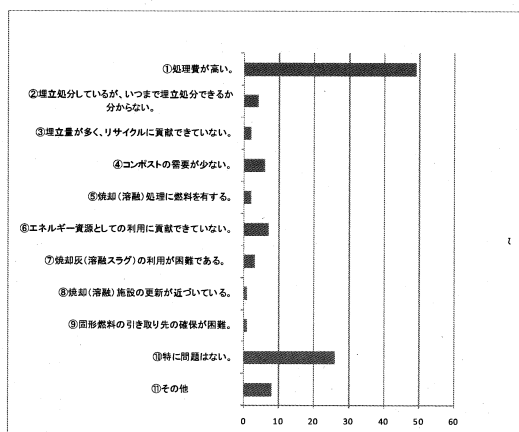


図-7 汚泥処理の課題

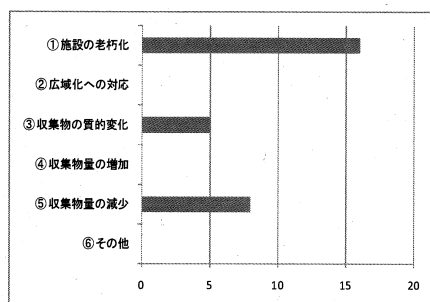


図-8 施設における問題点

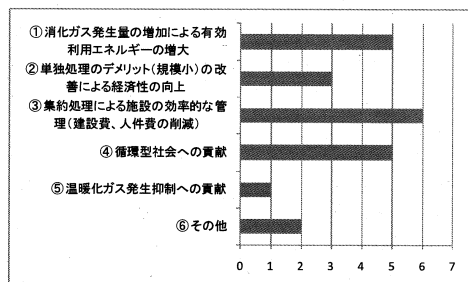


図-9 混合バイオガス化に期待するメリット

b) 汚泥処理の課題

図-7に汚泥処理の課題についての調査結果を示す。①処理費が高い、という回答が圧倒的に多く、多くの施設が汚泥処理の事業面に課題を抱えているということが明らかになった。

(5) し尿処理場の現状

a) 施設における問題点

図-8に施設における問題点についての回答結果を示す。施設の問題点としては、老朽化がほとんどの施設におい

て課題となっており、今後施設の更新が必要となると考えられる。また、収集物量の減少という回答も多く、理由としては、人口減や下水道の普及により処理汚泥量が少なくなったことが考えられる。

(6) 混合バイオガス化の導入意向と課題

a) 消化槽が無い下水処理場

消化槽がない下水処理施設では回答を得た全ての施設で下水汚泥のエネルギー利用の意向はなく、消化槽を新たに導入する混合バイオガス化への意向も無いことがわかった。その理由としては、施設で処理する汚泥量が少なく、事業面で難しいことが考えられる。以上より、消化槽が無い処理場における混合バイオガス化導入の際の課題については回答が得られず、これらの施設における混合バイオガス化の普及は困難であると示唆された。

b) 消化槽を有する下水処理場

消化槽を有する下水処理施設16施設において、混合バイオガス化の導入の意向について調査したところ、KH市、E市の2施設において混合バイオガス化の意向があった。また、残りの14施設においては今後も下水汚泥のみの処理を行うという回答を得た。

図-9に混合バイオガス化の意向の無い施設を対象に、どのようなメリットがあれば導入を検討するか調査した結果を示す。③集約処理による施設の効率的な管理、という回答が多く、集約処理によるスケールメリットを生かした事業面の向上が望まれていることがわかった。

また、図-10に混合バイオガス化検討の際の技術的課題の調査結果を示す。技術的課題としては、④生ごみ中の異物の除去、の回答数が最も多く、⑨汚泥の性状変化による脱水性の悪化、⑪汚泥量増加による汚泥処理費の増加、⑦臭気対策の回答数も多かった。

図-11に混合バイオガス化検討の際の社会的課題の調査結果を示す。社会的課題としては、①混合処理による費用対効果、④生ごみ分別の実行可能性の回答数が多く、下水処理施設では、主に事業面と生ごみの分別可能性が課題として考えていることがわかった。

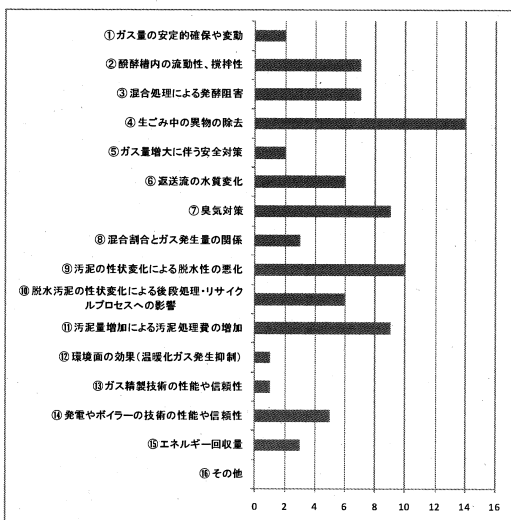


図-10 混合バイオガス化検討の際の技術的課題

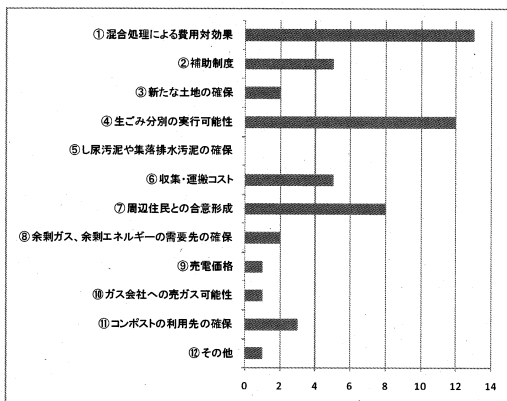


図-11 混合バイオガス化検討の際の社会的課題

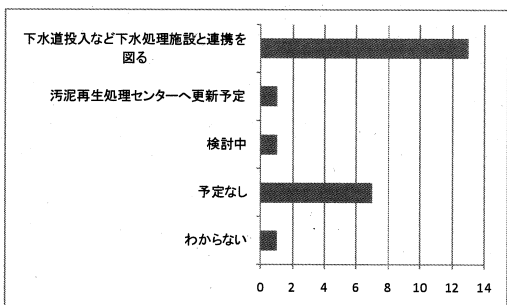


図-12 施設更新の予定

c) し尿処理場

図-12に今後の施設更新の予定についての調査結果を示す。回答を得た23施設のうち、し尿・浄化槽汚泥の下水道投入などで下水処理施設と連携を図る（既に投入済みを含む）施設は13施設と半数以上を占め、施設自体を廃止し下水道へ投入する施設は4施設あることがわかった。

し尿処理施設では、施設の老朽化が多く処理場で課題となっており、汚泥再生処理センターへの更新による生ごみとの混合バイオガス化が考えられるが、調査の結果、農集排汚泥を受け入れ堆肥化を行う汚泥再生処理センターへの更新を検討中という処理施設が1件あるのみで、生ごみとの混合バイオガス化の意向のある施設はなかった。これより、し尿処理施設におけるメタン発酵槽導入による混合バイオガス化システムの普及は困難であると示唆された。また、し尿・浄化槽汚泥の前処理のみを行い下水道へ投入や、施設を廃止し下水処理場で混合処理を行うという施設が、回答を得た処理場の半数以上を占めており、今後のし尿・浄化槽汚泥の処理の方向性としては、下水処理場における混合処理等が考えられる。

4. 消化槽の余裕能力を利用した混合バイオガス化システムの効果

(1) 計算方法

a) 各市町村における生ごみ排出量の算出

消化槽の余力があり、生ごみの資源化がされていない自治体10施設において、地域で発生する生ごみ発生量を環境省の平成19年度一般廃棄物処理事業実態調査を用いて、生活系ごみ、事業系ごみの計画収集量の合計から直接資源化量を差し引き、33.2%を掛けて算出した⁷⁾。

b) 消化槽の生ごみ投入可能量の算出

消化槽の余裕能力と消化槽投入濃縮汚泥のVS(有機物量)を用いて有機物負荷換算により生ごみの投入可能量を算出した。VSについて回答が得られなかった施設においては、回答を得られた施設におけるVS、TS(全固形物量)の平均値(VS=82.8%、TS=3.42%)を用い、生ごみ1t当たりのTS、VSはそれぞれ文献値(TS=22%、VS=20%)を用いて算出した⁸⁾。

c) バイオガス発生量の算出

生ごみ1t当たりのバイオガス発生量は140m³/tとして計算した。また、KH市においてはヒアリング調査による120m³/t⁹⁾という値を用いて算出した。

(2) 結果と考察

a) 混合バイオガス化処理の意向のある施設

表-3に生ごみ混合バイオガス化の意向のあった2施設

表-3 混合バイオガス化の意向のある処理場における
生ごみ投入予定量とバイオガス発生推測値

市町村	人口(千人)	生ごみ投入予定量 (t/年)	混合後バイオガス発生量の推測値(万m ³ /年) (): 現状の発生量に対する割合(%)
KH市	60	5110	141(177)
E市	68	4052	180(146)
合計	—	①=9162	②=321

表-4 消化槽の余裕能力を用いた場合の生ごみ投入
可能量とバイオガス発生推測値

市町村	人口 (千人)	消化槽の 余裕能力 (%)	生ごみ投入可能量 t/年 (): 生ごみ発生量 に対する割合(%)	混合後バイオガス 発生量の推測値 万m ³ /年 (): 現状の発生量 に対する割合(%)
A市	350	15	5524(13)	315(133)
H市	284	20	5040(13)	296(131)
T市	173	26	7093(27)	338(142)
O市	167	41	4583(27)	126(204)
K市	126	27	6513(41)	256(155)
M市	95	55	12785(100)	293(257)
I市	91	32	3716(31)	144(157)
N市	31	33	1408(38)	49(168)
S町	26	35	1096(37)	39(166)
B町	22	27	927(37)	39(149)
合計	—	—	③=48686	④=1894

における生ごみ投入予定量と混合後のバイオガス発生量を示す。KH市とE市の2施設における生ごみ投入予定量はKH市14 t/日、E市11.1 t/日であり、2施設における混合バイオガス化によるバイオガス発生量を算出した結果、混合後のバイオガス発生量はKH市において141(万m³/年)で現在の1.7倍、E市において180(万m³/年)で現在の約1.4倍となった。

b) 混合バイオガス化処理の意向のない施設

表-4に消化槽の余力があり、地域の生ごみが資源化されていない下水処理施設における混合バイオガス化を導入した場合の生ごみ投入可能量とそれに伴うバイオガス発生量を示す。各施設における生ごみ投入可能量の合計は約4.8万 t となり、混合後のバイオガス発生量の推測値の合計は約1894万m³/年となった。

(3) まとめ

混合バイオガス化システムを導入した場合、混合バイオガス化の意向のある2施設と余裕能力を用いた場合の生ごみの年間消化槽投入量は約5.8万 t/年(表-3の①+表-4の③)となり、道内の生ごみ資源化率を7%(H19年度実績)から14.8%まで向上させる効果があることがわかった。これより、今後道内において混合バイオガス化を

推進していく場合、消化槽の余裕能力を利用する混合バイオガス化が一つの方向性として考えられることが示された。

また、生ごみと混合することにより発生するバイオガス量と現在のガス発生量との合計は2215万m³/年(表-3の②+表-4の④)となり、混合バイオガス化システムによりバイオガス発生量は現在の1.65倍となると推測された。このバイオガス発生量の増加により下水処理施設の購入電力量や購入重油量の削減につながるものと考えられる。

5. 結論

下水・し尿処理場の消化槽やメタン発酵槽を用いた混合バイオガス化導入の意向を明らかにした。また、消化槽を用いた混合バイオガス化システムの導入のための課題を明らかにした。

消化槽の余力を用いた混合バイオガス化システムを推進した場合、道内の生ごみ資源化率の7.8%上昇を見込めること、また約1.65倍のバイオガス回収により施設の購入電力や重油量の削減につながるという効果を示した。

参考文献

- 1) 環境省HP：21世紀環境立国戦略
http://www.env.go.jp/guide/info/21c_ens/index.html
- 2) 北海道：平成19年度 下水汚泥処分状況, 2008.
- 3) 国交省HP：新世代下水道支援事業制度の活用
<http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewerage/rocal/sinsedai.html>
- 4) 北海道循環型社会形成推進基本計画素案, 2008.
- 5) 北海道環境生活部環境局循環型社会推進課：生ごみリサイクル実態調査結果, 2006.
- 6) 日本下水道協会HP：エネルギーサイクルのススメ
<http://www.jswa.jp/energy/>
- 7) 環境省：平成19年度一般廃棄物処理事業実態調査, 2007.
- 8) 奥野芳男：生ごみ・食品廃棄物の無希釈二相循環式メタン発酵技術, 環境技術, No.12, pp34, 2009.
- 9) 北海道北広島市ヒアリング

**BIOGASIFICATION Systems by Cofermentation of Kitchen Waste and Sewage Sludge
- ITS SPREAD POSSIBILITY IN SEWAGE TREATMENT PLANTS OR NIGHT-SOIL
TREATMENTS PLANTS IN HOKKAIDO USING QUESTIONNAIRE SURVEY -**

**Keigo TANAKA, Tooru FURUICHI, Kazuei ISHII,
Noboru TANIKAWA**

In recent years, utilization of biomass such as sewage sludge and kitchen waste has been promoted. Of technologies for biomass utilization, biogasification is promising because it is used for energy recovery from it. In Hokkaido having a lot of small- or middle-sized cities and towns, if each biomass is separately treated, it is difficult to develop profitable biogasification systems because of too small-scaled plant. This study conducted questionnaire survey analysis for sewage treatment plants or night-soil treatment plants in Hokkaido to examine possibility of a larger -scaled biogasification system by cofermentation of kitchen waste and sewage sludge in a region. The current situation of recycling of sewage sludge, future possibility of sewage sludge utilization as energy resource and possibility of cofermentation of sewage sludge with kitchen waste were clarified. In addition, the amount of biogas generation and recycling rate of kitchen waste were estimated when remaining capacity of anaerobic digesters was used for treatment of kitchen waste.