

課題名 RFe-1101 観光客参加型食べ残しメタン発酵温泉エネツーリズムの構築のための研究

課題代表者名 多田 千佳 (東北大学農学研究科環境システム生物学分野、准教授)

研究実施期間 平成23～24年度

累計予算額 13,736 千円 (うち24年度6,105千円)

本研究の キーワード 温泉、食べ残しゴミ、メタン発酵、液肥利用、エネツーリズム

研究体制

- (1) 温泉熱を利用したメタン発酵システムの高効率化の検討(東北大学農学研究科)
- (2) 観光客参加型生ゴミ回収・処理システムの構築(東北大学農学研究科)
- (3) メタン消化液の効率的な利用(東北大学農学研究科)
- (4) 温泉地域へのエネツーリズムのシステム評価とそれに基づいた感度分析(東北大学農学研究科)

研究協力機関

大崎市、鳴子まちづくり株式会社

研究概要

1. はじめに(研究背景等)

本研究は、持続可能な社会構築の上で、必要な環境負荷低減、個人の環境意識を変えることを目的にしている。持続可能な社会に必要な経済性発展を可能にするため、地域活性化を目的に、農村地域かつ過疎化地域の温泉地を対象に、温泉熱を利用した生ゴミのメタン発酵を行うものである。また、メタン発酵に必要な原料は、温泉旅館から排出されるものを利用する。温泉旅館などの宿泊施設から排出される生ゴミは一般家庭の3倍以上となっており、日本全体で21万トン/年が発生し、廃棄物由来CO₂の約0.6%にあたる。本研究では、これらの生ゴミを観光客自らが、メタン発酵装置へ持ってくる新しいシステムを提案している。温泉熱利用と観光客参加型の原料運搬を可能にすることで、これまで困難とされていたメタン発酵の小規模化が可能になり、これにより、全国500以上の温泉地に本システムを導入することが可能になる。メタン発酵は、自然の現象を活用した最もシンプルなバイオマスエネルギー回収方法ではあるが、日本での普及は、大規模システムに限られている。本研究によって、より安価で簡便で、且つ効果的なバイオマスエネルギー回収方法を全国の温泉地に定着させ、日本からの二酸化炭素排出量の軽減、また、観光地活性化による地域の経済性の活性化、個人の環境教育が可能となり、日本独自の持続可能な社会構築に大きく貢献するものである。また、本研究では、ライフサイクルアセスメントや経済性についても、実データに基づいた評価を行い、正確な環境負荷低減について評価を行うとともに、確実に低炭素社会構築に寄与することが期待される。

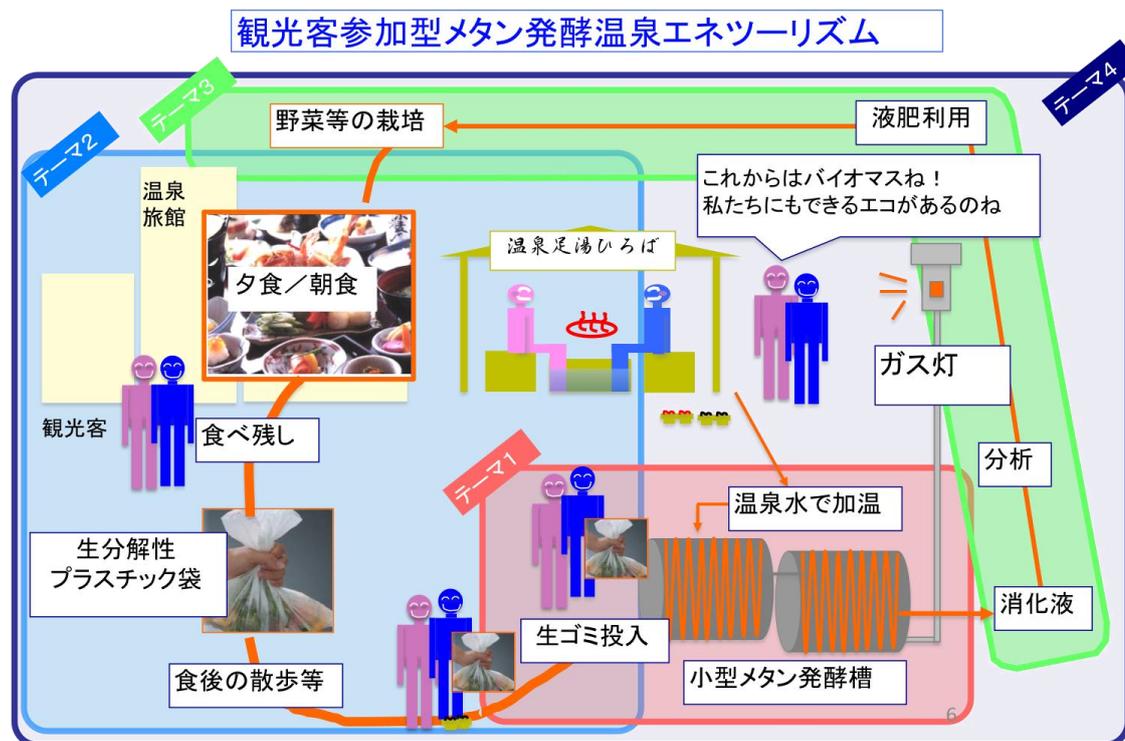


図1 研究全体の概要と4つのテーマ

2. 研究開発目的

本研究の目的は、温泉地域での生ゴミの資源化のために小規模のメタン発酵システムの導入を検討する。それには消費エネルギーを含む環境負荷を低減することが不可欠であり、これを①加温に必要なエネルギーを温泉の熱を利用すること、②運搬に必要なエネルギーは観光客が観光の一環として生ゴミの運搬に取り組めるようなシステム作り、および③発酵残さであるメタン消化液を積極的に利用することによって達成することを試みる。さらに、その導入から運用まで地域内で協議しながら実規模でおこない、④環境負荷や経済性をモニタリング・評価することで温泉地への小規模メタン発酵システムの導入を核とした低炭素観光(=エネツーリズム)の確立を目指す。

3. 研究開発の方法

(1) 温泉熱を利用したメタン発酵システムの高効率化の検討

温泉熱を利用したメタン発酵システムの効率化をめざし、温泉温度によるメタン発酵特性および生ゴミ回収に利用する紙袋および生ゴミの投入量や投入方法の検討を行い、生ゴミによる効率的なメタンガス回収条件を決定する。また、発酵ガスの燃焼・安全に十分配慮しつつ研究を推進する。

(2) 観光客参加型生ゴミ回収・処理システムの構築

○旅館での食べ残し実態調査、○観光客の食べ残しに対する意識および行動調査、○観光客、旅館、周辺住民のメタン発酵に対する意識調査、○観光客参加型メタン温泉エネツーリズム協議会の設立を行い、観光客による食べ残し運搬システムの最適化を行う。

(3) メタン消化液の効率的な利用

メタン消化液の液肥利用のために、消化液の化学的組成の分析、および、施用する土壌条件に基づき効率的に利用するための条件について栽培試験等を行って解明する。さらに、温泉地域の宿泊施設で出す野菜等に用いることで観光客に循環を理解してもらうことで、エネツーリズムの促進を図る。

(4) 温泉地へのエネツーリズムのシステム評価とそれに基づいた感度分析

本システムの温泉地への導入に際しての経済性評価、環境負荷について評価を行い、様々な温泉地への適用に向けて、規模や参加人数などの感度分析を行う。

4. 結果及び考察

(1) 温泉熱を利用したメタン発酵システムの高効率化の検討

温泉熱を活用した小型メタン発酵システムは、350Lの反応槽2槽を接続し、源泉温度80℃の温泉水で、目標温度である55℃への加温およびその維持が、季節を問わず可能であることが明らかになった。

また、本システムにおいて、食べ残しゴミを紙袋に詰めた状態のまま無粉碎で原料投入し、55℃、水理的滞留時間（以後 HRT）10日で運転する条件を行った。また、旅館での食べ残し実態調査結果から、1人あたりの食べ残し発生量を300g、原料のTS濃度を10%程度とした。原料 3kg/日（約10人分の食べ残し量）で、メタン変換収率87%を達成した。このときのバイオガス生成量は約300Lであり、ガス灯2時間20分を点灯することが可能なガスを得ることが可能になった。また、その後、2倍の負荷量に上げて、プロジェクト終了時には、一日約600Lのバイオガスを得られるようになった。

(2) 観光客参加型生ゴミ回収・処理システムの構築

宮城県大崎市鳴子温泉にある4ヶ所の旅館で食べ残しの実態調査を行った。旅館規模は収容人数が35人から113人の小中規模であった。その結果、一人あたりの食べ残し量は朝食と夕食を合わせて、約300g/人であることが明らかになり、その構成物の約半分はご飯であることが明らかになった。これにより、C/N比に換算すると、9.2から39.0の範囲であり、平均は20.8であった。メタン発酵に適したC/N比は15から25とされており¹⁰⁾、食べ残しゴミは利用可能な原料であることが明らかになった。観光客の意識調査では、アンケートの回答を20代から70代以上の各年代からバランスよく回収でき、温泉旅館で出る食事を残したことがあるか？という質問では、全体の79.3%の人が残したことがあると回答した。食べ残しゴミの望ましい処理は？という質問では、全体の53.8%が堆肥、次いで36.5%がエネルギーと回答した。本研究のメタン発酵システムの原料収集に関する質問項目である、C:食べ残しを自分で紙袋につめるか？については、全体の78.0%がつめると回答した。D:食べ残しを自分で持っていか？については、全体の72.0%が持っていかると回答し、歩いて平均6.9分先のところまで、持っていかると回答であった。続いて、本エネツーリズムに参加者からのアンケート結果では、「またやってみたい」が91.2%とほとんどの人が答えた。また、この試みによって、エネルギーに対する関心が高まったという回答も88.2%と、これらの結果より、本エネツーリズムが、非常に環境教育効果が高いことが明らかとなった。

(3) メタン消化液の効率的な利用

消化液に含まれる窒素、リン酸、カリウムについて分析した結果、窒素は、従来の生ゴミのものより約2倍、リン酸は少なく、カリウムは半分含まれていた。消化液の採取日ごとに要素に大きな変動はなく安定して液肥として利用可能であると考えられた。また、試験当初の消化液では、メタン発酵の良好な発酵のために利用していたpH調整剤によるEC(電気伝導度)が高くなり、水耕栽培への直接利用では、コマツナ栽培に悪影響があった。しかし、施設圃場における栽培試験では、希釈による利用で阻害はなくなった。さらに、メタン発酵における運転条件を変更し、pH調整剤を使用しなくなったことで、ECが格段に改善し、EC 6 mS/cmとなった。これにより、通常の土壌施用であれば、中程度以上の塩耐性を持つ作物栽培に利用可能であることが示唆された。

(4) 温泉地域へのエネツーリズムのシステム評価とそれに基づいた感度分析

本システムの環境負荷は、初期投資に年間4.53GJ/年(15年償却)、運転に年間2.24 GJ/年のエネルギー消費があり、温室効果ガス発生は0.692 tCO₂/年になった。しかし、メタンガス利用-3.8GJ/year, 消化液の利用-6.59 GJ/year, 食べ残し利用-1.41 GJ/yearとなり、温泉熱によるボイラー代替効果-1290 GJ/yearを合わせると、温泉メタン発酵では、エネルギー生産等が大幅に上回り、環境負荷削減効果が高いことが明らかになった。

次に、このシステムを鳴子温泉郷に分散的に69台導入した場合と、それ全体相当の大規模システム1台を導入した場合の環境影響評価および経済性を比較した結果、ゴミ1トンあたりの処理コストが、温泉メタン発酵の方が、従来法に比較して約3万円/ton安価であることが明らかになった。また、温室効果ガス発生量も従来法では、41.1tCO₂/year排出されるのに対し、温泉メタン発酵では、温室効果ガスは-2.50 tCO₂/yearと削減することが明らかになった。

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

(1) 温泉熱を利用したメタン発酵システムの高効率化の検討

温泉熱を用いた小型メタン発酵において、原料粉碎なし、間欠原料投入という条件でも、収率80%以上のメタン転換効率を得られることが明らかになった。また、pH調整剤を使用しなくても、運転方法を工夫することで、pH低下がなく、良好な発酵が行うことが実証された。

(2) 観光客参加型生ゴミ回収・処理システムの構築

エネツーリズムの参加者の約90%が、本システムに賛成、また、またやってみたいと回答があり、エネツーリズムが、今後、ツーリズムとして導入され、定着する可能性が高いことが示唆された。また、このような回答は、日本人だけでなく、外国人においても同様の結果であったことから、国内外のツアーとして活用が可能であると言える。また、エネルギーに対する関心が高まったという回答も高く、本システムが、環境教育効果が高いことが示唆された。

(3) メタン消化液の効率的な利用

食べ残し由来のメタン消化液を化学分析と栽培試験をおこなうことで、メタン消化液の利用性に関して注目すべき点について整理がなされた。メタン消化液の肥料性は化学肥料等と重量ベースでは高いとは言えないが、地域で適切に利用することによって、環境負荷を低減することが可能であると考えられた。

(4) 温泉地域へのエネツーリズムのシステム評価とそれに基づいた感度分析

これまで、温泉熱を利用したメタン発酵そのものの例がないため、それを設置しその実測データに基づいて環境負荷を評価したことにより、今後はこの試算に基づいて新たに環境負荷を試算できることから学術的には意義深い。この技術を地域に適用した場合の環境負荷および経済性についてのデータを収集して試算をおこなったことも重要である。温泉メタン発酵システムが分散型エネルギー生産システム、且つ、廃棄物処理システムとして、大規模システムと比較して、メリットがあることも試算から新たに見出された。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

なし

<行政が活用することが見込まれる成果>

本システムは、第4次環境計画のキーワードに入っている「自然共生」、「低炭素」、「循環」「安全」、「環境教育」「参画・協働」に貢献するシステムである。具体的には、温泉利用が「自然共生」、システム全体で実現可能な消費エネルギー・温室効果排出削減は「低炭素」、食べ残しのエネルギー化と液肥利用による作物栽培が、「循環」「安全」に、エネツーリズムによって、「環境教育」、地域住民、観光客の「参画・協働」につながる。

日本国内に、本システムを導入可能と考えられる源泉は、源泉温度42℃以上の全国13860カ所源泉である。これらの場所に、同システムを導入した場合には、低く見積もって200 tCO₂/yearの削減の可能性もある。また、個人とバイオマスエネルギー、資源循環型システムを体験を通して直結させる環境教育効果、また、ツアーとして観光地の集客等による地域経済活性化も見込める。

上記を踏まえ、環境政策提言として、① 温泉地における分散型小型メタンシステムの導入推進

② 環境技術を核としたエネツーリズムの推進が求められる。

6. 研究成果の主な発表状況（別添・作成要領参照）

(1) 主な誌上発表

<論文（査読あり）>

(1) “Investigation and basic research of a small-scale methane fermentation system using heat from a hot spring” Takashi SUZUKI, Ryosuke TAJIMA, Chika TADA, Journal of the Japan Institute

of Energy, 91, 892-899 (2012), (in Japanese)

<査読付論文に準ずる成果発表> (「持続可能な社会・政策研究分野」の課題のみ記載可。)

(1) Environmental Impacts and Cost of Methane Fermentation System Using Hot Springs. Ryosuke TAJIMA, Takashi SUZUKI, Chika TADA, JIFS (Journal of Integrated Field Science), vol. 10, in press

(2) 主な口頭発表 (学会等)

- 1) 鈴木崇司、田島亮介、多田千佳, 第7回日本バイオマス科学会議 (2012. 1)
「温泉熱を利用した小規模メタン発酵システムの開発」
- 2) 田島亮介、鈴木崇司、多田千佳, 第7回日本LCA学会 (2012. 3)
「温泉熱を利用した小規模メタン発酵システム導入の環境影響評価」
- 3) 鈴木崇司、田島亮介、多田千佳, 第48回日本水環境学会 (2012. 3)
「観光客参加型食べ残し温泉メタン発酵の導入のための研究」
- 4) 鈴木崇司、田島亮介、多田千佳, 第21回日本エネルギー学会 (2012. 8)
「ロバスト設計を目指した温泉熱利用型小規模メタン発酵システムの開発」
- 5) 鈴木崇司、田島亮介、多田千佳, 農業環境工学関連学会2012年合同大会 (2012. 9)
「メタン発酵温泉エネツリズムの構築」
- 6) 鈴木崇司、田島亮介、多田千佳, 第11回日本畜産環境学会 (2012. 9)
「温泉熱を利用したメタン発酵の開発と畜産業への展開」
- 7) Suzuki T, Tajima R, and Tada C. Development of a small-scale methane fermentation system using heat from a hot spring. The World Resources Forum (WRF) conference 2012 (ポスター)
- 8) Tada C. Construction of “enotourism” which tourist bring leftover food to methane fermentation using hot spring. U. S. National Academy of Engineering Engineering Academy of Japan, 2012 Japan-America Frontiers of Engineering Symposium, October 29-31, 2012, Irvine, California
<http://www.naefrontiers.org/Symposia/JAF0E/32546/2012JAF0E.aspx>
<http://www.naefrontiers.org/File.aspx?id=36919>
- 9) 鈴木崇司、田島亮介、多田千佳 第8回バイオマス科学会議、(2013/1/9, 10) 広島
「メタン発酵温泉エネツリズムの実証試験」
- 10) Tada, C. Suzuki, T., Tajima, R. Experience tourism, “enotourism”, producing biomass energy using food garbage at a hot-springs resort, Water and Environment Technology Conference 2013, 2013. 6. Tokyo,
- 11) Suzuki T, Tajima R, and Tada C., Pilot test of a methane fermentation system using heat from a hot spring, 13th World Congress on Anaerobic Digestion, 2013. 6, Santiago de Compostela, Spain (Poster)

7. 研究者略歴

課題代表者：多田 千佳

東北大学農学部卒業、東北大学大学院農学研究科修士修了、筑波大学農学研究科応用生物化学系博士修了、農学博士、現在 東北大学大学院農学研究科環境システム生物学分野 准教授

研究参画者 ※研究参画者とは応募申請書に記載された研究者、または、研究体制変更理由書により環境省から承認された研究者を指す。

(1) : 多田 千佳 (同上)

(2) : 田島 亮介

北海道大学農学部卒業、東京大学大学院農学生命化学研究科博士課程修了、農学博士、現在、東北大学大学院農学研究科栽培植物環境科学分野 助教

RFe-1101 観光客参加型食べ残しメタン発酵温泉エネツリーズの構築のための研究**(1) 温泉熱を利用したメタン発酵システムの高効率化の検討**

東北大学農学研究科 多田千佳

平成23(開始年度)～24年度累計予算額：12,803 千円

(うち、平成24年度予算額：5,917千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

温泉熱を利用したメタン発酵システムの効率化をめざし、温泉温度によるメタン発酵特性および生ゴミ回収に利用する紙袋および生ゴミの投入量や投入方法の検討を行い、生ゴミによる効率的なメタンガス回収条件を決定した。さらに、通常メタン発酵施設に設置される原料槽、粉碎機、攪拌機や温度調整等の各種制御機器を削除した低コストで省エネルギーの新しい小規模メタン発酵システムを構築し、高効率での運転を実現した。

アンケート結果から、観光客の関心は高く、約9割の方がまたやってみたいと考えており、この取り組みについて賛成であると回答した。エネルギーに対する関心が高まったという回答も多く、本システムにおける環境教育効果が高く、観光や地域振興にも十分役立てられると考えられる。

1. はじめに

宿泊施設で排出されるような水分を多く含んだ生ゴミ廃棄物の有効な活用方法としてメタン発酵があるが、加温に必要なエネルギーと原料の運搬に必要なエネルギーが大きく、発酵残差を下水処理した場合はさらなるエネルギーが必要となる。そのため、消費エネルギーに見合うエネルギー生産を行うためには、施設を大規模化して効率を高めたシステムが必要となる。しかし、温泉地などの宿泊施設は中山間地域に多く存在しており、生ゴミ廃棄物を大規模かつ効率よく収集することは非常に困難である。そのため、このような地域においても経済的、エネルギー効率的に成立する廃棄物の有効活用が求められている。

2. 研究開発目的

発酵槽の加温に温泉の熱を利用した低コストで省エネルギーな小規模メタン発酵システムの開発を行った。具体的には、温泉温度によるメタン発酵特性および生ゴミ回収に利用する紙袋および生ゴミの投入量や投入方法の検討を行い、生ゴミによる効率的なメタンガス回収条件を決定した。さらには、温泉地に実証装置を設置し、観光客に持参してもらった食べ残しゴミを利用した実運転試験を行った。

旅館での食べ残し実態調査、観光客の食べ残しに対する意識調査、およびエネツリーズ参加者の意識調査を行った。さらに、観光客参加型メタン温泉エネツリーズ協議会の設立を行い、観光客による食べ残し運搬システムの最適化を行った。

3. 研究開発方法

(1) 生ゴミ運搬容器の検討

生分解性プラスチックには、パルグリーンLC(三井化学東セロ株式会社)、ビオノーレ3001(昭和電工株式会社)、PLA生分解性袋(株式会社 ホリックス)、マタービー(ケミテック(株))の4つを用いた。これらを3cm×3cmの大きさに切った。100ml容フラスコに80mlのメタン種汚泥を入れ、切った生分解性プラスチックを液内に吊した。培養を55℃で行い、1週間後、2週間後、1ヶ月後の分解を観察した。

(2) 発酵槽の模型試験

装置は、1.9L容の容器2個を連結させた全容積3.8Lの2槽式発酵槽を用いた。表(1)-1に処理条件を示す。原料は、紙袋約1.2gに白米約6g(全水量あたりの容積負荷で約 $4.8\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$)を詰めて第1槽から1日1回投入した。装置は約55℃で保温し、第2槽あたりの水理学的滞留時間(HRT)を20日、10日、5日に設定して消化液を引き抜き、同量の水を第1槽から加えて運転を行った。発生したバイオガスはガスバックで回収し、シリンジを用いてガス量を計測した。ガス組成(H_2 、 CH_4 、 CO_2)は、ガスクロマトグラフ(GC-8A、SHIMADZU社製)を用いて分析した。

表(1)-1 模型実験の反応槽および実験条件

模型反応槽	第1槽	1.9
	第2槽	1.9
	全容量(L)	3.8
	溶液量(L)	1.5
実験条件	原料	紙袋 2g 米 6g
	投入量	1回/日
	攪拌回数	1回/日
	培養温度(℃)	55
	溶液排出量(ml)	4(HRT 20日) 8(HRT 10日) 160(HRT 5日)

(3) 実証試験用システムの設置及び温度調整

実施試験用システムは、350Lの反応槽2槽を接続し、温泉水での加温が可能で、且つ、保温性を高めたものにするシステムを構築した。

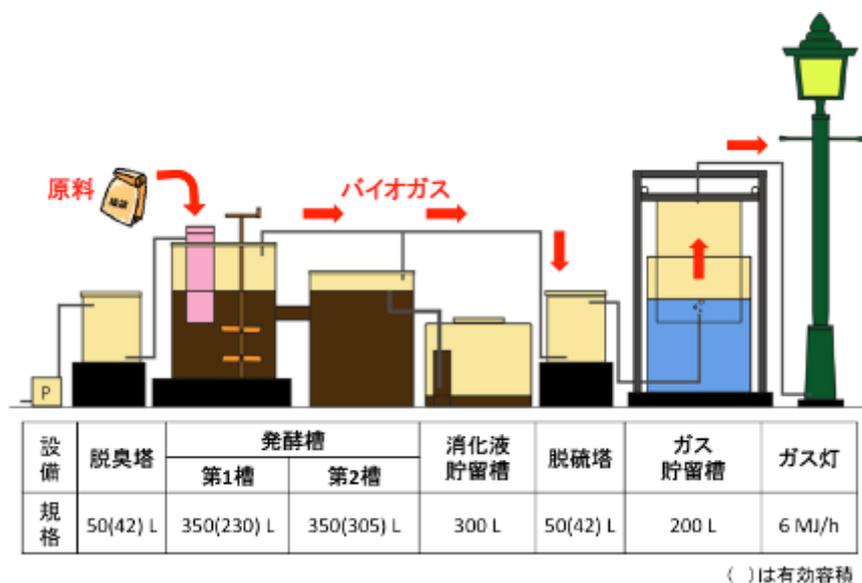
さらに、それを温泉水を用いて、実際に外での加温状況を確認した。外気、温泉水の流入水、温泉水流出水、外気変動によるタンク内温度をモニタリングし、適切な温度管理のための流量調整を行えるような基礎データを採取した。

(4) 実規模システムによる実験

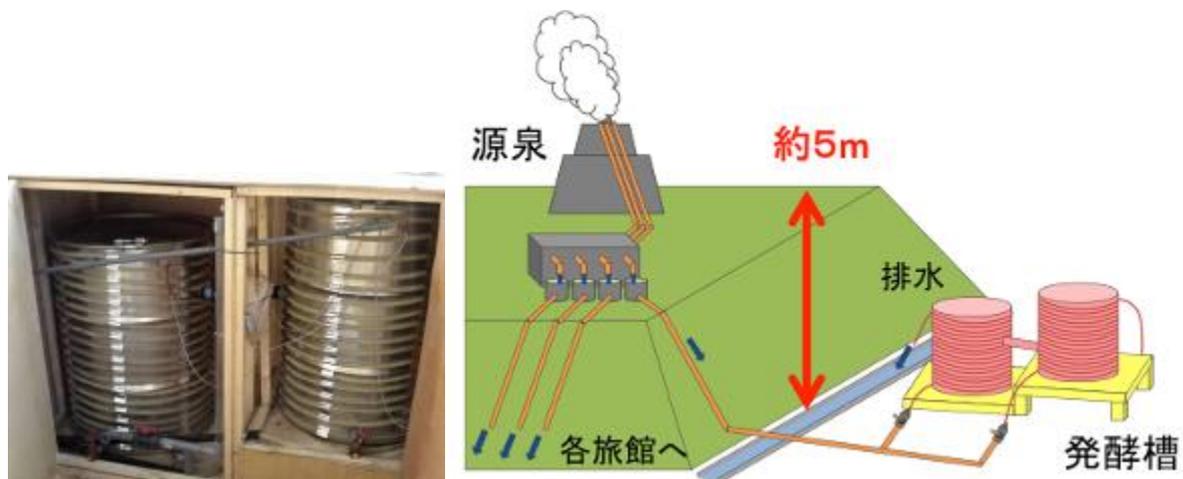
初年度実施した模型試験を用いた最適条件結果を踏まえ、本システムでの運転条件は食べ残しゴミを紙袋に詰めた状態のまま無粉砕で原料を投入し、55℃で10日間発酵させる条件とした。また、初年度実施した旅館での食べ残し実態調査の結果から、1人あたりの食べ残し発生量を300g、

原料のTS濃度を10%程度として実証試験装置を設計した。実証試験装置のフローを図(1)-1に示す。発酵槽はステンレス製のタンクを用いた2槽式で総容積は700Lとし、原料槽を設けずに原料は第1槽に直接投入した。原料は本プロジェクトに協力頂いた旅館に宿泊して興味を持った観光客に自分の食べ残しを紙袋に入れて持参してもらった。観光客による原料の投入がない場合は、宿から収集した食べ残しゴミを同様に紙袋に詰めて投入した。攪拌は動力を用いずに原料を投入した観光客に手動で第1槽のみ攪拌をしてもらった。発酵後の消化液は第2槽上部から越流して貯留槽に移動する構造とした。発生したバイオガスは脱硫塔で腐食性のある硫化水素を除去した後にガス貯留槽で一時貯留し、ガス灯で利用した。また、原料投入時の臭気の拡散を防止するために脱臭塔を設置した。

発酵槽の外側にシリコンチューブを巻き付け、内部に温泉水を流して55℃になるように流量を調整した(写真(1)-1)。今回用いた源泉は装置を設置した位置よりも5m程度高い場所にあるため、動力を使うことなく温泉水を供給可能にした(図(1)-2)。



図(1)-1. 実証試験装置のフロー



写真(1)-1. 発酵槽

図(1)-2. 装置の加温方法

実証試験の運転条件を表(1)-2に示す。実証試験は、昨年度実施した温度等の基礎データを測定

した後、人工原料により立ち上げ（RUN1）を行い、食べ残しゴミによる運転を開始した。RUN2では食べ残しゴミの量を徐々に増加させた運転を行い、RUN3ではCOD負荷量を高めた一定運転を行った。その後、RUN4で立ち上げや負荷の影響を考慮し、HRTを長くした低負荷運転でVFAの消費を行い、RUN5からRUN6で再び負荷を高めた運転を行った。

実証試験は、試運転期間を含めて約1年間行った。各種温度はデータロガー、発生したバイオガス量はマスフローメーターを用いて計測した。ガス組成（ H_2 、 CH_4 、 CO_2 ）はガスクロマトグラフ、VFAは高速液体クロマトグラフィーを用いて分析した。

表(1)-2. 実証試験の運転条件

	内容	日数 (日間)	原料	COD 負荷量 ($kg/m^3 \cdot d$)	HRT (d)
RUN 1	立ち上げ	79	酢酸ナトリウム グルコース	3.2	10
RUN 2	原料の切り替え	44	食べ残しゴミ	1.2 - 2.4	10
RUN 3	負荷増加	47	食べ残しゴミ	3.6	10
RUN 4	蓄積VFAの消費	33	食べ残しゴミ	1.6	25
RUN 5	再試験	32	食べ残しゴミ	1.6	10
RUN 6	負荷増加	33	食べ残しゴミ	3.2	10

4. 結果及び考察

(1) 生ゴミ運搬容器の検討

今回使用した生分解性プラスチックは、すでに市販されているものであったが、1ヶ月を経過しても、明らかに形がなくなるものは見いだせなかった。これらの生分解性プラスチックは、コンポスト化などの好気性分解で、1ヶ月程度での分解を目標に作られているために、本研究で目的とする1週間程度の分解には適さないことが明らかとなった。よって、生分解性プラスチックの代替として、紙袋を使用することにした。

(2) 実証試験用システムの設置及び温度調整

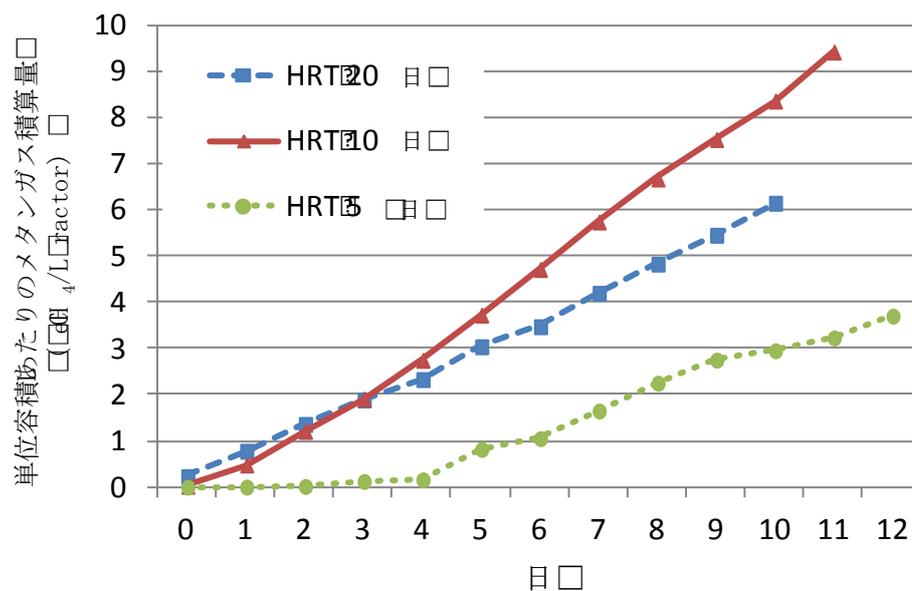
図(1)-3に、単位容積あたりのメタンガス積算量、表(1)-3に、模型試験の結果を示した。なお、立ち上がりの状況を考慮して表(1)-5のデータの集計には最大値の80%到達後の値を用いて評価した。HRT5日の立ち上がりは低く、Hydraulic retention time(以下、HRT)10日と20日では大きな差はなかった。5

日目の段階での容積あたりの積算量は、HRT10日がHRT5日の約4.5倍高かった。10日目の段階では、約2.8倍とその差が縮まったものの、HRT5日が一番低いガス発生量であった。4日目以降はHRT10日とHRT20日の差が開き始め、10日目の段階でHRT10日が約1.4倍高くなった。

バイオガスの日発生量で示すと、HRT20日で $1.9 \pm 0.36 \text{ L/d}$ (変動率18.9%)、HRT10日で $2.8 \pm 0.25 \text{ L/d}$ (変動率8.9%)、HRT5日で $1.6 \pm 0.55 \text{ L/d}$ (変動率35.2%)であった。最もガス発生量が多かったのは、HRT10日であり、HRT5日は最も発生量が低く安定性もなかった。メタン濃度は、HRT20日で $46 \pm 1.7\%$ (変動率3.6%)、HRT10日で $50 \pm 1.2\%$ (変動率2.3%)、HRT5日で $42 \pm 6.7\%$ (変動率15.9%)であった。炭水化物を原料としたメタン発酵での濃度は約50%¹¹⁾と報告されているため、HRT5日の場合以外は近い値を安定的に示していた。

メタン発酵では、COD1gあたり理論的に0.35Lのメタンが発生する。模型試験でのガス発生量とメタン濃度から、投入原料あたり(約2.5g)のメタン収率を算出すると、HRT20日で $219 \pm 41\%$ (変動率18.3%)、HRT10日で $322 \pm 29\%$ (変動率9.0%)、HRT5日で $180 \pm 63\%$ (変動率40.3%)であった。この結果は汚泥由来のガス発生量を含んでいるため100%を超えているが、HRT10日が最も高く、HRT20日の1.5倍、HRT5日の1.8倍の収率であった。

今回検討しているメタン発酵装置は2槽式であり、第1槽は投入する原料の変動を緩衝し、均一化させた状態で第2槽へ液を導入することを想定している。そのため、消化液の引き抜き時に第1槽から第2槽への液の移動が起こり、原料を投入した後の攪拌以外は液の大きな流動はほとんどない。さらに、投入した原料の粉砕をしていないため、固形分の加水分解時間に影響が出たと考えられる。また、メタン生成菌世代時間の3倍以上の滞留時間(安全係数3)を確保しようとする、中温では6日(世代時間2日×3倍)以上、高温では4日(世代時間1.3日×3倍)以上が必要¹²⁾といわれている。HRT20日では液の流動が小さいことが影響し、HRT5日では大きすぎるうえメタン生成菌の流失も考えられる。以上の模型試験の結果から、最も適したHRTは10日前後であると明らかになった。



□ □ □ □ □

図(1)-3単位容積あたりのメタンガス積算量

表(1)-3 □ 模型実験による実験結果 □

HRT □	メタン濃度 □		ガス生産量 □		メタン収率*2 □	
	(%) □	CV (%) *1 □	(L/日) □	CV (%) □	(%) □	CV (%) □
5日 □	42±1.7 □	15.9 □	1.6±0.55 □	35.2 □	180±63 □	40.3 □
10日 □	50±1.2 □	2.3 □	2.8±0.25 □	8.9 □	322±29 □	9.0 □
20日 □	46±1.7 □	3.6 □	1.9±0.36 □	18.9 □	219±41 □	18.3 □

*1 □: □ 変動係数 □

*2 □: □ メタン収率: □ 投入原料CODあたりのメタン収率 □

(3) 実証試験装置の想定

模型試験の結果から、容積あたりのメタンガス日発生量は0.93 L/(L・d)であった。小型メタン発酵装置を0.7 tの装置（有効容積0.5t）で行う場合、1日のメタンガス発生量は約470 L/d得られる。メタンガスの熱量は約25MJ/m³-CH₄であるので、1日あたりの熱量は約2800 kcal/dになる。本研究ではメタン発酵によって得られたメタンガスはガス灯で利用する。ガス灯の必要熱量が1400 kcal/hの物を使用した場合、模型試験と同等の負荷量で運転した場合は約2時間の点灯が可能である。

メタン発酵での最大COD負荷は20 g/L¹³⁾といわれており、今回模型試験で投入した原料の負荷量はその12分の1程度であった。また、効率良い発酵を行うにはTS濃度を10%程度¹³⁾にすることが望ましいといわれているため、TS濃度を基準に考慮した場合、模型試験での負荷量は3倍程度まで高めることが可能であった。そのため、小型メタン発酵装置においても3倍程度負荷を高めれば、メタンガスの日発生量は約1.4m³が見込め、ガス灯は1日6時間程度の点灯が可能になる。夕方から夜中まで点灯させることを考慮した場合、十分な時間であると考えられる。

実際の食べ残しでは表(1)-2に示すように、ごはん等の炭水化物以外にもタンパク質や脂質が含まれるため、さらなるガス発生量やメタン濃度の向上が期待できる。また、1人あたり約300gの食べ残し量であることから、小型メタン発酵装置（容積0.7 t）では、20から30人分程度の処理が可能である。

(4) 実証試験用システムの設置及び温度調整

実証試験用システムの構築を行った。また、源泉の流量調整を行い、反応槽内の液体の温度を55°C±10°Cで安定することを明らかにした。

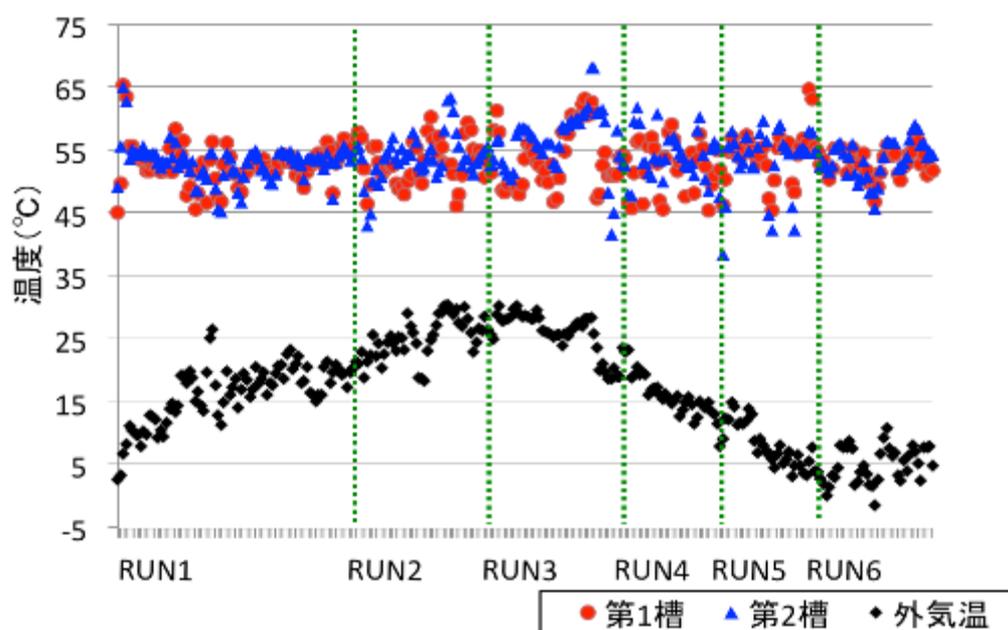
(5) 季節変化に伴う実証リアクターの運転状況

各運転期間における温度の結果を表(1)-4および図(1)-3に示す。源泉の温度は85°C前後で安定しており、発酵槽の温度は外気温の影響を受けずに53°C前後であった。発酵槽の温度は日内で3~6°C変動しており、試験期間中では最大約30°C変動した。

真冬の氷点下の気温から夏場の30°C以上の気温条件でも温泉水の流量調整だけで比較的安定した発酵温度を維持できることが明らかになった。

表(1)-4. 各種温度結果

各種温度		RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN5	RUN6
源泉温度	(°C)	85.7±1.5	85.7±0.7	85.3±1.0	83.6±2.2	80.2±3.6	82.7±1.1
外気温	(°C)	16.2±3.6	24.6±3.4	26.4±3.3	16.9±2.7	8.9±2.0	4.6±1.4
第1槽温度	(°C)	52.6±1.5	53.4±1.1	53.9±1.7	52.5±1.9	53.3±1.1	53.6±1.0
日内の温度差	(°C)	5.1	3.8	5.5	6.0	3.7	3.2
第2槽温度	(°C)	53.0±1.0	53.8±1.1	56.8±0.9	54.0±1.6	53.0±1.6	53.1±0.9
日内の温度差	(°C)	3.0	3.6	3.3	5.6	5.0	2.9



図(1)-3. 発酵槽温度と源泉温度の変化

VFAの結果を表(1)-5に示す。立ち上げ時の原料に酢酸ナトリウムを用いたことや原料を食べ残りゴミに切り替えた影響から、RUN2において高いVFAの蓄積が見られた。しかし、RUN4で負荷を低下させた運転を行ってからは酢酸と酪酸については大幅に減少した。プロピオン酸はRUN4でも低下させることができなかったが、RUN5で第2槽液を第1槽に1日1回1割の液を返送する運転方法に変更したことで改善が可能であった。RUN5以降では大きなVFAの蓄積は見られず、問題なく運転ができることが明らかになった。本システムでは、攪拌は原料を投入した観光客に行ってもら設計のため、攪拌が不十分であり、液を返送することで槽内が攪拌されてVFAの消費が促されたと考えられる。また、消化液中には大きな固形分は見られず、原料の粉碎を行わなくても十分な処理が

可能であった。

VFAの蓄積がある場合はpHの低下が起こり、特に第1槽ではpHが6.5以下になることがあった。通常メタン発酵の場合、pH6.5以下ではメタン菌が不活化してしまうため、適宜アルカリ（重炭酸ナトリウム）を添加してpHの調整を行った。アルカリを添加した消化液では塩濃度が高くなるため、そのまま作物の肥料に用いることが難しくなるが、RUN5以降ではアルカリを添加することなく運転が可能となったため消化液の有効活用が期待できる。

表(1)-5. VFAの結果

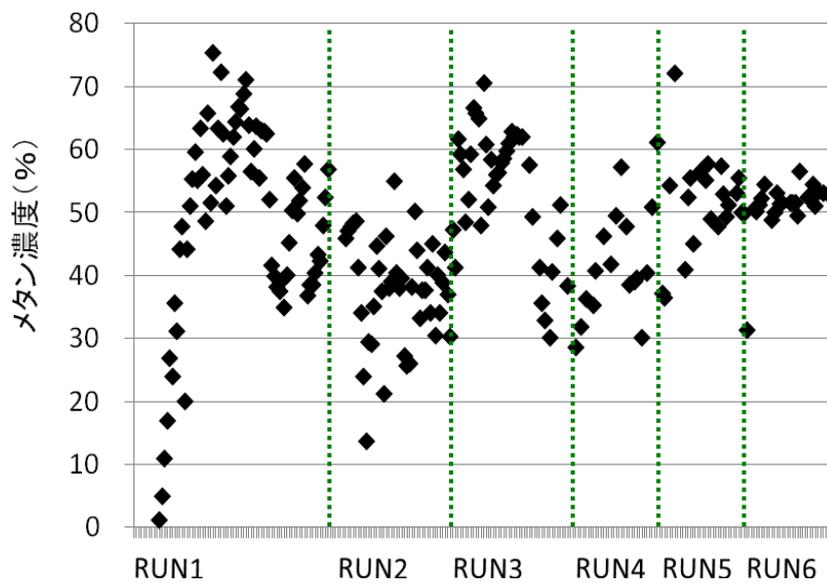
VFA		RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN5	RUN6
内容		立ち上げ	生ごみ切替	負荷増加	VFA消費	再試験	負荷増加
COD負荷	(kg/m ³ ・d)	3.2	1.2-2.4	3.6	1.6	1.6	3.2
HRT	(d)	10	10	10	25	10	10
酢酸	(g/L)	9.3±7.8	18.7±4.6	4.7±1.7	2.3±1.7	0.4±0.4	0.1±0.1
酪酸	(g/L)	0.5±0.6	2.3±0.5	1.4±0.9	0.6±0.7	0.02	0.2±0.04
プロピオン酸	(g/L)	0.5±0.3	0.8±0.1	0.9±0.1	1.1±0.3	0.3±0.2	0.8±0.2

メタン濃度、メタン量およびメタン収率の結果を表(1)-6および図(1)-4、5に示す。RUN1では、運転開始後からメタン濃度が上昇するまでに約1カ月程度の馴養期間を要した。RUN2では、原料を食べ残しゴミへ切り替えた影響によりメタン濃度が不安定化し濃度も低くなった。RUN3では、メタン濃度の回復が見られたが、立ち上げと負荷の影響で後半に大きく低下した。RUN4の運転後は再び濃度が上昇するとともに安定した状態を推移した。立ち上げや負荷の影響を受けた期間以外においては一般的なメタン発酵と同様の結果が得られた。メタンガス量は、メタン濃度と同じくRUN4以降に上昇が見られ、1日に約300L（バイオガスとしては約580L）発生した。ガス灯での燃焼により、1日2時間半の点灯が可能であった（写真(1)-2）。また、メタン収率についても同様にRUN5運転で最も高い結果が得られた。

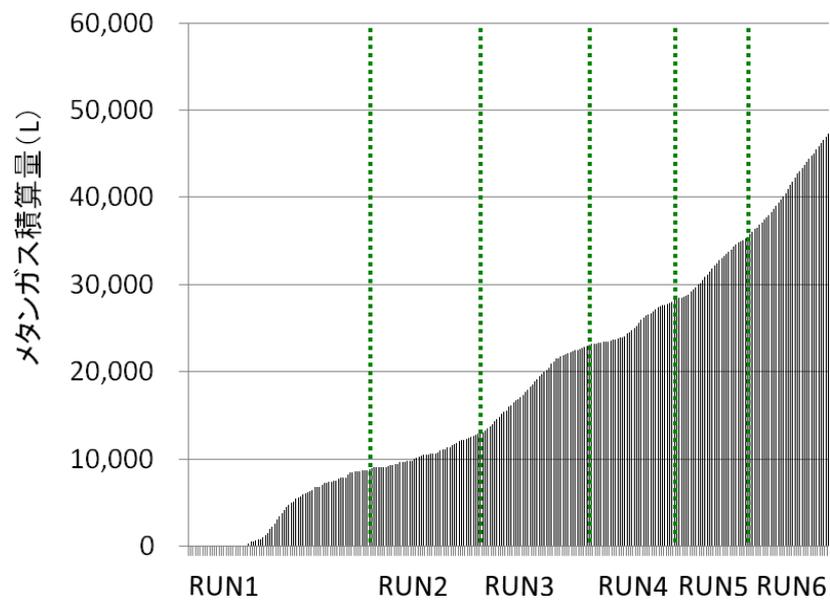
以上の結果から、原料を発酵槽に直接無粉砕で投入しても、液の返送で攪拌と分解を促進することで運転が可能となった。また、温泉熱を利用した日内で3~6℃の温度変動が発生する運転条件下においても安定的な処理が可能であった。つまり、通常メタン発酵施設に設置される原料槽、粉砕機、攪拌機や温度調整等の各種制御機器を削除した低コストで省エネルギーの新しい小規模メタン発酵システムを構築できることが明らかになった。

表(1)-6. メタン濃度、メタン量、メタン収率の結果

		RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN5	RUN6
内容		立ち上げ	生ごみ切替	負荷増加	VFA消費	再試験	負荷増加
COD負荷	(kg/m ³ ・d)	3.2	1.2-2.4	3.6	1.6	1.6	3.2
HRT	(d)	10	10	10	25	10	10
メタン濃度	(%)	49±16	38±9	54±10	42±9	52±8	56±4
メタン量	(L/kg・d)	105±73	111±77	118±54	190±118	302±112	221±37
メタン収率	(%)	42±21	47±20	35±16	54±40	87±32	63±10



図(1)-4. メタン濃度の推移



図(1)-5. メタンガス積算量の結果



写真(1)-2 食べ残しゴミからつくったバイオガスで灯るガス灯

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

温泉熱を用いた小型メタン発酵において、原料粉碎なし、間欠原料投入という条件でも、収率80%以上のメタン転換効率を得られることが明らかになった。また、pH調整剤を使用しなくても、運転方法を工夫することで、pH低下がなく、良好な発酵が行うことが実証された。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

なし

<行政が活用することが見込まれる成果>

本システムは、第4次環境計画のキーワードに入っている「自然共生」、「低炭素」、「循環」「安全」、「環境教育」「参画・協働」に貢献するシステムである。具体的には、温泉利用が「自然共生」、システム全体で実現可能な消費エネルギー・温室効果排出削減は「低炭素」、食べ残しのエネルギー化と液肥利用による作物栽培が、「循環」「安全」に、エネツーリズムによって、「環境教育」、地域住民、観光客の「参画・協働」につながる。

日本国内に、本システムを導入可能と考えられる源泉は、源泉温度42℃以上の全国13860カ所源泉である。これらの場所に、同システムを導入した場合には、低く見積もって200 tCO₂/yearの削減の可能性がある。また、個人とバイオマスエネルギー、資源循環型システムを体験を通して直結させる環境教育効果、また、ツアーとして観光地の集客等による地域経済活性化も見込める。

上記を踏まえ、環境政策提言として、① 温泉地における分散型小型メタンシステムの導入推進
② 環境技術を核としたエネツーリズムの推進が求められる。

6. 国際共同研究等の状況

なし

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

(1)“Investigation and basic research of a small-scale methane fermentation system using heat from a hot spring” Takashi SUZUKI, Ryosuke TAJIMA, Chika TADA, Journal of the Japan Institute of Energy, 91, 892-899(2012), (in Japanese)

<査読付論文に準ずる成果発表>（「持続可能な社会・政策研究分野」の課題のみ記載可。）

なし

<その他誌上発表（査読なし）>

なし

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) 鈴木崇司、田島亮介、多田千佳, 第7回日本バイオマス科学会議 (2012. 1)
「温泉熱を利用した小規模メタン発酵システムの開発」
- 2) 鈴木崇司、田島亮介、多田千佳, 第48回日本水環境学会 (2012. 3)
「観光客参加型食べ残し温泉メタン発酵の導入のための研究」
- 3) 鈴木崇司、田島亮介、多田千佳, 第21回日本エネルギー学会 (2012. 8)
「ロバスト設計を目指した温泉熱利用型小規模メタン発酵システムの開発」
- 4) 鈴木崇司、田島亮介、多田千佳, 農業環境工学関連学会2012年合同大会 (2012. 9)
「メタン発酵温泉エネツリーズの構築」
- 5) 鈴木崇司、田島亮介、多田千佳, 第11回日本畜産環境学会 (2012. 9)
「温泉熱を利用したメタン発酵の開発と畜産業への展開」
- 6) Suzuki T, Tajima R, and Tada C. Development of a small-scale methane fermentation system using heat from a hot spring. The World Resources Forum (WRF) conference 2012 (ポスター)
- 7) Tada C. Construction of “eneturism” which tourist bring leftover food to methane fermentation using hot spring. U.S. National Academy of Engineering Engineering Academy of Japan, 2012 Japan-America Frontiers of Engineering Symposium, October 29-31, 2012, Irvine, California <http://www.naefrontiers.org/Symposia/JAFOE/32546/2012JAFOE.aspx>
<http://www.naefrontiers.org/File.aspx?id=36919>
- 8) 鈴木崇司、田島亮介、多田千佳 第8回バイオマス科学会議、(2013/1/9, 10) 広島
「メタン発酵温泉エネツリーズの実証試験」
- 9) Tada, C. Suzuku, T., Tajima, R. Experience tourism, “eneturism”, producing biomass energy using food garbage at a hot-springs resort, Water and Environment Technology Conference 2013, 2013. 6. Tokyo,
- 10) Suzuki T, Tajima R, and Tada C., Pilot test of a methane fermentation system using heat from a hot spring, 13th World Congress on Anaerobic Digestion, 2013. 6, Santiago de Compostela, Spain (Poster)

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない

(4) シンポジウム、セミナー等の開催 (主催のもの)

特に記載すべき事項はない

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) (日刊)大崎タイムス (2012年1月1日、2頁)
- 2) 朝日新聞 2012年6月22日 「客の食べ残しでガス作り明かり」
- 3) 毎日新聞 2012年6月22日 「温泉熱でバイオガス灯」
- 4) 河北新報 2012年6月22日 「食べ残し温泉熱でガス灯に」
- 5) 大崎タイムス 2012年6月22日 「人気スポットにガス灯」

- 6) 大崎タイムス 2012年8月8日 「鳴子温泉湯の恵みエネルギーに」
- 7) 朝日新聞 2012年8月17日 「創エネに挑む 食べ残しを街の灯に」
- 8) NHKあさイチ 2012年11月15日放送
- 9) ミヤギテレビ 2012年6月21日 ニュース放送
- 10) 仙台放送 2012年6月21日 ニュース放送
- 11) 雑誌S-style でのモニターツアー(2012年10月13-14日)

(6) その他

- 受賞 日本畜産環境学会若手研究者奨励賞 鈴木崇司
鈴木崇司、田島亮介、多田千佳, 日本畜産環境学会(2012)
「温泉熱を利用したメタン発酵の開発と畜産業への展開」

市民向け発表

- (1) おおさき産業フェア2011への出展 (2011/11/4-6)
- (2) 鳴子温泉みのり祭2011への出展 (2011/11/11-13)
- (3) 川渡公民館にて展示 (2012/3/4-5)
- (4) 鳴子温泉食楽まつり2012への出展 (2012/6/23-24)
- (5) 鳴子小学校への環境教育授業(2012/6/28)
- (6) 感覚ミュージアムへの環境教育授業(2012/10/21)
- (7) 石川県内灘町夢教室(2012/8/4, 25)
- (8) 観光客参加型食べ残しメタン発酵温泉エネツアー(講演会)、岩手八幡平市 (2013/3/25)

海外向け

- (1) JICE 韓国より大学生 キズナ強化プロジェクト(30人)

ビジネスフェア関連

- (1) おおさき産業フェア2012(2012/11/2, 3)
- (2) アグリビジネス創出フェア2012(2012/11/16)
- (3) 東北地域アグリビジネス創出フェア2012(2012/12/5)
- (4) 東北大学イノベーションフェア2013(2013/1/17)

8. 引用文献

- 1) 財団法人日本環境衛生センター, 「民間事業者における生ごみ資源化モデル調査結果(第3回地域循環圏に関する九州会議資料)」(和文), http://kyushu.env.go.jp/recycle/data/100331a_4.pdf (2012/2/8参照), p. 1-17: Japan Environmental Sanitation Center(for Japanese)
- 2) 国土交通省観光庁, 「宿泊旅行統計調査報告」(和文), <http://www.mlit.go.jp/common/000172760.pdf> (2012/2/8参照), p. 5-19: Ministry of Land, Infrastructure,

Transport and Tourism(for Japanese)

- 3) 野上健治, 李文忠, 仁科信春, 福岡工業大学研究論集, 39 (1) ,
p81-87(2006) :Nogami, K., Li, W., Nishina, N., Res. Bull. Fukuoka
Inst. Tech., 39(1), p81-97(2006)
- 4) 益田光信, 日本機械学会誌, 107 (1023) , 116-118 (2004) :Masuda, M.,
The Japan society of Mechanical Engineers, 107(1023), 116-118(2004)
- 5) 谷川昇, 古川徹, 石井一英, 西上耕平, 廃棄物学会論文誌, 19 (3) , 182-190,
(2008) :Tanikawa, N., Furuichi, T., Ishii, K., Nishigami, K.,
Journal of Material Cycles and Waste Management, 19(3), 182-190(2008)
- 6) 環境省自然環境局, 「平成21年度温泉利用状況」(和文), [http://www.
env.go.jp/nature/onsen/data/riyou_h21.pdf](http://www.env.go.jp/nature/onsen/data/riyou_h21.pdf) (2012/2/8参照) , p.1 :
Ministry of the Environment Government of Japan(for Japanese)
- 7) 大崎市市政情報課, 「大崎市統計書」(和文) , [http://www.city.osaki.
miyagi.jp/annai/toukei/download/new2010osakishi_toukeisho.pdf](http://www.city.osaki.miyagi.jp/annai/toukei/download/new2010osakishi_toukeisho.pdf) (201
2/2/8参照) , p.122 : Osaki-shi(for Japanese)
- 8) 農林水産省大臣官房統計部, 「農林水産統計平成21年食品ロス統計調査
(外食産業調査) 結果の概要」, (和文), [http://www.maff.go.jp/j/tokei/pdf/
loss_gaisyoku_21.pdf](http://www.maff.go.jp/j/tokei/pdf/loss_gaisyoku_21.pdf) (2012/2/8参照) , p.1-13 : Ministry of Agriculture, Forestry and
Fisheries(for Japanese)
- 9) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課, 「メタンガス
化(生ごみメタン) 施設整備マニュアル」(和文) , [http://www.env.go.jp/
recycle/waste/impr_facil/man_methanation/full.pdf](http://www.env.go.jp/recycle/waste/impr_facil/man_methanation/full.pdf) (2012/2/8参照) ,
p1-60 : Ministry of the Environment Government of Japan(for Japanese)
- 10) 野池達也, バイオマス技術入門, (社団法人地域資源循環技術センター) ,
p.115 (2009) :Noike, T., Baiomasu Gizyutu Nyuumon, (The Japan
Association of Rural Solutions for Environmental Conservation and
Resource Recycling), p.115(2009)
- 11) Heinz, S., and Barbara, E., バイオガス実用技術, (オーム社) , p.28
(2002): Heinz, S., and Barbara, E., Baiogasu Zituyou Gizyutu,
(Oomusya), p.28(2002)
- 12) 野池達也, バイオマス技術入門, (社団法人地域資源循環技術センター) ,
p.118 (2009) :Noike, T., Baiomasu Gizyutu Nyuumon, (The Japan
Association of Rural Solutions for Environmental Conservation and
Resource Recycling), p.118(2009)
- 13) 佐々木宏, 李玉友, 関廣二, 上垣内郁夫, 水環境学会誌, 22, 12 (1999) :
Sasaki, H., Li, Y., Seki, K., Kamigochi, I., Journal of Water and Environment
Technology, 22, 12(1999)
- 14) 成田市環境部, 「成田市における生ごみ堆肥化モデル事業報告書」(和
文) , <http://www.city.narita.chiba.jp/DAT/000041357.pdf> (2012/2/8参 照) , p.1-22:

Narita-shi (for Japanese)

- 15) 環境省地球環境局総務課低炭素社会推進室, 「日本国温室効果ガスインベ
ントリ報告書2011年4月」 (和文), [http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/
nir/2011/NIR-JPN-2011-v4.0J_web.pdf](http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/2011/NIR-JPN-2011-v4.0J_web.pdf) (2012/4/10参照), p. 1-560:
Ministry of the Environment Government of Japan (for Japanese)

(2) 観光客参加型生ゴミ回収・処理システムの構築

東北大学農学研究科 多田千佳

平成23(開始年度)～24年度累計予算額： 214 千円

(うち、平成24年度予算額：68千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

旅館から排出される食べ残し調査を行い、食べ残し量は朝夕合わせて平均300gで、その成分としてご飯が半分を占めることが明らかとなった。よって、これらの食べ残しをメタン発酵の上では、適した原料であることが明らかになった。また、温泉メタン発酵へ食べ残しを投入するエネツアーリズムに参加した参加者のアンケート結果から、観光客の関心は高く、約9割の方がまたやってみたいと考えており、この取り組みについて賛成であると回答した。エネルギーに対する関心が高まったという回答も多く、本システムにおける環境教育効果が高く、観光や地域振興にも十分役立てられると考えられる。

1. はじめに

これまで、旅館からの生ゴミの排出量については、一人あたり700gという報告があるが、食べ残しについての報告例はなかった。また、観光客が食べ残しについて、何を考えているか等についての調査例もなかった。さらに、バイオマスエネルギーを体験するエネツアーリズムというシステムがない中で、この新たなツアーリズムに対しての可能性について明らかにする必要があった。

2. 研究開発目的

本研究では、観光客による旅館での食べ残し状況を把握することで、メタン発酵の原料としての特性を明らかにすること、また、観光客によって食べ残しを運搬することに対する意識を明らかにすることを目的に、旅館での食べ残し実態調査、観光客の食べ残しに対する意識調査、およびエネツアーリズム参加者の意識調査を行った。さらに、観光客参加型メタン温泉エネツアーリズム協議会の設立を行い、観光客による食べ残し運搬システムの最適化を行った。

3. 研究開発方法

(1) 旅館での食べ残し実態調査

調査は、宮城県大崎市鳴子温泉にある4ヶ所の旅館で行った。これらは収容人数が35人から113人の小規模の旅館であった。期間は2011年8月30日から10月18日、調査回数は合計11回、29組の計99人分の夕食と朝食の食べ残しを回収した。宿泊形態(宴会、家族、少人数、大人数、その他)、年代および性別を確認後、部屋毎に回収して集計を行った。食べ残しは6種類(①穀・イモ類、②魚介・肉・卵・豆類、③野菜類、④漬物・酢の物類、⑤海藻・キノコ類、⑥果実・菓子類)に分類して、発生量、含水率、炭素量、窒素量を計測した。なお、液体または水分が高く運搬に不適な物は回収品目から除外した。また、食べ残しを調査した99人のうち8人には、提供された食事の量も調査した。計測は、各部屋への配膳直前に御膳ごと秤にのせて測定し、観光客が食事を済ませた後に食べ残しを取り除いて再び御膳ごと

測定して求めた。発生量の計測にはデジタルばかり（UH-3202-R、エー・アンド・デイ社製）、含水率の計測には定温乾燥器（D0-450FA、アズワン社製）、炭素量および窒素量の計測にはNCアナライザー（SUMIGRAPH NC-80S、Sumika Chem. Anal. Service社製）を用いた。

（2）観光客の意識調査

調査は、宮城県大崎市鳴子温泉の旅館に宿泊した観光客を対象に実施した。20代から80代の男女82名に聞き取りを行った。聞き取り項目には、旅館での食べ残しを自分で紙袋に詰めてメタン発酵装置のある場所まで持ってくるというシステム構築に関する知見が得られるように、以下の内容を設定した。

A:温泉旅館で出る食事を残したことがあるか？（2択回答）

B:食べ残しの望ましい処理は？（B-1:焼却、B-2:埋め立て、B-3:堆肥、B-4:エネルギー、B-5:その他から選択して回答）

C:食べ残しがエネルギーになるなら、自分の食べ残しを紙袋に詰めるか？（2択回答）

D:10分以内の場所であれば、自分で食べ残しを持っていくか？（2択回答）

E:何分以内の場所であれば、自分で持っていくか？（数量回答）

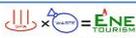
なお、記入用紙は観光客のチェックイン時または夕食を済ませた後に旅館の関係者から配布してもらい、夕食後またはチェックアウト時に旅館へ提出してもらったものを後日回収した。

（3）旅館への周知と参加者募集

本プロジェクトに協力を頂いた旅館には図(2)-1に示すパンフレットを設置してもらい、観光客に概要と参加方法を説明した。食べ残しを持参した観光客にはアンケートを記入してもらい、意識調査を行った。アンケート用紙（図(2)-2）は食べ残しを入れる袋に同封して旅館の関係者から渡してもらい、原料投入前に装置横の回収箱に入れてもらった。質問内容は、観光客の関心や環境意識の改善についての知見が得られるような項目を設定した。

ご協力下さい！

東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センターでは、環境省の環境研究総合推進費H23革新型研究開発領域課題を採択して、食べ残しからエネルギーをつくる実証試験をしています。皆様の本試験へのご参加ご協力をよろしくお願いいたします。



メタン発酵温泉エネツーリズム

鳴子に灯をともしよう！
※夕方以降に点灯します。

食べ残しを紙袋に詰めて、食後の運動や観光（足湯など）を楽しみながらメタン発酵槽まで持ってきてください。
食べ残しを装置に投入すると、**ガス灯が点灯します！**
発酵後の液は、液肥としての利用が可能です。



原館・ホテル 自家栽培の野菜 発酵後の液（液肥） 微生物が分解！ 温泉水で発酵槽を加熱しています。

メタン発酵温泉エネツーリズムの概要

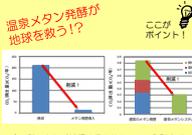
微生物の働きにより、食べ残しからメタンガスを生産してガス灯をつけます。装置の加熱に温泉の熱を使い、観光客の方々に自らの食べ残しを持参してもらうことで、省エネ・低コスト化した小型メタン発酵システムを実現しました。
エネルギーのことを考え、環境に配慮した低炭素観光（エネツーリズム）を提案しています。

食べ残しがエネルギーになる!?



発酵タンクの中にはたくさんの微生物がいます！この微生物は、温かい場所が好きで、酸素が嫌いです。いろいろな種類の微生物が協力して、食べ残しをメタンガスに変えてくれます。そして、メタンガスはエネルギーとして利用できます！

温泉水で発酵槽を加熱!?



食べ残しを構成処理するよりもメタン発酵させた方がCO₂排出量が小さくなります！さらに、発酵槽に必要な熱を有効にメタン発酵槽からなるCO₂排出量の削減が可能となります！鳴子モデルを日本中の温泉地に広めることで環境に優しい安心・安全なエネルギー生産が可能となります。

1人分の食べ残しで、ガス灯は10～15分間点灯します！エネツーリズム参加で1人30gのCO₂が削減できます！



この新しい試みを鳴子から発信していきましょう！詳細については、別紙をご覧ください。旅館関係者にお尋ねください。

東北大学大学院農学研究科 附属複合生態フィールド教育研究センター 千989-6711 宮城県大崎市鳴子温泉字蓮田232-3 TEL: 0229-84-7395

温泉メタンプログラムも是非ご覧ください！
<http://onsenmetha.exblog.jp/>

図(2)-1. 旅館の客室に設置したパンフレット（左：表面、右：裏面）

鳴子に灯をともし！

メタン発酵温泉エネツーリズム

～ 記入用紙 ～



1回の投入につき、この用紙を1枚記入してください。
以下の内容にご回答いただき、回収BOXに投函してください。
(回収BOXは、メタン発酵装置のある場所に設置しています)

基本情報				
1. 日時(投入時間)	月	日	時	分
2. 宿泊場所 どちらかに○	① 旅館・ホテル名 ()			
	② 日帰り観光			
3. 宿泊形態 いずれかに○	① 少人数タイプ (人)			
	② 家族タイプ (人)			
	③ 宴会・大人数タイプ (人)			
4. 年代・性別	_____代	男・女	(人)	
	_____代	男・女	(人)	
	_____代	男・女	(人)	
5. この取り組みをどこで知りましたか？	いずれかに○			
① 宿泊場所	② 報道(新聞・テレビ・雑誌等)	③ 知人・友人		
④ 看板・パンフレット	⑤ その他 ()			

裏面もあります。

計測結果	
1. 投入した紙袋の個数	2. 紙袋の重さ
_____ 個	紙袋 1 _____ g
	紙袋 2 _____ g
	紙袋 3 _____ g

アンケート	
1. またやってみたいですか？	① はい ・ ② いいえ
2. 有機性廃棄物(生ゴミなど)からエネルギーが作れることを知っていましたか？	① はい ・ ② いいえ
3. エネルギーについての関心が高まりましたか？	① はい ・ ② いいえ
4. 自宅近所に同様のシステムがあったら、利用しますか？	① はい ・ ② いいえ
5. 将来、どのようなエネルギーが望ましいと思いますか？	① 原子力 ・ ② 火力 ・ ③ 水力 ・ ④ 再生可能エネルギー
6. エネツーリズムに賛成ですか？	① はい ・ ② いいえ
7. ご意見やご感想がありましたら、記入してください。	

※ 記入していただいた意見や感想はブログに掲載させていただくことがありますので、あらかじめご了承ください。



ご協力ありがとうございました！

温泉メタンブログ
http://onsemetha.exblog.jp/
E-NE TOURISM

図(2)-2. アンケート用紙(左:表面、右:裏面)

4. 結果および考察

(1) 旅館での食べ残し実態調査

表(2)-1に、部屋毎に回収した夕食と朝食の食べ残しを6種類に分類して集計した1人あたりの食べ残し結果を示した。1人あたりの食べ残し発生量は108.1gから824.9gの範囲であり、平均は307.4gであった。また、1人あたりに提供された食事の量は、夕食が2.08kg、朝食が0.65kgの合計2.73kgであった。そのため、食べ残しの割合は提供された量の4.0%から30.2%の範囲であり、平均は11.3%であることが明らかになった。農林水産量の統計(平成22年)によると、宿泊施設からの食べ残し量の割合は14.8%と報告されている⁸⁾。この統計には、本試験では回収の対象としない液体または水分が高く運搬に不適な物も含まれているため、本試験での集計結果よりも高くなっていることから、本試験で対象とする食べ残しゴミは他の地域でも同様に発生していることが示唆された。

分類別に発生割合で示すと、最も多く発生していたのは①穀・イモ類で全体の49.8%であった。穀・イモ類の中でも、そのほとんどがごはんであり、部屋ごとにお櫃で多く提供されていたことが残りやすい原因であると考えられた。その他、②魚介・肉・卵・豆類では魚の骨や皮、③野菜類では刺身のツマやレタス、④漬物・酢の物類ではダイコンやキュウリ、⑥果実・菓子類では果物の皮やレモンが残りやすい食材であった。平均の含水率では、最も高いもので野菜類の88.2%、最も低いもので魚介・肉・卵・豆類の56.4%、食べ残し全体での含水率は77.2%であった。生ごみの含水率は、事業系の物で61.7%から86.3%、家庭系の物で71.7%から87.1%といわれており⁹⁾、本研究の食べ残しゴミもこの範囲内であった。また、牛肉や魚等の肉の塊やグレープフルーツやメロン等の果物の皮は形状が大きく、15cm程度あるものもあった。今回検討しているメタン発酵システムでは、原料の粉碎・均一化工程は含んでいないため、

このような大きな形状の原料投入による設計・運転条件の考慮が必要である。

1人あたりの炭素量は、10.9 gから86.7 gの範囲であり、平均は39.6 gであった。最も残りやすいごはん由来の炭素量が最も多い結果となった。1人あたりの窒素量は、0.6 gから5.0 gの範囲であり、平均は2.2 gであった。肉や魚等のタンパク質を多く含む分類で最も多い結果となった。C/N比に換算すると、9.2から39.0の範囲であり、平均は20.8であった。メタン発酵に適したC/N比は15から25とされており¹⁰⁾、食べ残しゴミは利用可能な原料であることが明らかになった。

表(2)-2 1人あたりの食べ残し量・内容物

	食べ残し量(g) □			全体量に占める割合(%) □			主な食材□
	最小□	最大□	平均□	最小□	最大□	平均□	
A□	0.0□	417.9□	417.9□	0.0□	96.1□	49.8□	米□
B□	0.0□	175.6□	175.6□	0.0□	37.4□	13.6□	魚の皮と骨□
C□	0.0□	163.8□	163.8□	0.0□	35.8□	11.9□	大根のつま、レタス□
D□	0.0□	69.8□	69.8□	0.0□	20.8□	6.8□	たくあん、キュウリ□
E□	0.0□	45.7□	45.7□	0.0□	8.9□	1.9□	-□
F□	3.9□	87.3□	87.3□	1.5□	48.8□	16.1□	果物の皮、レモン□

	炭素量(gC) □			窒素量(gN) □			C/N□		
	最小□	最大□	平均□	最小□	最大□	平均□	最小□	最大□	平均□
A□	0.0□	57.0□	24.6□	0.0□	96.1□	49.8□	22.2□	51.7□	37.3□
B□	0.0□	30.3□	9.2□	0.0□	37.4□	13.6□	1.0□	11.9□	7.0□
C□	0.0□	8.2□	1.9□	0.0□	35.8□	11.9□	11.8□	52.4□	21.8□
D□	0.0□	4.5□	1.1□	0.0□	20.8□	6.8□	13.2□	27.9□	17.3□
E□	0.0□	2.4□	0.3□	0.0□	8.9□	1.9□	6.6□	32.5□	16.1□
F□	3.9□	5.7□	2.5□	1.5□	48.8□	16.1□	25.9□	55.5□	36.5□

A:米など穀類 B:肉魚卵 C:野菜□□漬け物・酢の物 E:海藻・キノコ F:果物、デザート□

表(2)-3に、各種分類別の1人あたりの食べ残し発生量の結果を示した。今回の調査で最も食べ残しが多い宿泊形態は、20代および30代の男女2名で全体の34.5%であった。宿泊形態別で集計した結果、宴会タイプが最も多く(平均434.6g/人)、少人数タイプが最も少なかった(平均297.8g/人)。宴会タイプの場合は、お酒を飲んで食事にあまり手を付けないことが原因として考えられる。また、小さな子供がいる家族タイプの場合も、子供の世話を取られる等の原因で発生量が多くなったと考えられる。

年代別で集計した結果、70代が最も食べ残しが多く(平均453.8g/人)、40代が最も少なかった(平均250.0g/人)。20代では、1人あたりの平均発生量(表(2)-2)と比べるとごはんの食べ残し量が70代、50代に次いで多い(平均200.9g/人)結果となった。これは、宿によっては提供するお櫃でのごはんを客の年代によって調整している場合があり、20代や30代の客には多めに用意していることが40代で

食べ残しが最も少なくなった結果に影響していると考えられた。また、性別で集計を行うと、男性よりも女性の方が多くなり、男性のおよそ1.5倍量であった。

以上のことから、食べ残し量が多い傾向にあるのは、宴会タイプ、70代以上、女性の宿泊形態であることが明らかになった。

表(2)-3各種分類別の1人あたりの食べ残し発生量

旅行者 タイプ□	食べ残し量(g)□		
	最小□	最大□	平均□
宴会□	420.1□	457.1□	434.6□
家族□	162.9□	824.9□	385.9□
小グループ□	108.1□	642.9□	297.8□
大グループ□	-□	-□	-□
個人□	200.0□	514.7□	307.3□

世代□	食べ残し量(g)□		
	最小□	最大□	平均□
20代□	162.9□	483.1□	353.2□
30代□	108.1□	824.9□	329.1□
40代□	163.5□	457.1□	250.0□
50代□	289.5□	493.1□	391.3□
60代□	247.5□	354.9□	301.2□
70代□	420.1□	514.7□	453.8□

(2) 観光客の意識調査

アンケートの回答は、20代から70代以上の各年代からバランスよく回収できた(20代:20.7%、30代:23.2%、40代:11.0%、50代:14.6%、60代:18.3%、70代以上:9.8%)。性別では、男性40名、女性40名、不明(無回答)2名の合計82名であった。図(2)-3および表(2)-4に、アンケートの集計結果を示した。A:温泉旅館で出る食事を残したことがあるか?という質問では、全体の79.3%の人が残したことがあると回答した。性別で集計した場合、男性(72.5%)よりも女性(85.0%)の方が高い結果であった。B:食べ残しゴミの望ましい処理は?という質問では、全体の53.8%が堆肥、次いで36.5%がエネルギーと回答した。堆肥と回答する傾向は女性の方が高く、年代別では40代以降で高くなった。女性の方が食べ残しをした経験が多いこと、普段から家庭で生ごみを処理する機会が多いこと、また生ごみを堆肥化して利用するという情報が周知されていることなどが要因として考えられた。

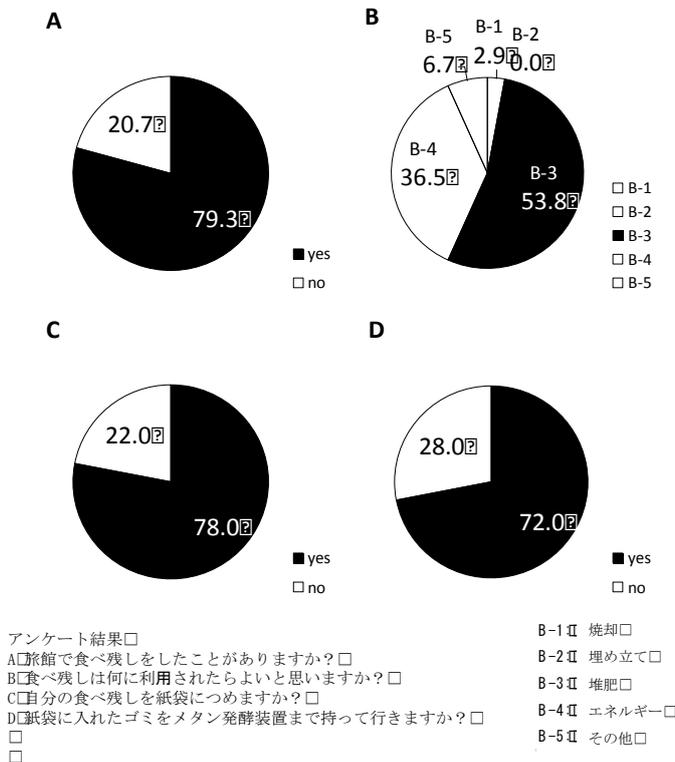
本研究のメタン発酵システムの原料収集に関する質問項目である、C:食べ残しを自分で紙袋につめるか?については、全体の78.0%がつめると回答した。D:食べ残しを自分で持っていくか?については、全体の72.0%が持っていくと回答し、自分でつめると回答した割合よりも低下した。また、E:何分までなら持っていくか?については、全体の平均は6.9分で男女とも大きな差はなく、最も多い回答は5分であった。性別では、持っていくと回答した割合は、男性(65.0%)よりも女性(80.0%)の方が高かった。年代別では、40代および70代以上の男女で80%以上が持っていくと回答したのに対し、50代の男女では

持ってくと回答した割合が一番低かった。50代では男性の平均で2.5分、女性の平均で4.3分以内なら持っていく（男女とも最低）という回答のように普段の生活から離れて宿での休息を望んでいること、比較的食べ残しの経験がない人がいたこと（50代の3割の人）等が要因として考えられた。40代で高い傾向があったのは、家族連れが多いことから子供と一緒に体験をするという目的があり、70代では男性の平均で15.0分、女性の平均で9.0分以内なら持っていく（男女とも最大）という回答のように時間的余裕をもった旅行を計画していることが要因として考えられた。

以上のことから、最近の環境やエネルギーに対する関心の高まり等の影響もあり、本システムに対しても高い興味・関心を持ってもらえることが明らかになった。7分以内の場所にメタン発酵装置が設置できれば、観光客による旅館からの食べ残しの回収が可能であることが明らかになった。また、事前の説明を十分に行うことで、さらに回収量を上げることも可能であると考えられた。

表(2)-4 世代による食べ残し運搬許容時間

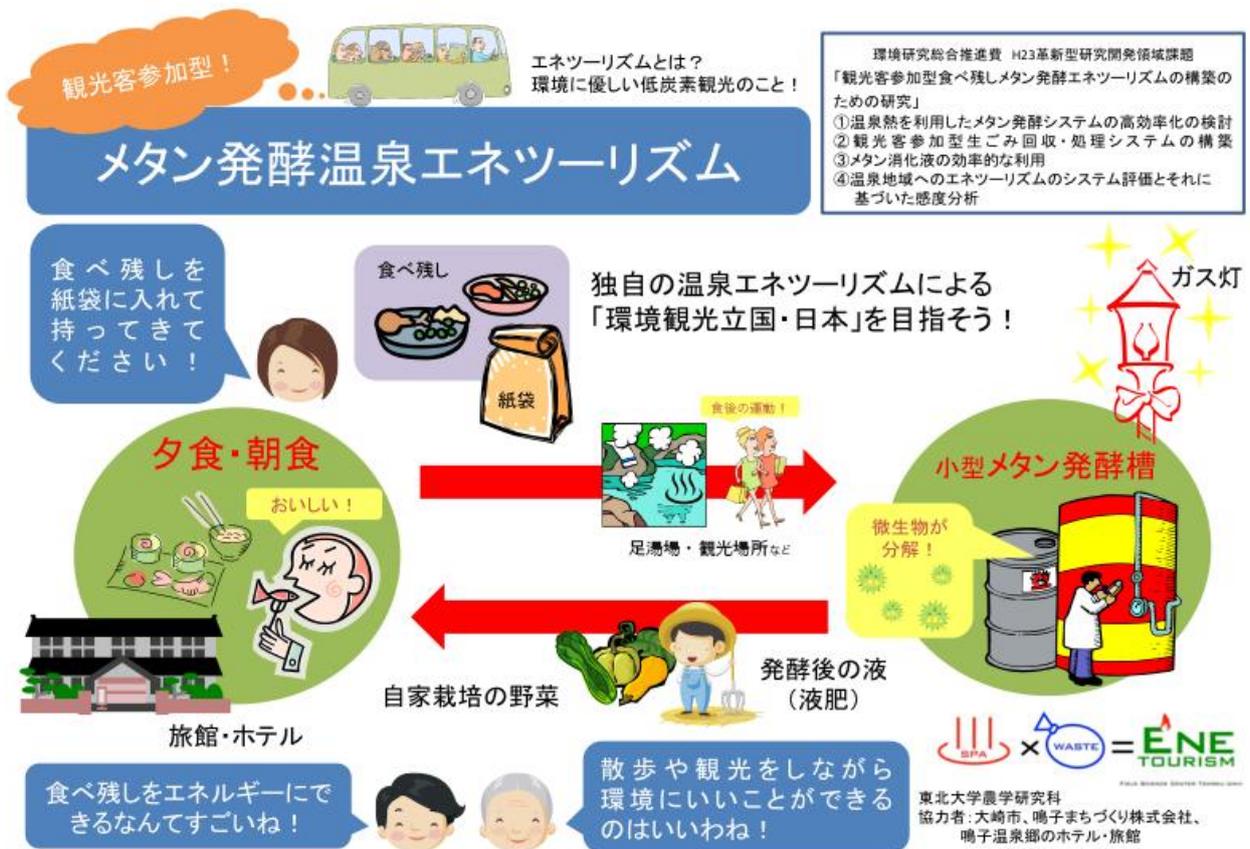
世代	性別	運搬許容時間（分）
20代	男	6.5
	女	7.7
30代	男	10.5
	女	6.2
40代	男	7.4
	女	5.0
50代	男	2.5
	女	4.3
60代	男	5.9
	女	7.4
70代	男	15.0
	女	9.0
平均	男	7.3
	女	7.0
全平均		6.9



図(2)-3 旅行者によるアンケート結果

(3) 旅館への周知と参加者の募集

旅館への周知の一つに、アンケート調査を行った。その後、観光客参加型メタン温泉エネルギー協議会（以下協議会）の設立協議会を2回行った。鳴子温泉旅館や鳴子温泉郷の飲食店経営者が参加した。意見交換の結果、より観光客に周知することや、本システムの付加価値をさらに高めるための意見交換が行われた。特に、観光客に対する周知の意見を受けて、パンフレットを(図(2)-4)作成し、鳴子温泉旅館やイベント時に配布を行った。



図(2)-4 パンフレット中

(4) 参加者によるアンケート結果

食べ残しを持参した観光客は、37組66名であった(写真(2)-1, (2)-2)。観光客のアンケート結果を図(2)-5および表(2)-5に示す。観光客の関心は高く、約9割の方がまたやってみたいと考えており、この取り組みについて賛成であると回答した。環境意識の改善にも効果的であると考えられ、自宅付近に装置があったら利用すると回答した人も約8割と高かった。資源の有効活用やエネルギー生産という位置付けだけでなく、観光や地域振興にも十分役立てられる可能性が示唆された。

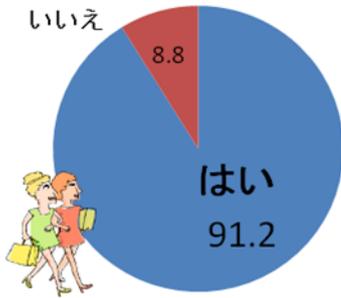


写真(2)-1 鳴子小学校への教育

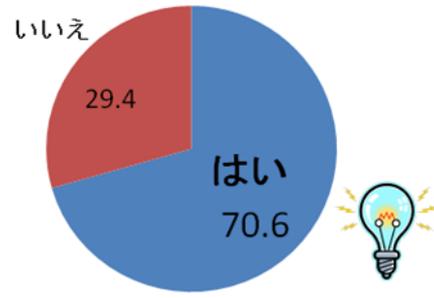


写真(2)-2 韓国大学生に対してのエネツーリズム

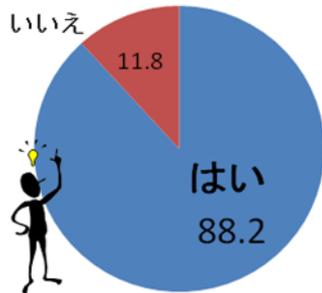
Q1. またやってみたいですか？



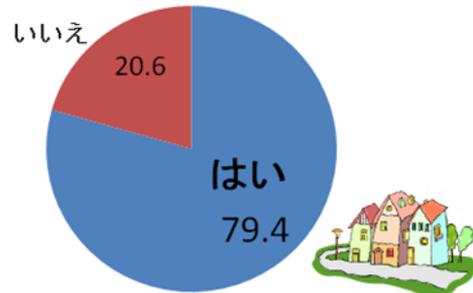
Q2. 食べ残しからエネルギーができると知っていましたか？



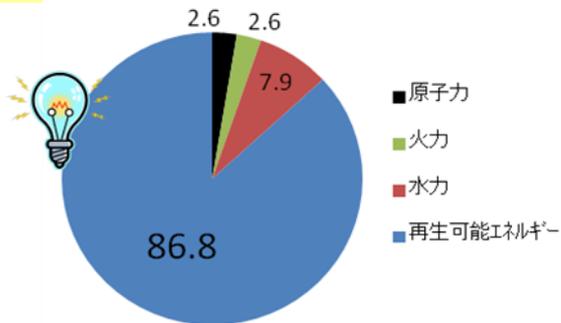
Q3. エネルギーについて関心が高まりましたか？



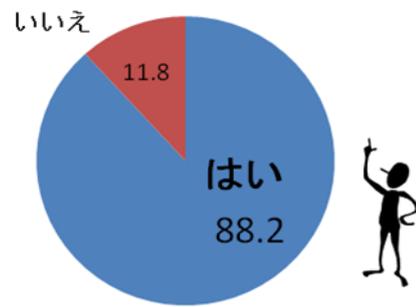
Q4. 自宅付近にあったら利用しますか？



Q5. 将来、どのようなエネルギーを望みますか？



Q6. エネツーリズムに賛成ですか？



図(2)-5. 観光客のアンケート結果

表(2)-5. 観光客の意見・感想一覧

- | | |
|---|---|
| 1 | 規模が徐々に大きくなって行って、観光の目玉や採算性が取れるようになると良いと思います。 |
| 2 | 環境に良いプログラムだと思います。 |
| 3 | まだ行き先が遠いと思います。しかし、コストも安いし、もっと便利な方法で出来るようになると思います。 |
| 4 | たのしかった。良い経験になりました。 |
| 5 | このエネルギーは将来重要になると思います。楽しかったです。 |

- 6 温泉でみる灯りの光が美しかったです。
- 7 生ゴミからエネルギーが作れることを初めて知って本当にびっくりしました。また機会があればもう一度体験してみたいです。
- 8 この取り組みに賛成しています。がんばってください。
- 9 観光客の残したもので再生可能エネルギーを作るというのはとても新しい発想で感動しました。ぜひ頑張って取り組んでいってください。
- 10 とても素晴らしい取り組みだと思う。日本各地の温泉でこのようなシステムがあったら良いと思う。全国に発信してください。
- 11 1人1人は少ないかもしれないが、多くの人数だとこれからのエネルギーの大きな力になると思うので、頑張ってほしいと思います。
- 12 使い方でどんな効果が出るのか、生活に役に立つ事に活用していけたらよいですね。
- 13 このような取り組みをやっていることを初めて知りました。実用化に向け、がんばってください。

本プロジェクトの取り組みを地域の小学5年生を対象に環境教育の教材として採用していただき(写真(2)-3)、概要説明と体験授業を実施した。体験した18名にアンケートを行った結果、「楽しかったですか?」や「またやってみたいですか?」という質問項目には100%の子が「はい」と回答した。また、体験によって子供たちの環境意識や学習意欲の向上が期待でき(表(2)-6)、環境教育としての有用性が示唆された。



写真(2)-3. 環境教育の実施の様子(左:装置の説明、右:消化液でトマト栽培)

表(2)-6. 小学生の感想一覧

- | | |
|---|---|
| 1 | 残り物を小型メタン発酵タンクに入れることを体験してとても楽しかったです。紙袋まで分解することに驚きました。また行きたいです。 |
| 2 | 微生物が生ゴミを細かくすることがわかりました。 |
| 3 | タンクの中に目に見えない小さな行き物が出て、小さな生き物は暖かくて空気のない場所が好きということを知りました。食べ残しはエネルギーが出ることも知ってよかったです。 |
| 4 | メタンガスは自然からも出来ていることや発酵した後の残りかすが肥料に使えることを知り、たのしかったです。 |

-
- 5 食べ残しや紙袋で微生物がメタンガスにして電気にできるなんてエコなことをして環境に良いからまたやってみたいです。
 - 6 目に見えない小さい微生物がいることが分かった。微生物と生ゴミでメタンガスを作って電気を作ることがわかりました。
 - 7 微生物が暖かい場所が好きで空気のないところも好きなので勉強になった。
 - 8 微生物が生ゴミを分解して細かくするのがわかった。
 - 9 体験していろいろなことが分かった。メタンガスはいろいろな物に使えるのがわかった。
 - 10 メタンガスは生ゴミと微生物が必要なのがわかりました。
 - 11 メタン発酵をするためには、微生物と生ゴミが必要なことが分かった。牛のゲップと田んぼからメタンガスが出ていることがわかりました。身近な物も微生物が作っていると知ってビックリしました。
 - 12 生ゴミを微生物が細かくしてメタンガスを作ることがわかりました。
 - 13 タンクの中には目には見えない小さな生き物がいるのがわかりました。タンクの中では分解したりして発酵後の黒い液は肥料になるのがビックリしました。
 - 14 臭いはずごく臭くて中の液は黒い色をしていました。発酵後の液は肥料として使えることもわかりました、とても勉強になりました。
 - 15 牛のゲップや田んぼがメタンガスということがわかった。微生物が作った物がいっぱいあるということがわかった。はじめて聞いて、微生物はすごい働きをしていることが分かった。
 - 16 微生物が生ゴミを分解することを発酵ということがわかりました。
 - 17 食べ残した物をメタンガスにする発想が面白いと思いました。微生物についてもっと知りたいと思いました。
 - 18 微生物の働きは電気などに使われていてすごいと思いました。
-

この他、韓国からの大学生に対してもエネツーリズムを行った(写真(2)-4)。アンケート結果は上記の回答に含まれる。日本人の参加者と同様の傾向であった。



写真(2)-4 韓国よりJICEキズナプロジェクト

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

エネツーリズムの参加者の約90%が、本システムに賛成、また、またやってみたいと回答があり、エネツーリズムが、今後、ツーリズムとして導入され、定着する可能性が高いことが示唆された。また、このような回答は、日本人だけでなく、外国人においても同様の結果であったことから、国内外のツアーとして活用が可能であると言える。また、エネルギーに対する関心が高

まったという回答も高く、本システムが、環境教育効果が高いことが示唆された。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

なし

<行政が活用することが見込まれる成果>

観光客参加型というシステムは、単純に、原料運搬コストや原料運搬に関わる消費エネルギーを削減するだけでなく、「環境教育」、「参画・協働」の効果を持っていることが、実際にエネツーリズムの参加者のアンケート結果より明らかになった。

これにより、第4次環境計画のキーワードに入っている「自然共生」、「低炭素」、「循環」「安全」、「環境教育」「参画・協働」の中の、エネツーリズムによって、「環境教育」、地域住民、観光客の「参画・協働」につながる。

6. 国際共同研究等の状況

なし

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

(1)“Investigation and basic research of a small-scale methane fermentation system using heat from a hot spring” Takashi SUZUKI, Ryosuke TAJIMA, Chika TADA, Journal of the Japan Institute of Energy, 91, 892-899(2012), (in Japanese)

<査読付論文に準ずる成果発表> (「持続可能な社会・政策研究分野」の課題のみ記載可。)

なし

<その他誌上発表(査読なし)>

なし

(2) 口頭発表(学会等)

1) 鈴木崇司、田島亮介、多田千佳, 第48回日本水環境学会 (2012. 3)

「観光客参加型食べ残し温泉メタン発酵の導入のための研究」

2) Tada C. Construction of “enetourism” which tourist bring leftover food to methane fermentation using hot spring. U.S. National Academy of Engineering Engineering Academy of Japan, 2012 Japan-America Frontiers of Engineering Symposium, October 29-31, 2012, Irvine, California <http://www.naefrontiers.org/Symposia/JAFOE/32546/2012JAFOE.aspx>

<http://www.naefrontiers.org/File.aspx?id=36919>

3) 鈴木崇司、田島亮介、多田千佳 第8回バイオマス科学会議、(2013/1/9, 10) 広島

「メタン発酵温泉エネツーリズムの実証試験」

4) Tada, C, Suzuki, T. *, Tajima, R. * Experience tourism, “enetourism”, producing biomass energy using food garbage at a hot-springs resort, Water and Environment Technology Conference 2013, 2013. 6. Tokyo,

5) Suzuki T, Tajima R, and Tada C., Pilot test of a methane fermentation system using heat from a hot spring, 13th World Congress on Anaerobic Digestion, 2013. 6, Santiago de Compostela, Spain (Poster)

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない

(4) シンポジウム、セミナー等の開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない

(7) マスコミ等への公表・報道等

サブテーマに関係なく、本研究課題すべてを評価した形で新聞記事になっている。

- 1) (日刊)大崎タイムス (2012年1月1日、2頁)
- 2) 朝日新聞 2012年6月22日 「客の食べ残しでガス作り明かり」
- 3) 毎日新聞 2012年6月22日 「温泉熱でバイオガス灯」
- 4) 河北新報 2012年6月22日 「食べ残し温泉熱でガス灯に」
- 5) 大崎タイムス 2012年6月22日 「人気スポットにガス灯」
- 6) 大崎タイムス 2012年8月8日 「鳴子温泉湯の恵みエネルギーに」
- 7) 朝日新聞 2012年8月17日 「創エネに挑む 食べ残しを街の灯に」
- 8) NHKあさイチ 2012年11月15日放送
- 9) ミヤギテレビ 2012年6月21日 ニュース放送
- 10) 仙台放送 2012年6月21日 ニュース放送
- 11) 雑誌S-style でのモニターツアー(2012年10月13-14日)

(8) その他

なし

市民向け発表

- (1) おおさき産業フェア2011への出展 (2011/11/4-6)
- (2) 鳴子温泉みのり祭2011への出展 (2011/11/11-13)
- (3) 川渡公民館にて展示 (2012/3/4-5)
- (4) 鳴子温泉食楽まつり2012への出展 (2012/6/23-24)
- (5) 鳴子小学校への環境教育授業(2012/6/28)
- (6) 感覚ミュージアムへの環境教育授業(2012/10/21)

(7) 石川県内灘町夢教室(2012/8/4, 25)

(8) 観光客参加型食べ残しメタン発酵温泉エネツアーリズム(講演会)、岩手八幡平市(2013/3/25)

海外向け

(1) JICE 韓国より大学生 キズナ強化プロジェクト(30人)

ビジネスフェア関連

(1) おおさき産業フェア2012(2012/11/2, 3)

(2) アグリビジネス創出フェア2012(2012/11/16)

(3) 東北地域アグリビジネス創出フェア2012(2012/12/5)

(4) 東北大学イノベーションフェア2013(2013/1/17)

8. 引用文献

なし

(3) メタン消化液の効率的な利用

東北大学農学研究科 田島亮介

平成23(開始年度)～24年度累計予算額： 542 千円

(うち、平成24年度予算額：64千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

これまで生ゴミを原料と下嫌気性発酵の消化液については、成分分析結果等があるが、食べ残しのメタン発酵で発生する消化液については、分析例がない。よって、本研究では、食べ残しを原料としたメタン発酵の消化液の成分分析を行い、作物栽培の液肥として利用することが可能であるか否かを明らかにすることを目的に、分析、および栽培試験を行った。その結果、食べ残しのメタン発酵由来の消化液の成分は、これまでの報告とほぼ同様の傾向が見られた。NH₄-N 1.8g/L, P₂₀₅ 0.1g/L, K₂₀ 1.5 g/Lであった。また、これらの栽培試験を行った結果、水耕栽培の液肥利用の場合には、50倍希釈で阻害が見られた。この原因として、メタン発酵を行う上でのpH調整剤を添加していることで電気伝導が32にまで高まっていた。これにより、阻害効果が現れたと考えられた。また、同様の液肥を用いて土壌栽培に使用した場合には、阻害効果はなかった。メタン発酵の際に、pH調整剤を入れずに運転することで、電気伝導度は6にまで低下したことから、通常の使用方法で土壌栽培の場合には利用可能であることが示唆された。

1. はじめに

これまで生ゴミ由来の消化液については、成分分析結果等があるが、食べ残しのメタン発酵で発生する消化液については、分析例がない。また、運転条件や材料の変動によっても、消化液の成分に変化が生じることが考えられる。成分の変動は、消化液を液肥として活用する上では、こういった変動がない方が使いやすい。また、食べ残しゴミの場合では、生ゴミ等に比較して調理後のゴミになるために、塩分を含むことが予想され、そういった塩分の作物栽培への影響も懸念される。

2. 研究開発目的

本研究では、食べ残しのメタン発酵から排出される消化液の成分分析、および、コマツナの栽培に施用し、食べ残しのメタン発酵からの消化液が液肥として使用可能か否かを明らかにすることを目的におこなった。

3. 実験方法

(1) 消化液の化学分析

7月から9月にかけて採取した消化液の化学分析をおこなった。分析項目としては植物の栄養として重要なアンモニア態窒素，リン酸(P205)，カリウム(K20)。加えて全炭素，全窒素含量，pH(H20)，EC(電気伝導度)，カルシウム(Ca)，マグネシウム(Mg)，ナトリウム(Na)についても測定をおこなった。

(2) 施設圃場に置ける水耕栽培試験

メタン消化液の肥料性等を土の影響を除いて評価するために，コマツナ(*Brassica rapa var. perviridis*)を用いて水耕による栽培実験をおこなった。無処理，液肥区，消化液区を用意した。液肥区，消化液区は窒素ベースで肥料の濃度を合わせて液肥区は市販液肥を1000倍希釈し，消化液区は消化液を50倍希釈して用いた。栽培後に地上部と地下部の乾物重を測定した。

(3) 施設圃場における栽培試験

メタン消化液の肥料性等を実際の栽培条件に近い形で評価するために，コマツナ(*Brassica rapa var. perviridis*)を用いてポットを用いた栽培実験をおこなった。土壌は東北大学フィールドセンター内より採取したものをを用いた。1ポット25種子播種し，出芽1週間後に，発芽個体数を揃えた。対照区、100倍希釈区、1000倍希釈区の3条件を3反復行なった。土壌水分含量は最大容水量の55% (圃場容水量) に調整して栽培して，栽培後に乾物重を測定した。

4. 結果及び考察

(1) 栽培概要

平成23年度の予備試験に基づいてメタン消化液の化学分析と東北大学フィールドセンター内の施設圃場における栽培試験をおこなった。栽培試験はコマツナを用いて以下の写真のようにおこなった。すなわち施設圃場に消化液の栄養成分の収支を把握するためにポットを設置し，コマツナを播種して栽培をおこなった。消化液の栄養効果を把握するために無肥料培土のpHを調整して栽培をした。



(2) 消化液の化学分析結果

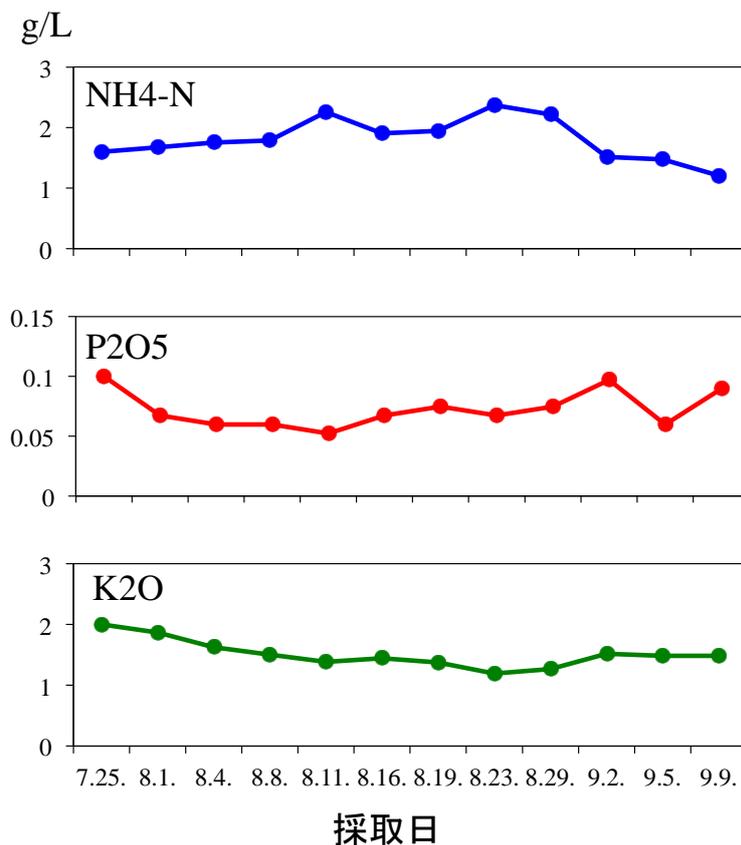
化学分析の結果は以下の通りである。まず作物栽培に利用する場合に最も重要となる窒素，リン酸，カリの測定結果について表(3)-1に示した。

表(3)-1 消化液中の窒素，リン酸，カリの平均値

	NH4-N	P2O5	K2O
本施設の平均	1.8	0.1	1.5
文献値(生ゴミ由来)*	1.0	0.5	3.0

*柚山「メタン発酵消化液の利活用」http://seneca21st.eco.coocan.jp/working/yuyama/09_10.html

リン酸が少ないものの，窒素は十分に存在していた。また消化液中のこれら3要素の変動について図(3)-1に示した。消化液の採取日ごとに要素に大きな変動はなく安定して液肥として利用可能であると考えられた。



図(3)-1 3要素の時期別変動。

その他の消化液の化学的特性についても以下の表(3)-2の測定をおこなった。ナトリウムが過剰なためECが高かった。このナトリウムは原料(生ゴミ)由来ではなく，メタン発酵槽のpH維持のため

に投入していた重炭酸ナトリウムのためであった。最終的には重炭酸ナトリウムを使用しないメタン発酵が可能となり、このEC値は等倍で利用できる程度まで減少している (EC値 1 前後)。

表(3)-2. その他の化学分析結果

全炭素	9.4g/L
全窒素	1.4g/L
pH(H ₂ O)	8.6
EC	7.1
カルシウム (Ca)	16mg/L
ナトリウム (Na)	6.6g/L
マグネシウム (Mg)	11mg/L

(3) 施設圃場に置ける水耕栽培試験

上記の化学分析に基づいて水耕栽培試験をおこなった。乾物重については以下の表のようになった(表(3)-3)

表(3)-3. 水耕栽培の乾物重

	対照	消化液	液肥
地上部	0.74	0.12	1.77
地下部	0.20	0.02	0.19

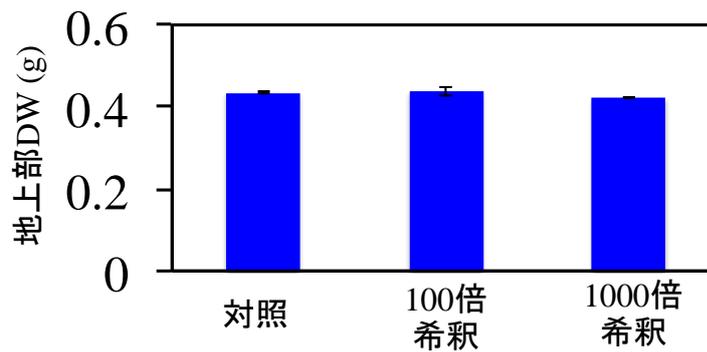
消化液区で生育抑制効果が見られたが、これはナトリウムが過剰なためである。最終的にはEC値が低下しているため、想定としては液肥処理区と同程度の生育を示すと考えられる。

(4) 施設圃場における栽培試験

栽培試験の生育は以下の図(3)-2のような様相を示した。また乾物重は図(3)-3のようになり、処理によって大きな差異は認められなかった。

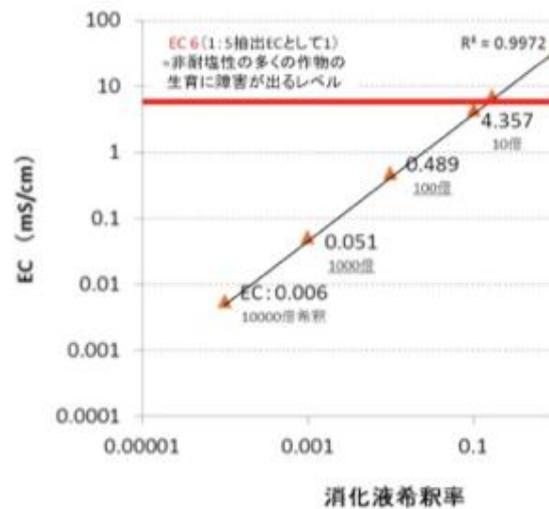


図(3)-2 コマツナ生育の様相



図(3)-3. コマツナの地上部

以上のように、本実験のメタン発酵消化液は肥料の三要素について比較的安定しており、液肥として十分有用であると考えられた。ただしリン酸がやや少ないことと、図(3)-4に示すように、ECについては注意が必要だと考えられた。特にメタン発酵の効率化のためにpH調整をおこなった場合には入念なモニタリングが必要である。しかし、pH調整をおこなわなくてもメタンが発生することが確認され、この場合にEC値は等倍で施要しても問題のないEC値まで下がることも確認されたので、十分に利用は可能であると考えられる。また、市販の液肥と比較すると低濃度なため消化液の利用はメタン発酵装置の近隣が環境負荷低減効果の観点から有利であると考えられた。



図(3)-4 メタン発酵消化液の脱塩水による希釈率とECの関係

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

食べ残し由来のメタン消化液を化学分析と栽培試験をおこなうことで、メタン消化液の利用性に関して注目すべき点について整理がなされた。メタン消化液の肥料性は化学肥料等と重量パー

スでは高いとは言えないが、地域で適切に利用することによって、環境負荷を低減することが可能であると考えられた。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

なし

<行政が活用することが見込まれる成果>

消化液の液肥利用について、土壌施肥による循環が可能になることが明らかになった。これにより、本システムは、第4次環境計画のキーワードに入っている「自然共生」、「低炭素」、「循環」「安全」、「環境教育」「参画・協働」の中で、「循環」「安全」に当てはまる。

日本国内に、本システムを導入可能と考えられる源泉は、源泉温度42℃以上の全国13860カ所源泉である。これらの場所に、同システムを導入した場合には、低く見積もって200 tCO₂/yearの削減の可能性がある。また、個人とバイオマスエネルギー、資源循環型システムを体験を通して直結させる環境教育効果、また、ツアーとして観光地の集客等による地域経済活性化も見込める。

上記を踏まえ、環境政策提言として、① 温泉地における分散型小型メタンシステムの導入推進
② 環境技術を核としたエネツーリズムの推進が求められる。

6. 国際共同研究等の状況

なし

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

なし

<査読付論文に準ずる成果発表> (「持続可能な社会・政策研究分野」の課題のみ記載可。)

なし

<その他誌上発表(査読なし)>

なし

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない

(4) シンポジウム、セミナー等の開催(主催のもの)

特に記載すべき事項はない

(9) マスコミ等への公表・報道等

サブテーマに関係なく、本研究課題すべてを評価した形で新聞記事になっている。

- 1) (日刊)大崎タイムス (2012年1月1日、2頁)
- 2) 朝日新聞 2012年6月22日 「客の食べ残しでガス作り明かり」
- 3) 毎日新聞 2012年6月22日 「温泉熱でバイオガス灯」
- 4) 河北新報 2012年6月22日 「食べ残し温泉熱でガス灯に」
- 5) 大崎タイムス 2012年6月22日 「人気スポットにガス灯」
- 6) 大崎タイムス 2012年8月8日 「鳴子温泉湯の恵みエネルギーに」
- 7) 朝日新聞 2012年8月17日 「創エネに挑む 食べ残しを街の灯に」
- 8) NHKあさイチ 2012年11月15日放送
- 9) ミヤギテレビ 2012年6月21日 ニュース放送
- 10) 仙台放送 2012年6月21日 ニュース放送
- 11) 雑誌S-style でのモニターツアー(2012年10月13-14日)

(10) その他

なし

8. 引用文献

なし

(4) 温泉地域へのエネツურიズムのシステム評価とそれに基づいた感度分析

東北大学農学研究科 田島亮介

平成23(開始年度)～24年度累計予算額：177千円

(うち、平成24年度予算額：56千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

温泉メタン発酵とエネツურიズム、消化液の液肥利用を行った際の経済性影響および環境影響を評価した。その結果、温泉メタン発酵は、温泉メタン発酵1台のシステムとして、初期投資にかかる消費エネルギーに比較して、温泉メタン発酵で得られるメタンガスの生産エネルギー、食べ残しを利用すること、温泉による加温にかかるエネルギーの代替効果によって、消費エネルギーが年間約-1000 GJ/yearとなった。それに伴い、CO₂削減効果も約-87 tonC/yearとなった。これより、温泉メタン発酵は1台、非常に高い環境負荷削減効果があることが明らかになった。

また、本システムを鳴子温泉郷に69台、分散導入する場合と、それ同等の従来法の大規模システムを一台導入する場合との比較を行った。その結果、温泉メタン発酵を69台導入する場合は、大規模システムに比較して、コストが40%削減でき、また1トンあたりのゴミ処理コストも約3万円/t生ゴミと安くなることがわかった。さらに、それに伴い、CO₂排出量は大規模ではプラス41.1tCO₂/yearとなるが、小型メタン発酵を導入する場合には、マイナスになり、CO₂排出削減効果が認められた。

1. はじめに

メタン発酵の経済性評価についてはいくつかあるが、温泉熱を利用した効率的な生ゴミの小型のメタン発酵システムについては、本プロジェクトでの温泉街における導入実証が初めてのケースであり、詳細な経済性評価や環境影響評価については行われていない。

2. 研究開発目的

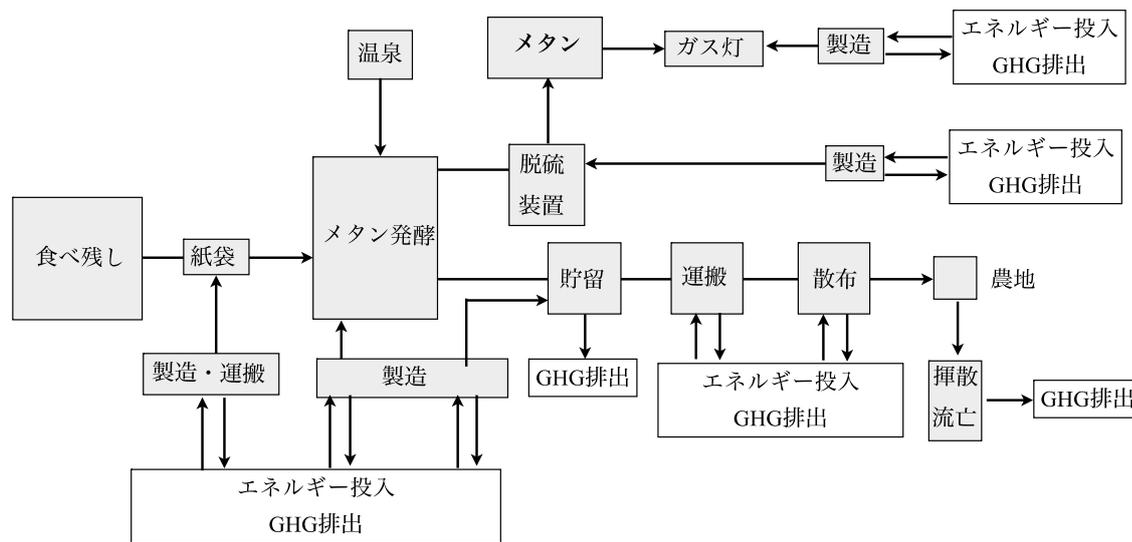
本研究では、温泉メタン発酵システムの実証データを基にした、経済性・環境性影響評価について行い、本システムの評価を行うことを目的とする。環境性影響評価については、CO₂排出量としての評価を行うこととした。

3. 評価方法

(1) 温泉メタン発酵システムの環境負荷の評価

試算する範囲は図のように設定した。すなわち、食べ残しの運搬からメタン生成、発酵残渣(メタン消化液)の処理までがその範囲である。メタン発酵システムの資材等の製造・運搬過程はこの範囲に含め、それ以外の資材、機械、例えば消化液の運搬・散布に用いる軽トラック・散布器の

製造・運搬過程は含めなかった。食べ残しからメタン発酵システムを通して生成されるメタンの量、濃度については、実測データを使用した。運搬・散布については軽トラックおよび散布機の燃費から、試算してメタン消化液は施設であれば東北地域でも通年栽培が可能な施設野菜類に窒素ベースで施用することとした。この試算に基づいて鳴子地域全域に展開した場合の環境負荷について分析をおこない、これまでの集約型のメタン発酵施設を導入した場合との比較をおこなった。



図(4)-1. 環境負荷を評価したシステム概要

(2) 温泉メタン発酵システムの環境負荷の評価に基づいた地域導入評価

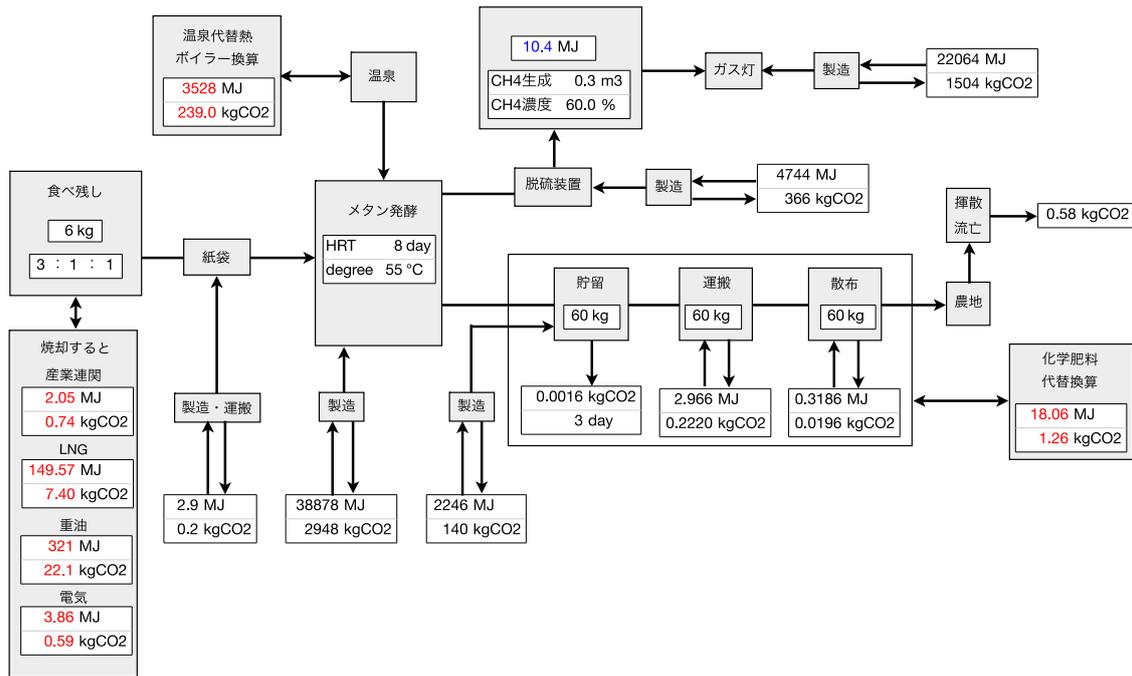
(1)の結果に基づいて鳴子温泉郷に導入した場合の環境負荷等の評価を集約型のメタン発酵と比較しておこなった。

4. 結果および考察

(1) 温泉メタン発酵システムの環境負荷の評価

小規模メタン発酵システムの導入を想定して、その環境負荷について試算をおこなった。

図(4)-1に試算結果を示した。



図(4)-1 小規模メタン発酵システムの環境負荷評価

またこの結果について1年間を評価単位として表(4)-1に示した。初期投資分は減価償却期間15年で按分した。本システムでは発酵施設の運転に関する環境負荷は少ないため、システム全体での環境負荷も小さかった。またそのほとんどはメタン消化液の貯留・運搬・散布・利用に係る環境負荷であった。代替部分を換算すると本システムの環境負荷低減効果は大きかった。特にメタン発酵槽の加温をボイラーでおこなった場合の燃料消費を考えると極めて大きな環境負荷であった(表(4)-1)。これは小さいサイズの前発酵施設は環境負荷の小さい熱源がない場合には効率が悪いというこれまでの研究を支持するとともに、本システムは温泉という熱源を確保することで小型化に成功しているということを裏付ける。

表(4)-1. 本システムの環境負荷の代替分の試算.

	温室効果ガス	
	エネルギー消費 GJ/年	発生 t CO ₂ /年
初期投資	4.53 (67.9 GJ)	0.331 (4.96 t CO ₂)
運転	2.24	0.361
メタン利用(天然ガス代替)	-3.80	-0.188
消化液利用(化学肥料代替)	-6.59	-0.460
食べ残し利用(焼却処理代替)	-1.41	-0.643
温泉利用(ボイラー代替)	-1290	-87.2

(2) 温泉メタン発酵システムの環境負荷の評価に基づいた地域導入評価

現在実証実験をおこなっている鳴子地域への導入について試算した結果を示す。まず観光客由来の生ゴミ量を試算した。アンケート調査に基づいて試算をおこなうとおよそ250tとなった(表(4)-2)。これらは地域の環境負荷や処理コストにおいて大きい、大規模なメタン発酵施設を導入するには少ない量だと考えられる。また、宿泊客の季節変動も大きいことから当該地域では大規模システムよりも小規模メタン発酵システムの導入に十分な可能性があると考えられた。

表(4)-2 鳴子地域の宿泊人数、食べ残し量および処理場からの距離

地域	宿泊可能人数	食べ残し量	ゴミ処理場からの距離
	人/日	t/年	km
川渡	448	20	9
東鳴子	855	37	12
鳴子	3339	146	15
中山平	681	30	20
鬼首	489	21	30
合計	5812	254	

次に小規模メタン発酵施設の経済性について表(4)-3にまとめた。導入の価格に対して、メンテナンス、維持管理費、修繕費、保険料についてそれぞれ既往研究を元に定めた。また工事費を20%とした。導入金額と工事費を合わせた価格を元に償却期間を15年として、年ベースおよび処理量ベースで評価をおこなうと、小規模メタン発酵の方が低い値となった。

表(4)-3. 本システムと集約型メタン発酵システムの経済性

	本システム	集約型 メタン発酵
	千円	千円
初期投資	60 (750)	5600 (70000)
維持費	10	1500
人件費	0	7000
電気	0	1450
その他	30	8400
合計	100	23950
処理量あたり	50	80

以上の試算結果を表(4)-4にまとめて地域導入効果(図(4)-2)について比較検討をおこなった。本システムは小型であるために導入台数が多いが、コストそのものは集約型システムよりも低く抑えられる。初期投資のエネルギーコストは集約型システムよりも大きい、収集や運転のコストは小さい。メタン利用、消化液利用について加味すると本システムは環境負荷の削減効果があ

ると試算された。対して集約型のシステムは一定の環境負荷が存在すると試算された。

対象地域：鳴子温泉郷(5つの温泉地域)、旅館数59、宿泊可能人数 約5800人)



図(4)-2 本システムの分散導入と従来型の集約システム導入のイメージ

表(4)-4. 地域導入効果の比較

	本システム 千円, GJ, t CO ₂ / year	集約型システム 千円, GJ, t CO ₂ / year
必要台数	69	1
コスト	12,700	20,320
エネルギー消費		
初期投資	312	114
収集	0	6.98
運転	0	7.25
メタン利用	-262	0
消化液利用	-397	87.3
収支	-347	216
温室効果ガス発生		
初期投資	23.0	8.33
収集	0	0.489
運転	0	1.02
メタン利用	-13.0	0
消化液利用	-12.5	31.3
収支	-2.50	41.1

以上より、本システム自体環境負荷が小さく、その地域導入を考えた場合には集約型のメタン発酵施設の導入と比較しても同等かそれ以下に小さいと考えられた。同様に経済性についても集約

型のメタン発酵施設よりも小さいと試算された。特に1台あたりの導入コストは安く、導入しやすいと考えられた。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

これまで、温泉熱を利用したメタン発酵そのものの例がないため、それを設置しその実測データに基づいて環境負荷を評価したことにより、今後はこの試算に基づいて新たに環境負荷を試算できることから学術的には意義深い。この技術を地域に適用した場合の環境負荷および経済性についてのデータを収集して試算をおこなったことも重要である。温泉メタン発酵システムが分散型エネルギー生産システム、且つ、廃棄物処理システムとして、大規模システムに比較して、メリットがあることも試算から新たに見出された。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

なし

<行政が活用することが見込まれる成果>

本評価の結果より、温泉メタンシステムは、環境負荷削減効果が高いことが明らかになった。よって本システムは、第4次環境計画のキーワードに入っている「自然共生」、「低炭素」、「循環」「安全」、「環境教育」「参画・協働」の中の低炭素にあてはまることが明らかになった。

日本国内に、本システムを導入可能と考えられる源泉は、源泉温度42℃以上の全国13860カ所源泉である。これらの場所に、同システムを導入した場合には、低く見積もって200 tCO₂/yearの削減の可能性がある。また、個人とバイオマスエネルギー、資源循環型システムを体験を通して直結させる環境教育効果、また、ツアーとして観光地の集客等による地域経済活性化も見込める。

上記を踏まえ、環境政策提言として、① 温泉地における分散型小型メタンシステムの導入推進
② 環境技術を核としたエネツーリズムの推進が求められる。

6. 国際共同研究等の状況

なし

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

なし

<査読付論文に準ずる成果発表> (「持続可能な社会・政策研究分野」の課題のみ記載可。)

(1) Environmental Impacts and Cost of Methane Fermentation System Using Hot Springs. Ryosuke TAJIMA, Takashi SUZUKI, Chika TADA, JIFS (Journal of Integrated Field Science), vol.10, in press

<その他誌上発表（査読なし）>

なし

（２）口頭発表（学会等）

- 1) 田島亮介、鈴木崇司、多田千佳、第7回日本LCA学会(2012.3)
「温泉熱を利用した小規模メタン発酵システム導入の環境影響評価」
- 2) Tada C. Construction of “enetourism” which tourist bring leftover food to methane fermentation using hot spring. U.S. National Academy of Engineering Engineering Academy of Japan, 2012 Japan-America Frontiers of Engineering Symposium, October 29-31, 2012, Irvine, California <http://www.naefrontiers.org/Symposia/JAFOE/32546/2012JAFOE.aspx>
<http://www.naefrontiers.org/File.aspx?id=36919>
- 10) C TADA, T SUZUKI*, R TAJIMA* Experience tourism, “enetourism”, producing biomass energy using food garbage at a hot-springs resort, Water and Environment Technology Conference 2013, 2013. 6. Tokyo,

（３）出願特許

特に記載すべき事項はない

（４）シンポジウム、セミナー等の開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない

（１１） マスコミ等への公表・報道等

サブテーマに関係なく、本研究課題すべてを評価した形で新聞記事になっている。

- 1) (日刊)大崎タイムス (2012年1月1日、2頁)
- 2) 朝日新聞 2012年6月22日 「客の食べ残しでガス作り明かり」
- 3) 毎日新聞 2012年6月22日 「温泉熱でバイオガス灯」
- 4) 河北新報 2012年6月22日 「食べ残し温泉熱でガス灯に」
- 5) 大崎タイムス 2012年6月22日 「人気スポットにガス灯」
- 6) 大崎タイムス 2012年8月8日 「鳴子温泉湯の恵みエネルギーに」
- 7) 朝日新聞 2012年8月17日 「創エネに挑む 食べ残しを街の灯に」
- 8) NHKあさイチ 2012年11月15日放送
- 9) ミヤギテレビ 2012年6月21日 ニュース放送
- 10) 仙台放送 2012年6月21日 ニュース放送
- 11) 雑誌S-style でのモニターツアー(2012年10月13-14日)

（１２） その他

市民向け発表

- (1) おおさき産業フェア2011への出展 (2011/11/4-6)
- (2) 鳴子温泉みのり祭2011への出展 (2011/11/11-13)
- (3) 川渡公民館にて展示 (2012/3/4-5)
- (4) 鳴子温泉食楽まつり2012への出展 (2012/6/23-24)
- (5) 鳴子小学校への環境教育授業(2012/6/28)
- (6) 感覚ミュージアムへの環境教育授業(2012/10/21)
- (7) 石川県内灘町夢教室(2012/8/4、 25)
- (8) 観光客参加型食べ残しメタン発酵温泉エネツアーリズム(講演会)、岩手八幡平市 (2013/3/25)

海外向け

- (1) JICE 韓国より大学生 キズナ強化プロジェクト(30人)

ビジネスフェア関連

- (1) おおさき産業フェア2012(2012/11/2、 3)
- (2) アグリビジネス創出フェア2012(2012/11/16)
- (3) 東北地域アグリビジネス創出フェア2012(2012/12/5)
- (4) 東北大学イノベーションフェア2013(2013/1/17)

8. 引用文献

1)Center for Environmental Information Service, 1998. Guidebook for Life Cycle Inventory Analysis. The Chemical Daily Co. Ltd, Tokyo, Japan**.

2)Center for Global Environmental Research, 2007. Embodied Energy and Emission Intensity Data for Japan Using Input-Output Tables. Available at: Center for Global Environmental Research, Tsukuba, Japan <http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/index.html> Collet, P., A. Hélias, L. Lardon, M. Ras, R. Goy, J. Steyer. 2011. Life-cycle assessment of microalgae culture coupled to biogas production. *Bioresource Technology* 102.207–214.

3)Gnansounou, E., A. Dauriat, J. Villegas, L. Panichelli. 2009. Life cycle assessment of biofuels: Energy and greenhouse gas balances. *Bioresource Technology* 100.4919–4930.

4)Greenhouse Gas Inventory Office of Japan, 2008. National Greenhouse Gas Inventory Report of Japan (2008). Available at: National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japan <http://www.gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/nir-j.html>.**

5)Hishinuma, T., H. Kurishima, C. Yang and Y. Genchi. 2008. Environmental Impact of Manure Treatment and Utilization system with Biogas plant by Life Cycle Assessment method: Comparison with other systems. *Animal Behaviour and Management*. 44. 7-20.*

6)Hishinuma T., S. Hoshiba, S. Morita, Y. Tsukada and T. Amano. 2002. Evaluation of a Biogas Plant on Farm from the Energetic Point of View. *Journal of the Society of Agricultural Structures, Japan*. 33. 45-52.*

7)Hong, J., J. Hong, M. Otaki, O. Jolliet. 2009. Environmental and economic life cycleassessment for sewage sludge treatment processes in Japan. *Waste Management*.29. 696–703.

8)Ishikawa S., S. Hoshiba, T. Hinata, T. Hishinuma, S. Morita. 2006. Evaluation of a biogas plant from life cycle assessment (LCA). *International Congress Series*1293. 230–233.

9)Jury, C., E. Benetto, D. Koster, B. Schmitt, J. 2010. Weltring Life Cycle Assessment of biogas production by monofermentation of energy crops and injection into the natural gas grid. *Biomass and Bioenergy* 34. 54–66.

10)Koga, N. and R. Tajima. 2011. Assessing energy efficiencies and greenhouse gas emissions under bioethanol-oriented paddy rice production in northern Japan. *Journal of Environmental Management*. 92. 967-973. Nakamura M. 2011.

11)Utilization of methane fermentation digested slurry as fertilizer and the environmenta impacts of the slurry application in upland field. *Bulletin of National Institute of Rural Engineering*. 50. 1-57.*

12)Ogawa, Y., M. Fujita and Y. Nakagawa. 2003. Analysis of the operation data of a methane fermentation facility that treat manure and tofu refuse. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 14: 258-267.*

13)Okumura, A., Y. Kawabe and T. Ohno. 2010. Current status on utilization of heat sources through hot springs and their effective use. *Bulletin of JESC*. 37. 92-100.*

14)Roy, P., D. Nei, T. Orikasa, Q. Xu, H. Okadome, N. Nakamura, T. Shiina. 2009. A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of FoodEngineering* 90. 1–10.

Enetourism: Methane Fermentation System Using Hot Spring with the Tourist Participatory Approach

Principal Investigator: Chika Tada

Institution: Graduate school of Agricultural Science, Tohoku University
232-3, Yomogida, Naruko-onsen, Oosaki, Miyagi, 9896711,
JAPAN
Tel: +81-229-84-7395 / Fax: +81-229-84-7391
E-mail: tada@bios.tohoku.ac.jp

[Abstract]

Keywords: Methane fermentation, Hot spring, Enetourism, Leftover food

In Japan, 12 million tourists visit hot springs areas each year, and the amount of food left uneaten by tourists who stay at hotels or ryokans in the hot springs resort region is about 300 g/capita/day. This leftover food can be used as biomass to produce energy by methane fermentation, which is effective for treating biomass with a high water content. A system in which tourists participate in recycling food waste for conversion to energy has been instituted at a hot springs resort. We call this system “enetourism.” After eating a meal at a hotel near the hot spring, tourists put their leftover food in a paper bag and bring it to a small-scale methane fermentation reactor, warmed by hot spring water. The fermenter converts the biomass to methane gas, which is used to light a gas lamp, enabling the tourists to see how their leftover food has been converted into energy. Additionally, the digested materials from the process can be used as liquid fertilizer for vegetable gardens at the resort, allowing the tourists to see another benefit of this recycling system.

The results showed that it was achieved more than 80% of methane yield from leftover food with the small methane fermentation using hot spring. The volume of biogas made it possible to put light gas lamp for 2.3 hours.

Value of pH in digested liquid was kept around 7 without reagent for controlling pH value by the returning operation. This operation made EC value of the digested sludge to around 6. It made possible the digested liquid from the reactor could utilize as liquid fertilizer for soil culture of vegetable.

Evaluating the environmental impact of this study was revealed that both energy consumption and GHG emission of initial materials inputs were divided by 15 years because the depreciation period of this system is assumed as 15 years. Concerning the balances between the environmental impacts of initial and operations and the four alternative effects in energy consumptions and GHG emissions, the balances became minus except for the balance between inputs and only methane utilization (0.1 GJ/year, 0.504 tCO₂/year). It is suggested that our system has the reduction effect of environmental impacts. It was compared the costs of our proposed system and centralized larger-scale methane fermentation system, when the systems were introduced to the

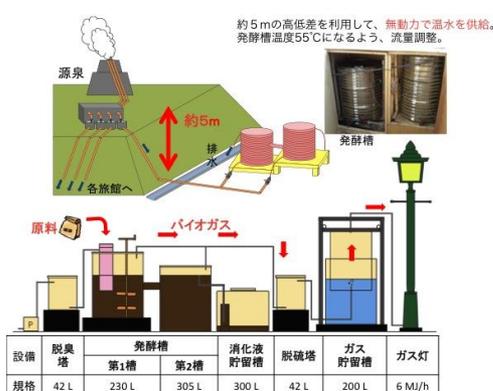
Naruko hot spring area. The costs per ton-garbage using our system was cheaper about 30,000 yen than that using the centralized system. It has been considered that to introduce any bioenergy system is difficult in hilly and mountainous regions in Japan, but our proposed methane fermentation system using hot spring could be an effective system in such regions. These results should facilitate to rethink about the establishment of small biomass use system and our proposed system should be one key technique of the reduction of environmental impacts using biomass in hilly and mountainous regions.

The participants in “enotourism” were asked various questions about their experience. About 88.2% of the participants answered “Yes” to the question, “Did you increase your interest in energy after participation in enotourism?” . The answer indicates that this type of tourism offers a good opportunity for thinking about energy. In addition, 91.2% of the participants answered, “Yes” to the question, “Do you want to participate in this program again?” Furthermore, 88.2% of participants answered, “Yes” to the question, “Do you agree with enotourism?” These answers suggest that the program is of interest as a tourism option.

The development of enotourism, whereby tourists bring leftover food to a methane fermentation reactor warmed with hot spring water, can reduce CO₂ emissions and the cost for treatment of leftover food. Furthermore, tourists can effectively learn about biomass energy by participating in enotourism.



①温泉熱を利用した小規模メタン発酵



バイオガスで点灯するガス灯

- ・温泉熱によって反応槽55℃維持が可能
- ・原料無粉碎でCH₄転換収率80%以上達成
- ・ガス灯点灯2時間20分以上確実

③メタン消化液の効率的な利用

	NH ₄ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O
本システムの平均	1.8	0.1	1.5

メタン発酵運転工夫 EC33.5 mS/cm→6.2へ
→ 土壌栽培には十分活用可能



コマツナの栽培試験

温泉地への小規模メタン発酵システムの導入を核とした
低炭素観光(=エネツーリズム)の確立

★第四次環境基本計画 「自然共生」「低炭素」「循環」「安全」「環境教育」
「参画・協働」のキーワードを実行・実現できるツーリズム

→政策提言提案 温泉エネツーリズムによる「環境観光立国・日本」

②エネツーリズムによる地域振興・意識改革



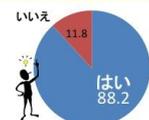
食べ残しの様子

- ・旅館からの食べ残し量一人平均300 g
- ・約半分がご飯 → C/N比20
→ メタン発酵に適した原料

Q1. またやってみたいですか？



Q2. 材料-について関心が高まりましたか？



韓国の大学生



鳴子小学校環境教育

- ・エネツーリズム参加者のアンケート結果より
→環境教育効果が高い
→ツーリズムとして可能性示唆

④温泉地でエネツーリズムの導入・展開

◎環境負荷の試算結果

	エネルギー消費	温室効果ガス排出
	GJ/年	tCO ₂ /年
初期投資*	1.66	0.331
運転**	2.24	0.361
メタン利用	-3.80	-0.188
消化液利用	-6.59	-0.460
食べ残し利用	-1.41	-0.643
温泉熱利用	-1290	-87.2

鳴子温泉郷に
温泉メタン69台導入と
従来メタン発酵1台導入
を比較
→温泉メタンはゴミ1トン
あたり処理コスト3万円安

・環境負荷削減効果あり
マイナスエミッション！

* 減価償却期間15年で試算。
**メタン消化液利用工程まで含む