

バイオマスのメタン発酵による地域自立社会の形成

菅野 元行

現代生活学科

Establishment of regional independent society by methane fermentation of biomass

Motoyuki SUGANO

Department of Studies on Lifestyle Management, Jissen Women's University

After the nuclear accident at the Fukushima No. 1 nuclear power plant, electric energy by thermal power generation using natural gas or coal increased to make up for the decrease of electric energy produced by nuclear power generation.

It is well known that greenhouse gas, such as carbon dioxide, increases with consumption of fossil fuels. Therefore, enhancement of renewable energy including solar, wind, geothermal, hydro and biomass is anticipated.

Among the forms of renewable energy, energy from biomass is available in cities and the suburbs. Biogas results from anaerobic fermentation of wet biomass, such as sludge, food waste and agricultural waste.

Considering the case studies about methane fermentation in a regional independent society, the Tama region around Tokyo possesses potential for mixed methane fermentation with plant biomass (paper, food waste and agricultural waste) and sludge. When the mixed methane fermentation is carried out in Tama region, establishment of a regional independent, sustainable and recycling-based society with low carbon will become possible.

Key words : Biomass (バイオマス), Methane fermentation (メタン発酵),
Regional independent society (地域自立社会), Food waste (食品廃棄物),
Energy (エネルギー)

1. はじめに

先進国を中心として、気体燃料である都市ガスや液化プロパンガス、液体燃料としてガソリンなどの石油製品、固体燃料として石炭を、それぞれの用途に応じて多量に消費している。その結果、これらの化石燃料の急激な多量使用により大気中の二酸化炭素濃度が産業革命以降 280ppm から 387ppm と 100ppm 以上増加し¹⁾、過去 100 年の間に平均気温は世界平均では 0.7℃、日本では 1.1℃上昇した²⁾ という地球温暖化の原因になっている。

これらの化石燃料由来の二酸化炭素の排出量を抑制するため、動植物由来のエネルギー資源であるバイオマスによる燃料代替化が進みつつある。例えば、ガソリン代替のバイオエタノール、軽油代替のバイオ

ディーゼル燃料、都市ガス代替のバイオメタンが挙げられるが、石炭を使用する工業においてもバイオコークス、石炭火力発電におけるバイオマスとの混焼も一部で実用化されている。

福島第一原子力発電所の事故の後では、従来の大手電力企業による大規模集中型エネルギー供給に対して、地域自立・分散型エネルギー供給に向けた活動が日本の各所で活発化している。その内訳として、再生可能エネルギーである太陽光（発電、熱利用）、風力発電、小水力発電、バイオマス（発電、熱利用、燃料）などが挙げられる。バイオマス利用は様々な方法があるが、下水処理場の汚泥や農産廃棄物などからメタン発酵により気体燃料を自給する実験プラントが各所で新設されている。そこで、本報告では、世界と日

本の一次エネルギー需要と発電の状況、さらに地域自立型のメタン発酵の現状について整理しながら、メタン発酵による地域自立・循環型低炭素社会の構築により地域活性化を目指す手段について考察する。

2. 世界、日本の発電量、エネルギー資源消費量をめぐる解析

2-1. 世界、日本の資源別電力量の推移

日本の発電量における資源別割合を図1に示す³⁾。2010年度までは原子力、石炭火力、天然ガス火力発電でそれぞれおよそ1/4ずつほぼ均等にエネルギーミックスが実施されていたが、2011年3月の東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所の事故により、それまで日本の1/4を占めていた原子力による発電量が2011年度から減少し始め、2012、2013年度はわずか2%以下となり、2014年度は10月まで原子力発電は行われていない。その原子力発電量の減少分を各種火力発電により補っているが、特に2011年度では天然ガスの火力発電量が前年の29%から40%に著しく増加し、2012、2013年度では43%と多量の発電量を担っている。その結果、全発電量の88%を火力発電が占めており、温室効果ガスの一つである二酸化炭素の排出量の増加を招いている。

日本では化石燃料はほぼ全量を輸入しているため、国外へ多額の出費がなされている現状も見逃せない。ダム建設を伴う大型の水力、ならびに化石燃料の中でも燃料費が高価な石油火力による発電は、これ以上の増加は見込まず、各地で活動が活発化している再生可能エネルギーについても2013年度で全発電量の2.2%に過ぎない。そのため、当分の間は石炭火力および天然ガス火力による発電に依存する傾向が続かざるを得ず、二酸化炭素の排出量を削減することは難しい状況にある。

2011年の世界全体の資源別発電量⁴⁾では、石炭41%、天然ガス22%、水力16%、原子力12%、石油5%、その他4%となっており、特に、1990年に比べて電力消費量が4倍に増加した中国⁵⁾では石炭火力発電が79%を占めている⁴⁾。そのため、地球規模での二酸化炭素排出量は増加の一途を辿っており、むしろ増加幅が拡大する傾向にある。

2-2. 世界、日本の一次エネルギー消費量の推移

世界の一次エネルギー消費量における資源別割合を図2に示す⁶⁾。一次エネルギー消費量全体の増加に伴い、石油、石炭、天然ガスといった化石燃料の消費量も増加し続けており、世界規模での温室効果ガス排出量の減少はかなり難しいことが容易に推測できる。一次エネルギー資源の可採年数の推移を図3に示す⁷⁾。石炭はこの10年の間に約70年も可採年数が急激に減少していることがわかる。天然ガスと石油の可採年数はほぼ一定となっているが、どちらの可採年数も50年余となっており、今後の世界規模での化石燃料消費量増加に伴い、化石燃料のさらなる価格上昇が想定できる。

2-3. 日本の温室効果ガスの排出量の推移

日本の温室効果ガスの排出量の推移を図4に示す⁸⁾。京都議定書の約束年であった2008～2012の5年間の温室効果ガス排出量をみると、基準年と比較して一度も-5%を下回っていないことがわかる。結果的には森林吸収源と京都メカニズムの導入により、京都議定書で日本に課せられた-6%は達成したと報じられている。2008、2009年度では、当時の不況と重なり温室効果ガス排出量は減少に転じた。一方、原子力発電量が大幅に減少した2011年度以降については、前述のように火力発電量が増加したこともあり、温室効果ガス排出量は増加傾向に転じている。

2-4. 日本の化石燃料使用の将来予測

石油は現状では自動車燃料としての消費量が多い。しかしながら、電気自動車や燃料電池自動車が普及し始めており、ガソリン代替としてバイオエタノール、軽油代替としてバイオディーゼル燃料も挙げられる。石炭は発電と製鉄への用途が主であるが、いずれも大規模事業所での使用に留まっている。石油製品や石炭は、その燃焼に際して窒素酸化物、硫黄酸化物も排出されるため、小規模の事業所等による使用には適していない。

一方、メタンは天然ガスの98%を占める主成分である。天然ガスの可採年数は2012年時点で56年であり⁷⁾、今後は世界規模における原子力発電量の減少に伴い、天然ガスの需要量も増加傾向にあるため、可採年数の減少や、価格上昇が危惧される。近年では非在

来型天然ガスの一つであるシェールガスが脚光を浴び、その生産開発はアメリカが中心となっている。しかしながら、水圧破碎による多量の水の確保と帯水層汚染が危惧される。一方、日本は地質年代が新しく、シェールガス生産は期待できない⁹⁾。

天然ガスは都市ガス等気体燃料の優位性を生かした貴重な燃料資源である。特に日本は化石燃料のほぼ全量を輸入に頼っていることから、国内におけるメタン生産は喫緊の課題であるといえよう。

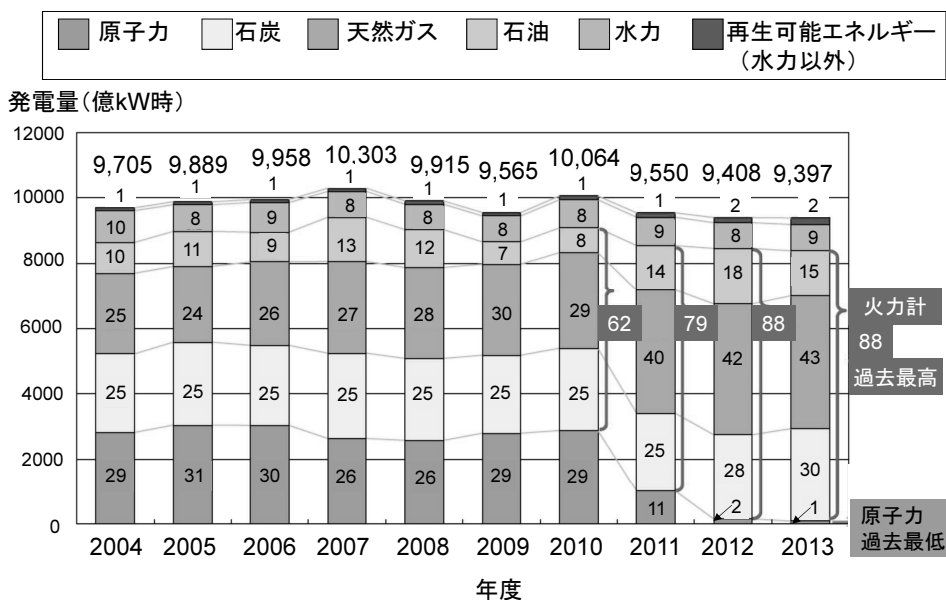


図1 日本の発電量における資源別割合

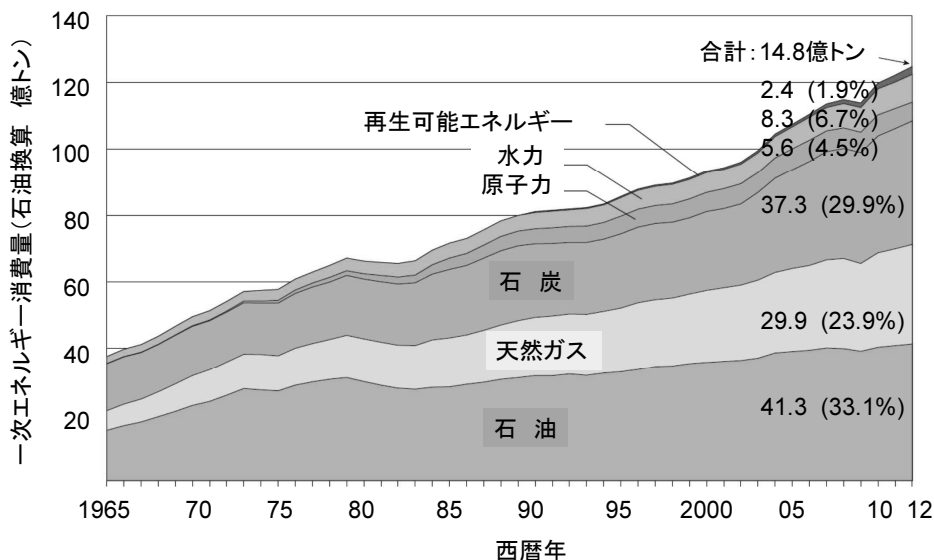


図2 世界の一次エネルギー消費量における資源別割合

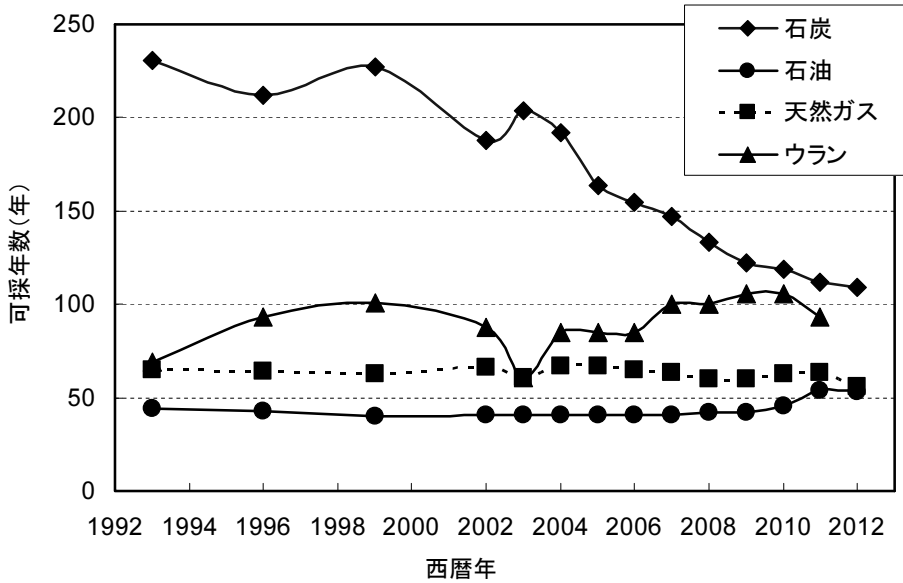


図3 一次エネルギー資源の可採年数の推移

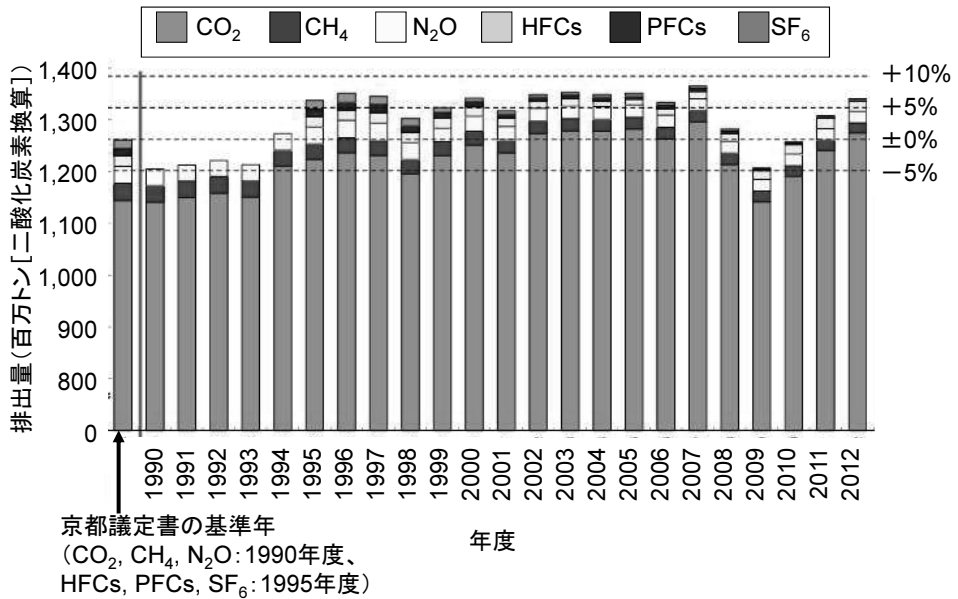


図4 日本の温室効果ガス排出量の推移

3. 再生可能エネルギーであるバイオマスのメタン発酵

3-1. 再生可能エネルギーの特徴

再生可能エネルギーとして主に、太陽光（発電、熱利用）、風力発電、地熱（発電、熱利用）、中小水力発電、そしてバイオマス（発電、熱利用、燃料）が挙げられる。このうち、各家庭に備え付け可能な小型の太陽光、風力を除けば、太陽光、風力、地熱、中小水力はいずれも広大な敷地や自然環境を必要とする。また、各家庭に備え付け可能な小型の太陽光、風力については、その設置費用がかかることから、急激な普及は期待できない。

バイオマスの種類と用途を図5に示す。バイオマスは多種類にわたっており、特に食品廃棄物、下水汚泥、古紙は都市部に集中して発生し、いずれも廃棄物である。さらに、郊外では多くの植物が自生している。このため、再生可能エネルギーの中でも、バイオマスの多くの種類が人口の多い都市または郊外に多く存在している資源といえる。

3-2. バイオ燃料の特徴

図5に示したように、バイオマスの用途も多岐にわたるが、バイオ燃料に注目すると、多糖類の加水分解による単糖類の発酵を経て生成されるバイオエタノールは100℃以上の加熱、油脂のエステル交換により生成するバイオディーゼル燃料を製造するプロセスでは、多量の試薬を必要とし、いずれも多種類の副生物が生成する。また、日本ではバイオエタノールそのままでは空気中の水分を吸収してガソリンと相分離を起こすためガソリンに混合できず、石油由来のイソブタンを反応させてエチルターシャリーブチルエーテルを合成し、これをガソリンに混合するという複雑な経路を必要とする。一方、バイオディーゼル燃料の原料である油脂は、その廃棄物を含めても、国内の軽油全てを代替することは不可能という見通しがある。

一方、バイオガスは、食品廃棄物、下水汚泥、古紙のいずれからでも生成できることから、日本各地で事業展開可能な地域エネルギーとして期待できる。副生物として原料の性状によりアンモニアや硫化水素が発

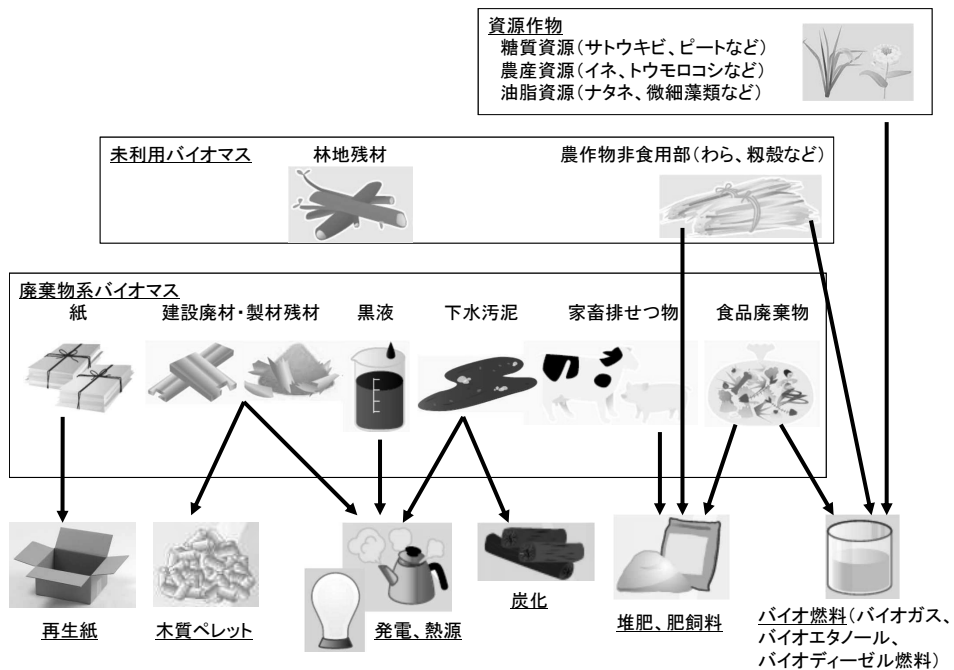


図5 バイオマスの種類と用途

生するが、いずれも捕捉分離が可能である。また、バイオガスの主成分のメタンは、燃料にも発電にも使用することができる。

3-3. メタン発酵技術のエネルギー利用

メタン生成細菌は天然に広く存在し、沼地や水田におけるメタン生成は良く知られている。バイオガスは、農業残渣、食品加工残渣、家畜糞尿、下水汚泥、生ごみなどの含水率の高い有機廃棄物を酸素の無い(嫌気)状態で35℃または55℃に保ち、メタン発酵させると発生する¹⁰⁾。バイオガスは主にメタンガス(約60%)と二酸化炭素(約40%)から成り、微量に含まれる硫化水素を除去した後、ガスエンジンやボイラーで燃焼して発電や熱供給を行う¹⁰⁾。

ヨーロッパではバイオマスのメタン発酵プラントが1980年代から普及している¹¹⁾。バイオガス生産量は、ドイツ、アメリカ、イギリスで盛んであり、この3ヶ国の合計で世界のバイオガス生産量の7割を占めている¹²⁾。ドイツでは再生可能エネルギー法の制定によりバイオガスプラントが増え始め、10年も経たない間にバイオガスによる発電量は10倍に増加した。2012年には7,500基のバイオガスプラントが設置され、設置容量3,200MW、年間発電量205億kWhとなり、ドイツの総発電量の15%を占めた¹⁰⁾。

日本においても、昭和30年代に農家で家畜糞尿からバイオガスを生産し、石油ショック後には北九州市や横浜市でバイオガスによるコージェネレーション発電がおこなわれた¹³⁾。その後、1990年代以降に排水処理、汚泥再生処理の推進や、家畜排泄物の管理に関する法律や食品リサイクル法の制定を受けて、2009年までに国や自治体の補助事業として数百基のバイオガスプラントが設置された。しかしながら、設備利用率が低い、または稼働が停止する、運用費が収入を下回るなどの問題を抱えている¹⁰⁾。一方、2012年に日本でも再生可能エネルギーの固定価格買取制度(FIT制度)が開始されたことにより、採算の取れるバイオガス事業が可能となった。

2007年度の廃棄物系バイオマスの内、下水汚泥、生ごみ、家畜排泄物の年間賦存量全量をメタン発酵すると原油換算で376万kLが得られ¹⁴⁾、154億7,325万kWhの発電量に相当する。この値は、福島第一原子力発電所1号機の約4基分に相当し、1世帯当たり

0.4kWと仮定すると4,415,900世帯への電力供給潜在能力が示されている¹⁵⁾。

日本では、農場における農業残渣や家畜糞尿、食品工場における廃水や食品加工残渣、下水処理場や汚泥再生センターにおける汚泥に対してバイオガス製造が行われているが、生ごみに対するバイオガス発電は顕著ではない。農場や食品工場は都市部から離れているのに対して、食品廃棄物や下水汚泥は都市およびその近郊で多量に発生する。そこで、次節では、食品廃棄物や下水汚泥を原材料とした地域自立型メタン発酵の事例を検討する。

4. 地域自立型メタン発酵の事例研究

4-1. 東京都下水道局 森ヶ崎水再生センターにおけるバイオガス発電¹⁶⁾

日本各地の下水処理場や汚泥再生センターにおいて発生する汚泥を原料として消化ガス(汚泥から生成したバイオガス)製造が行われているが、東京都における事例の中から森ヶ崎水再生センターにおけるバイオガス発電を検討する。

森ヶ崎水再生センターにおけるバイオガス発電¹⁶⁾の概要を図6に示す。この水再生センターは、日本の中で最大規模であり、東京区部面積の4分の1にあたる大田区全域、品川・目黒・世田谷区の大部分、渋谷・杉並区の一部の下水を再生している。

バイオガス発電設備の概要は以下の通りとなる。スラッジプラントの廃熱温水と、このバイオガス発電設備による温水の一部を使用して、水処理工程で発生した汚泥を汚泥消化槽で温め、汚泥中の有機物を発酵させてバイオガスを製造し、汚泥を減量している。そして発生したバイオガスを使用して発電を行い、センター内施設の電力の一部を充当している。また、一部の電力はナトリウム硫黄電池により充電し、必要に応じて放電することができる。

下水汚泥という都市部では多量に発生する廃棄物を使用し、その最適なエネルギー転換方法であるバイオガスを製造し、それにより発電を行っているこの水再生センターの事業は、今後も注目していくべきプロセスであろう。

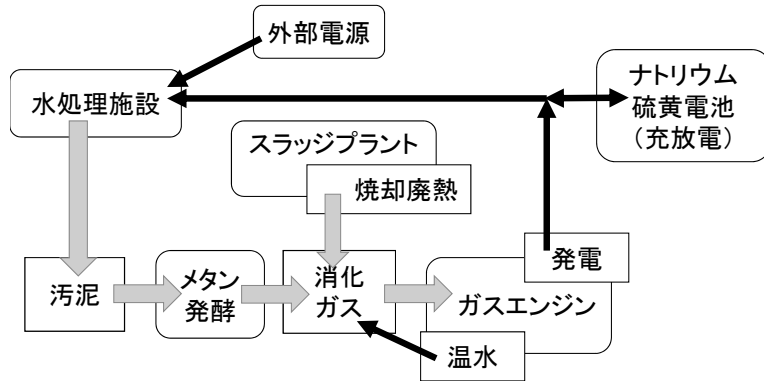


図 6 森ヶ崎水再生センターにおけるバイオガス発電の概要

4-2. こうべバイオガス事業^{17, 18)}、KOBE グリーン・スイーツプロジェクト¹⁷⁾

神戸市の下水処理場では当初から汚泥を中温発酵させて消化ガスを製造し、その半量は処理場内の燃料として使用していた。さらに、2004 年度より高压水吸収法により消化ガス中の二酸化炭素と不純物を除去し、メタン濃度を 98% に高めることに成功し、「こうべバイオガス」と名付けた。この「こうべバイオガス」を市バス、下水道脱水汚泥運搬車、民間運送用車両、宅配者などに供給し、さらには 2010 年度から都市ガスとしても活用する実証事業にも取り組み始め、3,000 世帯の 1 年間の消費量に当たる都市ガスを供給している¹⁹⁾。このような下水汚泥由来のバイオガスを直接都市ガスに供給する試みは日本初である。

一方、国土交通省の主導により、生ごみ、剪定枝、畜産排泄物等のバイオマスを下水汚泥とともに発酵さ

せる混合メタン発酵が推進されている。このプロセスにより地域の廃棄物処理コストを削減し低炭素社会の実現ならびに地産地消のエネルギーを得ることができる。この混合メタン発酵では、お互いの材料としての欠点を補うことができ、それぞれを単独で発酵させる場合に比べてバイオガス発生量が增大する相乗効果の発現が明らかになっている。このプロセスを利用して神戸市の東灘処理場では、食品系、木質系のバイオマス廃棄物を下水汚泥とともに発酵させる「KOBE グリーン・スイーツプロジェクト」を地元企業とともに提案し、2011 年に国土交通省から下水道革新的技術実証事業として採択された。KOBE グリーン・スイーツプロジェクト¹⁸⁾の概要を図 7 に示す。東灘処理場は「地産地消型の再生可能エネルギー供給拠点」として機能するとともに、都市の商業、林業とも連携した地域自立型循環型社会の取り組みとして注目に値する。

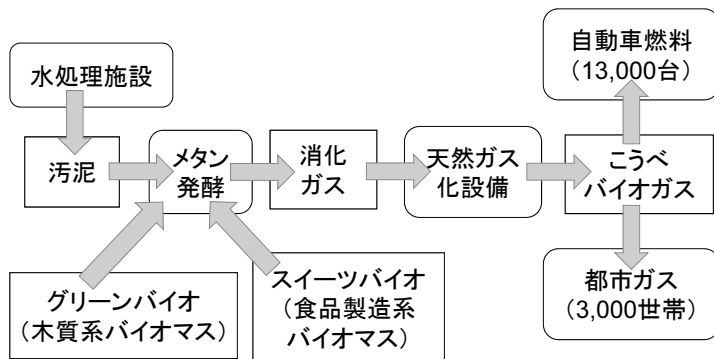


図 7 KOBE グリーン・スイーツプロジェクトの概要

4-3. 温泉廃湯を活用したメタン発酵システムの開発と循環型社会のモデル構築²⁰⁾

この事業の概要²¹⁾を図8に示す。東北大学農学研究科の多田准教授らは、従来では困難とされてきた中山間地域における生ごみのメタン発酵処理システムについて検討してきた。その結果、宮城県鳴子温泉において、温泉廃湯の熱量を活用して、近隣の旅館で排出される生ごみを原料として小型装置で発酵させ、バイオガスを製造する地域自立型のエネルギーシステムの構築に成功した。

このメタン発酵プロセスでは生ごみの運搬と熱源に化石燃料を使用しないため、生ごみの焼却処理に比べて削減可能なエネルギー総消費量は668.7 MJ/t、削減可能な二酸化炭素排出量は100.9 kg-CO₂/tとなり、従来のメタン発酵による削減量と比べて、それぞれ2.5倍、2倍高い値を示した。日本中の宿泊施設から年間24万トンの食べ残しが発生するが、すべての宿泊施設にこのシステムを普及させると年間2.4万トンの二酸化炭素が削減できると試算している。

得られたバイオガスを燃料に「エネ・カフェ・メタン」としてカフェを運営するにとどまらず、バイオガスの一部でガス灯を灯すことにより、温泉エネ・ツーリズム事業も実現させた。一般的に温泉旅館は里山地域に存在するが、その温泉旅館の排出物であった廃湯と生ごみを使用してカフェとツーリズムを並行することにより、町おこしはもとより、中山間地域の自立型循環型社会を具現化した注目すべき事例といえよう。

さらに、多田准教授は、上記のプロセスで得られた

バイオガスを2020年の東京オリンピックにおいて聖火の燃料として使用する運動も行っており、バイオガス普及のために市民へのアピール活動にも力を入れている。

4-4. 奈良県生駒市 グリーンプラン・パートナーシップ事業「トリジェネレーションシステム」²²⁾

生駒市は奈良県の北西端に位置し、大阪府と京都府に接している。自然環境の良さや交通の利便性から人口は伸び、平成2年に県下3番目の10万都市となり、平成22年末には12万人を超えている。生駒市は日本環境協会平成26年度グリーンプラン・パートナーシップ事業に応募し、2号事業として採択された。その概要を以下に示す。

生駒市内の再生可能・未利用エネルギーをもとに、低炭素エネルギーシステム「トリジェネレーションシステム」により電気・熱を製造し、発生するCO₂により施設栽培における光合成促進を図り、さらにICTによる低炭素で高度・効率的な都市近郊ならではの「野菜・果物」栽培をおこなって、生駒ならではの農作物を栽培し、温室効果ガス排出削減とともに地域経済の活性化を図る。この事業による効果として、以下の4点を挙げている。

- ① 三世代交流型の都市型農業モデルを展開し、市域における環境教育・食育の普及・促進
- ② 食品残渣の提供を通じた環境教育を実践し、生ごみのリサイクル・焼却ゴミの減量化を促進
- ③ 野菜・果物の市内での販売や、生駒ならではの料理

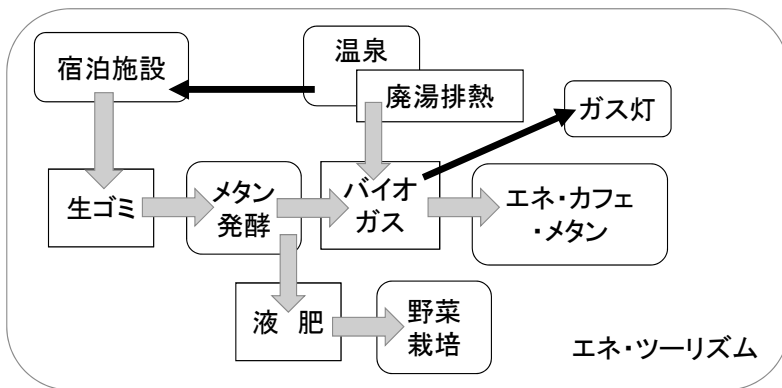


図8 エネ・カフェ・メタン、エネ・ツーリズム事業の概要

メニューや農業加工品の開発・販売により、女性・高齢者の雇用を創出し地域経済の活性化

- ④「生駒市農業ビジョン」における基本目標の一つである「地産地消の推進」の達成にも貢献

具体的に、生ごみと農業廃棄物のリサイクル方法としてメタン発酵を策定しており、その熱源として太陽熱と地中熱を想定している。生駒市は、東京多摩地域と類似した都市近郊地域であるため、生駒市の「トリジェネレーションシステム」は大いに参考になるであろう。

5. 地域自立型メタン発酵プロセスのフィージビリティ

2011年度に日本で発生した下水汚泥は185万トンに上るが、その12%が消化ガス、1%が汚泥燃料としてエネルギー利用されているに過ぎず、緑農地利用の10%を除けば77%はバイオマスとして未利用の状態である²³⁾。一方、食品廃棄物は2010年度に日本で約2,700万トン発生し、その5割が肥飼料にリサイクルされているものの、1,300万トン以上は焼却、埋め立て処理される²⁴⁾ため二酸化炭素の増加と埋立地不足を促している。食品廃棄物のリサイクル率が低い原因として、一般に含水率が高いため腐敗しやすく、混合物であることが挙げられる。一方、メタン発酵のプラントコストを1kWあたり200万円程度まで抑制できれば、原料供給者や消化液を利用する農家などの地域関係者にも波及効果のあるバイオガス事業を展開することができる¹⁰⁾。

一方、食品廃棄物、残材、農作物非食用部などのバイオマスは一般的に収集運搬システムの構築が課題となる。また、広大な農地と隣接していない場合、バイオガス生成に伴い副生する消化液の処理が課題となる。

本学日野校地が位置している日野市を含めた多摩地域のように都市に隣接した郊外地域では、都市、住宅地の機能を持つためエネルギー需要量が高いながらも、耕作地や広い公園も存在するため、枯葉、剪定枝、農産廃棄物のような植物系バイオマスに加えて、食品廃棄物、下水汚泥といった廃棄物系バイオマスも多量に発生する。

そのため、上述した「KOBE グリーン・スイーツプロジェクト」のように、植物系バイオマスと汚泥の混

合メタン発酵の潜在ポテンシャルを多摩地域は所持しているものと考えられる。仮に多摩地域で混合メタン発酵プロセスが実現した場合、その規模にもよるが、地域自立・循環型低炭素社会の構築が可能になるであろう。メタン発酵の際に熱源が必要となるが、先の事例4-3の温泉廃湯、事例4-1の所内排熱やバイオガスの一部利用、事例4-4の地中熱や太陽熱などが熱源として想定できる。

さらに、本学のように食生活科学科をもつ女子大学では、調理実習などに伴う食品廃棄物、特にスイーツ試作に伴い発生する果皮、糖質、脂質はメタン発酵には最適な材料となる。メタン生成菌として最初は消化汚泥を使用しながら、これらの食品廃棄物からバイオガスを製造できれば、学園のエコ活動にもつながると言える。ひいては郊外型都市地域におけるメタン発酵による地域自立型エネルギーシステムの構築も可能となる。具体的施策について検討を進める予定である。

6. まとめ

福島第一原子力発電事故以来、日本の原子力発電は急減し、その補填として天然ガスや石炭などの火力発電を増加させた結果、温室効果ガス排出量は増加し続けている。また世界的な化石燃料需要量の増加に伴い、それらの可採年数の減少や輸入価格の上昇も問題になっている。国内で自給可能な再生可能エネルギー導入により温室効果ガス排出量と化石燃料輸入額の削減が期待されるが、状況により高価であり土地も必要とすることから、再生可能エネルギーによる発電量はそれほど増加していない。その中でも、廃棄物を利用するため比較的安価で実現可能なバイオガス生産に注目した。バイオガスは汚泥、食品廃棄物、農産廃棄物などのバイオマスのメタン発酵によって製造が可能である。バイオガスは他のバイオ燃料よりも製造にコストがかからず、副生物も少ない。さらに、バイオガスは気体であるため、運搬が容易で、都市ガス等気体燃料、発電の双方に使用できる。さらに、地域自立型メタン発酵の事例研究から、都心に隣接している多摩地域は、植物系バイオマスと汚泥の混合メタン発酵の潜在ポテンシャルを所持し、その規模にもよるが、地域自立・循環型低炭素社会の構築が可能になると推察された。

- 1) 電気事業連合会：原子力・エネルギー図面集、p.35 (2-1-3) (2014)
- 2) 電気事業連合会：原子力・エネルギー図面集、p.37-38 (2-1-5, 2-1-6) (2014)
- 3) 電気事業連合会、2014年5月23日発表資料 (2014)
http://www.fepec.or.jp/about_us/pr/pdf/kaiken_s1_20140523.pdf
- 4) 電気事業連合会：原子力・エネルギー図面集、p.68 (4-2-2) (2014)
- 5) 電気事業連合会：原子力・エネルギー図面集、p.16 (1-1-9) (2014)
- 6) 電気事業連合会：原子力・エネルギー図面集、p.14 (1-1-7) (2014)
- 7) BP Statistical Review of World Energy, 経済産業省 総合資源エネルギー調査会鉱業分科会 クリーンコール部会報告<参考資料集>、「2-1：化石エネルギー資源の埋蔵量と石炭の位置づけ」
- 8) 環境省、2012年度(平成24年度)の温室効果ガス排出量(速報値)について(平成25年11月19日発表資料)、p.3 (2013)
http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=23358&hou_id=17394
- 9) 伊原 賢：非在来型天然ガスの開発技術の現状、石油技術協会誌、76 (2)、128-137 (2011)
- 10) 加藤 望：地域エネルギー事業としてのバイオガス利用に向けて、富士通総研経済研究所研究レポート、No.413 (2014)
- 11) 北野 誠、栗山 豊：バイオマスメタン発酵設備の実態調査と処理特性、環境技術、34 (2)、127-133 (2005)
- 12) 高橋香織：バイオマスガス化およびメタン発酵技術の導入拡大に向けた課題と展望、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 平成22年度バイオマスエネルギー関連事業成果報告会予稿集－発電および熱利用技術開発－、186-199 (2011)
- 13) 河村清史：有機性廃棄物の資源化技術、廃棄物学会誌、11 (5)、344-354 (2000)
- 14) 野池達也：メタン発酵、203-204、技報堂出版 (2009)
- 15) 野池達也：震災復興に貢献するメタン発酵、再生と利用、36 (135) 6-19 (2012)
- 16) 東京都下水道局：森ヶ崎水再生センターパンフレット (2014)
- 17) 山地健二：神戸市における下水汚泥の有効利用と今後の取り組み、再生と利用、36 (135) 20-31 (2012)
- 18) 坂部敬祐：「こうべバイオガス」への取り組み、第34回兵庫自治研集会第13分科会自主レポート (2012)
https://www.jichiro.gr.jp/jichiken_kako/report/rep_hyogo34/13/1309_jre/index.htm
- 19) パナソニック株式会社：暮らしのエコナビ：こうべバイオガス【公式】 (2014)
<https://www.youtube.com/watch?v=0bbD2qjiW60&index=4&list=PLtJFU9j2alZuZawGb7lmUOZZZsQERmWBx>
- 20) 鈴木崇司、田島亮介、多田千佳：温泉熱を利用した小規模メタン発酵システムの調査と基礎実験、日本エネルギー学会誌、91 (9)、892-899 (2012)
- 21) 多田千佳：温泉廃湯を活用したメタン発酵システムの開発と循環型社会のモデル構築 (2014)
<http://www.naruko.gr.jp/news/uploads/260701-enecafe-methane.pdf>
- 22) 奈良県生駒市：「グリーンプラン・パートナーシップ事業」の申請案の概要 (2014)
<http://www.city.ikoma.lg.jp/kashitsu/05300/12/documents/0414.pdf>
- 23) 国土交通省 水管理・国土保全局 下水道部 下水道企画課：下水道におけるバイオマス利用の推進に向けて、第73回バイオマスサロン資料、日本有機資源協会、(2014)
- 24) 農林水産省 食糧産業局 バイオマス循環資源課：食品リサイクルの推進について、第73回バイオマスサロン資料、日本有機資源協会、(2014)