

第2章 日本におけるバイオガスの生産・利用の現状⁽¹⁾

浅井 真康
林 岳

1. はじめに

本章では、地域資源としてのバイオエネルギー、特にバイオガスを取り上げる。バイオガスは地域に賦存する家畜ふん尿や食品加工残渣といった有機廃棄物をメタン発酵させることで生成される。廃棄物の再利用という点で、第1章の定義に従えば、付随的地域資源となるが、近年、世界的にも注目を集める循環型経済（Circular economy）の達成を担う上でも、バイオガスを生産・利用するシステム（以下、バイオガスシステム）の構築は重要課題である（Pan et al., 2015）。システムの構築に先立っては、地域に賦存する資源をいかに有効利用できるかという理念に基づいて検討されるため、極めて地域性が高く、またその収集から生産、そして副産物を含めた利用に至るまで地域内の多様な主体の参画によって管理運営される。この点で、バイオガスシステムは他の再生可能エネルギーと比較しても複雑なシステムである。

このような複雑なシステムの理解、さらにはその持続可能性を検討する上で、第3章ならび第4章では、北海道士幌町の取組を事例として選出した。本章では、具体事例を分析する事前情報として、バイオガスシステムの仕組みや日本におけるバイオガス生産及び利用状況、政策的支援、さらにシステム普及に向けた課題等について簡潔に説明する。

2. バイオガスに関する基礎知識

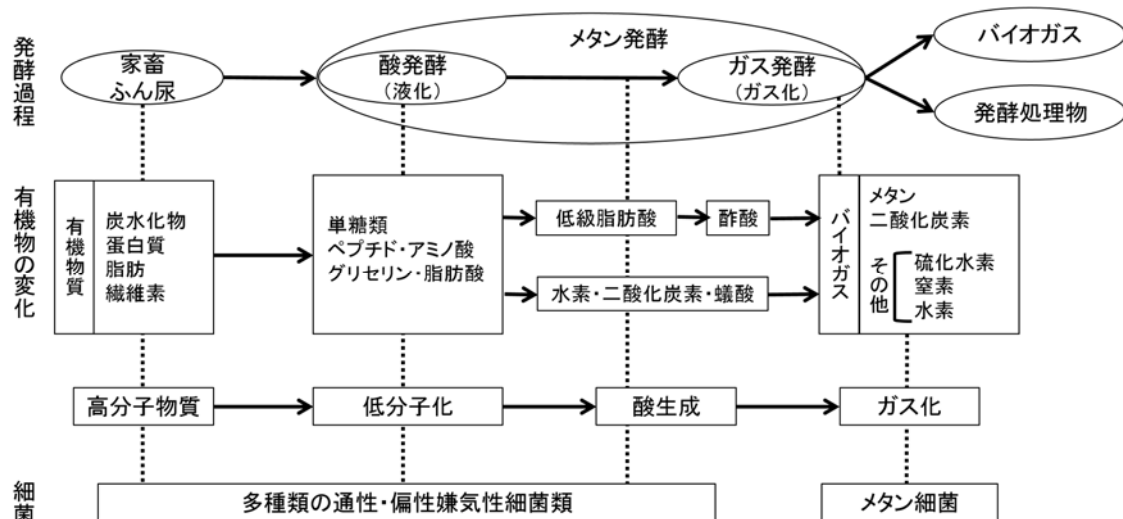
(1) バイオガスプラントの概要とその導入メリット

バイオマスとは、動植物から生まれた再生可能な有機性資源であり、具体的には下水汚泥、生ごみ、野菜くず、家畜ふん尿等が含まれる。バイオガスプラント（BGP）とは、これらのバイオマスをメタン発酵させ、発生したバイオガスをエネルギーとして利用する施設のことを指す⁽²⁾。

BGPでは、空気の入らない密閉された発酵槽において、嫌気性微生物の働きによってバイオマスを分解する。発酵槽では、微生物の働きを良好な状態にするために一定の温度⁽³⁾に保ち、第1図に示すように、通性嫌気性菌による酸生成過程と偏性嫌気性菌であるメタン細菌によるメタンガス生成過程という二つの段階を経て、バイオマス資源からバイオガスと副産物（発酵処理物）である消化液が生成される。

発生するバイオガスは、メタンが約60%、二酸化炭素が約40%、その他、微量の硫化水

素，窒素の混合気体である（梅津，1999）。発生したバイオガスは，ガス発電機やボイラー等の燃料として利用され，電気や温水を作り出す。また消化液は，液肥として農業利用されるか，脱水して残渣をコンポスト化し，脱水ろ液は水処理して放流するか，下水道に排出される。



第1図 家畜ふん尿のメタン発酵過程

資料：北海道バイオガス研究会（2002）。

BGP 導入によるバイオガスシステムの構築は，地域に様々なメリットをもたらす。以下，BGP 導入によるメリットを廃棄物の適切な処理，循環型農業の実施，エネルギー供給，環境影響の低減という観点から整理する。

まず，廃棄物の適切な処理の観点からのメリットであるが，BGP では様々な廃棄物を適切かつ一括に処理できる。特に家畜ふん尿や食品廃棄物，し尿・下水汚泥といった含水率が高いバイオマスの処理に長けている。通常，これらのバイオマスは，水分量が多すぎるために焼却処理や堆肥・飼料化がしづらく，たとえ処理できても追加的なコストが発生してしまう。また，多様なバイオマスを一つの発酵槽で一括処理できるため，廃棄物処理インフラの合理化に寄与することができる（NEDO，2018）。

次に，副産物である消化液は肥料成分（窒素，リン，カリウム）を豊富に含んでいるため，適切に扱えば良質な肥料として農作物栽培に利用できる（Nkoa，2014）。一般的に消化液はふん尿スラリーに比べて悪臭が少ないとされ，またメタン発酵の過程で雑草の種子や病原菌の多くが死滅するといったメリットもある。そのため，耕種農家も含めて，幅広く地域内で利用されれば，循環型農業の実施に寄与する。

つづいて，エネルギー供給・利用のメリットである。バイオガスを燃料として発電・発熱したエネルギーを BGP や農場施設の運転管理に用いることで，外部から購入するエネルギーの使用量を削減できる。また，電力については，施設内で使い切れない余剰分を売電することで副収入が得られる。この他，バイオガスは一時貯留することができるため，

太陽光や風力とは異なり出力変動が発生しにくく、安定的なエネルギー供給が可能である。

最後に環境面での貢献である。まず完全閉鎖系での処理（嫌気性処理）であるため、廃棄物処理に係る悪臭を低減することができる。北海道の酪農地帯では、多くの酪農家の間で堆肥化設備（好気性発酵）からの悪臭を低減する目的でメタン発酵設備が導入されている（NEDO, 2018）。また、地球温暖化の要因であるメタンの放出がほとんどなく、酸性雨の要因となるアンモニアの揮散が少ない。さらにバイオガスのエネルギー利用は大気中のCO₂を増大させないカーボンニュートラルであるため、化石エネルギーの代替エネルギーとして広く普及すれば、地球温暖化防止に寄与する。

（２）BGP の種類

BGP は、メタン発酵で用いられる原料の種類（家畜ふん尿・生ごみ・し尿及び汚泥）や扱える原料量の規模等で様々な形態に分類できる。

現在、日本で稼動しているプラント数について、そのすべてを網羅している公式な統計データはないものの、例えばバイオガス事業推進協議会（2015）の調査によると、2014年8月時点でバイオガスを発酵槽加温等の熱利用に使用している全国の下水処理施設は全国で294件、家畜ふん尿・食品残渣⁽⁴⁾、し尿を用いて発電を行っている施設・下水処理施設でバイオガス発電を行っている施設は全国で94件であった。一方、NEDO（2015）によると、国内には178件のBGPが設置されており、内訳は家畜ふん尿等畜産系原料が60件、食品廃棄物等の食品系原料が118件と報告している。さらに、118件のうち38件は北海道に集中しており、畜産系原料のプラントにおいては60件中28件と46.6%を占める。この他、食品加工会社にBGPを設置する事例も見られる。これらは廃棄物処理の一環として廃棄物を活用したエネルギー生産を行い、自社工場内の電力や熱利用に活用している。ただし、これら食品系原料の事例は、第3章、第4章で対象とする家畜ふん尿を主原料とするBGPとは本質的に目的が異なることから、以降、本章では家畜ふん尿を主原料とするBGPを中心に扱う。

家畜ふん尿を主原料とするBGPは、その規模や機能に応じて、主に「集中型」、「共同型」そして「個別型」という以下の3タイプに分類できる（第1表）。

第1表 各BGPタイプの整理

タイプ	概要
集中型	集中型は、多数の農家が参加する処理施設で、家畜ふん尿以外にも家庭の厨芥生ゴミ等、地域で発生するバイオマスを受け入れることが可能な規模のもの。副原料を積極的に受け入れることで、行政・組合等が参加する公共性の高い施設となり得る。さらに、副原料によるバイオガスの増産と有効活用により、地域社会で活用できる資源循環システムが実現する。輸送コスト及び効率の観点から、原料収集半径がおおむね10km以内の条件下で実施される場合が多い。
共同型	共同型は、複数の農家が参加・運営し、これら農家以外からのバイオマスの搬入は少ない場合

	が多い。このため参加農家の位置が比較的狭い範囲にまとまっていて原料搬送が容易であることが条件となる。集中型との主な違いは、大規模な副原料の受け入れがなく施設の公共性が低いことである。また個別型との違いは、家畜ふん尿処理を共同で行うか、個別の農家自身が行うかの相違である。共同で行う場合、建設費や維持管理作業・経費の分担が可能となる。
個別型	個別型は、個々の農家向けの処理施設として、主に畜舎に隣接して設けられる。運営方法としては、個人が施設の運転管理、原料ふん尿の搬入、消化液の搬出散布等、すべてを行う。一般に事業として成立するには、乳牛の場合約 200~300 頭（ふん尿量 20t/日程度）と言われている。養豚業にて同規模の量を回収するには、数千頭規模の豚を飼養する必要がある。

資料：北海道（2015）、NEDO（2018）をもとに著者が作成。

第2表 各BGPタイプのメリット・デメリット

	集中型・共同型		個別型	
	メリット	デメリット	メリット	デメリット
維持管理 設備投資	<ul style="list-style-type: none"> 集中管理により維持管理コストの効率化が図れる 各農家の作業負担が軽減 	<ul style="list-style-type: none"> イニシャルコストの総額が高い 	<ul style="list-style-type: none"> 営農状況に合わせて個々の管理が可能 	<ul style="list-style-type: none"> 維持管理の労力と時間が発生
原料搬入	<ul style="list-style-type: none"> ふん尿の搬出により農場内の衛生向上 農場内でのふん尿処理作業が減少 	<ul style="list-style-type: none"> プラントまでの運搬コスト 成分が不均一。そのため破砕等の前処理が必要な場合がある 	<ul style="list-style-type: none"> 堆肥化に比べ労力が軽減 輸送コストがかからない 原料成分が均一 	<ul style="list-style-type: none"> 搬入作業は農家自身で行わなければならない
バイオガスの利用	<ul style="list-style-type: none"> 処理量当りのガス発生量が多い 売電収入 	<ul style="list-style-type: none"> 多量に得られるガスの利用方法の確立が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 売電収入 農場内で熱利用が可能のため、光熱費が削減 	<ul style="list-style-type: none"> 処理量当りのガス発生量が少ない 発電コストが割高
消化液	<ul style="list-style-type: none"> 悪臭や土壌汚染を抑制 肥料費の削減 地域環境に配慮した農業が実現 	<ul style="list-style-type: none"> 消化液の運搬、散布コストがかかる 大容量の貯留槽が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 悪臭や土壌汚染を抑制 肥料費の削減 	<ul style="list-style-type: none"> 個人での散布方法の確立が必要

資料：北海道（2015）をもとに著者作成。

第2表では「集中型」、「共同型」、「個別型」BGPのメリット・デメリットを整理した。石田他（2007）によると、2006年頃までの国内のBGPの多くは個人酪農家の農場内に設置した小規模な個別型施設であることが多く、機械トラブルや経済的収支の課題から、継続運転が困難な場合も多かった。その点、大規模集中型システムの方が事業採算性は高いとされており、自治体や民間企業を中心とした組織が運営主体となって集中型BGPを運営する事例も増加している。北海道では、大規模酪農家がBGPを個人所有したり、JAが所有するBGPを自らの営農団地に設置したりする事例が見られる。また、近年では、中規模酪農家数戸が共同でBGPを建設・所有する事例（共同型BGP）も増えている。

（3）原料・副原料

前述のように、メタン発酵は水分率が高いバイオマスを処理することができる。そのため、一般に家畜ふん尿や食品廃棄物、下水汚泥等が原料として用いられている。ただし、第3表に示したように、同じ重量でもガス発生量に数倍～十数倍の開きがある。そのため、エネルギー供給を目的とする事業では、バイオガス発生量の多い食品廃棄物の割合が重要視される。また、メタン発酵過程では、同時に投入するバイオマスの種類、量、質によって、発酵の安定性やガス発生量が大きく異なる。

他方、バイオマス賦存量は地域的に大きな偏りがあり、どのような原料を主体として、どのようなものを副原料として投入するかは、それぞれの地域における原料の確保可能性や供給量に大きく依存する。実際には、家畜ふん尿にしる、食品廃棄物にしる、廃棄物の処理や有効利用を目的としてBGPを設置する事例が多く、ある地域でどのような原料が利用可能なのか、若しくは廃棄物として処理しなければならないのかによって、BGPの設置の可否が決まることも多い。

第3表 原料タイプ別1トン当たりのバイオガス発生量，電力量，熱量

原料タイプ	バイオガス発生量	電力量	熱量
ふん尿（乳牛）	15~30 Nm ³	約 145MJ (40kWh)	約 193MJ (灯油 5.3L分)
ふん尿（豚）	19~34 Nm ³	約 171MJ (47kWh)	約 228MJ (灯油 6.2L分)
食品残渣	150 Nm ³	約 967MJ (269kWh)	約 1,289MJ (灯油 35.1L分)
下水汚泥	12~14 Nm ³	約 84MJ (23kWh)	約 112MJ (灯油 3.0L分)

資料：環境省（2017）をもとに著者作成。

注. バイオガス発生量に幅があるバイオマスについては、中央値を用いて電力量及び熱量を計算した。

1) 家畜ふん尿

農林水産省（2015）によると、現在日本における主要畜種（乳牛・肉牛・豚・鶏）の家畜ふん尿発生量は年間約8300万トンで、うち約90%が堆肥化や液肥処理に、約10%が浄

化・炭化・焼却処理へ利用されている。メタン発酵処理は水分率の高いスラリー状のふん尿処理に適しているため、国内の主要畜種の中では、乳牛と豚のふん尿が主な対象となることが多い（第4表）。

第4表 各家畜ふん尿の特徴とメタン発酵への適性

畜種	既存の処理方法	水分量	メタン発酵への適性	備考
乳牛	<ul style="list-style-type: none"> ・堆肥化（固形） ・メタン発酵（スラリー） ・農地散布（スラリー） 	89%	高い	スラリー状のふん尿が回収されやすく、堆肥化や曝気過程における悪臭が問題となることがある。水分が多いため発酵不良になる場合も多い。
肉牛	<ul style="list-style-type: none"> ・堆肥化処理（固形） 	81%	中程度	敷料の割合が多いふん尿が回収されやすく、発酵槽の配管がつまる恐れがある。堆肥化処理が基本となる。
豚	<ul style="list-style-type: none"> ・堆肥化（固形） ・浄化处理（スラリー） ・メタン発酵（スラリー） 	91%	高い	スラリー状のふん尿が回収されやすく、堆肥化過程における悪臭が問題となることがある。
鶏	<ul style="list-style-type: none"> ・堆肥化 ・焼却 	60%（採卵鶏） 35%（ブロイラー）	中程度	固形状のふんが回収され、堆肥化や焼却・炭化で処理または熱回収されることが多い。

資料：NEDO（2018）より著者が加筆・修正。

注．水分量については新エネルギー財団（2008）より引用。

乳牛のふん尿は好気発酵させることで、堆肥化して処理することも可能であり、現在はBGPへの投入よりも堆肥化が主流である。しかしながら、酪農経営で大規模化を行う場合、労働作業の低減・効率化のために飼養方式はスタンション（つなぎ飼い）方式からフリーストール方式へと転換することが多く、この場合、発生するふん尿もドロドロのスラリー状のものとなる。これは、つなぎ飼い方式の場合は敷料とふん尿をまとめて処理することから、固形分の多いふん尿になるのに対し、フリーストール方式の場合はふん尿の量に対して混ぜる（混ざる）敷料の量が少なく、さらにパーラー等で発生する雑排水もふん尿と一緒に処理されるためである。このようなフリーストール方式で発生するスラリー状のふん尿は、水分率が高いため堆肥化が困難であり、液肥として処理するか、BGPに原料として投入することが最良の処理方法である。したがって、牛の飼養方式がつなぎ飼い方式か

らフリーストール方式へ移行するにしたがって、BGPのニーズは高まると考えられる。

ただし、これらの飼養方式の相違は地域性も大きく、例えば北海道の十勝及び根釧地区のような酪農経営の大規模化を目指す地域では、フリーストール方式が不可欠と言えることから、今後もBGPの導入需要は高いと考えられる。

一方で、中小規模酪農経営の酪農家が多い地域や肉牛を飼養する農家の場合は、敷料と混ざった固分の多いふん尿が発生する傾向にある。そのため、これらの地域では堆肥化でも十分にふん尿の処理は可能である。一般的にふん尿は堆肥化が優先される傾向にあり、このような地域では、バイオガスの原料に回されるふん尿の量も少なくなることから、BGPの普及はあまり見込めないものと推察される。

2) 副原料

BGPでは、前述のように、副原料として食品廃棄物等をふん尿とともに発酵槽へ投入するとガスの発生効率が向上する。自治体が運営するBGPでは、家畜ふん尿の処理とともに、家庭や飲食店からの食品廃棄物、食品加工工場からの食品加工廃棄物等を受け入れているところもある。しかしながら、家畜ふん尿が多く発生する酪農地帯では、人口密度も低く、家庭や飲食店からの食品残渣等はふん尿の量に対してわずかとなる。また、食品加工工場からの食品加工廃棄物についても、工場が近隣にある場合には副資材として活用できるが、このようなBGPは限られている。一方で、九州の一部の地域では、焼酎かす等の食品加工廃棄物を大量に入手できるところもあり、このような地域ではより効率的なバイオガス生産が可能となる。

(4) 消化液の利用方法

メタン発酵消化液の肥料効果に関する先行研究をレビューした岩崎他(2017)によれば、農作物の収穫量に関しては化学肥料と同等あるいはそれ以上で、メタン発酵消化液を施用した場合の土壌の窒素形態や栽培跡地の土壌の性質は化学肥料と差はない(第5表)。

第5表 メタン発酵消化液の作物への施肥効果

生育作物	施肥	発酵原料	施用量	収穫量	文献
飼料イネ	消化液	乳牛ふん尿	60 kg-N/ha	1.8-2.2 t/ha	須永他 (2009)
	化学肥料	—	60 kg-N/ha	2.2 t/ha	
水稻 (コシヒカリ)	消化液	乳牛ふん尿・生ごみ	40 kg-N/ha	5.07-5.42 t/ha	上岡・亀和田(2011)
	化学肥料	—	40 kg-N/ha	5.10-5.56 t/ha	
	無施肥	—	—	2.41-2.59 t/ha	
トマト	消化液	乳牛ふん・豚ふん, 鶏ふん・生ごみ混合	3.25 g-N/kg (土壌)	552-851 g 株	宮田・池田 (2006)
	化学肥料	—	3.25 g-N/kg (土壌)	597-866 g 株	

コマツナ	消化液	牛ふん・野菜屑	12 kg-N/ha 24 kg-N/ha 48 kg-N/ha	1.3 t/ha 1.9 t/ha 1.8 t/ha	藤川・中村 (2010)
	化学肥料	—	24 kg-N/ha	0.8 t/ha	
飼料トウ モロコシ	消化液	牛ふん	56.0 kg-N/ha 67.2 kg-N/ha 78.4 kg-N/ha	45.00 t/ha 44.00 t/ha 42.67 t/ha	Rahman et al. (2008)
	無施肥	—	—	34.67 t/ha	

資料：岩崎他（2017）より著者作成。

通常の BGP の場合、投入原料の 1~2 倍の消化液が発生する (NEDO, 2018)。例えば、処理量 50t/日、稼働日数 330 日/年とした場合、16,500~33,000 t/年の消化液が発生する。そのため、BGP 運営の成否を左右する大きな要因として、消化液の処理が挙げられる⁽⁵⁾。BGP から発生する消化液の利用については、液肥として農地に散布することが最も効率的な利用方法である。実際、国内では北海道や九州の一部の地域において、液肥として圃場還元されている。

ただし、作物によって散布期間が異なること、また特に積雪寒冷地では積雪や土壌凍結により冬期間の圃場散布ができないことから、散布可能な時期まで貯めておくことができる消化液貯留槽が必要である。北海道における国営かんがい排水地区の肥培かんがい施設諸元に準じれば、冬期間日数は土壌が凍結を始める日（平均気温-2~-3℃以下）から牧草が生育を始める日（平均気温 5℃以上）までと考えられており、貯留槽の容量は、1 年間で最も長く圃場還元をしない期間（積雪寒冷地では基本的に冬期間）を目安として、地域によって異なるがおおむね 150~160 日となる場合が多い（北海道開発土木研究所, 2006）。

また、降雨による消化液濃度低下や貯留中のアンモニア揮散による窒素肥料成分の損失を防止するために貯留槽にカバーや屋根を付ける有蓋型も有効である（北海道開発土木研究所, 2006）。しかし、北海道のような積雪寒冷地では、積雪重によって屋根の必要強度が高く建設費が高くなること等から、現在のところ開放型とすることが多い。他方、例えばデンマークでは、アンモニア揮散防止を目的としてカバーが義務づけられている。


消化液の貯留には、集中貯留方式と分散貯留方式がある。集中貯留方式は、BGP 地点に消化液の全量を貯留し、散布時に適時搬出・散布する方式である（北海道開発土木研究所, 2006）。大きな貯留槽を一つだけ建設する集中貯留方式とすることにより、工事費等の節減を図ることができるが、圃場がプラントから遠隔地にある場合は、運搬により多くの時間と労力が必要となる。分散貯留方式は、消化液還元を行う圃場が BGP から遠隔地にある場合の対策として、プラントでの貯留施設とともに、遠隔地の圃場群の近隣にサテライトタンクを設ける方法である。この方式では、BGP からサテライトタンクまでの搬出を、非散布期の任意の空き時間にあらかじめ行っておくことができ、散布期の搬出作業を軽減

することができる。

つづいて、代表的な消化液の散布方法を第6表に示す。消化液の散布時にはアンモニアが揮散するが、これは肥料効果の低減や環境負荷の増大にもつながるので、散布方式決定の際には、労力・コストとともに考慮する必要がある。また、傾斜地においては消化液の表面流出等にも配慮しなくてはならない。なお、例えばデンマークではアンモニア揮散防止の観点から、スプラッシュプレートのような空中散布は法律で禁止されており、インジェクタによって土壌に直接流し込んでいる。また、九州の水田地帯などでは、水田の灌漑水と液肥を混合して投入する方式も採用されており、液肥の輸送手段として、ローリーやバキュームカーなどの車両やパイプラインが使われている。

第6表 消化液の散布方法

方式	散布方式	導入費用	労働時間	アンモニア揮散
スプラッシュプレート 	飛散板によって消化液を飛散させて空中散布する方式。	安い	短い	多い
バンドスプレッダ 	横広の筒状の管から垂らしたチューブによって地表面近くに散布する方式。	高い	短い	中程度
溝きり流し込み 	圃場内に溝を掘り、その中に消化液を流し込む方式。	安い	短い	中程度
流し肥 (ながしごえ) 	ローリーやバキュームカーで液肥を輸送し、液肥を水田の灌漑水に混合して投入する方式。	安い	短い	少ない

パイプ ライン		消化液貯留槽からのパイプラインにより液肥を輸送し、液肥を水田の灌漑水に混合して投入する方式。	高い	短い	少ない
浅層インジェクタ		消化液散布のためのホース先端に注入爪を付け、これにより土壌表面に 5～15cm 程度の深さの溝を切り広げ、そこへ消化液を注入する方式。	高い	長い	少ない
リールマシン		ポンプ圧送により散水器で空中散布する方式。圃場まで管路を整備する必要がある。圃場への荷重が小さい。	高い	短い	多い

資料：北海道開発土木研究所（2006）をもとに著者作成。

写真提供（一部）：佐賀大学 田中宗浩教授。

（5）固液分離

家畜ふん尿中には、乳牛の体内で消化できなかった敷料（麦稈やおが粉等）が多く含まれている。一般に、それらはメタン発酵槽の中でも完全に処理されることはなく、消化液中にも含まれている。そこで、消化液を固液分離して敷料等の固形分を取り出し、これを好気発酵させることで再生敷料（戻し堆肥）が製造される。再生敷料は発酵による 60 度以上の熱で 30 分殺菌されている上、膨軟性や吸水性が高く、一般敷料と同等の安全性が確保可能であり、近年北海道内で利用が進んでいる。再生敷料の利用は敷料購入費の削減のみならず、牛体が清潔に保持され乳房炎の発生が抑えられる等の効果が報告されている（岩崎他，2017，NEDO，2018）。

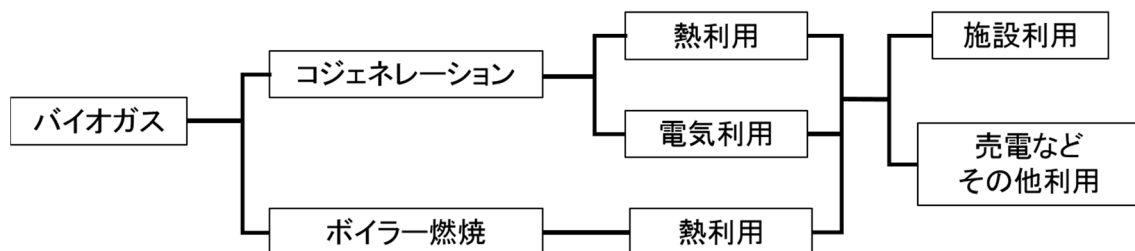
（6）電気・熱利用

生成されたバイオガスの利用には、燃焼エネルギーを利用するボイラー燃焼利用とコージェネレーション利用の二つが主である（第 2 図）。嫌気性発酵では、閉鎖系で無酸素状態を保持すると同時に、発酵槽内の温度環境を維持することと、攪拌により槽内を均一化することが重要であり、これらに用いる熱や電気等のエネルギーが必要となる。そのため、生

成されたバイオガスは、BGP の施設運転に必要な熱や電力としてまず利用される。従来は BGP によってプラント施設並びに隣接する農場が必要とする熱と電気を自給することを基本としていたが、2012 年からの再生可能エネルギー固定価格買取制度（FIT）導入に伴い、プラントの発電分を売電した方が農家収入は高くなるケースも見られ、BGP 導入の大きな経済的インセンティブになっている。

大規模 BGP では、発生するバイオガスをコジェネレーションシステムで燃焼させて電力及び熱エネルギーとして利用する方法が一般的である。ガス発電機では、発電に伴い本体の温度が上昇した際に余剰熱が発生するため、これを熱エネルギーとして利用することができる。ただし、これまではその余剰熱の一部しか活用されておらず、多くの熱は屋外へ排出されていた。そこで、例えば、鹿追町環境保全センターの BGP では、ガス発電機から生じる余剰熱を貯蔵するため、70 度のお湯を 100t 貯蔵できる「蓄熱槽⁽⁶⁾」を導入し、蓄熱槽に貯蔵されたお湯をチョウザメ試験飼育施設やさつまいも貯蔵設備、マンゴーのハウス栽培といった余剰熱利用施設へと分配し、チョウザメ飼育の効率化やさつまいもの長期保存、他産地と出荷時期をずらしたマンゴー栽培を行っている。

熱を発生させるその他の方法として、発生させたバイオガスのすべてを発電に使うのではなく、ボイラーで燃焼させることも考えられる。この場合、売電による収益は減るが、蒸気を得ることができ、より広い用途にすることが可能である。



第 2 図 バイオガスの電気・熱利用

3. 日本におけるバイオガス関連政策と利用の現状

日本における BGP の発展には、これまでに行われてきた政策や法案が大きな影響を与えてきた（第 7 表）。

富士通総研によれば、年間の BGP 設置数は 2000 年代前半がピークであったとしている（加藤，2014）。特に 2002 年に閣議決定された「バイオマス・ニッポン総合戦略」等を契機として、プラントの建設は増加した。この頃のバイオガス事業実施の主な目的は廃棄物処理であり、その背景には、2001 年に施行した「食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律（食品リサイクル法）」や、2004 年から本格施行した「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律（家畜排せつ物法）」がある。これらの法律により、廃棄物処理の有効な手段としてバイオガスへの関心が一時的に高まったといえる。しかし、発

電された電力は、2003年に施行された「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法（RPS法）」により、電気事業者との個別契約で売電することはできたものの、取引価格は1kWh当たり平均約7～9円と低かった。さらに、この時期に設置されたプラントは実証的なものが多く、原料確保の問題から設備利用率が低いあるいは稼働が停止する、あるいは採算性等に問題があり、本格的な普及には結びつかなかった（加藤，2014）。

その後、東日本大震災を契機に、2012年にFITが開始されたことに伴い、売電単価が大幅に上昇することとなり、採算が取れるバイオガス事業の展開が可能となったことから、家畜排せつ物を利用した発電施設の整備が増加している（加藤，2014）。例えば、農林水産省畜産振興課による報告でも、2012年以降の全国BGP設置数の増加が見て取れる（第8表）。今後稼働予定の39施設を含めると、2016年時点でBGPは159件存在し、これは2010年の46件、2012年の63件から大幅に増加している⁽⁷⁾（農林水産省，2018）。

第7表 BGP 関連政策・法案時系列表

年・月	政策・法案名	概要
1999・11	「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」	家畜排せつ物の素掘り池での貯留や野積みを禁止
2001	「食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律（食品リサイクル法）」	廃棄物の再利用に関する取組
2002・12	「バイオマス・ニッポン総合戦略」閣議決定	地球温暖化防止、循環型社会形成、戦略的産業育成、農山漁村活性化等の観点から、バイオマスの利活用推進に関する具体的取組や行動計画
2003	「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法（RPS法）」	電気事業者との個別契約により、発電した電気を売電可能
2004・8	「バイオマスタウン構想」募集開始	安定的かつ適正なバイオマス利活用が行われることを目指し、市町村等が作成する構想
2004・11	「家畜排せつ物法」本格施行	家畜排せつ物管理の適正化
2009・6	「バイオマス活用推進基本法」制定	廃棄物系バイオマス（紙・食品・バイオマス）の利用率の目標設定
2010・12	「バイオマス活用推進計画」閣議決定	バイオマス活用推進基本法に基づきバイオマス活用の将来像や目標等を示す
2011	「バイオマスタウン構想」	地方自治体におけるバイオマス活用推進計画の手引き作成
2012・7	「再生可能エネルギー固定価格買取制度（FIT）」	一般電気事業者や特定規模電気事業者等へ固定価格で売電することが可能 ^(注)
2012・9	「バイオマス事業化戦略」閣議決定	7府省連携のもと、バイオマス活用の事業化を重点的に推進し、地域におけるグリーン産業の創出と

		自立・分散型エネルギー供給体制強化を実現していくための指針
2013・3	「バイオマス産業都市」募集開始	地域に存在するバイオマスを原料に、収集から利用までの一貫システムを構築し、地域の特色を活かしたバイオマス産業を軸とした環境にやさしく災害に強いまち、むらづくりを目指す
2015・3	「食料・農業・農村基本計画」	地域産業活性化施策の一つとして嫌気発酵利用が挙げられる
2015・3	「家畜排せつ物の利用の促進を図るための基本方針」	消化液等の副産物の有効活用、バイオガスエネルギーの利用推進
2015・7	「食品リサイクル法に基づく基本方針」の改定	食品廃棄物をメタン発酵し消化液等を肥料利用することへの再生利用順位が向上

資料：バイオガス事業推進協議会（2015）、農林水産省（2008）、環境省（2012）等から著者作成。

注. 2019年度時点でのバイオマス由来のメタン発酵ガス電力買取価格は税抜き 39 円/kWh、調達期間は 20 年である。

第 8 表 BGP 設置数の推移

	2010 年	2011 年	2012 年	2014 年	2016 年
メタン発酵	74	74	90	124	179 (39)
うち熱利用	64	61	61	71	73
うち発電	46	47	63	94	159 (39)

資料：農林水産省（2018）より著者作成。

注. 2016 年の（）内は、2017 年以降に稼働を予定している施設数（内数）である。また、熱利用と発電を併用している施設はそれぞれ内数に入れているため、合計数が一致しない。

4. バイオガス導入の課題

以上、日本におけるバイオガス導入の現状について、家畜ふん尿を原料とするバイオガスを中心に解説してきたが、本節ではバイオガス導入の課題について触れる。一つ目として、消化液の液肥としての利用問題がある。消化液の液肥利用においては、北海道や東北を中心とした畜産業では草地や畑地への利用が一般的であり、九州では、主に水稻と麦の肥料として利用されている（矢部，2014）。しかし、特に本州以南において消化液の液肥としての利用が、いまだ進んでいない現状があり、液肥の生産母体となる再資源化施設や、し尿処理組合、畜産農家と耕種農家との連携不足、臭いや環境汚染に関する液肥の否定的イメージ、液肥施用に向けた栽培技術や普及活動の不足、廃棄物処理プラント業者の思惑、導入時における市町村や農協の担当者の負担等が原因とされる（矢部，2014）。この他、下水汚泥を混ぜると、生成された消化液を「特殊肥料」としての届け出ができないことや、生ごみ由来の消化液利用が進んでいないといった現状も問題点としてあげられる（谷川他、

2008)。今後、水田地域での液肥利用を促進する技術開発が重要な鍵となる。九州でのクローラー型散布車及び流し込みによる水田へのし尿液肥利用はその一つといえ(第3図)、急峻な山に囲まれ、一戸当たり土地面積の小さい日本においては、スプレッダといった大型機ではなく、中山間地域や圃場に対応した散布法の確立等が重要となるであろう。

二つ目は、建設コスト及びランニングコストの高さである。日本のBGPの建設費は、バイオガス先進国であるドイツと比較して3倍以上であり、耐震性等、ドイツよりも厳しい規制に対応しなければいけないという事情もあるが、それを勘案しても日本のプラント建設コストは高いというのが現状である。加えて、近年は資材の高騰等でBGPの建設費はますます上昇している。BGPの建設費は、その一部が補助金でまかなわれるものの、このような建設費の高騰はBGPの収支に大きく影響を与え、普及の阻害要因となる可能性がある。また、BGPの国内市場規模が小さいために、国内メーカーが機器開発をしにくく、外国製の機器を使わざるを得ないことから、機器の修理や維持にかかるコストが非常に高いという側面もある(石田他, 2007)。また、メンテナンスに必要な部品調達に時間がかかる等の課題もある。さらに、本州以南のように、消化液の耕地全量散布が難しい地域では浄化処理が必要になり、追加的設備の初期投資・エネルギーや薬剤等のランニングコストがかかる。この維持管理費が大きく、自治体の管理下にあるプラントは、その収入不足分を自治体の財政から補填することが多い(石渡, 2007)。



第3図 クローラー散布車

写真：著者撮影。

三つ目は、売電環境を巡る問題である。例えば、送電容量の制約がある。現在の送電設備では、送電できる容量に限界がある。発電事業者から系等への接続契約の申し込みがあれば、その送電容量の中で、申し込み受付順に送電できる容量を確保している。ところが、2012年のFIT開始以降、事業用太陽光発電が急速に認定・導入量が拡大したことにより、未稼働案件を含む太陽光発電事業者によって系統容量が押さえられてしまい、新規のバイオガス発電事業者が接続契約できない等の課題が顕在化している。

この他、「立地環境」の問題もあげられる。通常、電力会社に販売する際にはBGP内の受送電設備から、送電網を介して近隣の変電所に送られることになるが、変電所から極端に離れた農場では送電線へのアクセスが物理的に難しく、BGPの設置自体ができない。

四つ目は、政策転換リスクである。再生可能エネルギーを取り巻く政策動向は主要な事業リスクの一つである（NEDO, 2018）。例えば、国の政策動向に関わる主なリスク要因としては、電源構成（エネルギーミックス）に関する基本的な方針、FIT（買取価格や買取期間、適用要件）や補助金（補助率、事業者要件）等のインセンティブ制度、再生可能エネルギー由来の電力と熱・ガスそれぞれに対する優遇、電力の系統接続に関する基本的な方針等があげられる（NEDO, 2018）。

国の各種政策は、バイオマスエネルギーを「推進」するか「抑制」するかに大きく分かれる。推進側に政策転換された場合には、インセンティブが拡充されるだけでなくインフラ整備が進み、BGPの導入が加速する可能性もある。ただし、特定地域での設置数が増加しすぎると、原料資源の競争や送電容量の逼迫の問題が発生する。また、消化液散布先確保の競争が激化するというリスクも生じる。他方、抑制側に政策転換された場合には補助金等が削減される可能性があり、バイオマスエネルギー事業の計画数自体が大きく減少することも予想される（NEDO, 2018）。

5. おわりに

本章では、第3章及び第4章で扱う北海道士幌町の事例分析を理解する際の事前情報として、バイオガスシステムの仕組みや日本におけるバイオガス生産及び利用状況、政策的支援、さらにシステム普及に向けた課題等について説明を行った。本章の内容からも明らかのように、バイオガスの生産・利用システムは、地域内のバイオマスをいかに有効利用するかという理念に基づいて構築されるため、極めて地域性が高く、またその収集から生産、そして副産物を含めた利用に至るまで地域内の多様な主体の参画によって管理運営される。つまり、バイオガスシステムが普及し、効率的な資源循環を達成するには、資源利用に関わる多様な主体間の合意形成、体制作りが不可欠となる。ここで興味深いのは、このような合意の過程が必ずしも経済合理性に基づいて進められるだけでなく、農村内の社会関係性であったり、慣習の有無であったりと様々な社会的要素の影響も受けていると考えられる点である。つまり、上記のような合意形成過程を理解し、促進を図る上では、まず各主体がどのようにバイオマス利用や他主体との関係を認知しているのかを把握し、さ

らには彼らの認知・意向が主体間でどのように異なるのかを整理することが有効である。そこで第3章及び第4章では、これら各主体の認知・意向を理解する上で有効な認知マッピングという手法に注目し、本手法を北海道士幌町での取組に適用しながらデータ収集、分析、議論を進めていく。

- 注(1) 本章の一部は2016年7月から10月までインターン研修生として農林水産政策研究所に在籍していたワーヘニンゲン大学永澤拓也氏が執筆した原稿を著者らが改編したものである。永澤氏には当方からの原稿とりまとめの依頼を快諾していただき、記して感謝申し上げる。なお、本文中の誤りはすべて著者らに帰するものである。
- (2) 日本では「メタン発酵処理施設」の名称を用いることが多いが、本章では有機性廃棄物、主にスラリー状の家畜ふん糞尿をメタン発酵し、発生するメタンガスをエネルギー化する施設全体を「バイオガスプラント(BGP)」と呼ぶことにする。
- (3) メタン発酵は一般に中温発酵と高温発酵とに適温が分かれ、その最適温度の範囲は、それぞれ30~50℃、50~60℃の範囲にある(梅津, 1999)。また、中温と高温の有機物処理能力は、1:2.5の比率で、高温の方が中温の2倍以上の有機物処理能力を有する。欧州で普及している家畜ふん尿を対象とするメタン発酵槽の多くが55℃を中心とした高温域で運転している。また、消化液の有機物肥料としての圃場還元の際に衛生面の配慮から、殺菌効果の高い高温域での処理に対する評価が高い。家畜ふん尿を対象としたメタン発酵処理施設の場合、戸別型では中温、大型共同施設では高温による運転が一般的になっている(梅津, 1999)。
- (4) 本章では家庭や飲食店から出る生ゴミを「食品残渣」、食品加工工場から出る食品廃棄物を「食品加工廃棄物」、そして食品残渣と食品加工廃棄物が区別なく合わさったものを「食品廃棄物」として整理した。
- (5) 矢萩他(2012)は、複数のケースを用いてBGPの事業採算性を計算した。それによれば、消化液をできる限り有償販売かつ全量散布することで、プラントの初期投資回収は可能となり、さらに液肥の全量散布が困難な地域でも消化液の販売・有機性廃棄物有償受入を導入することで、事業を継続できるという結果を得ている。
- (6) 蓄熱槽とは、高温となった発電機の冷却液を蓄熱のため水槽まで通し、水槽内の水を温めて貯蔵する仕組みである。
- (7) 前述のように日本で稼働しているプラント数について、そのすべてを網羅している公式な統計データは存在しない。そのため農林水産省(2018)の設置数も11ページで示されたNEDO(2015)の値とは若干異なるが、第8表では設置数の推移を示すことに主眼を置いたことから農林水産省(2018)のデータを用いた。

[引用文献]

- バイオガス事業推進協議会(2015)『バイオガス事業の栞[平成27年度版]』。
- 藤川智紀・中村真人(2010)「乳牛ふん由来のメタン発酵消化液の施用方法がコマツナの収量と亜酸化窒素発生量に与える影響」『日本土壌肥科学雑誌』81(3):240-247。
- 北海道(2015)『畜産系バイオガスプラント導入ガイドブック』。
- 北海道バイオガス研究会(2002)『バイオガスシステムによる家畜ふん尿の有効利用』酪農学園大学エクステンションセンター。
- 北海道開発土木研究所(2006)『積雪寒冷地における乳牛ふん尿を対象とした共同利用型バイオガスシス

- テム導入の参考資料』.
- 石田哲也・山田章・横濱充宏 (2007) 「副資材を共発酵処理する共同利用型バイオガスプラントの稼働と運営経費の特徴」『寒地土木研究所月報』 655 : 47-51.
- 石渡輝夫 (2007) 「共同利用型バイオガスプラントの課題と展望に関するシンポジウム」を終えて『寒地土木研究所月報』 647 : 58-64.
- 岩崎匡洋・竹内良曜・梅津一孝 (2017) 「農業施設に関わる研究・技術の最近の展開—家畜ふん尿を主原料とするメタン発酵処理施設について—」『農業施設』 48 (3) : 123-130.
- 上岡啓之・亀和田國彦 (2011) 「水稻コシヒカリに対するメタン発酵消化液の基肥利用」『日本土壤肥科学雑誌』 82 (1) : 31-40.
- 環境省 (2012) 『バイオマス利活用に関する環境省の取り組み』.
- 環境省 (2017) 『廃棄物系バイオマス利活用導入マニュアル』.
- 加藤望 (2014) 「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』 413 : 1-24.
- 宮田尚稔・池田英男 (2006) 「メタン発酵消化液が養液土耕におけるトマトの生育と果実収量に及ぼす影響」『日本土壤肥科学雑誌』 77 (6) : 619-626.
- NEDO (新エネルギー・産業技術総合開発機構) (2015) 『NEDO バイオマスエネルギー導入ガイドブック』.
- NEDO (新エネルギー・産業技術総合開発機構) (2018) 『バイオマスエネルギー地域自立システムの導入要件・技術指針【メタン発酵系バイオマス編】』.
- Nkoa, R. (2014) "Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates : A review" *Agronomy for Sustainable Development* 34 : 473-492.
- 農林水産省 (2008) 『バイオマスタウン構想策定マニュアル』.
- 農林水産省 (2015) 『家畜排せつ物の管理と利用の現状と対策について』.
- 農林水産省 (2018) 『畜産環境をめぐる情勢』.
- Pan, S.-Y., Du, M.A., Huang, I.-T., Liu, I.-H., Chang, E.-E., Chiang, P.-C. (2015) "Strategies on implementation of waste-to-energy (WTE) supply chain for circular economy system : A review" *Journal of Cleaner Production* 108 : 409-421.
- Rahman, S.M.E., Isam, M.A., Rahman, M.M., Oh, D.H. (2008) "Effects of cattle slurry on growth, biomass yield and chemical composition of maize fodder" *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 21 (11) : 1592-1598.
- 新エネルギー財団 (2008) 『バイオマス技術ハンドブック (導入と事業化のノウハウ)』.
- 須永薫子・吉村季織・侯紅・Win, K.T.・田中治夫・吉川美穂・渡邊裕純・本林隆・加藤誠・西村拓・豊田剛己・細見正明 (2009) 「飼料イネ栽培へのメタン発酵消化液の多量投入が土壌, 水質, 大気環境に及ぼす影響」『日本土壤肥科学雑誌』 80 (6) : 596-605.
- 谷川昇・古市徹・石井一英・西上耕平 (2008) 「生ごみバイオガス化施設におけるメタン回収量・環境保全性・経済性の検討」『廃棄物学会論文誌』 19 (3) : 182-190.
- 梅津一孝 (1999) 「バイオガスプラントによる家畜糞尿の有効利用」『北海道草地研究会会報』 33 : 10-15.

矢部光保（2014）『高水分バイオマスの液肥利用』，筑波書房．

矢萩健太・古市徹・石井一英・翁御棋（2012）「地域特性と事業採算性を考慮した集中型家畜糞尿バイオガス化施設のシステム化の検討」『第 40 回環境システム研究論文発表会講演集』：153-161．