

バイオマス利活用の現状とこれからの展望

Current Status and Future Prospects of Biomass Utilization

石川志保*

1. はじめに

再生可能エネルギーとは、エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律（エネルギー供給構造高度化法）において、「太陽光、風力その他非化石エネルギー源のうち、エネルギー源として永続的に利用することができるものと認められるものとして政令で定めるもの」と定義されており、政令において、太陽光・風力・水力・地熱・太陽熱・大気中の熱その他の自然界に存する熱・バイオマスが定義されている¹⁾。

本稿では、これらの再生可能エネルギーのうち農村漁村に豊富に存在する「バイオマス」を有効利用した再生可能エネルギーを対象とする。本稿の読者の中には、「バイオマス」という言葉に馴染のない方も多いかもしれないので、ここで少し説明を加える。バイオマス（生物資源）とは草本、木本等の「再生可能な、生物由来の有機性資源で化石資源を除いたもの」というのが一般的な認識である。バイオマスが大きな期待を受けている理由は、生物資源から燃焼や微生物分解によって発生した炭酸ガス（CO₂）は元々光合成によって固定されていたものであり、再び光合成によって生物資源中に固定されるという繰り返しが行え、大気中のCO₂量が一定であるカーボンニュートラルに大きく貢献すると考えられているからである。

<ul style="list-style-type: none"> ・農業系 : 麦わら、米ぬか等 ・林業系 : バルブ黒液、オガクズ、間伐材等 ・畜産系 : 家畜ふん尿等 ・水産系 : 水産加工残渣 ・廃棄物系 : 生ごみ、下水汚泥 	<ul style="list-style-type: none"> ・廃棄物系 ・未利用のもの ・資源作物
---	---

図1 バイオマス資源の体系

以上のような背景から、バイオマスエネルギーはエネルギーとして導入普及が期待されるだけでなく、「再生可能」、「カーボンニュートラル」という特徴を有し、二酸化炭素排出抑制に係る地球温暖化防止、循環型社会の構築に寄与するとともに、「地域資源」を活用した地域エネルギーとして地域産業活性化や雇用創出等にも貢献するものとして期待されている²⁾。

2. バイオマスの種類

図1に示すとおり、バイオマスは多種多様であるが、我が国で利用可能なバイオマスはほとんどが未利用、廃棄物系であり、これらはエネルギー利用可能な資源である。

3. バイオマス変換技術

バイオマスの変換技術（図2）は、その性状や発生状況に合わせた変換技術を選択する必要がある。代表的なバイオマスの変換技術として、物理的変換（チップ化、ペレット化等）、熱化学的変換（燃焼、ガス化、炭化等）、生物化学的変換（メタン発酵、エタノール発酵等）が存在する。このうち、物理的変換は原料の形状を変化させ利用しやすい製品に加工する技術であり、運搬効率や燃焼効率の向上を目指し、既に固体バイオマス燃料の製造などで広く利用されている技術である。

バイオマスエネルギーの商業的な導入には、変換技術の成熟だけでなく、地域に「広く薄く」存在するバイオマスを安定的に収集することが重要であり、国内での事業として採算性を見込むには難しい面もあることに注意が必要である。様々なバイオマスエネルギー利用技術があるが、経済性の確保や安

* 酪農学園大学 農食環境学群 循環農学類 農業施設学研究室

定的な稼働など事業性を含めて考えると、現時点における国内での導入は直接燃焼やメタン発酵などが候補となる²⁾。

4. メタン発酵

メタン発酵は、嫌気性消化ともいわれ、バイオマスが酸素のない（嫌気性）条件で雑多な微生物の活動により分解し、最終的にメタンと二酸化炭素を主体とする可燃性ガス（バイオガス）を生成する反応³⁾であり、一般にエネルギーとして利用可能なメタン濃度は60%前後である。

メタン発酵の副生成物である消化液は「液肥」として利用可能であり、これについては後述する。

メタン発酵のうち、家畜ふん尿処理のためのメタン発酵については、「バイオガスプラント」という名称の方が馴染みがあるかもしれない。

個別型バイオガスプラントは、農家個人の家畜ふん尿処理施設として、主に畜舎近傍に設けられるものであり、運営方法についても基本的に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全てを行うものである。

共同利用型バイオガスプラントは、複数の農家が共同で利用するふん尿処理施設で、乳用牛のふん尿以外にも家庭の厨芥生ごみ等、地域で発生する有機資源（副資材）を受け入れることが可能な規模のものである。副資材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になるとともに、副資材によるバイオガスの増産と有効活用によって地域社会における資源循環システムの構築が期待される。

5. コージェネレーションを用いたバイオガスの電力・熱利用

発生したバイオガスのエネルギー化技術には、バ

イオガスを（1）熱エネルギーとして利用するガスボイラ、（2）エンジン、ガスタービンの燃料として利用する発電方式、（3）ガス改質により水素を生成し、燃料電池による発電方式がある。2012年7月に施行された「再生可能エネルギー（Renewable Energy）の固定価格買取（Feed-in Tariff:FIT）制度」（経済産業省資源エネルギー庁、2020）において⁴⁾、メタン発酵ガス（バイオマス由来）で発電した電気が1kWhあたり39円+税での買取単価に設定されてからは、（2）エンジン利用によるコージェネレーションシステム（Combined Heat and Power、以下CHP）の活用が主流となり、発電設備を備えたメタン発酵施設の導入が急増している。

5.1 コージェネレーションの定義と概要⁵⁾

コージェネレーションシステムとは、熱源より電力と熱を生産し供給するシステムの総称であり、国内では「コージェネ」あるいは「熱電併給」、海外では「CHP」あるいは「Cogeneration」等と呼ばれる。本稿では、以下、コージェネと表記する。

コージェネは、燃料となるバイオガスの燃焼により得られる熱エネルギーをまず高温でしか得られな



写真1 個別型バイオガスプラント（北海道江別市）
（出典）著者撮影

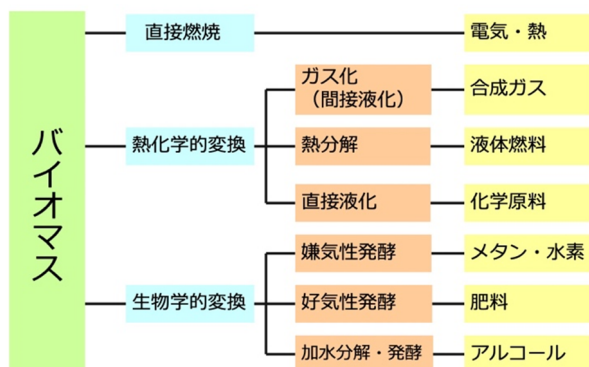


図2 バイオマス変換技術の概要



写真2 共同利用型バイオガスプラント（北海道別海町）
（出典）著者撮影

い動力（電力）として回収し、そこから排出される低温の排ガス・廃熱を順次加熱源として利用するシステムである。このように発電と同時に熱を回収するため、極めて高い総合効率が得られる。さらに、バイオガス発電は再生可能エネルギー電源でありながら、燃料のバイオガスとコージェネ本体の出力範囲（定格出力の50%～100%）で部分負荷運転が可能な可制御電源である。

5.2 コージェネレーションの種類

コージェネは原動機型発電、電気化学的発電、汽力発電のタイプに大別され、発電機を駆動する方式はガスエンジン、ガスタービン、ディーゼルエンジン、燃料電池、蒸気タービンに分類される⁵⁾。

バイオガスプラントに導入されるコージェネの多くは原動機型発電であり、発電機の駆動方式については発電機の起動停止を毎日行うとともに電力需要が高い場合はガスエンジンを、産業用等で大量に熱（蒸気）を必要とする場合にはガスタービンを用いることが多い。また、燃料電池によるコージェネについても開発・実用化が進んでいる。

6. メタン発酵の原料

家畜排せつ物や食品廃棄物、下水汚泥などを原料としたメタン発酵は既に広く普及している。家畜排せつ物は畜産経営体の生産活動に伴い毎日、必ず生じる副産物であり、「土づくり、草づくり」に不可欠な有機質資源であることから、良質な堆肥化等を進め、安全・安心な農畜産物の生産に役立てることを基本としつつ、エネルギー利用の観点からメタン発酵によるバイオガス発電の導入が進められているところである。特に、畜産が盛んな北海道は大規模経営を展開する酪農場を中心に、発電設備を備えたバイオガスプラントが急増している。

6.1 北海道の飼養頭数と飼養戸数⁶⁾

北海道の畜産は、平成30（2018）年度の産出額が7,347億円で、道内の農業産出額1兆2,593億円の58.3%を占めているほか、生乳生産量が全国の約

55%、牛肉生産量が全国の約20%を占めるなど、わが国最大の畜産物の生産・供給地域として地域経済・社会を支える重要な役割を担っている。

近年、乳用牛、肉用牛および豚の飼養戸数は減少しているものの、飼養頭数は増加し、その結果、一戸当たりの飼養頭数は増加している（表1）。

6.2 家畜排せつ物の発生量と利用

北海道における平成30年度（2018年度）の家畜排せつ物の発生量は1,978万トンと推計され、うち乳用牛によるものが約64%で、肉用牛を合わせると全体の約9割が牛の排せつ量となる（表2）⁶⁾。

家畜排せつ物は、そのほとんどが農地還元されている現状にあるが、その施用にあたっては畜産農家自らが処理や施用等における基本技術を励行して、飼料基盤との調和を図りながら有効活用と循環利用を進めることが基本であり、今後も適正な管理のために必要な施設整備や維持・管理を自ら行っていく必要がある。さらに近年の飼養頭数増加に伴って、家畜排せつ物の発生量も増加することが見込まれている。

ふん尿量の最も多い乳用牛では1日約30Lの牛乳を生産するのに対して、ふん尿を毎日63kg排せつする。つまり、牛乳1Lに対して2kg以上のふん尿が発生する計算である。また、乳用牛のふん尿は含水率が86%程度と高く、泥状（スラリー状）で排出されるため、処理の労力に加えて臭気も発生することから、ふん尿処理作業は4K（きつい、汚い、危険、くさい）とも言われている。

例えば、平均的な規模の酪農家（飼養頭数90頭、写真3）におけるふん尿排せつ量は、上記のふん尿排せつ量の原単位より1日あたり約5.6トンと試算される。ここに、ふん尿の水分調整のための副資材としてオガクズや戻し堆肥を混合すると、1日の処理量は10トン程度に達する。近年では飼養規模が100頭を超える酪農家も珍しくないことから、排出されるふん尿を搬出・処理することはかなりの重労働といえる。最新の畜産統計では、ふん尿の搬出など管理にかかる時間は、平均的な飼養規模の酪農家

表1 家畜使用頭羽数の推移⁶⁾

(単位：頭、千羽)

区分	H17	H12	H17	H23	H27	H28	H29	H30	H31
乳用牛	882,900	866,900	857,500	827,900	792,400	785,700	779,400	790,900	801,000
肉用牛	430,400	413,500	447,700	535,900	505,100	512,550	516,540	524,230	512,850
豚	582,400	546,100	514,969	609,100	626,100	608,280	631,040	625,620	691,640
採卵鶏	8,494	8,238	7,177	6,725	6,716	6,786	6,955	6,892	6,657
ブロイラー	3,130	3,456	2,421	4,444	4,849	4,639	4,693	4,993	4,920
馬	-	38,698	39,206	34,727	30,926	31,567	32,249	31,530	32,102
戸当た	74.2	87.1	97.1	110.4	118.6	121.1	123.5	128.8	134.2
り頭数	96.3	119.5	146.8	178.6	192.8	197.1	197.9	204.0	200.3

表2 家畜飼養頭羽数と家畜排せつ物の年間発生量⁶⁾

(単位：頭羽、千トン)

区分	飼養頭羽数	ふん	尿	計	割合(%)
乳用牛	801,000	9,703	2,914	12,617	63.8
肉用牛	512,850	3,422	1,305	4,727	23.9
豚	691,640	556	1,029	1,585	8.0
採卵鶏	6,657,000	291		291	1.5
ブロイラー	4,920,000	233		233	1.2
馬	32,102	269	59	328	1.6
計		14,474	5,307	19,781	100.0

で1年あたり約1000時間かかっており、1日3時間弱に相当すると言われている。このふん尿処理に関連する作業の時間を削減することが、酪農家のワークライフバランス向上にもつながると考える⁷⁾。

特に北海道は、広大な面積を活用した大規模なフリーストール牛舎（写真4）の導入が増えており、これにより家畜排せつ物の管理にかかる負担も増えていることが想像できる。このような背景もあって、北海道では家畜ふん尿処理・利用のためのバイオガスプラントの整備が増えている（表3）。

7. つなぎ飼い牛舎の特徴

- ・少ない面積での飼養管理が可能のため、日本の牧場の大部分で採用
- ・牛は繋留され、作業者が1頭ごとに給餌や搾乳を行う。
- ・個体の能力や状態に合わせた個体管理がしやすい。
- ・管理労働力が多く必要である。
- ・ふん尿のうち固形物はバークリーナと呼ばれる搬出装置で舎外に搬出し、堆肥舎で堆肥化される。

8. フリーストール牛舎の特徴

- ・飼養頭数の大きい酪農家を中心に採用
- ・牛を繋留せず放し飼いする方式なので、牛が自由に行動できるためストレスが軽減される。
- ・搾乳作業、給餌作業、ふん尿排出作業等の分担と

表3 バイオガスプラントの推移⁶⁾
(単位：カ所)

年度	H24	H25	H26	H28	H30
施設数	40	48	51	62	77



写真3 つなぎ飼い牛舎（北海道鹿追町）
(出典) 著者撮影

合理化が容易

- ・1人あたりの管理頭数が増えるので、大規模経営に適合

9. メタン発酵消化液の利用

メタン発酵した後の家畜ふん尿は、消化液と呼ばれ、概ね投入された原料量と同じ量が生成されるため、通常、バイオガスプラントの中でも最も大きい施設となる。メタン発酵は閉鎖系であるため、消化液は窒素をはじめとする肥料養分の減少がない。このため、酪農場においては最も損失量の少ない養分循環が可能となる。消化液はメタン発酵の結果、易分解性の有機物から無機化したアンモニウム態窒素が増えて窒素肥効の高い液肥として利用できる。また、粘度が低下し、臭気も低減されるため取り扱い性が大幅に向上する。ふんと尿を分離せず混合で処理ができ、消化液は流動性の高い液肥として仕上がるため液体のみの取り扱いとなる。一方で、消化液は水分が多いため、施用量が多いと一部が土壤に浸透せず、土壤表面を流れ、施肥ムラを引き起こすおそれがあるので、施用直後に表面流出が生じない施用量を守る必要がある（写真5）。

消化液を液肥として施用する際には、受け入れ先となる農地があることが必要であり、農地が少ない北海道以外の地域においては、浄化処理が行われ、処理後はバイオガスプラント内の加温に使用する温水として利用されたり、河川等に放流される。

液肥として施用するためには、散布する装置が必要であり、共同利用型のバイオガスプラントの場合には、大型のタンクローリー等により運搬することも必要となる（写真6）。また、バイオガスプラントと農地との距離などを考慮したバイオガスプラントに見合った貯留・輸送体系の構築が必要である。



写真4 フリーストール牛舎（北海道千歳市）
(出典) 著者撮影

10. 家畜排せつ物のエネルギー利用の展望

北海道は、畜産業が盛んなだけでなく、恵まれた自然と広大な土地を有しているため、バイオガスプラント以外にも太陽光発電や風力発電の導入量が急速に増加している。このような再生可能エネルギー発電の急増に対して、発生した電気を需要地に運ぶ送電網（電力系統）の容量が対応しきれていないという問題が顕在化している。新たにバイオガスプラント等の発電設備を設置しようとした際に、電力系統の容量が不足して接続できないといった事例も発生しており、北海道ではバイオガス発電の系統連系希望が多い地域において大きな課題となっている。

これは電力システムが他のインフラ産業と異なり、「需要と供給を常にバランスさせなければならない」という物理的制約のもとで運用する必要があるためであり、これを需給のバランスと呼ぶ。電力系統の運転にあたっては、変化する需要に合わせて供給を調整できるように、出力を高速かつ細かく調整可能な電源を用意しておくことが重要であり、多くの場合は火力発電や水力発電が出力調整用電源として用いられてきた。しかし、再生可能エネルギー電源の出力が増大し、需要量を上回る、いわゆる余剰電力が生じた状態になると、需給のバランスを維持できない状態になる。再生可能エネルギー電源の出力抑制をできるだけ回避するためには、電力の安定供給や品質維持のためなどの理由により常時運転する必要がある電源の出力をできるだけ下げられるようにしたり、あるいは、頻繁な起動／停止に対応できるようにすることが重要である。食料残渣や家畜ふん尿由来のバイオガス発電は、燃料（原

料）としての貯蔵が可能であり、かつコージェネ本体の出力範囲（定格出力の50%～100%）で部分負荷運転が可能な可制御電源であることから、効果的に運用することで電力系統への新たなサービス提供や蓄エネルギー設備と同様の効果を提供することにも貢献することが期待される再生可能エネルギーである。

11. おわりに

本稿では、農村地域に豊富に存在するバイオマスのうち、「家畜ふん尿」を活用した再生可能エネルギー電源であるバイオガス発電について紹介した。

家畜ふん尿は、畜産経営体の生産活動に伴い生じる副産物であり「土づくり、草づくり」に不可欠な有機質資源であることから、これまでも良質な堆肥・液肥として安全・安心な農畜産物の生産に役立てられてきた。近年は、農家1戸あたりの飼養頭数の増加や高齢化、後継者不足などから、ふんや尿を適切に処理・利用することが困難となり、様々な問題が生じている。つまり、堆肥化やメタン発酵は、このような課題に対応するためのふん尿処理方法の一つであり、メタン発酵がふん尿処理の問題を一気に解決する方法ではない。各々の処理方法は利点と欠点を持ち、どのような農家にも適応できる普遍的なシステムは現在のところ見当たらない。すなわち、畜舎からどのような状態で家畜ふん尿が搬出されるかによって、家畜ふん尿処理の効率が大きく変化する。そのため、牛舎から排出されるふん尿・敷料混合物の利用にあたっては、その性状に適した処理方法を採用することが重要であると考えられる。

一方で、メタン発酵が家畜ふん尿のような廃棄物系バイオマスのエネルギー化や、臭気低減に貢献す



写真5 消化液散布後の圃場の様子（北海道士幌町）
（出典）著者撮影



写真6 消化液の散布（北海道士幌町）
（出典）著者撮影

る方法であることは高く評価できる。したがって、バイオマスのエネルギー利用は、今後も家畜ふん尿などの地域バイオマスを効率的かつ適正に管理し、地域の資源循環を促進するための有効な選択肢の一つであると考えらる。

参考文献

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁：再生可能エネルギーとは、
https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/renewable/outline/index.html (2021年8月24日現在)
- 2) 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)：バイオマスエネルギー導入ガイドブック (第4版)
<https://www.nedo.go.jp/content/100859993.pdf> (2021年8月24日現在)
- 3) 社団法人 日本エネルギー学会：2002, バイオマスハンドブック
- 4) 経済産業省資源エネルギー庁：再生可能エネルギーの固定価格買取制度,
https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/ (2022年1月20日現在)
- 5) コージェネ財団：高効率排熱利用機器 - 1,
https://www.ace.or.jp/web/chp/chp_0060.html (2022年1月20日現在)

- 6) 北海道：令和3年(2021年)3月, 北海道家畜排せつ物利用促進計画
- 7) 小島陽一郎, 石川志保：スマートふん尿処理技術, デーリイマン社 スマート酪農機器導入ガイド-期待できる効果と未来の姿(DAIRYMAN臨時増刊号), pp.97-101

著者略歴



石川 志保 (いしかわ しほ)

現所属：酪農学園大学 准教授

2004年酪農学園大学大学院酪農学研究科酪農学専攻修士課程修了

2004年北王コンサルタント株式会社,

2006年北電総合設計株式会社で勤務しながら、2015年北海道大学大学院農学研究院で博士(農学)を取得

2016年北海道大学大学院情報科学研究院で特任助教となり、2021年北海道大学大学院工学研究院助教を経て、2022年より酪農学園大学の准教授となり、現在に至る。

所属学会：農業施設学会, 農業食料工学会, 日本畜産学会, 廃棄物資源循環学会, 農業情報学会
学会委員歴：農業食料工学会 生物資源部会(幹事), 農業施設学会 編集委員, 廃棄物資源循環学会北海道支部(幹事長), 農業情報学会 生物資源工学部会(幹事)