

# 再生可能エネルギーによる農業経営の多角化

—畜産バイオマス発電の可能性—

主席研究員 河原林孝由基

## 〔要 旨〕

再生可能エネルギーの取組みは、固定価格買取制度のもと経済性のある事業として成立する素地が整ったものの、農業との関連性が強い家畜ふん尿等を利用した畜産バイオマス発電（メタン発酵ガス化バイオマス発電）は具体的な知見が不足し一部での取組みにとどまっている。

本稿では、北海道を中心とした酪農経営での実践事例を基に、事業モデルを考察し、全国展開に向けた論点を整理している。酪農経営の規模拡大では、飼養形態のつなぎ飼いやフリーストール（放し飼いや牛舎）への変更に伴うふん尿処理の問題があり、畜産バイオマス発電はその解決策となるだけでなく、売電を中心に農業所得を下支えし農業経営の多角化を図るモデルとなりうる。事業化のポイントとして、①安定的な事業収入の確保には発電の燃料となるメタンガス（“量”と“質”の問題）の確保と、②処理後残渣（消化液）処分先の見通しがあることがあげられる。

## 目 次

### はじめに

#### 1 畜産バイオマス発電の発展系譜

- (1) 畜産バイオマス発電とは
- (2) 関連法制度の展開
- (3) 畜産バイオマス発電の普及状況

#### 2 畜産バイオマス発電が解決しうる酪農経営の課題

- (1) 規模拡大に伴う飼養形態の変化とふん尿処理の問題
- (2) 生産コストの上昇

#### 3 実践事例にみる酪農経営へのオルタナティブの提示

- (1) 実践事例からのアプローチ
- (2) エネルギー利用面
- (3) マテリアル利用面
- (4) ふん尿処理作業の軽減

#### 4 事業化のポイントと全国展開に向けた論点

- (1) 事業モデルの考察と事業化のポイント
- (2) 全国展開に向けた論点整理

おわりに

## はじめに

再生可能エネルギー（以下「再エネ」という）の取組みは、固定価格買取制度（Feed-in Tariff。以下「FIT制度」という）のもと経済性のある事業として成立する素地が整った。ただし、農業との関連性が強い家畜ふん尿等を利用した畜産バイオマス発電（メタン発酵ガス化バイオマス発電）については具体的な知見が不足し一部での取組みにとどまっている。

近年、農産物価格の低迷や生産コストの上昇により農業所得は低迷しており、後継者・担い手が不足し農業経営基盤の弱体化が進んでいる。そのようななか、畜産バイオマス発電は家畜排せつ物の処理からエネルギー生産を行い、農業経営のコスト削減と収入増が同時に期待できる。

そこで、畜産バイオマス発電に取り組むことで、このような農業の構造的問題に対し、農業所得を下支えし持続可能な農業経営を実現するためのオルタナティブをいかに示せるかを主眼に、本稿では農業経営の多角化モデルとしてエネルギー生産も取り込んだ農家複合経営を提案したい。具体的なアプローチとしては、畜産バイオマス発電の発展系譜をたどり、実践事例を基に実態を明らかにし、事業モデルの考察と事業化のポイントを示したうえで、全国展開に向けた論点を整理し、モデルの一般化・汎用化を試みる。

## 1 畜産バイオマス発電の発展系譜

### (1) 畜産バイオマス発電とは

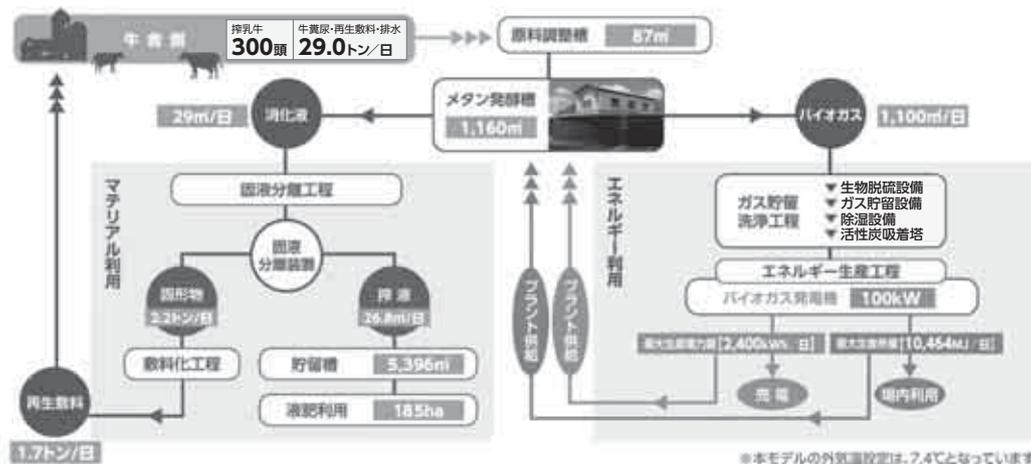
畜産バイオマス発電とは、家畜ふん尿の処理過程で生成されるバイオガス（メタンが主成分）をもとにバイオガス発電機により行う発電である。畜産バイオマス発電を含む嫌気性発酵処理を担う施設はバイオガスプラントと呼ばれ、プラントは原料調整槽（原料受入タンク）、メタン発酵槽、ガス貯留設備・発電機・熱併給設備、消化液（搾液）貯留槽等から構成される。原料調整槽に投入された家畜ふん尿等は嫌気（密閉）状態の発酵槽で加温・<sup>かくはん</sup>攪拌され、微生物群により分解・発酵しバイオガスを生成する。それをバイオガス発電機により電力や温水といったエネルギーに変換する。これら一連の流れは、全て自動運転となっている。

また、発酵済み残渣は消化液と呼ばれ液肥（有機肥料）として利用可能である。このように畜産バイオマス発電では、電力・熱といったエネルギー利用の面と液肥などのマテリアル利用の面の2系統をみることができ、畜産のなかでも酪農が中心であり、第1図に搾乳牛300頭規模のバイオガスプラントのモデル例を示す。

なお、畜産バイオマス発電で発生する二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）はカーボンニュートラルと<sup>(注1)</sup>され、地球温暖化対策として環境に貢献する意義もある。

(注1) 家畜ふん尿を原料にメタンガスを燃焼する

第1図 バイオガスプラントのモデル例(搾乳牛300頭規模)



出典 コーンズ社提供資料

際に二酸化炭素が発生するが、これは家畜が餌として食べた植物に由来するものであり、燃焼で発生する二酸化炭素の量を植物がその成長過程で光合成により吸収した量を超えない限り、大気中の二酸化炭素量の増減に影響は与えないという考え方。

## (2) 関連法制度の展開

### a 「家畜排せつ物法」の施行

家畜ふん尿を原料とするバイオマス発電の取組みそのものは、畜産とくに酪農経営の規模拡大のなかでふん尿処理コストや労働負担が増加したこと、農村での混住化により臭気対策が求められるようになったこと、さらに有機農業の推進にそれまでの堆肥にとどまらずメタン発酵後の残渣物である消化液(液肥)を利用する動きも手伝い、大型酪農経営が成立している北海道を中心に「再生可能エネルギー特別措置法」施行(2012年)以前から始まっていた。とくに99年に「家畜排せつ物法」(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)の施行に伴って、北海道ではバイオガスプラ

ントに対する関心が大きくなったとみられる。

### b 「再生可能エネルギー特別措置法」の施行

12年7月に施行された「再生可能エネルギー特別措置法」(電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法)により再エネ発電による電力は電力会社が全量を固定価格で買い取る仕組み(FIT制度)の実現をみた。本稿で取り上げる畜産バイオマス発電は39円/kWh(税抜き、以下同じ)の固定価格で20年間の買取期間が保証されている。当該買取条件は初期設備投資額をほぼ15年で減価償却が可能とする水準で設定したとされる。これにより制度面で畜産バイオマス発電が経済性のある事業として成立する素地が整ったのである。

売電に関しては、それまでも03年4月施行の「電気事業者による新エネルギー等利用に関する特別措置法」のもとRPS

(Renewables Portfolio Standard) 制度が創設され、電気事業者に対して毎年その販売電力量に応じた一定割合以上を再エネなどから発電される電気の調達を義務付ける仕組みはあったものの、電気事業者の義務履行量が少なく買電価格が低いという問題点を抱え、売電が経済性を持つには至らなかった。

FIT制度の創設により、再エネ発電による電力は通常必要となるコストに適正な利潤等を勘案した固定価格・期間で電力会社が全量を買取ることを義務付けられ、ここに売電が経済性を持つに至る。それまでの臭気対策を第一義とする畜産バイオマス発電が経済性のある事業として変質を遂げたのである。

### c 「農山漁村再生可能エネルギー法」の施行

14年5月には「農山漁村再生可能エネルギー法」(農林漁業の健全な発展と調和のとれた再生可能エネルギー電気の発電の促進に関する法律)が施行となり、農林漁業の健全な発展と調和のとれた再エネ発電を促進し、農山漁村の活性化を図ることの政策的な位置付けがなされた。

同法では、市町村に農林漁業者・団体、設備整備者、地域住民、学識経験者などから構成する協議会を設置し、計画立案や利害調整を行い、基本計画を策定する。そのもとで設備整備計画を作成し、認定を受けた計画をもって農地利用等にかかる各種許可・届出をワンストップでできるなどの

メリットがある。地域での再エネ導入に際し、計画段階から関与する意味でも、協議会への参画・働きかけは重要である。

## (3) 畜産バイオマス発電の普及状況

### a 日本での導入契機

バイオガスプラントの実用機第1号は、00年に(株)町村農場(北海道江別市)が導入したもので、これは臭気対策が契機となっている。わが国の畜産バイオマス発電事業のパイオニアであるCORNES & COMPANY LIMITED(以下「コーンズ社」という)が手掛け、同社においても家畜排せつ物の処理方法のひとつとして当事業を開始したことが事業の原点になっている。

同農場では乳牛飼養頭数の増加につれ、飼養形態を従前のつなぎ飼いからフリーストール(放し飼い牛舎)に変更したが、それに伴いふん尿の処理もそれまでの堆肥処理からふんと尿が混ざったままのスラリー状でタンクに格納する液肥処理に変更した。液肥処理はタンクへの貯蔵が容易で畑へ散布する際の手間もかからないが、特異な臭気を放つため周辺住民からのクレームの対象となる。また、フリーストールから発生するスラリー状のふん尿では含水率が高く完熟堆肥化が難しい。そこで、閉鎖された空間(発酵槽)において処理される嫌気性発酵のバイオガスプラントに着目し導入を決定した。導入時は臭気対策を第一義とし、消化液(液肥)の自家農場(飼料作物畑地等)への散布を主眼に考えており、発電・熱利用は副次的なものであった。

## b 現在の普及状況

12年7月のFIT制度の創設により、バイオマス発電は広がりを見せ、これまで認定された発電施設は458件である（16年9月末時点）。その中で最も認定数の多いのがメタン発酵ガス（バイオマス由来）を用いる発電施設で174件、38%を占めている。この認定数は14年当初に比べ2.8倍となっており、メタン発酵ガス利用の発電施設の認定が増加傾向にあることが分かる。

なお、FIT認定施設は全体で約200万件あり、そのうち、太陽光発電（一般家庭施設含む）が99.8%以上と圧倒的な件数を占めている。太陽光発電を除く施設で考えた場合でも、バイオマス発電施設は14.6%、メタン発酵ガス発電施設では5.6%の認定割合にとどまる。また、上記の458件はFIT制度対応施設として認定を受けた数であり、全てがプラントの新設ではなく、また実際に稼働している施設数ではない。

そこで、実際に売電を開始しているメタン発酵ガス発電施設数を調査した結果を第

第1表 メタン発酵ガス(バイオマス由来)稼働発電施設の内訳(2016年9月末時点)

処理対象物	件数
家畜ふん尿	31
下水汚泥	22
食品廃棄物	20
混合	3
家畜ふん尿+食品廃棄物	2
下水汚泥+食品廃棄物	1
その他	3
総計	79

資料 筆者作成  
(注) 資源エネルギー庁「再生可能エネルギー発電設備の導入状況等について」を基にコーンズ社にて調査のうえ筆者作成。

1表に示す。該当施設は79件、実際に稼働しているのは認定数の45%となっている。これはプラントの建設には数年を要するため、認定取得直後の稼働とはならないためである。処理対象物別では最も多いのが家畜ふん尿を対象としたものであるが、稼働している施設は31件であり、現状は一部での取組みにとどまっている。

## 2 畜産バイオマス発電が解決しうる酪農経営の課題

### (1) 規模拡大に伴う飼養形態の変化とふん尿処理の問題

#### a 規模拡大に伴う飼養形態の変化

全国的にみて酪農は他の農業分野に比較し労働負担（作業負荷・時間）が大きく、設備投資も多額に上るため、後継者の確保が困難となっており、担い手の高齢化とともに酪農家戸数や乳牛飼養頭数の減少が続いている。それが今日の生乳生産量の減少につながっているといえ、将来的に安定した生産基盤を確保するためには、これらの要因への対策が喫緊の課題となっている。

国の酪農政策の基本方向は「生産構造の転換による規模拡大の推進」「飼養管理の省力化・分業化による労働負担の軽減」等であるが、とくに増頭による規模拡大を進めていくと飼養形態をそれまでのつなぎ飼いからフリーストール（フリーバーンも含む）への変更が必要になってくる。つなぎ飼いは牛が繋がれているため、酪農家の目が行き届きやすく個体管理が容易であるもの

の、給餌・搾乳作業等で労力（酪農家が牛の前に餌を運ぶ、搾乳機械を移動させながら搾乳を行う等）を要することから、増頭には限界がある。一方、フリーストールでは牛が自由に移動できることから、給餌場や搾乳室に牛が自ら集まってくるため、酪農家の作業効率に優れ多頭数飼育が可能となる。ただし、牛の個体管理が難しく、牛の動きなどから健康状態・発情等を判断する技術・ノウハウが必要となる。このように両者では、酪農技術体系が大きく異なっている。

「平成26年度酪農全国基礎調査結果報告<sup>(注2)</sup>書」によると、経産牛飼養頭数は全国的にみると1経営体当たり平均52.7頭であり、地域別では北海道・都府県間の差が大きく50頭以上層の割合では北海道の63%に対し都府県は19.5%、平均飼養頭数では北海道の74.9頭に対し都府県は39.6頭となっている。飼養形態について全国的にはつなぎ飼いが8割を占めておりフリーストールは14%、地域別では北海道でフリーストールが23.5%、都府県は8.4%となっている。経産牛飼養規模との関係でみると、北海道では75頭未満層までは9割前後をつなぎ飼いが占めており、同規模

を超えるあたりから急激にフリーストールが増え、150頭以上では9割以上に及んでいる。

（注2）（一社）中央酪農会議が14年度に実施した「酪農全国基礎調査」をとりまとめたものであり、酪農家を対象としたアンケートによる悉皆調査で、16,524戸の酪農家に調査票を配布し回収率は99.1%。

### b 規模拡大に伴うふん尿処理の問題

酪農の生産基盤を回復させるためには増頭による規模拡大が必要と考えられるが、増頭を進めていくと前出のとおり飼養形態のフリーストールへの変更が必要になってくる。北海道の酪農経営ではおおよそ飼養頭数150頭を超えるとフリーストールが標準となり、戸別型プラントの設置状況をみても同規模以上が大部分を占めている。

牛舎の形態と敷料の多寡に応じて水分含有の割合が異なることからふん尿形状に違いが生じ、フリーストールではスラリー状のふん尿となり完熟堆肥化が難しく、ふん尿の処理・臭気対策が求められる。このように酪農経営の規模拡大を阻害する要因のひとつとして飼養形態の変更によるふん尿処理の問題があるが、畜産バイオマス発電はその解決策となる（第2表）。

第2表 酪農経営の規模拡大と畜産バイオガス発電の導入(相関図)

畜種	経営体規模	主な飼養形態		ふん尿形状	主なバイオマス利用		主な処理設備	主な地域
		スタンション(つなぎ飼い)	敷料混じり		エネルギー利用	マテリアル利用		
乳牛	中小	スタンション(つなぎ飼い)	多	固形状		【有】堆肥	堆肥化施設	都府県
	大規模(150頭以上)	フリーストール(放し飼い牛舎)	少	スラリー状	【有】発電 【無】熱供給	【無】液肥 【無】再生敷料	バイオガスプラント(メタン発酵処理)	北海道

資料 筆者作成

(注) 1 論点を分かりやすくするため要件等を単純化している。

2 【 】は流通市場の有無。

(注3) 近時、搾乳ロボットの導入により、つなぎ飼いで搾乳ロボットが対応できないことから、飼養頭数に関係なくフリーストールに変更する事例がみられるが、一般的には増頭がフリーストールへの変更の主な要因である。

## (2) 生産コストの上昇

酪農経営における生産コストの上昇を95年を起点にみると、おおよそ20年の間に費用合計は38%上昇し、これに対し費目別では、①光熱水料及び動力費が104%上昇、②敷料費が98%上昇しほぼ倍増となり、それに③飼料費の66%上昇が続いており、この3つの費目の上昇率が突出している(第2図)。

光熱水料及び動力費については、とくに東日本大震災後の大手電力会社による相次ぐ電気料金値上げ(震災以降、産業向け電気料金の平均単価は約4割上昇)の影響により大幅に上昇し、酪農経営を圧迫する要因となっている。

敷料費については、とくに近時の急上昇が顕著である。敷料の素材としては、わら(ばっかん)(麦稈など)やもみ殻、牧草に加え木質系敷料(おが粉など)が利用され、近時、木質系

敷料の性能が評価され利用が増えている。一方で、おが粉に適した木材は木質バイオマス発電向けの需要が大きいことも相まって価格が高騰している。価格が急上昇し先行き不透明な状況にあり、酪農経営を圧迫する要因のひとつとなっている。

## 3 実践事例にみる酪農経営へのオルタナティブの提示

### (1) 実践事例からのアプローチ

これまでみてきた酪農経営の課題に対し、畜産バイオマス発電に取り組むことで課題解決を図っている事例が北海道を中心に認められる。畜産バイオマス発電の活用では、電力・熱といったエネルギー利用の面と消化液(液肥)などのマテリアル利用の面の2系統があり、ここでは系統ごとに考察する。

畜産バイオマス発電施設は大別すると、①集中型プラントと②戸別型プラント(注4)に分類され、集中型プラントとは地域における複数の酪農家から収集したふん尿を集中的に処理する施設のことをいい、戸別型プラントとは牧場単位で酪農家がふん尿の処理のため個別に設置した施設をいう。

本稿では事業化モデルとして、集中型プラントは、町が運営し稼働実績が豊富な鹿追町環境保全センター(注5)(北海道鹿追町)を、戸別型プラントは、北海道を中心に複数事例が認められるなかでJA士幌町の第2世代型プラント(注6)(北海道士幌町)を主な対象とする。

第2図 牛乳生産費の主要費目上昇率  
(1995年を100とした場合)



資料 農林水産省「農産物生産費統計」を基に作成

(注4) 戸別型プラントは個別型プラントの呼称もあるが、ここでは牧場単位での設置形態に着目し、戸別型プラントの用語を使用することとした。

(注5) 同センターでは16年4月より2プラント体制となり、本稿では現在の同センター「中鹿追バイオガスプラント」のことをいう。

(注6) JA士幌町では04年に「バイオガスプラント実証試験」の取組み(第1世代)を開始、当該成果を踏まえて12年からJA主導で本格展開を図り、戸別型プラント4基を稼働(第2世代)させている。第2世代型プラントは施設の稼働状況、事業・収支面も含め安定的に推移しており、FIT制度の適用を受けていることから、調査対象事例として適していると判断したもの。

## (2) エネルギー利用面

### a 発電

鹿追町環境保全センターの集中型プラントでは、メタン発酵原料はフリーストール牛舎から排出される乳牛ふん尿が中心で、一部稲わらを混入している。対象とする乳牛頭数は1,300頭規模となっている。FIT制度による買取価格・対象期間は39円/kWh・<sup>(注7)</sup>14年であり、発電機能力は308kW(発電機2台)、稼働率は67%となっている。集中型プラントは地域全体を対象とすることから今後の処理量増加を想定したバッファを見込む必要があり、稼働率は70%前後となっている。売電収入は45百万円/年規模で固定買取価格39円/kWh×年間売電発電量(kWh)により算出することができ、年間総発電量(kWh)は発電機能力308kW×24時間×365日×稼働率67%による。なお、年間総発電量のうち電力自家消費分として2割程度を控除したものが売電発電量となる。売電収入が全体の収入の大部分を占めており、収支は黒字でキャッシュフロー面でも問題はない。

JA士幌町の戸別型プラントでは、メタン発酵原料はフリーストール牛舎から排出される乳牛ふん尿が中心で、廃棄乳を含む雑排水も原料に加えている。北海道の酪農経営では前出のとおり、おおよそ飼養頭数150頭を超えるとフリーストールが標準となり、畜産バイオマス発電で採算ベースになるにも同規模の飼養頭数を要するとみられる。FIT制度による買取価格・対象期間は39円/kWh・20年であり、発電機能力64kW(発電機1台)、稼働率は92%となっている。発電機能力は稼働実績を踏まえ導入時の50kWより引き上げている。また、稼働率は発酵槽等の自家消費分を差し引いた後のものである。戸別型プラントの稼働率が高いのは個別酪農家への設置であることから、飼養頭数はじめ酪農経営形態に即した最適な施設・機器類の設置が可能(オーダーメイド)となることによる。売電収入が全体の収入の大部分を占めており、収支は黒字でキャッシュフロー面でも問題はない。このような売電による直接的な収益効果に加え、酪農は装置産業であり「震災時に電気の使用ができなかったことが一番困った」ということもあり、発電には災害時の自家電源確保という意義も認められる。

(注7) 当該施設は07年10月稼働し12年7月の「再生可能エネルギー特別措置法」の施行に伴いRPS制度よりFIT制度に移行したことからRPS制度の適用期間を差し引いて対象期間が14年となったもの。なお、FIT制度の新規適用の場合は対象期間20年である。

### b 熱供給

発電に伴い発電機を中心に余剰熱が発生

するが、これを有効活用しようとするのが熱電併給設備である。寒冷地においては低温時の発酵維持が問題となっていたが、畜産バイオマス発電の余剰熱を発酵槽に還元し加温する仕組みにより安定的な発酵が可能となった。このように熱エネルギーをバイオガスプラント自体で活用することに加え、次のような実践事例がみられる。

鹿追町環境保全センターの集中型プラントでは、熱利用の事例として温水を使い、チョウザメ試験飼育施設やマンゴー栽培ハウスといった施設に熱供給し、特産品づくりに挑戦している。なお、熱エネルギーはその特性として遠隔地への供給が困難であり地消する必要があるが、再エネ先進国ドイツのように地域暖房を実現するには各世帯に熱供給するインフラ（保温のため断熱材を使用した温水地中配管の整備など）が必要となることから、現状では熱エネルギーの相当部分は放熱し活用されていないのが実情である。

JA士幌町の戸別型プラントでは、個別酪農家にバイオガスプラントが設置されることにより牧場内で熱エネルギーの自家消費が可能となり、搾乳機器やバルククーラー（貯乳タンク）、排管などの温水洗浄や畜舎の暖房に利用している。酪農経営では大量の温水を使用することから、光熱水料の低減といった直接的な収益効果が認められる。

ところで、バイオガスプラントで発生するバイオガスは主にメタンガス（CH<sub>4</sub>約60%）と二酸化炭素（CO<sub>2</sub>約40%）からなっている。

メタンガスは発電機で燃焼させ、これまでみてきたように電力・熱といったエネルギー利用に向けられるが、その他用途として、鹿追町環境保全センターでは自動車にメタンガスを充填し燃料としても使用している。また、二酸化炭素は温室や野菜工場での成長促進剤として活用する例もみられる。

### (3) マテリアル利用面

#### a 消化液（液肥）

家畜排せつ物を利用したメタン発酵では残渣物である消化液が大量に発生（ふん尿投入量≒消化液発生量）するが、それは液肥として利用できる。消化液はスラリー状のふん尿に比べ散布する際ほとんど臭いがなく成分が安定しており、メタン発酵過程で病原菌・寄生虫の不活性化、雑草種子の減少が顕著である。その取扱いや散布が容易でありふん尿処理作業の負担軽減にもつながる。

鹿追町環境保全センターの集中型プラントでは、消化液（液肥）の散布作業を担当し、農家より製品代50円/トン、散布料500円/トンを徴収しており、消化液収入は17百万円/年規模となっている。

消化液は液肥として利用可能な一方、還元する農地がない場合には河川などに放流する処理方法もあるが、それには浄化処理が求められその設備を導入し維持管理をしてはコスト高となり事業としての採算ラインの確保が困難となることに留意を要する。

JA士幌町の戸別型プラントでは、消化液

(液肥)は自家農場(飼料作物畑地, その他牧草地)への散布が中心であるが, 一部, 畑作農家と麦稈(敷料等)との無償交換もある。酪農経営面では飼料作成時の肥料代や敷料費の低減といった直接的な収益効果が認められる。

#### b 再生敷料

近時, マテリアル利用の新しい利用形態として再生敷料がある。消化液の固液分離を行い, 液分(搾液)は液肥として, 固形物を敷料として再生・再利用する技術が登場し注目される。

再生敷料生産の仕組みは, いち早くその仕組みを確立した(有)小林牧場(北海道江別市)の事例では, フリーストール牛舎から排出されるスラリー状のふん尿(敷料が混ざっている)をメタン発酵槽で発酵させた後, 消化液を固液分離機に送り込む(写真1)。固形物は押し出され, 液分はパイプを通して屋外の貯留槽に送られる。固形物をホイールローダーで堆肥舎に移動させ, そこで乾燥と好気性発酵が進み再生敷料と



写真1 固液分離機(筆者撮影, 以下同じ)

して完成する。固液分離機の運転も自動化されており, 作業時間は1時間程度である。大掛かりな機械装置ではないが, プラント設計時に固液分離の仕組みを組み込んでおくことが望ましく, 追加設置はプラント全体の構成変更となり相応の費用がかさむことに留意が必要である。

再生敷料は, 近年経営を圧迫している購入価格の高騰に対し, 敷料費を抜本的に削減する解決策となる画期的な技術といえる。このような直接的な収益効果に加え, メタン発酵過程で消化液内の病原菌・寄生虫の不活性化が顕著であることから, 牧場外からの購入敷料由来の病原性微生物の侵入を防止できるといった効用も期待できる。また, 敷料として繰り返し利用するという資源循環の意義も大きい。

#### (4) ふん尿処理作業の軽減

家畜ふん尿の処理面からみると, 鹿追町環境保全センターの集中型プラントでは, ふん尿の引取りを有料化し酪農家より年間利用料12,000円/頭を徴収しており, 家畜ふん尿引取収入は15百万円/年規模となっている。トン当たりのふん尿引取単価を収入÷排せつ量(1頭当たり年間排せつ量23トン×成牛数(頭))より算出すると, おおよそ500円/トンとなる。なお, 家畜ふん尿の輸送は同センターが担当し, 酪農家のふん尿処理作業の負担軽減につながっており, その結果, 増頭する酪農家も出現した。飼養頭数の伸び率は道内平均で5%のところ, 同町では20%増となっている。

JA士幌町の戸別型プラントでは、メタン発酵原料として自家分を使用することからふん尿引取による収入はないが、その分、ふん尿処理費用および作業の負担軽減につながっている。とくに寒冷地においては冬季に良質な堆肥を作成するには多大な労力を伴うが、バイオガスプラントではこれが不要となりふん尿処理の負担軽減につながっている。

## 4 事業化のポイントと 全国展開に向けた論点

### (1) 事業モデルの考察と事業化の ポイント

#### a 事業収支の全体構造

これまでみてきたとおり、畜産バイオマス発電は売電収入が全体の収入の大部分を占めるが、それ以外にも熱エネルギーの利用や液肥・再生敷料といったマテリアル利用による直接的な収益効果や労働負担の軽減、さらには経済的・社会的便益が認められる。これらが複合的に絡み合っただけでなく、事業を成立させているのであり、売電事業のみに注目し酪農経営との連関を看過しては畜産バイオマス発電の事業モデルを捉えることはできない。ふん尿の処理・臭気対策を第一義とし従来はコスト部門であったバイオガスプラントが、畜産バイオマス発電により収益部門に転換したことの意義は大きい。第3表に典型的な事業モデルとして、集中型プラントと戸別型プラントのそれぞれについて事業収支構造を整理した。

#### b 売電収入の構造と事業化のポイント

一般的に畜産バイオマス発電のビジネスモデルは単純である。FIT制度のもとで事業収入の大半は売電によるものであり、売電の価格・期間（固定価格、価格交渉なし。期間20年）、販売先（大手電力会社で全量買取り、営業努力不要）が安定していることは事業計画上、長期的な見通しが可能となり大きなメリットといえる。

畜産バイオマス発電の買取価格・期間は39円/kWh・20年（バイオマス・メタン発酵ガス）であり、12年のFIT制度発足以来変更されていない。17年4月の「再生可能エネルギー特別措置法」の改正法の施行により、計画から施設建設までのリードタイムがかかるバイオガス発電については買取価格を向こう3年間示す（今までは毎年度決定）こととされ、17年～19年は現行の39円/kWhに据え置かれた。これにより事業計画が立てやすくなったが、買取価格の改定動向や価格決定サイクル（毎年4月1日改定）など制度変更には留意が必要である。

また、「農山漁村再生可能エネルギー法」の適用を受ければ、バイオマス発電は天候に左右されない安定的な電源として、大手電力会社で電力の供給量が需要量を上回る場合に発動される無補償の出力抑制に対して対抗（出力抑制の要請が他の電源より劣後）することができる。

売電の価格・期間、販売先が固定されるなかで、計画どおりの事業収入を確保するには、変動要因である売電発電量をいかに安定・向上させるかが重要となる。現行の

第3表 集中型プラントと戸別型プラントの事業収支構造(モデル)

集中型プラント 北海道鹿追町「環境保全センター」			戸別型プラント JA士幌町の第2世代型プラント		
科目	算出の考え方	補足説明/留意事項	科目	算出の考え方	補足説明/留意事項
収入	売電	固定買取価格39円/kWh(税抜き)×年間売電発電量(kWh) 稼働率67%=年間総発電量(kWh)÷[発電機能力308kW×24時間×365日] 年間総発電量のうち電力自家消費分として2割程度を控除したものが売電発電量	売電	固定買取価格39円/kWh(税抜き)×年間売電発電量(kWh) 稼働率92%=年間総発電量(kWh)÷[発電機能力64kW×24時間×365日] 発酵槽等の電力自家消費分を控除し稼働率を算出 発電に伴う余剰熱を自牧場内で利活用	
	家畜ふん尿引取	年間利用量12,000円/頭×家畜ふん尿引取頭数 トン当たりふん尿引取単価500円=家畜ふん尿引取収入÷[1頭当たり年間排せつ量23トン×成牛数(頭)] 有料化は酪農家の理解が必要	家畜ふん尿引取	収入なし	酪農家自家引取分
	消化液散布	製品代500円/トン×販売液肥量(トン)+散布料500円/トン×散布液肥量(トン) 消化液処分先の見通しがあることが事業化の前提	消化液散布	収入なし	自家農場への散布中心 消化液処分先の見通しがあることが事業化の前提
支出	人件費	収入対比20%程度 要員体制5名うち技術者1名, 嘱託4名(利用組合を組織し業務委託) 電気主任技術者を要選任	人件費	計上せず	酪農家自家労働で吸収 電気主任技術者を要選任
	発酵・発電運転費用	収入対比30%程度 機器のメンテナンス契約はコーズ社のほか, 発電機メーカー(ドイツ製)とも直接契約	発酵・発電運転費用	総経費は収入にほぼ見合う	JAの実証化委託事業につき個別酪農家が負担する利用料は発酵・発電運転費用に加え減価償却費, 租税等を含む 機器類の運用は個別酪農家で施設維持管理が可能
	その他	全体経費の賦課分 同施設では堆肥化, 下水汚泥・生ゴミ等の処理事業も行っており, 全体経費を按分賦課	その他	僅少	事務・雑費
収支	償却前収支 (△減価償却費)	収入計-支出計 全額公助	償却前収支 (△減価償却費)	収入計-支出計	利用料に含まれる
	償却後収支	単年度利益計上 発電機更新見合いの内部留保確保可能	償却後収支	トントンないし若干の利益計上	資金繰りに問題はない

資料 筆者作成

(注) 論点を分かりやすくするため数量, 要件等を単純化している。

買取価格は発電施設の稼働率80%を参考としたといわれている。それを目安とした稼働率を確保することが事業化のポイントと持続可能性の条件となる。稼働率は発電の燃料となるメタンガス発生量に規定され、

ガス発生量の多寡は事業売上・利益に直結する問題である。

ガスの発生では、原料(牛ふん尿等処理対象物)の安定的確保といった“量”の問題と、発酵の安定性といった“質”の問題が

大きく関わってくる。つまり、年間を通して「均質」かつ「定量的」に原料が搬入されること、異物の混入を抑制すること、環境条件（外気温等）でふん尿の成分・性状が変化することに留意しそれに対応できることなどが求められる。

次項では、事業化のポイントを踏まえ、北海道以外の地域（都府県）への展開を見据え論点を抽出・整理する。

## (2) 全国展開に向けた論点整理

### a 安定的な事業収入の確保

#### (a) メタン発酵原料の安定的な確保（“量”の問題）

個別酪農経営では増頭によってメタン発酵原料となる家畜ふん尿等の一定量を確保するが、小規模家族経営体が多い都府県では限界があることから、地域を対象に複数の酪農家による共同利用（集中型プラント）によって実践する方法が考えられる。その事業化にあたっては、戸別型プラントと集中型プラントのメリットとデメリット（第4表）を参考に工夫を行うことが重要である。

バイオガスプラントの共同利用によって実践する場合、集中型プラントをベースに、例えば、コスト面の工夫として消化液（液肥）の散布にあたっては農家自らが輸送を行い自らで散布する。家畜ふん尿についても酪農家自らがプラントに持ち込む。また、プラントの経営主体でふん尿の引取りや消化液（液肥）の散布作業を行う場合は有料化に理解を求めると、地域の实情に合っ

第4表 戸別型プラント/集中型プラントの比較

	戸別型プラント	集中型プラント
メリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ふん尿の輸送コストがかからない。</li> <li>・均一な原料が確保できる。</li> <li>・個別の農家で維持管理ができる。</li> <li>・余剰熱を牧場内で利用できる。</li> <li>・パーラー雑排水も処理できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・建設費が安い(処理量当たり)。</li> <li>・エネルギーの生産効率が低い。</li> <li>・新規雇用が創出できる。</li> </ul>
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・建設費が高い(処理量当たり)。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ふん尿(雑排水を含む)と消化液の輸送コストがかかる。</li> <li>・原料が不均一になりやすい(発酵効率に悪影響)。</li> <li>・余剰熱を牧場内で利用できない。</li> </ul>
補足	<ul style="list-style-type: none"> <li>・経営規模が大きい場合はスケールメリットが得られるが、規模が小さい場合は割高な施設となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地理的に合理的な設置場所を確保する必要がある。</li> </ul>

資料 JA土幌町およびコーンズ社資料を基に作成

た工夫が必要となってくる。

地域農業が野菜園芸や農産加工を持つ複合産地である場合には、野菜出荷調整時に出る野菜くず、農産加工廃棄物（果実搾汁かすなど）などの廃棄物処理のコスト負担に苦しんでいる地域が少なくない。小岩井農場の（株）バイオマスパワーしずくいし（岩手県雫石町）の事例では、これらをメタン発酵原料として受け入れることで廃棄物処理コストを削減するだけでなく、食品廃棄物は有機物含有量が多くメタン発生量が家畜ふん尿を上回ることから発電出力の引上げを可能とし、プラントの経済性を高めている。

#### (b) メタンガスの安定的な生成（“質”の問題）

これまでの畜産バイオマス発電の事業化と設計施工業者の試行錯誤のなかで、メタ

ン発酵原料となる家畜ふん尿についてはメタン発生量に直結する有機物含有量だけでなく、メタン発酵槽における安定した発酵を確保するうえでふん尿の水分含有量と形状、敷料の種類などが問題であることが明らかになっている。<sup>(注8)</sup>

北海道の事例ではメタン発酵原料はフリーストールによる乳牛ふん尿が中心であり原料は均一だが、中小酪農経営が中心である都府県で複数の酪農家からふん尿を持ち込む場合、有機物含有量と水分含有量・形状が必ずしも同じではないことから、経営体ごとに原料調整槽へ持ち込むタイミングを設定し全体として原料が均一になるよう調整するといった工夫が必要となる。

原料調整槽は牛ふん尿等処理対象物の組成平均化を考慮した複数日分の保持容積(滞留日数)を確保できる設計とし、そこで消化液の一部を返送するなど濃度調整を行う。濃度(粘度)の調整は、各処理槽に設置している攪拌機や移送ポンプの機械負荷(故障)を軽減するためにも必要である。

安定的な発酵にはメタン発酵槽の温度管理(国内では通常37℃前後の中温管理)も重要である。とくに寒冷地ではそのままではふん尿が凍りシャーベット状になる場合があることから、発電による余剰熱を発酵槽に還元することで加温するが、発電(売電)を優先しすぎるあまり余剰熱が不足するといったことがないよう、環境条件(外気温等)に応じたバランスのとれたプラント設計が求められる。

また、酪農経営だけでは足りず、肉用牛、

養豚経営などからの家畜ふん尿<sup>(注9)</sup>や食品廃棄物等の持込みを検討する場合には、安定的なメタン発酵のための原料投入方法についてより慎重な検討が求められる。バイオガспランツの設計施工では、机上の係数だけでなく処理対象物の実態調査、発酵試験実施によるバイオガス発生量の調査を行い、そこから得られた係数を踏まえた実証的な事業計画を策定することが望まれる。

**(注8)** 本項はコーンズ社中村明靖氏(工学博士)からの聞き取り(17年6月23日)に基づくが本記述の文責は全面的に筆者に属する。

**(注9)** 一例として、安定的な発酵にはアンモニア阻害に留意しなければならない。アンモニア阻害とは、嫌気性発酵で原料に含まれる窒素によりアンモニアが生成されるが、アンモニアはメタン発酵を行う微生物群にとって有害で菌の耐性の程度により死滅してしまう現象をいう。その耐性が強い微生物群をあらかじめ用意するが、乳牛のスラリー状ふん尿だけをみてもアンモニア濃度は限界値近くになる。家畜ふん尿における窒素含有量としては、牛→豚→鶏の順に窒素濃度が高くなり、豚・鶏のふん尿を用いる場合はそれだけではアンモニア阻害を起こす危険性があり難しい。それには濃度調整(希釈)が鍵となり、例えば食品廃棄物等を加えるなどの工夫が必要である。

## b 消化液(液肥) 処分先の確保

消化液は液肥として有機肥料になるが、前出の第1図「バイオガспランツのモデル例」をみても、搾乳牛300頭規模で散布する農地(牧草地・飼料畑)が185ha程度必要となり、散布農地をいかに確保するかが問題となる。散布農地がない場合には河川に放流あるいは下水道に排出する処理方法もあるが、それには浄化処理設備の導入が求められ負担が大きい。したがって、畜産バイオマス発電では消化液(液肥) 処分先の

見通しがあることが事業化の前提であり、そのことが普及へのネックになっている。

北海道の事例では酪農家自らの牧草地・飼料畑や近隣の畑作農家に散布しており、都府県でも戦後開拓地における酪農については牧草地やデントコーンなど飼料畑が利用できるが、一般的に都府県の畜産産地では散布可能な牧草・飼料畑が限られている。また、液肥は含水率（80%以上）が高く容量がかさ張り輸送コストがかかることから、堆肥と違って広域な流通市場が形成されない。畑作農家に散布するにしても近隣である必要があり、都府県ではそのような畑作面積は限られる。

そこで、消化液の受皿として、水田への散布が可能となれば問題解決につながると考え、<sup>(注10)</sup> 耕畜連携のもと実際に水田に液肥を散布し、ブランド米として高値販売している（有）高秀牧場（千葉県いすみ市）を中心とした取組みを紹介する。

当牧場では液肥を稲作農家に散布作業込みで有料で販売しており、水田稲作の元肥として使用している。散布に際しては農家より当牧場が指示を受け、牧場保有のバキューム車で液肥を運搬し水田に流し込む（写真2）。液肥の成分構成の大部分は水であり、肥料成分としてはカリウム、窒素、リン酸の順に多く含まれている。追肥（穂肥）での使用は、液肥は堆肥と違って植物による吸収が速く、窒素過多による稲の倒伏を防ぐ観点から、当地では使用していない。

稲作農家が液肥利用に至った最大の要因



写真2 3トンバキューム車による液肥の水田への散布風景

は、液肥を使用し栽培した米が高く売れるよう当牧場と稲作農家とでその仕組みをつくってきたことに収れんする。それまで稲作農家では農薬や化学肥料の多用により昔に比べ米の食味が劣るようになったと感じていたところ、当牧場から稲作農家に対し、液肥を使用した減農薬・減化学肥料米の栽培とブランド化を提案し協議を重ねた。<sup>(注11)</sup> 液肥に含まれるBMの効用もあるとのことだが、液肥を使用することで水稻の根の張りが良くなり食味が改善した。これに加え、環境にやさしい循環型農業を前面に、米卸業者と協議してブランド米を開発し、<sup>(注12)</sup> 稲作農家の所得向上につながったことが水田での液肥利用に弾みをつけた。

水田への液肥利用の実現は、酪農家と稲作農家が協力して試行錯誤をしながら実証的にノウハウを積み上げてきた結果であり、両者の連携が鍵といえる。とりわけ、酪農家は液肥を生産するだけ（ハード面が中心、プロダクトアウト）でなく、液肥を利用することで稲作農家の利益や効用（販売価格の向上、食味の改善）につながる取組み（ソフ

ト面も重視、マーケットイン)を行っていることがポイントといえる。

また、消化液(液肥)処分先の確保の前段として、前出の再生敷料の取組みでは固液分離により消化液量そのものを減らす効果があることに留意しておきたい。

(注10) 当牧場で生成される液肥は、乳牛の尿をラグーン(露地池)でエアレーション(空気を送ること)を行い好気性発酵により処理をしているもので、畜産バイオマス発電(嫌気性発酵)の消化液ではないが、岩下・岩田(2010)から成分構成等に大差はないとの理解に基づく。

(注11) 当牧場ではBM(バクテリア・ミネラル)を使用した農法を採用しており、飼料にBMを混ぜ、それを食べた乳牛のふん尿を堆肥・液肥にすることで肥料のなかにもBMが存在し、それが土づくり、土壌の活性化を助けるとのことである。

(注12) 千葉県では自然環境への負荷を軽減し持続可能な農業を推進するため、農薬と化学肥料(化学肥料由来の窒素分量)を通常栽培の2分の1以下に減らした農産物を「ちばエコ農産物」として認証しており、生産者グループで認証を受けている。これを米卸業者と協議し「万喜米」の名称でブランドを開発し、1俵(60kg)当たり1,800円高い価格での買取りを実現している。

## おわりに

元来、再エネの特性は「地元の自然に依存する産業と親和的」で「第1次産業と同様に土地に固着した産業」であり、農家が再エネに取り組むことは半ば必然といってよいのではないかと。FIT制度のもとで農家複合経営の形態として新たにエネルギー生産が加わったといえよう。

本稿では、まず個別経営が成り立つことを中心に考察したが、地域全体でみると飼料費削減のため酪農家で組織したTMRセンターが畜産バイオマス発電に取り組む、

個別経営(部分最適)を超えた地域農業全体(全体最適)で耕畜連携やエネルギーの「地産地消」を志向した循環型農業の実現に踏み出している事例(中村・河原林(2017))がみられる。

また、16年4月の電力小売全面自由化を機に、地域で発電した電気を地域で消費する電力の「地産地消」の取組み(河原林(2017e))や、農村と都市をつなぎ「電気の産直」といった「産消連携」の取組み(河原林(2017d))も認められる。地方の多くは民間の域際収支が赤字であり、その赤字分を公的な支出で賄っているのが実状である。地域の自然資源を利用し地域で発電・消費(あるいは域外に販売)することは、外部からの電力購入による地域所得の域外流出を防ぎ(あるいは域外から所得を獲得し)、それら所得が域内で消費や再投資されれば、さらなる経済効果が生まれる。地域内での経済循環が進めば、地域経済の自立性が高まる。再エネの取組みを進めることは地域経済の活性化につながり、ひいては地域の自立(内発的発展)につながる。地方が大都市圏に対して比較優位であるのは自然資源である。このような比較優位な資源を最大限活用することで大都市圏との格差を縮小することができるのである。

そこに再エネに取り組む意義があるが、再エネは地域の自然に大きく依存することから地域特性が強く、地域で積極的に向き合わなければ成功させることはできない。それには地域の人々の主体的な参加と関係性(絆)が不可欠であり、土台となる社会

関係資本の醸成が必要である。

こうした動きが全国各地で地域を活性化し、地域づくりへの大きな流れになることを期待してやまない。

(注13) TMRとはTotal Mixed Rationの略で混合飼料とも称され、粗飼料と濃厚飼料、粕類など乳牛に必要な飼料を混合したものである。乳牛の養分要求量に合うように適切な割合で各種飼料を混合しTMRを調合（製造）し地域の酪農家に供給する施設（組織）がTMRセンターである。「牛の給食センター」とも例えられる。

(注14) 域際収支とは、商品やサービスを域外に売って得た金額と、域外から購入した金額との差額。国家間という貿易・サービス収支を地域別に表してみたもの。

#### <参考文献>

- ・岩下幸司・岩田将英（2010）『メタン発酵消化液の液肥利用マニュアル』地域環境資源センター
- ・植田和弘・梶山恵司（2011）『国民のためのエネルギー原論』日本経済新聞出版社
- ・金子勝・武本俊彦（2014）『儲かる農業論 エネルギー兼業農家のすすめ』集英社
- ・河原林孝由基・村田武（2015）「JAが取り組める再生可能エネルギー——畜産バイオマス発電の実態と事業化をめぐる諸課題——」『にじ』第650号，158～170頁
- ・河原林孝由基（2016）「酪農経営を下支えする畜産バイオマス発電と再生敷料——北海道江別市・（有）小林牧場の取り組み——」『農中総研 調査と情報』Web誌，11月号，14～15頁
- ・河原林孝由基（2017a）「“トウモロコシだらけ”ドイツからの警鐘——エネルギー作物栽培とバイオマス発電の実際——」『農中総研 調査と情報』Web誌，1月号，22～23頁
- ・河原林孝由基（2017b）「“農場”と名乗ることのプ

ライド——ドイツ・ヘーグル農場でのバイオマス利用——」『農中総研 調査と情報』Web誌，3月号，20～21頁

- ・河原林孝由基（2017c）「耕畜連携による液肥利用と高付加価値化——千葉県いすみ市・（有）高秀牧場の取り組みを中心に——」『農中総研 調査と情報』Web誌，5月号，22～23頁
- ・河原林孝由基（2017d）「エネルギーも産直の時代へ——パルシステムグループによる「電力の産消提携」の展開——」『農中総研 調査と情報』Web誌，7月号，22～23頁
- ・河原林孝由基（2017e）「JAが「電力の地産地消」をリード——JA土幌町でのエネルギー地域循環型農業の実践——」『農中総研 調査と情報』Web誌，9月号，20～21頁
- ・中村明靖・河原林孝由基（2017）「エネルギーも含めた地域レベルでの循環型農業への示唆——（有）デリバリーフィードセンター名寄の取り組みを中心に——」『にじ』第658号，130～139頁
- ・坂内久・河原林孝由基（2016）「再生可能エネルギー発電と農業の兼営の可能性・課題——営農型太陽光発電（ソーラーシェアリング）を中心に——」『にじ』第653号，150～166頁
- ・村田武・渡邊信夫編（2012）『脱原発・再生可能エネルギーとふるさと再生』筑波書房
- ・村田武（2013）『ドイツ農業と「エネルギー転換」——バイオガス発電と家族農業経営——』筑波書房ブックレット
- ・村田武（2015）『日本農業の危機と再生——地域再生の希望は食とエネルギーの産直に——』かもがわ出版
- ・村田武（2016）『現代ドイツの家族農業経営』筑波書房
- ・村田武・河原林孝由基（2017）『自然エネルギーと協同組合』筑波書房

（かわらばやし たかゆき）

