

# 家畜ふん尿用メタン発酵処理システムの具体的取り組みと将来展望 - 酪農学園大学の事例を参考に -

干場 信司・菱沼 竜男・猫本 健司 (酪農学園大学)

本稿では、①酪農学園大学家畜ふん尿用バイオガスプラントの運転状況、②バイオガスプラントを利用したふん尿管理を行っている本学 (酪農学園大学) 附属農場の窒素収支、③個別型のバイオガスプラントのエネルギー的・経済的評価および④家畜ふん尿用バイオガスシステムの将来展望について述べる。

## 1. 酪農学園大学家畜ふん尿用バイオガスプラントの運転状況

酪農学園大学では2000年3月に家畜ふん尿用バイオガスプラントが設置された。これは、実規模のものとしては、同時期に設置された町村農場のプラントとならんで、道内で初めてのものであった。

### (1) 運転状況

#### ①運転開始当初の状況

図1に運転開始当初 (2000年6月から2001年11月) のガス発生量とガス濃度を示す。メタンガスの発生量は、バイオガスの発生量にメタンガス濃度を乗じて求めた。また、二酸化炭素の発生量はバイオガスの量からメタンガス分を引いた値である。メタンガス濃度は試運転期間からはほぼ一定であり、約56%である。試運転期間中のメタンガス発生量と二酸化炭素ガス発生量は少なく経過したが、その後徐々に増加して、2001年

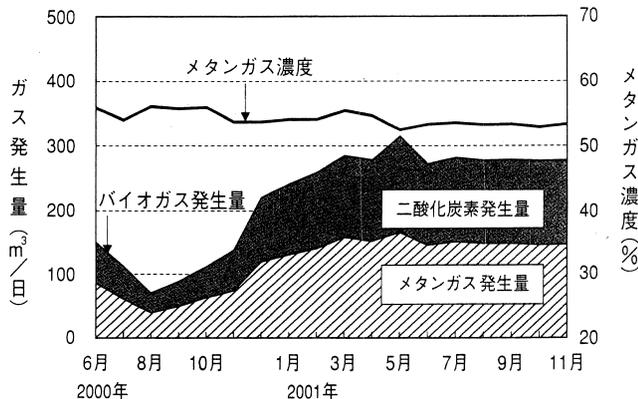


図1 バイオガス発生量とメタンガス濃度

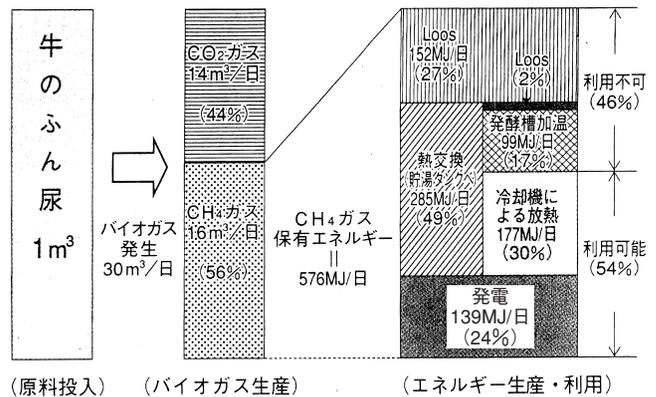


図2 バイオガスプラントのエネルギー収支 (2001年3月~2001年11月の平均)

3月ごろからほぼ一定となった。発生量はそれぞれ、メタンガスが1日約150m³あり、二酸化炭素ガスが同約130m³であった。

図2に運転開始当初のエネルギー収支を示す。バイオガスの発生量がほぼ一定となったのは2001年3月からである。したがって、バイオガスプラントのエネルギー収支にかかわる項目について、同年3月から11月までの平均値を求めた。その結果をまとめたのが図2であり、牛のふん尿1m³当たり、1日当たりの結果を示したものである。1m³の牛のふん尿から発生するバイオガスは日量30m³であった。そのうち、56%がメタンガスであり、残りの44%が二酸化炭素ガスである。メタンガスの保有エネルギーは、1m³当たり36MJであるから、1日576MJとなる。そのエネルギーの24%を発電に、49%を熱交換に利用していた。残りの27%は、発電や熱交換時および配管などからのロスと考えられる。熱交換されたお湯は発酵槽の加温に使用され、残りは冷却機で放熱されるが、その内訳はそれぞれ17%と30%であった。残りの2% (=49% - 17% - 30%) は、それらにかかわるロス分である。したがって、ロスの全体は29% (=27% + 2%) となった。いま、メタンガス保有エネルギーの全体を利用可能分と利用不可能分に分類する。発酵槽加温のためのエネル

ギーは、施設維持に必要なエネルギーであるから、利用不可能と考えられる。したがって、利用不可能分はロスの全体を加えると46%となった。残りの54%が利用可能エネルギーであり、電力や熱として種々の有効利用が可能である。

②最近の運転状況

図3は2005年4月の発酵槽内温度の推移を示している。発酵槽内温度は38.7~40.7℃の範囲で変動しており、運転開始当初に38~39℃だったのに比べて高めている。これは、飼料に含まれている雑草の種子を不活性化するための昇温である。

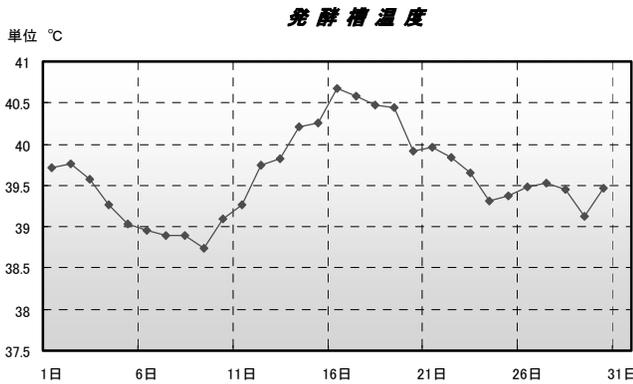


図3 2005年4月における発酵槽温度の推移

また、図4および5にバイオガス発生量およびメタンガス濃度を示す。バイオガス発生量はこの月の平均で1日あたり407m<sup>3</sup>であり、運転開始当初は300m<sup>3</sup>弱であったのに比べてかなり高めている。これは、フリーストール牛舎の牛床敷料を古紙に変え、また加水を少なくしたためと思われるが、メタンガス濃度は逆に平均で52%であり、運転開始当初よりも低濃度になっている。

発電量は、この月は、ガス発電機が故障していたた

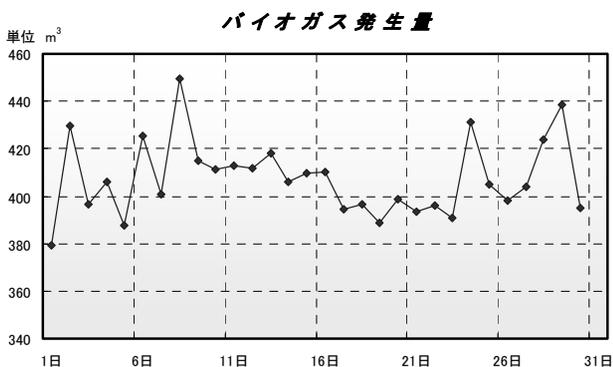


図4 2005年4月におけるバイオガス発生量の推移

メタン濃度

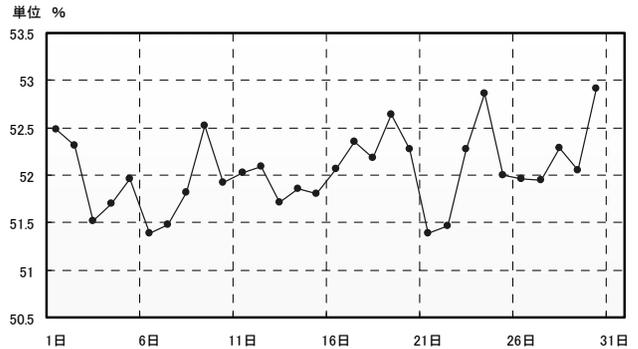


図5 2005年4月におけるメタン濃度の推移

め、デュアル燃料発電機のための運転であったが、月平均で一日あたり506kWhとかなり高い発電量となっている。

2. 酪農学園大学附属農場の窒素収支

ほぼ全ての家畜糞尿をバイオガスプラントにて嫌気処理している酪農学園大学附属農場（E酪農場）の窒素収支を調べると共に、十勝管内に位置して異なる糞尿管理方式をもつ4酪農場（A、B、C、D酪農場）と比較した。

(1) 窒素収支を求める方法

各酪農場の経営概要と糞尿管理方式を図6に示す。D酪農場のみ繋ぎ飼い飼養であり、他の4酪農場はすべてフリーストール飼養である。糞尿処理に関しては、A酪農場とB酪農場は糞尿の全量を堆肥化し、B酪農場はハウス攪拌乾燥装置を備えている。C酪農場では固液分離した液分を、D酪農場では糞尿分離した液分をそれぞれ曝気処理している。E酪農場（酪農学園大学附属農場）ではほぼ全ての家畜糞尿をバイオガスプラントにて嫌気処理している。耕地面積あたりの成牛飼養頭数（以下、飼養密度と記す）は、C酪農場が5.6 [頭/ha]、B酪農場が2.6 [頭/ha] で、他の3酪農場（1.7~1.8 [頭/ha]）より明らかに高い。なお、A酪農場とC酪農場では、堆肥の一部を畑作農場等に譲渡している。

各酪農場の窒素収支は、酪農場に外部から投入された「投入窒素」から、生産物として外部へ産出された「産出窒素」を差し引いて求め、これを「酪農場全体における余剰窒素」と定めた。これは、酪農場で有効に利用されなかった窒素を意味している。

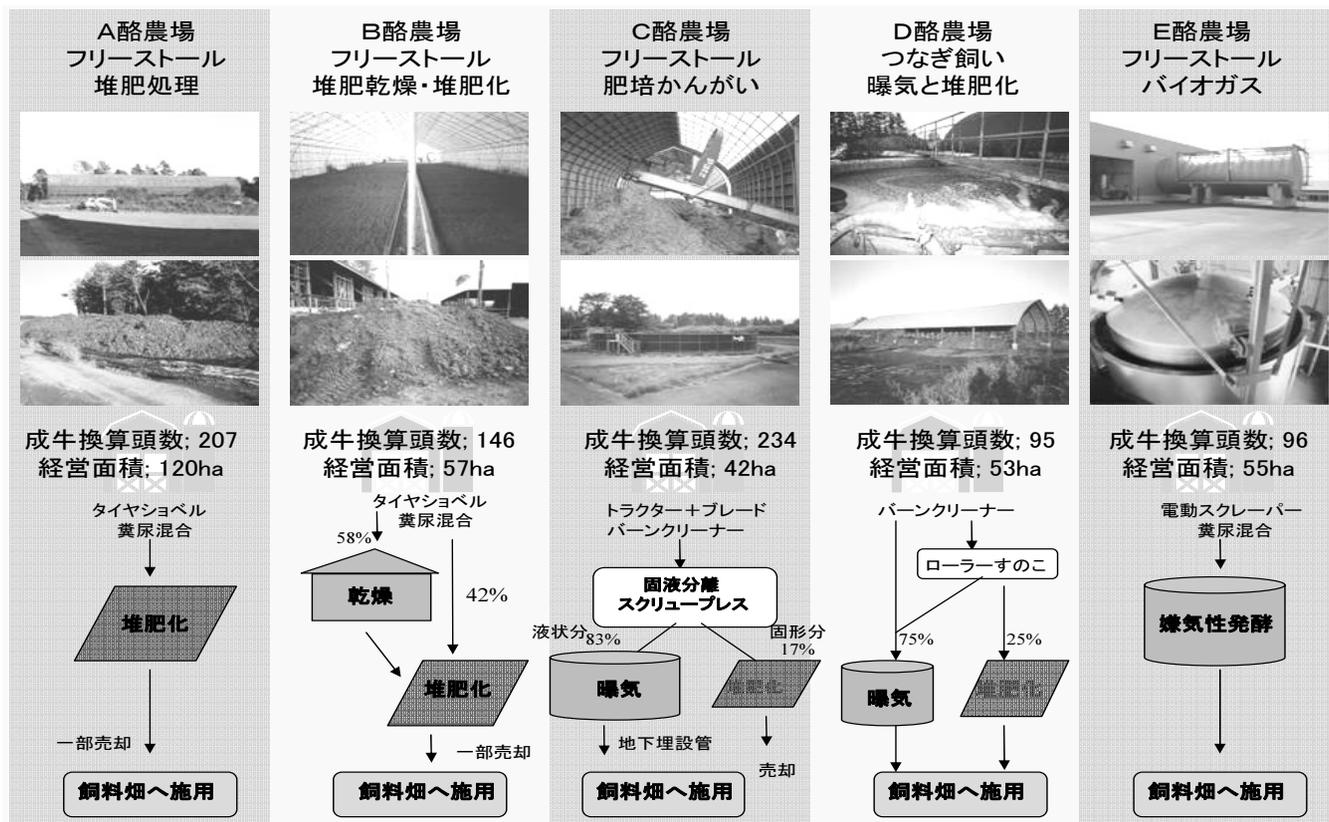


図6 調査対象酪農場と糞尿処理の概要 (E酪農場: 酪農学園大学附属農場)

この窒素収支の求め方は、ヨーロッパで用いられている「ファームゲートバランス」法である。

投入窒素に関する調査項目は、購入飼料、肥料、敷料に含まれる窒素量とマメ科牧草による窒素固定量とし、産出窒素量に関する調査項目は、生乳、個体および家畜糞尿の販売または譲渡量和窒素含有率とした。

## (2) 検討結果

単位面積当たりでみた投入窒素 (図7参照) は、A～E酪農場の順にそれぞれ240、390、620、250、180 [kgN/(ha・year)] であった。飼養密度が高いBおよびC酪農場における単位面積あたりの投入窒素は、他の3酪農場に比べて明らかに高い。一方、E酪農場 (酪農学園大学附属農場) では、飼養密度が特に低いわけではないが、化学肥料および購入飼料による投入窒素が比較的 low、低投入型の経営である傾向が認められた。

また、産出窒素はそれぞれ94、110、310、62、83 [kgN/(ha・year)] であった。単位面積あたりの産出窒素 (図7参照) は、飼養密度が高いBおよびC酪農場や、耕種農家等へ堆肥を譲渡しているA酪農場にお

いて高まる傾向が認められた。なお、販売生乳や個体販売に含まれる窒素は、成牛1頭あたりでみると、いずれの酪農場でも35～48 [kgN/(cow・year)] の範囲であり、1頭あたりの窒素生産量に著しい差がなかった。

投入窒素から産出窒素を差し引いて算出した「酪農

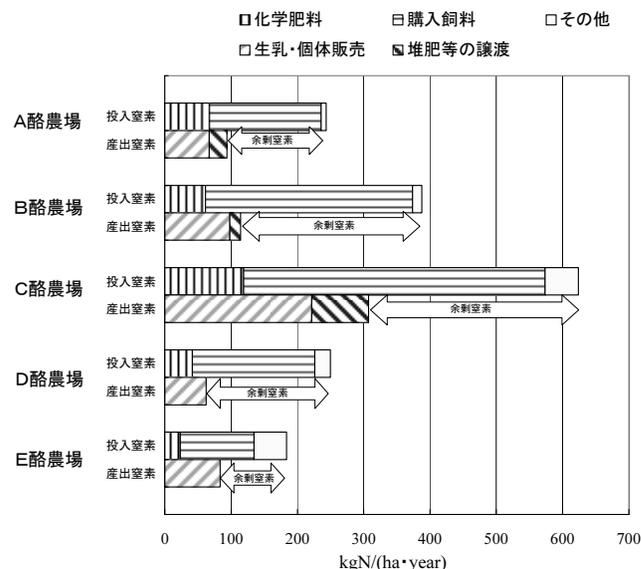


図7 各酪農場における窒素収支および余剰窒素 (E酪農場: 酪農学園大学附属農場)

場全体における余剰窒素」(図7参照)は、A～E酪農場の順にそれぞれ150、270、310、190、110 [kgN/(ha・year)] となり、バイオガスプラントで嫌気処理するE酪農場(酪農学園大学附属農場)が最も低い値を示した。必ずしも飼養密度に比例して余剰窒素が高まる傾向ではなかった。この「酪農場全体における余剰窒素」を「糞尿処理過程で生じる余剰窒素」と「飼料生産過程で生じる余剰窒素」とに分けて考えてみよう。

まず「糞尿処理過程で生じる余剰窒素(図8参照)」についてであるが、家畜糞尿の全量を堆肥化もしくはハウス内で攪拌乾燥を行うAおよびB酪農場において、糞尿処理過程で比較的多くの窒素が家畜糞尿から失われた。分離した液分の曝気処理が主体であるCやD酪農場の糞尿処理過程では、堆肥処理のAやB酪農場に比べて余剰窒素の発生が低かった。一方、家畜糞尿の全量をバイオガスプラントで嫌気処理するE酪農場(酪農学園大学附属農場)では、糞尿処理過程における余剰窒素が最も低く抑えられた。理論的には、糞尿処理過程における余剰窒素はゼロとなるはずであるが、消化液の貯留槽や発酵槽の安全弁からの放出などが多少あったものと思われる。

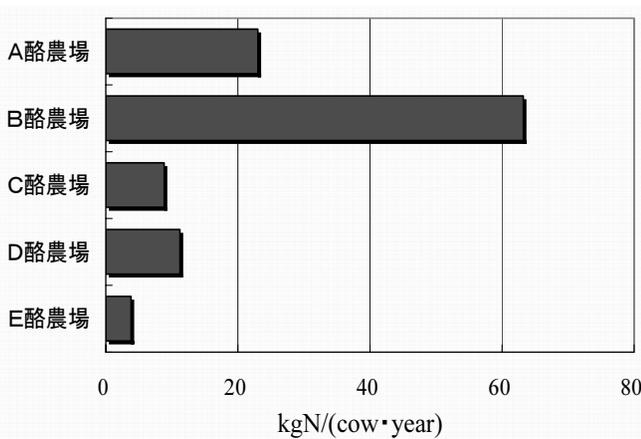


図8 糞尿処理過程で生じる余剰窒素の比較 (E酪農場：酪農学園大学附属農場)

次に、「飼料生産過程で生じる余剰窒素」(図9参照)についてであるが、E酪農場(酪農学園大学附属農場)がAおよびB酪農場とならんでかなり低い値を示した。一般的には「糞尿処理過程で生じる余剰窒素」が低い場合は、「飼料生産過程で生じる余剰窒素」が多くなる傾向があるわけであるが、E酪農場(酪農学園大学附属農場)では消化液の散布方法に気を遣い、地

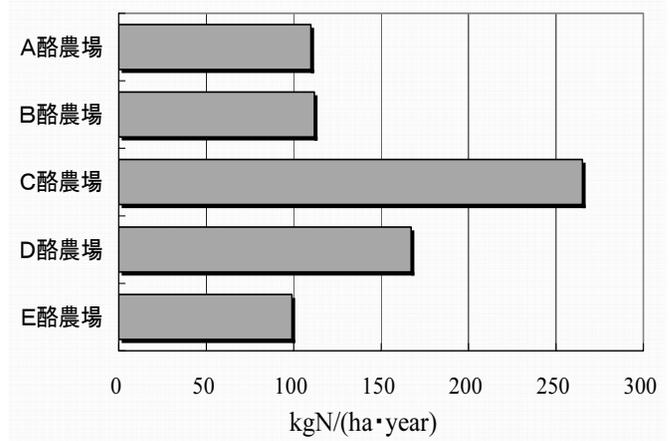


図9 飼料生産過程で生じる余剰窒素の比較 (E酪農場：酪農学園大学附属農場)

表面散布と可能な限り散布後の覆土を心掛けているためと思われる。また、飼料生産過程におけるC酪農場の余剰窒素が高かったのは、飼養密度の高さから、単位面積あたりの投入窒素が多くなったためであると推察される。一方、B酪農場において飼養密度が比較的高いにもかかわらず飼料生産過程の余剰窒素がAやE酪農場と同程度に抑えられたのは、糞尿処理過程で比較的多くの窒素が失われたことにより、飼料生産に対する窒素の投入が低く抑えられたためであると思われる。また、飼養密度が比較的低いD酪農場の飼料生産過程において余剰窒素が高い理由としては、含水率の高い糞尿を秋に施用したため窒素分の流亡が多かった等、貯留施設から運び出した糞尿の使い方に起因する窒素ロスの原因の一つとして挙げることができる。

以上より、家畜糞尿の全量をバイオガスプラントで嫌気処理するE酪農場(酪農学園大学附属農場)では、「糞尿処理過程で生じる余剰窒素」が低いのが当然のことであるが(図10参照)、消化液の散布方法に配慮することにより、「飼料生産過程で生じる余剰窒素」も低く抑えることが可能であり、結果的に窒素の利用率を高めることができるものと思われる。

### 3. 個別型のバイオガスプラントのエネルギー的・経済的評価

ここでは、家畜ふん尿用バイオガスシステムが有効性はどこにあるのか、および、エネルギー的・経済的にどのような条件で成立するのかについて述べる。

#### (1) エネルギー的評価

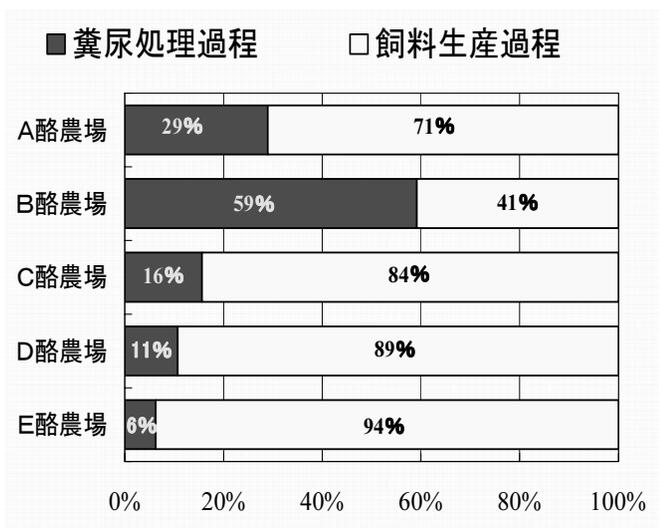


図10 糞尿処理過程と飼料生産過程で生じる余剰窒素の割合 (E酪農場：酪農学園大学附属牧場)

バイオガスシステムのエネルギー的評価として、バイオガスプラントの建設、運転およびメンテナンスに投入される化石エネルギーを、バイオガスプラントから産出されたエネルギーで回収するにはどれほどの運転年数が必要なのかを検討した(菱沼ら、2002)。なお、検討の対象とした個別農家用バイオガスプラントは、成牛120~130頭規模で、発酵槽の容量が250m<sup>3</sup>、発酵温度は37~38℃で、1日に約300m<sup>3</sup>のバイオガスを発生するものである。

個別型バイオガスシステムへの総投入化石エネルギーと、電気および熱として産出された利用可能エネルギーを比較すると、エネルギー償還年数は約7年間となった。また、電気及び熱として産出された利用可能

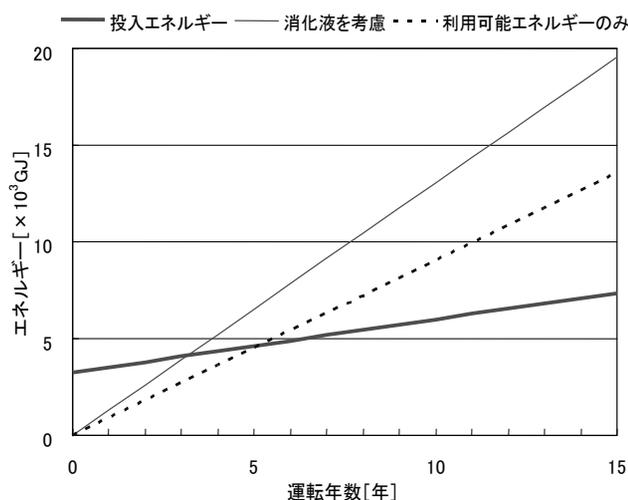


図11 個別型バイオガスシステムのエネルギー的償還年数

エネルギーに加えて、消化液の等価エネルギーも考慮した場合のエネルギー償還年数は、約3年間となった(図11)。

## (2) 経済的評価

経済的には、消化液の液肥利用による化学肥料購入額の削減が、投入コストの回収までの運転年数に及ぼす影響が大きいことが示された。また、現行のバイオマス発電の電力の取引価格の下では、施設の想定耐用年数以内での投入コストの回収には、建設費への補助の導入が不可欠であることが示された。さらに、図12に示したように建設費への補助利用の下で、バイオマス発電の環境付加価値の取引を利用することで投入コストの回収が6~8年程度となることがわかった(菱沼、2006)。

個別型バイオガスシステムをエネルギー的にも経済的にも成り立たせるには、消化液の肥料としての利用が重要である。つまり、個別農家用バイオガスシステムをより良く利用するための条件は、液肥となる消化液が利用可能な圃場の確保であり、個別型バイオガスシステム導入の際に最も検討が必要な項目である。そして、施設導入の際には、補助事業の利用とバイオマス発電の環境付加価値の販売によって、10年弱の運転で投入されたエネルギーやコストの回収の可能性が出てくることになる。

## 4. 家畜ふん尿用バイオガスシステムの将来展望

### (1) 成立するための条件 (発電をした場合)

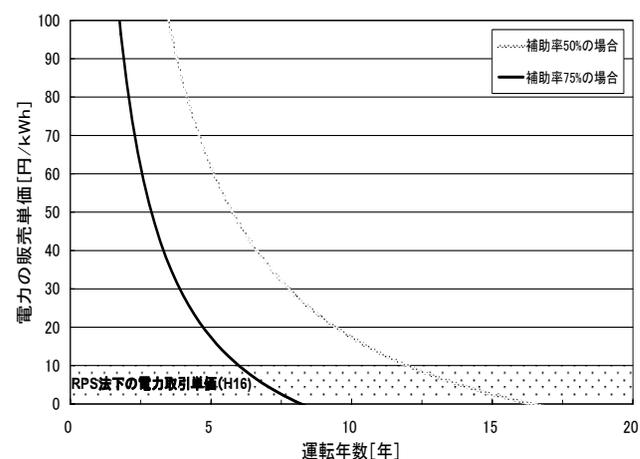


図12 個別型バイオガスシステムにおける電力販売単価と償還年数

上述したように、家畜ふん尿用バイオガスシステムが成立するためには、消化液を還元することのできる圃場を持っていることである。本州においては、このことが難しい場合が多い。しかし、水田への利用も試みられ、かなり効果をあげているので、期待される場所である。

発生したバイオガスにより発電をする場合には、売電単価が低く抑えられていることが問題となっている。施設を建設するときの公的補助は50%程度であっても、売電単価をもう少し上げることができれば（そのために補助が与えられれば）、酪農家は自主的にバイオガスシステムを選択するようになるであろう。

また、消化液の固形肥料化も、その可能性については総合的・長期的に（LCA等を用いて）検討する必要があるが、輸送エネルギーと輸送コストの大幅低減が期待される。

(2) バイオマスエネルギーと

その他の自然エネルギーとの相違

バイオマスエネルギーとその他の自然エネルギーとの相違を、長期的・総合的な視点から見てみるとどうなるであろうか。図13に示すように、バイオガスエネルギーはほとんどの場合その利用過程でバイオマスが残渣として残り、それを循環させる必要が生じる。一方バイオマスエネルギー以外の自然エネルギーは一般的に一方通行である。この相違は、バイオマスエネルギーを利用しようとする際の極めて重要なポイント

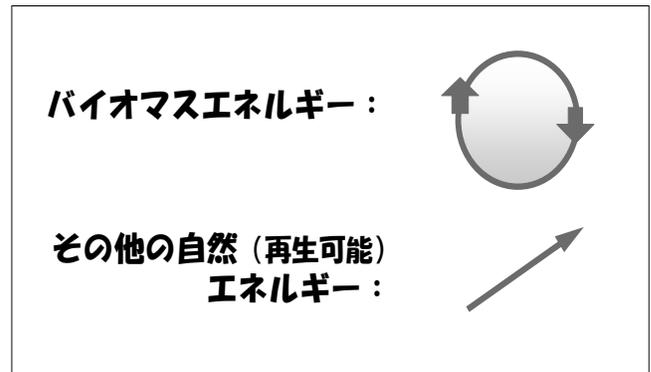


図13 バイオマスエネルギーとその他の自然エネルギーの相違となる。利用し終ったバイオマスを循環利用するための土地が必要となるのである。

(3) バイオガス利用の新しい試み

バイオガスの利用方法として、今、圧縮・精製をしてガスボンベに入れ、流通が可能にする試みが行われている。この方法が可能となり、プロパンガス並の価格が設定されれば（そのための補助が必要かも知れないが）、バイオガスシステムの将来性は極めて明るくなると言えよう。

.....

本研究は、酪農学園大学附属農場の担当職員各位、横山慎司氏、加藤博美氏、石川志保氏、森田茂氏および卒業論文としてこのテーマについて研究した多くの卒業生のご協力で行われたものである。心から感謝の意を表す。