



地球環境基金助成事業

バイオガス発電福島モデルの検討

— 目次 —

- [1. 問題提起](#)
- [2. 今回の調査について](#)
- [3. バイオガス発電フロー図](#)
- [4. 福島県の畜産農家の現状](#)
- [5. 乳牛300頭規模のエネルギー活用法検討](#)
- [6. 乳牛100頭規模のエネルギー活用法検討](#)
- [7. 乳牛30頭規模のエネルギー活用法検討](#)
- [8. 福島モデルまとめ](#)

コラム [東北大学農学研究科准教授] 多田 千佳 先生

[\(1\)乳牛30頭の糞のみをメタン発酵する場合の多田千佳先生試案](#)

[\(2\)多田先生の出前講座絵本「生ごみからエネルギーをつくろう！」](#)

— 添付資料 —

[1\)乳牛300頭規模のバイオガスプラント設備概要](#)

[2\)土幌・鹿追バイオガス視察レポート](#)

[「バイオガスプラントを福島県に導入するに当たっての検討」](#)

[3\)電力会社への系統接続申請](#)

[4\)FIT事業認定申請書](#)

[5\)法令調査項目](#)

[6\)福島のプラントメーカー共栄株式会社紹介](#)

1. 問題提起

2017年10月、私たちは北海道士幌町で成功している乳牛農家のバイオガスプラントをいくつも視察させて頂いた。見ての第一印象は「でかい！」だった。この大型施設を福島県内で設置できる酪農家はあるだろうか？ そしてここから毎日出てくる大量の消化液を散布する圃場は確保できるだろうか？ 第一、福島県内に大規模に乳牛を飼う酪農家など10軒にも満たず、ほとんどが数十頭規模の小規模酪農家ではないか…。

数百頭規模で乳牛を飼う土幌の成功モデルをそのまま福島に導入することは難しいと思った。では福島の事情に合ったバイオガス発電はどのようなものになるのか。例えば、FITで売電するとしたら、何頭なら儲けが出るのだろうか。



乳牛400頭を飼う佐々木牧場バイオガスプラント(北海道士幌町)。大型の運搬車が小さく見えるほど巨大な消化液用貯水タンクが2つある。

福島の酪農家のみなさんが、牛糞の堆肥作りに大きな労力を割き、廃棄物問題、悪臭問題、水質汚濁問題、あるいは地球温暖化の問題に悩みながら、日々乳牛の糞尿の処理に翻弄されているのなら、「悪夢のような牛糞処理から解放された」とか「生乳販売より収益がいい」とか「余暇ができたのでチーズ作りを始めた」などという土幌町の酪農家のようになる方法を考えてみたいと思った。

これが「バイオガス発電福島モデル」を検討しようという私たちの取組みになった。まったく未熟ながら、ここに第1稿を上梓したい。

2. 今回の調査について

本調査報告書は、福島県内の畜産農家の牛糞尿を対象としたバイオガスのエネルギー活用法を調査検討した報告書である。

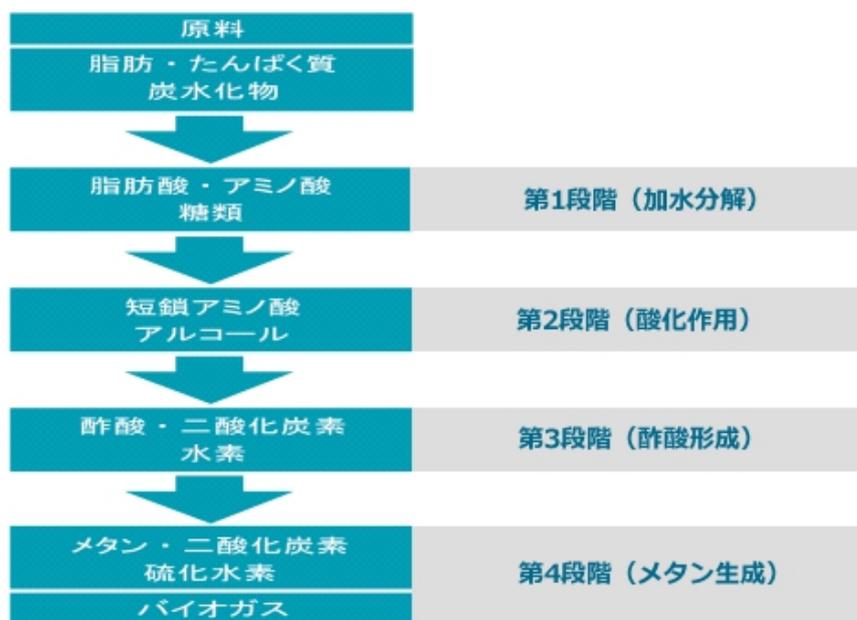
施設規模については、乳牛飼育数、300頭、100頭、30頭を対象とした。

バイオガス発生量は一般的な乳牛一頭当たりの糞尿量を前提とし、湿式中温発酵（35℃～40℃）のメタン発酵から想定している。

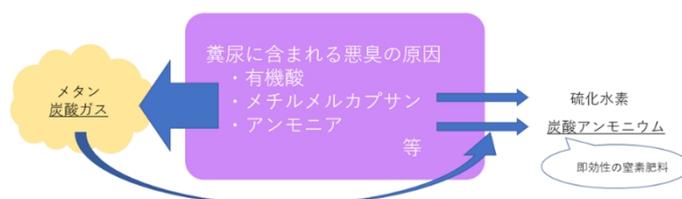
バイオガスの利用方法としては、ガス発電で自家消費か再生可能エネルギー全量固定買取制度で売電。ガスボイラにて温水の利用が考えられる。

糞尿をメタン発酵させる利点として、悪臭の消滅がある。メタン発酵は、対象となる有機物（脂肪・たんぱく質・炭水化物）が嫌気性微生物の分解作用によってメタンガス（CH₄）が生成される反応をいう。メタン発酵プロセスは下記図でしめすように、①加水分解 ②酸生成 ③酢酸生成 ④メタン生成の4過程を得てメタンが生成される。メタンが生成される過程で、悪臭の原因である有機酸、メチルメルカプサン、アンモニア等がメタンと炭酸ガスに変化し、メチルメルカプサンは硫化水素に変化する。アンモニアは炭酸ガスと一緒にになり、炭酸アンモニウムに変化し水溶化する。この炭酸アンモニウムは即効性の窒素肥料として有効である。

以上の観点から福島県の畜産農家の現状とエネルギー活用の可能性を調査した。

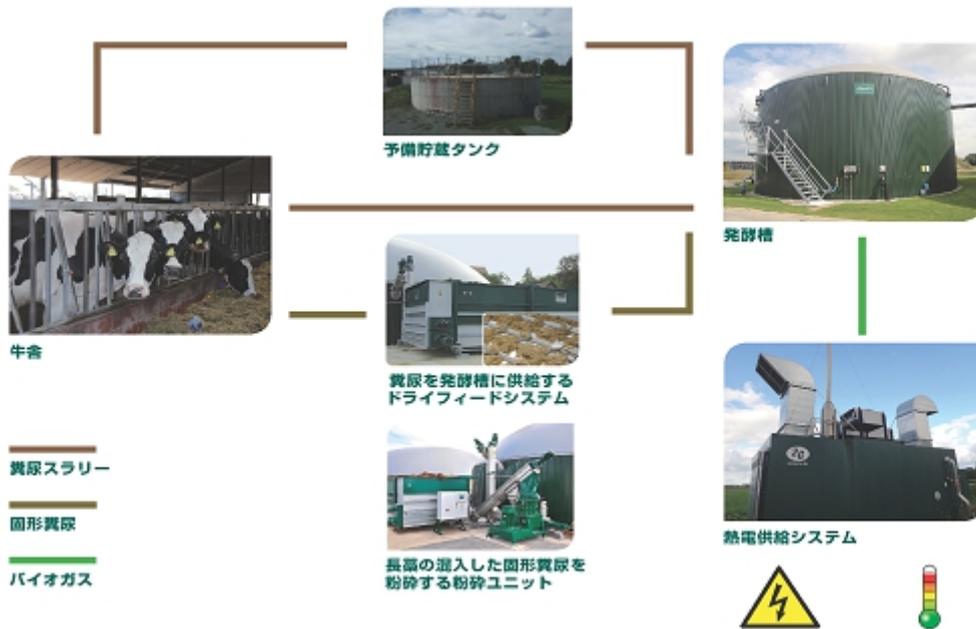


悪臭の消滅

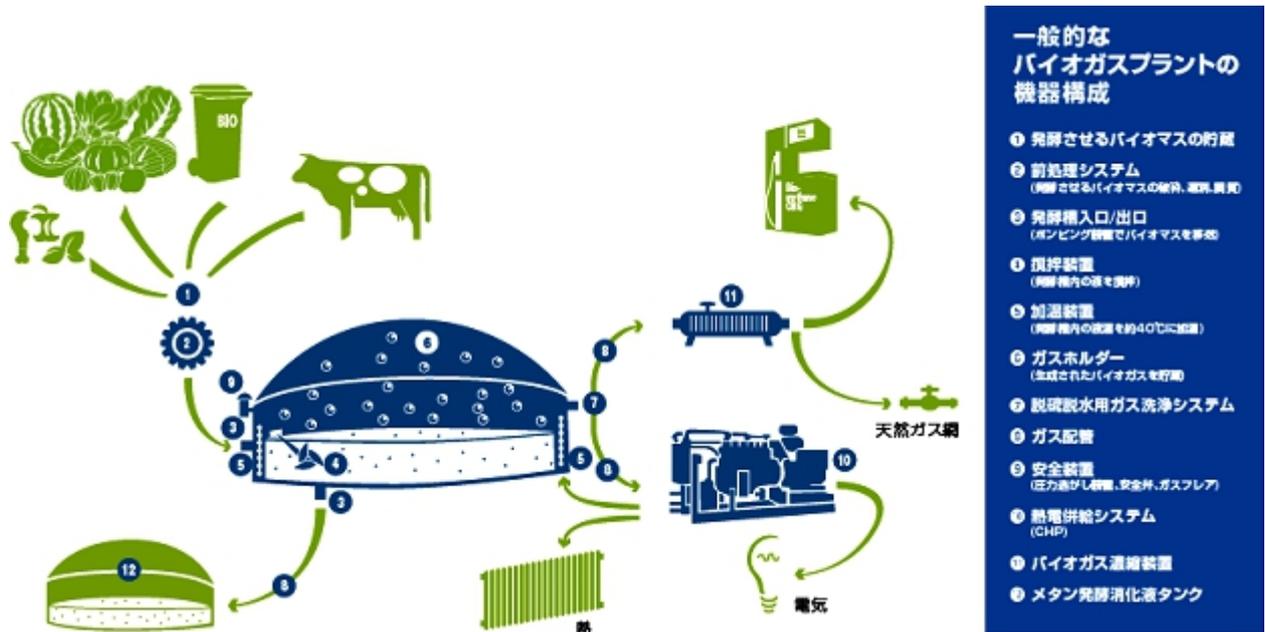


3. バイオガス発電フロー図

牛糞尿を原料とした小型バイオガスプラントのフロー図



バイオガスプラントの仕組み



バイオガスプラントは天候や時間い左右されず、いつでもエネルギーを供給することができます。

※ フロー図などの画像は共栄株式会社（PlanET 社）資料より拝借

4. 福島県の畜産農家の現状

福島県でバイオガス活用がされない要因

福島県の乳牛飼養頭数は12,000頭で、350戸の酪農家があり、1戸当たりの飼養頭数は34.3頭となっている。肉用牛飼養頭数は48,600頭で、2,220戸の肉用牛飼育農家があり、1戸当たりの飼養頭数は22頭となっている。豚の飼養頭数は122,400頭で、約60戸の養豚農家があり、1戸当たりの飼養頭数は2,110頭となっている。採卵鶏飼養羽数は5,463,000羽で、1戸当たりの飼養羽数は87,500羽となっている。（福島県の畜産2018より引用）。

これらから排泄される家畜糞尿は年間100万トン前後と推計されるが、多くが堆肥にして処理され、バイオガスとしての利用はない。福島県で畜産由来の原料がバイオガス発電やバイオガスボイラーに利用されない理由は、規模が大きくなりプラントの建設コストが割高となること、消化液の浄化処理に多大な費用が掛かることが挙げられる。よって、規模大小に合わせたバイオガスの利用を検討する必要がある。現状に合わせたバイオガス活用が確立できれば、福島県内での再生可能エネルギーの拡大に繋がり、中小畜産農家の経営改善が果たせる。

福島県の酪農家の組織

福島県の酪農家はほとんどが福島県酪農業協同組合に所属している。

福島県酪農業協同組合は福島県内で発祥した農業協同組合で、主に酪農家が所属しており、畜産物の流通生産、品質管理等を支援している。

一方、肉用牛飼養農家は全国農業協同組合連合会に所属しており、全国的に支店を持ち、農畜産物の流通や加工等を支援している。

福島県内には5つのJA支店があり、郡市町村単位で管轄している。県酪と比較すると小中規模の畜産農家が多く所属している。

福島県内の畜産農家の牛糞尿を対象としたバイオガスのエネルギー活用方法を調査、今回は乳牛酪農家を対象に調査をした。



小規模酪農家・高山牧場（福島県相馬市）

5. 乳牛300頭規模のエネルギー活用法検討

<バイオガス発生量>

糞尿

$$300 \text{ 頭} \times \text{65kg} \times \text{0.08} \times \text{0.4} \times \text{0.5 m}^3/\text{kg} \div \text{0.53} = 588 \text{ m}^3/\text{日}$$

一頭の乳牛の一日当たりの糞尿量
VS(有機物)濃度 8%
VSが分解する割合 40%
分解したVS1kg当たりのメタン発生量
発生するメタンの濃度 53%

資料残渣 (300頭規模で 3,000kg/日 発生すると考える)

$$3,000\text{kg} \times \text{0.24} \times \text{0.8} \times \text{0.55 m}^3/\text{kg} \div \text{0.53} = 597 \text{ m}^3/\text{日}$$

300頭規模での1日当たりの飼料残渣
VS(有機物)濃度 24%
VSが分解する割合 80%
分解したVS1kg当たりのメタン発生量
発生するメタンの濃度 53%

1日当たりのバイオガス発生量 = 1,185 m³/日

この量から発電量を計算すると・・・

$$100\text{kwhの発電機を24時間稼働} \quad 100\text{kwh} \times 24 \text{時間} = 2,400\text{kwh}/\text{日}$$

▼ 事業性を検討 (10年間)

<収入>

1年間の収入	2,400kwh	×	340日	×	39円	=	31,800,000円/年
<u>10年間の収入</u>	31,800,000円/年			×	10年	=	318,000,000円/年

<支出>

プラントのイニシャルコスト					250,000,000円
10年間のランニングコスト	5,000,000円/年	×	10年	=	50,000,000円
				10年間のコスト	= 300,000,000円

10年間で投資回収が可能

乳牛300頭規模の検討結果

家畜糞尿をバイオガスプラントでメタン発酵させメタンガスを生成し、ガス発電機で発電する。エンジンの廃熱は、温水として回収し、主としてメタン発酵槽の加温に使用するが、夏期間間は余剰となるために熱の再利用も可能である。FIT(再生可能エネルギー全量固定買取制度)で20年の買取期間が過ぎても設備としては継続可能である。

本調査の結果、300頭のバイオガスプラントは、糞尿処理収入と運営費を相殺し、売電収入・消化液の肥料金額・敷料費・熱利用による費用の低減等を勘案した結果、施設投資額の30%程度の補助率があれば投資妥当額になることが明らかになった。

また、糞尿の堆肥化作業の軽減と悪臭対策には大きな効果がある。

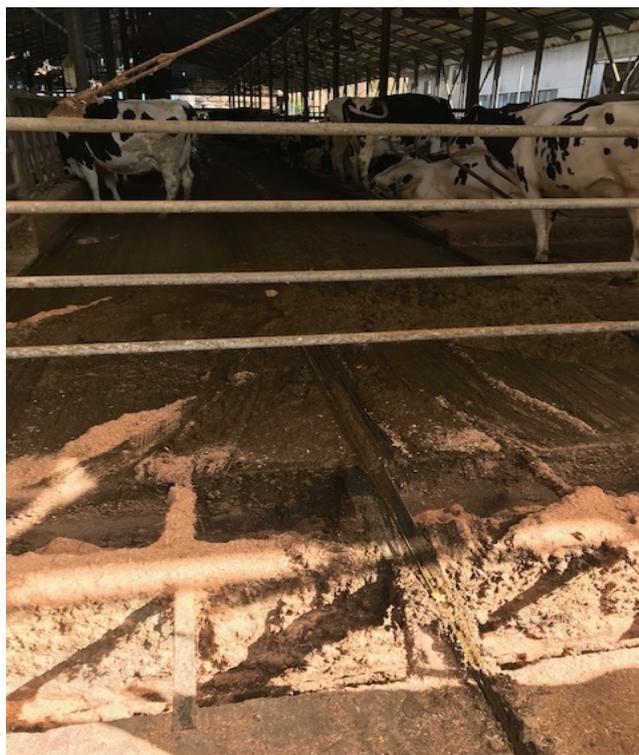
課題としては、消化液肥料の有効活用にある、牧草地、畑作地に有効に活用することで、資源の循環が図れる。

現地調査

モデル農家として川俣町のサトーフาร์มを調査

サトーフาร์ม

住所 : 福島県川俣町
頭数 : 乳牛250頭
糞尿量 : 約20トン/日
糞尿処理 : 堆肥化、一部販売している



福島県内では規模の大きいサトーフาร์ม

〈糞尿利用の方法と課題〉

1. 堆肥化に木質チップを必要としており、入手が困難な状況がみられる及び堆肥施設の電気使用量が多くなり、財政的な負担も大きい。
2. プラント設置には設置場所の地質調査が必要となり、詳細な試算は出来ないが、バイオガスプラントにて売電することで収益はできると想定できる。

6. 乳牛100頭規模のエネルギー活用法検討

<バイオガス発生量>

糞尿

$$100 \text{ 頭} \times \text{65kg} \times \text{0.08} \times \text{0.4} \times \text{0.5 m}^3/\text{kg} \div \text{0.53} = 196 \text{ m}^3/\text{日}$$

1頭目の乳牛の一日当たりの糞尿量
VS(有機物)濃度 8%
VSが分解する割合 40%
分解したVS1kg当たりのメタン発生量
発生するメタンの濃度 53%

1日当たりのバイオガス発生量 = 196 m³/日

この量から発電量を計算すると・・・

$$\begin{aligned} &25\text{kwhの発電機を15時間稼働} && 25\text{kwh} \times 15 \text{時間/日} = 375\text{kwh/日} \\ &\text{年間360日間稼働} && 375\text{kwh} \times 360 \text{日/年} = 135,000\text{kwh/年} \end{aligned}$$

▼ 事業性を検討

$$135,000\text{kwh} \times 39 \text{円} = 5,265,000 \text{円/年}$$

プラントのイニシャルコストを50,000千円(発電機含む)にして消化液の有効利用(販売)を検討できれば投資妥当額になる。

立地条件により建設コストの検討は必要、現在中国製の安価な施設を国内で改造する方法も検討している。建設コストの低減ができれば可能性はある。

ガスボイラーでの検討

温水ボイラで60℃の温水を一日約16m³作ることができ、また、暖房用循環加温用としても利用できる。

バイオガス温水ボイラーは安価な製品もあり、事業性検討するには畜産農家の温水利用状況及び暖房の施設を個別に検討する必要がある。

以上のことから、100頭規模の酪農家でもバイオガスを利用した発電及びボイラーでの温水活用が可能である。課題としては発電プラント建設コストの低減化と消化液の有効活用が重要であり、取り組むべき検討課題でもある。

7. 乳牛30頭規模のエネルギー活用法検討

<バイオガス発生量>

糞尿

$$30 \text{ 頭} \times 65 \text{ kg} \times 0.08 \times 0.4 \times 0.5 \text{ m}^3/\text{kg} \div 0.53 = 58 \text{ m}^3/\text{日}$$

一頭の乳牛の一日当たりの糞尿量
VS(有機物)濃度 8%
VSが分解する割合 40%
分解したVS1kg当たりのメタン発生量
発生するメタンの濃度 54%

1日当たりのバイオガス発生量 = 58 m³/日

この量から発電量を計算すると・・・

$$25 \text{ kWh の発電機を 4.5 時間稼働} \quad 25 \text{ kWh} \times 4.5 \text{ 時間/日} = 112 \text{ kWh/日}$$
$$\text{年間 360 日間稼働} \quad 112 \text{ kWh} \times 360 \text{ 日/年} = 40,320 \text{ kWh/年}$$

▼ 事業性を検討

$$40,320 \text{ kWh} \times 39 \text{ 円} = 1,572,480 \text{ 円/年}$$

プラントのインisialコストを 30,000 千円程度にして
消化液の有効利用(販売)を検討したとしても事業性は取れない

ガスボイラーでの検討

温水ボイラで 60℃の温水を一日約 5 m³作ることができる。バイオガス温水ボイラーは安価な製品もあり、事業性検討するには畜産農家の温水利用状況及び暖房の施設を個別に検討する必要がある。

以上のことから、30頭規模の酪農家では、ボイラーでの温水活用が可能である。

ただし、プラントの建設コストに見合う温水の利用ができるかは個別に検証する必要がある。そこで福島県内の酪農家を訪問調査した。

現地調査

モデル農家として相馬市赤木の高山牧場を調査した。

高山牧場

住所 : 福島県相馬市赤木

頭数 : 乳牛20頭

糞尿量 : 約1,000kg/日

糞尿処理 : 堆肥化

堆肥販売はせず、藁と交換している。



小規模酪農家高山牧場

〈糞尿利用の方法と課題〉

1. 堆肥化施設の維持運営に費用が掛かる（人件費、電気代）
2. 堆肥施設の悪臭など環境問題がある

糞尿量1t/日のメタン発酵施設の建設コストは約20,000千円がかかり、補助金活用がない場合は、設備投資に見合う収益は上がらないと想定できる。

環境問題解消、低炭素化の農業への補助が必要と考える。

農場規模と事業性

乳牛飼育頭数
300頭



■ 別図 事業性の検討 (※利率・売電価格の変動等は考慮しないものとします)
仮に・100kwhの発電機を24時間稼働 ・年間340日稼働 だと仮定すると年間の収益は…

年間収益

31,800,000円/年

▼ 事業性を検討 (10年間)

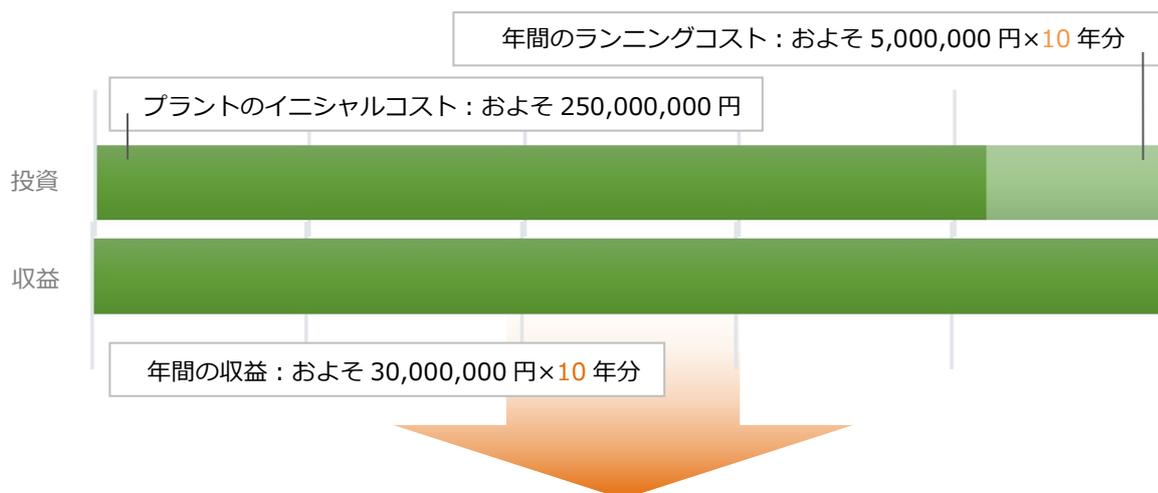
<収益>

1年間の収益	2,400kw	×	340日	×	39円	=	31,800,000円/年
10年間の収益	31,800,000円/年	×	10年	=	318,000,000円/年		

<コスト>

プラントのインニシャルコスト						250,000,000円
10年間のランニングコスト	5,000,000円/年	×	10年	=	50,000,000円	
				10年間のコスト	=	300,000,000円

投資費用を回収できる年数



10年で回収可能！

乳牛飼育頭数
100頭



■ 別図 事業性の検討 (※利率・売電価格の変動等は考慮しないものとします)

仮に・25kwhの発電機を15時間稼働 ・年間360日稼働だと仮定すると年間の収益は…

年間収益

5,265,000円/年

ランニングコストは発電機能力に比例させて、300頭で100kw/h、100頭で25kw/h、30頭では6kw/hである。

・100頭の時のランニングコスト ⇒ 300頭の時5,000,000円なので**1,250,000円**と仮定

▼ 事業性を検討

<収益>

1年間の収益	売電/5,000,000円			消化液の販売/5,800円
14年間の収益	5,005,800円/年	×	14年	= 70,081,200円/年
(13年間の収益)	5,005,800円/年	×	13年	= 65,075,400円/年

<コスト>

プラントのインシヤルコスト				50,000,000円
14年間のランニングコスト	1,250,000円/年	×	14年	= 17,500,000円
(13年間のランニングコスト)	1,250,000円/年	×	13年	= 16,250,000円
				14年間のコスト = 67,500,000円
				(13年間のコスト = 66,250,000円)

投資費用を回収できる年数



14年で回収可能！

乳牛飼育頭数
30頭



■ 別図 事業性の検討 (※利率・売電価格の変動等は考慮しないものとします)

仮に・6kwhの発電機を7時間20分稼働・年間360日稼働だと仮定すると年間の収益は…

年間収益

626,340円/年

ランニングコストは発電機能力に比例させて、300頭で100kw/h、100頭で25kw/h、30頭では6kw/hである。
・30頭の時のランニングコスト ⇒ 300頭の時5,000,000円なので**300,000円**と仮定

▼ 事業性を検討

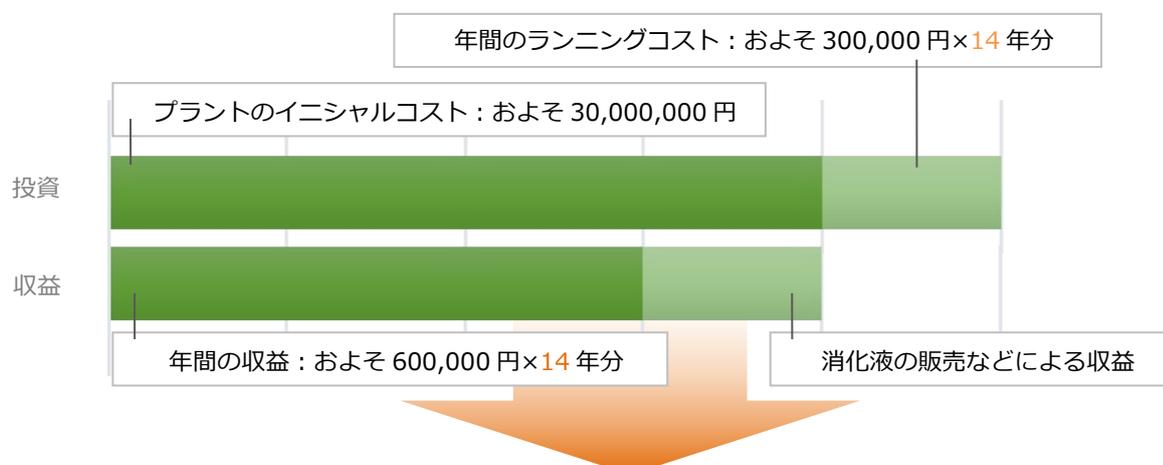
<収益>

1年間の収益	売電/600,000円			消化液の販売/1,730円
14年間の収益	601,730円/年	×	14年	= 8,424,220円/年
(13年間の収益)	601,730円/年	×	13年	= 7,822,490円/年

<コスト>

プラントのイニシャルコスト				30,000,000円
14年間のランニングコスト	300,000円/年	×	14年	= 4,200,000円
(13年間のランニングコスト)	300,000円/年	×	13年	= 3,900,000円
				<hr/>
14年間のコスト				= 34,200,000円
(13年間のコスト)				= 33,900,000円

投資費用を回収できる年数



14年間では赤字 (▲33,300,000円) 事業性をとることは難しい…

8. 福島モデルまとめ

震災後、福島県の酪農業は戸数、頭数共に大幅に減少し、生乳生産量は震災前の7割程度となっている。また、福島県内の酪農家は小規模農家が多く、財政面で厳しい経営状況にある。そのために酪農家の共同経営牧場の整備が計画されている。

今回の調査では300頭規模の酪農家であれば、バイオガスプラントを導入して、再生可能エネルギーとしてのバイオガス発電が可能だとわかった。売電収入が農家の経営を改善し、悪臭対策にもなり、消化液は液肥として農業利用ができる理想的な環境になるだろう。

また、100頭規模の酪農家は、現在開発中の安価なプラントにより、同じように再生可能エネルギーとしてのバイオガス発電の導入も可能になると思われる。

一方、30頭規模の酪農家への提案としては、近隣の同業酪農家との共同でバイオガスプラント運営を行う方式がある。北海道帯広市などでは酪農家が共同でバイオガス発電プラントを運転している事例が多く見受けられる。具体的なところは個別の検討になるが、相馬の高山牧場の場合でも近隣に酪農家があった。

それから、糞尿をメタン化させることで、環境問題が改善され消化液が肥料として有効利用できるのとあわせて、プラントから出る廃熱の有効利用も期待できる。北海道鹿追町ではバイオガス発電プラントの廃熱をマンゴー「白銀の太陽」の栽培やチョウザメ養殖に利用している。

畜産糞尿は堆肥化の労力・経費及び悪臭などの問題がある。この問題を解消するために糞尿を利用したバイオガス発電がある。今回は乳牛農家の踏査だったが、福島県内の肉牛農家、養豚農家、養鶏農家も同じ悩みを抱えている。

安価で性能のよいバイオガス発電プラントの開発が、今後の農業のあり方を変えていくと考えている。

鹿追町はバイオガス利用に付随した様々なプロジェクトを展開している。



マンゴーの温室栽培



水素ファームも隣接



温水でチョウザメ養殖



道の駅での液肥販売

(1) . 乳牛 30 頭の糞のみをメタン発酵する場合の 多田千佳先生試案

メタン発酵で出るバイオガスで発電をすると

私たちの乳牛糞の実験データでは、乳牛糞のみを用い、水で2倍に薄めたものを中温発酵(35℃)でHRT20日間の速度で運転するケースで行なった。乳牛糞は1頭あたり40kgの糞を排出すると、30頭の乳牛からの1日あたりの糞量は $40 \times 30 = 1200 \text{ kg} = 1.2 \text{ t}$ とした。バイオガス生産量 1.2 tの牛糞からのメタン発酵は、1日あたり約 22 m³のバイオガスが発生する。

このガスを仮に 6kW のアイシン精機のガスエンジン (3 m³/hour のバイオガス) を利用すると、1日に44kWh/日の発電が可能。年間 626,340 円の売電収入になる。ただし、乳牛糞の成分は、酪農家の飼育管理によって変動がある。

福島の酪農家のものでは、上記試算の2-3倍のバイオガスが発生する可能性がある。また、発電機によりバイオガスの必要量が異なる。現在、日本の発電機は、1台あたり6kWの発電機でも500万円とかなり高コストだ。

発生する消化液の使い方の検討

このケースでは、ガスを取った後に発生する消化液の量は、毎日、2.4 t (1.2×2) になる。

1: 水田に肥料として散布する場合

水で2倍に希釈すると年間 876 m³の消化液が発生する。肥料計算をすると、TN=1314 kg/年、P2O5 =438 kg/年となる。水田に消化液を利用する場合、福島県のコシヒカリの田んぼなら、N 6kg/10a, P 8kg/10aの肥料を投入するので、これを窒素ベースで考えると、21.9 haの水田があれば、発生する消化液は撒き切れることになる。

2: 採草地に肥料として散布する場合

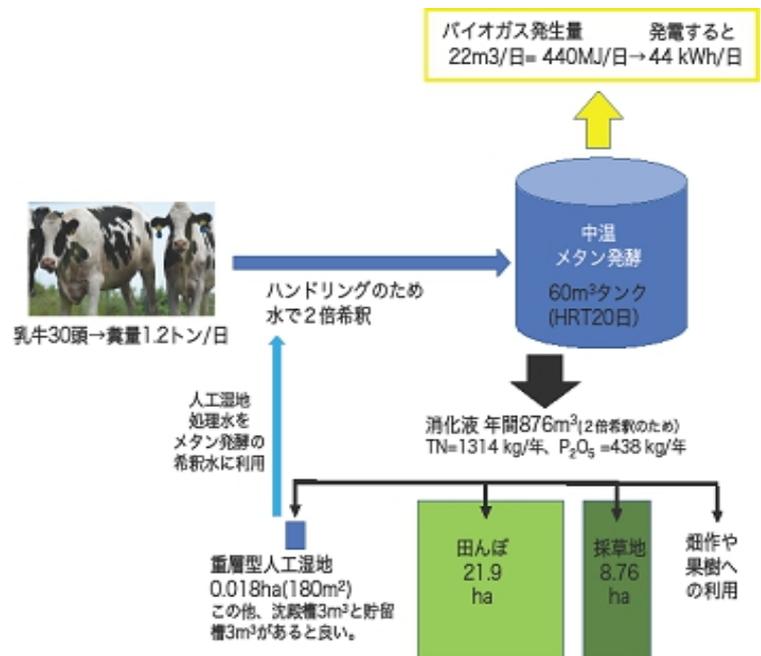
普通採草地では、N 10-15 kg/10a, P₂O₅ 10-15 kg/10a で散布しているようだ。窒素ベースにすると、15kg/10a で計算すると 8.76 ha の採草地があれば、全量撒くことは可能。ただし、牛糞の消化液は、カリウム濃度が高い傾向にあるので、牛のグラスタニー症候群を予防するため、場合によっては、窒素ベースではなく、カリウムベースで施肥した方がよいだろう。

3: 散布する場所がない場合—人工湿地の可能性

田んぼや採草地が確保できないときは、排水処理を検討する必要があるが、人工湿地の実験も行われている。重層型人工湿地(4段重ね、3回繰返す)では、19.8 g/m²/日の除去が可能で、1日の全窒素量を除去するには、約 180 m²の面積が必要になる。

①人工湿地で処理した水は、もともと含まれた窒素が約半分ほど除去されるため、メタン発酵の希釈水に利用することは可能である。アンモニア態窒素が硝酸態窒素になっているため、畑作や果樹栽培、花卉栽培に利用しやすいと考えられる。

②人工湿地処理水は有機物が除去され、適度な窒素とリンが含まれるので、微細藻類の培養液として利用可能。この藻を牛に食べさせる試みも始まっている。ただし高濃度の窒素除去が難しい問題はある。



(2) . 多田先生の出前講座絵本 「生ごみからエネルギーをつくろう！」

多田千佳先生のバイオガスの出前講座用教材ともいべき絵本が発刊されました。絵本の主人公・小学生の女の子めぐるちゃんが、生ごみからバイオガスを作る方法を簡単に教えてくれます。

バイオガス作りの発想の原点は「牛の胃の中でメタンガスができるのなら、ペットボトルで牛の胃を作ってしまう」というもの。2ℓのペットボトルにミキサーでドロドロにした生ごみ、水、微生物（種菌）を入れ、中性に調整し、時々ペットボトルを振りながら光の入らない場所で35～39度に保てば、1週間でガスが発生し始めます。これを3ℓのアルミニウムガスバッグにつなぐだけのシンプルなものですが、ガス発生時に出てくる硫化水素もちゃんと脱硫する安全にも配慮された装置です。約3週間発生するガスには、約60%のメタンが含まれるそうです。



絵本「生ごみからエネルギーをつくろう！」

文：多田千佳 絵：米林宏昌

発行：一般社団法人農山漁村文化協会 / 2020年2月15日

そして実験の第2部は、できたメタンガスを燃焼させてお湯を沸かそうというもの。メタンが燃えるときは青い炎が出るとか。もちろんその後に出てくる消化液は、薄めて野菜を育てる液肥に使い、できた野菜をまた食べて…と、ごみをぐるぐる循環させていこうというおまけつき。

ところで、樹齢40年の杉の木が1年間に吸収する二酸化炭素の量は約8.8kg。一方、1日200gの生ごみ（日本人が1日に捨てる生ごみの平均）を焼却せずにエネルギーにして循環利用すると、年間約18kgの二酸化炭素を削減できます。つまり、生ごみをうまく循環させると、毎年2本の木を植えていくことと同じになり、街に見えない森がどんどん育っていくことになるのです！めぐるちゃんの出前講座、なんかとっても面白そうです！

バイオガスを作る出前講座

メタン発酵の専門家・多田千佳先生は、北は北海道から南は沖縄県まで、小学校から大学、あるいは役所や企業などで生ごみからバイオガスを作る出前講座を行っています。講座は、「生ごみをエネルギーにする」(45分)、第2部「できたバイオガスでお湯を沸かす」(45分)の2部構成(途中休憩5分)。実験が主なため、実験道具を洗うための水場があることが条件です。どこかに洗い場があれば、公民館の会議室でも実施しています。ご希望の方は、

〈お問合せ先〉

東北大学大学院農学研究科川渡フィールドセンター

動物環境システム生物学分野准教授 多田千佳先生 まで。

メール chika.tada.e1@tohoku.ac.jp / FAX 0229-84-7391