

家畜排せつ物を利用したバイオマス発電

(独) 農業・食品産業技術総合研究機構
バイオマス研究統括コーディネーター

薬師堂 謙一

1. はじめに

昨年9月6日の「第5回バイオマス活用推進会議」(内閣府、総務省、文部科学省、農林水産省、経済産業省、国土交通省、環境省の7府省の担当政務で構成)において、バイオマス事業化戦略(<http://www.maff.go.jp/j/press/shokusan/bioi/120906.html>: 農林水産省ホームページ)が決定された。この中で、家畜排せつ物については、「①主に農村部における貴重なバイオマスであり、約90%が周辺農地の堆肥等に利用されているが、メタン発酵による多段階利用を推進するとともに、家畜排せつ物が需要量を超えて過剰に発生している地域等では、直接燃焼・固体燃料化等の堆肥化以外の方法により家畜排せつ物の処理・利用を図ることが重要である。②このため、地域の実情に応じて、関係府省・自治体・事業者が連携し、FIT制度(電力の固定価格買取制度)も活用しつつ、メタン発酵と直接燃焼によるエネルギー利用を強力に推進する。③その際、自治体・事業者による食品廃棄物の分別回収の徹底・強化と効率的な収集・運搬システムの構築を図り、家畜排せつ物と食品廃棄物の混合消化・利用によるエネルギー回収効率の向上を積極的に推進する。④メタン発酵における発酵

消化液の肥料としての利用技術の開発と利用を推進する。」とされている。

2. バイオマス資源の多段階利用 (カスケード利用)

地球温暖化問題との関係でバイオマスのエネルギー化が注目されているが、販売価格が高い利用用途を優先すべきで、一般に優先順位は①医薬品・化粧品、②食料、③飼料、④肥料(堆肥・液肥)、⑤エネルギー原料となり、焼却・埋設処理や浄化処理によりエネルギーを投入して資源を廃棄することは極力避けるべきとされている。

養豚におけるリキッドフィーディングの導入などは食品廃棄物を資源化する非常に有効な手段である。一方で、稲わらからのバイオエタノール生産の研究も行われているが、畜産地帯においては飼料化を優先すべきで、地域の実情にあった利用法にする必要がある。木質バイオマス発電にも注意すべきで、堆肥原料とエネルギー原料との取り合いになる場合がある。畜産関係者は不利な状態にならないよう常に注意を払う必要がある。バイオマス事業化戦略の①で直接燃焼や固体燃料化を「家畜排せつ物が需要量を超えて過剰に発生している地域」限定してい

るのも資源利用の優先順位に配慮したものである。

3. 家畜排せつ物を利用したバイオマス発電

家畜排せつ物関連でのバイオマス発電の方法は、①メタン発酵によるガス化発電、②大型の鶏ふん燃焼発電、③小型の燃焼発電、④不完全燃焼によるガス化発電の4種類がある。

①のメタン発酵は発生するメタンガスでエンジン駆動で発電機を回し発電する方法で、そのままガスエンジンで回す方法と、ディーゼルエンジンで軽油を着火剤として利用する方法がある。

②の燃焼発電は日処理量が通常300t以上で、発電能力5,000kW以上のものが採用され、現在宮崎県と鹿児島県で4基稼働している。ブロイラー鶏ふん等を燃焼し高圧蒸気を発生させ蒸気タービンを回して発電する方式である。

③小型の燃焼発電は、従来は小型の蒸気タービンでは熱効率が低く使い物にな

らないとされていたが、最近小型のスクリーコンプレッサー方式の熱効率の高いものが開発されている。

④家畜排せつ物を直径20mm程度の円柱状のペレットに加工し、不完全燃焼させて一酸化炭素や水素などの可燃性ガスを発生させ、ディーゼルエンジン発電を行う農林バイオマス2号機が開発されている。

4. メタン発酵

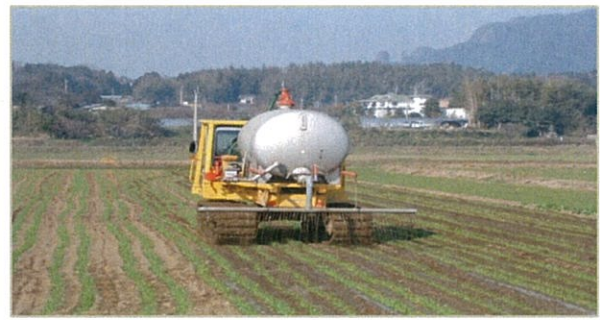
メタン発酵は、家畜排せつ物を嫌気状態（空気を遮断した状態）で貯蔵するとメタン細菌などの働きにより、有機物がメタンと炭酸ガスに分解される発酵で、タンパク質は即効性のアンモニア態窒素に変わる。発酵の過程で悪臭成分も分解されるため液肥散布に伴う悪臭公害が防止できるというメリットがある。エネルギーの発生量は中程度で、ほとんど減量しないため発酵残さである消化液の液肥利用が前提条件である。



写真1 メタン発酵消化液の水稲への流し込み追肥（約4tを20分以内で注入する）



稲刈後の麦作基肥散布



麦作の追肥散布

写真2 メタン発酵液肥の表面散布

液肥利用に関しては、北海道型と九州型の2種類があり、北海道型は飼料畑以外に畑作への利用、九州型では飼料畑以外に水稲・麦などへの元肥・追肥利用をしていることが特徴である。水稲の場合、表面散布以外に流し込み施用（写真1）が可能で、前日に落水し、給水と同時に液肥施用し40-50mmまで湛水し施用終了となる。元肥は表面散布する以外に、移植後の流し込み施用も可能である。この処理方式は耕種農家が水稲の減化学肥料栽培を行うために要望された液肥利用方式であり、熊本県山鹿市で最初に普及した。福岡県大木町では畜産からの原料供給が無いため、人糞尿と生ゴミによる液肥利用が行われている。また、九州地域では水稲移植時期が6月のため麦作にも液肥利用が可能で、元肥以外に追肥にも消化液が表面散布により利用されている（写真2）。

九州地域や京都府南丹市以外には水稲への利用はほとんど行われていないが、水稲や麦の栽培コストを大幅に削減できる可能性を秘めており（表）今後の消化液の液肥利用が期待できる。大豆や野菜類への利用も試験されており、堆肥とメ

タン発酵消化液の液肥利用により特別栽培が容易になると考えられる。

なお、FIT制度では39円/kWh(税抜き)の価格設定がなされているが、昨年11月に畜産草地研究所で開催された平成24年度家畜ふん尿処理利用研究会「メタン発酵処理を取り巻く現状と課題」で検討した結果、家畜排せつ物からのメタン発生量は少なく、この価格帯においても家畜排せつ物のみでのメタン発酵による発電はペイしないことが明らかとなった。

このため、生ゴミや食品残さとの合併処理がメタン発酵のエネルギー利用の前提条件となる（写真3）。生ゴミや食品残さを加えることにより、メタンガスの発生量が増加し（家畜排せつ物からのメタンガス発生量のおよそ10倍程度）、メタン発酵消化液の窒素濃度も上がるため液肥利用による施肥コストの一層の削減が可能となる。JAの食品加工工場などから発生する食品残さで飼料化できないものは積極的にメタン発酵に振り向けるべきものとする。

表 特別栽培水稲・麦生産費（10aの肥料代）比較

		バイオマス液肥	特別栽培(一発肥)	特別栽培(通常化成)
水 稲	基肥	3.5t×900円 (リン酸強化)	3袋×3,150円 (新高有機中一発 28)	2袋×2,230円 (PKセーブ400) 1袋×1,180円 (粒状ナタネ粕)
	追肥	1.5t×500円	1袋×1,180円 (粒状ナタネ粕)	1袋×2,110円 (燐加安454)
合 計		3,900円	10,630円	7,750円
麦	基肥	3.5t×500円		2袋×2,630円 (BB特464)
	追肥	1.5t×500円		1袋×2,110円 (燐加安454)
合 計		2,500円		7,370円

水稲の苗箱施肥を含まず

液肥価格は0円で散布料500円/t、リン酸強化液肥は400円/tで散布量は同じ

平成22年度の水稲生産における肥料代は9,388円

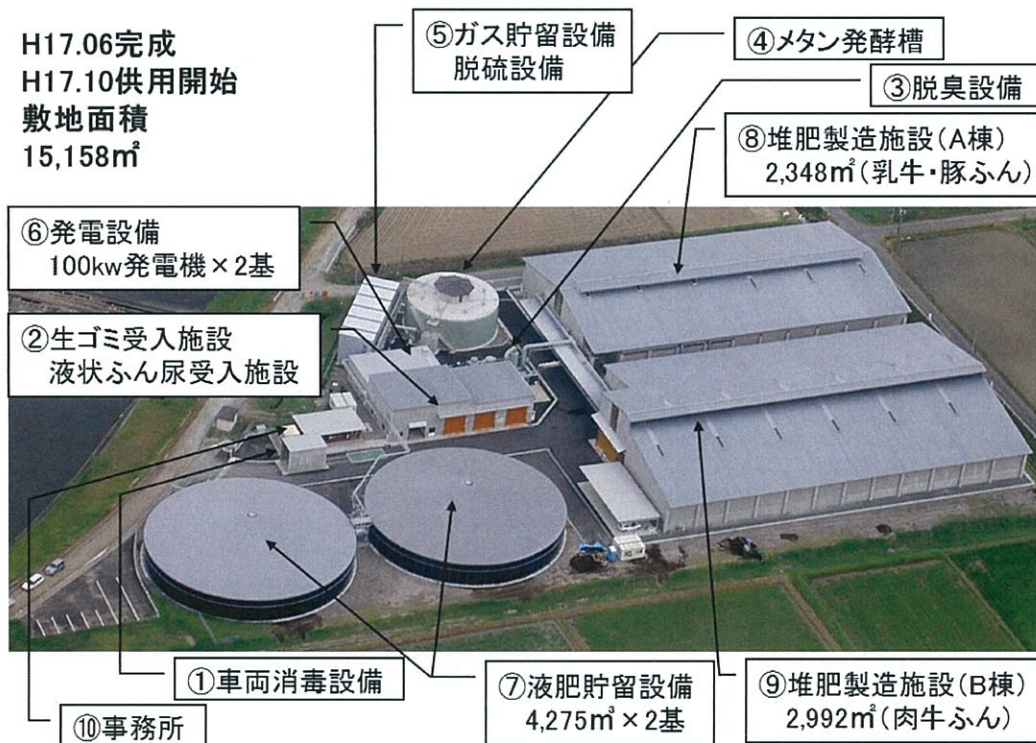


写真3 山鹿市バイオマスセンターの全景

5. 家畜ふんの燃焼利用

(1) 燃焼方式

家畜ふんを加熱すると、最初に水分が蒸発し、次いで可燃性の揮発性成分が燃焼し、さらに温度が上昇すると残った炭素が燃焼する。家畜ふんの燃焼方式には、①固定の火格子の上で燃焼させるストーカー炉、②砂の層に高温の熱風を吹き込み、砂を流動状態させそこに燃焼材料を投入して燃焼させる流動床炉(図1)、③円筒形の回転する炉で燃焼材料を攪拌しながら燃焼させるロータリーキルン炉(写

真4)等の方式がある。大型の燃焼発電所では①と②の方式がとられているが、①のストーカー炉は木チップ原料に多く用いられる方式で、ブロイラー鶏ふんの燃焼発電所では宮崎県に1基導入されている。②の流動床炉は、砂を流動させるためにブロワーの電力消費量が多いが、燃焼時の温度を制御しやすいので3基の燃焼発電所で採用されている。③は近年開発されてきたもので、熱利用など小規模の処理に向いている。

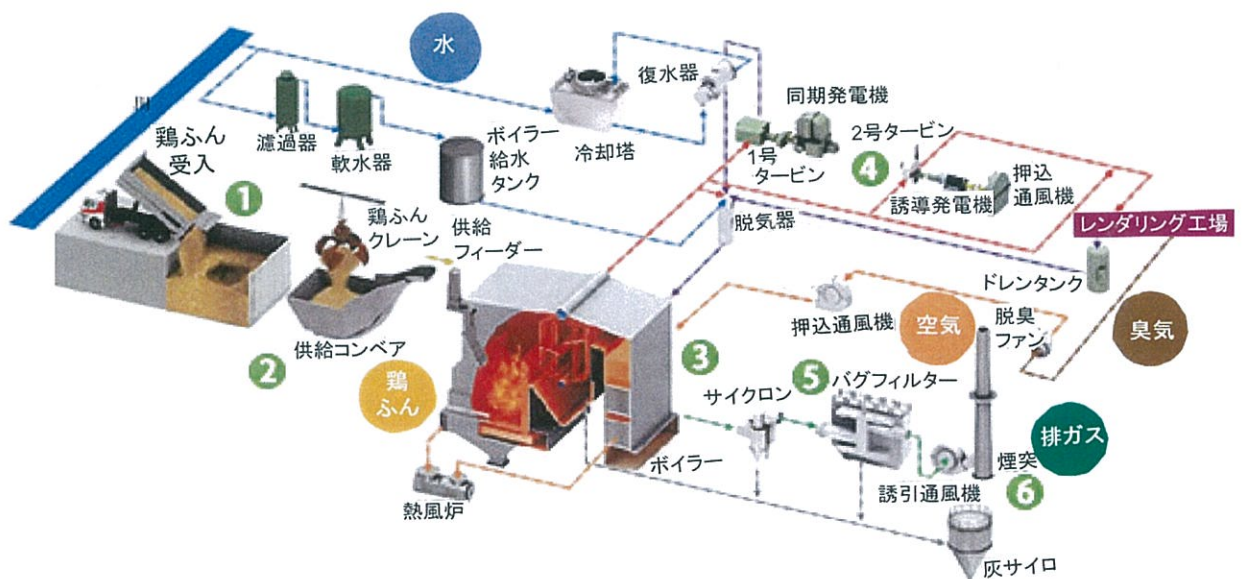


図1 南国興産(株)での流動床炉のシステム図

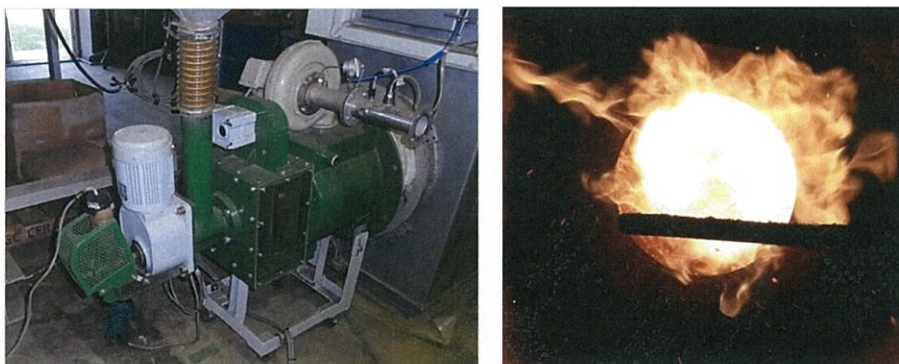


写真4 ロータリーキルン式バーナー(左:本体、右:燃焼状況)

(2) 家畜ふん燃焼時の留意点

家畜ふん尿にはカリウムやナトリウムなどが多く含まれているため、木材と異なり、燃焼中に熔けやすいという特性がある。肉牛ふんは900~1,000℃で熔け始め、ブロイラー鶏ふんは1,200~1,250℃で、採卵鶏ふんは1,350℃以上で熔融する。このため、流動床炉では原料の熔融を防ぐため、流動床自体の温度を700-750℃程度に維持し、発生した可燃性ガスを再燃焼させて900℃以上の燃焼温度を確保している。なお、飛散した灰は高温燃焼部で熔融し炉壁や熱交換パイプに付着（クリンカ）しやすいので、熱交換部は掃除しやすい構造にする必要がある。

家畜排せつ物は産業廃棄物であるので、焼却処理する場合はダイオキシン特措法の規制対象となる。ダイオキシンの発生を抑制するため、排ガスは2次燃焼部で800℃、2秒間以上で燃焼させ、その後急冷させる。また、灰の粒子が排気に混入するため、サイクロンやバグフィルター等で灰の微粒子を回収する。

排ガスにはNO_xやSO_x、塩化水素等も含まれる。通常は環境基準値以内に収まるが、処理規模が大きくなり基準値が厳しい場合は、水洗処理設備や消石灰処理設備を併設する必要がある。

6. 大型鶏ふん燃焼発電

ブロイラー鶏ふんを主原料に、処理量300t/日以上以上の鶏ふん発電所が宮崎県で3基、鹿児島県で1基稼働している。これらの鶏ふん発電所を建設したのは、畜産集中地域でブロイラー鶏ふん堆肥の流通が困難なことが主要因である。燃焼発電

の場合5,000kW/時で発電効率20%、10,000kW/時（燃焼規模400t/日以上）でも25%程度であり、余剰熱をいかに有効利用するかがエネルギー利用面での課題である。廃蒸気を利用できると熱効率は50%程度まで向上できる。蒸気発電では発電効率が最大の問題であり、乾燥した家畜排せつ物を燃焼すると共に、煙突廃熱を地域の食品残さの乾燥処理による飼料化に結びつけるなど熱効率の改善に努める必要がある。また、毎日発生する焼却灰はリン、カリ肥料として販売できるが、これら施設では畜産農家が灰の買取り経費を一部負担するなどして経費負担の適正化を図る工夫もなされている。

なお、FIT制度による鶏ふん発電は、廃棄物発電の一種と見なされており、購入価格は17円/kWh（税抜き）の設定になっている。従来の電力買い取り価格より5~6円/kWh高く設定されており、補助金無しでも6~7年で採算が取れるシステムとなっている。

7. 小型燃焼発電

蒸気タービン式の小型発電機は、熱損失が大きいため発電効率が10~15%程



図2 スクリューコンプレッサー方式での蒸気発電システム（神戸製鋼（株）の資料より抜粋）

度と低く実用化は困難と考えられていた。しかしながら、スクリーコンプレッサー方式で蒸気の圧力差で発電する小型の発電システムが開発された(図2)。既存の蒸気発生システムの減圧弁の部分にバイパスして取り付ける方式であり、発電

効率が高いので、蒸気と電力の両方がいる場合に考慮すべき発電方式といえる。既存の蒸気発生ボイラー部分に 50 万 kcal/時以上のロータリーキルン燃焼炉等を併設することにより利用可能と考えられる。



図3 家畜排せつ物の不完全燃焼方式によるエネルギー化システム

8. 不完全燃焼によるガス化発電

筆者らが開発を行った農林バイオマス2号機のエネルギー化システムは、家畜ふん尿をダウンフロー炉により不完全燃焼によりガス化して、ディーゼルエンジン

で発電を行うとともに、エンジン廃熱やガスの冷却熱を用いて食品残さを乾燥処理し飼料を生産する。また、ガス化した焼却灰はリン酸・カリ肥料として利用するなど、バイオマスを総合的に有効利用

するシステムとした(図3)。ダウンフロー炉(図4)は、ガス化材料、燃焼空気とも上から下への流れるガス化炉で、ガス化材料の堆積高さを40cm以上と厚く維持することで、タールを完全に分解する。発生ガスは水洗し、カリやナトリウムを除去してエンジンを駆動する。不完全燃焼方式では発生ガスの発熱量が低いので、

ディーゼルエンジンにより安定的に発電を行う。なお、発電効率は約30%程度であり、エンジン廃熱やガス冷却熱を食品残さの乾燥飼料化に使用することにより総合熱効率は70%以上に向上し、経費的に成り立つシステムにすることが可能である。

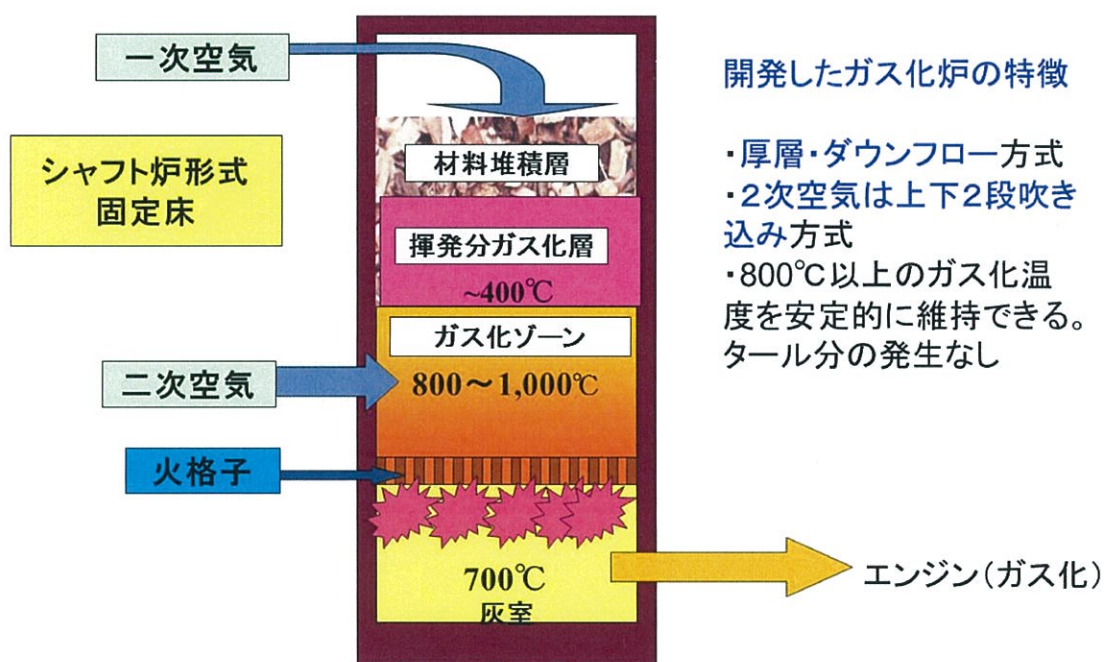


図4 ダウンフロー型ガス化炉

9. 終わりに

家畜排せつ物のエネルギー利用に関しては、家畜衛生問題の影響を直接受けることになる。鳥インフルエンザが発生した場合、鶏ふん発電所は操業停止を余儀なくされた。大規模化が発電の前提条件となるが、畜産の安定経営と常に板挟みの状態にあることを考慮すべきである。より小規模の燃焼利用も可能なので、畜

舎暖房や洗卵へのエネルギー利用方式として導入を検討する余地があると考えられる。一方で、メタン発酵消化液など耕種農家の所得改善に貢献できる面も多いことから、九州、北海道地域以外でメタン発酵消化液の利用が遅れている地域についても利用の一層の促進が望まれる。