

家畜排せつ物の燃焼エネルギー利用の現状と課題

(独) 農研機構九州沖縄農業研究センター
九州バイオマス利用研究チーム長
薬師堂 謙一

1. はじめに

「家畜排せつ物法」の完全施行により、家畜ふん堆肥の生産量は急激に増加しているが、一方で利用が追いついておらず、一部の地域では過剰問題により堆肥の海外輸出や、炭化などの資材化、焼却処理によるエネルギー利用が行われている。

家畜排せつ物の燃焼エネルギー利用に関しては、従来ハウス乾燥した鶏ふんを燃焼させ鶏舎の暖房などに利用する鶏ふんボイラーが使用されていたが、「ダイオキシン特措法」の施行によりほとんど使用できなくなった。従来型の鶏ふんボイラーに変わって出てきたのが、大型の鶏ふん燃焼発電設備で、処理規模は100t/日以上であり、ダイオキシン対策や環境対策がとられており、ハウス乾燥した鶏ふんを燃焼させ高温、高圧の蒸気を発生させ、蒸気タービンを回して発電する。

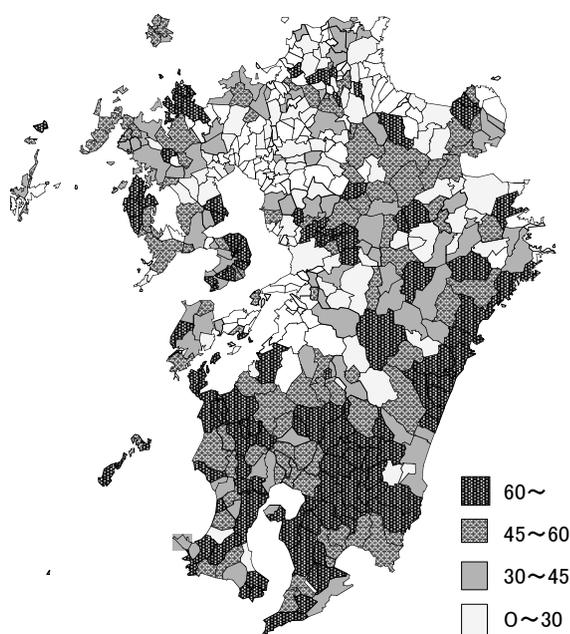


図1 市町村別のふん尿負荷量 (生換算 t/ha・作)

表1 家畜排せつ物の処理利用方式の比較

	堆肥化	炭化	焼却
適用規模	中、小規模	中規模	大規模
長所	・機械が少ない ・運転が容易 ・維持管理費が安い	・減量化率が高い ・製品の用途が広い ・長期保存が可能	・減量化率が非常に高い ・熱利用が可能
短所	・製品量が多い ・日数がかかる ・スペースが必要 ・臭気対策が必要	・燃料費がかさむ	・灰の処分が必要 ・燃料費がかさむ ・補修費がかさむ
減量化率	50～70%	80～90%	90～95%
減容化率	45～65%	55～80%	90～95%
二次公害対策 ダイオキシン対策	アンモニア対策必要 不要	乾燥排ガス対策必要 騒音・振動に留意 一部必要	排ガス対策必要 騒音・振動に留意 必要
建設費	小	中	大
維持管理費	小	中	大
運転者資格	不要	必要	必要

畜産環境整備機構「家畜排せつ物を中心とした燃焼・炭化施設に関する手引き」平成17年3月、p.7

表1に堆肥化と炭化、焼却の処理方式別の比較を示す。堆肥化と炭化、焼却を比較した場合、最も利用価値が高く、処理コストが安いのは堆肥化である。処理原料当たりの処理コストは堆肥化を1とすると、炭化が1.7～2.0、活性炭が3.7、焼却が2.0である。また、製品当たりの処理コストは、堆肥化を1とすると、炭化が1.5～2.5、活性炭が4.3、焼却が8.0となる。したがって、堆肥流通を基本とし、努力しても堆肥流通が困難な場合、あるいは、堆肥の販売・流通コストの方が炭化や焼却処理経費よりも高い場合にのみ、炭化や焼却処理を検討する。図1に九州地域の市町村別のふん尿負荷量を示す。鹿児島県と宮崎県のふん尿負荷量が多いことがわかる。このような、ふん尿過剰地帯では県域を越えた広域流通が必要となるため、堆肥流通先の確保、流通コストの面から焼却処理も導入される。宮崎県では2カ所の鶏ふん発電所で県内で発生するブロイラー鶏ふんのほぼ全てを燃焼処理し、発電や蒸気発生に利用されている。

2. 燃焼によるエネルギー利用

物が燃える場合は、まず材料中の水が蒸発し、ついで熱分解によりガス化し、このガスが燃焼する。したがって、利用できる最大エネルギー量は燃焼材料の持っている発熱量(表2)から、水の蒸発分を引いた値となる。乾燥したブロイラー鶏ふんの発熱量は約3,910kcal/kgあるが、水分が25%では2,775kcal/kg、水分50%では1,650kcal/kgで、それぞれもとの発熱量の71%、42%に低下する。発熱量が低下することは、燃焼温度が下がる原因にもなり、ダイオキシン対策のため燃焼温度が800℃を下回ると化石燃料を追加使用することになる。また、水は蒸発する際に1,000倍以上膨張するため、排ガス処理量が増加し、設備コストが余分にかかることにもなる。したがって、燃焼材料は事前にできるだけ水分を下げしておくことはエネルギー利用の観点から重要である。

実際に利用できるエネルギー量は、燃焼エネルギーから燃焼炉や配管からの放熱損失と、煙突からの排気損失を除いた値である。煙突からの排気温度は通常200℃程度であるので、燃焼温度が高い方が利用エネルギー量は増加する。石油系燃料で蒸気発生を行う場合、燃焼温度は1,200~1,300℃であるので、85%程度のエネルギー効率がある。燃焼温度が800℃の場合エネルギー効率は75%以下になる。なお、蒸気発電の正味の発電効率は1,000kW級で約10%、10,000kW級で約20%と低いため大量の廃熱が発生するが、畜ふんの乾燥に使用するだけでももったいないので、食品残渣の乾燥など廃熱の高度利用が求められる。

燃焼炉の形状は、従来はストーカー炉(火格子)が用いられていたが、近年の大型炉では砂を用いた流動

表2 家畜ふん及び堆肥の発熱量と減量率(乾物ベース)

畜種	生材料			堆肥		
	低位発熱量		灼熱減量	低位発熱量		灼熱減量
	MJ/kg	kcal/kg	%	MJ/kg	kcal/kg	%
乳牛 肥育牛	17.4	4,180	85.6	15.9	3,810	78.1
	17.0	4,080	84.3	15.4	3,690	76.3
肥育豚	18.1	4,340	87.8	16.4	3,940	79.8
採卵鶏 ブロイラー	11.5	2,750	74.7	9.5	2,270	61.8
	16.3	3,910	87.9	14.8	3,560	80.0

畜産環境整備機構「家畜排せつ物を中心とした燃焼・炭化施設に関する手引き」、平成17年3月、p 97-98

床炉が使用されている。燃焼材料の破碎作用があり、燃焼温度を維持しやすいという特徴がある。

3. 家畜排せつ物の燃料としての特性

一般に燃料として利用される木材などと比べ、家畜排せつ物は以下の特徴を持つ。

①材料水分が多い

家畜排せつ物を自燃させるための限界水分は約70%と言われている。家畜から排せつされる時の水分はこの限界水分より多いため、乾燥して水分を下げやらないと自燃させることはできない。また、材料中に含まれる水は、燃焼する前に水蒸気となって揮発するが、この際に600kcal/kgのエネルギーを奪うため、水分が多いと燃焼させてもエネルギー利用はできないことになる。このため、家畜排せつ物を燃焼させてエネルギー利用する場合は、材料水分が25%以下になるように乾燥させることが必要である。

②灰の発生量が多い

木材の燃焼では、灰の発生量は通常1%以内で、樹皮でも数%である。しかしながら、家畜排せつ物にはカリやナトリウム、石灰、リンなどの無機物が多く含まれているため、表2に示すように10%以上の灰が発生する。灰中にはカリやリンなどの肥料成分が含まれているため有機系の肥料として利用することができるが、利用できない場合は埋め立てなどの処理経費が逆に発生する。このため、事業前に灰の利用先を確保しておくことが重要である。灰を成型処理して海外へ輸出することも検討の範囲内であろう。

③排ガスの環境対策

家畜排せつ物には、餌由来の窒素や硫黄、塩素が多く含まれているため、燃焼の際にはNO_x、SO_x、塩化水素が数十~数百ppm発生するので設備導入地域の規制値に応じて対策を行う必要がある。また、家畜排せつ物は産業廃棄物のためダイオキシン対策も行う必要がある。なお、現在導入できる炭化炉や燃焼炉はダイオキシン対策のとられている設備に限られており、ダイオキシンの規制値を超えることはないが、ダイオキシン検査に年間70万円程度かかるのでこの経費を確保しておく必要がある。

④溶融防止対策

鶏ふんは石灰分が多く含まれているため、通常燃焼

の際に灰が溶け出すことはないが、牛ふんを燃焼させる場合は灰の溶融に注意が必要である。肥育牛ふんは燃焼温度が1,000℃以上になると溶融し、灰が溶岩状に固まったりするトラブルが発生する。九州沖縄農業研究センターでは、熱分解ガス化による家畜排せつ物のエネルギー化を研究しているが、牛ふんをガス化する際は、消石灰を25%以上加えて成型処理し溶融温度を1,300℃以上にして使用している。現在導入できる燃焼炉はダイオキシン対策の関係上、800℃以上で燃焼するようになっており、部分的に1,000℃以上になることは十分考えられるので、当面焼却するのは鶏ふんに限定する方がよいであろう。

4. 燃焼材料の乾燥

低付加価値の家畜排せつ物を乾燥するために化石系エネルギーを多量に使用することは、コスト的にも、社会情勢からも許されないことであるので、燃焼排熱や堆肥発酵、太陽熱を利用し乾燥する。

材料の水分は牛ふん堆肥材料が65～70%程度、ブロイラー鶏ふんが30～50%程度である。エネルギー化の場合、材料中に水分が含まれていると乾燥のために余分なエネルギーを必要とするので、発酵乾燥と太陽熱乾燥、ならびに、炭化廃熱による通風乾燥で材料中の水分をほぼ0%まで低下させることができる。

①発酵乾燥

発酵乾燥は、堆肥化の際の微生物の発酵熱を利用し水分を蒸発させるもので、40%程度まで水分を低下させることができる。牛ふん堆肥材料で水分65%の場合、約2週間の発酵で1tの材料が0.5tまで重量が減少し乾燥する。水分が多い場合は、5%程度シュレッダーで細切した古紙を入れることにより、2週間で40%まで発酵乾燥できる。なお、切返しは1週間に1回行う。発酵乾燥は通気のみで乾燥が進むので、火力乾燥や通風乾燥に比べて数%の動力消費ですみ、1kWhの通風動力で約50kg程度の水を除去することができる。また、発酵途中で発生するアンモニアは高濃度のため、堆肥脱臭または希硫酸洗浄により肥料として回収する。

②太陽熱乾燥

発酵乾燥では微生物の活性の関係から40%程度ま

でしか乾燥できないため、攪拌機付きの乾燥ハウスで20～25%まで太陽熱により乾燥を進める。消費動力は攪拌動力のみであるので、1kWhで30kg程度の水を除去することができる。所要乾燥期間は季節により変動するが、九州地域であれば5～14日で所定の水分まで乾燥できる。

③廃熱乾燥

太陽熱で乾燥した材料は、燃焼装置（400℃程度）や炭化装置の廃熱（250℃程度）により水分を除去する。乾燥は通風乾燥方式で、通常ロータリーキルン式の乾燥機が使用される。発酵乾燥に比べて乾燥効率は劣り、除去する水分量が多いと燃焼の際に利用できるエネルギー量が減少する。なお、廃熱乾燥時には材料温度が70℃程度まで上昇するので、残ったアンモニアが揮発するが、燃焼炉か炭化炉の脱臭炉で燃焼処理されることが多い。なお、希硫酸洗浄を行うと、窒素分を肥料として回収することができ、燃焼炉や脱臭炉の排ガス中のNO_x量を低減することができる。

5. 炭化によるエネルギー利用

炭化は有機物を高温で酸素の不足した状態で蒸し焼きにする処理であり、炭化の過程で一酸化炭素、水素、メタン、揮発性のタールなどの可燃性成分が発生する。この可燃性成分を燃焼させることによりエネルギー利用ができる。木炭や竹炭の製造工程では、発生したガスを冷却して木酢液を作り別に利用することがあるが、家畜排せつ物の炭化工程で発生したガスを冷却しても利用できないので、発生したガスは全量燃焼させることになる。

このガスはダイオキシン対策のため、燃焼炉（脱臭炉）で800℃、2秒間以上の再燃焼させる必要があり、この熱をエネルギー利用する。適正な炭化状態を維持すると、化石系燃料の追加なしにこの燃焼温度を維持できる。

炭化物の生産方式には、従来の木炭製造とおなじ①直接燃焼方式と②外熱方式があるが、ダイオキシン特措法の規制の関係で、現在は脱臭炉の廃熱を利用する外熱方式が主流になってきている。炭化物は、炭化温度によって特性が大きく変化するので、水分吸収材などのような高付加価値炭を生産するためには、温度制

御ができ、650℃程度の温度で炭化できる装置が必要となる。

なお、炭化処理では炭を生産するため炭素を残すこと、また、外熱式炭化処理では炭化にも熱を利用することなどから、利用できるエネルギー量は燃焼処理の10～30%以内となる。したがって、炭化の場合は、発生熱量が少なく蒸気発電には向かないので、食品残渣の乾燥処理など、熱によるエネルギー利用となる。

6. 排ガス処理

家畜排せつ物は産業廃棄物であるので、燃焼し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。また、炭化炉も多くは燃焼炉扱いとなっているため、ダイオキシン規制を受ける。ダイオキシンの発生を抑制するため、排ガスは2次燃焼炉で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。

7. 焼却灰の利用

畜種別の焼却灰の成分組成を表3に示す。肥料成分としては、窒素はほとんど含まれずに、リン酸、カリ、カルシウムの含有量が多いことがわかる。特に、鶏ふんではカルシウムの含有量が多い。元が家畜ふんであるので有機系肥料として利用できるが、灰の発生量が多いため、肥料工場に全量引き取ってもらえるかどうか問題となる。農地に直接還元する場合は、リン酸とカリの比率に注意する必要がある。焼却灰には肥料効果以外の土壌改良効果はほとんどないので、別に家畜ふん堆肥と併用する必要があるが、堆肥の中にもカリが多く含まれているため、堆肥を優先すると焼却灰の利用量は多くすることができない。なお、堆肥を利用しない場合は、単味の化学肥料で成分を調整して利用することができる。

焼却灰の肥料以外の利用法としては、エコセメントなどへの利用も考えられるが、塩分濃度の問題もあるので、事前に焼却試験を行い、売り渡し先と引取量、引き取り価格について十分に了解をえておく必要がある。焼却灰を埋設処理すると高額な処理費がかかるため経済的に成り立たなくなる。基本的に、肥料利用できない場合は焼却処理は行わない方が無難である。

なお、家畜排せつ物には餌由来の銅や亜鉛などの重金属も含まれている。焼却することにより成分が濃縮されるので、特に豚ふんでは事前に焼却試験を行い問題がないことを確認することが重要である。

表3 焼却灰の化学的成分組成

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	MnO	pH
牛ふん灰	0.006	14.1	9.4	8.52	3.92		
鶏ふん灰	0.5	16.5	9.0	38.0	5.5	0.12	12
豚ふん灰	0.5	30.5	7.0				9

出典：燃焼灰肥料成分検査結果より
畜産環境整備機構「家畜排せつ物を中心とした燃焼・炭化施設に関する手引き」、平成17年3月、p.99

8. おわりに

堆肥流通の行き詰まりから、家畜排せつ物焼却施設の導入が検討される場合が多い。また、バイオマスタウン構想とからみ、家畜排せつ物のエネルギー利用の面から導入が検討される場合もある。しかしながら、現状で燃焼+蒸気発電が成り立つ処理規模は100t/日以上と大規模であり、10億円単位の設備費が必要である。宮崎県の例でも、2カ所の施設で県全体のブロイラー鶏ふんを処理している。焼却処理はダイオキシン規制など環境保全のために多額の経費を要する処理技術となっている。乾燥物で1日数百t規模の処理量で、数十億円の設備投資ができる場合に燃焼+蒸気発電は成り立つシステムといえる。

なお、現在九州沖縄農業研究センターでは、牛ふんや鶏ふんの熱分解ガス化によるディーゼルエンジン発電+廃熱利用システムの開発を行っている。これは、1日数十t規模の処理量で、億単位の設備費を予定している。単一市町村規模でエネルギー利用を図る場合はガス化発電の方が有利になると考えられる。