

家畜排せつ物の炭化処理技術の現状と課題

(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。

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。炭化処理の場合、製品1kg当たりの処理コストは約26円（材料水分25%時）であるが、多くの場合販売価格は数円~25円程度であり採算をとることが難しい。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

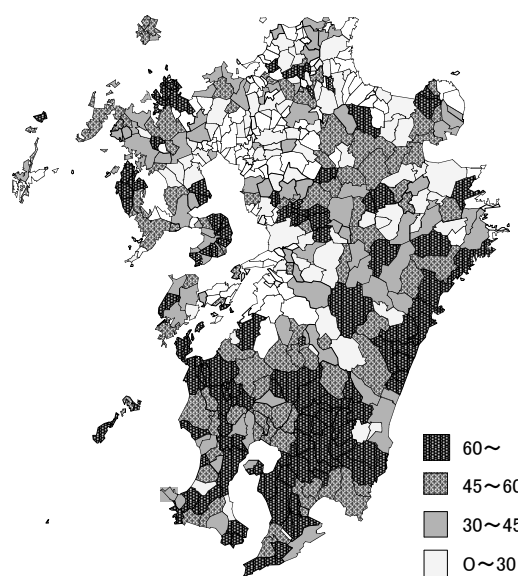


図1 市町村別のふん尿負荷量（生換算 t/ha・作）

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、宮崎の南九州地域に家畜排せつ物が偏在化していることがわかる。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炭化処理や焼却処理も導入されている。特に、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。

	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ioxin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、p7

表1 家畜排せつ物の処理利用方式の比較

2. 炭化の原理

炭化は、有機物を無酸素、あるいは、酸素が不足した状況下で高温にすることにより、有機化合物の熱分解反応をおこさせ、炭素主体の物質に変換する反応である。有機物を加熱していくと酸素が存在するところでは燃焼してしまうが、酸素が少ない状況下では熱分

特集1 炭化処理技術について

型式	内熱式ロータリーキルン型	外熱式ロータリーキルン型	外熱式スクリーコンベア型
特徴	バーナー熱風による直接加熱によって炭化する。乾留ガスの一部は炉内で燃焼し、未燃ガスは2次燃焼炉で完全燃焼する。燃焼排ガスは乾燥機の熱源などに利用できる。	乾留ガスを回転キルンの外熱部で燃焼、あるいはバーナー熱風により加熱して炭化する。燃焼排ガスは乾燥機の熱源などに利用できる。炉内酸素濃度の調整がしやすい。	トラフ外面からバーナーの熱風、乾留ガスの燃焼により加熱を行う。充填率が高く取れるため多段式は装置がコンパクトになる。トラフ上部から乾留ガスを噴出させ炉内外熱部で燃焼する方式などがある。
構造			
システム概要			

(財)畜産環境整備機構平成17年3月「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」p57

図2 炭化炉の特性比較

解反応をおこす。最初に水分が蒸発し、次いで揮発性の化合物が除かれる。さらに温度が上昇すると、化学構造の変化を伴う熱分解反応がおこる。木質の主成分であるヘミセルロースは180~300℃の温度範囲で、セルロースは260~310℃で、リグニンは280~550℃の範囲でガス化され、500℃以上になると各成分の固有の構造がなくなり、次第に炭素80%以上の網状の平面構造の炭化物に成長する。炭化温度や炭化時間によっても炭化物の構造は変化し、表面積や各種成分の吸着性能が異なってくる。

熱分解反応によりガスが発生するが、このガスを冷却すると、タール分や有機酸、フェノール類、アンモニアなどが凝縮し、ガスとして炭酸ガス、一酸化炭素、メタン、水素、エチレン等が残る。木材や竹材を炭化する場合には、この凝縮液を木酢液や竹酢液として販売される場合もあるが、家畜排せつ物の酢液は利用されないため、発生ガスは燃焼処理し炭化材料の乾燥や炭化熱源として活用する。

3. 炭化方式

炭化装置を運転方式から分類すると、灰分式と連続

式とに分けられるが、現在ではほとんど連続式の炭化炉が用いられている。また、加熱方式から分類すると、内熱式と外熱式に大別できる(図2)。内熱式は炭化材料と熱風を直接接触させる方式でロータリーキルン型、流動層型などが実用化されている。材料と熱風が直接接触するため熱効率がよい。炭化工程で発生した乾留ガスは再燃炉で燃焼させ材料の乾燥に利用する。また、ロータリーキルンの内部に輻射加熱用のラジアンチューブを内蔵した内熱式装置も考案されている。外熱式は、炭化材料を接触加熱で装置外部から加熱する方式で、ロータリーキルン型、スクリーコンベア型などが代表例としてあげられる。間接加熱のため炉内を完全に無酸素状態にすることができ、ダイオキシンの発生が抑制できる。外熱式では、炭化工程で発生する乾留ガスをバーナーで完全燃焼させ、炭化炉の加熱と材料の乾燥に利用する。

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。乾留ガスにもこれらの成分が含まれており、燃焼させる際にはNOx、SOx、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。

乾留ガスは800℃以上の温度で2秒間以上の時間燃焼された後急冷処理される。現在導入できる炭化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。なお、多くの県では炭化炉は燃焼炉の扱いを受けており、ダイオキシン検査に年間数十万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. 炭化物の利用

炭化物の用途はその原料となる家畜排せつ物の性状に大きく左右される。木質系の炭化物であれば、十分な吸着能力や発熱量が期待できるが、家畜排せつ物が原料の場合はそれほど大きな吸着能力が期待できない。おがくずが入っている原料か、家畜ふんのみ原料かでも吸着能力は変化する。また、原料に含まれている塩類や重金属類は炭化物に濃縮されるので、ほ場還元する場合はこれらの含有量に十分注意する必要がある。炭化物の有効利用分野として考えられている主な用途は以下のとおりである。

- ①融雪材（粒状にする、炭化物中の養分の流出に注意）
- ②土壌改良材（農用地利用）
- ③燃料（家畜ふん原料の場合灰の発生量が多い、販売価格は非常に安い）
- ④水分調整材（堆肥原料への添加、堆肥の塩類集積に注意する）
- ⑤脱臭材（アンモニア系には吸着性能がある場合が多い）
- ⑥水の浄化材（色の吸着、水溶性リンの溶出に注意）
- ⑦微生物担体（活性汚泥微生物等に添加）
- ⑧調湿材（建築用資材）

炭化物というと、まず土壌改良材としての利用がいわれるが、堆肥と異なり炭化物の場合一回ほ場に投入すると次の投入は数年～10年程度先になる。木炭の場合でも、利用が一巡すると新規需要がなく炭化設備の運転を止める場合があり、安定的な利用先の確保が必要となる。

悪臭吸着能力もあることから、堆肥の水分調整材への利用も検討されるが、家畜ふん炭化物にはカリなど

の塩類が集積されている。現在の堆肥は塩類濃度が高く、堆肥の連年施用によるほ場へのカリやリン酸の蓄積が問題となっている。家畜ふん炭化物を堆肥に混合することは、堆肥の塩類濃度を高め施用可能量を減らすことになる。また、耕種農家は塩類濃度の高い堆肥を敬遠する傾向があるため、堆肥に炭化物を混合する場合は、塩類集積の心配のない木質系炭化物を混合することが望ましい。

燃料利用は需要は大きいですが、石炭とのコスト比較となり、灰の発生量も多いため2～3円/kgと非常に安い販売価格となっている。なお、通常の炭化温度は700℃以下であるので熔融することはないが、炭化物を燃焼させる場合には注意を要する。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には灰の熔融に注意が必要である。肥育牛ふんは燃焼温度が1,000℃以上になると熔融し、灰が溶岩状に固まったりするトラブルが発生するので炭化物の燃焼利用は行わない方がよい。

今後の利用として期待されるのは、建築用資材としての調湿材用途である。現在は木質系炭化物が使用されているが販売価格が高い。炭化温度600℃程度で調湿能力高い炭化物を生産できる。農業用以外の用途であり、使用量も多いので、本用途が確立できれば炭化処理は大きく普及できると考えられる。

5. 家畜排せつ物の炭化材料としての特性

一般に炭化材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

家畜排せつ物には水が多く含まれている。炭化処理では、家畜排せつ物に含まれる水は、炭化する前に水蒸気となって蒸発するが、この際に600kcal/kgのエネルギーを奪うため、水分が多いと乾燥処理のために余分なエネルギーを消費することになる。このため、家畜排せつ物を炭化させる場合は、材料水分が25%以下になるまで乾燥させることが必要である。また、材料水分25%の時の処理コストは製品1kg当たり約26円程度であるが、材料水分が45%になると43円/kgと65%増加するので、処理コストの面からも低水分化を図る

ことは重要である。

②灰分の含有量が多い

木材では灰分の含有量は通常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。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も期待することができるが、灰分の量が多い分だけ重量当たりの吸着能力等は低くなる。また、炭化物を燃焼させてエネルギー利用する場合は灰分は灰として処理しなければならない。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。

6. 炭化材料の乾燥

付加価値の低い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、太陽熱を利用した乾燥処理をする。

材料の水分は、畜舎からの排出時で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。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で水分25%以下まで乾燥し、最後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%程度シュレグ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、乾留ガスの燃焼装置廃熱(400℃程度)や炭化装置廃熱(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。

7. おわりに

家畜排せつ物は適正に処理すれば肥料として、また、資材やエネルギー源として利用できる貴重な資源である。堆肥流通の行き詰まりから、家畜排せつ物の炭化施設や焼却施設の導入が検討される場合が多いが、炭化処理では現状の利用用途では処理コストが販売コストを上回る場合が多く、エネルギー化の燃焼発電も100t/日以上の大規模でないとい実現困難である。堆肥化についても、成分調整や成型処理などの高度処理による流通拡大の道もあり、地域別の需給関係から適切な処理方式を選定すべきである。

炭化設備を導入に関しては、現状では導入地域の炭化物の長期的な販路の確保と販売価格の予測を行い、導入の可否を検討する必要がある。将来、住宅用の調湿材ニーズが広がった場合には、炭化処理は家畜排せつ物の有力な資源化の処理手段となりうると思われる。