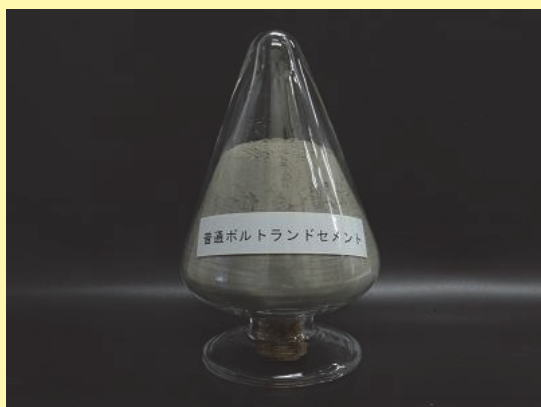




セメント製造向けの 原燃料用家畜ふん堆肥の生産技術の開発

民間活力による畜産生産技術研究開発推進事業 (2008 - 2011)
「家畜糞のセメント製造用燃料化技術の開発」の成果



2012年3月

農研機構 畜産草地研究所

技術レポート 11号

セメント製造向けの原燃料用家畜ふん堆肥の生産技術の開発 の刊行にあたって

「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」（家畜排せつ物法）が平成11年に制定されてから12年が経過した。以前は不適切な処理の象徴であった野積み状態のふん尿は、その多くが堆肥舎などで適切に管理されるようになり、畜産から発生するふん尿の約9割が堆肥化や液肥化されている。一方で、畜産が集中する地域においては、良質な堆肥を生産しても、耕種側の需要と畜産側の供給にミスマッチが生じて、堆肥が余る状況が見られるようになった。こういった余剰の堆肥の新たな利用先として、堆肥の炭化处理や焼却処理が注目されている。これらの施設では、家畜ふんを熱や電気といったエネルギーに変換できるメリットが得られる反面、施設費やその維持管理費が高額になり、炭化、焼却後の炭や焼却灰の利用が進まない場面もみられる。

このような状況の中で、(社)畜産技術協会による「民間活力による畜産生産技術研究開発推進事業」の助成を受けて、住友大阪セメント株式会社と共同で「家畜糞のセメント製造用燃料化技術の開発」を平成20年から4年間実施してきた。本事業では、余剰となった家畜ふん堆肥をセメント製造用原燃料として利用することを目的にして、そのために堆肥が具備すべき物性や堆肥化处理方法を技術的な視点で整理し、問題点の改善を図ってきた。さらには、2つのセメント工場をモデルケースにして、家畜ふん堆肥を原燃料にしたセメントを製造し、経済性やセメントの品質への影響、あるいは、今後の事業化に向けた展開条件を明らかにしてきた。本レポートは、これら4年間の成果をまとめたものであり、バイオマス利活用の一助となることを願っている。

なお、畜産草地研究所は、2011年4月から始まった(独)農研機構の第3期中期計画期間において、大課題「国産バイオ燃料・マテリアル生産技術の開発とバイオマスの地域利用システムの構築」の中で、中課題「畜産廃棄系バイオマスの処理・利用技術と再生可能エネルギー活用技術の開発」を担当しており、畜産廃棄系バイオマスのより一層の利活用に向けた技術開発を推進している。

平成24年3月

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
畜産草地研究所 所長 松本 光人

目次

1. 民間活力による畜産生産技術研究開発推進事業 「家畜糞のセメント製造用燃料化技術の開発」について	
1) 背景と目的	
(1) 畜産業とセメント業を取り巻く背景	1
(2) セメント工場の製造工程と原燃料のフロー	2
(3) セメント原燃料堆肥の仕様	3
2) 民間活力による畜産生産技術研究開発推進事業の構成	4
3) 研究実施体制	5
2. 家畜ふん堆肥の現状調査とセメント原燃料化に向けた技術の方向性	
1) 豚ふん堆肥の特徴	6
(1) 豚ふん堆肥の分析結果	6
(2) 塩素濃度が低い農家の調査結果	7
2) 鶏ふん堆肥の特徴	8
3) 牛ふん堆肥の特徴	10
4) 堆肥化に伴う原料の変化	11
5) 2章まとめ	
(1) 豚ふん堆肥について	15
(2) 鶏ふん堆肥について	15
(3) 牛ふん堆肥について	16
(4) 堆肥化基礎試験からの知見	16

3. セメント原燃料堆肥を製造・利用するための要素技術の検討	
1) 固液分離機（スクリープレス）による水分除去、および塩素除去	
(1) 固液分離機の脱水性能と塩素除去性能	17
(2) 処理対象物の性状と処理性能	20
2) 堆積方式（通気型堆肥舎）でのセメント原燃料堆肥の生産	21
3) 開放型攪拌方式でのセメント原燃料堆肥の生産	24
4) 密閉縦型攪拌方式でのセメント原燃料堆肥の生産	26
5) 通風による仕上げ乾燥	29
6) 3章のまとめ	
(1) 含水率の低減化方法について	30
(2) 塩素濃度の低減化方法について	30
4. 豚ふん堆肥を利用したセメント原燃料化モデルとその検証	
1) 原燃料堆肥を空気搬送する場合（八戸セメントモデル）	
(1) 八戸セメントモデル	31
(2) 八戸セメントモデルでの石炭代替効果	32
(3) 八戸セメントモデルの経済性の評価	33
2) 原燃料堆肥を仮焼炉経由でキルンに投入する場合（栃木工場モデル）	
(1) 栃木工場モデル	34
(2) 栃木工場モデルでの石炭代替効果	35
(3) 栃木工場モデルの経済性の評価	36
5. 今後の課題	
1) 原燃料堆肥の供給体制の整備	37
2) 塩素の低減化対策	37
3) オフセットクレジット制度などの利用	39
要約	41
引用文献	42

1. 民間活力による畜産生産技術研究開発推進事業「家畜糞のセメント製造用燃料化技術の開発」について

1) 背景と目的

(1) 畜産業とセメント業を取り巻く背景

政府の新たなバイオマス・ニッポン総合戦略¹⁾によると、日本国内でのバイオマスの年間発生状況は、家畜ふん尿が8,900万t(43%)であり、下水汚泥の7,500万t(35%)を超える最大の発生量と推計されている。家畜ふん尿は、そのままでは水分が高く汚物感が残っているため、日本では堆肥化処理後に肥料として流通、利用するのが一般的である。しかしながら、せっかく堆肥を生産しても、畜産が集中する地域では堆肥が供給過剰となるケースが見られ、肥料用途のほかにも堆肥の新たな利用方法が検討されている²⁾。

他方、日本における年間のセメント生産量は、5,600万t/年とこちらも膨大であり³⁾、その製造工程では、製品の1/10に相当する約560万tの石炭が原燃料として利用されている(原燃料:石炭のように、燃料利用後の灰分がセメント原料としても利用できるもの)。従来、石炭の代替として廃プラスチックや木屑が原燃料利用されてきたが、最近はこれらの需給バランスが崩れ、需要が供給を大幅に上回って代替原燃料の品薄状態が続いている。また、石炭を燃焼する際の地球温暖化ガスの低減化対策もセメント業界に向けられた強い要望であり、新たな原燃料源の確保と原燃料の多様化が急務となっている。

そこで、本事業では、畜産とセメント業界との農工連携を強化して、家畜ふん堆肥をセメント製造時の原燃料として利用するための技術開発を目的とした。家畜ふん尿はセメント製造時の原燃料として十分な賦存量を有している。しかも、燃焼後の焼却灰はそのままセメントの一部となって廃棄物が発生しないことは、余剰堆肥の利用先として好適である。しかし、家畜ふん堆肥がセメント製造時の原燃料に適する条件を満たしているか、あるいはその条件を満たすにはどのような前処理が必要なのか、今のところそれらの知見は少ない。含水率や発熱量など原燃料としての適性や、セメント製造設備やセメント品質に悪影響をきたす塩素の低減化方法、あるいは原燃料堆肥の経済性の評価など、家畜ふん堆肥の原燃料利用に向けた事業化の視点から、課題の整理とその対策が必要である。

(2) セメント工場の製造工程と原燃料のフロー

セメントの製造工程の概略を図1に示す。石灰石などのセメント原料は、まず所定の化学組成に調合されてから、縦型ミルなどで粉碎されて、余熱装置に送られる。その後、原料は焼成炉に投入されて、最大1,450℃という高温に曝されながら化学反応を起こし、最終的にクリンカーに焼成される。クリンカークーラーで急激に冷却された後は、クリンカーに石膏や混合材が加えられて、仕上げ粉碎や分級を経て、セメント製品に仕上げられる。

焼成炉はキルン方式（回転窯）であり、原燃料の投入方法は2つのタイプに大別される。一つ目は、キルンの出口側（バーナー付近）に空気搬送されて、焼成炉内に突出するノズルから原燃料を吹き込む方法である（図1中①の経路）。二つ目は、余熱装置の下部にある仮焼炉にいったん投入され、他の原料とともにキルンの入り口から投入される方法である。この場合、原燃料がバケットに直接投入されたあとは、ベルトコンベヤなどで仮焼炉に搬入される（図1中②の経路）。前者では、原燃料は空気搬送が可能な粒径で、しかも配管途中で詰まることがないように乾いた状態であることが要求されるが、原燃料の投入はブロワと搬送配管で構成されるシンプルな設備でよい。一方、後者の場合は、原燃料の形状や性状はそれほど厳格に制限されないが、投入のための搬送装置やダンパー設備を要する。

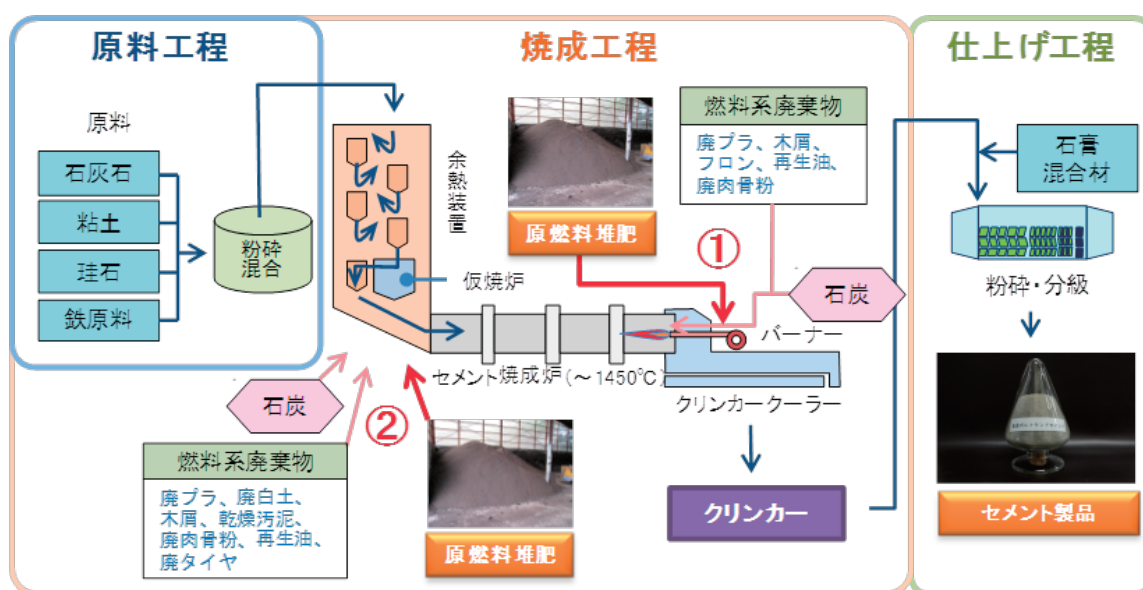


図1 セメント製造時の原燃料のフロー図

(3) セメント原燃料堆肥の仕様

そこで、本事業では、焼成炉への投入方法によって二つの原燃料の仕様を設定した。

一つ目は、焼成炉のバーナー付近のノズルから堆肥を吹き込む場合であり、空気搬送のために堆肥はできるだけ細かい粒度で、しかも低い含水率である必要がある。堆肥化過程では、剪定枝など粗い副資材は混合できず、家畜ふんだけを原料にして、堆肥化過程で十分に含水率を低減することが重要である。

二つ目は、焼成炉の入り口から他の原料や原燃料とともに投入する場合であり、比較的含水率が高く、粒度が粗いものでも対応できるケースである。この場合、剪定枝のような副資材を混合して堆肥化を行い、その堆肥を原燃料として利用する。

いずれの仕様においても、セメントの品質基準から塩素濃度は低いほど好ましいが、セメント工場が受け入れる他の原料や原燃料の塩素濃度によって堆肥に許容される塩素濃度に違いが生じる。ちなみに、空気搬送によって原燃料の投入が可能な八戸セメント株式会社（以下、八戸セメント）では、塩素濃度の余裕により許容値は比較的高く設定されて 0.3%DM（DM：乾物ベース）以下である。一方、住友大阪セメント株式会社栃木工場（以下、栃木工場）では、仮焼炉経由でキルン入り口から原燃料堆肥の投入が可能であるが、すでに塩素濃度が高い原料や原燃料を多く受け入れているため、求められる塩素濃度は 0.1%DM 以下とされている。いずれも石炭の代替原燃料としては、総発熱量が石炭の半分程度、木屑と同等以上とし、それぞれの工場をモデルケースにして、表 1、2 の通り堆肥の仕様を設定した。

表 1 空気搬送可能な堆肥の条件設定(八戸セメントモデル)

項目	目標値	理由
含水率	25%以下	・有効な発熱量の確保
塩素濃度 (乾物ベース)	0.3%DM 以下	・セメント塩素濃度は JIS で 350ppm 以下と規定 ・セメント製造設備の操業維持のため (余熱装置での低融点化合物の析出を防止) (高温酸性ガスの発生による設備の腐食を防止)
総発熱量 (乾物ベース)	15MJ/kgDM 以上 (3,500kcal/kgDM)	・石炭(25~30MJ/kg)の半分程度 ・木屑(15MJ/kg)と同等以上
備考	工場は港の近隣で、石炭やほかの原燃料が比較的安価に入手可能	

表 2 仮焼炉からキルンに投入する堆肥の条件設定(栃木工場モデル)

項目	目標値	理由
含水率	30%以下	・有効な発熱量の確保
塩素濃度 (乾物ベース)	0.1%DM 以下	・セメント塩素濃度は JIS で 350ppm 以下と規定 ・セメント製造設備の操業維持のため ・工場の受入スペックに準拠
総発熱量 (乾物ベース)	15MJ/kgDM 以上 (3,500kcal/kgDM)	・石炭(25~30MJ/kg)の半分程度 ・木屑(15MJ/kg)と同等以上
備考	工場は内陸部に位置し、石炭の入手には比較的長距離の運搬が必要	

2) 民間活力による畜産生産技術研究開発推進事業の構成

4年間にわたる本事業においては、表3の細部事業を計画し、最終的に二つのセメント工場をモデルにして、家畜ふん堆肥を原燃料に使用してセメント製品を製造した。

表 3 民間活力による畜産生産技術研究開発推進事業の研究実施計画

細部事業名	細部事業内容	実施期間			
		08	09	10	11
1. 豚糞の堆肥化システムの現状把握研究開発事業	豚糞堆肥化施設の調査、中間品、最終品の物性評価	■			
2. 燃料化システム構築のための燃料製造要素研究開発事業	溶解、脱水工程や乾燥工程に関する調査実験	■	■		
3. 燃料化システム構築のための燃料利用要素研究開発事業	運搬コスト低減化や粉砕、貯蔵に関する調査実験	■	■		
4. 鶏糞、牛糞の燃料化システム適用の検討研究開発事業	堆肥化の現状把握、乾燥工程、粉砕、貯蔵に関する調査		■	■	
5. 豚糞燃料化システム構築のためのモデル実証研究開発事業	製造、利用モデルの実証と事業化モデルの検討		■	■	
6. 豚糞燃料化システムの実用化事業	構築した豚糞燃料化システムを事業ベースで評価				■

3) 研究実施体制

表4の体制で本事業を実施した。

表4 民間活力による畜産生産技術研究開発推進事業の研究実施体制

事業実施主体： 畜産草地研究所	実施期間				備考
	08	09	10	11	
澤村 篤	◎	◎	△		2010年に近中四農研へ異動
阿部 佳之		△	◎	◎	
小島 陽一郎			△	△	
天羽 弘一				△	
共同研究分担先： 住友大阪セメント株式会社					
齊藤 兼広	○				2009年に退職
林 幹夫	△	○	○	○	
君田 美智雄		△	△	△	

“◎”は研究責任者、“○”は研究分担責任者、“△”は研究者

2. 家畜ふん堆肥の現状調査とセメント原燃料化に向けた技術の方向性

1) 豚ふん堆肥の特徴

【調査方法】

茨城県では、過剰な施肥や家畜ふん尿のほ場還元を原因とする周辺水域の汚染防止、例えば、霞ヶ浦周辺地域での水質改善などを目的として「畜産バイオマス燃料化検討会」を立上げ、この中で特に豚ふん堆肥の農業外利用を推進している。そこで、豚ふん堆肥の現状調査については、茨城県の「畜産バイオマス燃料化検討会」の協力を得て実施することとした。

まず、調査を開始するにあたっては、茨城県畜産センターが保管する県下の農家で生産された豚ふん堆肥 40 検体の含水率と塩素濃度を分析した。次に、40 検体のうち、塩素濃度が比較的 low、原燃料堆肥の候補となる堆肥の生産農家 11 戸を訪問して、その生産方法を調査した。また、これら 11 戸の農家については、堆肥の含水率と塩素濃度に加え、総発熱量を分析した。なお、分析項目とその方法については表 5 に示す。

表 5 分析項目と方法

分析項目	分析方法
含水率、%	JIS Z 7302-3
塩素濃度、%DM ただし、液状原料は ppm	燃焼ーイオンクロマトグラフ法
総発熱量、MJ/kgDM	JIS Z 7302-2
灰分、%DM	JIS Z 7302-4

【結果と考察】

(1) 豚ふん堆肥の分析結果

茨城県下 40 戸の堆肥サンプルの含水率と塩素濃度を図 2 に示す。半数以上の 21 戸の農家は含水率が 30%以下の堆肥を生産しており、平均で 31%であった。開放型攪拌方式や密閉縦型攪拌方式など、攪拌装置を装備する堆肥化施設で生産された堆肥の含水率は低い傾向にあり、逆に堆積方式で生産される堆肥の含水率は高くなる傾向が見られた。塩素濃度は半数以上の農家の堆肥が 1.0%DM を超過しており、平均で 1.2%DM と当初の想定を上回った。

(2) 塩素濃度が低い農家の調査結果

(1) の調査結果を受けて、40 戸の中で比較的含水率、あるいは塩素濃度が低い堆肥を生産する農家を訪問し、堆肥化前の脱水処理工程の有無を調査するとともに、堆肥の成分について再度分析を行った。調査の結果を表 6 に示す。

訪問した 11 戸のうち、5 戸は脱水処理を行っており、このうち 3 戸の堆肥については調査農家 40 戸の中で最も塩素濃度が低く、塩素濃度の低減化には脱水工程が有効であることが示された。

総発熱量についてはほかの分析項目に比べて農家間の変動は小さく、平均で 16MJ/kgDM であった。

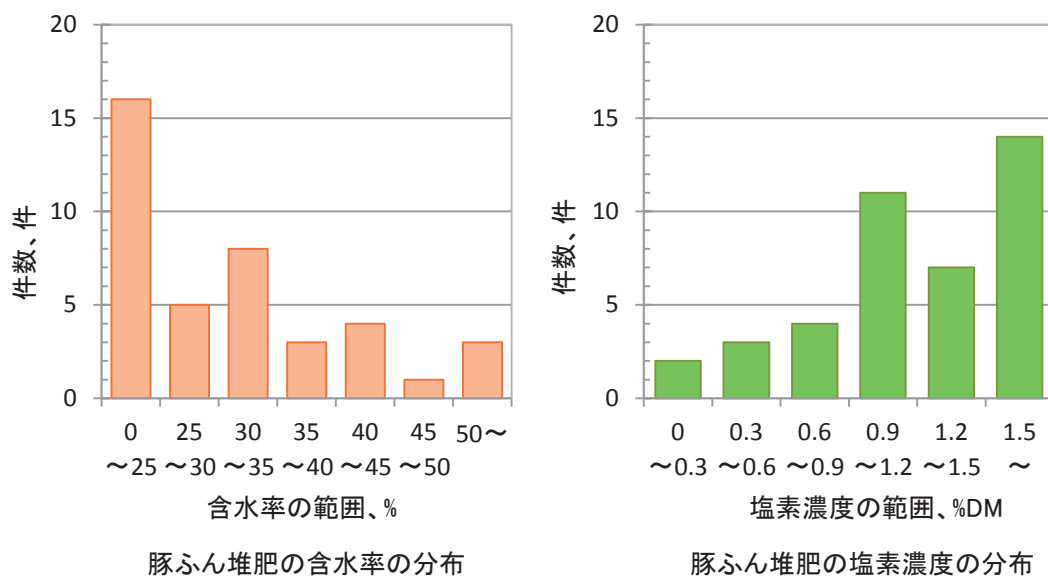


図 2 豚ふん堆肥の含水率と塩素濃度の分析結果

表 6 塩素濃度が比較的低い 11 戸の農家の調査結果

農場	含水率 %	塩素 %DM	総発熱量 MJ/kgDM	灰分 %DM	脱水機 の有無
A	35.8	0.57	14.2	29.6	無
B	42.2	0.20	13.2	35.0	有
C	41.7	0.29	15.4	28.7	有
D	22.7	0.66	17.2	17.2	無
E	55.5	0.62	17.9	17.4	有
F	31.0	0.92	17.2	18.3	無
G	22.6	0.47	16.7	20.0	無
H	22.9	0.34	17.9	23.9	有
I	9.2	0.91	10.5	46.9	無
J	30.8	0.90	15.4	25.0	無
K	31.8	0.91	16.9	16.7	有
平均	31.5	0.62	15.7	25.3	—

2) 鶏ふん堆肥の特徴

【調査方法】

八戸セメントがある青森県八戸市の周辺で、立ち入りが可能であった養鶏場の鶏ふん堆肥を採取したほか、市販の乾燥鶏ふんや鶏ふんペレットを取り寄せて、前項と同様に含水率と塩素濃度、総発熱量を分析した。なお、堆肥を水で洗浄した後に脱水して、試験的に塩素を減らす試みについても今回の分析対象とした。

【結果と考察】

調査結果を表 7 に示す。鶏ふん堆肥は、鶏舎から出された生に近い状態のものも含まれるなど変動があったものの、平均で 45%と低い含水率であった。これらの一部に加水して脱水したものが“洗浄・脱水”であるが、加水することで含水率が高くなったものの、脱水処理によって 50%程度に留まった。乾燥鶏ふんの平均含水率は 24%であり、市販品は十分に乾燥されていた。

堆肥の塩素濃度は、採取場所によって 0.42~0.82%DM と変動が大きく、その平均値は 0.63%DM と高かった。乾燥鶏ふんの塩素濃度は平均値で 0.55%DM であり、堆肥よりもやや低かったが、原燃料堆肥という点では高い塩素濃度であった。一方で、堆肥を洗浄す

ることで塩素濃度が大きく低減されることも確認され、豚ふん堆肥の調査で脱水処理が有効であることと同様に、ここでもその有効性が示された。

表 7 鶏ふん堆肥の調査結果

農場 *	性状	含水率 %	塩素 %DM	総発熱量 MJ/kgDM	灰分 %DM
A	堆肥	56.1	0.76	18.3	13.4
B		35.7	0.82	15.8	14.2
C		44.9	0.50	17.3	12.4
D		42.9	0.42	15.7	13.0
堆肥平均		44.9	0.63	16.8	13.2
B	洗浄・脱水	35.7	0.06	16.8	10.3
C		59.0	0.03	17.5	12.1
D		55.1	0.07	16.9	10.6
洗浄・脱水平均		49.9	0.05	17.1	11.0
E	乾燥ふん	40.9	0.50	17.3	13.7
F		21.3	0.50	17.2	13.9
G		9.9	0.64	8.87	36.1
乾燥ふん平均		24.0	0.55	14.5	21.2
H	鶏ふんペレット	9.3	0.40	15.9	15.8
I		9.8	0.07	17.5	11.8
鶏ふんペレット平均		9.5	0.23	16.7	13.8
A	焼却灰	0.4	7.84	-	94.1

* 同じアルファベットは同じ採取場所を示す

3) 牛ふん堆肥の特徴

【調査方法】

7か所（東北2件、関東3件、中国四国2件）の牧場を訪問して堆肥化処理施設を調査するとともに、堆肥原料や堆肥を採取して前項同様に含水率と塩素濃度、総発熱量を分析した。このうち3牧場については、固液分離機（スクリュープレス）による脱水工程を採用していたことから、固液分離後の固分の分析も行った。

【結果と考察】

調査結果を表8に示す。堆肥原料は生ふんに副資材が混合されたものがほとんどであり、副資材の種類や混合量によって堆肥原料の含水率は59～79%と大きく変動し、平均で66%であった。固液分離機で脱水された固分は含水率が平均で76%と高かったものの、3つのサンプル間の変動は小さかった。堆肥の含水率の平均は49%と堆肥原料に比べて大きく低下したが、豚ふんや鶏ふんを原料にした堆肥に比較すると高い含水率であり、このままでは原燃料としての利用は困難であった。

塩素濃度は堆肥原料を固液分離することで大きく減少でき、サンプルによっては0.05%DMまで低減できていたが、堆肥原料並みの0.69%DMという固分もあり、今回の調査の平均値をもって評価することはできなかった。また、堆肥化することで堆肥の塩素濃度が上昇する傾向にあった。

総発熱量はサンプルの性状や牧場間での変動が小さく、豚ふんや鶏ふんの調査と同様に、原燃料用途を満たす値であった。

表 8 牛ふん堆肥の調査結果

農場 *	性状	含水率 %	塩素 %DM	総発熱量 MJ/kgDM	灰分 %DM
A1	堆肥原料	63.9	0.45	18.4	7.3
A2		66.5	0.24	18.1	8.3
B1		59.1	0.34	15.7	23.5
B2		64.8	0.34	14.1	30.2
D		70.5	1.00	16.3	16.2
E		79.1	1.43	16.5	11.3
G		60.6	0.40	13.9	—
堆肥原料平均		66.3	0.60	16.1	16.1
B	固液分離 固分	78.5	0.05	17.8	8.5
C		74.5	0.69	17.2	14.3
E		74.9	0.38	16.6	13.4
固液分離固分平均		76.0	0.37	17.2	12.0
A	堆肥	18.1	0.71	17.1	13.1
C1		69.4	0.83	16.2	16.8
C2		68.7	0.99	16.4	18.0
D1		59.7	1.01	16.3	16.2
D2		48.0	0.99	16.5	15.6
E		50.1	0.65	16.1	17.6
F		25.0	0.78	9.9	61.9
G		52.5	0.92	15.4	—
堆肥平均		48.9	0.86	15.5	22.7

*同じアルファベットは同じ農場を示し、添え字は同じ敷地内にある異なる施設で採取したことを示す

4) 堆肥化に伴う原料の変化

【調査方法】

家畜ふんの堆肥化過程での含水率や塩素濃度、総発熱量の変化を調査するため、畜産草地研究所（那須拠点）の牛群管理実験棟で発生した牛ふんに対し、副資材を混合しない乾燥ふん、あるいは戻し堆肥、オガクズ、モミガラを副資材として混合した4条件、さらにそれぞれの条件で含水率を60%と70%の2段階に調整して、計8条件の堆肥化基

礎試験を行った。

堆肥化試験用の発酵槽は 430L のもの 2 台であり（写真 1、2）、4 週間にわたる堆肥化期間中には 1 週毎に切り返しを行って堆肥原料をサンプリングした。堆肥原料の温度変化を測定するとともに、堆肥の含水率、塩素濃度、総発熱量を分析した。



写真 1 堆肥原料の投入、切り返し風景



写真 2 堆肥原料は送風機で通気される

【結果と考察】

堆肥原料の温度変化を図 3 に示す。オガクズを混合した条件ではやや温度が低くなる傾向にあったが、いずれの条件でも最大温度は 68℃以上に達して一般的な堆肥化の温度変化が見られた。つまり、切り返し毎に温度ピークが生じて、切り返し数が増す毎にピーク温度が低下する温度変化が観察された。

含水率の変化を図 4 に示す。含水率 60%、70%条件ともに、副資材を用いない条件（乾燥ふん）で含水率の低下が顕著であったが、ほかの多くの条件では 50%以上で高止まりした。副資材を用いない場合には、ふん由来の易分解性有機物が多く分解されて、その結果、発酵熱による水分蒸発が活発であったと考えられる。ただし、いずれの条件でも含水率が 30%を下回ることなく、堆肥化处理単独では原燃料堆肥の仕様を満たす含水率まで低減されなかった。

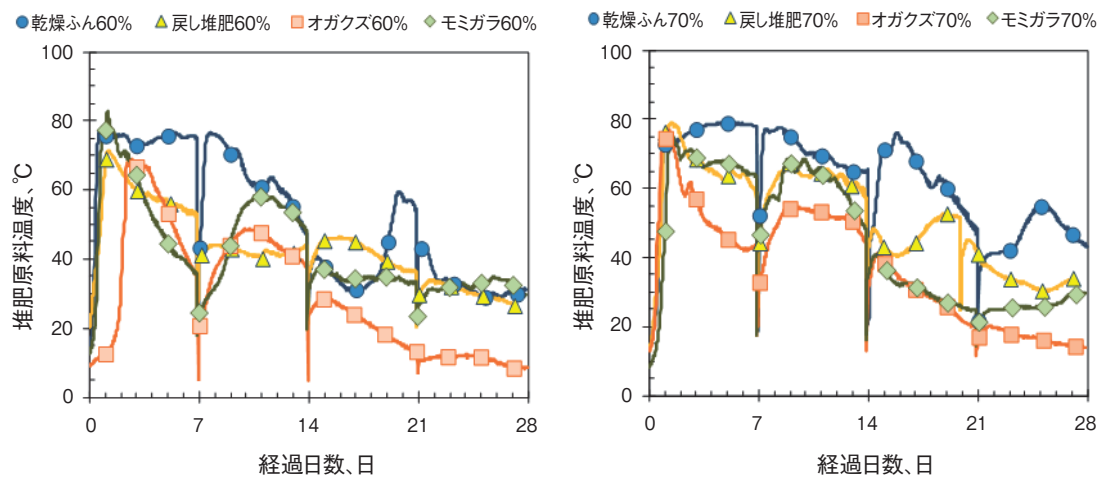


図3 堆肥化過程の温度変化(左:含水率 60%、右:含水率 70%)

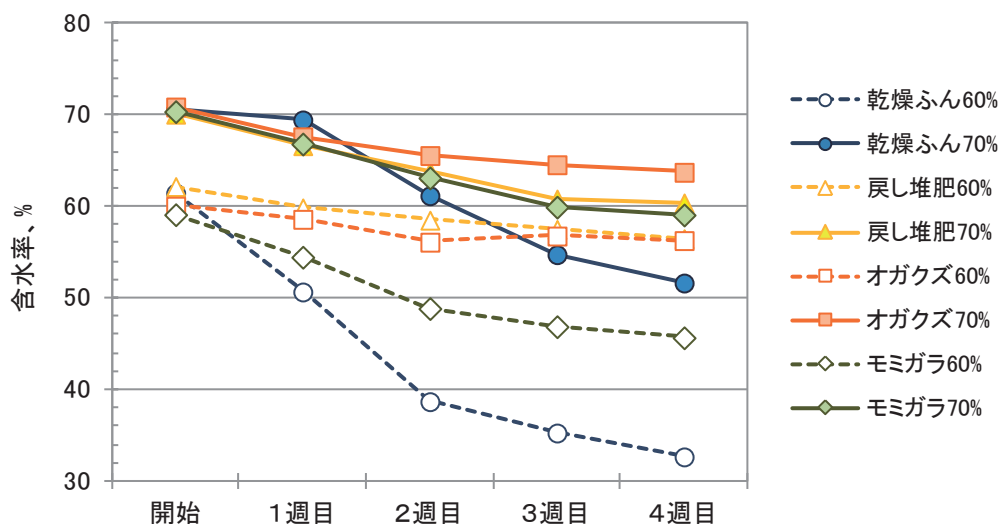


図4 堆肥化過程の含水率の変化

塩素濃度の変化を図5に示す。オガクズやモミガラを混合した含水率60%条件では、堆肥化開始時から塩素濃度が低く保たれ、堆肥化後も高くなることはなかった。これらの条件は塩素濃度が低い副資材を多く混合した条件であり、副資材の混合は塩素を希釈する効果があるものと思われる。

一方で、同じ副資材であっても戻し堆肥の場合は、堆肥化を繰り返すことで戻し堆肥中の塩素が濃縮されて、高い塩素濃度であったと推測される。その結果、戻し堆肥を副

資材にした条件では、他の条件に比べて堆肥化開始時から高い塩素濃度になったものと思われる。酪農業や一部の養豚業では、畜舎の敷料資材として戻し堆肥を利用するケースがあることから、原燃料堆肥の生産においては、家畜の飼養管理面の確認も必要である。

総発熱量の変化を図6に示す。いずれの条件も堆肥化が進むにつれて総発熱量がわずかに減少した。これは、堆肥化に伴って原料の熱量が消費されたためであり、減少分の一部は原料の昇温（顕熱）や水分蒸発（潜熱）に使われたものと思われる。ただし、開始時の総発熱量に対する4週間後の総発熱量の減少率は、含水率60%条件の場合に4.2～5.5%、70%条件では3.6～8.0%といずれの含水率条件でも低く、90%以上の熱量は堆肥化過程で消費されずに残存した。オガクズを混合した場合は、他の条件に比較して堆肥の総発熱量が大きく、一方で総発熱量の減少率は低い傾向にあったが、これはオガクズに含まれる分解されにくいセルロースやリグニンが混合され、堆肥化過程でも分解されずにそのまま堆肥に残存したためと考えられる。

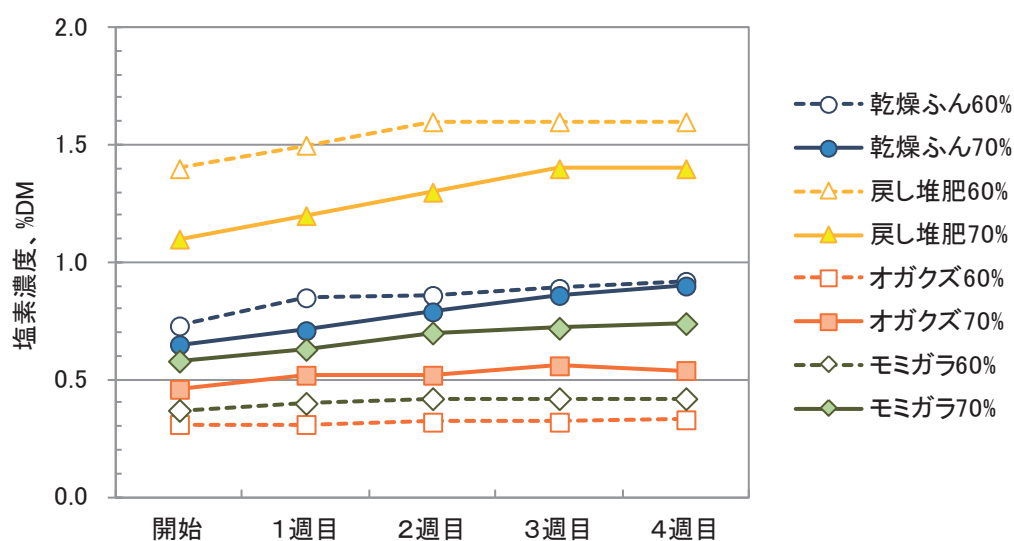


図5 堆肥化過程の塩素濃度の変化

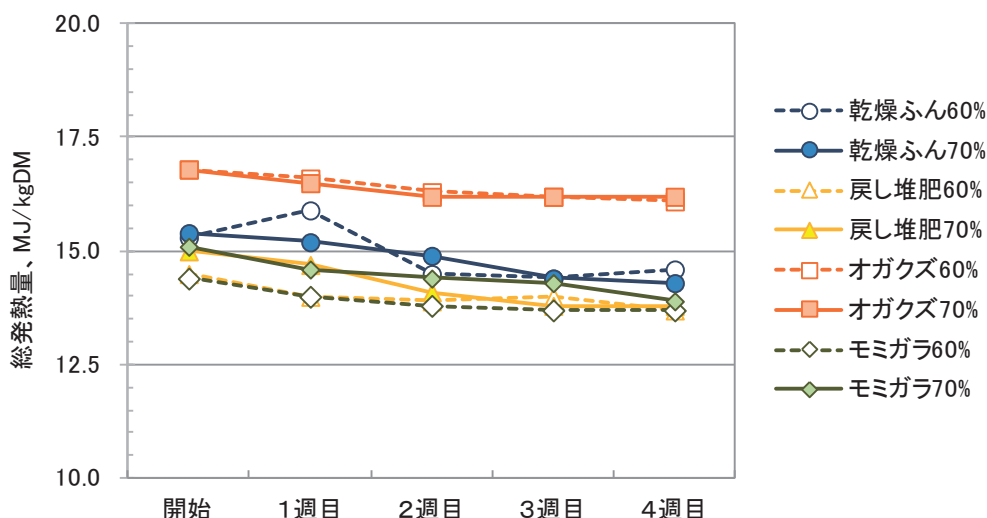


図6 堆肥化過程の総発熱量の変化

5) 2章まとめ

畜産現場における調査と堆肥化基礎試験により以下のことが考えられる。

(1) 豚ふん堆肥について

豚ふん尿をセメント製造時の原燃料として使用するためには、そのままでは含水率と塩素濃度が高く、ふん尿の段階での前処理が必要であった。ふん尿を固液分離することで含水率と塩素濃度の低減が可能であり、分離された固分を堆肥化すれば、豚ふんを原燃料用途まで乾燥できる可能性が見い出された。

さらに、現地調査からは、養豚業ではふん尿の一部、あるいは全量を液状で処理する浄化施設を併設するケースが多く、固液分離後の液分の処理も比較的容易であり、原燃料堆肥の生産には最も有利と考えられる。

豚ふん堆肥の総発熱量は目標値をほぼ満たしており、農家間や処理施設による変動も含水率や塩素濃度に比べて小さく、安定的であった。

(2) 鶏ふん堆肥について

鶏ふんはそのままでは塩素濃度が高く、含水率も原燃料用途としてはやや高かったことから、豚ふん尿と同様に前処理、あるいは堆肥化後の後処理が必要であった。鶏ふん堆肥を水で洗浄し、脱水処理を行うことで塩素濃度を低減できる知見は得られたものの、養鶏場に浄化施設が設置されることは極めて稀であることから、洗浄水の処理が課題として残された。採取した鶏ふん等のサンプルの総発熱量は目標値を十分に満たした。

(3) 牛ふん堆肥について

牛ふんの堆肥原料は、そのままでは含水率と塩素濃度が高く、他の畜種と同様に原燃料化のための前処理が必要であった。また、固液分離した固分を含む堆肥原料の含水率が高いために、堆肥の含水率も高止まりする傾向にあり、堆肥化後に堆肥の含水率を下げる方法を検討する必要があった。

牛ふん尿の堆肥化処理では、生ふんに副資材を混合してから、後述の堆肥舎や開放型攪拌方式による堆肥化施設を使う場合が多く、固液分離機を備える牧場は養豚場に比べてまだ少ない。さらには、固液分離機による固分が得られたとしても、固分を堆肥化したものは土壤改良材として耕種農家のニーズが高く、今後も原燃料化に仕向ける十分量を確保できるかが課題である。このように、固液分離機による脱水工程で塩素が除去された堆肥の入手は困難が予想されることから、むしろ副資材の混合割合を調整して、塩素濃度を希釈した堆肥の利用が有効と考えられる。

総発熱量については他の畜種と同様に、一部のサンプルを除いて16~17MJ/kgDMで安定であり、原燃料の仕様をほぼ満たした。

(4) 堆肥化基礎試験からの知見

堆肥化処理では、原料の有機物分解に伴う発酵熱によって水分が蒸発するため、含水率の低減効果が期待できる。一方で、有機物の分解は乾物の減少にもなり、塩素が濃縮されて塩素濃度が高くなることが確認された。その増加は開始時の堆肥原料の乾物濃度に対して1.1~1.3倍であった。塩素の総量に変化はないものの、セメント工場では塩素濃度を一つの基準に原燃料の品質を評価していることから、この堆肥化処理過程での塩素濃度の変化も念頭に置く必要がある。

また、総発熱量は有機物分解に伴って減少することが確認され、その減少率は原料に含まれていた総発熱量の3.6~8.0%であった。しかし、堆肥化過程で含水率が大きく低下することや、製品堆肥は木屑と同等の総発熱量を残存したことから、堆肥化に伴う総発熱量の減少は許容の範囲と考えられる。