

セメント製造原燃料用豚ふん堆肥生産方法の検討

誌名	千葉県畜産総合研究センター研究報告 = Bulletin of the Chiba Prefectural Livestock Research Center
ISSN	13469746
著者	杉本, 清美 石田, 泰之 押木, 市郎
巻/号	14号
掲載ページ	p. 37-43
発行年月	2014年11月

セメント製造原燃料用豚ふん堆肥生産方法の検討

杉本清美・石田泰之*・押木市郎*

Study of Swine Manure Compost Production Methods Suitable for Fuel and Raw Material at Cement Manufacturing

Kiyomi SUGIMOTO, Yasuyuki ISHIDA* and Ichiro OSHIKI*

要 約

県内養豚経営が生産する堆肥について、セメント製造用の燃料・原料への適合性の調査を行ったところ、ふん尿分離後副資材を使用して縦型密閉コンポスト処理をした堆肥と、大量の副資材を使用して堆肥化処理をした堆肥が原燃料用として使用できる可能性があった。また、豚ふん尿は浄化槽汚泥と一緒に固液分離すると、固形物中の塩素濃度を低減でき、原燃料用堆肥の生産に適応した効果的の一手法となることがわかった。しかし、原燃料用として使用するためには生産コストの低減が必要であった。

緒 言

畜産の盛んな本県において家畜排せつ物や堆肥は大量に発生しており、従来から主に堆肥として農地還元されてきたが、農地の減少や堆肥投入の労働力不足等により需給関係が崩れている地域もみられる。こうしたことから、堆肥については、従来の農地利用以外の新たな用途開発を進めていくことが必要になってきている。

一方、近年の原油等燃料費の乱高下によりセメント業界においても石炭代替エネルギーを求めており、堆肥のエネルギー利用が検討されている。

そこで、家畜ふん堆肥の新たな用途開発・実用化並びに利用促進を図る目的で、セメントを製造する際の燃料となり、燃料利用後の焼却灰をセメント原料に使用できるような、基準に適合する家畜ふん堆肥（以下、原燃料堆肥という。）の検索のため現地調査を行った。

なお、セメント原燃料堆肥の条件は、含水率30%以下・総発熱量3,000Kcal/kg以上・塩素濃度0.3%以下を指針とした。含水率は、燃料として燃やす場合それ自身の水分蒸発に熱量が必要になるため、低いほうが好ましい。総発熱量は、高いほうが燃えやすく好ましい。塩素濃度は、高いと焼成炉の傷みが早くなり、焼却灰での濃度も高くなりセメント原料として規格基準に適合できなくな

る恐れがあり、濃度調整が困難であるため適合条件のうち最も重要な要素となる。また、養豚堆肥に調査対象を絞ったのは、総発熱量が高く¹⁾、水分の低い堆肥が生産しやすい縦型密閉コンポスト処理が県内では多く、比較的規模の大きな養豚経営が多い県北東部地域で大量の堆肥確保が期待できるためである。

そして、その調査・分析結果を基に物質収支を算出し、塩素の流れを試算した。また、塩素濃度の低い原燃料堆肥を生産する最適な方法を求めるため、豚ふんの固液分離方法の検討を行った。さらに、原燃料堆肥について生産コスト調査を行い、経済的価値を評価したので報告する。

材料および方法

1. 養豚堆肥成分調査

- (1) 調査内容:2009~2012年において県内養豚経営を対象に、戸別訪問により、経営情報やふん尿処理方式等について聞き取り調査した。また、副資材、凝集剤、ふん、堆肥、尿、処理液等について、各処理工程においてサンプリング調査し、成分等を分析した。
- (2) 調査対象経営:県内養豚経営14戸、堆肥化処理施設25カ所（千葉地域4カ所、香取地域9カ所および海浜地域12カ所）
- (3) 分析項目:含水率、粗灰分、pH、EC、腐熟度、総発熱量、塩素濃度、他肥料成分

平成26年8月31日受付

*太平洋セメント株式会社

(4) 分析方法:サンプルを堆肥等有機物分析法²⁾により分析した。含水率は105℃乾熱法、粗灰分は550℃灼熱残渣法、pHはガラス電極法、ECは電気伝導率計、腐熟度は熱抽出液による幼植物検定法および富士平工業社製コンポテスターにより測定した酸素消費量、全窒素はケルダール法、リン酸はバナドモリブデン酸アンモニウム比色法、カリは原子吸光法により測定した。また、総発熱量については、JIS Z 7302-2に準拠し分析した³⁾。塩素濃度については、JIS M 8813およびJIS Z7302-6に準拠し、固形物をエシユカ法、液状物を酸化法により分析した⁴⁾。

2. 塩素に関するマテリアルフローの試算

上記1で調査した経営のうち海匝地域の調査施設7ヶ所について、ふん尿処理における各工程でのサンプル分析値をもとに塩素の量的流れを算出し、各種ふん尿処理工程での塩素の推移の違いを試算した。そのうち、代表的処理類型3種類の試算結果を提示した。ただしこのフロー値は、同じ採取日に採取した個々のサンプルデータから計算した概算値で、出発原料からの経時変化に従って計測したデータでなく、サンプリングの不可能な箇所もあり、ふん尿量の変化等も考慮しておらず、収支バランスが完全なものでないため、塩素の各工程での推移の傾向をみることに留めた。

3. 豚ふん尿固液分離調査

2.の結果から、塩素が固液分離過程における水分の量に影響されると推測されたため、低塩素濃度の原燃料堆肥を生産する最適な方法を求める目的で、豚ふんの固液分離について次の三種類の検討を行った。分析方法は、上記1の(4)に準じた。

(1) 試験①:豚ふんおよび尿の塩素含有量と水分、固液分離との関係を明確化させる目的で、当センター飼養の肥育豚ふんに2~4倍量加水し0.15mm目篩で固液分離して、含水率、総発熱量、塩素濃度を測定した。

(2) 試験②:塩素濃度の高い尿の混合を低減させる目的で、旭市内養豚場において、同一生育時期の肥育豚舎2棟を用い、肥育豚舎内スクレーパの掻き出し回数の設定を2処理(1日1回および3回)とし、掻き出し後ごとにふんのサンプリングを行い、含水率、総発熱量、塩素濃度を測定した。

(3) 試験③:固液分離機における含水率の低下による塩素含有量の低減を図る目的で、銚子市内養豚場の浄化処理施設において、肥育豚舎のふん尿・浄化槽汚泥混合物を、スクリュープレス(北凌社製)の回転周波数を3段階に調整(40、30、23Hz)し、圧搾速度を変化させて固液分離し、含水率、総発熱量、塩素濃度を測定した。

4. 原燃料堆肥の生産コスト調査

実際に養豚経営が原燃料堆肥を生産するには、コスト面について検討する必要があるため、生産費用等を

調査し、経済的に評価した。

(1) 調査内容:試験的にセメント工場へ原燃料堆肥を提供している処理2事例を対象に、資材・労働力・施設・機械等について調査し、処理生産コストを算出した。

(2) 調査項目:経営規模、労働力、ふん尿の処理方法、施設・機械情報、作業情報(作業時間等)、堆肥情報(販売先等)、副資材、販売・処理経費等

結果および考察

1. 養豚堆肥成分調査

今回調査した経営におけるふん尿処理の主な流れとしては、オガコ豚舎のふんは、堆肥舎か横型開放施設で処理し、スノコ豚舎などの分離豚舎は、縦型密閉コンポスト処理が最も多く、ふん尿混合のスラリー豚舎は固液分離した後に縦型密閉コンポストでの処理が多くなっていた(図1でそれぞれオガコ、分離、混合と表示)。

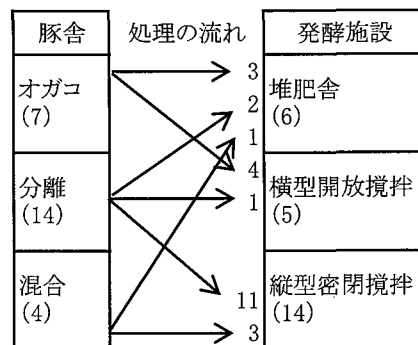


図1 豚ふん処理の流れ(数字は事例数)

調査堆肥の主要成分については、表1のとおりであった。

堆肥の含水率は10.9~70.0%の範囲にあり、30~40%が最も多く、平均は37.4%で、30%以下が8例あった(図2)。

堆肥の総発熱量は2,710~4,270kcal/kgの範囲にあり、ほとんどが3,000kcal/kgの基準をクリアしており、平均は3,560kcal/kgだった(図3)。

堆肥の塩素濃度は0.04~1.12%の範囲にあって0.5~0.9%を中心に比較的幅広く分布し、平均は0.66%で、0.3%以下が3例あった(図4)。

また、調査堆肥の各成分における関連性についてみると、塩素濃度と最も相関が高かった項目はカリ濃度であった(表1)。

堆肥の含水率と塩素濃度の分布を、豚舎構造別と発酵方式別にみたところ、図5・図6のようであった。豚舎構造別では、オガコ豚舎の含水率と塩素濃度が比較的高く、混合豚舎の塩素濃度が低くなっており、豚舎構造は塩素濃度に影響していると考えられた。また、発酵方式別にみると、含水率と塩素濃度とも、堆

表1 調査堆肥の主要成分平均値 (総発熱量・塩素・全窒素・リン酸・カリは乾物値)

種別	事例数 (個)	含水率 (%)	粗灰分 (%)	pH	EC (mS/cm)	酸素消費量 ($\mu\text{g/g/min}$)	発芽率 (%)	総発熱量 (kcal/kg)	塩素 (%)	全窒素 (%)	リン酸 (%)	カリ (%)	
全体	25	37.4	16.8	8.2	4.1	5.6	72.8	3,558	0.66	3.6	6.1	3.3	
含水率との相関係数		1.00	-0.55	-0.22	-0.38	-0.37	-0.06	-0.02	-0.07	-0.23	-0.24	-0.43	
熱量との相関係数		-0.02	-0.73	0.00	0.15	0.57	-0.34	1.00	-0.34	0.22	-0.47	-0.11	
塩素との相関係数		-0.07	0.35	0.39	0.13	-0.11	-0.14	-0.34	1.00	0.05	0.17	0.70	
豚舎構造	オガコ豚舎	7	44.6	16.4	8.7	3.7	4.7	65.9	3,464	0.79	3.3	5.3	3.4
	分離	14	33.1	17.8	8.2	4.1	6.8	76.0	3,581	0.69	3.7	6.5	3.5
	混合	4	39.7	13.8	7.6	4.6	3.3	73.6	3,643	0.33	3.4	6.0	2.5
発酵方式	堆肥舎	6	53.1	11.1	8.0	1.8	4.7	63.7	3,708	0.54	3.0	3.8	2.3
	横型開放	5	37.5	18.6	8.8	5.2	5.0	83.8	3,470	0.75	3.6	6.2	3.7
	縦型密閉	14	30.6	18.5	8.1	4.7	6.3	3,526	0.68	3.8	7.0	3.7	

注) *: $P>0.05$ **: $P>0.01$

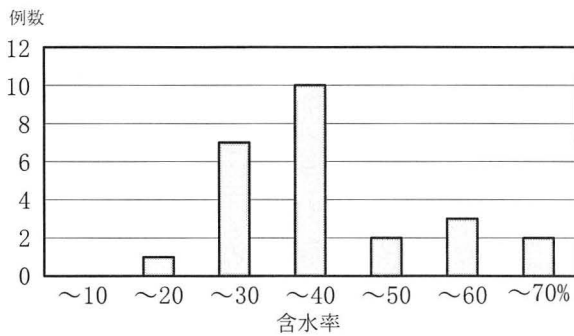


図2 調査堆肥の含水率分布 (事例数)

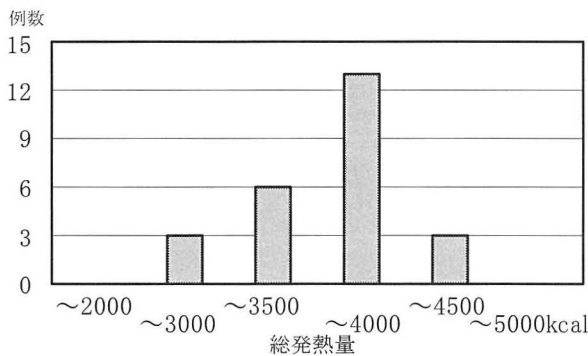


図3 調査堆肥の総発熱量分布 (事例数)

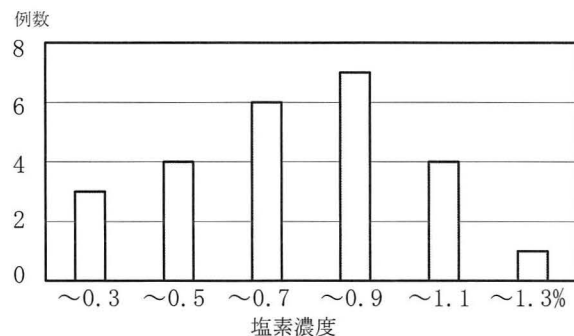


図4 調査堆肥の塩素濃度分布 (事例数)

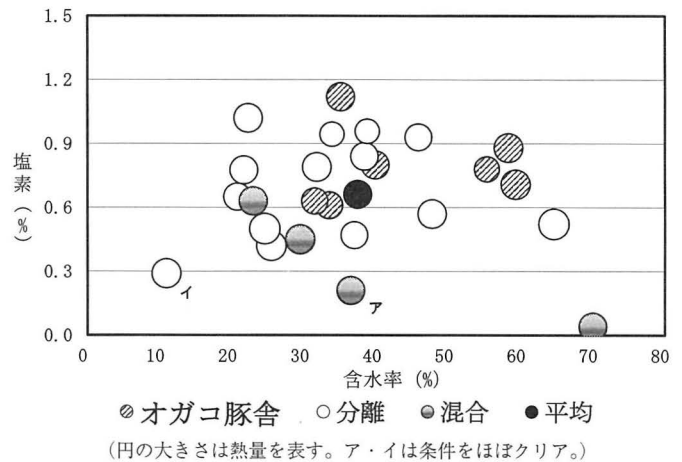


図5 調査堆肥の豚舎構造別含水率・塩素濃度分布

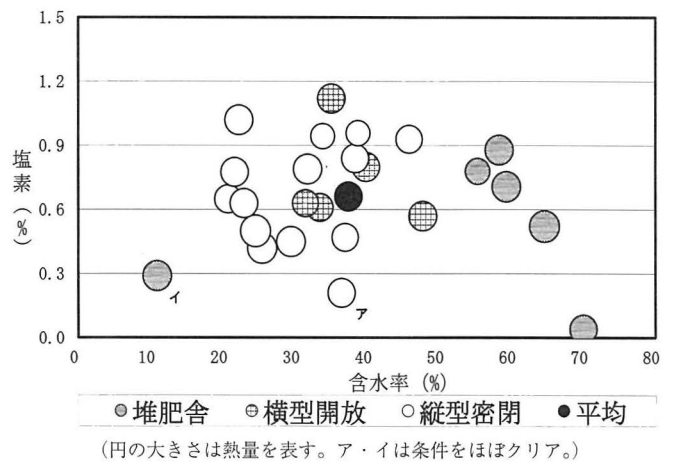


図6 調査堆肥の発酵方式別含水率・塩素濃度分布

肥舎と横型開放方式が高い傾向、縦型密閉コンポストが低い傾向にあり、発酵方式は、含水率に影響していると考えられた。

調査した堆肥の中では、含水率・総発熱量・塩素濃度の3条件をほぼクリアしている原燃料として適する堆肥は2例だけであった。ひとつは、ふん尿を混合・分離後、副資材を使用して縦型密閉コンポスト処理をした事例で、最も塩素濃度が低減し水分も低くかつ総発熱量も確保しており、最も好ましい生産形態と考えられた(図5・図6のア)。また、副資材を大量に投入して堆肥舎で処理した堆肥1例も原燃料堆肥として使用可能と評価できた(図5・図6のイ)。

2. 塩素に関するマテリアルフローの試算

調査した堆肥の分布から、塩素濃度への影響が大きいと考えられる事例について、塩素に関する豚舎構造別のフローを図7～9に例示した。オガコ豚舎については、オガクズや木くずやモミガラなどの副資材は多くの場合、家畜ふん尿より塩素濃度が低いため、副資材と混合されることにより、混合物全体として塩素濃度が低減されるのが一般的である。しかし、オガコ豚舎から排出されたふん尿は、塩素濃度の減少はみられなかった(図7)。これは、ふん尿の塩素が全量含ま

れるためであり、下記3の(1)で述べるように特に塩素含有量の多い尿が含まれることが大きいと考えられた。分離豚舎については、分離豚舎から排出されたふん尿は、塩素のかなりの量が液体分に移行し、分離ふんや堆肥においては塩素濃度の減少がみられた(図8)。図の事例では、堆肥と浄化処理水の塩素量の割合は1:1.3と約半々の量となっていた。混合豚舎については、ふん尿を混合した後、固液分離機により分離することによって、さらに多くの塩素が液体分に移行し、分離ふんや堆肥において、塩素濃度の減少がみられた(図9)。図の事例では、堆肥と浄化処理水と1:7の割合になっていた。以上のフロー試算から、大半の塩素は水と一緒に流れることがわかった。

発酵方式別に比較すると、堆肥舎および横型開放式の発酵槽では、発酵により含水率の減少はみられるが、多くはふん尿の機械分離工程がなく、固液分離における尿の塩素の液体分への移行がないため、塩素濃度の減少はみられなかった。縦型密閉コンポスト処理の堆肥は、通風攪拌および発酵により含水率の減少がみられた。この方式では豚舎において多くの事例でふん尿分離がなされており、塩素の大半は液体分に移行し、分離ふんにおいては塩素濃度の減少がみられた。

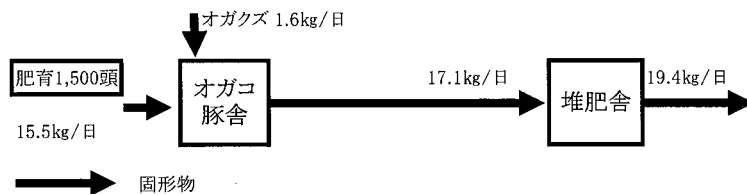


図7 オガコ豚舎における塩素フロー事例(数字は塩素量)

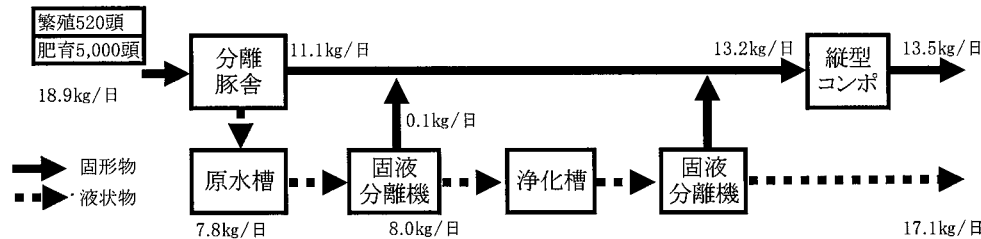


図8 分離豚舎における塩素フロー事例(数字は塩素量)

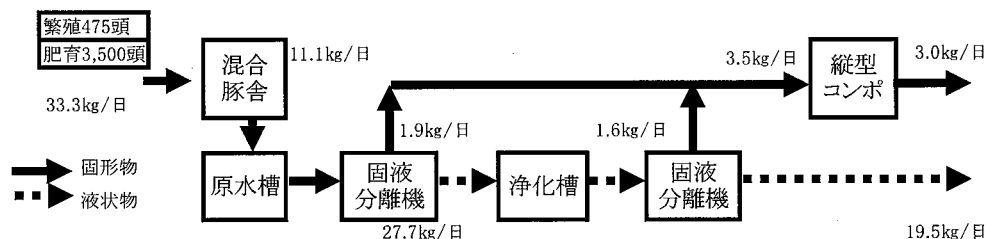


図9 混合豚舎における塩素フロー事例(数字は塩素量)

3. 豚ふん尿固液分離調査

(1) 試験①: 当センター飼養豚のふんおよび尿についてみると、塩素は、尿に多く、また、肥育豚のふんにも多く含まれていた(表2)。塩素が多い肥育豚

ふんに等量加水して固液分離した固形物では塩素濃度が半減した。塩素濃度の少ない母豚ふんでは、加水・分離しても差が少なかった(表3)。

- (2) 試験②:肥育豚舎から1日1回掻き出したふんは、1日3回の掻き出しふんに比べ含水率が高く塩素濃度は低かった。これにより、豚舎内で尿(水)にさらされる事で塩素濃度低減化の可能性が考えられた(表4)。
- (3) 試験③:肥育豚のふん尿・余剰汚泥と凝集剤を混合した試料を、既存浄化槽付帯の固液分離機を利用して試験した。試験農場では、通常、周波数40Hz(回転数0.88rpm)で搾っていたが、これを23Hz(0.34rpm)でゆっくり搾ると、含水率84.1%を81.9%

に、塩素濃度0.34%を0.31%に低減できた。このように、余剰汚泥と凝集剤を混合して回転周波数を低くしてゆっくり脱水することで、脱水ふん・汚泥の含水率と塩素濃度を低減でき、原燃料堆肥の生産に適応できると考えられた(表5)。この場合の留意点として、もし現在ふん尿を分離処理している経営が、ふん尿混合して固液分離する方式に変更する場合は、浄化槽の負荷が上がるため、浄化槽製造業者の技術者等と相談のうえ変更することが必要となる。

表2 豚ふん尿成分

対象物	含水率 (%)	総発熱量 (kcal/kg)	塩素 (%)
肥育豚 ふん	72.2	4,700	0.14
母豚 ふん	66.7	4,600	0.04
肥育豚 尿	98.0	-	0.13
母豚 尿	92.1	-	0.34

(注:総発熱量・塩素は乾物中、尿塩素は現物中)

表3 豚ふんの固液分離状態

対象物	含水率 (%)	総発熱量 (kcal/kg)	塩素 (%)
肥育豚 ふん	72.2	4,700	0.14
加水2倍量	76.1	4,600	0.07
3倍量	73.8	4,600	0.06
4倍量	76.5	4,600	0.05
母豚 ふん	66.7	4,600	0.04
加水2倍量	76.8	4,500	0.03
3倍量	81.0	4,500	0.03
4倍量	82.0	4,500	0.03

(注:総発熱量・塩素は乾物中)

4. 原燃料堆肥の生産コスト調査

原燃料用として適していた堆肥を生産していた2戸のうちA農場では、上記3の試験③の圧搾速度試験のように、豚舎から搬出したふん尿スラリーと余剰汚泥の混合物に凝集剤を混ぜて固液分離機にかけた後、モミガラ・オガクズを副資材として添加し堆肥舎で3週間ほど切り返した後に縦型密閉コンポストに投入して処理していた。また、概ね適していたB農場では、主として畜舎でのふん尿分離後に固形分を縦型密閉コンポストに投入していたが、一部のふん尿混合物に凝集剤を混ぜて固液分離機にかけた後、縦型密閉コンポストに投入、処理していた。

この2戸の調査値をもとに豚ふんをセメント原燃料用として生産する場合のコストを試算した。なお通常、養豚経営ではふんを農地還元用として堆肥化するので、ふんの固形物を縦型密閉コンポストで処理する方法を「従来法」とし、ふん尿を混合・分離してから

表4 スクレーパー稼働回数別ふん成分

掻き出し回数	含水率 (%)	総発熱量 (kcal/kg)	塩素 (%)
1日1回	71.4	5,075	0.61
1日3回	65.6	5,050	0.72

(注:総発熱量・塩素は乾物中)

表5 固液分離機の稼働状況別成分

対象物	含水率 (%)	総発熱量 (kcal/kg)	塩素 (%)
原水	96.7	4,300	2.99
荒スクリーンしき	84.1	4,700	0.62
汚泥槽汚泥	97.0	4,500	2.96
分離固形物(周波数40Hz)	84.1	5,000	0.34
分離固形物(周波数30Hz)	82.1	4,900	0.29
分離固形物(周波数23Hz)	81.9	5,000	0.31

(注:総発熱量・塩素は乾物中)

縦型密閉コンポスト処理する方法を「燃料用」とした。結果は、燃料用堆肥1t当たりの生産コストは33千円となり、一方、従来通り農地還元用として使用する場合は堆肥の生産コストは29千円となった(表6)。燃料用堆肥は従来の生産方法に追加して凝集剤代と副資材費が多くかかり、従来法のコストに堆肥1t当たり4,520円付加して生産が可能ではあったが、生産費は約15%の増加となった。現在は試験的にセメント工場へ原燃料堆肥を提供しており、堆肥をセメント工場に運ぶまでの輸送費はセメント工場側の負担となっているが、これを恒常的に輸送する場合には輸送費の負担も堆肥供給側となる可能性がある。

さらに、燃料として石炭と比較したものが表7であるが、総発熱量的には6割増、価格的には3分の1となることが求められ、総合的には、現在コストの5分の1から6分の1で生産することが必要となる。

表6 原燃料堆肥製造コスト

費目	燃料用	従来法	差
凝集剤代	2,175	0	2,175
副資材費	2,608	1,265	1,343
光熱費	9,159	8,807	352
減価償却費	14,434	14,010	424
労働費	1,814	1,698	116
修繕費	3,093	2,982	110
計	33,283	28,762	4,520

(注:単位:円/t、「差」は「燃料用」-「従来法」)

表7 燃料としての試算比較

	石炭	堆肥	差
総発熱量 (kcal/kg)	6,000	3,800	2,200
価格 (円/t)	10,000	33,300	-23,300

(注:「差」は「石炭」-「堆肥」、石炭価格は2012年一般炭CIF価格⁹⁾概算)

5. 今後の課題

以上のように技術的には豚ふん堆肥がセメント原燃料用として製造可能であることが判明した。

課題としては、ふん尿混合・分離後の高分子凝集剤が混ざった固形物を堆肥化しなくてはならないが、凝集剤により泥濘化し通気性が悪く堆肥化が難しいという問題がある⁶⁾。ただし、本報告の堆肥化原料となる固形物は、浄化槽返送汚泥だけでなく生ふんが混合されているので、熱量的には問題ない(調査事例4例平均4,750kcal/kg乾物)。堆肥化の解決案としては、縦型密閉コンポストの送風量をあげて乾燥を早める方法が考えられる。別案としては、太陽熱を利用した浅型攪拌乾燥機械・ハウスでの対応が考えられる。豚ふんを原燃料用として利用する場合水分が低減していれば良く、また乾燥処理では発酵による総発熱量の減少が少ないため、熱量的にかえって好ましい。当センターで試験的に含水率85%の豚ふん・汚泥・凝集剤混合物を乾燥ハウス内(春季日中ハウス内平均気温22℃、湿度43%、堆積厚さ2~5cm)で1日1回攪拌して処理したところ、9日目で含水率17.2%となり、原燃料用として十分使用できるものになった(図10)。

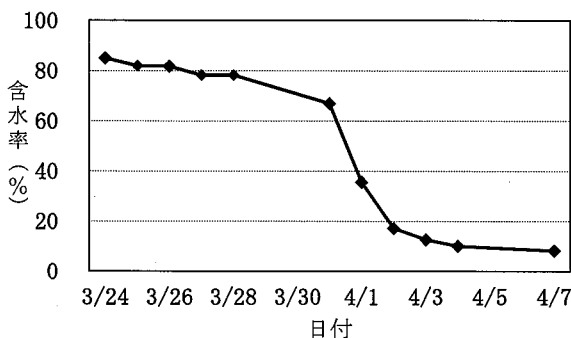


図10 乾燥ハウス内含水率の低下例 (春季)

もうひとつの課題として、輸送費を含めた堆肥生産コストの低減化がある。化石燃料の高騰の折には、代替エネルギーとして利用できるが、通常の場合は割高になってしまう。現状で提示した生産方法での低コスト化は困難であるが、現状では少ないふん処理量を増加させスケールメリットを活かして単価を低減させる方法や、堆肥調整に係る労働時間短縮等処理の効率化によりある程度の低減は可能であると考えられる。

また、生産コストを低減させる方法の1案として前述した太陽熱を利用した浅型攪拌乾燥機械・ハウスでの処理がある。豚ふんのハウス乾燥法は県内での事例は少ないが、乳牛ふんを含めた県内の低コスト家畜ふん尿処理施設調査結果ではハウス乾燥施設の平均費用が359㎡で4,269千円、攪拌機械平均が2,887千円であった⁷⁾。これに基づいてA・B農場の平均飼養頭数のふんを処理するハウス乾燥施設を試算する⁸⁾と、表8のとおりとなり、縦型密閉コンポストとの併用でも初期投資および減価償却費の低減が図れ、生産コストにおいては全量縦型密閉コンポスト処理より縦型併用処理で1割、全量ハウス乾燥処理で2割低減できる。

別の解決策としては、生産した原燃料堆肥を近隣のボイラー施設で大量に熱利用できれば、生産コストも削減できると考えられる。この原燃料堆肥の別の用途として、太平洋セメント(株)が県内食品工場でのボイラー燃料化を試験しており⁹⁾、技術的には燃料利用が可能であった。

さらに別の案としては、二酸化炭素の排出量取引であるカーボンオフセットクレジット制度の利用で、企業などに排出量の権利を販売しての生産費への補填である。これは、現在(公社)千葉県畜産協会で行われており^{9,10)}、2013年度は20t-CO₂販売した実績がある。

今回の試験では生産コスト低減案の実証までは至らなかったが、上記のような各種処理・利用方法の改善により、低コストでの原燃料堆肥が大量に生産・利用され、地域の堆肥需給不均衡の解消へ貢献することが望まれる。

最後に、本研究は、太平洋セメント(株)と千葉県(環境生活部資源循環推進課・農林水産部畜産課・畜産総合研究センター)との共同研究により実施したものである。調査に当たっては、県内養豚業者の方々並びに管轄家畜保健衛生所、管轄農業事務所の皆様にも多大なる御協力をいただきました。ここに申し上げます。

表8 豚ふん処理費用の試算比較

項 目		縦型コンポスト	乾燥+縦コン	乾燥ハウス
設定	縦型コンポスト 乾燥ハウス	41m ³ :2台	41m ³ :1台 6m×45m:1台	6m×71m:1台
建設費 (千円)	縦型コンポスト	56,000	28,000	
	乾燥ハウス		6,114	7,957
	計	56,000	34,114	7,957
	差		-21,886	-48,043
	比(%)		60.9	14.2
減価償却費 (千円)	縦型コンポスト	8,000	4,000	
	乾燥ハウス		873	1,137
	計	8,000	4,873	1,137
堆肥生産 コスト(円/t)	合計	33,283	30,156	26,420
	差		-3,127	-6,863
	比(%)		90.6	79.4

(注:「差」と「比」は、「縦型コンポスト」との差、比)

引用文献

- 1) (社) 中央畜産会 (2000)、堆肥化施設設計マニュアル:13
- 2) (財) 日本土壌協会 (2000)、堆肥等有機物分析法
- 3) JIS Z 7302-2 「廃棄物固形化燃料-第2部:発熱量試験方法」
- 4) JIS M 8813 「石炭類及びコークス類-元素分析方法」およびJIS Z 7302-6 「廃棄物固形化燃料-第6部:全塩素分試験方法」
- 5) 経済産業省資源エネルギー庁 (2013)、エネルギー白書:122
- 6) 矢込堅太郎 (1983)、し尿汚泥の堆肥化技術、環境技術12巻9号:51-56
- 7) 杉本清美・大泉長治 (2002)、簡易・低コスト堆肥化施設の現地事例、千葉畜セ研報7号:47-52
- 8) (財) 畜産環境整備機構 (2004)、家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術:18、46-47
- 9) 石田泰之 (2013)、セメント製造における豚ふん堆肥の代替燃料化技術の検討、セメント・コンクリート799号:16-21
- 10) 渡辺博剛 (2012)、燃料としての豚ふん堆肥の活用-余剰堆肥の有効活用、生産コスト低減とCO₂削減を目指して、養豚の友517号:21-24