

# 生石灰処理による豚ふんの粒状肥料化(第1報) 製造方法及び製品の性質

宮崎成生・大村裕顕

摘要:豚ふんに生石灰を添加し、水分を40~49%に調整後、回転運動をかけるだけで粒状になった。これを水分10%以下に乾燥することにより、汚物感の少ない粒状豚ふん肥料になった。ふんの水分が75%の場合、生石灰の添加量は、ふん100kgあたり35kg程度であり、ふんの水分によって、生石灰の添加量を加減する必要があった。豚ふん(水分75%)100kgから粒状豚ふん肥料が約85kg製造された。製造時間は、生石灰とふんの反応に約1時間、粒化に3~4時間、そして、パイプハウスなどの自然乾燥で2~5日かかるが、乾燥機を用いれば1日で仕上がった。窒素、リン酸およびカリは、それぞれ1%、2%、1%程度であった。アルカリ分が50%程度で、肥料取締法上の石灰処理肥料に該当した。粒状豚ふん肥料の成分含有率は、多少変動があるが、生石灰の添加量により推計できた。粒状豚ふん肥料は、常温で長期間保管しても再吸湿や変質がなかった。機械によって効率的な施用が可能であった。生石灰添加時に急激に発生するアンモニアガスは、集塵機中の酸性溶液を通過させることによって捕集できた。生石灰処理法は、従来の堆肥化より安価な方法である。

キーワード:生石灰, 豚ふん, 粒状化, 石灰処理肥料, アンモニアガス

## Production of Granular Fertilizer from Pig Wastes by Mixing With Calcium Oxide

### I. Production Method and Quality of the Product

Naruo MIYAZAKI and Hiroaki OMURA

Summary: Pig wastes could be formed into granules by rotating them with calcium oxide after adjusting the water content to 40 - 49%. By drying these granules, we could get granular fertilizer without bad smell. The amount of calcium oxide needed to be added varied according to the water content of pig wastes. When the water content of pig wastes was 75%, the optimum amount of calcium oxide was 35kg per 100kg of wastes. 85kg of granular fertilizer was produced from 100kg of pig wastes with water content of 75%. It takes one hour for the reaction of pig wastes with calcium oxide, three to four hours for granulation, two to five days for drying by solar heat in a greenhouse. If we use a dryer, all process takes only one day. The content of nitrogen, phosphoric acid and potassium was about 1%, 2% and 1% respectively. Alkali content was about 50%. This means that it is classified into calcium treated fertilizer under Fertilizer Control Law. Although the nutrient content of this granular fertilizer varies, we can estimate it by the amount of calcium oxide added. The granular fertilizer could be kept for long time at the normal temperature without moisture absorption and quality changes. It could be applied by machine effectively. A large quantity of ammonia gas generated by the reaction of pig wastes with calcium oxide could be caught by acid solution using a dust collector. This method is more economical than the usual composting method.

Key words: calcium oxide, pig wastes, granulation, calcium treated fertilizer, ammonia gas

## I 結 言

畜産業は、経営規模の拡大が進んでいるが、中小規模のままの経営も存在する。大規模畜産は、効率的な堆肥化施設を持っているが、経営上も、立地上も耕種農業から遠ざかり、堆肥の広域流通が必須となっている。一方、中小規模畜産は、効率よい堆肥化施設を所有していない場合が多く、また、混住化の進展により家畜ふん処理に問題を抱えている。

家畜ふんの大部分は、堆肥として処理されている<sup>14)</sup>が、堆肥化には大規模な施設と広い面積を必要とし、処理に長時間を要する。また、堆肥は、品質の季節変動や保存による変質が起こりうる。堆肥や家畜ふんの広域流通には、品質の安定性あるいは取扱いの簡便性などが重要な指標となる。

そこで、岐阜県畜産試験場、三重県農業技術センター、愛知県農業総合試験場と栃木県農業試験場の4県共同で家畜ふん堆肥等の流通促進をめざして試験を行った<sup>2)</sup>。東海3県は家畜ふん堆肥を対象に、本県は家畜ふんを対象に、ハンドリング向上および品質安定を目的にした加工方法を検討した。その結果、豚ふんに生石灰を添加することによって簡易に粒状肥料を製造する技術を開発し、また、製品の成分組成および性質について明らかにしたので報告する。

なお、本稿の一部は、日本土壤肥料学会関東支部大会<sup>10)</sup>で報告した。

## II 試験方法

### 1. 製造方法

豚ふんに生石灰(顆粒苦土生石灰, アルカリ分100%, <溶性苦土30%), 大谷石粉(<2mm, 水分10%), 木炭粉(<2mm, 水分46%)を混合し、水分を調整した後、造粒した。混合および造粒には、飼料用攪拌機(容量500L)を用いた。異なる水分の豚ふんに対して生石灰の添加量を変え、造粒に適する水分の検討を50kg規模で行い、同時に、粒径分布を調べた。

### 2. 成分および崩壊性

供試試料として石灰添加量の異なる粒状豚ふん肥料を用いた。

水分は105℃加熱乾燥法で測定した。pHは1:5水浸出液をガラス電極法で、電気導電率(EC)は1:5水浸出液を伝導率計で測定した。全窒素はケルダール法、リン酸は乾式分解後モリブデン酸アンモニウム法により測定した。カリウム、カルシウムおよびマグネシウムは、乾式分解後原子吸光光度計で測定し、カルシウムおよびマグネ

シウムからアルカリ分を求めた<sup>13)</sup>。

水中崩壊性は、試料を水中に沈め一定期間ごとに硬度を測定し、その変化を表した。土中崩壊性は、水分50%, pH4.8の表層多腐植質黒ボク土(未耕地)に混和したものについて水中崩壊性と同様に行った。

### 3. 取扱性

粉塵の発生量は、1辺110cmの立方体の容器の天井部から試料1kgを投入し、投入直後から2分ごとに1分間粉塵数を容器側面よりレーザー粉塵計で測定し、市販の粒状肥料と比較した。

臭いは、アンモニア、低級脂肪酸および硫化水素について検討した。アンモニアはアンモニア態窒素の含有率で、低級脂肪酸は中和反応の理論を用いて、硫化水素は検知管による実測で評価した。

重量比は、原料および製品の重量を実測して求め、容積比も同様に行った。

破断強度は、引張り圧縮試験機を用い、幅5mmの台に試料を置き30mm/minで降下するV字型の刃によって破断した値を測定した。

耐久性は、ペレット飼料強度測定法に準じて行った<sup>9)</sup>。つまり、1分間の篩別によって得られた4mm大の試料500gを回転試験機に50rpm/minで10分間かけた後、再び4mmメッシュの篩に通し重量を比較した。

機械散布性は、直径4~8mm, 8~16mmの試料をブロードキャスターを用いて散布し、試料の散布分布および崩壊程度を調査した。

保管性は、30℃恒温、夏期に常温で袋詰めおよびバラ状態で0, 30, 60, 120日間保管し、カビの発生、破断強度および水分含有率を調べた。

### 4. アンモニアガス捕集

モデル実験として、0.01M 硫酸アンモニウム水溶液10mlに20gの生石灰を加え、消和反応が終わるまで(15分間)吸引し、捕集液(50ml)に通すことによりアンモニアガスを捕集した。捕集液は、蒸留水、硫酸溶液およびリン酸溶液を供試した。消和反応終了後、捕集液に捕集されたアンモニア量を測定することにより、アンモニア捕集率を求めた。また、捕集液のpHを測定した。

豚ふん50kg規模で粒状豚ふん肥料を製造し、発生するアンモニアガスの捕集を行った。アンモニアガスの捕集には集塵機を用い、中に希硫酸を入れた湿式法で捕集した。

### 5. 経済性

生石灰処理方法を養豚500頭規模(ふん日量1t産出)の畜産農家に導入した場合の機材購入費およびランニングコストを見積もり、また、製品の生産量から製造経費

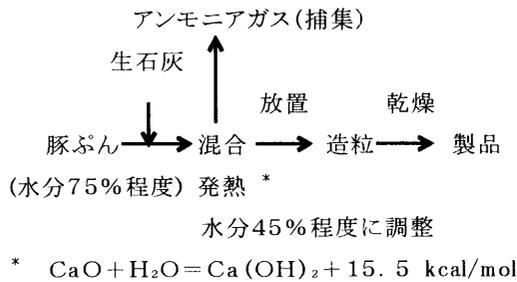
を算出し販売価格を検討した。

### Ⅲ 結果および考察

#### 1. 製造方法

豚ふんに生石灰等の資材を添加し、混和することで水分を減らすことができ、さらに、攪拌機で攪拌を続けると粒状になり、水分10%以下に乾燥して灰色の粒状肥料を製造した(第1図、写真1, 2)。ふんの水分調整は、水と生石灰との消和反応およびその反応熱を利用した。

豚ふんの水分(64~76%)はバラツキがあるが、生石



第1図 粒状豚ふん肥料の製造フローシート

灰の添加量を加減することにより造粒できた(第1表)。造粒に適する水分は40~49%であり、混合割合は新鮮な豚ふん(水分75%)100kgに対して生石灰35kgであった。豚ふんの水分が75%より高い場合は、生石灰の添加量をこれより増やし、低い場合は減らす必要があった。この条件で、ふんと生石灰が均一になるよう混合すれば、攪拌機による操作だけで直径2~8mmの粒状品になった(第2表)。また、生石灰添加後、消和反応のため、ふんの温度は60~70℃まで上昇し、30分程度継続した。本研究は50kg規模で行ったが、処理量を多くすれば、高温の時間がさらに長くなり、かつ、強アルカリとなることから、衛生上有害な微生物を滅菌できると考える。

製造時間は、消和反応に約1時間、粒化に3~4時間、そして、パイプハウスなどの自然乾燥で2~5日かかる。乾燥機を用いれば、1日で生ふんから製品に仕上がる。堆積発酵の場合、一般的に家畜ふん単独では約2カ月、稲わら、モミガラなど作物残渣との混合では約3カ月、オガクズ、パークなど木質資材との混合では6カ月程度必要とされる<sup>19)</sup>。生石灰処理法は、極めて短時間に家畜ふんを粒状品に加工できる。

大谷石粉、木炭粉は、脱臭あるいは土壌改良資材とし

第1表 資材の混合割合及び豚ふんの水分

処理No.	生石灰	大谷石粉	木炭粉	豚ふん	豚ふんの水分(%)
1	48 (24.4)	10 (5.1)	10 (5.1)	100 (51)	76.0
2	40 (20.2)	10 (5.1)	10 (5.1)	100 (51)	73.5
3	34 (17.0)	10 (5.0)	10 (5.0)	100 (50)	73.5
4	31 (19.6)	10 (6.3)	10 (6.3)	100 (63)	74.6
5	25 (12.5)	10 (5.1)	10 (5.1)	100 (51)	70.7
6	20 (10.2)	10 (5.2)	10 (5.2)	100 (52)	68.0
7	16 ( 8.0)	10 (5.0)	10 (5.0)	100 (50)	67.3
8	10 ( 4.5)	10 (4.5)	10 (4.5)	100 (45)	64.5

注) ふん100に対する資材の有姿重量比、( )は現物重kg

第2表 造粒時の水分及び粒径分布

肥料名	造粒時の水分(%)	粒径分布(%)			
		~2 mm	2~4 mm	4~8 mm	8 mm~
1. 粒状豚ふん4 8	39.9	8.4	34.2	39.0	18.3
2. 粒状豚ふん4 0	41.7	5.0	34.1	37.9	23.1
3. 粒状豚ふん3 4	40.7	0.9	2.8	85.1	11.2
4. 粒状豚ふん3 1	44.7	3.9	4.7	49.6	41.7
5. 粒状豚ふん2 5	47.1	3.2	15.0	63.0	18.8
6. 粒状豚ふん2 0	46.1	7.2	59.1	16.8	16.9
7. 粒状豚ふん1 6	48.0	4.8	13.6	65.9	15.7
8. 粒状豚ふん1 0	49.0	4.6	64.8	24.7	5.9

注) 肥料名は、ふん100に対する生石灰の混合比

て効果があるとされており、それらの効果を期待して添加した。大谷石粉等を添加しても造粒には影響なかった。これらの資材は、大谷石および木材を加工するときに発生し、廃棄物同士を組み合わせ付加価値の高い製品を製造することで、廃棄物の利用を高めるのに役立つ。

また、豚以外の畜種のふんについても、水分に応じて生石灰の添加量を変えることによって同様に対応できる。ただし、敷料物等造粒の妨げになるものを含む場合は、裁断や破碎等の前処理が必要となる。

発酵促進のための水分調整の目的で、または、殺菌、脱臭および防虫の目的で少量の生石灰を加えた後、堆肥化を行う方法が知られている<sup>7,9)</sup>が、本方法は、それとは発想が異なり、水分を減らすために生石灰を多量に添加し、堆肥の過程を経ず短時間で肥料にする新しい技術である。

## 2. 成分および崩壊性

粒状豚ふん肥料の成分組成は以下のとおりであった。生石灰の添加量にしたがってpH12~13の強アルカリ性となった。全窒素は1%程度で、生石灰の添加量にしたがい含有率は少なくなった。生ふんのアンモニア態窒素は、生石灰による強アルカリ化と反応熱によりガス化して揮散し、生ふんに比べ、アンモニア態窒素は激減した。硝酸態窒素はもともと少なく、窒素は、ほとんど有機態として存在していた。リン酸は約2%、カリウムは約1%であり、ともに生石灰の添加量に逆比例した。アルカリ分は生石灰の添加量に比例して高くなった。生豚ふん100に対して生石灰が16より多い場合、アルカリ分は25%を越え、肥料取締法上の石灰処理肥料に該当した<sup>9)</sup>。新鮮な豚ふん(水分75%)から粒状豚ふん肥料を製造した場合、アルカリ分は50%程度となり、炭酸カルシウム肥料と同等のアルカリ分を有する(第3表)。これらのことから、ふんと生石灰の混合比率により、成分含有量がある程度推定

ができるため、その都度成分の測定をする必要がない。堆肥の場合、たとえ添加資材が同一であっても、生物作用に依存しているため堆積時の気温や水分条件などにより品質が大きく変動する。しかし、粒状豚ふん肥料の場合、化学反応であり品質変動は主に生石灰の添加量の影響を強く受け、ふんと生石灰の量比で一定となるため成分が安定している。

直径4~8mmの粒状豚ふん肥料は、水に浸けた場合、数時間内に硬度が半減し(第2図)、成分が溶出してくるが、1カ月経過しても形は残っていた。畑条件下の水分の土壌と混和した場合は、粒状豚ふん肥料の硬度が半減するのに数日かかった(第3図)。直径4~8mmの粒状豚ふん肥料を畑に施用すると、1年後であっても形は確認できた。しかし、pHは施用時の12から10に低下し、ECは9.2mS/cmから0.7mS/cmに激減していた。つまり、畑土壌中では、粒状豚ふん肥料は、硬度が徐々に低下し長期間粒形をとどめるが、肥料成分はゆっくり溶出する。生石灰添加量は、粒状豚ふん肥料の硬度持続性に対する影響が小さく、いずれの量比であっても、畑土壌中で時間の経過にもなって同様に硬度が低下する。

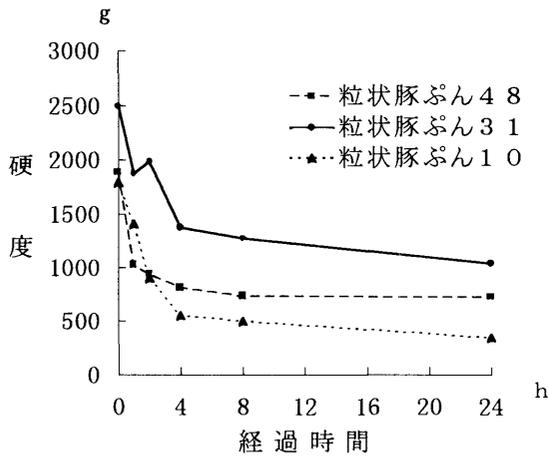
## 3. 取扱性

粒状豚ふん肥料の粉塵発生量は、粉塵測定機へ投入直後では市販の粒状炭酸カルシウム肥料および粒状消石灰より多かったが、投入後2分以降は粒状消石灰と同程度となった。また、粒状豚ふん肥料の粉塵は、生石灰の添加比率が小さいほうが早く低下した(第4図)。粒状豚ふん肥料は、散布等において粒状消石灰と同様な取扱いが可能である。

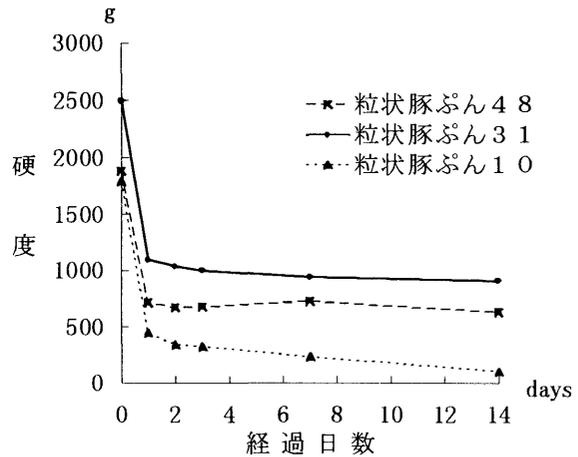
生豚ふんの臭いの主因は、アンモニアおよび低級脂肪酸である<sup>19)</sup>。生豚ふんはアンモニア態窒素の含有率が高くアンモニア臭が強いが、生石灰処理の過程での発熱およびpHの上昇により、多くのアンモニアは揮散し、

第3表 粒状豚ふん肥料の化学性

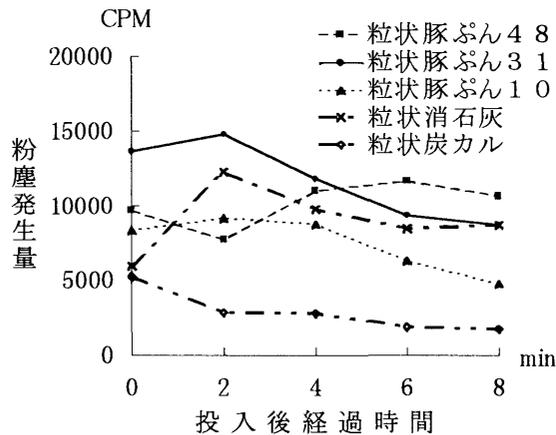
肥料名	水分 (%)	pH (1:5)	T-N (%)	NH4-N (mg/100g)	NO3-N (mg/100g)	P2O5 (%)	K2O (%)	アルカリ分 (%)
粒状豚ふん48	4.9	12.9	0.72	3.2	7.4	1.81	0.68	54.2
粒状豚ふん40	5.8	12.8	0.85	4.1	2.4	1.95	0.70	54.1
粒状豚ふん34	5.7	12.7	0.76	0.7	0.5	2.42	0.60	51.2
粒状豚ふん31	6.5	12.8	0.99	3.5	3.1	2.17	0.84	48.8
粒状豚ふん25	4.7	12.7	1.14	3.6	2.1	2.95	0.91	38.0
粒状豚ふん20	2.7	12.7	1.20	23.8	3.1	3.11	1.02	32.6
粒状豚ふん16	9.2	12.6	1.47	3.6	0.7	3.82	1.16	31.2
粒状豚ふん10	9.8	11.8	1.37	2.8	0.6	3.83	1.27	22.3
生豚ふん	74.1	6.8	3.41	1200	2.2	5.93	1.84	6.9



第2図 水中崩壊性



第3図 土中崩壊性



第4図 散布時の粉塵の発生量

注) CPMはレーザー粉塵計の1分あたりの計測値

粒状豚ふん肥料のアンモニア態窒素含有率は低く(第3表)臭いは少ない。低級脂肪酸は生石灰により中和され臭いの問題はなくなる。また、嫌気状態では、含硫黄タ

ンパク質の微生物分解により、ふんから硫化水素の発生が起こり悪臭の原因となる。豚ふんを袋に詰め数日間密封した場合、袋内の硫化水素濃度は25ppmであったが、生石灰添加後は硫化水素の発生はなかった。生石灰処理により高pH、低水分となるため、微生物の活動がなくなり硫化水素の発生はない。粒状豚ふん肥料にすることにより、臭いおよび汚物感が減り取扱性が向上する。

原料ふんに対する製品の重量比および容積比は、生石灰の添加量が増加するほど大きくなった。生豚ふん100に対する生石灰の添加比が40以下であれば、製品の重量は100以下になったが、容積比は粒となるため、いずれの場合も100を越えた(第4表)。水分75%の豚ふん100kg(100L)に生石灰35kgを加えると、重さ約85kg、容積約150Lの粒状豚ふん肥料ができる。生石灰処理法は減量率が小さく、大量処理には不向きである。

破断強度は2kg以上あり、生石灰添加比による傾向はなかった。ペレット飼料強度測定法による耐久性は90%程度であり、生石灰添加量の多い方が低かった(第4表)。

第4表 製品の物理性

肥料名	重量比	容積比	破断強度 (kg)	耐久性 (%)
粒状豚ふん48	106	180	2.40	87.0
粒状豚ふん40	99	168	3.93	86.2
粒状豚ふん34	—	—	5.73	91.2
粒状豚ふん31	85	146	5.97	96.8
粒状豚ふん25	77	139	4.24	93.3
粒状豚ふん20	72	125	3.28	89.3
粒状豚ふん16	—	—	4.01	95.3
粒状豚ふん10	65	110	3.28	95.1

注) 重量比 = 製品重量 / 原料ふん重量 × 100

容積比 = 製品容積 / 原料ふん容積 × 100

— は未測定

いずれの生石灰添加量の試料とも、崩壊はなかったが、4mm程度のものが多少の摩耗によって篩別され耐久性低下の原因となった。生石灰の添加量が多い方が摩耗に弱かった。豚ふんには未消化の飼料や消化酵素の構成物質あるいは微生物菌体等多くのタンパクが含まれている。豚ふん中の有機態窒素は乾物換算で3%程度、粗タンパクに換算すると約19%と計算される。タンパクを構成する物質には、乾燥や変性によって糊化するものが知られている<sup>6)</sup>。生石灰によるアルカリ化や熱変性等に

起因し、ふん自体が粒化の際に接着の役割を果たしていると考えられる。また、ふんに含まれる未消化の糖質も接着効果をおよぼしている<sup>15)</sup>と考えられる。生石灰添加比が多い場合、豚ふんの比率が下がるため接着効果が減少し、摩擦等に対する耐久性が低下したと推察する。本研究では、製品に含まれる豚ふん由来物の割合が、乾物換算で24~56%であった。この範囲では、豚ふんの比率が製品の耐久性に影響を与えたが、強度には影響しなかったと推定している。ペレット飼料強度測定法は、

第5表 粒状豚ふん肥料の散布分布及び崩壊割合

区名	分布割合(%)				崩壊割合(%)
	0	1	2	3 (m)	
直径 4~8mm	26.3	24.6	25.6	23.5	0
直径 8~16mm	27.3	30.7	29.8	12.2	0

注) 散布機の中心からの距離

第6表 条件の違いによる製品の保管性

区名	カビの発生				破断強度(kg)				水分(%)			
	0日	30日	60日	120日	0日	30日	60日	120日	0日	30日	60日	120日
30℃	-	-	-	-	4.79	4.77	4.86	5.30	5.7	5.2	4.5	4.8
インキュベート					(1.44)	(0.60)	(1.06)	(1.24)				
常温	-	-	-	-	4.79	5.50	4.85	4.61	5.7	6.7	6.7	8.8
袋詰め					(1.44)	(1.64)	(0.67)	(0.91)				
常温	-	-	-	-	4.79	4.84	5.27	5.26	5.7	5.6	4.1	5.6
バラ積み					(1.44)	(1.06)	(1.00)	(1.40)				

注) -は無発生,破断強度は破断試験10サンプルの平均値,( )は標準偏差

第7表 アンモニア捕集

区名	アンモニア捕集率(%)	捕集液のpH
蒸留水	38.3	8.4
0.001M 硫酸	52.3	7.8
0.01M 硫酸	84.0	2.2
0.1M 硫酸	77.1	1.2
0.001M リン酸	57.6	8.6
0.01M リン酸	90.0	2.6
0.1M リン酸	77.4	1.7

注) アンモニア捕集率=捕集したアンモニア量/生成したアンモニア量×100

第8表 粒状豚ふん肥料製造時のアンモニア含有量及び減少割合

製造段階	アンモニア含有量(g)	減少率(%)
生ふん	112.1	
↓		96.8
造粒終了時	7.8	
↓		3.2
乾燥終了時	4.4	

注) 生ふんは,産生後3 か月経過したものの,重量50.5kg,水分70.7%

ペレット飼料の流通適性をみるものであり、耐久性95%以上を基準としている。粒状豚ふん肥料は耐久性90%程度であるが、形状の違いおよび供試試料の直径を考慮すれば、運搬や積み重ねに耐え流通上問題ないと考える。

機械施用の場合、粒状豚ふん肥料は、いずれの直径の場合でも約6mの幅で均一に散布され、また、散布時の崩壊は生じなかった(第5表)。粒状豚ふん肥料は散布口を通る大きさであれば、市販の粒状肥料と同様にブロードキャスターでの散布が可能であった。

粒状豚ふん肥料は、長期間保管してもカビの発生はなく、時間の経過による破断強度の変化および水分含有率への影響はみられなかった(第6表)。ハエなどが発生することはなかった。

生石灰処理法で水分75%の豚ふんを粒状豚ふん肥料にすると、容積が増えるが重量はやや減る。粒状豚ふん肥料は臭気や汚物感が少なく、市販の粒状肥料程度の物理的強度を持つ。また、機械による効率的な散布が可能である。再吸湿や変質は全く認められないため、長期間保存ができる。そのため、毎日産出されるふんをその都度処理してしまえば、耕種農家が必要とする限られた時期まで安定した形で臭いやハエの発生もなく保管でき、畜産に起因する環境汚染問題発生が多くを占める悪臭関連および害虫関連問題<sup>11,18)</sup>の解決につながる。長距離輸送が可能となり広域流通が実現できる。

#### 4. アンモニアガス捕集

捕集液が蒸留水の場合、アンモニアの捕集率は38%と低かった。捕集液に硫酸およびリン酸を用いた場合、処理後捕集液が酸性であれば80%程度アンモニアは捕集され、アルカリ性になると捕集率は下がった(第7表)。このように、硫酸やリン酸等の酸性溶液によってアンモニアガスの捕集が可能であるが、中和すると捕集能力は低下した。効率的にアンモニアガスの捕集を行うためには、捕集液を常に酸性に保つ必要がある。硫酸は劇物であ

り、取扱いには注意を要するため、アンモニアの捕集用の酸性溶液としては、リン酸を用いたほうがよい。

粒状豚ふん肥料製造中のアンモニアガスの発生は、混合・造粒中に大部分が起こり、乾燥中にはほとんどなかった(第8表)。そのため、混合・造粒時に発生するアンモニアガスの捕集を行うことが重要である。混合・造粒中に発生するアンモニアガスおよび舞い上がる石灰の粉塵は、集塵機による湿式法で同時に捕集できた。この方法で悪臭及び粉塵の系外への排出を防止できる。

また、家畜ふんを堆肥化する場合、ふんに含まれている有機態窒素画分が無機態窒素に変化し、その一部はアンモニアガスおよび窒素ガスとなって揮散する。豚ふん中の窒素は堆肥化中に10%が消失するが<sup>1)</sup>、数カ月と長期にわたるため、その捕集は難しくほとんど行われていない。したがって、製造中のアンモニアによる環境負荷は、堆肥化に比べて生石灰による処理のほうがはるかに少ない。堆肥類は製品においても水分を含むため、再発酵等による窒素揮散があり得るが、生石灰処理による粒状肥料は水分が10%以下であり、長期間保管しても窒素は揮散しない。つまり、保管中においても、生石灰処理法はアンモニアによる環境負荷が堆肥化に比べ小さい。

#### 5. 経済性

豚ふんの処理日量1t(水分75%)を想定して試算した。この生石灰処理によるシステムは、混合・造粒機(容量5,500L)2,600千円、計量器(1t)730千円、集塵機1,200千円(ステンレス製)、乾燥用パイプハウス(100m<sup>2</sup>)200千円の組み合わせからなり、機材の入手価格は4,730千円である(第9表)。堆肥化の過程を経ないため、発酵処理施設は必要ない。

1日に要する生石灰量は約350kgであり、その費用は5千～7千円(1t入りフレコンバック15千～20千円)である。電気料金は、1日に約千円。混合・造粒中に発生するアンモニアガス約3kgをすべて捕集するには、リン酸約6kg

第9表 投資額の試算(建屋、光熱水用工事費を除く機材費)

機材名	標準	乾燥機等使用
混合・造粒機(飼料用攪拌機,容量5,500L)	2,600	2,600
計量器(1t)	730	730
集塵機(ステンレス製)	1,200	1,200
乾燥用パイプハウス(100m <sup>2</sup> )	200	
乾燥機		1,500
篩別機		500
粉碎機		1,000
合計	4,730	7,530

注) 単位 千円

第10表 維持経費(年間必要経費)

項目	標準	乾燥機等使用
施設償却費(5年償却)	851	1,355
生石灰	2,190	2,190
電気料金	365	665
脱臭用リン酸	584	584
合計	3,990	4,793

注) 1日1t処理, 単位 千円

が必要であり(第5図), 脱臭用リン酸液の経費は1日1,600円程度(89%工業用35kg8,000円)かかる。つまり, 1年間のランニングコストは, 生石灰2,190千円, 電気料金365千円, 脱臭用リン酸584千円であり, 合計3,139千円となる。



#### 第5図 アンモニアとリン酸の化学反応式

この粒状豚ふん肥料は, 粒状炭酸カルシウムと同等のアルカリ分, さらに, 窒素, リン酸, カリウムの三要素およびその他の有機画分を付加しているため, 粒状炭酸カルシウム肥料(350円/20kg)以上の価格設定が可能である。このシステムの年間必要経費は3,990千円で(第10表)粒状豚ふん肥料の年間産出量が310tであることから, 製品の製造経費は20kg260円となる。この価格には人件費, 地代は含まれていないが, これらを考慮しても販売可能な値になると考える。

さらにコスト削減のために, アンモニアガスの捕集方法を改良する必要がある。現在は, 集塵機中の酸性溶液にガスを通す方法でおこなっているが, 装置が高価なこと, 中和反応を利用しているために酸を多量に必要とすることなどから, 粒状豚ふん肥料の製造費用を騰貴させている。そのため, 今後, 安価で簡易なアンモニア捕集方法を開発する必要がある。

また, 短時間で乾燥する, 粒を揃えるなど必要があれば, 乾燥用パイプハウスの代わりに乾燥機1,500千円を用い, 篩別機200~500千円, 粉砕機500~1,000千円をシステムに加え, 機材の総費用は7,530千円になる(第9表)。年間のランニングコストはその電気料金300千円が上乘せされ, 3,439千円になる。この場合の年間必要経費は4,793千円となり(第10表), 粒状豚ふん肥料が年間310t生産されることから, 製品の製造経費は20kgで310円と試算される。

施設面積は140㎡, 乾燥機を用いた場合は40㎡と堆

肥化施設と比べて小さく済む。

家畜ふんは, 国内で年間約9,700万t産出すると推定されている<sup>3)</sup>。また, 栃木県においても年間約224万t, 1日約6,100tと推定され<sup>18)</sup>, 産業廃棄物の多くを占めている<sup>8,17)</sup>。

家畜ふんは肥料成分を多く含み, 1995年度に国内で発生した家畜ふんには, 原田の試算によると窒素が約76万t, リンが約12万t含まれていたことになる<sup>3)</sup>。これは化学肥料として国内で1年間に消費される窒素約59万t, リン約31万t<sup>12)</sup>と比較しても膨大な量であり, その有効利用を進めなければならない。家畜ふんの適切な処理を怠ると重大な環境問題になりかねない。

畜産に起因する環境汚染問題の発生状況は, 総発生件数は2,520件(1995年)で, 1973年の11,676件をピークに年々減少している<sup>11)</sup>。しかし, いずれの畜種においても経営の大規模化が進んでいる<sup>15)</sup>ため, 農家戸数あたりの環境汚染問題発生率は逆に増加しており, 個々の農家にとっての状況は深刻さを増している。特に, ふんの局所大量投棄等を原因とする水質汚濁は, 人目につかないところで進行する恐れがあり注意を要する。家畜ふん処理施設の整備および適切な利用が必要である。

経営規模拡大の一方で小規模層を中心とした飼養戸数の減少がある。養豚農家の場合その理由として, 経営の行き先不安, 後継者不足と並び環境問題の発生があげられている<sup>11)</sup>。今後環境問題を考慮した畜産経営が益々重要となる。それぞれの畜産農家が, その経営状況に応じてふんの処理方法を選べることが望ましい。従来のふん処理方法の普及や改良と同時に, 新しい方法が必要である。

生石灰処理方法は, 小面積で済むことや臭いの問題がなくなることから, ふんを野積みできない混住化の進んだ地域での利用に極めて向いている。一方, この処理方法は, 減量化はできないが, コストが少なく, ふん処理に経費をかけられない中小規模の畜産農家での導入が考えられる。できあがった製品は, 広域流通を介して畑作地域での使用が可能である。

## 謝 辞

本研究を遂行するにあたり、御指導いただいた農林水産省農業研究センター中村文夫氏、同原田靖生氏、農林水産省畜産試験場羽賀清典氏に感謝申し上げます。

## 引用文献

1. 青山正和・熊田恭一(1982)コンポストの腐熟過程における窒素形態変化能の推移. 土肥誌53:142-148.
2. 岐阜県・栃木県・三重県・愛知県(1997)家畜ふん尿堆肥の成型及びブレンドによる高付加価値化技術の確立. 平成6~8年度地域重要新技術開発促進事業研究成果報告書.
3. 原田靖生(1997)家畜ふん尿の環境保全的循環システムへの展望. 平成8年度家畜ふん尿処理利用研究会報告書:1-6.
4. Harry,B.Pfost (1963)Testing the Durability of Pelleted Feed. Feedstuffs :66-68.
5. 肥料協会新聞部(1991)肥料公定規格集:2.
6. 今堀和友・山川民夫監修(1990)生化学事典第2版. 東京化学同人 東京:816.
7. 石山英光・山下滋貴・井上尊尋(1984)家畜ふん尿の生石灰添加処理. 福岡農総試研報C-3:85-90.
8. 環境庁編(1997)平成9年版環境白書(各論):136.
9. 川野組男・実吉弘文・福元守衛(1983)家畜ふん尿の乾燥発酵に関する研究. 鹿児島畜試研報15:189-202.
10. 宮崎成生・大村裕顕(1997)石灰処理による家畜ふんの粒状肥料化—製造方法及び成分組成—. 土肥要旨集43:360.
11. 農林統計協会(1996)平成8年度図説農業白書:156-159, 199-201.
12. 農林水産省肥料機械課(1997)ポケット肥料要覧:9, 70.
13. 農林水産省農業技術研究所(1992)肥料分析法:1-53.
14. 農林水産省畜産局畜産経営課編(1993)平成5年度畜産経営の動向. 中央畜産会:212-229.
15. 農林水産省統計情報部(1992)畜産統計:8-20.
16. 玉虫文一ら編集(1977)岩波理化学事典第3版. 岩波東京:919-920.
17. 栃木県(1996)平成8年度版環境白書:76-80.
18. 栃木県農務部畜産課(1997)環境保全型畜産確立対策資料:1-4,33-38.
19. 栃木県畜産試験場(1997)悪臭防止対策の手引き:35-40.

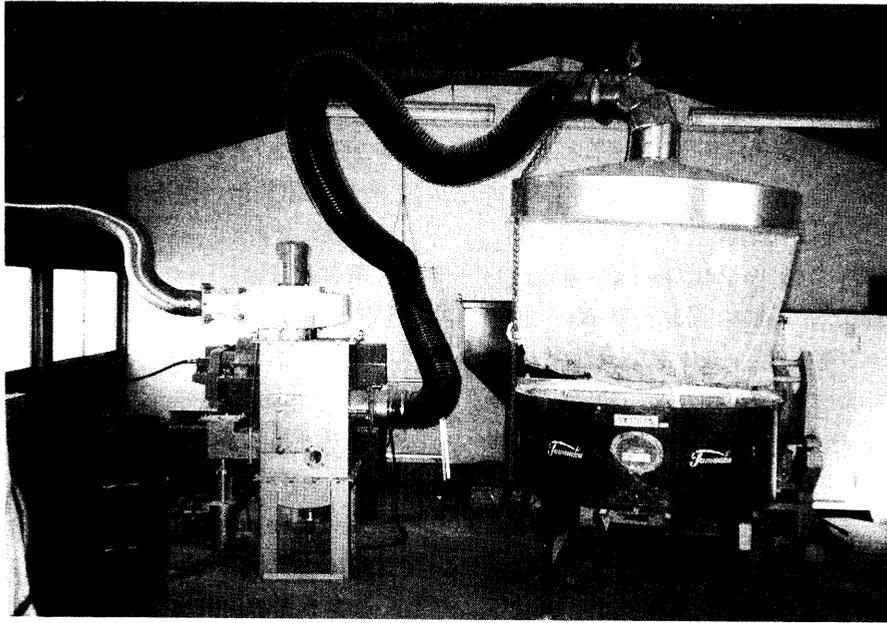


写真1 試験に用いた混合造粒機と脱臭用集塵機

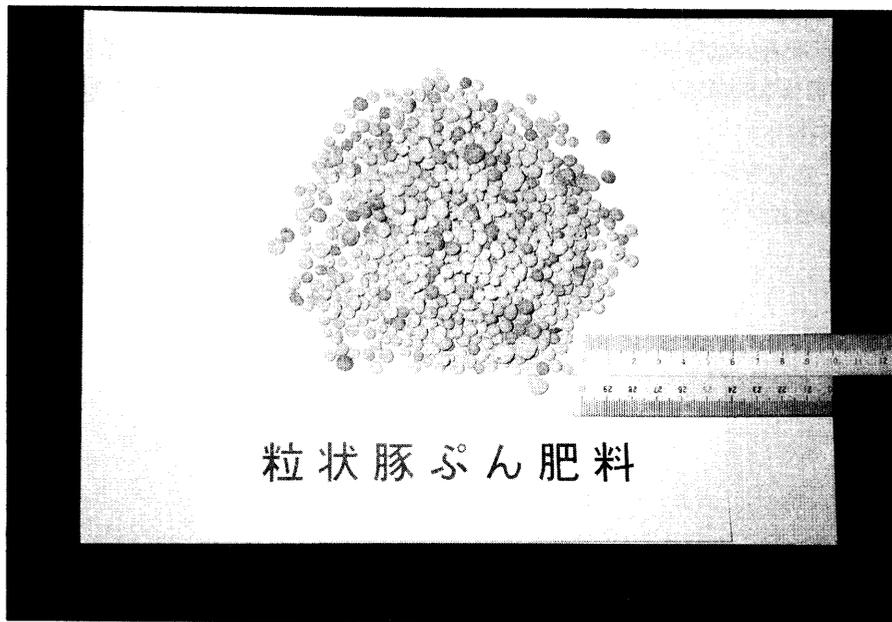


写真2 粒状豚ふん肥料