

1. 乳牛ふんの堆肥化方式と堆肥のペレット化

九州農業試験場 薬師堂 謙 一

1. はじめに

家畜ふん尿は、本来、肥料として、また、土壤改良材として使用できる貴重な有機質資材であるが、畜産経営の規模拡大やふん尿の偏在化等により、有効に活用されずに環境問題が生じている場面がみられる。特に、過剰施用に伴う水質汚染や飼料作物の品質劣化が問題となっている。

過剰施用を解消するには、個々の畜産農家で自己圃場にふん尿を適正に施用すると共に、余剰分のふん尿については堆肥化により取り扱いやすい形に処理し、耕種農家側に利用してもらう必要がある。しかしながら、現状では耕種農家に安心して使ってもらえる良質堆肥の生産ができていない畜産農家が多くみられる。また、地域的にふん尿が過剰で広域流通を行う必要のある場合には、単に良質堆肥を生産するだけでなく、耕種農家が化学肥料感覚で使用できるよう、各作物に合わせ腐熟程度や肥料成分の含有量を調整した成分調整堆肥や、さらに取り扱い性や肥効特性なども改善した成型堆肥を生産するなど、より耕種農家側が使いやすい形態にしてふん尿の流通化を促進する必要がある。

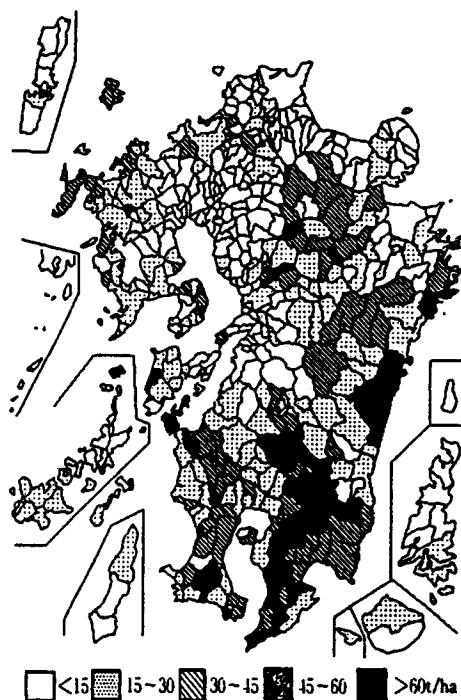
九州地域におけるふん尿産出量は全国の20%の1,800万t/年にのぼり、特に南九州地域への集中が著しく、県域を越えた広域流通化が急務となっている（第1図）。ふん尿の流通化に関しては、個々の農家レベルでの解決には限界があり、地域によっては他の市町村に流通させざるをえない場面も生じる。したがって、地域の農協や市町村や県、地方農政局や試験場など、関係機関が連絡を密にし問題の解決に当たる必要があろう。

2. 乳牛ふんの堆肥化方式

良質堆肥に求められる主な条件は、①十分に腐熟していること、②汚物感のないこと、③取り扱いやすいこと、④雑草の発生や細菌の問題がないこと、⑤肥料成分が一定していること、⑥塩類濃度が高すぎないことである。この条件の内①～④は堆肥発酵の良否により決定される。

また、堆肥発酵は、好気性で好温性の微生物群が中心となりふんや副資材に含まれている有機物を分解していく発酵である。したがって、堆肥発酵を適正に管理するには、これらの微生物群が活動しやすいよう①堆肥材料の水分の適正化、②堆肥材料の通気性の確保、③通気量の適正化、④発酵温度の維持の4条件を整える必要がある。しかしながら、実際の堆肥舎で生産されている堆肥は、発酵途中に過乾燥になり発酵が遅延したり、材料水分過多による通気不良や、通気量の過不足による発酵遅延などが起こっており、適正な発酵管理指針を明らかにする必要がある。

そこで、乳牛ふんについて近年の副資材費の高騰や入手難から副資材を使わないでハウス予乾し堆肥化する場合（第2図）の堆肥化条件を明らかにすると共に、乳牛ふんについてモミガラとオガクズを副資材とした場

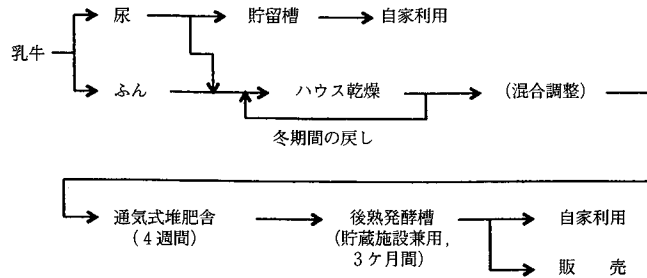


第1図 市町村別の全耕地への平均ふん尿還元量
(九農試験官部藤森氏のソフトで作成)

合の堆肥化条件を明らかにした。

1) 試験方法

ハウス予乾乳牛ふんの堆肥化開始時の適正な水分範囲と通気量を求めるため、発酵容積 1.8m³（底面積 1m²、堆積高さ 1.8m）の試験発酵槽 3 基を用い発酵試験を行った。供試材料は、ハウス乾燥した乾燥乳牛ふんと生乳牛ふん（副尿溝で尿を分離したもの）を含水率 65%～73%の範囲で混合したものを使用した。通気量は、まず



第 2 図 ハウス予乾乳牛ふんの堆肥化システムフロー

有機物の分解速度に応じた基本的な通気量を明らかにするため、排気中の炭酸ガス濃度が 2.5, 3.5, 4.5% になるよう連続的に制御して発酵試験を行った。発酵槽への入気温度は 40℃ とし、発酵期間は 4 週間で 1 週毎に切り返しを行い、炭酸ガス発生量、通気量、堆肥温度（測定位置は底から 20, 50, 80, 110, 140, 160cm）水分蒸散量、有機物分解率、堆積高さ、堆肥重量の変化を測定した。また、生乳牛ふんとモミガラ、オガクズをそれぞれ 5 : 1 に混合した材料で同様の試験を行った。

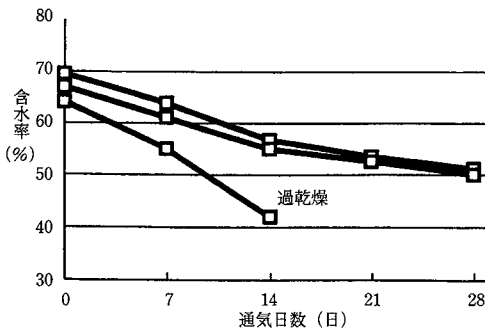
つぎに、実際の通気式堆肥舎では 1 週単位でブロワの通気量を調節する方が現実的であるので、ハウス予乾乳牛ふんについて最も有機物分解率の高かった 3.5% 区の 1 週毎の平均通気量を標準区とし、その他にこの 1.4 倍区と半量区を設け、週毎に通気量を変えて堆肥化試験を行った。

2) ハウス予乾乳牛ふんの堆肥化適正水分範囲と適正通気量

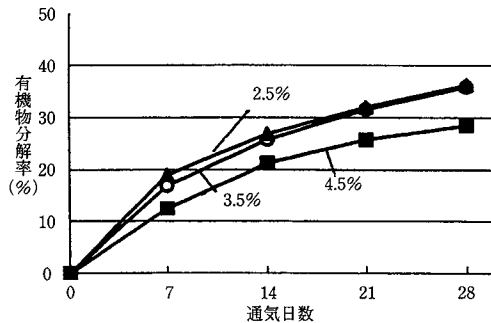
ハウス乾燥終了時の乳牛ふんの適正含水率は 67～70% の範囲であった。70% を越えると堆肥材料のかさ密度が 700kg/m³ を越え、排汁や通気不良から嫌気発酵部分が発生し、含水率が 66% 以下になると発酵熱による水分蒸散のため、加水しなければ過乾燥による発酵遅延の問題が発生した（第 3 図）。

排気中の炭酸ガス濃度で通気量を制御した場合の有機物分解率の変化を第 4 図に示す。1 週目での有機物分解率は 2.5% 区で 18.9%, 3.5% 区で 16.8%, 4.5% 区で 12.4% となり、排気中の炭酸ガス濃度の低い区（通気量の多い区）ほど有機物分解率が高くなった。2 週目以降は 2.5% 区と 3.5% 区の分解率の差がほとんどなくなるが、4.5% 区の分解率は低く推移し、最終の 4 週目の分解率はそれぞれ 36.3, 35.9, 28.5% となった。発酵期間中の投入堆肥材料 1 t 当たりの水分蒸散量は、494～500kg であり各区とも差がなかった。

週毎に通気量を変えた場合の標準区の温度変化を第 5 図に、各区の有機物分解率を第 6 図に示す。標準区の堆肥温度は 3 週目までは 50～140cm の範囲では 60～75℃ の温度域を推移するが、4 週目には低下した。また、有機物分解率は 1 週目は 1.4 倍区が 20.5%、標準区が 16.8%、半量区が 13.3% であり、1.4 倍区が標準

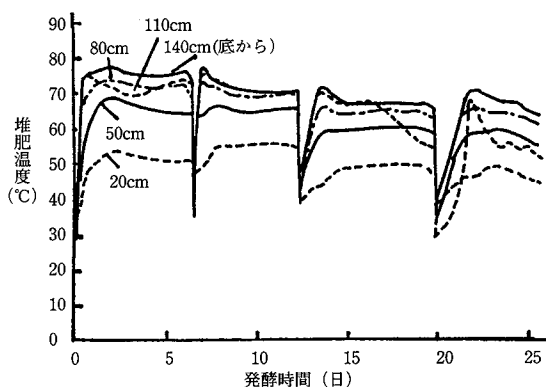


第 3 図 初期水分別の堆肥発酵中の水分変化

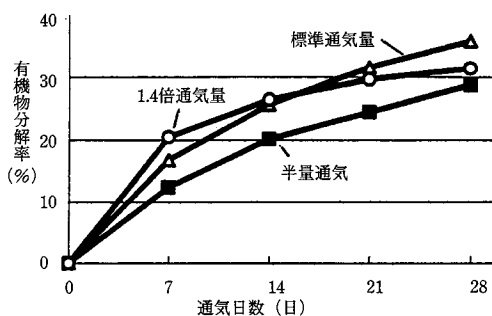


第 4 図 排気中の炭酸ガス濃度と有機物分解率

区を上回るが3週目に逆転し、4週目では1.4倍区が31.4%、標準区が35.9%、半量区が28.8%と標準区の分解率が最も大きくなった。なお、半量区では標準区の4週目の分解率に到達するのに6週間を要した。1次発酵(高温発酵)の所要期間は、週1回の切り返しで4週間であり、適正通気量は堆肥化開始時の堆肥容積 1 m^3 当たり1週目が $80\text{ L}/\text{min}$ 、2週目が $46\text{ L}/\text{min}$ 、3週目が $33\text{ L}/\text{min}$ 、4週目が $30\text{ L}/\text{min}$ であった。本条件で、堆肥発酵中に有機質の36%が分解し安定化した。



第5図 標準通気区における堆肥温度の変化



第6図 通気量と有機物分解率

3) 乳牛ふん+モミガラ混合物の適正通気量

乳牛ふんモミガラ堆肥の適正通気量は堆肥化開始時の堆肥容積 1 m^3 当たり1週目が $75\text{ L}/\text{min}$ 、2週目が $43\text{ L}/\text{min}$ 、3週目が $35\text{ L}/\text{min}$ 、4週目が $28\text{ L}/\text{min}$ であった。4週間の堆肥発酵中に有機質の33.6%が分解し安定化した。堆肥化開始時の含水率は72.8%であり、4週目には64.3%まで低下した。なお、牛ふんモミガラ戻し堆肥を副資材の半量使用する方式では、モミガラだけを使用する場合に比べ有機物分解率が33.6%から41.1%に、水分除去量が $396\text{ kg}/\text{t}$ (投入)から $509\text{ kg}/\text{t}$ (投入)に増加し、戻し堆肥による菌添加効果により発酵が促進されることが分かった。

4) 乳牛ふん+オガクズ混合物の適正通気量

乳牛ふんオガクズ堆肥の適正通気量は堆肥化開始時の堆肥容積 1 m^3 当たり1週目が $56\text{ L}/\text{min}$ 、2週目が $33\text{ L}/\text{min}$ 、3週目が $29\text{ L}/\text{min}$ 、4週目が $28\text{ L}/\text{min}$ であった。4週間の堆肥発酵中に有機質の26.3%が分解し安定化した。また、堆肥化開始時の含水率は73.7%であり、4週目には64.0%まで低下した。

3. 堆肥のペレット化

1) 堆肥の成型処理の利点

成型堆肥には処理のための労力とコストがかかる反面、貯蔵性や輸送性、散布性や肥効パターンの変更などの改善効果がある。九州地域では、今後も堆肥化施設の整備が急速に進むため、堆肥の使用量も増加させる必要がある。従来は良質堆肥生産だけでは、大幅な堆肥利用量の増加は見込めないことから、今後は、散布しやすく化学肥料感覚で利用できる成分調整や成型化処理を進めることが重要になってくると考えられる。

① 貯蔵容積の減少

堆肥の利用時期は春と秋に集中するため、最大で5~6カ月間程度の製品の貯蔵容積が必要となる。成型処理では乾燥と圧縮成型の2つの処理を行うため、堆肥のまま(水分50%)で貯蔵する場合に比べ、貯蔵必要容積が約40%に減少する。

② 輸送性の改善

広域流通の場合は輸送コストが問題となる。成型処理により、堆肥のまま運搬する場合に比べ重量が約45%(堆肥の水分60%)~60%(堆肥の水分48%)に減少するので、陸送の場合は重量減少の分だけ輸送コ

ストが低減する。また、船舶で輸送する場合は、容積で輸送費が決まるため、容積減少の分だけ輸送コストが低減する。

③ 貯蔵中の成分の均質性

成型処理では貯蔵中のカビ発生防止のため、材料水分を15%以下まで低下させる。このため、成型終了時の品質を維持する。成型物を袋詰めしないでバラで貯蔵する場合でも水分吸収によるカビの発生はない。

特に、成分調整を行ってから成型した場合には、搬送中の振動による混合物の分離などが懸念されるが、成型処理を行った場合は分離の問題は発生せず均質なままである。

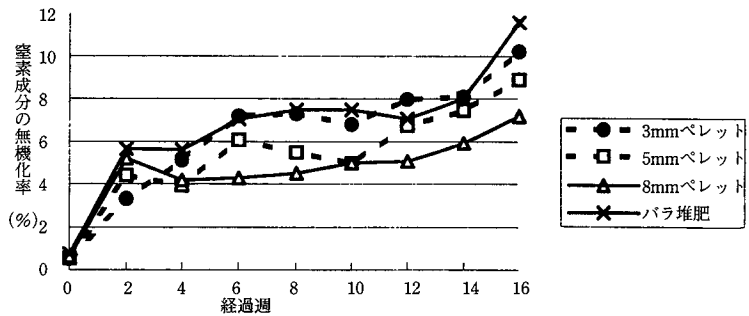
④ 散布性の改善

成型処理をした場合、同一成分量で単位面積当たりの散布量は、堆肥をそのまま散布する場合に比べ45～60%に減少する。また、堆肥散布ではマニュアルスプレッダが必要となるが、成型処理により形状も均一になっているので、耕種農家の保有するライムソフ（石灰散布機）やプロードキャストで散布でき、ハウス内などの狭い場所での散布も容易になる。

さらに、粉塵の発生も少なく悪臭の発生もない。

⑤ 肥効の均質性

堆肥は成型処理までの過程で攪拌混合されるため、成型堆肥中の成分含量はほぼ均質なものとなっている。また、ペレットの大きさにより一定の肥効パターンを示すので、栽培する植物の吸収パターン別に形状を選択することができる（第7図）。



第7図 牛ふん堆肥と成型物の窒素放出パターン

2) 成型方式

成型機には水分30～40%の中水分域を対象としたエクストルーダ方式（1軸または2軸のスクリー押し出し方式）と、20～30%の低水分域を対象としたローラ+ダイ方式がある。また、ローラ+ダイ方式には、ローラ（歯車）+ディスクダイ（多孔平板）を組み合わせた方式と、ローラ+リングダイ（多孔リング）を組み合わせた方式、2つのリングダイがかみ合って材料を押し出すダブルダイス方式の3通りがある。

九州農試では、最終製品の水分を15%以下にするため仕上げ乾燥の容易な低水分域の成型方式とし、成型圧力が調整でき、万が一ディスクダイの穴に材料が詰まった場合にも掃除が比較的容易という特徴があるローラ+ディスクダイ方式の成型機を使用している。成型ペレットの直径はライムソフやプロードキャストでも散布できるよう3, 5, 8mmの3種類とし、ペレット長はそれぞれ5, 6, 9mmである。また、成型材料は石の混入による故障を防ぐと共に、成分調整の時の混合性を良くするため2mmの篩を通過したのもだけを使用している。

3) 成型性能

成型性能は、オガクズやモミガラ等の副資材の量、成型時の材料粒度、石の混入、材料水分、堆肥の畜種、成型サイズ等により変化する。また、畜種別の成型性では豚>牛>採卵鶏の順で、特に採卵鶏の堆肥の成型性は悪い。また、オガクズやモミガラが副資材に入っている場合には成型性が悪くなるので、なるべくふんの含量の多い堆肥を使うことが望ましい。副資材の含量が多いことは、同時に施用量が増えることでもあり、できるだけ成分濃度の高い堆肥を使う方がコスト的に有利である。

乳牛ふん堆肥について材料水分(20～30%)、成型サイズ、有効加圧長(穴径の2, 3倍)別に成型試験を行った結果、材料水分が20%では成型時に投入部で粉塵が多量に発生すると共に目詰まりが生じ、30%では材料のこね回しが発生し材料供給の自動制御が難しくなるため、適正水分は22.5～27.5%の範囲であると考えら

れた。また、成型速度は材料水分が多く加圧長の短い方が速くなるが、ペレット強度は逆の関係になる。

なお、窒素成分の調整用に油粕を使用する場合は、家畜ふんと油粕の重量比が2:1以上、ディスクダイの有効加圧長が穴径の3倍以上で成型可能となる。また、油粕を混合するとより低水分で成型が可能であり、成型速度も速くなるので成型コストを低減することができる。

4) 成分調整・成型堆肥の施用技術

通常の堆肥施用と同様に、成型堆肥の施用量もN、P、K各成分の含有化学肥料換算量に基づき、N、P、Kのどれか一成分が施肥量に達する量で成型堆肥の施用量を決定する。不足分は化学肥料で補うか、成分調整の段階で油粕や骨粉等との混合を行い成分バランスを調整する。

九州農試では、大豆とパン用小麦について牛ふん、豚ふん、鶏ふんの単独とこれらの混合物の成分調整成型堆肥による栽培試験を実施しているが、生育に差はなく、化学肥料区と同等以上の収量が得られている。なお、他の作物については、福岡県、熊本県、鹿児島県と地域基幹研究で連携して栽培試験を実施しており、順次作物別の使用資材の最適混合割合を明らかにしていく予定である。

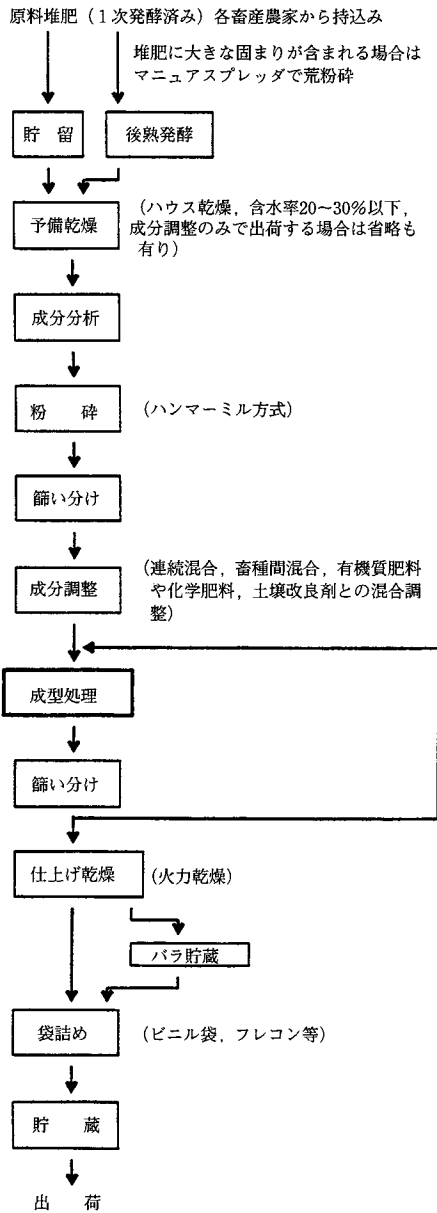
畜ふんのみで作った成型堆肥の場合、低窒素施用量の大豆での成型堆肥の施用量は120～300kg/10a、その他の作物では400～600kg/10aの施用量である。通常の堆肥に比べて施用量が少ないので、全面散布ではなく条施用が効率的である。施用量が200kg/10a未満の場合でペレット径が3mmの場合には化学肥料の繰り出し装置がそのまま利用できる。ペレット径が5mm以上と大きくなる場合と施用量が多い場合にはライムソフの利用が適する。なお、畝間隔が広い場合の条施用については、スクリー式等の肥料繰り出し方式への改造を検討する必要がある。

5) 成分調整・成型堆肥の生産コストと流通

成分調整・成型堆肥の生産システムと年生産3,000t規模の場合の試算例を第8図、第1表に示す。生ふんから処理する大型の堆肥センターは近年地域住民の反対等により建設しづらいため、畜産農家で堆肥の1次発酵（高温発酵）までを終了させ、堆肥の2次発酵（後熟発酵）から乾燥・成型処理、貯蔵までを一つの処理センターで行う方式とした。後熟発酵以降の処理経費は成分調整成型処理を行う場合で成型製品1kg当たり11～12円のコストとなる。一方、成型を行わずに堆肥のまま貯蔵して出荷する場合の処理経費は成型製品1kg換算で9.6円のコスト（現物1kg当たり5.6円）であり、成型処理との差は1kg当たり1.6～2.6円である。

輸送コストは、10t車で100kmの場合で3,500円/t、200kmで6,500円/tであり、成型品の実質的な輸送量が堆肥のままのものより2倍近くあることから、広域流通を行う場合には成分調整・成型処理のコストは十分回収できると考えられる。

第 8 図 成型堆肥生産のフローチャート



第 1 表 成分調整・成型堆肥と従来型堆肥の製造コストの試算例

	成分調整	成型堆肥	従来型堆肥
堆肥搬入量 (ノ年)	6,000 t	6,000 t	6,000 t
製品出荷量 (ノ年)	3,000 t	5,100 t	5,100 t
後熟発酵期間	3 ヶ月	3 ヶ月	3 ヶ月
製品貯蔵期間	5 ヶ月	5 ヶ月	5 ヶ月
製品かさ密度	700kg/m ³	450kg/m ³	
製品堆積高さ	2m	2.5m	
堆肥搬入時水分	55 ~ 60%	55 ~ 60%	
製品出荷時水分	15%以下	50%	
施設稼働日数	300 日ノ年	300 日ノ年	
製品製造能力	10 tノ日	17 tノ日	
施設面積			
後熟発酵施設	1,850m ²	1,850m ²	
ハウス乾燥施設	1,800m ²	0m ²	
成型堆肥製造施設	500m ²	0m ²	
堆肥貯蔵施設	980m ²	2,450m ²	
施設費			
後熟発酵施設	5,350 万円	5,350 万円	
ハウス乾燥施設	3,000 万円	0 万円	
成型堆肥製造施設	2,740 万円	0 万円	
成型堆肥貯蔵施設	3,300 万円	8,250 万円	
管理棟他	600 万円	600 万円	
外回り工事他	1,210 万円	1,210 万円	
電気, 水道工事費	800 万円	800 万円	
施設費合計	17,000 万円	16,210 万円	
設備機器関係費			
ハウス乾燥関係	660 万円	0 万円	
粉碎施設関係	800 万円	0 万円	
成分調整混合関係	750 万円	0 万円	
成型機械関係	1,600 万円	0 万円	
仕上げ乾燥関係	1,200 万円	0 万円	
荷役運搬関係	1,000 万円	2,500 万円	
設備機器合計	6,000 万円	2,500 万円	
製造コスト			
人件費	1,250 万円	1,550 万円	
固定資産税	290 万円	236 万円	
減価償却費 利息	821 万円	614 万円	
電気代	380 万円	100 万円	
燃料代	190 万円	250 万円	
修理 消耗品費	300 ~ 600 万円	115 万円	
合 計	3,346 ~ 3,646 万円	2,865 万円	
	11.1 ~ 12.1 円ノkg	5.6 円ノkg	

注) 補助率を 2/3 として計算した