

堆肥の耕種利用の拡大について

農研機構畜産研究部門
田中章浩

経済安全保障推進法に基づく特定重要物資

肥料が経済安全保障推進法に基づく特定重要物資として指定（R4）

- 肥料の不足により、国民へのカロリー供給源として不可欠な米・麦などの穀物をはじめとする農作物の収量の維持が困難となり、**食料の安定供給に重大な影響が及ぶ可能性**がある。
- 特定国からの**肥料原料の供給量が減少し、需給がひっ迫した場合も肥料生産を継続し得る環境を構築**する。



化学肥料出荷量から試算した三要素成分量

表 化学肥料の出荷量（全国）

全国肥料商連合会ホームページより引用

項目	硫安 (t)	尿素 (t)	硝安 (t)	塩安 (t)	石灰窒素 (t)	高度化成 14-14-14 (t)	NK化成 16-20 (t)	過磷酸 石灰 (t)	ようりん (t)	普通化成 8-8-8 (t)	塩化加里 (t)	硫酸加里 (t)	合計 (万t)
19肥料年度	130,544	21,661	1,910	2,507	50,009	853,842	46,835	34,359	43,633	285,339	8,889	4,767	148

高度化成：三要素の成分量の合計が30%以上
普通化成：三要素の成分量の合計が30%未満

日本の化学肥料利用量は約148万t

化学肥料中の三要素成分を試算

化学肥料中の推定成分量		
窒素 (t-N/年)	リン酸 (t-P ₂ O ₅ /年)	カリ (t-K ₂ O/年)
206,469	155,967	152,676

高度化成：14-14-14、普通化成：8：8：8、NK化成：16-20として算出



窒素21万t、リン酸16万t、カリ15万t

2

化学肥料原料不足を解決する国内肥料資源活用

- 海外肥料原料に依存する食料安全保障上の課題解決に向けて、**国内肥料資源の循環利活用を最大化し、肥料自給率を15%向上させる（目標40%）。**
- **家畜排せつ物や下水汚泥からの肥料成分の回収と利用を加速化する。**
- メタン発酵や直接燃焼等のエネルギー化と堆肥化を組み合わせて、**国内肥料資源の利用率の最大化を図る。**

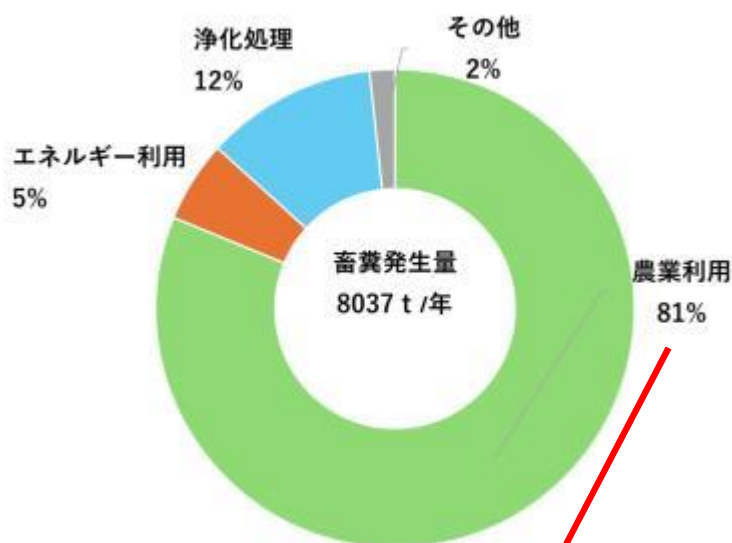
食料安全保障強化政策大綱に基づく国内肥料資源の最大利用化



3

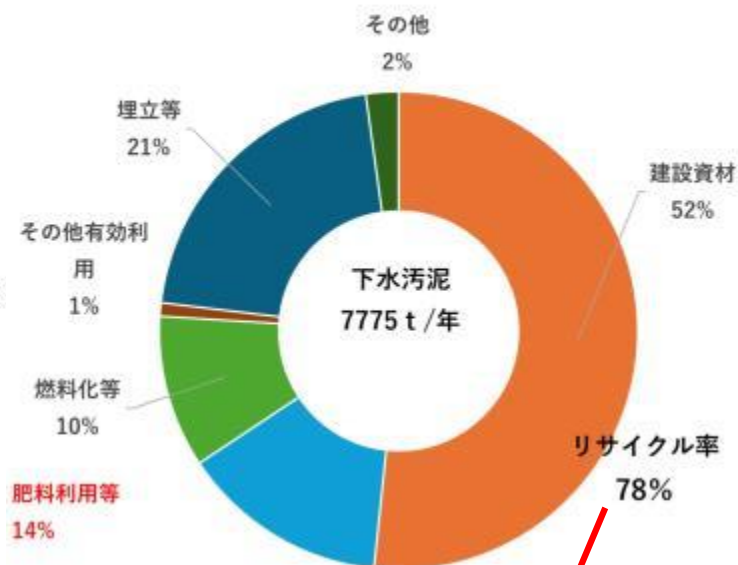
家畜排せつ物と下水汚泥の2030年目標利用率

家畜排せつ物の利用状況



2030年の目標
利用率
90%

下水汚泥リサイクル率



2030年の目標
利用率
85%

4

堆肥とは何か？

堆肥とは、
わら、もみガラ、樹皮、動物の排せつ物その他の
有機質物（*汚泥及び魚介類の臓器を除く。）を
たい積又は攪拌し、**腐熟**させたものをいう。

（*わが国の法律上の定義）

腐熟とは、**地力の維持・増強**を目的として
有機質資材を農業利用する場合に、あらかじめその有機質資材を処理して、微生物の作用によりある程度まで腐朽（腐って形が崩れること）させておくことである。

（畜産環境整備機構編, 前田, 2022）

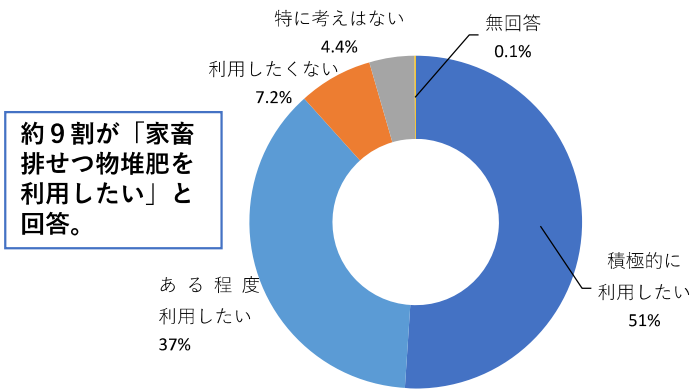


➔ 農業利用に必要な要件

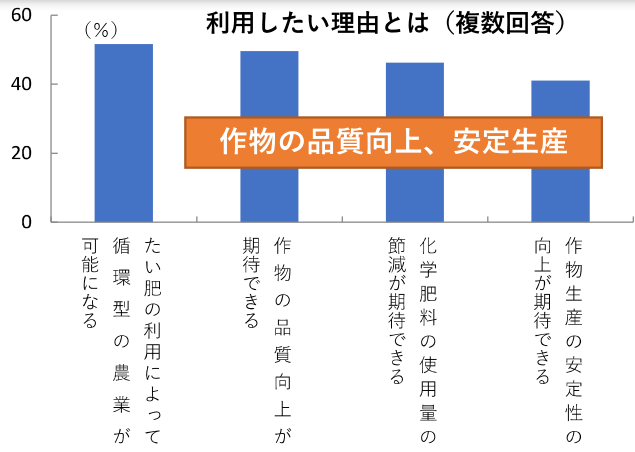
5

堆肥利用に関する農業者の意識・意向調査

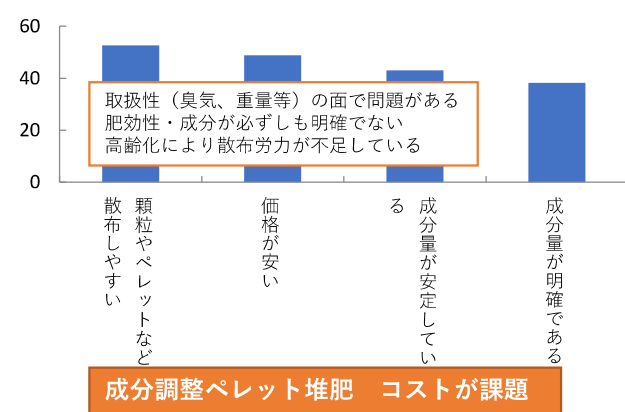
家畜排せつ物堆肥の今後の利用に関する意向



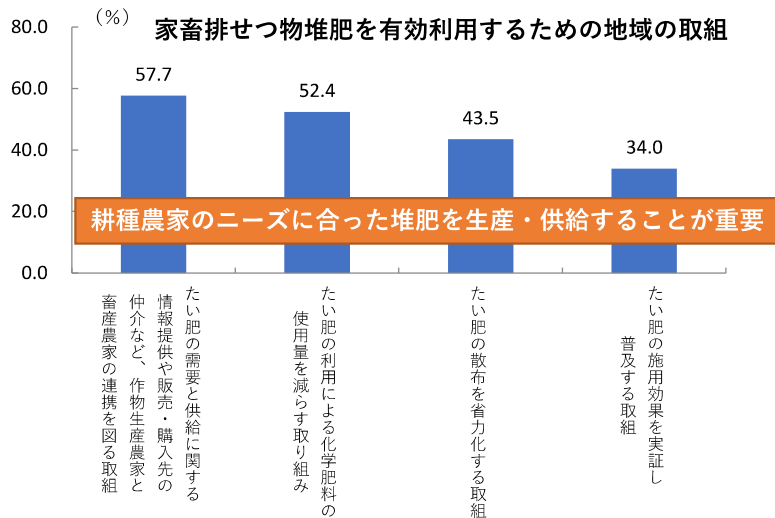
利用したい理由とは（複数回答）



今後利用したい排せつ物堆肥とは（複数回答）



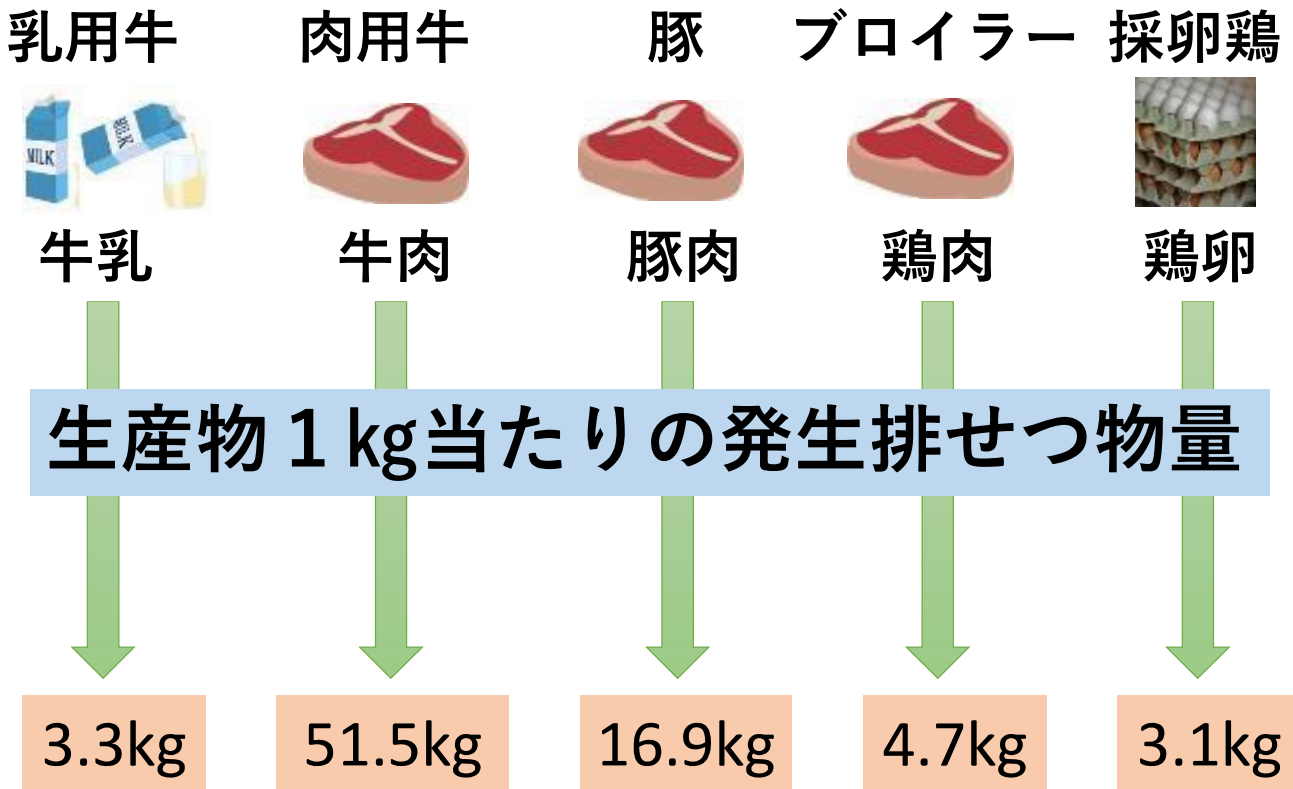
家畜排せつ物堆肥を有効利用するための地域の取組



家畜の1日当たりの排せつ物量

畜種	排泄物量 ⁺			含水率 ⁺⁺ (%)
	糞 (kg/日/頭)	尿 (kg/日/頭)	糞尿合計 (kg/日/頭)	
乳牛	45.5	13.4	58.9	80.1
肉牛	18.6	6.8	25.4	80.1
豚	2.1	3.8	5.9	69.4
採卵鶏	0.136		0.136	63.7
ブロイラー	0.130		0.130	40.4

生産物 1 kg 当たり発生排せつ物量

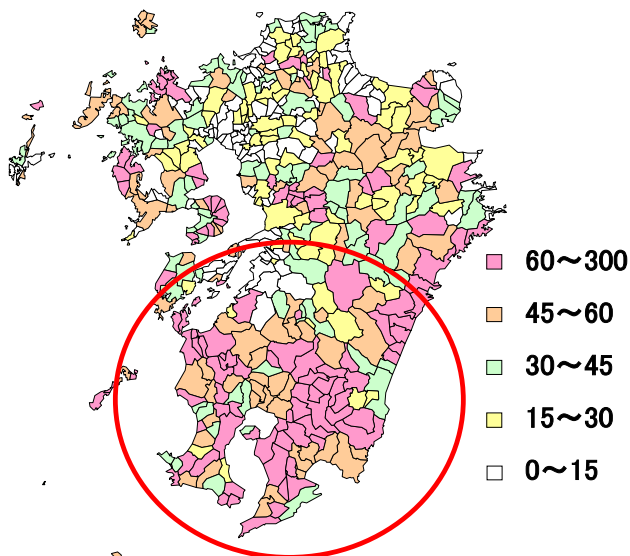


8

背景

我が国では約8000万tの糞尿が農地へ施用されています。九州では畜産業が集中し、全国の約2割の家畜排せつ物が農地へ過剰施用されています。

家畜ふん尿(生)の負荷量収穫延べ面積 (t/ha/作)



還元可能量: 水稲20~30t/ha/作、野菜30~45t/ha/作
飼料作物60t/ha/作
45t/ha/作以上の場合160市町村以上

過剰施用を解消するには



- ・個々の畜産農家で自己圃場に糞尿を適正に施用する。
- ・余剰糞尿を堆肥化等で取り扱いやすい形に処理し、耕種農家に利用してもらう。

堆肥利用促進には？

耕種農家が欲しがる堆肥作り



良質堆肥生産が必要不可欠

9

堆肥化

堆肥化の目的としては、主に次の3つがあります。

- ・家畜糞を取り扱い易いものにする。
- ・土壌・作物に対して安全な物にする。
- ・土壌・作物に対して有効である物にする。

堆肥化条件

堆肥化の主役は好気性微生物であり、堆肥化条件として好気性微生物が活動しやすい条件を整えることが重要です。

堆肥化条件としては

- ①栄養分、
- ②酸素、
- ③水分、
- ④微生物、
- ⑤温度、
- ⑥期間

が挙げられます。

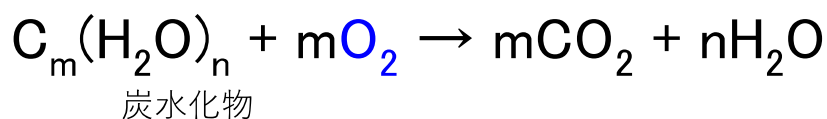


10

堆肥化における分解過程

生分解性有機物:

炭水化物:

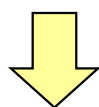


脂肪とたんぱく質:



脂肪 (Nは含まれない)

とたんぱく質



アンモニア

堆肥化で問題となるNH₃ はたんぱく質の分解から発生

微生物は C₅H₇NO₂ (C/N=4.3)と表せる。

11

腐熟の必要性 C/N比の影響（窒素飢餓）

- C/N比が大きい有機性廃棄物を施肥すると、炭素Cが土壌中の窒素Nと反応し消費してしまう。（窒素飢餓）

窒素飢餓はC/N比が約20以上で発生

- 堆肥化の有機物分解率はC/N比に影響され、10～30の材料で比較的良好
 - 糞のC/N比：牛16、豚11、鶏6程度
 - 副資材：稲わら50、麦わら70、おがくずやバーク130～140程度

例：牛糞：おがくず = 4 : 1、 $C/N = (4 \times 16 + 140 \times 1) \div 5 = 41$



堆肥化を行いC/N比を小さくすることが必要

おがくずやバーク等の木質は広葉樹等一部を除いて難分解性であり、土壌中においても急激な分解を示さないため窒素飢餓の危険性は低い。

12

堆肥化

栄養分

家畜糞尿には乾物重当り80%の有機物が含まれ、易分解性有機物の割合が高く、**十分な栄養分**が含まれている。

酸素

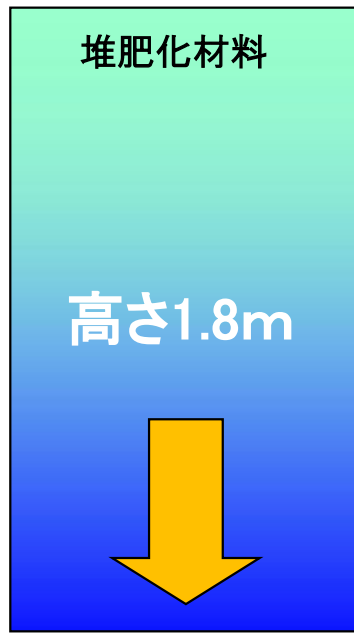
十分の酸素を供給して、好気的条件を作り出すことが重要で、適正通気量は $50 \sim 300 \text{L}/(\text{min} \cdot \text{m}^3)$ 程度です。堆積高さは、0.6～2 m、**空隙率30%以上**（平均 $700 \text{kg}/\text{m}^3$ ）、現場では圧密を考慮して充填密度を $500 \text{kg}/\text{m}^3$ 程度にする事が目安となる。

水分調節

発酵に適した水分は60%から70%と、**水分調節を行う必要**がある。

13

水分調整（家畜排せつ物に副資材を混合して調節）

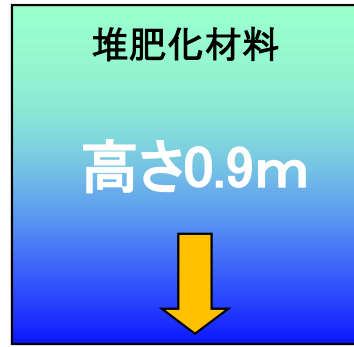


床面の圧力
800kg/m²

乳牛ふん見かけ比重
1.4~1.6 g/cm³

空隙率が30%となる
含水率約70%

(鳥巢ら(1978):牛ふんの物性的性質の評価(I),農業施設9(2),34-38)



床面の圧力
400kg/m²

床面の堆肥化材料は上からの重さを支えている。

オガクズと牛ふんの場合、床の圧力が1000kg/m²程度で排汁が発生。

通気性の確保には空隙率30%が必要



副資材の混合割合を調節して、平均かさ密度700kg/m³以下にする。

剪定残渣と乳牛糞混合物の物理特性



圧縮試験機

ロードセル

目的: 街路樹剪定残渣と乳牛糞を用いた堆肥化における、最適な原材料混合割合を求める。



容器内部



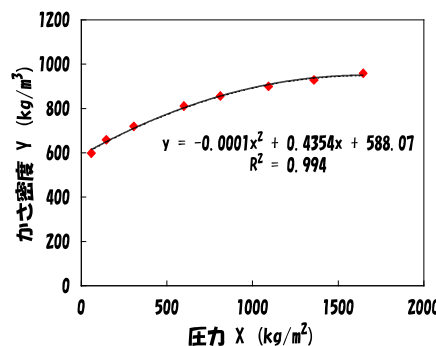
試験終了時の材料

方法: 混合材料を内径約30cmのステンレス容器に(約20cm)充填し、圧縮空気を用いて荷重を掛けて、かさ密度を測定。

2次回帰式で圧力とかさ密度の関係を補完

乳牛糞: 沖繩街路樹剪定残渣: 戻し残査堆肥 = 7 : 1 : 1

荷重 (kg)	堆積高さ (mm)	堆肥体積 (cm ³)	圧力 (kg/m ²)	かさ密度 (kg/m ³)
4.5	133.5	10076.1	59.6	597.5
11.1	121.3	9151.5	147.1	657.8
23.2	111.0	8377.9	307.4	718.6
45.3	98.5	7434.5	600.2	809.7
61.3	93.3	7038.2	812.2	855.3
82.6	88.8	6698.6	1094.4	898.7
102.6	86.0	6491.0	1359.4	927.4
124.3	83.3	6283.4	1646.9	958.1



混合割合毎の堆積高さとかさ密度を計算

現場での混合作業

オガクズの含水率45%の場合

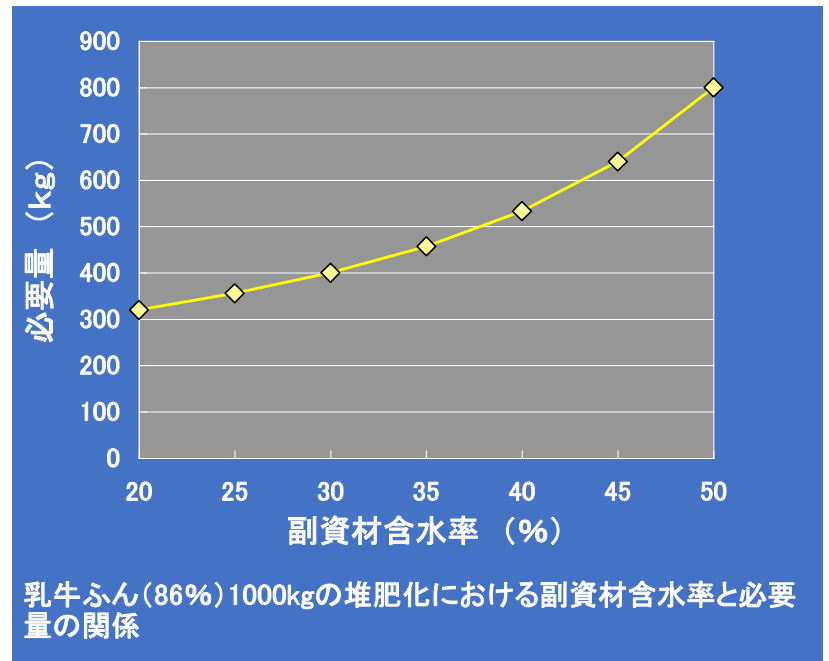
材料	含水率 (%)	重さ (kg)
乳牛ふん	86	1000
オガクズ	45	640
堆肥化材料混合物	70	1640

オガクズ：乾物重352kg、水288kg

オガクズの含水率25%の場合

材料	含水率 (%)	重さ (kg)
乳牛ふん	86	1000
オガクズ	25	356
堆肥化材料混合物	70	1356

オガクズ：乾物重267kg、水89kg



生のオガクズ（含水率45%）を例えば25%まで乾燥して利用することで使用量を削減できる。

16

副資材含水率と使用量の関係

- 堆積させた堆肥化材料は上からの重さでつぶれる。
- 堆積物の全体でのかさ密度を700kg/m³以下（通気性確保）にする必要があるが、現場では困難。
- 圧密の影響を考慮し、バケツ10Lに材料を入れて、重さ5kg（500kg/m³）に調整する。
- 混合材料を手で握って、指の間から液がにじむ程度に調整する。

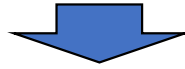


17

戻し堆肥方式での注意点

堆肥化により窒素はアンモニアとして揮散し減少するが、カリウムは外部へ出て行かないので濃縮される。

カリウムの肥効率90%は、窒素30%に比較して高い



戻し堆肥は菌添加効果や副資材経費の削減効果があるが、使用量が多すぎるとカリウム濃度が高くなりすぎる。副資材の1/2まで戻し堆肥の利用が可能

表 家畜ふん堆肥の肥効率のめやす(斎藤, 2001)

堆肥種類	乾物当たりの全窒素含有量 (%)	肥効率 (%)		
		窒素 ¹	リン酸	カリ ²
鶏糞堆肥	0~2	20	80	90
	2~4	50	80	90
	4以上	60	80	90
豚ふん堆肥 牛ふん堆肥	0~2	10	80	90
	2~4	30	80	90
	4以上	40	80	90

1: 家畜ふん堆肥の窒素代替率25~75%の結果

2: 乾物当たりの全カリ含有率が1.5%以上のものが対象、1.5%未満での推定値は50%

18

堆肥化における通気量

堆肥化開始時の堆肥化材料1m³当たりの所要通気量

材料	1週目 (L/min)	2週目 (L/min)	3週目 (L/min)	4週目 (L/min)
牛ふんのみ	80	46	33	30
牛ふん+オガクズ	56	33	29	28
牛ふん+モミガラ	75	43	35	28

通気量の制御

ツインタイマーを用いてON-OFFを繰り返す。堆肥化材料内部の酸素は15分程度で無くなる。

通気を停止する時間は15分まで

夏: 45分ON-15分OFF、冬15分ON-15分OFF



19

堆肥化（微生物）

堆肥化に必要な微生物数は100万個/g以上と言われ、家畜糞には約1億～10億個/gと十分な微生物が存在することから、存在する菌が活動しやすい条件にする事が重要です。

好気性細菌の発熱量：1細胞当たり 1×10^{-12} cal/sec/count



冬季や夜間においても通気量と放熱のバランスを取り好気状態を保って、好気性細菌が働きやすい環境にする。

堆肥温度を70～80℃まで上昇させ、かつその温度を保持するために必要な熱量：
堆肥1g（湿潤）当たり 1×10^{-4} cal/sec/g

堆肥化に必要な細菌数は以下の数式から計算される。

$$1 \times 10^{-4} [\text{cal/sec/g}] \div 1 \times 10^{-12} [\text{cal/sec/count}] = 10^8 [\text{count/g}]$$

1億個/g

糸状菌の生育上限温度 = 60℃、生菌数 10^6 /g 程度
放線菌の生育上限温度 = 70℃、生育速度が一般細菌に比べて遅い

20

堆肥化温度の重要性

表1 病原菌及び寄生虫の死滅温度(Golueke)

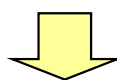
種類	温度(℃)	時間(分)
チフス菌	55～60	30
サルモネラ菌	56	60
---	60	15
赤痢菌	55	60
ブドウ状球菌	50	10
連鎖球菌	54	10
結核菌	66	15～20
ジフテリア菌	55	45
ブルセラ菌	61	3
アメーバ赤痢	55	---
条虫	55～60	5
旋毛虫	62～65	---
アメリカ鉤虫	45	50
回虫	60	15～20

表2 生ふん堆肥に埋設した雑草種子の発芽率(高林ら)

種類	埋設条件		対照
	50℃未満	60℃2日間	
メヒシバ	96	0	74
ノビエ	72	0	87
カヤツリグサ	56	0	30
シロザ	26	0	16
オオイヌタデ	8	0	53
スベリヒユ	85	0	91
イヌビユ	68	0	70
エノキグサ	7	0	51
クワクサ	26	0	19
睦稲	75	0	98
大麦	16	0	96

病原菌等は60℃程度の温度で時間的に1h位で死滅

雑草の種子は60℃以上の温度（湿った状態）で、2日で死滅



堆肥化では材料温度60℃、2日以上の条件が必要

21

堆肥化



強制通気がない場合、空気は表面の30cm程度しか届かないので、1.8m堆積で2週間毎に6～7回の切返し作業で全体に空気が行渡る。温度に注意が必要。

切り返しが多くなるので、良質堆肥製造には広い面積が必要となる。



マニアスプレッターで塊を崩して空気が通りやすいようにする。

期間

切り返しをしても温度の上昇が見られなくなるまでには、家畜糞だけ:2ヶ月間、家畜糞と粃殻等の作物残さ:3ヶ月間、また、家畜糞とおがくず等:6ヶ月間が目安となる。

22

畜種による堆肥成分の違い（畜産環境整備機構）

畜産環境整備機構平成28～30年度の3年間の1660点の分析結果の平均値

畜種	水分 (%)	灰分 (%)	pH	EC (mS/cm)	C/N比	窒素全量 (%)	リン酸全量 (%)	加里全量 (%)	銅全量 (mg/kg)	亜鉛全量 (mg/kg)
乳用牛	57.3	30.5	8.3	4.9	17.7	2.2	2.1	3.3	24.2	105.4
肉用牛	52.0	27.3	7.9	6.9	17.7	2.2	2.7	4.0	16.8	99.5
豚	40.1	29.0	7.4	6.4	12.2	3.4	7.1	3.2	200.7	841.9
採卵鶏	23.8	43.7	7.7	7.7	9.4	3.5	5.8	4.3	42.8	377.6
ブロイラー	29.7	25.8	6.8	9.6	9.9	4.2	4.4	4.7	64.4	344.0
馬	59.1	30.2	7.8	3.9	23.1	1.7	1.3	2.4	9.8	42.9

窒素全量、リン酸全量、加里全量は乾物当たり、銅全量、亜鉛全量は現物当たり(畜産環境整備機構H28-30平均値)

一般に

肥料効果：鶏糞堆肥 > 豚ふん堆肥 > 牛ふん堆肥

土壌改良効果：牛ふん堆肥 > 豚ふん堆肥 > 鶏糞堆肥

C/N比：鶏糞堆肥5.2 > 豚ふん堆肥12.2 > 牛ふん堆肥17.7

23

特徴のある堆肥生産

堆肥生産費（広島県） 単位：円/t

費目	平均値(円)	構成比(%)
減価償却費	1,173	15.8
水分調整材費	977	13.1
光熱費	435	5.8
燃料費	363	4.9
修繕費	598	8
労働費	2,595	34.9
その他	1,297	17.4
生産費計	7,438	100

※減価償却費を補助金圧縮した場合



通常の堆肥販売では利益を得ることが難しい畜産経営のため排せつ物処理は必要経費



◆ 特徴のある堆肥生産

- ✓ 完熟堆肥（N成分が低く土壌改良効果が高い）
- ✓ 化学肥料に匹敵する高成分堆肥（肥料効果）
- ✓ 低成分・低塩類堆肥（土改効果、施設栽培）
（固液分離による低塩類堆肥製造）
- ◆ 堆肥化の低コスト化
- ◆ 堆肥のブランド化・販売戦略
- ◆ 堆肥の高度化による販売単価の見直し
- ✓ ペレット化で堆肥のハンドリング、肥効
- ✓ 成分調整
 - 施肥作業の省力化
 - 有機質肥料として販売
（Nやリン酸の添加が必要）
- ✓ 微生物資材（有機農業では微生物効果を期待）

牛ふん堆肥価格3500円/ t 程度
（熊本）

24

水稻栽培における堆肥利用

水稻は単位面積当たりでは堆肥の多投はいけない作物です。水稻は全国どこでも最も広い面積が作られており、堆肥の利用先として有望

- 水田においては、畑作との輪換利用により有機物の分解が進み、土壌の腐植含量や地力窒素の低下が指摘されている。このような水田では、**堆肥等の有機物施用が土づくりに非常に有効**です。
- 堆肥の種類によっては成分的に高濃度で、**多量施用により養分の過剰蓄積**を引き起こす恐れがあり、施用には注意が必要。
- 窒素供給が多いと生育過多や食味低下につながる。近年は、リン酸やカリが土壌改良目標値を超えて蓄積している水田も多く見られる。
- 農研機構で学肥料の減肥量を計算・出力する「有機質資材の肥効見える化アプリ」を開発

堆肥の種類別の基肥減肥の目安例

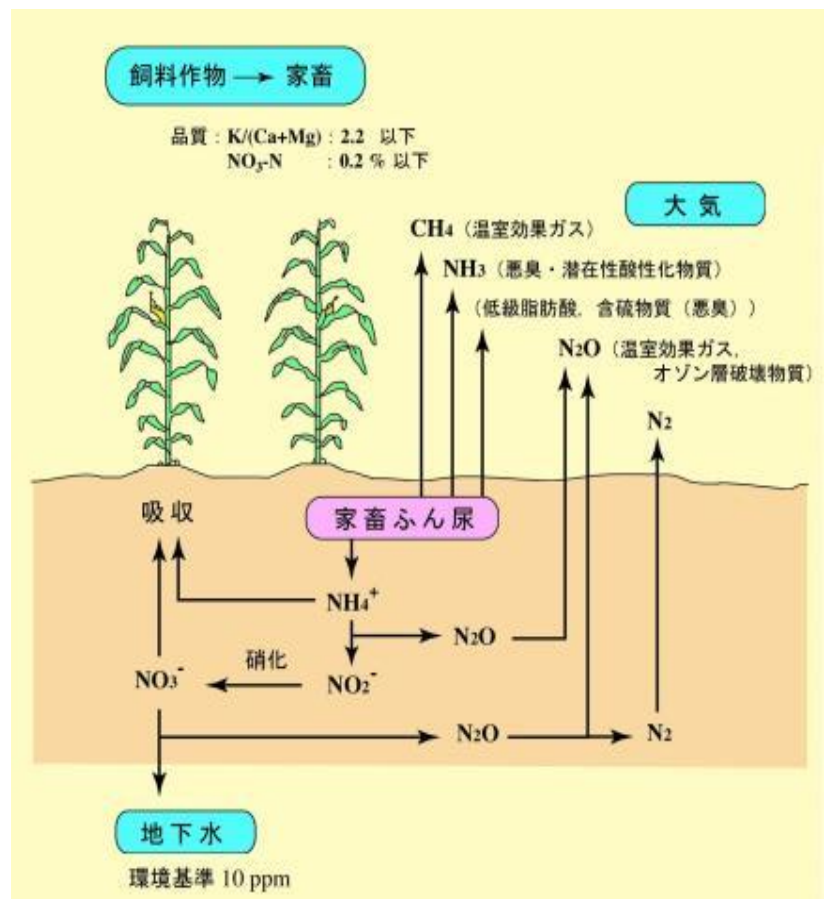
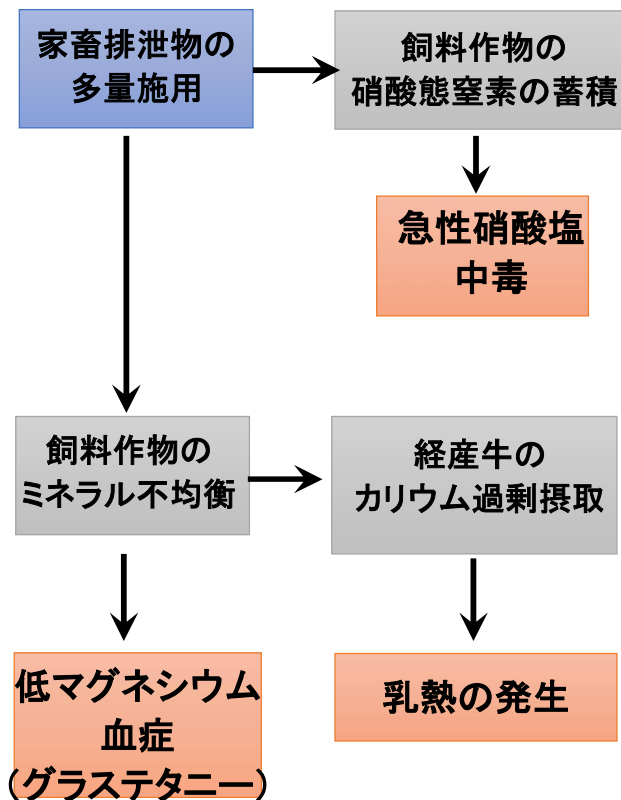
	施用量 (t/10a)	堆肥の窒素含量 (乾物%)	堆肥から供給される成分量 = 減肥量 (kg/10a)		
			窒素	リン酸	カリ
牛ふん堆肥	0.9	~2%	—	3.6	5.4
豚ふん堆肥	0.2	2~4%	1.2	5.2	3.4
鶏ふん堆肥	0.2	2~4%	1.9	5.6	3.2

出典：「堆肥を上手に利用しよう」岩手県

25

成分調整ペレット堆肥

家畜排泄物の多量施用が家畜に及ぼす影響



耕種農家の家畜ふん堆肥に対する要望事項

1. 化学肥料と比べて、肥料の効き方が異なり、栽培管理がやりにくい。
2. 成分表示がなく、使いづらい。
3. 作物によって堆肥に求める性質が異なる。
4. 労力がかかり、機械散布の手段がない。
5. 生産地や時期による品質のバラツキが大きい。

耕種サイド

土壤有機物の不足
化学肥料の節減
有機作物栽培への要望

畜産サイド

家畜ふん尿の経営外利用
畜産環境問題の軽減

家畜ふん尿の利用拡大

環境保全型農業の推進

28

成分調整・成型堆肥の生産加工工程

原料受け入れ

1次発酵
(1ヶ月間)

2次発酵
(2~3月間)



ハウス予乾
(水分30%以下)



粉碎



仕上げ乾燥



成型



成分調整混合

篩選別

袋詰め

貯蔵



出荷

29



乾燥ハウス

30

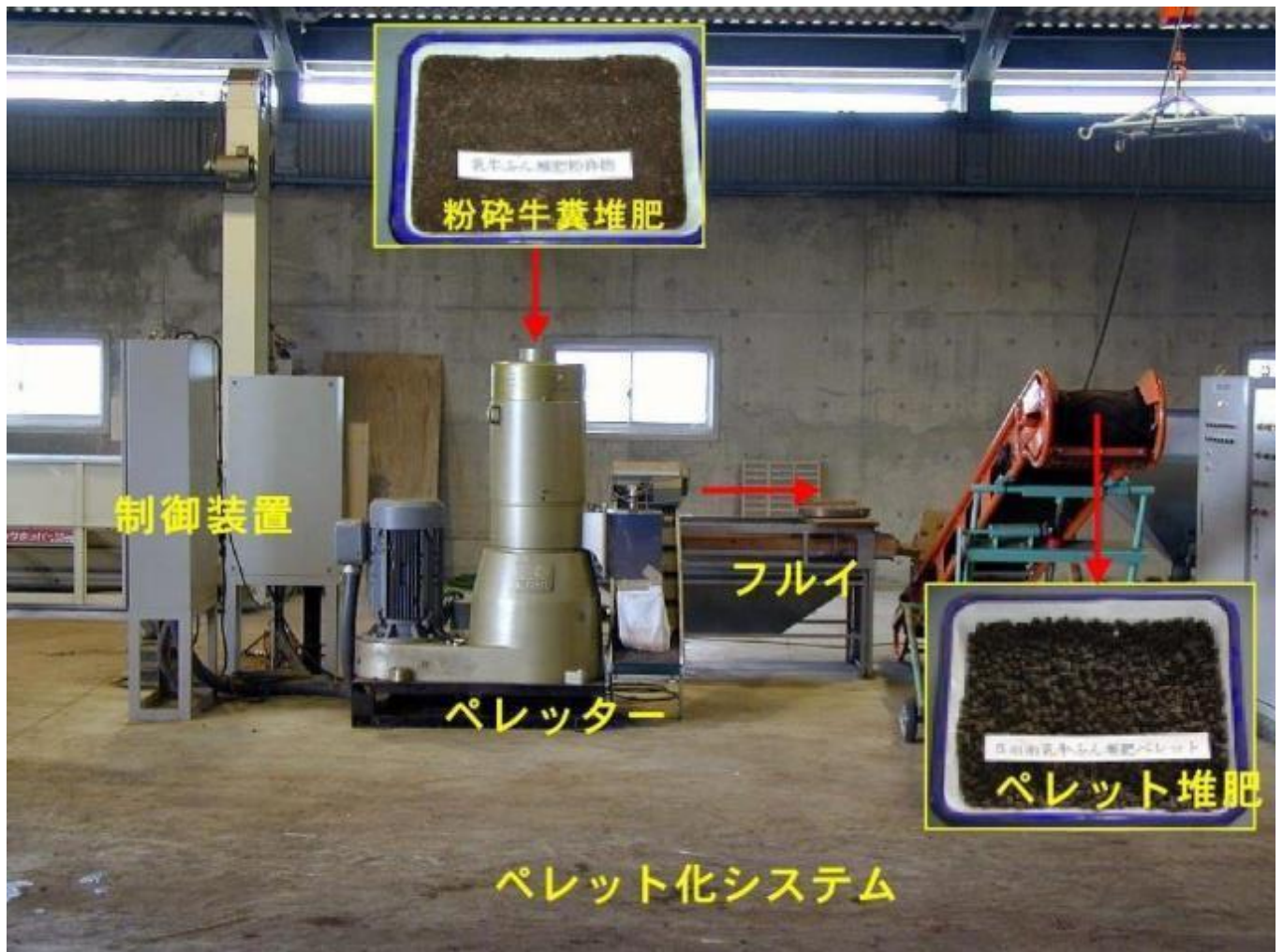


篩・袋詰装置

ハンマーミル方式粉碎装置

粉砕・袋詰システム

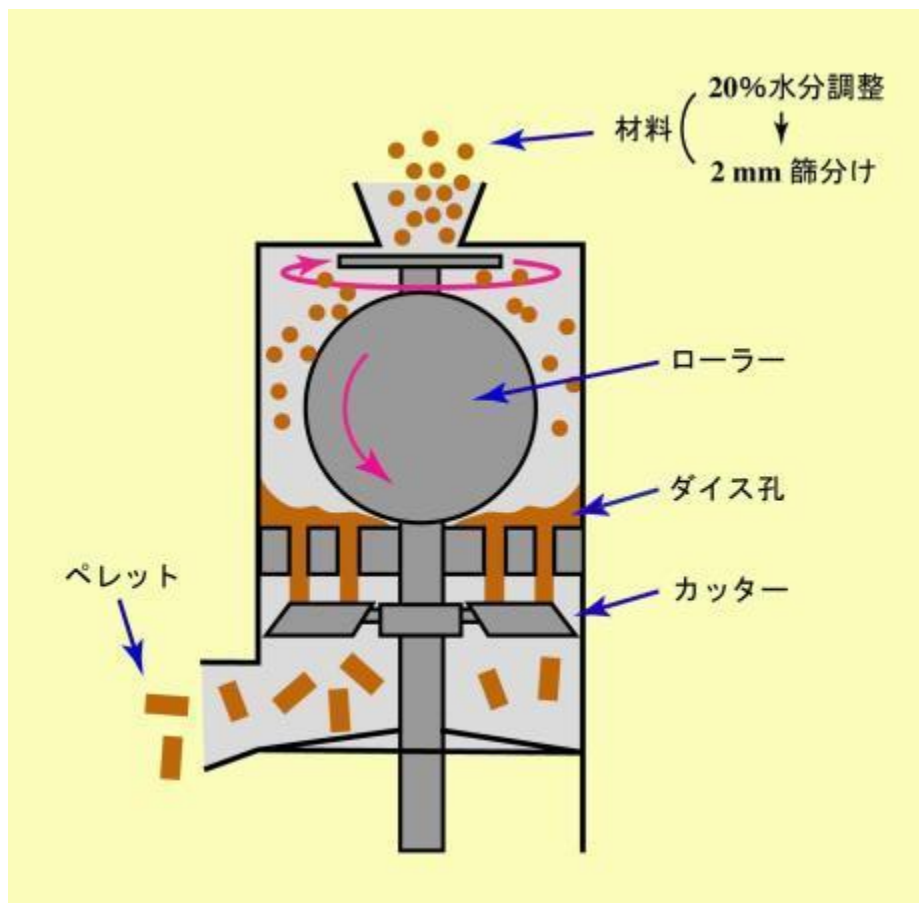
31



32



33



ペレットマシン機能概略図

堆肥のペレット化の利点

利 点	内 容
1. 貯蔵容積の減少	貯蔵容積が40%に減少
2. 輸送性の改善	重量が60%に減少
3. 貯蔵中の成分保持	含水率が15%以下のため、カビの発生が防止され、成型終了時の成分を維持。
4. 散布性の改善	同一成分量で単位面積当たりの散布する重量が減少するとともに、化学肥料の散布機で代替できる。
5. 肥効の均質性	成型堆肥中の成分含量はほぼ均質になっている。また、成分堆肥の大きさにより一定の肥効パターンを示す。

JA菊池のペレット製造ラインの課題

スクリーコンベアーは摩耗が激しく、修理代金が高額



風力選別機では、堆肥塊も異物として排出するため歩留まりが悪い

当初の計画では1 t/hの成型能力の予定であったが、上記理由等により700kg/h (2/3) 程度の供給能力

36

【P4H1】ペレット堆肥の広域流通システムに係る低コスト生産体系の実証 菊池地域農業協同組合（熊本県菊池市）、(株)Kalm角山(北海道江別市)

背景及び取組概要

○ 家畜ふん堆肥の広域流通による有効活用に向け、ペレット堆肥が注目されているが生産コスト、利用場面の拡大が課題となっている。

1. 低コストペレット製造技術の開発と実証

- ①ペレット用堆肥の乾燥工程においてRPFバーナー、非接触センサーによる堆肥水分測定などの技術を導入し、ペレット製造量を約2倍の600 t/年とし製造コストを25,000円/tとする。
- ②肥効特性の見える化技術を活用した農家栽培実証を通じて特殊肥料等入り指定混合肥料を新たに開発し、年間 200 t/の広域的な販売を目指しペレット堆肥の活用促進を図る。

2. 発酵乾燥による代替敷料生産技術の開発と実証

- ①堆肥運搬の帰り荷に稲わらを収集運搬し、おが粉代替資材等として利用する広域流通モデルの実証を行う。

導入技術

水分調整システム

・RPFバーナーと水分測定装置を使用し、水分調整堆肥を6t/日製造

前処理工程

・前処理を効率化し成型機に堆肥 6t/日供給し、製造コストを削減

指定混合肥料

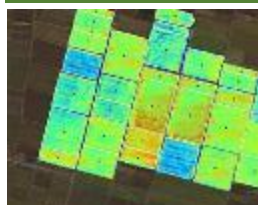
・肥効見える化技術を活用した資材配合を決定

ペレット化

・ローラーディスクダイ方式成型機によるペレット製造の効率化

2次乾燥・袋詰め

・RPFバーナーで2次乾燥させ袋詰めし流通



水分調整

異物除去

肥効設計

ペレット化

流通

37

目標に対する達成状況

実証課題の達成目標

1. 低コストペレット製造技術の開発と実証

1) ペレット堆肥製造施設の製造量（製造する種類毎、t／年など）

【JA菊池】牛ふんペレット350 t /年（設計書で掲げている現状の数値） → （目標） 600t/年

【片倉コープアグリ】指定混合肥料 0 t /年（新たに指定混合肥料の生産） → （目標） 300t/年

2) 1)のうち広域流通するペレット堆肥の数量又は割合（製造する種類毎、供給先毎、t／年など）

牛ふんペレット・牛鶏ペレット（地域外） JA菊池(牛ペレット) : 94.8 t /年 → （目標） 250 t /年

指定混合肥料（地域外） 片倉コープアグリ(指定混合肥料) : 134.9 t /年 → （目標） 200t/年

3) ペレット堆肥の製造コスト（製造する種類毎、円／t など）

牛ふんペレット 35千円/t（現状） → （目標） 25 千円/t

指定混合肥料 非公開 → （目標） 50 千円/t

4) その他 本実証プロジェクトにおいて導入する個別技術に係るもの（導入技術毎）

指定混合肥料を利用した水稻栽培等で化学肥料と同等の生育が期待できる。

2. 発酵乾燥による代替敷料生産技術の開発と実証

1) 敷料となる資材について生産量及び敷料として利用するための生産コスト（探索する資材毎、円／t など）

コーヒー粕敷料 （目標）生産量2 t/日（500 t/年）、13,000円/t

茶殻敷料 （目標）生産量1 t/日（250 t/年）、22,000円/t

廃菌床敷料 （目標）生産量2 t/日（500 t/年）、13,000円/t

2) 上記1)の敷料について年間を通じて利用するためのスケジュールの設定（上記の敷料について、どの時期に何t提供できるかなど）

いずれも年間を通して発生する資材、季節依存性はない。

コーヒー粕・廃菌床敷料の生産量 : 2 t/日

茶殻敷料の生産量 : 1 t/日

3) 敷料として利用可能なことを示す品質等に係るもの（探索する資材毎）

おが粉と同等の敷料品質であることを微生物学的（大腸菌数、コマツナ発芽率）
・行動学的（牛床横臥率）で確認

38

目標に対する達成状況

実証課題の達成状況

1. 低コストペレット製造技術の開発と実証

1) ペレット堆肥製造施設の製造量（製造する種類毎、t／年など）

開発技術導入により堆肥ペレット製造量は目標の600t/年を達成した。

2) 1)のうち広域流通するペレット堆肥の数量又は割合（製造する種類毎、供給先毎、t／年など）

広域流通用ペレット堆肥の出荷量は12月時点で達成目標200t/年以上となった。

3) ペレット堆肥の製造コスト（製造する種類毎、円／tなど）

前処理の効率化等により造粒崩れ割合が23%から3%に減少、成形能力が522 kg/hから1,215 kg/hに増加し、目標とした6t/日の製造量を達成した。また、製造量の増加により製造コストが25千円/t程度まで減少した。

4) その他 本実証プロジェクトにおいて導入する個別技術に係るもの（導入技術毎）

指定混合肥料を利用した水稻栽培等で化学肥料と同等の生育が期待できる。

2. 発酵乾燥による代替敷料生産技術の開発と実証

1) 敷料となる資材について生産量及び敷料として利用するための生産コスト（探索する資材毎、円／t など）

コーヒー粕敷料 生産量2.6 t/日、生産コスト6,800円/t(水分50%)

茶殻敷料 生産量1.4 t/日、生産コスト17,800円/t(水分50%)

廃菌床敷料 生産量3.5 t/日、生産コスト11,200円/t(水分50%)

2) 上記1)の敷料について年間を通じて利用するためのスケジュールの設定（上記の敷料について、どの時期に何t提供できるかなど）

原料は周年供給されるため、年間を通じて生産可能

3) 敷料として利用可能なことを示す品質等に係るもの（探索する資材毎）

おが粉と同等の敷料品質であることを微生物学的・行動学的に確認済み（コーヒー粕敷料は現場で極めて高い評価）

39

1. 低コストペレット製造技術の開発と実証

バイオマスボイラーを利用した堆肥乾燥技術の開発

取組概要

① RPF燃焼ボイラーの改良

RPF燃料の特性上、火炎長が短く、RPF単独での完全燃焼が困難であったので、1次燃焼炉の燃焼炉長の短縮、2次燃焼炉を断熱構造に改造。

(注)RPF燃料:再生利用できない廃プラスチックに、古紙、木くず等を混合して円筒形状に固形化した燃料

② 通気式堆肥乾燥設備及び堆肥ペレット乾燥施設の整備

JA菊池有機支援センター合志にペレット堆肥用の通気乾燥設備とペレット堆肥乾燥設備、それぞれのラジエーター式放熱器を設置。

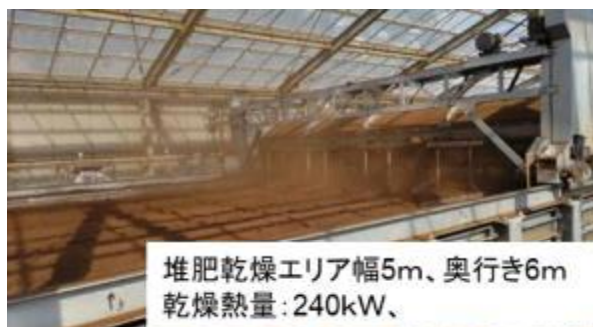


図1 ペレット用堆肥の乾燥状況

③ 運転試験及び乾燥設備導入マニュアルの作成

実証結果

① RPF燃焼ボイラーの改良

改造により、RPF燃料のみでも黒煙を発生させずに470kWの燃焼を維持することができた。RPF燃料への木材混入量は40%で、熱利用可能量は約360kWである。



図2 RPFバーナーの燃焼状況

② ペレット用堆肥及び堆肥ペレット乾燥設備

堆肥乾燥は、攪拌間隔45分で、水分50%の堆肥については24%まで乾燥できる。RPF燃焼時間16時間で6tの堆肥が乾燥できる。30%の堆肥ペレットを12時間以内に10%まで乾燥できる。

取組概要

ロータリ攪拌機に適用可能な、堆肥の未・過乾燥を防ぐためのオンサイト水分モニタリング装置の開発

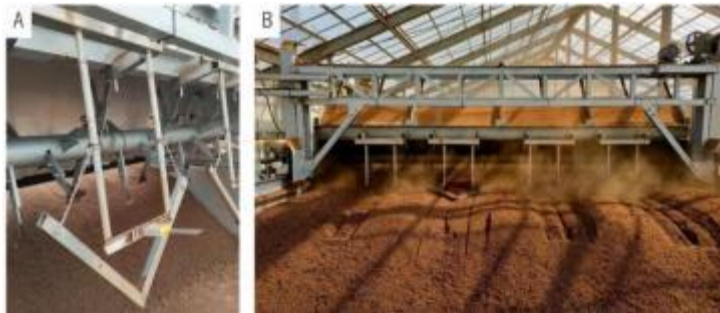


図3 開発した堆肥水分モニタリング装置の外観
A 水分センサーと鎮圧器
B 測定の様子(左2番目のセンサーが鎮圧器装着)

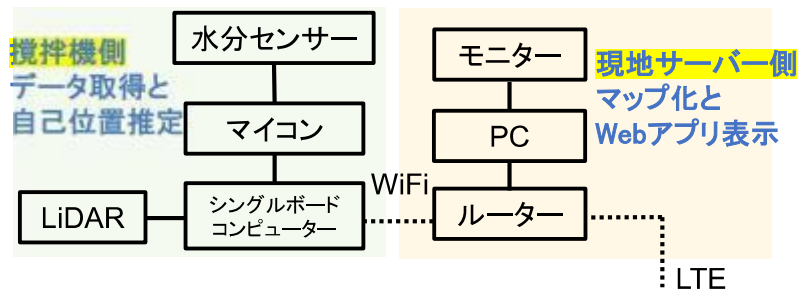


図4 開発した堆肥水分モニタリングシステムの概略

実証結果

表1 開発した接触型と非接触型水分推定技術の比較

項目	接触型	非接触型
正確度 (RMSE)	1.78%	1.48%
防塵性	○	△ (レンズ掃除)
メンテナンス	容易	困難 (レンズ調整等)

○ 当初計画の非接触式と比較して、同等の精度、保守管理が容易、低コストな接触式水分推定技術を開発し、ロータリ攪拌機に技術適用した(図3, 表1)。

Water content

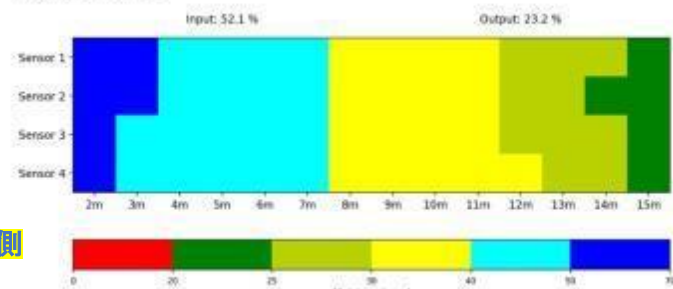


図5 Webアプリとして実装した水分マップの表示画面 (左は投入端、右は排出端、表示水分率は質量水分率)

○ ボイラー・攪拌機のオペレーターが堆肥の過乾燥や未乾燥を防ぐための運転条件を決定するための制御支援ツールとして活用できるWebアプリを開発(図5)

低コスト前処理技術の開発と実証

取組概要

- ① 成型時の堆肥水分(質量水分率)の適正化
堆肥水分21.9% ⇒ 29%に調整しペレット製造
- ② ペレット製造前処理工程の効率化
 - (1) 異物除去工程と粉碎工程の順を入れ替え
技術導入前: 異物除去→粉碎→ペレット製造工程
効率化改良: 粉碎→異物除去→ペレット製造工程



図6 ペレット製造前処理選別機と粉碎機工程の変更

- (2) 粉体輸送の加速化のためエア搬送
粉碎物の選別機への搬送方法をベルトコンベアからエア搬送に変更



図7 ペレット原料供給の加速化のためエア搬送

実証結果

- ① 水分適正化により造粒崩れ割合は23.4%が8.3% (15%減)、生産量は2,445 kg/日が3,243 kg/日 (33%増)に改善された。
- ② (1) ①効果とペレット製造の前処理工程の内、異物除去(風力選別機)工程→粉碎(粉碎機)工程の機器配置を逆順に変更することで、技術導入前のペレット製造速度が約2倍の製造を可能とし、風力選別機で除去されていた堆肥の塊も粉碎されたことで、ペレット割合が97.5%に改善された。

表2 異物除去・粉碎工程の変更とペレット製造量

項目	ペレット製造速度 (kg/h)	水分 (%)	ペレット割合 (%)	過粒崩れ割合 (%)
技術導入前	374.1	21.9	76.6	23.4
堆肥水分の最適化	521.8	29.0	91.7	8.3
前処理の最適化	786.3	28.9	97.5	2.5

- (2) 材料粉碎後材料の搬送をベルトコンベアからエア搬送に変更することにより、材料供給量が50%増の1.2 t/h以上となり、管内輸送のため材料の落下・飛散がなくなることで作業環境が改善。

※エア搬送の原理: エア搬送機は圧縮エアをエジェクターポンプを通過させることにより装置内を真空状態にし、ホース等の配管内に粉体(左図「エア搬送の原理」赤矢印)を吸込み、吸引解除と同時に排出弁を開放することで粉体材料を落下搬送する。

低コスト前処理技術の開発と実証

取組概要

- ② ペレット製造前処理工程の効率化
 - (3) 材料供給スクリーコンベアの電流値制御
ペレット成型機能力に見合う電流値での制御



図8 ペレット成型機への材料供給量の電流値制御

- ③ ペレット製造工程の堆肥中金属類除去
粉砕機へ堆肥を搬送するバケットコンベアのバケットにネオジム磁石を設置し、搬送過程で金属類除去。



図9 ペレット成型機への材料供給量の電流値制御

実証結果

- ② (3) ペレット成型機の負荷量を示す消費電流値を指標とし、スクリーコンベアの料供給量(消費電流値)を120Aで制御した結果、ペレット製造速度が技術導入前のペレット製造量が1.5倍となりとなった。更に電流値制御の改良により経験が浅いオペレーターでも製造能力を最大化することが可能となる。
- ③ ペレット製造工程の堆肥中金属類除去
粉砕機へ堆肥を搬送するバケットコンベアに磁石を装着することで、図10に示す金属類の除去が可能となり、粉砕機への混入がなくなった。混入した場合、粉砕機内の金属片除去作業には2人作業で1.5時間程度を要し、粉砕機が破損する可能性がある。本改良により2週間に1回程度1人作業30分の確認と容易な除去作業で、粉砕機等のメンテナンスに関するコスト削減が可能となった。



図10 ペレット製造工程で除去されたの堆肥中金属類

低コスト前処理技術の開発と実証

取組概要

- ① 成型時の堆肥水分(質量水分率)の適正化
堆肥水分21.9% ⇒ 29%に調整しペレット製造
- ② ペレット製造前処理工程の効率化
 - (1) 異物除去工程と粉砕工程の順を入れ替え
技術導入前: 異物除去→粉砕→ペレット製造工程
効率化改良: 粉砕→異物除去→ペレット製造工程
 - (2) 粉体輸送の加速化のためエア搬送
粉砕物の選別機への搬送方法をベルトコンベアからエア搬送に変更
 - (3) 材料供給スクリーコンベアの電流値制御
ペレット成型機能力に見合う電流値での制御
- ③ ペレット製造工程の堆肥中金属類除去
粉砕機へ堆肥を搬送するバケットコンベアのバケットにネオジム磁石を設置し、搬送過程で金属類除去。

残された課題と対応

・ペレット前処理効率化では、夏季では適正水分以下(過乾燥)になる堆肥原料が多く、水分測定システムによる温水送液量(乾燥熱量)制御によるロータリー攪拌装置の攪拌回数制御を可能とすることで堆肥乾燥コストを含めた堆肥ペレット製造コストは更に削減できる可能性がある。

実証結果

- ①～③の前処理工程効率化の改良により、製造速度が1.2t/h、造粒崩れ割合が2.7%となり、ペレット堆肥製造600 t/年を可能とした。堆肥乾燥コストを含めた製造コストは24.9千円/tになり、技術導入前より約29%削減された。

表3 開発技術導入後のペレット製造費

項目		開発技術導入前	開発技術導入後
水分 (%)		15	15
ペレット堆肥製造量 ^① (kg/日)		2,445	6,014
ペレット1t当たり堆肥代 ^② (円/t)		7,480	7,480
経費合計 (円/日)		66,223	63,420
経費内訳(実績)	人件費 ^③ (円/日)	21,148	22,251
	保守修繕費 ^④ (円/日)	24,523	18,341
	燃料費 ^⑤ (円/日)	6,485	7,874
	水道光熱費 ^⑥ (円/日)	14,067	14,953
小計 ^⑦ (円/t)		34,564	18,025
堆肥乾燥コスト	水分測定減価償却 ^⑧ (円/t)	—	(71)
	バーナー減価償却 ^⑨ (円/t)	—	(6,166)
	FRP燃料代 (円/t)	—	6,888
ペレット製造費 ^⑩ (円/t)		34,564	24,984

※稼働日数: 勤続日数280日/年の内200日ペレット関連の作業実施と仮定、人件費: 3名
保守修繕費、燃料代、水道光熱費: 堆肥センター全体の経費から算出
小計⑦=(人件費③+保守修繕費④+燃料費⑤+水道光熱費⑥)/ペレット製造量①×1000+堆肥代②
乾燥コスト: 水分測定装置約60万円、乾燥システム(バーナー、乾燥レーン等)5900万円、1/2補助減価償却年、ペレット製造費⑩に水分測定⑧・バーナー減価償却費⑨は含まない
RPF燃料21円/kg(燃料費20円/kg+灰処理量1円/kg)として試算

取組概要

調査を行った農業法人（福岡県柳川市）は、稲わらロールを柳川市から熊本県菊池市のJA菊池に運搬し、帰り荷を利用したバラ堆肥運搬を2022年度には約200 t 実施している。運搬用のトラックは他の用途にも使用していることから、クレーム対策として堆肥運搬後にトラックの洗車を実施している。そのため、収穫期などの多忙な期間はバラ堆肥の運搬はできず、JA菊池から農業法人への堆肥運搬の8～9割はJA菊池の堆肥運搬専用車両（片荷）で運搬している。柳川市にはアスパラ農家等も多く堆肥の需要が多いが、トラック1台分の堆肥は過多で、散布機械などの課題がある。また、耕種農家側には、化学肥料の高騰などから堆肥利用を促進したい意向があった。運搬等の作業性やニーズ面から、価格面の課題はあるが、底面が全面開放でき堆肥運搬に適したフレコンバックに堆肥を入れた流通を検討した。

実証結果

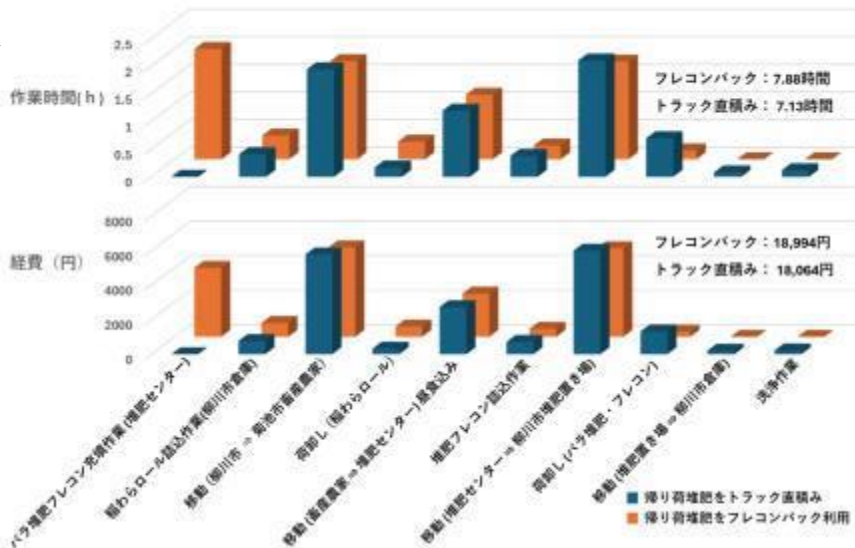
【**帰り荷堆肥をトラック直積み：18,064円**】では、堆肥積込作業のシートで被う作業やトラック荷台等の洗浄作業が必要、それらに関する時間・経費がかかる。

【**帰り荷をフレコンバック利用：18,994円**】では、堆肥センターでのバラ堆肥のフレコン充填作業に作業員2名で作業時間2時間（ホイールローダー、フォークリフト使用）と人件費が追加されるが、フレコン積込作業・荷卸し作業が容易になるため所要時間が40分削減できる。更に交差汚染対策として堆肥運搬後のトラックの洗車はフレコンによる輸送で荷台の汚れが無いため、洗車場への移動も含め12分削減できる。

残された課題と対応

- 堆肥の物流では、フレコンバック輸送の更に効率化するにはフレコン投入機の導入を検討する必要がある。

図11 牛ふん堆肥と稲わらの物流効率化



指定混合肥料の開発と農家栽培実証

取組概要

①長期埋設試験による指定混合肥料（試作品）の土壤中炭素動態

- 牛ふん堆肥との比較において、指定混合肥料（試作品）の土壤中炭素動態を明らかにし、CO₂吸収源活動として注目される炭素貯留効果を長期的に評価。



写真1 試作肥料の外観

- ・形状は極短形のペレット
- ・**粒度が均一のため、汎用的な機械で散布可能**

②農家栽培実証における開発肥料（指定混合肥料）の施用が作物の収穫量に及ぼす影響の評価

- 開発した指定混合肥料（エコぷらすシリーズ（写真2）として、令和5年4月に市販開始）の施用が、かすみそう、ごぼう、大豆、かんしょなどの作物の収穫量に及ぼす影響をJA菊池管内生産者ほ場において調査実施。



写真2 エコぷらす

【農家栽培実証で使用了開発肥料】
 かすみそう：エコぷらす8-4-3（JA菊池産牛ふん堆肥約40%含有）
 ごぼう：エコぷらす20-3-3（同約17%含有）
 大豆：エコぷらす6-10-16（同約10%含有）
 かんしょ：大豆と同じ肥料
 水稻、麦：エコぷらす14-5-5（同20%含有、粒状）

実証結果

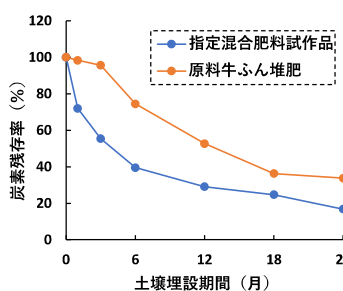
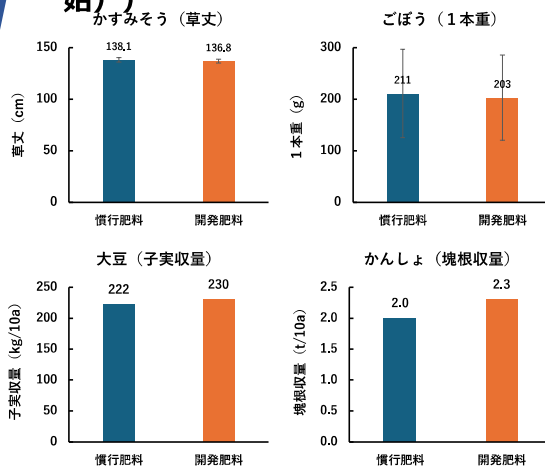


図12 炭素残存率の長期変化（土壌埋設試験（令和5年2月に埋設開始））

①埋設6か月後まで、開発した「指定混合肥料試作品」は分解が早く、その土壤炭素貯留効果は、「牛ふん堆肥」のそれよりも小さかった。しかし、埋設期間が長くなるにつれて、「牛ふん堆肥」と「指定混合肥料試作品」の炭素残存率の差が小さくなっていることから、長期的に見れば、両者間の土壤炭素貯留効果については差がなくなる（同程度となる）と考えられる。



②かすみそう、ごぼう、大豆、かんしょの収穫量について、農家慣行肥料と開発肥料で差はなし。ニンジンでも同様の結果。スイカの糖度や食味も差なし（図13）。

図13 開発肥料が収穫量に及ぼす影響

2. 発酵乾燥による代替敷料生産技術の開発と実証

(参考)

発酵乾燥技術の開発・実証

取組概要

- 密閉縦型堆肥化装置による代替敷料生産技術を開発
- 発酵促進剤として廃糖蜜を活用
- 発酵温度55～70℃
- 発酵槽内滞留日数9日未満

【コーヒー粕敷料（廃糖蜜4%(体積比)添加）】

達成目標：2 t/日、13,000円/ t

生産量2.6 t/日、生産コスト6,800円/t（水分50%に調整した場合）

【茶殻敷料（廃糖蜜16.6%(体積比)添加）】

達成目標：1 t/日、22,000円/ t

生産量1.4 t/日、生産コスト17,800円/t（水分50%→2次発酵後32%）

【廃菌床敷料（廃糖蜜4%(体積比)添加）】

達成目標：2 t/日、13,000円/ t

生産量1.3 t/日、生産コスト22,200円/t（水分35%→2次発酵後20%）

生産量3.5 t/日、生産コスト11,200円/t（水分50%に調整した場合）



図14 左：密閉縦型堆肥化装置 右：もみ殻搬入の様子

実証結果

【コーヒー粕敷料（もみ殻により水分調整、消石灰によりpH調整）】 体積比にて、生コーヒー粕50%、もみ殻50%の混合物に消石灰を体積比1～2%添加し、原料pH10に調整、発酵が安定化。

家畜ふん由来資材が不要となり、防疫上の懸念が解消

生産量2.6 t/日（水分36%）

生産コスト12,600円/t（水分36%）

水分50%に調整した場合→生産コスト6,800円/t



図15 密閉縦型堆肥化装置により生産したコーヒー粕敷料

残された課題と対応

- 事業化可能性は敷料単価に依存
- おが粉単価 4,500～5,400円/m³（運賃込み、税別）の中標津・根室エリア（道東）等では代替敷料の自主生産の事業化可能性は高い

取組概要

- ① 梱包敷料生産・物流効率化の実証および試験販売
- ② 帰り荷の活用による輸送体系の効率化
- ③ 九州における敷料流通の実証（堆肥センターを中核とする耕畜連携効率化）



図16 輸送体系効率化の実証試験における輸送経路



図17 九州における代替敷料流通の実証概要

実証結果

- ① 4tダンプによる近距離輸送 帰り荷：草木灰（バイオ炭）により15,300円/回を削減可能
- ② 体積比にて、コーヒー粕90%、活性炭ろ過菌体（アミノ酸製造残渣物）10%を混合した敷料原料に、草木灰を1~2%添加してpHを弱酸性に調整することにより、開放型発酵槽において発酵乾燥（水分60.1%→26.5%）
- ③ 堆肥センター周辺のおが粉単価3,000円/m³を下回る価格設定を検討



図18 左：草木灰（帰り荷）の輸送、
右：開放型発酵槽における代替敷料生産

残された課題と対応

- 堆肥センターにおける代替敷料生産・供給の事業化可能性を飲料工場と協議中（代替敷料生産試験を引き続きバックアップする予定）

代替敷料品質の評価

取組概要

①微生物学的評価

- 発酵乾燥コーヒー粕：おが粉と同等以下の大腸菌群数（10⁵以下）
- 発酵乾燥茶粕：大腸菌群数は9.5*10² CFU /g
- 発酵乾燥廃菌床：消石灰の混合、堆積発酵により90℃以上に品温上昇、大腸菌群数ND

②動物行動学的評価

廃菌床敷料（代替敷料）とコーヒー+もみ殻敷料（慣行敷料）を散布した2群（経産牛，115~120頭/群）において、牛床利用の有無，姿勢（横臥，起立）の変化を調査

③代替敷料利用後の堆肥の植物への影響

熱水抽出液法*によるコマツナ発芽試験を実施

*日本畜産学会 池田加江ら 発芽インデックス法による家畜ふん堆肥の腐熟度判定の変化を調査

実証結果

①微生物学的評価（表4）

○ 発酵原料への消石灰添加によるpH調整、堆積発酵（2次処理）によりSA（黄色ブドウ球菌）が検出されないことを確認

○ 高温処理および消石灰添加により、原材料に検出されていた大腸菌（E.coli）および大腸菌群（coliform）の生菌数は、検出限界以下まで低減させることが可能である。また原材料に高い値で検出されていた黄色ブドウ球菌（SAおよびCNS）において、同様の処理によって低値となった。

表4 作成された各種代替敷料の衛生学的評価

試料名	E. coli (CFU/g-FM)	Coliform (CFU/g-FM)	SA (CFU/g-FM)	CNS (CFU/g-FM)
生茶かす	ND	1.0×10 ²	3.7×10 ³	
生廃菌床	ND	ND	9.9×10 ²	
生コーヒー粕	4.5×10 ²	3.5×10 ³	3.5×10 ²	
生コーヒー50%、モミ50%（体積比）	1.3×10 ³	1.1×10 ³	8.0×10 ²	
生コーヒー50%、モミ50%（体積比） 消石灰混合	2.6×10 ²	1.5×10 ⁴	1.5×10 ⁶	
茶かす敷料：茶かす50%、モミ50%（体積比）	1.5×10 ²	9.5×10 ²	1.3×10 ³	
廃菌床敷料：廃菌床50%、モミ50%（体積比） （消石灰混合、堆肥化装置排出直後）	ND	5.0×10 ²	9.7×10 ⁴	
廃菌床敷料：廃菌床50%、モミ50%（体積比） （消石灰混合、2次発酵後）	ND	ND	1.3×10 ⁶	
コーヒー粕（コーヒー50%、モミ50%（体積比） （消石灰混合、2次発酵後）	ND	ND	ND	3.5×10 ⁵

実証結果

②動物行動学的評価

- 代替敷料は慣行敷料と比べて外部環境の影響はあるものの有意な差は認められず、**同等の快適性**を有する
- 代替敷料には**乳房炎発生抑制効果が期待**

③代替敷料利用後の堆肥の植物への影響

- ECは全て5.0ds/m未満
- コーヒー粕が最も低い発芽率使用済み敷料と混和した堆肥化1ヶ月のものは発芽率が改善
- 発芽率に及ぼす堆肥化期間（1ヶ月、2ヶ月）の影響は認められなかった（図19）
- コーヒー粕混合比の高い試料が発芽率を低減させる傾向であった。

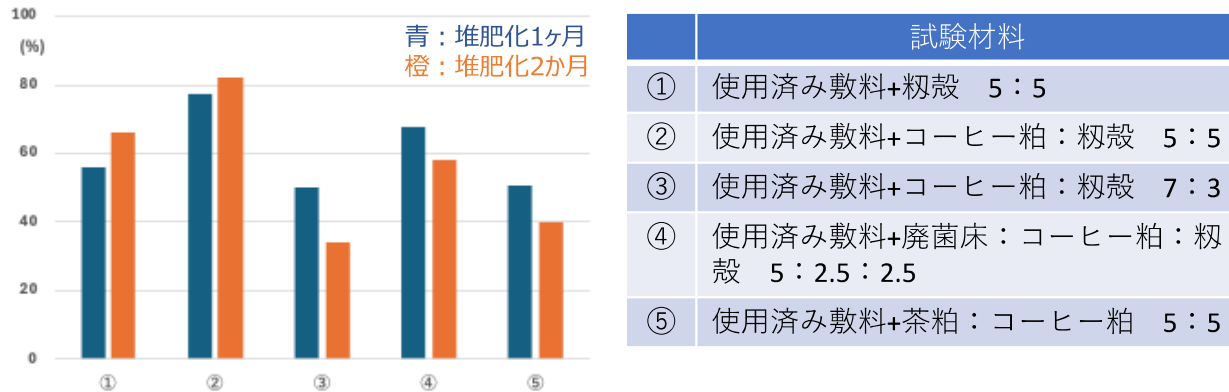


図19 敷料利用後堆肥のコマツナ発芽率への影響

残された課題と対応

- 開放型発酵槽における代替敷料生産（R6年度追加実証試験）におけるコマツナ発芽率の検証

技術開発・実証を通じて生じた課題

技術開発・実証を通じて生じた課題

技術的な課題

(1) 開発・実証した技術

作業内容	技術名	技術的な課題
1 水分調整	バイオマス系RPFボイラーとロータリ攪拌機付き水分調整システム(試作)	<ul style="list-style-type: none"> ・燃料費の削減には、より安価な建築廃材の混合利用等の利用も検討が必要。 ・堆肥の堆積高さが不足する場合、水分センサーに十分な堆肥が被らず推定誤差が発生する。ステンスフレームの構造の最適化が必要。
2 敷料利用	敷料梱包技術(鎌長製衡社製 フレコンバッカーFB-WL)	<ul style="list-style-type: none"> ・内部結露により敷料にカビが発生する問題があり、メッシュ素材フレコンの利用が必要。 ・メッシュ素材フレコンでの敷料流通ではメッシュ間隙から敷料が漏出するため、ファームダンプや4t平ボディ車等の活用が最適。供給可能エリアは片道数時間程度の輸送距離に限定。 ・pH矯正剤として活用可能な草木灰やバイオ炭を帰り荷として積載することで、輸送コストが削減可能。

(2) その他

○ 堆肥の物流では、バラ堆肥のフレコン充填作業に作業員2名で2時間の作業が追加されるが、トラックへの積込・荷卸し作業や洗車が容易になるため所要時間が約1時間削減できる。また、バラ堆肥の運搬では荷台でシートを覆う(畳む)作業が必須で重労働であることから、フレコン輸送の方が効率的との意見であった。更なる効率化にはフレコン投入機の導入を検討する必要がある。

○ 代替敷料の製造・流通は、おが粉の入手が困難な地域において、密閉縦型堆肥化装置の導入により代替敷料を自家生産できることが大きなメリットと言える。また、堆肥センターが代替敷料の製造を担う場合は、利用者は家畜ふん尿を堆肥センターに持ち込んだ帰り荷として、代替敷料を持ち帰ることが可能となり、流通コストを削減可能である。さらに、堆肥センターは一般に産業廃棄物処理業の許可を得ていることから、敷料原料を比較的安価に入手可能であり、代替敷料の供給をハブとした堆肥センターの運用は、事業性が高いものと考えられる。

蒸製肉骨粉と牛ふん堆肥を混合した 有機質ペレットによる大根栽培

本課題は、農林水産省「スマート農業実証プロジェクト（ペレット堆肥活用促進のための技術開発・実証）（課題番号：ぺ4H1、課題名：ペレット堆肥の広域流通システムに係る低コスト生産体系の実証）」（事業主体：農研機構）の支援により実施された。

指定混合肥料

使用する原料や加工方法によって「指定配合肥料」、「指定化成肥料」、「特殊肥料等入り指定混合肥料」、「土壌改良資材入り指定混合肥料」の4種類に分けられる。

指定混合肥料を生産・輸入する場合、その事業を開始する1週間前までに、国（[地方農政局等](#)）又は[都道府県](#)に届出を行う必要があります。

	使用原料等	生産/輸入	原料として使用される普通肥料の登録区分	書類の提出先
指定配合肥料	普通肥料 + 普通肥料 (単純配合・水造粒)	生産	法第4条第1項第1号、2号及び6号に掲げる肥料が原料として用いられる場合（例：尿素、過石、化成肥料等を含む場合）	国（地方農政局等）
			それ以外の場合（例：尿素、過石、化成肥料等を含まない場合）	都道府県
		輸入	—	国（地方農政局等）
指定化成肥料	普通肥料 + 普通肥料 (水以外の材料を使用する造粒)	生産	法第4条第1項第1号、2号及び6号に掲げる肥料が原料として用いられる場合	国（地方農政局等）
			それ以外の場合	都道府県
		輸入	—	国（地方農政局等）
特殊肥料等入り指定混合肥料	普通肥料 + 特殊肥料	生産	法第4条第1項第1～3号(硫黄及びその化合物のみ)及び6号に掲げる肥料が原料として用いられる場合	国（地方農政局等）
			それ以外の場合	都道府県
土壌改良資材入り指定混合肥料	普通肥料 + 土壌改良資材	生産	法第4条第1項第1～3号(硫黄及びその化合物のみ)及び6号に掲げる肥料が原料として用いられる場合	国（地方農政局等）
			それ以外の場合	都道府県
	輸入	—	国（地方農政局等）	
	特殊肥料 + 土壌改良資材	生産	—	都道府県
輸入		—	国（地方農政局等）	

指定混合肥料に使用する原料の制限（共通）

指定混合肥料（指定配合肥料、指定化成肥料、特殊肥料等入り指定混合肥料、土壤改良資材入り指定混合肥料。以下同じ。）に、**以下の原料は、従来の指定配合肥料と同様には使用できない。**

- ①事故肥料
 - ②肥料の品質を低下させるような異物が混入された普通肥料
 - ③硝酸化成抑制材（※1を除く）が使用された普通肥料
 - ④汚泥肥料、特定普通肥料
 - ⑤牛由来の原料を原料とした普通肥料（管理措置をしていないもの）
- ※1 1-アミジノ-2-チオウレア、4-アミノ-N-（1・3-チアゾール-2-イル）ベンゼンスルホンアミド、N-（2・5-ジクロルフェニル）サクシナミド酸、ジシアンジアミド

特殊肥料等入り指定混合肥料

使用できない材料

- 人ふん尿
- **含水率50%以上の動物の排せつ物及び堆肥**（液状のものを除く）

そのまま混合可能

【アルカリ性の肥料】粗砕石灰石、草木灰、くん炭肥料、骨炭粉末、骨灰、**動物の排せつ物の燃焼灰、堆肥**、発泡消火剤製造かす、貝殻肥料、貝化石粉末、製糖副産石灰、石灰処理肥料、微粉炭燃焼灰及びこれらを原料とした混合特殊肥料 目開きが2mmの網ふるい上に全重量の95%以上残留する炭酸カルシウム、貝化石肥料、副産石灰肥料（貝殻が原料のもののみ）は除く。

品質低下を起こさないことを確認した上で使用

【強アルカリ性の肥料】草木灰、骨灰、**動物の排せつ物の燃焼灰**、微粉炭燃焼灰及びこれらを原料とした混合特殊肥料（アルカリ分を含有するもの）

56

混合堆肥複合肥料と特殊肥料等入り指定混合肥料の相違点

項目	混合堆肥複合肥料	特殊肥料等入り指定混合肥料
生産申請	登録肥料	届出肥料
成分	成分含有量を保証 （分析値に基づく） （TN+TP+TK \geq 2.0%）	主成分の含有量 （分析値に基づく許容値管理） 化学的変化による品質低下のおそれがないこと
原料堆肥	特殊肥料として届出済 家畜排せつ物由来または食品由来 成分に関する規定有り	特殊肥料として届出済 原料規定無し 成分に関する規定無し 水分率50%以下
堆肥と肥料の混合	混合して造粒ないし成形	規定無し 粒状配合も可 堆肥以外の特殊肥料も可
乾燥工程	加熱乾燥が必要	規定無し

出典：*令和4年度 食料・農業・農村白書白書第1章第7節

牛ふん堆肥で水分50%以下にするには工夫が必要



乾燥ハウスで乾かしてから肥料会社に運搬し、化学肥料と混合してペレット化

57

目的 牛糞堆肥と蒸製肉骨粉で特殊肥料入り指定混合肥料の開発

- 2001年にBSE患畜が確認され、全ての動物種由来の肥料の国内における製造・出荷の一時停止
- 食品安全委員会等のリスク評価を踏まえ、動物由来たん白質の肥料利用について、動物種や製造工程管理毎に一時停止解除
- 牛の蒸製肉骨粉は、脊柱等を除いた部位を133℃以上、3気圧以上の条件で、20分間以上蒸製したもので、原料の加工措置等の条件を満たし農林水産大臣の確認を受けたもの。

肉骨粉の大部分は焼却処理

(補助金：肉骨粉適正処分対策事業H13&14焼却 101億円)



牛ふんペレット堆肥の成分調整

蒸製肉骨粉は肥料成分に富んだ材料であるが、家畜等への給与や牧草地等への施用は禁止

そこで、牛ふん堆肥と蒸製肉骨粉を混合し、牧草地等以外に施用できる特殊肥料入り指定混合肥料を製造し広域流通化するため、ペレット加工条件を明らかにする。

肥料利用に関する登録証

登録証	
登録番号	熊本県肥第1506号
登録年月日	令和5年(2023年)1月23日
登録の有効期限	令和11年(2029年)1月22日
氏名又は名称及び住所	株式会社熊本蛋白ミール公社 熊本県菊池市七瀬町林道70
肥料の種類及び名称	種類：肉骨粉 名称：くまたん88
保証成分量(%)	窒素全量：8.0 りん酸全量：8.0
その他の規格	その他の制限事項は、公定規格のとおり
肥料の品質の確保等に関する法律第7条の規定に基づき上記のとおり登録したことを証します。 令和5年(2023年)1月23日 熊本県知事 溝島 郁夫	

58

牛ふん堆肥と蒸製肉骨粉の成分濃度と推定肥効率

表 乾物質量当たりの各成分濃度

蒸製肉骨粉：窒素、リン酸、石灰濃度が高く、カリ濃度が低い

項目	水分 (%)	水素イオン指数 (pH)	電気伝導度 (EC) (mS/cm)	炭素率 (C/N) (-)	窒素 (N) (%)	リン酸 (P ₂ O ₅) (%)	カリ (K ₂ O) (%)	石灰 (CaO) (%)	苦土 (MgO) (%)	有機炭素 (OC) (%)
牛ふん堆肥	35.5	9.15	6.64	18.60	2.56	4.60	4.57	2.87	2.53	47.41
蒸製肉骨粉	4.4	6.51	3.17	5.00	8.56	10.40	0.45	13.37	0.29	42.72

表 推定肥効率と有効成分濃度

AD可溶有機態窒素は、蒸製肉骨粉は牛ふん堆肥の8.5倍

材料	ADSON分析値 (mg-N/gDM)	肥効率 (%)			有効成分 ²⁾ (%)			有効成分比 (-)		
		窒素 ¹⁾	リン酸	カリ	窒素	リン酸	カリ	窒素	リン酸	カリ
牛ふん堆肥	9.2	5.1	60	90	0.1	2.8	4.1	1.0	21.3	31.7
蒸製肉骨粉	78.1	79.3	60	90	6.8	6.2	0.4	1.0	0.9	0.1

1) 最大窒素肥効率 (%) = (ADSONの2乗) / (1595 + ADSONの2乗) × 100

2) 有効成分 (%) = 乾物質量当たりの成分濃度 (%) × 肥効率 (%) ÷ 100

土壌温度30℃での最大N肥効率推定値は、蒸製肉骨粉は牛ふん堆肥の15.6倍

ADSON：Acid-detergent soluble organic nitrogenの省略で、酸性デタージェント可溶性有機態窒素含量のこと。飼料品質の評価指標ですが、土壌中での分解しやすさ(窒素無機化)を表す指標としても近年注目されている有機質資材の化学特性値の一つです。

59

牛糞堆肥・蒸製肉骨粉と他の資材と比較した成分価格

項目	資材価格 (円/t)	資材含有成分濃度 (%)			肥効率 (%)			肥料成分価格 (円/kg)	
		窒素	リン酸	カリ	窒素 ¹⁾	リン酸	カリ	有効窒素	有効NPK合計
牛ふん堆肥 ²⁾	7,000	2.6	4.6	4.6	5	60	90	5385	100
蒸製肉骨粉	55,000	8.6	10.4	0.4	79	60	90	810	411
なたね油粕 ³⁾	92,100	5.1	2.5	1.3	75	60	90	2408	1418
米ぬか油粕 ³⁾	44,300	2.1	4.2	1.6	75	60	90	2813	800
米ぬか ³⁾	36,300	2.0	3.9	1.5	26	60	90	6981	862
肥料用魚粕 ³⁾	189,000	8.0	6.0	1.0	76	60	90	3109	1786
高度化 (15-15-15)	202,550	15	15	15	100	100	100	1350	450
普通化成 (8-8-5)	135,750	8	8	5	100	100	100	1697	646
配合肥料 (8-8-5)	177,350	8	8	5	100	100	100	2217	845
硫安 (21%)	82,900	21	0	0	100	100	100	395	
尿素 (46%)	146,300	46	0	0	100	100	100	318	
過リン酸石灰(17%)	124,900	0	17	0	100	100	100		367

1) 最大窒素肥効率 (%) = (AD可溶有機態窒素の2乗) / (1595 + AD可溶有機態窒素の2乗) × 100

2) 牛ふん堆肥成分値は乾物質量値の濃度、資材価格は堆肥水分50%と仮定し乾燥質量当たりの価格に換算

3) 資材価格：一般社団法人 全国肥料連合会統計情報2022、成分濃度：肥料便覧-2019/2020- 農林統計協会

4) 化学肥料：一般社団法人 肥料経済研究所2024、成分濃度：肥料便覧-2019/2021- 農林統計協会

60

混合割合による10a当たりの施肥量と施肥成分量の違い

表 乾物混合割合による施肥割合と資材代

作型	混合割合		施肥量 (kg _{DM} /10a)	施肥成分量 (kg/10a)			資材費 (円/t)	ペレット代 (円/t)
	牛ふん堆肥	蒸製骨粉		N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
ハウス (促成)	60	40	361	10.1	15.0	9.5	9,567	18,596
	55	45	347	10.8	15.0	8.5	10,006	18,673
	50	50	333	11.5	15.0	7.5	10,412	18,744
露地 (半促成)	60	40	430	12.0	17.9	11.3	11,389	22,138
	55	45	384	12.0	16.6	9.4	11,089	20,694
	50	50	347	12.0	15.6	7.8	10,847	19,527

カリが若干不足

牛ふん堆肥 7480円/t_{DM}、蒸製骨粉55,000円/t、成型費25000円/tとし試算

メロンはMg欠乏を起こしやすい作物で、KとCaの施用過剰に留意
(蒸製肉骨粉Ca 13%なので石灰施肥量の削減する必要)

慣行栽培における肥料代 9.9万円/10a

内訳：基肥化学肥料3.5万円/10a、土づくり堆肥0.8万円/10a、追肥5.6万円/10a

出典：成分調整ペレット堆肥の作業性とトマト及びメロンにおける経済性 熊本県農研センター研究報告第13号 (加久ら)

蒸製肉骨粉を利用することで肥料代を削減できる可能性

61

熱水抽出液による幼植物(コマツナ)検定(発芽率)

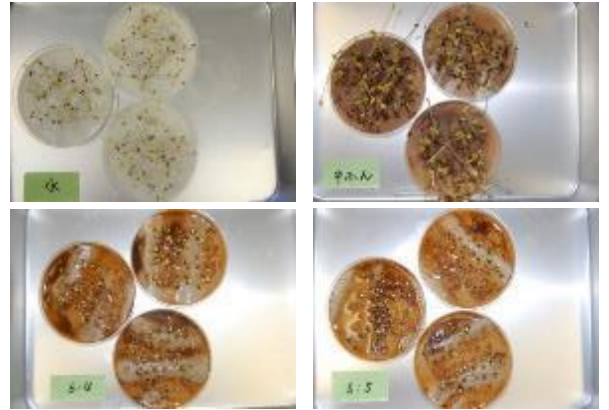
表 水区に比較した発芽率 (%)

処理区	発芽率 (%)				
	経過日数	3日後	4日後	5日後	6日後
水 (対照区)	平均	100	100	100	100
	S.D.	0	0	0	0
肉骨粉	平均	72.7	76.0	76.0	76.0
	S.D.	2.3	3.5	3.5	3.5
牛ふん堆肥	平均	97.3	97.3	97.3	97.3
	S.D.	1.2	1.2	1.2	1.2
牛ふん堆肥：蒸製肉骨粉 = 5 : 5	平均	71.3	71.3	71.3	71.3
	S.D.	4.6	4.6	4.6	4.6
牛ふん堆肥：蒸製肉骨粉 = 6 : 4	平均	78.0	78.0	78.0	78.0
	S.D.	9.2	9.2	9.2	9.2

表 発芽試験用水溶液のEC

肉骨粉	1156	μS/cm
牛ふん	2.91	mS/cm
5 : 5	2.29	mS/cm
6 : 4	2.51	mS/cm

ECはそれほど高くない



発芽率

水区100に対し、牛ふん堆肥97%、混合物は71~78%
(供試水溶液のEC：牛ふん堆肥2.9、混合物2.3~2.5 mS/cm)

油分の影響？

肥料検定法に基づく栽培試験を実施して評価

乾物質量混合比 牛ふん堆肥：蒸製肉骨粉	油分 (%)
5 : 5	2.9
6 : 4	2.4

肥料検定法に基づく栽培試験(6日目と14日目の生育状況)

無施肥 化学肥料 堆肥：蒸製肉骨粉 = 50 : 50 1倍 2倍 3倍 4倍 堆肥：蒸製肉骨粉 = 60 : 40 1倍 2倍 3倍 4倍

6日目



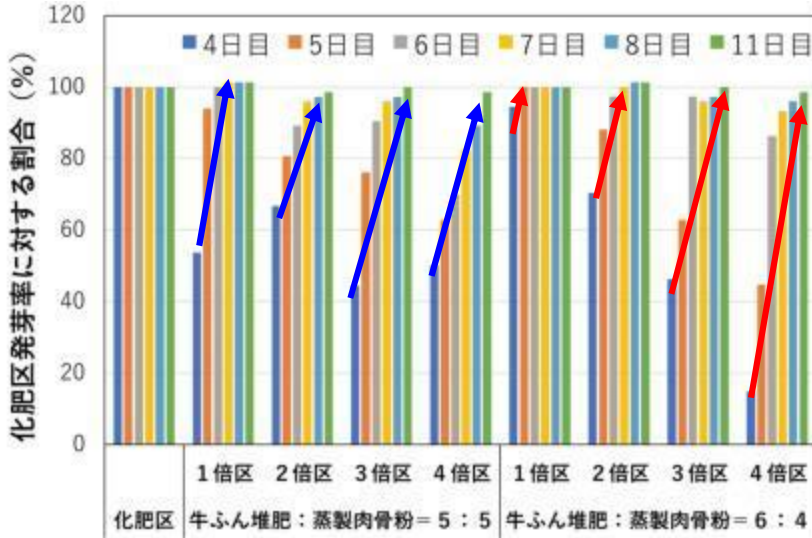
14日目



肥料検定法に基づく栽培試験(発芽率)

経過日数	化肥区	牛ふん堆肥：蒸製肉骨粉 = 5 : 5				牛ふん堆肥：蒸製肉骨粉 = 6 : 4			
		1倍区	2倍区	3倍区	4倍区	1倍区	2倍区	3倍区	4倍区
4日目	100	54	67	44	50	94	70	46	15
5日目	100	94	81	76	63	100	88	63	45
6日目	100	100	89	90	70	100	97	97	86
7日目	100	101	96	96	82	100	100	96	93
8日目	100	101	97	97	89	100	101	97	96
11日目	100	101	99	100	99	100	101	100	99

栽培試験状況



蒸製肉骨粉添加1倍区は化学肥料区に対して、**発芽が6：4区で1日程度、5：5区で2日程度遅れる傾向**

施肥量が増えるに従って、発芽率が低下し、2～4倍区では顕著

今後の課題

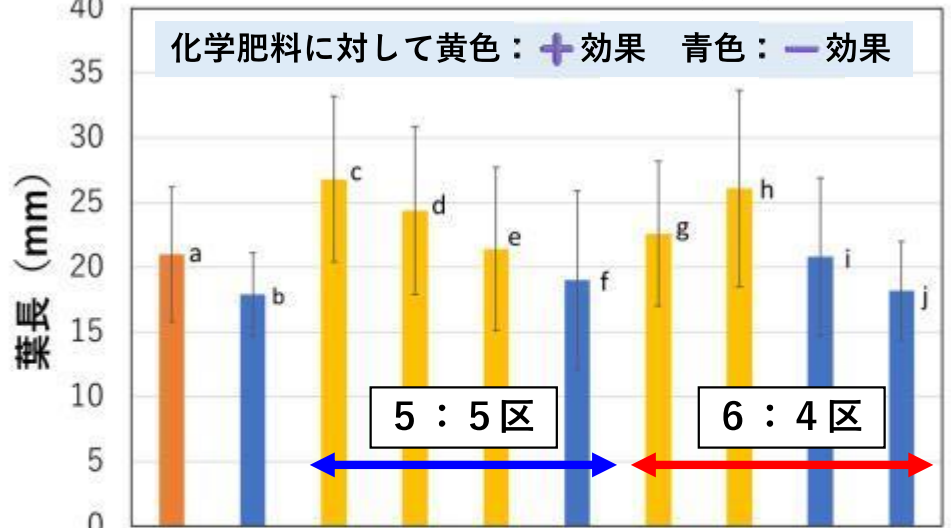
- 蒸製肉骨粉入り堆肥を、早めに土壌と混和し発芽率を向上
- 化学肥料代替率の検討
(基肥50%代替で全施肥量の33%を有機資材で代替)

64

肥料検定法に基づく栽培試験(14日目葉長)

各区 (21本の平均葉長[mm])		
区	平均	標準偏差
対照区 化学肥料	21.0	5.2
無施肥区	17.9	3.2
5:5 標準施用区	26.8	6.4
5:5 2倍量区	24.4	6.5
5:5 3倍量区	21.4	6.3
5:5 4倍量区	19.0	6.9
6:4 標準施用区	22.6	5.6
6:4 2倍量区	26.1	7.6
6:4 3倍量区	20.8	6.1
6:4 4倍量区	18.2	3.8

図 各区21本の平均葉長 (mm)



多重検定の結果 (Steel-Dwassの方法)、各処理区間に有意差 (P<0.05)
蒸製肉骨粉添加区：1、2倍施用区は葉長が優位に大きい (肥料効果あり)

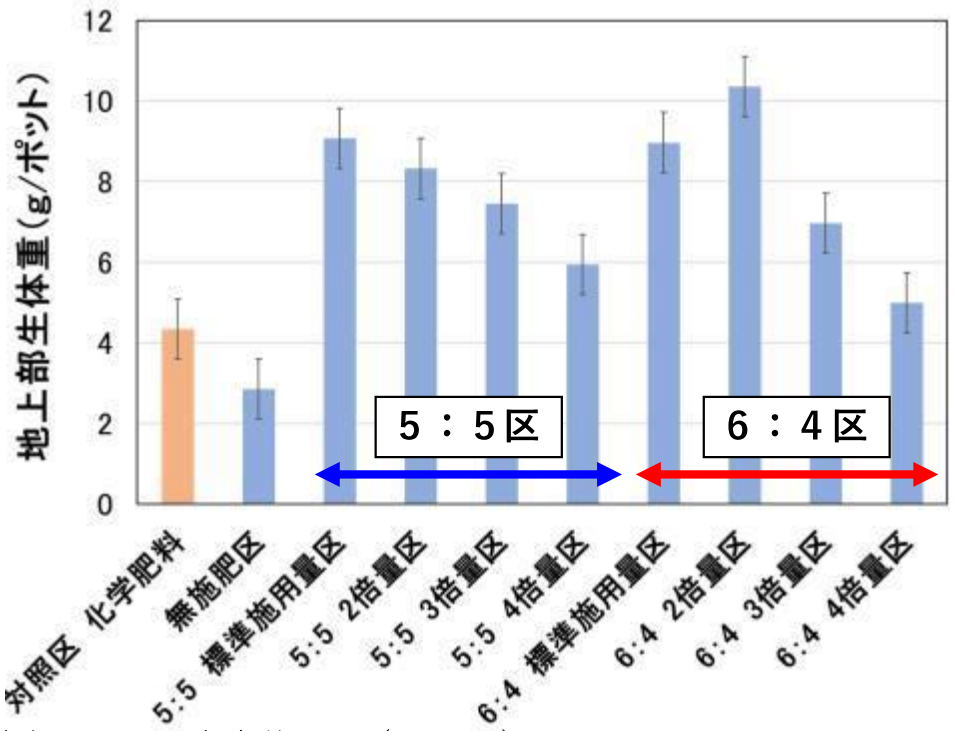
過剰施肥に注意、施用方法等に更なる検討 (特に発芽率) が必要

65

肥料検定法に基づく栽培試験(21日目地上物生体重)

n=3

項目	生体重		生体重指数 対照区 100
	平均 (g)	S.D. (g)	
対照区 化学肥料	4.3	1.4	100
無施肥区	2.8	0.0	66
5:5 1倍量区	9.1	0.9	209
5:5 2倍量区	8.3	2.0	192
5:5 3倍量区	7.4	0.8	172
5:5 4倍量区	5.9	2.1	137
6:4 1倍量区	9.0	2.1	207
6:4 2倍量区	10.4	2.7	239
6:4 3倍量区	7.0	1.3	160
6:4 4倍量区	5.0	1.3	115



生体重指数80未満で生育障害の可能性
多重検定の結果 (Steelの方法)、各処理区間に有意差なし (P>0.05)

蒸製肉骨粉添加区 (化学肥料+有機質肥料) : 生体重指数は115以上で生育障害見られない
施用量が多くなると生体重が減少

➡ 過剰施肥に注意、バラの状態の肥料では発芽の遅れに留意

66

蒸製肉骨粉と牛ふん堆肥の有機質ペレット堆肥(5mm径)を利用した大根栽培試験

混合割合		ペレット堆肥		化学肥料 (円/10a)				合計 (円/10a)	合計 (円/10a)
牛ふん堆肥 割合 (%)	蒸製肉骨粉 割合 (%)	価格 (円/10a)	施用量 (kg _{DM} /10a)	化成14-14-14 (円/10a)	粒状ようりん 20% (円/10a)	塩化カリ60% (円/10a)	合計 (円/10a)		
60	40	27,673	537			176	176	1.4	27,849
55	45	25,867	480			671	671	5.4	26,538
50	50	24,409	434		326	1,070	1,396	11.0	25,805
化学肥料区				14,850	3,493	0	18,343	132.1	18,343

単位:m	5	5	2	5	5
7	無施肥①	肉骨粉:堆肥 =4:6①	肉骨粉:堆肥 =5:5①	化学肥料①	
2					
7	肉骨粉:堆肥 =4:6②	肉骨粉:堆肥 =5:5②	化学肥料②	無施肥②	
2					
7	肉骨粉:堆肥 =5:5③	化学肥料③	無施肥③	肉骨粉:堆肥 =4:6③	
2					
7	化学肥料④	無施肥④	肉骨粉:堆肥 =4:6④	肉骨粉:堆肥 =5:5④	

播種14日後に間引き(3株⇒2株)を行った結果、欠株は見られなかった。今後の生育への影響を検討する。



67

蒸製肉骨粉と牛ふん堆肥のペレット堆肥を利用した大根栽培試験 播種29日目の全長(葉+根)調査結果



処理区	全長 (mm)	
	平均	S.D.
無施肥区	422 _a	28
化学肥料区	448 _a	27
牛糞堆肥：蒸製肉骨粉 50：50区	448 _a	54
牛糞堆肥：蒸製肉骨粉 60：40区	446 _a	7

播種後29日目の大根の全長は、全処理区間で有意差 ($p > 0.05$) は見られなかった。



蒸製肉骨粉をペレット化して肥料として利用しても、発芽や初期生育に問題は見られない。

68

蒸製肉骨粉と牛ふん堆肥のペレット堆肥を利用した大根栽培試験 播種77日目における収穫調査結果

大根の栽培試験の結果、大根の生育は、慣行栽培とほぼ同等で、開発肥料が作物栽培に有効

- 全重、根重、全長、葉長、根直径に化学肥料区と肉骨粉区に有意差なし ($P > 0.05$)
- 根長に関しては、化学肥料区に比較し蒸製肉骨粉は26~27mm程度短い ($P < 0.05$)

表 播種77日目における収穫調査結果

平均	全重 (g)	根重 (g)	全長 (mm)	葉長 (mm)	根長 (mm)	根直径 (mm)
無施肥区	882.7 _a	623.7 _a	683.5 _a	362.5 _a	321.0 _a	63.5 _a
化学肥料区	1341.8 _b	958.0 _b	819.8 _b	440.0 _b	379.8 _b	77.1 _b
堆肥：蒸製肉骨粉 50：50区	1309.9 _b	917.7 _b	784.8 _b	430.8 _b	354.0 _c	75.4 _b
堆肥：蒸製肉骨粉 60：40区	1311.3 _b	911.4 _b	812.8 _b	460.3 _b	352.5 _{bc}	76.2 _b

次年度にメロン栽培試験を実施

根長が26mm程度短い

69

蒸製肉骨粉と牛ふん堆肥のペレット堆肥からの窒素放出率

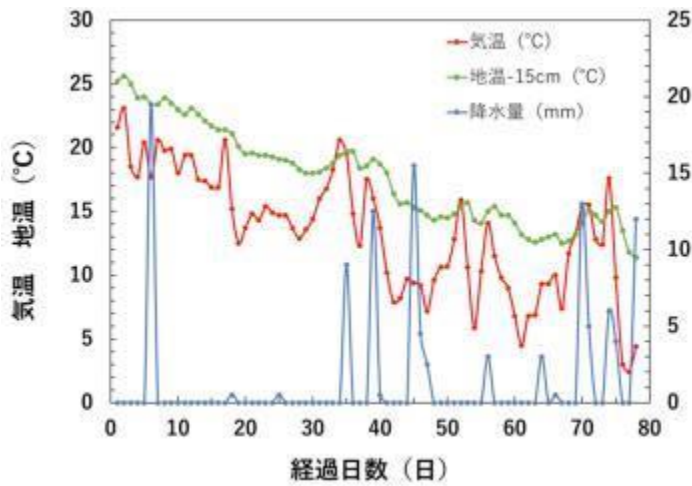


表 気温・土壌温度及び降水量のまとめ
(10月3日から12月19日)

項目	気温 (°C)	地温-15cm (°C)	降水量 (mm)
平均	13.4	17.7	1.4
標準偏差	4.7	3.8	3.8

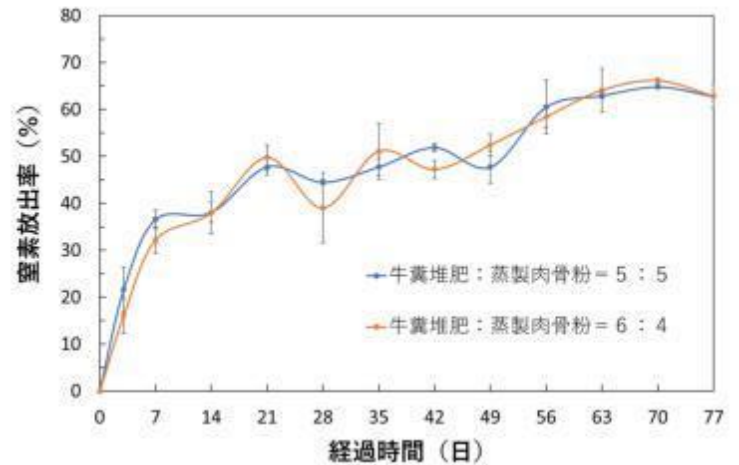


表 土壌と混和した有機質ペレットからの窒素放出率
(10月3日から12月19日)

経過日数 (日)	牛糞堆肥：蒸製肉骨粉 = 5 : 5	牛糞堆肥：蒸製肉骨粉 = 6 : 4
77	63	63

70

蒸製肉骨粉と牛ふん堆肥のペレットを利用したメロン栽培(参考)

肥後クレーン 等級/規格	蒸製肉骨粉 (4月30日収穫)			化学肥料 (6月11日収穫)		
	秀	優	階級比率	秀	優	階級比率
特大						0
大				27	1	20
6L				58	4	44
5L	1	0	1	31	1	23
4L	8	3	11	13		9
3L	13	2	14	7		5
2L	19	10	28			0
L	23	10	32			0
M	8	6	14			0
S	1	0	1			0
2S						0
3S						0
等級比率	70.2	29.8	100	95.8	4.2	100
等級計	73	31	104	136	6	142
平均糖度	15.7 度			15.1 度		
平均熟度	43.2			43.8		
格格外	1			9		



蒸製肉骨粉入り牛ふん堆肥ペレットと化学肥料を利用したメロン栽培

栽培時期が違って比較はできないが、栽培農家の評価：化学肥料に比較して病気が少なく糖度も高い傾向。ぜひまた使って栽培したいと好評であった。

平均糖度
有機15.7度 化学肥料15.1度

規格外
有機1.0% 化学肥料6.3%

71

参考資料

72

堆肥化過程揮散窒素成分の回収と利用



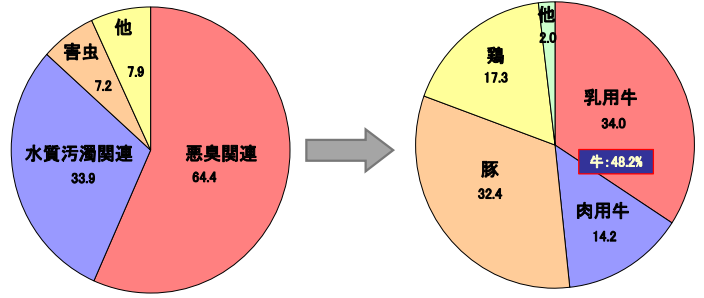
畜産経営に起因する苦情発生状況と堆肥化臭気

年	苦情件数 (戸)	苦情発生率 (%)
1973	11, 676	0.6
2002	2,501	1.6

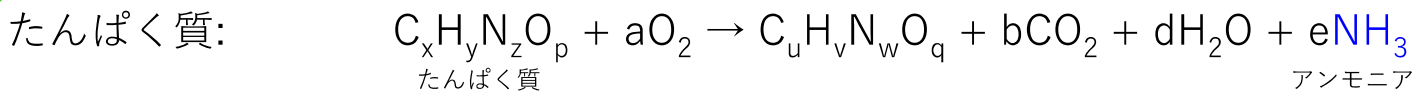
発生件数は減少してきたが、1998年位から横ばいだが、発生率は増加している。

悪臭防止法公布当時 (1971) は、養鶏>養豚>養牛の順

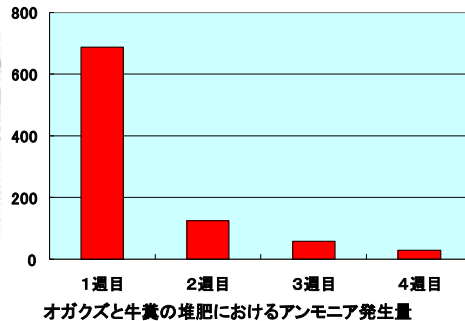
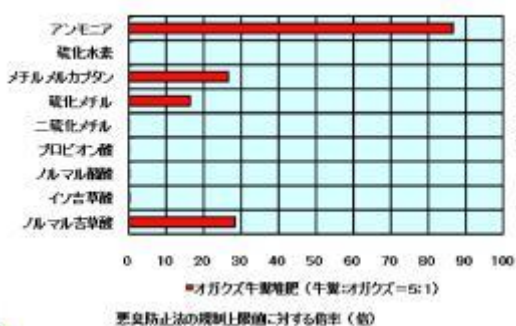
畜種：牛>豚>鶏



苦情の大部分は悪臭 (64%)、水質汚濁 (34%) で、最近は堆肥や農地に対する苦情が多い。



NH₃ はたんぱく質が分解すると発生 → 分解が良くなるほどアンモニアが発生



1週間毎に切返しをする堆肥化处理では、発酵開始後2週間程度は、極めて高濃度のアンモニアを主成分とする悪臭が発生

既存の脱臭装置

脱臭は環境保全や苦情の対策(悪臭防止法)であって、お金を払う一方(必要経費)農家導入には? 脱臭装置の設備費やランニングコストが安い。

維持管理が簡単で脱臭効率が高い。

脱臭方法の特徴と管理上の留意点

脱臭方法	化学脱臭	生物脱臭	堆肥脱臭(開発技術)
原理	化学反応で除去	微生物の働きで無臭化	吸着(生物、化学)
特徴	化学反応なので臭気を安定した形で捕捉、多湿、高温ガスにも対応	ほとんどの臭気に対応、適切は負荷条件で高い脱臭効率	ほとんどの臭気に対応、脱臭効率が高い
管理内容	薬液の調整・補充管理、廃液の的確な管理	水分の補給、入気濃度、温度の管理	維持管理は容易、定期的に材料交換が必要
設備費	安価	高価	安価
ランニングコスト	高価	安価	安価
入気NH ₃ 濃度	高濃度にも対応	200ppm以下	高濃度にも対応
回収N成分の利用	液肥として一部可	利用不可能	利用可能
NH ₃ 回収費用(円/kgNH ₃)	600	500	319
問題点	硫酸等の取り扱い、廃液処理対策、薬品代	設備費、負荷条件や温度管理	管理は容易だが、定期的な交換作業

開発システム: 減価償却費やランニングコストを含めたNH₃1kg回収にかかる費用 319円(希硫酸洗浄600円、生物脱臭500円の1/2~2/3)

実証堆肥化施設

場 所 : 熊本県菊池市

堆 肥 化 : ローダー切返し方式による強制通気式堆肥舎

(1次発酵は1週間毎に切返しを行い、合計4週間の発酵期間)

飼養規模 : 乳牛100頭(成牛70頭、育成牛30頭)

堆肥化材料 : 5 t/日 (35t/週)

導入済堆肥舎 : 菊池市、山鹿市、鹿央町、合志市、熊本市、他

実証堆肥舎



側壁等コンクリート壁の上部は、合板で自作。

1600万円(約20年前)

悪臭吸着システム



簡単な原理で、管理が容易になっています。

430万円(約20年前)

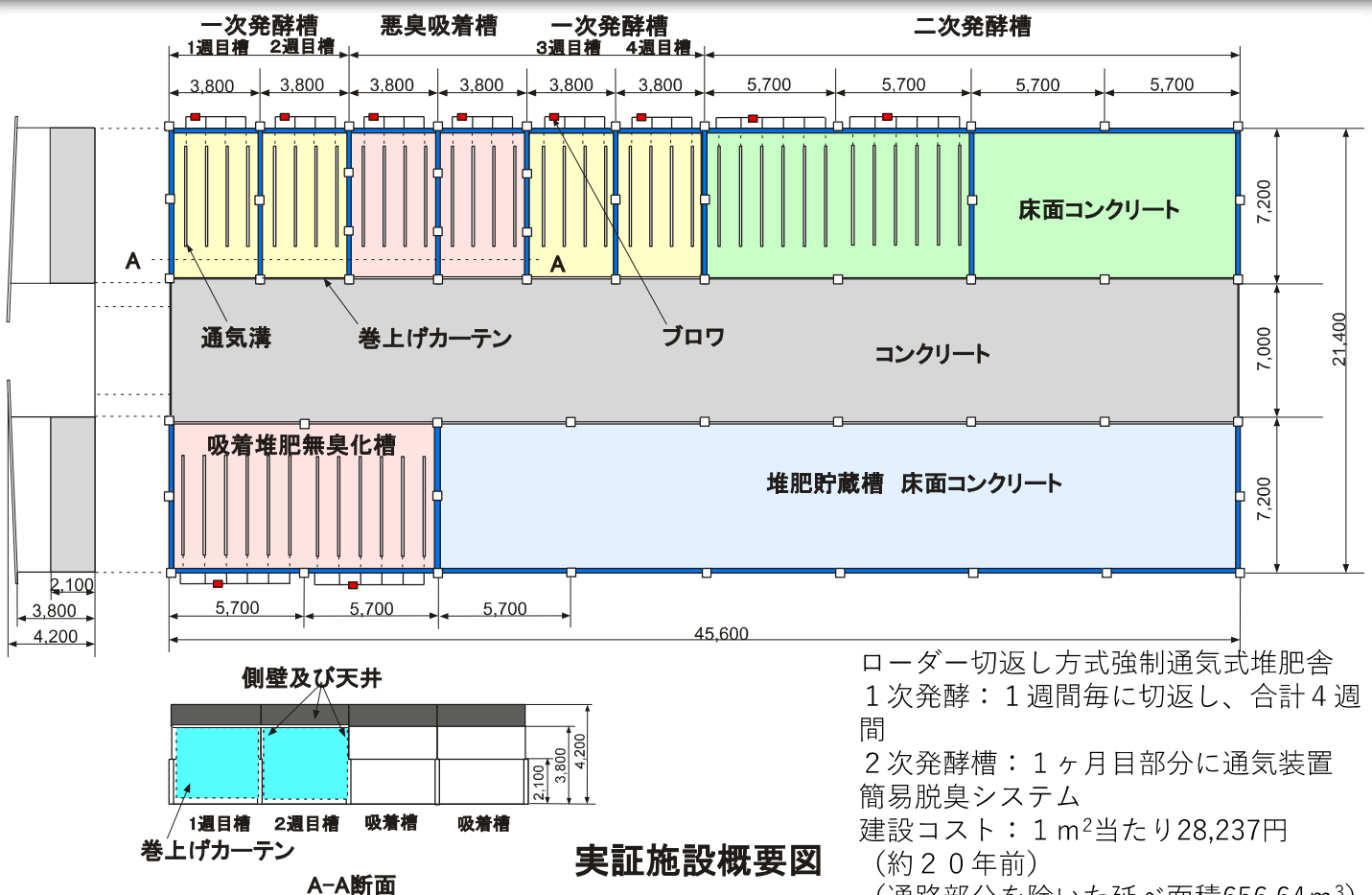
山鹿市バイオマスセンター



脱臭槽

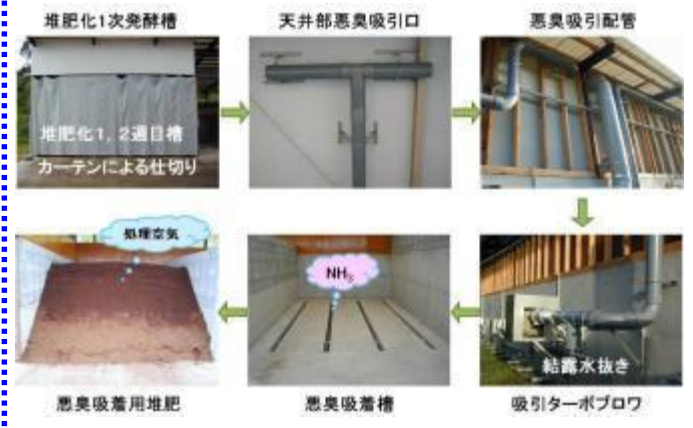
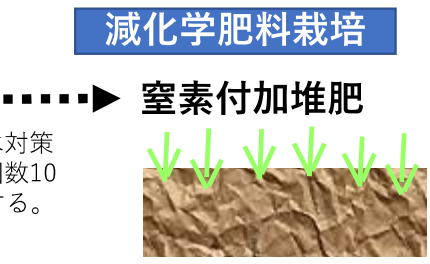
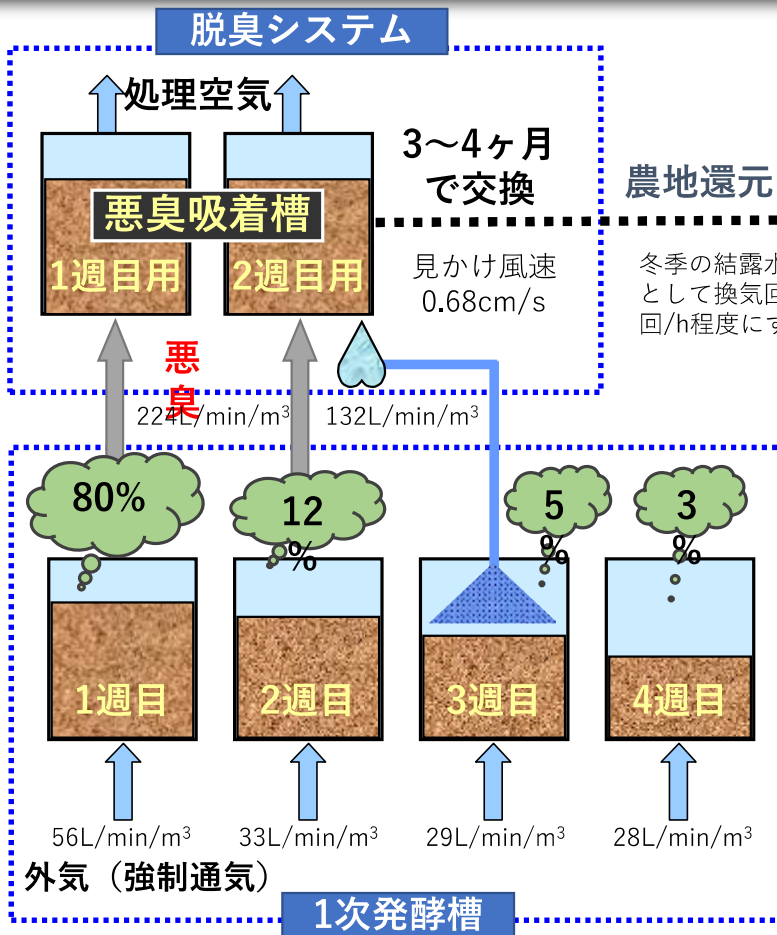
76

実証堆肥化施設概略図



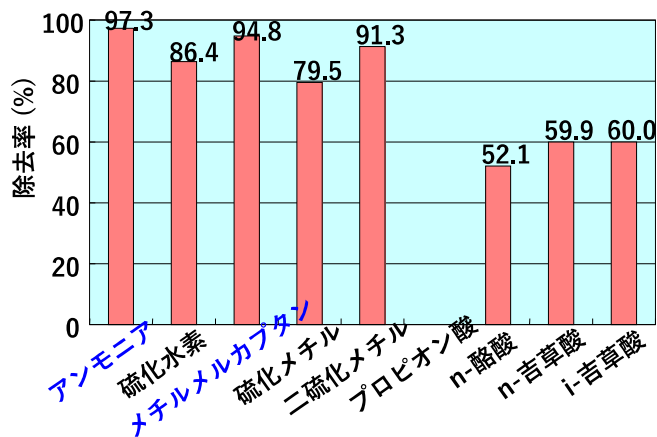
77

堆肥脱臭システム概要



脱臭システムにおける悪臭の流れ

臭気除去効果と窒素付加堆肥の特徴

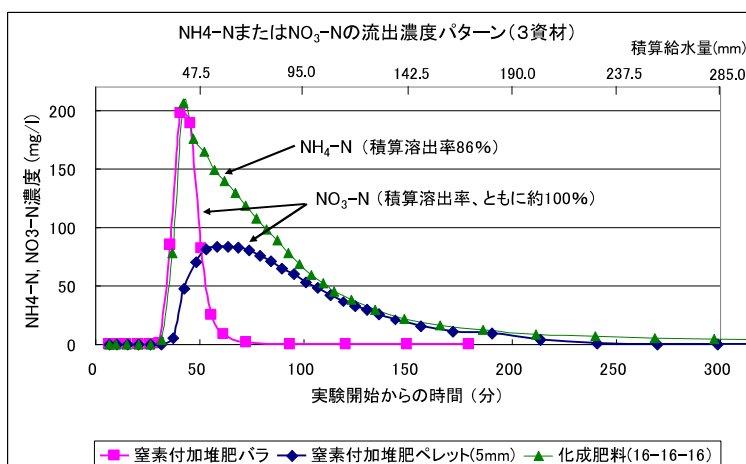


硫黄化合物

- 硫化水素 : 腐った卵のようなにおい
- メチルメルカプタン : 腐ったタマネギのようなにおい
- 硫化メチル : 腐ったキャベツのようなにおい
- 二硫化メチル : 腐ったキャベツのようなにおい

低級脂肪酸

- プロピオン酸 : 刺激的な酸っぱいにおい
- ノルマル酪酸 : 汗くさいにおい
- ノルマル吉草酸 : むれた靴下のようなにおい
- イソ吉草酸 : むれた靴下のようなにおい



窒素付加堆肥バラの初期溶出は、速効性化学肥料並みに速くペレット化により若干溶出が遅れる程度

土壌に混和した室内培養の結果、窒素無機化量に温度、成型の有無は影響しない。

窒素肥効率：70%

臭気指数規制に対応した堆肥脱臭システム

悪臭防止法規制基準

①特定悪臭物質（22物質）の濃度による規制

②臭気指数による規制

都道府県知事等が規制手法を選択

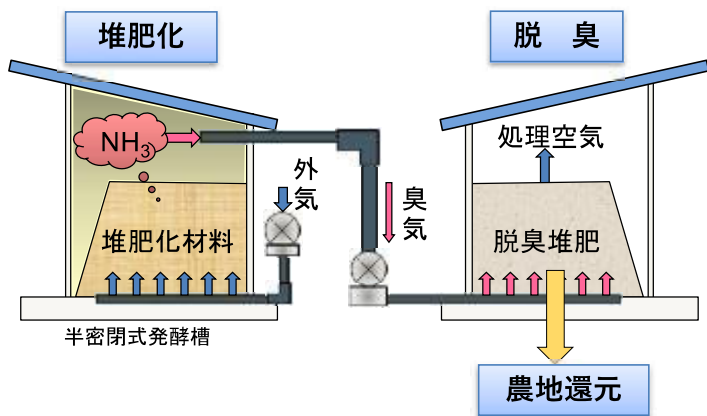
「臭気指数による規制」を行っている市町村

平成16年度
7.4%
(229/3100市町村)



平成24年度
24.9%
(428/1718市町村)

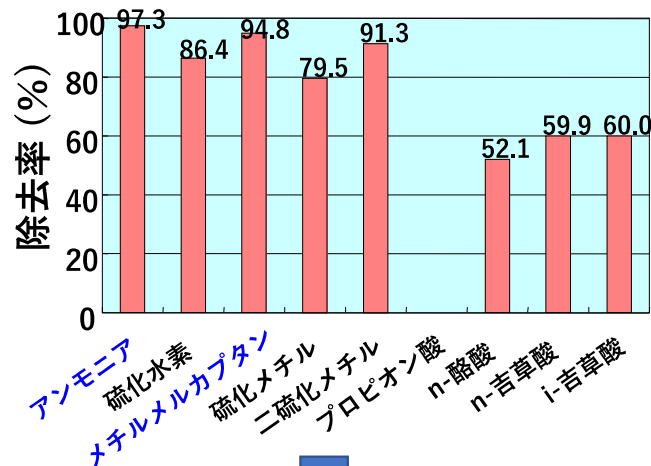
堆肥脱臭システム



臭気指数とは、人間の嗅覚を用いて悪臭の程度を数値化したもの

近年の悪臭苦情に対応した規制としてH7年に導入され、H24年度には全市町村の約25%が採用

人間の嗅覚に対応した脱臭システム開発により悪臭苦情に寄与できる



堆肥脱臭で目標達成には2次処理が必要

堆肥脱臭によって大幅に減少した臭気を、低コスト2次処理により臭気規制の厳しい地域への適応を図る

80

堆肥脱臭の臭気指数及び臭気濃度低減効果

吸着1週目の堆肥化開始後24時間の比較的強い濃度の臭気について、三点比較式臭袋法によって官能試験を行った。

吸着槽	サンプル	アンモニア (ppm)	硫化水素 (ppm)	メチルメルカプタン (ppm)	硫化メチル (ppm)	二硫化メチル (ppm)	臭気指数	臭気濃度
1週目	入気	796.3	0.84	N/D	3.41	0.04	38.2	6578
	排気	5.5	0.86	N/D	0.19	N/D	19.8	95

臭気濃度の除去率: 98.6%

臭気濃度: 臭気を感じられなくなるまで希釈した場合の希釈倍率

臭気指数 = 10 × Log (臭気濃度)



81

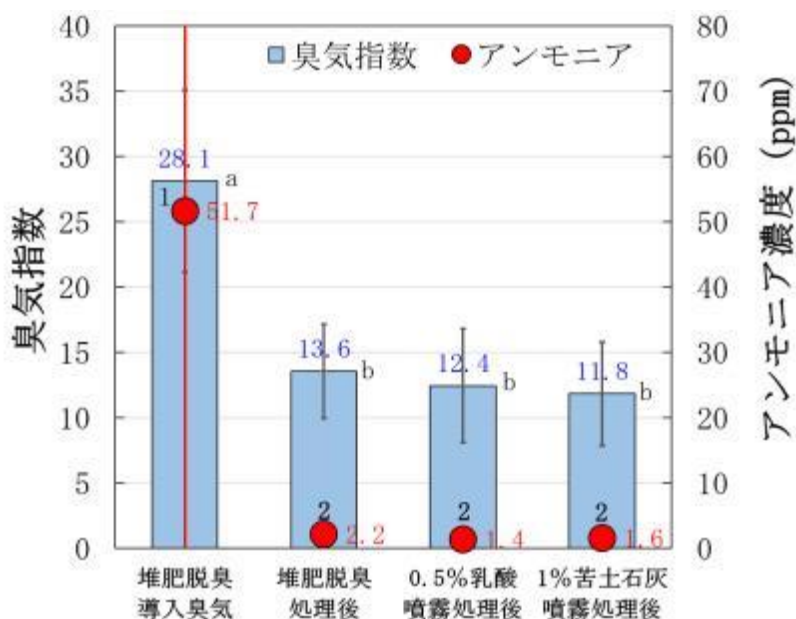
臭気強度	内容	養牛業における臭気強度2.5、3.0、3.5に相当する臭気指数
0	無臭	
1	やっと感知できるにおい	
2	何のにおいかがわかる弱いにおい	
2.5	(2と3の間)	11
3	楽に感知できるにおい	16
3.5	(3と4の間)	20
4	強いにおい	
5	強烈なにおい	

(環境省)

臭気指数 = 10 x Log (臭気濃度)

臭気濃度 500	臭気指数 2.7
臭気濃度 250	臭気指数 2.4
臭気濃度 50	臭気指数 1.7

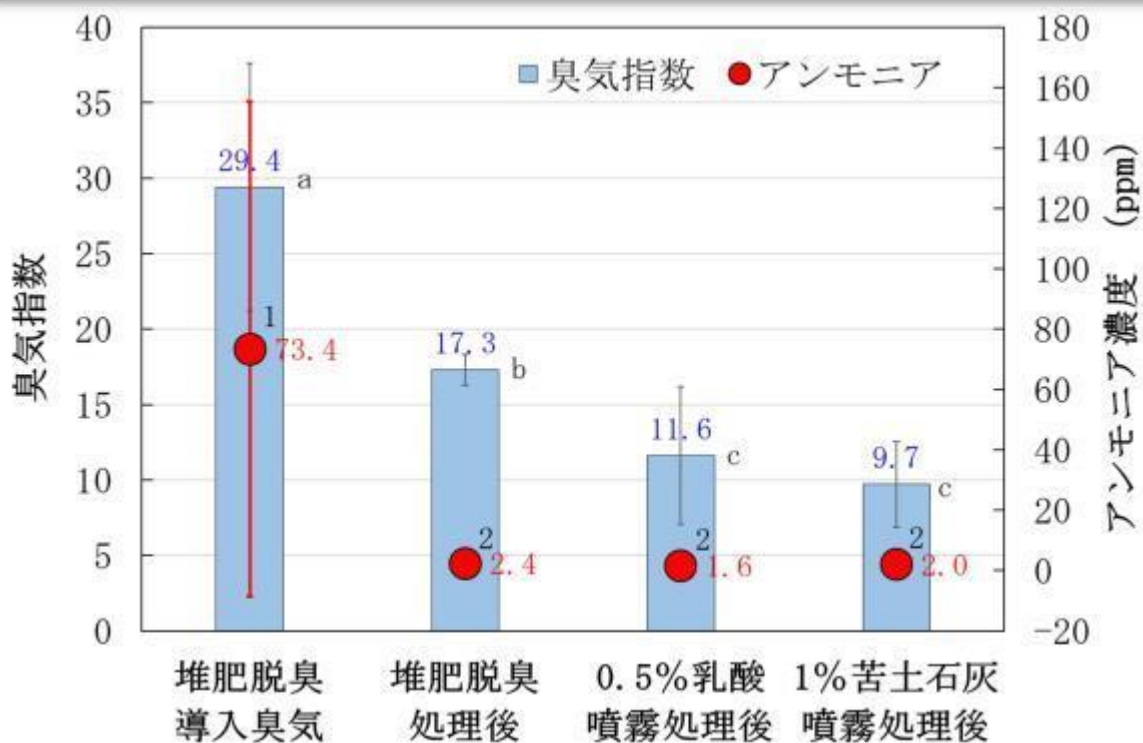
堆肥脱臭と噴霧処理による臭気低減効果 (1週間測定 x 3か月、官能試験)



- 1次脱臭処理の堆肥脱臭槽への導入空気の官能試験による平均臭気指数28.1は、1次脱臭処理によって平均臭気指数13.6まで有意 (p<0.05) に低下
- 1次脱臭によって嗅覚に感じられる臭気の強さは、元臭から約52%低下
- 堆肥脱臭と噴霧脱臭を組み合わせた高度堆肥脱臭システムにより、2次脱臭で0.5%乳酸水溶液を噴霧する場合12.4、1%苦土石灰懸濁液を噴霧する場合11.8まで有意 (p<0.05) に低下
- 高度堆肥脱臭システムにより、嗅覚に感じられる臭気の強さは、元臭から前者で56%、後方で58%低下する。

環境省の臭気指数規制ガイドライン
養牛業の臭気強度2.5、3.0、3.5に対応する臭気指数は11、16、20

堆肥脱臭と噴霧処理による臭気低減効果 1次脱臭後の臭気指数が16以上（官能試験）の場合



1次脱臭の脱臭率が不足し堆肥脱臭処理後の臭気の臭気指数が16以上で排出される場合（平均17.3）、2次脱臭によって0.5%乳酸水溶液噴霧では11.6、1%苦土石灰懸濁液噴霧では9.7と、いずれも有意（ $p < 0.05$ ）に低下し16以下となる。両者の内では、アルカリ性の苦土石灰懸濁液を噴霧する方が効果的である。

84

堆肥脱臭と噴霧処理による臭気低減効果 （コスト）

乳酸水溶液或いは苦土石灰懸濁液を噴霧する2次脱臭経費のまとめ

処理風量 (m ³ /s)	噴霧液	噴霧量 (kg/h)	噴霧装置減価償却費 (円/年)	電力量料金 (円/年)**	試薬費*** (円/年)	年間経費**** (円/年)
1.28	0.5%乳酸水溶液	9.1	58,333	39,753	93,232	191,318
	1%苦土石灰懸濁液	9.2	58,333	39,753	4,857	102,943

+ : 耐用年数6年、定額法、残存0

++ : 電力量料金22.69円/kWh

+++ : L-乳酸(50%濃度) 費350円/L、苦土石灰360円/20kg

++++ : 噴霧は1日当たり8時間、365日

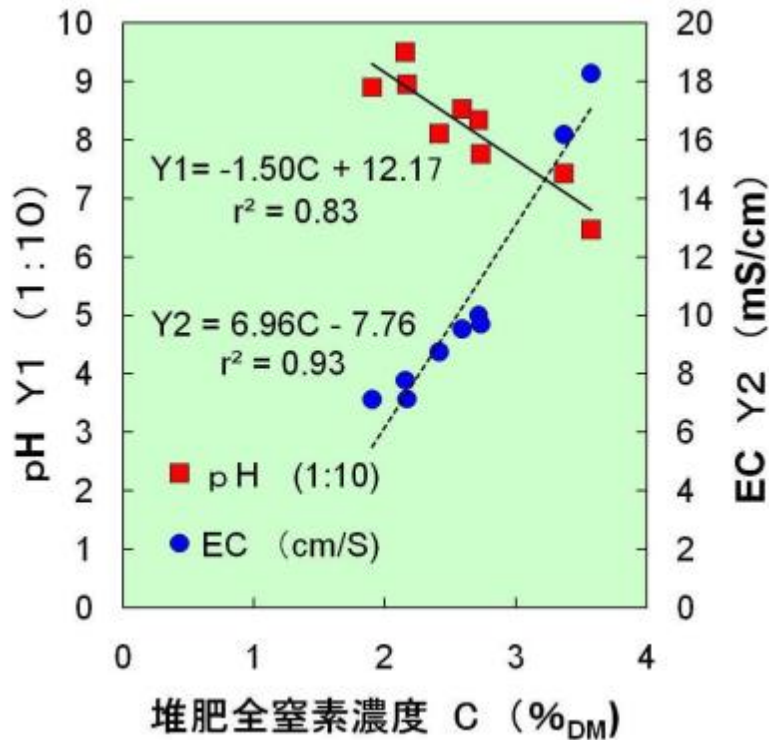


- 噴霧資材価格：L-乳酸（50%濃度）350円/L、苦土石灰360円/20kg程度
- 噴霧装置1台当たりの処理風量1.28 m³/sに対する希釈溶液の噴霧量は約9 kg/h
- 1日1台当たり8 h噴霧を行った場合の2次脱臭処理の年間経費は、0.5%乳酸水溶液噴霧で191千円、1%苦土石灰懸濁液噴霧で103千円程度となり、苦土石灰懸濁液噴霧の方が安価である。

85

現場対応型の濃度チェックとシステム管理方法

安価なモニター等を用いた現場対応型の簡易な堆肥濃度チェック方法を明らかにし、システム管理方法を検討する



脱臭用堆肥の全窒素濃度 (C) と pH (P)、EC (E) の関係は

$$C = -0.55P + 7.17 \quad (r^2 = 0.83)$$

$$C = 0.134E + 1.22 \quad (r^2 = 0.93)$$

となり、脱臭用堆肥の pH 低下又は EC 上昇により窒素増加の判断ができ、堆肥脱臭システムの管理が可能である。

ただし、全窒素濃度と pH、EC の回帰式は、各堆肥センター等において作成する必要がある。

86

貯蔵期間における濃度変化の検証と長期貯蔵

目的：高窒素濃度堆肥の貯蔵期間における保証成分濃度変化の検証を行うと共に、長期貯蔵のための貯蔵方法を明らかにする。

堆肥ペレットを20L袋に入れ直射日光の当たらない場所で6カ月間常温保存

項目	初期		6ヶ月後	
	高窒素濃度	鶏糞混合高窒素	高窒素濃度	鶏糞混合高窒素
炭素 (% _{DM})	35.1	31.6	36.7	31.5
窒素 (% _{DM})	3.8	3.3	3.6	3.4
含水率 (%)	12.4	9.5	12.0	11.0

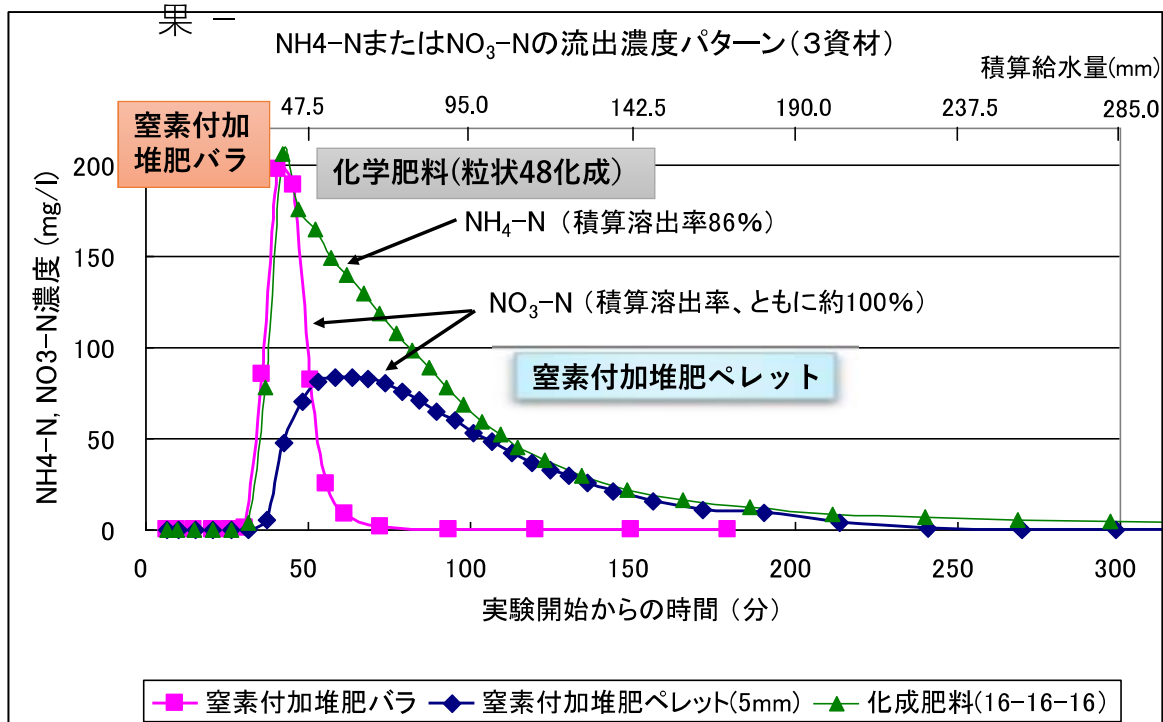
ペレット堆肥は、含水率15%以下に乾燥してから袋詰めし保管することから、長期保存しても濃度変化がほぼない。



87

高窒素濃度堆肥の基礎的な肥効

— 初期（短期）の成分溶出特性（素材特性） 結果 —



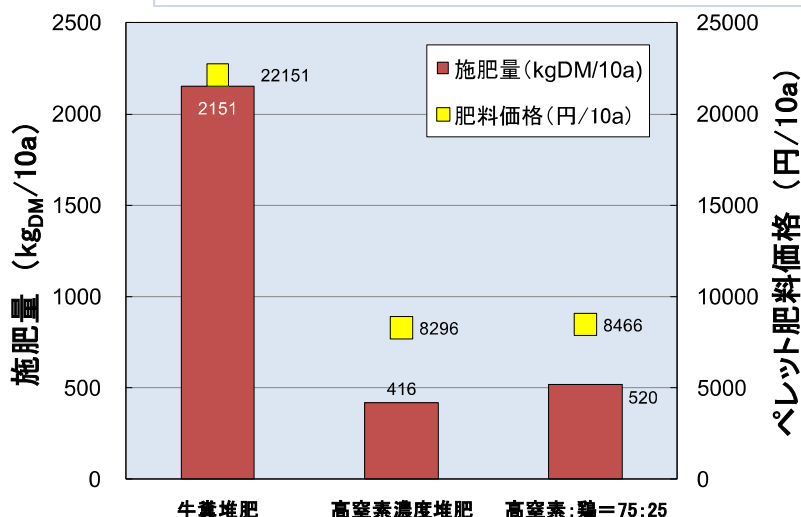
窒素付加堆肥バラの初期溶出は、速効性化学肥料並みに速くペレット化により若干溶出が遅れる程度
 土壌に混和した室内培養の結果、窒素無機化量に温度、成型の有無は影響しない。

有機栽培試験供試堆肥の成分と価格

地域有機農業推進事業モデルタウンである熊本県山都町で夏まき人参の有機栽培実証試験を実施
 栽培試験で供試した堆肥成分

堆肥種類	施肥量 (kg _{DM} /10a)	乾物重当たりの濃度 (% _{DM})			推定供給成分量 (kg/10a)			施肥基準からの増減量 (kg/10a)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
牛ペレット堆肥	2151	1.86	2.21	2.83	12.0	28.5	54.8	0.0	13.5	44.8
高窒素濃度堆肥	416	3.82	2.71	5.27	12.0	5.1	13.5	0.0	-9.9	3.5
高窒素: 鶏=75:25	520	3.30	4.40	5.70	12.0	13.7	26.7	0.0	-1.3	16.7

試験区(7m x 60.5m)には天然硫酸マグネシウム20kg、けいめい苦土20kgを均一に施肥
 熊本県の夏まき人参の施肥基準: 窒素-リン酸-カリ=12-15-10kg/10a

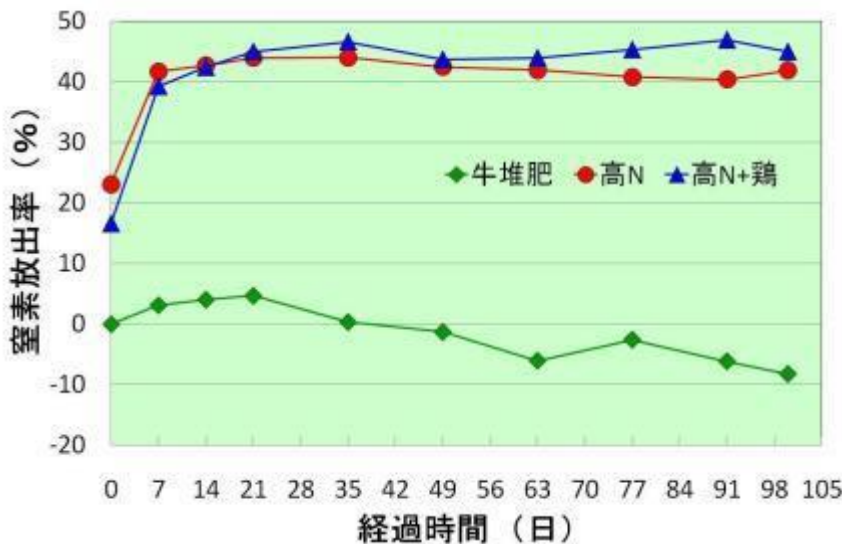


土壌分析の結果、土壌中のリン酸の濃度が高いのでリン酸不足の可能性が低いので、窒素基準で施肥
 ペレット肥料価格（製造費）は、高窒素濃度堆肥の方が安価
 【牛糞堆肥7円/kg_{DM}、高窒素堆肥19.3円/kg_{DM}、鶏糞堆肥2円/kg_{DM}、成型コスト3.3円/kg_{DM}（減価償却費：機械7年、人件費800円/h）として計算】
 施肥量は牛糞堆肥100に比較し、高窒素濃度19、高窒素・鶏堆肥24

有機栽培試験供試堆肥からの窒素放出率

ガラス繊維ろ紙埋設法

堆肥5g、土壌15gを混合しガラス繊維ろ紙、不織布で包み、黒ボク土圃場に深さ10cmに埋設し、定期的にサンプリングし窒素濃度を測定



牛糞堆肥-8%、高窒素濃度堆肥42%、高窒素・鶏堆肥45%と当初の窒素放出率に比較して小さくなった。

牛糞堆肥から3週間程度窒素放出が見られたが、その後は有機化され窒素の取り込みが見られた。

窒素は高窒素濃度堆肥では1週間程度でほぼ放出される。

肥効調節型である高窒素・鶏堆肥では放出が3週間程度持続する傾向があるが、高窒素堆肥と余り差はなかった。

90

人参収穫調査結果と窒素吸収量

試験区	収穫本数当たりの等外率 (%)			収穫重量当たりの商品化率 (%)	商品				商品量 (kg/10a)	窒素吸収量 (kg-N/10a)		
	二股	割れ	7cm<		本数 (本/10a)	長さ (cm)	直径 (mm)	重量 (g/本)		地下部	地下部	合計
無施肥	3.4	16.0	1.4	80.1	17,500	15.3 _{bc}	40.7	131.2 _{ab}	2,297	6.5	10.4	16.9
慣行	4.4	12.1	2.0	80.8	22,750	15.2 _c	40.9	127.4 _b	2,899	7.5	8.4	15.9
高窒素	2.1	6.1	0.0	89.2	22,250	16.2 _a	43.0	149.9 _a	3,336	7.4	9.1	16.5
高窒素鶏	2.8	8.6	0.0	90.8	21,625	16.2 _{ab}	41.7	139.8 _{ab}	3,023	6.8	8.3	15.0

異なる英字間に10%で有意差あり

施肥7月30日、播種7月31日、収穫11月8日(100日後、追肥なし)



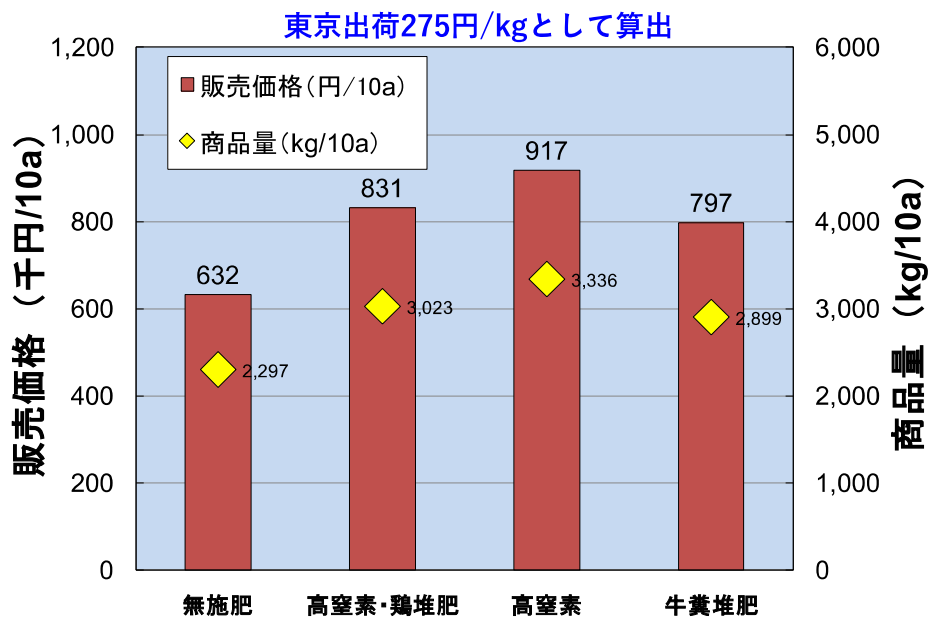
①高窒素濃度堆肥区及び高窒素・鶏堆肥区では商品化率が慣行区の81%に対して約90%

特に割れの割合が低い傾向が見られた。
収穫、圃場の乾湿の差が激しいと、裂根が起きやすい→有機質の乏しい圃場であると乾湿の差が大、窒素肥料が多いと裂根の原因

②高N堆肥区及び高N鶏堆肥区の1本重は、慣行区よりも12~23g/本増加する傾向(有意差10%)が見られ商品量が多くなった。

91

高窒素濃度堆肥の販売価格への影響



慣行（牛糞堆肥）に比較して販売価格から肥料代（堆肥のみ）を引いた金額は、高窒素濃度堆肥区では13万円/10a、高窒素・鶏堆肥区では4.7万円/10aの高くなった。



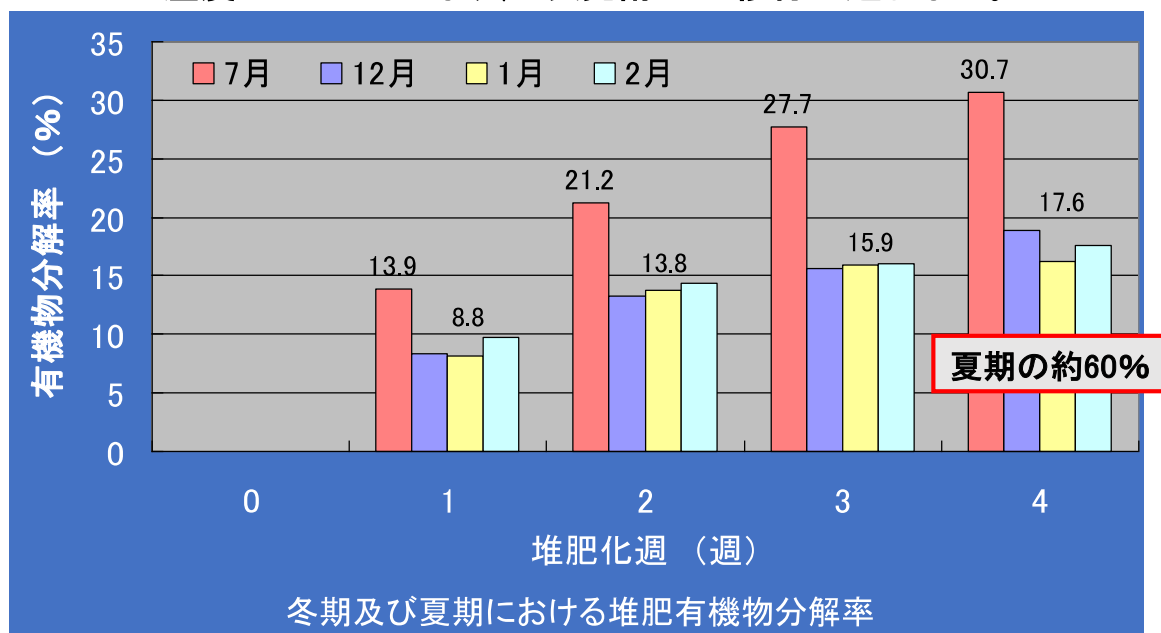
高窒素濃度堆肥の有機農業における優位性が示された。

試験区	商品量 (kg/10a)	販売価格 (円/10a) A	肥料価格 (円/10a) B	販売価格－肥料価格 (円/10a) A-B	牛糞堆肥との差額 (円/10a)
高窒素・鶏堆肥	3,023	831,394	8,466	822,928	47,922
高窒素	3,336	917,297	8,296	909,001	133,995
牛糞堆肥	2,899	797,156	22,151	775,005	-

冬期及び夏期有機物分解率

堆肥化施設での分解率調査：夏期30.7% (100)、冬期17.6% (57)

問題点：1次発酵不良により、1次発酵終了時でも材料温度が低下しない。
温度が45℃>となり、2次発酵への移行が進まない。



94

はじめに

冬期における外気温の低下

発酵温度60℃>の確保

通気量を減少させ発酵温度を確保

・分解率の低下
・1次発酵期間の長期化

材料温度<45℃程度にならないと、2次発酵が進まない。

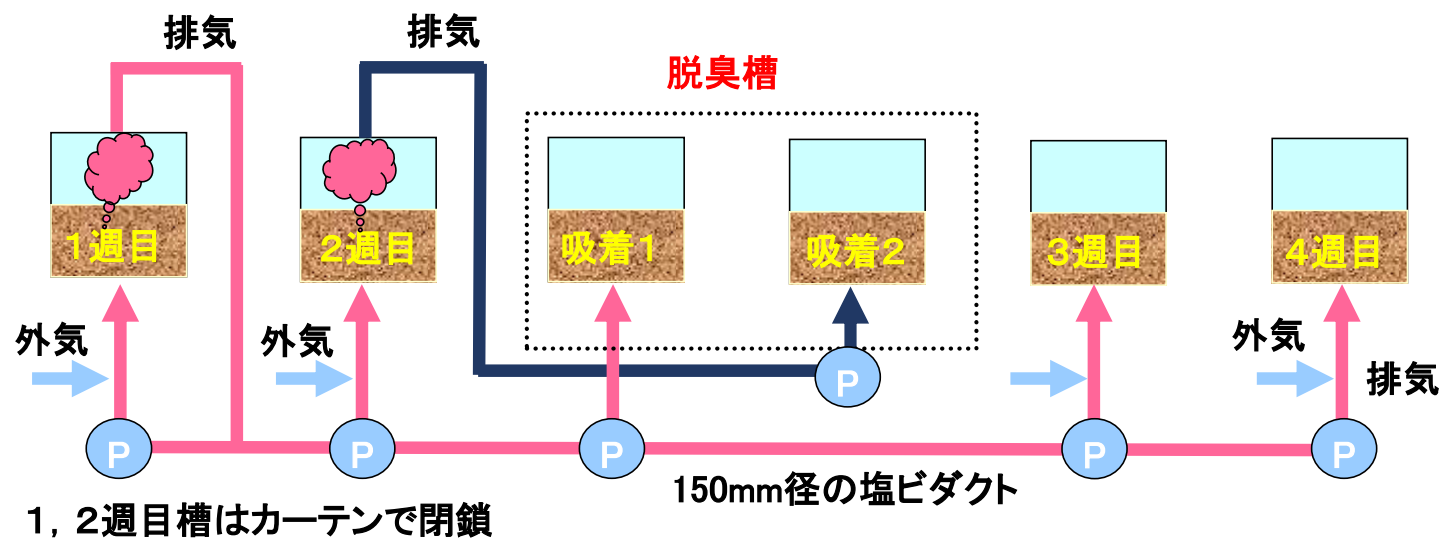
堆肥への通気温度を高くすれば、発酵促進ができるか？

95

加温通気システム

入気温の低下に対応するために、1次発酵1週目槽からの暖まった排気を、1次発酵1～4週目発酵槽に通気する加温通気システムに関する検討を行った。

バタフライダンパーによって発酵槽への通気は、排気、外気及び混合が出来るようになっている。

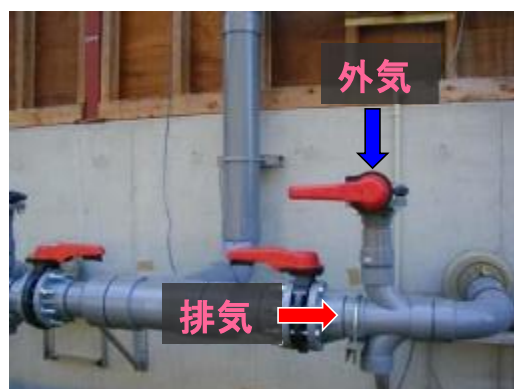


96

加温通気システムの写真



1週目発酵槽からの分岐配管



発酵槽への導入部分

97

実験結果 (温度)

- ・入気温度: 9.9°C上昇
- ・温度差(材料-外気): 5.9°C上昇
- ・材料最高温度: 4.2°C増加
- ・60°C以上の時間: 5.5日増加



夏期通気量

発酵槽	通気量 ⁺ (m ³ /min)
1週目	2.60
2週目	1.30
3週目	1.20
4週目	1.10
吸着1	11.20

夏期通気量(加温通気時)を用いて堆肥化を行っても、温度に問題はない。

項目	通気方法 ⁺	1週目	2週目	3週目	4週目	平均
入気温-外気温 (°C)	外気	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	加温	9.9	9.3	11.6	8.9	9.9
材料温-外気温 (°C)	外気	46.4	46.0	41.2	40.0	43.4
	加温	52.0	53.6	43.9	47.5	49.3
60°C>の日数 (日)	外気	1.9	1.7	0.2	0.0	0.9
	加温	4.0	3.2	0.8	1.3	2.3

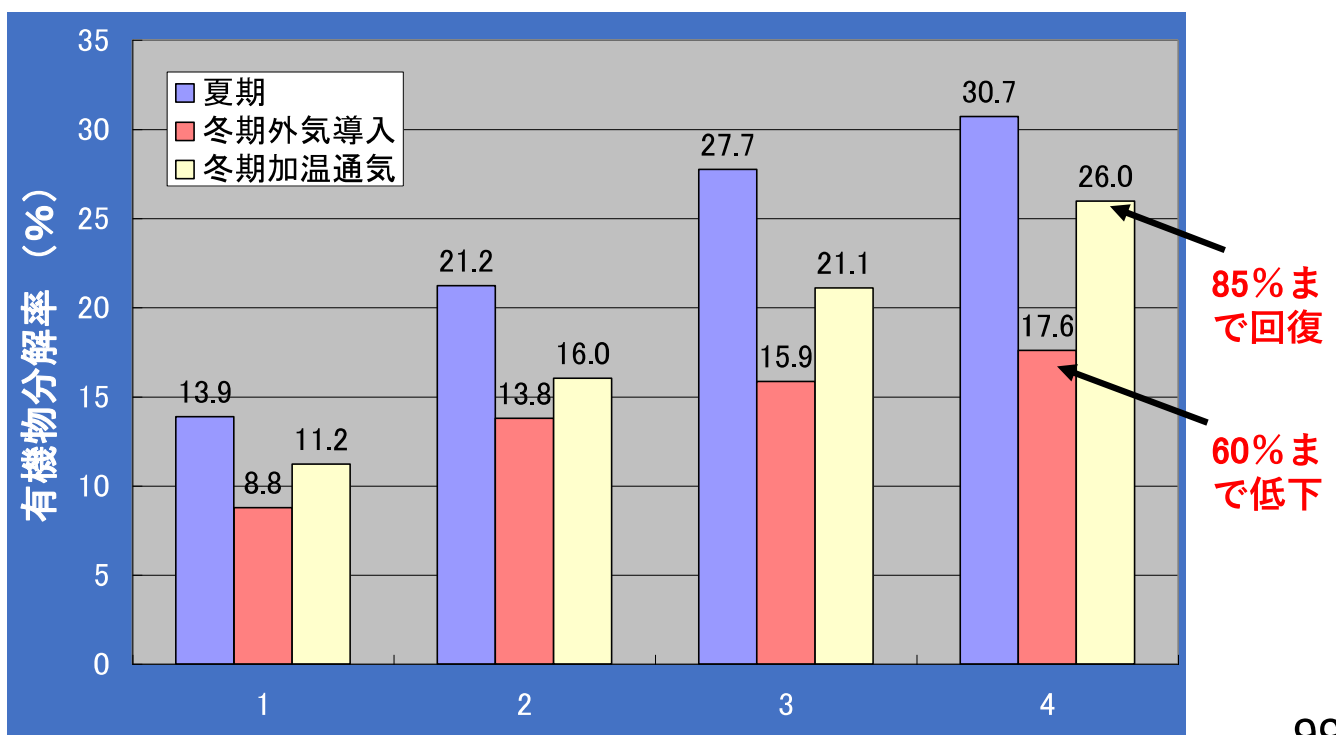
98

有機物分解率の比較

有機物分解率: 夏期30.7%(100)、冬期17.6%(57.3)、加温通気26.0%(84.6)

加温通気により冬期分解率は、1.5倍改善(2週目以降に有意差、P<0.05)

夏期分解率の85%まで分解が回復



99

冬期の外気導入時のアンモニア揮散

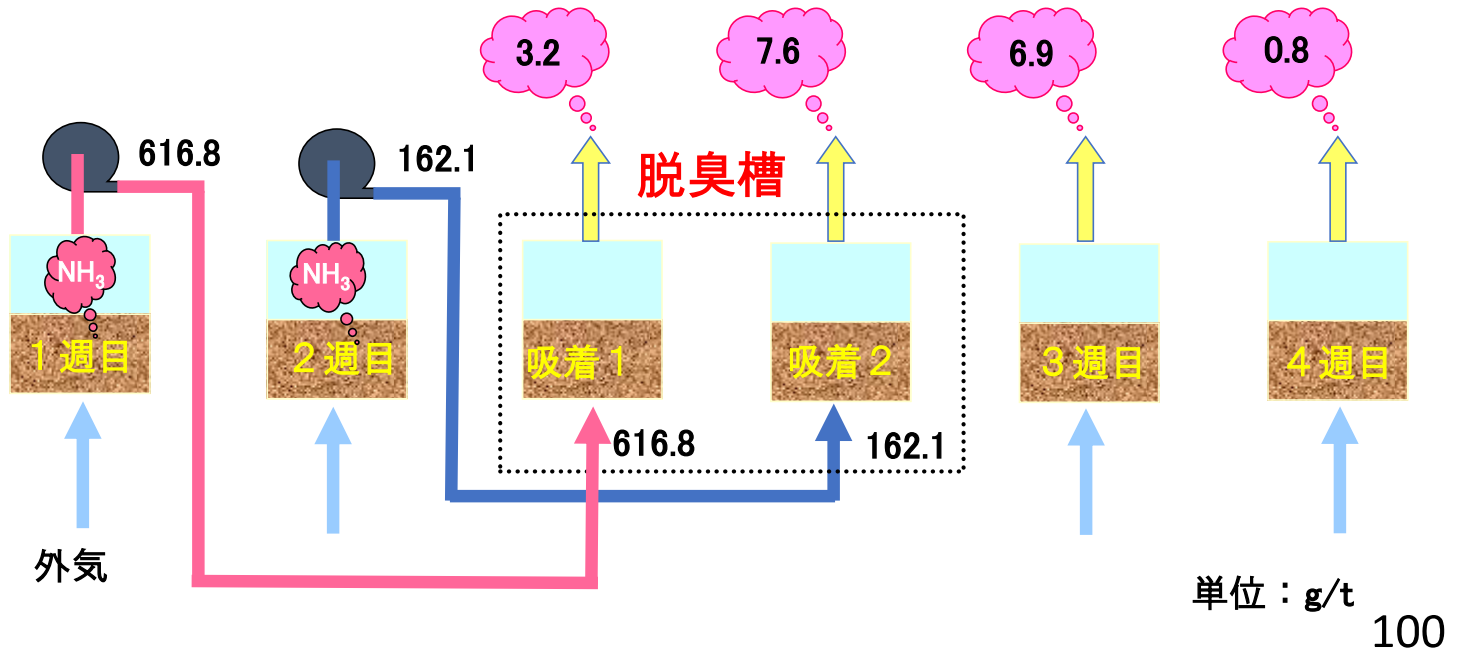
アンモニア濃度：6 h 毎に測定

1次発酵期間全アンモニア揮散量：786.8g/ t

堆肥脱臭後の揮散量：18.5g/ t

全体での除去率：97.6%

堆肥脱臭除去率：99.5%（1週目）、95.3%（2週目）



冬期の加温通気時のアンモニア揮散

アンモニア濃度：6 h 毎に測定

1次発酵期間全アンモニア揮散量：925.3g/ t（分解率の向上に伴って増加）

堆肥脱臭後の揮散量：18.8g/ t

全体での除去率：98.0%

堆肥脱臭除去率：99.3%（1週目）、96.9%（2週目）

