

平成 19～22 年度 農林水産省委託プロジェクト「バイオマス・マテリアル製造技術の開発」

平成 28～30 年度 農林水産省委託プロジェクト「家畜ふん尿処理過程からの悪臭低減技術の高度化」

臭気規制に対応した高度堆肥脱臭システム による高窒素濃度有機質肥料製造



はじめに

本マニュアルでは、畜産農家で余剰となっている家畜ふん尿を良質堆肥に加工し、耕種農家に土作りや作物の栽培に活用してもらうために、初めに良質堆肥生産、堆肥の広域流通を図るための成形堆肥製造技術を紹介しています。

家畜排せつ物の堆肥化においては、アンモニアを主成分とする極めて高濃度の臭気が発生することから、高濃度臭気を低コストに脱臭し、地域住民の快適な生活環境の確保や環境問題の解決に努めることが重要です。そこで、ローダー切り返し方式の牛ふんの堆肥化から発生する臭気を、堆肥に吸着させ微生物によって脱臭する堆肥脱臭技術を紹介しています。臭いの強い堆肥化1、2週目発酵槽からの臭気を、ターボファンで集めて完成した堆肥に送って臭気を低減化するという簡単な方法で、臭気の低減化ができます。この堆肥脱臭では、定期的に臭気を吸着する堆肥を交換することで、比較的安定した脱臭と共に臭気中のアンモニア等を吸着し窒素濃度が増加した窒素付加堆肥を製造することが可能です。また、堆肥脱臭で除去できなかった臭気を、酸・アルカリ溶液噴霧で除去する2次脱臭処理することで、臭気指数規制に対応させるための高度化技術を紹介しています。

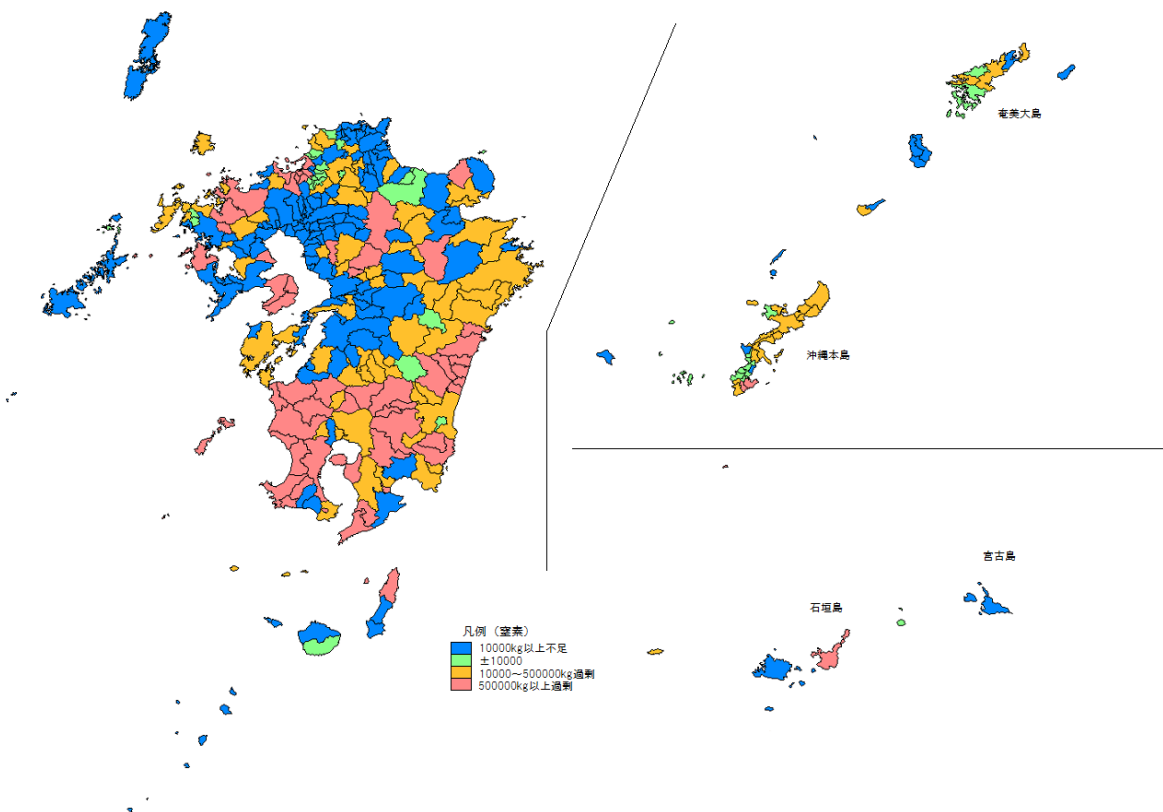
最後に、堆肥脱臭によって生産される窒素付加堆肥は、化学肥料に近い肥効を示す有機質肥料として有機農業などに利用することができるので、その使い方を紹介しています。窒素付加堆肥を肥料価値に見合った価格で販売することで、脱臭経費の一部を回収することができます。

目次

良質堆肥生産と堆肥の広域流通	-----	1
良質堆肥の条件	-----	1
堆肥発酵の原理	-----	2
良質堆肥生産技術のキーポイント	-----	2
成分調整成型堆肥による堆肥の広域流通	-----	4
堆肥脱臭システム	-----	6
堆肥脱臭による高窒素濃度有機質肥料の製造	-----	10
臭気指数規制に対応した高度堆肥脱臭システム	-----	12
窒素付加堆肥の特徴	-----	15
窒素付加堆肥の窒素成分の肥効について	-----	15
窒素付加堆肥を用いた栽培試験の例について	-----	17
窒素付加堆肥を用いた人参の有機栽培試験例	-----	18
窒素付加堆肥の使い方	-----	18
窒素付加堆肥のコスト	-----	18

良質堆肥生産と堆肥の広域流通

九州において家畜ふん尿として窒素 166,536 t/年、リン酸 58,556 t/年、カリ 685,687 t/年の成分が賦存しています。家畜ふん尿は、本来肥料や土壌改良材として使用できる貴重な有機質資材ですが、畜産経営の規模拡大や家畜ふん尿の偏在化等により環境問題が生じている場面が見られます。特に、過剰施用に伴う水質汚染や作物の品質劣化が問題となっています。環境保全型農業を推進するため、畜産農家で余剰となっている家畜ふん尿を良質堆肥に加工し、耕種農家に土作りや作物の栽培に活用してもらう必要があります。また、九州では南九州域に家畜飼養が集中化しているため、県を越えた堆肥の広域流通も必要となります。耕種農家が使いやすいよう、作物要求量に合わせて肥料成分を調整し成型化することも検討する必要があります。



九州における家畜ふん尿由来窒素成分の収支（賦存量（生ふん尿）－栽培必要量）

良質堆肥の条件

- 1) 十分に腐熟していること（作物に生育障害を起こさないこと）
- 2) 有害微生物や雑草の発生が無いこと
（堆肥の全ての部分が発酵中に 60℃以上の高温に 1 週間以上さらされていること）
- 3) 汚物感の無いこと（素手で取り扱えること。アンモニアなどの悪臭の無いこと）
- 4) 取り扱い易いこと（水分 60%以下）
- 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
（戻し堆肥を副資材として使用するとき、塩類濃度が高くなりやすいので、使用する副資材の半分は、新鮮なオガクズやモミガラを使用する必要があります。）

堆肥発酵の原理

堆肥発酵は、家畜ふん尿やわら類、オガクズ等の堆肥材料に含まれる有機物が、好気（酸素のある状態を好む）微生物を主体とする微生物群により分解される発酵です。発酵温度が 60～80℃に上昇し急速に繊維素までが分解される 1 次発酵段階と、温度が下がり分解性の有機物がゆっくりと分解される 2 次発酵段階の 2 段階に分かれます。微生物が活動しやすい条件を整えられるかどうかで、堆肥発酵の良否が決まります。

良質堆肥生産技術のキーポイント

1. 通気管理

通気の必要性

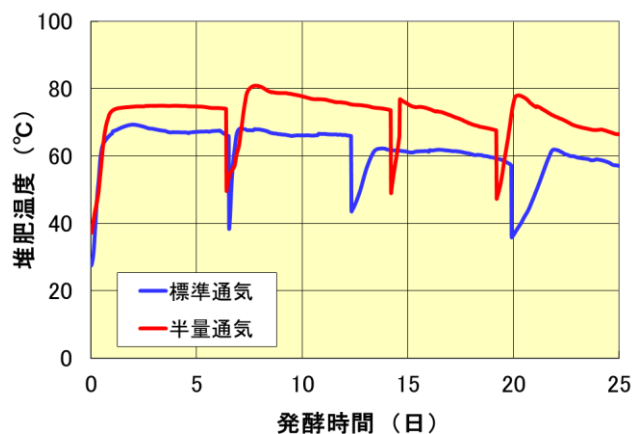
堆肥化に必要な条件は①有機物（餌）、②水、③酸素、④温度（1 次発酵では 50～65℃、2 次発酵では 40℃以下）の条件を整えてやる必要があります。通常①と②の条件は十分に満たしており、③の酸素の条件が整うか否かで堆肥発酵がうまく行くか失敗するかが決まります。③の条件が整えば堆肥の温度は自然に 70℃近くまで上昇します。家畜ふん尿に副資材を混合したり、予備乾燥するのは③の酸素の条件を整えるために行っていることです。

適正通気量

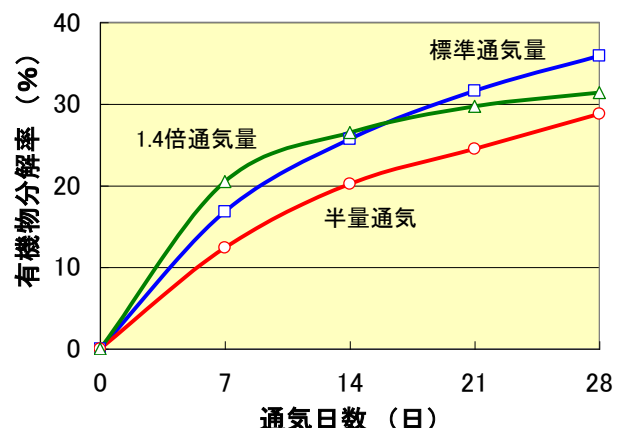
自然堆積の状態では空気の通る範囲は表面の 20～30cm の範囲だけなので、1 次発酵が終わるまでに 7 回程度の繰り返し作業を必要とします。



床面からブロワなどで強制通気をするると、堆積層全体で好氣的に分解が進みます。また、適正な通気量に比較して通気量が多すぎると発酵温度が低くなり、少なすぎても発酵温度が高くなり過ぎ、有機物の分解が遅れます。



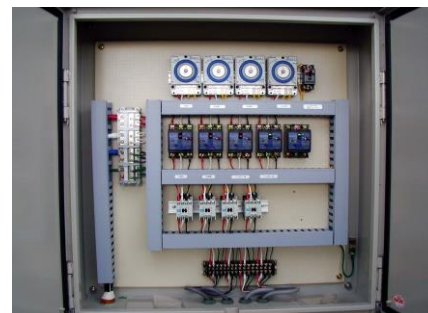
通気量によるハウス乾燥乳牛ふん堆肥の温度変化



通気量別の有機物分解率

通気量制御の方法

牛ふんの強制通気発酵の場合の通気量の目安を表に示します。豚や鶏では20%増しの通気量にします。なお、表中の通気量の数値は通気用のブロワ選定のための目安であり、実際には発酵の状態を見ながら右図のようにタイマーで通気量を制御します。堆肥中の酸素は約15分で無くなりますので、通気30分—停止15分というようなサイクルで設定します。



堆肥発酵の所要通気量

原材料	堆肥化開始時の堆積1m ³ 当たり			
	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

注: 牛ふんのみはハウス予乾牛ふんの場合

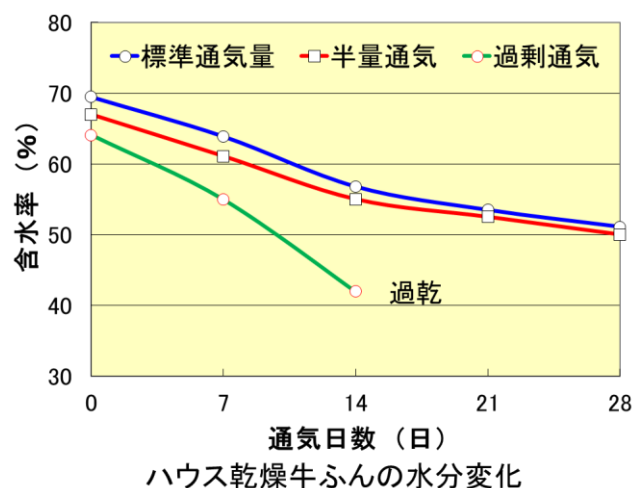
2. 水分調整

水分調整は、堆肥の中に空気を通すために行うものです。堆肥材料水分が多いと排汁がでて（下左図）通気ができなくなります。上限水分の目安は、堆肥料を強く手で握ったときに指の間から汁がしみ出す程度です。柔らかくてふんそのものが出るようでは水分過多ですので、副資材を追加するか乾燥させてください。

一方、発酵中に過乾燥し水分が少なくなっても、微生物の活動がにぶり分解が遅れたり発酵が停止したりします。特に、水分が40%を下回ると堆肥発酵が著しく遅れます。堆肥にアンモニア臭が残ったり、水をかけて積み直すと再度発熱する場合は、水分不足が原因ですので、切返しの際に消防ホースなどで加水する必要があります。



排汁の写真



3. 切返し

切返しは、堆肥の発酵ムラを防ぐと共に、堆肥の塊を小さくし分解を促進するために行います。ローダーで切返す場合は、自然堆積発酵では内部の嫌気部分を外に出すように切返し、強制通気発酵で

は床面や壁面の温度が低くなりがちなので中央に入れるように切返します。塊があると分解が遅れるので、マニュアルスプレッダ等で塊を細かく砕くと良いでしょう。ロータリやスクープ式などの強制攪拌機を導入すると堆肥化コストは高くなりますが、切返し労力が軽減されます。



4. 後熟発酵（2次発酵）

強制通気発酵の場合 4～6 週間でアンモニア臭が消え、1次発酵が終了し温度下がります。後熟発酵は中温発酵（20～40℃）ですので、40℃以上では期間が長くても1次発酵が継続しているだけで後熟はしません。後熟中に温度が上がった場合は、強制的に通気して堆肥温度を下げます。

5. 通気配管設置上の留意点

強制通気方式の場合には、通気用のブロウを各槽ごとに設置する必要があります。パイプの配管間隔は 90cm 以下とし、通気パイプには暗渠用のネット状の管を使用します。パイプの溝幅は管直径+3cm、深さは管直径+4cm とします。溝と通気管の隙間やパイプ上部にモミガラ等を入れて、目詰まり等を防止します。



成分調整成型堆肥による堆肥の広域流通

1. 成分調整成型堆肥とは

成分調整成型堆肥とは、家畜ふん堆肥、窒素付加堆肥や菜種油粕などの有機質資材を、作物別に肥料要求量に合わせて混合調整し、成型した減・無化学肥料栽培用の有機質資材です。近年、耕種農家の堆肥利用量が減少してきていますが、堆肥を利用しない主な理由は①化学肥料と違い肥料の効き方が異なり栽培管理がやりにくい、②労力がかかる、機械散布の手段ない、③コストがかかるなどです。平成11年度に「家畜排泄物法」が施行された後、堆肥の供給量はますます増大し、九州では県域を越えた堆肥の広域流通が必要となっています。そこで、堆肥の散布手段を持たない耕種農家に、手持ちの機械を使って化学肥料感覚で利用できる成分調整成型堆肥を開発しました。



2. 成分調整成型堆肥生産のメリット

- 1) 成型しているので肥効が均一であり、化学肥料換算の成分調整を行っているので、化学肥料感覚で利用できると共に、化学肥料栽培と同等以上の作物生産ができます。
- 2) 直径5mmのペレット状になっており、耕種農家の手持ちのライムソー（石灰散布機）やブロードキャスターを利用して散布できます。
- 3) 重量、容積とも堆肥の状態の半分程度に減少しているので、貯蔵容積、輸送経費を半減できます。窒素付加堆肥を成型化した場合には牛ふん堆肥の1/8程度の施肥量になります。

4) 現在の処理コストは下記の生産システムで日生産量10tの場合、製品1kg当たり10~11円であり、トラックで100km以上輸送する場合は成型堆肥の方が低コストとなります。

3. 成分調整成型堆肥生産システム



①ハウス予乾設備：後熟させた堆肥を成型するため水分20~30%まで予備乾燥する。



②粉碎装置：材料中に含まれる石を破碎するとともに、各材料の混合性や成型性を改善する。



③成分調整混合装置：畜種別の堆肥や油粕などの有機質資材を、栽培する作物の肥料要求量に合わせて混合する。



④成型装置：成分調整された材料を円筒状（ペレット）に成型する。



⑤成型装置の構造：穴の開いたディスクダイ（成型盤）に歯車状のローラが材料を押し込み成型する。



⑥仕上げ乾燥装置：長期間安定して保存するためペレットの水分を15~20%程度まで仕上げ乾燥する。

堆肥脱臭システム

堆肥化1次発酵は、強制通気方式では通常約4週間といった、比較的短期間に終了させることができます。堆肥化は好気状態で行われるため、野菜が腐った様な臭いの硫黄化合物や汗くさい様な臭いの低級脂肪酸等の発生は抑制されます。しかし、堆肥化材料中のタンパク質が微生物によって分解される過程でアンモニアが生成されるため、極めて高濃度のアンモニアが発生します。有機物の分解過程でのアンモニア発生を避けることはできないので、発生したアンモニアを多く含んだ高濃度臭気を低コストに脱臭し、地域住民の快適な生活環境の確保や環境問題の解決に努めることが重要です。



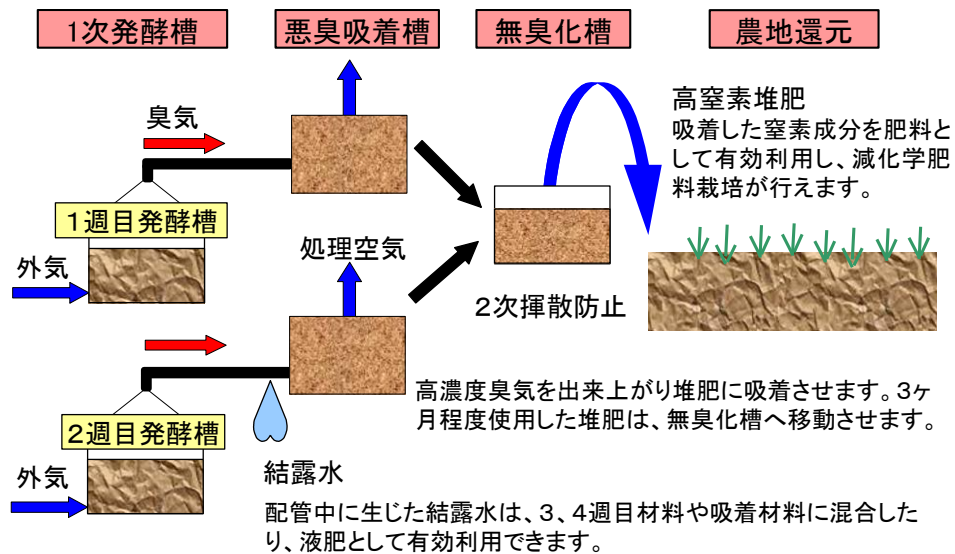
簡易低コスト堆肥舎



堆肥生産風景

1. 堆肥脱臭システムの概要

出来上がり堆肥には臭気を吸着する能力があり、堆肥に臭気を通過させるという簡単な方法で、低コストに脱臭を行うことができます。牛ふんとオガクズの堆肥化で1週間毎に切り返しを行う方式では、出来上がり堆肥1m³を製造するのに約1kgのアンモニアが発生します。特に最初の2週間で全体の9割が発生することから、1、2週目の発酵槽からの臭気を処理することで、低コストで効果的に臭気を低減できます。堆肥に吸着したアンモニアは、堆肥中の微生物によって硝化され無臭化されます。この硝酸態窒素は酸性であり、堆肥化過程臭気的主要成分であるアンモニアと反応し、硝酸アンモニウムの形態で窒素成分が堆肥に回収されます。脱臭に用いた堆肥は窒素濃度が増加することから、肥料価値が高まり、速効性有機質肥料として減化学肥料栽培や有機農業用の堆肥となります。この高窒素濃度堆肥を肥料価値と見合った価格で販売することによって、脱臭経費の回収が可能となります。

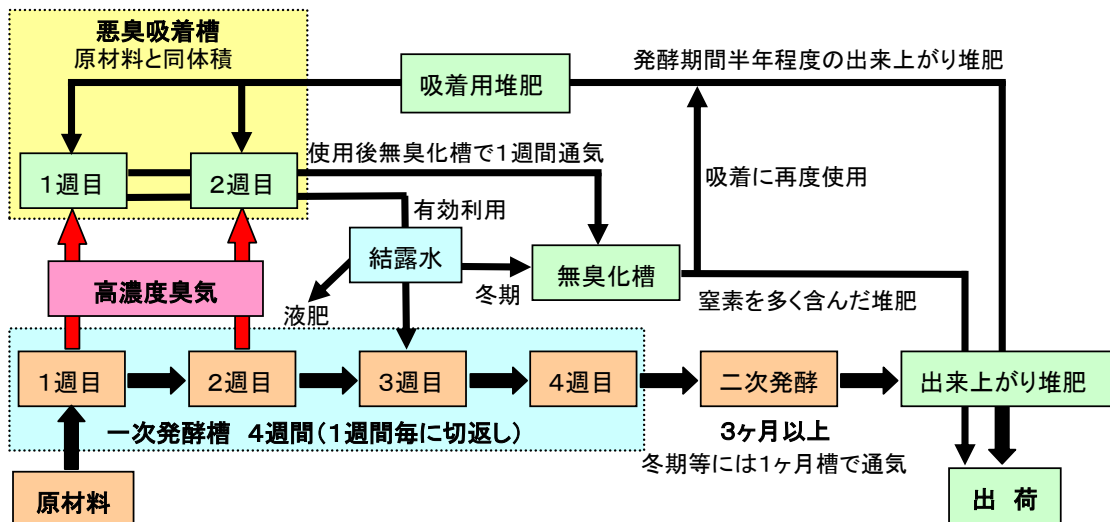


1次発酵1、2週目発酵槽からの臭気を、出来上がり堆肥に吸着させて低減化します。

堆肥脱臭システムの概略

2. 脱臭の方法

- 1) 半密閉構造とされた1、2週目発酵槽からの臭気を、発酵槽への入気量に対して4～7倍程度の流量（密閉した発酵槽の換気回数が10回/h程度）のターボファンで、1次発酵槽と同様の大きさの悪臭吸着槽にそれぞれ導入します。



堆肥脱臭システムのフロー

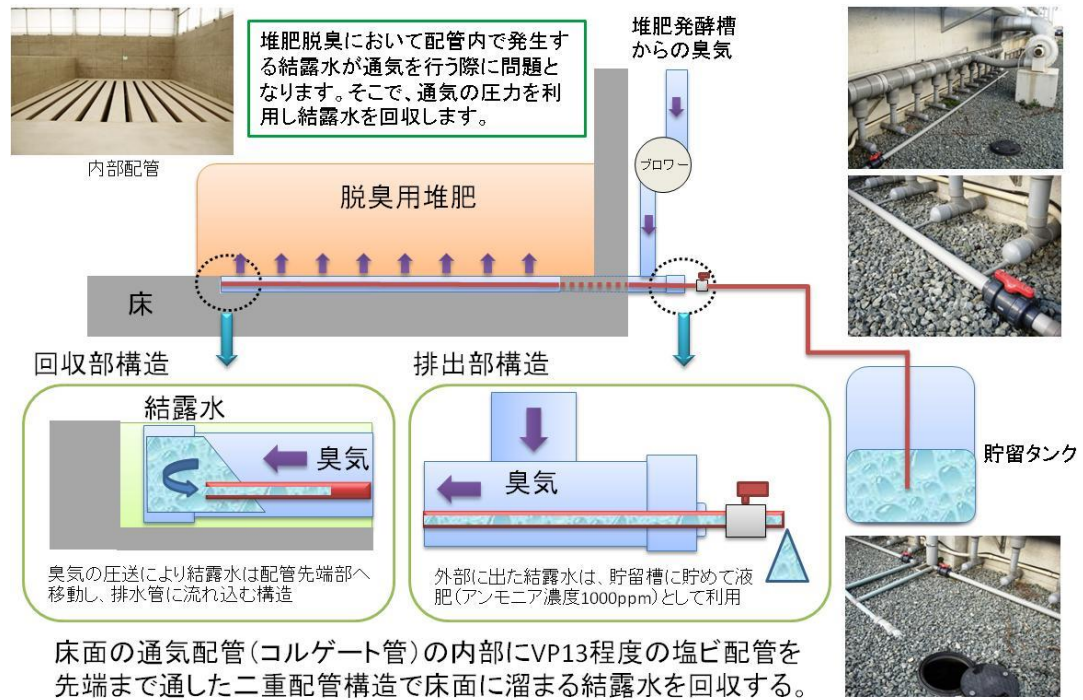
- 2) 悪臭吸着槽には、堆肥化原材料と同体積（堆積高 1.8m程度）で含水率 50～60%程度の2次発酵が終了した出来上がり堆肥を入れ、臭気を床面から導入します。システム立ち上げ時には活性汚泥を約2%混合し、その後、吸着用堆肥の入れ替え時には、使用済み堆肥を5%割程度混合します。悪臭吸着槽への入気は飽和水蒸気状態ですが、脱臭用堆肥の水分は減少するので含水率が45%程度になったら加水します。



堆肥脱臭システムの写真

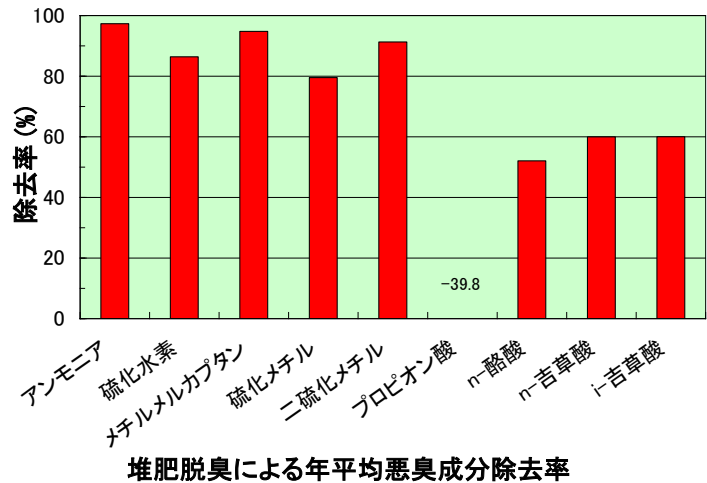
- 3) 臭気を送る配管内では、発酵槽からの排気温度が高く水分を多く含んでいるため、アンモニア濃度 800ppm 程度の結露水が発生します。結露水は液肥として利用できますが、利用できない場合には堆肥化3、4週目の材料や悪臭吸着槽の堆肥に混合し有効利用します。結露水量は材料の初期重量 1 t 当たり冬期 6L/ t /週、夏期 2L/ t /週程度ですが、配管の断熱施工により、それぞれ 1L/ t /週、0.2L/ t /週程度まで低減できます。

- 4) アンモニアを吸着した堆肥を無臭化槽で弱く通気し好気状態にすると、好気性の硝酸化成菌により約1週間でアンモニウム態窒素は硝酸態窒素に変換されます。更に、数ヶ月間好気状態にすると有機態窒素に変換されます。また、脱臭用堆肥に古紙等の炭素源を5%程度添加して使用することで、増加窒素の50%程度を有機態窒素として保存できます。無臭化された堆肥は、窒素分を多く含んだ良質有機肥料として圃場還元できます。また、再度脱臭に利用することも可能です。
- 5) 配管内で発生した結露は、臭気と共に床面の配管先端部へ移動します。床面配管の先端部分では、配管内の動圧が静圧に変換されます。その静圧を利用し先端に集まった結露水を、配管先端から堆肥化施設外部まで貫通した細い配管を通して外部に排出します。



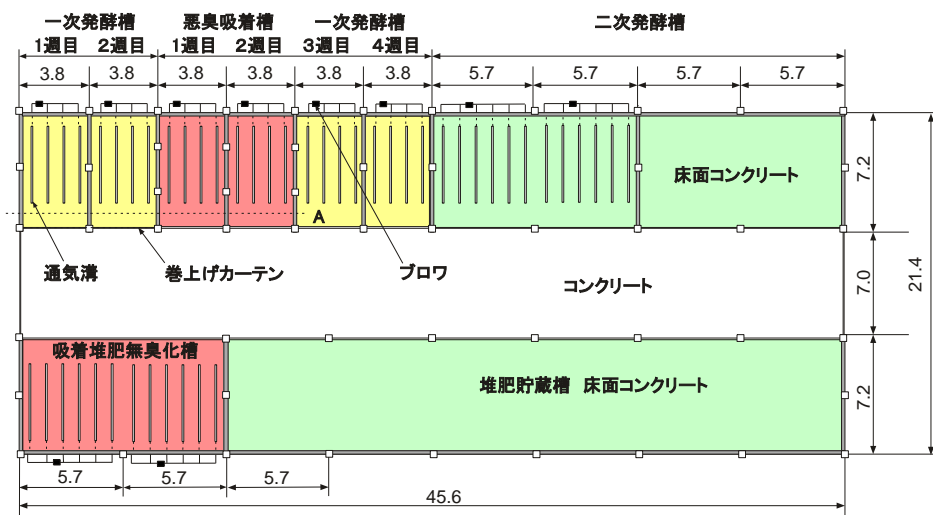
3. 脱臭能力

堆肥脱臭は、アンモニア及び硫黄化合物に対して高い除去効率を得ることができます。アンモニアの除去率は97%で季節による除去率の変動も余りなく、年間を通じて安定した除去率が得られます。悪臭吸着槽への入気アンモニア濃度は外気によって希釈されるので最高濃度600~700ppm(週平均濃度200ppm程度)であり、堆肥脱臭処理後の濃度は20ppm程度になります。アンモニアの次に排出量の多いメチルメルカプタンについても、95%程度除去可能です。また、低級脂肪酸に関しては、プロピオン酸をのぞき50~60%程度を除去することができます。プロピオン酸についても、堆肥化は好気発酵ですので大きな問題となることはほとんどないものと思われます。ただし、堆肥脱臭の脱臭能力は堆肥の状態に影響され、出来るだけ完熟に近いものを使用し、活性汚泥水等で硝酸化成菌を添加することが重要です。



4. 施工上の留意点

- 1) 1次発酵槽の1週目と2週目の悪臭を出来上がった堆肥に吸着させるには、1次発酵槽と同様の大きさの悪臭吸着槽が2槽必要です。1, 2週目発酵槽は、臭気を集められるように密閉構造としますが、高濃度のアンモニア、水蒸気、結露水等で壁面が湿った状態となります。骨組みは木材などアンモニアの腐食に強い材料、また壁に使用する材料にはシート等の水を通過しない丈夫な部材を用いて施工します。
- 2) 悪臭吸着槽を設置する場合には、出来るだけ発酵槽から吸着槽までの通気配管が短くなるようにし、通気配管を断熱施工し配管内部において生じる結露水を少なくします。
- 3) 悪臭吸着槽における床面の通気溝部分においても結露水が生じるため、結露水を外部へ排出しタンクなどに集める構造とします。
- 4) 臭気を発酵槽から吸着槽へ送る配管は、通気量が換気回数 10 回/h 程度となるので、管径の大きなものを用い通気抵抗を小さくします。また、臭気を吸着槽へ送るターボブロワは、連続運転するので抵抗計算を行い、適正な消費電力の物を選定します。



簡易低コスト堆肥舎平面図

単位:m

5. 運転上の留意点

- 1) 堆肥に吸着させたアンモニアは、好気性の硝酸化成菌で無臭の硝酸に変えるか、好気性のアンモニア資化菌により菌体蛋白に変化させる必要があります。そのための菌体添加として、最初の立ち上げ時に活性汚泥などを2, 3%添加します。2回目からは、吸着済み堆肥を約10%程度混合したものを使用します。また、1年に1度程度、活性汚泥等を添加します。
- 2) 吸着に用いる堆肥は窒素成分が増加するので3~4ヶ月毎に交換します。なお、悪臭吸着に用いた堆肥の含水率は、初期に比較して若干減少します。
- 3) 吸着システム配管等から出てくる結露水は、アンモニアを多く含んでいるため、夏期には堆肥化3, 4目材料、冬期には吸着済み堆肥などに混合して有効利用します。



簡易低コスト堆肥舎の全景

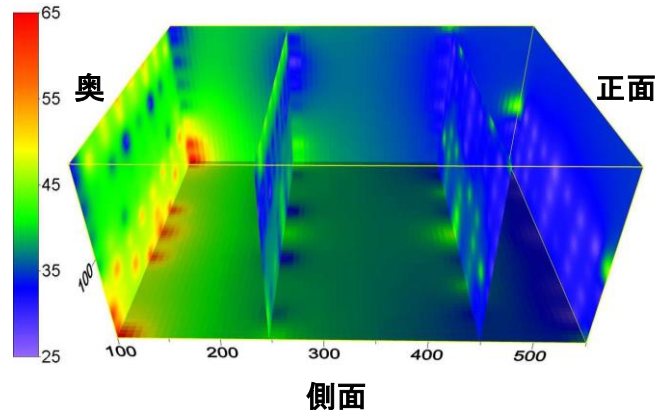


結露水の堆肥混合作業

堆肥脱臭による高窒素濃度有機質肥料の製造

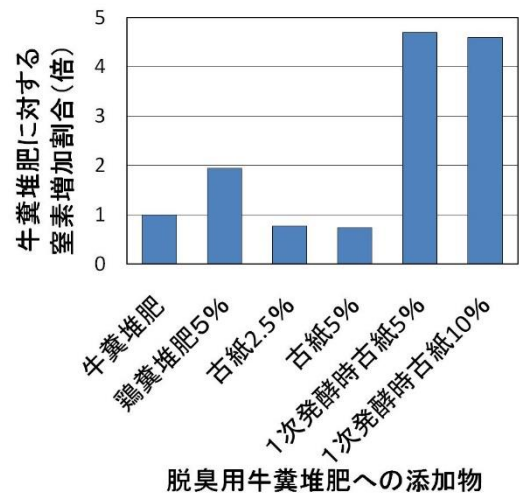
1. 悪臭吸着槽内における窒素濃度分布

悪臭吸着槽内の全窒素濃度は横断面方向での濃度差は余りありませんが、奥行き方向での濃度差が大きく、奥部分の濃度が高くなります。窒素付加堆肥を、肥料利用するために材料をホイールローダーなどで取り出す際に、奥行方向に対して材料をよく混合し均一化する必要があります。回収したアンモニアは主に微生物によって硝化されるので、全窒素濃度は硝酸態窒素濃度に大きく影響されます。



2. 有機物添加による窒素回収効率の向上

含水率 50~60%の脱臭用堆肥に、古紙や鶏ふんを添加したものを利用すると窒素の回収効率が向上します。古紙添加では、堆肥化 1 次発酵時に古紙を 5%程度添加して、アンモニア回収用堆肥を事前に製造する必要があります。鶏ふん堆肥添加では混合した堆肥を、そのまま回収用堆肥として利用しても窒素回収の向上ができます。



3. アンモニアの簡易測定による窒素付加堆肥の濃度予測

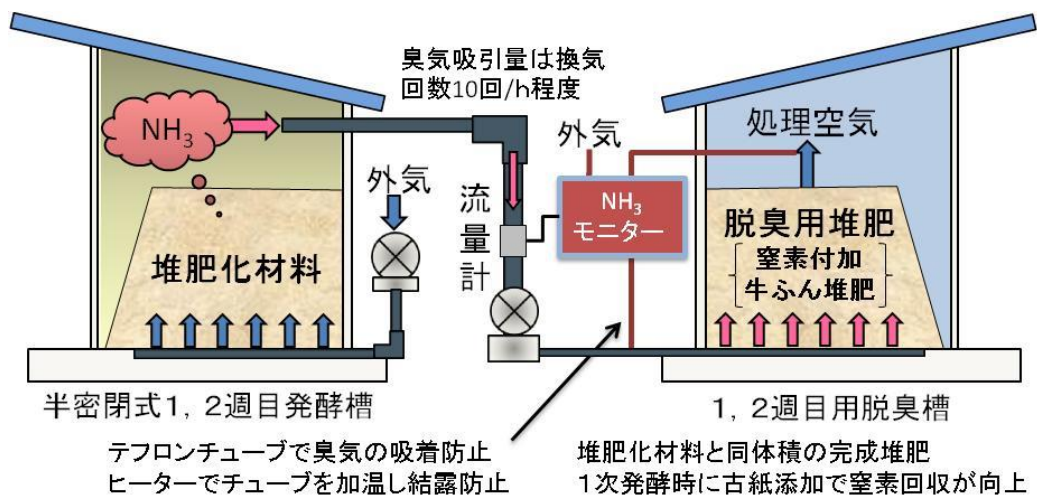
濃度測定装置（写真下）で悪臭吸着槽入気及び排気を連続で希硫酸溶液に導入して、溶液中の濃度測定を行いました。アンモニア濃度と通気量の測定から窒素付加堆肥の濃度を予測した結果、測定した増加量 15.6g-N/kg_{DM} に対して予測値 15.7g-N/kg_{DM} とほぼ等しくなりました。悪臭吸着槽への通気量は平均 26.3±0.9m³/min とほぼ一定なので、通気量を数回測定しアンモニア濃度を連続的に簡易測定することで窒素付加堆肥の全窒素濃度の予測が可能です。



濃度測定装置

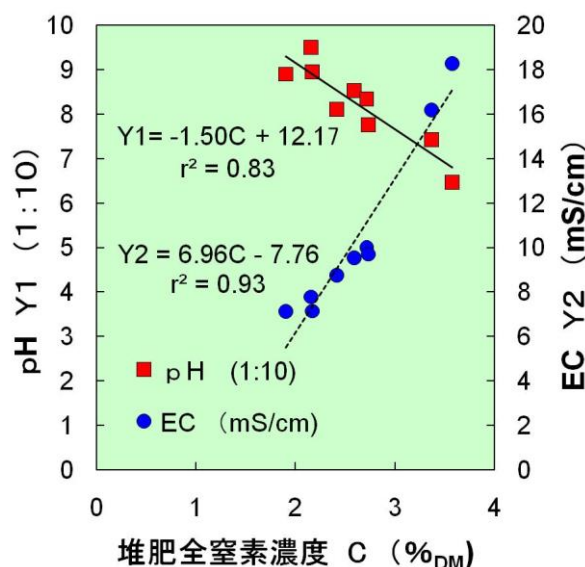
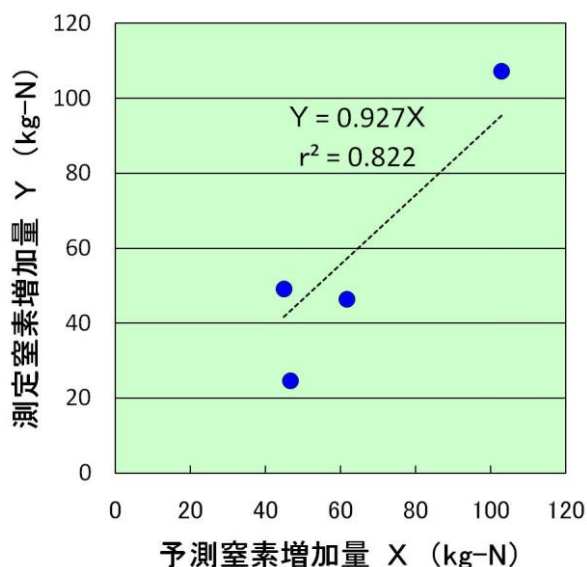
堆肥初期含水率	56.0 %
堆肥乾燥重量	10292.8 kg _{DM}
アンモニア負荷量	157.59 kg-N
アンモニア損出量	2.45 kg-N
窒素回収量	155.14 kg-N
予測窒素増加量(収支)	15.07 g-N/kg _{DM}
測定終了時全窒素濃度	37.60 g-N/kg _{DM}
測定初期全窒素濃度	22.54 g-N/kg _{DM}
測定窒素増加量	15.06 g-N/kg _{DM}

脱臭用堆肥の窒素増加量は、アンモニアモニターを用いた入・排気濃度と外気濃度の濃度差を基に算出した値と悪臭吸着槽への通気量（通気量×(△濃度入気-外気)-(△濃度排気-外気)）から計算できます。



脱臭用堆肥 35t 程度を入れた悪臭吸着槽での窒素増加量の実測値と予測値の関係は、 Y (実測値) $= 0.927X$ (予測値)、決定係数 0.822 となります (下左図)。堆肥の窒素増加量の窒素形態毎の割合は、有機態窒素 14.0%、無機態窒素 86.0% (内訳: アンモニウム態窒素 20.6%、硝酸態窒素 65.4%) となります。脱臭用堆肥の全窒素濃度 (C) と pH (P)、EC (E) の関係は $C = -0.55P + 7.17$ ($r^2 = 0.83$)、 $C = 0.134E + 1.22$ ($r^2 = 0.93$) 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できます。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ります (下右図)。

乾物重当たり窒素濃度 4% の堆肥製造に要する日数は、1 次発酵時に古紙を 5% 添加した堆肥では約 80 日間、牛ふん堆肥では約 110 日間程度です。ただし、堆肥化におけるアンモニアの排出量は堆肥化材料や通気量等で変わってくるので、製造日数などは個々の堆肥センター等で違ってきます。



4. 製造コスト

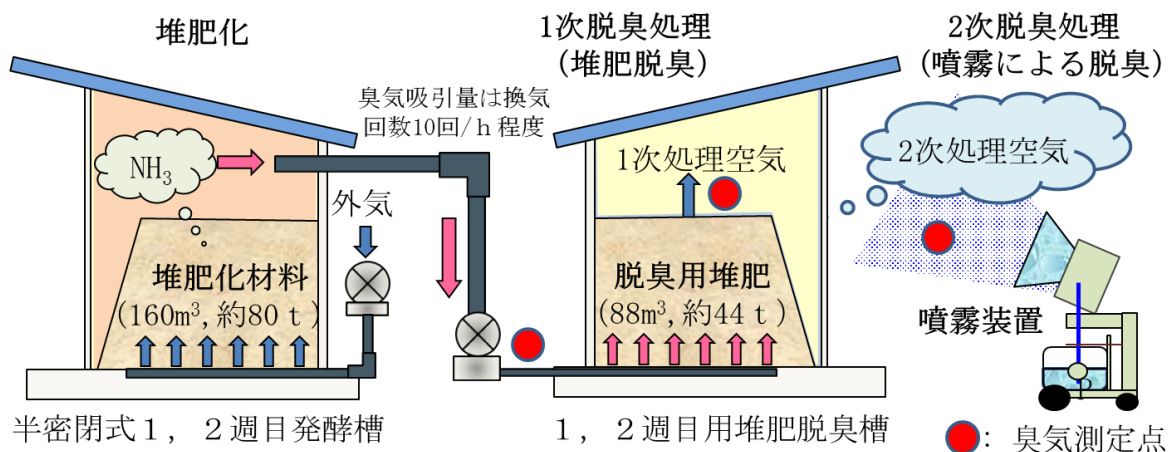
牛ふん処理量 21 t / 日の堆肥センターにおける堆肥脱臭システムのイニシャルコストは約 982 万円です。減価償却費 (補助金なし、建屋 38 年、堆肥脱臭システム 8 年) は 178 万円/年、また電力費は 126 万円/年 (12 円/kWh) 程度です。化学肥料換算窒素 1 kg 相当の窒素付加牛ふん堆肥 (窒素濃度 4%_{DM}) の処理経費 (牛ふん堆肥代を除く) は、鶏ふん堆肥 5% 添加 247 円/kg-N、古紙 5% 添加堆肥の場合 280 円/kg-N、牛ふん堆肥の場合 350 円/kg-N 程度です。

臭気指数規制に対応した高度堆肥脱臭システム

悪臭防止法による環境中の悪臭規制には、法律が定める悪臭物質（特定悪臭物質）による規制と、人の嗅覚を用いて測定される臭気指数による規制の2種類があり、一定地域にいずれか一方の規制が適用されます。それぞれの規制では、嗅覚に感じられる臭いの強さ（臭気強度）を0（無臭）から5（強烈な臭い）までの6段階で示す尺度（6段階臭気強度表示法）に基づき、この中の臭気強度2.5、3.0、3.5のいずれかに相当する特定悪臭物質の濃度または臭気指数の値が、具体的な規制基準値となります。しかし、特定悪臭物質による規制では、それ以外の悪臭物質や複合臭気への対応が不十分な場合があり、より厳しい規制である臭気指数による規制を導入する市町村が近年増加しています。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はそれぞれ11、16、20となっています。

家畜排せつ物の堆肥化においては、アンモニアを主成分とする極めて高濃度の臭気が発生することから、高濃度臭気を低コストに脱臭し、地域住民の快適な生活環境の確保や環境問題の解決に努めることが重要です。そこで、脱臭と共に窒素を多く含有する堆肥生産を行う堆肥脱臭で除去できなかった臭気を、酸・アルカリ溶液噴霧で除去する2次脱臭処理技術を開発し、堆肥化過程から発生する臭気を養牛業における臭気強度3.0に相当する臭気指数16以下とするための高度堆肥脱臭システムを構築しました。

1. 高度堆肥脱臭システムの概要



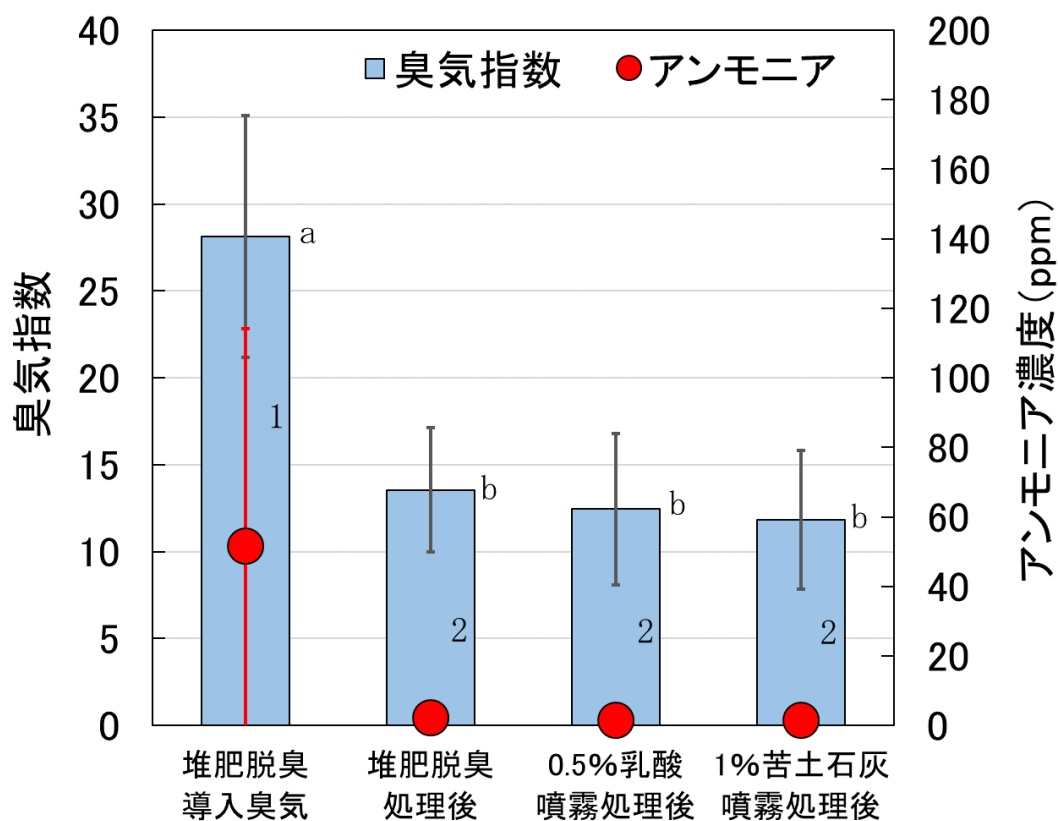
本システムは、1次脱臭処理の堆肥脱臭と2次脱臭処理の噴霧装置によって構成されます。1回の堆肥化処理量が80t程度の施設で、2次脱臭用の噴霧装置が1台必要となります。噴霧装置は、溶液をタンクから電動ポンプでファンに圧送し送風空気に噴霧する外置き式で、30万円程度の価格で市販されています。噴霧装置は首振り式で、堆肥脱臭槽の上部空間に向かって噴霧する様に設置します。

2. 高度堆肥脱臭システムの臭気低減効果

1次脱臭処理の堆肥脱臭槽への導入空気平均臭気指数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 ($p < 0.05$) に低下します。臭気指数は、悪臭空気は無臭の空気段階的に希釈していき、臭いが感じられなくなった時点の希釈倍数（臭気濃度）の対数を10倍したもので、人間の感覚量に近い尺度です。1次脱臭によって嗅覚に感じられる臭いの強さは、元臭から約52%低下します。

堆肥脱臭（1次脱臭）と噴霧脱臭（2次脱臭）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 ($p < 0.05$)

に低下します。嗅覚に感じられる臭気の強さは、元臭から0.5%乳酸水溶液を噴霧で56%、1%苦土石灰懸濁液を噴霧で58%低下します。



3. 1次脱臭効果が不足した際の2次脱臭効果

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次脱臭によって臭気指数は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以下となります。アルカリ性の苦土石灰懸濁液を噴霧の方が効果的です。

堆肥脱臭後の臭気強度3.0(臭気指数16)以上の場合における2次脱臭効果

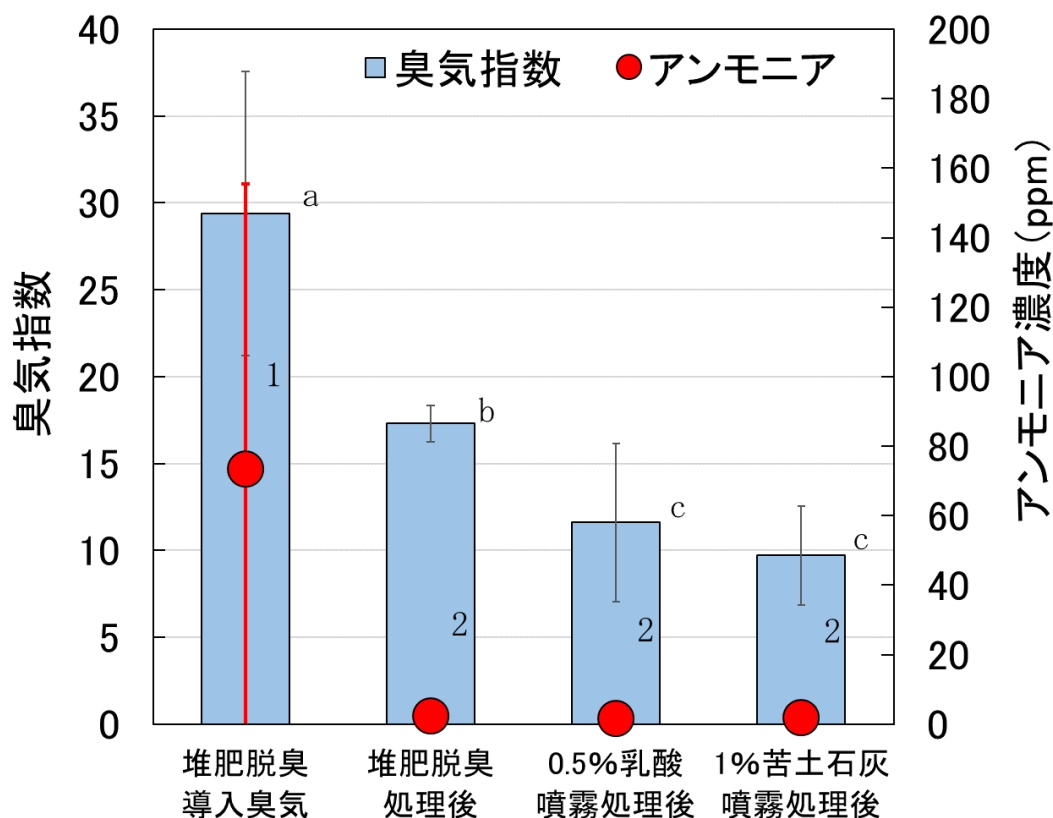
項目	堆肥脱臭導入臭気		1次脱臭処理後(堆肥脱臭)		2次脱臭処理後0.5%乳酸水		2次脱臭処理後1%苦土石灰懸濁水	
	臭気指数	NH ₃ (ppm)	臭気指数	NH ₃ (ppm)	臭気指数	NH ₃ (ppm)	臭気指数	NH ₃ (ppm)
平均	29.4 ^a	73.4 ¹	17.3 ^b	2.4 ²	11.6 ^c	1.6 ²	9.7 ^c	2.0 ²
標準偏差	8.2	82.0	1.0	1.8	4.6	1.7	2.9	1.8

臭気指数の異なった英文字間に5%水準で有意差あり

アンモニア濃度の異なった数字間に5%水準で有意差あり

臭気強度: 2(何のにおいかわかる弱いにおい)、3(らくに感知できるにおい)、4(強いにおい)

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はそれぞれ11、16、20



4. 2次脱臭経費

噴霧資材価格はL-乳酸（50%濃度）350 円/L、苦土石灰 360 円/20kg 程度で、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 です。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となります。

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

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

5. まとめ

牛ふんの堆肥化過程で発生する高濃度臭気を低減化する堆肥脱臭に、1%濃度の苦土石灰懸濁液を噴霧する 2 次脱臭処理を組み合わせると、臭気指数 28 の元臭が脱臭処理後に 12 と嗅覚に感じられる臭気の強さは約 6 割低下し、臭気指数による悪臭規制が導入されている地域での脱臭に利用できます。苦土石灰懸濁液の使用後の残液には苦土石灰の粉末が残るので、再度水に懸濁させて利用します。

窒素付加堆肥の特徴

特徴1・有機 JAS 法適応資材

有機農産物の日本農林規格（平成 18 年 10 月 27 日農林水産省告示第 1463 号）に明記されている資材の基準を満たしています。製造工程において化学薬品を使用していません。窒素付加堆肥は、堆肥の製造過程で発生する悪臭のアンモニアを牛ふん堆肥に回収しており窒素成分が高濃度含まれています。回収されたアンモニアは硝化細菌の働きにより硝酸塩とタンパク質に変化しており、いやな臭いはしません。また有機 100%なので土壌を荒らす心配がありません。

（有機 JAS 法の最終判断は、各認証団体の考え方で違う場合があります。）

特徴2・硝酸態窒素を豊富に含む世界初の有機質資材

今までの有機肥料の窒素は、土壌中の微生物によって窒素成分が硝酸塩に分解され作物に吸収されます。本堆肥の窒素はすでに速効性の硝酸態窒素成分に富んでいる世界初の有機質資材です。ナタネ油粕に比べて窒素の肥効発現が速いため低温期の追肥資材としても有効です。

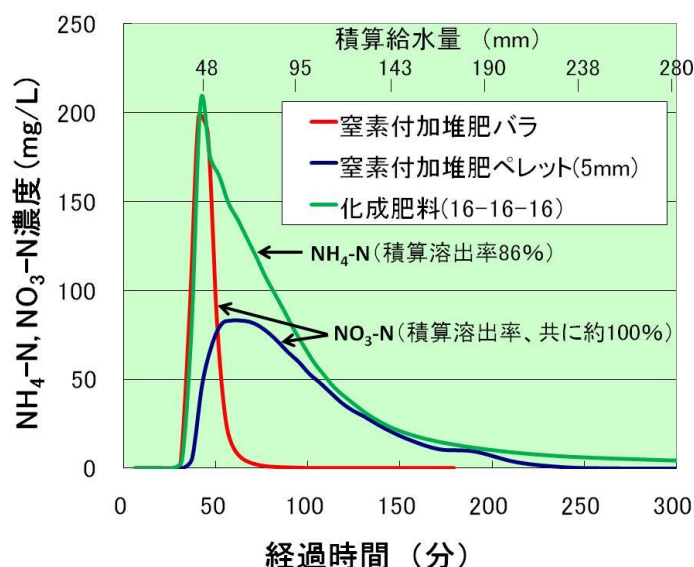
特徴3・機械散布対応。施肥と合わせて土づくりも一発で

直径 5 mm の円筒状（ペレット）なので、均一に肥料を散布でき、ブロードキャスターや石灰散布機で散布が可能な肥料です。本堆肥施用により土壌微生物が増殖し土壌が団粒化し、通気性・保水性を向上することにより土壌の良好な生育環境を実現し作物生育が安定します。本堆肥 10 袋（200L）で慣行の牛ふんバラ堆肥 0.25 トンと同等の土づくり効果があります。

窒素付加堆肥の窒素成分の肥効について

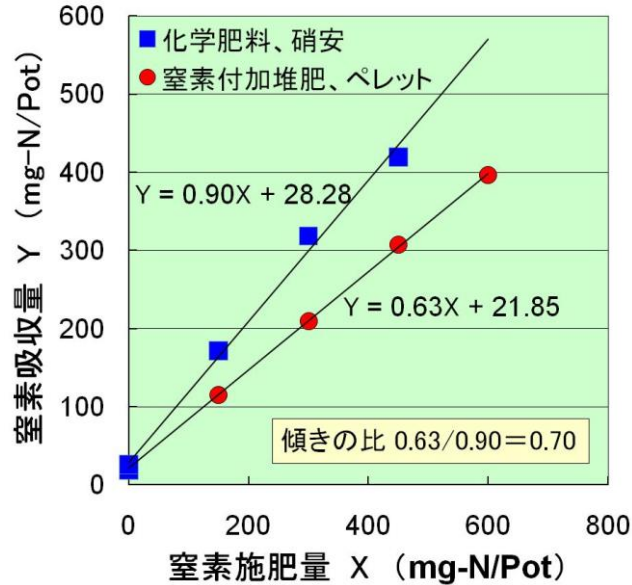
1. 窒素付加堆肥からの窒素溶出特性

窒素付加堆肥バラ、5mm のペレットおよび速効性化学肥料からの窒素溶出に関する測定結果を下图に示します。図で流出パターンの鋭いものが速い溶出を意味します。この図から、高窒素濃度堆肥バラからの窒素溶出の速さは、化学肥料と同等もしくはそれ以上、ペレット化によって若干溶出が遅れる程度であることが明らかになりました。



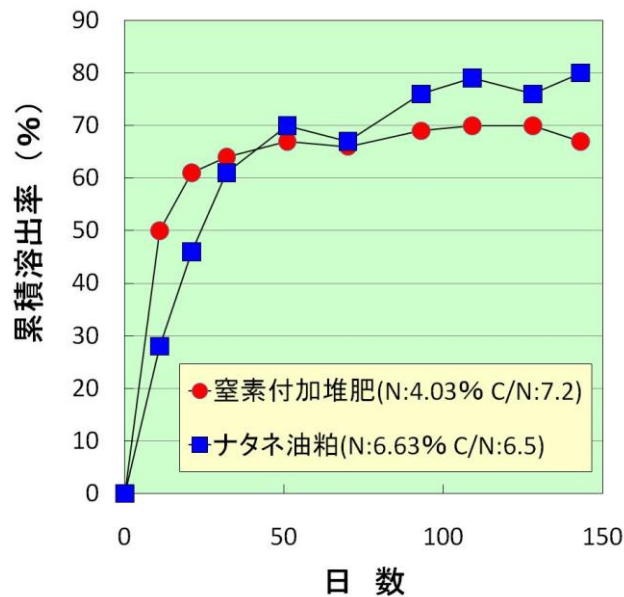
2. 窒素付加堆肥の窒素肥効特性

- 1) コマツナポット栽培試験における窒素付加堆肥の窒素利用率は0.63です。同じ条件で化学肥料（硝安）の窒素利用率は0.90であることから両者の比をとり窒素付加堆肥の窒素肥効率は0.70と計算されます。従って本堆肥10袋（200L≒120kg）中の化学肥料換算窒素成分は約3kg（全窒素約4.2kg）となります。



窒素施用量と吸収量の関係（コマツナポット試験）
 品種は「楽天」、土壌は多腐植質黒ボク土を用い、3株立てとした。
 (1/5000aポット)2008年1月7日播種、2月28日収穫

- 2) 土壌中での窒素付加堆肥からの窒素の溶出率は59~69%で季節、製造ロットを問わず安定しています。有機肥料として流通量の大きいナタネ油粕との比較では、ナタネ油粕中の窒素が継続的に放出されるのに対して、速やかに土壌中に放出され、施用1ヶ月以降の溶出はほとんど認められず、肥切れが良いことが特徴です。



春人参栽培期間における窒素溶出パターン
 ガラス繊維ろ紙埋設法により表(b)の圃場に埋設（12月3日~4月24日）

窒素付加堆肥を用いた栽培試験の例について

熊本県菊池地域において、窒素付加堆肥を用いたニンジン、スイカの栽培試験の例を示します(表)。窒素付加堆肥は窒素肥効率0.7に基づき窒素全量を窒素付加堆肥として全面全層施肥を行いました。リン酸が不足する場合にはリン酸を化学肥料で補いました。結果、発芽および初期生育に障害は認められず収量・外観品質は化学肥料主体の慣行施肥栽培と同等であることが証明されました。冬ニンジンでは、秀品比率が大きく、規格L, Mの比率は同等でした。春ニンジンでは若干株数が少なくなりましたが、収量には問題はありませんでした。スイカでは果径、果重とも高くなり、内部障害の発生は低いレベルにとどまりました。



冬ニンジンの栽培風景とニンジンの外観品質

表 窒素付加堆肥を施用して栽培した野菜の収量結果(熊本県菊池地域における現地実証試験)

(a)冬ニンジン(品種:「バータ312」黒ボク土、露地栽培、栽培期間2007/8/18~12/27)

	肥料名 (資材量kg/10a)	化学肥料換算(kg/10a)*			秀品収量 kg/a	同左L, M収量 kg/a	優品収量 kg/a	首径 mm
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O				
慣行施肥***	配合肥料(120), P肥料(60)**	12.0	32.0	12.0	258	179 (69%)	240	41.5
窒素付加	窒素付加堆肥(444), P肥料(60)**	12.0	24.0	10.6	328	233 (71%)	172	43.2

(b)春ニンジン(品種:「バータリッチ」褐色低地土、トンネル栽培、栽培期間2007/12/1~2008/4/25)

	肥料名 (資材量kg/10a)	化学肥料換算(kg/10a)*			秀品収量 kg/a	同左L, M収量 kg/a	優品収量 kg/a	首径 mm
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O				
慣行施肥***	配合肥料(60)	7.2	9.0	7.2	313	216 (69%)	21	46.7
窒素付加	窒素付加堆肥(292), 重焼燐(20)	7.0	9.6	6.4	289	170 (59%)	29	48.2

(c)スイカ(品種:「春のだんらん」黒ボク土開田、半促成栽培、栽培期間2008/1/18~4/30)

	肥料名 (資材量kg/10a)	化学肥料換算(kg/10a)*			果径 cm	果重 g	糖度(中央部) Brix示度	内部障害等(%)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O				過熟	空洞	黄帯
慣行施肥***	配合肥料(125)	10.0	15.0	3.8	22.0	6,300	11.1	2.0	1.5	0.5
窒素付加	窒素付加堆肥(417)	10.0	3.8	10.0	24.3	8,100	11.8	0.5	1.5	0.5

* 全品目両処理ともに基肥のみ施用。窒素付加堆肥の肥効率をN:P₂O₅:K₂Oで0.7:0.7:0.9としてN基準で施用量を決定した。

** 重焼燐、焼成マグを混合した肥料でク溶性リン酸35%の肥料 *** 農家慣行の施肥量。

窒素付加堆肥を用いた人参の有機栽培試験例

夏まき人参の有機栽培実証試験を行った結果、窒素付加堆肥、窒素付加堆肥に鶏ふん堆肥を混合した堆肥では商品化率が牛ふん堆肥の81%に比較して約90%と高く、また人参の1本重が増加する傾向が見られ商品量が多くなりました。窒素付加堆肥の有機農業における有効性が確認できました。

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)
	二股	割れ	7cm<		本数 (本/10a)	長さ (cm)	直径 (mm)	重量 (g/本)	
無施肥	3.4	16.0	1.4	80.1	17,500	15.3	40.7	131.2	2,297
鶏堆肥混合窒素付加堆肥	2.8	8.6	0.0	90.8	21,625	16.2	41.7	139.8	3,023
窒素付加堆肥	2.1	6.1	0.0	89.2	22,250	16.2	43.0	149.9	3,336
牛糞堆肥	4.4	12.1	2.0	80.8	22,750	15.2	40.9	127.4	2,899

窒素付加堆肥の使い方

窒素付加堆肥 10 袋 (200L) で化学肥料のチッソ 3 kg、リン酸 2 kg、カリを 3.7 kg 代替 (減肥) できます。但し、堆肥に含まれる硝酸態窒素は降雨により流されやすいため施用後すみやかに播種・定植を行う必要があります。



窒素付加堆肥のコスト

肥料 20 kg 袋中の肥料分量と (窒素、リン酸、カリの和) 小売価格から成分 1 kg あたりの単価を次ページの上表に示しました。成分 1 kg あたりの単価 (成分単価) は粒状ナタネ油粕と同等程度です。高度化成に比べて高くなりますが、①堆肥としての土づくり効果 (他の有機質肥料や化成肥料にはありません)、②堆肥散布と比較した作業性 (労力、委託費削減)、③有機質肥料としての付加価値 (有利販売の可能性) を考慮すると経済的にも導入のメリットがあります (次ページ表 成分 1 kg あたりの単価)。

実際の施用例に基づいて肥料コストを計算したのが次ページの下表です (表 施用例に基づいた肥料コスト)。施肥基準が窒素 10kg, リン酸 10kg, カリ 10kg の時に、高度化成 15-15-10 を用いて施用する場合施用量は 67 kg で肥料金額は 15,500 円となります。土壌分析結果により可給態りん酸及び交換性加里が十分に含まれている場合には、りん酸及び加里成分の少ない低 PK 肥料の高度化成 14-10-13 が利用可能で施肥コストを削減することができます。このとき単肥を自家配合した場合には、さらに施肥コストを削減することが可能です。一方、窒素付加堆肥を用いる場合には窒素 10 kg を施用するのに要する資材の量は 400 kg です。このときの肥料金額は 20000 円となります (窒素付加堆肥 500kg フレコンの価格は 25,000 円袋代除く)。

成分 1 kgあたりの単価

肥料銘柄 (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O)	20kg袋中肥料成分 (kg)	肥料小売価格 (円)	成分1kg当たりの単価 (円)
有機配合肥料	4.7	4,242	903
高度化成15-15-10	8.0	4,654	582
高度化成14-18-14	9.2	3,518	382
高度化成14-10-13	7.4	2,856	386
肥効調節型肥料	8.4	4,526	539
硫安	4.2	1,239	295
尿素	9.2	2,132	232
硝安	6.8	2,667	392
過リン酸石灰	3.4	1,922	565
塩化カリ	12.0	2,825	235
ナタネ油粕粉(5-2-1)	1.8	1,281	712
ナタネ油粕粒(5-2-2)	1.8	1,449	805
窒素付加堆肥(3.5-1.7-3.1)	1.5	1,167	805
牛糞ペレット(3-4-3)	1.7	790	465

※岡山県農業総合センター「施肥コストの低減対策」平成20年9月4日より作表。価格はH20肥料年度。但し、ナタネ油粕は、成分量5-2-1、窒素肥効率0.8として計算した。成分調整ペレット堆肥の窒素肥効率は窒素付加0.7、牛糞0.5として計算した。

施用例に基づいた肥料コスト

肥料		施用量 (kg)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	肥料金額 (円)	指数
高度化成15-15-10		67	10	10	6.7	15,498	100
高度化成14-10-13		72	10	7.1	9.3	10,196	66
単肥配合	尿素	20	10			2,060	53
	過石	42		7.1		4,013	
	塩加	16			9.3	2,184	
	(単肥合計)	78				8,257	
窒素付加(フレコン)		400	10	6.8	12.4	20,000	129

本マニュアルは、熊本県内の乳牛ふんを用いて得られたデータに基づき、一定の目安を示したものです。情報の正確性には万全を期していますが、掲載された情報をご利用になったことによるいかなる損害についても責任を負いません。ご指摘等がございました場合は、下記までご連絡ください。

【問い合わせ先】農業・食品産業技術総合研究機構 九州沖縄農業研究センター
〒861-1192 熊本県合志市須屋 2421 TEL : 096-242-7530