

原 著

## 牛ふん堆肥発酵熱を回収・再利用した高温発酵堆肥化技術の開発

福島博、布野秀忠、安田康明

島根県畜産技術センター，島根県出雲市，693-0031

**要 約** 高温での堆肥化を目的とし、堆肥発酵槽の床と壁に蓄積された発酵熱を回収・再利用するブロワ入気加温システムを作製して堆肥化促進効果を観察した。本システムでは発酵槽後方の壁面に密閉構造のブロワ収納スペースを配置し、壁面ダクトで加温された外気をその壁面に装着したラジエーターを通し吸引すると同時に、床に埋設された架橋ポリエチレンパイプ内で40～50℃に加温された温水をラジエーターに循環することにより30～50℃の温風を得て、これを通気管に送風した。ブロワ運転条件として第1槽での風量700m<sup>3</sup>/分で1週間、第2槽での風量500m<sup>3</sup>/分で3週間の強制間欠通気運転（15分運転45分停止）をすることにより外気温の変動に影響されることなく堆積層全体で70～80℃の高温発酵を長期間誘導することができた。このことにより、乾物の分解促進や水分の蒸発、堆肥の減容化はもとより病原菌などが死滅したクリーンな堆肥を安定的に製造することができた。

キーワード: 牛ふん堆肥, 高温発酵堆肥, 発酵熱利用

受領日: 21.03.2017. 受理日: 24.04.2017.  
日本畜産環境学会誌 No16 (1) pp61-72. 2017

### 緒 言

畜産農家は家畜ふん尿を堆肥化して農地還元するために処理時間と労力を費やしている。堆肥変化を良好に進めるには家畜ふん尿などに常在する好気性微生物が活発に活動できる条件を整えることが重要とされる。その条件としては栄養源、水分、酸素、微生物、温度および時間などがある。他の条件が整っても、一般的な家畜ふん尿の堆肥化処理では発酵温度は50～60℃であり、乾物の減少量は限定的である。また、堆肥の発酵温度が低いと悪臭の発生、病原細菌の生残や雑草種子の発芽などの問題を引き起こす。したがって、堆肥化の温度を高く保持することは、これらの問題解決のために重要な要因と考えられる。

現在、一般畜産農家において取り組まれている強制間欠通気法による牛ふん堆肥化処

理でも条件が揃うと発酵温度が80℃を超え、易分解性有機物が微生物に盛んに分解されて堆肥化が進み、成分的に安定化した後に発酵温度が低下すると言われている。しかし、80℃の熱が保持される期間は短く、必ずしも十分な熱発生とは考えられず、さらに一端放出された熱は、堆肥化には有効利用されていない。これまで、発酵熱の利用法について、堆肥内部の配管に水[1,2]や空気[3]を通過させ熱を抽出する方法や堆肥上部[4]または底部[5,6]の空気を回収し、熱交換する方法があるが、それらの方法では実用的な熱量を回収できなかつたり、施設が高額であったりするために一般への普及には至っていない。

本研究では一般農家への普及を想定した低額投資施設を考案した。すなわち、発酵槽床に埋設したパイプに水を循環し、堆肥化過程で発生する熱（以後、発酵熱）で加温した

## 堆肥発酵熱を利用した堆肥化技術

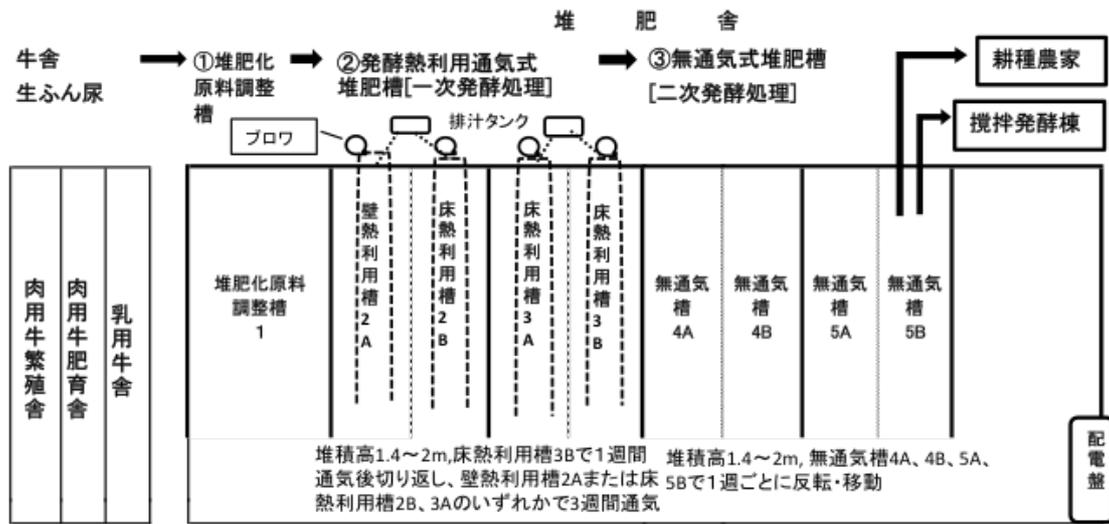


図1. 堆肥化施設と発酵処理工程

温水をラジエーターで効率的に温風へと熱交換し、この温風を強制間欠通気することを試みた。堆肥製造に及ぼす影響は、乾物の分解や水分の蒸発および病原菌などの死滅を指標として検討した。なお、本システムの設置は年次計画で取り組んだため、完成までの期間に稼働条件を異にして取り組んだ予備試験成績との比較も行った。

### 材料および方法

#### 1. 堆肥化原料と強制発酵装置および堆肥化方法

堆肥原料として島根県畜産技術センターで飼養する乳牛（経産牛 25頭、乳牛育成牛 10 頭）と肉用牛（103 頭）の排泄物および廃棄敷料（量：4.1 t/日、オガクズ使用量：0.794 t/日）を堆肥化原料調整槽において水分 70%以下に調整した。水分調整は、夏期には和牛牛舎から廃棄される乾燥した敷料などで可能であったが、秋から翌年の梅雨時期までの期間はモミガラを添加して行った。

堆肥舎には2013年度からブロウシステム（50/60Hz共用型、2.2kw、風量9.4m<sup>3</sup>/分）を年に一台ずつ追加設置し、2016年9月には

ブロウ発酵槽 4 槽（2A,2B,3A,3B）（図1）の稼働が可能となる本システムが完成した。2014年度以降に年次計画で設置した3槽（2B,3A,3B）には発酵熱を再利用したブロウ入気加温装置（特願2015-152526：堆肥化発酵処理法及び装置）を組み込んだ（図2）。この装置の基本構造は、発酵槽の床面と壁面から回収した発酵熱を発酵槽の床から温風として堆肥原料に還元する仕組みである。床面の工事では、温風を供給する構造として、既存堆肥舎の発酵槽（幅5m、奥行き9.8m、最大堆積量72m<sup>3</sup>、約50t）の床面アンカーに鉄筋を固定し、噴出口が上と斜め上向きで、直径5cm、間隔は7cmの千鳥配置とした2本の通気管（直径10cmの塩ビ管）を配管した。また、床面での発酵熱回収を目的とした温水循環の架橋ポリエチレンパイプ（約100m）を床面に蛇行配管し、土間コンクリートを15cm重ね打ちした。壁熱回収を目的として、4槽の壁面外側に二重構造のコンパネ製ダクトを沿わせて設け、配管を通す壁はコア抜きにし、壁面ダクトの外に設けた密閉構造のブロウ収納スペースにターボブロウ、温水の循環ポンプとタンクを置き、壁面ダクトからの

## 堆肥発酵熱を利用した堆肥化技術

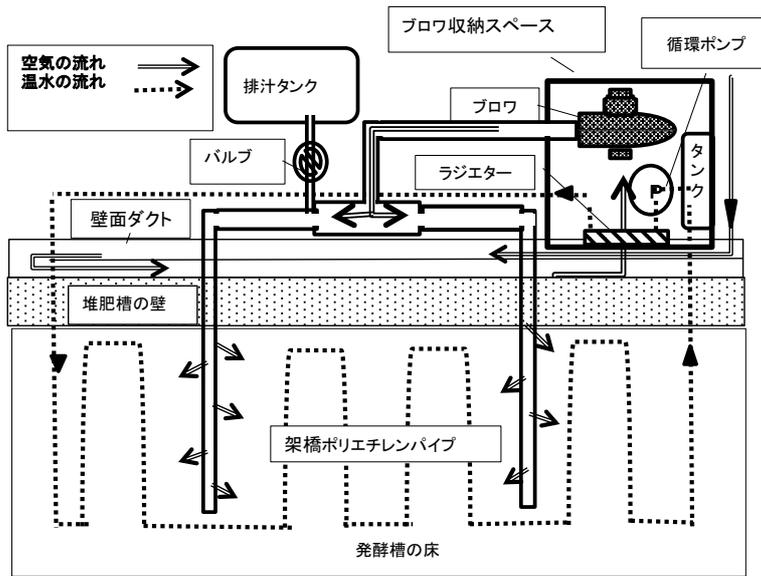


図2 堆肥発酵余熱を利用したブロウ入気加温システム(平面図)

表1. ブロウの周波数調整表

堆肥1m <sup>3</sup> 当たり風量(L/m <sup>3</sup> /分)	堆肥の高さ別風量							
	2m		1.8m		1.6m		1.4m	
	Hz	ブロウ風量 m <sup>3</sup> /分	Hz	ブロウ風量 m <sup>3</sup> /分	Hz	ブロウ風量 m <sup>3</sup> /分	Hz	ブロウ風量 m <sup>3</sup> /分
75	39.4	6.2	35.5	5.5	31.5	4.9	27.6	4.3
50	26.3	4.1	23.6	3.7	21.0	3.3	18.4	2.9

吸気口にラジエーターを装着した。ブロウと循環ポンプはインバーター（周波数調整装置）とタイマー（間欠運転）を組み込んだ制御盤で駆動した。ブロウとポンプの同時運転によりタンクに送り込まれた床循環温水をラジエーターに送り壁面ダクトで加温された外気を更に加温すると共にブロウで吸引し通気管に送風した。

堆肥処理は原料調整槽の片側に山積みして発酵温度が約50℃に達した原料約33トンを床・壁熱利用加温発酵槽（床熱利用槽）へ1週ごとに投入した。発酵槽におけるブロウの運転は15分運転、45分停止する間欠通気法[7,8]を終日行った。また、今回の観察では堆肥原料投入後約4週でブロウ発酵槽から搬

出されるまでを一次発酵、ブロウ発酵槽から搬出後の無通気発酵槽での堆肥化を二次発酵とした。

予備試験として、4槽が完成するまでの期間に年次設置される発酵槽2A,2B,3Aを用いて、下記のブロウ運転条件①～⑤で一次発酵における堆肥性状の観察を行った。観察が終了した後は、無通気発酵槽へ移動し、1週ごとにローダーで反転して二次発酵をすすめた。

①発酵槽2Aでの外気の送風（風量30～60ℓ/m<sup>3</sup>/分、1～4週間）。②床熱利用槽2Bでの温風の送風（風量40～60ℓ/m<sup>3</sup>/分、2～4週間）。③床熱利用槽2Bでの温風の送風（風量30ℓ/m<sup>3</sup>/分、1週間）後に発酵槽2Aへ移動し、外気の送風（風量

30ℓ/m<sup>3</sup>/分、2週間）。④と⑤床熱利用槽2Bでの温風の送風（風量30～40ℓ/m<sup>3</sup>/分、1週間）後に壁熱利用発酵槽（壁熱利用槽）2Aまたは床熱利用槽3Aへ移動し、温風の送風（風量30～40ℓ/m<sup>3</sup>/分、④では1週間、⑤では2週間）。

システム完成後の本試験は、運転条件⑥として、床熱利用槽3Bで温風の送風（風量70ℓ/m<sup>3</sup>/分、1週間）後に壁熱利用槽2Aおよび床熱利用槽2Bと3Aのいずれかへ移動し、温風を送風（風量50ℓ/m<sup>3</sup>/分、約3週間）し行った（表1）。なお、床熱利用槽3Bへの堆肥原料の積み込みは床温の低下を防ぐために発酵堆肥撤去後30分以内に行った。次の壁熱利用槽2Aまたは床熱利用槽2B,3Aへの

## 堆肥発酵熱を利用した堆肥化技術

移動は発酵堆肥を撤去した翌日に実施した。また、堆肥の移動前後1時間と移動中には周波数60Hz（風量1000ℓ以上/m<sup>3</sup>/分）でブロワ運転し、堆肥内への空気の通り道の確保と水分の蒸散を促した。

なお、本試験では一次発酵での堆肥化過程ならびに二次発酵の終了した堆肥の測定項目として以下の内容についてデータを収集した。

(1) 堆肥の発酵温度と床循環温水温度およびブロワ入気温度

予備試験と本試験において、年間を通じ堆肥の発酵温度を原料の投入および移動後1時間ごとにデータロガー（T&D社：おんどとり）を用い記録した。一次発酵では堆肥の深度別温度を把握する目的で、塩ビ管の先端から5cmと50cm、100cm、125cmの位置に穴を開け内部から温度センサーを装着した自家製深度別温度測定装置を堆積物の中央で床面まで垂直に差し込み実施した。二次発酵では堆積層表面から100cmと50cmの温度を測る目的で塩ビ管の先端部と50cmの部位に温度センサーを装着したものを堆積物の中央部で垂直に100cm差し込み実施した。

発酵温度の測定と同時に床循環温水温度およびブロワ入気温度を原料の投入及び移動終了後5分ごとにブロワ収納スペースの中に設けたタンク内およびブロワの吸気口前に設置したデータロガーで記録した。

(2) 水分、容積重と乾物分解率

予備試験と本試験を通じて、ブロワ稼働条件の違いについて諸種データを集積した。

水分（%）は簡易測定法として上記試料の30gを電子レンジ（600W）で7分間乾燥した後に重量を測定し、（乾燥前試料の重量－乾燥後試料の重量）÷乾燥前試料の重量×100で求めた。容積重は堆肥の切り返し時にローダー10と20、30杯目の10地点から14ℓのバケツにすり切り一杯採取し、重量を測定し、

（堆肥重量－バケツ風袋）÷14×1000で求めた。

乾物分解率は、堆肥化過程における試料の灰分（%）を電気マッフル炉による標準法（600℃、2時間）により求め、乾物分解率を（1－原料の灰分含量(DM%)）÷堆肥化後の灰分含量(DM%)×100で求めた。

(3) 堆肥中細菌数

予備実験中（2015年4月）に堆肥発酵過程における細菌数の変化を床熱利用槽2Bで温風を1週間送風した後に壁熱利用槽2Aへ移動して温風を1週間送風し、さらにその後無通気発酵槽で1週ごとに移動した堆肥を用いて観察した。毎週、堆肥を移動する前に堆積物中央の深さ30cmの部位の発酵温度を測定し、測定部位から分析用堆肥を採取した。生菌数（CFU/g）は堆肥の10段階希釈液10μlずつを各分離培地に塗布・培養し計測した。超好熱菌はジェランガムを基剤とした高温菌分離培地NBRC medium No. 1121 [9]を用い湿潤ジャーに入れ80℃で3日間培養した。放線菌などの好熱菌は25%堆肥抽出液3%寒天培地[10]を用い56℃で2日間培養した。バチルス属菌などの一般細菌はYG培地[11]、大腸菌などのグラム陰性腸内細菌はデソキシコレート培地を用い37℃で1夜培養した。

(4) 堆肥品質（コマツナ発芽試験）

原料、一次発酵での移動時および二次発酵の移動時に採取した試料についてコマツナ発芽試験により堆肥品質検定を行った。発芽試験の方法は、前田ら[12]の方法に準じ、乾燥後粉碎した試料1g（生堆肥換算約3g）に60℃の蒸留水30mlを加え、60℃3時間放置後ガーゼ2枚重ねでろ過し、シャーレ中にコマツナ（友好菜）種子50粒播種済発芽シート（富士平工業社製、たねピタ）を敷き、抽出液10mlを添加した。対照区として蒸留水を10ml添加したものを準備した。これらを30℃暗所に静置し、4日後に発芽状況を調べた。発芽率

# 堆肥発酵熱を利用した堆肥化技術

は蒸留水で栽培した対照区に対する比率 (%) で示した。

## 結果および考察

### 1 完成した本システムの稼働成績

本システムを稼働 (条件⑥) した際の堆肥の発酵温度および床循環温水温度、ブロワ入気温度の推移をそれぞれ温暖な時期と寒冷な時期に分けて示した (図3, 4)。

堆肥原料調整槽で水分を 70%以下に調整して攪拌された原料は、徐々に発酵が始まり、積み込み時にはその温度は約 50°Cに達した。堆肥原料は床熱利用槽 3B から堆肥を移動した 30 分後にそこへ積み込まれたが、その床温は先に堆積されていた堆肥の発酵熱により約 50°Cに保たれていた。床熱利用槽 3B での発酵は 40~50°Cの温風が噴き出る通気管

に近い堆肥底部から始まり、発酵温度は床上 50cm では 14 時間後に 60°C、26 時間後に 70°C に達した。その後、床上 100cm 以上に発酵熱が上昇・蓄積され 60 時間後には 80°Cに達し、床上 50cm 以上では 75~81°Cの発酵温度が数日間維持された。発酵槽床に埋設された架橋ポリエチレンパイプに充填された水は発酵熱により加温され、循環ポンプ (周波数 60Hz で 10ℓ/分、36Hz で 5ℓ/分、24Hz で 4ℓ/分) によりラジエーターへ送られる。ブロワ運転により壁熱利用ダクトを通り加温された外気はラジエーターに吸引され、床循環温水との熱交換により年間を通じ 40~50°Cに加温され通気管から堆肥に送風される。図5に堆肥原料が積み込まれる床熱利用槽 3B と 1 週後に移動され 3 週間堆肥化された床熱利用槽 2B と 3A における外気温と床循環温水およびブ

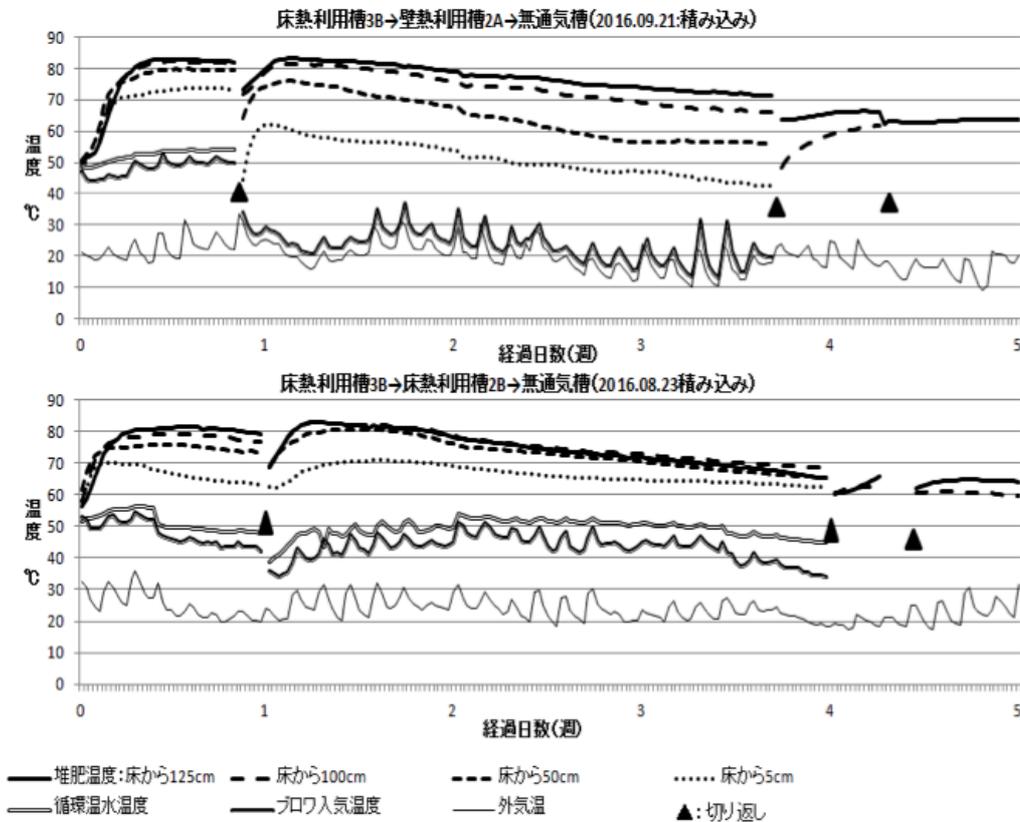


図3 温暖な時期における牛ふん堆肥の発酵熱および気温、ブロワ入気温度の推移

# 堆肥発酵熱を利用した堆肥化技術

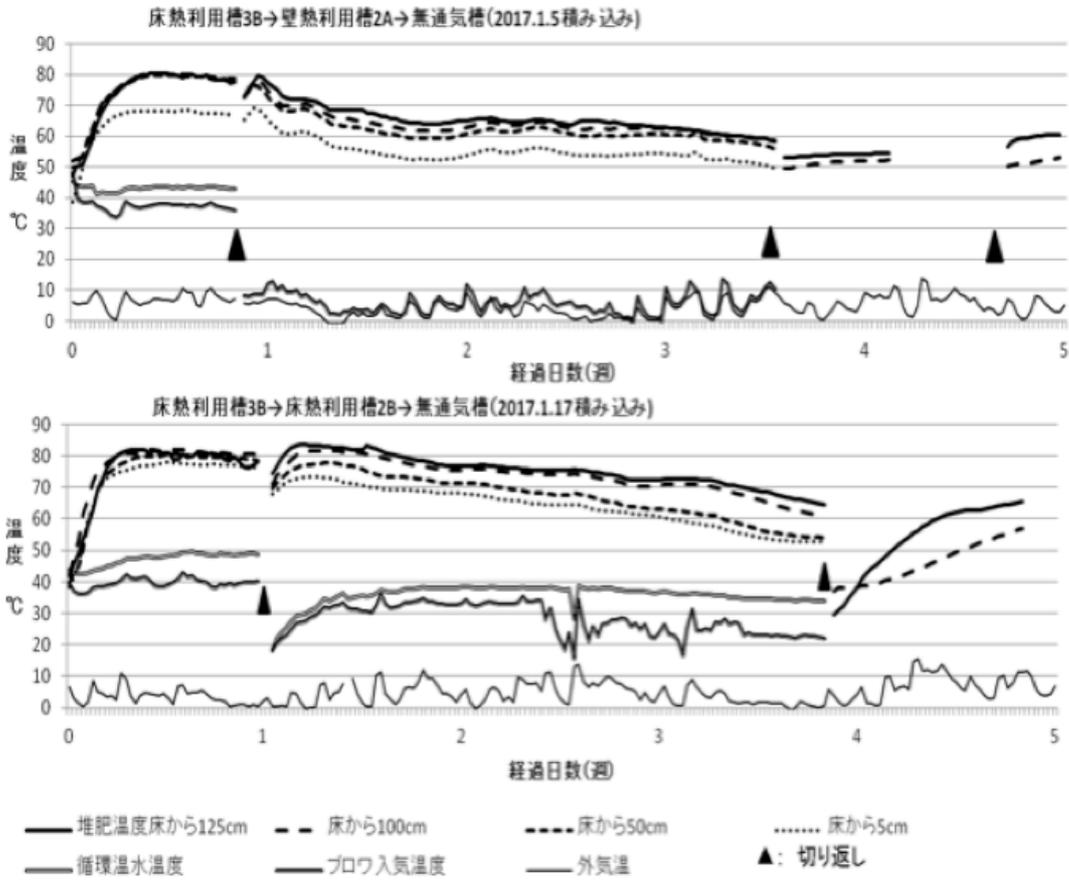


図4 寒冷な時期における牛ふん堆肥の発酵熱および気温、プロウ入気温の推移

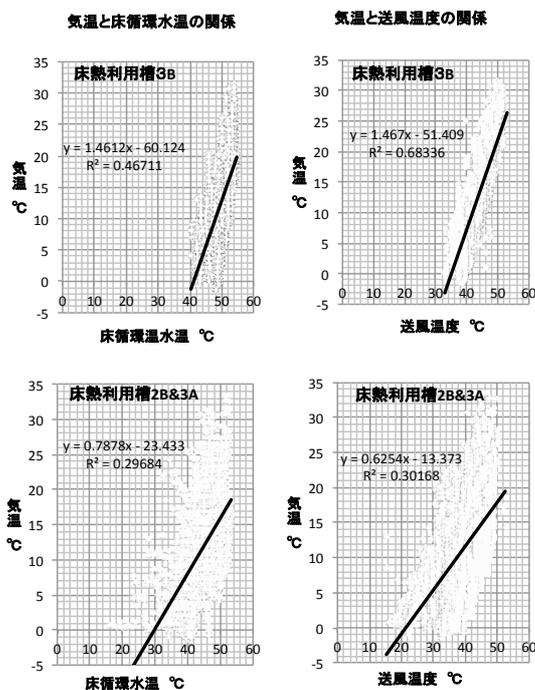


図5. 床熱利用発酵槽における気温と床循環水温および送風温度の関係

ロウ入気温度の関係を示した。

常に温風が送風される床熱利用槽 3B での発酵には外気温の影響は見られず、床循環温水は温暖期には 50°C 近く、寒冷期には 40°C 近くに保たれ、発酵熱が 80°C 近くまで上昇すると温暖期には 55°C 近く、寒冷期には 50°C 近くまで上昇し、外気よりも 25~30°C 高い 30~54°C の温風が送風された。

発酵 1 週目に床熱利用槽 3B の堆肥を移動する壁熱利用槽 2A および床熱利用槽 2B, 3A では前日の堆肥撤去により床熱が放熱され、床熱利用槽 2B と 3A の床循環温水は低下する。図 3 に示す外気温が 20°C 以上の温暖期に堆肥が撤去され一夜放置された床熱利用槽 2B の床循環温水は 37.8°C まで低下したが、床熱利用槽 3B から移動した堆肥の発酵に伴い床循環温水は上昇 (平均床循環温水温度 49.2°C)

## 堆肥発酵熱を利用した堆肥化技術

し加温された温風（平均入気温度 42.9℃）が送風され堆肥全体での発酵の促進が観察された。発酵温度は床から 50cm 以上の堆積物のほとんどで 80℃に上昇し、80℃の高温発酵が約 1 週間維持された後に徐々に 60~70℃までに低下した。一方、壁熱利用槽 2A へ移動した堆肥へは外気よりも 3.5℃高い空気（平均入気温度 23.4℃）が送風され、超高温発酵は床から 100cm 以上の堆積物の半分でのみ観察され、3 週後の堆肥温度は床上 5cm で 43℃、床上 125cm で 71℃であった。堆肥の低層では送風により発酵熱が上部へ移送されることにより温度の上昇が抑えられたと推察された。

図 4 に示す外気温が 10℃以下に低下する寒冷期に床循環温水が 16.2℃に低下した床熱利用槽 2B へ移動した堆肥では発酵の進展に伴い床循環温水（平均床循環水温 35.6℃）により加温された温風（平均入気温度 27.9℃）が送風された。発酵温度は床から 50cm 以上の堆積物のほとんどで 75~83℃に上昇し、数日間に亘り超高温発酵が続いた後に徐々に下降し、3 週間後には 53~62℃に低下した。寒冷な時期であっても 30℃近い温風の送風により温暖な時期と同様に発酵が推移することが示された。一方、壁熱利用槽 2A へ移動した堆肥へはブロワから 2.1℃と外気よりわずかに高い空気（平均入気温度 5.9℃）が送風されたに過ぎず、堆肥上層部の発酵温度は 19 時間後に 79.8℃まで上昇したがその後急激に 60℃台まで下降し、3 週後の発酵温度は床上 5cm で 49.9℃、床上 125cm で 58.6℃であった。寒冷期には冷たい外気の送風による冷却により発酵が進まないことが示唆された。これらのことから、温風の送風は寒冷期に堆肥の高温発酵を促進できることが明らかになった。このことは北海道の極寒期において活性汚泥を用いた超高熱菌発酵堆肥の発酵遅滞防止に堆肥発酵槽に熱交換パイプ

を設置し、加熱した空気をブロワに導くことで発酵が促進されたとする報告[3]と同様であった。

家畜ふんの堆肥化時に発生する発酵熱を回収・利用する研究は複数の研究者により行われており、堆肥原料中もしくは原料底部に熱媒体を通す管を埋設し、熱を抽出する方法[1, 2]、原料上部の空気[4]もしくは堆肥原料底部から吸引した高温の空気[5, 6]や密閉縦型発酵装置からの排気を熱交換器に導入する方法[13]が試みられている。しかし、前者は堆肥と熱媒体の接触面積が小さいため回収率が悪く、原料上部からの熱回収では低温の外気による希釈が課題となっている。また、堆肥化施設の排気からの熱回収には熱交換器などの高価な設備と吸引ブロワなどの腐食が課題となっている。堆肥化発酵熱の利用方法としては温水に変換し畜舎の暖房[14]、乳牛への温水給与[15]、戻し堆肥の乾燥利用[7]、温室ハウスの加温[16]などが検討されているが、これらの堆肥発酵熱を利用する技術は普及していない。

本システムでは発酵熱によって 50~55℃に加温された温水で暖められ、外気温よりも 25~30℃高い温風を安定して連続送風でき、堆積層の全体で超高温発酵の促進と堆肥の乾燥化を計ることができた。当地方では外気温が長期に亘り氷点下になることはないが 2016 年 1 月に外気温が-5℃まで低下した際でも床循環温水は 41.3℃以上に保たれ、23.2℃以上の温風送風により、堆肥発酵に気温低下の影響はほとんど認められなかった。よって、本システムは寒冷地域での堆肥発酵を促進する手段として極めて有効と思われる。また、本システムは堆肥やその排気と接触することがないため使用機器の劣化はなく、また、インバーターによる周波数調整の実施で経済的な負担を小さくする稼働（表 2）が可能と推察された。

## 堆肥発酵熱を利用した堆肥化技術

表2. 堆肥のブロワ発酵一工程における電気料金

期間	ブロワと循環ポンプの運転	周波数	電気使用量 kw/h	1時間 当たり 電気料金 (円)	運転 時間	運転 料金 (円)
1週目	積み込み時強制運転	60Hz	0.225	3.74	2	7.5
	間欠運転(7日間)	32Hz	0.010	0.17	168	28.6
2~4週目	切り返し時強制運転	60Hz	0.225	3.74	2	7.5
	間欠運転(20日間)	24Hz	0.008	0.13	480	62.4
	切り返し時強制運転	60Hz	0.225	3.74	0.5	1.9
ブロワ運転電気代合計						107.8

電気料金は1kwを16.6円として計算した。

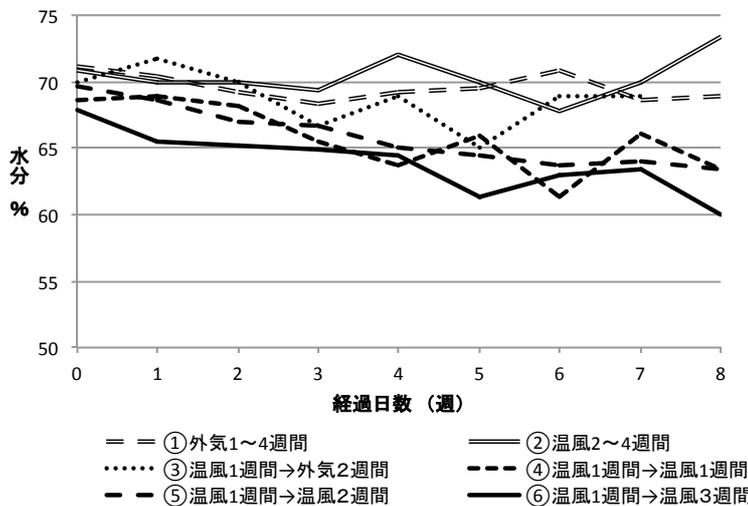


図6. ブロワ運転の違いによる水分の推移

### 2 堆肥性状の推移

予備試験(条件①~⑤)とシステム完成後の本試験(条件⑥)におけるブロワ運転と反転・移動間隔の異なる処理条件での堆肥の水分、容積重と乾物分解率の変化を比較した。

#### 2.1 水分 (%)

堆肥原料の水分をほぼ70%に調整し、ブロワ運転6条件での堆肥化処理における水分の推移を図6に示した。外気を2週間または温風を3週間連続送風(条件①と②)後に無通気発酵槽に移した場合の水分はそのまま推移した。これに対し、温風を1週間送風後に移動し、再度外気または温風の送風(条件③

~⑥)後に無通気発酵槽に移した場合は水分が低下した。このことは温風送風1週目における80℃の超高温発酵での発酵熱による水分の蒸散と移動時の攪拌による更なる蒸散と堆肥の均質化により通気性が増し、以後の堆肥の発酵と水分の蒸散が促されたものと推察される。また、1週目における水分は風量を350/m<sup>3</sup>/分(条件①~⑤)に設定した場合は69%以上だったのに対し、風量を750/m<sup>3</sup>/分(条件⑥)では66%と低く、堆肥発酵初期には風量を多くし酸素の供給による良好な発酵と発酵熱による水分の蒸散促進の

重要性が示された。1週以降は風量500/m<sup>3</sup>/分に設定し発酵の促進と緩慢な水分の蒸散と放熱を図ることにより、無通気発酵槽での反転・移動による二次発酵で8週目には水分を60%まで下げることができた。

#### 2.2 容積重

水分調整により容積重がほぼ400kg/m<sup>3</sup>になった堆肥原料のブロワ運転6条件での堆肥化処理における容積重の推移を図7に示した。容積重と水分はほぼ同様な推移を示したが、いずれも堆肥化処理2週目までは容積重はそのまま推移した。水分の低下が見られない(条件①と②)場合は容積重も400kg/m<sup>3</sup>以上

## 堆肥発酵熱を利用した堆肥化技術

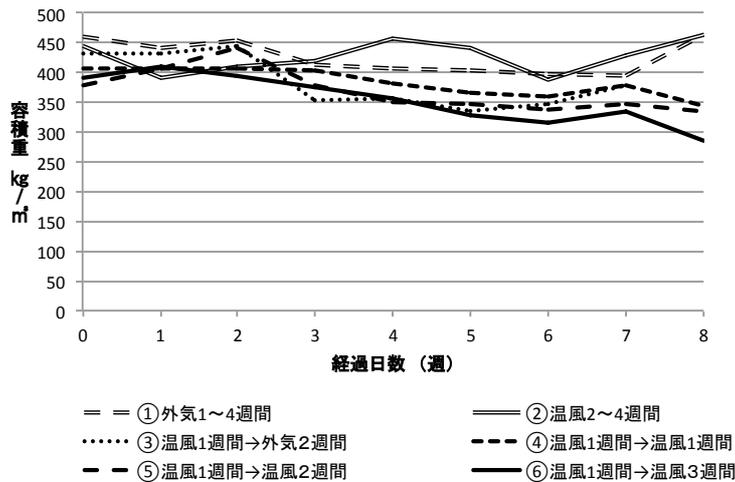


図7. ブロウ運転の違いによる容積重の推移

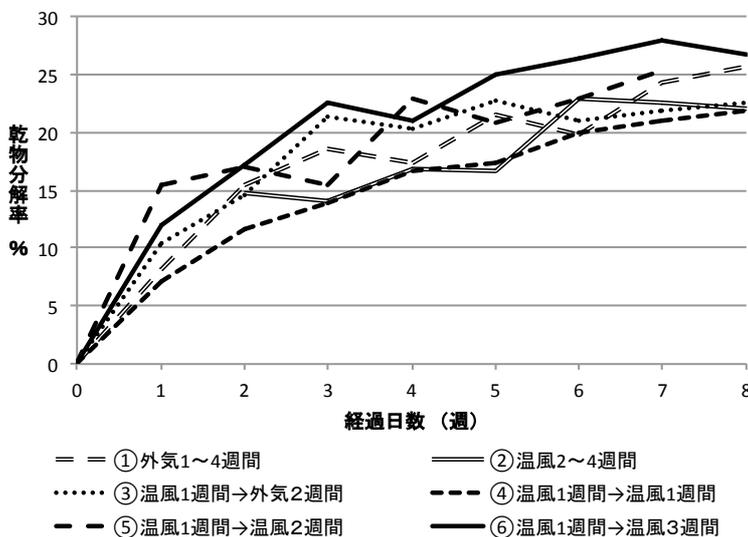


図8. ブロウ運転の違いによる乾物分解率の推移

③～⑥) 場合には1週目の移動後、水分と同様に減少し、条件⑥では8週目に300kg/m<sup>3</sup>以下まで低下した。

### 2.3 乾物分解率

乾物分解率の推移を図8に示した。堆肥中の有機物が微生物により急速に分解され発酵熱が80°C近くに急上昇する発酵初期1週目には乾物分解率も急速に上昇し、予備試験の平均値で10%近くに達したが、移動後の分解速度は低下し3週目に16%、4週目には19%に止まった。その後の無通気発酵槽での反

転・移動により8週目には23%が分解された。発酵の促進と水分の効率的な蒸散を目的にブロウ運転プログラム(条件⑥)を設定することにより乾物分解率は他の条件に比べ向上した。特に、1週目の移動後に温風を風量500l/m<sup>3</sup>/分で3週間送風することにより、堆肥全体の発酵温度を80°Cに1週間程度維持した後、好熱菌の増殖に適した70°C以下に徐々に誘導することにより4週目に乾物分解率は22%に達し、以後の無通気発酵槽では放線菌などの好熱菌の増殖に適した70°C以下の環境での分解が進み、7～8週目には乾物分解率は28%に達した。

### 3 堆肥中細菌数

堆肥化は特定の微生物によって行われるのではなく、原料中に存在する極めて多種類の微生物が関

わり、主役となる微生物のグループが交代しながら堆肥化が行われる。本試験では堆肥原料に含まれる超好熱菌10<sup>4.5</sup>CFU/g、放線菌などの好熱菌10<sup>7.5</sup>CFU/g、セレウス菌などの一般細菌10<sup>6.3</sup>CFU/gおよび大腸菌などのグラム陰性腸内細菌10<sup>6</sup>CFU/gの堆肥発酵過程における推移を表3に示した。発酵初期には好熱菌が増加し、発酵温度が80°Cに達し安定化する1週目頃には超好熱菌が10<sup>7.3</sup>CFU/gに増殖し細菌叢の首位を占めた。2週目に間欠通気運転を終了し、無通気発酵槽での堆肥化へ移

## 堆肥発酵熱を利用した堆肥化技術

表3. 堆肥の発酵過程における堆肥中の細菌数の推移(2015年4月20日積み込み堆肥)

	堆肥中の生菌数 (Log10/g)						
	0日目	7日目	14日目	23日目	30日目	41日目	44日目
堆肥発酵槽		床熱利用槽2B	壁熱利用槽2A	無通気槽	無通気槽	無通気槽	無通気槽
堆肥発酵温度: 深さ30cm(°C)	55.2	80.4	78.6	60	56.3	65.6	59.1
超好熱菌数: 80°C培養	4.5	7.3	5.9	4.0	4.5	4.7	5.3
好熱菌数: 56°C培養	7.5	7.0	8.2	8.1	7.7	8.0	7.0
一般細菌数: 37°C培養	6.3	6.3	7.0	6.7	5.8	6.5	6.3
グラム陰性腸内細菌数: 37°C培養	6	3.2	-	-	-	-	-

一: 発育せず

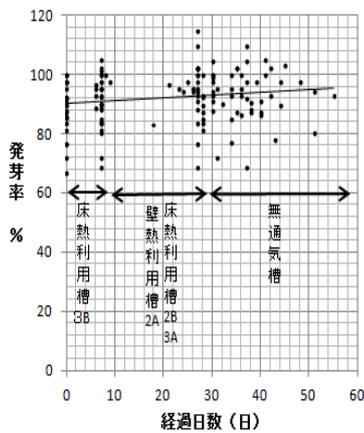


図9 コマツナ発芽試験結果

行することにより超好熱菌が $10^{4-5}$ CFU/gまで減少したのに代わって好熱菌が $10^{7-8}$ CFU/gに増殖し、一般細菌も $10^{6-7}$ CFU/g検出された。牛のふん便中に含まれるグラム陰性腸内細菌は発酵初期には検出されたが、発酵温度の上昇により1週目以降には全く検出されなくなった。

#### 4 コマツナ発芽試験

生育阻害物質に感受性が高い友好菜を用いたコマツナ発芽試験において対照とした蒸留水での発芽率は 84.3%であった。図 9 に示すように対照に対する試験原料の発芽率は堆肥原料で 92%、床熱利用槽 3B での 1 週目堆肥で 92%、一次発酵終了の 3 週目で 94%、その後の無通気槽での原料でも 94%を

示し、堆肥中の生育阻害物質の分解が進んでいることが示された。

### 総 括

以上の結果から、堆肥発酵熱を回収・再利用する本システムを用いた間欠通気運転により堆肥の堆積層全体での 70~80°Cの高温発酵を長期間誘導することができ、乾物の分解促進や水分の蒸発、堆肥の減容化はもとより病原菌などの死滅したクリーンな堆肥を安定的に製造することが可能と考えられた。

### 文 献

- [1] 草苧耕造, 斉木孝, 井上重美, 浦上雅道 (1984) 家畜ふん発酵熱利用: 岡山県酪農試験場報告: 21:79-88.
- [2] 関平和, 小森友朗 (1984) 埋設管内通水方式による堆肥発酵熱抽出の試み: 農業気象: 40:219-228.
- [3] 筒木潔, 金澤晋二郎, 近藤泰彦, 笠原佳介 (2004) 超高温菌による厳寒地堆肥化システムの創生: 日本土壤肥料学会講演要旨集: 50:18.
- [4] 関平和, 小森友朗 (1992) 堆肥熱回収のための重鎮型加熱等の解析: 農業気象: 48:237-246.
- [5] 小島陽一郎, 阿部佳之 (2011) 吸引通気方式堆肥化処理による発酵熱の回収と利用: 農業施設: 42:51-58.

## 堆肥発酵熱を利用した堆肥化技術

- [6] 小堤悠平, 長峰孝文, 畠中哲哉, 道宗直昭 (2015) 発酵熱を用いた堆肥の乾燥: 日畜会報: 86: 219-227.
- [7] 小山太 (2005) 通気装置を設置した簡易堆肥化施設: 開発された簡易低コスト家畜排泄物処理施設報告書 (畜産環境整備機構): 80-90.
- [8] 丸笹三郎 (2001) 堆肥舎にブロワを設置しよう: 牧草と園芸: 49 (12): 9-14.
- [9] NBRC Catalogue of Biological Resources (2010) microorganisms genetic DNA clones, and cDNAs, 2<sup>nd</sup> edn. Chiba, Japan: National Institute of Technology and Evaluation (NITE): 1013.
- [10] 小林宙, 白石誠, 滝本英二, 高取健治, 疇地勅和 (2008) 高熱微生物を添加した乳牛ふんの堆肥化試験: 岡山総畜セ研報: 17: 57-61.
- [11] 新編土壌微生物実験法 (1992) 土壌微生物研究会編: 379.
- [12] 前田淳一, 吉川元, 垣内秀志 (2009) コマツナ発芽試験を用いた家畜糞堆肥の腐熟度評価方法の検討: 畜産の研究: 63 (8): 805-809.
- [13] 川村英輔, 高田陽, 小島陽一郎 (2016) 密閉縦型発酵装置の発酵熱と回収可能熱量: 日豚会誌: 53 (2): 21-31.
- [14] 川村英輔, 高田陽, 高柳典宏 (2015) 2養豚場の「消費電力の可視化」と消費電力の負荷平準化: 日豚会誌: 52: 50-60.
- [15] 小島陽一郎, 阿部佳之, 天羽弘一 (2014) 吸引通気方式堆肥化施設で回収した発酵熱による水の加温-加温特性と実規模施設における乳牛への温水供給-: 農業施設: 45: 99-107.
- [16] 本田善文, 阿部佳之, 宮竹史仁 (2007) 堆肥舎から出る悪臭や発酵排熱、炭酸ガスを施設園芸に活用するシステム: 畜産コンサルタント: 43 (6): 20-26.

Original Paper

## Development of high-temperature composting system reusing fermentation heat of cattle manure

Hiroshi FUKUSHIMA, Hidetada FUNO, Yasuaki YASUDA  
Shimane Prefectural Livestock Technology Center, Izumo, Shimane 693-0031

For the development of the high temperature composting system, we observed accelerating effects to composting of a blower inhalation system heated by hot air on the floor and wall of compost fermenter. In this system, a blower was placed in a sealed box installed on the wall behind the compost board. The system was also heated by hot air at 30 to 50 °C that was heated by circulating warm water 40 to 50 °C circulating through a cross-linked polyethylene pipe embedded in the floor to the radiator. Blower was operated by forced intermittent operation method (air stop for 45 minutes at 15 minutes operation) of air volume 70 L/ m<sup>3</sup> / min for one week in the first fermentation board and air volume 50 L/ m<sup>3</sup> / min for three weeks on the second fermentation board. This induces high temperature fermentation at 70 to 80 °C throughout the compost over the long term without being influenced by fluctuations of the outside temperature. We produced stably safety and high quality compost that had sufficient in decomposition of dry matter, evaporation of moisture, reduction of compost, as well as sterilizing pathogen.

**Key words** : cattle manure compost, high temperature composting, utilization of fermentation heat

**Corresponding:** Yasuaki YASUDA yasuda-yasuaki@pref.shimane.lg.jp

Receipt of Ms: 21.03.2017. Accepted: 24.04.2017.

Journal of Animal Production Environment Science No16 (1) pp61-72. 2017