

密閉縦型堆肥化装置における堆肥発酵熱利活用の可能性

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
畜産研究部門 中久保 亮

はじめに

ふん尿処理に頭を悩ます畜産農家は少なくない。ふん尿処理が畜産農家の義務ではあるものの直接的メリットの少ない、経営コストとして負担すべき存在であることが、その根本的要因として考えられる。ふん尿由来の悪臭苦情は養豚経営の存続に関わる問題であり、ふん尿処理をないがしろにすることはあり得ない。しかし、適切な堆肥化を行うためには水分調整、切返し、ブローによる強制通気等、労力・経費が必要であり、これは堆肥の販売では到底賄いきれないコストである。そこで筆者らは、ふん尿処理を経営負担から経営メリットへと転換する画期的な堆肥化関連技術として、堆肥発酵熱を活用した高度堆肥化システム（スマートコンポスト）を提唱し、実用化に取り組んでいる。

密閉縦型堆肥化装置

有機物の堆肥化では、有機物 1 kg あたり灯油 550g 相当 (20MJ) の発酵熱が発生する。日本で飼養されている豚のふん排泄量 788 万 t/年 から灯油換算で 6.5 万 kL/年の熱エネルギーが未利用のまま大気中へ排出されている計算である。これは、農林業全体の消費エネルギーの約 84% (資源エネルギー庁エネルギー消費統計) に相当する膨大なエネルギー賦存量である。この発酵熱を畜産経営に活用するために、筆者らは密閉縦型堆肥化装置に着目した。

密閉縦型堆肥化装置は「コンポ」、「縦コン」といった通称で知られており、中小家畜を中心に広く全国に普及している (図 1)。密閉した装置内でふん尿を機械的に攪拌・強制通気するもので、従来の堆肥化方式と比較して発酵期間を短縮できること、縦型に設置するため省スペースであること、切返しや水分調整の手間を必要としないこと、密閉式であるため悪臭処理が比較的容易であること、といったメリットがあり、国内稼働 6000 基と日本畜産業に広く普及している堆肥化施設である。また、文字通り密閉構造であることから排気として排出される堆肥発酵熱を比較的容易に回収可能である。本講演では、密閉縦型堆肥化装置から 60~70℃ の排気として排出され



図 1 密閉縦型堆肥化装置

る発酵熱を活用した①堆肥化装置の入排気熱交換による堆肥化装置への発酵熱返送、②堆肥発酵排熱による子豚床暖房について、その概要をご紹介します。

堆肥発酵熱返送

密閉縦型堆肥化装置は他の堆肥化施設と比較して大風量による通気を行うため、堆肥化装置に入気される外気温度の影響を受けやすく、冬季には発酵状態が不安定になりやすいことが経験則として知られている。この対策として、堆肥化装置メーカーは電熱ヒーターによる入空気加温装置を用意しているが、堆肥化装置消費電力が20～50%増加するため、使用されない場合も多い。そこで、堆肥化装置の入排気熱交換により、発酵熱を乾燥温風として堆肥化装置に返送し、発酵プロセスの安定化を試みた。農研機構では、堆肥底部から空気を吸引する吸引通気式堆肥化システムにおいて、50℃相対湿度100%の排気から発酵熱(0.45MJ/(時・m³_{原料}))を回収し、45℃の温水を生産する熱交換システムを開発済みであり¹⁾、本研究はこの技術を密閉縦型堆肥化装置に応用したものである。

【実験方法】

栃木県那須塩原市に位置する搾乳牛100頭規模の農場に設置されている密閉縦型堆肥化装置(中部エコテック(株)D63型)において、実証試験を行った。直交流プレートフィン型熱交換器(セキサーマル(株))を設置して堆肥化装置の排気と入気との熱交換を行い、入気温・湿度、排気温度、入気CO₂濃度、排気CO₂濃度を測定した。CO₂濃度測定にはLGR社製温室効果ガス濃度アナライザーを使用した。

【結果と考察】

試験期間中、通気量は約7m³/min、平均入気温度2.7℃(24.8%RH)、平均排気温度は62.8℃であった。図2に発酵原料投入による排気CO₂濃度および排気温度変化を示す。試験農場では朝・夕の一日2回、堆肥原料(牛ふん尿スラリーおよび廃白土)が堆肥化装置に投入される。堆肥原料投入により、CO₂濃度および排気温度は急激に低下した。堆肥化微生物群の活性は約54℃で最大化することが知られているが、本試験においても54℃近辺を境に微生物活性の変化がみられた(図3)。

熱交換器により、入気空気は2.7℃から43.6℃に加温された。供試堆肥化装置には3kWのヒーターが装備されているが、熱交換器による発酵熱返送によりこれを上回る5kWの出力が得られた。農場へのヒアリング調査では、堆肥発酵熱返送により処理量は夏季5m³/day、冬季4m³/dayからそれぞれ6m³/day、5m³/dayに増加しており、特に冬場において発酵安定化に寄与するものと考えられる。

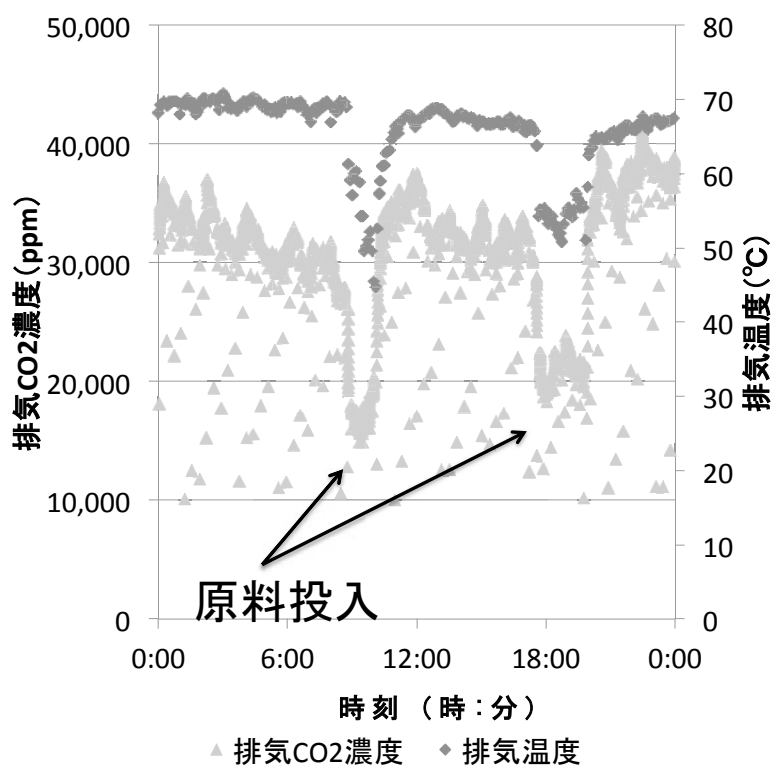


図2 発酵原料投入による CO₂ 濃度および排気温度変化

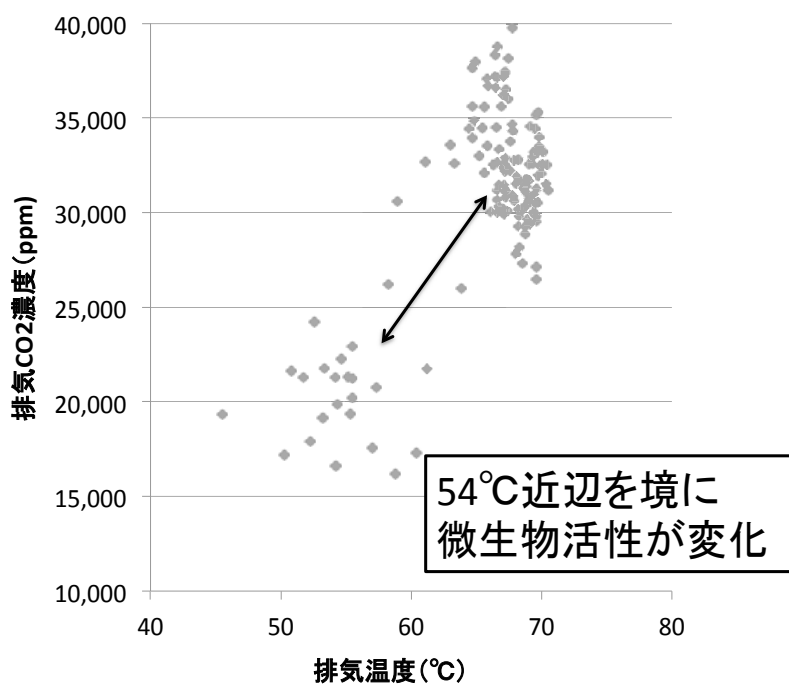


図3 排気温度と排気 CO₂ 濃度との関係

堆肥発酵熱床暖房

子豚の保温・暖房技術として近年普及が進んでいる豚舎床暖房は優れた飼養管理技術である反面、母豚 200 頭一貫経営農場に換算して年間 70 万円という暖房コストが課題となっている。そこで、密閉縦型堆肥化装置の 60～70℃の排気の熱交換で得られた温水により、灯油焚き床暖房を代替する堆肥発酵熱床暖房システムの実証試験を行った。

【実験方法】

福島県の母豚 200 頭一貫経営の養豚場に既設の密閉縦型堆肥化装置（中部エコテック（株）S36 型）を使用した。通常時と同様の堆肥化条件で試験を実施し、発酵槽容積 39m³ に対して、豚ふんおよび浄化槽汚泥をそれぞれ 3 m³/day および 1 m³/day 投入した。

直交流プレートフィン型熱交換器（セキサーマル（株）CP250）を堆肥化装置から排気脱臭槽への排気配管に設置した（図 4）。灯油焚き床暖房システムが導入されている分娩豚舎と熱交換器とを循環する温水配管（口径 32mm ポリエチレン 2 層管、総延長 320m）を地下埋設し、ラインポンプ（荏原製作所 32LPS5.75A、出力 0.75kW）により熱交換温水を循環させた。

貯湯タンクとして容積 500L の丸型バルククーラーを分娩豚舎灯油ボイラー室に隣接して設置した。タンク内に温度センサ設置し、温度調節器（オムロン（株）E5CC）およびラインポンプ回転数制御用インバータ（三菱電気（株）FR-S500）からなる PID 制御系により、タンク内温水温度を制御した。

分娩豚舎に既設の灯油ボイラー床暖房システムに上述の貯湯タンクを接続し、堆肥化装置排気熱交換により得られた温水を熱媒として床暖房に供試した。分娩豚舎内には 400mm×600mm の床暖房パネルが合計 144 枚設置されており、暖房能力はカタログ値で 62MJ/hour であった。床暖房システムは通常冬季のみの稼働であり、温水温度 41℃を目標値として灯油ボイラーによる連続加温が行われていたが、本実証試験は夏季に実施したため、農場主の意向により貯湯タンク温水温度 39℃を目標値とした。堆肥化装置排気熱交換による加温のみで床暖房システムを稼働させ、灯油ボイラーによる加温は行わなかった。

2016 年 7 月 9 日から実証試験を開始した。外気温、熱交換前排気温度、熱交換後排気温度、熱交換前温水温度、熱交換後温水温度、貯湯タンク流入温水温度および貯湯タンク内温水温度を測定し、堆肥発酵熱床暖房システムの稼働状況を評価した。

【結果と考察】

図 5 に試験期間中の外気温、熱交換前排気温度、熱交換後排気温度、熱交換前温水温度、熱交換後温水温度、貯湯タンク流入温水温度および貯湯タンク内温水温度の温度推移を示す。

貯湯タンク温水温度は堆肥化装置の排気温度変化に影響されることなく 39℃を維持しており、貯湯タンク温水温度を目標値とする熱交換用ポンプ回転数の PID 制御により、発酵熱床暖房の安定稼働が可能であることが示された。

熱交換前排気温度、熱交換後排気温度、熱交換後温水温度には発酵原料の投入に伴う急激な温度低下がみられた。冬季においては、外気温度の低下に伴い排気温度が低下し、かつ熱交換器と分娩豚舎床暖房とを繋ぐ総延長 320m の温水配管からの熱損失が増大する。このため、冬季の発酵原料投入時には一時的に灯油ボイラーによる補助加温が必要だと考えられた。

平均出力 60.6kW の排気発酵熱から床暖房出力 5.1kW を取得した (図 6)。これは灯油消費量 12L/day、灯油コスト 3 万円/月に相当する。また、熱交換用ポンプ消費電力は平均 0.19kW (電気料金換算で 2200 円/月) であった。

今後は冬季実証試験を実施し、実証データを蓄積する予定である。



図 4 熱交換器

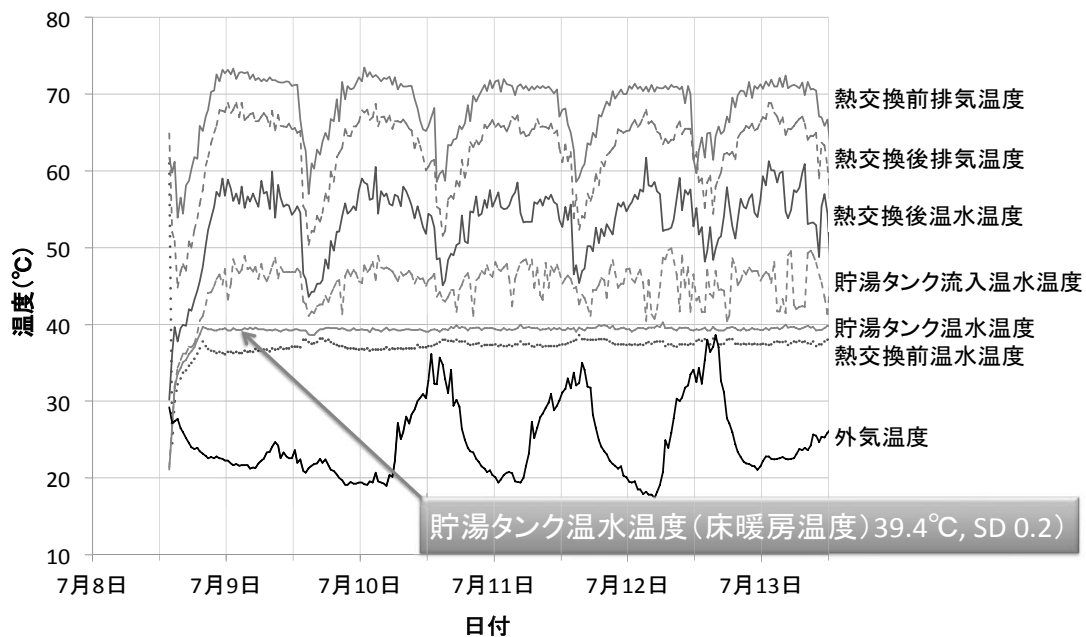


図 5 貯湯タンク温水温度 (床暖房温度) 他の経時変化

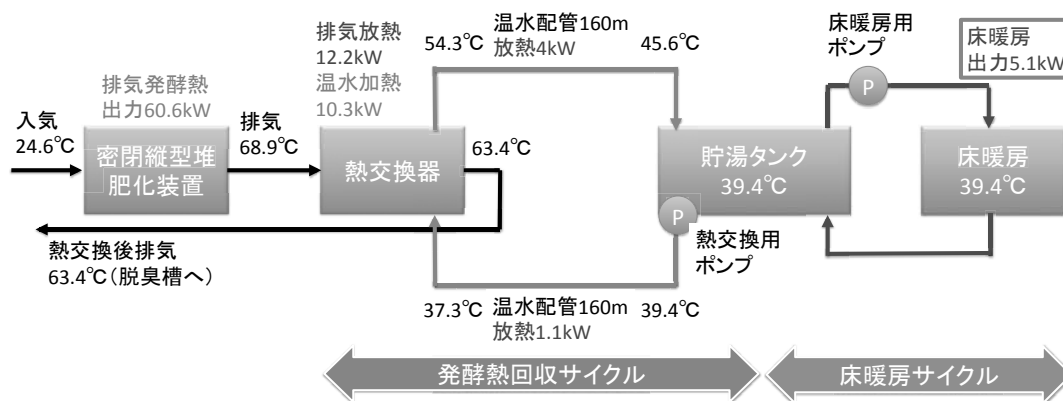


図6 発酵熱床暖房のシステム概要および平均出力

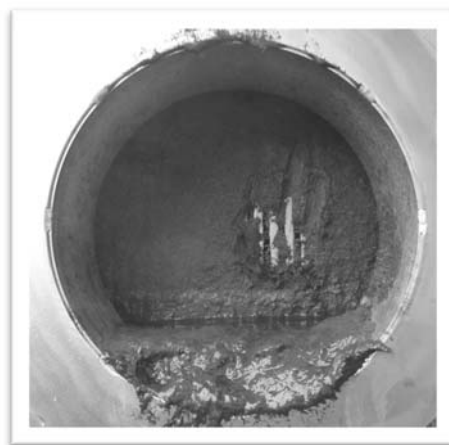


図7 堆肥粉塵による熱交換器の閉塞

今後の展開

密閉縦型堆肥化装置は吸引通気式堆肥化と比較して熱交換で得られる熱量が大きく、発酵熱利用に適したふん尿処理方式といえる。しかし、長期稼働では排気中に含まれる堆肥粉塵により熱交換器が閉塞する(図7)、温水配管内へのバイオフィーム形成等のトラブルが発生することもあり、継続的な実証研究によるノウハウ蓄積が普及の鍵である。

謝辞

堆肥発酵熱床暖房についての研究は、農林水産省「農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業」による助成により実施されました(課題番号 28025C「畜産経営基盤強化に資する高度堆肥化システム(スマートコンポスト)の実証」)。心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 小島陽一郎、阿部佳之. 2011. 吸引通気式堆肥化处理による発酵熱の回収と利用-異なる副資材の混合が熱の回収量および利用量に与える影響. 農業施設農業施設 42(2), 51-58.

本資料より転載・複製する場合は国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構の許可を得てください。

畜産研究部門 平 28-4 資料

平成 28 年度家畜ふん尿処理利用研究会資料

編集・発行 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 畜産研究部門
企画管理部

Tel.029-838-8290、 Fax.029-838-8606

〒305-0901 茨城県つくば市池の台 2

発行日 平成 28 年 11 月 10 日

印刷所