

吸引通気式堆肥化処理方式等による 家畜排せつ物資源化システムの開発

吸引通気式堆肥化システム研究開発グループ
(代表：本田 善文)

1. 技術開発の背景と目的

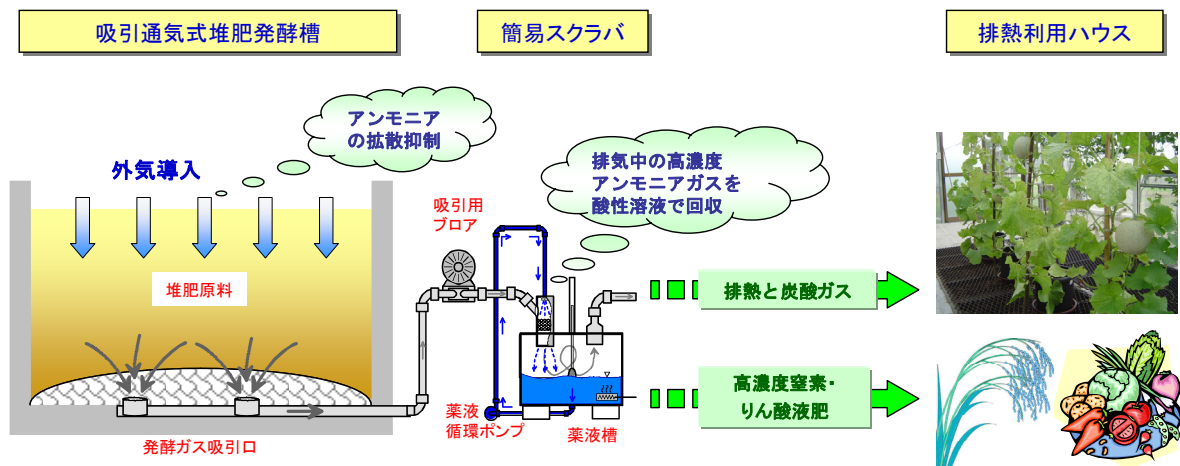
家畜排せつ物の野積み・素堀貯蔵を禁止する家畜排せつ物法が平成16年11月から本格施行されて堆肥化施設が全国に整備された。しかし、製造された堆肥の流通促進および処理過程での臭気対策が課題として残されている。特に、悪臭に関係する苦情件数は、畜産に対する苦情全体の57.4%を占めて最も多く、堆肥化過程において従来よりも悪臭発生を低減し、さらに良質な堆肥を低コストで生産する新たなシステムの開発が強く要望されている。

一方、わが国で発生する生物系廃棄物は年間約3億tで、そのうちの約3割が畜産から発生しており、生ゴミ7%、食品廃棄物6%、農産廃棄物5%に比べても格段に多い。家畜排せつ物は高水分で取り扱いにくいものの、C/N比の高い他の生物系廃棄物と比べて発酵しやすく、窒素、リン酸、カリウム等を豊富に含むことから、優良な肥料資源と考えられ、現状でも9割以上が堆肥化されている。しかし、堆肥の発酵過程で大量に発生するアンモニアガスが大気中に放出され、悪臭が問題となっており、堆肥中の塩類が増大してNPKバランスの悪い肥料資材（典型的なものが高塩類堆肥）となる問題が残されている。

そこで、畜産草地研究所をはじめ、東北農業研究センター、千葉、埼玉、栃木、富山各県の畜産関係研究機関、ならびに民間企業で共同して、堆肥発酵槽の底面から発酵ガスを吸引して表面からのアンモニア揮散を抑制し、さらに、吸引したガス中のアンモニアを液体肥料として回収する吸引通気方式（図1）の実用化に取り組んできた。具体的には、吸引通気の隘路となっていた、①通気口の目詰まり及び配管内へのれき汁の浸入を防止する配管構造を考案し、②発酵排気を吸引するブローの耐蝕性向上を図り、③高濃度のアンモニアガスを酸性溶液で効率的に回収する簡易なスクラバを新規に開発し、④旧草地試験場が開発したクレーン式の切り返し装置と組み合わせることで長期間安定的に稼働する基本

システムの構築を進め、さらに、スクラバで脱臭することのできないアンモニア以外の臭気成分をスクラバ後段に設置した脱臭槽（モミガラやオガコ、林地残材、堆肥等の未利用バイオマス資材を充填したもの）で吸着する技術について、畜産関係研究機関と連携しながら研究を進めた。これに加えて、脱臭後の発酵排気をバイオフィルタを介してハウスに直接導入することで、廃熱と炭酸ガスを施設園芸に活用する技術についても民間企業と検討を進める等、堆肥化における悪臭対策や肥料資源の回収のみならず、エネルギーの効率的利用にまで発展している。

図 1. 吸引通気式堆肥化システムの概略



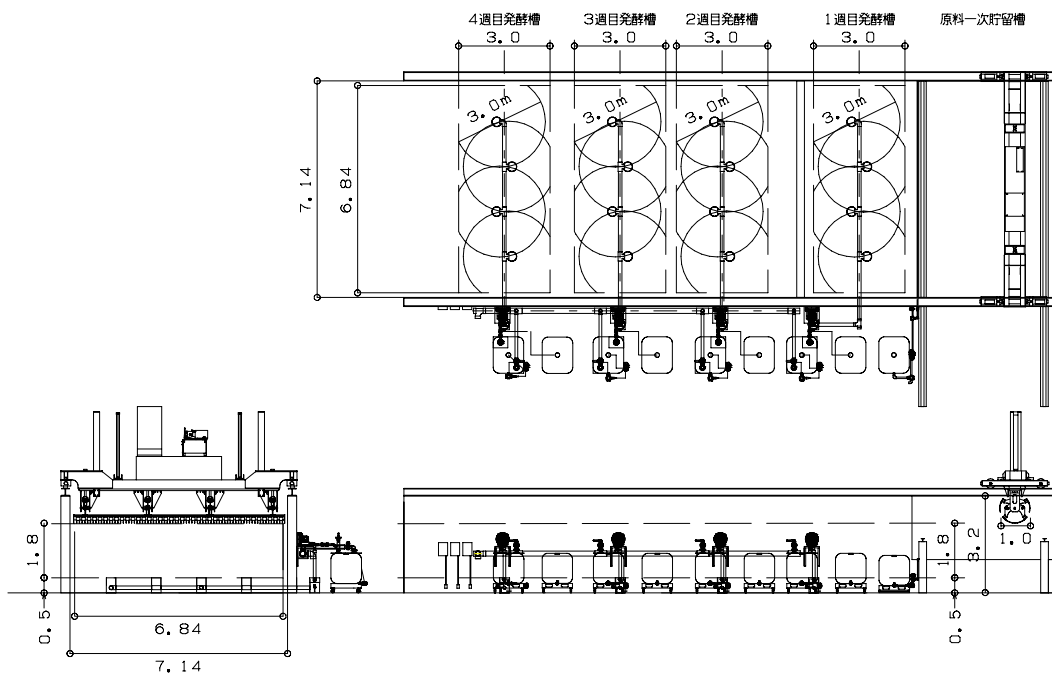
2 技術開発の概要

(1) 実証プラントの概要

畜産草地研究所（那須）の実証プラントについて概要を紹介する。

1) 施設概要

当該施設は、60 頭規模のフリーストール牛舎に対応した堆肥化施設であり、 34 m^3 ($7\text{m} \times 3\text{m} \times$ 堆積高 1.6m) の発酵槽が 4 連の構造である（図 2）。リニア・クレーン式繰り返し装置を備えており（写真 1）、1 週間に 1 回、隣の槽へ全量搬送しながら繰り返しを行い、4 週間で 1 次発酵を終了している。



(上段：発酵槽平面図、下段左：発酵槽正面図、下段右：発酵槽側面図)
 図2. 畜産草地研究所（那須）に設置した実証プラント概略



写真1. リニア・クレーン式堆肥切り返し装置

2) 通気装置

吸引通気方式が長期間安定して機能するために最も重要な改良部分である。過去の吸引通気では、木材チップやモミガラ等で覆ったコルゲート管や多孔管を発酵槽底面に埋設していたため、れき汁が配管内に流入し、また、細かいゴミが集まって目詰まりの原因となっていた。

そこで、当該プラントでは、通気口を直径 30cm 程度の大口径として、耐食仕様の亀甲網や木質チップ等で覆って（写真 2）、通気口の目詰まりを防止した。さらに、通気口が発酵槽底面よりも 40cm 程度高い位置になるようにして、れき汁の流入による吸引口の閉塞を防止している。なお、通気口を 1~2m 間隔に設置しているため、原料全体に均一に通気出来ないが、1 週間ごとにリニア・クレーン式切り返し装置で天地返しされるので、4 週間の発酵期間でほぼ均一に一次発酵が完了する。この通気口の特徴を考慮すると、比較的短いインターバルで均一に切り返し作業することが肝要である。また、年に数回は通気口をメンテナンスする必要があるが、堆積している原料を全量撤去しないと通気口を掃除できないので、リニア・クレーン式切り返し装置との組み合わせが最適と考えている。



写真 2. 吸引通気方式用の通気口

通気装置で次に重要な改良点は、送風機の腐食対策である。吸引通気方式の場合、高温高湿で腐食性の高い発酵排気をそのまま搬送するため、結露水や腐食対策が必須である。送風機は、ターボファン、渦流送風機（リングブロワ）のどちらでも吸引が可能であるが、特に軸受は耐熱（最大 70℃）・耐腐食仕様で、送風機本体とモータ室が分離された構造を採用しなければならない。当初は渦流送風機を V ベルト駆動にする改良を行って耐食性の向上を図ったが（写真 3）、ステンレス製で羽根室とモータ室が分離された市販のターボファンでも吸引通気方式に対応できることを確認したため、現在は実証施設の一部で採用している（写真 4）。



写真3. 吸引通気用に改良した渦流送風機

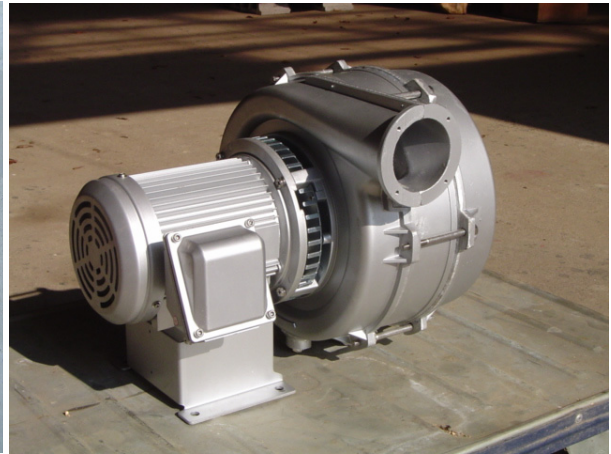


写真4. 吸引通気用に選定したステンレス羽根のターボファン

3) アンモニア回収装置

堆肥底面から吸引された発酵排気中には数千～数万 ppm の高濃度のアンモニアガスが含まれており、薬液洗浄方式でなければ処理・回収は困難である。薬液洗浄方式によりアンモニアを回収する原理は、アルカリ性のアンモニアガスと酸性の薬液（リン酸や希硫酸溶液）を接触させて、化学反応によりリン酸アンモニウムや硫酸アンモニウムの安定した液肥として回収する方法である。市販の工業用スクラバを活用する方法もあるが、畜産農家への導入を考えると、なるべく簡易な構造で低廉な装置にする必要がある。そこで、市販の樹脂容器や塩ビ製の配管材料、薬液ポンプ、ヒータ、断熱材等を組み合わせた簡易スクラバを開発した（図3、写真5）。その仕組みは、薬液槽の溶液を循環ポンプで吸い上げ、気液反応筒の滞留層にシャワーリングして、排気中のアンモニアと反応させる。なお、排気中の水蒸気が薬液槽内で結露すると薬液が増えて希釈され、アンモニア除去能力が低下するので、液面センサで検知して、ヒータで薬液を適宜加温・蒸発させる機能を装備している。この装置は畜産草地研究所の職員が自作したものであるが、回収効率は99.9%と高く、数千 ppm のアンモニアガスを瞬時に回収して、排気からは数 ppm 程度しか検出されないレベルまで低減される。

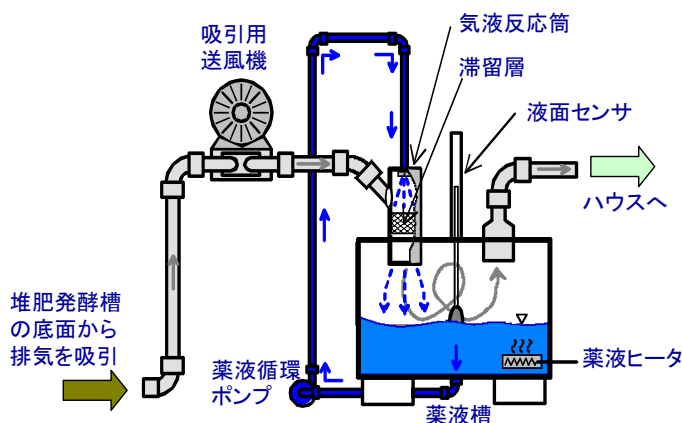


図3. 簡易スクラバ（アンモニア回収装置）の概略



写真5. 実証プラントに設置した試作スクラバ

4) 廃熱利用ハウス

試験用ハウスの容積は約 170 m³で、136 m³ (34 m³×4 槽) の堆肥発酵槽からアンモニア回収装置を経て排出される排気を、直接、ハウスへ導入している (写真6)。なお、わずかに臭気が残るため、ハウスの床面に設置したバイオフィルタ (深さ1m、堆肥を50cm程度充填) を通過させている。開発に着手したばかりであり厳密な熱収支は算出していないが、外気温が氷点下になる厳冬期の夜明け前で、ハウス内の温度が外気温より5~8℃高く維持される。また、炭酸ガス濃度は、堆肥切り返し直後の発酵が盛んな時は、床面付近で2,000~4,000ppmと高濃度になることがあり、作付けする作物によってハウスの容積を拡大するあるいは外気で混合希釈する等の対応を要すると推察される。なお、同ハウス内で冬期はイチゴ、夏期はメロンの栽培を2年間続けているが、相応の草勢と着果を維持でき、また、果実の糖度も市中で販売されているものと遜色なかった。発酵容積とハウスの容積との関係や排気の導入方法等、最適仕様については、現在、検討中である。



写真6. 堆肥発酵槽(左)、簡易スクラバ(中央)および廃熱利用ハウス(右)

(2) 吸引通気式堆肥化システムの利点

本技術を導入する利点は、第1に悪臭低減効果があげられ、前述の施設において、堆肥表面からのアンモニアガス濃度が従来の圧送通気方式と比較して1/10～1/100に低減される実績を得ている(図4)。第2に、純度の高いリン酸アンモニウムあるいは硫酸アンモニウムの液肥が得られる点で、堆肥に掛け戻すことで従来法では堆肥から揮散した窒素成分を補完できる。また、養液栽培や水田追肥への活用も可能である。第3に、発酵廃熱を利用できる点で、原料ふん1tから灯油約240分の熱量(理論値)が得られると試算される。第4に、施設園芸において、炭酸ガスの施用による品質向上や収量増大等の効果も期待でき、炭酸ガスの削減が期待される。なお、堆肥の発酵品質は従来法と同様であり、特別な脱臭装置を別途設置しなくてもほとんど臭気を発生しない堆肥化システムが構築され、環境負荷低減型の堆肥化システム構築に資する。

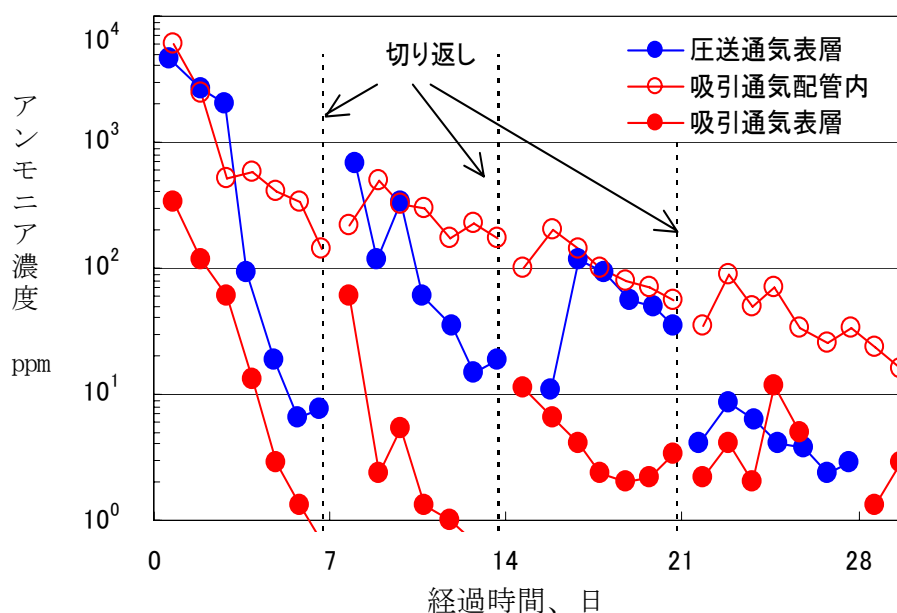


図4. 圧送通気方式と吸引通気方式による堆肥表面のアンモニア濃度比較

3 技術開発の普及

吸引通気式堆肥化システムは、平成19年度に市販化され、現在まで国内外3ヵ所(北海道、栃木県、中国・山東省)での導入が検討されている。また、一連の成果を研究成果情報(技術・普及)で発表し、県等が主催する講演等にも積極的に対応して開発した技術の普及に努め、畜産農家をはじめ、普及員、行政担当者から多くの期待と賛辞が贈られた。そのほか、『畜産技術』、『畜産コンサルタント』、『養鶏の友』、『食料と安全』などの協会誌、雑誌や業界紙等でも多数紹介された。また、NHK「おはようニッポン」で放映され、さらに、中国の農業新聞でも全国版の1面に取り上げられ注目を集めている。

4 開発技術の学術的評価

吸引通気式堆肥化システムは過去にも技術的検討が進められていたが、通気口の目詰まり、ブローの耐蝕性、高濃度アンモニアガスの処理方法等について解決策が確立されていなかったため、継続的な運用は出来なかった背景がある。今回、畜産草地研究所（那須）の実規模パイロットプラントを舞台として、これらの技術要素のブラッシュアップを図り、約2年間継続的に稼働した事例は世界的にも初めてであり、日本発の畜産技術として世界へ発信できる数少ない技術であるといえる。なお、吸引通気式堆肥化システムに関する特許は、畜産草地研究所、東北農業研究センターおよび民間企業2社の共同出願を行っている（特願 2006-094900）。また、学会誌等へは、農業施設学会誌へ4編発表し、多くの研究者から注目され高い評価を受け、研究者の一部は「吸引通気式堆肥化処理技術の開発」の業績により平成18年度農業施設学会論文賞を受賞している。さらに、研究者の1人が本技術を中心にして博士論文を取りまとめて提出しているところである。このように、本研究開発グループの研究成果及び開発技術は環境負荷低減型畜産の一翼を担う技術として高く評価されている。

5 開発技術の産業への貢献

吸引通気式堆肥化システムは、環境に配慮したいと願う畜産農家等から高い評価を受けている。導入のメリットは、堆肥の好気発酵が促進される一方で悪臭拡散を防止でき、堆肥の窒素成分を調整可能となり、さらには、クレーン式切り返し装置との組み合わせで作業が全自動化される等である。加えて、廃熱利用ハウスを設置することで、第一線を退いた経営者および奥さんが花木やイチゴ等を快適な環境で低コスト生産できる等の期待を受けている。一方、新たな施設・機械導入による初期投資が大きくなるとの意見もあるが、液肥の回収・利用と廃熱・炭酸ガス利用を長期間継続することで、施設のランニングコスト低減と新たな作物生産によって収益向上を狙うことで、イニシャルコストの回収の可能性がある。

6 今後の展望

本技術は、吸引通気の安定的・継続的稼働に腐心した世界にも例を見ない技術であり、家畜排せつ物の資源化を促進するキーテクノロジーの1つと考えられる。堆肥化施設の悪臭低減に十分な効果を発揮する点が確認されたので、今後、①回収したアンモニアの用途拡大、②廃熱量の増大や炭酸ガスの効率的利用等、施設園芸での利用技術の確立と廃熱の用途拡大、③堆肥化過程における地球温暖化ガスの発生低減効果の調査、④イニシャルコストおよびランニングコストの低減、⑤ホイールローダによる切り返しを行っている堆肥舎

や他の攪拌装置への対応、等を進めて、国内のみならず海外でも広く普及するように、技術のさらなるブラッシュアップを図っていきたい。

吸引通気式堆肥化システム研究開発グループ

担当者一覧

総括代表：本田善文

1) 畜産草地研究所

本田善文、阿部佳之、宮竹史仁、朴宗洙※、伊吹俊彦、加茂幹男、梅田直円※

2) 東北農業研究センター

伊藤信雄、福重直輝

3) 千葉県畜産総合研究センター

杉本清美

4) 埼玉県農林総合研究センター

崎尾さやか

5) 栃木県畜産試験場

脇阪浩、岡本優、星一美

6) 富山県農業技術センター畜産試験場

丸山富美子、開澤浩義、齋藤健朗

7) 富士平工業株式会社

中野貞雄

8) 有限会社岡本製作所

岡本富夫、大野義廣

※は旧所属。