

堆肥パイルからの余剰熱除去回収及び 生物生産環境調節への回収熱利用システム

A System to Get Heat with Removal of Abundant Heat from Composting Piles To Utilize it to Control Environment for Biological Production

○原 道宏*, 伊林侑香, 坂下 慎吾, 羽野 誠一郎

○Michihiro Hara*, Yuka Ibayashi, Singo Sakashita, Seiichiro Hano

岩手大学
Iwate University,

キーワード: 堆肥パイル (composting piles), 余剰熱の除去 (removal of abundant heat),
生物環境調節 (environment control in biology), 生物生産 (biological production)

連絡先: 〒020-8550 盛岡市上田 3-18-8 岩手大学農学部農林環境科学科リサイクル生物生産工学講座
環境制御工学研究室 原 道宏, TEL&FAX: (019)621-6125, E-mail: mrhara@iwate-u.ac.jp

1. はじめに

日本の畜産業で排出されるふん尿廃棄物は数千万 t/year Japan)に上り、その適正な処理が法律により規定されている。ふん尿の汚物感を無くし有効利用する方法が堆肥化である。堆肥化により易分解成分が分解して汚物感が無くなり、かつ田畑への有効な施用が可能になる。堆肥化は化学的には酸化反応であり、多量の熱が発生する。しかし、堆肥は熱伝導率が低いので、特別の手段を講じない限り堆肥パイルからの熱放散効率が悪く、堆肥化の最適温度 (45°C ~ 65°C程度) の範囲を超えて過熱しやすい。過熱して超高温 (70°C以上) になると堆肥化の効率が下がってしまうばかりか、製品は堆肥ではなく、単なる乾燥ふんになってしまう。乾燥ふんは易分解成分を多量に含むので田畑に施用したときに多量の酸素を消費し、植物を窒息死させてしまうので極

めて好ましくないと考えられる。

そこで、堆肥化の際に生成される熱を適切に除去すれば、堆肥が過熱して超高温になることが防止され、堆肥化を最適に進行させることができると考えられる。もちろん、熱除去において堆肥化の最適温度を逸脱して超低温 (40°C以下) になるまで熱除去してしまうと堆肥化の速度が激減し、堆肥パイル温度はさらに低下してしまい、ついには堆肥化が停止し、再起不能になってしまうので、決して過剰な熱除去をしてはならない。このような注意をしつつ堆肥から過剰熱を除去することができれば最高の堆肥化速度を得つつ、適量の余剰熱を回収することができる。この余剰熱を生物生育施設の加温に用いることにより冬期にも生物生産をおこなうことが可能となり、一挙両得である。

本研究では、通気堆肥パイルにおける昇

温の実際、通気堆肥パイル内に埋設したパイプに水を循環することによる過剰熱の除去、回収熱利用による生物生産環境調節について調査したので、その結果を概観する。

2. 材料および方法

調査は岩手県滝沢村の肥育牛飼育場における通気堆肥パイルにおいておこなった。堆肥パイルのサイズは、平均平面サイズ約10m×10m、平均高さ約2m、総体積約200m³であった。堆肥パイルを置くコンクリート床には溝が切ってあって、5cmφの有孔塩ビパイプ7本が埋設され、ブロワにより堆肥パイルに常時送気された。送気パイプ内の気流速を熱線風速計で測定して計算した送気流量は約9cm³/(cm²床面)であった。注目されたのは、吸気した外気の温度がたとえばマイナス5℃のときにブロワから排出された送風空気の温度はプラス5～10℃と測定され、ブロワにおける断熱圧縮の効果とみられる10～15℃の気温上昇が観測されたことであった。すなわち、外気温が氷点下の冬期であっても、堆肥に供給される送気の温度は必ずしも氷点下ではない。

堆肥パイルの温度を、10cm間隔に熱電対(Tタイプ=銅・コンスタンタン熱電対)を埋設した4cmφ木製温度測定棒を堆肥パイル中央部に鉛直に挿入し、データロガー(CR-10, Campbell Scientific Co. LTD.)により、1分ごとに測定し10分平均値を記録した。

堆肥からの発熱量は、通気のある多孔体における熱伝導方程式を逆解析することにより求めた。この解析に必要な堆肥の比熱および熱伝導率は、現場から堆肥試料を採取して研究室に持ち帰り、それぞれ、ジュワー瓶法および線熱源による非定常加熱法

により測定した。

堆肥からの熱除去は外径25mmφ×長さ1.8mLのステンレスパイプ4本(熱交換パイプ)を直列に接続し、内部に不凍液100Lを通し(図3)、断熱材で包囲された水槽(90Lプラスチック容器)内に設置した定格100Wの水中ポンプをスライダックで降圧し50～60Wで運転して行った。これにより得られた水温は約50℃であった。

熱利用による生物生産は、容積200Lの直方体状プラスチック容器(本来はモミの塩水選に用いる容器)の底部と内面に断熱の目的で籾殻(モミガラ)を入れ、上記温水を内部に循環する塩ビ管を設置し、その上に培養土約60Lを入れ、ハツカダイコンとルッコラの種子を播種することにより行った。発芽は順調であったが、実験現場が一日中日陰であったため、植物の緑化段階では植物育成用蛍光灯(20W×2灯)を照射した。

3. 結果

(1) 通気堆肥パイルの温度上昇

2004年1月における熱除去しない状態での堆肥パイル温度測定の結果、堆肥化の初期において床面からの高さ90cm付近に最高昇温を示す部位があり、他部位はそれに引きずられるようなかたちで昇温した。送気1日後には堆肥パイル上部全体が80℃にまで昇温し(図1(A)、(B))、以後3週間それが継続した。この間、発熱は堆肥パイルの下部50cmでのみ起こり、上部150cmでは下部からの送気温度80℃により体温80℃を維持するのみで自らは発熱していなかった。このことから、堆肥パイル総高200cmのうち、下部50cmでのみ堆肥化が進行し、上部150cmでは体温80℃

による成分の揮発と水分蒸発が進行していたのであり堆肥化は新していなかったと推定される。高さ 90cm 部位における堆肥発熱強度の温度依存性を計算した結果を図 2 に示した

(2) 熱除去と熱回収

熱交換パイプははじめ、高温が確実に得られる最適位置と考えられる床面からの高さ 115cm に設置した (図 3) が、その後の牛糞積み上げ等により 40cm も埋設高さが低下し、最終的には床面からの高さ 75cm 程度になった。それでも、この高さは堆肥化進行位置 (床面からの高さ 0~50cm) の上にあり、熱交換パイプとしての埋設意義は失われなかったと推定される (図 4)。結果として水温 50℃の温水が得られた。

(3) 熱利用

この温熱利用による生物生育は、断熱側底面に守られた園芸用土をトレンチ (窪地) 状にした箇所に野菜 (ハツカダイコン、ルッコラ=ロケット) の種子を播種し、暗黒温熱条件のもと、結果を見守った (図 5~11)。まもなく発芽が確認されたので、暗

黒条件を光照射条件に変え、苗の緑化をはかり、それに成功した (図 12~13)。今回の生物生育は、結局、野菜のsprout生産に終わったが、その先には成体への進展が見込まれる。

4. 考察と結論

気温がマイナス 10℃以下にまで低下する岩手の冬においても通気は堆肥化に有効である。熱回収は水を熱媒体とする熱交換パイプを堆肥化位置 (床面からの高さ 0~50cm) より上部 (通気の下流) に設置することにより可能である。熱媒体である水の温度は堆肥化の最適温度 (45℃~65℃程度) の範囲内にすべきである。

得られた温水を断熱のすぐれた装置内で放熱することにより降雪のある岩手の厳寒期においても野菜の発芽およびsprout (幼芽) の生育が可能である

謝辞 実験調査に協力いただいた全国開拓者農業協同連合会 (全開連) 組合岩手支部の関係各位に感謝します。

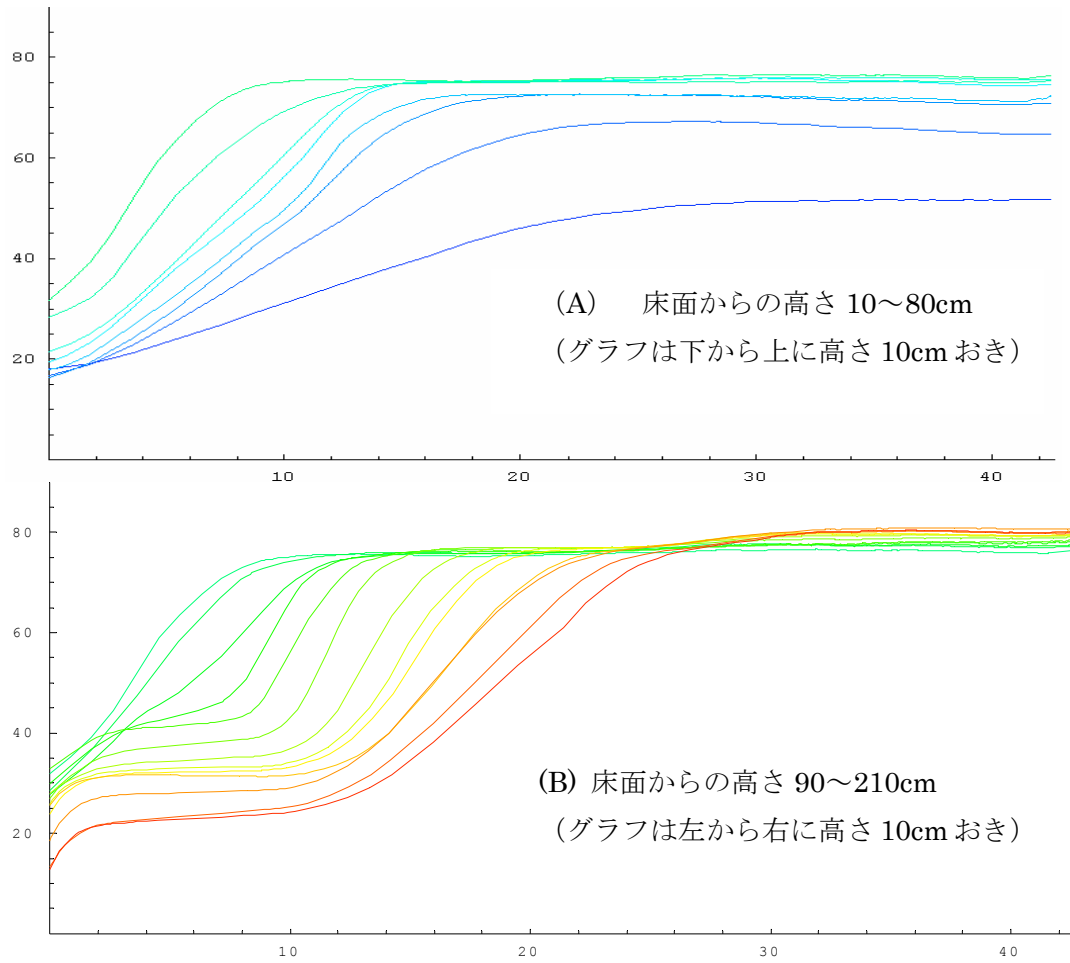


図 1 堆肥パイルの温度経過
横軸：時間（送気開始時か 42 時間まで）、 縦軸：温度（0~85℃）

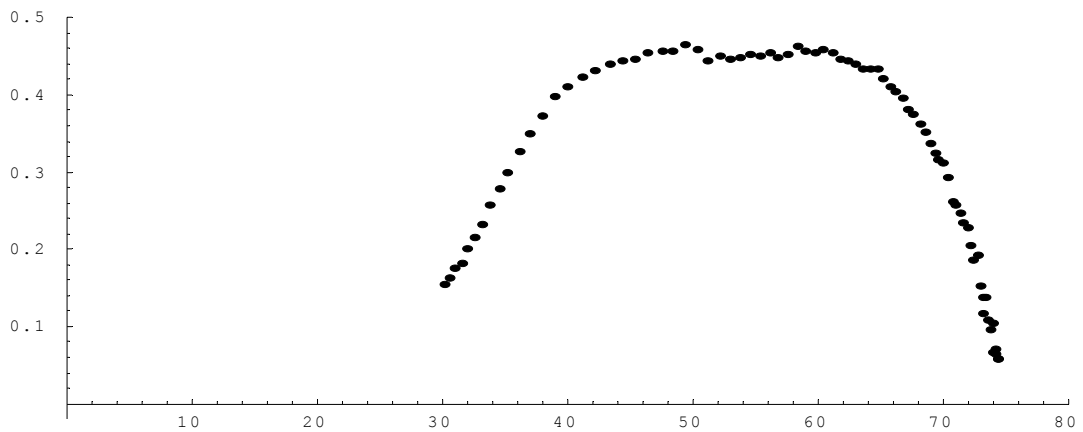


図 2 堆肥パイル発熱強度の温度依存性
横軸： 堆肥温度（0~80℃）、 縦軸： 発熱強度（0~0.5J/(min mL)）



図3 堆肥パイル内に埋設した熱交換パイプ

25mmφ×1.8mLのステンレスパイプ4本をビニールチューブで直列接続し、内部に不凍液を循環した。設置高さは、当初115cmであったが、まもなく75cm高さまで沈下した。

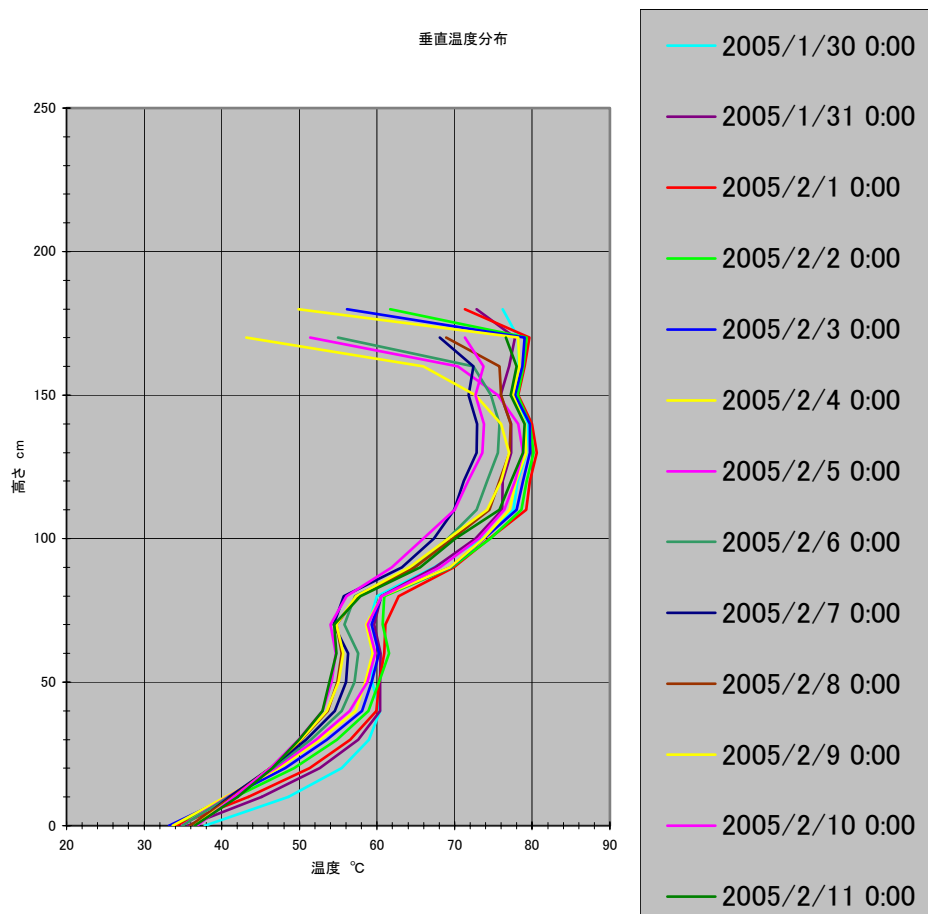


図4 余剰熱除去による堆肥パイル温度の最適化

余剰熱除去により高さ70cm域が最適温度範囲(45~65°C)に保たれている。

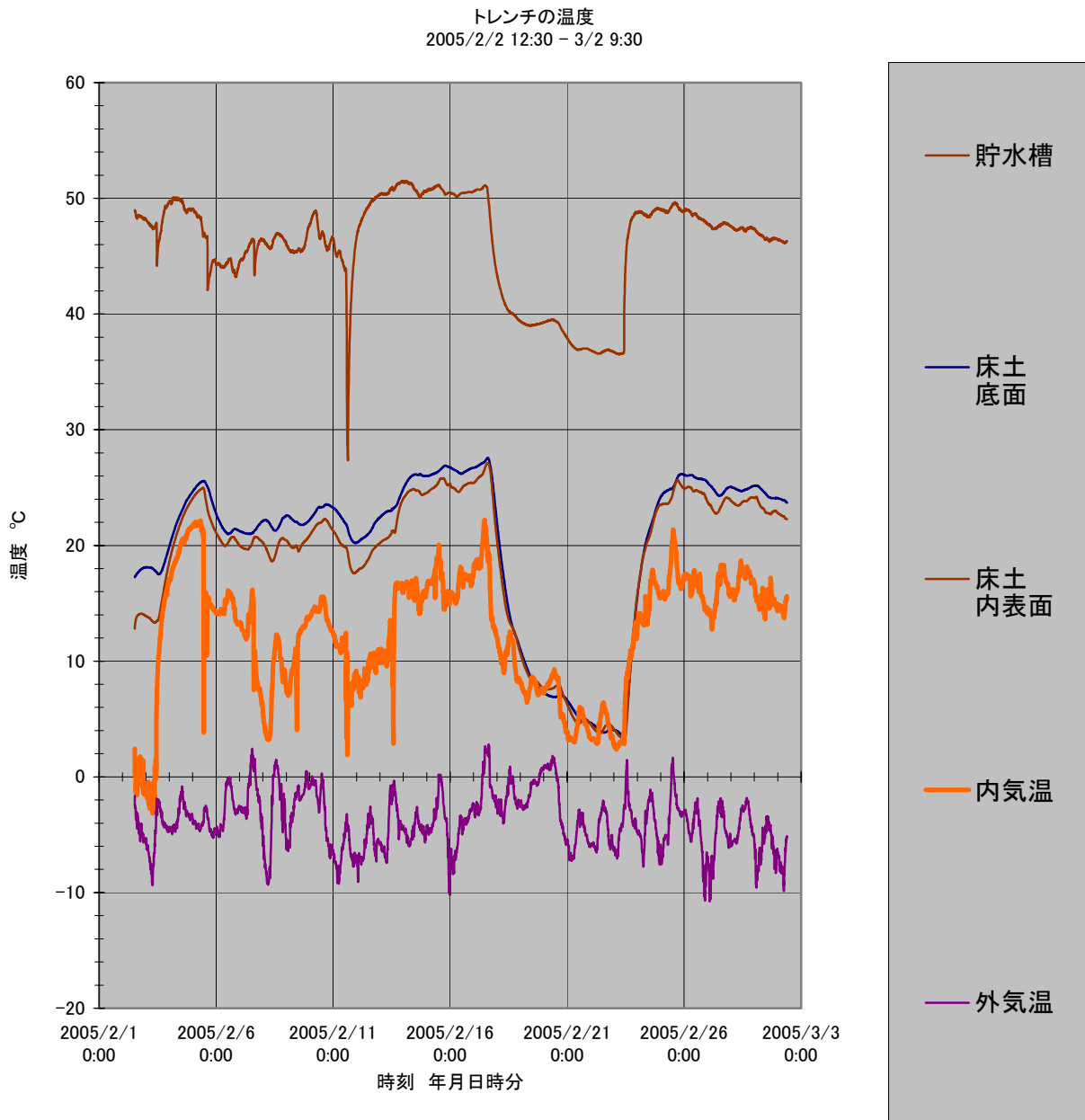


図5 回収した余剰熱における循環水の温度と植物栽培培地と気温の変化

循環水の温度は約 50°C で推移し、栽培室気温も 10~20°C で推移したが、2月18日から23日までの停電期間においては指数関数的に温度が降下したが、最低でもプラス 4°C に保たれ、凍害はまぬかれた。通電後は速やかに昇温し、栽培室温は 15°C を中心に推移した。外気温は全期間を通じて 0°C ないしマイナス 10°C であった。



図6 堆肥パイルにおける鉛直温度分布の測定状況



図7 堆肥からの熱回収の状況



図8 回収熱を植物栽培装置に導く状況



図9 堆肥からの回収熱を利用した植物栽培装置の核心部



図 1 0 堆肥からの回収熱を利用した植物栽培装置の全容



図 1 1 堆肥からの回収熱を利用した植物栽培装置の全容



図 1 2 堆肥からの回収熱を利用した植物栽培装置における植物育成ランプによる照明



図 1 3 堆肥からの回収熱を利用した植物栽培装置における生育状況