

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 3 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23380149

研究課題名(和文)竹チップ発酵熱抽出・利用システムの実用化手法の開発

研究課題名(英文)Development of a practical system of extraction and use of the heat generated in bamboo chip composting

研究代表者

関 平和(seki, hirakazu)

金沢大学・環境デザイン学系・教授

研究者番号：90115246

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 7,000,000円、(間接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：未利用資源の一つである竹チップの発酵過程における発生熱に着目し、伝熱理論と実験に基づいて、その熱の抽出・利用システムの適用可能性を検討した。まず、竹チップ層の発酵安定状態の発熱速度を求めた。次いで、竹チップ層内に埋設した配管への通循環通水による熱抽出の伝熱計算式を導いた。そして、抽出熱の蓄熱水槽、熱利用槽への熱供給を含めた総合システムを想定した小型システムによる伝熱実験により、伝熱計算モデルの妥当性を確かめた。さらに、実用的規模の竹チップ層を用いた発酵・蓄積・熱利用システムの実験を実施し、システムモデルの妥当性を確認した。

研究成果の概要(英文)：Focusing on the heat generated in composting bamboo chips, one of the unused biomass energy sources, we studied the possibility of a system applying the heat extracted. Firstly, we obtained the heat generation rate at the steady-state. Secondly, we derived heat transfer equation for heat extraction by the water pipe arranged in the bamboo chip pile. Then, we certified the validity of the heat transfer model by the experiment of small-scale total system of accumulation and utilization of the generated heat. Moreover, through the experiments for practical-scale system, we clarified the availability of the system model.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業環境工学

キーワード：自然エネルギー利用 竹チップ 発酵熱 熱伝導解析

1. 研究開始当初の背景

(1) 研究の学術的背景 (林地の荒廃と管理の必要性): 「里山」の森林管理にあたり、成長速度の著しい竹の定期的な伐採・処理は不可欠である。伐採竹材は莫大な資源である。竹に蓄積された太陽エネルギーを効果的に利用できれば、省エネルギーにつながり、カーボンニュートラルの観点からも地球環境保全への貢献が明らかだからである。本研究は、堆肥化とカプトムシの生育を目的に、近年、一部篤農家により製造されている竹チップに着目し、その堆肥化時の発酵熱の抽出・利用に焦点を絞る。

(2) 研究の学術的背景 (未利用資源の活用推進に対する期待): 堆肥発酵熱に関するこれまでの研究のうち、熱の抽出・利用に関する本格的な既往の研究としては、わが国では1980年代に北陸3県農業試験場が冬期積雪によるハウスの倒壊防止のため発酵熱を融雪に使おうとの目的で実施した研究がある。筆者は共同研究者としてその研究に参加し、その後、さらに詳細な伝熱計算を行って得た成果に基づいて学位論文としてまとめた実績を持つ。海外では、同時期にEC諸国の研究者グループが実施した研究報告があるだけである。

2. 研究の目的

(1) 具体的目的: 竹チップ堆積層のような低温かつ強度の小さい熱源からの熱回収はこれまで、実用技術にはなりえなかったが、遠隔地への輸送は無理でも、竹林周辺で営まれる農林水産業への熱利用は、高温条件を必要としないため可能であるとの観点から、地域密着型利用により、地域活性化への貢献が期待できる。この観点から、竹チップ発酵熱利用システムを実用技術として機能させるために、以下の項目を明らかにすることを目的とした。

材料の分解・発熱特性を明確にする。

熱源としての的的確性確保の方法を確立す

る。

最適な熱抽出技術を確立する。

最適な蓄熱方法を検討する。

利用施設を具体的に提案し、その熱的要求特性を定量的に把握する。

制御システムを組み込んだ総合システムを設計・開発する。

(2) 学術的な特色・独創的な点: 本研究の実施に当たっては、反応工学、伝熱工学、プロセス工学に関する基礎的素養が必要である。熱抽出とその熱の利用システムの本格稼働に向けての手法開発に焦点を絞り、可能性の高い具体的な竹チップ発酵熱利用施設としては以下を考えている。

陸上養殖水槽の保温

温室内暖房・保温

温室内土壌加温

融雪への利用

これらはいずれも、自然エネルギーを利用した「里山」、「里海」地域における農林水産業の活性化につながるものである。

3. 研究の方法

竹チップ発酵熱の抽出・利用システムの実用化手法の確立を目指し、以下の項目の検討を順番に進めていく。

(1) 材料の分解・発熱特性の検討。

(2) 熱源としての的的確性

(3) 最適な蓄熱方法の検討

(4) 利用施設の具体的提案と、その熱的要求特性の定量的把握

(5) 制御システムを組み込んだ総合システムの設計・開発

研究全体を通じて、システムの実現を目指し、伝熱計算による定量的裏付けを確実にしながら研究を進める。

4. 研究成果

(1) 材料の発熱特性: 野外及び室内での竹チップ発酵熱実験を通じて、発熱速度の絶対値とその時間的变化、発熱継続時間等を検討した。また、発熱速度の経時的变化から竹チ

チップ堆肥化の反応機構を推定した。その結果、発熱速度の時間的変化が基質の交代と関係していることが推測された。また、安定期の発熱速度は竹チップ層の規模などによって $45 \sim 200 \text{ kJ}/(\text{m}^3\text{h})$ の範囲にばらつき、期待値は $150 \text{ kJ}/(\text{m}^3\text{h})$ 、標準偏差は $63 \text{ kJ}/(\text{m}^3\text{h})$ であった。熱抽出の必要性を考慮して、厳格に判断すると、発熱安定状態の発熱速度は $100 \text{ kJ}/(\text{m}^3\text{h})$ とみなすのが妥当と考えられた。

(2) 熱源としての的確性：熱源の安定性は、竹チップ層内温度が 50 以上に保たれることを反応熱と温度の関係から明らかにした。そこで、熱抽出時に、熱源を長期間（1年間）高温（ $50\text{--}60$ ）に維持するための条件として、発酵槽の放熱ゾーンと熱抽出ゾーンの推定と、安定な熱抽出のための熱抽出配管の間隔について理論的に検討した。その結果、熱抽出ゾーンの竹チップ層温度と発熱速度の種々の値に対して放熱ゾーンの厚さを見積もる線図と、安定な熱抽出を保證する配管間隔を求めるための線図を作成した。

(3) 熱回収技術の確立：熱伝導抵抗が通水管近傍に集中するとして、通水管周り総括熱抵抗と熱伝導の抵抗の和の逆数である拡張された総括伝熱係数を用いて熱抽出過程の近似モデルを作成し、その妥当性を明らかにした。これにより、熱移動の微分方程式が時間のみの常微分方程式に変換されるため伝熱計算の著しい簡略化が可能となった。

(4) 効果的な蓄熱方法：そして、室内において容積 150 リットルの発酵槽からの熱抽出により、 15 リットルの蓄熱水槽に循環通水により蓄熱し、その熱を幼魚養殖槽を想定した 15 リットルの小型水槽の加温に用いる伝熱実験を行い、得られた温度実測結果と理論計算値との比較によりモデルの妥当性を実験的にも確認した。さらに実用的規模のシミュレ

ーションにより、実用化検討の指針を得た。

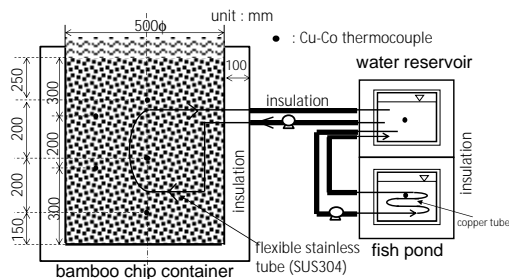


図1 室内実験装置

(5) 利用施設の提案：室内実験での検証を受けて、 50m^3 規模の竹チップ層を用いて養殖水槽の加温を想定した現場実験を輪島市で行った。蓄熱水槽 0.2m^3 、養殖水槽を 1m^3 として、水中ポンプが熱的劣化により故障するまでの3か月間熱抽出・蓄熱・（仮想的）養殖利用の伝熱実験を実施した。その後、通水用ラインポンプを外付けにして同様の実験を行い、長期間の発熱・熱抽出・熱利用の有効性を確認した（図2）。また、実験で得られた温度は、作成した伝熱モデルによる計算結果と良好に一致し、伝熱モデルの適用可能性を確かめることができた（図3）。



図2 竹チップ層と養殖水槽全景（現場実験）

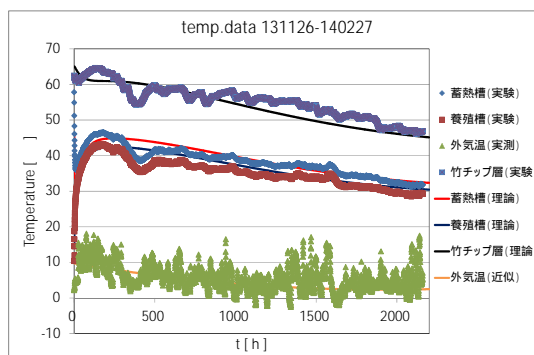


図3 実験結果と理論の比較

さらに、抽出・蓄積熱の利用システムとして、温室保温、土壌加温、融雪を想定した伝熱モデルを作成し、必要な施設規模の計算式を明らかにした。

(6) 総合的システムの組み立て：提案システムを機能させるための残された課題として制御システムの確立と、総合システムのパイロットスケールの実証実験が必要である。制御に関しては、利用施設の温度条件を満たすような流量制御のアルゴリズムとそれを実現するための条件設定を明確にすることであり、パイロットスケール実験としては、回収発酵熱を利用したドジョウもしくはエビの養殖システムが機能するかどうかを確かめることである。これについては、今後、研究条件を整備して実施する予定である。

(7) 成果のまとめと印刷：本研究で得られた竹チップ発酵熱利用に関する学術的、経験的な知見を収録し、このシステムの実用化の指針とすべく、成果をまとめて冊子体とし、共同研究者および本研究に関心を持つ関係者に公表にした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

Seki, H., Kiyose, S., Sakida, S., An experimental system for the recovery, accumulation, and utilization of heat generated by bamboo chip biodegradation using a small-scale apparatus, Journal of Agricultural Meteorology, 70(1), 2014, 1-11, 査読有 <https://dx.doi.org/10.2480/agrmet.D-13-00011>

Seki, H., Shijuku, T., Estimating the heat generation rate in a forced-aeration composting process by measuring temperature changes, Journal of Agricultural Meteorology, 68(2), 2012, 107-120, 査読有 <https://dx.doi.org/10.2480/agrmet.68.2.4>

〔学会発表〕(計11件)

関 平和、大島花織、藤川絢介、竹チップ発酵熱の抽出・蓄積・利用の野外実験、日本農業気象学会全国大会、2014.3.18
Shishido, T., Seki, H., Hashimoto, H., Hirano, K., Laboratory-scale experiments for the active-phase composting process under the same material and composting conditions, ISAM2014, 2014.3.18

関 平和、大島花織、清瀬史郎、崎田翔子、竹チップ層の熱伝導率測定、日本農業気象学会北陸支部大会、2013.11.15

関 平和、大島花織、藤川絢介、橋本哲宙、平野圭一、竹チップ層の熱抽出ゾーンと安定熱抽出のための配管間隔、日本農業気象学会北陸支部大会、2013.11.15

関 平和、清瀬史郎、崎田翔子、竹チップ発酵熱の回収・利用システムのミニチュア実験、日本農業気象学会北陸支部大会、2012.11.27

関 平和、北川雄規、村本千弦、堆肥化の反応解析について、日本農業気象学会北陸支部大会、2012.11.27

関 平和、四十九俊光、北川雄規、熱収支法による堆肥化のモデル化について、日本農業気象学会北陸支部大会、2011.11.11

関 平和、六佐公補、小澤辰徳、竹チップ層と伝熱通水管の間の伝熱係数に関する考察、日本農業気象学会全国大会、2012.3.14

Seki, H., Shijuku, T., Kitagawa, W., Kiyose, S., Deduction of reaction kinetics from the heat generation rate in composting, ISAM2012, 2012.3.15

Seki, H., Extraction and utilization of the heat generated in bamboo chip composting, International workshop on environmental and disaster management in east asia, The second Kanazawa University - Prince of Songkla University Joint Workshop 2012, 2012.9.20

Seki, H., Hirano, H., Rokusa, K., Heat recovery from bamboo chips during composting process, CIGR international symposium, 2011, 9.22

〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

名称：発酵熱利用システム及び発酵熱利用方法

発明者：関 平和

権利者：国立大学法人金沢大学

種類：特許

番号：特願 2011-149472 (P2011-149472)

出願年月日：2011年7月5日

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

関 平和 (SEKI HIRAKAZU)
金沢大学・環境デザイン学系・教授
研究者番号：90115246

(2) 研究分担者

池本良子 (IKEMOTO RYOKO)
金沢大学・環境デザイン学系・教授
研究者番号：40159223

中木原江利 (NAKAKIHARA ERI)
金沢大学・環境デザイン学系・研究員
研究者番号：00547193

本多 了 (HONDA RYO)
金沢大学・サステナブルエネルギー研究センター・助教
研究者番号：40422456