

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：23303

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K21353

研究課題名（和文）夏/冬の農業ハウス内に電力なしで冷熱源/温熱源を作り出す技術の開発

研究課題名（英文）Development of a technology to create a heat sink/heat source in an agricultural house in summer/winter without electricity

研究代表者

百瀬 年彦（Momose, Toshihiko）

石川県立大学・生物資源環境学部・准教授

研究者番号：40742515

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：夏期や冬期の農業ハウスは、過酷な温度環境となる。年間を通じて農業生産性を高めるためには、ランニングコストを抑えた冷却・加温技術が求められる。農業ハウスの直下には、未利用エネルギーである地中熱が存在する。この地中熱を地上に持ってくれば、ハウス冷房・暖房に利用できる。地表-地中間の熱交換を、いかにコストをかけずスムーズに行えるかが重要なポイントとなる。本研究では、ヒートパイプとして機能させた土を用いて、地表-地中間の熱交換を行った。その結果、冬のハウス内に継続的に温熱源を作り出せることが明らかとなった。夏のハウス内には冷熱源は作り出せたものの、その継続性が課題として残された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

化石燃料の消費を抑えつつ作物の生育環境や家畜の飼育環境を改善する農業スタイルの実現を目指し、地中熱という未利用エネルギーを活用するための技術開発およびその実証試験を行った。未利用熱活用技術の開発は、脱炭素社会や節電への関心が高まる社会のなかで意義があると考えている。

研究成果の概要（英文）：Agricultural greenhouses in summer and winter are harsh temperature environments. In order to increase agricultural productivity throughout the year, cooling and heating technologies that keep initial- and running-costs down are required. Geothermal energy exists directly under the farm house. If this unused heat is brought to the ground, it can be used for house cooling and heating. An important point is how to smoothly perform heat exchange between the surface and the ground with low costs. In this study, we used the soil functioning as a heat pipe to exchange heat between the surface and the ground. The research project found that the soil heat pipe created a continuous heat source in the house in winter. The soil heat pipe created a cold heat source in the summer house, but it kept only for a few days. The continuity of the cold heat source remained an issue.

研究分野：土壌物理

キーワード：地中熱利用 土 ヒートパイプ

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

夏期や冬期の農業ハウスは、過酷な温度環境となる。年間を通じて農業生産性を高めるためには、ランニングコストを抑えた冷却・加温技術が求められる。農業ハウスの直下には、未利用エネルギーである地中熱が存在する。この地中熱は、夏は冷熱源、冬は温熱源となる。この冷熱・温熱源を地上に持ってくれば、ハウス冷房・暖房に利用できる。地表 - 地中間の熱交換を、いかにコストをかけずスムーズに行えるかが重要なポイントとなる。本研究では、従来型ヒートパイプの弱点を克服した、特許申請中のヒートパイプを利用し、農業ハウス内に電力なしで冷熱源/温熱源を作り出せることを実証する。本研究での実証試験で十分な性能が得られれば、農業施設の室温制御手法を大きく変えることができ、地中熱利用型農業という新しい農業スタイルを提案することができる。地中熱という未利用エネルギーを活用し、化石燃料の消費を抑えつつ作物の生育環境や家畜の飼育環境を改善する農業スタイルは、脱炭素社会や節電への関心が高まっているなかで、多くの人に受け入れられるのではないかと考えている。

2. 研究の目的

土の熱伝導率は、適度な水分条件と減圧条件において、ステンレス鋼と同程度にまで劇的に大きくなる (Momose & Kaubuchi, 2002)。この大きな熱伝導率が得られる土の中では、高温側から低温側への水蒸気による大きな潜熱輸送があり、それと同時に、低温側から高温側への液状水の戻りが生じている (Momose *et al.*, 2008)。高温側と低温側で、水が相変化をしながら循環し、熱を伝える現象は、工学分野でよく知られるヒートパイプの作動原理と同じである。そのため、土の熱伝導率の劇的な増加は、土のヒートパイプ現象と結論づけられた (Sakaguchi *et al.*, 2009; 粕淵ほか, 2011)。

土のヒートパイプ現象を利用した地表 - 地中間の熱交換装置のプロトタイプは、科研費助成 (H26 年度 挑戦的萌芽) を受けて開発した。この熱交換装置は、土の中の個々の間隙をヒートパイプとして機能させ、土全体にひとつながりのヒートパイプ現象を引き起こすというユニークな熱交換原理を持つ。その原理によって、トップヒート (上部が高温で下部が低温) 条件下においても、ボトムヒート (下部が高温で上部が低温) 条件下においても大きな熱輸送が可能となる。本研究では、この熱交換装置を大型化して、農業ハウス内に鉛直埋設し、夏は冷熱源、冬は温熱源を作り出せることを実証する。その目的達成のため、下記 4 項目について取り組みつつ研究を進めた。(1) 用いる土と作動液およびその混合比の決定、(2) ヒートパイプの製作方法の確立、(3) ヒートパイプの埋設方法の確立、(4) 実証試験である。

3. 研究の方法

本研究で利用するヒートパイプは、土と作動液の混合物を金属パイプに充填し、減圧密閉したものとなる。土は、これまでの研究を踏まえて赤黄色土 (採取地: 石川県農業試験場能登分場) を用いることとした。また作動液は、冬のような低温環境下においてもヒートパイプ効果を発揮させるため、メタノールを用いることとした。土と作動液の混合比が異なる試料を用意し、減圧下における土の熱伝導率の測定装置 (Momose & Kasubuchi, 2002) を用いて、飽和蒸気圧付近の熱伝導率を測定し、飽和度 50% 程度のときに熱伝導率が最大となることを確認した。

ヒートパイプの製作方法は、以下のとおりである。乾燥させた赤黄色土を、銅パイプ (長さ 50cm、3cm 径) に充填して真空引きした後、飽和度 50% になるようにメタノールを封入し、その後、再度真空引きを行い密閉することによって小型ヒートパイプを製作した。ヒートパイプ

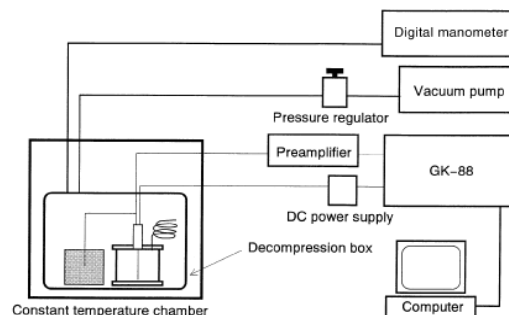


図 1 減圧下の熱伝導率測定装置 (Momose & Kasubuchi, 2002)

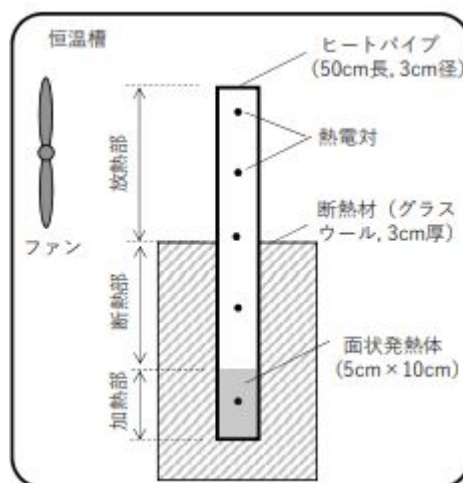


図 2 ヒートパイプの性能試験装置 (ボトムヒート時)

の性能試験装置（日本ヒートパイプ協会, 2001）を参考にして、製作したヒートパイプの熱輸送能を熱抵抗値で評価し、トップヒート条件下とボトムヒート条件下においてヒートパイプとして機能することを確認した。その確認後、上記の製作方法を用いて、ヒートパイプを大型化（長さ200cm、3cm 径）し、これを実証試験に用いた。

実証試験は本学附属農場で行った。ヒートパイプの埋設方法は、以下のとおりである。エンジン式杭打機と油圧式杭抜き機を用いて、下穴（長さ1.5m、3cm 径）をあけ、そこにヒートパイプを挿入した。また比較のため、ヒートパイプ化していない銅パイプも設置した。両者に対して、小型ハウスを設置しハウス内で温度計測を行った。

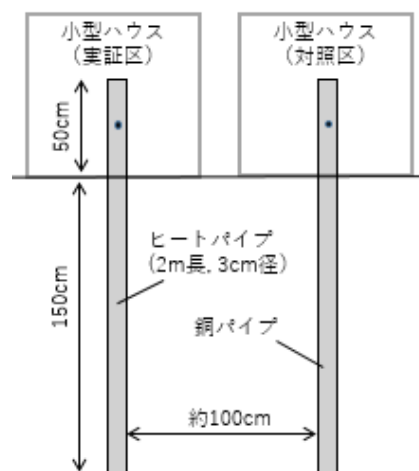


図3 実証試験の概要図

4. 研究成果

図4に実証試験の結果の一部を示す。図4aは、2022年7月15日から1週間のデータであり、実証区および対照区の温度は、それぞれヒートパイプおよび銅管の表面温度である。図4bは、2023年1月24日から1週間のデータであり、実証区および対照区の温度は、それぞれハウス内気温である。

図4aに着目すると、ヒートパイプの設置日（7/14）直後の7/15-17にかけて、実証区の温度は対照区よりも低温になった。40℃を上回るハウス内に冷熱源を作り出せることが明らかとなった。ヒートパイプ効果によるものと考えられる。しかし、7/18以降、両者の温度に差は見られなくなった。その原因として、蒸気による下向き移動（潜熱輸送）と液体による上向き移動（液体の戻り）のバランスが取れていない可能性、つまりドライアウトが生じた可能性が考えられた。

図4bに着目すると、実証区のハウス内温度は、対照区よりも高温となった。約1.5℃、加温することができている。ハウス内の熱画像写真（図5）から、ヒートパイプ表面温度は、氷点下を下回る環境下においても、温熱源を作り出せていることが明らかとなった。また、その温熱源が継続することも明らかとなり、蒸気による上向き移動と液体による下向き移動がバランスしていることが明らかとなった。ヒートパイプにフィンを設けたり、ファンを用いたりすることによって、ヒートパイプ表面から空気への熱伝達率を向上させれば、ハウス内温度をより高めることが可能になるとと思われる。

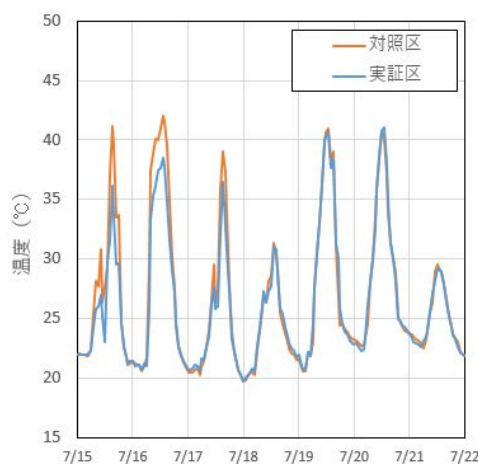


図4a 夏のハウス内温度（2022年）

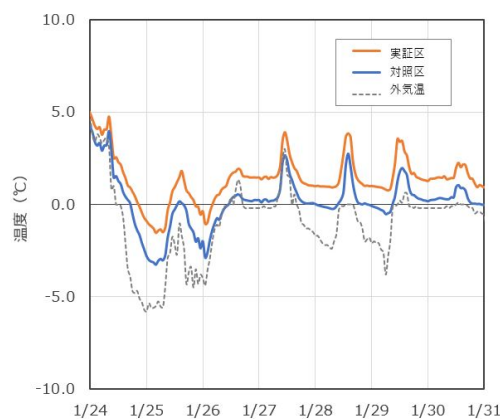


図4b 冬のハウス内温度（2023年）

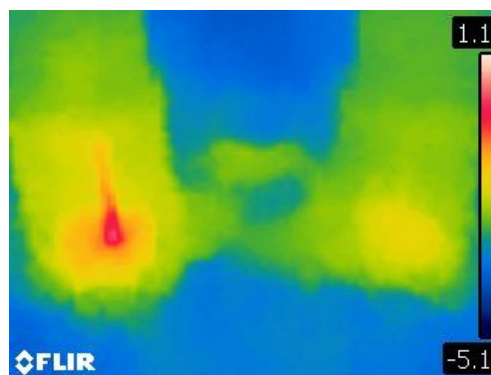


図5 冬の実証試験（左箱：実証区；右箱：対照区）

参考文献

T. Momose & T. Kasubuchi (2002). Effect of reduced air pressure on soil thermal conductivity over a wide range of water content and temperature. *European Journal of Soil Science*, 53: 599-606.

T. Momose, I. Sakaguchi & T. Kasubuchi (2008). Development of an apparatus for measuring one-dimensional steady-state heat flux of soil under reduced air pressure. *European Journal of Soil Science*, 59: 982-989.

I. Sakaguchi, T. Momose, H. Mochizuki & T. Kasubuchi (2009). Heat pipe phenomenon in soil under reduced air pressure. *European Journal of Soil Science*, 60: 110 – 115.

粕淵辰昭 百瀬年彦 坂口巖 (2011), J. R. Philip and D. A. de Vries 著 「温度勾配下における多孔体中の水分移動」を基にした研究展開 – 液島モデルからマイクロ・ヒートパイプモデルへ, *土壤の物理性*, 119: 53 - 64

日本ヒートパイプ協会編 (2001), *実用ヒートパイプ 第二版*, 日刊工業新聞社.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 百瀬年彦	4. 巻 59
2. 論文標題 ガトリング型ヒートパイプ式地中熱交換器の開発	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 農土石川	6. 最初と最後の頁 26-29
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 伴田千紘、百瀬年彦
2. 発表標題 雪国オリーブの越冬対策：冬における樹木根域の全体を加温する技術の開発
3. 学会等名 土壌物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伴田千紘 百瀬年彦
2. 発表標題 電力なしで冬の樹木根域を加温する技術の開発
3. 学会等名 土壌物理学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 ヒートパイプ	発明者 百瀬年彦、伴田千紘	権利者 石川県公立大学 法人
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-169967	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 熱交換装置	発明者 百瀬年彦 大杉卓也	権利者 石川県公立大学 法人
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-184524	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------