

補助事業番号 2022M-276

補助事業名 2022年度 再生可能エネルギーを活用した農業用温調システムの効率的な育成温度調節に関する実証実験 補助事業

補助事業者名 山梨大学 大学院総合研究部 工学域 鳥山研究室 鳥山孝司

## 1 研究の概要

本事業は、再生可能エネルギーである地下水などを熱源として用いる農業用ハウス用の温調システムの高性能化に取り組むものである。具体的には、農業用ハウス内に設置された育成空間内の温度を、野菜の育成に適した温度に保ちやすくするためのシステムの改善である。実施内容としては、(1)構造物の発熱を抑えるとともに熱交換器の改善による夏場の冷却、冬場の加熱実験、(2)遮光システム導入による温調への影響に関する評価である。

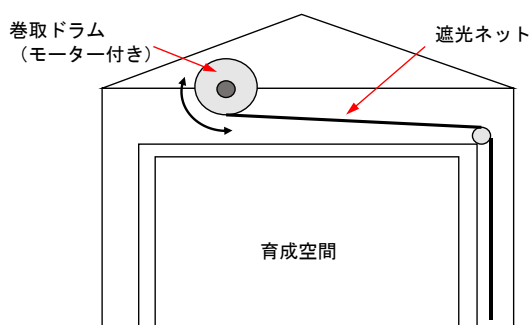
## 2 研究の目的と背景

年間を通して販売されているような農作物は、気候の異なる地域で時期をずらして育成するというも行われているが、農業用ハウスを用いた露地栽培で、かつ、重油による暖房(冬場)や電気による冷房(夏場)を併用して育成するといったことも行われている。近年の燃料価格の上昇に伴い、この温調コストはかなり大きくなっている。以前の補助事業では、地下水を通水するのみである程度の温調が実現できるということが示されたが、異常気象的な外気温にも温調がし続けられるというほど温調能力に余裕があるものではないということが分かっている。そこで、夏場は太陽光照射による構造物の発熱などを抑えることにより、より暑い時期でも低い温度保てるようにすること、冬場は日中の太陽光照射エネルギーを効率的に回収し、夜間の暖房に使用できる温水量を増やすことなどに取り組み、冷暖房能力を向上させることを目的とする。

## 3 研究内容 (<https://www.t-lab.me.yamanashi.ac.jp/docs/JKA-2022.pdf>)

本事業は、山梨大学構内に設置されている農業用ハウス内に構築されている農業用温調システムの性能改善に対する取り組みとその評価を行うものである。特に夏場の育成空間内の温度上昇は顕著であり、この抑制には太陽光照射エネルギーの制御が必要不可欠である。しかしながら、冬場はこの太陽光照射エネルギーによって生成される温水が暖房能力に強くかかわってくるため、動的に遮光を制御できる必要がある。

それを実現するのが右図にある遮光システムである。このシステムを導入するとともに、温調システムの再循環タンクの増設や熱交換パネルの改善によって温調能力がどれくらい改善できるの



遮光システムの概略図

かについて評価実験を実施した。なお、遮光システムについては実施期間中の導入はできたものの、そのシステムを用いた評価実験は実施できなかった。その代替りとして、赤外線カットフィルムを使用した実験を実施した。

以下に本研究で得られた結果について述べる。

#### (1) 太陽光照射による発熱部位の特定と対策

赤外線カメラ及び熱電対による温度計測により、温調空間の骨組みを支える金属製のジョイント及び熱交換パネルを支える金属網が発熱し、温調空間の温度を上昇させていることが明らかとなった。そこで、これらの金属部に対して熱交換塗料を塗装したところ、以前のペイント塗料と比較して2°C程度の温度低下が実現できることが示された。

#### (2) 換気システム導入による効果

太陽光照射により、温調空間内の構造物や地面の発熱などにより、どうしても室内温度は上昇することになる。温調空間の天井部には空気が通過できる隙間があるため、自然対流によりこの温度上昇した空気は外に放出される構造にはなっているが、その能力は十分ではないことが確認された。今回導入した換気システムを稼働させたところ、発熱部付近に生じる温度の高い空気を効果的に排出できることが確認できた。これにより、夏場の温度調整能力が飛躍的に向上した。

#### (3) 冬場の暖房能力評価試験

熱交換通水部の改善及び温水循環システムの改善による暖房能力の効果を確かめる評価試験を実施した。なお、再循環タンクは250Lのものが1台だったことに対して、3台を並列に設置することで容量を3倍に増やした。その結果、日中に蓄えられる温水としてのエネルギー量が5.7MJから18.9MJと3倍以上に上昇することが明らかとなった。純粋にタンク水量は3倍であるが、蓄えられるエネルギー量がそれ以上になるということであるので、熱交換通水部の改善が大きく寄与していることがわかる。これにより、夜間の暖房能力も向上し、これまでのシステムよりも3°Cほど高い温度が維持できることが明らかとなった。

#### (4) 赤外線カットフィルムによる温度調節能力改善の評価

赤外線カットフィルムによる太陽光照射エネルギーの削減の効果に焦点を充てて評価した結果、赤外線カットフィルム（赤外線カット率98%）を用いれば、40%程度の照

射エネルギーの削減が可能であることが示された。なお、同フィルムは紫外線域もカットする仕様であるため、可視光線域のみで60%ほどの照射エネルギーがあることを示している。この照射エネルギーの削減により、温調室内温度は無次元温度で0.05低下することが確認された。一方で、熱交換パネルが1日で回収した熱量は、赤外線カットフィルム無しの場合が7.28kW、有りの場合が5.55kWと大きく削減されており、冷却に必要な循環水量を削減できることが明らかとなった。

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究は再生可能エネルギーを活用して育成空間の温調にかかわるランニングコストを大幅に低減させるものである。化石燃料の使用量が大幅に減らせるため、環境にやさしく、今後の展開が大きく期待される。特に脱炭素が様々な所で叫ばれているが、それに大きく貢献できるものである。現在、バイオマス燃料が注目されてきているが、その製造コストの大半が微細藻類の育成にかかっているが、その問題の一つとして、育成に適した温度に保つというものがある。本研究はそういうニーズにも答えるものであり、将来的には必要不可欠な温調システムとなると期待される。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

これまで、熱エネルギーの有効利用について研究してきており、これまでJKAの補助事業の支援を受けて、地下水を熱源とする農業用温調システムの開発を行ってきた。本補助事業では、大学内に設置されている農業用ハウスの温調システムの温調性能を向上させようという取り組みである。再生可能エネルギーを活用し、他のエネルギーを極力使用しないということに重きを置いているため、劇的に改善できるといった内容は少なく、影響を与えようと考えられる因子を減らしていくといった取り組みが必要である。今後もこれらに対して研究を進め、農場での大規模実証実験に繋げていくことを予定している。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

##### (1) 学会発表(国際学会)

1. Taku Oshima, Koji Toriyama, A study on improving cooling capacity by reducing infrared absorption in water-agricultural recirculating air conditioning system, The 33th International Symposium on Transport Phenomena, 2023, 143, KUMAMOTO

##### (2) 学会発表(国内)

1. 藏貫市瑛, 鳥山孝司, 水循環を用いた農業用温調システムの夜間時における暖房時間の延長に関する研究, 第60回日本伝熱シンポジウム, 2023, H1446
2. 大島拓, 鳥山孝司, 水循環式農業用空調システムの赤外線吸収量の低減による冷却能力向上に関する研究, 第60回日本伝熱シンポジウム, 2023, J113

3. 藏貫市瑛, 鳥山孝司, 天井に配置したポリチューブ製流路の太陽照射エネルギーの吸収量の過渡特性, 山梨講演会2023, 2023, A24

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

鳥山研ホームページ

<https://www.t-lab.me.yamanashi.ac.jp/> (URL)

第60回日本伝熱シンポジウム

H1446

## 水循環を用いた農業用空調システムの夜間時における 暖房時間の延長に関する研究

○藏貫市瑛 鳥山孝司(山梨大)

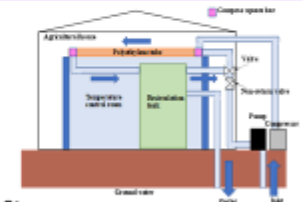
**概要・目的**

冬季における施設園芸の光熱費にかかるコストは**全体の20%\***ととても高い。低ランニングコスト化に向け、地下水を利用した暖房を開発している。これまでの研究では**循環水の温度が深夜に至る前に、地下水の温度を下回り暖房できなくなった**。そこで本研究では、夜明けまで暖房時間が延長できるように装置の改良を行うことを目的とする。

\*農林水産省 トマトの生産現状 秋冬の光熱費より

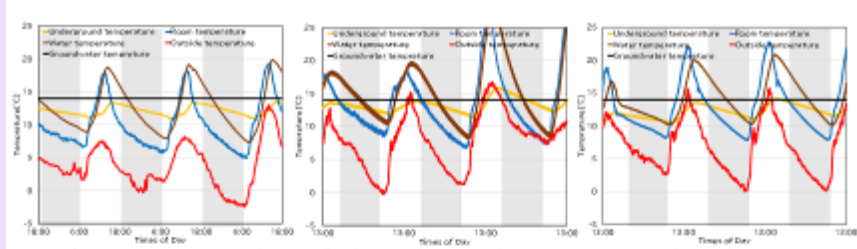
**実験装置・実験概要**

本実験は厳冬期である1~2月にかけて行った。装置の改良内容としては、熱交換器内の流動改善及びタンクの容量増設である。室内温度、外気温、地中温度、通水させるタンク内の水温、地下水温度をそれぞれ計測し、循環水の温度が地下水温度を下回るまでの時間や、水温と室内温度の関係を評価した。



Structure of experimental apparatus

**結果・考察**



- ・熱交換器を改良したことにより室内温度と水温の差異が減少した。  
→熱交換器の流動状況が改良され、**熱伝導率が上昇した**と考えられる。
- ・循環水タンクを増設により、夜間時の最低水温を**平均3°C上昇**させることができた。  
→日中の日射エネルギーを多く回収出来ていると考えられる。
- ・先行研究より地中温度が低下してしまった  
→熱交換器接合部の水漏れにより、地面を冷やしてると考えられる

**まとめ**

- ・熱交換器の改良により、熱伝導率が改良された。
- ・タンク増設により回収できるエネルギー量が増加し、夜間における暖房時間が延長した。
- ・明け方まで暖房を継続させるためには、更なる改良が必要になった。
- ・水漏れにより地面を冷やしていた為、熱交換器の接合部の改良が必要である。


**謝辞**

本研究はJKA競輪(2022M-276)の補助を受けて実施しました。

(ポスター)

**山梨大学**  
03  
【機械工学】

**再生可能エネルギーを活用した  
農業用空調システムの開発**



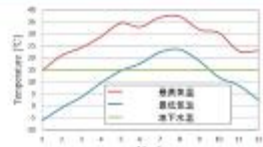
山梨大学 大学院 総合研究部 工学域 機械工学系 准教授 鳥山 孝司

【今後の展開 商品イメージ応用できる分野】  
地球温暖化ガスを排出せず、低コストでの農作物の育成に応用可能です

**研究概要**

トマトやきゅうりといった季節性のある野菜は年間を通しての需要があります。それに応えるため、気候の異なる地域で季節をずらして栽培するということが行われていますが、より多くの作物を育てるために、化石燃料を用いて温度を管理する施設栽培が広がっています。しかしながら、化石燃料を用いる手法では、生産コストの30%程度以上を占めると共に、地球温暖化ガスであるCO<sub>2</sub>を多く排出することになります。

本空調システムでは、再生可能エネルギーの一つである地下水を利用して冷暖房を行うものです。地下水温は年間を通してほぼ一定温度であり、冬場は加熱、夏場は冷却に利用可能であり、ランニングコストを大幅に下げることができます。

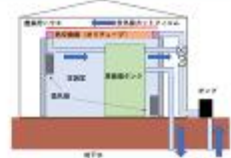


地下水温と気温の関係

**本空調システムの構造**

本空調システムの模式図が右の図です。農家用ハウス内に農作物を育てる空間となる空調室を設置します。この空調室は、側壁を高断熱フィルムで囲んでおり、その天井にはポリエチレン製のチューブで作られた熱交換器が設置されています。

汲み上げられた地下水は、熱交換器に通水され、夏場は空調室内の空気から熱を吸収することで冷房を、冬場は空調室内の空気に熱を与えることで暖房を行います。しかしながら、この熱量はそれほど大きくないので、熱交換器の入口と出口ではさほど大きく温度は変化しません。したがって、地下水を一度のみで放水してしまうのではなく、再循環タンクを設置して再利用する仕組みを取り入れています。



本空調システムの模式図

**夏モード**

夏場の日中は、日差しが強いため、ハウス内に暖まった空気が溜まりやすくなります。そのため、自然対流で温まった空気が逃げやすくなるように、熱交換器の上部を密閉せず動作させます。また、どうしても溜まってしまいうるようになった空気を強制的に換気扇を用いて排出させるという仕組みも取り入れています。

また、農作物の育成に必要な光は通しつつ、日射による加熱量を削減するため、赤外線カットフィルムを導入して本空調システムの性能の向上を図っています。

これらの対策により、空調室は外気温よりも低い温度に保つことができることが明らかになっています。

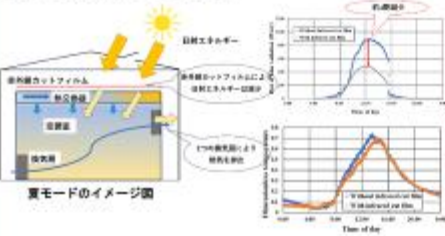
**冬モード**

冬場は、空調室内の暖まった空気が逃げ出さないように、熱交換器の上部に透明のビニルシートを取り付けて密閉して動作させます。

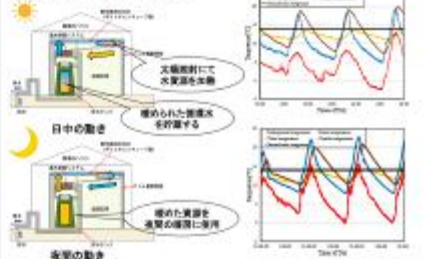
地下水を掛け流しできる地域では、既に十分な暖房能力を有することが確認されていますが、より多くの場所で導入できるように、現在は再循環システムを導入したシステムに拡張しています。

再循環システムのメリットとしては、地下水の資源を無駄にしないこと、日中の太陽放射エネルギーを用いて温水として貯蔵でき、夜間の暖房に利用できるというものがあります。

現在は、空調室の広さに対する必要な再循環タンク容量を明らかにする取り組みを行っています。



夏モードのイメージ図




冬モードのイメージ図

**今後の展望**

- ・本空調システムの特徴を活かし藻類バイオマス燃料の低コスト化のための研究も進めています。
- ・太陽光発電と太陽熱集熱器を導入することで自然エネルギーを有効活用でき、外部電力をほとんど使用しないシステムになることが期待できます。

本研究は、JKA館輪 (2022M-276) の補助を受けて実施しました。  
当研究室のホームページ: <https://www.t-lab.me.yamanashi.ac.jp/>



(2)(1)以外で当事業において作成したもの

該当なし

## 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 山梨大学工学部(ヤマナシダイガクコウガクブ)

住 所: 〒400-8511

山梨県甲府市武田4-3-11

担 当 者: 准教授 鳥山孝司(トリヤマコウジ)

担 当 部 署: 機械工学コース(キカイコウガクコース)

E - m a i l: toriyama@yamanashi.ac.jp

U R L: <https://www.t-lab.me.yamanashi.ac.jp/>