

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26450355

研究課題名(和文) ガスヒートポンプを活用した効率的なハウス内環境制御技術の構築

研究課題名(英文) Effective environmental control technique for the greenhouse using gas heat pump

研究代表者

宮内 樹代史 (MIYAUCHI, Kiyoshi)

高知大学・教育研究部自然科学系農学部門・准教授

研究者番号：80253342

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：中小規模施設園芸におけるコスト削減、環境負荷軽減、生産性向上を目的として、ガスヒートポンプ(GHP)を活用した効率的な炭酸ガス供給システムを考案した。構築したシステムにより、GHP排ガス循環時のハウス内炭酸ガス濃度を一定濃度以上に保つことができ、昼間に窓を閉め切り冷房運転することで、ハウス内炭酸ガス濃度を任意の設定値に維持することが可能となった。効率よく炭酸ガスを施用するために植生域への局所施用を試みたところ、通常施用区に比して生育が良好な結果となった。これらの結果から、GHP排ガスを用いた炭酸ガス施用は有効な手法であり、特に昼間の施用において作物収量の向上に寄与することが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：For the purpose of cost cut, environmental load reduction, and productivity improvement in the small and medium size scale greenhouse horticulture, we devised the effective carbon dioxide supply system using gas heat pump (GHP). By the system, we could keep the carbon dioxide concentration in the greenhouse at the time of the GHP effluent gas circulation than constant concentration and was able to maintain the carbon dioxide concentration in the greenhouse in an arbitrary set point by shutting up a window in the daytime, and running the GHP. For the application of carbon dioxide enrichment efficiently, the local application to the vegetation area, growth turned out good in comparison with the control test area. From these results, the carbon dioxide application using the GHP effluent gas was effective technique, and it was revealed that we contributed to the improvement of the crops yield in particularly daytime application.

研究分野：農業環境工学

キーワード：ガスヒートポンプ GHP 炭酸ガス施用 施設園芸

### 1. 研究開始当初の背景

冬季の野菜生産を支える施設園芸を取り巻く状況は厳しく、様々な課題を抱えている。特に、ハウス暖房用の燃料（重油）価格の高騰は生産コストに直結し、経営を圧迫している。そのため、暖房燃料削減のための省エネルギー化の取り組みが切望されている。また、生産性を高める手法として、炭酸ガス施用は旧来より注目されていたが、その効果が明らかとなり、生産農家への普及も拡大しつつある。しかし、その施用方法は灯油燃焼式等の発熱を伴うものが多く、昼間のハウス環境での施用には課題があった。

### 2. 研究の目的

本研究では中小規模施設園芸におけるコスト削減、環境負荷軽減、生産性向上を目的として、ガスヒートポンプ（GHP）を園芸ハウスの冷暖房に活用し、運転時の排出ガスをハウス内に循環させ、栽培作物への炭酸ガス施用に利用するシステムを構築した。特に、冬季昼間の冷房による半閉鎖環境の創出が、栽培作物の品質・収量へ与える影響を調査・検討し、施設栽培の生産性向上を図った。

### 3. 研究の方法

#### (1) GHP によるハウス冷暖房特性

冬季昼間の冷房、夜間の暖房時の GHP 運転特性を把握する。昼夜間のハウス内外環境計測からハウスの熱収支を求める。EHP との比較運転も行い、所要エネルギーとコストを算出し、GHP の経済性を明らかにする。

#### (2) 半閉鎖環境を創出・維持するための条件、

日射によるハウス内温度上昇と換気窓開閉の関係を解析するとともに、GHP によりハウス外へ移動させる熱量を計測・試算により求め、半閉鎖環境の創出・維持条件を明らかにする。

#### (3) 排ガス循環利用システムと炭酸ガス施用効果

GHP 運転時の排ガスを利用するための循環制御装置の開発、ハウス内 CO<sub>2</sub> 濃度分布解析、および排ガス循環のタイムスケジュールを検討し、最適な循環システムを構築する。また、CO<sub>2</sub> が作物生育に与える影響を計測により確認し、生産性向上に寄与することを明らかにする。

### 4. 研究成果

#### (1) GHP によるハウス冷暖房特性

実験は高知大学内に設置した実験ハウス（間口:6m 奥行:10m）で行い、夜間暖房、昼間冷房の GHP 稼働を行った。図 1 に実験システムの概要を示す。

暖房時の GHP 稼働は、灯油暖房機と比べてやや温度制御の幅が大きいのが、概ね同等の結果を示した（図 2）。温度設定の制御部を変えることでハンチング幅の改善は可能である。

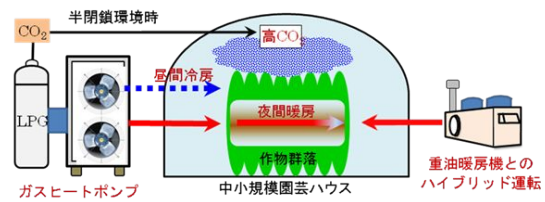


図1 実験システムの概要

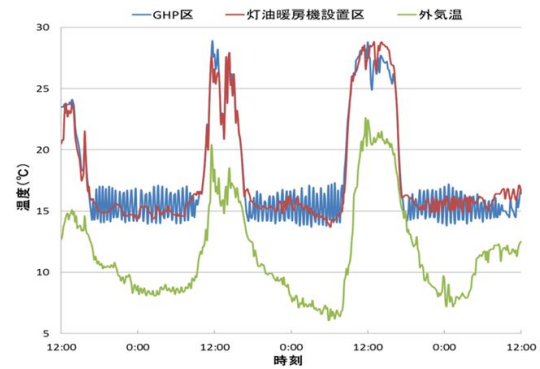


図2 GHP暖房運転時のハウス内温度変化

また、エネルギー利用効率を表すAPFは3.6となり、EHPと同等程度の利用効率を得られた。

#### (2) 半閉鎖環境を創出・維持するための条件

炭酸ガス施用の効率化を図るために、ハウス半閉鎖環境を維持する条件について検討した。実験ハウスでは冬季の日中において、10:00頃にハウス内気温が25をを上回り、換気が必要となる。そこで、この時間帯からGHPを設定温度28で稼働させ、ハウス内気温を維持するとともに、排ガスを循環させ、ハウス内に炭酸ガスを供給した。

GHPの稼働がない場合はハウス内気温は、40程度に達し、換気なしには植物生育の適温域を維持することができなかったが、GHP稼働により、ハウス内気温を30以下に維持することができた。しかし、天候状況によっては、ハウス内への日射エネルギーの流入が多くなることで、冷房負荷が高まり、設定温度を維持することができなかった。その結果、GHPは目標温度以下の設定温度でフル稼働し、炭酸ガスの供給量が過多となった。炭酸ガスの供給量については、ダンパ等の調節により調整が可能であるが、冷房負荷軽減のために遮光資材を組み合わせる必要があった。

#### (3) 排ガス循環利用システムと炭酸ガス施用効果

GHP排ガスをハウス内に循環利用するにあたり、排ガス成分の分析を行った結果、CO濃度（設定温度20、安定運転時）は排ガス吹出し口周辺、吹出し口直近、吹出しパイプ内でそれぞれ、0.6ppm、3.9ppm、1.9ppmであった。これらはいずれも人体に対する安全性基

準（1日8時間週40時間程度の暴露=50ppm、日本産業衛生学会）、大気汚染に対する基準（1時間値の1日平均値=10ppm、環境省）を下回った。NOxについても、大気汚染の環境基準（100ppm、環境省）を下回っており、これらの結果から、排ガスをハウス内に直接循環しても問題はないものと推察される。

構築した実験システムにより、GHP 排ガス循環時のハウス内炭酸ガス濃度を 900ppm 以上に保つことができた。図3にGHP 排ガス分岐部とGHP 室外機からの排ガス導入状況を示す。これにより、昼間に窓を閉め切り、冷房運転させることで、ハウス内炭酸ガス濃度を任意の設定値に維持できることが可能となった。排ガス導入口付近の平均風速は0.12m/sであり、平均炭酸ガス濃度は3640ppmであった。時間当たりの炭酸ガス施用量は0.042m<sup>3</sup>/hとなり、施用のための十分な量の排ガスが供給できていると考えられた。

排ガス導入口から出た炭酸ガスはハウス全体に拡散され、稼働後5~6時間経過後に全体の濃度が凡そ同程度に達した。効率よく炭酸ガスを施用するために、植生域への局所施用を試みたところ、通常施用区に比して生育が良好な結果となった。



図3 GHP 排ガス分岐部とGHP 室外機からの排ガス導入状況

以上の結果から、ガスヒートポンプの排ガスを用いた炭酸ガス施用は有効な手法であり、特に昼間の施用において作物収量の向上に寄与することが明らかとなった。今後は、導入に際してのコストダウン、維持管理の軽減化が課題となる。

#### <参考文献>

宮内樹代史, 福田雄治, 伊藤雅彦, 木質ペレットによる園芸用ハウス加温実証試験と炭酸ガス施用への利用可能性, 木質エネルギー, 20号, 13-16, 2008.

宮内樹代史, 山崎崇典, 石川勝美, 藤田秀一郎, 廃油燃焼装置の施設園芸用暖房機としての活用, 農業機械学会誌, 72(6), 2010.

#### 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)

宮内樹代史, 中小規模園芸ハウスを対象とした複合エコ環境制御技術の確立, 査読無, JATAFF ジャーナル, 5(1), 56, 2016

宮内樹代史, 中小規模園芸ハウスを対象とした複合エコ環境制御技術, 査読無, 農業電化, 70(2), 10-17, 2016

〔学会発表〕(計 2 件)

宮内樹代史, 兼崎雅弘, 金子光司, ガスヒートポンプによる夜冷が夏季の高糖度トマト生産に与える影響, 2011年度農業施設学会大会, 17-18, 2011.8.25, 丸亀町レッツホール&カルチャールーム(香川県高松市)

宮内樹代史, 兼崎雅弘, 金子光司, 嶋崎智基, 谷岡紘, GHP 排ガスを活用した炭酸ガス施用の可能性調査, 2016年度農業施設学会大会, 117-118, 2016.8.30, 高知大学物部キャンパス(高知県南国市)

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕  
ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

宮内 樹代史 ( MIYAUCHI, Kiyoshi )  
高知大学教育研究部自然科学系農学部門・  
准教授

研究者番号：80253342

(2)研究分担者

( )

研究者番号：

(3)連携研究者

安武 大輔 ( YASUTAKE, Daisuke )

九州大学大学院農学研究院・准教授

研究者番号：90516113

(4)研究協力者

( )