

## 長期どりトマトの高軒高ハウス・炭酸ガス施用等を活用した 先進的増収技術の開発に関する試験研究事業

戸塚 貴之\* 岡田 真\* 平間 毅\* 平野 聡\* 金子賢一\*\* 島本桂介\*\* 神澤雅典\*\*\* 平野清志\*\*\*\*

### 1. はじめに

茨城県は、トマトの作付面積で全国第2位、産出額は全国第5位と、全国でも有数のトマト栽培地である。うち、春冬トマトは作付面積が全体の17%でありながら、収穫量は全体の28%を占め、面積当たりの収穫量が非常に多い効率的な作物であるといえる。しかし近年、暖房用燃料費の高騰や販売単価の低下に伴い、施設栽培を用いる春冬トマトの収益性の向上が急務となっている。

### 2. 目的

トマトの増収技術に関しては、近年高軒高ハウスの利用や炭酸ガス施用による環境制御技術が着目されており、民間の栽培設備でも広く利用されている。しかし、効率的な炭酸ガス施用を行うのに最適と言われる炭酸ガス濃度が施用装置メーカーごとに異なるなど、不明な点も多く、より効率的で実用的な炭酸ガス施用方法の確立が求められている。

本研究事業では、県園芸研究所と共同で、炭酸ガス施用や高軒高ハウスを用いた増収技術の研究を行う。当センターでは、効率的な炭酸ガス施用のため、ハウス内の環境計測を行うためのセンサモジュールの開発と計測実験を行う。

### 3. 研究内容

昨年度実施した研究により、トマト栽培ハウス内の炭酸ガス濃度の動態シミュレーションを実施し、炭酸ガス施用を行った際にハウス内で炭酸ガス濃度がどのように拡散するか検証を行った。しかし、実際のハウス内では栽培するトマトの光合成及び呼吸、栽培に伴う水分の散布などの影響により、炭酸ガス濃度や温度変化条件などがシミュレーション結果と異なってくることが考えられる。そのため、効果的な炭酸ガス施用方法を確立するためにはシミュレーション結果の妥当性を検証するとともに、実環境下での炭酸ガス濃度や温湿度の計測を行い、トマトの生育状況と照らし合わせることで環境制御方法の検討を行う必要がある。

そこで当センターでは、炭酸ガス濃度センサと温湿度センサが接続可能で、かつ多点での同時計測が可能なセンサモジュールとして、H25年度まで電力見える化モジュールとして開発を行ってきたものをベースに改良を行い、ハウス内の環境計測が可能な無線センサモジュール（図1、図2、図3）を開発した。

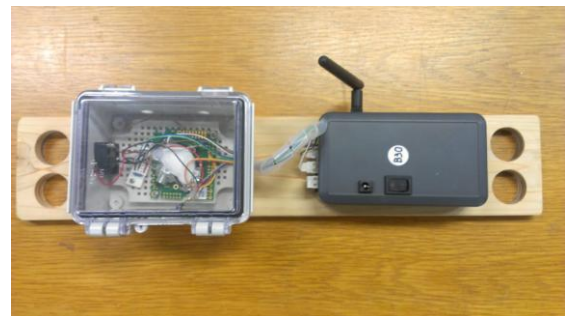


図1 開発したセンサモジュール（全体）

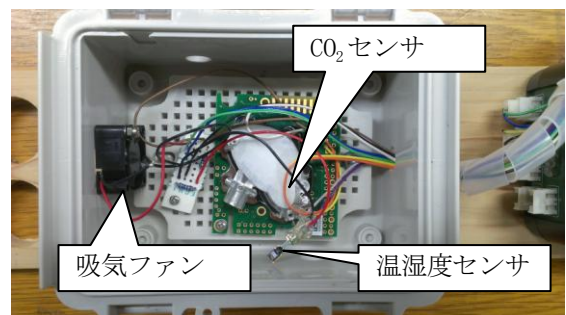


図2 センサモジュール部分

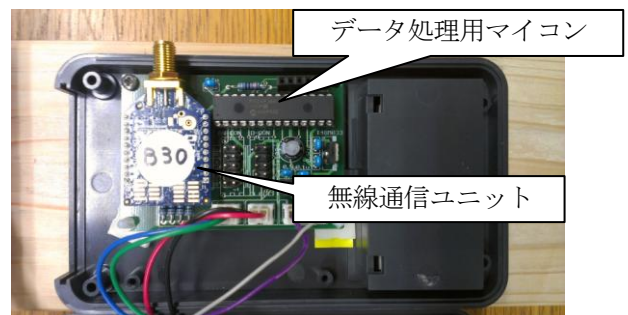


図3 無線通信モジュール部分

また、使用したセンサ及びマイコン等の部品を表1に示す。

表1 部品一覧

部品名	型番
CO <sub>2</sub> センサ	SenseAir 社製 CO <sub>2</sub> Engine K30
温湿度センサ	SENSIRION 社製 SHT75
無線通信ユニット	Xbee PRO
データ処理用マイコン	PIC24FJ64GA002

CO<sub>2</sub>センサの選定については、測定対象がハウス内の炭酸ガス濃度であることから外気の炭酸ガス濃度（一般的に400ppm程度）、及びそこから炭酸ガス施用を

行った際に上昇した炭酸ガス濃度を計測できるものとして、0~5000 ppmまでの範囲を測定できるセンサとして SenceAir 社製の CO<sub>2</sub>EngineK30 を選定した。また、温湿度センサとして小型かつ一般的な環境計測に使用可能で、過去に製作した電力見える化モジュールでも使用実績のある SENSIRION 社製の SHT75 を採用した。

無線通信ユニットとして用いた XbeePRO は、通信規格として Zigbee を使用した通信モジュールである。Zigbee とは無線 LAN と同じ ISM バンドである 2.4GHz を使用した無線通信規格であり、消費電力が非常に低いことや、ノードを複数接続してのメッシュネットワークの構築が可能といった特徴がある。本研究ではトマト栽培ハウス内の炭酸ガス濃度等を多点で計測する必要があるため、複数のセンサモジュールを接続した同時計測が可能で、かつ広いハウス内でもメッシュネットワークを構築することで遠距離での通信が可能となることから、通信規格として Zigbee を使用した XbeePRO を無線通信ユニットとして採用した。

従来の電力見える化モジュールはアナログ入力のみに対応であったが、本研究事業で開発したセンサモジュールは通信ノイズによる影響を考慮し、デジタル入出力に対応できるように改良を行った。CO<sub>2</sub>センサからのデジタル入出力は UART を用い、温湿度センサとの通信はプログラム側で作成したデジタル I/O を使用している。これらの測定データを無線通信ユニットによって計測用パソコンへと送信し、専用ソフトウェアにて集計やグラフの表示などを行う。

また、CO<sub>2</sub>センサと温湿度センサを封入したボックスには通気口と吸気用ファンを設置し、ハウス内の空気とセンサ周辺の空気を攪拌し、より正確な値の測定ができるようハードウェアの設計を行った。

これらのセンサやマイコン、ファンなどに使用する DC 電源については、商用 100V で使用可能な AC アダプタから供給している。製造コストと、今回実験予定のハウス内で AC 電源が使用可能であることから AC アダプタを使用することとしたが、モジュール全体としては低消費電力になるような設計としているため、使用環境によってはモジュールに簡単な改造を施すことで太陽光パネルやバッテリーを搭載しての動作も可能である。

#### 4. 研究結果と考察

園芸研究所に建設した高軒高ハウスでの測定を行うための事前実験として、メーカー製の炭酸ガス施用装置と炭酸ガス等センサモジュールを使用しトマトの栽培を行っている県内の農家にご協力いただき、多点での炭酸ガス濃度と温湿度の測定を行った。炭酸ガスの拡散状況をモニタリングするため、炭酸ガス施用を行っているハウス内に、3 点の設置場所に高さを変えて 3 台ずつ、合計で 9 台のセンサモジュールを設置し、1 週間連続でのデータ収集を行った。センサモジュールの設置場所については、①炭酸ガス施用装置付近 (A 地点)、②既設のメーカー製炭酸ガス濃度・温湿度センサユニット付近 (B 地点)、③①の設置場所の対角線位

置 (C 地点) の 3 点に設置した (図 4)。また、高さごとの炭酸ガス濃度推移を測定するため、設置高さとしてトマトの成長点である地面から 200 cm の位置を最高点とし、80 cm 間隔で地面から 120 cm、40 cm の位置にそれぞれセンサモジュールを設置した (図 5)。測定位置別に集計した 0 時から 24 時までの 1 日の炭酸ガス濃度推移を図 6、図 7、図 8 に示す。

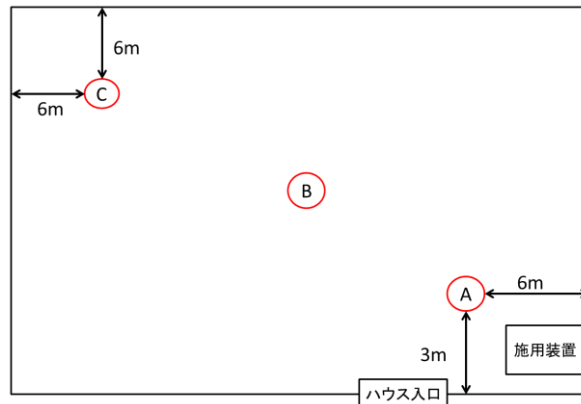


図 4 ビニールハウス内のモジュール設置位置

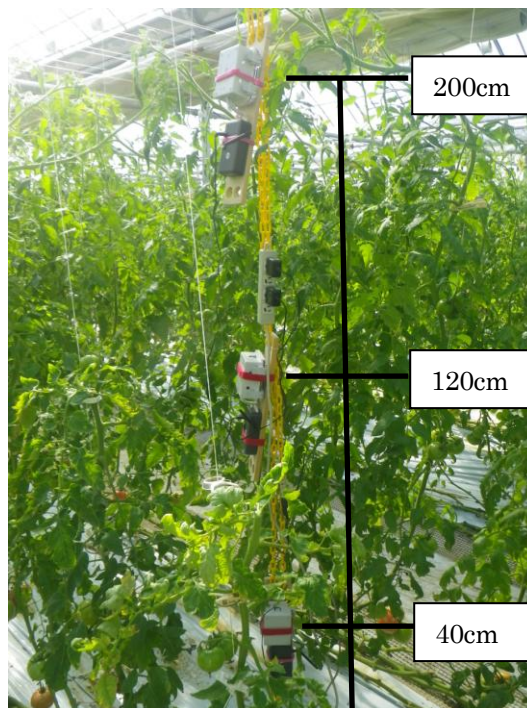


図 5 計測実験時の設置状況

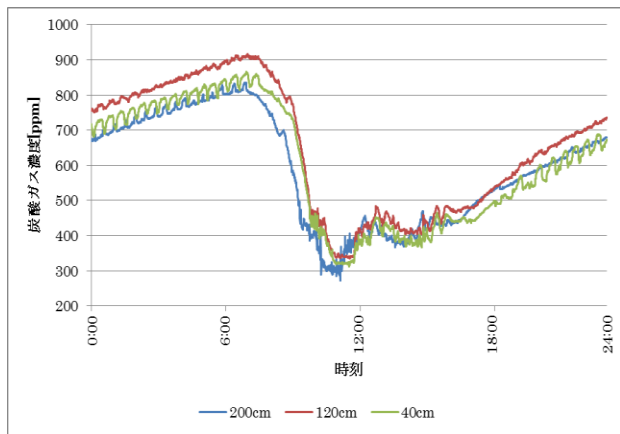


図 6 A 地点の炭酸ガス濃度時間推移

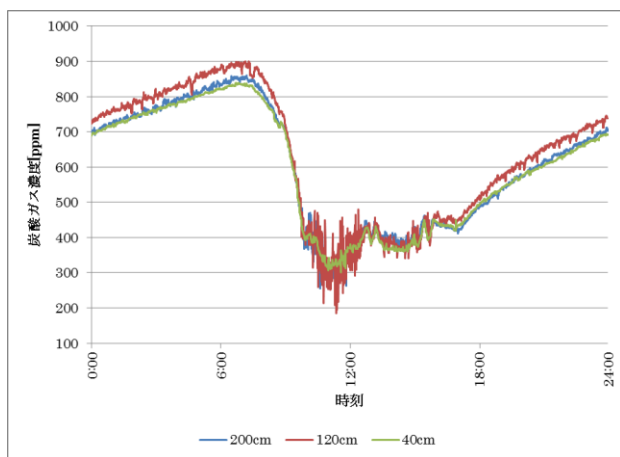


図 7 B 地点の炭酸ガス濃度時間推移

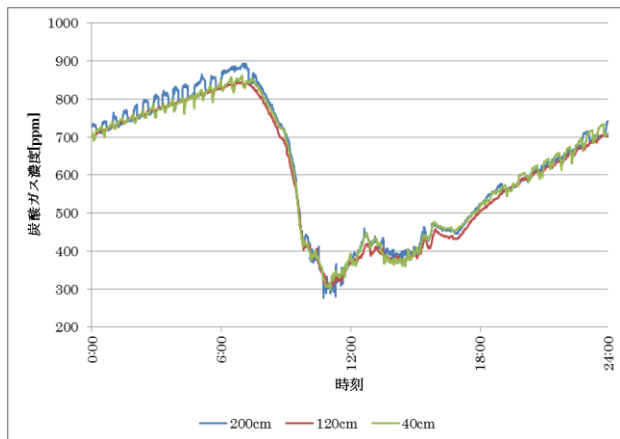


図 8 C 地点の炭酸ガス濃度時間推移

これらの結果から、高さごとに炭酸ガス濃度に特徴があることが分かる。シミュレーション結果では、施用を行った場合最も天井に近い位置から炭酸ガス濃度が高くなっていったが、測定結果では特に炭酸ガス施用装置から近い位置での地表から 120 cm 地点での炭酸ガス濃度が高くなっていった。また、既設センサ付近での 120 cm 地点における昼間の炭酸ガス濃度に大きな揺れがあるが、地表付近及び成長点付近にて濃度の揺らぎが見られないことから、これは作業者の呼気に含まれる炭酸ガスによる影響と思われる。人体の呼気

に含まれる炭酸ガス濃度は外気や施用装置からの排気に比べ非常に高く、120 cm という高さが人体の鼻や口からの呼気が当たりやすい高さであることが原因であるとの推測から、計測モジュールには問題はないものと判断した。

炭酸ガス濃度の時間変化については、今回計測を行ったハウスでは炭酸ガス濃度 400ppm をターゲットに濃度制御を行っている。日照がない夜間ではトマトの呼吸により炭酸ガス濃度が大きく増加する。日照が始まる時間になると光合成により炭酸ガス濃度は低下し、制御ターゲットとなる 400ppm を下回ることもあるが、晴天時にこのような現象がみられることは珍しくないとのことであり、実際に昼間 400ppm を維持することはコスト面からも難しく、測定結果には問題がないと判断した。

また、本実験での測定前に全センサモジュールの動作実験を行った際、同様の環境を測定しているにもかかわらず、センサごとの測定結果に最大 100 ppm 程度のばらつきが見られた。使用した炭酸ガスセンサごとに個体差があるためと思われる、全てのセンサモジュールを既設のメーカー製炭酸ガスセンサモジュール付近に設置し、同時刻に測定したメーカー製モジュールの測定値をリファレンスの値として比較を行い、差分を補正值として測定結果に反映させた。既設のセンサにおける温度・湿度・炭酸ガス測定結果と炭酸ガス測定結果に補正值を反映させた既設センサ付近 (B 地点、高さ 120cm) における測定結果を図 9、図 10 示す。

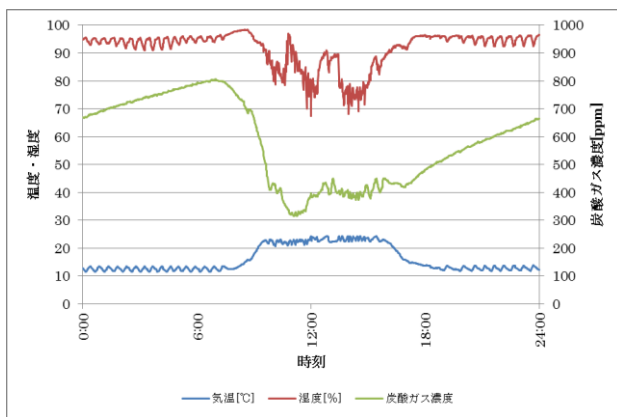


図 9 既設センサにおける計測結果

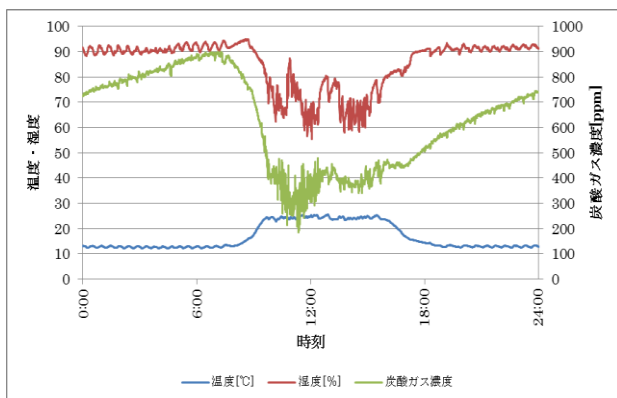


図 10 B 地点における計測結果

測定実験に協力いただいた農家のハウスでは、温度制御を夜間 13℃、昼間 24℃に、炭酸ガス濃度を昼間 400ppm をターゲットにハウス内の環境制御を行っている。既設の市販センサの値を使用して制御を行っており、既設のセンサの測定結果と当センターで制作したセンサモジュールの実際の測定結果を比較することで計測値の妥当性を評価した。その結果、既設の市販センサの値と当センターで制作したセンサモジュールの計測結果を比較し、ほぼ同等の値が計測された。このことから、当センターのセンサモジュールの計測結果には問題がないといえる。

これらの測定結果は県園芸研究所に引き渡し済みであり、県園芸研究所にて解析及び追加実験を実施した。追加実験として高軒高ハウスにおける炭酸ガス施用を行う場合の炭酸ガス吹出口の最適な間隔や光合成速度と炭酸ガス濃度の相関に関する調査などを行い、来年度からの高軒高ハウスにおける最終的な栽培実験に反映させていく予定である。

## 5. まとめ

炭酸ガス濃度と温湿度の測定を多点で同時に行えるセンサモジュールの開発を行い、県内トマト栽培農家に協力いただき実環境下での測定実験を行った。その結果、実際のハウス内では高さや位置による炭酸ガス分布の違いが出ることが分かった。

## 6. 今後の予定

本年度の研究で制作したセンサモジュールを使用し、今後県園芸研究所に建設した高軒高ハウスにて環境測定を行っていく。そこで得られた計測データを効率的な炭酸ガス施用装置の開発や高性能な計測モジュールの開発のため県内企業に提供していく。