

飽差による農作物管理システム

香川高等専門学校 宇宙開発研究部

気象観測機器コンテスト2次審査報告書

開発者

機械工学科	4年	大西克也
電気情報工学科	4年	和気佑弥
電気情報工学科	2年	齊藤壮志
建設環境工学科	2年	白川智也

担当教員 村上幸一

目次

要旨.....	- 1 -
1. 制作背景と目的	- 2 -
2. ミッション内容	- 2 -
3. 使用機器.....	- 3 -
3.1 BME 280 使用 温湿度・気圧センサモジュール	- 3 -
3.2 Raspberry Pi.....	- 3 -
4. 観測システム	- 4 -
5. 飽差の導出.....	- 4 -
6. 通信システム	- 5 -
6.1 センサノード・ゲートウェイの概要.....	- 6 -
6.2 Web サーバへのパケットの送信	- 7 -
6.3 Web サーバへの送信	- 7 -
6.4 外部サービスへのデータ送信	- 8 -
7. 観測方法.....	- 9 -
7.1 観測場所・協力機関	- 9 -
7.2 方法.....	- 10 -
7.3 観測期間	- 11 -
8. 観測結果.....	- 11 -
9. 考察.....	- 15 -
9.1 SFS との統合データ解析.....	- 15 -
9.2 今後の展望	- 16 -
参考文献.....	- 17 -

要旨

「飽差による農作物管理システム」は湿度と気温を観測し、そのデータより飽差を算出するシステムである。飽差とは、空気中にとどれだけの水蒸気を含むことができるかを示し、農作物のハウス栽培において欠かせない重要な指標である。飽差を管理しデータを有効活用することで農作物の蒸散及び光合成に最適な環境をハウス内に作ることができる。

本システムはシングルボードコンピュータの「Raspberry Pi」をもとに構築し、センサを用いて観測したデータから算出をした飽差をインターネット上のサーバにアップロードする。これにより、いつでもハウス内の環境を把握することができ、また他のデータとも比較することができる。

1. 制作背景と目的

今回制作した「飽差による農作物管理システム」は、農家の負担軽減や、スマート農業の実現を目標に開発された自動観測装置である。近年の日本では高齢化などによって農業就業人口が減少しており、農業分野では人手不足を補うためロボット技術や ICT を活用したスマート農業の実現が大きな課題となっている。

「飽差による農作物管理システム」はハウス内の湿度と温度をもとに飽差を計測し、そのデータを自動でアップロードすることを目的として開発した。飽差とは、空気中にとどれだけの水蒸気を含むことができるかを示し、農作物のハウス栽培において欠かせない重要な指標である。飽差が適切でない場合、つまり飽差が大きすぎ乾きやすい環境では、植物は身を守ろうと気孔を閉じるため光合成に影響を与え、飽差が小さすぎる場合はこれ以上空気中に水蒸気を含むことができないために蒸散が起きず、根が吸収する水分量が減少するなど作物の健全な成長を阻害することになる。

「飽差による農作物管理システム」を活用すれば、ハウス内の状況をどこにいてもスマートフォンなどで確認することができる。また換気装置などと連動させれば、自動で飽差を適切に管理することができ、より高品質な農作物の生産が可能になる。センサを使った自動解析とインターネットを使った情報共有ができる「飽差による農作物管理システム」は今後のスマート農業の実現に役立つと考えられる。

2. ミッション内容

本システムのミッション内容を以下に示す。

① ハウス内での観測

観測するハウス内に複数のセンサを設置し、Raspberry Pi による制御によって気温、湿度、気圧を観測する。

② 取得データの解析

気温と湿度の観測データから飽差を算出する。

③ SNS 及び Web 上でのデータ表示

観測・解析したデータを SNS や Web を用いて、いつでも閲覧可能にする。

3. 使用機器

- ・ BME 280 使用 温湿度・気圧センサモジュール
- ・ Raspberry Pi

3.1 BME 280 使用 温湿度・気圧センサモジュール



図1 BME 280 使用 温湿度・気圧センサモジュール

ボッシュ社の BME280 を搭載したセンサモジュールで、温度、湿度、気圧の 3 つの環境情報を同時に測定できる。今回のシステムは主にこのセンサによって観測を行う。

3.2 Raspberry Pi



図2 Raspberry Pi

「Raspberry Pi」はラズベリーパイ財団が開発したシングルボードコンピュータである。Raspberry Piにはさまざまな種類が存在するが今回は「Raspberry Pi 3 Model B」を使用した。Raspberry PiはCPUにARMプロセッサが用いられている。またハードディスクなどの記憶装置は搭載されていないため SD カードを取り付けて使用する必要がある。今回は Raspberry Pi をセンサの制御とデータの保存、解析のために用いる。

4. 観測システム

観測システムの概要を図3に示す。

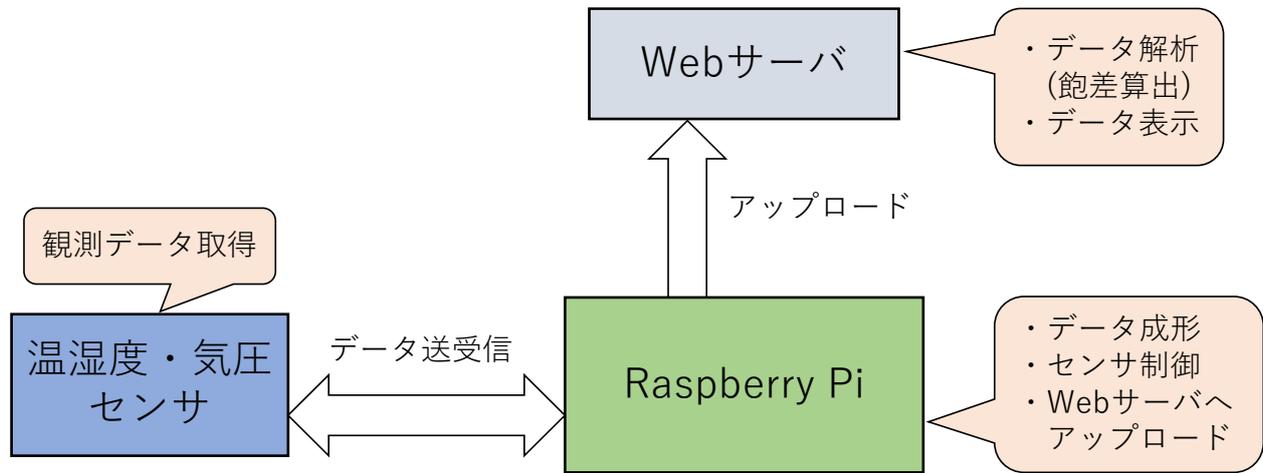


図3 観測システムの概要図

本システムは、主にデータ取得のために用いる温湿度・気圧センサと、その制御およびデータ管理を行う Raspberry Pi、また、取得データの解析と管理を行う Web サーバによって構成される。

図3に示すように、温湿度・気圧センサは Raspberry Pi によって制御され、取得した観測データは Raspberry Pi へ送られる。Raspberry Pi では、温度、湿度、気圧の3つのデータを連結し、Web サーバへアップロードする。Web サーバでは観測データを解析し、飽差を算出し、Web ページにてデータ表示を行う。また、取得データは SNS によっても通知し、リアルタイムに観測データを確認することができる。

本システムの観測は5分毎に行われ、日時、温度、湿度、気圧、飽差といったすべてのデータは Web サーバにて保存される。

5. 飽差の導出

飽差の導出方法について説明する。

飽差とは、1立方メートルの空気中に、あと何グラムの水蒸気を含むことができるかを示す数値である。つまり、飽和水蒸気量と現在空気中に含まれる水蒸気量の差分のことであり、式で表すと次式のようになる。

$$\text{飽差 [g/m}^3\text{]} = \text{飽和水蒸気量 [g/m}^3\text{]} - \text{含有水蒸気量 [g/m}^3\text{]}$$

ここで、摂氏 [°C] を t 、飽和水蒸気圧 [hPa] を $e(t)$ と置くと、飽和水蒸気量 $a(t)$ は、

$$a(t) = 217 \times \frac{e(t)}{t + 273.15}$$

という式で求めることができる。飽和水蒸気圧 $e(t)$ はテレンスの式で近似することができ、

$$e(t) = 6.1078 \times 10^{\left(\frac{7.5t}{t+237.3}\right)}$$

となる。これより、飽和水蒸気量 $a(t)$ は、

$$a(t) = 217 \times \frac{1}{t + 273.15} \times 6.1078 \times 10^{\left(\frac{7.5t}{t+237.3}\right)}$$

とすることができる。また、1立方メートルに含まれる水蒸気量は、

$$1 \text{ 立方メートルに含まれる水蒸気量 [g/m}^3\text{]} = a(t) \times \text{相対湿度 [\%]}$$

で表され、これは飽差の式における含有水蒸気量と等しい。よって、飽差の式は次のように変形できる。

$$\text{飽差 [g/m}^3\text{]} = a(t) - a(t) \times \text{相対湿度 [\%]}$$

$$= \frac{a(t)}{100} (100 - \text{相対湿度 [\%]})$$

$$= 2.17 \times \frac{100 - \text{相対湿度 [\%]}}{t + 273.15} \times 6.1078 \times 10^{\left(\frac{7.5t}{t+237.3}\right)}$$

この式より、温度 [°C] と湿度 [%] が分かれば、飽差を求めることができる。

6. 通信システム

通信システムの構成方法や通信システムの動作原理について説明する。

本システムは飽差測定のためのセンサノード、測定したデータをサーバに送信するゲートウェイ、データを成型し、それぞれの外部サービスと通信するサーバ、データを保存するサーバ、利用者に観測データを提供するサーバから構成される。

データの流れについて示した図を、図4に示す。

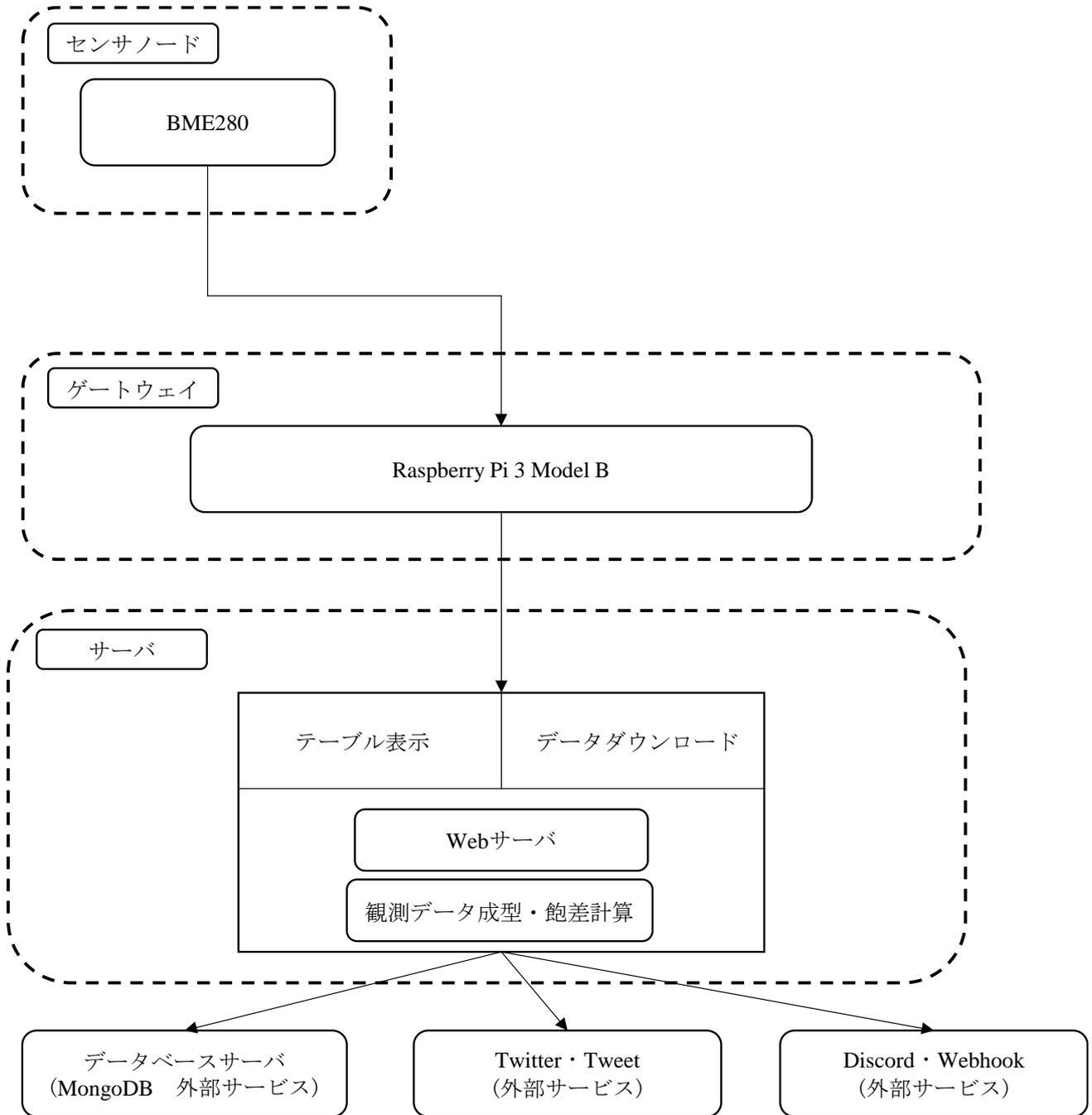


図4 データの流れ

6.1 センサノード・ゲートウェイの概要

センサノードは「BME280」によって構成される。センサノードで観測した気象データ3種「気温・湿度・気圧」は有線接続された「Raspberry Pi 3 Model B」に送信される。ゲートウェイは、データの中継地点である。ゲートウェイで行う仕事は主に2つある。1つ目の仕事は、センサノードからデータを受信することである。2つ目の仕事は観測したデータをサーバに送信することである。以上についてまとめた概要図を図5に示す。

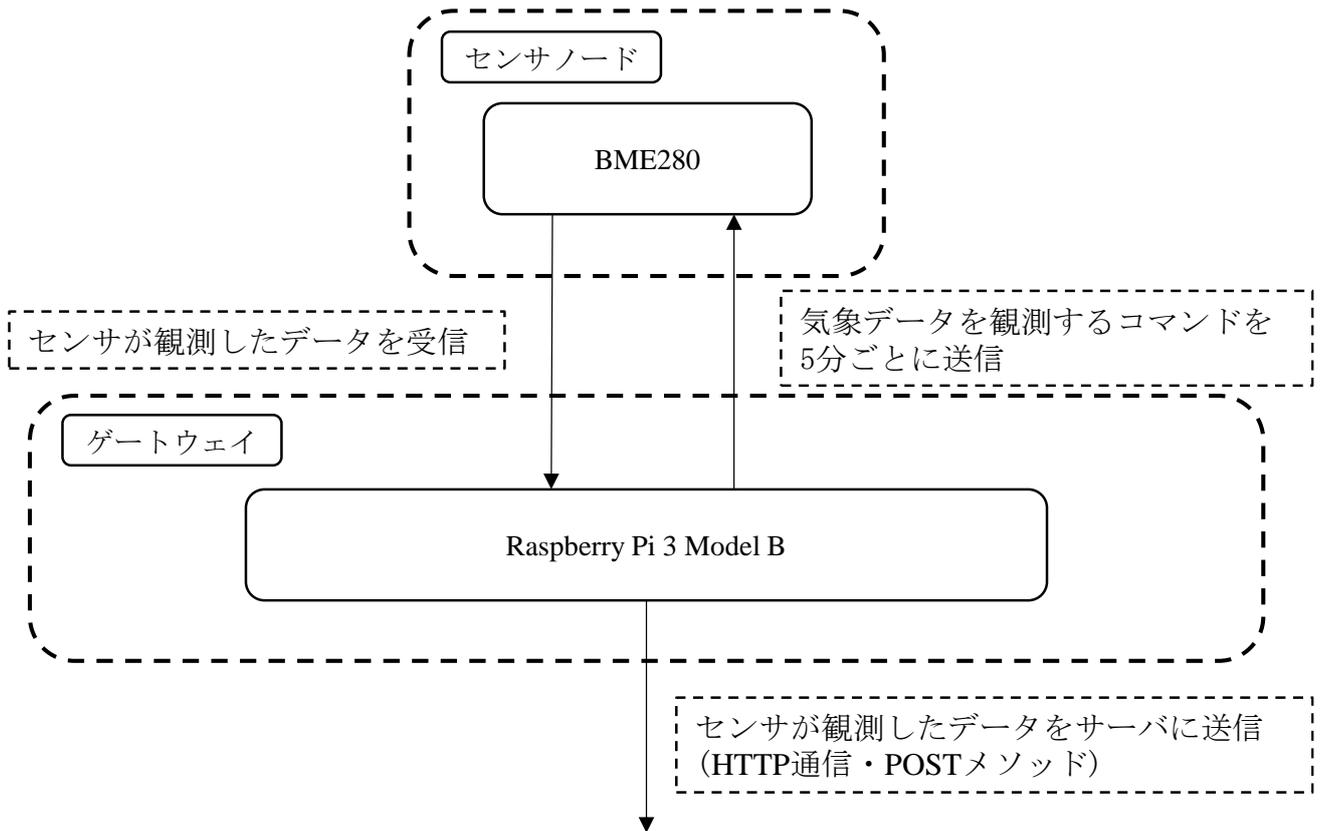


図5 センサノードとゲートウェイにおけるデータの流れ

6.2 Web サーバへのパケットの送信

センサノードで観測した気象データは図6のようにパケットとして Web サーバまで送信される。センサノードで観測したデータはゲートウェイで Web サーバへ送信できる形(JSON形式)に変換される。認証用のトークンキー、ハードウェア ID(センサとゲートウェイの ID)、タイムスタンプ、観測データを全てまとめた上で Web サーバに HTTP POST メソッドを用いてパケットを Web サーバにアップロードする。

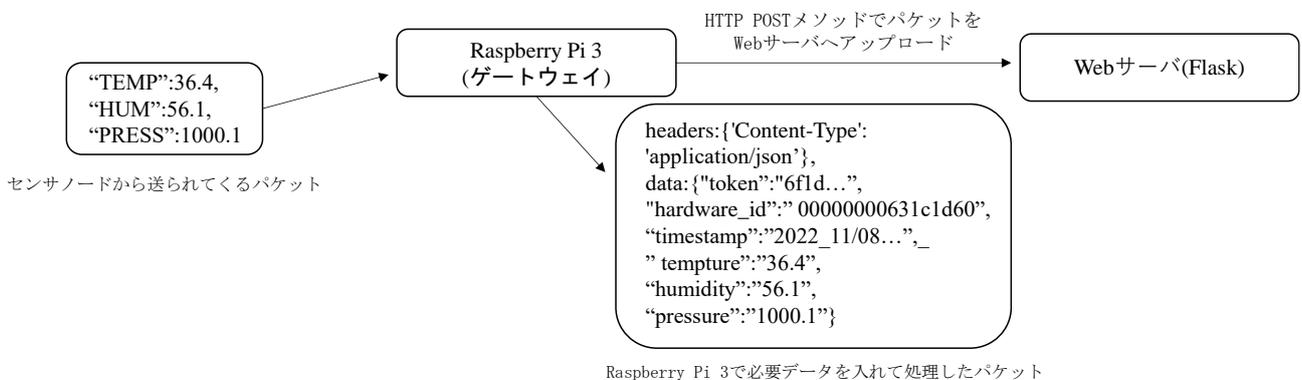


図6 センサノードから Web サーバまでのパケットの流れ

6.3 Web サーバへの送信

Web サーバは Python 用のウェブアプリケーションフレームワークである「Flask」によって構成される。

Flask(フラスク・フラスコ)は小規模向けの簡単な Web アプリケーションを作るのに適していて比較的簡単に Web アプリケーションの作成が可能である。本システムでは Flask のルーティングが容易であり、軽量である点から、Flask を採用した。

Web サーバの主な役割は HTTP POST メソッドでゲートウェイ Raspberry Pi から送られてきたリクエストの処理、気温・湿度から飽差の計算、送られてきた観測データの成型・保存、外部サービスへのデータ送信、データのダウンロード用ページ・データのテーブル表示ページの表示である。図 7 に Web サーバにおけるデータの流れを示す。

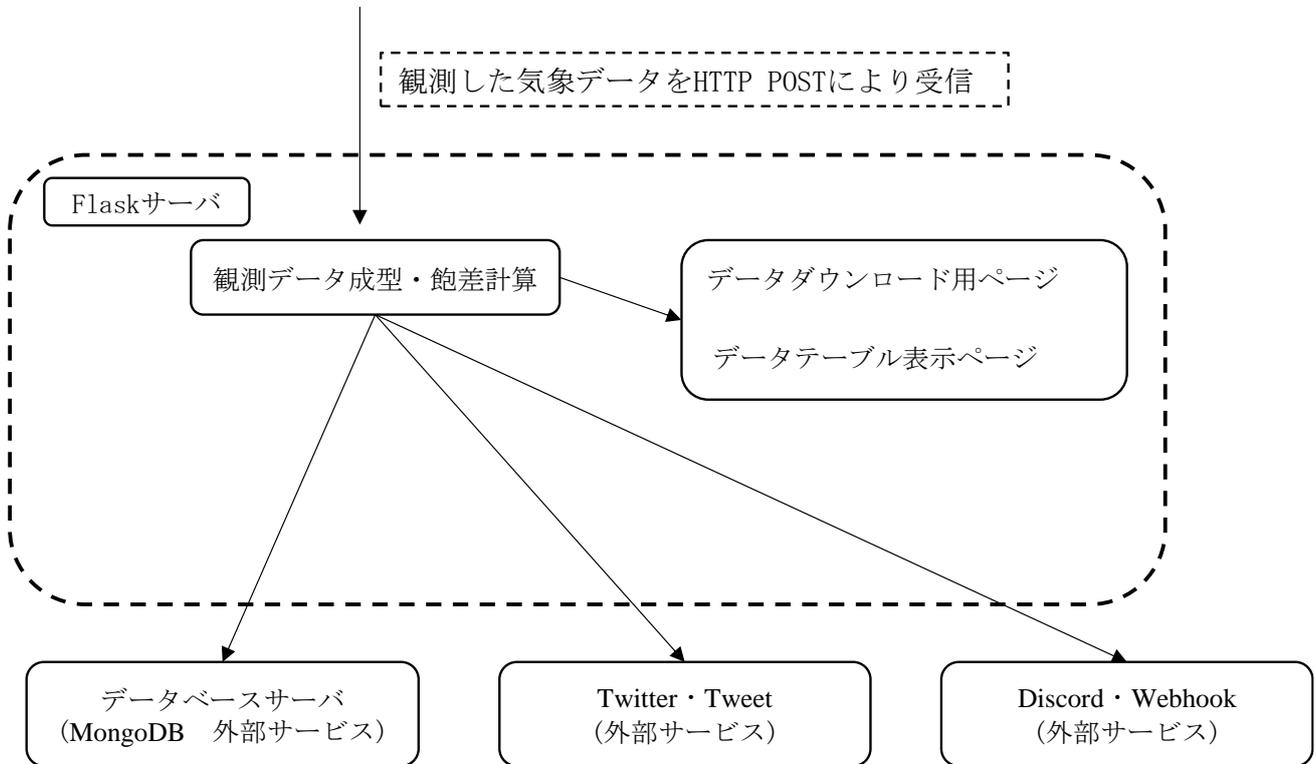


図 7 Web サーバにおけるデータの流れ

6.4 外部サービスへのデータ送信

本システムは外部サービスの「MongoDB」、「Twitter」、「Discord」を利用してデータベースへの観測データの保存や利用者への現在の観測データのお知らせを行っている。それぞれのサーバに送信しているパケットやデータは図 8 にまとめた。

「MongoDB」とは代表的な NoSQL データベース・ドキュメント指向型データベースである。「MongoDB」へのデータの送信は MongoDB 用の Python ディストリビューションである「PyMongo」を使用している。

「Twitter」は代表的なソーシャル・ネットワーキング・サービス(SNS)の一つである。簡単にツイートの送信が可能であり、Python を用いたツイートも API が用意されているため比較的容易である。それらのことから、利用者への観測データのお知らせに Twitter を選んだ。Twitter へのツイートは TwitterAPI、Standard v1.1 の中の一つである「POST statuses/update」用のエンドポイント(URL)を利用した。ヘッダーには用意した authorization(ベアラートークン)、ツイートをを行うアカウントの auth_token、CT0(アカウン

ログイン時の cookie の一つ)を cookie としてセットしそれらを HTTP POST メソッドを使い TwitterAPI サーバに送信してツイートシステムの実現を行った。

「Discord」はインスタントメッセージ・ビデオ通話・音声通話を行える SNS の一種である。「Discord」でのメッセージの送信も Webhook という機能を利用すると簡単にメッセージ送信が可能であることから利用した。Discord 内のメッセージを送信したいチャンネルにて WebhookURL を発行しその URL に対して HTTP POST メソッドでパケット送信する。パケットには観測データの内容を入れて送信する。

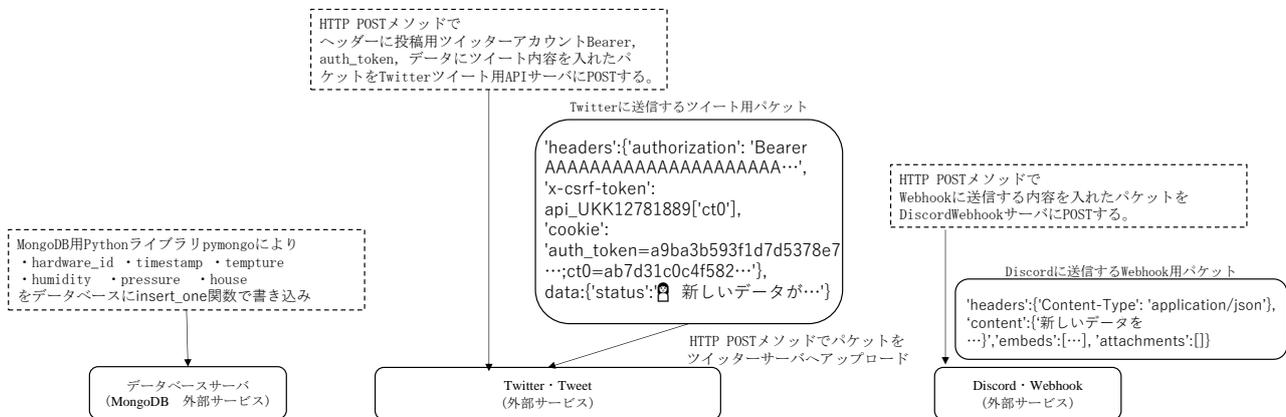


図 8 Web サーバから外部サービスへのデータの流れ

7. 観測方法

7.1 観測場所・協力機関

観測は、香川県立農業大学のイチゴハウス内にて行った。図 9 および図 10 に観測中の機器の様子とハウス内の様子を示す。また、同ハウス内では、香川県が主導する「ICT を活用した農業生産技術 高位平準化支援システムの構築」事業において開発された「さぬきファーマーズステーション（以下、SFS と呼ぶ）」が導入されている。SFS は、温度、湿度、CO₂濃度を観測しており、今回はこのデータを統合した解析も行う。



図9 観測中の機器の様子



図10 ハウス内の様子

7.2 方法

本システムは、センサを搭載した本体を観測場所に設置し電源を接続すると、電源が供給される間、自動で観測を続け、観測データを Web 上にアップロードする。観測結果は以下の URL より取得、閲覧することができる。

観測データ：<https://ukk-rakuchinapi.up.railway.app/>

7.3 観測期間

10月19日の設置以降、観測を継続している。

8. 観測結果

観測開始日の10月19日より、観測は絶えず続けられており、Webページのデータ更新も続いている。ここでは、11月8日までのデータについて示す。

図11～14に5日ごとに分割した観測データを示す。

図11は10月19日～23日までの観測結果である。グラフの左側の縦軸が気温、湿度、飽差の値を示しており、右側の縦軸は気圧を示している。また、青の平滑線でプロットされたグラフが気温を、橙の平滑線でプロットされたグラフが湿度を、黄の平滑線でプロットされたグラフが飽差を、灰色の平滑線でプロットされたグラフが気圧をそれぞれ示している。横軸の日付はその日付における午前0時の点を示している。ただし、この期間に雨天は一度もない。

図11より、気温、湿度、飽差のグラフは、1日を1周期とした周期的なグラフになっていることが分かる。気温は、日付が変わるころに最も低くなり、その後正午過ぎに最も高くなり、夜にかけて低くなっていることが分かる。湿度は、日付が変わるころに最も高くなり、その後、正午にかけて気温が上昇するにしたがって低下していき、昼過ぎに最も低い値を推移した後、夜にかけて上昇していき、気温の変化とは対照的な推移をしている。飽差は、気温と同様の変化をしており、気温が上昇すると飽差も高くなり、気温が低下すると飽差も低くなっていることが分かる。飽差の値は、最も低いときには3~4 [g/m³]程度まで低下し、日中には30 [g/m³]を超え、高いときは40 [g/m³]まで上昇している。

気温、湿度、飽差の各パラメータについて、以上のようなグラフの特徴が見て取れる。これより、またグラフの概形から分かる通り、飽差は気温と湿度の変化に従って変化しており、気温が高くなる日中には高く推移し、気温が低くなる夜間には低く推移することが分かる。また、朝方や夕方の気温、湿度が急激に変化する時間帯には、これに伴って飽差も急激に変化していることが分かる。

気圧の変化については、そもそも気圧の変化量が小さく、この5日間でみても、最も高いときでおよそ1020 [hPa]、最も低いときはおよそ1003 [hPa]と、約17 [hPa]程度であり、他のパラメータのように周期的な変化も見られない。気圧と飽差の変化を比べても、あまり相関は見られず、気圧は飽差に大きな影響を与えていないと考えられる。

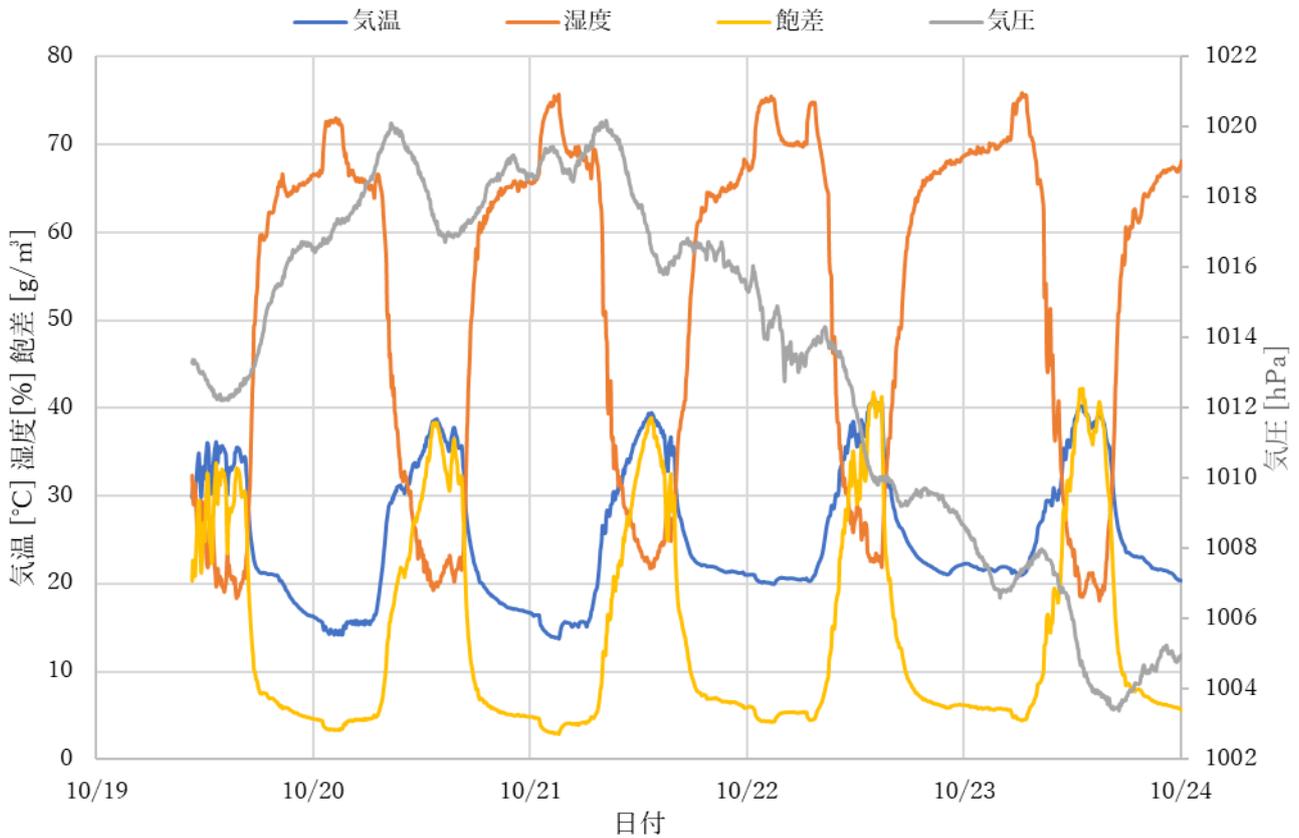


図 11 10月19日から10月23日までの観測結果

図 12 は 10 月 24 日～29 日までの観測結果である。各軸、各グラフの示す値については図 11 と同様である。また、この期間についても、雨天は一度もない。

図 12 より、気温、湿度、飽差については、図 11 と同様に周期的な変化を見せており、その特徴についても類似している。また、気圧についても、それほど大きな変化はとっておらず、また周期的な変化を見せていないという点で図 11 と同様である。

図 12 のグラフの特徴として、図 11 では、日中に湿度が低くなると、必ず飽差のグラフと交差していた。そのため、気圧、湿度、飽差の三つのパラメータにおいては、1 日に一度は必ず湿度のグラフが最も低くなる時間帯があった。これに対し、図 12 では、10 月 25 日や 10 月 27 日には湿度が飽差を下回っておらず、他の日とは異なる特徴を見せている。この 2 日のグラフより、湿度の減少幅が小さいと飽差の増加幅が小さくなるということが読み取れる。これは、飽差を求める式より、飽差の算出に湿度が関わっているため当然の結果ではあるが、改めて比べると特に日中の湿度と飽差が激しく変化する時間帯はグラフの概形がとても似ており、湿度が上がると飽差が下がり、湿度が下がると飽差が上がるという関係がとても現れている。一方で、夜間の変化は湿度の変化量に対して飽差の変化量は小さく、むしろ飽差は気温のグラフとより相関していることが読み取れる。

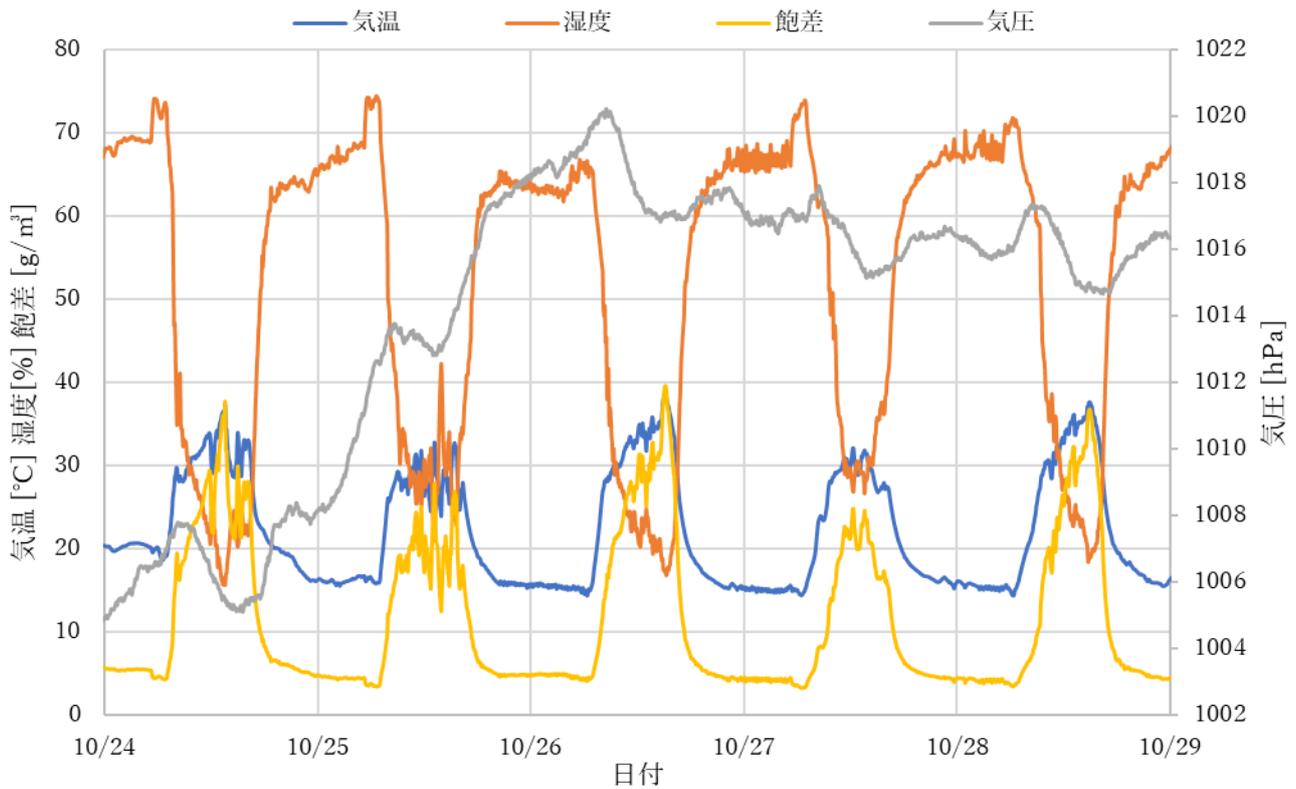


図 12 10月24日から10月28日までの観測結果

図 13 は 10 月 30 日～11 月 2 日までの観測結果である。各軸、各グラフの示す値については図 11 および図 12 と同様である。また、この期間、11 月 1 日の日中に降雨を観測している。

図 13 において、やはり特徴的なのは、雨を観測した 11 月 1 日の日中のデータである。これまで、図 11、図 12 で確認できた気温、湿度、飽差の周期性が途絶えており、日中であっても湿度は高いままで、気温、飽差も低い値を推移している。これより、雨が降ると湿度が下がらず、また気温も上昇しないため、飽差が低く保たれることが分かる。

図 14 は 11 月 3 日から 11 月 8 日までの観測結果である。各軸、各グラフの示す値については図 11、図 12 および図 13 と同様である。また、この期間に雨天は一度もない。

図 14 より、気温、湿度、飽差は図 11、図 12 と同様に周期的に変化しており、およその概形はほとんど同じであるといえる。図 14 は他のデータに比べて湿度が低くなってきているが、飽差の最低値にはそれほど変化が見られず、飽差が小さいときは湿度がそれほど影響しないことが考えられる。

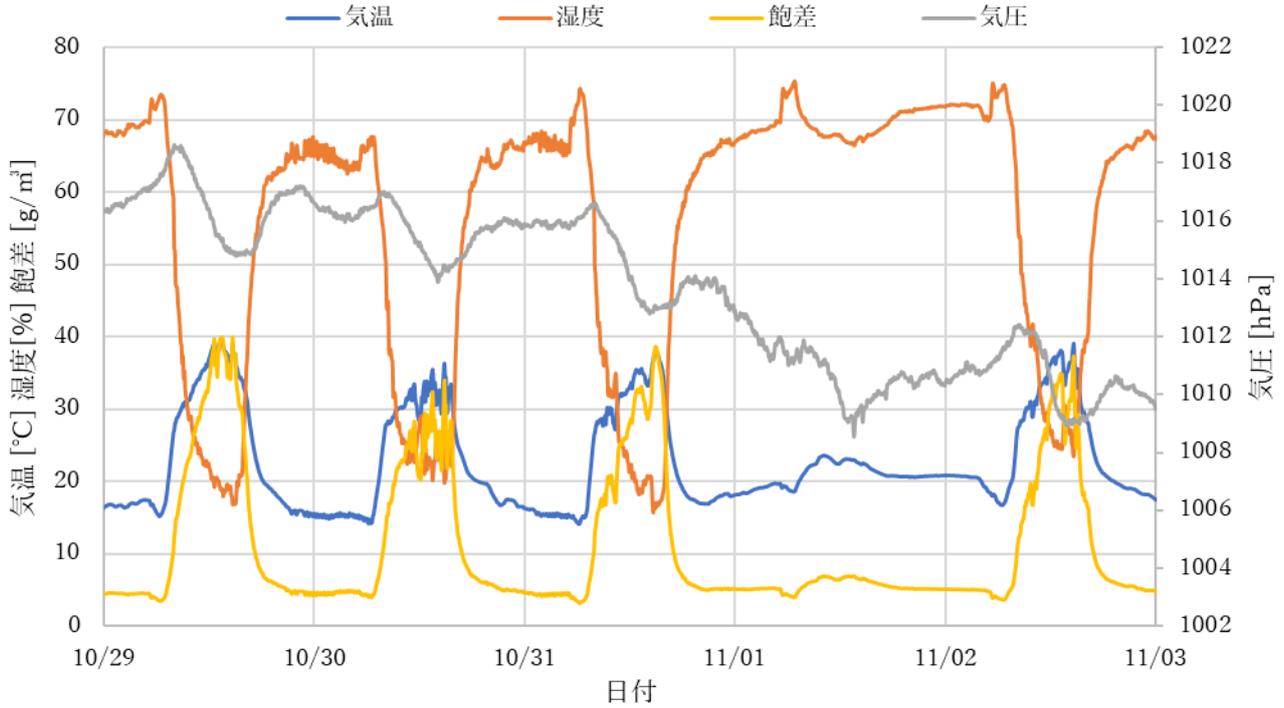


図 13 10月29日から11月2日までの観測結果

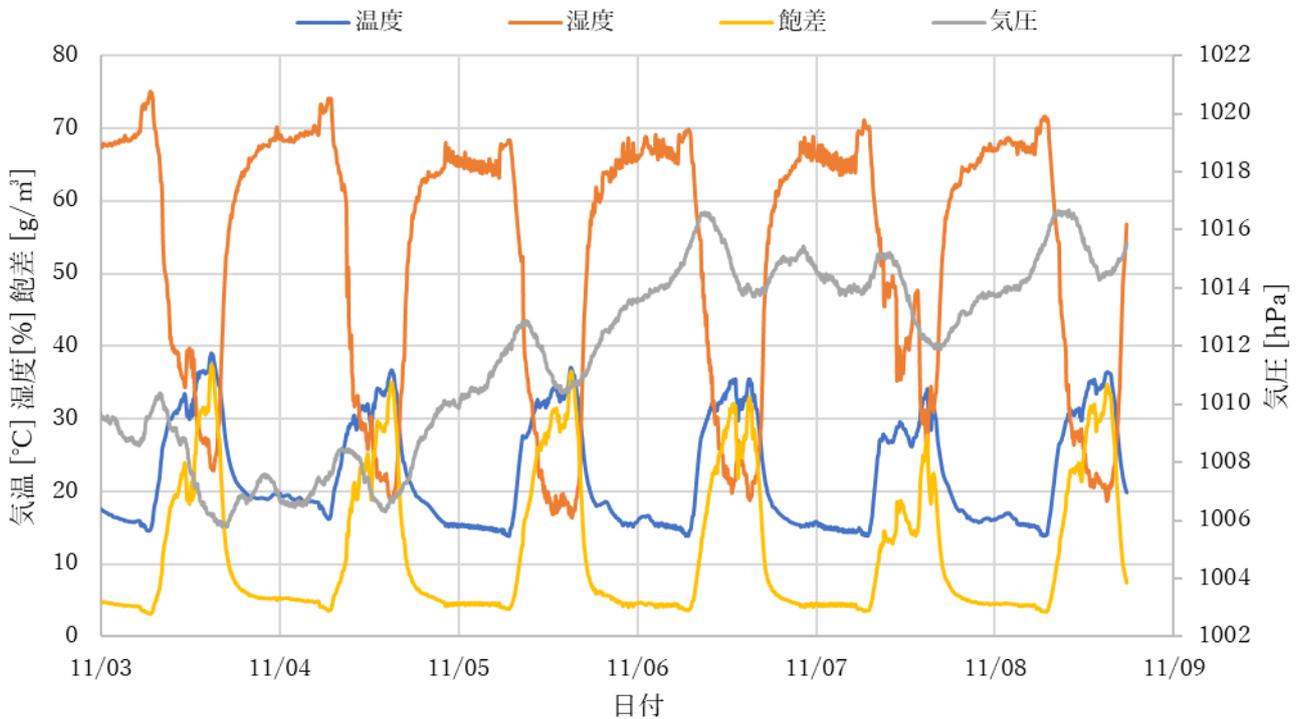


図 14 11月3日から11月8日までの観測結果

以上より、観測結果から分かったことを以下にまとめる。

- ・飽差には温度、湿度が大きく影響しており、気圧はそれほど影響しない

- ・湿度が高く、気温が低いときは飽差が低く、特に気温との相関が高い。
- ・湿度が低く、気温が高いときは飽差が高く、特に湿度との相関が高い。

9. 考察

9.1 SFS との統合データ解析

図 15 に 10 月 30 日～11 月 7 日までの期間について、SFS と本システムの観測結果を統合したグラフを示す。

グラフの左側の縦軸が気温、湿度、飽差の値を示しており、右側の縦軸は二酸化炭素濃度を示している。また、赤の平滑線でプロットされたグラフが気温を、青の平滑線でプロットされたグラフが湿度を、灰色の平滑線でプロットされたグラフが飽差を、黄色の平滑線でプロットされたグラフが二酸化炭素濃度をそれぞれ示している。各データについては、気温および二酸化炭素濃度のデータについては SFS のものを用いており、SFS の観測周期に合わせ 15 分刻みのデータに統一している。横軸の日付はその日付における午前 0 時の点を示している。また、ハウス内の換気扇稼働時刻を緑のマーカでプロットしている。この期間、11 月 1 日の日中に降雨を観測している。

図 15 より、二酸化炭素濃度とその他のパラメータの関係に注目すると、グラフの外形について、湿度との相関が読み取れる。湿度の周期的な変化にはこれまで言及しなかった特徴として、およそ 4 時から 6 時程度の明け方に突然上昇し、多くの場合においてその日の最大値をとるという特徴があった。この特徴について、二酸化炭素濃度のグラフの変化を照らし合わせてみると、二酸化炭素濃度もこの時間帯に急激に上昇していることがわかる。また、グラフより、二酸化炭素濃度が一日に変化する幅はおよそ 600~1000 [ppm] 程度であるのに対し、明け方の 2 時間程度の中に 1 日の変化量の半分からそれ以上にあたる 400~800 [ppm] も上昇している。さらに、急激な上昇の後には上昇幅以上の急激な減少をしており、この時間帯が二酸化炭素濃度の最も変化しやすい時間帯であることがわかる。以上より、湿度と二酸化炭素濃度の間には相互に影響しあっていることが考えられる。

雨の日を除いて、換気扇稼働前後の飽差と二酸化炭素濃度のグラフの変化を見ると、換気扇稼働後の二酸化炭素濃度は一定に保たれ、飽差は上昇することがわかる。これは、日中は農作物が光合成によって二酸化炭素を消費し、蒸散によって水分を放出することで、ハウス内の環境が外気に比べ二酸化炭素濃度は低く、湿度は高い状態になるためであると考えられる。この状態で換気扇を稼働すると、湿度の高い外気と二酸化炭素が取り込まれるため、二酸化炭素濃度は一定に保たれ、湿度の上昇により飽差が上昇すると考えられる。

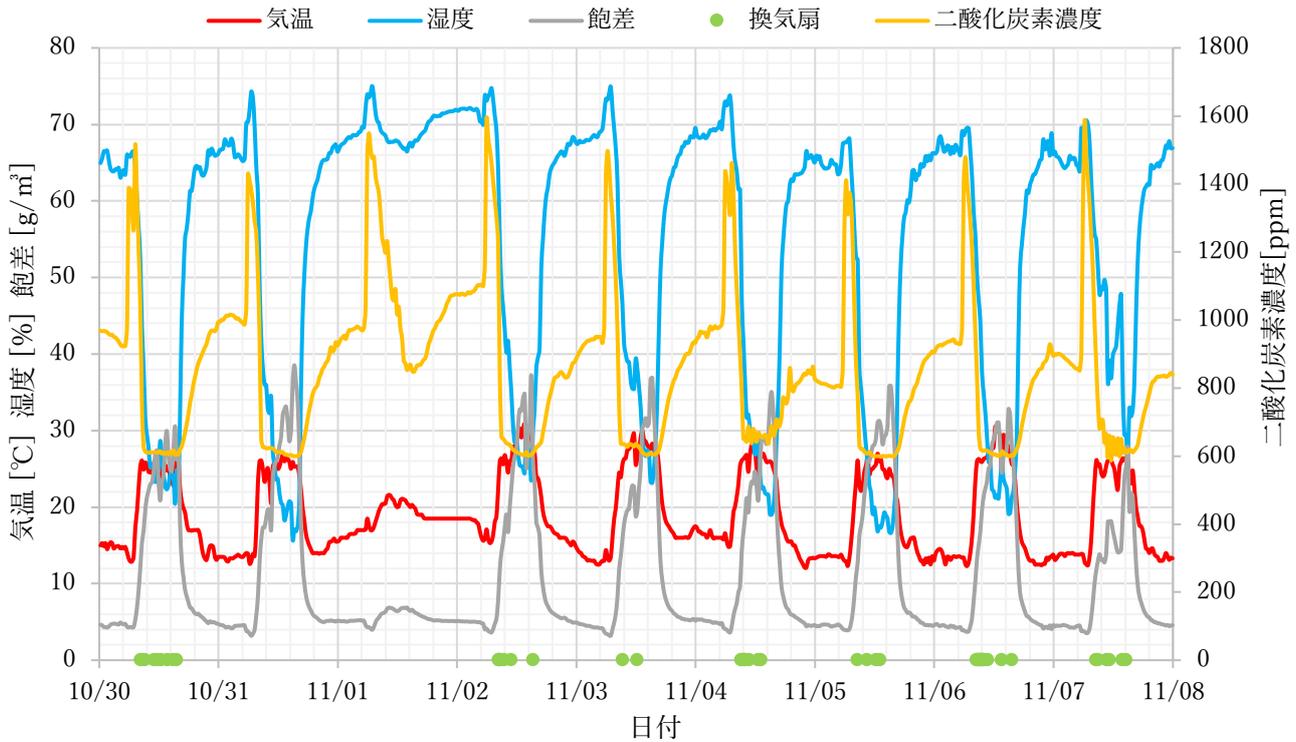


図 15 農業大学のハウスにおける各パラメータの変化

9.2 今後の展望

今回作成したシステムによって、気温、湿度、飽差の点においてハウス内の環境の可視化が実現した。これにより、農作物の状態について経験を問わず把握することが可能になり、農業への新規参入者の一助となる成果が得られたと考えられる。

今後について、よりスマート農業を実現するシステムに拡張できるような機能として、観測データに基づいたハウス内の換気扇の自動稼働が考えられる。前節で、換気扇の稼働によってハウス内の二酸化炭素濃度が一定に保たれ、飽差が上昇することが分かった。つまり、換気扇の稼働によって、農作物の光合成に必要な二酸化炭素濃度を保つことができるということである。一方で、飽差が上昇することは農作物の生育に影響を与える。これは、飽差が高いと農作物の気孔が閉じ、蒸散の効率が低下するためである。一般に、イチゴの生育に適した飽差の値は3~6 [g/m³]であり、飽差を低く保つ工夫が必要になる。よって、本システムの観測データを基に換気扇の稼働を自動化することができれば、二酸化炭素濃度と飽差を適切に管理し、農作物の生育がより効率的にすることができる。そのためには二酸化炭素濃度を観測するセンサを搭載した上でより多くの観測データを収集する必要があり、また、季節ごとの各パラメータの変化について詳細に解析する必要がある。このような機能拡張が実現すれば、今回の開発の目的であるスマート農業の実現が可能になる。

参考文献

参考文献を以下に示す。

- ・ AE-BME280 取扱説明書

https://akizukidenshi.com/download/ds/akizuki/AE-BME280_manu_v1.1.pdf

- ・ 飽和水蒸気量を『計算』で求める方法を分かりやすく解説！

<https://detail-infomation.com/the-amount-of-water-vapor/>

- ・ 飽差の計算は飽差表を使って簡単に！ 飽差管理方法【環境制御入門】

[https://shisetsuengei.com/news-column/yield-quality-up/yield-quality-up-](https://shisetsuengei.com/news-column/yield-quality-up/yield-quality-up-016/)

[016/](https://shisetsuengei.com/news-column/yield-quality-up/yield-quality-up-016/) <https://minorasu.basf.co.jp/80240> <https://tanijiten.com/humidity-exchange-562#i-9>