最優秀賞

賞金 20 万円

ひやけ果 ORANGE（オランジェ）

鳥羽商船高等専門学校

ひやけ果ORANGE（おらんジェ）

報告書

令和元年 11 月

鳥羽商船高等専門学校
制御情報工学科

5 年　岡本　真平
4 年　川添　大和
4 年　里中　海玲
4 年　村田　雄斗

要旨

近年、異常高温や豪雨による農作物の生育障害や品質低下が、産地の生産基盤を揺るがしかねない状況になっています。特にみかんにおいては夏季の過度な日照と高温により日焼け果が増加傾向にあります。日焼け果は商品として出荷できず、就農者の収入に大きく影響を与えるため、その対策の重要性が年々高まっています。また、本地域は、紀伊半島先端部に位置し、熊野灘に面した海岸地域と北山川に接した山間地域で、地理的条件の不利性から過疎化、高齢化が著しく担い手不足や地域衰退が問題になっています。「ひやけ果 ORANGE」は KOSEN ウェザーステーションにより気温、湿度、風向、風速、日射量、雨量、土壌水分量を継続的に自動測定し、局地気象データに応じてマイクロスプリンクラーの制御を行うことで樹体表面の温度を下げ、みかんの日焼けを防止するシステムです。

本システムを 9 月 11 日に三重県南牟婁郡御浜町志原のみかん農園に設置し実証実験を行いました。また、収穫したみかんの日焼け果発生率と樹体温度の関係性を調べました。実証実験では気象データに応じてマイクロスプリンクラーが作動し、熱画像カメラによって樹体表面温度が 5～7℃低下することを確認しました。また、日焼け果発生率と樹体温度の関係性は、外気温と木部の温度差が大きいほど日焼け果の発生率が高くなることが分かりました。日焼け果発生を軽減できることで、就農者の収入が増加し、新規就農者も増え、地域の活性化につながると考えられます。

目次

1　背景・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1

2　目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・2

3　システム

3.1 概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3

3.2 使用機器概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4

■ 制御 BOX・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4

➢ 産業用 Raspberry Pi・・・・・・・・・・・・・・・・・5

➢ リレーモジュール・・・・・・・・・・・・・・・・・・・6

➢ 電磁弁・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・7

➢ モバイルルータ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・8

■ KOSEN ウェザーステーション・・・・・・・・・・・・・10

➢ センサ部・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・12

➢ ゲートウェイ部・・・・・・・・・・・・・・・・・・・14

➢ 独立電源・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・16

➢ 土壌水分センサ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・17

■ マイクロスプリンクラー・・・・・・・・・・・・・・・18

■ 熱画像カメラ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・19

■ おんどとり・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・22

3.3 開発環境と動作要件・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・23

3.3.1 開発環境・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・23

3.3.2 動作要件・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・23

4　実験

4.1 実験 1

4.1.1 概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・24

4.1.2 方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・24

4.1.3 結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・27

4.1.4 考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・29

4.2 実験 2

4.2.1 概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・31

4.2.2 方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・31

4.2.3 結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・33

4.2.4 考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・33

4.3 実験 3

4.3.1 概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・34

4.3.2 方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・34

4.3.3 結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・36

4.3.4 考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・37

5 まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・39

6 今後の展望・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・40

7 感想・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・41

8 参考文献・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・46

1.　背景

本地域は、紀伊半島先端部に位置し、大別して熊野灘に面した海岸地域と北山川に接した山間地域に分けられます。地域の 83%が森林で、耕地は 4.5%しかなく、地理的条件の不利性から過疎化・高齢化が著しい中山間地域です。熊野灘沿岸の温暖な気候を活かしたみかん農業が基幹産業となっており、栽培面積は835ha で県内一の産地規模を有し、温州みかん、カラ、セミノール、サマーフレッシュなどの他産地と差別化できる品種での周年供給産地づくりに取り組んでいます。特に極早生温州では、全国をリードする産地となっており、「みえ紀南 1 号（みえの一番星）」などの新品種の普及増産、マルチ・ドリップ栽培を推進し、高品質果実の安定生産、安定供給に取り組んでいます。

平成 17 年度には県から「三重ブランド」の認定を受け、安全・安心、品質重視の消費者から支持される産地づくりを目指しています。また、平成 23 年からは、新たな販路として輸出への取組を開始し、タイ王国や香港・台湾等の海外を販路とした攻めの生産流通姿勢を持続しています。しかし、近年、他の産地と同様、異常高温や豪雨による農作物の生育障害や品質低下が、産地の生産基盤を揺るがしかねない状況になっており、みかんでは夏の過度の日照と高温による日焼け果や秋季の降雨による浮皮果の発生が増加し、その対策が喫緊の課題となっています。

2.　目的

みかんの日焼け果を減少させ生産品質の向上と作業の省力化を目指すために「ひやけ果 ORANGE」は Raspberry Pi と KOSEN ウェザーステーションを用いてスプリンクラーを自動制御するシステムです。日焼け果はみかんの表面温度が約+15℃になり果実からの蒸散が激しくなり、みかん果頂部の果皮が乾燥状態になることで生じます。この日焼け果を防ぐために一般的には果実を葉陰になるようにすることや寒冷紗を用いて遮光する方法が用いられます。しかし熊野市の農園は地理的条件の不利性から過疎化・高齢化が著しい中山間地域であり手間と時間がかかるため不向きだと考えられます。

本実験では、「ひやけ果 ORANGE」を用いて、気温が 32℃以上、相対湿度 90%以下、日射量 200W/m^{2}になったとき、自動で 5 分間散水・停止を行い、みかんの高品質果実の安定生産と労力の削減を実現します。

3.　システム

3.1 概要

「ひやけ果 ORANGE」は農園に設置された潅水経路の電磁弁を制御するためのコントローラーを導入します。このコントローラーは指定した条件で潅水を実行や停止する制御を行います。また農園にモバイルルータを設置することでコントローラーやウェザーステーションをインターネットで接続することで遠隔で設定や確認を行うことができます。

実際の動作は以下の通りとなっています。スケジュール動作と気象条件動作は並行して動作し、気象条件動作が優先されます。

a.　スケジュールで動作させる場合
　①　スマートフォンから散水を行う時間を設定する。
　②　設定した時間になると電磁弁を開けスプリンクラーから散水を行う。
b.　気象条件で動作させる場合
　①　気象条件(今回は気温が 32 度以上、かつ夜間でないこと)を満たした場合に電磁弁を開けスプリンクラーから散水を行う。

「ひやけ果 ORANGE」のシステム概要を以下の図に示します(図 3.1.1)。

図 3.1.1 システム概要図

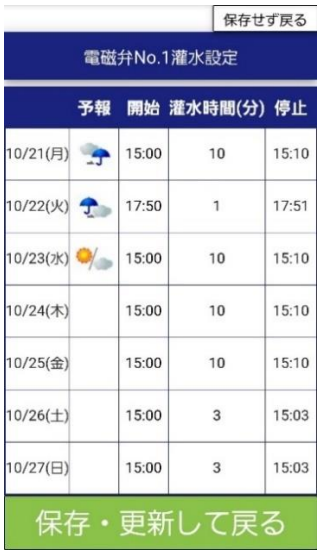
3.2 使用機器概要

■制御 BOX

スマートフォンからの命令を受信し、スケジュールの保存や農園に設置された電磁弁をスケジュールや気象条件に基づいて制御を行います。制御 BOX には産業用 Raspberry Pi、8 チャンネルのリレーモジュール 2 つ、モバイルルータが収納されています(図 3.2.1)。ラッチ式の電磁弁を制御する場合はリレーが 2 つ、NC 式の電磁弁の場合はリレーが 1 つ必要になるので最低でも 8 つまでの電磁弁が制御可能です。実際の農園では以下の場所に設置しています(図 3.2.2)。また、スケジュールで動作させる場合の設定画面を以下の図に示します(図 3.2.3)。

図 3.2.1 制御 BOX

図 3.2.2 制御 BOX 設置位置



保存せず戻る

電磁弁No.1灌水設定

	予報	開始	灌水時間(分)	停止
10/21(月)		15:00	10	15:10
10/22(火)		17:50	1	17:51
10/23(水)		15:00	10	15:10
10/24(木)		15:00	10	15:10
10/25(金)		15:00	10	15:10
10/26(土)		15:00	3	15:03
10/27(日)		15:00	3	15:03

保存・更新して戻る

図 3.2.3 スケジュールで動作させる際の設定画面

➢産業用 Raspberry Pi

産業用 Raspberry Pi(図 3.2.4)は OS のクラッシュや SD カードの破壊の元になる突然の電源断に対し、電源断から約 30 秒間動作可能であり、安全なシャットダウンを実行します。また、ピンヘッダへの 5V 安定供給や GPIO ポートのノイズ大幅軽減、ウォッチドッグタイマーの有効化、雷サージや静電気の耐性、熱暴走の対策ができており、野外での長期的運用に適しています。

図 3.2.4 産業用 Raspberry Pi

- ◆ メーカー：ビズライト・テクノロジー
- ◆ 型番：BH2
- ◆ OS：Raspbian 3.18 以上
- ◆ CPU：Raspberry Pi2 Model B 900MHz quad-core ARM Cortex-A7
- ◆ GPU：250MHz/Broadcom VideoCore IV
- ◆ メモリ：1GB
- ◆ 電源：AC 100V～240V、50/60Hz DC 7.5V 3A
- ◆ 動作保証温度：0℃～40℃(非結露)
- ◆ 動作保証湿度：10%～80%
- ◆ 外寸：高さ 32mm×幅 115mm×奥行き 115mm

➢ リレーモジュール

チャンネル数が 8 のリレーモジュール(図 3.2.5)を使用することによりブレッドボード等を使用せずに最大 16 個、最低でも 8 つの電磁弁を制御することを可能にします。また、価格も安価でありシステム全体の低コスト化にも貢献しています。

図 3.2.5 リレーモジュール

- ◆ 電源電圧：DC 3.75V～5.0V
- ◆ リレーの最大許容電圧/電流：AC 250V/10A DC 30V/10A
- ◆ チャンネル数：8
- ◆ 外寸：高さ 17.5mm×幅 138.45mm×奥行き 55.85mm

➢ 電磁弁

産業用 Raspberry Pi による制御に従いマイクロスプリンクラーの開閉を制御します。信頼性の高いラッチ式の電磁弁(図 3.2.6)であり、正の電圧をかけると開いて水を流し、負の電圧をかけると閉じて水の流れを止める動作をします。このようなラッチ式の電磁弁を使用することにより、状態が保持されるので長時間の通電が不要になり、NC 式の電磁弁を使用するよりも電力消費を抑えることができます。本システムでは、農園全体を 5 系統にわけて制御するため、5 つの電磁弁を制御します。

図 3.2.6 電磁弁

- ◆ メーカー：ネタフィム
- ◆ 流量：0.025～7.0 m3/h
- ◆ 動作圧：0.2～10 バール
- ◆ 周囲温度（最大）：60℃
- ◆ 液体温度（最大）：60℃
- ◆ プラスチック部品：強化ナイロン
- ◆ ダイアフラム：EPDM
- ◆ 配線：2×AWG 22(80cm)
- ◆ 電圧：DC 12V～18V
- ◆ VDC 最小パルス幅：80ms

➢モバイルルータ

農園内の装置をインターネットに接続します。インターネットに接続することにより、農園内の装置をスマートフォンやPCを使って遠隔で操作や確認をすることができるようになります。特注品ではなく、安価な普及品のモバイルルータ(図 3.2.7)を農業用途に使用することで、システム全体のコストダウンに貢献しています。実際の設置写真を図 3.2.8に示します。産業用Raspberry Piと熱画像カメラを有線LAN接続し、農園のWi-FiおよびVPNから熱画像カメラのWebサーバへアクセスを可能にすることで、現地でもリモートでも熱画像データにアクセスすることができます（図 3.2.9)。

図 3.2.7 モバイルルータ

図 3.2.8 設置写真

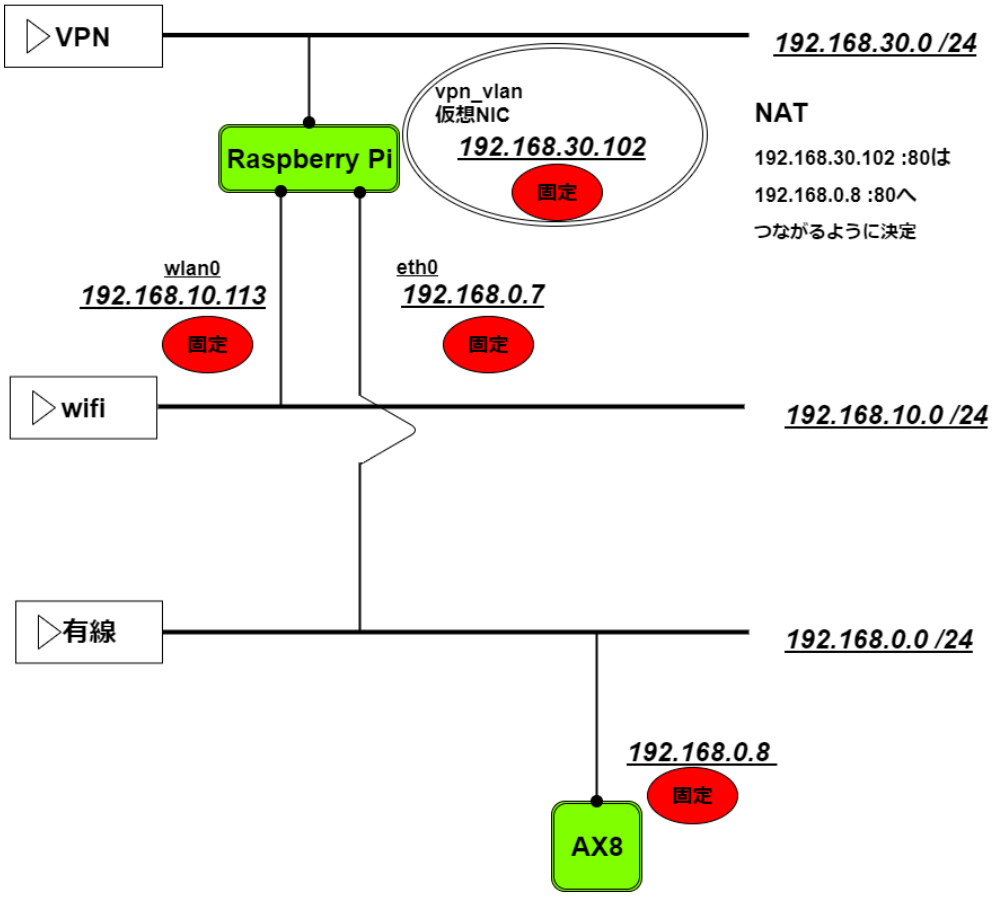


図 3.2.9 ネットワーク図

- ◆ 型番：FREETEL Wi-Fi ARIA2 FTJ162A-ARIA2-W
- ◆ 無線 LAN：IEEE 802.11 b/g/n(2.4GHz)
- ◆ 通信速度：下り最大 150Mbps/上り最大 50Mbps
- ◆ 同時最大接続数：10 台
- ◆ SIM スロット：標準 SIM×1
- ◆ 外寸：高さ 110.0mm×幅 66.0mm×奥行き 17.0mm

■KOSEN ウェザーステーション

低コスト、測定精度、高稼働率を実現している局地気象観測機器です(図 3.2.10、図 3.2.11)。KOSEN ウェザーステーションは気温、湿度、風向、風速、日射量、雨量を測定するセンサ部と測定データをサーバへアップロードするゲートウェイ部で構成されています。本システムでは土壌水分センサを追加し、土壌水分量も測定します。測定した気象データは Web 上で確認することができます(図 3.2.12)。農園では以下の場所に設置しています(図 3.2.13)。

図 3.2.10 KOSEN ウェザーステーション

図 3.2.11 ウェザーステーション内装

図 3.2.12 ウェザーステーションビューワー画像

図 3.2.13 ウェザーステーション設置位置

➢センサ部

気温、湿度、風向、風速、日射量、雨量を測定しゲートウェイ部へデータを送信します。センサ部は温湿度センサ(図 3.2.14)、独立電源＋日射計(図 3.2.15)、風速計(図 3.2.16)、風向計(図 3.2.17)、雨量計(図 3.2.18)で構成されています。

図 3.2.14 温湿度センサモジュール

- ◆ メーカー：Sensirion
- ◆ 型番：SHT-21
- ◆ 温度測定範囲：-40℃～60℃
- ◆ 温度分解能：±0.3℃
- ◆ 温度測定(送信)間隔：5 分(10 分)
- ◆ 湿度測定範囲：10%～99%
- ◆ 湿度分解能：1%
- ◆ 湿度測定(送信)間隔：5 分(10 分)

図 3.2.15 独立電源＋日射計

- ◆ メーカー：SUNYOOO solar
- ◆ 型番：SY-M2W
- ◆ 最大出力電力：2W
- ◆ 開放電圧：6.9V
- ◆ 短絡電流：0.39A
- ◆ 最大出力時電圧：5.9V
- ◆ 最大負荷時電流：0.34A
- ◆ 測定範囲：0～1100W/m2
- ◆ 分解能：10W/m2
- ◆ 測定(送信)間隔：5 分(10 分)
- ◆ 外寸：高さ 116mm×幅 116mm×奥行き 3 mm

図 3.2.16 風速計

- メーカー:Argent Data Systems
- 測定範囲：0～50m/s
- 分解能：1m/s
- 測定(送信)間隔：5 分(10 分)

図 3.2.17 風向計

- メーカー:Argent Data Systems
- 測定範囲：360 度
- 分解能：22.5°
- 測定(送信)間隔：5 分(10 分)

図 3.2.18 雨量計

- メーカー:Argent Data Systems
- 分解能：1mm
- 測定(送信)間隔：1 時間(1 時間)

➢ゲートウェイ部

センサ部からデータを受信し、3G 通信によってサーバにデータをアップロードします。ゲートウェイ部は Raspberry Pi(図 3.2.19)、3GUSB(図 3.2.20)で構成されています。常に稼働している必要があるため、消費電力の少ない Raspberry Pi Model A+を使用します。

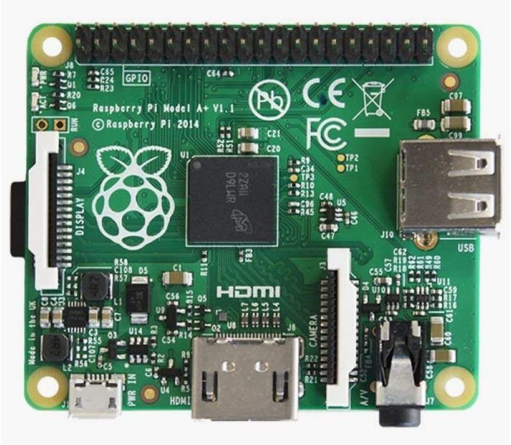


図 3.2.19 Raspberry Pi Model A+

- ◆ SoC：Broadcom BCM2835（CPU、GPU、DSP、SDRAM 内蔵）
- ◆ CPU：700 MHz/ARM1176JZF-S コア（ARM11 ファミリ）
- ◆ GPU：Broadcom VideoCore IV、OpenGL ES 2.0、1080p 30fps H.264/MPEG-4 AVC high-profile デコーダー
- ◆ メモリ(SDRAM)：256MB
- ◆ USB 2.0 ポート：1
- ◆ 映像出力：HDMI（ver1.3&1.4)、コンポジットビデオ（3.5mm4 極ジャック）
- ◆ ストレージ：microSD メモリーカードスロット（SDIO 対応）
- ◆ 低レベル周辺機器：27×GPIO、UART、I2C、SPI と 2 つのチップセレクト、+3.3V、 +5V、GND
- ◆ カメラコネクタ：15 ピン MIPI カメラシリアルインターフェース（CSI-2）コネクタ搭載
- ◆ ディスプレイコネクタ：Display Serial Interface（DSI）15 ピンフラットケーブルコネクタ
- ◆ 電源ソース：5V/USB Micro-B コネクタ または GPIO コネクタ
- ◆ 消費電力：0.7A（3.5W）
- ◆ 外寸：高さ 65mm×幅 56mm
- ◆ OS：Debian、Fedora、Arch Linux

図 3.2.20 3G USB ドングル

- 型番：AK-020
- 外寸：高さ 89mm×幅 27mm×奥行き 8.6mm
- 質量：約 18g
- 通信速度：下り最大 14.4Mbps/上り最大 5.76Mbps
- 対応バンド：BI(2100MHz)、BVI(800MHz)
- インターフェイス：USB2.0 Hi Speed
- 動作確認 OS：Windows10R、Windows8.1R、Windows8R、Windows7R、MacOS X10.8、10.9、Linux Ubuntu 12.04 LTS、14.04 LTS
- USIM カード：標準サイズ(Mini-SIM:2FF)

➢独立電源

太陽光が十分に当たる場所に設置することで KOSEN ウェザーステーションに安定して電力を供給することができます。独立電源は太陽電池(図 3.2.21)、鉛蓄電池(図 3.2.22)、チャージ回路で構成されています。

図 3.2.21 太陽電池

- メーカー：SUNYOOO solar
- 型番：SY-M30W-12
- 結晶構造：多結晶シリコン
- 開放電圧：21.8V
- 短絡電流：1.83A
- 最大出力電圧：17.4V
- 最大負荷電流：1.74A
- 最大出力：30W
- 外寸:高さ 455mm×幅 510mm×奥行き 30 mm

図 3.2.22 鉛蓄電池

- メーカー：Kung Long
- 型番：WP20-12IE
- 定格容量：12V 20Ah
- 充電電圧：14.4V～15.0V
- 最大充電電流：0.3CA
- 内部抵抗：10mΩ
- 重量：約 7kg
- 外寸:高さ 181mm×幅 167mm×奥行き 76 mm

➢ 土壌水分センサ

高品質なみかんを生産するには土壌水分の管理が重要です。そこで土壌水分センサ(図 3.2.23)を使用し、土壌水分の状態を把握することで、適切な潅水のタイミングを知ることができます。農園では以下の図の位置で計測します(図 3.2.24)。

図 3.2.23 土壌水分センサ

図 3.2.24 土壌水分センサ設置位置

- ◆ メーカー：アイネクス
- ◆ 型番：5TE
- ◆ 印加電圧：DC 3.6V～15V　待機時 0.3mA　測定時 10mA
- ◆ 出力：Seriesl TTL(3.6V レベル)、又は SDI-12
- ◆ 電圧印加時間：150ms
- ◆ 動作環境：-40℃～60℃
- ◆ ケーブル長さ：5m（延長可）
- ◆ 外寸：高さ 100mm×幅 35mm×奥行き 12mm
- ◆ コネクタ：3.5mm ステレオプラグ
- ◆ 測定範囲：風乾～飽和（誘電率 1～80）
- ◆ 測定容量：715ml
- ◆ 精度：誘電率 1～40±1（土壌レンジ)、誘電率 40～80±15%±3%VWC（10dS/m 以下の砂質土壌）キャリブレーション時±1～2%VWC
- ◆ 分解能：0.1（誘電率 1～20)、0.75 以下(誘電率 20～80)0.08%VWC(0～50%VWC)

■マイクロスプリンクラー

散水を行うことで日焼け果の発生を防止します。樹体表面の温度を下げることが目的であるため、細かい水滴で広範囲に散水できるマイクロスプリンクラー(図 3.2.25)を採用しました。木2本につきマイクロスプリンクラー1つの間隔で設置します(図 3.2.26、図 3.2.27)。

図 3.2.25 マイクロスプリンクラー

図 3.2.26 設置写真

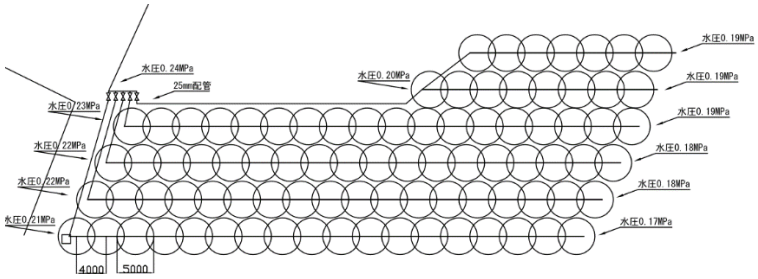


図 3.2.27 スプリンクラー配置図

- ◆ メーカー：株式会社サンホープ
- ◆ 型番：DN881A
- ◆ 散水量：2L/分
- ◆ 散水直径：5m
- ◆ ノズル径：1.5mm
- ◆ 使用圧力：0.2MPa

■熱画像カメラ

スプリンクラーの散水によって樹体表面の温度がどれくらい変化するのか確認します。使用した熱画像カメラ(図 3.2.28)はストリーミング機能によって、リアルタイムの熱画像を確認することができます(図 3.2.29)。農園では、広範囲を見渡せるように高木に括り付けるようにして設置します(図 3.2.30、図 3.2.31)。これを利用することにより、日焼け果の抑制に重要な気温の変化を視認できるようになります。

図 3.2.28 熱画像カメラ

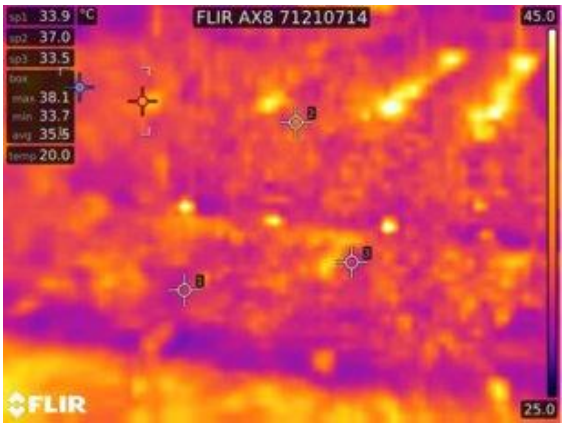


図 3.2.29 ビューワー画像

図 3.2.30 設置写真

図 3.2.31 熱画像カメラ設置位置

- ◆ メーカー：フリアーシステムズ
- ◆ 型番：FLIR AX8
- ◆ 精度：±2℃または±2%（+10～+100℃@ +10～+35amb）
- ◆ アラーム機能：選択された測定機能の自動警報。最大 5 つのアラームを設定可能。
- ◆ アラーム出力：デジタルアウト、店舗イメージ、ファイル送信（ftp)、電子メール（SMTP)、通知
- ◆ 検知器タイプ：焦点面アレイ(FPA)、非冷却マイクロボロメータ
- ◆ 赤外線解像度：80×60 ピクセル

- 対象物温度範囲：-10℃～+150℃
- 感度：イルミネータなしで最低 10Lux
- セットアップコマンド：日付/時刻、温度℃ /° F
- 温度分解能_NETD：< 0.10℃ @ +30℃ / 100 mK
- ウェブインターフェース：有り
- 自動画像補正：連続
- 内蔵デジタルカメラ：640×480
- 外寸：高さ 79mm×幅 54mm×奥行き 25mm
- カラーパレット：カラーパレット(BW、BW inv、アイアン、レイン)
- デジタルカメラ視野角：赤外線画像レンズに適応
- 視野角［FOV］：48° ×37°
- 焦点：固定
- 画像モード：サーマル、ビジュアル、スーパーファインコントラスト(MSX®)（ディテールプレゼンテーション強調の赤外線画像）
- 映像ストリーミング形式：Motion JPEG、MPEG、H.264
- 映像ストリーミング解像度：640×480
- スペクトル範囲：7.5μm～13μm
- 大気透過率補正：距離、大気温度および相対湿度の入力に基づき自動的に補正
- 衝突：25g（IEC 60068-2-29）
- 電磁両立性：EN 61000-6-2:2001（耐性）EN 61000-6-3:2001（放射）FCC 47 CFR Part15 ClassB（放射）
- 放射率補正：0.01～1.0 の変数
- 保護：IP67（IEC 60529）
- 湿度［動作時、保存時］：IEC 60068-2-30 / 24 時間　相対湿度 95% +25℃～+40℃/ 2 サイクル
- 使用温度範囲：0℃～+50℃
- 保存温度範囲：-40℃～+ 70℃ IEC 68-2-1 and IEC 68-2-2
- 振動：2 g(IEC 60068-2-6)
- イーサネット：コントロール、結果、画像
- イーサネットコネクタータイプ：M12 8 ピン X コード
- イーサネット電源：電源オーバーイーサネット、PoE IEEE 802.3af クラス 0.
- イーサネットプロトコル：イーサネット/IP、Modbus TCP、TCP、UDP、SNTP、RTSP、RTP、HTTP、ICMP、IGMP、sftp、SMTP、SMB（CIFS)、DHCP、MDNS（Bonjour）
- イーサネット規格：IEEE 802.3
- イーサネットタイプ：100Mbps
- イーサネットビデオストリーミング：有り

- ◆ 保存メディア：画像ストレージ用内蔵メモリ
- ◆ エリア：最大/最小/平均　6ボックス
- ◆ 外部光学機器およびウィンドウ補正：光学/Window送信および温度の入力に基づき自動修正
- ◆ 計測値補正：グローバルオブジェクトパラメータ
- ◆ 計測プリセット：有り
- ◆ 光伝送補正：内部センサからの信号に基づき自動補正
- ◆ 反射見かけ温度補正：反射温度の入力に基づき自動的に補正
- ◆ スポットメーター：6.0
- ◆ 外部電源コネクタータイプ：M12 8ピンAコード（デジタルＩ／Ｏと共有）
- ◆ 外部電源運転：DC 12V/24V、2W連続/3.1W絶対最大
- ◆ 許容電圧範囲：DC 10.8V～30V
- ◆ ファイルフォーマット：JPEG+FFF
- ◆ 画像保存モード：IR、ビジュアル、スーパーファインコントラスト(MSX®)

■おんどとり

樹皮表面と木部の温度を測定し、樹皮温度と外気温の差、それと樹体内外の温度差と日焼け果発生との関係性を調べるために使用します。おんどとり(図 3.2.32)は 1 機で 2 箇所の測定ができるため、樹皮表面と木部の温度を測定し得られたデータは Wi-Fi でクラウドに蓄積され、Web 上でいつでも確認できます。実際の農園には 4 機設置します(図 3.2.33、図 3.2.34)。

図 3.2.32 おんどとり

図 3.2.33 設置写真

図 3.2.34 おんどとり設置位置

- ◆ 型番：TR-71wb
- ◆ 測定対象：温度 2ch
- ◆ 測定範囲：-40～110℃
- ◆ 精度：平均±0.3℃
- ◆ 記録データ：8000×2ch
- ◆ 記録間隔：15 通り 1 秒～60 分
- ◆ 通信：無線 LAN、USB、Bluetooth 4.2 (Bluetooth Low Energy)
- ◆ 電源：単 3 アルカリ×2、AC アダプタ、USB バスパワー
- ◆ 本体動作環境温度： -10℃～60℃
- ◆ 湿度: 90%RH 以下 結露しないこと
- ◆ 外寸：高さ 58mm×幅 78mm×奥行き 26mm
- ◆ 防水性：なし
- ◆ 電池寿命：約 10 日～15 ヶ月

3.3 開発環境と動作要件

3.3.1　開発環境

● 産業用 Raspberry Pi の開発環境

産業用 Raspberry Pi の開発環境を以下の表に示します(表 3.3.1.1)。

表 3.3.1.1 産業用 Raspberry Pi の開発環境

使用言語	Python 3.4.2
開発環境	Atom
使用 OS	Raspbian8.0
使用ライブラリ	WebIOPi 0.7.1

3.3.2　動作要件

1. 制御 BOX の動作要件

制御 BOX 内の装置全てに給電する必要があり、100VDC のコンセントから延長コードを介して電源を取っています。また、モバイルルータで 4G の電波を使用するので、制御 BOX が正常に動作するためには以下の要件を満たす必要があります。

(1) 100VDC のコンセントがある場所であること
(2) 4G の電波が届く場所であること

2. ウェザーステーションの動作要件

ウェザーステーションは、常に動作しているセンサ、ゲートウェイ部に継続的に給電する必要があるため、太陽光パネルで充電し給電します。また 3G を利用して気象データの送信を行うので、ウェザーステーションが正常に動作するためには以下の要件を満たす必要があります。

(1) 太陽光が太陽光パネルに良く当たる位置であること
(2) 3G の電波が届く位置であること

4.　実験

4.1 実験 1

4.1.1　概要

この実験では「ひやけ果 ORANGE」を使用しみかんの樹体表面の温度変化をカメラで確認します。

4.1.2　方法

2019 年 8 月 9 日から 22 日にかけて三重県南牟婁郡御浜町志原のみかん農園に「ひやけ果 ORANGE」を設置し、9 月 11 日に動作させます。気温が 32℃を超えた時点から 5 分間マイクロスプリンクラーが動作するように設定します。ウェザーステーションから風量、日射量などの気象データをサーバ経由で転送し、そのデータを元にマイクロスプリンクラーが正常に動作しているか監視します。また熱画像カメラを使い樹体表面の温度変化を確認します。野外でのシステム運用のため防塵のプラスチックボックスに制御装置を収納します。以下これを制御ボックスとします。また利用者からのフィードバックを受けシステムの改善を行います。ウェザーステーションを図 4.1.2.1 に、熱画像カメラを図 4.1.2.2 に、制御ボックスの内装を図 4.1.2.3 に、マイクロスプリンクラーの設置風景を図 4.1.2.4 に、マイクロスプリンクラーの設置場所を図 4.1.2.5 に示します。

図 4.1.2.1 ウェザーステーション

図 4.1.2.2 熱画像カメラ

図 4.1.2.3 制御 BOX 内装

図 4.1.2.4 マイクロスプリンクラー設置の様子

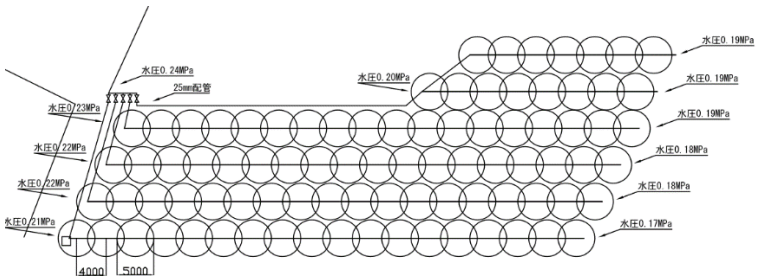


図 4.1.2.5 マイクロスプリンクラー設置場所

4.1.3　結果

熱画像カメラにより樹体表面温度を計測したところ、マイクロスプリンクラー動作後には 5～7℃低下させることができました。ウェザーステーションから送られてきたデータを元に気温が 32℃を超えた時点から 5 分間マイクロスプリンクラーが正常に作動することが確認できました。マイクロスプリンクラーの動作時を図 4.1.3.1 に、熱画像カメラの設置場所を図 4.1.3.2 に、5 分間散水後の樹体表面の温度変化の様子を図 4.1.3.3、図 4.1.3.4 に示します。

図 4.1.3.1 スプリンクラー動作時の様子

図 4.1.3.2 熱画像カメラの設置場所

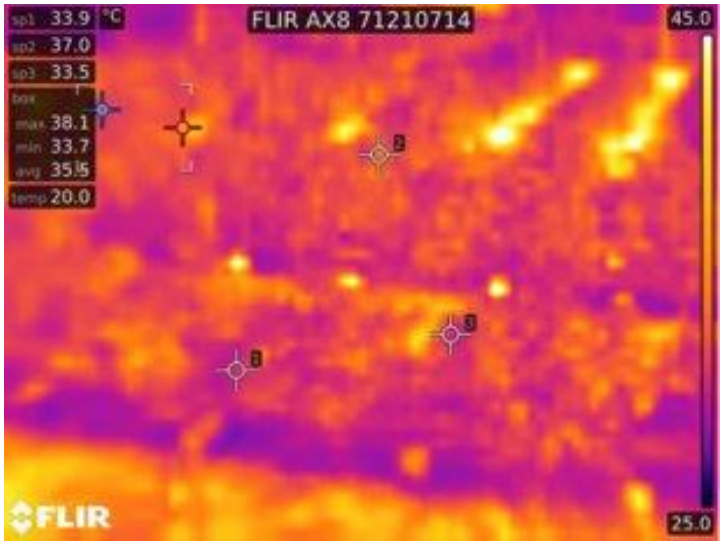


図 4.1.3.3 スプリンクラー動作前の樹体表面温度

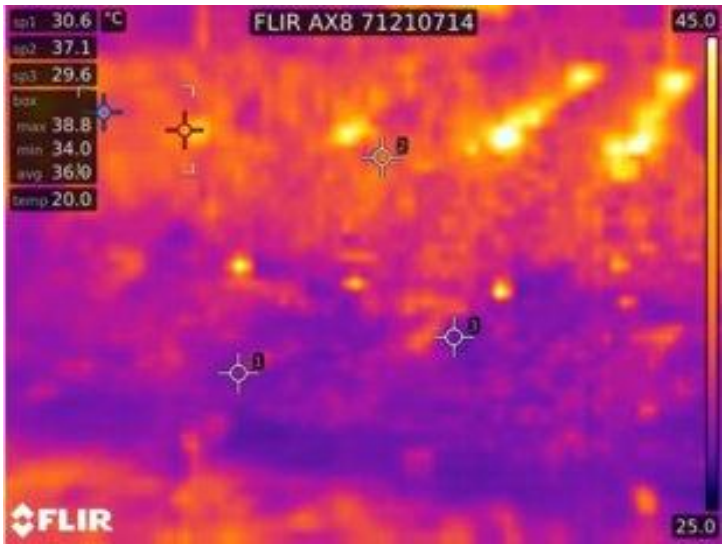


図 4.1.3.4 スプリンクラー動作後の樹体表面温度

4.1.4　考察

ウェザーステーションを用いて局地観測を行うことで詳細な気象データを得ることができ、適切な条件を満たし散水できました。よって、みかんが日焼けする前に樹体表面温度（みかん）を下げることが可能になり日焼け果を減らすことができます。それにより、日焼け果になり市場に出回らなくなってしまうみかんの量を減らすことができると考えられます。

タブレット端末（スマートフォン）からあらかじめ散水したい条件を設定しておくことや、手動で操作することも可能です。また、ログ通知機能を取り入れることで手元のスマートフォンからすぐに散水の確認ができ農園現地まで見に行く手間を省くことができます。

これまで、日焼けを防ぐには果実が葉陰になるようにしたり寒冷紗を設置したりするなど時間と手間がかかるため大農園には不向きだったが、それらを大幅に削減し大農園向きになることが見込めます。ウェザーステーションの設置場所を図 4.1.4.1 に、スプリンクラーを動作させる様子を図 4.1.4.2 に、ウェザーステーション設置の様子を図 4.1.4.3 に示します。

図 4.1.4.1 ウェザーステーション設置場所

図 4.1.4.2 タブレット端末から操作する様子

図 4.1.4.3 ウェザーステーション設置の様子

4.2 実験 2

4.2.1　概要

この実験ではおんどとりで測定する樹皮表面温度と外気温が同じ値か測定し、おんどとりの測定結果とウェザーステーションの測定結果を比較し確認します。

4.2.2　方法

2019 年 8 月 9 日に三重県南牟婁郡御浜町志原のみかん農園におんどとりとウェザーステーションを設置します。第 1 列から第 4 列の各列に 1 つずつ設置します。おんどとりの温度計の CH1 を木に直接設置し、樹皮表面温度を測定します。おんどとりで計測された数値は、Wi-Fi でクラウドに蓄積され、タブレット端末から確認することが可能です。ウェザーステーションも同様です。Web 上に蓄積されたデータをもとに 9 月 15 日 00：00 から 9 月 18 日 00：00 までの樹皮表面温度と外気温を比較します。おんどとりを図 4.2.2.1 に、機器の設置場所を図 4.2.2.2 に、おんどとりの管理画面を図 4.2.2.3 に示します。

図 4.2.2.1 おんどとり

図 4.2.2.2 機器の設置場所

図 4.2.2.3 おんどとりの管理画面

4.2.3　結果

ウェザーステーションで測定した外気温と第 1 列のおんどとりで測定した樹皮表面温度を比較したところおおよそ同一の結果が得られました。ウェザーステーションの外気温の測定結果を図 4.2.3.1 に、おんどとりの樹皮表面温度の測定結果を図 4.2.3.2 に示します。

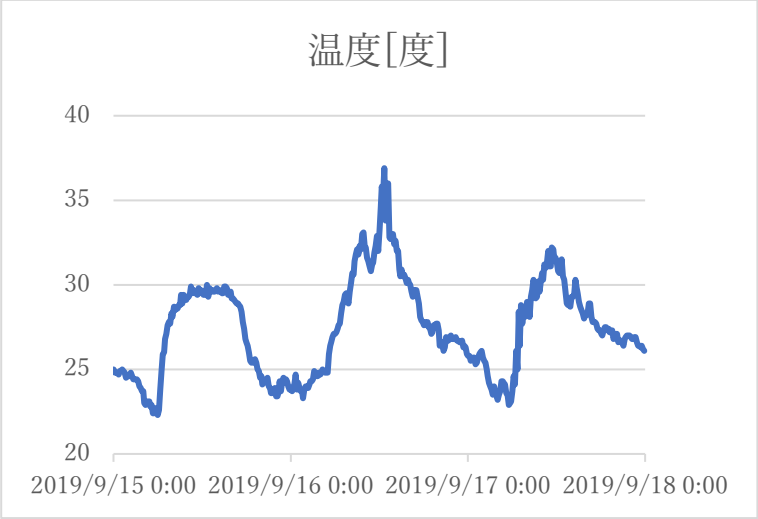


図 4.2.3.1 ウェザーステーションで観測した外気温

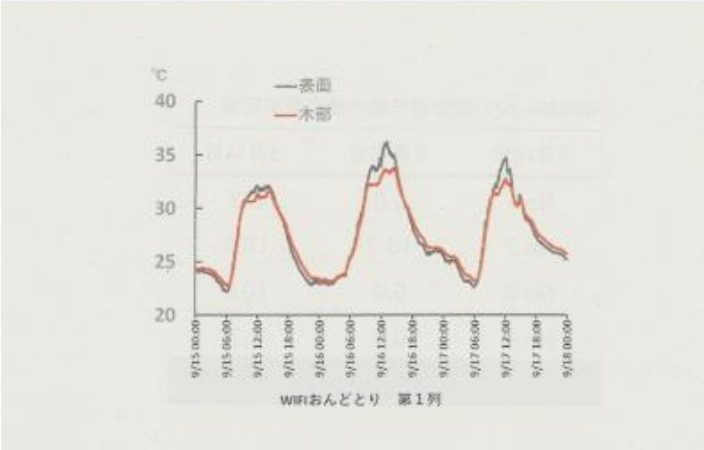


図 4.2.3.2 第 1 列のおんどとりの測定結果

4.2.4　考察

樹皮表面温度と外気温は、ほぼ同様な値となることが確認できました。そこで樹皮表面温度と外気温を同等とみなすことにより、外気温と樹皮内部の温度差から、日焼け発生果発生率を推定可能になると考えました。そこでこれらの相関関係を実験 3 で検証します。本実験結果をもとに実験 3 を行います。

4.3 実験 3

4.3.1　概要

この実験では外気温と木部の温度差と日焼け発生果発生率の相関関係を確かめます。2 日間の測定結果をもとに温度差と発生率の関係を表にして確認します。

4.3.2　方法

2019 年 8 月 9 日に三重県南牟婁郡御浜町志原のみかん農園の木におんどとりを設置し、目印としてリボンをつけます。第 1 列から第 4 列の各列に 1 つずつ設置します。おんどとりの温度計の CH1 を木に直接、CH2 を木に穴を開けて設置します。CH1 で樹皮表面温度、CH2 で木部の温度を計測します。実験 2 の結果より樹皮表面温度は外気温とみなします。おんどとりで計測された数値は、Wi-Fi でクラウドに蓄積されタブレット端末から確認することが可能できます。また、8 月 13 日と 9 月 14 日の日焼け果発生率を調査します。野外での計測のため防水可能な保存用ポリ袋におんどとりを収納します。おんどとりを図 4.3.2.1 に、おんどとりの設置場所を図 4.3.2.2 に、実証農園の概略図を図 4.3.2.3 に、おんどとりの管理画面を図 4.3.2.4 に示します。

図 4.3.2.1 おんどとり

図 4.3.2.2 おんどとりの設置場所

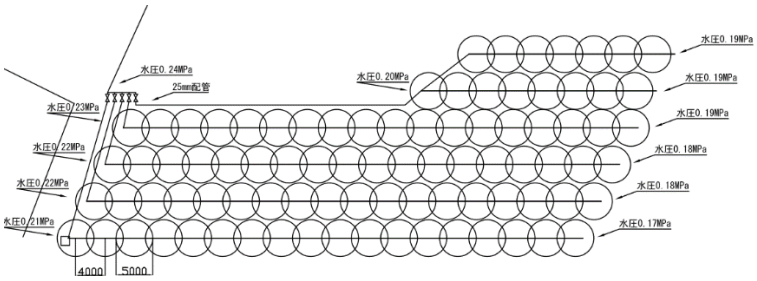


図 4.3.2.3 実証農園の概略図

図 4.3.2.4 おんどとりの管理画面

4.3.3　結果

おんどとりの測定結果を見てみると第 1 列や第 2 列に比べ第 3 列や第 4 列は外気温と木部の温度差が大幅であることが確認できました。各列のおんどとりの測定結果を図 4.3.3.1 に示します。

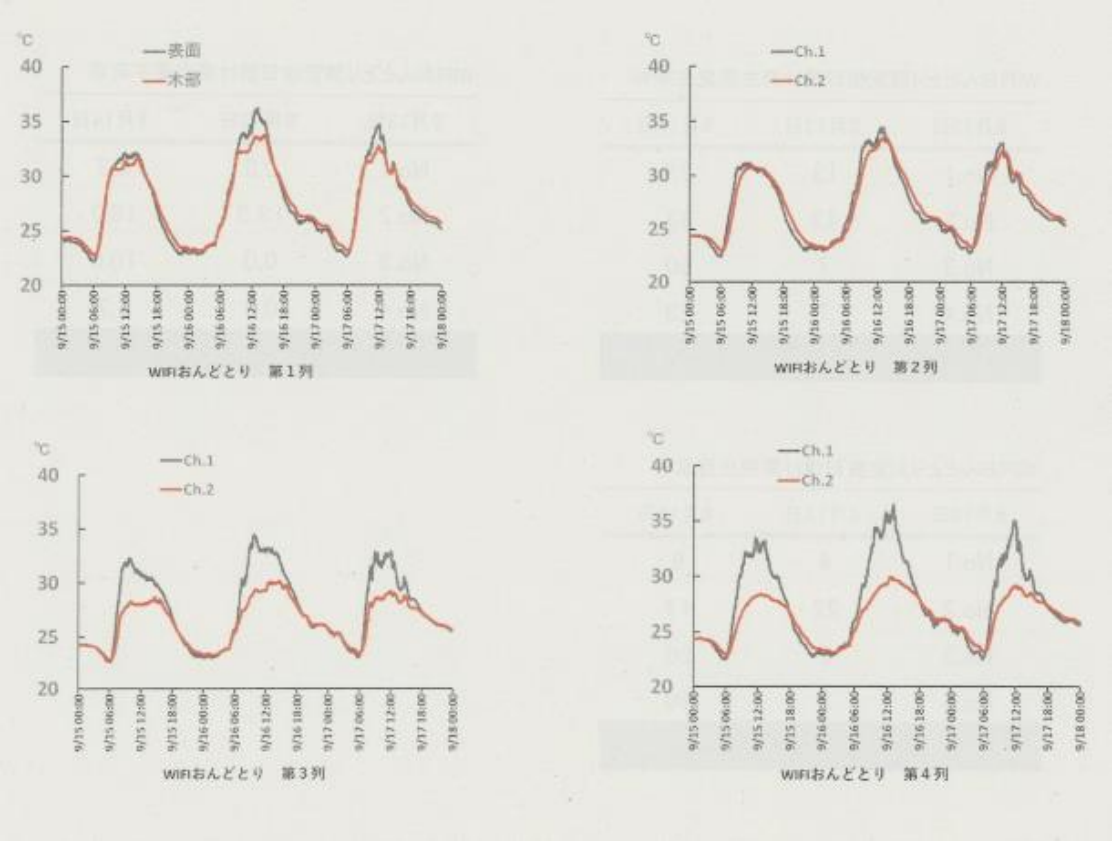


図 4.3.3.1 おんどとりの測定結果

4.3.4　考察

ウェザーステーションから一番近くにあるおんどとりの CH1（樹皮表面温度）の測定結果とウェザーステーションの外気温の測定結果を比較するとほぼ同様の結果が得られました。そのため、おんどとりの測定した樹皮表面温度を外気温とみなします。日焼け果は外気温と木部の温度差が大きいほど発生率が高くなっていると考えられます。これは、光合成が活発な果樹は蒸散量が大きくなることで、樹液の流れが早くなることが関係していると考えられます。つまり、日焼け果の発生には、果樹自体の元気さ（樹勢と呼ばれています）が影響していることを、本結果が示唆していると考えられます。

これらのことから、第 1 列や第 2 列に比べ外気温と木部の温度差が大きい第 3 列と第 4 列は日焼け発生果発生率が大幅に増加しており想定通りの結果が得られたと考えられます。しかし、第 2 列に限っては日焼け発生果発生率が減少するといった結果が得られています。これらのことから、今回の測定結果だけでは測定数が少なく、正確な結果が得られたとは判断できなません。図 4.3.4.1 にウェザーステーションの外気温の測定結果、図 4.3.4.2 に第 1 列のおんどとりの測定結果、図 4.3.4.3 にそれらの測定結果を重ねたものを示します。

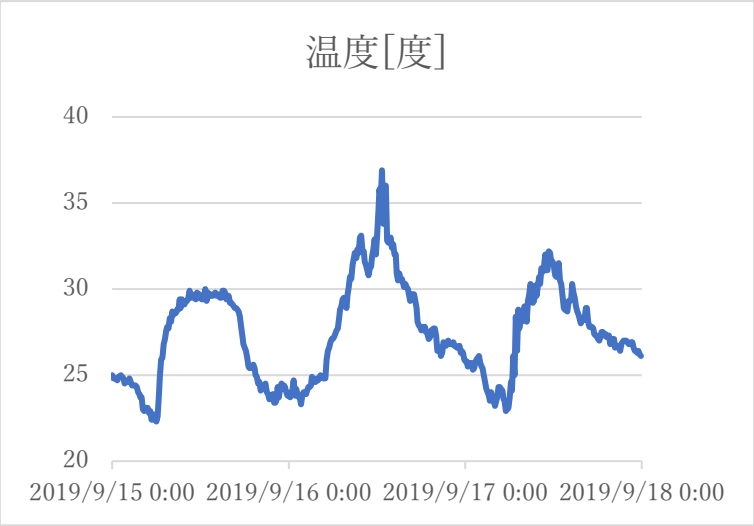


図 4.3.4.1 ウェザーステーションで観測した外気温

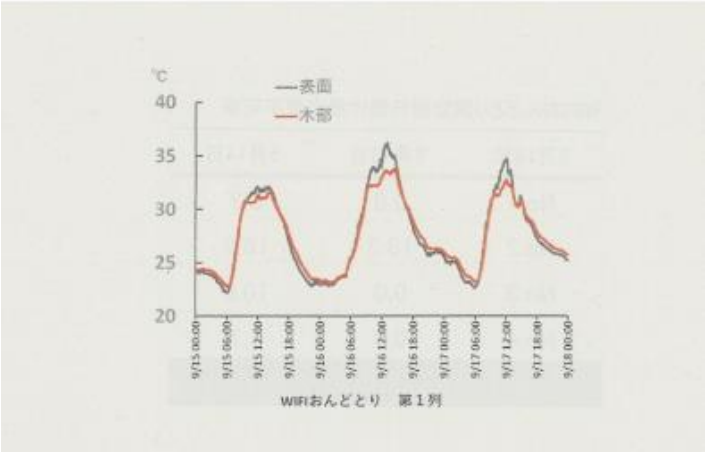


図 4.3.4.2 第１列のおんどとりの測定結果

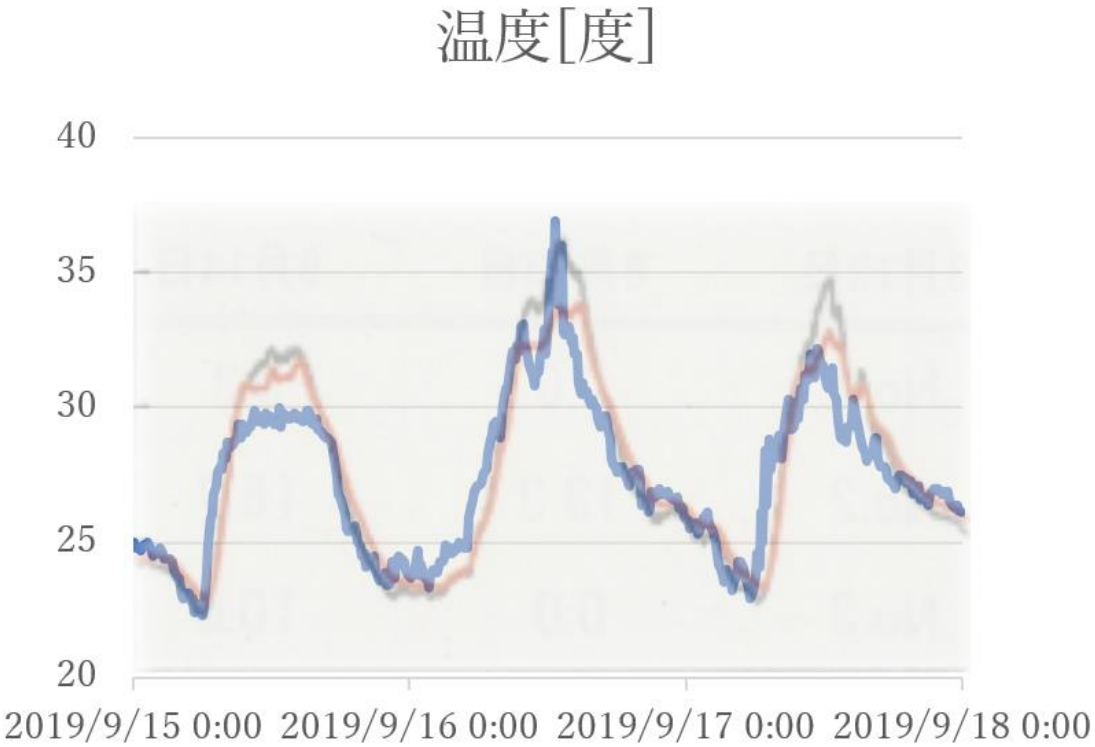


図 4.3.4.3 図 4.3.4.1 と図 4.3.4.2 を重ねたもの

5.　まとめ

以上の実験より、KOSEN ウェザーステーションで取得した気象データに応じてスプリンクラーを動作させることができ、熱画像カメラによって樹体表面の温度が下がっていることが確認できました。これにより、日焼け果発生の軽減につながるでしょう。また、日焼け果発生率と樹体温度のデータから外気温と木部の温度差が大きいほど発生率が高くなることが分かりました。しかし、他の文献では樹勢と日焼け果の相関が逆になっている地域もあり、より詳細な検証が必要と考えられます。

6.　今後の展望

今後の展望として、マイクロスプリンクラーの温湿度制御では、気温 32℃以上の時に 5 分間動作する現在のプログラムを過去の気象データを参照し、より適切な条件を再検討します。また、高品質なみかんを作るには土壌水分制御が重要になります。そこで現在の水分制御に土壌水分センサの測定値を連動させ水分量の決定に役立てます。そして、他の農園でも本システムを設置し、日焼け果発生の軽減、品質の改善、労働条件の緩和を実証します。最終的にはみかんの収集率、品質の 10%向上を目指します。

7.　感想

私は今回で気象観測機器コンテストへの参加が 2 回目となります。私はハードウェア作製全般を担当しました。使用する機器の選定、機器の配置、機器の配線などにこだわり、野外でも長期的に運用することができる耐久性や耐候性のあるハードウェアを作製することができました。前回のシステムよりも大規模なものとなり、苦労しましたが、作製から運用までできたことを嬉しく思います。

今後も「ひやけ果 ORANGE」を運用し、フィードバックを受けてシステムの改善をしていきます。そして、多くの農家の方に利用していただき、廃棄されるみかんが無くなればよいと思います。

気象観測機器コンテストに参加したことで、技術力が向上し、チームで 1 つの物を作り上げる難しさや楽しさ、「報告・連絡・相談」の大切さを学ぶことができました。この経験を残りの学生生活、社会人になっても生かしていきたいと思います。

制御情報工学科 5 年 岡本 真平

私は、今回の気象観測機器コンテストが人生で初めて参加コンテストであり、チームのために何をしたらよいのか、右も左も分からない状況でした。そこでチームの遅れをとらないために、チームの知識に追いつくために私が行ってきたことが２つあります。

１つ目は自学自習の徹底です。今回のプロジェクトは前任者が作成したプログラム等を引き継いで応用していくので、その知識がないまま引継ぐことはできません。そのため各々が春休みから必要な知識を養う必要がありました。本プロジェクトではバージョン管理ツール「Git」をマストで使用することになりましたが自分は一度も使用したことなくそこから遅れが生じていました。そこで一刻も早くチームメイトに追いつくために自学自習を徹底していく必要がありました。

２つ目は「報告・連絡・相談」の３つの中でも私は連絡と相談が重要だと今回のプロジェクトで実感しました。私は今までグループで１つの物協力して作る経験がありませんでした。しかしチームメイトには過去にコンテストに参加したことがある猛者ばかり、彼らが知っていることを私は知っておらず知らないことを恥ずかしく「自分で調べたらいいや」と調べて理解できることもありましたが、応用的な理解が難しいことは生まれてそのままにしていました。ですがこの思考は自分に何も生まず、チームにも遅れをとることに気づけました。そして分からないことは私から積極的に聞くことでメンバーとの仲も深まりました。

[ひやけ果 ORANGE]を製作する上で私は熱画像カメラの設定を一任されやり遂げることができました。ネットワーク構築に興味がありマニュアル通りで簡単ではありますが初めて割り振られた仕事をやり遂げることができ、達成感を感じることができました。プロジェクト発足から長い期間がありましたがあっという間に時間が過ぎていきました。時にはダラけてしまうこともありましたがその時はチームメイトが頑張っていることを見て自分の気持ちを引き締めることができました。

最後にコンテスト最終選考では今まで培ってきた知識で『ひやけ果 ORANGE』をアピールしていきたいです。

制御情報工学科 ４年 川添 大和

私にとって今回の気象観測コンテストが初めて参加するコンテストであり、何から手をつければいいかわからずとまどっていました。私は前からコンテストに出場してみたいという気持ちはあったものの、プログラミングが苦手で私では無理だと思っていました。しかし、今回メンバーに入れてもらい私でもチームの役に立てるように仕事を振り分けてもらい参加することができました。

今回「ひやけ果 ORANGE」を製作するにあたって、学ぶことがたくさんありました。まず一つ目は「報告・連絡・相談」の大切さです。レポートを作成する時に、わからないことがあるとすぐにチームメイトが助けてくれました。チーム内で相談できる環境をつくり、助け合うことが大切だと感じました。また、随時自分の状況報告や連絡を取り合うことでチームでのコミュニケーションがとれ、それぞれが状況を把握できるのでとても作業しやすかったです。

二つ目は、期限を守り指示されたことをこなすということです。私は期限を守るように余裕を持って行動するのがとても苦手で、いつも直前まで作業し間に合わないこともありました。しかし、今回はチームメイトに迷惑をかけないように自分なりに最大限の行動することができました。また、今回の製作期間を通して、指示されたことは最低限しないといけないことだと分かりそれ以上を目指し行動することができるようになりました。

みかんについて詳しく調べていく中で、みかんが日焼けすることを初めて知りました。私の中では、植物が日焼けするという概念がなかったのでとても驚きました。みかんが日焼けしてしまうと、食べられなくなりジュースにもならないので廃棄になってしまうと知り、すごくもったいないと思いました。また、ひやけ果が増えていくと農家の収入源が減少してしまい農家が困っているとし知り、なんとか農家の力になりたいと思いました。「ひやけ果 ORANGE」を設置したのが遅く、まだ結果は出ていませんが、実際にみかんの表面温度を減少させることができたので来年の結果が楽しみです。また、結果を参考に農家を助けられる実用性が高いものに仕上げていきたいです。

コンテストでは発表を任されているので、それまでに練習を重ね審査員の方々の印象に残るプレゼンテーションを行いたいと思います。また、様々な質問を受けることを考え、どのような質問にも答えられるように今よりも深く理解しておきたいと思います。

今回の製作期間で得たものをこれからの学生生活に活かし、残り少ない時間を充実して過ごしていきたいです。私はもうすぐ就職活動が始まります。その時にも今回の経験はとても役に立つと思います。とてもいい経験をすることができ、充実した製作期間を過ごすことができました。

これからも「ひやけ果 ORANGE」の改良を続け、将来的にたくさんの農家を助けられるようなものにしていきたいです。また、みかんだけでなく他の食べ物にも使えるようにしていきたいと思います。

制御情報工学科 4 年 里中 海玲

私は今回で昨年と合わせて２度目の参加となりました。個人的に今回は、前回参加した時の最大の反省点である「報告・連絡・相談」の徹底をするようにしました。前回参加した時はそれで痛い目を見ましたが、前回参加した時よりも要領をつかめていることもあって、今回はある程度はできていたように思います。

今回、私はシステム周りを担当することになりました。前回参加した時に培ったプログラミング関連の能力はしっかり活かすことができましたが、若干独りよがりになってしまう癖があるとわかったので、この培うことのできた力や反省点を活かして、来年行われる就活や今後参加するコンテスト、就活が終わった後での社会人生活でも頑張っていきたいです。

前回今回と参加した経験を活かしてこれからもより一層精進していきたいと思います。また、この「ひやけ果 ORANGE」も改良を重ねてゆき、システム設置個所の拡大や、他種の植物でのシステムの利用を可能にするなどして日本の農業や農家の手助けをできればいいと思います。

このレポートを作成していく上で培うことのできたチームメンバーとの連携や役割分担を活かして、力を合わせてコンテスト最終審査でこの「ひやけ果 ORANGE」をしっかりアピールしていき、去年は優秀賞だったので今年は最優秀賞を取ろうと思います。

制御情報工学科 ４年 村田 雄斗

8.　参考文献

1. he Raspberry Pi Internet of Things Toolkit - Now in two flavors
http://webiopi.trouch.com/
2. 中川行夫ほか. 植物体温に関する研究（第 5 報）. 農業気象. 1959, vol.14, p. 137-140.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/agrmet1943/14/4/14_4_137/_article/-char/ja
3. 酒井昭. 越冬中の木の温度変化（II）. 日本林学会誌. 1965, vol. 47, p. 444-447.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjfs1953/47/12/47_12_444/_article/-char/ja
4. 太田敬之ほか. 樹木活性の判定方法の検討. 日本緑化工学会誌. 1991, vol. 17, p. 102-108.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjsrt1989/17/2/17_2_102/_article/-char/ja
5. 吉田晋ほか. 太陽電池を用いた圃場向け低価格環境センサ用独立電源の設計. 農業情報研究. 2017, vol. 26, p. 65-76.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/air/26/4/26_65/_article/-char/ja/
6. 石本知香,”温州ミカンの日焼け果対策”, 果樹試験場常緑果樹研究担当, 参照 Oct.1.2019.
https://www.pref.saga.lg.jp/kiji00323025/3_23025_15_saganokaju201207_hiyake.pdf