

令和元年6月7日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K07975

研究課題名(和文) スマート植物生産を支援するモバイル生体情報モデリングガジェットの提案

研究課題名(英文) Proposal for Helping Smart Plant Production by Mobile Modeling Gadgets to obtain Biological Information

研究代表者

星 岳彦 (HOSHI, Takehiko)

近畿大学・生物理工学部・教授

研究者番号：80219162

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：低コストオープンソースハードウェアによるコンピュータ基板を使って、施設植物生産をスマート化する小型高性能情報機器(ガジェット)を提案した。計測位置を固定したこれまでの静的・硬直的な環境計測ではなく、気になる箇所に携帯性の高い小型機器を局所的に設置することにより、機動的・柔軟な環境計測による生産性改善を行う新たな視点の手法である。事例研究として、局所分光環境ガジェットと、局所植物成育評価モデリングガジェットを設計・試作し、植物生産施設で試験して有用性を評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

内外の大規模な園芸施設(温室やハウス)では、高価な情報通信技術が導入され高度な環境計測制御が実現されている。しかし、日本の施設植物生産の大部分は比較的小規模な園芸施設が担っており、このような高度技術の導入は経済的に困難である。そこで、近年の低価格化された情報処理機材を活用して、日本の小規模な園芸生産施設にも導入可能な、環境を測定して生産環境を改善する助けになる情報が得られる低コストガジェットを開発し、生産性の向上を図る。

研究成果の概要(英文)：A small, high-performance information device (gadget) to make plant production smarter in greenhouses by using a computer board with low-cost open source hardware was proposed. Instead of conventional static and rigid environmental measurement at permanently fixed measurement position, a new method was proposed for locally and temporarily setting small devices with high portability, and it aimed to the productivity improvement by agile and flexible environmental measurement. As a case study, a spectral light measurement gadget and a photosynthesis and dew condensation evaluation modeling gadget at specific point were designed and fabricated, and they were tested in greenhouses to evaluate performance.

研究分野：植物生産工学・植物環境調節工学・農業情報工学

キーワード：Arduino マイクロ分光器 光合成モデル FabLab 施設園芸 ユビキタス環境制御システム 光環境 スマート農業

1. 研究開始当初の背景

CO₂ ガス濃度、温湿度、光などの物性環境値を計測するセンサの低コスト化、小型化が進展し、環境データを計測・制御して、植物生産の高度化・精密化が各所で推進され、各種研究開発が活発に行われている①。しかし、これらの機器の生産現場での利便性が高まらないのは、計測・記録した物性環境が計測できても、それが植物育成に対してどう影響するかを判断することは、依然、生産者の資質に依っているからである。数値的な環境データに慣れていない生産者が、このような機器を導入しても、環境データをどう活用したら良いのか困惑してしまう。この部分を繋ぐ研究として、例えば、TOMSİM などの育成・収量予測モデル②、クロロフィル蛍光や茎蒸散流などを計測する生体情報センサの開発などがなされてきた。これらは、高度な複合(統合)環境制御システムの導入が前提の大規模施設植物生産向けに開発されており、導入コストも大きい。単純な環境制御装置すら導入されていない日本の中小規模植物生産施設に導入することは困難である。低コストで気軽に導入できるガジェットのような簡易ツールの開発が望まれる。

2. 研究の目的

施設植物生産で環境センサを固定して長期間連続して計測するという固定概念を見直し、急速に発展している Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) 環境センサ、生体情報モデリングソフトウェア等を活用し、小型・低コストのモバイルガジェット(Mobile Gadget: 気軽に使える便利な情報技術の携帯小道具)について提案した。日本の中小規模施設生産者が、施設内の気になる部分に短期間置いて、その部分の局所環境から、局所的育成環境の良否、環境改善のヒントなどを、気軽に取得できるようにするガジェットの開発を目的とする。

本研究では、MEMS 環境センサのガジェットの例として、マイクロ分光器を用いて、植物群落の各所の光スペクトルを連続的に計測記録できる局所分光環境ガジェットを開発・試作し、植物の群落内光環境と光形態形成に及ぼす影響の評価への可能性を実証した。また、モデリングガジェットの例として、小型の CO₂ ガス濃度、温湿度、光合成有効光量子束密度(PPFD)、および、風速センサと、光合成や病害発生可能性を推定する簡易的なモデルを内蔵し、植物群落の局所に設置して、その部分の局所的な植物育成環境の良否を判定できる局所植物育成評価モデリングガジェットを開発・試作し、植物生産施設での実地試験を行い、性能評価した。

3. 研究の方法

(1) 開発・試作するガジェットは、(a)環境センサ、(b)計測・情報処理を行う小型低コストコンピュータ基板、(c)結果を出力するメディア(表示器)から構成される。

局所分光環境ガジェットについて、センサには MEMS マイクロ分光センサである C12888MA(浜松ホトニクス)を採用した。コンピュータ基板には、オープンソースハードウェアである Arduino を使用した。出力メディアとして、計測結果を SD メモリカードに格納する方式のガジェットには、そのドライブユニットが付けられている Arduino Leonard Ethernet 基板を使用した。その後、この基板は製造中止になったため、計測現場で計測結果を即時確認できるグラフィック液晶表示器(G-LCD)を用いた改良型ガジェットには、Arduino MEGA 2560 基板を使用した。G-LCD には、128×64 ピクセルの単色グラフィックを表示できる GH12864_20 (京都しなぶす製)を採用した。さらに、Arduino 基板にある USB インターフェースをパソコンに接続してシリアル通信ソフトウェアを動作させれば、表計算ソフトウェアなどで利用できる CSV 形式で計測結果を出力できる機能も加えた。センサの信号変換回路は、Arduino 基板の上に装着するドーター基板(Shield)として設計、製作した。計測プログラムは、Arduino IDE ver. 1.7.10 を用いて記述した。分光値の校正には、Flame-S#3 型分光器と HL-3P-CAL ハロゲン校正用光源(共に Ocean Optics Inc.)を用いた。最初に開発した計測結果を 5 分毎に連続して SD メモリカードに格納する方式のガジェットは、3D プリンタ(SCOOVO X9H, Abee Corp.)を使い、ポリ乳酸生分解性樹脂で製造した筐体に格納した。筐体の意匠は、ケヤキ(*Zelkova serrata* (Thunb.) Makino)葉をデジタル化して用いたので、この筐体に格納したガジェットは Zelko(ゼルコ)と命名した。Zelko は、採用した Arduino 基板が製造中止になったので普及が困難になり、また、計測結果を SD メモリカードに格納する方式ではパソコンに読み込み表示する必要があって即時確認が難しく使い勝手が悪くなってしまった。これらの課題を解決するために開発した G-LCD を用いた改良型ガジェットは、Arduino と液晶表示器(LCD)を使った分光器であるため、ALBunko(アルブンコ)と命名した。

局所植物育成評価モデリングガジェットについて、CO₂ ガス濃度センサには S-300G(ELT Sensor)、温湿度センサには SHT75 (Sensirion)を用いた。PPFD は太陽電池(SB-2V300MA、マルツオンライン販売)を 6.8Ω のシャント抵抗を入れて電圧計測し、PPFD メータ(LI-250A、LI-COR)を用いて 3 次の換算式を求めてプログラムで換算して用いた。コンピュータ基板は、Zelko と同様に Arduino Leonard Ethernet 基板を使用した。光合成速度を求めるモデルは、Farquhar のモデル③を用いた。温度をパラメータにする暗呼吸速度の計算式を使い、見かけの光合成速度推定値を 16 字×2 行の文字液晶表示器(C-LCD)に表示させるとともに、1 分毎に連続して SD メモリカードに格納できるようにした。このガジェットは Farquhar(ファーカー)と名付けた。Zelko と同様に、当初開発した Farquhar もコンピュータ基板が製造中止になり、2 号機として、コンピュータ基板に Arduino MEGA 2560 と Arduino Ethernet Shield 2 拡張基板を用いる改良型ガジェットを開発した。SD メモリカードに記録するドライブを使用するために追加した

Arduino Ethernet Shield 2にはEthernetの通信インターフェースが備わっているため、施設園芸の環境制御システムのプラットフォームとして普及しているユビキタス環境制御システム(UECS)④の通信プロトコルでも計測結果を出力できるようにした。また、温湿度センサをより安価なSHT31に、PPFDの測定に使用していたシリコン太陽電池も入手難になったため、多数市販されているOPL20A25101(OptoSupply)に、それぞれ変更した。さらに、葉面境界層の状態を考慮に入れるための小型熱式風速センサ(HWS-X16-ONE、ホルトプラン)を加えた。さらに、気温と露点温度の差が一定値以下になり、かつ、風速が一定値以下の葉濡れが考えられる条件の継続時間を出力する病害発生誘因成立条件の判定機能も付加した。このガジェットは葉を模したパネルに太陽電池による簡易PPFDセンサを取り付け、放射除けを兼ねたパネル下にそれ以外のセンサを装着した。疑似的に葉のように見える筐体に納められたガジェットであるため、PseudoLeaf(シュードリーフ)と命名した。

(2) 設計・製作したガジェットの使用可能性を評価するため、植物を栽培する環境に各ガジェットを設置して計測、および、計測結果の解析を行った。

Zelkoについては、和歌山県農業試験場の試験ハウスの養液栽培トマト群落に4台のZelkoを設置し(図1)、2016年12月10~18日まで5分毎の各所の400~800nmの1nm毎の光スペクトルの光子束密度(PFD)を試験連続計測した。遠赤色光領域の計測記録値から繁茂度である葉面積指数(LAI)の推定値を算出し、群落の光環境について評価を試みた。また、赤色光と遠赤色領域計測記録値から、フィトクロム平衡値を推定した。ALBunkoについては、電球形蛍光灯とLED電球による人工光植物栽培装置の光環境の計測に供試した。さらに、ナス葉のスペクトル光透過率を試験測定した。

また、Farquharについては、湛液式養液栽培装置を用いてコマツナの栽培試験に供試して評価した。電球形蛍光灯(ベッド面平均光強度 $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ と $67 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の2段階の光強度)、温室(太陽光)の3つの異なった光条件でコマツナを養液栽培し、栽培期間中、成育ステージに応じて3~4回、各4日間の乾物生産量をサンプリング計測し、グルコース換算したCO₂同化量を求めた。各養液栽培装置にFarquharを設置して、推定された1分毎の光合成速度と暗呼吸速度を積算し、同じ期間のCO₂同化量推定値を求めて、実測結果と比較した。PseudoLeafについては、近畿大学生物理工学部の試験ハウスのイチゴ高設養液栽培ベッドの4か所に設置(図2)して、見かけの光合成速度推定値を実測し、推定値の分布状況を調べた。

4. 研究成果

(1)局所分光環境ガジェットの開発・製作

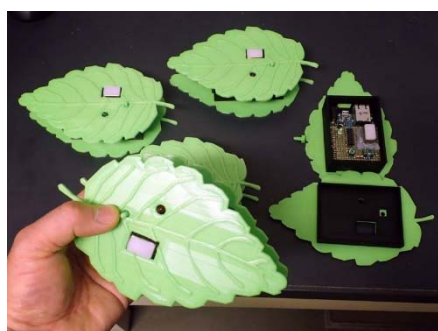


図3 Zelkoの外観

表1 Zelkoの仕様

寸法	幅168 × 奥行100 × 高さ64 mm
重量	145 g
筐体	PLA樹脂
電源	D.C. 5 V (USB Micro-B)
消費電流	130 mAh
測定波長	400~800 nm
計測分解能	約10 nm
出力分解能	1 nm毎
最小PF感度*1	$0.16 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ nm}^{-1}$
飽和PF*1	$6.87 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ nm}^{-1}$
出力媒体	microSDカード
出力形式	CSV形式
測定間隔	5分毎

*1 532nmでの測定

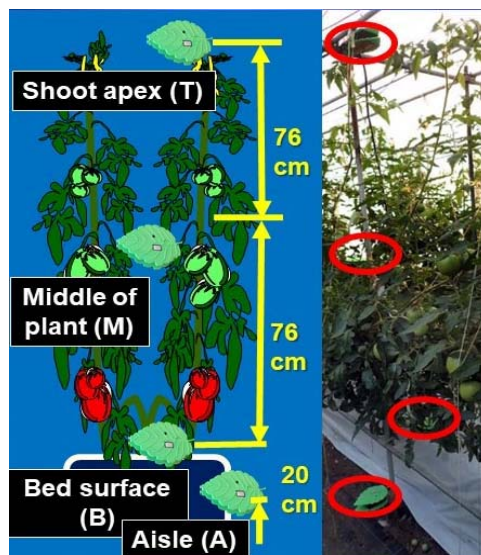


図1 和歌山県農業試験場試験ハウスの養液栽培トマト群落へのZelko設置状況



図2 近畿大学生物理工学部の試験ハウスのイチゴ高設養液栽培ベッドのPseudoLeaf設置状況(①~④)

開発・製作したZelkoの外観を図3に示す。部品価格は約3万円になった。仕様を表1に示した。50Whの容量のモバイルバッテリーを利用すると約3日間の5分毎の光スペクトル連続計測が可能であった。図4

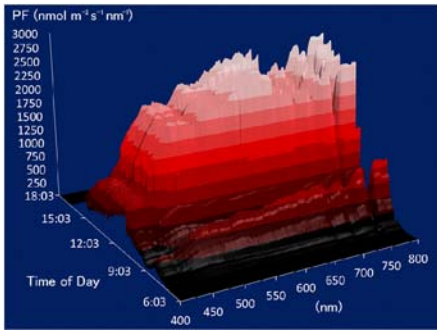


図 4 ハウス内の養液栽培トマト茎頂付近の1日間の局所光スペクトルの測定例

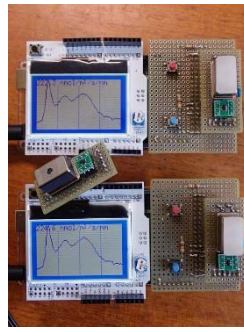


図 5 ALBunkoの外観

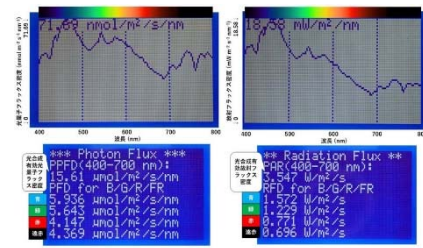


図 6 ALBunkoのLCD画面の遷移

は、ハウス内の養液栽培トマト茎頂付近の1日間の局所光スペクトルを測定した例である。局所的な太陽光の入射方向の変化による骨材の影の影響、時刻による光強度・スペクトルの変化を低コストで可視化することができた。また、小型・軽量で、電源の確保できない場所でも測定可能な携帯性を確認できた。しかし、計測結果がSDメモリーカードを介してしか得られないことは、測定現場で光スペクトルを即時的に確認できず、利便性が小さかった。また、研究開始当初使用したコンピュータ基板が製造中止になったこともあり、これらの問題点を解決するために、2号機のALBunkoを開発した(図5)。また、ZelkoのPPF単位だけでなく、放射束密度(RFD)単位での表記も可能にした。同時に光合成有効光量子束密度(PPFD、400~700 nm)、青(B)、緑(G)、赤(R)、遠赤(FR)の波長域ごとの数値表示にも切り替えられるようにした(図6)。一般に市販されている汎用部品のみで製作できるため、FabLab等を使用した自家製作も容易である。そのための回路図、Arduinoプログラム、組立写真等をWebサイト(<https://hoshi-lab.info/interface/ALBunko.zip>)からダウンロード可能にした。

(2)局所分光環境ガジェットの性能評価・使用例

Zelkoを用いて図1に示したトマト群落の局所光スペクトルの測定例を図7に示す。図の左側が摘葉前、右側が摘葉後のスペクトルである。摘

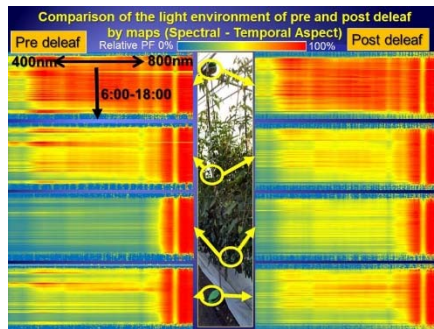


図 7 Zelkoによるトマト群落の局所光スペクトル測定例

葉によりトマト群落下部の光環境の改善状況が把握できる。また、Zelkoの遠赤色領域の計測値からBeer-Lambert則によって求めた平均推定LAIは、2.63から1.89になった。また、図8は、5日間強のR/FR値より、トマト群落各所のフィトクロム平衡推定値の経時変化を示したグラフである。茎頂部と株では日中の値に違いがみられた。図9は、昼光色(D)と電球色(B)、電球形蛍光灯(F)とLED(L)を組み合わせた4種の光源でサラダナ(レッドリーフ)を栽培した時の光源をALBunkoで測定した例である。BF>BL>DF>DLの順に地上部生体重が大きかった。これは、600~650 nmのPPFの大きさの順とほぼ一致していた。また、図10は、太陽光下でナス葉の表面と裏面の鉛直方向の光スペクトルをALBunkoで測定し、葉の分光透過率を求めた例である。遠赤色光領域の透過性が大きいこと、また、緑色光領域にもピークが認められ、葉の分光透過特性が正しく示された。1台3万円程度で製作できる局所分光環境ガジェットは、生産現場の光スペクトル環境を機動的かつ容易に測定でき、植物生理的な側面での光環境の評価を可能にした。

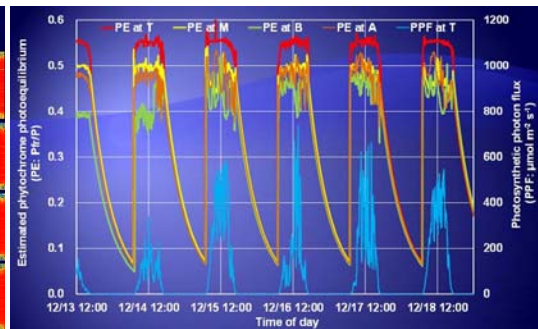


図 8 Zelkoによるトマト群落各所のフィトクロム平衡推定値の経時変化

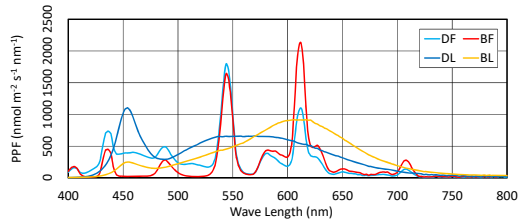


図 9 サラダナ栽培試験時の4種の光源をALBunkoで測定した例

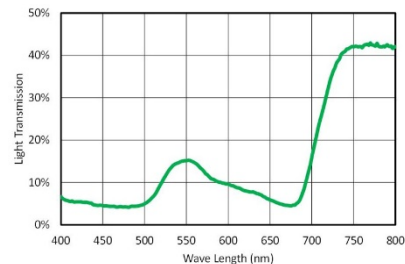


図 10 ALBunkoによるナス葉の分光透過率

(3)局所植物育成評価モデリングガジェットの開発・製作

Farquharを設計し、3台試作した時点で、コンピュータ基板とPPFD測定用太陽電池の入手

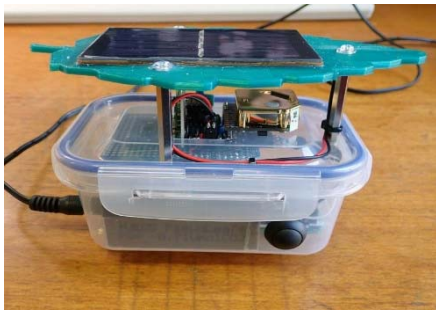


図 11 PseudoLeaf の外観



図 12 PseudoLeaf の設置状況

表 2 PseudoLeaf の局所環境計測値とモデルの推定値

項目	単位	C-LCD表示	SDIに記録	UECS送信名
起動後経過時間	分	○	○	
気温	℃	○	○	AirTemp.mPL
相対湿度	%	○	○	RelativeHumid.mPL
露点温度	℃	○	○	DewPoint.mPL
絶対湿度	g kg ⁻¹	○	○	AbsHumid.mPL
飽差	g kg ⁻¹	○	○	AirSatDef.mPL
CO ₂ 濃度	ppm	○	○	AirCO2.mPL
日射束密度	kW m ⁻²	○	○	WRadiation.mPL
光子束密度	μmol m ⁻² s ⁻¹	○	○	WPPF.mPL
風速	m s ⁻¹	○	○	
呼吸速度推定値	μmolCO ₂ m ⁻² s ⁻¹		○	RespRate.mPL
真の光合成速度推定値	μmolCO ₂ m ⁻² s ⁻¹		○	NetPSRate.mPL
見かけの光合成速度推定値	μmolCO ₂ m ⁻² s ⁻¹	○		
見かけの光合成速度推定最大値	μmolCO ₂ m ⁻² s ⁻¹	○		
起動時からの積算推定同化量	mmolCO ₂	○		
最近1時間の推定同化量	μmolCO ₂	○		
最近6時間の推定同化量	μmolCO ₂	○		
最近24時間の推定同化量	μmolCO ₂	○		
濡れ継続時間推定値	分間	○		WetT.mPL
起動後最長の濡れ継続時間推定値	分間	○		
ガジェット動作状態	-			cmd.mPL

が困難になった。そこで、入手可能な部品を使用して、葉の濡れによる病害発生のリスク評価も可能な改良型のPseudoLeafを開発した(図 11)。最大寸法が幅 170×高さ 90×奥行 100 mm で、重量は 231.6 g になった。PseudoLeaf の局所環境計測値とモデルの推定値の一覧を表 2 に示す。現場で確認したい項目は C-LCD で表示するようにした。アプリケーションソフトウェアで算出できるものについては、記録や送信を行わないようにした。UECS で送信していない風速は、今後対応予定である。植物生産現場での PseudoLeaf 設置状況を図 12 に示す。光合成や濡れが気になる栽培ベッドの局所に設置して、モデルによる推定値を得られる、小型・軽量モデリングガジェットにすることができた。一般に市販されている汎用部品のみで製作できるため、FabLab 等を使用した自家製作も容易である。そのための回路図、Arduino プログラム、組立写真等を Web サイト(<https://hoshi-lab.info/interface/PseudoLeaf.zip>)からダウンロード可能にした。なお、自作した場合の推定部品代は、1 台約 4 万円になった。

(4)局所植物育成評価モデリングガジェットの性能評価・使用例

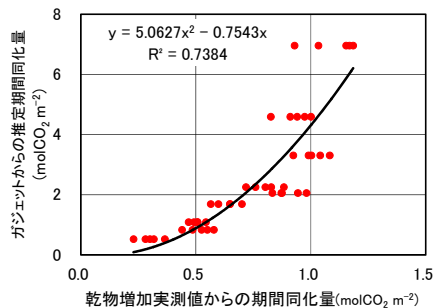


図 13 Farquhar を使ったコマツナ栽培試験の期間同化量の推定

コマツナの栽培試験の実測値と、Farquhar が推定した見かけの光合成速度推定値の積算より、期間同化量を計算した結果を図 13 に示した。ガジェットの推定値の方が常に大きく、1 次の関係にならず、2 次ないしは 3 次の近似式との相関が大きかった。Farquhar モデルの計算に必要なパラメータは温度、PPFD、葉肉細胞の CO₂ 濃度であるのに対し、CO₂ 濃度については、葉裏面から約 2 cm の距離で測定している。このため、気孔開度による CO₂ 伝導度と葉面境界層による CO₂ の対流伝達速度が考慮されていないことが大きな理由であると考える。このため、PseudoLeaf では、飽差と風速を計測項目に加えた。しかし、気孔伝導度測定装置など、葉肉細胞までの CO₂ 輸送モデルを効率的にチューニングする機材の調達ができず、搭載までには至らなかった。

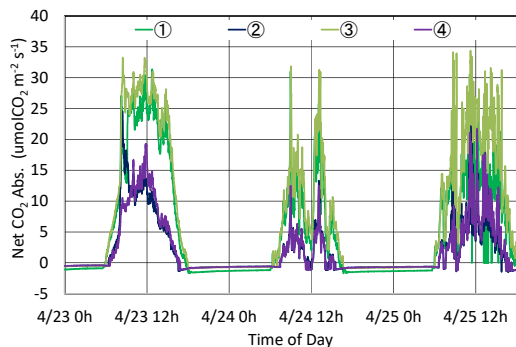


図 14 PseudoLeaf を使ったイチゴ栽培ハウスのベッド各所の見かけの光合成速度推定値の経時変化

続いて、イチゴ栽培ハウスに PseudoLeaf を設置し、3 日間の見かけの光合成速度推定値を連続計測した結果を図 14 に示す。測定点の丸数字は図 2 に対応している。西側壁寄りの地点②④の値が低めに出ている。このハウスは、早朝に燃焼式 CO₂ 発生装置の強制運転を実施しており、快晴で朝から十分な日射があった 4 月 23 日は、朝に光合成速度推定値の急峻な立ち上がり確認された。屋外日積算日射束が 5.9 MJ m⁻² と小さく、天気が悪かった 4 月 24 日には、地点③と比較して②④は 1 割程度の日同化推定量と、地点による大きな差が認められた。前述の通り、CO₂ 輸送モデル未搭載なので誤差が大きいものの、場所による光合成量違いの目安にはなり、育成環境改善のヒントにはなり得

る。今後、校正用機材の調達ができれば、さらにモデルを改良し完成度をあげることができる。なお、今回のテスト計測では濡れが発生する条件が出現せず、濡れによる病害発生のリスク評価

機能については検証できなかった。今後の課題である。

<引用文献>

- ①星 岳彦ほか、第4章 6.施設園芸・植物工場のスマート化(星 岳彦編)、スマート農業(農業情報学会編)、農林統計出版、2015、pp. 170-196
- ②E. Heuvelink, Dry matter partitioning in tomato: validation of a dynamic simulation model, *Annals of botany*, 77(1), 1996、71-80
- ③G.D. Farquhar *et al.*, A Biochemical Model of Photosynthetic CO₂ Assimilation in Leaves of C₃ Species, *Planta*, 149, 1980、78-90
- ④星 岳彦、ユビキタス環境制御技術の開発、農業機械学会誌、69(1)、2007、8-12

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計11件)

- ①星 岳彦、農業センシングの世界・その10…測るもの：太陽エネルギー(日射フラックス) 道具：太陽電池、*Interface*、査読無、45(7)、CQ出版社、2019、16-18
- ②星 岳彦、農業センシングの世界・その9…測るもの：太陽エネルギー 道具：日射センサ、*Interface*、査読無、45(6)、CQ出版社、2019、12-14
- ③星 岳彦、農業センシングの世界・その8…測るもの：空気の動き(風速) 道具：風速センサ、*Interface*、査読無、45(5)、CQ出版社、2019、12-14
- ④星 岳彦、農業センシングの世界・その7…測るもの：飽差(湿度) 道具：温湿度センサ、*Interface*、査読無、45(4)、CQ出版社、2019、16-18
- ⑤星 岳彦、農業センシングの世界・その6…測るもの：湿度(露点温度) 道具：温度&湿度センサ、*Interface*、査読無、45(3)、CQ出版社、2019、13-15
- ⑥星 岳彦、農業センシングの世界・その5…測るもの：屋外や温室の湿度 道具：湿度(相対湿度)センサ、*Interface*、査読無、45(2)、CQ出版社、2018、12-13
- ⑦星 岳彦、農業センシングの世界・その4…屋外や温室の「湿度センシング」が重要な理由、*Interface*、査読無、45(1)、CQ出版社、2018、10-11
- ⑧星 岳彦、農業センシングの世界・その3…測るもの：屋外や温室の室温 道具：温度センサ、*Interface*、査読無、44(12)、CQ出版社、2018、10-11

<https://interface.cqpub.co.jp/20190424-2/>

- ⑨星 岳彦、農業センシングの世界・その2…測るもの：植物体内の化学変化 道具：温度(気温)センサ、*Interface*、査読無、44(11)、CQ出版社、2018、10-11

<https://interface.cqpub.co.jp/20190409-1/>

- ⑩星 岳彦、農業センシングの世界・その1…測るもの：植物のエサの量 道具：CO₂ガス・センサ、*Interface*、査読無、44(10)、CQ出版社、2018、14-16

<https://interface.cqpub.co.jp/20190403-1/>

- ⑪Takehiko HOSHI, Kenta UEDA, Yoshihiro TAKIKAWA, Takaya AZUMA、Digitally Fabricated Mobile Spectrometer for Multipoint Continuous Spectroscopic Analysis of Light Environment in Greenhouse Tomato Canopies, *Environmental Control in Biology*、査読有、56、2018、149-155

DOI: 10.2525/ecb.56.149

[学会発表] (計2件)

- ①星 岳彦・上田兼大・池 昂典・泰地夏美・瀧川義浩、デジタルファブリケーションによる植物生産用分光ガジェットの開発、日本農業気象学会2017年全国大会、2017年3月30日
- ②Takehiko Hoshi, Kenta Ueda, Yoshihiro Takikawa, Takaya Azuma、Development of mobile Spectrometer by Digital Fabrication Techniques and Trial to Apply Multipoint Continuous Spectroscopic Analysis of Light Environment in Greenhouse Tomato Canopy, 2017 CIGR World Workshop in Matsuyama、2017年9月3日

[図書] (計1件)

- ①星 岳彦ほか(編集担当：第3章スマート化技術の現状と展望 第4章5節施設園芸・植物工場)、新スマート農業(農業情報学会編)、農林統計出版、2019年、pp. 33-74 / 120-135

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：瀧川 義浩

ローマ字氏名：TAKIKAWA, Yoshihiro

所属研究機関名：近畿大学

部局名：先端技術総合研究所

職名：准教授

研究者番号：60446010

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。