

施設植物生産現場におけるセンシング・環境制御・AI応用の歴史・現状・課題

History, Current Situation and Issues of Sensing, Environmental Control and AI Application on Commercial Crop Production in Greenhouses

星 岳彦

Abstract

日本では1980年代から、植物工場、植物生体情報センシング、高度環境計測制御システム、パソコン通信ネットワーク、農業AI応用などの電子情報通信技術の応用研究が活発化した。昨今の半導体素子のコストパフォーマンスの劇的向上は、中小規模の施設園芸生産者にまで、電子化による労務・収益性の改善の恩恵をもたらしたのか。また、残された課題はどのようなものか。そして、それを解決するためにどのような方法が期待できるのか。施設植物生産システムの研究開発に取り組んだ経験を踏まえ、その歴史・現状・課題について総説する。

キーワード：ICT、普及、栽培工学、施設園芸、スマート農業

1. はじめに

温室、ハウスなどの施設で野菜・果樹・花きなどの生産をする農業を施設植物生産と呼ぶ。2018年の農林水産省の調査 (<https://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/engei/sisetsu/>) によると、我が国の植物生産施設面積の76.5%が簡易なパイプハウスで、58.8%が無暖房である一方、養液栽培の導入が4.6%、コンピュータを使った高度な環境制御装置の導入が僅か2.7%など、施設1棟の面積、導入設備の分布が、欧米をはじめとする諸先進国と比較して、極端なピラミッド構造になっている。日本では1980年代から、植物工場⁽¹⁾、植物生体情報センシング⁽²⁾、高度環境計測制御システム⁽³⁾、パソコン通信ネットワーク⁽⁴⁾、農業AI応用⁽⁵⁾などの電子情報通信技術の応用研究が活発化した。しかし、これらの導入・普及は進展せず、ピラミッド頂点の数%にとどまるか、廃れた。この原因として、導入施設の規模が小さく償却が困難であったことが大きい。

昨今の半導体素子のコストパフォーマンスの劇的向上

は、零細生産施設への導入障壁をほぼ撤廃可能にした。また、ゆっくりとはあるが、生産規模の拡大、スマート農業実現のための機器導入も進みつつある⁽⁶⁾。本会誌でも、ICT、スマート農業に関する記事が近年増加傾向である^{(7)~(10)}。今後、ピラミッドの裾野の施設園芸生産者にまで、電子化による労務・収益性の改善の恩恵をもたらすために残された課題はどのようなものか。また、それを解決するためにどのような方法が期待できるのか。センシング・環境制御・AI応用の歴史・現状・課題について、40年間弱にわたり施設植物生産システムの研究開発に取り組んだ経験を踏まえ総説する。

2. 歴史

文献によると施設植物生産の起源は古代ローマ帝国に遡る⁽¹¹⁾。日本では、1818年に記載された中国伝来の「唐むろ」が初出である⁽¹²⁾。寒季の植物保護のため、環境制御には木炭または発酵熱を利用した暖房が使われた。日本の近代的植物生産施設の起源は、1946年に調布飛行場跡地に建設した面積約2haの連棟式鉄骨ガラス温室であった⁽¹³⁾。生食可能な清浄野菜を進駐した米軍関係者に提供する目的だった。国民の生活文化の向上に伴う野菜の生食需要の増大と、低価格化した塩化ビニルなどの合成樹脂被覆材によるパイプハウスの普及によ

星 岳彦 近畿大学生物理工学部生物工学科
E-mail hoshi@waka.kindai.ac.jp
Takehiko HOSHI, Nonmember (Faculty of Biology-Oriented Science and Technology, Kindai University, Kinokawa-shi, 649-6493 Japan).
電子情報通信学会誌 Vol.104 No.6 pp.526-531 2021年6月
©電子情報通信学会 2021

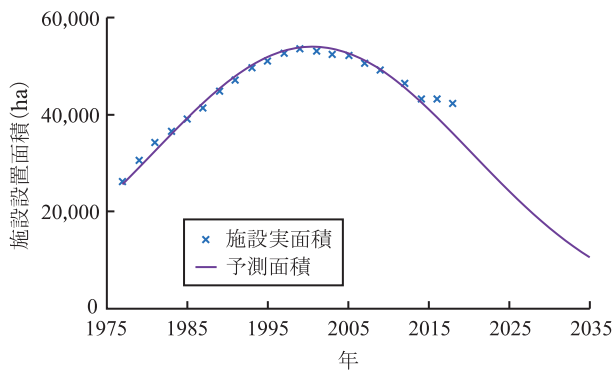


図1 日本の植物生産施設の設置実面積と推移予測 農林水産省の「園芸用ガラス室ハウス等の設置状況」をグラフ化した文献(30)に最新データを付加した。予測面積は、2009年までの実面積の差分値を直線回帰し外挿した。

り、1960年代後半から日本の施設植物生産は急速に発展した(図1)。この時代は、換気窓開閉機、換気扇、電気温床線、電気温風機、重油熱源温水放熱管、重油温風機等を自動温度調節器で環境制御する温度制御が中心であった。

植物生産の源泉は光合成による有機物質生産であり、光合成反応の原料は水、光、CO₂である。加えて、酵素反応なので温度にも影響される。我々は灌漑、採光・遮光、寒暖に常に注意を払ってきた。更に、サプリメントとして重要な肥料も、土作り、施肥という作業を通じて配慮してきた。しかし、大気中に0.04%しか含有しない、我々に認知困難なCO₂は、1万年の農耕の歴史で計測・供給の対象にならず、近年まで自然任せだった。植物生産施設という半閉鎖系環境で、CO₂の植物収支モデルが初めて提案されたのは1966年である⁽¹⁴⁾。

1970年代に入り、電子技術の急速な発展と、オイルショック対策のために省エネルギーの要請を受けるなど、施設植物生産の環境制御技術の研究開発が盛んになった。光合成最大を目指した最適制御の提案⁽¹⁵⁾、ミ

ニコンによるデジタル制御⁽¹⁶⁾などが発表された。国際科学技術博覧会(つくば科学博)が開催された1985年頃になると、農業の工業化⁽¹⁷⁾として「植物工場」が大きく期待され、企業も多数参入した。また、マイクロコンピュータの普及に伴い、コンピュータ環境制御システムの実用化研究も進展した^{(18), (19)}。コンピュータを用いた高度な複合環境制御アルゴリズムとして、収穫量増加と暖房エネルギー節約を目的にして、光強度により光合成とその産物輸送(転流)の最適温度に制御する、日射比例温度制御⁽²⁰⁾が提案された。そして、フィードバック制御用のCO₂センサが高価だったので、時刻や光強度をフィードフォワードするCO₂施用制御⁽²⁰⁾も行われた。

1980年代に入り、第5世代コンピュータプロジェクトの影響を受け、農業への応用人工知能(今のいわゆるAI)の導入が多数試みられた⁽²¹⁾。植物生産分野では、エキスパートシステムと呼ばれた知識ベースシステム⁽²²⁾から始まり、誤差逆伝搬法のANN(人工神経回路網)の利用で終えんした⁽⁵⁾。これら初期の研究が、生体システム特有の非線形性、慣性、カオス性⁽²³⁾などを考慮せず、線形応答する単純な機械とみなしていたため、また、電子機器のコストパフォーマンスが施設植物生産現場で受容可能な水準でなかったため、普及には至らなかった。

1993年のガット・ウルグアイラウンド農業合意に伴い、日本の農業生産物に国際競争力が求められるようになった。技術立国を当時標ぼうしていた我が国の政策に沿う形で、農林水産技術会議事務局により競争力強化のために農業情報システムを網羅的に研究開発するプロジェクトが1998年から9年間にわたり実施された。「増殖情報ベースによる生産支援システム開発のための基盤研究」、及び、「データベース・モデル協調システムの開発」である。農業に少しでも役立つような情報技術があれば、積極的な導入が検討された。テキストマイニング、分散オブジェクト、IoT、情報プラットフォームなど、現在のスマート農業で研究開発されている各種の農業情報技術のシーズが生まれた。

施設植物生産の環境計測制御の情報プラットフォームとして、日本で現在普及しているユビキタス環境制御システム(UECS)^{(24), (25)}も前述プロジェクトの成果である。しかし、「失われた20年」と呼ばれる景気低迷期に加え、生産者の高齢化、新設施設の減少に伴う老朽化、輸入農産物の増加、先進的農業技術として国の補助金の終了などの影響を受け、植物生産施設の設置面積は1999年を境に減少に転じていった(図1)。それに伴い、関連設備・機器の製造・販売企業の撤退・廃業が相次ぎ、研究開発された各種技術の実用化・普及は困難になった。

用語解説

NDIR型 非分散赤外線(Nondispersive Infrared)の略で、特定の気体の赤外線吸収波長域の吸光度を利用した濃度センサ等の動作原理を示す。

Arduino 2005年イタリアでのプロジェクトが起源の汎用小形低コストコンピュータ基板で、代表的なオープンソースハードウェアとして世界的に普及している。

隔離ベッド 植物の栽培床(ベッド)を土壌から隔離して設置するもの。養液栽培が一般的で、植物栽培装置の物質・エネルギーの収支を把握できる。

ロードセル 荷重変換器とも呼ばれ、質量・トルクを電気信号に変換する。力による金属のたわみをひずみゲージで計測し、ブリッジ回路で増幅する方式が電子はかり用に普及している。

3. 現 状

3.1 スマート農業技術が注目される

1985年頃に農業工業化の筆頭事例であった植物工場が再注目されたきっかけは、「新経済成長戦略の改定とフォローアップ」という政策が2008年9月に閣議決定され、その中に農商工連携の事例として植物工場が採り上げられたことによる。また、LED光源のコストパフォーマンス向上が、人工光（完全制御型）植物工場の実用化をもたらした⁽²⁶⁾。しかし、人工光源の投入電気エネルギーが光合成により植物に固定され、生産物として得られる効率は現状1%未満（99%以上の損失）⁽²⁷⁾で

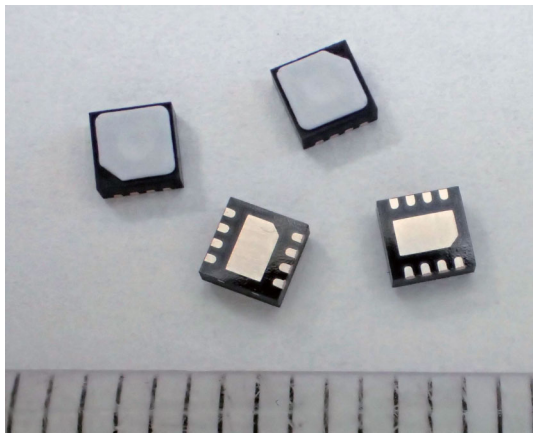


図2 植物生産施設で近年用いられる湿度センサの例 SENSIRION社製のSHT31-DIS-F型マルチピクセル水蒸気センサで、相対湿度0~100(±2)%, 気温0~90(±0.2)℃を計測できる。目盛は1mm。

あり、光源の発光効率の改善が必須である。このため、経済的な人工光植物工場が普及している分野は、カロリー源の食糧生産ではない、種苗生産とスプラウトを含む生食用葉菜類生産だけである。政策的支援がほぼ終了し、開発・導入の機運は衰退傾向である。

スマート農業の研究開発が活発化している⁽⁶⁾。半導体素子製造と微細加工技術の進歩が、MEMS（微小電気機械システム）センサ、記憶素子、演算素子の急速なコストパフォーマンスの向上を達成した。世間でAIと呼ばれる機械学習が再注目されているのも、コンピュータの性能向上が主因である。また、無線通信やインターネットの普及が、情報通信のコストパフォーマンスを向上させた。施設園芸生産においては、CO₂の制御に役立つCO₂センサ、ガス交換（気孔コンダクタンス）と病害の防除に役立つ飽差や露点温度を得られる湿度センサの低コスト化が、スマート農業の推進に大きく影響した。1990年頃に安くても16万円程度していたNDIR型^(用語)のCO₂センサが、現在では大幅に小形化して8千円程度になった。同じく、5万円程度した、植物生産施設の劣悪な環境で3年間程度使用できる性能の湿度センサが、今では2.5mm角で1個700円程度になった（図2）。灌水と温度の計測制御が主体であった施設生産現場に導入して管理を改善し⁽²⁸⁾、少なくとも1割程度の増収益が得られれば、十分元が取れるレベルになったのである。その結果、低かった高度設備の施設への導入率が徐々に向上し（図3）、施設面積の低下にも下げ止まりの傾向が見られた（図1）。

具体的な現状の目標導入コストを試算するために、施設植物生産の生産性を、総務省の統計データベース（e-

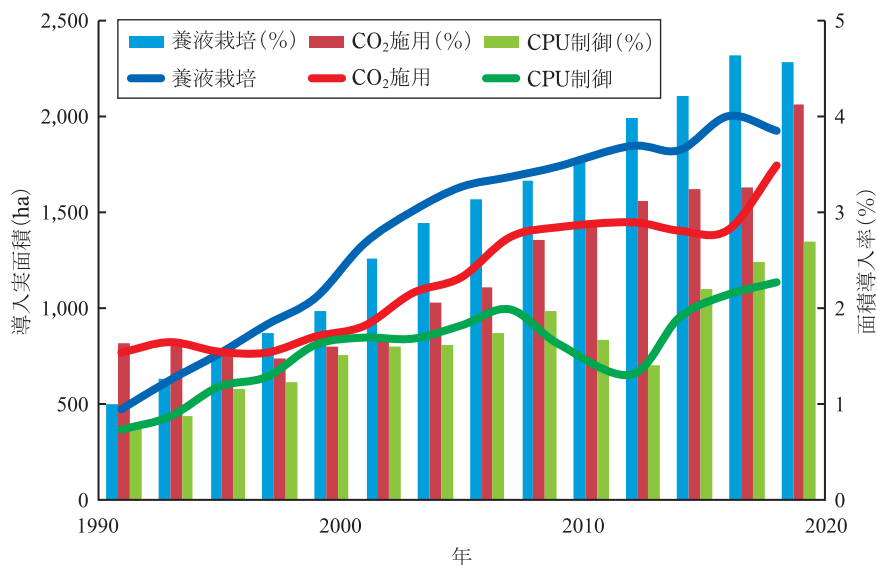


図3 高度設備の植物生産施設への導入実面積と導入率 農林水産省の「園芸用ガラス室ハウス等の設置状況」から、1991~2009、2012~2018年までを2年おきに調査したデータを図化した。凡例の「CPU制御」は、高度環境制御装置を示す。

Stat) で調べると、次のとおりである。2018年の営農類型別経営統計によると、比較的生産の多い施設大玉トマト作で、作付面積1m²当り、年生産量が10.3kg、年間労働時間が1.19時間、年粗収益が3,040円であった。また、日本のガラス室ハウスの設置面積から、施設生産者1戸の平均施設面積を調べると、2018年で2,537m²であった。よって、日本の大玉トマト施設生産者1戸当りの年間労働時間が平均3,020時間、年粗収益は平均771万円と試算される。例えば、1割の増収が期待できる、2年間の増収分で償却可能なシステムの目標導入コストは、約150万円になる。ICTの導入による省力効果で労働時間の短縮、生産性向上の増収益がどの程度期待できるかを明らかにすれば、開発すべき機器の償却費と運転経費の許容水準について自明になる。

3.2 ICTの導入はダウンサイジングをもたらす

経済性を向上するのに量産効果などのスケールメリットを活用する大規模化が定石である。施設植物生産先進国のオランダと比較すると、日本の生産者1戸当りの施設規模は平均1/18程度である⁽²⁸⁾。このため、植物生産施設の大規模化を目指した研究開発プロジェクトが日本では幾つも実施されてきた。しかし、少子高齢化による内需の減少傾向、平たん方形の用地確保の困難さ、日本の気候・気象特性による病虫害防除と高温抑制の難化、高額な国産施設・設備コストなどの懸念があり、大規模施設の投資・新設は余り進まず、うまくいっていないように感じる。収量を増やし、1戸当りの施設規模を拡大し続けているオランダでは、供給量の増大によりトマト単価は日本の1/3程度に下がり、施設面積も減少している。更に、大規模設備投資の負債額が大きいため返済と利子負担が重く、労働時間当りの収入は日本と余り変わらず、生産者の幸福にはつながっていない。重厚長大指向の技術開発は、小回りの利かない自転車操業を推進してしまったように私は感じる。

また、トップの施設向けに先端技術を積極的に研究開発し、規制緩和すれば、最先端が受けた大きな利益の再分配が増え、全体の経済性が引き上げられるという理論も改善手段の定石である。1980年頃の技術開発は、この哲学で進められてきたが、ピラミッドの下層を引き上げる恩恵より、切り捨てる結果になり、1999年頃からの設置面積の急激な減少を招いた一因になってしまった。

メインフレームから、トロン⁽²⁹⁾、グリッド、ユビキタス、エッジコンピューティングなどへの変化の歴史を考えると、ICTの導入は分散化によるダウンサイジングと相性が良いように感じる。2005年頃から始まった、Arduino^(用語)などのプロジェクトは、オープンソースハードウェアの低コスト小形コンピュータ基板を使ったガジェットを個人で手軽に製作可能にした。専用基板の

高価格などで普及が伸び悩むUECSに適用し、ICTで日本の中小規模施設にもオランダ並みの高度環境制御可能なArduinoベースのガジェットを開発するプロジェクトを2013年度から開始した。2015年度には、低コストUECSと呼ばれる日本などの中小規模施設のニーズに合致した環境計測制御システムのオープンプラットフォームを確立できた⁽³⁰⁾。Raspberry Piベースの機器の開発製造する企業などとともに、2016年度から実証プロジェクトを6県で実施した。各地域の特色ある作目・作型の中小規模の植物生産施設に設置し、施設面積1,000m²当り、年間17.5~93.4万円の収益増が確認された(<https://smart.uecs.org/>)。プロジェクトで開発された、ライブラリ、アプリケーション等はフリーウェアとしてオープン化されており、前述のWebサイトからダウンロードできるようになっている。工作が得意な施設生産者が自作することも可能になっており、書籍等^{(31)~(33)}も発売され、講習会やセミナーなども開催された。その結果、導入する中小規模施設生産者が増えている。一時低下したコンピュータ環境制御の面積導入率が2014年度頃から回復基調に転じたことにも、本提案は一定程度貢献したと考えている(図3)。ICT導入で規模と供給量の拡大を目的にするよりは、現在の施設野菜・花などの供給を実質的に支えている日本の中小規模施設の経営持続性を高めるという現状の課題解決を目指すと考えている。

4. 課題と展望

施設植物生産のセンシングにおいて、ICTを用いて時系列の計測記録が可能になり、トレンドグラフや統計処理で時間変動、較差、出現確率等を調べることで、非定常的、周期的な情報解析が可能になった。次は、点から、空間的な広がりを考慮した計測値を得る仕組みが重要になるだろう。トマトの長段栽培の例では、施設面積1m²当り約2.5本の密度でトマトが植栽される。1haの施設では2万5,000本になるが、その僅か1本にセンサを取り付けて計測した値が全体を代表するとは考えにくい。例えば、土壌水分センサで1点を計測するなどである。しかし、センサをグリッド状に生産現場へ多数設置するのは、高コストになるし、作業の邪魔になる。

解決策として有望なのは、広範囲をカバーするセンシングか、モバイル化であると思う。前者は、隔離ベッド^(用語)の栽培方式ならば、ベッドにロードセル^(用語)を取り付けて重量変化を調べれば、数十本分の土壌水分を得ることができる。光合成速度であれば、施設全体のCO₂収支を測定してモデル⁽¹⁴⁾を使って推定できる。後者であれば、施設内の1か所にセンサを固定設置して連続計測する従来の方法以外に、生産者がスマートフォンなどに接続して持って歩けるモバイルセンサを開発す

る。成育のよし悪しの観察などで、生産者は施設内の気になる場所を知っている。例えば、モバイルの土壤水分やCO₂センサをこのような地点に持って行き、センシングすれば、原因の究明や対策に役立つ。ドローンなどを使った移動計測も発展が期待できる。ドローンやAIを用いた計測は、画像計測ばかりが最近採り上げられているが、モバイルや賢い数値計測⁽³⁴⁾への応用も期待したい。

環境制御については、これまでは、光合成の最適環境を維持し、できるだけ植物にストレスを与えないような方法が良いとされてきた。しかし、外部気象環境の急変などで、環境制御していても施設内の植物にストレスになる環境を与えてしまうことも多々ある。好適環境だけを日頃与えられている植物は、対ストレス応答機能が低下し、弱いストレスでもしおれてしまうように、虚弱になってしまう。そこで、いわば防衛体力と呼ぶような、植物の対ストレス感度、環境耐性を定量的に計測し、それを目標値にする適度なストレスを付与して生産の安定化を図る制御方法が望まれる。

1980年代の施設植物生産の研究開発の目標は高品質生産であったが、植物工場が再注目された頃から、収量が第1に変わった。今後、内需は減少していくことを考えると、目標転換の時期に来ていると思う。露地物が旬で供給がだぶついている時期に、同程度かそれ以下の定品質大量連続施設生産を行うことは、そう大きなメリットにならないのではないかと。まさに、「豊作貧乏」であり、そのようなときには品目を変えたり、休んだりできるような生産管理システムの構築が必要であろう。施設は、地域気象資源の増幅装置であり、人工光植物工場のような任意気象環境実現装置ではない。日本全国で同一品質生産するグローバル化より、施設を使用して、1階級高品質な地域特産品を生産したりするような、収穫期を前後に拡大して端境期に必需したり、高単価を目標にした地域活性型施設植物生産を狙ったりすべきではないか。

SDGs(持続可能な開発目標)が国連サミットで策定され、施設植物生産にも経済性だけでなく、持続可能性の追求も強く求められるようになる。重油暖房の使用、かけ流しの養液栽培、植物残渣・廃培地・被覆材の廃棄などの課題がある。ICTとシステム科学を活用し、エネルギー・物質収支のアセスメントを行い、改善できる研究開発が必要になる。

国内の就業者1名当りの生産額で比較すると、農業は産業平均の1/3.67である。また、トマトを施設生産すると、生産性は露地生産の約2.49倍である⁽³⁵⁾。農業就業人口が減少の一途であるとして、国内農業の危機を表明する論説が多い。しかし、人を増やすのではなく、今の1/1.47の労働力で同程度の生産額を得られる省力施設トマト生産体系を構築できれば、他産業とはほぼ同様の

経済生産性を持つ産業に変われる。そうなれば、他産業と同等の魅力を持てるようになって新規就農者も増加し、産業の持続性も高まるであろう。今はチャンス時代ではないか。省力化を推進する今後のICTの研究開発に期待は大きい。

5. おわりに

コストパフォーマンスが劇的に良くなったICT導入の期待が高まる昨今の状況には、すばらしい時代が到来したと考える。その一方で、過去の何度かのブームが成就しなかった原因の一つに、開発→製造→販売→消費(生産者)の硬直した垂直構造があったのでは、と思う。私が学生の頃、教授から「研究テーマは農家の庭先から探せ」と戒められた。本稿で述べたとおり、想定の下に研究室内でよかれと開発した技術が生産現場で全く使えないことがよくあった。アウトリーチ活動にとどまらず、生産者と開発・製造側の人々が最初からワイガヤ方式で‘もの’づくりできるような共創・共生組織構築の必要性を強く感じる。今後は、農業ファブラボのような仕組みを作り、持続的な施設植物生産の発展に寄与したいと考える。

なお、本稿に紹介した研究の一部は、科学研究費助成事業19K06323の支援を受けた。

文 献

- (1) 高辻正基, 植物工場, 講談社, 東京, 1979.
- (2) 牛島忠弘, 古川昭雄, 米山忠克, 植物の生産過程測定法, 共立出版, 東京, 1981.
- (3) 板木利隆, 施設園芸, 誠文堂新光社, 東京, 1983.
- (4) 農業情報パソコン通信大会実行委員会, 農業情報1989, キャンズ, 茨城, 1989.
- (5) 星 岳彦, 平藤雅之, 本條 毅, バイオエキスパートシステムズ, コロナ社, 東京, 1990.
- (6) 農業情報学会(編), 新スマート農業, 農林統計出版, 東京, 2019.
- (7) 平栗健史, 清水博幸, 進藤卓也, 木許雅則, 大田健輔, “スマート農業に向けた取組み,” 信学誌, vol. 103, no. 6, pp. 591-599, June 2020.
- (8) 北 栄輔, “食・農分野におけるICTの利活用,” 信学誌, vol. 99, no. 2, pp. 98-103, Feb. 2016.
- (9) 深津時広, “農業分野におけるセンサネットワーク技術の利用と課題,” 信学誌, vol. 97, no. 8, pp. 688-694, Aug. 2014.
- (10) 神成淳司, 工藤正博, “農業分野におけるIT活用—高付加価値化につながる取組み—,” 信学誌, vol. 96, no. 4, pp. 280-285, April 2013.
- (11) 関山哲雄, 施設園芸の環境調節と省エネ技術, 農林統計協会, 東京, 2003.
- (12) 平野 恵, 温室, 法政大学出版会, 東京, 2010.
- (13) 榛沢茂量, “世界一の水耕農場,” 東京都三鷹市大沢郷土史, vol. 6, pp. 1-81, 2011.
- (14) J.V. Lake, “Measurement and control of the rate of carbon dioxide assimilation by glasshouse crops,” Nature, vol. 209, pp. 97-98, 1966.
- (15) G.E. Bowman and G.S. Weaving, “A light-modulated greenhouse control system,” J. Agric. Engng. Res., vol. 15, pp. 255-264, 1970.
- (16) T. Takakura, T. Kozai, K. Tachibana, and K.A. Jordan, “Direct digital control of plant growth,” Trans. ASAE, vol. 1974, pp. 1150-1154, 1978.

- (17) 沢田信夫, 板木利隆, 石川洋一, 市川惇信, “座談会 植物工場システムの可能性,” 計測と制御, vol. 14, no. 6, pp. 448-459, 1975.
- (18) 高倉 直, 岡田益巳, 島地英夫, 奈良 誠, “温室の複合環境制御用マイクロコンピュータシステムの試作,” 農業気象, vol. 35, pp. 97-102, 1979.
- (19) 古在豊樹, 伊東 正, 稲山光男, 小林 肇, “マイクロコンピュータによる温室環境管理システムの開発と実用化試験,” 農業気象, vol. 38, pp. 45-50, 1982.
- (20) 板木利隆, “施設内環境の好適化,” 施設園芸, pp. 174-246, 誠文堂新光社, 東京, 1983.
- (21) 高倉 直, 古在豊樹, 星 岳彦, “農業分野への応用,” AI 総覧, 矢田光治 (監修), pp. 636-661, フジテクノシステム/エス・ディ・シー, 東京, 1987.
- (22) T. Hoshi and T. Kozai, “Knowledge-based and hierarchically online control system for greenhouse management,” Acta Hort., vol. 148, pp. 301-308, 1984.
- (23) 平藤雅之, 窪田哲夫, “変動環境下における植物生長のカオス性,” 生物環境調節, vol. 32, no. 1, pp. 31-39, 1994.
- (24) T. Hoshi, Y. Hayashi, and H. Uchino, “Development of a decentralized, autonomous greenhouse environment control system in ubiquitous computing and Internet environment,” Proc. 2004 AFITA/WCCA Joint Congress on IT in Agriculture, pp. 490-495, Bangkok, Thailand, Aug. 2004.
- (25) T. Hoshi, K. Yasuba, H. Kurosaki, and T. Okayasu, “Ubiquitous environment control system: An Internet-of-Things-based decentralized autonomous measurement and control system for a greenhouse environment,” Automation in Agriculture-Securing Food Supplies for Future Generations, S. Hussmann, ed., pp. 107-123, IntechOpen, Belgium, 2018.
- (26) 高辻正基, 森 康弘, LED 植物工場, 日刊工業新聞社, 東京, 2011.
- (27) 古在豊樹, 閉鎖型苗生産システムの開発と利用, 養賢堂, 東京, 1999.
- (28) エベ・フューヴェリンク, トマト オランダの多収技術と理論, 中野明正, 池田英男 (訳), 農文協, 東京, 2012.
- (29) 坂村 健, 電腦未来論, 角川書店, 東京, 1989.
- (30) 星 岳彦, 安場健一郎, 黒崎秀仁, “日本の施設園芸とユビキタス環境制御システムの現状と展望,” 植物環境工学, vol. 28, no. 4, pp. 163-171, 2016.
- (31) 中野明正, 安 東赫, 栗原弘樹, ICT 農業の環境制御システム製作, 誠文堂新光社, 東京, 2018.
- (32) 加藤 敦, 佐藤 光, “環境制御機器の自作に挑戦中!,” 現代農業, vol. 96, no. 1, pp. 170-175, 2017.
- (33) 安場健一郎, 須田隼輔, “簡易ビニールハウスの自作 & IoT 制御に挑戦,” Interface, vol. 44, no. 10, pp. 41-50, 2018.
- (34) 星 岳彦, 松浦明日菜, 李三綾音, “温室気象環境予測のための深層学習モデル適用の可能性,” 2020年全国大会講演要旨, 日本農業気象学会, 大阪府堺市, p. 84, 2020.
- (35) 星 岳彦, “施設園芸生産現場へのスマート農業技術導入の課題と展望,” JATAFF ジャーナル, vol. 8, no. 8, pp. 30-34, 2020.

(2020年12月21日受付 2021年1月12日最終受付)



ほし たけひこ
星 岳彦

1994 千葉大大学院自然科学研究科了, 博士(学術). 電力中央研究所生物研究所, 東海大・開発工を経て, 現在, 近畿大・生物理工・教授. 専門は, 植物生産工学, 植物環境調節工学, 農業情報工学. 日本農業工学会フェロー, 農業情報学会副会長・フェロー.