【お知らせ】

最新版（平成31年3月発行）の報告資料は下記で公開されています。ぜひご覧ください。

平成30年度　次世代施設園芸地域展開促進事業

・事業報告書（PDFファイル：6999KB）

http://www.jgha.com/jisedai/h30/report/30jigyouhoukokusho.pdf

・（別冊1）「大規模施設園芸・植物工場　実態調査・事例調査」（PDFファイル：3894KB）

http://www.jgha.com/jisedai/h30/report/30bessatsu1.pdf

・（別冊2）「次世代施設園芸・植物工場導入・改善の手引（3．運用編訂正版）」（PDFファイル：6638KB）　http://www.jgha.com/jisedai/h30/report/30bessatsu2.pdf

・（別冊3）「次世代施設園芸の普及拡大に向けた人材の必要性と、その育成方法の検討」（PDFファイル：8603KB）http://www.jgha.com/jisedai/h30/report/30bessatsu3.pdf

・（別冊4）「農業用ハウス設置コスト低減のための事例集」（PDFファイル：5848KB）

http://www.jgha.com/jisedai/h30/report/30bessatsu4.pdf

平成 29 年度次世代施設園芸地域展開促進事業（全国推進事業）
事業報告書（別冊 2）

次世代施設園芸・植物工場のケーススタディ

一般社団法人日本施設園芸協会

目次

はじめに 3

執筆者 4

１章　人的資源管理 5

２章　生産管理 16

３章　品質管理・安全衛生管理 23

４章　エネルギー管理 37

５章　情報管理 54

６章　植物工場における生産性指標 62

はじめに

農林水産省の次世代施設園芸導入加速化支援事業により、全国 10 箇所の次世代施設園芸拠点が整備され、国内でも有数の大規模施設園芸が取り組まれている。そこでは数十名から百名規模での雇用による組織的な運営がされ、また需要に応じた高度な品質管理や安全衛生管理がされている。さらに地域資源を利用したエネルギー管理や、環境計測や植物体計測を利用した高度な情報管理もされている。一方で高度環境制御を行う植物工場施設として、今後も生産性向上が求められ、そのための生産性指標を明らかにする必要があると考える。

次世代施設園芸や植物工場の今度の地域展開や普及拡大に資するよう、以上についてのケーススタディを行い、共通的な取り組みや留意すべき事項について取りまとめた。また生産性指標の整理と、主に人工光型植物工場の事例から生産性評価を行い、太陽光型植物工場の生産性評価へとつなげた。

本報告は次世代施設園芸地域展開促進事業（全国推進事業）の次世代施設園芸検討専門委員会を中心に取りまとめを行った。ケーススタディに協力をいただいた次世代施設園芸拠点、コンソーシアムメンバー、および植物工場事業者の方々に、感謝申し上げる。

執筆者

東出　忠桐　（5 章執筆）

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構　野菜・花き研究部門　野菜生産システム研究領域　施設生産ユニット長
（全国推進事業　次世代施設園芸検討専門委員会　委員長）

大山　克己　（1、2、6 章執筆）

みのりラボ株式会社　代表取締役/大阪府立大学植物工場研究センター　特認准教授
（全国推進事業　次世代施設園芸検討専門委員会　副委員長）

阪下　利久　（3 章執筆）

オイシックスドット大地株式会社　戦略調達部門　ファウンダー
（全国推進事業　次世代施設園芸検討専門委員会　委員）

林　真紀夫　（4 章執筆）

東海大学名誉教授
（全国推進事業　次世代施設園芸検討専門委員会　委員）

田口　光弘　（1 章執筆）

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構　北海道農業研究センター　水田作研究領域　主任研究員
（全国推進事業　専門委員）

１章　人的資源管理

田口　光弘・大山　克己

（要約）
施設園芸では、日々の作業の機械化が進んでいないために、作業を遂行する上で人手は必要不可欠である。それに起因して、経費全体に占める労務費の割合が大きい。したがって、施設園芸における収益性を高めるためには、労務費の低減が望まれる。ここでは、施設園芸における労務費低減のための労働生産性向上を目的とした組織体制の構築と人的資源管理について、次世代施設園芸拠点における事例を紹介しながら、その手法を解説した。

1.　はじめに

水田作や露地野菜作に比べ、施設園芸では、日々の作業についてあまり機械化が進んでいないため、作業遂行においては人手が不可欠となる。特に、次世代施設園芸拠点のような数 ha 規模の施設園芸経営では、社員・パート従業員あわせて数十名から 100 名超の雇用労働力を必要とし、農業の他部門に比べ人的資源の活用と管理が重要な経営課題となっている。

これら雇用労働力の概要について、既存資料から概観すると、まず表 1 は、2015 年農林業センサスによる「部門別・作付面積規模別　雇用労働力導入経営体における一経営体当たりの雇用労働力の状況」である。各部門における規模は、2015 年農林業センサスで示される部門別の上限規模である。そのため、ここでの数値は、各部門での大規模層における雇用労働力の状況を比較したものである。表 1 によれば、施設野菜作は露地野菜作、水稲作に比べ大規模経営において常雇い（雇用契約に際し、あらかじめ 7 か月以上の期間を定めて雇った人）が 2 倍ほど必要とされ、臨時雇いも延べ人日で見たら 3 倍近く必要とされている。

表 1　部門別・作付面積規模別　雇用労働力導入経営体における一経営体当たりの雇用労働力の状況（全国平均）

	施設野菜（3ha以上）	露地野菜（5ha以上）	水稲（15ha以上）
常雇い（人）	11	5	5
臨時雇い（延べ人日）	833	305	222

資料：2015 年農林業センサス

次に、費用面から、施設野菜作における雇用労働力の位置づけを見てみる。表２は、政策金融公庫のトマト作経営における損益計算書のデータであるが、家族経営平均は規模

0.58ha に対し、労務費の対売上高比 11%であるが、法人経営平均は規模 1.33ha に対し、労務費の対売上高比は 23%で、減価償却費の同 15%より大きなコスト要因となっている。

このように、施設園芸では、雇用労働力を他部門より多く導入しており、さらに大規模経営では労務費が減価償却費と同等以上のコスト要因となっている。減価償却費は、施設の設立時点の投資金額でほぼ規定されるため、日ごろの業務運営努力により低減できるのは労務費といえる。労務費は、役員以外の従業員、すなわち社員やパート・アルバイトへの給与等から構成されるが、ここで、大規模施設園芸における社員とパート従業員間での役割分担について言及する。次世代施設園芸拠点等へのこれまでの聞き取り調査から、大規模施設園芸では、定植や収獲等の日常作業は主にパート従業員が行い、社員は主に作業全般の進行管理や、栽培管理、環境制御が主たる業務となる。そのため、農場における作業効率や総作業時間と関係するのは、主にパート従業員の職務内容といえる。

表２　トマト作における収益性（2015 年度の損益計算書データ）

	家族経営平均 （266経営体）	法人経営平均 （16経営体）
面積（単位：ha）	0.58	1.33
売上高（単位：千円/10a、以下同様）	5,940	8,491
農業所得(カッコ内は対売上高比、以下同様)	1,670(28%)	
経常利益		58(1%)
役員報酬		412(5%)
材料費（種苗、農薬など）	1,325(22%)	972(11%)
労務費	661(11%)	1,973(23%)
燃料動力費	569(10%)	585(7%)
減価償却費	546(9%)	1,251(15%)
賃料・リース料	97(2%)	285(3%)
その他（主に販売経費）	1,037(17%)	2,955(35%)

資料：日本政策金融公庫「施設園芸（トマト）の規模と収益性に関する調査」2017 年 3 月

以上より、労務費の低減方策としては、2 つのアプローチがある。第一に、パート従業員を主とする従業員の労働生産性の向上である。労働生産性に影響を及ぼす要因としては、１）従業員個々の技能、２）従業員のモチベーション、３）作業遂行における班編制の内容、の 3 点が考えられる。

第二のアプローチは、作業の繁閑に応じた要員配置計画の策定である。作業の内容や時期

に応じて農場で必要となる人工数は異なるが、必要とされる人工数に対して過剰にならないよう従業員のシフトを組むことで労務費を削減できる。そのようなシフトを組むためには、作業記録をもとにした作業別の標準作業時間（作業目安時間）を策定した上で、作業計画をもとに週別や日別の必要人工数を把握しなければならない。

本章では、労務費削減に向けた第一のアプローチである「労働生産性の向上」に関する取組内容について、従業員の技能育成、従業員のモチベーション向上、作業遂行における班編制の内容の 3 点について述べる。一方、次章の「作業工程管理」では、第二のアプローチである「作業の繁閑に応じた要員配置計画の策定」に関連して、作業記録の収集方法や、標準作業時間の策定、作業計画の作成などについて複数拠点の実態を述べる。

本章の以下の構成であるが、最初に、次世代施設園芸拠点における組織体制について、3 つの拠点を事例に述べる。そこでは、社員とパート間での役割分担や職位内容、作業時の班編制などについて説明する。それ以降の節では、従業員の技能育成、従業員のモチベーション向上について、事例調査の結果を順次述べる。

2. 組織体制の整備

大規模施設園芸経営（以下、大規模経営と表記）においては、生産管理を適切に進める上で、組織体制の整備は必須といえる。小規模な経営においては、役割の分担が明確になっていなくても、経営者と従業員間で容易にコミュニケーションが取れるので、その都度指示を出しながら生産管理を進めることができる。しかしながら、規模の拡大にともない従業員が増えてくると、個々の役割分担を明確にするとともに、従業員を数名単位でグルーピングして作業班ごとに進捗管理をしていかないと、日々の作業が滞り、生産管理に大きな支障が生じる。

実際、いくつかの拠点では、立ち上げ時に役割分担がはっきりとせず、それに起因して、作業の混乱が見られた。しかし、現在、ほとんどの拠点では、組織体制の構築が進み、現場における混乱といった問題はおおむね解消されつつある。

上述のように、大規模経営では、作物生産をしつづける上で、組織体制（個々の役割分担と班編制）の整備は必須といえる。しかし、このような組織体制であれば問題が生じないという定石があるわけではない。これは、各経営の沿革や運営方針、作物構成によって組織体制は異なってくるためである。ここでは、次世代施設園芸拠点において現在取り組まれている組織体制の整備に関する共通項を探ることを目的として、特徴のある 3 つの拠点の組織体制を比較する。

2.1. A 拠点における組織体制

A 拠点では、4 ha の大規模施設を利用して、イチゴを生産している。この大規模施設では、生産部長の下に、生産および選果担当の社員を配置するとともに、管理部長の下に総務、

営業担当の社員を 1 名配置している（図 1）。さらに、生産担当および選果担当社員のそれぞれの下には、パート従業員のグループを配置している。生産担当社員の下のパート従業員は、栽培する品種によってグループが分かれている。

この拠点では、パート従業員のグループをまとめる存在として、クループ内にリーダーを配置している。リーダーの役割は、社員へ作業の進捗状況を報告するとともに、終業時に日報を作成することになっている。なお、賃金が同一であるパート従業員が、グループ内でのリーダーとして役割を担う際の負荷を軽減するために、リーダーを固定することなく交代制としている。交代でリーダーを経験することにより、すべてのパート従業員が、リーダーの役割を理解できるよう配慮している。この点は、他の拠点ではみられない大きな特徴である。

基本的に、この拠点では、パート従業員の属するグループごとに異なる作業を実施する。それゆえ、通常、生産グループと選果グループは独立している。しかし、繁忙期には、生産グループが選果グループの支援をする場合がある。

A 拠点では、通常時は、雇用しているパート従業員で作業をまかなっている。しかし、パート従業員でまかないきれなくなった場合には、派遣従業員やシルバー人材を投入している。なお、この拠点の存在する地域は工業地帯に隣接しているために、比較的パート従業員を雇用しやすいという特徴がある。そのために、他の拠点と比べて欠員の補充などが容易である。

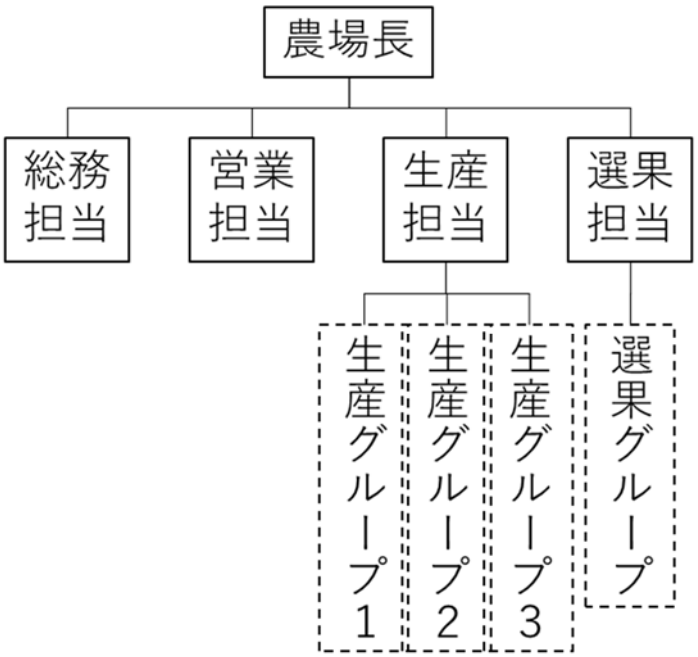


図 1　A 拠点における組織体制の概要。社員は実線で、また、パート従業員は破線で囲んでいる。なお、実際の組織体制より簡略化して記載していることを付記する。

2.2.　B 拠点における組織体制

B 拠点は、長期多段取りでトマトを生産している。ただし、パート従業員の雇用人数が 100 名程度と多く、それに起因して、発展した組織体制が構築されている。

この拠点では、グロワーと呼ばれる役員が生産全体をマネージメントし、その下には大玉トマト棟とミニトマト棟で栽培管理を担当する責任者と、選果棟で選果管理を担当する責任者とが各 1 名配置されている（図 2 参照）。それら責任者の下には、実際の作業計画を立案し指示を行い、パート従業員とともに作業をしつつ「みずすまし」と呼ばれる役割を担う担当社員が配置される。「みずすまし」とは工業分野では部品供給係を意味し、部品置場と現場との間を行き来する役割を担う。ここでは、圃場においてそれぞれのグループを見回り、必要な資材などを提供するとともに、作業が遅れているグループに入って一緒に作業することで、全体の作業が滞ることがないように配慮する。また、栽培担当社員とパート従業員との間、また、選果担当社員とパート従業員との間には、意思疎通を円滑にする役割を担うアシスタント（トレーナー）が配置されている。

B 拠点では、栽培に従事するパート従業員は、高所作業を担当するグループと低所作業を担当するグループに分けられる。他方、選果は、選果を担当する社員とその下にいるアシスタントおよびパート従業員により実施されている。なお、ここで、アシスタントは作業のスキルの到達度や本人の希望を勘案して、パート従業員の中から登用され、パート従業員への指示や教育など現場においてリーダー的な役割を担う。

この拠点は、前述のように、パート従業員の数が100名程度と多い。そのために、パート従業員の雇用者数が少ない拠点と比べて、個々の役割分担がより明確な組織体制を構築する必要があったと考えられる。他方、パート従業員から社員登用といったキャリアパスも整備している。パート従業員の中で社員への登用を希望する人にとっては、モチベーションの維持・向上に寄与しているかもしれない。

全国に10か所ある次世代施設園芸拠点のうち、施設規模が最も大きいところは、4.3 haである。この規模を超えるような場合、パート従業員数はC拠点よりも大きくなる可能性が高い。この場合、事前にB拠点のような組織体制を構築していなければ、現場で大きな混乱を生じることは想像に難くない。B拠点のような組織体制の構築は、今後より大規模な施設園芸経営においては、必須になると考えられる。

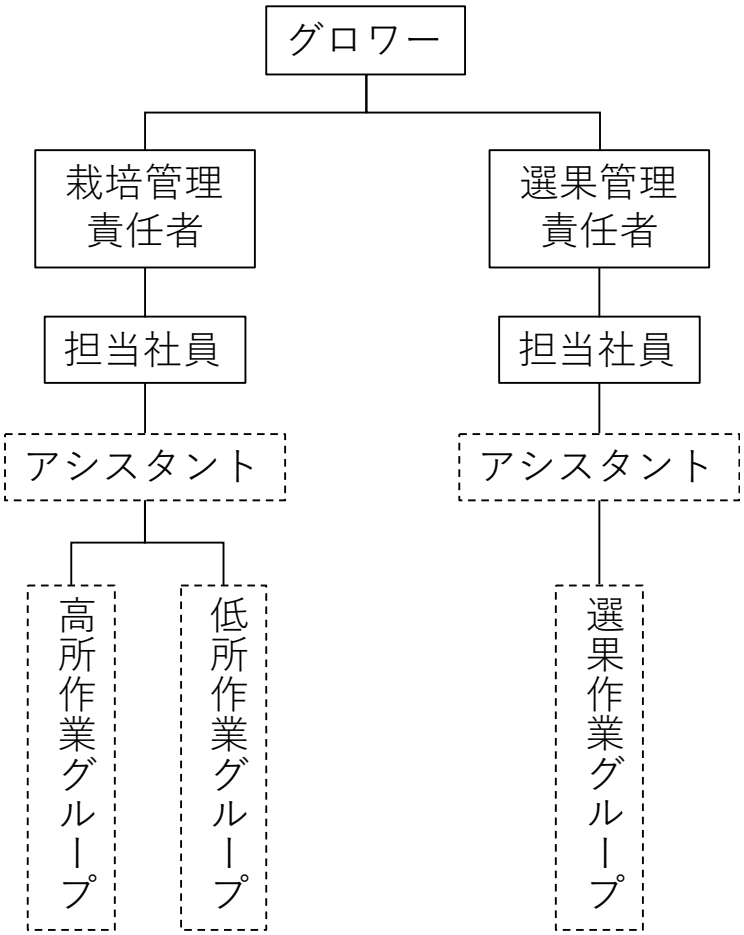


図 2　B 拠点における組織体制の概要。社員は実線で、また、パート従業員は破線で囲んでいる。詳細に関しては、本文参照。なお、実際の組織体制より簡略化して記載していることを付記する。

2.3. 各拠点の組織体制の共通点と作業班編成に関する考察

A 拠点、B 拠点、C 拠点で、組織体制は異なってはいるが、共通項も見受けられる。まず、圃場作業を担当するグループと選果を担当するグループは、基本的に別々となっている点があげられる。次世代施設園芸拠点のような大規模な施設園芸経営の場合、収穫物の量は多い。また、作業の内容は、圃場作業と選果にかかわる作業では、大きく異なる。それゆえ、大量の収穫物をさばきつつ、かつ、異なるスキルが要求されることから、両者はあらかじめ分業化されていた方が好ましいと判断されたと推測される。ただし、多くの拠点で圃場作業と選果は別グループとなっているものの、繁忙期にはパート従業員を融通し合い、作業を時間内で終了させるような工夫をしている場合が多いことは記しておきたい。

現場のパート従業員は、現場の作業の種類によりグループ分けされている場合が多い。ここで例示したBおよびC拠点では、上述の場合と同様に、作業内容の異なる高所（高所作業者に乗って作業をする）および低所（高所作業者に乗らずに作業する）でパート従業員のグループ分けをしている。A 拠点は、栽培する品種によりグループ分けをしている。ただし、それぞれの品種で作業の内容が異なる場合が想定されることから、とらえ方をかえれば、A拠点もB拠点やC拠点と同様に、作業別のグループ分けをしていると見ることもできる。

多くの拠点では、現場での作業を実施しているパート従業員を束ねるリーダー的な役割を果たす者を配置している。これは、指示を出す社員とパート従業員との意思疎通を円滑にするためである。現場のパート従業員になにか疑問などが生じた場合、社員がすべてを対応するよりも、より現場に近いリーダー的存在のパート従業員が対応した方が迅速である。このような役割を担う人材は、今後、現場の作業を滞りなく遂行する上で重要度が増してくると予想される。

B拠点およびC拠点では、比較的早期の段階で、パート従業員の中からリーダー的な役割を果たす者を登用し、賃金面を含めた処遇の変更を実施してきた。他方、ここに例示していない拠点でもリーダー登用の動きはあるが、処遇の変更までには至っていない場合が多い。これは、処遇の変更にともない、パート従業員間の不公平感の発生や人件費の上昇という悩ましい問題が発生するためである。大規模施設を利用した作物生産の開始当初は、経営的に厳しい状態にさらされる場合がある。その中での処遇変更は、なかなか決断しづらい。他方で、従業員の多くがほぼ同様の作業を実施している場合、暗黙の了解として、処遇の平等性が求められるかもしれない。現状では、処遇の変更事例が少なく、また、それによる状況の改善が不明であるので、その是非に関しては判断できない。しかし、強固な組織体制を構築する上では、今後考慮すべき問題かもしれない。

他方、作業ごとにグループ分けした場合、パート従業員がその作業に専業的に取り組むこととなる。この場合、その作業に関する習熟度を早期に高めることが可能である。しかし、専業制でかつ十分な人数のパート従業員がいない場合、休暇や欠勤により特定の作業で人が足りなくなると、他の作業担当のパート従業員が支援に回ることができないので、当該作業に遅れが生じてしまう。一方、いろいろな作業をパート従業員に経験させ多能工化を図る場合、専業的に作業に従事した場合と比べて、習熟速度は遅くなる傾向がある。しかし、全員がすべての作業をこなせるので、休暇や欠勤による特定作業への影響は軽減される。パート従業員の専業化と多能工化のいずれが正しいというわけではないが、このような特徴を考慮した上で組織を構築するとともに、パート従業員を教育する必要がある。

やや話はそれ、組織体制の構築以前の問題をここで記述しておきたい。都市部やその近郊、A拠点のような地の利がある場所では、パート従業員の雇用はそれほど難しくない。しかし、人口の少ない地域に大規模施設を建設してパート従業員を雇用する場合、なかなか希望する人数まで集めるのは難しい場合がある。人員確保の問題は、いくつかの拠点において聞かれる。これを回避するためには、あらかじめ必要とされる人数のパート従業員を確保できる

かといった地域的な特性などを勘案しながら、建設地を選定した方が好ましいかもしれない。

以上、本節では、主だった特徴のある 3 つの次世代施設園芸拠点における組織体制を例示した。これら以外にも、組織体制の構築のために、様々な工夫がそれぞれの拠点で実施されていて、かたちとなりつつある。また、実際の生産活動の中で、多くの拠点では、よりよい組織体制のあり方を探り続けている。今後、ここで例示した拠点を超えるような、さらに円滑に生産活動を実施できる組織体制のモデルが構築されることを期待したい。

3. 労働生産性の向上に向けた人的資源管理施策の取組事例

3.1. 従業員の技能育成

農作業の技能育成の基本は、OJT（On the Job Training：日常の業務に就きながら行われる教育訓練）であり、多くの次世代施設園芸拠点では OJT を実施している。OJT は、単に作業をさせることではなく、Show（やってみせる）、Tell（説明する）、Do（やらせてみる）、Check（補修指導）という 4 つの段階を踏むことで、効果的に技能育成が図られると言われている。

調査した次世代拠点の中では、上記の「やってみせる、説明する」の段階では、技術を持つ社員がパート従業員に具体的に指導する体制がとられている場合が多い。また、一部の拠点では、習熟したパート従業員が、初学者のパート従業員に指導する場合もある。社員あたりのパート従業員数が少ない規模では、社員がパート従業員に個別に指導することは可能である。しかし、規模拡大に伴い、社員あたりのパート従業員の数が多くなってきた場合、社員だけで OJT を実施していくのは難しくなる。それゆえ、ある一定規模以上（たとえば 1 ha）になった場合には、習熟したパート従業員が、初学者のパート従業員に指導する体制を検討し始めた方が好ましいと考える。

特に、新たに施設園芸を立ち上げる場合には、稼働当初のパート従業員の人数が少ない中できちんとした指導することにより、後の指導者となるパート従業員を育成できれば、パート従業員の人数が多くなったとしても、対応することが容易になる。それゆえ、初期のパート従業員の教育は、とくに重要といえる。稼働当初は混乱が生じやすいが、そのような中でも教育を実施できれば、後の安定稼働に早期につながると考えられる。

また、Tell（説明する）の段階において、勉強会のような座学研修も併用している拠点も見られた。例えば、ある拠点では、普及センターの協力を得ながら、作物の基礎知識に関する勉強会を月に 1 回定期的に開催している。作物に不慣れなパート従業員は、作物の器官名を言っても理解できない場合がある。それを改善するために、普及指導員による座学を行うとともに、簡単なテストも実施して、知識の定着を図っている。

現状では、パート従業員への座学研修が実施されている拠点は、半数に満たない。しかしながら、一度に多くのパート従業員に知識を与えられるという効果を考慮すると、今後、パ

ート従業員を多く抱える大規模施設園芸では、座学研修への取り組みが増えてもよいのではないかと考える。

なお、作業内容の説明においては、パート従業員が従事する作業は、比較的単純な動作の繰り返しである場合が多く、なぜそれをしなければならないのかを理解していないと、単にやらされていると感じ、技能向上の意義を見出しにくいと想定される。このような問題を回避するためには、なぜそれをする必要があるのかを、とくに収益状況の改善や雇用維持の側面から、理解させる必要があると考えられる。なかなか管理者（社員やパートリーダー等）からパート従業員に伝わりづらい部分もあるかもしれないが、座学研修や OJT などを通じて、日々の作業の中に意義ややりがいを見出すための支援を実施する必要があると考える。

次に、OJT に関し、上記 4 段階のうち Show、Tell、Do までの 3 段階まではなされているものの、作業スピードや作業の質（正確さ）を把握しての Check（補修指導）まで実施できている拠点はまだ少ない。なぜなら、作業スピードは、作業日報や ICT による作業管理システムにより定量的にとらえやすいが、多くの従業員がいる中で、個々の作業の質を評価することは難しいからである。

また、従業員のスキルアップに向けて、計画的な OJT の実施が望まれるものの、不定期（または必要に応じて）となってしまっている場合もある。しかし、なりゆきでパート従業員の作業スピードや質の向上を期待するよりも、計画的に OJT を実施して短期間で満足のいくレベルに到達させた方が、作業計画の精度を向上するためには好ましい。それゆえ、今後は、計画的な OJT プログラムの構築が課題といえる。

3.2. 従業員のモチベーション維持・向上施策

パート従業員のモチベーションの維持・向上は、農業分野だけではなく、他産業においても大きな課題であろう。パート従業員の育成やモチベーション向上に関しては、近年、中原・パーソルグループ（2016）の調査結果や小山（2017）など経営者による提言がなされているが、本稿では、これらの既存文献を参考に、パート従業員のモチベーション向上や定着と関係の深い、①職場内・従業員間のコミュニケーション、②仕事ぶりに対する評価の 2 点から、調査拠点における取組内容を紹介する。

3.3. 職場内・従業員間のコミュニケーション

中原・パーソルグループ（2016）によるアンケート調査結果によれば、「新人が長続きする職場」をつくる 3 つの施策として、1）教育担当者をつける、2）全体ミーティングの機会を設ける、3）談話スペースを設ける、が挙げられている（pp.109-111）。

このうち、1）教育担当者をつけるについては、OJT のところで述べたように、新規に採用された従業員は社員かベテランのパート従業員が付いて技術指導する拠点がほとんどである。2）全体ミーティングの機会を設けるについては、調査した拠点ではすべて朝礼等の集まりを実施していた。なお、パート従業員の出勤時間にいくつかパターンがある拠点では、

朝礼を時間差で 2 回行う拠点もあれば、昼に昼礼を実施するところもあった。朝礼の内容は基本的に作業指示であるが、最近の農場の動向や販売成果などを話している拠点もあり、そうした組織や農場に関する情報共有は、パート従業員の農場に対する当事者意識の向上に寄与すると考えられる。また、終礼を実施している実施している拠点もあり、作業班毎に一日の振り返りを行い、時にはその場で作業手順等に関する改善案が出されることもある。最後に、3）談話スペースを設けるについては、調査した拠点はいずれも数十名以上の従業員規模であるため、昼食や休憩するための広い居室が整備されていた。

朝礼等の全体ミーティングでは、いわば役員や社員からパート従業員への垂直的な情報の流れがメインとなるが、談話スペースでの従業員間でのコミュニケーションは、情報の水平的な流れであり、どちらも組織の運営上、必要な情報の流れといえる。

また、いくつかの拠点では、パート従業員に対して、社員が日常的な声かけに努めていた。組織が硬直し、社員とパート従業員とのコミュニケーションが滞るようでは、パート従業員のモチベーションの維持・向上を期待するのは難しくなる。さらに、圃場で発生している問題を迅速にくみ取ることもできなくなってしまう。定量的に表すことの難しい部分ではあるが、これらによる生産性の低下は、回避する必要がある。些細な積み重ねととらえられるかもしれないが、日常的な声かけのようなコミュニケーションは、モチベーションの維持・向上に貢献するとともに、小さな問題の発生による生産性の低下を回避する上で必須であろう。

3.4.　仕事ぶりに対する評価

パート従業員の当該職場に対する継続意欲（働き続けようという気持ち）の向上には「仕事ぶりに見合った評価を受けている」ことが、貢献意欲（職場をよりよくしていこうという気持ち）の向上には「責任のある役割を任せてもらっている」ことが有効とされている（中原・パーソルグループ（2016）: 132-135）。パート従業員の中には、それこそ農業に対して強い関心持ち意欲的に働く人もいれば、そうでない人もいると考えられ、モチベーションのばらつきは大きいと思われる。そのような中で、意欲的に働き農場に対する貢献意欲が強い人のモチベーションを維持・向上させるためには、働きぶりを承認する、時給差をつけるなど適正な評価をするとともに、パート従業員が多数いる農場では、パート従業員内で職位を設け責任のある役割を任せることが重要といえる。

次世代施設園芸拠点では、パート従業員個々人の作業の実績管理を行っている、または、実施意向を持つところが多い。他方で、データはあるものの、個々人の実績管理に利用していない拠点もあり、その理由として、データの解析が追い付いていない、あるいは個々人の能力ではなくグループでの能力評価を実施しているということが挙げられる。今後の研究課題として、個々人での能力評価とグループでの能力評価のどちらがモチベーション向上に有効性があるのか、またそれら 2 種類の能力評価の望ましい組み合わせ方策について解明する必要がある。

一方、パート従業員内での職位整備については、組織体制の項目で記述したＢ拠点やＣ拠点のように、先進的な取り組みを実施している拠点では、パート従業員に対しキャリアパスを明示し、能力が一定以上となった場合に役職（リーダー、トレーナー等）を変更するという試みを行っている。しかし、多くの拠点では、パート従業員の個々人の能力や希望に応じてパートリーダー的立場に配置したいという意向はあるものの、現状ではそこまで至っていない。ある一定数のパート従業員にとっては、キャリアパスが明示されている方がモチベーションを高めるかもしれないが、他方で、パート従業員はすべてフラットであるという考えの下、あえて役職の差をつけない拠点もある。

4　おわりに

本章では、次世代施設園芸拠点のような大規模施設園芸における人的資源管理の取組として、組織体制の整備および従業員の技能育成、従業員のモチベーション向上に関する事例調査結果を取り上げた。各々の拠点では、共通する取り組みはあるものの、様々な独自の取り組みも実施されている。人的資源に関する取組は、唯一の最適解のない世界ではあるが、ここで記述した事項に関して、ある一定の方向性がおぼろげながら見えてきたのではないかと考えている。

他方、たとえば、モチベーションの維持・向上のためには、処遇改善だけではなく、日々の作業の目標を明示する方法もある。そこでは、漠然とした目標ではなく、作業記録と集計にもとづいた具体的かつ現実的な目標を定めることが好ましい。この例のように、本稿で記述した内容の多くは、何らかのかたちで他の経営管理項目とリンクしている。全体のバランスを考えた中で、重点的に取り組む項目を定める必要はあるが、ある部分がよくなれば、それに付随して他の項目も改善される可能性がある。

大規模施設を利用した作物生産では、ここまで述べてきたような組織体制の整備や人的資源管理施策について、あらかじめ考えておくとともに、実際に作物生産を行っていく中で、栽培規模や従業員の特徴も踏まえて適宜修正していかなければならない。大規模施設園芸経営の管理者層（役員や社員）は、小規模な施設を利用した作物生産と比べて、これまで以上に上述の点の改善に時間を割く必要が出てきている。他方、実際の作物生産が開始されると、日々の作業に追われ、これらの点の改善に時間をかけることが難しい場合があるかもしれない。しかし、現状の点検・改善をしつづけなければ、大規模施設を利用した作物生産を円滑に実施できなくなる点に関しては留意する必要がある。

【引用文献】

1）中原淳・パーソルグループ『アルバイト・パート［採用・育成］入門』ダイヤモンド社、2016

2）小山昇『儲かりたいならパート社員を武器にしなさい 』ベストセラーズ、2017.

２章　生産管理

大山　克己

（要約）
大規模な施設園芸では、生産管理の良否が収量、ひいては収益に影響をおよぼす。そこで、生産管理の中の作業管理に着目し、次世代施設園芸拠点で採用されている作業管理のフローと、作業管理の PDCA サイクルをまわすことの重要性を述べた。その後、次世代施設園芸拠点における 1）作業計画の立案、2）作業指示・実施・記録、および 3）作業記録の集計に関しての事例を紹介し、今後の作業管理改善のための基礎資料の提供に努めた。

1　はじめに

次世代施設園芸拠点のような大規模施設において、適切な生産管理の実施は必須となっている。適切な生産管理を実施しなければ、現場で大きな混乱が生じてしまい、ひいては当初期待していた収量や収益をあげられない事態も生じうる。しかし、大規模施設における生産管理に関する情報は、現状では限られている。そこで、全国に 10 カ所ある次世代施設園芸拠点における生産管理に関する取り組み事例をとりまとめた。これにより、拠点だけではなく、他の大規模施設園芸に取り組もうとする方々が試行錯誤する期間をなくす、または、短縮するために必要な情報を提供することを試みる。

2　作業計画と管理

次世代施設園芸拠点のような大規模施設を利用した作物生産では、十数名のパート従業員を混乱なく効率的に活用するために、作業計画の策定と作業の進捗管理が非常に重要となってくる。誤解を恐れずに記述するならば、大規模施設園芸における作業計画と進捗管理は作物生産の根幹であり、それが適切に実施されていない場合、いかに優れた栽培技術を持っていたとしても、また、高精度な環境調節機器を導入していたとしても、経営上、満足な収量や品質、ひいては収益を上げることができない。

ここでは、作業計画と進捗管理の概略について解説する。大規模施設園芸において、一般的な作業計画と管理に関するフローチャートの例を図 4 に示す。最初に、作物の栽培計画が立案される。ここでは、年間、月間、週間の計画が立案される。つづいて、それにもとづいて、作業指示が出される。作業指示を受けた現場のパート従業員は、その内容に即した作業を実施するとともに、、作業終了後には、作業を実施した場所やかかった時間などを記録する。作業の記録は集計され、作業の進捗状況や作物の生育状況などに応じて計画は修正され

る。そして、修正された計画にもとづいて、再度パート従業員に作業指示が実施される。このサイクルは、栽培が終了するまで継続する。

なお、ここでは、作業計画と管理に関して、フローチャートで示した。ただし、ここでは図は省略するが、昨年度の報告で記載したように

Plan：　作業計画の立案
Do：　作業指示、作業の実施、作業記録
Check：　作業の集計
Act:　作業計画の修正

で示された、PDCA サイクルととらえることも可能である。他方、ほぼすべての次世代施設園芸拠点において、図 4 に示されたような作業計画と進捗管理が実施されている。ただし、それぞれの部分に関しては、拠点ごとに特色が認められる点がある。ここでは、特色のある取り組みに関して、紹介していくこととする。

2.1.　作業計画の立案

多くの次世代施設園芸拠点では、大まかに年間の計画を立て、それにもとづいて月間の、また、より詳細な週間の計画を立てている。年間計画では、週単位で定植、整枝、収穫などの比較的大まかな作業が計画されることが多い。一方、月間計画や週間計画では、日にち単位でより詳細な作業の計画がなされる。なお、ある拠点では、年間計画を立案しても計画通りにいかない場合が多いために、2 か月ごとの計画を立案している。いずれにせよ、長期的な方向性を見出すためには、年間、少なくとも 2 か月を見渡した計画の立案は必要不可欠である。

他方、精度の良い月間および週間計画は、パート従業員の人数の効率的な調節に役立つと思われる。これは、作物を生産するためにかかる経費の中で大きな割合を占める人件費の適正化に貢献する。ただし、それを実施するためには、高精度な作物の生育予測が必要となってくる。現在、生育計測が実施されているものの、予測にまで至っていない拠点が多い。そのために、とくに人手を要する収穫作業にかかる要員数の推定に大きな誤差が生じてしまうことがある。今後、高精度な生育予測にもとづいた計画を立案することで、より収益を高められる可能性が高い。

2.2.　作業指示、作業の実施、作業記録

作業指示は、社員の意図を具体的にパート従業員に伝達するために必要である。紙ベースで作業指示書が個々のパート従業員に配布される場合もあるが、多くの場合は、ホワイトボードなどを活用した掲示によりなされる（たとえば、図 5）。朝礼などの際は、ホワイトボードの前に集合し、それぞれのパート従業員の担当する場所や時間が明示される。また、作

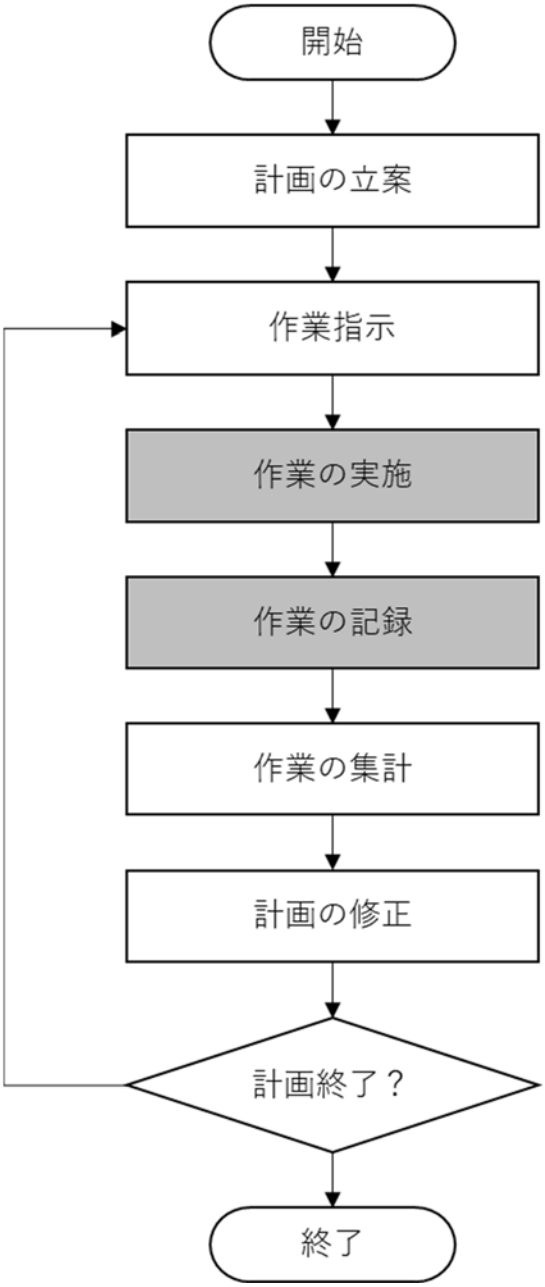


図４　大規模施設における作業計画と管理の実施を示すフローチャートの例。一般的に、白色の部分は管理者（たとえば、農場長、社員）が、灰色の部分はパート従業員がそれぞれ実施する。

業の目標が示される場合がある。

作業の実施と記録は、パート従業員の手により実施される。前述したような作業指示にもとづいて、個々のパート従業員は、作業を実施する。この際、作業記録も取られる。作業記

録は、機械的に取得する場合、紙ベースで取得する場合、それぞれを併用する場合の 3 つのパターンがある。

機械的に取得を試みている拠点では、タッチ式の読み取り機をパート従業員に持たせている。個々のパート従業員は、それぞれの読み取り機を設置されたタグにかざし、作業内容、開始および終了時刻を記録させる。ここで問題点として、機械の読み取りや操作ミスにより、作業記録が保管されない問題が生じる場合がある。そのために、現状では、機械的に作業記録を取得しつつも、紙ベースでの記録も併用しているところが多い。後に述べる作業の集計を実施する場合は、機械的に作業記録が取得されていた方が、集計にかかる時間が少なくすむ。今後は、機械的に作業記録を取得する際の精度向上が求められている。ただし、どこまでの精度向上が必要であるのかは、検討する余地がある。

他方、紙ベースで作業記録を取得している拠点では、紙にハウス内のマップを示し、終了した箇所をマーカーで塗りつぶすことを実施している場合が多い（図 6）。このマップには、作業内容ごとに、作業開始や終了時間、作業量を記載するようになっている。また、病害虫や不具合などを発見した場合には、その情報を記録するための備考欄も設けられる場合が多い。現場における進捗や不具合の状況を逐次取得できることから、このようなマップの活用は、最低限必要であると考えられる。ただし、機械的に作業記録を取得した場合と比べて、その集計に時間がかかってしまうことが難点である。

2.3.　作業の集計

作業の集計は、大規模施設において、現在の作業の進捗状況を把握するとともに、作業スピードを把握する上でも必要不可欠である。正確な作業スピードの把握は、作業計画時の精

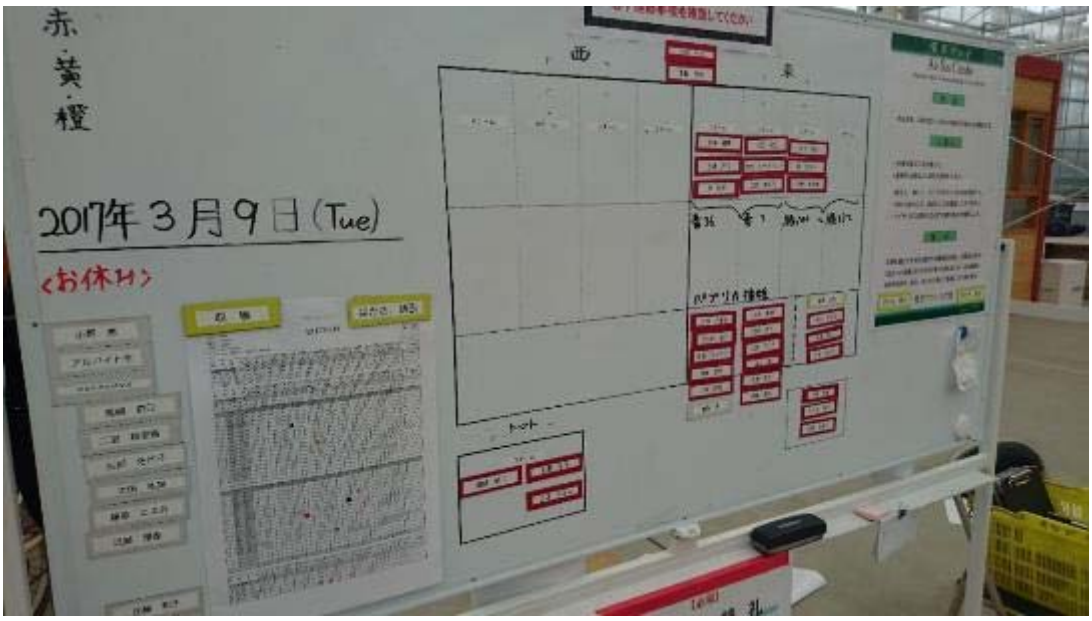


図 5　作業指示を実施する際に活用されているホワイトボードの例。作業箇所にパート従業員の名前を書いたマグネットを貼り付け、作業内容と場所を指示する。

度の高いパート従業員の必要人数の推定にも貢献する。ただし、個々のパート従業員の作業スピードは、作物の状態（たとえば、作業が遅れたために手入れが難しくなっている場合の作業スピード低下）、ハウス内の作業環境条件（たとえば、酷暑による作業スピードの低下）、個々のパート従業員の習熟度により影響をうける。この影響を考慮した上で、作業スピードを標準化する必要がある。しかし、概略はまとめられつつあるものの、現状では、作業記録から作業スピードを推定するのに時間を要している拠点が多い。

実際の生産活動に活用するためには、大規模な園芸施設における作業の記録だけでは不十分であり、今後、その集計のしかたが重要になる。作業の集計は、作業記録を機械的に取得している場合には、比較的容易に実施できるが、紙ベースで取得している場合、その集計に時間がかかってしまう。ただし、ある拠点では、パート従業員にマークシートに作業記録を記入させ、それを光学文字認識（Optical Character Recognition、OCR）により自動的に読み取る工夫をしている。専門の装置の導入が難しい場合でも、スキャナーで同等のことができる場合もある。それゆえ、紙ベースであり、かつ、手で集計している拠点では、今後導入を検討する余地があると考えられる。他方、集計に専門の要員をあてがい、圃場での生産業務に従事する社員の負担軽減を図っている拠点もある。

現在までに、作物ごとに、標準的な作業スピードがまとめられた資料は見あたらない。ただし、それぞれの次世代施設園芸拠点においては、自身の栽培している作物の作業ごとに作業スピードをまとめている、もしくは、まとめつつある。このような次世代施設園芸拠点におけるデータ取得により、今後、おぼろげながらも作業別の標準時間が見えてくることが期待される。それが見えてきた場合、現在、自分の施設がどの程度の水準にあるのか、作業内容を改善してより作業スピードを高める必要があるのか、または、現状でも満足いく水準に達しているのかを把握することができるようになるであろう。

2.4. 作業計画の修正

次世代施設園芸拠点のような大規模施設では、施設内外の環境条件や作物の管理状態（たとえば、葉かきが適切になされているか）により施設内の作物の生育は影響をうけてしまう。露地と比べれば、大規模施設では、その影響は軽減されているととらえられる。しかし、それでも、常に作業を計画通りに実施できるわけではない。それゆえ、適宜状況を判断しながら、作業計画に修正を加え続けていく必要がある。拠点のいくつかでは、取得した作業記録とその集計を週ごとにとりまとめ、それにもとづいてミーティングなどを開催し、予定とのずれの解析や今後の計画の修正を図っている。このように、短期的な計画の修正をし続けることが好ましい。これにより、あわただしく当日に計画変更をするよりも、現場での混乱を回避できると予想される。

適切な作業計画の修正を実施するためには、前述した作業記録の取得とその集計が必要不可欠である。作業記録とその集計結果にもとづいた作業計画の修正を実施している拠点もあるが、日々の作業に追われてしまい、現状では、経験的に修正を加えてしのいでいる拠

点もある。ただし、今後、図4に示したようなフロー、または、前述したPDCAサイクルが定着すれば、やがてはこの問題は解消するものと思われる。それには少なくとも年間を通じた栽培を1回以上経験するといったように、時間を要するのかもしれない。もちろん、事前に作業にかかわるデータを取得しておくことが好ましい。しかし、他所でのデータが必ずしもそのまま当てはまるわけではない。それゆえ、自分のところでの作業記録とその集計、さらには、作業計画の修正を当初より見込んでおく必要がある。

3. おわりに

本章では、次世代施設園芸拠点のような、大規模施設園芸経営における生産管理を取り上げた。拠点における取り組み事例を盛り込みながら、生産管理の方向性を見出そうと試みた。各々の拠点では、共通する取り組みはあるものの、様々な独自の取り組みも実施されている。前述したように、定石のない世界ではあるが、ここで記述した事項に関して、ある一定の方向性がおぼろげながら見えてきたのではないかと考えている。

大規模施設を利用した作物生産では、ここまで述べてきたような組織体制の整備、作業計画と管理、従業員の管理に関しては、作物生産を開始するまでに、あらかじめ考えておかなければならない。また、実際に作物生産を行っていく中で、適宜修正も加えていかなければならない。大規模施設の管理者（農場長や社員）は、小規模な施設を利用した作物生産と比べて、これまで以上に上述の点の改善に時間を割く必要が出てきている。他方、実際の作物生産が開始されると、日々の作業に追われ、これらの点の改善に時間をかけることが難しい

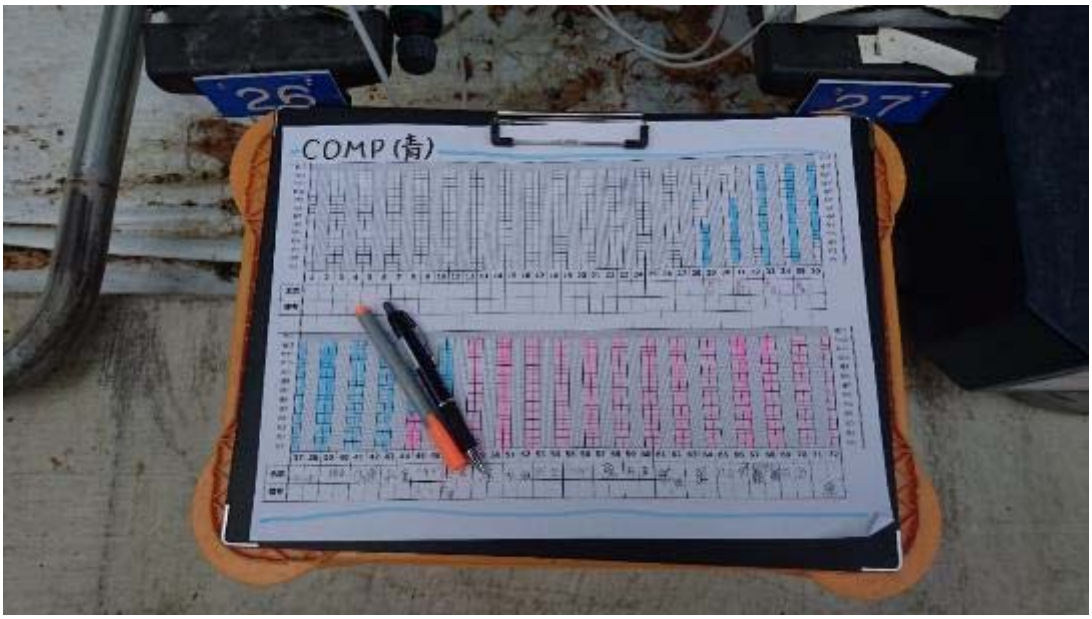


図6　圃場において作業を終了した箇所を示すために用いられているマップの例。マーカーで作業終了個所を塗りつぶし、作業者名を記入する。この例では、作業時間は別の用紙に記入している。

場合があるかもしれない。しかし、それをしつづけなければ、大規模施設を利用した作物生産を円滑に実施できなくなる点に関しては留意する必要がある。

次世代施設園芸のような大規模施設における作物生産の生産性向上のためには、生産管理手法の確立は一層重要度を増していくと予想される。その際、ここで記述した組織体制の整備、作業計画と管理、従業員の管理といった内容は、基礎となる。他方、今後、次世代施設園芸のそれぞれの拠点において作物生産が実施される中で、これまでに記述してきたよりもより効率的、かつ、効果的な方法が出てくるかもしれない。また、他産業での事例（たとえば、工業分野の工場での事例）を取り込むことで、さらに発展させられるかもしれない。それぞれの作物生産現場において、その場に適した手法を取り込んでいくことで、大規模施設における生産性が向上することを期待し、まとめとしたい。

３章　品質管理・安全衛生管理

阪下 利久

（要約）
GAP の目的のうち、最適な農産物市場形成にこそ重要だという理解が日本では不足している。農産物取引では売り手のみが情報を持っており、よいものを市場に提供しないほうが利益になると考える一方、買い手は低価格を求め、より粗悪な方を選択する傾向があり、満足度は下がり続ける。こうして次第に農産物市場自体が縮小していく。つまり経済学の「逆選抜による市場の失敗モデル」そのものである。市場の失敗を克服した事例にアメリカの中古車市場がある。売り手による「情報開示」と公的な第三者機関による「検定」を徹底した結果、多様なニーズに応える健全な市場が創出された。農産物では「検定」にあたるものが GAP である。次世代拠点には GAP をハードだけでなくむしろソフトで実践し、横展開によって健全な市場形成をリードしていくことが期待される。

1　はじめに

ここでは次世代施設園芸拠点の現地調査から、品質管理や安全衛生管理に関して、トマト生産の事例（兵庫、富山、宮城、高知）とパプリカ生産の事例（宮城、大分）からGAPと関連付けてケーススタディを行い、地域に展開するときの具体的な課題抽出を試みていく。一方 GAP の管理はあくまで手段であり目的ではないが、「安心・安全」といった消費者メリットは訴求されるものの、なぜ生産者側でこういった管理が必要なのかという抽象度の高い目的自体についてはあまり論じられることがなく、これも普及しない原因と一つと考えらえる。そこで、まず管理の目的についてはじめに取り上げ、各論ののちに、展望をまとめることにした。

1.1.　農産物市場と情報の非対称性がもたらす「逆選抜」

施設園芸の現場でプロダクトアウト型の生産からマーケットイン型の生産への転換が叫ばれて久しい。売り手が買い手の要望を満たし、信用が形成されればブランド品として認知され、売り手すなわち生産者は品質に対するインセンティブを得ることで、量と質から適正な価格（単価）が形成され、取引は継続されるものと誰しも思うことだろう。しかしながら現状の国産青果物流通はコモディティとして扱われるものがほとんどを占めており、市場には不特定多数の参加者が存在するため失敗することが多く、生産者は収益が上がりづらいため、契約取引や直売などの取引形態が増え続けている。このような市場が失敗するメカニズムをアメリカの経済学者アカロフは「レモン市場」と呼び、情報の非対称性が生む「逆選抜」によると説明している(1)。またその後注目すべき点として、必ずしも情報を持たない側、すなわち買い手（消費者）にのみ不利益が生じるわけでは

なく、情報を持つ側、すなわち売り手（生産者）に不利益が生じることもあると論じている(2)。この「逆選抜」により市場が失敗するケースは、アメリカの中古車市場の研究で明らかになった。その理論を以下に簡単に示す。

売り手は車の品質をよく理解しているが、買い手は車を購入するまで品質がわからない場合が多い。そのため「情報優位者」である売り手は「情報劣位者」である買い手の無知につけ込んで、良質な車は手元に置いておき、劣悪な車を売りつけようとする。すると買い手は疑心暗鬼となり次第に提示価格を下げていく。最終的に中古車市場には劣悪な車ばかりが出回り、買い手はこれらを＝「逆選抜」して、価格が品質に比べ常に低位で落ち着き閑散化する、というモデルだ。このように優良な財が割高と評価されて淘汰され、劣悪な財が割安と評価され産業が衰退するプロセスは、まさに現在の日本の農産物市場に当てはまるように思われる。

1.2.　逆選抜への打ち手：第三者認証とGAP

売り手の所持する情報量が買い手の所持する情報量よりも多い場合に発生する「逆選抜」の問題を回避する方法は、「シグナリング（情報開示）」と「スクリーニング（検定）」であり、これらを組み合わせた最も有力な方法は国や公益団体などの第三者機関の介入である。すなわち売り手が提供している財やサービスの品質について、第三者機関が審査・検定を行い、買い手に対して財やサービスの品質を保証する方法だ(4)。劣悪な財やサービスを提供する売り手に対して罰則を課す法や条例を制定したり、良質な財やサービスを提供する売り手に対して税制面の優遇を与える法や条例を制定したりする方法を併せて行うと、財やサービスの品質の確保はより確実になる。中古車市場においては法定車検や点検記録などがこれにあたる。すなわち、農産物については第三者認証であるJ-GAP・GLOVAL GAP（以下G-GAPと表記）が品質保証手段に該当し、生産者と消費者双方が納得できる価値を示す適正市場価格を実現するのに必要だと考えられる。現状の日本の農産物市場は善意の生産者が多数を占めているはずであり、劣悪な状況とはいえないと思うが、産業としては長期にわたり衰退している。その一因は中古車市場に例えるなら、年式や排気量・都道府県・色はわかるものの、前オーナーのことや走行距離・点検、修復および事故歴などがわからないのに似た状況なのではなかろうか。また用途も昭和末期はアウトドア向けか通勤向けといった区別もなく、「つぶしのきく」2000cc の白いセダンばかりが上市されているような状況があったが、ニーズが多様化した現代で、未だに全国のスーパーに同じような「つぶしのきく」品種の青果ばかりが並ぶ状況では、魅力的な市場が形成されているとは言い難いように思われる。このように農産物取引にとって、GAP取得と情報開示は安心・安全の醸成を過程としながら市場メカニズムを健全化し、産業の発展に資するものなのである。

（写真1）適正価格を実現する、中古車市場の情報公開事例（カーセンサーnet）

1.3.　次世代施設園芸拠点でGAPを取得する意義

次世代施設園芸拠点は栽培面のみならず、品質管理や安全衛生管理面に関しても先進的な事例が盛り込まれており、ハード面ではGAPを想定した設計になっている。大規模で生産量が多いだけに、率先して生産情報公開とGAP取得に努めなければ、とくに地域内では需給バランスが崩れ適正な市場価格を形成できないという危惧が大きい。ゆえにハードルは高いが、地域の模範となるべく今後の横展開も期待されている。そこで次章で、とくに品質が付加価値となり有利販売に直結しやすいトマト生産の事例（兵庫、富山、宮城、高知）とパプリカ生産の事例（宮城、大分）に焦点を当て、地域展開可能な事例を挙げていくことにする。また優れたハード面の横展開は難しくないかもしれないが、ソフト面の横展開はそう簡単な話ではない。このあたりを含め、品質管理と安全衛生管理を中心に、各拠点の現状と改善点・課題の整理を試みていく。というものの、現時点では各農場とも稼働から時間がさほど経過していないため、リスク（重篤度×発生頻度）を見出していく段階にあり、課題抽出が中心となることをご了承いただきたい。

2　品質管理に関するケーススタディ

出荷規格の策定、需要に応じた規格と数量の実現について現地調査を行った。まずは現状や改善点について整理していく。

2.1.　　出荷規格等の現状

（写真1）左：兵庫の大玉トマト出荷荷姿と右：大分のパプリカ出荷荷姿

トマトについては4kg箱×5、ミニトマトは3kg箱×6でサイズ・外見毎の出荷が一般的であるが、次世代拠点では顧客の要望に応じたより具体的な出荷規格が設けられている。富山拠点ではミニトマト（中玉トマトのフルティカを栽培方法によりミニサイズ化）のみを生産し、出荷規格は 130gパックなど要求に応じて定めている。

パプリカについては5kg箱でサイズ・見栄え毎の出荷と売り場でのバラ売りが世界的にスタンダードだが、まだ日本では生産自体が多くなく、トレーサビリティと衛生状態を意識した農場毎の小分けパック販売も多い。大分拠点では、これに対応している。

（写真2）左：兵庫で小分けパックされたトマトと、右：大分で個包装パックされた黄パプリカ

選果は顧客の要望に応じた作業が行われている。このうち、大玉トマトとパプリカはまず選果機により重量でサイズが選別されたあと、目視でキズ入り品が取り除かれ、さらに小分け工程のある分はその工程へ流れ、箱入りはその場で同時に箱詰めされる。とくに高知拠点は工程が単純でタッチ数が少なく、非常に合理化されている。宮城拠点はパプリカのラインでトマトの選別を行い、スペースと設備投資コストを削減しているのが特徴的だ。一方、富山のミニトマトは高品質仕様である。選果機に糖度センサーが入っており、内質まで見てデータを蓄積して栽培にフィードバックしているのだ。選果場は空調で定温管理されているだけでなく、食品工場並みに出入り口も制限されているなど高品質を追求していることは特筆すべき点である。

（写真3）左：兵庫の大玉トマト選果ラインと　右：富山のミニトマト選別計量ライン

また宮城拠点のトマト選果は特徴があり、熟度（カラー）合わせの工程が必要になっているが、その理由は後述する。

（写真4）宮城の選果機選別後工程　左：熟度あわせと右：梱包

ここまでのところで富山拠点が糖度センサーを通している点以外、さほど差はなく、どの拠点も高度な選別をおこなっている。

さて、出荷規格について差が見られたが、小分けに対応している拠点が多かった。その理由はいくつか挙げられる。まず日本の流通小売業ではレジがPOSで合理化されており、販売規格毎にバーコードを入れないと商品化できない。また産地・生産者を明確にするトレーサビリティのニーズも高まっており、作業ゾーンが区切られた次世代拠点はコンタミや異物混入・薬品事故のリスクが少ないまま、農場内でパッケージ化できるメリットがある。さらに鮮度保持に関しても、最終消費者に使用に適したかたちの商品化が求められており、サプライチェーン全体でのロス削減が課題になっている。まとめると、生産者段階での商品化にともなう「小分け・パック」のニーズが高まっており、この出荷規格にいずれの次世代拠点も対応している。そして安全性を担保すると同時に、ムダなコストを削減し、効率化を目指さなくてはならない現状がある。

2.2.　改善点と課題

A 拠点では、品質コントロールが問題になった。周知のようにトマトは季節により品質が異なるが、品薄の9月であっても選果時に高いハードルが課され、廃棄が多くなっていた。ロスを減らすために、品質基準は情報を日々公開した上で担当者間での話し合いによりコントロールすべきだが、これができずに一律となり収益を上げることができなかった。解決策としては、情報公開の徹底と対応協議、およびこれに対応した出荷量のコントロールだろう。

さて品質コントロールを農場側のみで行うのはモラルハザードを生むことも考えられる。本年発覚した大手鉄鋼や車両メーカーによる品質データ改ざん事件こそモラルハザードの問題である。推測するに数値目標必達に伴う利益コントロールのため品質を改悪した可能性が高いが、経営の関与があったかどうかは定かではないものの、発表が相当遅かったのは問題であった。また食品ではヨーロッパでブランドチーズ（パルミジャーノ・レジャーノ）の動物福祉が問題になった。こうしたモラルハザードは日頃から情報（データ）が外部へリアルタイムに公開され、広く視線にさらされ

ることで市場と対話しながら品質をコントロールすれば生じなかったと思われる。工業製品であれ、農産物であれ、グローバル化の進展に比例してモラルハザードは生まれやすく、外部へ向けた情報公開を徹底しなければ、結果的に冒頭に述べた「市場の失敗」と「産業の衰退」につながるという事実を我々は他山の石にしなければならない。

コモディティの大玉トマトやパプリカを生産する拠点は共通して熟度管理が問題になることが多かった。B 拠点ではパプリカを完熟に近いかたちで出荷しているが、夏場の選果場での果実への高温の影響から出荷量が低下した。そこで応急処置で選果場の天井に可動式の遮光スクリーンを設置し温度の上昇を防ぐ対応を行った。今後は外部被覆資材への遮光材塗布も検討している。熟度の問題は収穫時の目合わせも関係しており、品種毎に傾向が異なるため、当初はとくに問題が発生しやすい。

同じ問題に直面したのが C 拠点であった。当初は収穫作業に不慣れなため、熟度を揃えながらの収穫には手が回らず、後工程である選果工程での調整が必要となった。

この問題を解決したのが県内直売所へのスタンドパック出荷であった。スタンドパックは直売所からの要求であったが、包装は簡便であり、農場名を直接消費者に知らせることができた。何より S 果は計量歩留まりがよく、ロスがない上に単価は平常出荷より高く買い取られる収益上のメリットがあった。

同じようなケースはパプリカでも見られた。宮城・大分双方で規格外のパプリカを地域の直売所で販売したところ、食味の良さと品質の高さから人気になっていった。とくに大分拠点は温泉観光地周辺に立地しており、わざわざ各旅館から朝食のサラダメニュー用に求めて来店するようになり、パック作業は発生するものの、商物流にかかるコストが省けている。このモデルはアウトレットの一つと言え、観光も交えながら地域の発展にも寄与しており、インバウンド対応が有望なこれからの地域展開時に必須の仕組みのように思われる。

一方、高知拠点は大手ブランド調味料メーカーのプライベートブランドで出荷し、規格内品であれば出荷先に高単価で全量引き取ってもらえる農場である。サイズ規格と全量引き取りがインセンティブとなり従来から収穫時の熟度をハウス内で均一に合わせていくノウハウは発達していたが、規格外品は自分たちで販売しなくてはならない。この規格外品は地元ではさばききれないため、遠方に直接販売先を見つけ販売している。販路は確保できたが、高知県の西方から近畿・中国方面への定期的な物流手段はなく、小口輸送になりがちなためコストがかかっている。

なお大玉トマトのサイズ規格外から派生する問題は物流のほか、計量歩留まりロスが大きい。計量歩留まりロスは、たとえば地域から離れた都心の単身高齢者向けの小規模店舗で「バラ売り」する一方で S 果はまとめて地元で捌くなどの歩留まり対策を織り込んで地域展開する必要がある。

海外事例としては、ニュージーランドなどの農産物輸出国が同じ販売戦略をとっている。S 果や規格外は外観への評価が低い国内で消費し、価格の付く大玉果はサイズ毎に最適な売り先国を決めて出荷することで外貨を稼いでいるのである。

（写真4）規格外の商品化　　左：宮城のスタンドパック、右：高知の直売規格

以上の事例から、品質のコントロールが収益と直結しており、これを売り先へ情報を共有して克服する組織づくりが大切で、課題と言える。また地域展開時はロスを削減するため、規格外品を近隣で直売する仕組みが必要になり、有効に機能することが事例から示唆された。規格外品が地域のニーズやボリュームと合わない場合は、出荷先を複数の遠隔地に求め、有利な物流を組む必要があるが、具体的な方法は見えておらず、これも課題である。

3.　安全衛生管理に関するケーススタディ

安全衛生管理に関するケーススタディは、従業員の安全衛生と消費者の安全衛生の両面から現地調査を行った。ここで現状と改善点について整理していく。

3.1.　安全・衛生管理の現状

次世代園芸拠点はいずれもハイレベルの安全衛生を前提としたハードを所有しており、GAP 取得水準になっている。たとえば、出荷先へのトレーサビリティは完全であるし、生産工程で使用する水の安全性については水質検査が徹底され、持続可能な供給体制が構築されている。培養液の汚染も発生しないように対策が施されている。衛生設備では農産物取扱設備付近に手洗い用の水道は設置されており、農薬保管庫には鍵がかかる。一般衛生管理と労働安全面では従業員用に快適な休憩所や十分な数のトイレも設置されており、清潔が保たれている。喫煙場所も農産物から隔離されて用意されている。また必須ではないが、防除を完全なものにするためのエアシャワーや消毒マットが設置されているか、履物を履き替えて圃場に入るなど徹底した管理が行われている。栽培に関しても計画的に作業が組まれており、農薬も IPM を実践した上で適切に選択され、作業記録が残っている。

（写真5）左：作業前の手洗い場　　右：足元の消毒マット（宮城拠点）

しかしながら、ソフト面ではまだ完全とは言えず、立ち上げから間もない農場ほど整備中という現状がある。たとえば、組織体制は未だ流動的で栽培管理・商品管理・総務管理といった責任と権限で担当者がわかれておらず、経営者が直接関与しており、客観的なチェックと指導ができる体制にない農場もある。また肥料と農薬の管理が不十分な農場もある。肥料のうち、とくに硝酸カリは水との化学反応により発火懸念のある乙種第一種危険物だが、農産物取扱場付近に誰でもアクセスできるかたちで在庫され、かつ取扱いに注意すべき農薬が雑然と放置されるなど、現状では管理が行き届いているとは言えないケースも見られた。

さらに注意が必要なのは労働安全管理で、危険な作業に従事する従業員への対策はまだまだ不十分と言える。とくに次世代施設園芸で頻繁に活用される「高所作業台車」の取り扱い時の安全対策は必須だ。この台車は車輪付きの脚立のような役割をする重機であり、手押しで作業者が運び、レールに車輪をのせて運用する。まず問題なのは取扱いルールたとえば通行帯や格納場所が決まっていない点で、取扱いマニュアルやゾーンニングにルールがないと重大事故が発生しやすい。残念ながら高所作業台車運用開始のルールづくりまで至っていなかった段階で、労災事故も発生している。ここは極めてリスクの頻度・重大性が高い部分だと指摘せざるを得ず、注意喚起が必要である。

最後に労働者の適切な確保や管理者と従業員とのコミュニケーション・意見交換についてはどの拠点も良好であるように思われた。しかしながらそれらが記録され、改善に向けて継続的なアクションが取られたかというと、体制が追い付いておらず、「咽喉元を過ぎた頃」の再発に不安が残る。

3.2.　安全・衛生管理の改善点

既に J-GAP・G-GAP を取得している富山拠点と大きく改善されている兵庫拠点のソフト面を中心に例を挙げる。

まず作業者および入場者の衛生管理については手洗い・消毒の手順の掲示と個別の備品管理およびチェック体制づくりがある。手洗いについてその場で手順が掲示されており、汚染拡散防止策でペーパータオルが使われるようになった。同時に手袋を着用し、退出時に破棄回収されるなど汚染対策が取られている。剪定ハサミなどの備品については個別で管理され、かならず消毒

し使用されるとともに、元の場所に戻すことが徹底されている。またいつ・誰が・何をといったことの記録が徹底され、問題点が発覚したと同時に素早く改善が図れるようになった。このあたりの徹底により衛生問題は　顕在していない。これは流通側にとって評価のポイントが高く、安心して購買できるはずである。

（写真6）誰もが守ることを前提とした作業前の手洗い・消毒手順の掲示と個人別の資材管理（兵庫）

入室時の掲示は栽培場所のみならず、選果場・農産物取扱場にも及んでいる。写真でわかりやすくあるべき状態をしますとともに、いつでも・だれでもルールを守ることが徹底されるよう、文面でかならず入場時に誰もが目にする場所に掲示されている。調査時には外部者を含めて、守られていないケースは皆無であった。

（写真7）誰もが守ることを前提とした入室前の安全衛生ルールの掲示（富山）

4.　GAPの効果

ここでは GAP の取り組みにより、安全衛生管理のみならず、品質管理の改善や経営体質の向上が体制の改善が行われている事例について取り上げ、GAP の総合的な効果も明らかにしていく。

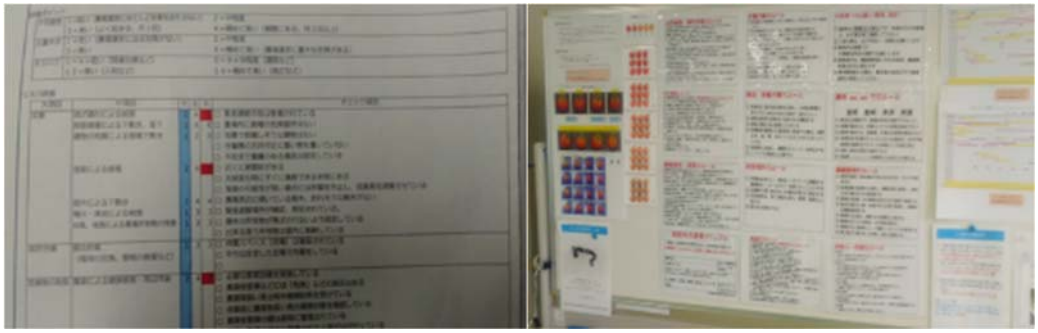
4.1.　リスク管理の実施（リスクアセスメント）と経営体質改善

GAPの導入で特徴的な作業はリスク管理の実施（リスクアセスメント）であろう。あらかじめ担当者間でリスクを頻度（確率）と重要度で洗い出し、点数化を試みていくのだ。これにより、リスクが

「見える化」するだけでなく、点数の高いほうから優先順位をつけて対応できるようになり、重要な過ちを繰り返すことが逓減できる。さらに常に情報を開示することで関係者に認識され、問題が発生しづらくなるのだ。このリスクの洗い出しで重要なのは、初めに誰かがつくってマニュアル化すれば終わり、ということはない点である。リスクは農場毎に異なり、かならずしも適応できるものではなく、そもそもごく一般的なものは GAP の基準書で網羅されているから、これを元に農場オリジナルのものを発生頻度と事故後の影響から複数の領域の担当者で話し合い、進化させていくものである。間違いは発生してしまうが、これを繰り返さないという考え方が重要であり、改善議論を重ねてつくられたリスクアセスメントは農場にとって無形の資産というべきものになるはずである。

この作業が経営体質の改善につながっている事例を J－GAP および G-GAP を取得した富山拠点と、同レベルの管理を行っている兵庫拠点から挙げたい。この2農場はいずれも経営者が不在であっても担当者間でのミーティングを週に1度以上行い、問題を共有しながら解決にあたっている。効果がよくわかるのが、ヒアリング時だ。この2農場は栽培担当者、営業担当者、総務担当と別々の役割があるのにもかかわらず、現状はこうで、問題点はここにあり、課題はこれで、いつまでに誰が解決することになっている、といった具合に同じく即答されるのである。知らない、関係ない、〇〇に聞いてくれ、といった返答は皆無なのだ。田口ら(5)が指摘したように、農場経営への参加的意識が極めて高く、意識が向上していることを顕著に示したのと同様の事例と言えよう。

責任と権限を行使できる環境を整え、各自の意識づけの徹底ができてこそ、経営者は本来的な業務に専念できるのだろう。



（写真8）リスク管理の実施およぶ文書化と情報開示の例

4.2.　品質管理の改善

GAP による品質改善を端的に示す例は第三者認証の GAP を取得済の富山拠点と今回触れていない静岡拠点において顕著である。つまり、「アメーラ」などのブランドを形成する高品質を誇り、顧客から高く評価されているのである。ここで重要なのは、あくまでもこれは結果であって、GAP が要求する商品への異常・苦情への対応を迅速に行い、原因を追究し、積み上げていった結果に他ならない。具体的には、とくに富山拠点では全ての商品が選果時に品質データが記録され、出荷先毎に反応を直接かつ積極的にフィードバックしており、周年で多くの消費者の手に届く価格で提供することで、条件不利地でありながら地元のみならず関東の有力店で取扱いが多く認知が

高まっている。富山拠点の事例は全く新しい産地を立ち上げて短期間に市場で高評価とシェアを得たという意味で、よいケーススタディとなるだろう。

4.3.　衛生管理の改善

衛生管理について当初から改善点はあまり見られなかったが、これは次世代拠点特有の特徴に起因すると考えられた。ひとつは施設が新しく、可視化して衛生状態を保ちやすかったこと。二つ目は経験者でないからこそ、皆謙虚に対応できたことだろう。この事例は挙げても例外視されてしまうため、別の改善点を大きく指摘したい。

それは肥料・農薬といった安全管理についてである。これらの課題について問題が起きていないのは、GAP 認証農場で顕著であった。それは責任と権限を明確にした体制づくりによると考えられた。肥料や農薬の在庫管理および購買管理が栽培管理から切り離されて、主に総務担当者など別の担当者により管理されているのである。田口ら(6)は最初に意識が向上し、ついで在庫が減ることを報告しており、おそらくは GAP によって組織の責任と権限を設定する中で、使用者と購入者を分けることで「見える化」が機能した結果だと推測された。おそらくは次いでコストも削減され、利益を生んでいることだろう。

4.4.　総合的な効果

次世代拠点においてGAP取得は高品質ブランド形成と維持に効果的であったことを指摘したい。今回の事例対象外だが、J-GAPを取得している静岡拠点の「アメーラトマト」ブランドは余りにも有名であり、経営者もブランド維持のためのGAP取得を明言されている。複数経営の集合体でありながら組織末端までやることや意識づけが統一されており、卓越した実績を残している。また新規参入者では富山拠点がJ-GAP・G-GAP双方を取得し、時流にある糖度 8 度のミニトマト（実際はミディトマト）を有名小売店やインターネットで販売して高い評価を得ており、「フォレストフルティカ」ブランドを形成しつつある。この2社の特徴としては、糖度センサーを用いて品質管理を徹底していることだ。さらにG-GAPを取得した大分拠点では「温泉パプリカ」として外食ハンバーガーチェーンや有名小売店での販売のみならず、直営レストラン事業に乗り出しており、高単価で取引されている。

とりわけ富山・大分各拠点はともに環境土木を得意とする地域密着型の企業による新規農業参入であったが、立地は気象条件と物流条件面で地理的に恵まれていなかった。しかしながら次世代施設園芸のテクノロジーおよびハードとGAPのソフトを組み合わせることによって、初年度から高品質の農産物生産は可能であり、短期間でブランド化が達成できることを実証した。GAP導入にあたっては、組織づくりと並行して非常に早い段階で進めたことがよかったと語っており、取得までにかかった時間も半年以内と極めて早かった。

また以上の3か所は不特定多数の顧客を販売対象としているが、顧客の声を聴くという市場調査活動に熱心であった点もGAPや品質管理と関連して重要である。高品質を誇る3拠点はクレー

ムが極めて少ない上に販売が好調なのだが、直接顧客を持つ富山・大分はもちろん、市場出荷で本来顧客の顔は見えづらい静岡拠点も仲卸など関係者からのヒアリングを頻繁に重ねていた。さらに売り場の視察などを経営者や営業担当のみならずスタッフまで顧客の声を聴くことを研修プログラム化している点が特筆に値する。なおGAP取得こそしていないものの、GAPをする、という点で同等あるいは上回る水準の管理を誇る兵庫拠点は同じようにクレームがほとんどなく、顧客との直接対話やクレーム対応に熱心であり、関西圏でのトマトのブランド化に成功している。

ここまで総合的な効果について見てきたが、高度な品質管理によるブランド化に加え、大量生産と価格維持の両立という本質的なあるべきかたちを、次世代拠点は達成できることを示した。

5. 地域展開に向けての課題

最後に現地調査結果から次世代拠点での品質管理と安全衛生管理の成果を地域展開することの課題を論じてみたい。

前項で明確になったように、その効果が高品質ブランド化販売にとどまり、一般商品（コモディティ）にまで波及していないことが主要な課題と言えよう。特にブランド化が目的になると高度な品質管理と衛生安全管理を行うために、ハード面の整備が必要だという認識が持たれやすい。ただし、この問題は地域毎に異なるように考えられるので、各々見ていきたい。

ブランド化に成功したグループに分類した富山・大分の各拠点はもともと産地ではない条件不利地であるから、ハード面の充実こそ鍵であった。かつ両者は特定の有利エネルギー源に依存しており、その枯渇が最大のリスクであるため、無秩序な参入による乱開発は避けなければならないだろう。また地域に品目で競合する相手も存在しないため、いまのところリスクはない。すなわち、両者のケースでは、行政が乱開発を規制しつつ、緩やかな拡大へ導くことが課題であろう。このまま安全で高品質な農産物を無理のない範囲で拡大しながら、さらに地域の豊かな観光資源の一部となり、多くの訪問者を受け入れ情報を常に公開することで「見える化」を維持しつつ、より魅力のある地域を展開していくことが望まれよう。

さて、冒頭で指摘したように、生産者がGAPを取得することで健全な市場原理が働く場を形成することが施設園芸のみならず農業の産業化において課題だと思われるが、とくに該当するのがコモディティを生産し、地域内に同品目の産地を抱える宮城、兵庫、高知の各拠点では重要であろう。この３拠点は第三者認証のGAPを取得していないが、中でも県内消費が期待できず、他の地域へ販路を求めざるを得ない高知拠点でその課題の本質を考えてみたい。

高知拠点では流通側が生産側に対して品質管理を直接要求している。GAPはもともと流通小売業が要求する取引条件であるから、特定の取引先に依存する農場は両社間の合意で済む。日本では全量引き取りの契約栽培や生協GAPなどがこのケースで、全国の拠点では北海道も同様と言える。また高知拠点の場合は近接地域内のグループ農場（四万十みはら菜園本社農場）が横展開したモデルであり、他の拠点より経験値が高いので立ち上がりは素晴らしく、全国各他のグループ農場との情報交換も活発で、非常に管理レベルの高い運営ができている。

問題は引き取りが規格内品に限られており、結果的に生まれる余剰品を自分で販売しなくてはならない点だ。とくに高知拠点のような大規模農場からそのまま余剰生産品が大量に地域市場へ供給されると、県内に多く存在する零細農場までも巻き込んで市場が失敗し、一気に全ての経営が苦しくなってしまう。彼らはこれに配慮しており、余剰生産品の行き場を遠方に求め、苦労している。

では、こうした問題を解決した事例はないのだろうか。GAP が普及した統合後のEUの事例を参考にしてみたい。統合当初、スペインなどの生産性の高い国の余剰はドイツなどの青果生産が盛んでない人口集中地区へ向かっていた。これに対応して輸出先国の流通小売業がとったアクションの一つが、余剰を出荷する「全ての輸入先国」へG-GAP（当時はユーレップGAP）の要求であった。G-GAPは品質管理の非競争領域化を目的に掲げ、フェアなルールを設けた上で「全ての取引」に対する要求だった。すなわち冒頭 1.2 で述べたように取引の自由化においては「逆選抜」による市場の失敗が起きぬよう、コモディティを含めた全ての農産物情報のプロセスの「見える化」を行うことで、農産物の品質を高水準に保ち、売り手にも買い手にも利益につながる価格が形成されるような域内市場づくりを目指したのだ。またG-GAPは一律に要求するものであり、ブランド化が目的ではないため、マークを商品へ印字することは禁止している。

この事例に倣うと、結局は市場健全化のために、現時点で生産力の高い有力産地の全ての農場が第三者認証による高度なGAP取得を目指すのが合理的であり、その仕組みを整えていかざるをえないだろう。具体的には、現状で青果物の輸出はほとんどおこなわれておらず、海外から要求されることはないため、国が首都圏や近畿圏など人口集積地の消費者の立場を踏まえ、まずは熊本県などの生産上位県に対し J-GAP 取得を義務化するのが合理的であると考えられる。EUへの輸出を前提とすればG－GAPになる。施設園芸のみならず、全ての指定品目と指定産地についても同様のことが言え、生産集積地ほど病虫害リスクが進み、環境汚染も進行すると同時に、深刻な労働問題も発生しやすいものだ。そこへの規制こそ、市場の健全化にもつながり合理的である。同時に中国・韓国・オランダなどの輸入先国に対して同じ態度で臨むべきであろう。しかしながらこれはEUの事例を当てはめた極論なので、実現は困難であるのは言うまでもない。まずは多様な立場での継続的な議論をはじめたほうがよい、と記すにとどめる。

GAP の普及は拠点農場のみに負担を強いても進まない。これにはGAP関連団体、JGHAなどの支援と援助が必要と思われる。普及は「百聞は一見に如かず」で、話を聞くいより見せることが何よりも効果的であり、その受け入れ体制づくりと支援は課題である。しかしながら卸売市場であれ、大手流通であれ、品質競争の激しい業界では受け入れ側の足並みがなかなかそろわない。そこでまったく新しいタイプの仕組みが必要だろう。

この機会に中古車市場の事例に倣った、自由で公正な次世代型の流通を議論し、仕組みをつくることも課題である。それには過去の実績から積み上げた従来の補助金による促進だけでなく、将来的に必要と考えられる良質な財やサービスを提供する売り手に対して、投資減税や税効果会計などの税制面の優遇を与える方法や条例の設定などを検討すべきだろう。

【参考文献】

（１）Akerlof, G. (1970). The market for lemons: quality uncertainty and the market mechanism. Quarterly Journal of Economics 84 (3), 488-500.

（2）Holt, Charles A. and Roger Sherman （1999）, "Classroom Games: A Market for Lemons," Journal of Economic Perspectives, Winter 1999, 205-214.

（3）Rothschild, Michael and Joseph Stiglitz （1976）, "Equlibrium in Competitive Insurance Market: An Essay on the Economics of Imperfect Information," Quarterly Journal of Economics, 80, 629-649.

（４）Milgrom, Paul and John Roberts （1992）, Economics, Organization and Management, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.

（5） 若林勝史、田口光弘(2013), 北海道農業研究センター農業経営研究、109:1-25

（6） 田口光弘、若林勝史(2014), フードシステム研究、21(3):206-211

４章　エネルギー管理

林　真紀夫

（要約）
本事業の目的の一つが、地域エネルギー活用による化石燃料依存からの脱却である。各拠点は、地域エネルギーである木質バイオマス、廃棄物燃焼発電電力・燃焼熱、下水処理場放流水熱、温泉熱などを活用した暖房装置を導入している。さらに、LPG 暖房機、重油暖房機、ヒートポンプなどと組み合わせたハイブリッド暖房方式を取り入れており、前例のないシステム構成が多い。各拠点においてこれらシステムを有効活用して、適切な温度環境を作出するため、また化石エネルギーや暖房コストを削減するため、利用方法や運転方法の検討や課題の改善が進められている。

1.　はじめに

次世代施設園芸導入加速支援事業の事業目的の一つが、地域エネルギー活用による化石燃料依存からの脱却である。その目的に沿って、全国１０拠点のうち、7 拠点が木質バイオマスを利用（木質ペレット：埼玉県、静岡県、宮崎県の 3 拠点、木質チップ：北海道、宮城県、兵庫県の３拠点、おが粉：高知拠点）、残り 3 拠点は、廃棄物燃焼発電電力・燃焼熱を利用（富山県拠点）、下水処理場放流水熱を利用（愛知県拠点）、温泉熱を利用（大分県拠点）している。宮崎県拠点は、木質ペレット暖房装置のみの利用であるが、それ以外の 9 拠点は LPG あるいは重油暖房機、ヒートポンプなどの暖房装置との組み合わせ利用である。

上記 10 拠点のうち、5 拠点（木質バイオマス利用 3 拠点、廃棄物燃焼発電電力・燃焼熱の利用 1 拠点、温泉熱の利用 1 拠点）の事例についての概要を以下で紹介する

2.　北海道拠点

2.1.　施設および暖房設備概要

2.1.1.　栽培作物

イチゴ（一季成り品種、四季成り品種）、高設栽培

2.1.2.　栽培ハウス：4ha、計 2 棟、平成 28 年 10 月完成

A 棟（一期工事ハウス、平成 26 年度）: 2ha×1 棟（軒高 4m、間口 8m×28 連棟×奥行 93m）（図 1）

B 棟（二期工事ハウス、平成 28 年度）: 2ha×1 棟（軒高 3.6m、間口 8m×28 連棟×奥行 93m）

被覆：固定張り 1 重（フッ素系硬質フィルム＋カーテン 3 層（1 層は遮光兼用）

2.1.3　暖房設備

A 棟（公称暖房能力計 4,116ｋW）

〇木質チップボイラー（200kW×1 台、(株)オヤマダ製作所）（図 2）、木質チップ貯蔵槽（図 3）

〇ヒートポンプ（寒冷地仕様の外気熱源温水供給式、160kW×4 ユニット、三菱重工業(株)）（図 4）

〇LPG 温風暖房機（117kW×28 台、(株)フルタ・エンネツ）（図 5）

B 棟（公称暖房能力計 4,016ｋW）

〇木質チップボイラー（350kW×1 台）（図 6）、木質チップ貯蔵槽

〇ヒートポンプ（寒冷地仕様の外気熱源温水供給式、120kW×2 ユニット、150kW×1 ユニット三菱重工業(株)）

〇LPG 温風暖房機（117kW×28 台、(株)フルタ・エンネツ）

暖房付帯設備は、両ハウスでそれぞれ独立している。暖房系統は、木質チップボイラーおよびヒートポンプによる温水供給系統と、LPG 温風暖房機系統の 2 つに分かれる。温水供給系統では、木質ボイラー発生熱が貯湯槽（25 トン）（図 4）に貯熱され、この温水とヒートポンプで作り出す温水を組み合わせて利用する。この温水は、ハウス谷下の融雪パイプ（図 7）および高設ベッドの加温冷却用パイプ（図 8）へ送水する。また、室内暖房（外周部暖房管加温および温室内ファンコイルユニット（図 9））にも利用できる設計になっている。LPG 温風暖房機は室内暖房用であり、温風は高設ベンチ下のポリダクトで配風される（図 10）。

木質チップボイラー能力は、A 棟（200kW）に比べ B 棟（350kW）で大きくなっている。他方、ヒートポンプ能力は逆に、A 棟（640kW）より B 棟（390kW）で小さくなっている。LPG 暖房機の全暖房能力は、木質チップボイラーとヒートポンプを合わせた全暖房能力の 3 倍以上である。

2.1.4.　環境制御

合環境制御装置を利用。各ハウスを 7 エリアに分け、エリアごとに環境制御。

2.2.　運転状況

3 種暖房装置の組み合わせ利用であり、効率的な運転制御の検討が進められてきた。温水供給系統は当初、温室内ファンコイルユニットを利用して室内暖房にも利用していたが、現在は融雪と培地加温のみの利用になっており、室内暖房は、LPG 温風暖房機のみで行っている。

温水供給系統に関しては当初、比較的外気温が高い時期はヒートポンプを優先運転し、外気温が低下するにつれて木質チップボイラー貯湯槽の設定湯温を徐々に上げ、厳寒期に木質チップボイラーの稼動率を高くする方法がとられていた。現在は木質チップボイラーを

ベース熱源として、貯湯槽水温が設定値（B 棟：約 65℃）になるよう運転し、不足熱量をヒートポンプで補う制御を基本としている。この場合、11 月から 4 月まで木質ペレットボイラーはほぼ 24 時間運転となる。

苫小牧の 1 月の平均最低気温は、－8.3℃と低い。外気熱源ヒートポンプは、寒冷地においては除霜運転の頻度が増し、温暖地に比べると効率（COP）が低下することは否めない。他方、夏期の培地冷却（約 15℃の冷水を）へのヒートポンプ利用は不可欠で、利用効果を上げている。

融雪配管へ送水するかどうかは、天気予報などを参考に管理者が決めており、積雪がなくても予備的送水が行われる。

2.3. エネルギー利用状況

使用エネルギーは、LPG 温風暖房機によるものが最も多い。温水供給系については、培地加温熱量に比較し、融雪用に多くの熱量を消費している（温水供給系統熱量の約 90%以上を占めると推測）。

燃料コストの比率は、平成 28 年度のまとめで、電力 6 割（ヒートポンプ以外の一切を含む）、LPG3 割、木質チップ 1 割程度であり、電気料金の負担が大きい。

燃料購入単価は、LPG が 64 円/kg、木質チップが 3800 円/m^3、電力が 18.3 円/kWh で、熱量単価は、LPG が 1.28 円/MJ、木質チップが 1.16 円/MJ、電力が 5.09 円/MJ となり、木質チップ単価が最も安い。木質チップ燃料には、道産木質チップ（カラマツ）を利用しており、現在まで安定供給されており、入手価格変動はほとんどないとのことである。

2.4. 課題と改善点

試行運転を重ねた結果、暖房装置の制御方法はほぼ確立している。大雪時の融雪用温水供給の能力不足が心配されているが、いまのところ問題は発生していない。積雪がなくても予備的送水が行われるために融雪用熱量が多く、削減の工夫が必要と思われる。

燃料コストに占める電力の割合が 6 割と高く、また電力の熱量単価も LPG や木質チップのそれに比べ数倍である。消費電力の相当量をヒートポンプが占めていると推定され、電力消費を削減することが課題ある。

木質チップに関して、外気温の変動に対して消費量に波があり、また B 棟（350kW）については、木質チップボイラー能力が高いために燃料消費量が多く、貯蔵槽容積の制限により厳冬期の補充回数が増えたこともあり、燃料管理が煩雑なことがあげられている。木質チップボイラーの清掃保守作業は、A 棟で 1 シーズン数回、B 棟では自動清掃機能があるため 1 シーズン 1 回程度であり、作業負担は少ない。

当初、朝方保温カーテンを開けた時の急激な室温低下が問題されたが、カーテンを段階的に開ける制御に変えることで問題を解消している。

図１　栽培ハウス（A 棟）
手前は LPG 燃料タンク

図２　木質チップボイラー（A 棟）

図３　木質チップ貯蔵槽（A 棟用）

図４　外気熱源ヒートポンプ（右）と貯湯槽（左）、後方はボイラー室（A 棟用）

図５　LPG 温風暖房機

図６　木質チップボイラー（B 棟）

図 7　谷下（3 層カーテン上部）の融雪パイプ
（培地を入れる前の状態）

図 8　ベッド培地加温冷却用パイプ

図 9　室内用ファンコイルユニット

図 10　LPG 暖房機用温風ダクト

3.　静岡県拠点

3.1.　施設および暖房設備概要

3.1.1.　栽培作物

トマト、ミニトマト（高糖度）、低段密植養液栽培

3.1.2.　栽培ハウス：4ha、計 20 棟、平成 28 年 1 月完成

〇床面積 1980 m^2（軒高 3.5m、間口 9m×4 連棟×奥行 55m、低コスト耐候性ハウス）×5 棟×4 ブロック（図 1）、1 ブロック 1ha

〇被覆：固定張り 1 重（フッソ系硬質フィルム）＋カーテン 2 層（2 層とも遮光兼用、上層：LS(シルバー＋透明、下層 LS：透明）の 3 枚被覆

3.1.3.　暖房設備

〇木質ペレットボイラー（580kW、 (株)丸文製作所）×1 台×4 ブロック（図 2）

〇木質ペレットタンク（12.4m^3）×1 台×4 ブロック（図 3）

〇室内熱交換機（グリーンソーラ、ネポン(株)）×2 台×5 棟×4 ブロック（図 4）
〇重油温風暖房機（87.2kW、ネポン(株)）×2 台×5 棟×4 ブロック（図 5）

ブロック別の管理となる。木質ペレット暖房と重油温風暖房を組み合わせたハイブリッド方式である。木質ペレット暖房は温湯式であり、各ブロックに 1 台の木質ペレットボイラーを備える。ボイラーからの温湯は、各棟の中央通路付近に設置してある 2 台の熱交換機（グリーンソーラ）に送水され、熱交換した温風を室内へ吹き出す。重油温風暖房機は、各棟（1980 m^2）の両妻側に各 1 台計 2 台である。グリーンソーラ、温風暖房機とも上吹き出しのダクトレスである。各棟に下吸込み旋回横吹き出し式循環扇（ネポン(株)製）が 2 台設置してある（図 6）。

3.1.4.　制御装置

複合環境制御装置（マキシマイザー、(株)誠和）（図 7）で制御

3.2.　運転状況

木質ペレット暖房をベース熱源として優先利用する方針であるが、前期は優先利用順位を月により重油温風暖房機に変更して、燃料使用量把握および暖房負荷解析が行われており、今後の運転法を検討するための基礎データを得ている。暖房設定温度は最低夜間温度が 13℃で、早朝加温も行われている。

3.3　エネルギー利用状況

平成 28 年 10 月から平成 29 年 5 月までの一冬の燃料使用量実績は、木質ペレットが約 385 トン、重油が 179L であり、重油の削減率は約 52%となり、目標とする 50%を達成した。木質ペレット（地元原木、間伐材）は、地元の提携企業により供給される。燃料単価は、木質ペレットが約 30 円/kg、重油が約 72 円/L であった。木質ペレット 2kg と重油 1L の発熱量が同程度とみなされており、熱量単価は木質ペレットが安価となっている。

今期においては、12 月から 3 月までの暖房負荷の大きい期間は木質ペレットボイラーをベースとした重油温風暖房機とのハイブリット利用を、それ以外の暖房負荷の比較的小さい期間は重油温風暖房機のみの利用を計画しており、今期も重油の削減率 50%程度を見込んでいる。

3.4　課題と改善点

木質ペレットは、寒冷期には週 1 回程度の補充が行われ、現状では安定的に供給されている。近くにバイオマス発電所ができる予定であるが、供給側の能力に余力があるため、今後も安定供給の見込みである。

複合環境制御装置のハイブリッド運転に関する入力数値の定義や制御ロジックに関する説明が不足しており、当初の利用は手探り状態であった。その後、試行運転を重ねて、概ね使い方が理解できるようになっている。

栽培開始前の温度分布測定から、暖房時の多少の温度ムラが認められた。暖房装置の温風吹き出し方向の調整や温室すみのカーテン隙間を塞ぐなどで、場所による差は 2℃程度に縮小しており、温度ムラの問題は解消している。
木質ペレットボイラーの稼動が多い時期には、週に 1 回程度の灰掻き出しなどの清掃保守作業（30～40 分）が必要である。また、ボイラーの検査費用およびメンテナンス費用が年間 60 万円程度かかるとのことである。

図 1　4 連棟栽培ハウス

図 2　木質ペレットボイラー

図 3　木質ペレットサイロ（左）および
ボイラー室（右）

図 4　温水熱交換機（中央通路付近
に 2 台設置、手前と右奥）

図 5　重油温風暖房機（両妻面付近に設置）

図 6　旋回横吹き出し式循環扇

図 7　複合環境制御装置

4.　富山県拠点

4.1.　施設および暖房設備概要

4.1.1.　栽培作物

高糖度トマト、長段密植栽培、アイメック方式

花き（トルコギキョウ、ラナンキュラス）、土耕栽培、養液栽培

4.1.2.　栽培ハウス：4.1ha、両屋根型単棟ハウス 28 棟（図 1）、平成 27 年 6 月完成

〇トマト栽培ハウス 18 棟（軒高 2.8m、間口 20m×奥行 45～54m、または間口 24m×奥行 81～102m、面積 9～25a、計 2.9ha）

〇花き栽培ハウス（トルコギキョウなど）10 棟（軒高 2.8m、間口 20m×奥行 60m、面積 12a、計 1.2ha）

〇上記以外に種苗供給施設が 2 棟

〇被覆：固定張り 1 重（硬質フィルム）＋カーテン 2 層（1 層は空気膜方式、図 2）

4.1.3.　暖房設備

〇空気熱源ヒートポンプ（図 3、4、屋外機 1 台に対し室内機 2 台（アグリ mo ぐっぴー55 ツイン、イーズ(株)）、7 馬力、定格暖房能力 18kW、定格冷房能力 16kW）、全体で 360 台設置、約 9 台／10a、廃棄物処理場の発電付きボイラーの発電電力（約 1,500kW）を使用
〇廃棄物燃焼で発生する排熱をコンテナ輸送設備（図 5）、室内の熱交換用ファンコイルユニット（図 6）

暖房などに必要なエネルギーは、産業廃棄物処理場の廃棄物燃焼による発電電力と排熱（一部ハウス）でまかなう。発電した電気は自社送電線（トマトハウス）または北陸電力配電網（花きハウス）を経由して供給され、ヒートポンプの運転・補光・その他の付帯設備の運転に利用する。主要な暖房熱は、ヒートポンプ供給による。ヒートポンプは、暖房以外に夏の昼夜の冷房、除湿にも利用しており、通常よりも多めの設置台数（7 馬力、定格暖房能力 18kW・定格冷房能力 16kW、平均で約 9 台／10a）になっている。

燃焼で生まれる排熱は、コンテナ輸送し、室内の熱交換ファンコイルユニットを介して一部ハウスの補助熱源として利用される。そのほか、LPG 燃料の CO_2 発生機（図 7、15.6kW、ネポン製）が約 2 台／10ａ設置されており、冬期の運転時には暖房にも寄与する。また、除湿換気用熱交換器（イーズ(株)製）も設置されている（図 8）。

4.1.4.　制御装置

複合環境制御装置（MC6000、ネポン(株)）（図 9）。クラウドでの遠隔管理。

4.2.　運転状況

全温室に必要な電力は、廃棄物処理場の発電により十分まかなえている。暖房エネルギーの大半はヒートポンプに依存しており、廃棄物燃焼排熱の利用は全体のごく一部である。発電による豊富な電力を利用して、ヒートポンプによる夏期の夜間冷房のみならず、昼間の冷房による増収・品質向上が試みられている。トマト栽培などでの昼間冷房は今までみられない試みである。

4.3.　エネルギー利用状況

エネルギーの大部分は、廃棄物処理場の発電電力に依存している。使用電力量（全ての使用電力を含む）は、冬期よりは昼夜冷房が行われる夏期の方が多くなっている。平成 28 年 11 月から翌年 10 月までの 1 年間の使用電力量は、約 8,950,000kWh である。買電電気料金（基本料金含む）を仮に 18 円／kWh と仮定すれば、1.6 億円相当になる。

4.4.　課題と改善点

必要とする電力量以上の発電量があり、豊富な電力の利用が可能な特殊な事例といえる。夏期の昼間冷房では、遮光カーテンを利用することで外気温よりも 5～6℃低くできるが、目標温度（30℃以下）を数度超過することがあり、ヒートポンプの追加導入も検討されている。

ハウス建設後に室内の温度ムラが認められたため、その対処として循環扇（図１０）の増設が行われ改善が図られたが、完全には解消してない。ヒートポンプ室内機は両妻側に設置してあり、奥行 80m以上のトマト栽培ハウスではハウス中央部にも設置してあるが、奥行きが 60mの花き栽培ハウスでは両妻面のみの設置であり、暖房中にハウス中央部分が低温になりがちである。これはヒートポンプがダクトレスで、送風が奥まで届きにくいことが原因とみられる。

図１　両屋根型単棟栽培ハウス

図２　空気膜保温カーテン

２層の保温カーテンのうち１層は空気膜式カーテン（ダクト上のカーテンに空気を送風する方式）であるが、開ける際の空気抜きがスムーズでないため、現在送風を止めている。送風扇は循環扇として利用している。1 枚資材に比べ、空気膜式では光透過が 2 枚となり光量低下が増すので、次回張替え時は、通常カーテン資材の展張に変更するであろう。

図３　ヒートポンプ屋外機（3 台）

図４　ヒートポンプ室内機（6 台）

図 5　排熱輸送コンテナおよび熱供給システム

図 6　排熱熱交換用ファンコイルユニット

図 7　LPG 燃料 CO2 発生機

図 8　除湿換気用全熱交換器

図 9　複合環境制御装置

図 10　循環扇（１台は追加設置）

5.　大分県拠点

5.1.　施設および暖房設備概要

5.1.1.　栽培作物

パプリカ、ハイワイヤー方式

5.1.2.　栽培ハウス：2.42ha、1 棟、平成 28 年 3 月完成

〇3 屋根型ガラスフェンロー温室（軒高 5.5m、間口 9.6m×23 連棟＋3.2m、奥行 104m）（図 1）。中央付近の仕切り壁で 2 分し、別管理。

〇育苗棟（間口 9.6m×10 連棟、奥行 32m、0.32ha）。

〇被覆：固定張り 1 重（ガラス）＋カーテン 2 層（遮光兼用）

5.1.3.　暖房設備

〇温泉熱供給システム（熱交換装置（(株)タカフジ）、貯熱タンク（300 トン））（図 2）

〇重油ボイラー（930kW ×4 台、三浦工業(株)）（図 3、4）

汲み上げ温泉水と重油ボイラーの組み合わせ利用である。温泉水（96～98℃）・蒸気は、屋外の熱交換装置で温室側暖房循環水と熱交換される。熱交換された温水は、一旦地下の貯熱タンク（300 トン）に蓄えられ、暖房時に温室内放熱管（図 6、作業台車レール兼用）に送水（約 60℃）される温湯暖房方式である。熱量の不足時には重油ボイラーを運転し温水を供給する。局所加温用の可動式放熱管もベッド間に設置してある（図 6 丸印部分）。室内天井部には循環扇が取り付けてある（図 7）。

5.1.4.　制御装置

複合環境制御装置（Connext、Priva 社）（図 8）を利用。

5.2.　運転状況

暖房には温泉熱を優先利用し、不足熱量を重油ボイラーで補填するハイブリッド方式である。前冬の最低外気温は－7℃程度であったが、暖房設定温度 16～18℃のときに、温泉熱のみで暖房熱量が足りており、重油ボイラーの稼動はなかった。ただし、保守のための重油ボイラーの定期運転（2 ヶ月に 1 回）を行っている。いまのところ、温泉熱供給システムのメンテナンスは年 1 回程度行い、スケール問題は生じていない。

5.3.　エネルギー利用状況

平成 28 年度の冬期は、温泉熱のみで暖房熱量が足りており、燃油の削減率は 100%である。温泉熱利用に関わる電気代は、月約 20 万円前後と推定され、暖房ランニングコストの削減も著しい。地域エネルギーを有効活用した優良事例といえる。

5.4.　課題と改善点

今のところ、大きな課題は生じていない。温泉熱供給システムの大きなメンテナンス作業は現時点までは行われていないが、将来的には必要になるであろう。また、温泉水が減少す

るリスクはゼロとはいえない。

温度ムラは、全体で 2℃程度あり大きな問題ではないが、部分的な隙間による室温低下も認められ、隙間を塞ぐなどの保温対策が行われている。

図１　３屋根型フェンロー温室

図２　　温泉水熱交換装置

図３　重油ボイラー

図４　　ボイラー室と重油タンク

図５　レール兼用放熱管

図６　局所加温用放熱管

図 7　天井循環扇

図 8　複合環境制御盤

6.　宮崎県拠点

6.1.　施設および暖房設備概要

6.1.1　栽培作物

ピーマン、キュウリ（土耕栽培）

6.1.2.　栽培ハウス：4.1ha、計 9 棟、平成 27 年 7 月完成

〇丸屋根型低コスト耐候性ハウス（軒高 2.5m、間口 5.4m×多連棟×奥行 90m）（図 1）

・54a（11 連棟）×2 棟

・49a（10 連棟）×5 棟

・30a（6 連棟）×2 棟

〇被覆：固定張り 1 重（農 PO）＋カーテン 2 層（農 PO）の 3 枚被覆

6.1.3.　暖房設備

〇木質ペレット温風暖房機（116kW×41 台、ネポン(株)、九州オリンピア工業(株)）（図 2）

〇木質ペレット用サイロ（6.4m^3）（図 3）

暖房装置は木質ペレット温風暖房機のみであり、10a 当たり 1 台の割合で設置してある。したがって、床面積 30a のハウスには 3 台、床面積 49a および 54 a のハウスには 5 台の設置となる。暖房機の設置場所は、南北棟温室の両妻面側である。暖房機設置台数が 3 台または 5 台の奇数台であることから、5 台設置の場合は片側妻に 3 台、反対側妻に 2 台となり、両妻の設置台数に違いが生じる。各暖房機には配風用の温風用ポリダクトを取り付けており、ダクトにより室内をゾーン分けしている（図 4、5）。ハウス内上部には攪拌扇が取り付けてある（図 6）。暖房機のほかに CO_2 発生機（32.9kW、（株）ネポン）（図 7）が設置されており、朝方の稼動時には暖房にも寄与する。

6.1.4.　制御装置

UECS による富士通製環境制御システム（SaaS）

6.2.　運転状況

木質ペレット暖房機ごとに燃料用サイロ（6.4m^3）が設置されており、真冬の燃料補給（県内産木質ペレット）は、キュウリ（暖房設定温度 13～15℃）で 4～5 回／月、ピーマン（暖房設定温度 18℃）で 5～6 回／月である（図 8）。

各暖房機の運転制御は、富士通製環境制御システム（以下「SaaS」という。）による。各木質ペレット暖房機に対応するゾーンを設け、各暖房機を同一ゾーンにある温度センサーで対応する個別制御（SaaS では「自律制御」という。）と、全暖房機を全温度センサーの平均値で対応する連動制御（SaaS では「複合制御」という。）が可能であり、試行運転がなされた。

当初は、ゾーン間の温度ムラ解消が課題であった。暖房機の設置台数が両妻で異なり、ゾーンの面積にも差があることから温風ダクトの長さ、配置場所、吹き出し穴間隔などの調整（図 5）、制御用温度センサーの設置位置の調整などによる改善がなされた。同時に、運転制御の改善（自律制御と複合制御併用）がなされ、改善前は室温全体の室温振れ幅（最高値と最低値の差）は 8～10℃もあったが、改善後は、概ね 3～5℃の幅に縮小されている。

木質ペレット暖房機では、着火・消火に時間がかかるため、それによる室温の上下振れ幅が大きくなることが懸念されたが、振れ幅は複合制御で 3～4℃、自律制御では 1～2℃程度である。暖房負荷の小さい春先も問題となる振れ幅ではないとのことである。

理由がはっきりしないが、自律制御よりも複合制御の方がペレット消費は少ないとのことで、燃料代節減のために、今年度は複合制御にし、温度ムラはダクト配置により調整する方針である。

6.3.　エネルギー利用状況

暖房装置は木質ペレット暖房機のみであり、暖房熱量の大部分が木質ペレットエネルギーによる。一部、朝方の CO_2 施用時の CO_2 施用機発生熱が暖房に寄与する。

平成 28 年 10 月から平成 29 年 4 月までの木質ペレット使用量は約 1,164,000kg（28,200kg/10a）、金額は約 47,550,000 円（約 1,152,000 円/10a）である。また、灯油使用量（CO_2 発生機+木質ペレット暖房機）は約 39,200L（約 950L/10a）、金額は約 2,914,000 円（約 70,600 円/10a）である。暖房燃料費（同期間の CO_2 施用発生機燃料費を含む）は、約 50,464,000 円（約 1,223,000 円/10a）である。今年度のペレット単価は前年度（40.8 円/kg）と同様とのことである。平成 28 年 8 月から平成 29 年 7 月の年間の燃料費（CO_2 施用発生機燃料費を含む）は、約 5,200 万円であり、生産原価の約 28%を占める。

今年度は、燃料代を節減するために、ピーマンハウスの夜間暖房設定温度を、日平均気温を保ちながら 18℃から 16℃に下げる予定である。

6.4.　課題と改善点

木質ペレットは、現在のところ安定供給がなされている。前年度は、重油価格が下がっていたため、相対的には木質ペレットの燃料価格が高めになっていると思われるが、重油価格は上下変動することから、長期的な見方が必要であろう。

室温分布の詳細測定によって温度ムラの問題が認められたが、前述の改善によって問題は解消している。暖房時の運転制御法についてはまだ工夫の余地があると思われ、今後も修正が行われるものと思う。

木質ペレット温風暖房機の灰の掻き出し清掃は、運転時間 300 時間あたり 1 回行われ、1 台当たりの作業時間は約 2 時間で、1 棟 5 台のハウス（50a）の作業は約 1 日かかるとのことで、作業負担はかなりある。

木質ペレットの異物混入（フレコン袋の切れ端、ゴム片）によるペレット搬送部分の故障が今までに 4 件発生しており、その対策が必要である。

巻き上げ式保温カーテンの妻側の一部が構造上開放状態にあり、保温性を高めるための改修が行われている。完成時の施工状況や省エネ性の確認が必要と思う。

図 1　丸屋根型低コスト耐候性ハウス

図 2　木質ペレット温風暖房機

図 3　木質ペレット用サイロ（容量 6.4m^3）

図 4　温風親ダクト

図５　長さ調整をした子ダクト

図６　循環扇（奥行方向に２台）

図７　CO_2 発生機

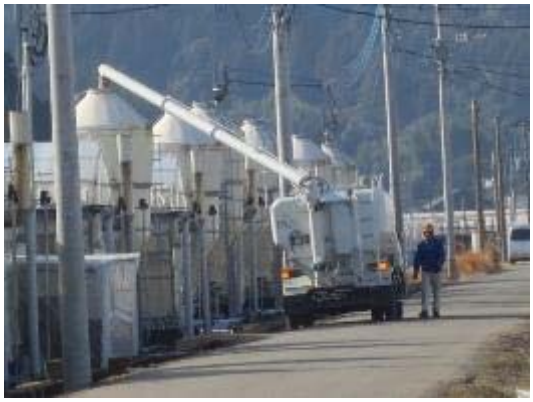


図８　木質ペレット燃料の補給

５章　情報管理

東出　忠桐

（要約）
作物栽培には必要な温度及び光の条件があり、この条件が満たされない場合にはエネルギーを利用して環境を調整する。温度管理は、1）日平均気温を適温域にし、2）外れる場合には成長抑制とその損失を検討し、3）エネルギーコストと成長抑制による損失とを比較し、収益が多くなるようにすべきである。将来的には、環境情報と品種特性、作物計測より総乾物生産量が算出され、環境条件や品種、栽培管理等を変更した場合の試算が可能となり、栽培管理、営業出荷及び作業計画へ利用できる。

1.　環境情報

1.1.　外気象と施設作物の生育

トマト等の施設作物には生育に必要な環境条件がある。例えば、トマトの栽培に必要な温度及び光は、それぞれ日平均気温で 12℃以上、日射 8MJ m^{-2} d^{-1} 以上である。キュウリやパプリカでもほぼ同様な条件が必要である。この条件を満たすように施設・設備を利用するのが施設栽培である。外気象によって容易にこの条件が満たされる場合もあるが、満たされない場合にはエネルギーを利用して環境を調整するのが施設園芸である。外気象は地域や立地によって異なることから、栽培適期やエネルギーの必要な時期も地域や立地により異なる。月別の日平均気温と日積算日射を図（クリモグラフ）にすれば、これを簡単に示すことができる（図 1)。図 1 の北海道拠点において 5～7 月及び 9 月は好適な条件であることがわかる。一方、日射が 8MJ m^{-2} d^{-1} が以下となる 11～1 月は日射が不足し、気温 12℃以下となる 10～4 月には加温が必要である。これらから 2～4 月及び 10 月には加温すれば適条件になることもわかる。

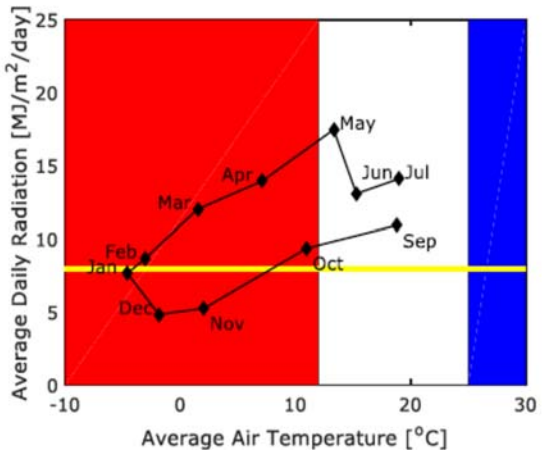


図 1　北海道拠点における月別の屋外気温と日射の関係（クリモグラフ）（Tsafaras ら私信）

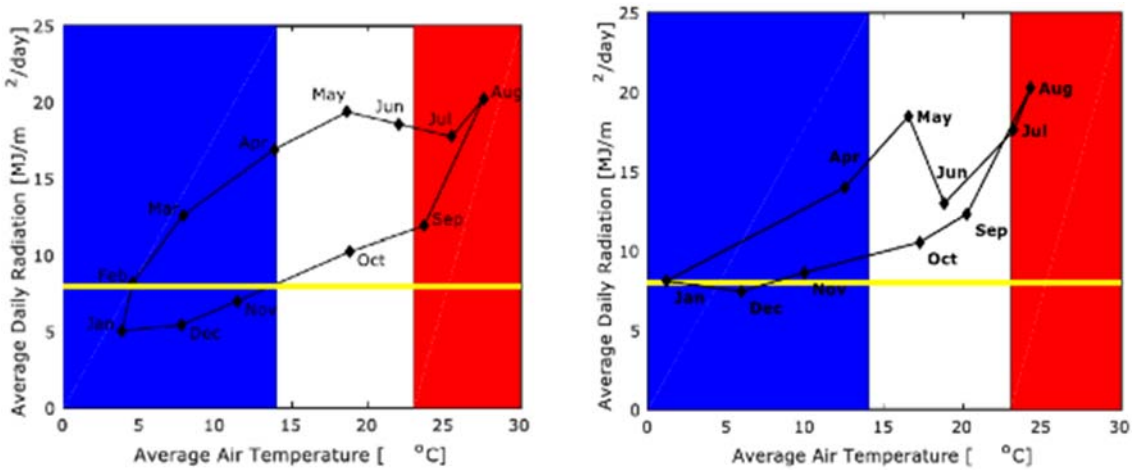


図 2　富山県拠点（左）及び大分県拠点（右）における月別の屋外気温と日射の関係（Tsafaras ら私信）

図 2 は富山県拠点及び大分県拠点のクリモグラフである。富山県拠点では 5～6 月及び 10 月が好適な条件であり、11 月～4 月には加温が必要である。また、7～9 月は高温が問題となる。光条件については、11～1 月が大きく不足する。大分県拠点では、5～7 月及び 9～10 月が好適な条件であり、11 月～4 月には加温が必要である。また、8 月は高温が問題となる。光条件については大きく不足する時期はあまりないといえる。

1.2.　温度管理による生育調節

栽培可能な温度範囲であっても温度によりトマトの成長は異なる場合がある。図 3 は日平均気温とトマトの成長速度を示したものである。日平均気温が 18～22℃の範囲が適温でありトマトの成長は最も大きい。12～18℃及び 22～27℃の範囲では、18～22℃の適温から外れるほど成長速度は小さくなり、12℃以下及び 27℃以上トマトの成長は 0 となる。例え

ば、日平均気温 14℃で成長速度は適温域の 50%となる。これは施設の稼働率が半分になるのと同等であることを意味する。18℃で 1 週間の成長分を得るためには、14℃では 2 週間も必要であることを示す。平均気温 14℃を 18℃にするにはエネルギーを用いた加温が必要であり、コストもかかる。管理者は成長が遅れることによる損失とエネルギーコストを比較する必要がある。

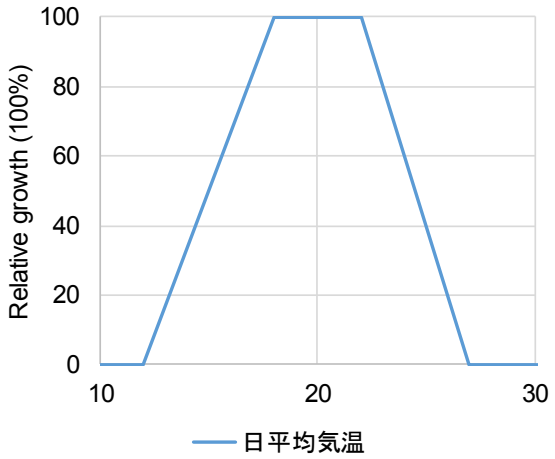
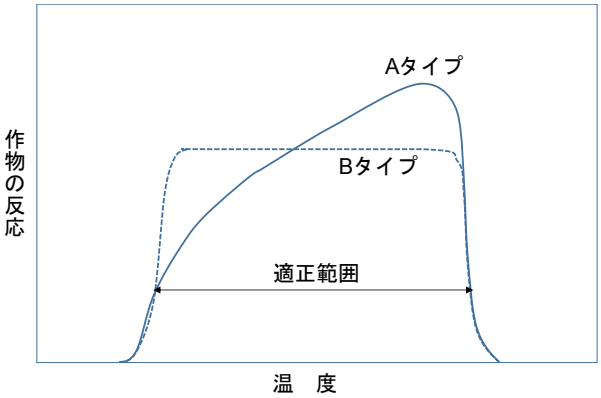


図 3　日平均気温とトマトの相対成長速度（Vanthooor ら 2011）

以上より温度管理についての方針決定をまとめると以下のようになる。まず、1）日平均気温が 18～22℃の適温域となるようにする。しかしながら、2）適温域から外れる場合にはそれによる成長抑制とその損失を検討する。最後に、3）エネルギーを用いて温度調節する場合のコストと成長抑制による損失とを比較し、収益が多くなるように温度管理方針を決定する。

ところで、温度に対する作物反応には 2 タイプある（図 4）。適温域であれば高温でも低温でも大きな影響は現れない反応である（B タイプ）。図 3 のように 18℃であっても 22℃であっても違いはない。このため温度管理によって B タイプの反応をコントロールすることは難しい。B タイプの反応としては、養分吸収や光合成(長期的に見て)及び生理障害(適正範囲外で発生増加）があげられる。一方、葉の展開や果実の成熟（開花から収穫までの日数）は、温度が高いほど進む反応である（A タイプ）。したがって、これらの A タイプの反応については、温度管理によって生育のコントロールが可能であり、管理者のスキルを発揮できる。例えば、平均気温を 17 および 23 ºC とした場合、葉の展開は 1 週間にそれぞれ、約 2.5 葉および 3.5 葉となる。このとき、葉の展開には、光や栽植密度、CO2 濃度、水、肥料などの要素はあまり関係しない。トマトでは 3 葉ごとに果房が出現することから、3 週間で 1 果房の差がつく。管理者は、果房の出現による作業や収量への影響と温度管理にかかるコストとを比較して方針を決定することができる。なお、温度調節の手段としては、温風暖房、ヒ

ートポンプ及び細霧システムなどがイメージされることが多いと思うが、温度管理の主役は換気窓である。春秋には換気窓のみで昼夜の目標温度を維持することが可能であり、冬でも晴天時には換気窓のみで温度調節できる。これにはエネルギーが不要であることからコストも変わらない。昼夜それぞれの換気窓の設定が温度調節において重要な位置を占め、管理者がまず検討すべき項目である。



Aタイプ 温度でコントロール（促進したり抑制したり）が可能	Bタイプ 温度調節によるコントロールは困難
葉の展開 果実の成熟など	根の伸長、養分吸収 光合成（長期的に見て） 生理障害（適正範囲外で発生増加）

図 4　温度に対する作物の反応の 2 つのタイプ（東出, 2017）

2.　作物情報

2.1　作業計画と作物情報

作業計画を策定するには、作業量の把握と推定が必要である。誘引や摘葉のような栽培管理の作業量については、毎週、大きな変動はなく、一定の作業を見込むことができる。一方、トマト等の収穫量は日によって大きく変化する。先週に比べて 2～5 倍の収量になることもあり、それに伴う作業量の変化は大きい。従って、作業計画は収量変化によって大きな影響を受ける。このため、多くの生産法人では過去のデータと作物の状態、管理者の観察から収量とその変化推定するが、十分な精度の推定は難しい。トマト等の果菜類の収量は、「着果」と収穫までの「光合成生産の総量」によって決まるといえる。しかしながら、「着果状況」は人が調査記録するほかはなく、着果数の決定は収穫より 50～70 日前に生じている。また、環境は計測していても「日々の光合成量」はわからないのが実情である。これらが不明な状態で収量予測を行うことから、精度が低くて当然である。そこで、収量予測を実用的精度に発展させるために、現在、「日々の光合成の見える化」が試みられている。

2.2.　生育・収量予測

「日々の光合成の見える化」、すなわち、乾物生産の算出は、次式に基づいて行われる（Higashide, 2015; 東出, 2018）。

総乾物生産＝光利用効率×積算受光量

このうち、光利用効率は、同一品種であれば栽植密度や定植時の苗ステージが異なっていても、変わることはない（図 5；金子ら, 2015）。つまり、積算受光量さえわかれば、総乾物生産が算出できる。

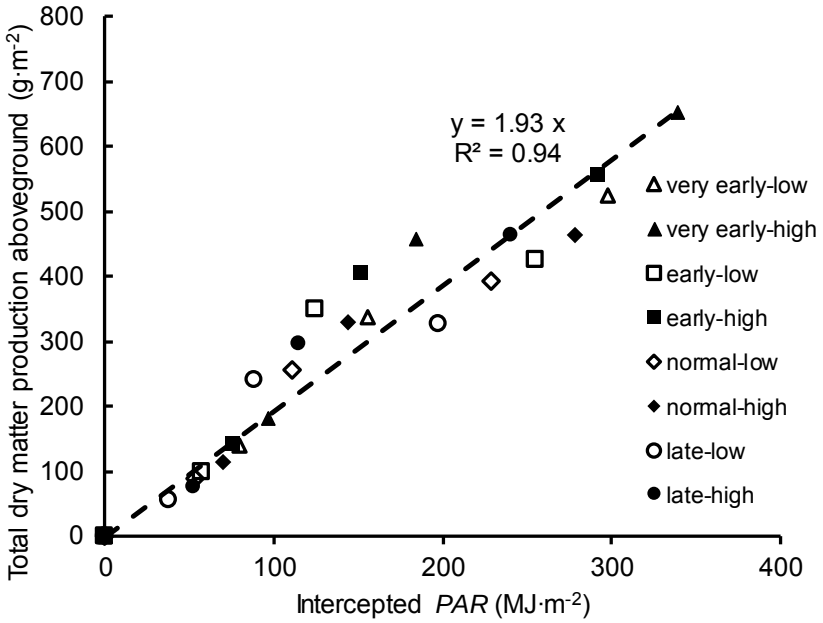


図 5. 異なる定植時苗ステージ及び栽植密度で植えたトマトにおける積算受光量（PAR）と総乾物生産の関係. 定植時の苗ステージ (very early：極早, early：早, normal：普通, late：晩)—栽植密度 (high：高い, low：低い).直線の傾きが光利用効率を示す. (金子ら, 2015)

図 6 は、この式に基づいて乾物生産及び収量を算出する流れを示す（Saito, 2018）。日射、気温及び CO2 濃度の環境情報と品種特性、作物計測より総乾物生産量が算出され環境条件や品種、栽培管理等を変更した場合の試算が可能となり、栽培管理、営業出荷及び作業計画へ利用できる。これにより、生産者が日々の乾物生産（群落の光合成量）を一目でわかるようになり「光合成の見える化」を研究レベルから現場レベルに引き上げ、生育や収量と各種データとの連携、飛躍的に向上するイノベーションへの発展が期待できる（表 1）。

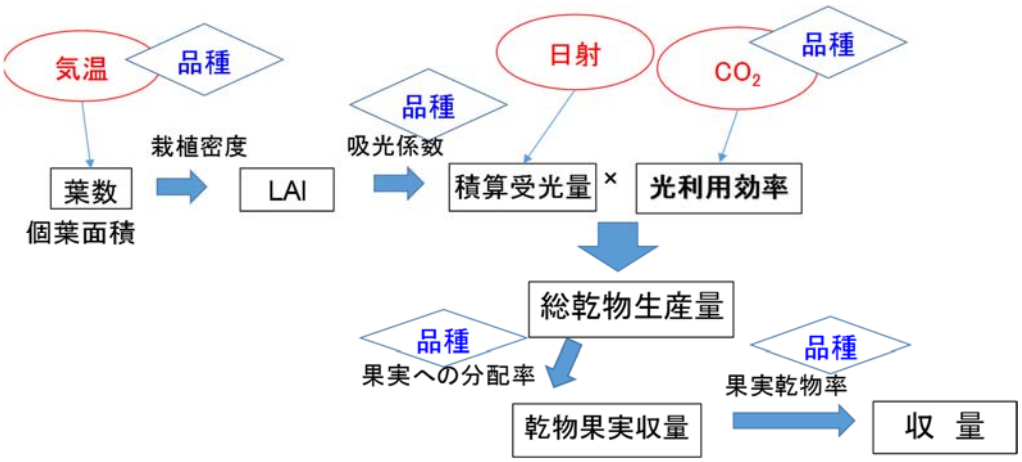


図 6.　環境情報と作物計測から乾物生産及び収量を算出する流れ（Saito ら, 2018）

表 1.　施設園芸における乾物生産の「見える化」による Before/After

項目	After（乾物生産予測利用後）	Before　（従来）
群落光合成	日々の変化を「見える化」 栽培管理の改善、作業計画、出荷営業、施設機器品種等の導入・計画へ利用可能	未測定（測定不可）
受光量	LAI と日射センサデータより算出	未測定（専門知識・機器による計測のみ）
LAI	簡易計測による推定可能	未測定（専門知識・機器による計測のみ）
光利用効率	日々の変化を「見える化」 CO2 濃度の効果、品種特性の「見える化」	未測定（高度な専門知識・機器による計測のみ）
将来的拡張	ビッグデータ化→各種データとの連携	未測定（データ蓄積・利用なし）

図 7. 複数施設で異なる作型のトマト栽培を次世代施設園芸富山県拠点

次世代施設園芸富山県拠点（図 7）の高糖度トマト栽培において、上記の方法で収量予測が試みられている。同拠点では複数のハウスで定植時期を変えた作型が存在しており、それぞれ環境条件や栽培時期に大きな違いがある。しかし、それにもかかわらず、多くの作型で予測収量と実際の収量は概ね一致した。予測に対する平均誤差は 14 日以上の積算収量でみれば 20%以下となった。なお、細霧や LED 補光の導入試験を行った場合には、環境条件が大きく異なるためか、予測精度は低下した。

2.3.　生育予測に必要な環境・作物計測

現在、乾物生産・収量予測が幅広く利用できるように UECS 規格のソフトウェア開発が進められている。乾物生産の算出には図 6 に示すように環境情報と作物計測が必要であるが、これには使用する情報を整理して収集する必要がある。そこで、環境・作物の計測項目及び調査方法を標準化・統一化し、作物計測をマニュアル化している。下記が環境・作物の計測項目の概要である。

①環境計測

T：1 日の平均気温（℃）、0:00～23:55 における 5 分ごとの測定値の平均

Sr：1 日の積算日射量（$MJ/m^2/d$）、 0:00～23:59 の日射の積算

CO2：日中（8:00～15:55）の CO_2 濃度（$\mu mol \cdot mol^{-1}$）、5 分ごとの測定値の平均

②作物計測項目

展開葉数（毎週、x 個体/品種/温室）

Nl：展開葉数（leaves/plant）、葉長 7cm 以上の葉を数える（摘心まで）。

（摘葉開始後）

Nrl：着生葉数（leaves/plant）、摘心後も摘葉するなら継続

第 1 花房下葉数（花房展開予測に必要）

個葉面積（毎月、全葉 or 選抜した葉/x 個体/品種/温室）

Ll：葉長（cm/leaf）、複葉の先端から基部までを測定

Lw：葉幅（cm/leaf ）、最大葉幅を測定

個葉面積を推定する係数：摘葉時、栽培終了時に実測値と比較して回帰

個体あたり収量（毎週、x 個体/品種/温室）

Y：個体あたり収量（g/plant）

着果負担（毎週、x 個体/品種/温室）

開花調査（開花数/花房/個体）

開花-収穫日数（開花調査および収穫調査から算出）

* x は任意の数。5～10 が一般的。

なお、本研究の一部は革新事業（経営体強化）大規模施設園芸、同研究ネットワーク活用事業及び SIP（植物工場）において行われたものである。

【引用文献】

Ilias Tsafaras, Ep Heuvelink, Silke Hemming (2017) Development of scheme improving large scale greenhouses with multi-cropping and multiequipment in Japan. Analysis of greenhouse climate 2016-2017. Wageningen UR.

Higashide, Tadahisa（2015） Factors pertaining to dry matter production in tomato plants. 1–23. “*Solanum Lycopersicum*: Production, Biochemistry and Health Benefits” Food Science and Technology, Nova Science Publishers, Inc. USA.

東出忠桐（2017）環境制御で作物はどう変化するか 3「根の生育と地温の適正範囲」現代農業．2017 年 4 月号 198–199.

東出忠桐(2018) 施設トマトの収量増加を目的とした受光と物質生産の関係の利用（総説）．園芸学研究 17(2), 印刷中.

金子壮，東出忠桐，安場健一郎，大森弘美，中野明正（2015）収量構成要素の解析からみたトマト低段栽培における定植時の苗ステージと栽植密度．園芸学研究. 14(2), 163–170.

Saito, Takeshi, Yasushi Kawasaki, Yuya Mochizuki, Tetsuya Saito, Akio Ohyama and Tadahisa Higashide (2018) Prediction of dry matter production of tomato in the greenhouse. Acta Horticulturae in press.

Vanthoor B.H.E., P.H.B. de Visser, C. Stanghellini, E.J. van Henten (2011) A methodology for model-based greenhouse design: Part 2, description and validation of a tomato yield model. Biosystems Engineering 110 (2011) 378–395.

６章　植物工場における生産性指標

大山　克己

（要約）

植物工場の生産性を評価するための指標は必要であると認識されているものの、現状ではまとまっているとは言い難い状況にある。この章では、ある人工光型植物工場で取得されたデータにもとづいて、植物工場への資源（土地（栽培面積）、電気・燃料由来のエネルギ、労働力、水、CO2 および肥料（窒素））の単位入力あたりの出力をもとめ、具体的な数値を得た。今後、このような数値を蓄積し、生産性指標のベンチマークを作りたい。

1.　はじめに

太陽光型および人工光型双方の植物工場の生産性（本稿では、生産性を、入力に対する出力の比と定義する）は、一般に、露地のそれと比べて高いと言われている。しかし、植物工場の生産性に関するデータは、現状では限られている。植物工場の生産性が高いことを示すためには、生産性にかかわるデータの公表と蓄積が必要である。それとともに、植物工場の生産性は、理論的な考察にもとづいて体系立てられ、かつ、妥当である指標により、評価する必要があると考える。

従来、植物工場だけではなく露地も含めて、生産性の一つの指標として、栽培面積 10 a（1000 m^2）あたりの生産重量である反収が用いられてきた。確かに、露地と植物工場、または、植物工場同士を比較する上で、反収は重要な生産性の指標の一つである。しかし、この指標は、あくまで、土地という資源に対する出力のみを評価した 1 側面からの指標である。さらに述べると、植物生産に利用されたその他の資源の入力および出力に関して評価していない。複数の資源を入力し、生産物を得るという植物工場における生産過程を考慮すると、反収だけではなく、土地以外のその他の資源の入出力に関する観点からの生産性の指標もあわせて必要とされる。

植物工場において、入出力される資源に関する観点からの生産性の指標を求めるためには、まず、植物工場への資源の入力と出力を取りまとめる必要がある。本稿では、入力される資源として、

1）土地（栽培面積）、
2）電気・燃料由来のエネルギ（以下、エネルギ）、
3）労働力、
4）水、

5）CO_2、
6）肥料

について検討する（図１）。なお、土地は、すでに植物工場が占有しているものであり、他の資源とは異なり、植物工場へ直接的に入力されるわけではない。ただし、ここでは、土地も、植物工場の建設初期に入力されたとみなして、他の資源と同様に扱うこととする。同じように植物工場の初期コストも入力とみなせる。しかし、現在、その取りまとめ方法を検討中のために、ここでは数値を推算しないこととする。他方、上述の入力に対する出力として、

1）商品として利用される植物体の可食部、
2）利用されない植物体の非可食部（葉菜類の場合、根や外葉など）、
3）熱エネルギ、
4）水（排水）、
5）CO_2（換気により植物工場外へ流出する CO_2）、
6）肥料（排水とともに流出する肥料）、

が考えられる。

植物工場の生産性を示すためには、入力された土地、エネルギ、労働力、水、CO_2、肥料を利用して商品である植物体の可食部をどれだけ生産できているか（付加価値を生み出せているか）を定量的に把握する場合に把握することが好ましい。また、土地および労働力以外の 4 項目に関しては、周辺環境へ与える影響を評価する上でも必要となる。そこで、本稿では、実際に稼働している LED ランプを光源とした人工光型植物工場のデータを利用して、図 1 で示した入力された資源あたりの出力である植物体の可食部の重量（以下、生産重量）を求めることとする。

2. 植物工場の生産性の指標とその推定方法

植物工場の生産性を表す指標では、入力した資源からどれだけ付加価値を生み出せるか（生産重量を高められるか）を定量的に表す必要がある。また、植物工場のように、複数の資源を利用して付加価値を生み出している場合、単一の資源の入出力の評価ではなく、それぞれの資源の入出力の観点を総合的に判断し、生産性を評価する必要が出てくる。
一般的に生産性といった場合、労働者 1 人あたり、または、1 時間あたりに生産した付加価値（金額）で表すことが多い。他方、複数の資源の入力がある植物工場では、金額ベースの労働生産性だけで生産性を評価するのは不十分である。また、環境負荷の側面を評価する上でも、労働だけではなく土地やエネルギ、水、CO_2、肥料といった入力される資源も含めて評価が必要であるとも考えられる。そこで、本稿では、総合的に植物工場の生産性を評価す

るために、上述の 6 つの観点から見た生産性（生産重量（出力）に対する各々の資源の量（入力）の比）で表すこととした（図 2）。

① **栽培面積あたりの生産重量** $= \dfrac{\text{生産重量（kg）}}{\text{栽培面積（m}^2\text{）}}$

② **エネルギ供給量あたりの生産重量** $= \dfrac{\text{生産重量（kg）}}{\text{電気・燃料由来エネルギ供給量（J）}}$

③ **労働時間あたりの生産重量** $= \dfrac{\text{生産重量（kg）}}{\text{労働時間（h）}}$

④ **水供給量あたりの生産重量** $= \dfrac{\text{生産重量（kg）}}{\text{水供給量（kg）}}$

⑤ **CO_2供給量あたりの生産重量** $= \dfrac{\text{生産重量（kg）}}{\text{CO}_2\text{供給量（kg）}}$

⑥ **窒素供給量あたりの生産重量** $= \dfrac{\text{生産重量（kg）}}{\text{窒素供給量（kg）}}$

図 2　本稿で用いることとした 6 つの生産性の指標。入力としてそれぞれの資源を、出力として生産重量（植物体の可食部重量）をとり、出力を入力で除す手法を採用した。

本稿では、植物工場の生産性の指標として、入力としてそれぞれの資源を、出力として生産重量をとり、出力を入力で除す手法を採用した。その結果として、得られる数値は、単位入力あたりの生産重量となる。なお、植物工場の生産性の指標としては、上述のような手法の他にも、入力される資源と出力される資源の単位をそろえ、入力に対する出力の百分率（変換効率）で表す手法もある。ただし、いくつかの項目では、変換効率として表すのが難しい（たとえば、栽培面積あたりの生産重量）。ここでは、実務的に利用価値の高い生産性の指標を提案することを目的としている。そのために、生産性の指標として、変換効率ではなく、出力として生産重量と入力として利用した資源の量との比を採用した。

2.1.　栽培面積あたりの生産重量（反収）

植物工場における栽培面積あたりの生産重量は、ある期間の生産重量を栽培面積で除して求める。ここで、出荷数量は記録しているが生産重量を計測していない場合、生産物の出荷数量に出荷基準の平均値となる重量を乗じて、生産重量を推定する。また、栽培面積は、

栽培ベッドの面積の総和と通路部分の面積の和として推定する。なお、栽培面積あたりの生産重量を求める際の期間を年間に設定した場合、栽培面積あたりの生産重量は、従来使用されてきた反収の値と同じになる。

2.2.　エネルギー供給量あたりの生産重量

植物工場では、エネルギーとして、電気のみ、または、電気および燃料の双方を利用する。ここで、エネルギー供給量あたりの生産重量は、ある期間における生産重量を、その期間の電気エネルギー消費量および燃料エネルギー消費量の和で除して求める。なお、この推定を実施する際、電気エネルギー消費量はキロワット時（kWh）からジュール（J）に、また、燃料エネルギー消費量は容積（L）または重量（kg）からジュールに、それぞれ換算する必要がある。それぞれの換算係数は、1 kWh=3.6MJ、1 L=38.9 MJ（A 重油の場合）である。

ここで、電気のみを利用している人工光型植物工場において、

1）換気回数は 0 h^{-1} である、
2）ヒートポンプの成績係数は 4.7 である、
3）植物工場内の機器による電力消費はない（発熱がない）、

とした場合のエネルギー供給量あたりの生産重量の最大値を推定してみる。このような植物工場では、入力した電気エネルギーの 80%が照明に、20%が空調に利用される（図 3）。照明に入力した電気エネルギーの 70%前後は熱エネルギーに、30%前後が光合成有効波長域（400 から 700 nm）の光に変換される。上記を踏まえ、

4）照明率（出力された光に対する植物体に照射される光の百分率）が 100%である、
5）植物の反射は 10%程度である、
6）理論的な光合成の最大変換効率は 33.2%である（Larcher、2003）、
7）呼吸などによる損失がない、

と仮定した場合、入力されたエネルギーの最大変換効率は 7.2%（＝0.8×0.3×（1－0.1）×0.332）となる。したがって、

8）植物体の乾物がもつエネルギーは 20 kJ g^{-1}（Larcher、2003）、
9）乾物率（生体重に対する乾物重の百分率）は 5%、
10）乾物重全体に占める可食部の乾物重の割合は 80%、

と仮定すると、エネルギー供給量あたりの生産重量の最大値は 58 μg J^{-1}（＝1×0.072÷20000÷0.05×0.8）となる。ただし、実際には、

1）植物工場に換気による熱の流入・流出が発生する、
2）照明率は通常 100%を下回る、
3）植物体の呼吸などによる熱損失が発生する、
4）照明や空調以外の機器による電力消費に起因した熱が発生する、

ことから、エネルギー供給量あたりの生産重量は、最大値よりも小さくなる。

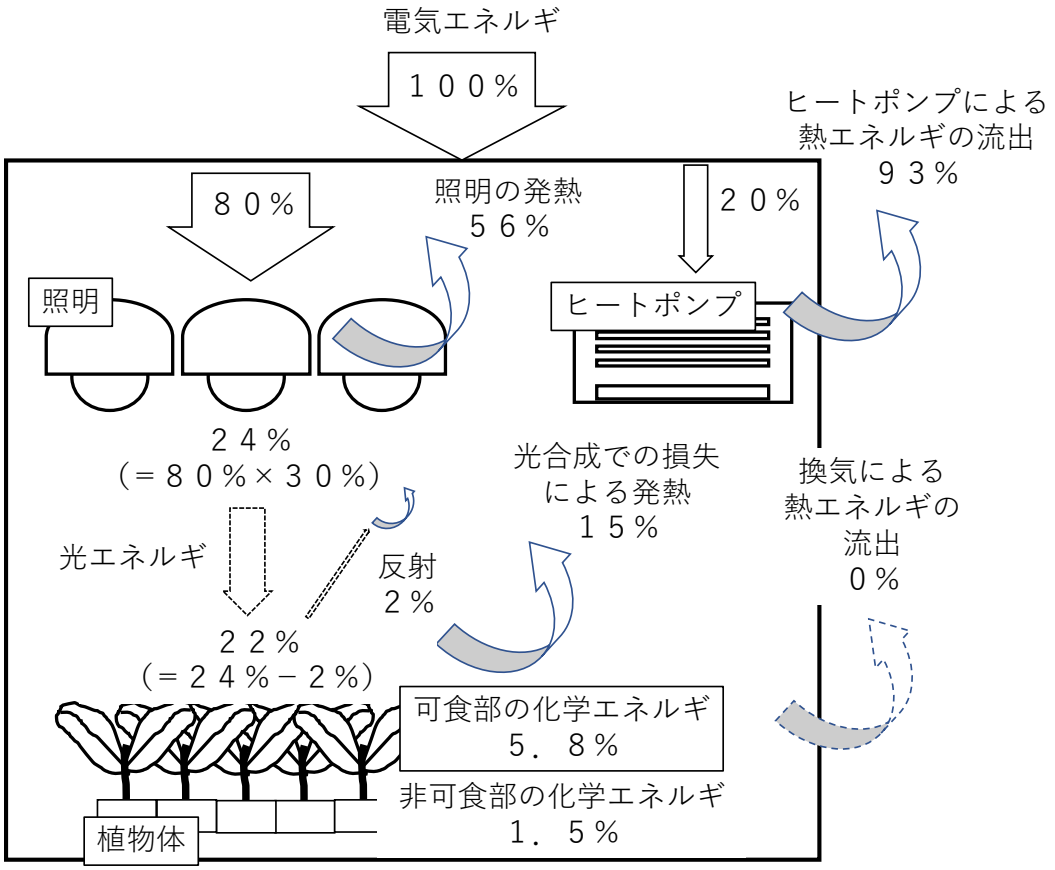


図３　人工光型植物工場における電気エネルギから植物体のもつ化学エネルギへの変換過程の例。ここでは、1）照明のエネルギ変換効率は 30%である、2）ヒートポンプの成績係数は 4.7 である、3）照明率は 100%である、4）植物の反射は 10%程度である、5）理論的な光合成の最大変換効率は 33.2%である（Larcher、2003）、4）照明以外のその他の器具の室内発熱がない、6)呼吸などによる熱損失がない、7)植物体の乾物がもつエネルギを 20 kJ g^{-1}(Larcher、2003)、8）乾物率（生体重に対する乾物重の百分率）は 5%、9）生体重全体に占める可食部の乾物重の割合は 80%、と仮定とした場合のエネルギ変換過程を示している。

2.3.　労働時間あたりの生産重量

現状では、太陽光型植物工場や人工光型植物工場では、機械化が進んでいないために、多くの作業をパート従業員がまかなっている。それゆえ、いずれの植物工場においても、労働時間あたりの生産重量を高めるためには、パート従業員の適切な管理が必要とされる。ここで、労働時間あたりの生産重量は、植物工場における生産にかかわる労働はすべてパート従業員でまかなわれると仮定して、ある期間の植物工場での生産重量を、その期間のパート従業員の労働時間の合計で除して求める。なお、本来であれば、労働時間と労働負荷から労働エネルギーを求めるのが適切であるかもしれない。しかし、植物工場内では、パート従業員ごとに労働負荷（または、代謝率）が異なる。また、労働負荷自体も明確にできない。そのために、ここでは、単に労働時間あたりの生産重量で表すこととする。

2.4.　水供給量あたりの生産重量

植物工場における水供給量あたりの生産重量は、ある期間の生産重量を、その期間の水消費量の合計で除して求める。通常、植物工場には、水道メータが設置され、定期的に検針されている。本稿では、植物工場の水消費量として、検針で報告された値を利用することとする。

他方、植物工場内で水は、栽培に利用される場合と、洗浄などに利用される場合とがある。ここで、調査対象とした植物工場では、水供給量全体に占める栽培に利用される水の百分率は 60%程度であり、残り 40%程度は洗浄などに利用されていた。それゆえ、水供給量全体あたりの生産重量を求める場合、純粋に栽培に利用した部分のみを考慮した水供給量あたりの生産重量を求める場合と比べて、40%近く大きくなる。

人工光型植物工場の場合、植物の蒸散した水は、ヒートポンプの蒸発器で回収することができる。換気回数が 0 h-1 の人工光型植物工場の場合、すべての蒸散した水はヒートポンプの蒸発器で回収される（図 4）。この回収された水を再利用した場合、水供給量を低減することができる（たとえば、大山ら、2000b）。一方、太陽光型植物工場においては、ヒートポンプを利用した冷房はあまり実施されない。そのために、このような水回収はまず行われない。

他方、植物工場において、

1）換気回数が 0 h^{-1} である、
2）レタス類の乾物率は 5%、
3）乾物重全体に占める可食部の乾物重の割合は 80%、
4）すべての水は生体重の増加（植物体内水分の増加）にのみ利用される、

と仮定した場合、水供給量あたりの生産重量の最大値は、0.84 kg kg^{-1}（＝1÷（1－0.05）×0.8）となる。なお、本稿でデータを提供していただいた植物工場のように、供給した水

の 60%が純粋に栽培に利用される（供給した水の 40%が洗浄などで使用されたのち排出される）とした場合、水供給量あたりの生産重量の最大値は 0.51 kg kg^{-1}（＝1 × 0.6 ÷（1－0.05）×0.8）となる。

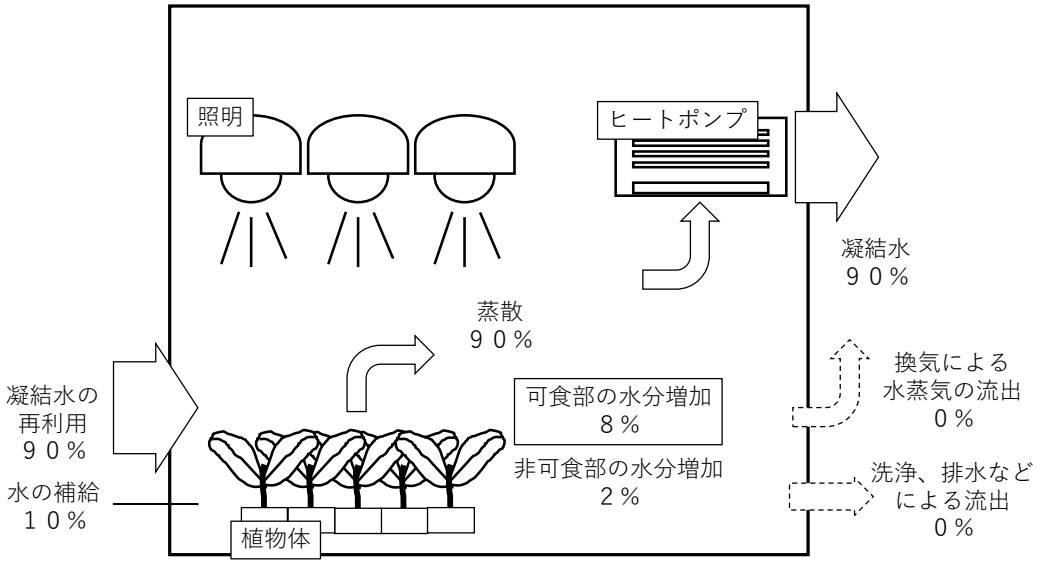


図 4　人工光型植物工場における供給した水から植物体の体内水分への変換過程の例。ここでは、1）与えた水（凝結水＋補給水）の 90%が蒸散する、2）与えた水の 10%が植物体内に貯留（生体重の増加）に利用される、3）換気による水蒸気の流出はない、4）洗浄、排水などによる水の流出はない、と仮定した。

2.5.　CO_2 供給量あたりの生産重量

植物工場における CO_2 供給量あたりの生産重量は、ある期間の生産重量を、その期間に供給した CO_2 の合計量で除して求められる。なお、換気回数の小さい植物工場においては、ボンベなどからの CO_2 供給量とともに、内部で働いているパート従業員の呼気による供給量も考慮する必要がある（Li et al., 2012；図 5）。ボンベなどからの CO_2 供給量は、流量計が設置されている場合には、その値を利用できる。一方、流量計が設置されていない場合には、ボンベなどの使用頻度（一定期間でのボンベ交換回数や充填回数）より、CO_2 消費量を推定することができる。他方、パート従業員が植物工場の栽培室において中程度の労働をする場合、成人男性一人あたり 53.8～84.0 L h^{-1} の CO_2 を排出する（日本規格協会、1974）。女性の場合は、女性の場合は、この 90%程度である。パート従業員の呼気による CO_2 供給量は、上述の値と労働時間との積から推定することができる。

換気回数が 0 h^{-1} の植物工場の場合、供給した CO_2 は光合成によりすべて植物体に吸収される。ここで、

1）レタス類の乾物率は 5%、
2）乾物重全体に占める可食部の乾物重の割合は 80%、
3）吸収される CO_2 の重量と乾物の重量との比は 0.68（たとえば、van Henten、1994）、

と仮定した場合、換気回数が 0 h^{-1} である植物工場における CO_2 供給量あたりの生産重量の最大値は、11 kg kg^{-1}（＝1×0.68÷0.05×0.8）となる。

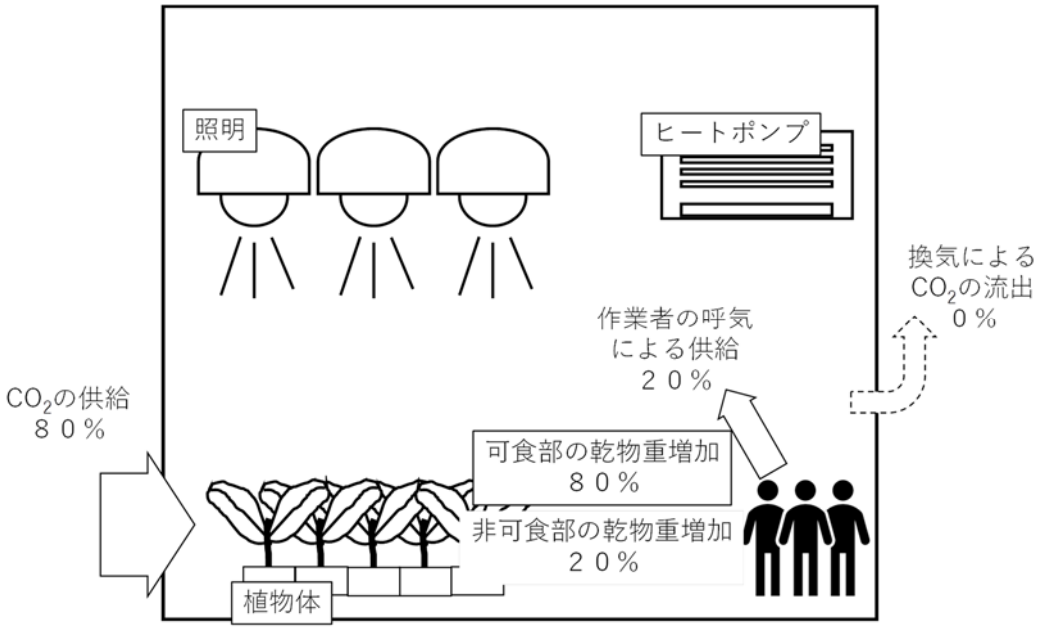


図 5　人工光型植物工場における供給した CO_2 から乾物への変換過程の例。ここでは、1）供給される CO_2 のうちボンベから供給される CO_2 の百分率は 80%（従業員の呼気により供給される CO_2 は 20%）、2）レタス類の乾物率は 5%、3）乾物重全体に占める可食部の乾物重の割合は 80%、4）吸収される CO_2 と乾物との比は 0.68（van Henten、1994）、と仮定した。

2.6.　窒素供給量あたりの生産重量

植物工場における肥料に含まれる窒素の収支を図 6 に示す。植物工場における窒素収支は、比較的容易にとらえられる。とくに、養液栽培装置からの排液がない場合、供給した窒素は、植物体にすべて吸収される。窒素供給量あたりの生産重量は、ある期間の生産重量を、その期間の窒素供給量で除して求められる。窒素供給量は、肥料のタンクの残量は一定であると仮定して、ある期間に消費した肥料中に含まれる窒素の重量から求められる。

ここで、

1）養液栽培装置において排水はない、
2）養液中の窒素成分は分解されない、
3）レタス類の乾物率は 5%、
4）乾物重全体に占める可食部の乾物重の百分率は 80%、
5)乾物中全窒素の百分率は 4.1%(農林水産バイオリサイクル研究「システム化サブチーム」、2006)、

であると仮定した場合、窒素供給量あたりの生産重量の最大値は、390 kg kg^{-1}（＝1÷0.05÷0.041×0.8）となる。

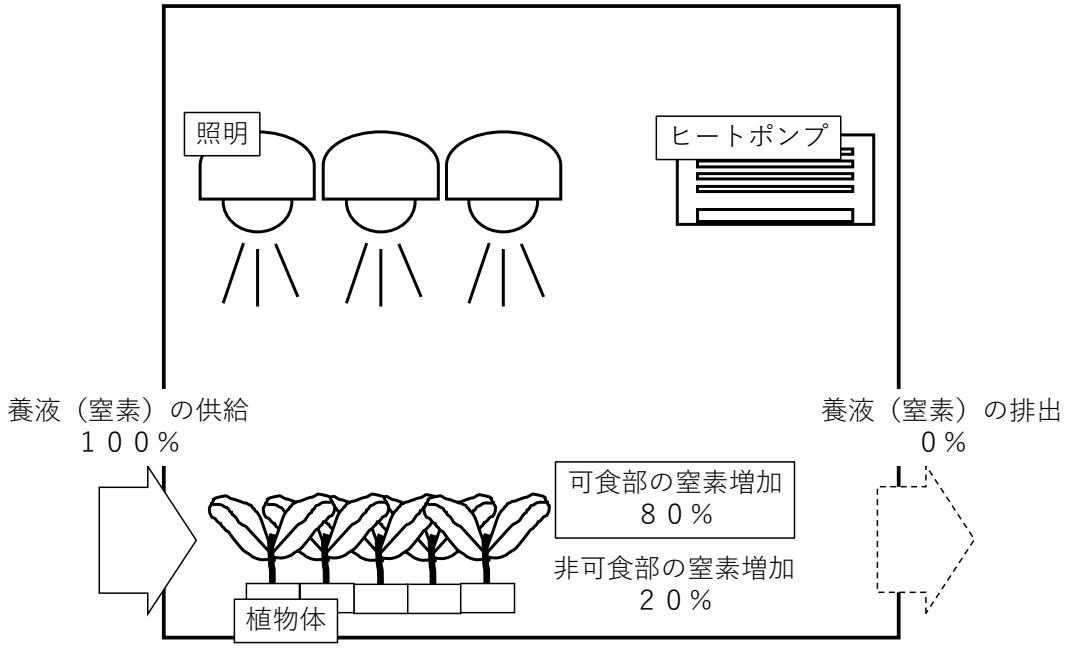


図 6　人工光型植物工場における供給した窒素から植物体中全窒素への変換過程の例。ここでは、1）養液栽培装置において排水はない、2）養液中の窒素成分は分解されない、3）レタス類の乾物率は 5%、4）乾物重全体に占める可食部の乾物重の百分率は 80%、5）乾物中全窒素の百分率は 4.1%（農林水産バイオリサイクル研究「システム化サブチーム」、2006）であると仮定した。

3.　生産性の指標の適用例

本稿では、ある人工光型植物工場を例に取り上げ、上述の 6 つの生産性の指標を適用してみた。なお、この植物工場の概要を示すと、

1）レタス類を通年生産している、
2）1日あたりの生産株数は、約10,000株である、
3）延床面積1,300 m^2で12段の多段棚が採用されている（栽培面積5,200 m^2）、
4）それぞれの棚には、LED照明と養液プールが設けられている、
5）9名の社員と35名のパート従業員で操業している、
6）1日あたりに作業に従事する社員・パート従業員数は、17～18名であり、その8～9割が女性である、

と取りまとめることができる。

3.1. 栽培面積あたりの生産重量（反収）

この植物工場では、月平均20 t前後のレタス類を収穫していた。年間では、262 tの生産量となっていた。ここで、この生産重量を栽培面積で除して栽培面積あたりの生産重量（反収）を求めると、50.3 kg m^{-2}となった（表1）。平成28年産野菜生産出荷統計（農林水産省、2017）によれば、露地レタスの栽培面積あたりの生産重量は、2.7 kg m^{-2}とのことである。厳密には品種が異なるので単純比較はできないが、人工光型植物工場におけるレタスの栽培面積あたりの生産重量は、露地レタスのそれの20倍以上となっていた。これは、

1）栽植密度が異なること、
2）連続栽培・収穫を実施していること、
3）適切な環境調節下で植物の成育を促進していること、

が理由として考えられる。ただし、この考察をより明確にするためには、今後、露地と人工光型植物工場の間で同一品種を栽培した場合の比較が必要である。
栽培面積あたりの生産重量は、その値が大きいほど栽培面積を有効に活用していると評価できる。この値を高めるためには、植物の光合成がさらに促進されるように、環境調節を実施する必要がある。また、適切な植栽密度も、植物工場の設計段階より検討しておく必要がある。

3.2. エネルギー供給量あたりの生産重量

本稿で調査対象とした植物工場の年間の電気エネルギー供給量は、11 TJ（3.0 GWh）であった。ここで、上述の生産重量を電気エネルギー供給量で除して、エネルギー供給量あたりの生産重量を求めると、24 $\mu g\ J^{-1}$（86 g/kWh）となった（表1）。この値は、前述した最大値の41%となっていた。前述の最大値を求める際には考慮しなかったが、実際には呼吸（光呼吸、暗呼吸）や光合成の過程における熱損失が発生する（たとえば、Beadle and Long、

表 1 ある人工光型植物工場に生産性指標をあてはめた場合の値とその最大値との比較

生産性指標	実際の値 (A)	最大値 (B)	(A) ／ (B)
栽培面積あたりの生産重量	50 kg m^{-2}	-*	
エネルギ供給量あたりの生産重量	24 μg J^{-1}	58 μg J^{-1}	41%
労働時間あたりの生産重量	6.3 kg h^{-1}	-*	
水供給量あたりの生産重量	0.051 kg kg^{-1}	0.84 kg kg^{-1}	6%
CO_2 供給量あたりの生産重量	11 kg kg^{-1}	11 kg kg^{-1}	100%
窒素供給量あたりの生産重量	210 kg kg^{-1}	390 kg kg^{-1}	54%

*栽培面積あたりの生産重量および労働時間あたりの生産重量は、最大値を求められないので空欄とする。

1985)。それを考慮した場合には、ここで求めた推定値は、比較的高いと言えるかもしれない。

上述の結果は、およそ 1 株のレタス類を生産するのに、1 kWh の電気エネルギーを利用したとみることができる。これまでに、谷村ら（1991）は、蛍光ランプを用いた植物工場において、レタス 1 株（75g）を生産する際のエネルギー消費量あたりの生産重量は、8.3 μg J^{-1}（30 g/kWh）であることを報告している。今回の調査対象の植物工場におけるエネルギー供給量あたりの生産重量は、上述の報告の 2.9 倍となっていた。これは、先の報告と比べて、

1）LED ランプの発光効率が、蛍光ランプのそれと比べて高い、
2）蛍光ランプと LED ランプとでは波長組成が異なっている、
3）空調器具の成績係数が高い、

ためであることが主な理由として考えられる。

本稿では、エネルギー供給量あたりにどのぐらいの植物体を生産しているかを評価した。エネルギー供給量あたりの生産重量が大きいほど、電気および燃料といったエネルギーの利用効率がよいと判断される。エネルギー供給量あたりの生産重量を大きくするためには、

1）発光効率の高い（光合成有効放射域の放射への変換効率が高い）照明を利用する、
2）成績係数（取り去った熱量とそれを取り去るのに用いたエネルギー量の比）の高い空調を利用する、
3）照明率を高くする（光源からの光が適切に植物に照射されるようにする）、
4）植物の生育に適切となるような環境調節を実施する、

といったことが例として挙げられる。なお、1）～3）に関しては、植物工場を建設する前に決まってしまうものである。それゆえ、植物工場の計画段階での十分な検討が必要である。他方、4）に関しては、植物体の生育を調査しながら、植物工場内の環境を適切に調節していく必要がある。そのためには、環境計測と定期的な（たとえば、1 週間ごと）生育計測は必須である。

ここで、この植物工場でのレタスの光利用効率（光合成有効波長域の放射エネルギーに対する植物体の固定した化学エネルギーの百分率）を推定してみる。上述と同様に入力された電気エネルギーの 80%が照明に利用され、また、そのうちの 30%が光合成有効波長域の放射に変換されるとした場合、この植物工場におけるレタスの光利用効率は 10%となった（表 2）。他方、Sinclair and Horie（1989）の推定した値より、ストレスのない圃場条件下におけるダイズ、イネおよびトウモロコシの光利用効率を求めると、それぞれ 2.4、2.6 および 3.4%となる。また、Bugbee and Salisbury（1988）は、コムギを環境制御下で育成した場合の光利用効率は、4～11%であると報告している。大山ら（2000a）は、サツマイモ苗を育成した場合の光利用効率は、6%であることを報告している。本稿で調査した植物工場におけるレタスの光利用効率は圃場で得られた値よりも大きく、また、環境制御下で育成した値の中でも高水準にあるといえる。ただし、ここでの推定は、非常に大まかなものであり、今後詳細な検討が必要である。

3.3. 労働時間あたりの生産重量

この植物工場におけるパート従業員の月ごとの労働時間は、3,500 h 前後であった。年間では、42,000 h となっていた。上述の生産重量を年間の労働時間合計で除して労働時間あたりの生産重量を求めると、6.3 kg h^{-1} となった（表 1）。ここで求めた労働時間あたりの生産重量は、その値が大きいほど労働生産性が高いと評価できる。この値を大きくするためには、適切にパート従業員を管理する（たとえば、必要最小限の人員で作業を実施する）必要がある。なお、その手法に関しては、ケーススタディの該当項目を参照いただきたい。

労働時間あたりの生産重量は、他の生産性の指標と異なり、理論的な最大値を求めることは困難である。それゆえ、労働時間あたりの生産重量が高いかどうかは、他の植物生産システムと比較しての結果となる。ただし、現状では、労働時間あたりの生産重量に関するデータは、非常に限られている。それゆえ、今後、労働時間あたりの生産重量に関するデータを蓄積し、蓄積したデータを比較して、ベンチマークとなる値を決定する必要がある。

ここで、レタス類の単価を 1,000 円／kg とした場合、名目労働生産性（就業 1 時間あたりの付加価値額）は、6,296 円／h となる。なお、2016 年度のわが国の平均値は 4,828 円／h である（日本生産性本部、2018）。この植物工場で推計した名目労働生産性は、わが国の平均値の 1.3 倍となっていた。一般的に、農業分野の名目労働生産性は低いといわれているが、本稿で調査した植物工場の名目労働生産性の値は、上述した平均値を超えていた。今後、このような調査を継続し、植物工場の生産性の実態を把握するとともに、その生産性の高さ

を明示していく必要がある。

3.4. 水消費量あたりの生産重量

この植物工場の水消費量は、月あたり平均 430 t であった。生産重量を年間の水消費量で除して水消費量あたりの生産重量を求めると、0.051 kg kg^{-1} となった（表 1）。この値は、上述した水消費量あたりの生産重量の最大値の 5%であった。また、供給した水の 60%が純粋に栽培に利用されるとした場合の最大値（0.51 kg kg^{-1}）と比較しても 10%であった。ここで求めた値が最大値に対して大幅に小さくなった理由として、この植物工場では、

1）洗浄に利用した水をすべて捨てていること、
2）空調のドレン水をすべて捨てていること、
3）養液が排水されていること、

があげられる。なお、3）には、意図的な養液の排出と養液プールからパネルを搬出するときの意図していない排出とが含まれる。これらの排水に起因して、水供給量あたりの生産重量は、最大値と比して小さくなったことが推察される。

植物工場において、水供給量あたりの生産重量は、その値が大きいほど水の利用効率がよいと判断される。また、後述する窒素供給量あたりの生産重量の増加に貢献する。水供給量あたりの生産重量を大きくするためには、植物工場からの排水を低減する必要がある。この植物工場において、最も大きい排水は、パネルや床の清掃に使用される洗浄水の排水であると推察される。また、空調ドレン水の排水も比較的大きいと予想される。それゆえ、今後、水供給量あたりの生産重量を高めるためには、洗浄水の節水とともに、ドレン水の再利用を検討する必要がある。

表 2 光利用効率の値と過去の報告例との比較

作物	光利用効率	栽培システム	原典
レタス	10%	人工光型植物工場	—
ダイズ	2.4%	露地	Sinclair and Horie（1989）
イネ	2.6%	露地	Sinclair and Horie（1989）
トウモロコシ	3.4%	露地	Sinclair and Horie（1989）
コムギ	4-11%	グロースチャンバ	Bugbee and Salisbury (1988)
サツマイモ(苗)	6%	閉鎖型苗生産システム	大山ら（2000a）

3.5. CO_2 供給量あたりの生産重量

この植物工場では、植物工場内の CO_2 濃度を高めるために、年間 17 t の CO_2 をボンベより

人為的に供給していた。加えて、パート従業員が植物工場の栽培室内で作業をするために、彼らの呼気によっても栽培室に CO_2 は供給される。ここで、パート従業員が中程度の作業をしていると仮定すると、全体の供給量（24 t）の 26%にあたる 6.2 t の CO_2 を供給していると推定された。これらの状況を考慮して CO_2 供給量あたりの生産重量を推定すると、11 kg kg^{-1} となった（表 1）。この値は、前述の最大値とほぼ同じであった。

植物工場の換気回数を小さくすることができれば、CO_2 供給量あたりの生産重量は大きくできる。しかし、通常、植物工場の稼働開始後では、そのような対策を実施するのは難しい。したがって、人工光型植物工場の竣工前には、必ず換気回数の測定を実施し、適切な措置を講じることが好ましい。他方、歩留を高くするためには、チップバーンなどにより非可食部の割合が増えることを避ける必要がある。そのためには、適切な環境制御や養液管理が必須である。このように、CO_2 供給量あたりの生産重量と環境制御や養液管理は、一見すると直接関係が薄いと思われるかもしれないが、両者は密接に関係している点に留意すべきである。

この植物工場の CO_2 供給量（人為的な供給量＋従業員の呼気）は年間 24 t であり、植物体の吸収量とほぼ一致していた。このことは、CO_2 利用効率は 100%近くであることを意味する。Li et al.（2012）は、商業利用されている人工光型植物工場の CO_2 利用効率が 78%であったことを報告している。また、吉永ら（2000）は、閉鎖された空間においてサツマイモ苗を栽培した場合の CO_2 利用効率は 90%であったことを報告している。ここで求めた CO_2 利用効率は、これらの報告よりも高くなった。この理由として、上述のように、植物工場の換気回数が小さかった可能性がある。ただし、ここでの推定では、従業員の呼気の量を過小評価している可能性もあり、正確な値を求めるためには、今後詳細な調査が必要とされる。

3.6. 窒素供給量あたりの生産重量

この人工光型植物工場では、窒素供給量あたりの生産重量は 210 kg kg^{-1} であった（表 1）。この値は、最大値の 54%にとどまった。このような差が生じたのは、

1）養液の排出、
2）養液プールからパネルを搬出するときの養液の流出、
3）推計開始前後での養液タンクに貯留されている濃厚原液の残量の差、
4）養液プールで発生する藻類による吸収、
5）養液プールおよび配管などにいる細菌類による脱窒、

に起因する可能性がある。ここで、養液の排出（月間 90 t）がなかったと仮定した場合、窒素供給量あたりの生産重量は 270 kg kg^{-1} となり、レタスに与えた窒素の 70%が可食部となっていることとなる。ただし、依然 30%の窒素に関して説明がつかない。この原因として、上述の 2）～5）が考えられる。より詳細に人工光型植物工場の窒素動態を把握するために

は、それらに関して今後詳細な調査が必要である。

本稿で求めた窒素供給量あたりの生産重量は、その値が大きいほど窒素の利用効率がよいと判断される。また、この値が大きいということは、窒素という環境負荷物質の排出が小さいことを意味する。植物工場における窒素供給量あたりの生産重量を大きくするためには、窒素の含まれる養液栽培装置からの窒素分が含まれる養液の排水を最小限にとどめる必要がある。

一般に、養液栽培において、肥料組成の最適化を図ることで、装置からの排水を低減、または、ない状態とすることができる。ここで取り上げた植物工場の養液栽培装置では、そのような取り組みが行われているものの、生育不良の発生を回避することを目的として、一部では排水を実施している。それに起因して、窒素供給量あたりの生産重量は、養液栽培装置からの排水がない場合と比べて、大きくなっていた。

本稿では、窒素供給量あたりの生産重量を評価した。ただし、肥料には、窒素（N）の他にリン酸（P）やカリウム（K）、その他微量要素が含まれる。個々の成分に関して検討しなかったが、本稿で示したものと同様の方法で、それらに関しても各々の肥料成分あたりの生産重量を指標として示すことも可能である。この植物工場では、肥料の排出がほとんどないために、代表としての窒素を題材として扱った。ただし、肥料の排出が起こる露地や植物工場を扱う場合には、肥料分の各々の値を評価をした方が好ましい場合もあるかもしれない。

4. 生産性の指標の評価

現状では、植物工場において、本稿で示した6つの生産性の指標の具体的な数値に関する情報は、非常に限られている。そのために、指標の値が大きいのかどうかは、評価しづらい状況にある。ただし、本稿では、その端緒となるよう、今回調査対象とした植物工場における6つの生産性の指標の具体的な数値を示すこととした。今後、このような生産性の評価が広まれば、多くの植物工場での値との比較は容易になる。なお、ここで調査対象とした植物工場は、全国的にも先進的な取り組みを実施しており、それゆえ、生産性の指標の数値は、比較的高いものであると推察している。

他方、植物工場の生産性の指標の数値を直接比較する方法とともに、生産性の指標全体をその最大値、または、ベンチマークに対する百分率でチャートにし、評価する方法もある。その例として、図6を示す。ここでは、栽培面積あたりの生産重量および労働時間あたりの生産重量は、仮のベンチマーク（栽培面積あたりの生産重量：60 kg m^{-2}；労働時間あたりの生産重量：7.0 kg h^{-1}）に対する到達度合いで評価することとした。また、それ以外の4つの生産性の指標に関しては、理論的最大値に対する到達度合いで評価することとした。

図6に示したレーダーチャートに表れるように、この植物工場では、労働時間あたりの生産重量と CO_2 供給量あたりの生産重量は高い水準にある。しかし、水供給量あたりの生産重量は低いことがわかる。また、エネルギー供給量あたりの生産重量および窒素供給量あたりの

生産重量もやや低い水準にある。図 6 のようにグラフ化することで、より生産性を高めるためには、どの分野の対策を講じた方がよいかわかりやすくなる。

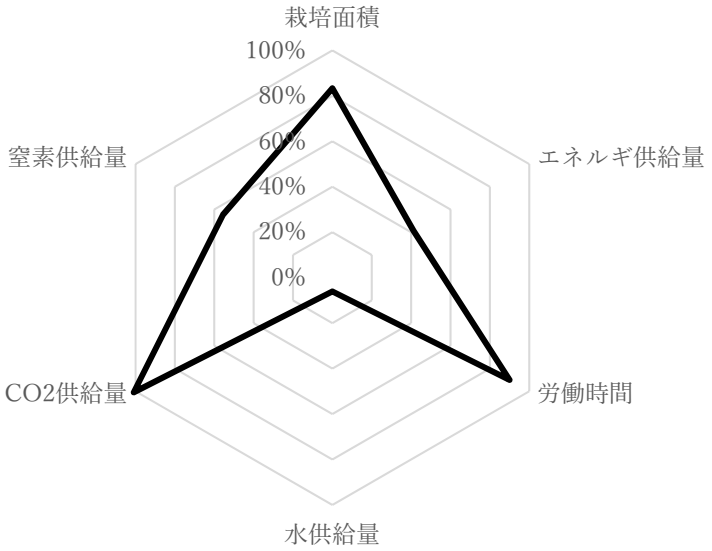


図 6　調査対象とした植物工場における栽培面積、エネルギ、労働力、水、CO_2 および窒素供給量あたりの生産重量のそれぞれの仮のベンチマーク、または、最大値に対する百分率。栽培面積あたりおよび労働時間あたりの生産重量の仮のベンチマークは、60 kg m^{-2} および 7.0 kg h^{-1} に設定した。

上述は、6 つの生産性の指標をすべて高める際には効果がある。6 つの生産性の指標をともに高めることは、生産物を生み出すのに必要とされる資源に必要とされる経費を低減するのに貢献する。ただし、それぞれの資源の単価は同じではない。それゆえ、資源の単価を加味した評価が必要となる。そこで、図 7 では、調査対象とした植物工場における生産物 1kg あたりに必要とされるそれぞれの資源にかかわる経費を、仮のベンチマーク、または、最大値と実際の値を比較してみた。栽培面積あたりおよび労働時間あたりの生産重量の仮のベンチマークは、上述と同様に、60 kg m^{-2} および 7.0 kg h^{-1} に設定した。なお、ここでは、

1）栽培面積あたりの賃借料は 1,000 円/m^2/月、
2）電気料金は 6.9 円/MJ（25 円/kWh）、
3）パート従業員の時給は 1,000 円、
4）水道料金は 1,000 円/m^3、
5）CO_2 の料金は 500 円/kg、
6）窒素の料金は 2,500 円/kg、

と仮定した。

図 7 のようにまとめると、図 6 において着目すべき項目としてあげられる生産性の項目の中で、水供給量あたりの生産重量と窒素供給量あたりの生産重量にかんする指標が大幅に改善したとしても、生産物 1kg あたりに必要とされる経費におよぼす影響は少ない。むしろ、単価の高いエネルギー供給量あたりの生産重量に関する指標の改善の方が生産物 1 kg あたりに必要とされる経費に影響する。また、経済的な観点から見ると、水供給量あたりの生産重量ののびしろ（最小値と実際の値との差）よりも、エネルギー供給量あたりの生産重量ののびしろの方が大きいことが図 7 より読み取れる。

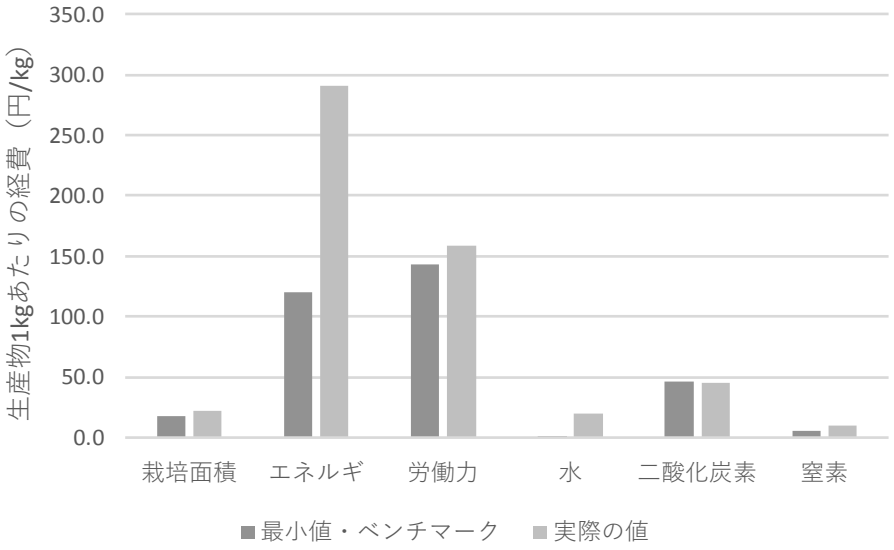


図 7　調査対象とした植物工場における生産物 1 kg あたりの土地、エネルギ、労働力、水、二酸化炭素および窒素にかかわる経費。最小値または仮のベンチマークと実際の値を示した。栽培面積あたりおよび労働時間あたりの生産重量の仮のベンチマークは、60 kg m^{-2} および 7.0 kg h^{-1} に設定した。

前述したように、エネルギー供給量あたりの生産重量を高めるためには、高効率な光源および空調を導入する必要がある。また、植物工場内の環境を適切に調節する必要がある。本稿で示した最小値は、現実には達成不可能な高い値ではある。しかし、それに近づくようにハードウエア、ソフトウエア双方の改良を、植物工場に施していく必要がある。

ここでは、植物工場への資源の入出力という観点から生産性の指標を提示した。しかし、ここで示した 6 つの資源の入出力の観点だけでは不十分であり、植物工場の初期コストに関する評価を加えることによって、総合的な生産性、経済性双方を評価することが望ましい。

たとえば、水供給量あたりの生産重量を高めるためには、ヒートポンプからのドレン水の排水を再利用する仕組みを導入する必要がある。しかし、そのような仕組みの導入は、人工光型植物工場の初期コストの上昇に寄与する。水供給量あたりの生産重量の増大と初期コストの上昇とを比較し、その得失を判断した上で、導入の可否を検討すべきである。今後、本稿で示した植物工場の生産性を高めることとともに、植物工場の初期コストに関しても留意した設計は非常に重要であることを記しておきたい。

植物工場の性能を高めた場合に初期コストが増大するという課題は、人工光型植物工場の場合、建屋建設においても発生する。太陽光型植物工場においても、同様の課題は生じる。一般に、換気回数は小さく、また、壁の熱貫流が少ない建屋ほど、ここで示したエネルギー供給量あたりの生産重量、水供給量あたりの生産重量、CO_2 供給量あたりの生産重量および窒素供給量あたりの生産重量は、それぞれ増大する。しかし、建設のためのコストは増大してしまう。今後、初期コストと運転コスト、さらには予想される売上を加味した数値計画にもとづいて、植物工場の建設コストを検討する必要がある。

さらに、太陽光型植物工場と人工光型植物工場を比較するためには、初期コストあたりの生産重量のような指標の追加が必要である。ここでは、減価償却費あたりの生産重量を求めた方が適切であるとも考えている。ただし、今回は、指標の具体的な検討する段階にいたることができなかった。そのために、ここでは内容を割愛し、主として生産にかかわる資源に視点をおいた生産性を推計した。しかし、真の意味での生産性を評価する上では、減価償却費あたりの生産重量も新たな項目として追加した方が望ましい。この点に関しては、今後の調査で明らかにしていきたい。

本稿では、植物工場に入力される資源の単位として、それぞれの資源の量を表す一般的な単位を利用した。ただし、土地（栽培面積）以外の入力される資源では、それぞれの量を金額で表すことも可能である。例として、エネルギーの項目を取り上げてみよう。前述の仮定の下では、エネルギー消費量あたりの生産重量の最大値は、58 $\mu g\ J^{-1}$ となった。ここではエネルギーの単位をジュールで表記したが、人工光型植物工場の場合、実用的にはキロワット毎時での表記の方がわかりやすいかもしれない。エネルギーの単位をキロワット毎時に変更した場合、エネルギー消費量あたりの生産重量の最大値は、209 g／kWh と表すことができる。ここで、レタス類の単価を 1,000 円／kg（＝1 円/g）、電力料金を 25 円／kWh とした場合、電力料金あたりの生み出される付加価値は、最大で 8.4 倍（＝1,000×0.209÷25）となる。このように、それぞれの項目について、何倍の付加価値を生み出すことができるのかを評価してもよいだろう。ただし、資源の単価は、植物工場ごとに異なることが予想されるので、ここでは、あくまで例を示すのみとする。

最後に、植物工場におけるエネルギー利用と他産業におけるそれとを比較してみたい。今回調査対象とした植物工場における延床面積あたりの年間エネルギー供給量は、8.4 GJ m^{-2} であった（表 3）。この値は、業務部門でのそれの 3～8 倍となっていた。ただし、栽培面積

あたりの年間エネルギー供給量は 2.1 GJ m^{-2} であり、業務部門の平均的な値と同程度であった。他方、年間売上高あたりのエネルギー供給量は、レタス類の単価を 1,000 円/kg とした場合、42 kJ/円・年となった（表 4）。この値は、製造業（1.1～8.1 kJ/円・年）や業務部門（0.3～22.3 kJ/円・年）と比べると、2～40 倍である。このような結果が得られた理由として、植物工場における生産物の単価が他の製造業や業務部門と比較して安価であるためであると考えた。本来、生産物の異なる業種との単純比較ではなく、植物工場間での比較の方が重要ではある。しかし、年間売上高あたりのエネルギー供給量を他の製造業や業務部門と同様の水準にするためには、これまでも言われてきたことではあるが、植物工場における省エネルギーに努めるとともに、生産物の単価を上昇させるための方策を考える必要があるといえる。

表 3 面積あたりのエネルギ供給量

部門	業種	面積あたりのエネルギ供給量（GJ m^{-2}）
人工光型植物工場		8.4（延床面積） 2.1（栽培面積）
業務部門	情報サービス業	1.2
	各種商品小売業	0.9
	宿泊業	1.1
	飲食店	3.0
	洗濯・理容・美容・浴場業	2.5

※業務部門の面積あたりのエネルギ供給量は、文献（三菱総合研究所、2015）による。

表 4 年間売上高あたりのエネルギ供給量

部門	業種	売上高あたりのエネルギ供給量 (kJ/円・年)
人工光型植物工場		42
製造業	食料品製造業	5.1～8.1
	繊維業	2.2～5.5
	金属製品製造業	1.4～4.3
	汎用機械器具製造業	1.1～3.0
	輸送用機械器具製造業	1.4～5.9
業務部門	情報サービス業	0.3～0.7
	各種商品小売業	2.0～5.8
	宿泊業	13.8～22.3
	飲食店	2.6～10.5
	医療業	1.6～4.5

※製造業および業務部門の年間売上高あたりのエネルギ供給量は、文献（三菱総合研究所、2015）による。

5. まとめ

植物工場における資源の入出力を整理して、それぞれの資源の入出力から得られる 6 つの指標により、植物工場の生産性を評価することを試みた。ここでは、人工光型植物工場を例に取り上げ、生産性の指標の具体的数値を例示した。これまでに公表されていない数値が多く、また、ある 1 か所の人工光型植物工場のデータを利用しただけであるので、数値の妥当性に関しては、今後検証していく必要がある。また、現在、検討している途中の段階の事項もあり、やや内容が乱雑となってしまったことはご了承いただきたい。他方、ここで示したような生産性の指標の数値を蓄積していくことで、より客観的な植物工場の評価が可能となる。

今回、植物工場への入力として、１）土地、２）エネルギー（電気および燃料由来）、3）労働力、4）水、5）CO_2、6）肥料の 6 つの観点より、生産性の指標を求めた。ここで、CO_2 供給量あたりの生産重量以外の指標は、太陽光型、人工光型植物工場および露地においても求められる。それゆえ、露地、太陽光型植物工場、人工光型植物工場という異なる植物生産システムを用いた場合の生産性の比較が可能となる。今後、そのような調査を実施し、生産性という観点から見た各植物生産システムの得失を評価していきたい。

【引用文献】

Beadle, CL. and Long, SP. (1985) Photosynthesis-is it limiting to biomass

production. Biomass 8: 119-168
Bugbee, BG. and Salisbury, FB. (1988) Exploring the limits of crop productivity. I. Photosynthetic efficiency of wheat in high irradiance environments. Plant Physiology 88:869-878
Larcher, W. (2003) Physiological plant ecology, 4ed, Springer Verlag, Berlin, 513pp
Li, M., Kozai, T., Ohyama, K., Shimamura, S., Gonda, K., Sekiyama, T. (2012) CO_2 balance of a commercial closed system with artificial lighting for producing lettuce plants. HortScience 47(9):1257-1260
三菱総合研究所（2016）平成 26 年度エネルギー消費状況調査（エネルギー消費統計調査の集計及び利用分析に係る調査研究）、
http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2015fy/000284.pdf（2018 年 1 月 18 日閲覧）
日本規格協会（1974）屋内換気量測定方法（炭酸ガス法）JIS A14061[974]
日本生産性本部（2018）日本の労働生産性の動向 2017 年度版、http://www.jpc-net.jp/annual_trend/（2018 年 1 月 18 日閲覧）
農林水産バイオリサイクル研究「システム化サブチーム」（2006）バイオマス利活用システムの設計と評価、http://www.naro.affrc.go.jp/org/nkk/soshiki/soshiki07-shigen/01shigen/sekkeitohyouka.html（2018 年 1 月 18 日閲覧）
農林水産省（2017）平成 28 年産野菜生産出荷統計、https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&lid=000001196823（2018 年 1 月 18 日閲覧）
大山克己・吉永慶太・古在豊樹（2000a）閉鎖型苗生産システムのエネルギーおよび物質収支（第 1 報）エネルギー収支、植物工場学会誌 12（3）：160-167
大山克己・吉永慶太・古在豊樹（2000b）閉鎖型苗生産システムのエネルギーおよび物質収支（第 2 報）水収支、植物工場学会誌 12(4)：217-224
Sinclair TR. and Horie T. (1989) Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. Crop Science 29:90-98
谷村泰宏・池田彰・江崎謙治・河相好考・中山繁樹・岩尾憲三・影山裕之（1991）蛍光ランプを用いた人工光型植物工場の研究（その 1）栽培システムの諸元ならびに性能試験結果、生物環境調節 29(2)：81-88
Van Henten, EJ. (1994) Validation of a dynamic lettuce growth model for greenhouse climate control. Agricultural Systems 45:55-72
吉永慶太・大山克己・古在豊樹（2000）閉鎖型苗生産システムのエネルギーおよび物質収支（第 3 報）二酸化炭素収支、植物工場学会誌 12(4)：225-231

平成 29 年度次世代施設園芸地域展開促進事業（全国推進事業）
事業報告書（別冊 2）

次世代施設園芸・植物工場のケーススタディ

発行　平成 30 年 3 月

一般社団法人日本施設園芸協会