

第19期日本学術会議
農業環境工学研究連絡委員会報告

気候変動条件下および人工環境条件下における食料生産の向上と安全性

平成17年6月23日
日本学術会議農業環境工学研究連絡委員会

この報告は、第19期日本学術会議農業環境工学連絡委員会 気候変動条件下の農業気象環境の保全と食料生産の向上小委員会 食品の安全性を考慮した生物情報活用の生産システム制御小委員会 生物生産システムの効率化を俯瞰的に再評価する計測・制御専門委員会の審議結果をとりまとめて発表するものである。

農業環境工学研究連絡委員会

委員長 橋本 康（日本学術会議第6部会員）
幹事 蔵田憲次（東京大学大学院教授）
幹事 村瀬治比古（大阪府立大学院教授）
委員 大政謙次（東京大学大学院教授）
委員 佐竹隆顕（筑波大学大学院教授）
委員 高辻正基（東京農業大学客員教授）
委員 仁科弘重（愛媛大学教授）
委員 原 道宏（岩手大学教授）

食品の安全性を考慮した生物情報活用の生産システム制御小委員会

委員長 高辻正基（東京農業大学客員教授）
幹事 後藤英司（千葉大学教授）
委員 池田雅夫（大阪大学大学院教授）
委員 大下誠一（東京大学大学院教授）
委員 蔵田憲次（東京大学大学院教授）
委員 木村英紀（日本学術会議第5部会員）
委員 橋本 康（日本学術会議第6部会員）
委員 平藤雅之（中央農業総合研究センター研究室長）
委員 星 岳彦（東海大学教授）
委員 村瀬治比古（大阪府立大学院教授）
委員 森本哲夫（愛媛大学教授）

気候変動条件下の農業気象環境の保全と食料生産の向上小委員会

委員長 真木太一（九州大学大学院教授）
幹事 青木正敏（東京農工大学教授）
委員 井上君夫（前中央農業総合研究センター上席研究官）
委員 大場和彦（九州沖縄農業研究センター研究室長）
委員 大政謙次（東京大学大学院教授）
委員 蔵田憲次（東京大学大学院教授）
委員 古在豊樹（千葉大学学長）
委員 櫻谷哲夫（京都大学大学院教授）
委員 清野 豁（農業・生物系特定産業技術研究機構理事）

- 委員 中野政詩（日本学術会議第6部会員）
委員 早川誠而（山口大学教授）
委員 吉野正敏（国際連合大学上席学術顧問）

生物生産システムの効率化を俯瞰的に再評価する「計測・制御」専門委員会

- 委員長 村瀬治比古（大阪府立大学院教授）
幹事 原 道宏（岩手大学教授）
委員 池田雅夫（大阪大学大学院教授）
委員 石井龍一（日本学術会議第6部会員）
委員 木村英紀（日本学術会議第5部会員）
委員 橋本 康（日本学術会議第6部会員）

要 旨

1 報告書の名称

気候変動条件下および人工環境条件下における食料生産の向上と安全性

2 報告書の内容

(1) 作成の背景

地球規模の農業生産は、環境工学的視点で見ると現在においても適地適作が原則であり、局地気象資源の活用、気象災害の回避が原点であり、自然に依存する「もの作り」であるが、環境の悪化で適地がどんどん減少する現在、この視点のみでは閉塞感が増大し、もはやこれ以上の進展は難しいといわれる。21世紀は生物学の世紀といわれ、究極に要素還元した分子生物学は、物質科学の秩序原理を書き換えると期待されているが、自然を還元した人工環境条件下における学術は、農業生産に横断科学的視点を導入する契機として、その意義は大きい。気候変動条件下と人工環境条件下における農業生産を俯瞰的視点で捉え、システム論を導入し、農業生産に萌芽する統合的学術を探り、その推進力として機能する拠点形成の必要性を含め、広く科学者コミュニティにご理解戴きたいと考える。

(2) 現状及び問題点

異常気象による農業への気象災害が注目されるが、情報化時代に相応しい現象の把握、モデリング、それに基づくストラテジー等緊急に解決を迫られる課題が多い。

植物の生育プロセスには多くの要因が複合的に作用する。そのシステムに介在する諸変数を計測・同定・最適化を行い、予測・制御・評価を行うことが必要である。

人工環境条件下の SPA (speaking plant approach: 生体情報を活用する生育プロセス制御)、自然環境条件下の PA (precision agriculture: 耕地の局所情報を活用する精密農業)、また生産システムとして LSSS (large scale system science: ラージスケールな情報制御型のシステム) に基づく植物工場等、大きな可能性の萌芽が見られるが、その緒についたところといえる。

食の安全が注目されているが、食品流入・流通過程、貯蔵過程等に於ける安全の問題は新しく萌芽しつつある SFA (speaking fruit approach: 果実生体情報を活用する貯蔵プロセス制御) 等のシステム科学面と従来の成果とを横断科学的に検討し統合化を図るべきである。

(3) 改善策、提言等の内容

- 1) 情報化社会の特徴を生かした信頼性の高い計測・モニタリングシステムを確立し、異常気象による農業気象災害の発生メカニズムを解明すること、及びシステム科学的アプローチにより保全・修復に関する学術を開発することが緊急の課題である。
- 2) 要素還元された人工環境条件下における植物栽培プロセスの最適化、ついで局所的な精密圃場管理による最適化、さらに気象環境条件下における最適化へと視点を拡大し、システム科学的な機能重視の農業を多角的に実証すべき時期である。
- 3) 植物工場は、天候に左右されない無農薬で安全な作物の生産方式である。環境への負荷を少なくし、経済効果に工夫をこらした知能的植物工場の研究開発が期待される。
- 4) 食の安全を脅かす要因に対するモニタリング、予防を含めたソフトを有効利用する情報科学的で包括的なフードシステム、そして安全な貯蔵システムの確立が必要である。それらの情報循環に関して横断科学的な視点で統合化を図るべきである。

気候変動条件下および人工環境条件下における食料生産の向上と安全性

目 次

I はじめに

提言の背景および必要性

農業環境工学から見た生産の向上と安全性の課題

IV 提言内容

I はじめに

21世紀が地球と人類にとって非常に困難な時代になることは各方面から指摘されている通りである。人口増大，エネルギー資源の枯渇，異常気象と土壌の荒廃による農業生産の停滞などの要因によって，21世紀の前半から地球は壊れ始めるという予測には説得力がある。世界経済の大勢はかなりの低成長を強いられることは間違いなさそうである。環境と経済の調和ある両立が叫ばれているが、農業においても同様である。この中でも，人類にとって直接的にもっとも深刻なのは食料不足である。わが国はいま飽食の時代にあるが，異常気象や国際紛争のあおりを受け食料の輸入制限の事態になれば，自給率40%のわが国は大変なパニックになるだろう。品格ある国家像を目指す我が国の安全保障は農業生産の健全な発展無しには考えられないところである。またわが国でも近年，冷害，猛暑，台風襲来などによる農作物減収が頻発した。そのため安価な輸入野菜が急増し，食の安全・安心を脅かしている。

このような状況下で，わが国の今後の食料安全保障と食料生産のあり方を考えると，おのずから二つのアプローチが見えてくる。一つは従来の農業の方向をさらに推し進めるアプローチで，気候変動下における農業気象環境の保全と食料生産の向上という課題である。もう一つは，視点を180度転換して，気候変動に捉われない農業生産のあり方を追求するアプローチである。すなわち人工環境条件下において，安全・安心な作物を狭い土地で大量生産する植物工場の課題である。これら二つのアプローチが補完的に働くことによって，わが国の食料安全保障と健全な食料生産が維持されるものと考えられる。

ただし当然に要求されることは，上記二つのアプローチがバラバラにではなく，農業環境工学という枠内で協同的に推進されねばならないことである。幸いにして対象が作物と環境（気象）であることが共通している。そこで作物と微気象との関係，作物と環境の計測と制御，生産性と安全性，経済性を考慮した生産システムの最適化に関して，領域横断的な一般性のある研究が必要である。

：提言の背景および必要性

さて、第2次世界大戦前後からの食料生産の流れを時系列的に振り返ってみる。苛酷な食料難の時代では食料増産は最重要課題とされた。その時期に工学（物理学）的学術対応に有効として大きな期待をもって迎えられたのは農業気象学であり、そのために設立され

たのが日本農業気象学会であった。本研連の一つの柱であった。国土が荒廃・疲弊した状況下においては、台風害、水害、冷害、干害などの農業気象災害が多発し、その原因となる種々の気象災害防止・気象改良、適地適作、作物気象等の研究が食料生産の危機を最小限に食い止め、社会に絶大なる貢献を積み重ねた。この学術は状況の変化はあれ、基本的には農業生産に必須のものとして現在に至っている。最近ではミクロ（微気象・気候）やローカル（局地気象・気候）からマクロ（大気象・気候）までの農業気象・気候、特にグローバルな地球環境問題がクローズアップされてきており、その農業へ及ぼす影響・評価が重要な課題となり、それらの研究成果は、わが国は無論、東アジアをはじめとする国際社会でも大きな評価を得てきている。

他方、第2次世界大戦後、欧米に於いて高度な人工環境装置を用いた作物の生育特性が解明され、特にトマトの最適生育温度の発見は、環境条件により植物生産の機能が開発されることを明確に示した。地域の環境条件に拘束された適地適作を離れ、植物の生育にとって最適な環境条件とは何か、あるいは宇宙農業のようなスペースに於ける植物生育を可能とする環境条件は如何なるものか、NASA をも含め、あらゆる学術が生物とそれを取り巻く環境との関係を解明するため再編成された。それらの境界領域に農業工学的手法でアプローチを試みるべく1960年初頭に創設されたのが日本生物環境調節学会であり、本研連のもう一つの柱である。気象という複雑な階層から要素還元された人工環境に設定された課題とその学術的解明は、温湿度環境と植物、光環境と植物、水環境と植物、その他環境ストレスに対する栽培植物の生理生態等々多岐にわたる多くの知見をもたらした。

しかし、幾多の還元（細分化）された精密な知見が得られても農業生産の向上へ直結しないことは長い農学の歴史が証明してきたところである。還元された要素の学術を積み上げシステム化して実証することが必要不可欠である。このバリアは、しかし、ものづくりで世界の評価を得た工業国日本にして初めて実現できる程、技術的土壌の余裕を必要とした。工業界と農業技術者との協力で平成元年に創設されたのが日本植物工場学会である。人工環境条件下で移植から収穫までトータルなシステムが新たな課題として浮上し、バイオ生産・苗生産システム、栽培メカトロニクス・作業ロボット、画像認識と人工知能、計測および制御技術、バイオインフォマティクス、養液供給システム、ポスト・ハーベスト技術、精密農業等々、農・工融合による技術開発が推進された。要素学術を統合する諸プロセスのシステムを設計し、作物栽培の実証による検討・評価は順調に進展しており、食料生産の新たなバイパスとして社会からは大きな期待が寄せられ始めている。

近年、食の安全・安心が声高に唱えられてきたが、背景には、農産物の生産と消費の拡大に伴う急速な市場規模の増大、食品流通の国境を越えた広域化がある。この結果、食に関する適切な情報の流通がおろそかになった。種々のアプローチが試みられているが、上記のシステム・アプローチの延長として、前述のSFAのようなシステム科学に依拠する萌芽的学術も見られ、流過程の情報循環をバックアップするトレーサビリティのような新たな工学的手法と併せ、統合的に安全性を追求することが重要な課題となってきた。

これらの流れの延長に、または並列的に「幸せな都市住民の生活に貢献する住空間におけるグリーンアメニティ」、「人の精神活動に関わる植物応用セラピー」、「環境浄化のため

のバイオレメディエーション」, 「エンジニアリングコンポーネントとしての植物」, 「代替エネルギーとしてのバイオマス資源」などの多くの研究開発が進んでいる。

これらの多様な利用目的を満たすための様々な植物の供給は、従来の食料生産を中心とした縦型技術の「もの作り」農業のみでは担いきれない。生物生産に関わるシステム科学として新たに認識し、この人工物システム科学を秩序原理を介して環境・福祉(人文・社会科学), ゲノム科学(生命科学)、エネルギー変換(物質科学)というドメインに密接に関わった新しい学術分野として統合する必要がある。これは、日本学術会議が意欲的に推進してきた「新しい学術の体系」に基づき、農学に新たな視点を当てたものあり、縦型の「もの作り」技術から横断型の「機能開発」学術へのパラダイムシフトと云っても過言ではない。

農業環境工学から見た生産の向上と安全性の課題

- 1 気象環境下における植物生産とその向上

世界の人口は64億に達する一方、地球規模での環境悪化が確実に進行している。21世紀には大気環境、水環境の悪化が、食料問題を深刻化し、国際紛争の更なる加速の原因となる状況にある。現在、大きくクローズアップされている地球規模の環境問題、そしてそれが農業に及ぼす影響の問題を考えると、作物生産の気象環境評価と気象生産力向上が必要であるとともに、環境保全が不可欠である。そして、その中で安全で安価な食料生産(食の安心・安全)が求められている。

近年、CO₂の増加による地球温暖化が急激に進行し、これに起因するかのよう、気候変動、異常気象が全世界から日本国内に至るまで、毎年のように多発している現状があり、この現象に対して、まず地球規模の大気環境から微細気象環境までを評価・解明することが緊急の課題である。1993年の平成の冷夏による大凶作(作況指数74、農業被害約1兆円)、1998・2003年の冷夏・冷害、1994年の猛暑と干ばつ、2004年の台風上陸数10個など、異常気象の多発がある。地球温暖化に起因する猛暑による病害虫を含む作物・家畜被害等、農業生産への悪影響の多発も一層重大な緊急の課題となっている。

これらの課題への対応として、まず気候変化・変動と異常気象、地球規模から微細気象レベルまでの気象改良・改善や植物環境調節等、次に色々な条件下での運動量・熱・エネルギー・水蒸気・ガスフラックス等の微細気象的評価、気象資源の評価やその利用法等、さらには地球環境問題として砂漠化と黄砂、乾燥地域の緑化、水環境問題、農業気象災害とその対策等について、適切な研究に着手し、最終的には食料生産、作物生育・収量予測等の食料問題や農業気象環境保全等に具体的な対応策等が学協会レベルで多面的に論議が交わされている。農業気象学を使命とする本研連の柱の一つである日本農業気象学会はこれらの課題に方向性を与え¹⁾、さらに独自に国際シンポジウムを開催して、アジア、さらに世界で必要とされる諸々の学術的課題を掘り起こし、研究成果をあげている。

具体的には、21世紀の学術的な動向を踏まえ、地球規模の大気環境からミクロな気象環境までを評価・解明し、気象環境の保全と緩和を図り、最終的には作物の収量予測と生産性向上のための技術開発を目指している。とくにミクロな気象環境の評価と作物生産と

の関係解明は、人工環境条件下の生物環境調節学やその実証システムである植物工場（グリーンハウスによる太陽光利用植物工場や人工照明利用植物工場）の課題と共通するところも多く、横断科学的な学術の展開が必須である。

2 SPA、精密農業、そして植物バイオへの最適化の拡大

人工環境は、自然環境（気象）を要素還元し得られる特殊な環境条件であり、それに応答する植物の生理生態的特性は自然とは比較できない程、バラツキも少なく、再現性も良い。すなわち、生物体を包含するシステムにシステム科学的なアプローチを可能とし、システム理論に依拠した論議が進め易く、最適化の見通しもより明確になる。

まず、人工環境下の最適化からスタートする。環境条件を入力とし、生理生態的応答を出力とするシステムに於いては、有効な計測手段を投入するとそのシステムの同定（モデリング）が可能となる。この延長線上に環境による生体制御の可能性が見えてくる。この概念は前述したSPA²⁾として70年代末に提唱された。生体情報を活用する生育プロセス制御を意味するコンセプトであるが、ここ10年余日本学術会議が参加する国際学術連盟IFAC（International Federation of Automatic Control）に関連技術委員会が立ち上がり、わが国が世界に貢献してきた学術である。そこで重視される植物の生体情報の計測は、単に制御のための検出として単純な制御やその最適化に役立つに限らず、時系列的スペクトル解析、画像認識による植物の生理機能のダイナミックな同定やモデリングにも大きな効果をもたらし、植物体の環境制御の根底に必須の概念として認知されてきている³⁾。その最適化にかかわる学術は、横断科学的な検討を加えることで、人工ではない自然環境や圃場の最適化に新たな機能と価値を付加すると期待される。

上記SPAと農業気象学との境界にあり、まず、システムの最適化の対象となるものが精密農業、すなわち前述のPA⁴⁾である。やや詳しくは局所管理作業（site specific crop management）あるいは精密圃場管理（precision farming）として80年代に米国で誕生したが、GPS（global positioning system）を利用した情動的圃場管理である。現在、「マップベース精密農業」「センサベース精密農業」に大別されるが、前者は関連する多くの要素の計測結果を一種の地理情報システムとしてデータベース化し農作業の最適化に有効であり、後者は短期的（リアルタイム）に適切な作業を行うことを目的として、圃場管理の最適化を目指すものである。現在の段階ではシステムの最適化は自然の影響を強く受け自ずと限界があるが、SPAとの融合が期待される。

この精密農業に対して、細密農業とも言うべき植物工場システムは、北欧にみられるように数ha規模のコンピュータ制御によるグリーンハウス栽培は無論、将来の植物バイオにつながるシステムであると期待される。ハードウェアとしての植物工場は、そのシステムの同定が可能であり気象変化などの極端な外乱を想定する必要がない事からそのシステム制御は自ずとより高度な最適化が可能となる。植物分子工場は植物に有用物質を生産させる技術として将来有望視される技術であるが、そのような植物を栽培するシステムに露地栽培のような未知要因の多いシステムを適用することは得策ではない。特に閉鎖型植物工場では無農薬で、風力利用等を応用することでゼロエミッションを実現する望ましい食料

生産システムである。

環境を人工環境からフィールドへと拡大した前述のLSSSを包含する幅広い分野にSPAに沿った最適化を拡大することは、植物バイオの根底に関わる重要課題として緊急に研究開発が進められるべきである⁵⁾。

3 新しい工業的生産方式としての植物工場

人工環境下の実用的生産システムは植物工場と良いであろう。天候と場所に左右されずに、無農薬・清潔・新鮮・高付加価値の作物を狭い土地で大量生産できる。したがって食糧安全保障になるのみならず、安全・安心に関しても理想的な作物の生産システムである⁶⁾。光、温湿度、二酸化炭素濃度、培養液などの環境条件を人為的にコントロールして作物を生産する植物工場は、まさに農・工に関わる技術を集大成して実現できるものである。

実用的な植物工場については初期の技術開発に於ける実証の段階を経て、経済性に課題が残されている。採算性は一般にいまギリギリのところにあるので、これを普及させるためには色々な面でのコストダウンの努力が必要である。具体的にいうと、まず照明については、新しい光源の開発と照明効率を高める工夫がもっとも重要になる。次に償却費が高いので、高性能で安価な諸材料の開発と選択が必要である。冷房に関しては、蒸発冷房のような安価な方法を導入するか、植物体の近辺とか培養液のみを冷却する局所冷房や、夜間のみの間欠冷房などの省エネルギーの努力が必要である。

水耕栽培では各種作物の培養液管理のノウハウを蓄積して適用品目を増やし、さらに高品質なものをつくる努力が望まれる。また既存の品種のなかから植物工場向きの品種を選抜するとともに、成長の早さなど植物工場にとって重要な形質を持つ新品種の作成が待たれる。また、植物工場で作られた安全・安心・高付加価値の作物に関わる流通・販売の工夫が、実際的にはもっとも大切といえる。これは次節で述べたい。

未来の植物工場の本命は、高度化された太陽光利用型とともに、野菜や苗に対しては蛍光灯やLED(light-emitting diode) ,LD(laser diode)利用の完全制御型になると思われる。LED植物工場普及の鍵を握る技術は、LEDのさらなる低価格化とLEDのパルス照射の利用である。将来はLEDに比べてはるかに高出力・高効率なLDを使うレ・ザ植物工場の可能性がクロ・ズアップされてくるだろう。

10年後以降の未来の植物工場には二つの姿が予見される。一つは、上記のような光源を使用した都市域に展開する高層のビル農業であり、もう一つは、必要条件に恵まれた中山間地帯に於ける自然の高度利用、すなわち風力エネルギー並びに太陽光エネルギーを最大限に利用した平面型大型グリーンハウスによる農業である。両者とも無農薬で高品質な野菜などの作物を消費者に直接提供することが可能になり、農業を拡大する有効なシステムになるだろう。

上記の植物工場に関する課題を、社会に一層貢献できる学術として発展させるためには、研究拠点の形成が必要である。今日まで、その要素技術やシステムの開発については、企業や大学の関聯研究者が部分的に関与するのみであったが、社会からのより多くのニーズ

にんえ、顕著な成果を挙げるには、地域の特性を踏まえた全国にわたる広義の植物工場の研究拠点を国、地方自治体、民間、大学に形成することが重要である。そして、一般の農業従事者でも容易に植物工場による新たな食料生産に参加できるように、システム要素技術のコストダウンとシステムの運用技術のコンパクト化に基づく技術形成の展開が、同様に重要である。

4 食の安全性

まず食に対するいろいろな脅威を取り除くための、包括的なフードシステムの整備が大切である。事故発生後のトレーサビリティシステムとともに、食品由来の疾病発生の予防をも見込んだ対策が必要になる。世界的にいろいろな取り組みが始められている。このうち GAPS(good agricultural practices : 適正農業規範)は、農業環境工学の分野に深い関係をもつ。科学技術的にも危害要因の検出技術、その制御技術、さまざまな流通技術において安全をキーワードとした再構築と新技術開発が必要である。

システム科学的観点からは、微生物汚染と記録・監視体制の問題が重要である。衛生的な管理については、アメリカで開発された HACCP(hazard analysis and critical control point : 危機分析重点管理点)が、原材料から最終製品にいたる行程すべてを科学的根拠に基づいて管理することを定めている。とくに衛生管理上重要な工程については、管理基準が定められ、常時モニタリングされる。わが国の「生鮮野菜衛生管理ガイド」は、この考えにもとづいて策定された。

トレーサビリティシステムは「情報循環」を具体化するシステムであり、消費側から遡及可能にするだけでなく、生産側から追跡可能なことが大切である。生産から消費の川下方向への探索は、もし安全上の問題が生じた際は、流通・販売・消費の各段階に回収や使用停止を迅速に通報することができる。また消費者行動を知ることによって、生産側のマーケティングにも有益である。トレーサビリティシステムには解決すべき問題が多々あるが、信頼性の高い情報システムを確立することが急務である⁷⁾。

その他、前述の SFA のように貯蔵プロセスにシステム科学的手法を適用すれば、化学物質を一切使わずに、例えば温度制御という物理的手法のみで果実の鮮度維持や品質改善を行うことが可能であるとの萌芽的成果も見られる。

ー 5 広義の環境条件下に於ける作物生産への横断科学的アプローチ

すでに述べてきたが、食料生産における自然環境条件下に於ける細分化された知と人工環境条件下における細分化された知を統合することにより新たな食料生産システムの学術が実現する。統合化は、学際、融合、総合等々の馴染み深い用語では解決されない、有機的な知の統合であり、最近注目され始めた「横断型科学技術」に依拠すると考えられる。日本学術会議の「新しい学術の体系」で明確に範疇化した「認識科学」と「設計科学」は、学術に関わる多くを明らかにしたが、細分化と統合に関しては横断科学の進展に委ねられている。

従来、縦型の科学技術は、「もの」に依存してきたが、横断型科学技術は「こと」、すなわち「方法論」を対象とする学問領域といえる。システムの設計科学を対象とする横断科学に於いては、計測、同定（モデリング）、最適化、予測、制御、評価という一連の学術が現実の複雑なシステムの設計を実現し統合化の効果を上げている。農業生産は、人工環境下で記述されるシステムを自然環境下に漸次拡大し、LSSSとして扱い、上記の波及効果を期待したい。

さらに、人文科学である認知科学を導入し、システムの智能化を推進し、食料生産システムの設計科学を一層発展させることが急務である⁸⁾。

以上述べた植物生産に関する横断科学的手法は、例えば畜産、水産専門分野等の研究者・技術者との連携により、より多くの食料生産分野に拡大することが可能であると考えられる。

：提言内容

- 1) 情報化社会の特徴を生かした信頼性の高い計測・モニタリングシステムを確立し、異常気象による農業気象災害の発生メカニズムを解明すること、及びシステム科学的アプローチにより保全・修復に関する学術を開発することが緊急の課題である。
- 2) 要素還元された人工環境条件下における植物栽培プロセスの最適化、ついで局所的な精密圃場管理による最適化、さらに気象環境条件下における最適化へと視点を拡大し、システム科学的な機能重視の農業を多角的に実証すべき時期である。
- 3) システム化・最適化された植物工場は、天候に左右されない無農薬で安全な作物の生産方式である。風力利用等で環境への負荷を少なくし、経済効果により一層の工夫をこらした知能的植物工場を研究開発する拠点形成、並びにそれらの技術を農業従事者へ普及させる技術形成が必要である。
- 4) 食の安全を脅かす要因に対するモニタリング、予防を含めたソフトを有効利用する情報科学的で包括的なフードシステム、そして安全な貯蔵システムの確立が必要である。それらの情報循環に関して横断科学的な視点で統合化を図るべきである。

参 考 文 献

- 1) 真木太一：「新しい農業気象・環境の科学」日本農業気象学会編、養賢堂（1994）
- 2) 橋本 康：SPA「新農業環境工学」日本生物環境調節学会編、養賢堂(2004)
- 3) Hashimoto, Y., P.J. Kramer, B.R. Strain and H. Nonami (eds) : Measurement Techniques in Plant Science, Academic Press, INC.(1990)
- 4) 渋谷 栄：精密農法「新農業情報工学」農業情報学会編、養賢堂(2004)
- 5) 村瀬治比古：植物バイオと生命情報科学「新農業情報工学」農業情報学会編、養賢堂(2004)
- 6) 高辻正基：「植物工場の基礎と実際」裳華房（1996）
- 7) 杉山純一：トレーサビリティシステム「新農業情報工学」農業情報学会編、養賢堂(2004)
- 8) Hashimoto, Y., H. Murase, T. Morimoto, and T. Torii: Intelligent Systems for Agriculture in Japan. *IEEE Control Systems Magazine* 21(5) (2001)

（以上）