

精密農業を支えるスマートマテリアル・システム技術に関する調査

(一社) 未踏科学技術協会 副企画委員長 渡邊 雄二郎

1. 調査概要

農業における高齢化や国際競争力低下等の問題を解決する精密農業に必須なスマート土壌、センサ、農業機械技術動向を調査する。さらに農業関連に利活用される AI や ICT 技術の現状を把握し、スマート技術による精密農業の展開に必要な科学技術政策の提言に資する。

2. 調査目的

我が国の食料自給率はカロリーベースで 38% (2016 年) と主要先進国の中で最低水準を示し、食料供給の 60%以上を海外からの輸入に頼っている。食料自給率を向上させるためには、広大な耕地を利用した大量生産が必要となるが、耕地面積が狭い我が国では難しい。また我が国の農業問題として農業従事者の高齢化が指摘されている。これらの農業問題を解決するためには、Society 5.0 でも掲げられている精密農業に取り組むことが急務である。我が国の農業技術の優位性を確保した日本型精密農業を構築するには、スマート土壌（培地）技術や、効率的な太陽光利用、節水、CO₂ 供給技術、植物の生育や土壌診断などに必要なセンサ並びに農業機械技術の高度化が必須となる。

本提案では以上の事を踏まえ、土壌（栽培）、センサ、農業機械等の先端的な基盤技術に焦点を当てて調査を行い、我が国における農業の優位性を構築する際の課題を抽出することを目的としている。なお、国内外の ICT や AI を活用した精密農業の進展状況に関しても把握し、農業生産力とブランド力の両立化を図る一つの方向性を示す。

3. 調査実施方法

本調査研究の実施にあたって、「精密農業を支えるスマートマテリアル・システム技術検討委員会」を設置した(図 1)。委員会では、i) スマート土壌（培地）、センサ、農業機械技術の動向調査として① 有用なスマート土壌（培地）やそれに関係する新しい栽培法に関する研究動向を文献・公開情報の収集、② 効率的な太陽光利用、節水、CO₂ 供給技術、植物の生育や土壌診断などに用いられているセンサ及び農業機械技術の研究を、文献を主体に調査すると共に、外部ヒアリングを実施し、総合的に議論し、精密農業として有用なスマートマテリアル技術を抽出した。また ii) ICT や AI を活用した精密農業の進展動向調査として、ICT や AI 技術を用いた国内の農業を外部ヒアリングにより調査し、i) で調査する各技術との連携を探った。

さらに、iii) 精密農業としての有用性の総合的評価 を行い、iv) 今後の技術課題の抽出・科学技術政策を提言するため、将来の広範なイノベーションを導出すべく、必要とされる技術課題を抽出し、これを促進する科学技術施策について議論し、報告書としてまとめた。

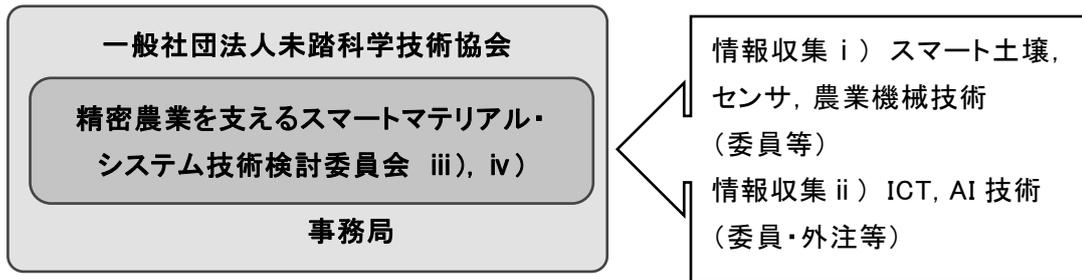


図1 精密農業を支えるスマートマテリアル・システム技術検討委員会の概要

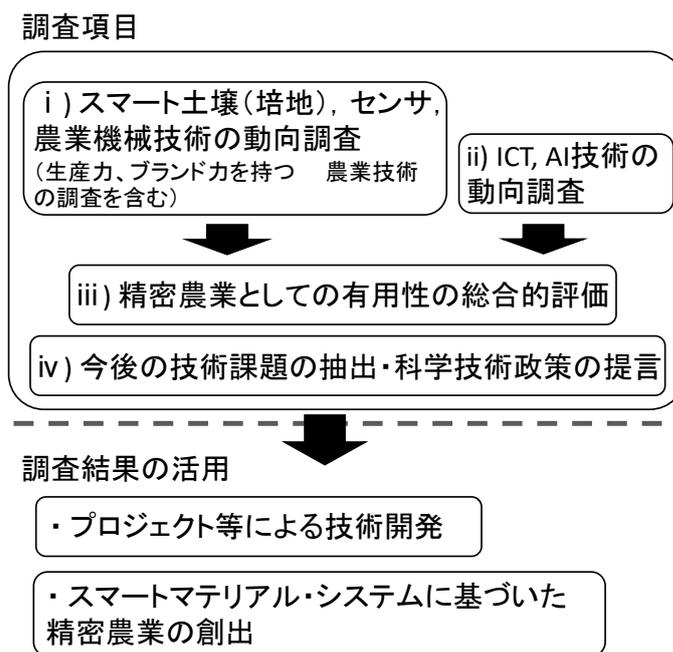


図2 調査研究概要と成果の活用

4. 精密農業を支えるスマートマテリアル・システム技術の必要性

世界の穀物生産量は 1970 年代と比較して、2010 年には約 2 倍の 22 億トンとなっている。一方、世界人口も 2010 年までに約 2 倍の 69 億人に増加している。今後世界人口は 2050 年までに約 3 倍の 96 億人まで増加することが予想され、それに応じた 30 億トン以上の穀物生産量を達成する必要がある。FAO（国際連合食糧農業機関）の予測によると、「2050 年までに増加する人口を養うために世界の農業生産は 70% 増加しなければならない」と示唆している。今後、耕地の大幅な拡大は見込めず、70% 増加させるためには、単位面積当たりの収穫量を増加させる必要がある。我が国における食料自給率（カロリーベース）は 38%（2016 年）と主要先進国の中で最低水準を示し、食料供給の 60% 以上を輸入に頼っている。また、農業就業人口のうち、基幹的農業従事者は、186 万人と日本の総人口の 1.5% 程度まで減少し、そのうち 59.1% を 65 歳以上の高齢者が占めており（平均年齢 65.9 歳）、高齢化が進んでいる。それに伴い耕作放棄地が増え続けて、耕地面積は 459 万ヘクタール（2010 年）まで減少している（農林水産省 HP より）。農業就業人口

が減少している原因は、「天候に左右される.」、「労働時間が長い.」、「作物生育に必要な費用がかかる.」、「安い農作物が輸入される.」などが挙げられ、日本の「食」を支える農業は衰退の一途をたどっている。今後、世界の人口増加や異常気象により、世界的に食料不足となれば、輸入は制限され、海外に依存した食料自給率の低い我が国にとっては大変深刻な問題となる。このような現状を鑑み、我が国では 2020 年時点における食料自給率 50%を目標とし、ICT や AI を活用した農業のスマート化、いわゆる精密農業に関する検討が加速し、また第 5 期科学技術基本計画において我が国が目指すべき未来社会の姿として初めて提唱された Society 5.0 の中でも農業技術の新たな展開が掲げられている。

精密農業はオランダが世界をリードしており、耕地面積は日本の 4 分の 1 にもかかわらず、農業輸出はアメリカに次いで世界第 2 位である。一方、我が国では、精密農業に関する検討は加速しているものの、オランダと比較して様々な技術開発が遅れている現状にある。しかし、我が国の農業は、ICT や AI を活用する精密農業以外で、コスト低減、省力化、及び土壌改良等に努めてきており、農業生産力（人口×自給率）とブランド力（高品質化）は高水準にあり、世界をリードする位置にある。このような日本の誇れる農業生産力に関する技術を確認するものにしつつ、スマート土壌、センサ、農業機械技術などのスマートマテリアル技術と ICT や AI を活用したスマートシステム技術を取り入れた、図 3 に示すような新しい日本型精密農業を構築することが急務である。

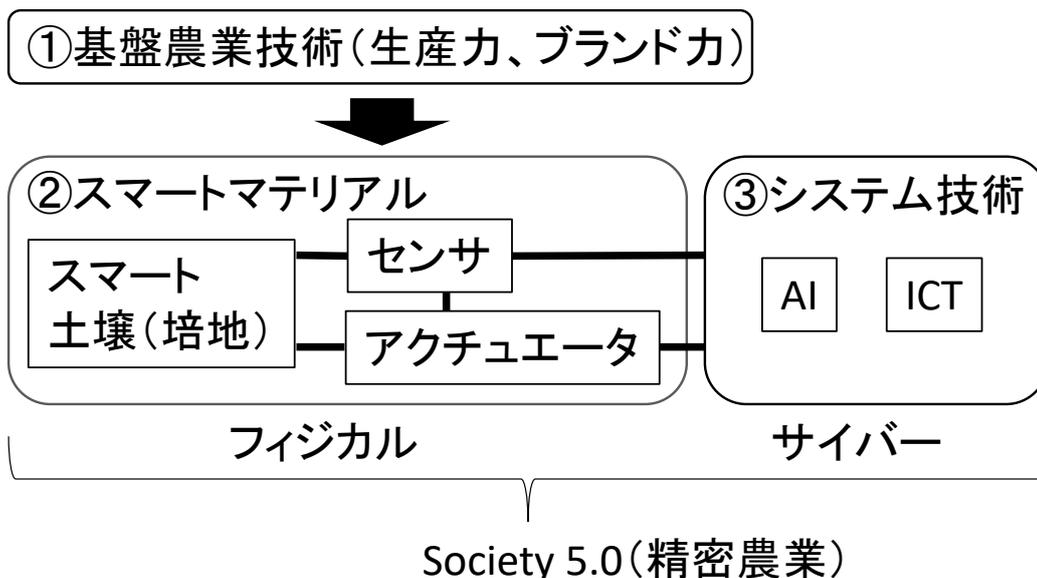


図 3 スマートマテリアルの活用を重視した日本型精密農業

欧米では国レベルでの精密農業に関する研究開発支援がなされており、特にオランダ企業は豊富な IT ノウハウをパッケージ化して海外展開を図っている。我が国においても日本型精密農業の発展を後押しする方向での施策を講ずることが求められている。具体的には日本が誇る農業生産力とブランド力に関するイノベーションをもたらすような技術である生産性や品質向上に深く関連する土壌（培地）技術や効率的な太陽光利用、節水、CO₂供給技術、植物の生育や土壌診

断等に用いられるセンサ，農業機械技術等スマートマテリアル技術を積極的に取り入れ，それと連携した形で用いられる ICT や AI を用いたスマートシステム技術を組み合わせた日本型精密農業の発展を支援すると共に，食品加工，流通・販売までをパッケージ化した新しい仕組みの構築が急務であるといえる。

5. 精密農業を支えるスマートマテリアル・システム技術の調査結果の一例

精密農業とは，データに基づいた農業である。従来の農業は，農業者の勘と経験に基づいた圃場に，勘と経験で肥料や水を供給するため，そこに過剰な肥料や水を供給していた可能性がある。これに対して精密農業は unnecessary コストを下げ，生産性を上げ，環境負荷を軽減することを目的としている。

土を用いた農業（土耕栽培）は古くから行われている農業であり，特に日本は優れた栽培技術を有する。この培地となる土壌は植物の培地として優れた性質を有している。植物の根を張らせて茎や葉をささえ，生長に必要な水分と養分を根に与える重要な役割を果たしている。特に日本の普通畑土壌においては，土壌有機物である腐植を多く含有する黒ボク土の割合が多い。地球規模で考えると土壌有機物は，大気または地球上の植物の 3 倍以上の炭素を含んでいて土壌の性状を決める上で極めて重要な役割をもつ。一般に土壌の状態は複雑でコントロールするのは難しいとされているが，土壌の状態を正確に把握し，その構造や性質を模擬できれば，精密農業で用いられる優れたスマートマテリアルになり得る。しかし，精密農業に関連した土壌そのものの制御に着目した研究報告は少ない。最近の研究では，土壌有機物は土壌微生物の繁殖や団粒化促進などに関わることが知られている。この団粒の階層構造は，微細粘土鉱物とアルミニウム・有機物複合体を主成分とする $2\mu\text{m}$ 以下の粒子の集合体によって維持されている。このような構造が，C および水分を保持する高い能力と良好な水はけ及び通気性を可能としている。また腐植はマイナスの電荷(-COO)を帯びており，高い陽イオン交換容量(CEC)を有する。さらに水素イオンの保持能力による pH 緩衝効果，腐植中のキレート作用によるカドミウム等の有害重金属の吸着，分解による無機養分の供給など優れた性質を持つ。土壌有機物の分解についても報告があり，分解速度は有機物の質そのものよりも（生化学性），有機物の鉱物表面への吸着（化学性）や有機物の団粒構造内部に閉じ込められた場合（物理性）の保護作用に大きく影響を受けることが指摘されている。このような特徴を持つ日本に多産する黒ボク土を最適化（精密化）することで，有用なスマートマテリアルとなる可能性がある。

土不要の農業では，培地として土の代わりにゼオライトを用いた栽培方法や高分子ハイドロゲル膜を用いた栽培方法（フィルム農法）がある。含水アルミノケイ酸塩であるゼオライトは，ナノ細孔を有し，その細孔中に水やアンモニウムイオンなどの養分を保持することができる。水中の陽イオンとの反応により徐々に養分が放出するため水のみでの葉物野菜の栽培を可能にしている。またゼオライトの基本構造は保持されているので，再利用を可能とし，少量の水で栽培できることから環境保全型農業として有用である。一方，高分子ハイドロゲル膜は，ナノサイズの細孔があり，土の持つ水分と養分の保持の役割を果たし，細孔より小さいバクテリアや細菌，ウイルスの侵入を防ぐこともできる。土耕栽培で必要な農薬を使用しなくても安全な作物を作ることができる。さらにハイドロゲル中の吸収させにくい水を取り込もうとして，糖分やアミノ酸を

作り出す。これらの材料は、材料の性質を活かした有用なスマートマテリアル技術であり、任意の場所で生産できることを特徴とする。しかしコスト面や大規模化の問題もあるため、センサ・農業機械・ICT・AI技術との連携によるシステムの最適化が必要である。

センサ・農業機械を用いた農業では、精密農業のツールとしてのフィールドサーバーが挙げられる。フィールドサーバーの基本的なコンセプトは、フィールドに長期間設置可能な多機能モニタリングシステムであり、圃場の監視、環境計測、外部機器の制御などに利用される。フィールドサーバーは、複数のセンサ、太陽電池（日射量計測センサと兼用）、カメラ、LED照明、無線LAN通信モジュール等から構成されており。サーバー内の強制通風により、内部の各種デバイスを冷却する。また最近では冷却だけでなく、ガスのサンプリングやセンシングをするためにも使用されている。さらに設置タイプのフィールドサーバーでは、設置した箇所のみでのモニタリングとなるため、移動型フィールドサーバーを用いたモニタリングが提案されている。センサ群を搭載したトラクタ（農業機械）では、遠赤外線を地面に当て、その反射光に基づいて、畑全体の情報を構築することが可能である。これにより、例えば湿度や温度、窒素量、水分量、クロロフィル量分布等のデータを地図情報として取得できる。さらにトラクタの機能を駆使することで、表面のみならず、地中のデータも取得できる。これによりきめ細かい施肥ができるため、コストの削減や環境負荷の軽減を同時に実現できる。

AI、ICT活用した農業では、上記センサで得られた情報をもとに、例えばクロロフィル量が少なければ、窒素を的確な量入れ、その情報がマップ化されるなどの技術がある。リアルタイムキネマティックGPS測量（RTK-GPS）が普及しており、それを搭載したトラクタは最大誤差が3cmで測位しながら走行し、畑の植物体の葉緑素の分量をマップ化できる。このデータ等を何年も積み重ねることで、施肥量、環境条件、病気の状況などのビッグデータが集まる。これはエリア内で学習させて使用するというを実現した可変施肥の例である。効率的な農業のグローバルスタンダードは機械の大型化と大規模かつフラットな圃場であり、北海道十勝ではスマート農業が普及している。その他ドローンでのデータ収集やRTK-GPSを用いた無人農業、農業ロボット等の開発も進んでいる。

5. 精密農業の今後の技術課題と提言

本調査結果を踏まえて、精密農業を支えるスマートマテリアル・システム技術検討委員会で討論した結果、以下の技術課題が挙げられた。

- ・日本の土壌（黒ボク土）が優れていることの理解が十分でなく、土や培地を使用しない植物工場のみが発展している。土耕栽培は、農業者の勘に頼っているのが大半であるため、土壌の最適化（土の精密化（スマートマテリアル化））を行う必要がある。

- ・ゼオライトや高分子ハイドロゲルなど材料そのものの性質を活かした農業は、任意の場所で生産できることを特徴とし、日本の限られた圃場で生産するには適している。しかし、コスト面や大規模化の問題もあるため、センサ・農業機械・ICT・AI技術との連携によるシステムの最適化が必要である。

- ・農業におけるセンサ技術はデータを取得する技術はかなり進んでいるが、農業従事者が記録している農業データとこれらのデータを結合した有意義な情報が得られていない。

・2017年度にデータの連携や提供機能を持つ「農業データ連携基盤」(通称:WAGRI)の構築がなされ,環境データ,作物情報,生産計画・管理,技術ノウハウ,各種統計等,幅広い農業データが存在しているが,システム間の相互連携がほとんどなく,形式の違うデータが個々に存在している状態であり使いこなせていない.

・精密農業は,農業機械学,農業工学だけでなく,経済学・経営学をも包含した極めて学際的性格が強いものであるが,肝となる農業工学科の分野が,そもそも全国的に少なくなっている.

・RTK-GPSの活用が現在進んでいるが,いまだ初歩的であり,一瞬で見た情報で本当に施肥量を多くして良いのかななどの課題が残っている.

世界人口が96億人を超えると予想される2050年以降の農業には,「精密農業」が欠かせなくなり,今後は任意の圃場で効率良く,特別なノウハウを持たなくても誰でも栽培できるシステムの構築が必要不可欠である.そのためには,上記に述べた栽培に用いる培地の高機能化,センサ,農業機械の精密化(スマートマテリアル化)が必要であり,それと連携した形でICTやAIの更なる発展と,総合的なシステムが求められる(図4の一例として精密農業を支えるスマートマテリアル・システム技術(大気中の窒素利用)のイメージを示す).

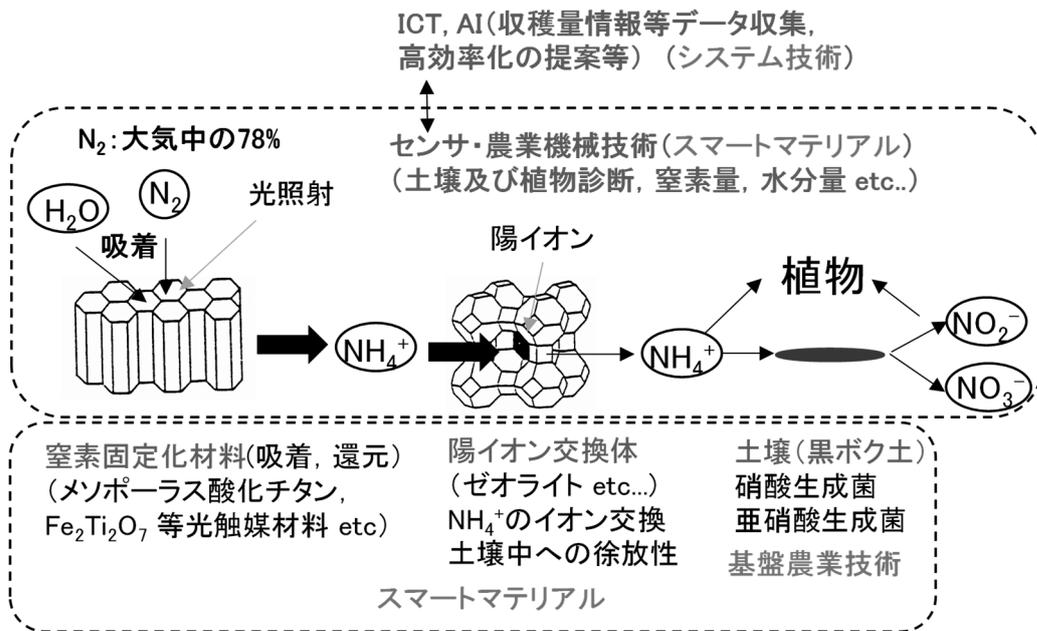


図4 精密農業を支えるスマートマテリアル・システム技術(大気中の窒素利用)のイメージ

以上