

BRAIN

Bio-oriented Technology Research Advancement Institution

平成 24 年 3 月 15 日 (隔月 1 回 15 日発行)
ISSN 1345-5958

TECHNO NEWS

No. 150

15 MARCH, 2012

ブレインテクノニュース

特集 「IT を活用した農業技術の新技术と展開」



イチゴ収穫ロボット

吊り下げ式高設栽培ベッドに対応したイチゴ収穫ロボット

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター 特別研究チーム (ロボット)

林 茂彦・山本聡史・齋藤貞文

目 次

特 集

「ITを活用した農業技術の新技术と展開」

(総説) ITを活用した農業技術の新技术と展開	1
濑澤 栄 (東京農工大学大学院農学研究院)	
ロボットトラクタによる無人農作業システム	8
野口 伸 (北海道大学大学院農学研究院)	
吊り下げ式高設栽培ベッドに対応したイチゴ収穫ロボット	
林 茂彦・山本聡史・齋藤貞文 ((独) 農業・食品産業技術総合研究機構	13
生物系特定産業技術研究支援センター 特別研究チーム (ロボット))	
農業機械におけるシンプル化と情報化・高度化を両立する通信制御共通化技術の開発	18
濱田安之 ((独) 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	
畑作研究領域)	
リモートセンシング技術を活用した IT 農業支援システム	22
横堀 潤・丹羽勝久・米山 晶 (株式会社ズコーシャ)	
情報通信技術 ICT による農業技術継承と農業人材育成—農匠ナビプロジェクトの概要—	27
南石晃明 (九州大学大学院農学研究院)	
視線計測等による熟練技能の継承に向けた基盤プラットフォームの検討	32
神成淳司・福田亮子・小野雄太郎・工藤正博 (慶應義塾大学)	

文献情報

G1 期のドナー細胞はウシ体細胞核移植胚の割球間における均一な遺伝子発現を促す	39
D. Iwamoto et al. (<i>Cellular Reprogramming</i> , 14(1):20-28, 2012) 抄訳: 下司雅也	
トマト Ve1 免疫受容体は複数の病原菌のエフェクターを認識することが, ゲノムと RNA の	
大規模次世代配列解析から明らかになった	40
R. Jonge et al. (<i>Proc. Natl. Acad. Sci. USA</i> , March 13, 2012, doi: 10.1073/pnas.	
1119623109) 抄訳: 高田美信	
出芽酵母の泡立ちに関与する遺伝子 FPG1 の機能解析	41
Lucía Blasco et al. (<i>Yeast</i> 28: 437-451, 2011) 抄訳: 高橋 徹	

表紙の説明

表紙写真はイチゴ収穫ロボットである。イチゴ収穫ロボットは、吊り下げ式高設栽培ベッドの通路を走行し、果実の着色度から収穫適期の果実を判別する。そして果柄を把持切断することで、果実に触れずにトレイに収容する。収穫成功率は 6 割程度、採果時間は 9s/果であり、本ロボットを活用することにより、施設園芸の生産コスト削減が期待される。

詳細については 13 頁をご覧ください。

◀ 特集 総説 ▶

ITを活用した農業技術の新技术と展開

東京農工大学大学院農学研究院

澁澤 栄

ITを活用した農業スタイルの代表例は精密農業である。IT活用が個別技術の高度化と統合をシームレスに押し進め、熟練農業者の実務作業や判断の「機械化」までも対象にするようになった。そこで、精密農業の発展史から農業技術の新展開を考察し、判断シミュレータと知農ロボットによる農業知ネットワークの作業仮説を提起した。

1. はじめに

精密農業とは、複雑で多様なばらつきのある農場に対し、事実の克明な記録に基づくきめ細かなばらつき管理をして、地力維持や収量と品質の向上および環境負荷軽減を総合的に達成しようという営農マネジメント戦略である¹⁾。我が国の精密農業研究は、その開始からわずか10年間に、要素技術開発に続き、実用化研究を経て、民間農場における技術パッケージの普及段階に達した²⁾。その間に、およそ5世代にわたるイノベーションを経験し、国際的にも例のない精密農業日本モデルとして注目されるまでになった³⁾。

本稿では、IT活用の典型例である精密農業の発展史を簡潔に触れながら、次世代農業の技術課題を検討してみる。

2. 高度な農業技術の素早い継承が歴史的かつ緊急な課題

まず、技術のユーザーである我が国の農業の立ち位置について検討してみよう。

過去30年間、世界の主食穀物の需給は一進一退しながら増大しつづけたが(図1右上)、最近10年間の特徴は、生産が需要に追いつかず、在庫が危険水準の15%を下回ったことにある

(図1左上)。需要増の要因は、人口増と食生活の変化および穀物の産業資源化にある。一方、栽培面積は漸減傾向にあり、生産増は単収増大技術によりもたらされたものであった。一人あたりの収穫面積が限界の10アールまで減少し、耕地面積増大が望めない以上、また人口増による需要増が避けられない以上、需給緩和のためには単収増大技術への依存は高まらざるを得ない³⁾。

世界の193国の穀物単収実績によると(図1右下)、2005年時点で日本は14位、世界平均が3.3t/haである。一方、モンスーン気候の中で発達した日本農業は、その技術を支えた農業者のほぼ7割を今後10年間に失う(図1左下)。39歳以下の新規就農者が1万人、自立した農業者になるには10年の経験が必要なので、予定される大量離農の技術の穴を埋めることは相当困難である。

従って、日本農業への期待は、高単収技術の国際的移転と同時に、新規参入者への効果的な技術継承システムの確立にある。

3. PA International Forum
Networking Meeting 2012

3月15・16日、精密農業のパイオニアとして技術開発の実績をもつ欧米アジアのトップ研究者18名がワシントン州立大学の精密農業自動化システム研究センタに集まり、表記のワー

SHIBUSAWA Sakae

〒183-8509 東京都府中市幸町3-5-8

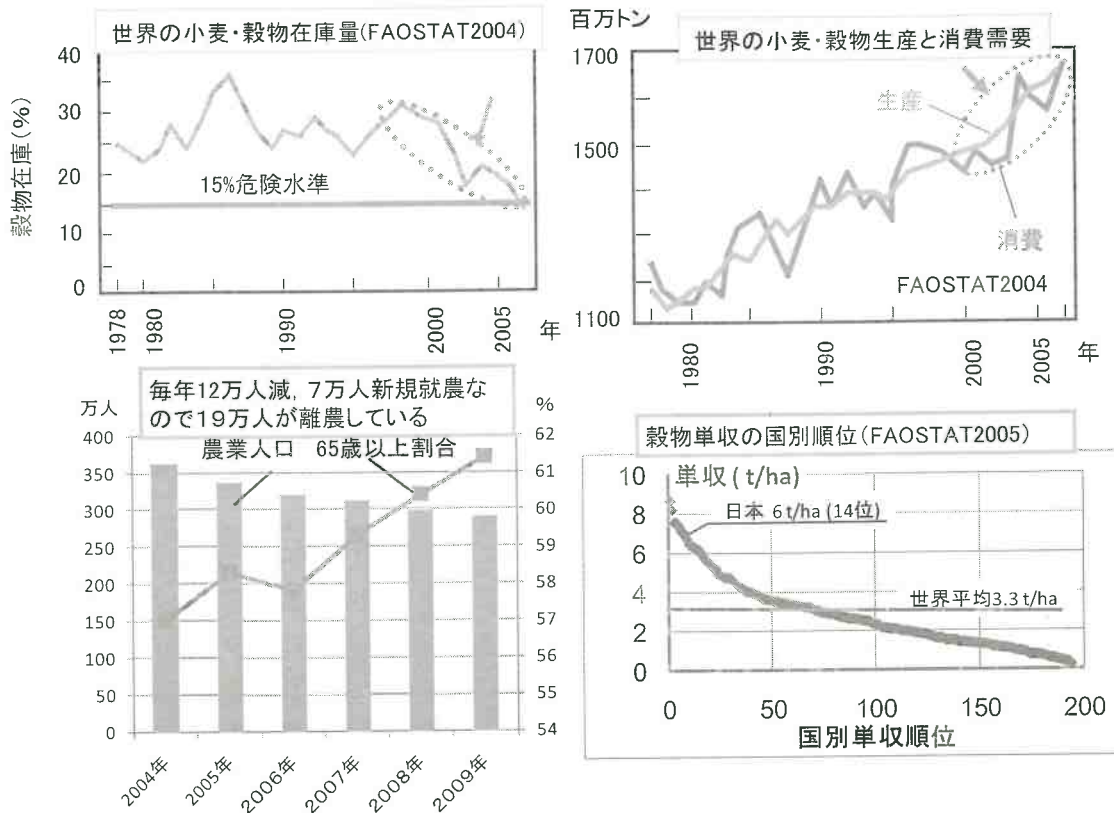


図1 世界的な食料不足と日本の高度な農業技術継承の危機

最近10年間の穀物在庫の減少は、消費の増大に生産力が追いつかないことに起因する。高い単収技術をもつ日本農業の担い手がわずか10年で三分の一に減少する。

クシヨップを開催した(図2, 図3)。趣旨は、精密農業の到達点と展開方向を討論することが目的であり、同大学のQin Zhang教授が世話役をつとめた。日本からは、リアルタイム土壌センサを実用化した私と選果選別ロボットを実用化した京都大学の近藤教授が出席した。精密農業を実施しているりんご園経営者とぶどう園経営者にヒアリングした翌日、18名の10分間プレゼンをシームレスに行い、続いてテーマ討論をした。

最初のテーマはMajor Accomplishmentで、フロリダ州立大のSchueller教授が討論をリードした。市販技術を網羅して検討し、GPS/GISと連動したセンシング技術は評価できるとした。Variable-rateやPatch-operationあるいは最近のTarget-operationと最新技術の紹介途上で、突然、肥料・農薬の可変作業機械が現実を利用

されない技術の代表例となった。”Toy”であるという。作業判断のための情報が不十分であると主張するエンジニアと、冗長のある自然現象を数十年蓄積した農学情報に対応できない技術が問題であると主張するアグロノミーとの激しい議論が続いた。

次のMajor Challenges/Obstaclesの討論リーダーはベルギーのDe Baerdemaeker教授であり、技術のみならず専門の壁や政策まで次々と障害例があげられたが、プロダクトアウト型の技術開発と現場ニーズがかみ合っていないことが主要課題であるとなった。

Possible Solutionsでは、クラウドコンピューティングやIOPからIOTへのIT環境の変化などの先端技術が吟味されたが、コミュニティや法制度あるいはビジネス習慣との整合性を問う発言が続き、討論リーダーである中国農業



図2 ワシントン州の精密リンゴ園管理（上）と選果梱包施設（下）

上図：機械作業効率を極限まで高めるための整然としたV字仕立てりんご園，SQF認証の農場。
下図：SQF認証のため，果実洗浄からはじまり，自動選果・箱詰，履歴コードの記録印字，貯蔵が実施される。



図3 ワシントン州立大でのワークショップ

上図：精密農業の先端課題について18人が10分間発表し，その後，到達点，課題，解決策，行動計画の議論を戦わせる様子。
下図：ワークショップ参加者の全体写真。

大学のWang教授はとりまとめることができなくなった。技術開発のみでは農業問題は解決しないのである。最後のNext Stepsでは，ドイツのAuernhammer教授が討論リーダーを務め，国際誌での特集号や図書出版の可能性を検討することにした。

4. 第5世代の精密農業

4.1 精密農業のモード

ここでは，過去20年に遡って精密農業の発展を考察しよう（図4）。

最初に登場したモードは小区画管理農法であり，収量マップを基礎にして局所的な投入量の調整をめざすものである。続いて可変作業機械を代表とする精密農業の機械化の段階であり，

1980年代：「有機農業」運動とは異なる技術革新型環境保全農法の試み例：米国の「Farming by foot」，日本の「ファイトテクノロジー」など。



図4 世界の精密農業の五つのモード

1990年代から2000年代にかけて，世界各国で推進された精密農業には，5世代のモードが現れた。国情にあわせて5世代のモードが同時代的に進められている。精密農業の存在様式の多様性が現在の到達点である。

Variable-rate で有名な可変作業のモードが登場したが、十分には受け入れられなかった。そこで登場したのが「精密農業」である。運用可能な技術を用いて農場管理全体を最適化するための「判断」を重視するモードである。「精密農業」の呼称統一は、1996年7月、米国ミネソタで開催された第3回精密農業国際会議にて採択された。最後に登場したのが精密農業の普及をめざしたモードであり、代表的なものが、規模拡大とコスト低減をめざす精密農業米国モデルと付加価値向上による収益増大をめざす精密農業日本モデルである。わが国で研究推進されているのは、この第5世代の精密農業であり、国際的にも最先端の一角を占めている。

近年では、地権者合意による小規模ほ場の統合と多角産業化をめざしたドイツのトランスボーダー農業、あるいはスマートホンやクラウドネットワークの導入による農業のシームレス化が進行しつつあり、前項のワークショップ開催の背景がここにある。

4.2 技術パッケージの時代

精密農業に必要な要素技術群がほぼ登場し、効率的な農場管理のための技術パッケージが構成できる段階になった³⁾。そこで、要素機器や技術を接続する媒介技術としてITの利活用が注目を集めることになる。

著者らの構成した技術パッケージはリアルタイム土壌センサと収量メータ付きコンバインの組み合わせである⁴⁾(図5)。小麦栽培シーズンにおいて、リアルタイム土壌センサにより播種前土壌窒素と播種後土壌窒素を観測し、収量メータ付きコンバインによる収量マップから植物吸収窒素を換算することができた。施肥投入窒素は別途計量できたので、窒素バランスを評価すると、耕地からの窒素流出量を1メートルごとに推定することに成功した。窒素流出量は栽培による環境負荷の上限を与えるもので、環境保全型農業の新たな評価指標として期待される。

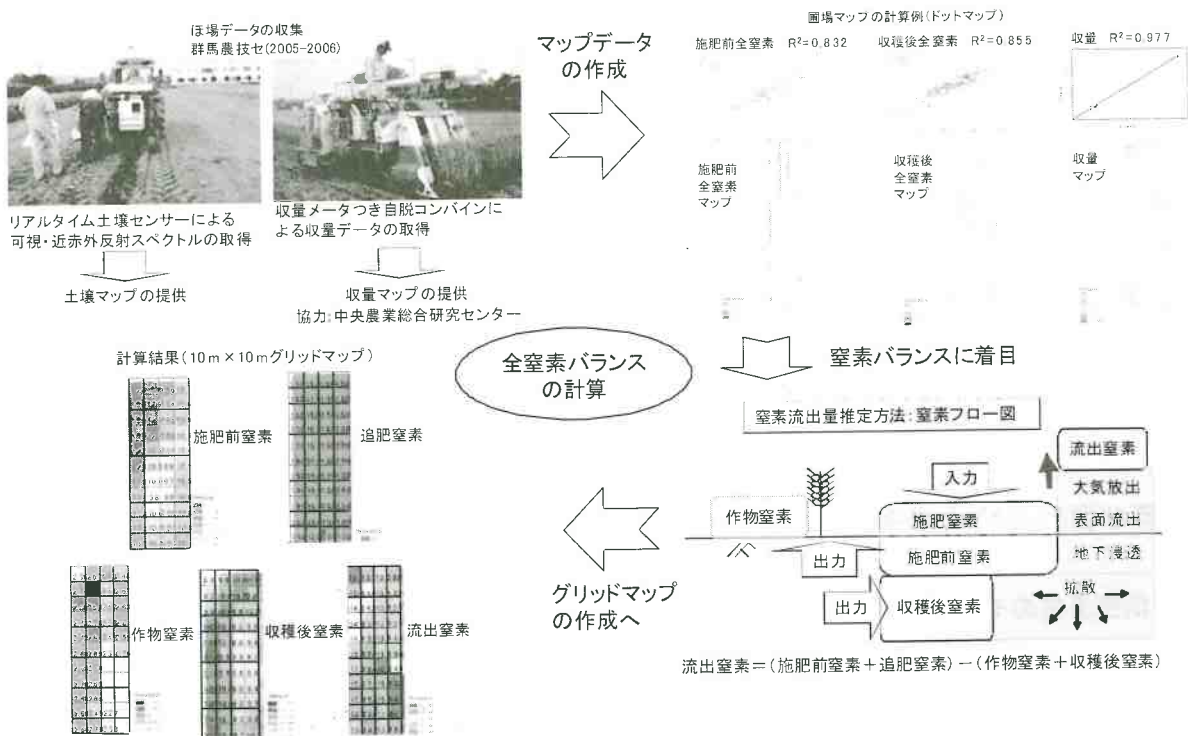


図5 土壌センサーと収量メーター付きコンバインの技術パッケージ例

土壌マップと収量マップおよび施肥マップを用いて、ほ場の外に放出した栄養分を推定できる。窒素バランスに着目すると散逸窒素量が求まり、環境負荷を見積もる際の基礎資料に利用できる。

5. 次世代農業技術の課題

5.1 農業の新しい担い手像

農業の競争力とは、生産・流通・消費のプロセスすべてを含む農産物の生産と供給の仕組み総体によって測られるべきである。小規模農業であっても、生産・流通・消費の仕組みが無駄なく組織され、品質と価格のバランスがよければ、国際市場で高い競争力をもつことが期待できる。これを担う営農集団が登場しつつある。

コミュニティベース精密農業の地域導入を進める営農集団の一つに、サプライチェーンを視野に入れた「本庄トキメキ野菜」のブランド野菜を創造している埼玉県北部の本庄精密農法研究会がある³⁾(図6)。その特徴は五つある。

まず、先駆的な社会実験の経験と成果は、時期が来ればJA全体に普及することを地元JAと約束しているのである。二つ目は、農家の技術ニーズ・経営ニーズを民間企業に直接伝え、

新技术開発の連携協力を進めた。三つ目は、地元の本庄市や埼玉県の担当部署と連携協力関係を強め、県モデル事業の試験管役などを果たしたことである。四つ目は、中央官庁との情報交流を強め、知財とICTを活用した農産物ブランディングという模範事例を紹介し、農林水産省の知的財産戦略立案などに貢献したことである。そして最後は、地元農家との連携協力である。2010年には、全国から2,500人の活動的な認定農業者を集めた全国農業担い手サミット開催の中心的役割を果たした。まさに、次世代の地域農業を担う知的営農集団として成長しつつある。

5.2 知農ロボットシステム

熟練農業技術の記録と普及を可能にする技術として、判断シミュレータと知農ロボットおよびその組合せによる統合的な農業知ネットワーク構想(図7)を紹介する⁶⁾。

判断シミュレータでは、Subjective

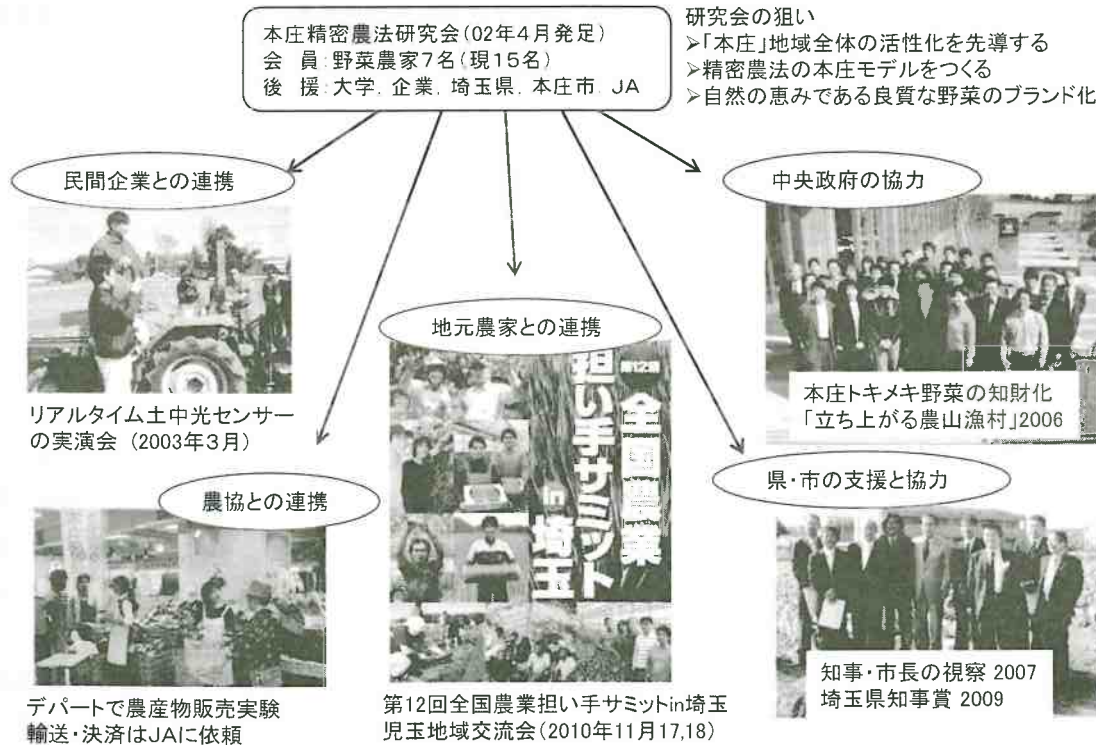


図6 本庄精密農法研究会の試み

五つの利害関係者(農家, 農協, 民間企業, 自治体, 中央政府)との連携・協力を視野に入れながら、地元農産物のブランディングによる地域活力の強化をめざす知的営農集団。

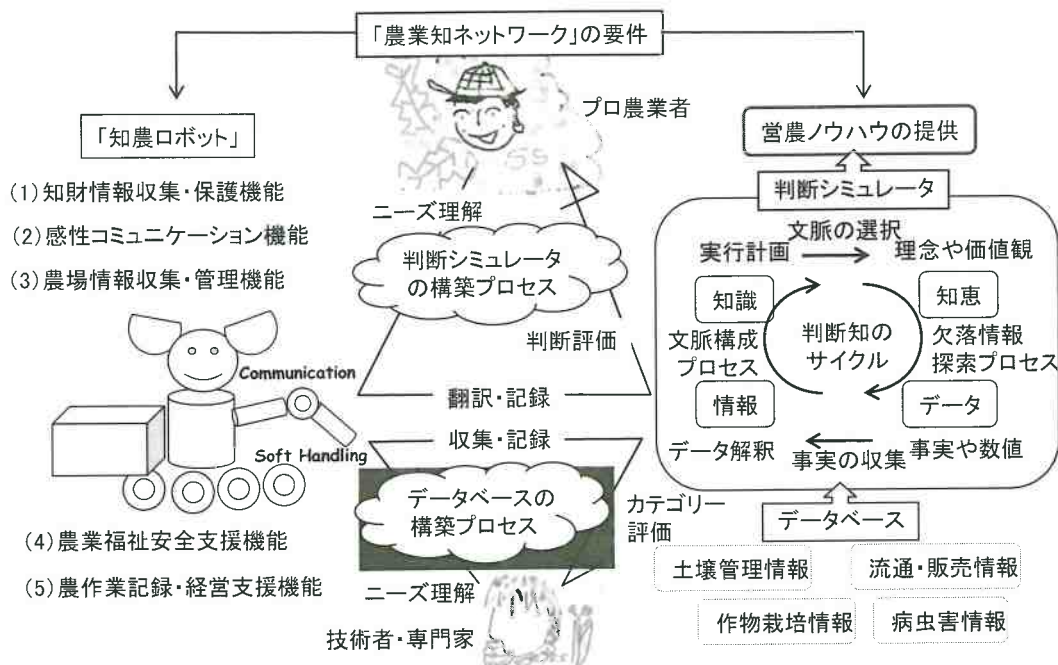


図7 農業知ネットワークを構成する判断シミュレータと知農ロボットの構想

判断シミュレータは、行動用のデータベースを伴い、農家の知恵やノウハウを模倣するAI(agro-informatics)システムであり、農業の技術革新と社会の変化に適合しなければならない。農家や自然と対話する「知農ロボット」は、農業とAIシステムの共進化を媒介する。両者を統合して「農業知ネットワーク」が誕生する。これらが、トップダウンの俯瞰的システムとして登場するのか、部分システムの自己組織化を通して構成されるのか、まだ定かではありません。

Knowledge⁶⁾に基づく農家の判断サイクルを模写した形で、情報・知の4つの位相をデータ、情報、知識、知恵と分類し、事実を収集するステージと、判断の文脈論理を構築するステージからなる。思考は、二つのステージを行き来しながら、不完全な部分を補完し、条件付きの意志決定に至る、というものである。

知農ロボットとは、次世代農業に要求される機械機能の仮想総体を示し、実作業と農作業判断支援を同時に実行するシステムをいう⁶⁾。判断文脈の構成には、利用可能な機械や技術手段の評価、土壌・作物の特性把握、市場動向、リスク評価、自らの体力・健康・知力の正確な見積もりなどが必要になる。要求される機能は、

- (1) 農家や技術者の思考プロセス記録し発明・発見を支援する機能、
- (2) 農家の暗黙知を伝達し再現する感性コミュニケーション機能、
- (3) 土壌情報や作物・病虫害情報を収集・記

録し正確に管理する機能、(4) 高齢者や障害者とともに農場管理作業する機能、(5) 農作業の正確な記録とリスク管理を支援する機能である。

6. おわりに

人間作業の機械化は技術の標準化を伴う。標準技術の革新は、技術の運用体制や評価認証の仕組みの変更を伴うものであり、法制度の変更や市場ニーズの変化あるいは新技術体系の登場などによって駆動される。近年では、ITの普及を契機としてシームレスな変化があらゆる分野に同時に生起している、いわば「産業革命」の時代である。このような時代には、旧来の個別技術を取り上げることがほとんど無意味になり、むしろ機械化やシステム化のプロセスで捨象された人間の作業が新たな価値をもつものである。知農ロボット構想は、そのような、一週

遅れのトップランナーの一つになるのだろう。

参考文献

- 1) 澁澤 栄(2006), 「精密農業」, 朝倉書店, p.199
- 2) 農林水産術会議(2008), 農林水産研究開発レポート No.24 「日本型精密農業を目指した技術開発」, p.18
- 3) 澁澤 栄(2010), 第5世代の精密農業ー日本から発信するコミュニティベース精密農業, 特技懇, 256: 31-37
- 4) 梅田大樹ほか5名(2011), リアルタイム土壌センサによる環境負荷量を表す土壌マップを用いた精密ほ場管理の検討, 農業機械学会誌, 73(1), 37-44
- 5) McCown, R. L. (2005), New thinking about Farmer Decision Makers, in “*The Farmer’s Decision*”, Ed. Jerry L. Hatfield, Soil and Water Conservation Society, Iowa, p.251, 11-44
- 6) 澁澤 栄(2012), コミュニティベース精密農業の新スキーム: 知農ロボット, 「新稲作研究会 40周年記念誌」, (財)農業技術協会, 93-98

◀ 特集 ▶

ロボットトラクタによる無人農作業システム

北海道大学大学院農学研究院

野口 伸

農業経営の経済的な採算性に適合するようなロボット化を含めた超省力技術の開発が、日本農業を持続的に発展させる上で必須である。この日本農業が抱えている労働力不足は、アジア・北米・欧州・南米でも同様な状況にあり、国際的に農業ロボットのニーズは高い。著者らは GPS を航法センサとしたロボットトラクタを開発してきた。さらに現在農林水産省の委託プロジェクト研究のもとで実用化に向けた取り組みを推進している。本稿では著者らが開発したロボットトラクタと今進めている実用化に向けた取り組みを紹介する。

はじめに

農村地域では若年層の流出により、過疎化が進むとともに我が国社会全体に先行して高齢化が進行し、農業就業人口の平均年齢は 66 歳になった。また、1 戸あたりの耕地面積は増加しながらも耕作放棄地は増加の一途をたどり、2010 年で 40 万 ha に達した。これからも農業地帯では過疎化が進み、今後さらに高齢化が進むと予想され、労働力不足は深刻な状況にある。このような背景から、農業経営の経済的な採算性に適合するようなロボット化を含めた超省力技術の開発が、日本農業を持続的に維持・発展させる上で必須である¹⁾。本稿では北海道大学で開発したロボットを通して、トラクタロボット化の到達点を解説する。さらに現在進行中の農林水産省による農業ロボット研究開発プロジェクトや日本版 GPS といわれる準天頂衛星のロボットトラクタへの利用についても紹介する。

ロボットトラクタの仕組みと性能

近年、トラクタ、コンバイン、田植機など農用車両の自動化さらには自律化、ロボット化技術が急速に進展している。著者らは 1998 年か

NOGUCHI Noboru

〒060-8589 札幌市北区北 9 条西 9 丁目

ら 2000 年の米国 CNH との共同研究を含め、いままでに 6 台のロボットトラクタを開発してきた。現在稼働しているロボットは 3 台である(図 1)。現在、電子化が進んだ最新の車輪トラクタと普通型コンバインのロボット化にも取り組んでいる。図 1 に示した車輪とクローラのロボットトラクタは耕うん作業、播種作業など一般農作業に使用できる²⁾。一方、電動運搬車両をロボット化したものは、収穫物や肥料などの資材を無人運搬させるために開発している³⁾。本稿では紙面の都合からこのうち車輪ロボットトラクタについて、その機能と性能を説明する⁴⁾。ロボットトラクタは航法センサである高精度 GPS (RTK-GPS) と姿勢角センサ(IMU)、さらにこれらを統括する制御コンピュータによって構成されており、市販トラクタに改造を加えたもので



図 1 北海道大学農学研究院で開発中のロボット車両

ある。車輪ロボットトラクタは操舵，前進・停止・後退の切り替え，変速，3点リンクヒッチの昇降，スロットル開度，PTOの入切，ブレーキの入切といったトラクタ機能の大部分が，コンピュータでコントロールできるように改造されている。またこれらの制御項目はすべて観測でき，その他にミッション油圧異常の警告，燃料が13%以下になると残量警告を発することができる。さらに安全対策として車体外部にエンジン非常停止ボタンを配し，またリモコンでもエンジンを停止することができる。これらの機能はトラクタに搭載された車両コントローラが一括制御する。ロボットに作業走行させるためには，作業の種類ごとに目標経路や変速段数などの情報を持つ作業計画マップ(ナビゲーションマップ)が必要である。このマップはGISソフトで作成する，もしくは一度ロボットに走行させたい経路を有人走行することで生成できる。目標経路は点列で表現され，それぞれの点に変速段数や3点リンクヒッチ，PTO操作などを属性として付加している。目標経路が点列で構成されているので，曲がった経路を表現することもできることが特徴である。このマップ化によって矩形以外のは場での作業など任意経路の走行を機能化している。ロボットが走行すべき経路を地図として持っているら耕うん，播種，中耕，防除，そして収穫までの全作業を無人化できる。図2にロボットトラクタによる中耕・除草の作業軌跡を示した。65,000m²の小豆畑において10行程作業した結果である。中耕・除草作業は中耕爪が条間の適切な位置になるよう車両を制御しなければならないため，有人作業の場合，振り返りの後方視認が必要になり，熟練のオペレータですら疲労を伴う作業である。ロボットの作業速度は1.5m/sで慣行の作業速度と同等，走行誤差は±2.4cmであった。人間の能力をはるかに超える作業精度を有しており，作物を傷つけたり，タイヤで作物を踏みつけることなく作業を無事終了させた。

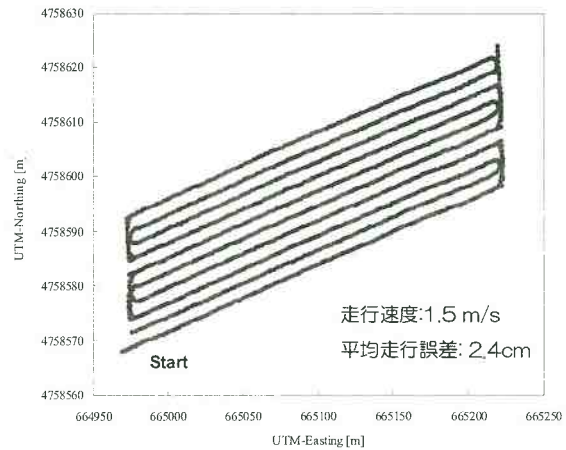


図2 車輪ロボットトラクタによる
中耕・除草作業時の軌跡

農業ロボット実用化を目指した農林水産省研究開発プロジェクト

平成22年6月から農林水産省の委託プロジェクト研究「農作業の軽労化に向けた農業自動化・アシストシステムの開発」が5カ年のプロジェクトとしてスタートした^{5),6)}。本プロジェクトには「小型ロボットによる畦畔除草等自動化技術の開発」など5課題が設定され，その中に「稲麦大豆作等土地利用型農業における自動農作業体系化技術の開発」という土地利用型農業におけるロボットシステム開発を行う課題もあり，北海道大学農学研究院が中核機関で進めている。共同研究機関に京都大学農学研究科，農業・食品産業技術総合研究機構（中央農業総合研究センター・北海道農業研究センター・近畿中国四国農業研究センター・生物系特定産業技術研究支援センター），企業からはヤンマー(株)，日立ソリューションズ(株)，(株)トプコン，ボッシュ(株)が参画しており，これら研究機関が結集してロボット作業体系を実現するロボットシステムを開発している。わが国農業は主に本州に展開する分散錯圃（小区画飛び地）による経営形態と北海道農業に代表される大区画圃場群により構成された大規模経営形態に大別でき，その両者でまったく異なるロボット作業体系が要求される。本プロジェクトでは「分散錯

圃型農業」と「大規模農業」それぞれについて、ロボット農作業体系モデルを構築することを目指している。基本的には図3に示したように、GPS、準天頂衛星などのGNSS(衛星測位システム)とGISを活用した統合型農作業ロボットシステムを開発する。耕うん、播種、中耕、防除、そして収穫までの全作業を無人化できるロボット作業体系の構築である。さらに、作業従事者ひとり当たりの作業面積を飛躍的に増大させるために、地域内で複数のロボットに同時作業させられるシステム開発を行う。最終的には大規模農業のみならず30,000m²程度の小型圃場が分散している生産環境下でも農業ロボットを導入して経営的にも効果のあるシステムを目指す。

5ヶ年の研究期間のうち、2年目が終了したところであるが、このプロジェクトでは前半3年間は個別技術を開発し、後半2年間は地域における実証試験を行う。すでに個別技術としてロボットトラクタ(北海道大学, 生研センター)、田植えロボット(中央農業総合研究センター)、ロボットコンバイン(京都大学, 中央農業総合研究センター, ヤンマー(株))などが完成しつつある。また、各種ロボット用作業機も同様な進捗状況にある。現在、ロボットトラクタは米国・欧州・中国・韓国・ブラジルなどで開発中

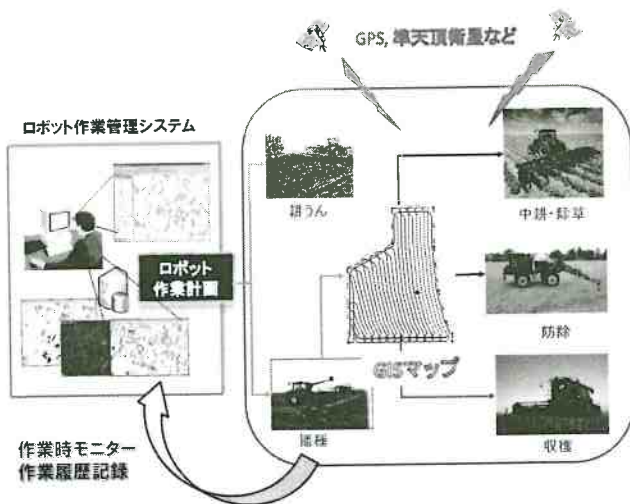


図3 GNSS/GISに基づく統合型農作業ロボットシステム

であり、これらの国ではロボットのニーズがある。そこで、我々のプロジェクトでも開発技術の国際市場投入を念頭におき、さらに要素技術の共通化を図ることで製造コストの削減を目指している。具体的には可能な限り国際規格(ISO11783)に準拠させること、そして、まだ整備されていないロボットに関する規格条項については、ISOの当該委員会において我が国が制定をリードする戦略を立てている。また、実用化には安全性の確保も重要な課題である。そのため低コストで信頼性の高い障害物検出センサの開発と安全ガイドラインの策定もこのプロジェクトの中で鋭意進めている。図4の障害物検出センサはボッシュ(株)が開発中のもので、農業ロボットの安全評価とリスク分析結果に基づいてセンサ仕様を決定した。機体全方向の安全性をカバーしており、自動車用のレーダー、超音波センサ、イメージセンサを組み合わせたインテリジェントセンサである。今後、このセンサを実際のロボットトラクタに搭載して、実作業時の性能を評価する予定である。さらに、

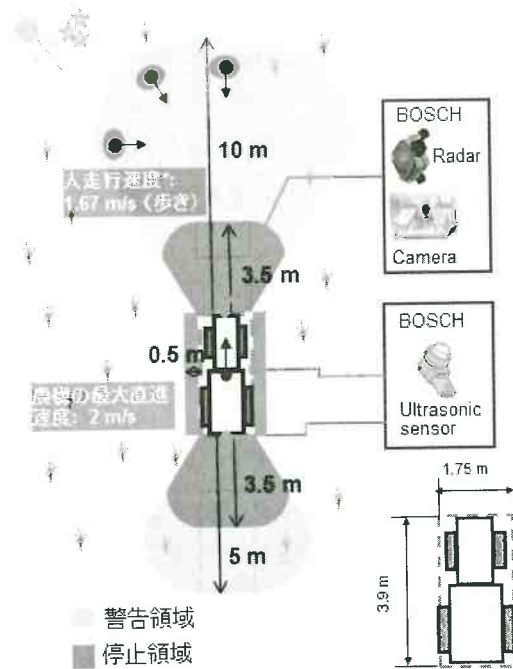


図4 障害物検出センサの開発(ボッシュ(株))

平成 25 年度からの地域における実証試験については、「分散錯圃型農業」、「大規模農業」それぞれモデル地域を設定して地方自治体との連携のもと実施する方向で準備作業に着手した。

準天頂衛星システム (QZSS) のロボットトラクタへの利用

準天頂衛星システム (QZSS : Quasi-Zenith Satellite System) は、常に日本の天頂付近に 1 機の衛星が見えるように、軌道設計された衛星測位システムであり、現在 1 基のみの運用であるが、2010 年代後半には 4 機体制とし、その後は米国の GPS 衛星に依存しない衛星測位システムが確立できる 7 機体制まで拡充することが決まっている。準天頂衛星システムの機能は高仰角から航法信号 (軌道情報及び時刻情報) を提供する「補完機能」と測位精度を向上させる補強信号を送信する「補強機能」があり、前者は山間部やビル陰など十分に可視衛星数が確保できない場所において測位が可能になり、後者は LEX 信号を使用することにより、センチメートル級の測位精度を実現する。我々の研究室では、ロボットトラクタに対する準天頂衛星の有効性について関係機関と共同研究を行っている。「補完機能」については宇宙航空研究開発機構(JAXA)、「補強機能」については衛星測位利用推進センター(SPAC)と実施している。ここでは、準天頂衛星の「補強機能」がロボットトラクタの性能に及ぼす効果について説明してみたい。農業用ロボットの航法センサに VRS などのネットワーク型 RTK を使用した場合、補強信号の取得に携帯端末が必要となる。携帯電話はすでにわが国の広いエリアをカバーしているが、中山間部や農村地帯では、その電波の安定性が低く、その電波を使用した補強信号ではロボット走行に支障をきたすことがよくある。その点で準天頂衛星からの補強信号が利用できれば航法システムの信頼性

向上に期待がもてる。準天頂衛星は補強信号として LEX 信号、L1-SAIF 信号をブロードキャストしている。LEX 信号はセンチメートル級測位補強であり、LEX 信号を使用してロボットトラクタを制御し、無人農作業を行うことは可能である。図 5 は LEX 信号を使用してロボット走行させた結果と従来のネットワーク型 RTK を使用した結果を比較したものである。両者とも高精度にロボットトラクタを制御できたが、LEX 信号を使用した方が走行精度を意味する横方向偏差は小さい。すなわち、準天頂衛星システムの「補強機能」は農業ロボットに有効であり、準天頂衛星の利用普及に向けた可能性が確認された。

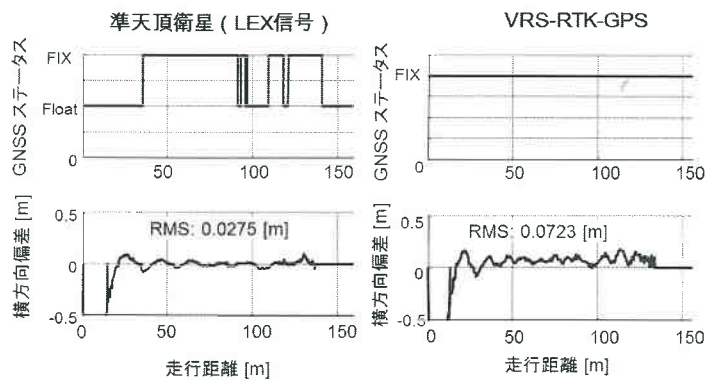


図 5 準天頂衛星と RTK-GPS のロボットトラクタ走行精度の比較

おわりに

ロボットの開発・普及には技術的問題にとどまらず、制度の整備も重要な課題となる。上述したロボットの安全性評価とガイドラインの策定、社会的受容形成の検討も必要である。個々の技術の実用化に対しては構造改革特別区域制度、市場創出支援事業なども視野に入れなければならない。このような問題を取り扱う上で、今後は数多くの社会フィールド実証実験が必要である。この実証実験は企業—研究機関—行政—農業者 (市民) の連携により実行され、社会的コンセンサス形成に資する重要なものとなる。

この活動方針の一環で2011年11月8日に経済産業省北海道経済産業局・北海道・帯広市・北海道IT推進協会主催で開催された「IT農業推進セミナー・農作業ロボット化実演会」に協力した。セミナーとロボット実演会を行い、実演会では上述の車輪ロボットトラクタ、クローラロボットトラクタ2台による無人作業の実演を行った。準天頂衛星利用の自動走行デモンストラクションも行った。250人以上の参加があり、少なからず反響があったと感じている。これからも我々のロボットの進化を是非多くの人に見て知っていただき、世界に先だったロボット農業の実用化に微力ながら貢献したいと考えている。

参考文献

- 1) 日本学術会議(2008), IT・ロボット技術による持続可能な食料生産システムのあり方, 日本学術会議提言, 25pp
- 2) Takai, R. et al. (2011), Preprints of the 18th IFAC World Congress, Paper No.3355 (published on CD)
- 3) Barawid, O. et al. (2011), Automatic Steering System for Electronic Robot Vehicle. Preprints of the 18th IFAC World Congress, Paper No.3349 (published on CD).
- 4) 野口 伸(2006), 農業ロボット(II), 180-183, コロナ社, 東京
- 5) 野口 伸(2012), 農林水産技術研究ジャーナル, 35(2), 10-15
- 6) Noguchi, N. et al. (2011), Preprints of the 18th IFAC World Congress, Paper No.3838 (published on CD)
- 7) 野口 伸(2004), 農業ロボット(I), 143-205, コロナ社, 東京

◀ 特集 ▶

吊り下げ式高設栽培ベッドに対応した
イチゴ収穫ロボット独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター 特別研究チーム（ロボット）

林 茂彦・山本聡史・齋藤貞文

イチゴ収穫ロボットは、円筒座標型マニピュレータ、エンドエフェクタ、マシンビジョンおよびトレイ収容ユニットから構成される。吊り下げ式高設栽培ベッドの通路を走行し、果実の着色度から収穫適期の果実を判別する。そして果柄を把持切断することで、果実に触れずにトレイに収容する。収穫成功率は6割程度、採果時間は9s/果であり、本ロボットを活用することにより、施設園芸の生産コスト削減が期待される。

はじめに

イチゴ栽培は土耕を中心とした促成栽培が一般的であるが、近年作業姿勢の改善や果実品質の向上の観点から高設栽培の普及が進み、これまで様々な方式の高設栽培¹⁾が開発され普及している。高設栽培では一般に果実の着果する範囲が小さく、果実周辺に葉などの障害物が比較的少ないという特徴があり、これは収穫を自動化するという視点から見れば有利な特徴といえる。

これまでイチゴやトマトなどの果菜類を対象とした収穫ロボットの研究が国内外で精力的に進められてきた²⁾。我が国では1980年代より京都大学を中心にトマト収穫ロボットの研究が始まり、その後開発したロボット収穫技術を他の果菜類や果樹作物に応用する研究が進み、ミニトマト³⁾、キュウリ⁴⁾、ナス⁵⁾、イチゴなどを対象とした収穫ロボットが開発された。イチゴに関しては、土耕栽培を対象にしたロボット⁶⁾のほか、高設栽培を対象としたロボット⁷⁾が開発されているものの、農家レベルで稼働する実用技術には至っていない。

HAYASHI, Shigehiko, YAMAMOTO Satoshi,
SAITOH Sadafumi

〒331-8537 さいたま市北区日進町1-40-2

このような状況のもと、生研センターはシブヤ精機株式会社と共同で高設栽培を対象としたイチゴ収穫ロボットの開発に取り組んできた。本稿では、開発した収穫ロボットについて概説する。

1. イチゴ収穫ロボットの開発構想

イチゴなどの果菜類をロボットで収穫するための要素技術は、①センシング技術、②マニピュレーション・ソフトハンドリング技術、③走行技術である。果菜類は果実が順次実っていくため、選択収穫が基本となる。そのためには収穫するかしないかを判断するセンシング技術が最も重要である。キュウリやナスなどは長さが判定基準になるが、イチゴの場合には色み具合を判定する必要がある、これまでの研究でも画像処理技術が広く用いられてきた。

生産現場で実働するイチゴ収穫ロボットの開発を目指して、以下のような開発コンセプトを設定した。①収穫適期の果実を全て摘み取るとは難しいことから、ロボットは収穫容易な果実のみを確実に収穫する。②作業者に比べ収穫動作が遅いことから、ロボットは夜間に長時間かけて稼働する。③果実が傷まないように果柄を切断する。つまり、収穫ロボットは作業者が

寝ている夜間に収穫容易な果実のみをゆっくり確実に収穫し、朝になってロボットが収穫できなかった果実を、作業者が収穫するという協働作業体系を想定した。

2. ロボット実証ハウスと吊り下げ式高設栽培ベッド

収穫ロボットの開発改良および実証試験は、6×48mの鉄骨ハウスで行った(図1)。間口近くに収穫ロボットが横移動するための枕地スペースを広く取っている。このハウスには3m毎に水平梁があり、この梁から高設栽培ベッドが吊り下がっている。栽培方式は香川県で広く普及している「らくちんシステム」に準じている。栽培ベッドの数は6列で、3列は水平梁に固定されているが、残りの3列は水平梁に沿って左右に移動する構造である⁸⁾。収穫ロボットが進入する際には自動で栽培ベッドが動き、ロボットの通過に十分な通路幅(90~95cm程度)を確保する。作業者用の操作スイッチも栽培ベッド両端に設置されており、作業者が定植

や防除、収穫、栽培管理を行うときは、マニュアル操作で栽培ベッドを左右に移動させることもできる。

収穫ロボットが通路に進入するときは、後述する移動プラットフォームからの信号により、駆動モータが正転または逆転する。駆動モータに連結されている回転軸が回転し、ラック・ピニオン機構により回転軸および軸受けが左右に移動する。この移動により軸受けに固定された梁走行部および、下垂する高設栽培ベッドも一体として同時に左右に移動する。通路幅を調整することで、イチゴの生育に伴い着果位置が変化しても、収穫ロボットと果実の距離をほぼ一定に保つことができる。

3. 収穫ロボットの開発

1) 基本機構

イチゴを摘み取る場合、作業者は通路を移動しながら色づいた果実を見つけ、果実を包み込むようにして摘み取る。葉の陰に隠れている場合でも、葉を少しよけて果実を探す。この動作

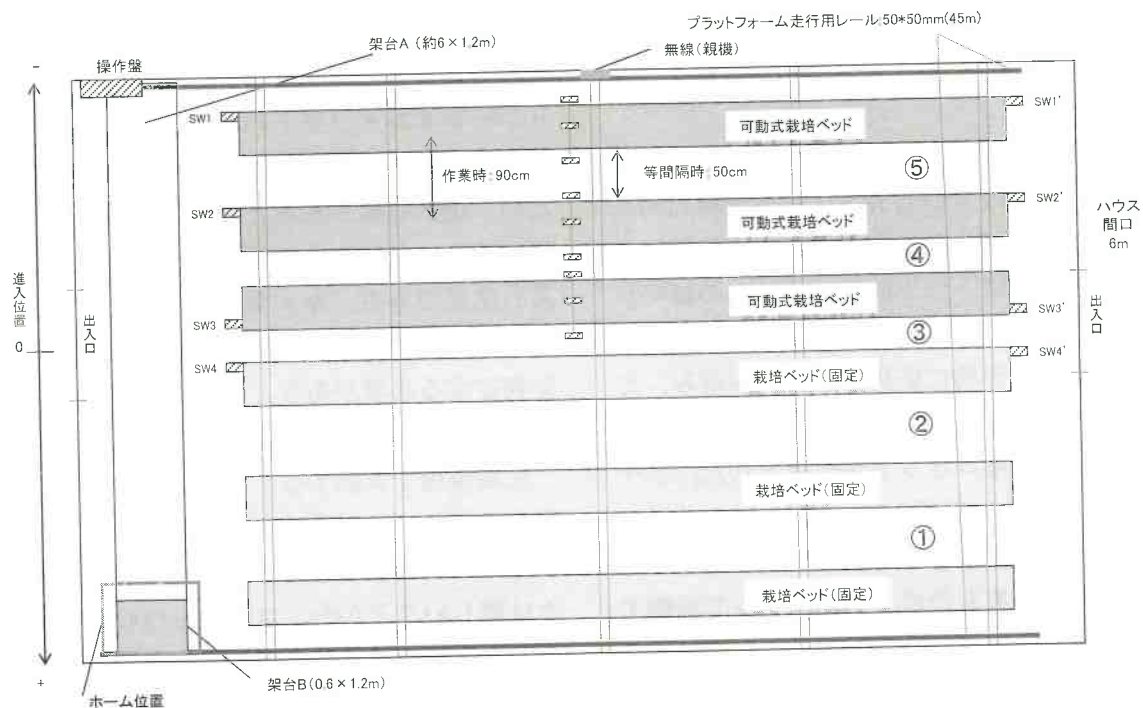


図1 ロボット実証ハウス

をそのままロボットで実現することは非常に困難である。そこで、収穫ロボットは果実を水平方向から見て、着色度の判別を行い直線的に果実に接近する動作を実行する。エンドエフェクタが果実に接近する途中では視覚認識を行わず、目標果実の位置に高速で移動し採果する。

収穫ロボットは、円筒座標型マニピュレータ、エンドエフェクタ、マシンビジョンおよびトレイ収容ユニットから構成される。マニピュレータは3自由度（関節数：3）で、旋回、上下および前後に動作する（図2）。エンドエフェクタはマニピュレータの先端に取り付けられ、果柄を把持切断するフィンガ、および果実把持を検知する光電センサからなる。光電センサは採果した後に前後にスライドして果実の把持をチェックする。マシンビジョンはLED 5灯とCCDカメラ3台（ステレオカメラ2台、中央カメラ1台）から構成される。両側のカメラ2台によりステレオビジョン処理が行われ果実の3次元位置の測定と着色度の判定を行う。中央カメラを用いて果柄を検出して、その傾きを推定する。

収穫ロボットは、走行部の前進動作で通路右側の果実を順次収穫し、通路終端で機体を180°旋回させ、後進動作で通路左側の果実を収穫する。採果動作は走行部が停止した状態で行う。その動作の流れを以下に説明する。まず2台のステレオカメラにより果実の3次元位置を計測するとともに、それぞれの果実の着色度を推定

する。対象となる果実が収穫適期（着色度80%以上）であれば、エンドエフェクタを対象果実に正対させ、中央カメラの画像を取り込み、果柄の検出を行う（図3）。対象果実の上部に関心領域を設定したのち、その領域内の果柄を検出し傾斜角度を計算する。そして、エンドエフェクタは、その傾斜角度に応じて3段階の角度に回転することにより、フィンガ先端の隙間に果柄が入るように接近する（図4）。フィンガで果柄を切断し、果実を把持していることを確認してトレイに収容する。現在の停止位置において、すべての認識果実に対してこの一連の採果動作を繰り返す。これらの処理が終わると、収穫ロボットは200mm前進し、次の果実の採果動作に移る。



図3 ロボットの操作画面（果柄の検出）

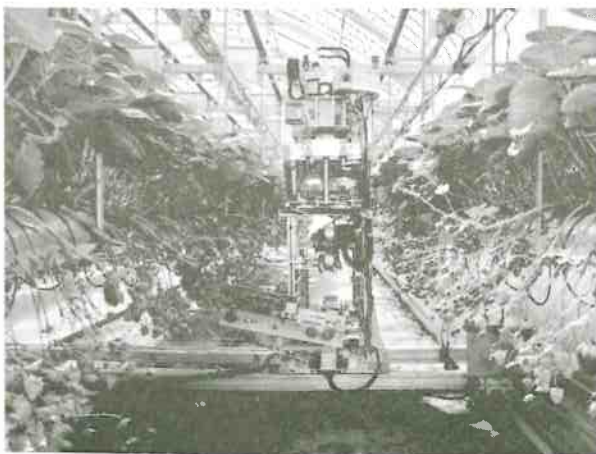


図2 イチゴ収穫ロボット

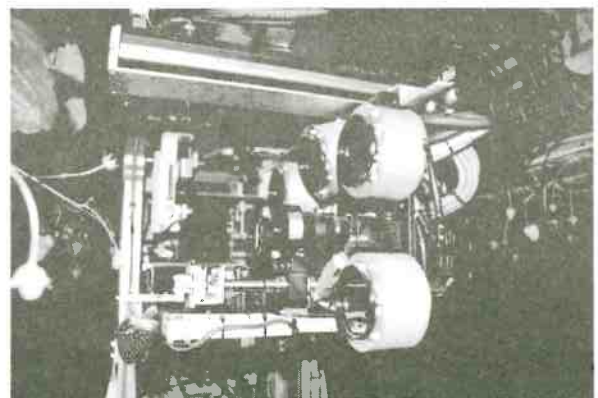


図4 採果動作

2) 移動プラットフォームと組み合わせた走行動作

収穫ロボットの走行部となるのが、移動プラットフォームである。長さ 5.7m×幅 1.2m の大きさで、独立して可動する架台Aと架台Bから構成される。架台B (0.6m×1.2m) には開発した収穫ロボットを搭載することができる(図1)。架台Aの両端の駆動輪によりレール上を走行して通路方向に動き、架台Bはそれと直角方向、つまり畝移り方向に動く。両者の動きを組み合わせることで収穫ロボットをハウス全体に巡回させることができる。

収穫ロボットを載せた架台Bは、図1に示すホーム位置を起点に動作を開始し、枕地走行を行い指定された通路を通路終端まで往復した後、ホーム位置に戻る。その後、次に指定された通路に進出し、往復した後にホーム位置に戻るといった動作を繰り返す。収穫果実の詰まったトレイと空のトレイの交換は、横移動の位置で行う。

4. 収穫性能

ロボット実証ハウスにおいて、品種‘紅ほっぺ’と‘あまおとめ’を用いて収穫ロボットの性能試験を実施した。着色度の判定には品種による着色過程の違いが大きく影響することがわかった⁹⁾。具体的には赤色部と緑白色部の境界が鮮明な品種‘あまおとめ’で良好な判定結果となった。また、収穫成功率は、収穫時期および果序が進むにつれて上昇する傾向が見られ、果房の入れ替わる前に高くなり、入れ替わる時期に低下する傾向を示した¹⁰⁾。試作3号機の採果処理時間は8.8s/果で、収穫成功率は60~66%であった(2010年データ)。ただし、着色度の判定ミスにより収穫適期前の果実を採果する場合もあった。

おわりに

イチゴ収穫ロボットと移動プラットフォームを組み合わせて、吊り下げ式高設栽培されたイ

チゴの自動収穫を実現した。今後ソフトウェア等の改良により成功割合の向上は期待できるものの、作業者と同等レベルのロボットの出現には時間を必要とするであろう。その場合、作業者との協働作業が欠かせない。また、イチゴ収穫ロボットは果実を自動で収穫することのほか、果実の周りの画像、収穫した場所や時刻などの情報も一緒に獲得できる。そして、それらの情報を大量に扱い処理できるという特徴を持っている。これらの情報の収集解析と、さらにそれを利用した生育診断・意思決定などの機能強化は今後の課題である。

参考文献

- 1) 高市益市：イチゴの高設栽培ベンチ。施設園芸ハンドブック，施設園芸協会，pp246-251. 2003
- 2) 近藤直ら：農業ロボット(Ⅱ)一機構と事例一，コロナ社，242pp. 2006
- 3) 韓麗婕ら：エンドエフェクタに三次元視覚センサをもつミニトマト収穫ロボット(第2報)。農機誌 62(2)，127-136. 2000
- 4) 有馬誠一ら：キュウリ収穫ロボットの研究(第3報)。農機誌 57(1)，51-58. 1995
- 5) 林茂彦ら：V字型整枝されたナスを対象としたロボット収穫システム(第2報)。植物工場学会誌 15(4)，210-216. 2003
- 6) 崔永杰ら：マシンビジョンによる内成り栽培用イチゴ収穫ロボットの研究(第2報)。農機誌 69(2)，60-68. 2007
- 7) 有馬誠一ら：高設栽培用イチゴ収穫ロボット(第2報)。植物工場学会誌 15(3)，162-168. 2003
- 8) 生研センター研究成果情報：イチゴの高密植栽培が可能なり下げ式高設栽培ベッド可動装置。
<http://brain.naro.affrc.go.jp/iam/Seika/h2008.htm>
- 9) Hayashi, S. et al. : Evaluation of a strawberry-harvesting robot in a field

test. Biosystems Engineering, 105(2),
160-171. 2010

- 10) 重松健太ら：イチゴ促成栽培における収穫
ロボットの周年利用に関する研究. 農機誌
71(6), 106-114. 2009

◀ 特集 ▶

農業機械におけるシンプル化と情報化・高度化を 両立する通信制御共通化技術の開発

独立行政法人 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 畑作研究領域

濱田 安之

情報の通信・制御の方法を農業機械メーカー間で共通化する通信制御共通化技術について、産官で連携して研究開発に取り組み中。既存の農業機械にも後付け可能でシンプル・低コストな技術とすることを目標とし、共通利用可能なハードウェアと、これを基に国際標準に準拠した情報通信を行う各種電子制御ユニット、リモートコントローラの仕様検討と設計試作を行ったほか、開発した技術の評価、成果の規格化に関する検討についても併せて行った。

1. 通信制御共通化技術の必要性

トラクタやトラクタと接続して動作する作業機、あるいはコンバイン、ハーベスタといった農業機械は今や農業生産に欠くことのできない重要な手段であり、農業生産性の向上・食料の安定供給のために、さらなる高度化が求められている。

農業機械を高度化するためには、電子化された情報利用による農作業の自動化とトラクタ・作業機間の情報通信がその実現手段として大きな位置を占めており、たとえば施肥・薬剤などの資材の散布作業においては、トラクタと作業機の間で走行速度等の情報を提供することで、ほ場の傾斜などによりスピードが変わっても一定量で資材を撒くことができ、投入資材の削減や作業能率の向上といった効果が見込まれる。

しかしながら、その情報の通信・制御の方法が農業機械メーカー間（トラクタ・作業機間）で違う場合、農業者はトラクタと作業機を一度に買い換えなければ高度化の恩恵に預かることはできない。また、導入コストが増大するほか、

HAMADA Yasuyuki

〒082-0081 北海道河西郡芽室町新生南9線
4番地

農業機械メーカーにとっても、異なる方式間で相互に接続できないため市場が分断される、あるいは多様な方式へ対応するために開発に多大な労力とコストを必要とするなど、農業者、農業機械メーカー双方に多大なデメリットが発生する。

情報の通信・制御の方法を農業機械メーカー間で共通化する通信制御共通化技術は、これらの問題を解決すると同時に、通信制御共通化技術を搭載したシンプルな農業機械に、必要に応じて高度な機能を追加できることを可能とする。このことは、農業機械のシンプル化と高度化という相反するニーズを満たし、農業生産性の向上・食料の安定供給に大きな役割を果たすものとして強く期待されている。

2. 農研機構における通信制御共通化技術への取り組み

農研機構においては、この通信制御共通化技術について、これまで農業機械のロボット化農作業ロボットの研究を通して先行して研究開発を重ねてきた。ロボットトラクタ・田植機・コンバイン、ロボットトラクタ用施肥播種機、堆肥散布ロボットを開発し、近年農家ほ場で実証

試験を開始したところであるが、これらの農作業ロボットを研究開発する中で、比較的高価なGPSや制御用コンピュータ等をロボット間で使い回しし、導入コストを低減することを目的として通信制御共通化技術に取り組み、ソフトウェア部品やトラクタ情報を取得する装置の開発や共通ハードウェア（電子回路基盤）の開発等を行ってきた。

これらの研究開発成果や通信制御の共通化に対する重要性が広く認識されてきたことを受け、農業機械メーカー、業界団体、公的試験機関が連携して、農林水産省の「平成23年度新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」の元で「農業機械におけるシンプル化と情報化・高度化を両立する通信制御共通化技術の開発（以下、「通信制御共通化技術の開発」）」と題して平成23年度より3年間のプロジェクトを開始することとなった。参画機関は(独)農研機構（北海道農業研究センター，中央農業総合研究センター，近畿中国四国農業研究センター），(地独)北海道立総合研究機構（工業試験場，中央農業試験場，十勝農業試験場），農業機械メーカー・業界団体（(株)クボタ，ヤンマー(株)，井関農機(株)，三菱農機(株)，松山(株)，小橋工業(株)，

(株)やまびこ，(株)IHIスター，三陽機器(株)，東洋農機(株)，(社)日本農業機械工業会）であり，多くの機関の参画と協力を得ている(図1)。

3. 「通信制御共通化技術の開発」の概要

この「通信制御共通化技術の開発」においては，研究開発及び普及支援として「通信制御共通化技術の開発」，「通信制御共通化技術の評価」，「通信制御共通化技術の国内規格への反映」の3項目について取り組んでいる。以下に各項目の概要を記す。

(1) 通信制御共通化技術の開発

「トラクタ・作業機に装着してトラクタと作業機間の通信技術を共通化するための技術の開発」として，共通的に利用可能な通信技術共通化ハードウェア及び拡張用ハードウェアを開発し，これを基にトラクタ電子制御ユニット（トラクタECU，TECU），作業機電子制御ユニット（作業機ECU），共通リモートコントローラ（共通リモコン）を開発することを目的とする。これらの電子制御ユニット・リモートコントローラ間の通信は，欧米を中心に開発され普及が始まっ



図1 開発する「通信制御共通化技術の開発」の背景と概要

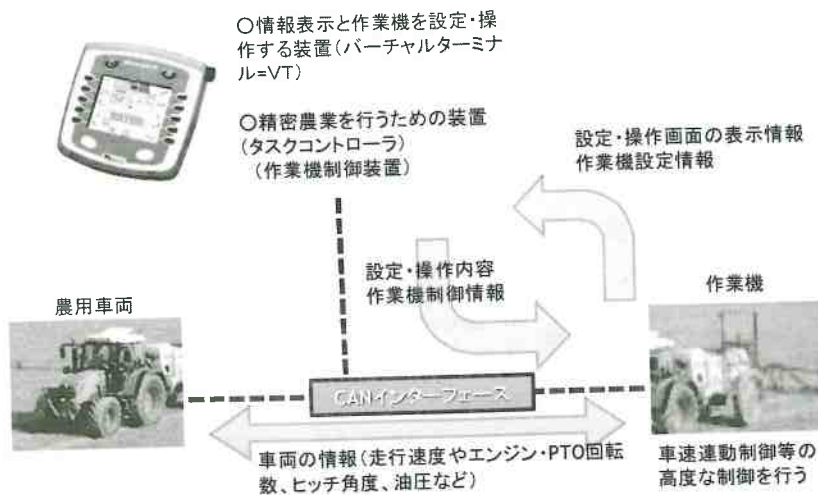


図2 ISO11783における機能の概要と情報の流れ

ている農業機械の通信制御に関する国際標準ISO11783 (ISOBUS) に準拠することとし(図2)、既存の農業機械にも後付け可能でシンプル・低コストな技術とすることを目標とする。また、これらのハードウェアの信頼性を向上するために農業機械における情報通信機器のEMCの評価についても併せて行うこととしている。

平成23年度の成果については、通信技術共通化ハードウェアの開発においては、要求される性能の要件、入出力回路の仕様等の検討を行い、通信技術共通化ハードウェアを試作し動作確認を行った。共通化ハードウェアが搭載するマイクロコントローラはARMアーキテクチャの32ビットのものを適用しており、512KBのフラッシュメモリと64KBのRAM、2chのCAN・RS-232Cインターフェース、パルス信号やアナログ電圧の入出力機能等を備えている。また、共通化ハ

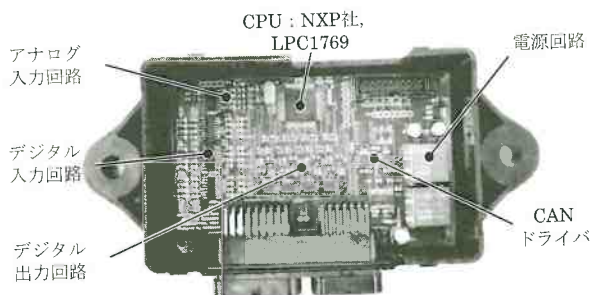


図3 試作した共通化用ハードウェア

ードウェア上には外部アクチュエータ・センサーと直接接続が可能となるよう、入出力に必要なFETやフォトカップラ等の周辺回路が実装されている(図3)。

トラクタECUの開発においては、入出力情報・接続センサ等の検討と情報を送受信するための通信プロトコルの検討を行い、車両速度、エンジン・PTO回転数等の情報通信

を行うソフトウェアのプロトタイプを試作して、上記共通化ハードウェアに組み込み、動作確認を行った。

作業機ECU及び共通リモコンの開発においては、各作業機の制御に必要な電氣的な計測、制御用の要件を収集し、上記共通化ハードウェアの仕様へ反映させた。また、作業機ECUとして必要となる通信、電気信号等の機能の動作をサンプルプログラムにより確認し、問題等の抽出を行った。その他、共通リモコンに必要な操作項目と表示項目を収集し、操作・表示必要となる機能を抽出した。

農業機械における情報通信機器のEMCの評価においては、通信システム自体が発生する電磁ノイズ量を測定、評価すると共に、農業機械における電磁ノイズの発生状況を把握し、通信試験を実施する際の試験条件を検討・設定した。

(2) 通信制御共通化技術の評価

本項目は(1)で開発した技術の評価を実施し、開発した技術の普及を後押しすることを目的とする。平成23年度は電子制御式作業機のメリットを評価するために、機械式作業機による肥料散布作業時における作業速度の変動が作物生産に与える影響について過去の施肥試験等の資料を基に明らかにし、その変動量が小麦の収量に与える影響を試算した。

また、作業機状態が通信機能によりモニタリングできる機種への取り扱い性の確認を行い、電子制御式作業機の機械式作業機に対する優位性を経済性や省力化の面から評価した。

(3) 通信制御共通化技術の国内規格化における技術的要件の検討

本項目も(2)と同様、開発成果の継続的な普及を目的として、国内規格化を図る際の技術的要件を検討することを目的とする。平成23年度については、関連する国際規格(ISO11783, SAE J1939他)の内容の分析を行うとともに、国内規格策定に向けたネットワーク物理層の検討を行い、推奨コネクタ等の選定に加えて、各電子制御ユニットの接続方式を取り決めた。またメーカー間の相互互換性を検証するための接続試験について、海外で実施されている同様の接続試験に関する情報収集と国内における実施に関する予備的な検討を行った。

4. 通信制御共通化技術の今後

今回開発中の通信制御共通化技術は、今後、農業生産現場における「より高度な作業の実現」と「より高度な情報利用の実現」を実現にする際の基盤技術として期待されている。

このうち、より高度な作業の実現としては「だれでもちゃんと作業ができる農業機械の実現」、「調整運転のいらぬ農業機械の実現」が考えられる。欧米ではすでに外部から操舵・車速・前後進・ヒッチ・PTO・油圧を制御できるトラク

タの市販が始まっており、より高い精度と能率で作業ができるよう、作業機からトラクタに対して走行速度やハンドル操作を指示できるようなトラクタや作業機が市販を開始している。

また「より高度な情報利用の実現」に関しては、通信制御共通化技術によりトラクタと作業機間で通信した情報の記録や取り扱いが容易になることから、これらの情報を有効利用して「日誌・帳簿の自動生成等」や「肥料・農薬の適正利用支援等、生産管理システムの利用」がより容易になることで「ほ場、作物、消費者へ向き合うことに専念できる農業の実現」や、「農業者が農作物からだけでなく、収集した情報からも収益をあげることでできる生産システムの実現」にも貢献できると期待している。こちらについても、北海道農業研究センターが中心となり、国内IT企業や、同様の取り組みを行っている欧米の農機メーカー等と連携してシステムを研究開発中である。

5. おわりに

私どもが取り組んでいる農業機械における通信制御共通化技術が、高度な農業機械の導入コスト低減や農業生産コスト低減を実現し、農業生産性の向上・食料の安定供給に寄与するとともに、農業機械の高度化による農業機械の新たな需要と、精密農業等の農業の情報化に係るビジネスの創出に繋がることを期待している。

◀ 特集 ▶

リモートセンシング技術を活用した IT 農業支援システム

株式会社ズコーシャ

横堀 潤・丹羽勝久・米山 晶

IT 農業支援システム構築のために、空撮用無人ヘリコプタによる窒素肥沃度ベースの可変施肥マップの作成手法を確立し、同時に、施肥機に可変施肥情報をリアルタイムに送信できるソフトウェア、受信データに連動し自動的に施肥量制御が可能な 4 畦施肥機を開発した。その有効性について、テンサイを対象として 3 年間試験を行った結果、糖量を維持したまま、窒素施肥量を慣行の 25~50%まで減らすことができた。

1. はじめに

北海道では、1980 年代に衛星画像を中心とし、光学センサによるリモートセンシング技術の研究が開始され、その技術は水稻の子実タンパク含有率¹⁾や小麦の生育早晚²⁾等、作物情報の把握に有効であることが示された。さらに、リモートセンシング技術は、表層の土壤腐植含量³⁾⁴⁾等、土壤情報の把握も可能であり、表層土壤腐植含量と畑地の地力窒素(熱水抽出性窒素)には正の相関関係があることから、畑地窒素肥沃度の把握にも活用されている⁵⁾。

一方、リモートセンシング技術は、人工衛星に留まらず、トラクタベース、空撮用無人ヘリコプタベース等、様々なプラットフォームで開発が行われてきた。その中で空撮用無人ヘリコプタは雲が多い条件や、圃場がぬかるんでいる条件等、様々な場面でセンシングが可能であることから、注目されてきたプラットフォームである⁶⁾。

当社では、以上の先行事例の中でも、空撮用無人ヘリコプタを利用したリモートセンシング技術と、畑地窒素肥沃度が把握できる点に着目

YOKOBORI Jun, NIWA Katsuhisa,

YONEYAMA Akira

〒080-0048 北海道帯広市西 18 条北 1 丁目

17 番地

し、窒素肥沃度ベースの可変施肥マップの作成を試みた。加えて、可変施肥情報を施肥機にリアルタイム送信することが可能なソフトウェア、受信した施肥情報に基づき施肥量を自動制御できる 4 畦施肥機を開発し、施肥作業の支援システム(IT 農業支援システム)を構築した。

2. IT 農業支援システムの概要

当社が構築した IT 農業支援システムは、以下の 2 要素から構成される。

- ① 空撮用無人ヘリコプタを利用した圃場単位の窒素肥沃度(熱水抽出性窒素)マップの作成
- ② 窒素肥沃度マップに基づいた 4 畦施肥機による自動可変施肥

3. 空撮用無人ヘリコプタを利用した圃場単位の窒素肥沃度(熱水抽出性窒素)マップ作成

(1) 熱水抽出性窒素とは?

本システムの中で、窒素肥沃度として着目した「熱水抽出性窒素」とは、土壤に水を加えた後、オートクレーブ加圧により 105℃まで加熱した際に、土壤から抽出される窒素のことを指す。この窒素には無機態窒素、低分子有機態窒

素，加熱破壊微生物由来の低分子有機態窒素等が含まれる。その中でも，本法で抽出される有機態窒素は易分解性窒素と呼ばれ，土壤有機物の中でも速やかに無機化される窒素を指す⁷⁾。

このことから，熱水抽出性窒素は，畑地の土壤由来の窒素供給量(地力窒素)を相対的に評価すると考えられ，北海道では様々な作物の窒素施肥量決定の際の土壤診断項目に取り入れられている⁸⁾。

(2) 導入したリモートセンシングシステム

リモートセンシングシステムは，北海道大学大学院農学研究院ビークルロボティクス研究室が開発した「無人ヘリコプタを用いた農地情報のリモートセンシングシステム」を利用した。そのシステムは，無人ヘリコプタに加え，画像取得用の光学センサ(マルチスペクトルイメージングセンサ:MSIS, デジタルカメラ)および太陽光量補正のための太陽光量センサから構成され，撮影画像から太陽光量の影響を排除した反射率(MSIS：緑域，赤域および近赤外域，デジタルカメラ:青域，緑域および赤域)を高解像度で把握することができる(図-1)。



図-1 ヘリコプタリモートセンシングシステムの概要

(3) リモートセンシングによる熱水抽出性窒素の推定

光学センサを利用したリモートセンシング画像から得られる表層土壤情報の中でも，画像データが最も強く捉えているのは土壤腐植含量である。このことから，リモートセンシングから熱水抽出性窒素マップを作成するためには，土壤腐植含量と熱水抽出性窒素の間に何らかの関連性を持つことが必要である。

図-2に，北海道十勝地方(帯広市および芽室町)の普通畑で採取した土壤を対象とした，土壤腐植含量と熱水抽出性窒素の関係を土壤の母材別に示す。

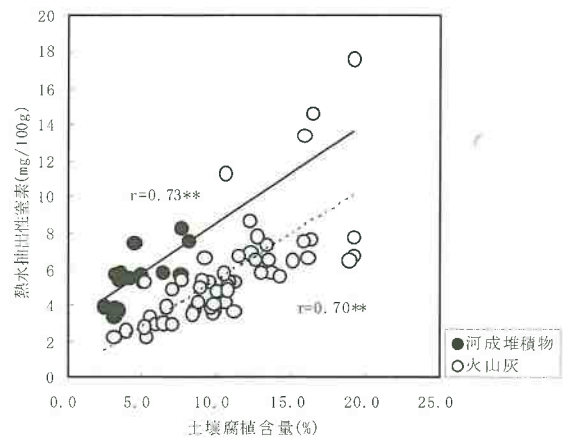


図-2 土壤腐植含量と熱水抽出性窒素の関係(十勝地方帯広市、芽室町)

帯広市と芽室町の普通畑面積は，合計約 44,000ha あるが，その広大な範囲を対象とした場合でも，両者の関係は母材別に有意な正の相関関係(河成堆積物： $r=0.73$ ，火山灰： $r=0.70$)が見られた。しかし，RMSE(Root Mean Square Error: 平方平均二乗誤差)は河成堆積物で 1.0mg/100g，火山灰で 3.0mg/100g であり，特に母材が火山灰の区域で予測誤差が大きくなった。その理由の一つとして，帯広市および芽室町の全区域が，全て同一の火山灰で構成されている訳ではないことが挙げられた⁹⁾。

一方，母材が火山灰の区域の中でも，両者の関係を一筆圍場単位で見た場合に，相関係数は

0.86 にまで高まり、RMSE は 0.7mg/100g まで低下した(図省略)。図-3 は、空撮用無人ヘリコプタの画像データから作成した熱水抽出性窒素の圃場地図の一例であるが、この時の実測値と予測値の RMSE は 0.5mg/100g であり、高精度に熱水抽出性窒素を把握することが可能であった¹⁰⁾。

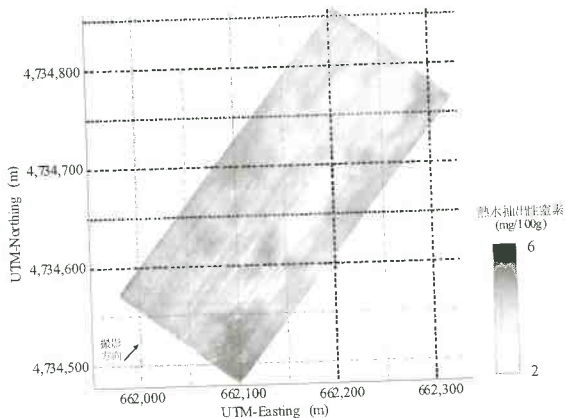


図-3 母材が火山灰の区域の圃場における熱水抽出性窒素マップの作成例

4. 窒素肥沃度マップに基づいた 4 畦施肥機による自動可変施肥

(1) 自動可変施肥の概要

自動可変施肥は、「従来の 4 畦精密施肥機 (サークル機工株式会社製)」、「GPS」、「可変施肥用タッチパネル PC」、「施肥量制御用マイコン」を用いて実施される(図-4)。

このうち、可変施肥用タッチパネル PC には、「①作業位置を把握する機能」、「②可変施肥マップと作業位置を照合する機能」、「③作業位置の設定施肥量を施肥機にリアルタイム送信できる機能」を有するソフトウェアがインストールされている。また、可変施肥用タッチパネル PC は、施肥機側面に装備されたタッチパネルにより各種操作が可能となっている。リモートセンシングにより作成された窒素肥沃度マップは、施肥量 CSV データ形式に変換され、USB フラッシュメモリなどを介して、可変施肥用タッチパネル PC に保存される。

施肥量制御用マイコンは、可変施肥用タッチパネル PC から受信した施肥量情報に基づき、4 畦精密施肥機の溝ロールの回転数を自動制御する機能を持つ。

これらのソフトウェアや施肥量制御用マイコンは、IT 農業支援システム構築に向けて新たに開発したものである。

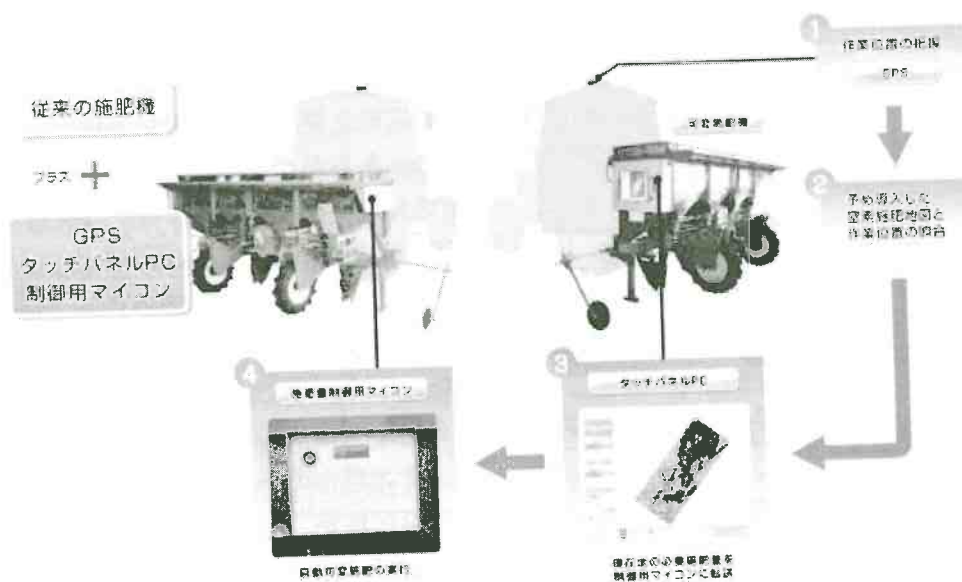


図-4 自動可変施肥の流れ

他の特徴として、4 畦精密施肥機の施肥タンクがメインタンクとサブタンクから構成されている点が挙げられる。このことから、例えば窒素施用量だけを可変し、リン酸、カリを常時、一定量に保つことが可能である。

5. テンサイを例とした窒素肥沃度マップに基づく窒素可変施肥効果

(1) 調査方法

平成 18～20 年の 3 カ年に渡り、帯広市南部の火山灰を母材とする圃場を対象として、慣行施肥区と窒素可変施肥区を設けた。

供試作物はテンサイとし、慣行施肥区ではこれまでの施肥量を踏襲して 20kgN/10a、窒素可変施肥区では窒素肥沃度マップに基づき可変施肥した。

各年とも両区で、収穫期に、試験区全体を網羅するように 5～10 点程度の調査地点を設け収量調査を実施した。また、両区の糖量を比較することで、窒素可変施肥の効果を検討した。

(2) 熱水抽出性窒素マップに基づく窒素施肥設計

北海道の火山灰土地帯におけるテンサイの窒素施肥標準量は、16kgN/10a と設定されている。また、土壌診断に基づく窒素施肥対応として、熱水抽出性窒素を参考とすることが推奨されており⁸⁾、テンサイの適正窒素施用量は熱水抽出性窒素によって 8～24kgN/10a まで大きく変わる。一方、鈴木・志賀(2004)¹¹⁾は、北海道の火山灰土地帯において畑作物に対する窒素施用限界量を環境負荷の観点から検討した結果、その投入限界量は 15kgN/10a/year 程度であり、テンサイの窒素施肥標準量(16kgN/10a)とほぼ一致することを示した。

以上のことを踏まえ、本試験では、環境負荷軽減の観点から窒素施肥の上限値を 16kgN/10a に設定し、北海道施肥ガイド⁹⁾の「熱水抽出性窒素診断による窒素施肥量決定」との併用による施肥設計を行った(図-5)。

以上の施肥設計の結果、窒素可変施肥区の施肥量は、慣行施肥区に比べ、25%～50%も削減する計画となった。

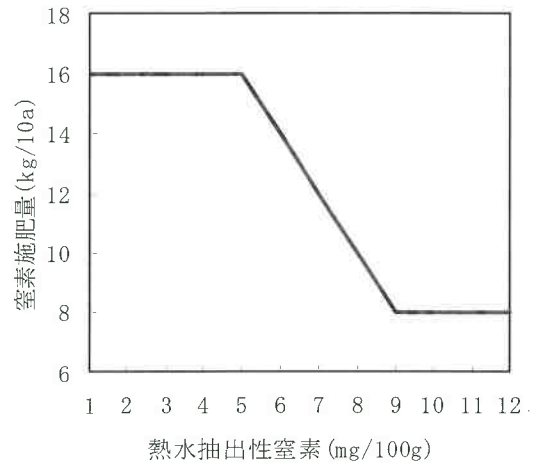


図-5 窒素可変施肥区の熱水抽出性窒素に基づく窒素施肥設計

(3) 可変施肥の効果

図-6 には、両試験区の糖量の結果を示す。

窒素可変施肥区の糖量は、3 カ年とも慣行施肥区と有意差が見られなかった。また、平成 18 年、19 年の可変施肥区では、糖量の標準偏差が慣行施肥区よりも小さい値を示した。一方、平成 20 年は標準偏差の傾向が逆転したが、可変施肥区内の局所的排水不良区域の糖量が他区域よりも極端に少ないことが原因であり¹²⁾、その排水不良区域を除けば両試験区の標準偏差は同等であった。

以上のことから、可変施肥区では減肥したにもかかわらず慣行施肥区と同等の収量水準が維持され、さらに収量の圃場内差異が慣行施肥区と同等あるいは、それ以下に軽減されることが明らかになった。

6. おわりに

以上、述べてきたように、窒素肥沃度ベースの理論的施肥を実践することにより、収量を維持しながら、効果的に減肥を行うことが可能であった。加えて、理論的施肥には、減肥だけで

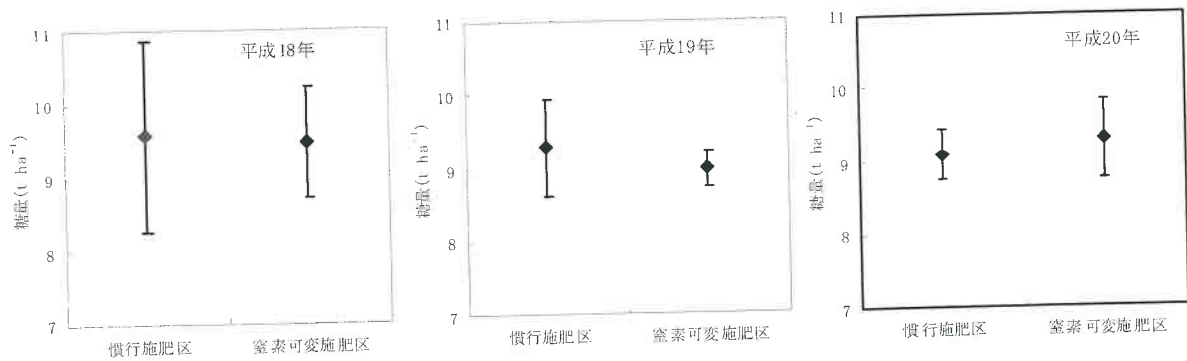


図-6 慣行施肥区、窒素可変施肥区のテンサイ糖量（エラーバーは標準偏差）

はなく、作物品質の向上、余剰窒素の系外への流出軽減等についての効果も期待される。今後は、他土壌や他作物においても、本試験を踏襲し、窒素可変施肥の効果に対する実証試験を実施していく所存である。

一方、本システムの中で開発した、「作業位置を把握する機能」、「可変施肥マップと作業位置を照合する機能」、「作業位置の設定施肥量を制御用マイコンに送信する機能」を有するソフトウェアは、送受信するデータ形式と通信プロトコルに整合性さえ取ることができれば、理屈上、施肥量の自動制御機能が搭載されているどの施肥機にも利用可能である。今後は、作条施肥だけでなく、全層施肥等に対応させるために、このソフトウェアに改造を加えていく予定である。

参考文献

- 1) 安積大治・志賀弘行(2003), 日本リモートセンシング学会誌, 23, 451-457
- 2) 奥野林太郎(2005), 農機誌, 67, 17-19
- 3) 畠中哲哉ら(1989), 土肥誌, 60, 426-431
- 4) 志賀弘行ら(1989), 土肥誌, 60, 432-436
- 5) 西宗 昭・畠中哲哉(1988), 季刊・肥料, 52, 92-100
- 6) 野口 伸(2003), 農業および園芸, 78, 1332-1336
- 7) 野口 伸ら(2009), 北農, 76, 478-487
- 8) 北海道農政部(2002), 北海道施肥ガイド
- 9) 菊地晃二(2008), pp212, 古今書院, 東京
- 10) 丹羽勝久ら(2007), 農機北支報, 48, 57-61
- 11) 鈴木慶次郎・志賀弘行(2004), 土肥誌, 75, 45-52
- 12) 星山賢一ら(2009), 農業土木北海道, 31, 11-15

◀ 特集 ▶

情報通信技術 ICT による農業技術継承と農業人材育成
—農匠ナビプロジェクトの概要—

九州大学大学院農学研究院

南石 晃明

本稿においては、筆者が研究開発責任者として実施している農林水産省委託研究「農家の作業技術の数値化及びデータマイニング手法の開発」（略称：農匠ナビプロジェクト）について、研究の概要および今後の研究方向などを紹介する。農匠ナビプロジェクトでは、農作業情報、作物生体情報、環境情報などの農作業にかかわる多様な情報の連続計測を行い、統合化・可視化することで、農業技術継承および農業人材育成を支援する手法および情報システムの研究開発を行なっている。研究成果の詳細については、Web サイト（URL は本文参照）を参照されたい。

1. はじめに

農業就業人口は、過去20年間で480万人から260万人へほぼ半減し、2010年には平均年齢も65歳を越え農業者の高齢化も急速に進展している。しかし、その一方で、20年前には2万人強であった年間新規就農者数は、ここ数年では6万～8万人程度まで増加している。さらに、新規就農者は多様化しており、農家世帯員が新たに農業を始めた「新規自営農業就農者」、農業経営の従業員になった「新規雇用就農者」、自ら農業経営を始めた「新規参入者」に区分されている。

また、農業法人経営の数は、過去10年間で6千から1万2千へと倍増しており、そのうち農業生産法人の数は、過去20年間で3倍弱に増加している。

このように、農業分野では個人経営（いわゆる農家）の減少と法人経営の増加という、言わば農業主体の交代が進んでおり、わが国の優れた農業技術を新規就農者へ如何に継承するかが大きな政策課題になっている。また、法人農業経営に雇用される従業員の多くは農業未経験者であり、従業員の人材育成が経営成長の大きな

課題となっている。特に、従業員数が10人以上、売上高が数億円以上といった企業農業経営になると、生産管理や経営管理における情報マネジメントの重要性が高まっており、従来とは異なる能力を持つ農業人材の育成も課題となっている。こうした企業農業経営は、その数はまだ少ないが、わが国の農業のイノベーション主体の一つとして期待されている。

このように、わが国農業経営の太宗を占める家族農業経営においても、今後の農業イノベーションの主体として期待される企業農業経営においても、農業技術継承および農業人材育成が大きな課題となっている。これらの課題解決を図るため、以下の農林水産省委託研究が実施されている。本稿では、研究の概要および今後の研究方向などについて述べる。

農林水産省委託研究「農作業の軽労化に向けた農業自動化・アシストシステムの開発」

研究課題名：農家の作業技術の数値化及びデータマイニング手法の開発

研究期間：2010年度～2014年度（5年間）

中核機関：国立大学法人 九州大学

研究開発責任者：九州大学大学院農学研究院・教授 南石晃明

Web サイト：<http://www.agr.kyushu-u.ac.jp>

NANSEKI Teruaki

〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1

/keiei/NoshoNavi/

2. 研究目的および課題構成

1) 研究目的

農匠ナビ・プロジェクト全体の研究目的は、農業技術の継承を支援し農業人材育成を推進するために、「農家の作業技術の数値化およびデータマイニング手法の研究開発」を行うことである。具体的には、今後数年で急速に失われていく可能性のある篤農家の有する「匠の技」(暗黙知)を可視化し、他の農業者や新規参入者等に継承する仕組みを確立することである。さらに、データに基づいてよりの確な作業判断ができる農業人材の育成を支援する仕組みを確立することである。このプロジェクトで研究開発を行う手法およびシステムを総称して「農匠ナビ」と呼ぶ。これは、農家の匠の技を抽出・可視化し、

次世代への技術継承・人材育成をナビゲート(指南)するという意味をこめたものである。農匠ナビは、単一の手法・技術および情報システムではなく、それらの活用方法・応用手順までを含め体系化した総体である。農匠ナビは、農業者の農業技術習熟の支援を目的としており、専門家に代替することを目指すいわゆるエキスパートシステムとは異なっている。

2) 農匠ナビの全体構想

農匠ナビの全体システムは、図1の3つのサブシステムから構成される。各サブシステムは、独立して作動するが、これらを連携させることで、より効果的に機能するように設計されている。まず第1ステージとして、農作業情報・環境情報・生体情報の連続計測・データベース化システムの開発を行う。第2ステージでは、農作業情報・環境情報・生体情報の統合化・可視化システムの開発を行う。第3ステージでは、農作業情報・環境情報・生体情報の統合化・可視化システムの開発を行う。第3ステージでは、農作業情報・環境情報・生体情報の統合化・可視化システムの開発を行う。

農匠ナビゲーションシステムの全体構想

- ・農作業情報・環境情報・生体情報の連続計測・データベース化システムを開発(ステージ1)。一部は実用化に目処。
- ・農作業情報・環境情報・生体情報の統合化・可視化システムを開発(ステージ2)。一部は実用化に目処。
- ・現地実証農場(水稲、メロンなど)を対象にして、熟練農作業ノウハウ抽出・継承手法を開発中(ステージ3)。



図1 農匠ナビゲーションシステムの全体構想
出所：文献3)

化システムを開発する。こうして収集・統合化・蓄積された各種データに基づいて、第3ステージでは、熟練農作業ノウハウの抽出・継承手法を開発する。

農匠ナビは、中核機関である九州大学が開発している各種サブシステムと共に、共同研究機関が開発している各種サブシステムを総体として統合・連携したシステムである。サブシステムの中で、農作業情報・環境情報・生体情報の連続計測・データベース化システムは、他のシステムや手法の基盤となる。

第1ステージの農作業情報・環境情報・生体情報の連続計測・データベース化システムでは、①IC タグリーダ＋スマートフォン・GPS 携帯などを用いた農作業情報（位置、内容、使用資材、施設の状態など）の連続計測技術、②繁茂度光計測センサー、果重センサーによるメロンの繁茂度や果重、IC タグリーダやカメラ画像による水稻苗草丈などの生体情報連続計測技術、③気温、湿度、水温、日射量、CO₂、土壌水分、EC などの環境情報連続計測技術の開発をおこなっている。

このうち、営農可視化システム FVS (Farming Visualization System) は、南石らの特許(第 3951025)に基づいて、農作業 5W1H 情報の自動連続計測、データベース化、可視化（データ統合表示）を行うシステムである。カメラ、マイク、IC タグ、GPS、加速度センサーなどを組み合わせることで、農作業 5W1H 情報が自動連続計測できることが明らかになっている。多様な現場ニーズに対応できるように、様々な情報を高精度で計測できる高機能タイプから、低価格で導入しやすい普及タイプまで、様々なタイプのシステムを試作している。大規模稲作経営、大規模畑作経営、施設園芸経営などで、試作システムの現地実証を開始しており、農匠ナビ協力機関と連携し、有効性・実用性が確認されたシステムから、順次、実用化を進める予定である。

3) 研究体制および課題構成

農匠ナビ・プロジェクトは、九州大学を中核機関として、大学、国公立研究所、企業などが共同研究機関となっている。具体的には、東海大学、慶應義塾大学、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構、静岡県農林技術研究所、滋賀県農業技術振興センター、富士通株式会社、一般社団法人日本食農連携機構が、各機関が有する既存の研究成果に基づいて分担課題を担当してきた（図 2）。農匠ナビプロジェクトでは、研究課題を、便宜上、主に施設利用型農業を対象にするものと土地利用型農業を対象にするもの区分している。前者の代表的な作物は、メロンやトマトであり、後者の代表的な作物は水稻である。

3. 主要研究成果

農匠ナビプロジェクト全体の主要な研究成果は、成果集「「農家の作業技術の数値化及びデータマイニング手法の開発」の概要と成果」（2010 年度版、2011 年度版）として取りまとめて関係機関に配布している。具体的な主要研究成果は、①システムの全体設計と農作業情報連続計測システム、②環境・生体情報統合化と農匠ナビ・アプリケーション、③「匠の技」の抽出・可視化とデータマイニング手法の3つに区分できるが、詳細はプロジェクト公式 Web サイトで PDF 版を公表しているので、ご参照いただきたい。

4. 今後の研究方向

施設利用型農業を対象にした研究課題については、当初予定よりも順調に研究が進捗し、実用化段階となる成果が多く得られた。このため、2012 年度からは、土地利用型農業を対象にした研究課題に重点化して、プロジェクト全体を効果的に推進する予定である。主要な重点研究項目は以下である。第1に、農匠ナビシステムの土地利用型稲現地実証地域を拡大すると共に、前年度までの研究成果と最新情報通信技術を融

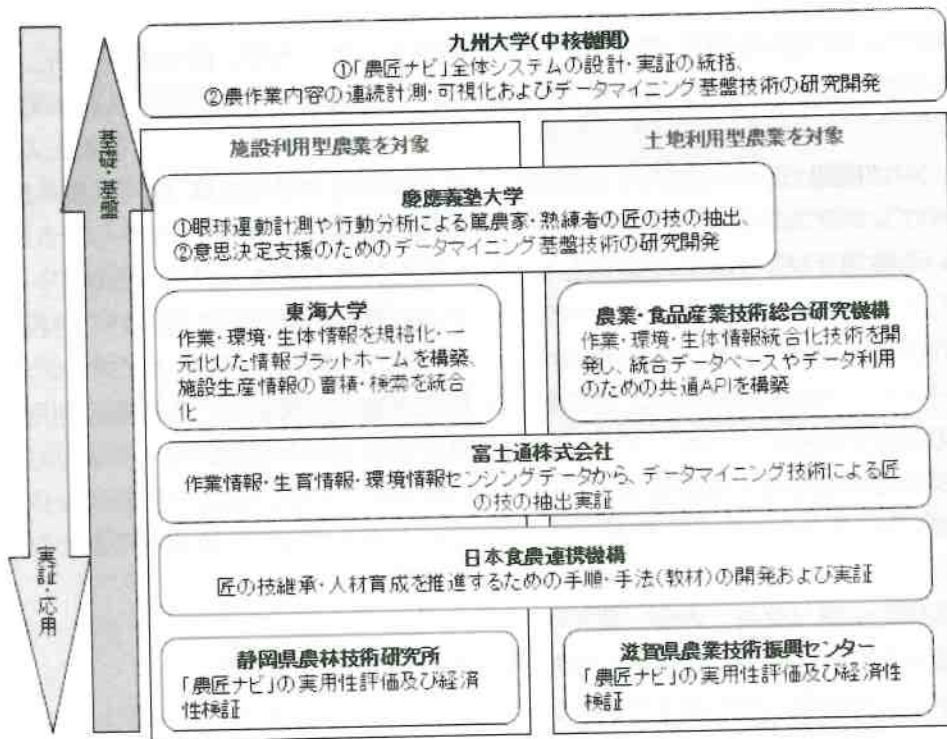


図2 農匠ナビ・プロジェクトの研究体制と分担課題
出所：文献2)

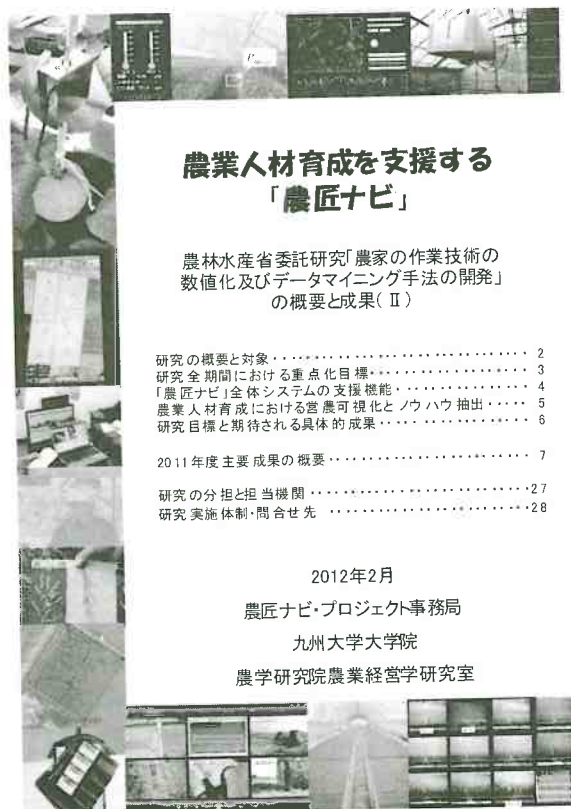


図3 農匠ナビプロジェクト成果集
2011 年度版
出典：文献3)

合させて、さらに実用性・普及性が向上するように営農可視化システム FVS の改良を加速させる。第2に、農作業・環境・生体情報の表現・交換規格の標準化を進めると共に、農業技術体系 DB-作業ノウハウ DB 連携システムの試作を行う。第3に、システム現地実証を強化し、篤農家技術の構造化・数値化・形式知化を進めると共に、技術継承方を提示する。第4に、農作業段階別の映像のライブラリー化、人材育成のための技術継承・技能伝承のコンテンツ試作を行い、コンテンツの実フィールドにおける検証を試行する。第5に、土地利用型農業におけるデータマイニング技術による「匠の技」抽出および有効性の検証を行う。

農匠ナビプロジェクトでは、研究成果の実用化を加速するため先進的な農業経営者と連携して、滋賀県や茨城県の稲作経営、静岡県や福岡県の園芸経営などにおいて現地実証を推進している。先日は、北海道から農匠ナビプロジェクト現地実証に参加できないかとの問い合わせがあり、農業技術継承や農業人材育成に対

する関心が高まりつつあることを感じている。今後は、農業経営者や関係機関と連携して、現地実証の全国展開についても検討を進めたい。

参考文献

1. 南石晃明(2011a) , 農業におけるリスクと情報のマネジメント, 農林統計出版。
2. 南石晃明[編著](2011b) , 農林水産省委託研究「農家の作業技術の数値化及びデータマイニング手法の開発」の概要と成果 (I)」(2010 年度版 PDF), <http://www.agr.kyushu-u.ac.jp/keiei/No shoNavi/>
3. 南石晃明[編著](2012)農林水産省委託研究「農家の作業技術の数値化及びデータマイニング手法の開発」の概要と成果 (II)」(2011 年度版 PDF), <http://www.agr.kyushu-u.ac.jp/keiei/No shoNavi/>

◀ 特集 ▶

視線計測等による熟練技能の継承に向けた 基盤プラットフォームの検討

慶應義塾大学

神成淳司・福田亮子・小野雄太郎・工藤正博

農家の高齢化を踏まえ、技能継承の早期継承を目的として、視覚情報分析ツール、判断入力ツール、対象作物・圃場環境の定量的測定ツールにより構成される基盤プラットフォームを構築し、トマト栽培を対象に検証を実施した。本稿では基盤プラットフォームの概要と検証結果についてまとめる。

1. 視線計測等による熟練技能の継承 に向けた基盤プラットフォームの 検討

人間は外界より情報を受容し、その情報に基づく「判断」によって何らかの行動を起こす。この情報受容から行動に至るまでの一連の流れを客観的に把握することができれば、人間の行動特性を定量的に記述することが可能となる。従来の農業分野でのこれら一連の流れに関する取り組みは、作業内容の事後記録、あるいはウェアラブルコンピュータやRFIDを組み合わせた農家自身の能動的な行動により記録するというものが主体となっていた。これらの場合、農家自身が潜在的・暗黙的な知見に基づき実施する行為、並びに人間の外界からの情報獲得の大半を占める視覚による情報獲得の状況を客観的に把握することが難しかった。

そこで、我々は、1) 人間が最も多用する情報受容手段である視覚の分析（視覚情報分析ツール）、2) 視覚情報に基づく農家側の作物等に対する評価項目の客観的把握（判断入力ツール）、3) 評価内容の客観的把握を目的とした圃場並びに作物内部状態の把握（対象作物・圃場環境の定量的測定ツール）、の3つの取り組

みを連携させた基盤プラットフォームの適用により、この状況への対応を進めている。

本稿では、基盤プラットフォームの概要と可能性についてまとめる。

2. 基盤プラットフォームの概要

基盤プラットフォームは、1) 視覚情報分析ツール、2) 判断入力ツール、3) 対象作物・圃場環境の定量的測定ツールの3ツールにより構成される。以下、各ツールの概要についてまとめる。

まず視覚情報分析ツールについて述べる。このツールは、視覚情報の分析の際に用いられるアイカメラを用いた視線計測と、アイカメラにより入力された視線情報・視野画像情報分析ソフトウェアにより構成される。このソフトウェアは、本プロジェクトにおいて独自開発したもので、後述する2ツールと共に基盤プラットフォームの基幹ソフトウェアを構成する。アイカメラとは、被験者の眼球映像の画像処理などにより視線方向を特定し、これを視野映像に重ね合わせて表示・記録する装置であり、被験者が実験中にどの場所に視線を向けていたのかを客観的かつ定量的に測定することを可能にする。これにより、篤農家が具体的に作物のどの部分を観察して作業をしているのかを客観的に把握することが可能となり、篤農家がいわば「無意

SHINJO Atsushi, FUKUDA Ryoko,
ONO Yutaro, KUDO Masahiro
〒252-0882 神奈川県藤沢市遠藤 5322

識のうちに」目を向けている部分の発見につながる。このことにより、篤農家が個々の状況に応じた最適な判断をする際に必要とする情報の解明が可能となる。また、情報を処理した結果に基づく行動は、行動観察により把握する。これは篤農家の「判断結果」に相当するものである。その間の情報処理の部分については、インタビューにより把握する。ここで得られる意思決定内容を表すデータには、生産工程のうち作業員自身が「意識している」部分が主に含まれる。しかし、さらに従来の問題点を解決するために、視線計測と行動観察のデータを篤農家に示しながらインタビューすることで、篤農家自身が意識していなかった着眼点や行動に気づく手がかりを与えることが可能となる。実際、インタビューにこのような手法を用いることでより多くの有用な発話データが得られるということは、さまざまな研究において立証されている。ただし、従来のアイカメラを用いた研究では、圃場等のような画像処理が難しい不安定な光学環境において、一定以上の時間をかけて移動を伴いながら行動する農作業のような行動に関する解析への対応が遅れており、解析に多大な時間を要するという課題が存在していた。本プロジェクトにおいて開発した視覚画像情報分析ソフトウェアは、この課題への対応を試みたもので、被験者の視野動画像のフレーム間差分を計算し、その結果をグラフ表示する機能を持つ。被験者が視野を固定した際にはグラフ表示の値が0近傍へと位置し、視野を大きく動かした際には高い値を示す。このグラフ表示において、0近傍の値を示す範囲を解析することで、被験者である農家が作業中に目をとめた範囲を抽出することが可能となる。なお、被験者の状態や圃場環境を踏まえ、ローパスフィルタ等のフィルタ処理によるノイズ除去機能を合わせて実装しており、多様な環境や被験者への対応を可能にしている。

次に、判断入力ツールについて述べる。このツールはサーバ接続されたスマートフォンを入力インターフェースとして、農家が農作業、ある

いは見回りの際、主観的に気になった点をその時点で入力するためのツールである。前述の視覚情報分析ツールと組み合わせることで、被験者である農家が視点を留めた際に気に留めた内容を入力するために用いられる。また、同一の圃場で複数の農家が作業や見回りをする際に用いた場合、個々の農家の特徴や観察不足となりがちな内容等を入力データの比較等により客観的に把握することが可能となる。この際、入力項目は、作業記録では無く、気がついた点である事が重要である。本研究では、農家が具体的に実施する農作業行為と、その行為を実施する要因である何らかの気づきを区分する事、すなわち、問題への解決手段と問題発見能力とを区分する事を目的としている。同一の問題が発見された場合でも、具体的な解決手段は個々の農家により異なる場合が少なからず存在する。農作業という、予測が困難な自然環境・作物生育状態を相手にした内容に際しては、最適な問題解決手段を規定することは難しく、次に述べる圃場環境や作物の状態情報だけでは把握しきれない状況依存性が少なからず存在する（この問題は、人工知能分野においては、フレーム問題として提唱され既に様々な検討が進められているものである）。このような最適解を選択する事の難しさが農業技能の継承が遅れる大きな阻害要因となっていた点を踏まえ、本研究では、問題発見能力の客観的把握に注力している。

最後に、対象作物・圃場環境の定量的測定ツールについて述べる。このツールは、圃場に設置した環境センシングシステムによるリアルタイムでの圃場環境測定システムと、分光計測等による作物の非破壊連続計測による内部状態把握システムにより構成される。圃場環境測定システムとしては多種多様な取り組みが既に存在するが、本研究実施に際しては、他のツールとの連携が必要な点、並びに作物の非破壊連続計測デバイスを組み込むことで、圃場における計測ツールとしてのパッケージングを視野に入れて独自に開発したものを用いている。このツールは、作物の状態や環境の変化に対して、どの

ような視線や気付きに基づく判断を行っているかを一元的に把握するためのもので、前述の2ツールとの併用により、それぞれの因果・相関性の詳細な検証・分析を可能にする基盤技術としての活用が見込まれる。このうち、非破壊連続計測は、圃場での糖度非破壊連続計測に関する既存取り組みに基づき、その一部成果を複数の機能性成分等へと適用する事を目したものである。圃場環境の変化に伴う作物内部状態の変化を把握すると共に、篤農家等が着目し評価を下した作物部位のその時点の状態を数値化することで、定性的な表現になりがちな熟練農家の判断を定量的に捉える事が可能となる。

次章において、これら3ツールを組み合わせた基盤プラットフォームの圃場試験の概要とそ

こから得られた知見について述べる。

3. 施設栽培トマトへの基盤プラットフォーム適用

3.1 実験概要

前章において概略を示した基盤プラットフォームを栃木県のサンファーム・オオヤマに試験的に適用し、その効果を検証した。被験者は、農林水産省がトマト栽培分野の「農業技術の匠」として認定する栃木県栃木市の熟練農業従業者大山寛氏と、大山氏が技術指導を行うJAしもつけトマト生産部会の農業従業者2名（就農6年，2年）である。なお、対象作物・圃場環境の定量的測定ツールのうち、対象作物の非破壊

表-1 気づきデータ記録システムの入力項目

分類	注目部位	項目	分類	注目部位	項目
環境情報	(ハウス内)	温度	生体の状態 (続き)	茎(生長点付近)	太さ
		湿度			硬さ
		日射			節間長
		病虫害			
	土	土壌水分		茎(中ほど*)	太さ
		肥料			節間長
土壌病害		病虫害			
生体の状態	葉(生長点付近)	色	茎(根元付近)	病虫害	
		萎れ具合		気根(不定根)	
		大きさ	花	花の色	
		密度		着花数	
		厚み		形	
		葉水	果実 (これから大きくなるもの)	果実の色	
		葉先枯れ		着果数	
		病虫害		実の形	
		葉(生長点以外)		色	大きさ
	乾燥程度			果実 (収穫前のもの)	果実の色
	大きさ				着果数
	密度		実の形		
	厚み		大きさ		
	葉水				
	葉先枯れ				
	病虫害				

* 果実がピンポン球くらいに肥大した果房直下か直上あたり

計測ツールに関しては、平成 24 年度末に研究終了を予定している別プロジェクトの成果を適用予定であり、本実証実験に際しては試験的な検証に限定している。視覚情報分析ツールに用いるアイカメラとしてモバイル型眼球運動計測装置 EMR-9 (ナックイメージテクノロジー社製) を適用し、視線計測と発話記録を実施した。判断入力ツールに用いるスマートフォンとして Galaxy S(Samsung 社製, Android OS) を適用し、表-1 に示す項目を判断入力ツールに実装した。これらの項目について、農家が見回りを実施する際に、気になった部位と項目を選択し、状態が通常通りの場合は「0」を、通常よりも良かった場合には「+」を、悪かった場合には「-」を選択すると、入力時間の情報とともに記録される。次に、圃場環境測定システムは CompactRio (National Instruments 社製) をプラットフォームとし、各種の圃場環境データをリアルタイムで計測可能である。取得可能なデータの種類の種類は、土壌の温湿度・EC 値、風力、大気温湿度、日照等であり、目的に応じて内容を変更することが可能である。なお、これら 3 ツールを統合した基盤プラットフォームは、MS-Windows7 OS (Microsoft 社製) 上で稼働する LabVIEW (National Instruments 社製) を動作環境としている。なお、試験的な適用実証は、平成 23 年度に 2 回実施した。

3.2 実験結果

実験結果について、限られた紙面である事を踏まえ、得られた主要な知見のみまとめる。

図-1 に熟練農家 (大山氏) と、同氏に指導を仰ぐ農家の視線データの見回り時の注視点分布を示す。熟練農家は生長点付近を中心とする高い位置への注視が多いのに対し、非熟練農家はむしろ中段あたりの注視が多いことが示されている。これらの視線の挙動をさらに詳細に分析するために、視線情報・視野画像情報分析ソフトウェアを用いて分析したところ、非熟練の方が全般的に動きがやや大きい傾向が見られた (図-2)。これは、熟練者は歩きながら進行方向に頭を向け、主に目の動きによって必要な情報を収集しているのに対し、非熟練者は歩きながら見ている対象の前を通り過ぎる時にはその対象の方に体を向ける動きが見られたことに由来すると考えられる。後者の非熟練者の動きは、より自分の体に近いところにある作物の状態を、熟練者よりも時間をかけて把握しようとする動きであると考えられる。

次に、判断入力ツールにより得られた内容を図-3、図-4 に示す。記録件数は、熟練者が自らのハウスで観察した場合を除き、熟練者が他者と比べて圧倒的に多かった。部位別にこれを見ると、熟練者は生長点付近の葉や、中ほどの茎に関する気づきの数が他の 2 名の農家に比べて多かった。また、チェック項目別の内訳を見ると、全般的に記録件数が多いことも影響してか、

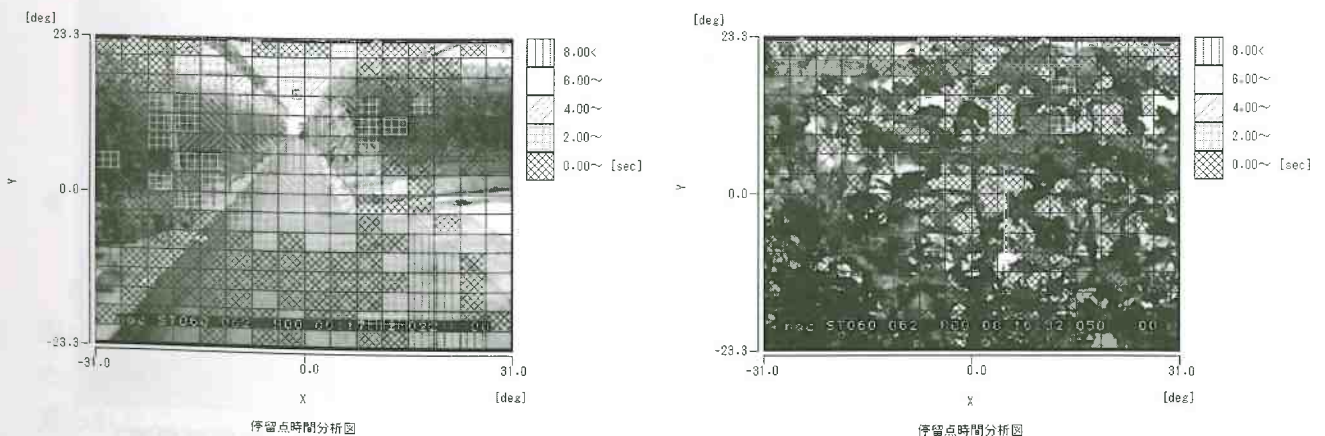


図-1 見回り時の注視点分布 (左側：熟練農家, 右側：非熟練農家)

熟練農家の記録内容は他の2名に比べて多岐にわたっていた。また、発話データを分析したところ、熟練者は常に観察された事象についてその原因や理由、さらにはその後の対応も考えていることが示される内容が多く、語る際の言葉は具体的でわかりやすい。実験後に実施したインタビューに際しても、個々の入力された項目が今後及ぼす予測についての質問についても、はっきりとした回答をしていた。これに対し、就農2年の農家の発言は抽象的なものが多く、状態についての質問をされた際には、その質問に対する答えを述べるだけで、その原因やそれに対する改善策を述べることは少なかった。生長点付近の状態は、作物に対して行った処置の結果が現れやすい部位であるとともに、これからその作物がどのような状態になっていくかを知る上でも重要な部位であると言える。熟練者において生長点付近の葉や茎に関する気づきの数が多かったという結果は、上記発話データに見られる気づきがそのままデータにも反映され

ていると考えられる。

さらに、視覚情報分析ツールと判断入力ツールとの関係性について検討したところ、熟練農家は全般的に生長点に対する注視が多く、気づきデータにおいても生長点付近の葉や茎に関する項目のチェック件数が多いことが示唆されている。さらに、気づきデータを記録する前の視線の動きに着目すると、熟練農家は記録する部位のみならず、他の部位にも視線を向けているのに対し、非熟練農家は、気になる部位に対する注視の度合いが高くなる傾向が見られた。たとえば生長点に関する項目をチェックする前であれば、熟練農家は生長点を中心に見るものの、それ以外の部位にも目を向けて全体の様子を把握しようとしているのに対し、非熟練農家は生長点に注意を集中しており、他の部位にはほとんど視線を向けない状況も見受けられた。

この他に、状況に即した相関性が見られる状況が多数存在しており、更なる分析を進めると共に、実証も順次進めているところである。

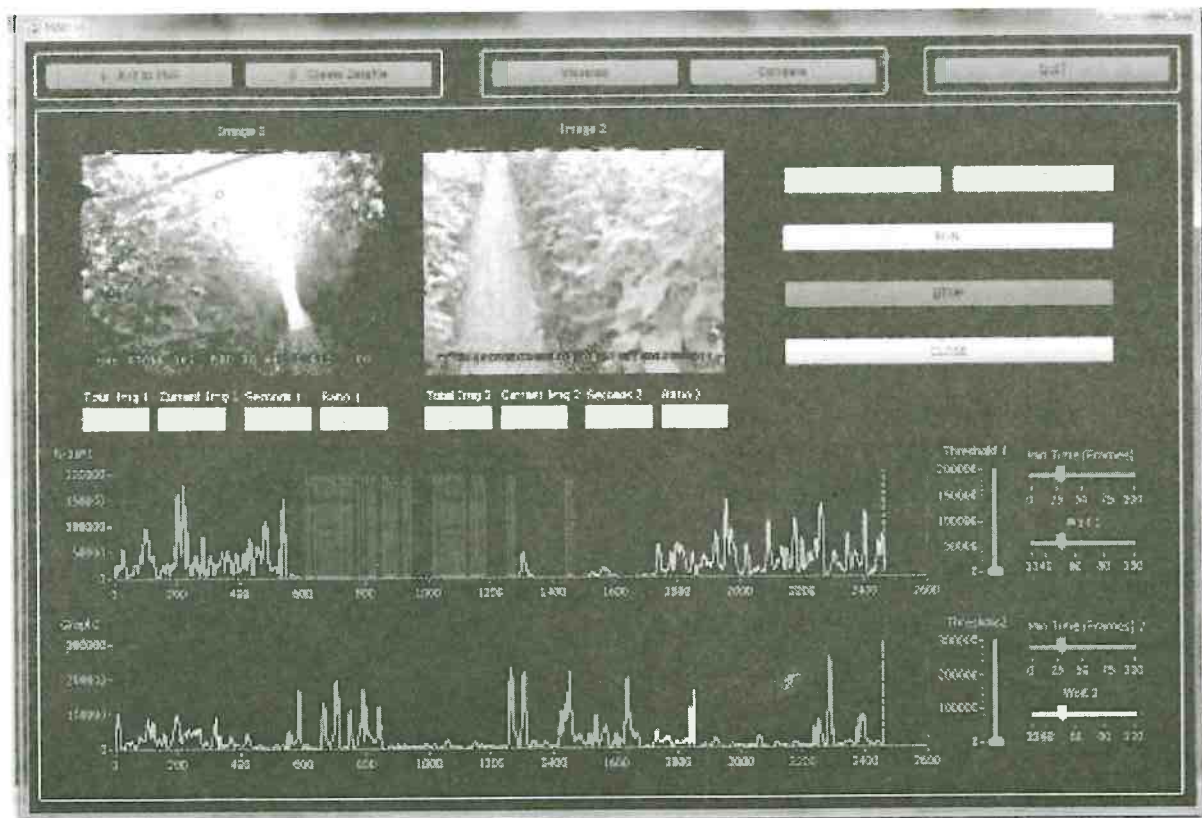


図-2 ハウスを見回る際の視野映像の変化（左・上側：熟練農家、右・下側：非熟練農家）

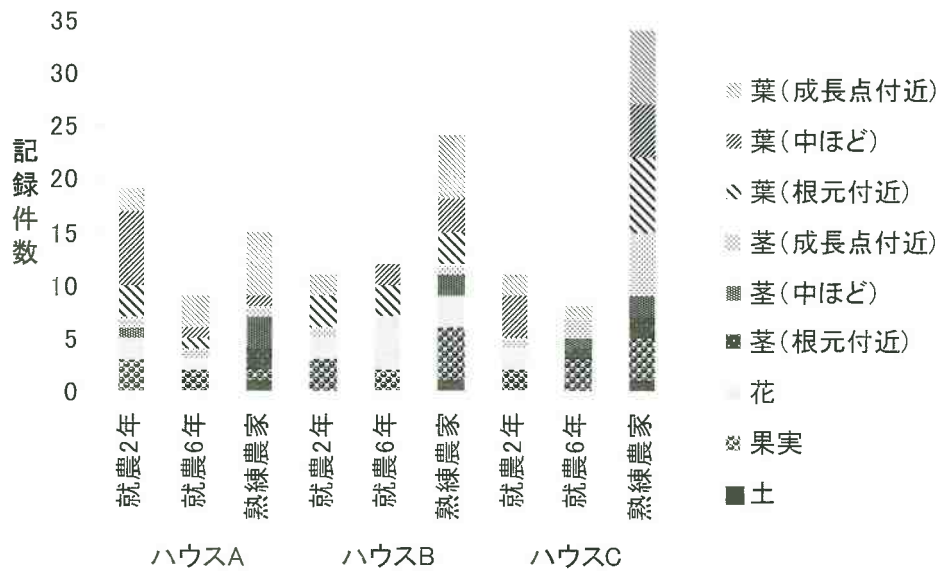


図-3 記録された気づきデータ (部位別)

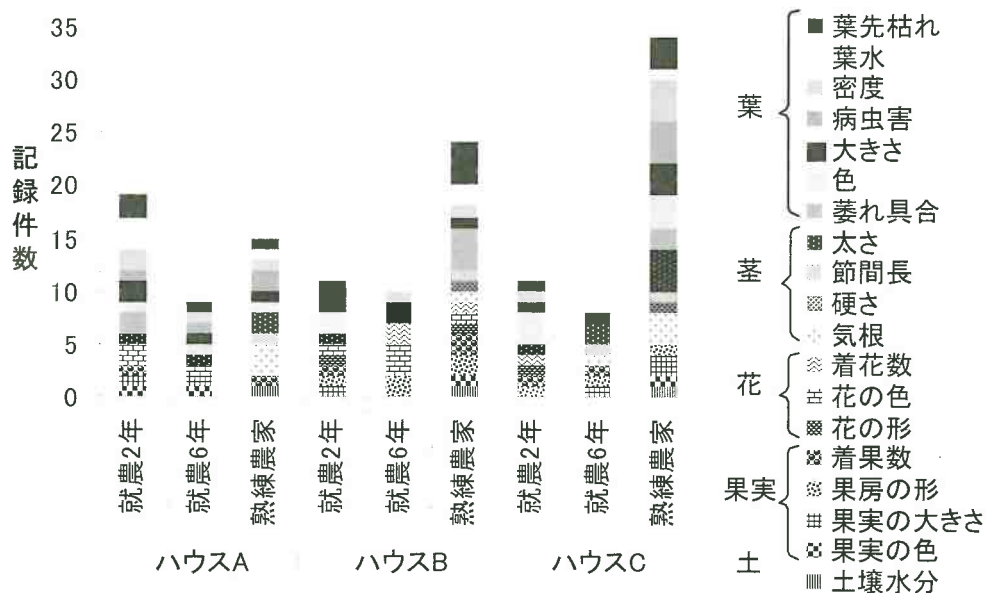


図-4 記録された気づきデータ (チェック項目別)

4. 考察, 並びに今後に向けて

前章で示したように、圃場での見回りをする際の農家の視線データには個々の差異が示された。無意識のうちに目を向けている部位に差が見られたことから、判断のもととなる情報受容の段階で、すでに熟練度による差が生じている

ということが示唆された。また、これに基づく意識的な判断の内容を示す気づきのデータにおいても、熟練度による差が見られたが、その差は、視線データに見られる差とのかかわりを示唆するものであった。さらに、農家が見回りをする際の発話データの分析により、熟練者は観察された事象についてその原因や理由からその

後の対応に至るまで、考えを整理していることが示されたが、このことは、情報を取り込む段階で最も重要な情報を中心に他の関連する周辺情報も取り込み、観察された事象を時間的にも空間的にも周辺情報とのかかわりにおいて解釈することで可能となると考えられる。これらのデータを活用することで、個々の農家が自らの特徴を他者との比較により把握することが容易になると考えられる。

今後は、様々なデータとの動的連携を実現するマッシュアップ型のプラットフォーム基盤としての発展を図り、個々の農家の技能の違いを各人が認識し改善に務める際に有効なソリューションとしての有用性を、異なる圃場、農作物を対象に検証していく予定である。

参考文献

- 1) 福田亮子, 吉田可奈子, 松原仁, 工藤正博, 神成淳司, "Visual information perception of expert farmer". Conference Abstracts of ECEM 2011 (16th European Conference on Eye Movements), p.268 (2011)
- 2) 福田亮子, 吉田可奈子, 松原仁, 工藤正博, 神成淳司, "視線計測を用いた熟練農家の特徴抽出の試み", 第 25 回人工知能学会全国大会予稿集(2011)
- 3) 松原仁, 福田亮子, 工藤正博, 神成淳司, "農作業視覚情報行動分析手法および意思決定支援のためのデータマイニング基盤技術", 第 25 回人工知能学会全国大会予稿集(2011)
- 4) 松原仁, 神成淳司, 福田亮子, "熟練農家のノウハウの活用を目指して", 第 12 回人工知能学会知識・情報・技能の伝承支援研究会講演集(2011)
- 5) 神成淳司, "農業情報学", 情報処理, Vol.51, No.6, pp.635-641(2010)
- 6) 神成淳司, 工藤正博, "IT から AI へ -匠の技を伝える仕組み-", JA 経営実務, Vol.814, pp.53-63(2010)
- 7) 神成淳司, 松原仁, 野田五十樹, "もう一つの AI - Agriculture Informatics-", 第 25 回人工知能学会全国大会予稿集(2011)

◀ 文献情報 ▶

G1 期のドナー細胞はウシ体細胞核移植胚の割球間における均一な遺伝子発現を促す

Donor Cells at the G1 Phase Enhance Homogeneous Gene Expression Among Blastomeres in Bovine Somatic Cell Nuclear Transfer Embryos.

D. Iwamoto¹, A. Kasamatsu¹, A. Ideta², M. Urakawa², K. Matsumoto¹, Y. Hosoi¹, A. Iritani¹, Y. Aoyagi² and K. Saeki¹

¹Department of Genetic Engineering, Kinki University, Kinokawa, Wakayama, Japan.

²ZEN-NOH Embryo Transfer Center, Kamishihoro, Hokkaido, Japan.

Cellular Reprogramming, 14(1):20-28 (2012)

体細胞核移植技術により、種々のほ乳類におけるクローン動物の作出が報告されているが、いまだにクローン動物の作出効率は低い。ドナー細胞の細胞周期同期化が、クローン動物の作出効率向上のための重要な因子であることが報告されており、Wilmur らによる最初の体細胞クローンヒツジの作出以来、血清飢餓培養により細胞周期を G0 期に同調させた体細胞がドナー細胞として広く用いられてきた。一方、クローン動物作出には G0 期である必要は無いとの報告もあり、ウシやブタにおいては、体細胞核移植胚が分娩までいたる成功率は、G0 期細胞よりも G1 期細胞をドナー細胞として用いた場合に高いことが報告されている。しかしながら、なぜ作出効率が高まるかについては明らかではなかった。そこで、本論文においては、この原因を解明するために、β アクチンプロモーターに接続したルシフェラーゼ遺伝子を導入した

G0 あるいは G1 期細胞をドナー細胞として用いたウシ体細胞核移植胚における初期胚発生時期でのルシフェラーゼ活性の変化が検討された。細胞融合後 60 時間でウシ胚の胚性ゲノムの活性化が起こるが、この時期に G0 期細胞による体細胞核移植胚に比べて、G1 期細胞による体細胞核移植胚の方が、ルシフェラーゼ活性が高かった。さらに、G1 期細胞による体細胞核移植胚の半分は割球間で均一な発光を示したが、G0 期細胞による体細胞核移植胚の半数以上はモザイク状の発光を示した。体細胞核移植胚における異なる発光パターンの原因をあきらかにするために、発光の有無にかかわらず全ての割球における数種類の内因性遺伝子の発現と DNA メチル化レベルが測定された。その結果、発光した体細胞核移植胚における発生に参与するいくつかの遺伝子 (*H2AFZ*, *GJA1* と *BAX*) の発現と DNA メチル化のレベルは、体外受精によって生産される通常胚のそれらと同じであった。G1 期細胞による体細胞核移植胚のより高い成功率は、胚性ゲノム活性化時にすべての割球間で均一な遺伝子発現が起こることが一因であると考えられる。

体細胞核移植技術を実用化・普及につなげるためには、クローン動物の作出効率をさらに高める必要がある。核移植胚での遺伝子発現や DNA メチル化レベル等のさらなる解析によるクローン技術の高度化により、クローン動物の作出効率が飛躍的に向上することを期待したい。

(抄訳：下司雅也, GESHI Masaya, 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 畜産草地研究所)

◀ 文献情報 ▶

トマトVe1免疫受容体は複数の病原菌のエフェクターを認識することが、ゲノムとRNAの大規模次世代配列解析から明らかになった

Tomato immune receptor Ve1 recognizes effector of multiple fungal pathogens uncovered by genome and RNA sequencing

R. Jonge¹, P. van Esse¹, K. Maruthachalam², M. D. Bolton³, P. Santhanam¹, M. K. Saver¹, Z. Zhang¹, T. Usami⁴, B. Lievens^{5, 6}, K. V. Subbarao² and B. P. H. J. Thomma^{1, 7}

¹ Laboratory of Phytopathology, Wageningen University, The Netherlands, ² Department of Plant Pathology, University of California, Davis, USA, ³ Agricultural Research Service, Northern Crop Science Laboratory, US Department of Agriculture, Fargo, USA, ⁴ Graduate School of Horticulture, Chiba University, Japan, ⁵ Scientia Terrae Research Institute, Belgium, ⁶ Laboratory for Process Microbial Ecology and Bioinspirational Management, Lessius University College, Belgium, ⁷ Center for BioSystems Genomics, Wageningen, The Netherlands
Proc. Natl. Acad. Sci. USA, March 13, 2012, doi: 10.1073/pnas.1119623109

植物病原菌は植物を病気に導くためにエフェクターと呼ばれる物質を生産し、分泌する。また、植物側では、エフェクター物質を感知することでこの病原に対する抵抗性を導くための受容体を備えているものもある。植物病原菌が感染植物中で生産するエフェクター物質には、その作用機構を含めて様々なタイプが存在していることが明らかとなっている。本論文では、トマトから単離された免疫受容体 Ve1 に対する病原菌側のエフェクターの単離解析を報告している。

Ve1 は、トマトの土壌伝染性糸状菌であるバーティシリウム属菌(*Verticillium dahliae*)のレ

ース 1 に対する免疫受容体である。それに対して菌側のエフェクターに関しては、これまで様々な手法を用いた試みが行われてきたが未知であった。著者らは、Ve1 に非感受性のレース 2 を含めた 10 系統のゲノム配列を次世代シーケンシングにより決定したところ、レース 1 特異的な約 50kb の領域が存在していることを見いだした。さらに、*V. dahliae* のレース 1 を感染した植物の転写物を経時的に大規模解析したところ、50kb の特異的領域に存在する一つの遺伝子が感染時間経過に従って発現が上昇することを発見した。この遺伝子を *Ave1* (*Avirulence on Ve1 tomato*) と名付け、詳細な解析を行ったところ、*Ave1* が Ve1 を介した病害抵抗性反応を誘起するエフェクター分子であることを明らかにした。また、*Ave1* はトマト以外でもシロイヌナズナにおいて *V. dahliae* の病原性因子として機能した。

Ave1 の相同遺伝子は、植物のナトリウム利尿ペプチドファミリー (Plant natriuretic peptides; PNPs) に属し多くの植物、ならびにいくつかの病原菌のゲノム中にも存在していた。特にトマトで萎凋病を引き起こす *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* から単離した *FoAve1* に関しては、トマトにおいて Ve1 依存的抵抗性を引き起こすことを示し、トマトの Ve1 が複数のエフェクターを認識することを明らかにした。さらに、遺伝子系統解析の結果や、*Ave1* 領域がゲノム中においてトランスポゾンに近接して存在していること等の結果から、*Ave1* は植物からの遺伝子水平伝搬によって、*V. dahliae* と他の *Ave1* 相同遺伝子を持つ種にもたらされたものであることを示唆している。

バーティシリウム属菌には、様々な植物に対して病原性を示すものが含まれることが知られている。本研究による成果は病害抵抗性機構の解明のみならず、*Ave1* による病原性の制御や免疫受容体 Ve1 を介した病害抵抗性の制御、抵抗性植物の作出などにも重要な知見を与えるものと考えられる。

(抄訳：高田美信, TAKADA Yoshinobu, 東北大学大学院 生命科学研究科)

◀ 文献情報 ▶

出芽酵母の泡立ちに関与する
遺伝子 *FPG1* の機能解析

FPG1, a gene involved in foam formation in
Saccharomyces cerevisiae

Lucía Blasco¹, Patricia Veiga-Crespo^{1,2}, and
Tomás G. Villa^{1,2}

¹Department of Microbiology, Faculty of
Pharmacy, University of Santiago de
Compostela, Campus Vida, 15782 Santiago
de Compostela, Spain

²School of Biotechnology, Faculty of
Pharmacy, University of Santiago de
Compostela, Campus Vida, 15782 Santiago
de Compostela, Spain

Yeast 28: 437-451 (2011)

出芽酵母によって引き起こされる泡立ちとは、発酵工程の初期や、スパークリングワインの場合には発酵終盤に見られる現象である。この泡は、もし発酵タンクの上部に蓄積すれば望ましくない副産物となるが、ビールやスパークリングワインにとっては重要なものでもある。したがって、泡立ちに関連する遺伝子を理解することが重要であり、得られる最終産物に応じてそれらの遺伝子を抑制したり増強することが求められる。筆者らはワイン醸造に用いられる出芽酵母において初めて泡立ちに関連する遺伝子を同定し、この遺伝子を *FPG1* (foam-promoting gene; 泡立ち促進遺伝子) と名付けた。*FPG1* 遺伝子産物は、酵母細胞壁マンノプロテイン前駆体の典型的な特性及びモチーフを有していた。泡立ちは細胞壁のマンノプロテインが酵母細胞の疎水性を増大させることにより液面に浮く細

胞の割合が増加し、さらに泡を安定化させることによって引き起こされると考えられている。*FPG1*の構造予測の結果から、このタンパク質は細胞壁タンパクと相同性があるだけでなく、細胞壁に局在すること、1,6-β-グルカンを介して細胞壁に結合することが示唆されていた。この可能性についてさらに調べるために、野性株と $\Delta FPG1$ 株について細胞壁溶解酵素への感受性試験を行った。その結果、 $\Delta FPG1$ 株では細胞壁溶解酵素に対する感受性が著しく低い(約50%)ことがわかった。48時間生育させた場合にはいずれの株においても細胞壁の厚さが増大し、細胞壁溶解酵素感受性が減少するため、キチンのような他の多糖が *FPG1*と置き換わることによって細胞壁溶解酵素耐性を高めると考えられる。実際に、 $\Delta FPG1$ 株は、野性株よりも高いカルコフローホワイト応答性を示したことから両株において、カルコフローホワイトに反応する多糖の量が異なることが示唆された。

次に筆者等は *FPG1*が酵母による泡立ちに関与することを調べるために、野性株と $\Delta FPG1$ 株を用いて小スケールでの発酵試験を行った。発酵開始後 24 時間後には泡の量が野性株でより多く、48 時間後には $\Delta FPG1$ 株において泡が崩れているのが観察されたことから、*FPG1*が実際に泡立ちと泡の安定化に関与していることが示された。これらの結果から、自然変異等により *FPG1*の発現量が異なる株が取得され高泡をコントロールした、新たなワイン醸造の開発に期待が寄せられる。

(抄訳：高橋 徹, TAKAHASHI Toru, 独立行政法人 酒類総合研究所)



バックナンバーのご案内

第 149 号

2012 年 1 月 15 日発行

特集 「植物工場の研究開発」

(総説) 植物工場にかかわる諸問題と研究開発

～太陽光利用型植物工場と完全人工光型植物工場～

..... 丸尾 達

人工光下の植物の光合成と有用物質合成

..... 後藤英司・彦坂晶子・石神靖弘

農研機構における植物工場生産技術の開発 高市益行

植物工場での甘草生産に適したワラルカンゾウの選抜と育成

..... 吉松嘉代・河野徳昭・乾 貴幸

医薬品原材料を生産する植物工場の開発

..... 松村 健・高砂裕之

国内情報

高齢・女性農業者における農業機械の運転・操作に関連する

身体機能の調査 富田宗樹・

杉浦泰郎・土師 健・塚本茂善・皆川啓子・原田一郎

文献情報

ウシ卵核胞期卵子への季節の影響は、発生能の低下した胚

における転写レベルの変化として発現する

..... (抄訳: 下司雅也)

UVR8による中波長紫外線受容の構造基盤

..... (抄訳: 高田美信)



バックナンバーのご案内

第 148 号

2011 年 11 月 15 日発行

特集 「果樹研究の最前線」

(総説) 果樹研究最前線 長谷川美典

カンキツの機能性成分に関する最近の研究 小川一紀

ナシ萎縮病の原因の特定 金子洋平・中村 仁・塩田あづさ・鈴木 健・幸由利香

輸送によるイチゴ果実の傷みを大幅に軽減できる包装容器

の開発 曾根一純・伊東良久一

果実の硬度の非接触低侵襲測定器

..... 犬塚 博・山川秀敏・大串和弘・水野保則

地域の先端研究

重イオンビーム照射を利用した吟醸酒用の新しい酵母の開

発 横堀正敏・阿部知子

文献情報

L-carnitine による体外成熟培養中の脂質代謝の亢進は、プ

タ卵子の核成熟と卵割率を向上させる

..... (抄訳: 下司雅也)

ケシ科自家不和合性の花粉側認識因子Prpsはシロイヌナズ

ナでも機能する (抄訳: 高田美信)

拮抗的な遺伝子転写産物が新しい生育環境への適応を調節

する (抄訳: 渡辺大輔)

編集後記

150号をお届けします。本号では特集として「ITを活用した農業技術の新技术と展開」を取り上げました。

総説で澁澤 栄氏（東京農工大学）にITを活用した農業技術の新技术と展開についてご執筆戴くとともに、野口 伸氏（北海道大学）にロボットトラクタによる無人農作業システム、林 茂彦氏（生研センター）らに吊り下げ式高設栽培ベッドに対応したイチゴ収穫ロボット、濱田安之氏（北海道農業研究センター）に農業機械におけるシンプル化と情報化・高度化を両立する通信制御共通化技術、横堀 潤氏（(株)ズコーシャ）らにリモートセンシング技術を活用したIT農業支援システム、南石晃明氏（九州大学）に情報通信技術ICTによる農業技術継承と農業人材育成、神成淳司氏（慶應義塾大学）らに視線計測等による熟練技能の継承に向けた基盤プラットフォームの検討について、それぞれご執筆戴きました。

また、本号の文献情報は、下司雅也氏（畜産草地研究所）、高田美信氏（東北大学）、高橋 徹氏（酒類総合研究所）にご執筆戴きました。

ご多忙な中玉稿をお寄せ戴きました執筆者各位に深甚の謝意を申し上げます。（佐々木記）

本誌著作物の複写利用等について

本誌掲載の論文・記事の複写・転載等を希望される方は、執筆者ならびに生物系特定産業技術研究支援センター（生研センター）の許諾を得て行って下さい。

生研センター 業務のご案内

～研究開発を強力に支援いたします～

提案公募型の委託研究制度

- 民間企業の実用化段階の研究支援なら **民間実用化研究促進事業**
- 技術シーズ開発のための基礎研究や
応用・発展研究及びベンチャー創業を目指すなら **イノベーション創出基礎的研究推進事業**

その他の支援制度

- 「共同研究先のあっせん」、「遺伝資源配布先のあっせん」などもお気軽にご相談下さい。

詳細は、生研センター企画部企画第1課までお問い合わせください。

ブレインテクノニュース 第150号

平成24年3月15日発行

発行人 前川 泰一郎

編集人 浅野 将人

発行所 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構

◎生物系特定産業技術研究支援センター（生研センター）

〒331-8537 埼玉県さいたま市北区日進町1-40-2

TEL 048-669-9170 FAX 048-666-9266

e-mail brainki1@ml.affrc.go.jp

URL <http://www.naro.affrc.go.jp/brain/shien/>