

【MEMS・ロボット特集】 農業用ロボット**農業用ロボットについての世界の最新状況****はじめに**

ロボットや自律型システムの農業への応用は、かなり以前から行われている。実際、多数の先進国では「**ロボット農場**」はすでにある程度現実のものになっているといえよう。酪農用への応用としての**ロボット搾乳システム**は、以前から広範に利用されている。国際ロボット連盟 (International Federation of Robotics: IFR) の年次報告書 World Robotics 2008 によれば、世界中で約 1 万の搾乳システムが使用されているとのことである。(文献 1) また、いくつかの農業用重機のメーカーは、半自動コンバイン収穫機および類似の農作業用車両を開発した。他の企業は(一部の個人農場経営者も)遠隔無人航空機 (unmanned aerial vehicles: UAV) を開発し、観察、計画および農薬散布といった多数の作物関連の用途に使用している。

こうしたロボットの開発は日本、米国、欧州で進行中であり、特に日本では、民生用(非軍事用)ヘリコプターを使用した農薬散布、稲作、雑草除去および果物の摘果といった先進事例がある(文献 2)。

IFR は、農業用ロボットをより広範なカテゴリーである**野外ロボット**の中に分類している(本稿では、農業用ロボットに調査を限定)。IFR によれば、「**広域(大面積)用途**(種まき、雑草除去、農薬散布および広域収穫)、**造林**(樹木の苗床生産)および**園芸**(フルーツや野菜の摘果)の分野で、多数の農業用ロボットの開発が報告されている。しかし、ほとんどの用途が先進的センサーデータ処理に依存しているため、サービスロボットは商業ベースでの幅広い使用には至っていない。先進的センサーデータ処理の信頼性が要求されるレベルに達するには、未だ乗り越えるべき問題が残っているからである。オートメーション化した機械の機能性、構造安定性、および費用対効果を調査する集中的な研究が進行中である。摘果ロボットは、現在約 10 カ国で開発中である。これらのロボットの目的は、主としてビデオ画像の色調または輪郭分析を用いて、熟した果実を探知して示すことである。また、しなびた葉を取り除くなどして、植物を維持するよう設計されたロボットもある。」(文献 1)

米国では、農業用ロボットおよび自律型農場システム開発の代名詞ともいえる企業は **John Deere 社**(Deere & Company、イリノイ州モリソン)である。たとえば、同社は **iRobot 社**(マサチューセッツ州バーリントン)および **カーネギーメロン大学**(CMU、ペンシルバニア州ピッツバーグ)のロボット研究所とパートナーを組み、**R-Gator 無人地上車両**(unmanned ground vehicle: UGV)を開発した。Deere 社は、**農業用車両のための各種自動誘導システム**を製造している。(文献 3 および 4)

CMU はまた、農場向けの技術を広範に、かつ積極的に開発している。CMU 国立ロボット工学センター (National Robotics Engineering Center: NREC)^{注1} は、**未来型農場**用の各種ロボットを研究している。図 1 に示すように、目標とする用途には一般的に**種まき、収穫、草刈り、農薬散布、燃料補給、穀物/農産物の収穫、農場の監視**が含まれる(文献 5)。特殊なプロジェクトには、US Sugar 社 (フロリダ州クレウiston) 向けの**サトウキビ自動植え付け機**の開発が含まれる。

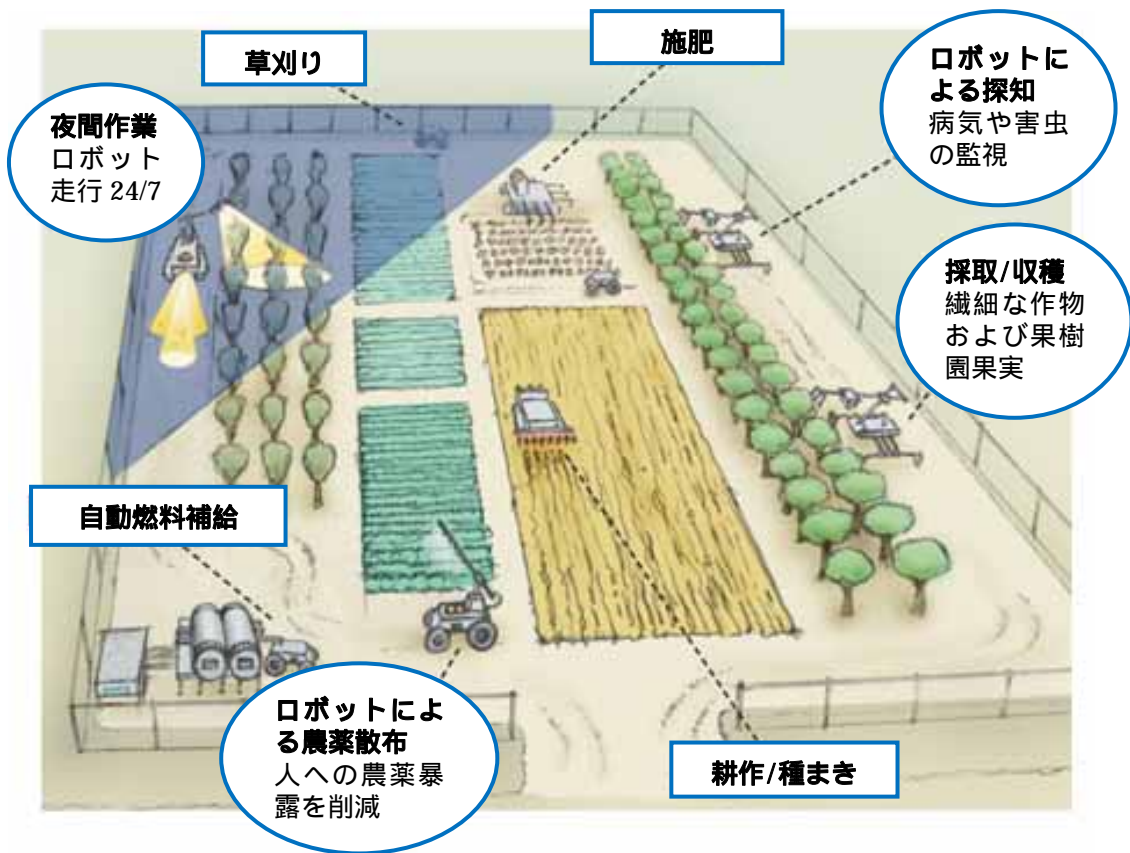


図 1 NREC の「未来農場」

出典：NREC (文献 5)

欧州では、いくつかの企業が農業用途、特に搾乳ロボットの商業ロボットシステムを開発した。こうした企業の中で恐らく最も名の知れた企業は、**Lely 社**^{注2} (オランダ、マーススライス) で、搾乳用途を超えた製品を製造している。同社は、農場向けの**自動フェンス設置システム**を開発し、**畜舎掃除ロボット**を販売している。IFR によれば、「ソーラーパ

注1 <http://www.rec.ri.cmu.edu/projects/ag/index.htm>

注2 www.lely.com

ソーラー（太陽電池）で動く **Lely Voyager** 自動放牧システム^{注3}は1日かけて細かく切った新鮮な飼料を蒔く。一対の可動式プラットフォームは Bluetooth 通信により連動している。**Lely Discovery** 可動式畜舎掃除機は、畜舎の衛生状態を改善するための柔軟性に富む解決策を提供する。可動式ロボットは、作用領域を最大化するようプログラムできる。」（文献1）同社のロボットシステムを図2に示す。



図2 Lely社の農業用ロボット

出典：Lely; IFR（文献1）

これに加え、多数の重要な研究イニシアティブが世界中で進行中である。たとえば、**欧州技術プラットフォーム**（European Technology Platform: ETP）には農業に焦点を当てた研究領域が含まれる。（文献1）

その他の研究

農業ロボットの分野で進行中の他の活動を確かめるために、二次研究ツールを用いて各種検索を行った。これは、海外（日本以外）の研究グループおよび技術開発会社を対象とした、最近の知的財産、研究論文、および無料で入手できる企業情報の分野でのR&D（研究開発）および商業化活動に関するものである。結果は、以下の通り。

Explorer and Scan：ストラテジック・ビジネス・インサイト（SBI）社のエクスプロ

注3 2台のロボットが Bluetooth を通じて連携し、電牧線を使って放牧している牛たちを自動的にガイドするロボットシステム（牧羊犬ロボットシステム）。専用コントローラに、1日のエサ（牧草）の量を入力すると、ロボットが牛たちの前に電牧線を張り、牛たちがちょうど良いペースでエサを食べられるように速度を調整しながら自動的に移動する。（参照：「オランダで牧羊犬ロボット「Voyager」が登場 - Bluetooth を通じて2台が連携」、マイコミジャーナル、2007年6月5日、
（<http://journal.mycom.co.jp/news/2007/06/05/007/index.html>））

Bluetooth（ブルートゥース）は短距離無線通信技術の一つで、数メートル程度の機器間接続に用いられ、ケーブルを使わずに接続し、音声やデータをやりとりすることができる。（参照：IT用語辞典、
（<http://e-words.jp/w/E38396E383ABE383BCE38388E382A5E383BCE382B9.html>））

ーラー・アンド・スキャンプログラム^{注4}を使用した情報の要約で、これが出発点となる。

研究論文検索 : Google Scholar を用いた過去 5 年分の研究論文および特許の検索

特許活動検索 : esp@cenet を用いた過去 5 年分の特許の検索

Explorer and Scan プログラム

SBI 社の Explorer 研究プログラムには、農業用ロボットを含む各種用途向けのロボット開発に関するものが含まれている。

・米国で農業用ロボットの需要が増加

2008 年に Explorer は、**米国政府による国境警備の強化**により移民労働力の供給の制限が見込まれることから、**農業用ロボットが必要になる**と確信している米国の企業があると報告した(文献 6)。2007 年にカリフォルニア州 Farm Bureau^{注5}は、以下のような推定を発表した。カリフォルニア州は米国が供給する果実、野菜、ナッツのほぼ半分を生産している、この豊富な農産物を収穫するためには、夏の間 45 万人の労働力が必要である(他の季節には、この半分の労働力が必要)。この仕事を成し遂げるのに、現在は安い労働力にかなり依存している。2007 年 9 月 6 日の AP の記事によれば、米国労働省は全農場労働者の半分以上が不法移民であると推定しているとのことである。この 1 年程度、カリフォルニア州の農民は労働力不足の打撃を受け、果実を畑に放置して(収穫できずに)腐らせるという事態を招いた。こうした要因により、農業用ロボットの開発に拍車がかかっている。たとえば、Vision Robotics 社^{注6}(カリフォルニア州サンディエゴ)は、カリフォルニア柑橘類研究委員会(California Citrus



図3 Vision 社の果実収穫システム構想

出典 : Vision robotics (文献 7)

注4 非公開(有料)データベース

注5 カリフォルニア州で最大の NGO、NPO の農業生産者団体。53 の郡レベルの支部から構成される(<http://www.cfbf.com/>)。

注6 www.visionrobotics.com/

Research Board) およびワシントン州リンゴ委員会 (Washington State Apple Commission) 向けに農業用ロボットを開発している(文献6)。同社のロボットシステムは、果樹園あるいはブドウ畑を細かく調べ、当該領域内の果実の位置や熟度を示す三次元マップを作成する。さらに、カリフォルニア州立大学フレズノ校の研究者たちは、果実の化学成分を測定できるシステムを開発中である。これにより、収穫に最も適した熟度で果実を収穫できるようになる(文献6)。Vision Robotics社はまた、図3に示すような収穫システムを開発中である(文献7)。

・果実および繊細な生産物の収穫

オートメーション化したシステムは、すでに低品質な果実や野菜の収穫に利用されている。しかし、最高級品の農産物に損傷を与えることなく収穫できるロボットはまだ開発されていない(文献6)。たとえば、果実は傷みやすいため、ロボットメーカーはそうした損傷を防ぐ特殊な作業用マシンを開発する必要がある。とはいえ、いくつかの解決策が存在する。2002年にExplorerは、発明家のColm McKeown(アイルランド、ベルファースト)が、マッシュルームを選別して損傷を与えることなく収穫するロボット装置を開発して受賞したと報告した(文献8)。その後、彼は2005年にその装置の特許を取得した(文献9)。

文献検索

様々な研究機関が2009年に発表した論文の中から代表的なものを表1に示す。

表1 農業用ロボットおよびオートメーション化に関する研究論文

研究機関	タイトル
ワーゲニンゲン大学 (オランダ)	「ロボットによる雑草除去のための自律型プラットフォームの体系的設計」(文献10) 「キュウリ収穫ロボットのための最適な作業用マシンの設計」(文献11)
セマグレフ大学(フランス)	「畑での正確な操作のための四輪操舵可動式ロボットの自動誘導」(文献12)
アイオワ州立大学(米国)	「リアルタイムの立体映像を用いたトウモロコシ植え付けセンシング」(文献13)
浙江工業大学(中国、杭州)	「サイクロイド運動に基づくキュウリ収穫ロボット作業用マシンの端末スライディングモード制御を伴う軌道追跡」(文献14)
江蘇大学食料生物工 学部(中国、鎮江)	「柑橘類採取ロボットのためのリアルタイムの走行コース計画」(文献15)
ホーエンハイム大学 農業工学研究所(ドイツ)	「バイオマス処理ロボットのコンピュータ支援を伴う戦略的最適化」(文献16)

研究機関	タイトル
ツ、シュトゥッツガルト)	
寧波工程院 (中国、寧波)	「シングルマスト枠組構造を伴うヤマモモ収穫作業マシンの設計」(文献 17)
南京工程院 (中国、南京)	「知能的綿採取用ロボットのための単独作業用マシンのモデリングとシミュレーション」(文献 18)
ライプニッツ大学 ハノーファー、生物生産システム、バイオシステム、園芸工学研究所 (ドイツ、ハノーファー)	「切り花の小花柄の探知および三次元モデリングに基づくロボットによるガーベラの収穫」(文献 19)

結論

上記の情報は一般的に、企業および研究機関の研究者たちが以下の開発を進めていることを示唆している。

既存の商品

農業におけるロボットの使用はすでに始まっている。搾乳ロボット、草刈りロボット、UAV (遠隔無人航空機) などを含む**多数のシステムを商業化した大企業**もある。

次世代製品

大企業は、既存の農業用車両の**自律型バージョン**や洗練された農業自動化システムを開発中である。農業関連企業の他に、周辺産業 (たとえば、食品加工) の企業も、農業ロボットに有用な実現技術を開発する可能性がある。

研究開発の目標

企業および研究機関の多数の研究者たちは、**農業を全自動化**することが論理上の最終目標になると想定しており、さまざまな農産物や農場生産物 (果実、野菜、花、トウモロコシ、綿、バイオマス、樹木など) の**雑草の除去、採取、収穫、処理**などの農業用途に使用することが目的である。

研究開発のトピックス

世界中の研究者たちは、以下に示す有用な農業用ロボットのために解決すべき多数の技術的難問に取り組んでいる。

- ・ **多目的ロボットプラットフォーム**の開発
- ・ 繊細な農作物 (イチゴ、キュウリ、アスパラガス、マッシュルームなど) の**取り扱い**

い

- ・機械映像による、様々な植物種や農産物の種類認識。種類だけでなく熟度も。
- ・様々な難しい地形での農業用ロボットの航法
- ・特殊な農産物という点での、キュウリへの高い注目度

地域

日本での農業用ロボットの取り組みに加え、**中国**、**米国**、欧州の数カ国（とりわけ**ドイツ**および**オランダ**）の研究者たちは、特に積極的に農業用ロボットを開発している。

中国の研究機関は、様々な実現技術を開発するだけでなく、膨大な量の農業用ロボット技術の特許を取得している。

米国では、John Deere 社などの大企業だけでなく、Vision Robotics 社のような中小企業も**研究**に携わっている。大学から新たな農業用ロボットメーカーがスピンアウト（独立）する可能性もある（たとえばCMUやアイオワ州立大学）。

文献

1. “World Robotics 2008”, IFR Statistical Department report, 2008
2. SBI Explorer July 2008 Robotics Viewpoints
(<http://www.strategicbusinessinsights.com/explorer/ROBO/ROBO-2008-07.shtml>)
3. “JOHN DEERE INTRODUCES NEW ROBOTIC R-GATOR™ BASED ON MILITARY INPUT”, John Deere news release, 16 October 2009
(http://www.deere.com/en_US/newsroom/2009/releases/commercial/10162009_rgator.html#)
4. “JOHN DEERE ADDS TWO NEW AUTOTRAC™ GUIDANCE PRODUCTS TO PORTFOLIO”, John Deere news release, 20 August 2009
(http://www.deere.com/en_US/newsroom/2009/releases/agricultural/augustrelease/20aug_43134.html)
5. NREC document, “Farm of the Future” (available for download at <http://www.rec.ri.cmu.edu/markets/farm.pdf>)
6. SBI Explorer October 2007 Robotics Viewpoints,
(<http://www.strategicbusinessinsights.com/Explorer/ROBO/ROBO-2007-10.shtml>)
7. Vision Robotics Web site
(http://visionrobotics.com/vrc/index.php?option=com_zoom&Itemid=26&catid=2)
8. SBI Explorer October 2002 Robotics Viewpoints
(<http://www.strategicbusinessinsights.com/Explorer/ROBO/ROBO.2002-10.shtml>)
9. United States Patent Application 20050268587, “Robotic harvesting system”

10. Bakker et al, Journal of Terramechanics, article in press,
(<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022489809000858>)
11. EJ Van Henten et al, Computers and Electronics in Agriculture, Volume 65, Issue 2,
March 2009, Pages 247-257
(<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168169908002238>)
12. Cariou et al, Journal of Field Robotics, Volume 26 Issue 6-7, Pages 504 – 518, 2 Apr
2009 [Special Issue: Agricultural Robotics]
(<http://www3.interscience.wiley.com/journal/122371727/issue>)
13. Jian Jin, Lie Tang, Journal of Field Robotics, Volume 26 Issue 6-7, Pages 591– 608,
2 Apr 2009 [Special Issue: Agricultural Robotics]
(<http://www3.interscience.wiley.com/journal/122371727/issue>)
14. Yang, Q. et al, Transactions of the Chinese Society of Agricultural
Engineering/Nongye Gongcheng Xuebao. Vol. 25, no. 5, pp. 94-99. 2009
15. Cai et al, Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering/Nongye
Gongcheng Xuebao. Vol. 25, no. 6, pp. 158-162. 2009
16. Starcevic et al, Biosystems Engineering, Article in Press, 2009, (see
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1537511009002694>)
17. Intelligent Computation Technology and Automation, 2009. ICICTA '09. Second
International Conference on Publication Date: 10-11 Oct. 2009 Volume: 3, On
page (s) : 323-325
(http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=5287969)
18. W Mulan, Y Mei, W Jieding, F Shumin, Journal of Agricultural Mechanization
Research, 2009
(http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-NJYJ200905014.htm)
19. Patent CN101323328 (2008)

翻訳：NEDO（担当 総務企画部 吉野 晴美）

出典：Strategic Business Insights Explorer Program