平成 15 年　戦略的基盤技術力強化事業
研究開発成果報告概要

事業管理法人名	財団法人 四国産業・技術振興センター	代表者名	理事 山下一彦	所在地	〒760-0033 香川県高松市丸の内２番５号 Tel：087-851-7081

管理番号　15R-13
技術分野　：ロボット部品分野（ビジネス支援分野）
技術区分　：画像認識関連技術
技術開発課題：認識・提示の高精度技術
テーマ名　：「バイオ苗生産のための高速３次元形状認識センサーと柔弱物ハンドリング機構の開発」
研究開発期間：平成 15 年 8 月 8 日～平成 16 年 2 月 27 日

１．委託事業実施の背景と委託事業の概要

（１）委託事業実施の背景と委託事業の概要

農業分野へのロボット応用は、1990 年前後にいくつか試みられたが、不定形で密生した植物の画像認識や、幼芽のような柔弱物ハンドリング能力が十分でなかったこと等から普及するには至らなかった。しかし、最近のバイオ技術を応用したクローン苗の生産技術の進展と広範な採用により、植物工場が大きく展開していく中で、植物の幼芽を認識・ハンドリングするロボット技術に対する必要性が増大してきている。このため、本研究開発ではクローン苗の植物工場の中で、今なお人海戦術に頼っている幼芽の分離と植え付け工程にロボット技術を導入することで、大幅な作業効率の向上と、無人化によるクローン苗生産の無菌化、高品質化を目指す。

（２）委託事業の国が提示した技術課題との整合性

本研究開発は、ロボット部品分野で提示された３分野のうち、ビジネス支援分野（農業ビジネス）に関するものである。また、農業分野の中でも、現在、最も先端を走っているバイオ技術応用分野であり、国際的に見ても日本が優位にある技術分野である。このため、日本における本分野の優位性を保っていく上でも、また、ロボット技術の新しい展開活路を見いだす上でも、最近急激に成長を遂げているバイオ分野の、確立されたクローン苗市場への応用は、時期を得たものであると言える。

本研究開発の技術課題は、主に“画像認識関連分野”に関するものである。ロボット用視覚センサーは、これまでも多数開発されてきているが、コンパクトな３次元センサーとして、簡便に使用できるものは少ない。

本研究開発では、相対ステレオ視を利用した３次元形状認識技術を開発するが、国が提示した技術課題の中でも特に“認識・提示の高精度化技術”の項目に関して実施する委託事業は、不定形物体であっても高精度な形状計測ができること、高精度なロボット制御ができることの理由により整合していると言える。

２．委託事業全体の内容と目標

（１）技術の内容と新規性、独創性、改善性又は技術基盤強化性

①技術の内容

本事業では、従来の工業生産とは大きく異なり、植物の幼芽という、不定形で密生して生育する柔弱な対象物に対し、形状認識し、ハンドリングするための技術を開発する。

具体的には、これまでのバイオ苗生産における課題としては、

・幼芽の長さや形状の調整のためには、幼芽の３次元形状を短時間で計測する必要がある

・幼芽の分離と植え付けを行うためには、従来のロボットハンドとは異なる機構を構成、制御する必要がある

・また、傷つきやすい柔弱な幼芽のハンドリングのためには、幼芽に応じた、適切な把持力の制御を行う必要がある

等があげられる。本事業においては、これらに対処するため、以下の研究開発を行う。

・従来の高精度のキャリブレーションを必要とするステレオ視覚などの立体計測手法に代えて、相対ステレオ法を導入した３次元形状認識センサーを開発する。

・掴み動作、切断動作、植え付け動作などを複合して行う複合作業ハンドを開発するとともに、幼芽を傷つけずに把持するための把持力制御技術を開発する。

・また、上記センサーとハンドを統合し、バイオ苗の形状を認識し、個々の苗の外形を調整、分離、植え付けする等の動作を行う応用ユニットを開発する。

・更に、より製品化に近づけるため、実ラインにおける評価試験を行い、その結果をセンサーおよびハンドの開発にフィードバックする。

②技術の新規性、独創性、改善性又は技術基盤強化性

［技術の新規性・独創性］

ｉ）既存技術の概要

植物の苗生産へのロボット応用については、１９９０年代前後に盛んに研究された。その一つに、東芝の藤田らが開発した接ぎ木ロボットがある。このロボットは、接ぎ木する枝を与えられて、その枝の形状を、スポット光操作タイプ光切断センサーで３次元形状を計測、そのデータから切断点を決定、節ごとに分離して、苗床に植え付けるものであった。また、駆動には、ワイヤー駆動という小型化に向いた手法を用いていた。しかし、以下の理由のため、広く普及するには至らなかった。

・対象が接ぎ木という単純作業であり、また単一工程での自動化であったため、自動化メリットが無かった。

・スポット光切断方式による認識では、認識に多大な時間を要し、生産性が低かった。

・当時は、クローン苗などのバイオ技術を使った苗生産は、それ自体発展途上にあり、自動化のニーズはまだ発生していなかった。

ii）提案技術の新規性、独創性

バイオ技術を利用したクローン苗などの生産手法が可能になったのは、1986 年であった。このため、1990 年頃は、人手によってでも、まず生産することが先行し、ロボット化などの試みは、接ぎ木で行われた程度であった。

これに対し、今回開発する項目については、それぞれ以下のような新規性・独創性を有する。

・相対ステレオ法とその撮像系

幼芽などの物体の位置・形状の認識は、これまで取り組まれたことが無かった。本開発は、それを初めて可能にするものであり、相対ステレオ法という独創的な手法を開発することで可能にしたものである。

・相対ステレオ法による３次元形状計測

前述の接ぎ木ロボットの例では、接ぎ木の切断位置を決める程度の、粗な形状認識である。また、物体の回りから数回形状計測し、全体の３次元形状を再構成することは、研究レベルの発表は見られるが、今回のように、植物のような凹凸の激しい形状で、幼芽の形状調整のために必要な、詳細な３次元形状を実用的な形で認識するのは、今回が初めてである。

・複合作業ハンド

前述の接ぎ木ロボットの例では、そのハンドは出来るだけ駆動部を根本に置くなどの工夫がされているが、先端の機構も複雑であり、バネなども必要となって、バイオ苗工場のような無菌状態の維持に適しているとは言えない。狭い場所での作業機器の例では、医療用カテーテルなどの例もあるが、カテーテルは、植物生産のような高頻度の使用には耐えない。本開発は狭所で、先端だけで作業を実施する新規なハンドである。

・応用ユニット（調整ステーション）

相対ステレオ法による３次元形状計測の項にも有るように、実用レベルでの全体形状の計測と、把持力制御付き複合作業ハンドを組み合わせて利用した形状調整ユニットは、これまで植物などの不定形対象に具体的に実施されたことは無い。新規開発である。

・全体システムの構成

ユーカリ苗などの植物工場では、これまで分離、植え付け工程が自動化されていなかったため、無菌化ができなかった。本開発により、植物工場全体の無菌化が、始めて可能となる。

iii）新規性・独創性の認知

新規性、独創性については、知的財産権の確保の側面もあり、全体として公表したことはない。このため、全体として公的な認知を受けたことはない。

相対ステレオ法については、すでに特許が出願済み（特願 2002-353136 号：相対距離計測装置、TLO 出願）であり、そのための先行特許などの調査時点では、新規であるとの判断を行った。また、対象を明示しないでの手法のみの発表は、平成１５年２月、電気学会産業情報システム研究会で発表しており、実用的に高い計測精度を持つ方法として、高い評価を得た。

（２）技術目標値

ｉ）高速３次元形状認識センサーの開発

本センサーでは、相対ステレオ法により、画面内に見える一点からの相対位置を高速に計測する。このことにより、対象物の相対３次元位置を計測可能にする。また、スリット光光学系の付加により、スリット光が当たった点の空間位置計測、その点を基準点とした相対位置計測が可能である。光学系設計によりサイズ、認識範囲を変更可能であるが、本開発では以下の性能目標を設定する。本事業の初年度に、ユーカリ苗分離・植込ステーションを対象に位置センサー機能を開発、次年度に調整ステーション向けに形状抽出センサーを開発、３年次にてシンビジウムの形状認識機能を完成させる。

ii）把持力制御付き複合ハンドリング機構の開発

ベースとなる複合作業ハンドと、密集幼芽の分離作業、植え付け作業の可能な作業ハンドを開発する。初年度に、ベースとなる複合作業ハンドを開発する。

iii）形状認識センサーと複合作業ハンドリング機構の応用ユニットの開発

対象クローン苗の全体形状を抽出し、個々のクローン苗の下葉を除去し外形を調整する、また、分離・植え付けする等の動作が可能な、形状認識センサーと複合作業ハンドリング機構を統合した応用ユニットを開発する。

３．委託事業全体における技術目標値を達成するための課題と解決方法

技術課題は、個々の部品開発であるｉ）高速３次元形状認識センサーの開発、ii）把持力制御付き複合ハンドリング機構の開発、とそれらを直接組み合わせた制御機能の実現であるiii）形状認識センサーと複合作業ハンドリング機構の応用ユニットの開発、そして、その実証ラインであるiv）ユーカリ苗分離・植込ラインの開発、シンビジウム苗分離・植込ラインの開発、に分けて考えることができる。

ｉ）高速３次元形状認識センサーの開発

ここでは、大きく３つの開発課題がある。その内容と、理由、解決策を以下に示す。

・高精度光学系の開発

これまで、「特願 2002-353136 号：相対距離計測装置、TLO 出願」の相対ステレオ視を認識原理とした光学系の開発を行ってきた。しかし、ここで通常のレンズ系を用いた場合、対象を見るためにレンズを傾けなければならず、それがひずみとなって、計測精度を悪化させることが、これまでの実験で分かっている。これに対し、ひずみの発生を抑えた高精度計測を実現する。

・不定形物体の形状認識技術の開発

相対ステレオ法は、注目点からの相対的な距離関係を基に形状計測を行う。このため、センサーからの絶対距離計測を基本原理とする従来の認識よりも、原理的に形状計測精度に優れている。

・認識センサーとしてのモジュール化

ロボット部品としての販売を可能にするためには、コンポーネントとしてモジュール化を図っていかなければならない。そのため、既存の画像認識システム、パッケージと提携し、その高機能付加センサーとして構成する。併せて、画像認識システムの高速画像処理機能の使用により、高速処理を実現する。既存のモジュール化手法の導入による部品化である。

ii）把持力制御付き複合ハンドリング機構の開発

ここでは、大きく２つの開発項目がある。

・熱処理や消毒液への浸し処理が可能な複合ハンド構造の開発

・柔らかい幼芽を保持するための把持力制御機能の実現

iii）形状認識センサーと複合作業ハンドリング機構の応用ユニットの開発

ここでは、大きく２つの開発項目がある。

・幼芽全体の３次元形状の認識

・幼芽調整動作生成プログラムの開発

iv）ユーカリ苗分離・植込ラインの開発、シンビジウム苗分離・植込ラインの開発

基本的には、ロボット部品としての高速３次元形状認識センサー、把持力制御付き複合作業ハンド、応用ユニットの機能検証・実用試験のためのラインである。不定形であるバイオ苗を扱う場合、工業製品のように対象がある規格範囲に入っている事が期待できない。このため、実証ラインを開発して、機能検証し、不具合点を直していかなければならない。また、このシステムそのものが、具体的な応用システムとしての大きな市場性を持っている。

現時点で、これらのラインにおけるシステムとしての課題が十分把握できているわけではないが、情報的、そして物流としての課題が沢山存在するものと考えられる。本開発、１年目にシステム設計による課題の検証を行い、２年目以降で解決方法の案出とその実現を図っていく。

４．当該年度における技術目標値の達成の状況と意義（実績）

本研究開発全体における技術目標値は、前述２．（２）に記載のとおりである。その内、今年度は、以下の成果を上げることができた。

ｉ）高速３次元形状認識センサーの開発

比較的形状の認識がしやすいユーカリ苗を対象とした３次元形状認識センサーを開発するとともに、苗のハンドリングを行う際の位置検出・提示アルゴリズムの実現を図った。

ⅱ）把持力制御付き深底容器内複合ハンドリング機構の開発

比較的単純なユーカリ苗の分離・植込等の動作を実現する等、更に複雑な動作を行う際のベースとなる複合作業ハンドの開発を図った。

ⅲ）形状認識センサーと複合作業ハンドリング機構の応用ユニットの開発

形状認識センサーと複合作業ハンドを組み合わせた応用ユニットとして、ユーカリ苗用の分離ステーション、植込ステーションの開発を図った。

平成１６年度は、１５年度の開発で培った技術・ノウハウを基に、ユーカリ苗用の応用ユニットとして、調整ステーションの開発・試作を行うとともに、より構造が複雑で、密集度が高いシンビジウム苗用に、必要なセンサー、ハンドの開発を行い、更に、これらを組み合わせた応用ユニットとして、シンビジウム苗用の分離ステーション、植込ステーションの開発・試作を行っていきたい。

５．事業化の目標と当該年度に把握した事業化を取り巻く環境変化

植林ビジネスのうち、大手製紙会社が行うクローン植林事業は、年々、拡大中ではあるものの、現時点では各社とも本格的に開始するまでには至っていない。各社とも、本格的なクローン植林を行うための技術・体制について研究を進めているところである。

通常の実生苗による豪州でのユーカリ植林は、これまで良好な投機、投資の対象として積極的に行われていたが、豪州での現地苗生産業者の調査によると植林事業は自然が相手であるため、降雨量の不足により順調に育たないというリスクがある。ここ数年でも渇水により収益が上がらなかったケースもあり、一旦、投資家たちの目が植林から離れている状況もあるという。

しかし、降雨量が普通に回復し、更にクローン苗の大量生産と植林が可能であることが認知されれば、再び投資対象の上位にランクされ、植林ビジネスが活況を取り戻すものと苗生産者は予測している。

一方、紙パルプ業界の専門誌によると、国際的な状況として、中国での急速な紙パルプ生産の増大が注目されている。中国は既に世界第２位の紙板紙生産・消費国に成長した。このため、中国の製紙原料は不足しており、これをパルプの輸入、古紙の輸入で補っているが、

・中国国内でも伐採できる自然林には限りがある。
・既に米国や日本では古紙再生が行われ古紙供給余力は失われている。
・日本企業の豪州植林地でのパルプ材生産は、主に自社向けである。（中国への供給が可能になるほどではない。）
・現在の中国での一人当たりの紙消費量は少ないが、経済の発展とともに消費量が今後益々大きく拡大することは明白である。

これらの需要拡大が確実な状況から、中国では国内での植林拡大や古紙回収率の向上が求められている。そして、急速な原料不足への対応が日本の製紙会社にも求められている。

これらのことから、本研究の目的とする“高速３次元形状認識センサー”、“柔弱物ハンドリング機構”というロボット部品およびそれを活用した応用システムの開発の成功は、将来的に非常に重要な意味を持つものであると考える。