

(続紙 1)

京都大学	博士（農学）	氏名	椎木 友朗
論文題目	グリーンハウスにおけるスペクトル拡散音波を用いた測位システムの研究		
（論文内容の要旨） 日本の農業の問題として、農業従事者の高齢化と減少、食料自給率の低下が叫ばれて久しい。この問題を技術的な側面から解決するために、先端技術を駆使した農作業の自動化を目指す技術革新が進められてきた。例えば屋外ではトラクタ、田植機、コンバインの自動化が、屋内では農薬散布や収穫作業などの機械化ならびに自動化が試みられている。このような農作業に対する自動化技術が普及すれば、省力化および生産性の向上が期待できる。農作業機械の自動化のための共通プラットフォーム技術として、GPSなどの測位センサを用いた航法システムがある。しかし、GPSは価格が高いこと、山陰や屋内などの電波が届かないところでは位置計測ができないこと等の問題があることより、代替手段が望まれている。測位技術の中でスペクトル拡散音波（Spectrum Spread Sound, 以下SS音波と称する。）を用いた測位法は、比較的安価で高精度な計測が期待できると言われている。本研究はグリーンハウスなどの屋内農業現場において、農作業の自動化やアシストを行う自律走行車の航法システムの開発を最終目的とし、構築したSS音波測位システムの①直接波の相関ピーク検出法と反射波の影響、②基地局法による温度補償方法、③計測周期の高速化について検討したものである。 本論文では、第1章で本研究の背景、研究目的および概要を述べた後、第2章でSS音波について詳述している。第3章では本研究の実験装置である反射板付きスピーカとマイクの特性について説明を加えている。 SS音波を用いて距離計測を行うには相関ピークの検出を行う必要がある。第4章では、測位システムのロバスト性を向上させるため、受信強度と相関値の標準偏差を用いて正規化した相関値ならびにその相関値の時間変化の比の2つの特徴量を用いた検出法を提案した。本検出法では、まず数値計算による雑音耐性について評価し、SS音波に対して雑音が異なる信号強度比の場合、異なる種類の雑音（白色雑音、ピンクノイズ、単一周波数波）の場合、時間的に非定常な強度を有する場合のいずれにおいても、雑音の正規化相関値は1以下に、相関値比は2以下になることを示した。その結果より、正規化相関値が1.1以上または0.6以上で相関値比が2以上という直接波の相関ピーク検出のための条件を定めた。次に、グリーンハウス内(4 x 12 x 2 m)において、SS音波による測位システムと上述の相関ピーク検出法を用い、9カ所の静止位置で各位置50回の測位実験を行った。その結果、壁際の1カ所で1回直接波の相関ピークを検出できなかったものの、それ以外の449回は直接波の相関ピークを検出できた。誤検出の主な原因としては、直接波と反射波の重ね合わせにより直接波の相関ピーク値が減衰したこと、反射波成分が多い場合に正規化の計算で相関値全体が想定より小さくなったことが観察された。			

さらに、グリーンハウス内(4 × 12 × 2 m)で基地局法による音速の温度補償の効果を9点の静止位置での計測により確認した。その結果、補償をしない場合の測位誤差は75 mm以内であったが、補償した場合には55 mm以内となり、20 mmの誤差が改善された。本実験においては、基地局とマイクロホンの間の距離は4 m、その距離での伝搬時間の計測誤差は、搬送波周波数24 kHzのときの1つの相関ピーク間隔分の時間差である0.042 msとなる。この誤差は、温度誤差が2 °C程度あった場合の測定誤差に相当する。そのため、グリーンハウス内の温度勾配が小さく、定点の温度計測による誤差が2 °C以下の場合、基地局法による補償後の計測誤差の方が大きくなる場合もあることを示した。

第5章では、SS音波に出力順番を示す番号(出力番号)を付加して計測周期を高速化する方法を提案した。従来法の4倍速い1/20 sの計測周期を用い、屋内において距離50 mまでの静止位置での計測を行ったところ、いずれの位置においても距離計測誤差は15 mm以内、標準偏差は2.5 mm以内となり、高精度で安定した結果を得ることができた。最後に、第6章では実用化に向けた色々な考察を行い、将来の展望を示すことにより総括している。

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(論文審査の結果の要旨)

現在、屋外における航法システムとしてよく用いられている測位システムにGPSがあり、種々の農業機械に利用された研究が報告されている。しかし、農作業を適切に行うための測位精度を満たすためにはRTK-GPSのような高価なシステムが必要とされることが、中山間地域では山などの影響で観測可能な衛星数が足りなくなること等の問題点により、十分に普及していない。また、レーザーやマシンビジョンを用いる方法も報告されているが、高価であること、時々刻々と変化する太陽の光環境に適応する必要があること等が課題として残っている。一方、音波は古くから使われているものの、他の農業機械や農業施設の騒音の影響を受けることより、識別困難と考えられており、深い研究がなされていない。本論文はグリーンハウス内を対象に、農作業に必要な精度で低コストの測位システムの実現を目的とし、優れた自己相関特性を持つM系列符号を用いたSS音波による方法について述べられたものであり、評価すべき点は以下の通りである。

1. グリーンハウス内の反射波による誤差の影響を低減するために、受信強度と相関値の標準偏差により正規化した相関値とその相関値の時間変化の比の2つの特徴量を用いた検出法を提案し、グリーンハウス内での測位実験でその有効性を示した。
2. 音波による計測が弱点としている気温の変化および測位空間内の温度勾配に伴う音速変化による誤差を基地局の利用によって補償した結果、温度差の大きい時には約20 mmの精度向上が確認でき、55 mm以内の測位誤差に収まることをグリーンハウス内で確認した。
3. SS音波に出力順番を示す番号(出力番号)を付加して計測周期を高速化する方法を提案し、十分な精度で安定した計測が行えることを示した。

以上のように、本論文で提案されたSS音波による農業用測位システムは安価で農作業に必要な精度を有した高速な計測が可能であることより、航法システムとしてだけでなく、作業者の位置や経路確認にも利用できると考えられる。このことから、農業システム工学、フィールドロボティクス、生物センシング工学の発展に寄与するところが多い。

よって、本論文は博士(農学)の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成26年10月24日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士(農学)の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。

また、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

注) 論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。

ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することと支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降(学位授与日から3ヶ月以内)