

( 続紙 1 )

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                        |    |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|------------|
| 京都大学                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 博士 ( 農 学 )                                                                                             | 氏名 | CHEN SIKAI |
| 論文題目                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Rice Lodging Detection in Rice Fields for Robot Combine Automation<br>(ロボットコンバイン自動化のための水稻ほ場における稲倒伏の検出) |    |            |
| <p>(論文内容の要旨)</p> <p>稲収穫作業の自動化・ロボット化を目的とした自動運転機能を搭載したロボットコンバインが実用化されている。しかし、これらのロボットコンバインは、必ず人が乗車して安全性を確保する必要がある。また、稲収穫では、その登熟や風雨の影響で倒伏が生じることがあり、倒伏した稲を収穫するにはコンバインの刈取装置や速度を倒伏程度に応じて調節する必要がある。このため、人による安全確保と倒伏稲の刈取りへの対応が必要であり、省人化には至っていない。</p> <p>本研究では、ロボットコンバインによる収穫作業の省人化に向けて、リアルタイムでは場内の物体検出、特に倒伏稲の検出精度をカメラ画像によるディープラーニングと3D LiDARによる稲の草高推定を組み合わせることで向上した。</p> <p>本論文は6章で構成され、第1章で本研究の背景と目的を述べた後、第2章で供試したロボットコンバインと実験装置の概要について述べている。</p> <p>第3章では、大型コンバインに対応するため、視野が広い魚眼レンズカメラを用い、大きく歪んだ画像に対して、セマンティックセグメンテーション (SS) 手法により、未刈取りの稲、その中の倒伏した稲、刈取り跡、畦、人、コンバイン、およびそれ以外の背景の7つのクラスに分類した。その結果、FCNResNet50モデルによりエンベデッドコンピュータ (Jetson TX2) 上での処理速度は5.2 FPSで、未刈取りの稲と倒伏した稲の検出精度 (Intersection over Union, IoU) はそれぞれ0.8446と0.8524であった。</p> <p>第4章では、稲の倒伏を定量的に推定するため、3D LiDARと人工衛星測位システム (GNSS)を組み合わせ、稲の草高を表す三次元草高マップを作成し、草高から倒伏した稲領域を示す二次元の倒伏稲マップを作成する手法を提案した。この三次元草高マップの評価は、ドローンで撮影した画像から三次元再構築したデジタル高度マップ (Digital Elevation Map, DEM) を作成し、任意の地点の稲の草高をQGISにより求めて検証した。この結果、DEMから得られた稲の草高とLiDARから推定した草高の推定値の決定係数は0.969であった (コンバインの刈取速度が0.6 m/sのとき)。</p> <p>第5章では、カメラ画像によるディープラーニングと3D LiDARによる稲の草高推定を組み合わせ、倒伏した稲の領域を推定するために、”lodging indices (倒伏指数)”を提案し、稲の倒伏の有無を判定する重み係数を決定した。</p> <p>第6章では、魚眼レンズカメラ画像をSS手法によって、未刈取りの稲、倒伏した稲、刈取りバイン、およびそれ以外の背景を高い精度で検出可能であることを述べると同時に、LiDARとGNSSで得られた稲の三次元マップと組み合わせることで、稲の草高から定量的に倒伏した稲の領域を推定できることを述べ、最後に今後の将来展望についても触れ、本論文を総括している。</p> |                                                                                                        |    |            |

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。

(続紙 2 )

(論文審査の結果の要旨)

今後世界の農業において、利用が期待されるロボットコンバインの省人化に向けた安全性の確保や、倒伏稲の刈取りといった難作業への対応のため、収穫作業環境下での様々な物体検出をリアルタイムで行うことが必要である。本論文は、特に倒伏した稲をリアルタイムかつ定量的に推定することを目的に、魚眼レンズカメラ画像によるディープラーニングと3D LiDARによる稲の草高推定を組み合わせ、倒伏稲の検出精度を向上している。評価できる点は、以下の通りである。

1. ほ場の稲収穫環境において、視野が広いが画像が大きく歪む魚眼レンズカメラ画像を用いて、セマンティックセグメンテーション(SS)手法により、未刈取りの稲、倒伏した稲、稲の刈り跡、畦、人、コンバイン、およびそれ以外とする7つのクラスに分類すると共に、その検出精度を明らかにした。
2. 稲の倒伏程度を定量的に推定するために、稲の草高を示す三次元草高マップを3D LiDARとGNSSを組み合わせ作成する手法を提案した。
3. 三次元草高マップの草高に基づいて倒伏した稲領域を示す二次元倒伏稲マップを作成した。
4. カメラ画像からSS手法で検出した倒伏稲領域とLiDARとGNSSで作成した倒伏稲マップを組み合わせる”lodging indices (倒伏指数)”を提案し、稲の倒伏の判定に有効であることを示した。

以上のように、コンバイン周辺の物体検出による安全性の確保と、二次元倒伏稲マップを用いることで難しい倒伏稲の刈取りへの対応が可能となり、ロボットコンバインの収穫作業の精度向上に貢献できることから、フィールドロボティクス、農業システム工学、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、令和6年7月29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に支障がある場合は、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)