

京都大学	博士（農学）	氏名	Li Yang
論文題目	Scene Recognition and Collision Avoidance System for Robotic Combine Harvesters Based on Deep Learning (深層学習に基づくロボットコンバインハーベスタのためのシーン認識および衝突回避システム)		
(論文内容の要旨)			
日本では農業就業者人口の減少や農業従事者の高齢化により、生産現場における労働力不足の解消や熟練者のもつ栽培管理技術の継承が重要な課題となっている。これらの中で高い運転技術を有する農機オペレータ不足も大きな問題となっており、この解決策の一つとして、GNSS（Global Navigation Satellite System）とIMU（Inertia Measurement Unit）を航法センサとしたトラクタ、田植機、およびコンバイン等のロボット農機や自動運転技術が実用化され始めている。しかしながら、現時点においてロボット農機が作業する場合には、安全上の問題により必ず有人監視が義務づけられており、省人化はできていない。将来的には、ロボット作業による省人化や完全無人化が望まれており、これを可能とするために物体検出を応用した安全システム装備が必要である。 本研究は、稲や麦を収穫するロボットコンバインを対象として、無人作業時に安全に作物を収穫するため、ほ場環境下での物体（人、稲の未刈取り領域、既刈取り領域、畦、それ以外）を検出・分類して、人などの障害物との衝突を自動で回避するシステムの開発を目的として行った。物体検出には、深層学習のセマンティックセグメンテーションを応用し、カメラで撮影した画像中の物体を画素単位で識別を行い、その結果に基づき、走行経路上に人などの障害物が存在すれば、ロボットコンバインが衝突を回避するほ場実験を行った。 本論文は6章で構成され、第1章で本研究の背景・目的を述べた後、第2章では供試したロボットコンバインの概要と制御方法について述べている。第3章では、ほ場環境下での物体を人、稲の未刈取り領域、既刈取り領域、畦、それ以外の5つのクラスに分類するために、8種類のセマンティックセグメンテーションモデルを提案している。これらの基本ネットワークはVGGあるいはResNetである。稲収穫作業時に撮影した画像1522枚を回転・移動・ミラーリングなどのデータ増強を行ってから学習した後、異なる検証データを用いて検出精度を比較した。その結果、FCN-8s-ResNet50モデルが画素単位の正答率 95.17%、クラス識別率 86.08%、mean IoUで 80.07%で最も高い性能を示し、ほ場環境下での物体検出に深層学習が有用であることを述べている。 第4章では、セマンティックセグメンテーションによる人検出と、人との衝突回避をほ場実験にて行った。このために、まずメモリ容量や処理能力に制限のある車載コンピュータに実装可能なモデルを作るため、ネットワークのスリム化を行った。この結果、同程度の検出精度でありながらネットワークのスリム化を80%達成した。このスリム化されたモデルを車載コンピュータ（Jetson Xavier）に実装して、ほ場において物体検出を行った結果、32.2 FPSと必要十分な速度で処理可能であった。また、ロボットコンバインが稲を刈取る作業中に、人が走行経路に侵入しても、障害物として識別することができ、減速・停止を行って衝突回避することができた。 さらに、農業現場においてセマンティックセグメンテーションによる検出精度や処理速度を向上していくには、性能評価方法の一般化が必要である。しかし、深層学習では学習データや検証データなどのデータセットの作成に、大きな労力とコストが必要である。また、農業では、作物、作業、時期によって、ほ場環境が異なるため、深層学習の			

ためのデータセットの作成は、より一層困難なものになっている。このような背景から、第5章では、稲収穫時期のほ場に限定して、セマンティックセグメンテーションモデルの学習と検証が容易にできるデータセットの開発を行った。これを用いて、5種類のモデルの性能評価を行い、提案したデータセットの有用性を明らかにした。

第6章では、カメラ画像を用いた物体検出とその分類には、セマンティックセグメンテーションの応用が有効であり、メモリ容量や処理能力に制限のある車載コンピュータでも十分な速度で演算処理が可能であることを述べ、今後の将来展望についても触れ、本論文を総括している。

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)

今後日本だけでなく、世界の農業において、利用が期待されるロボット農機や自動運転技術には、安全システムの装備が必須である。本論文は、稲収穫作業を行うロボットコンバインを対象にして、ほ場内でロボット周囲の物体検出とその分類をリアルタイムで行い、物体が走行経路上にある場合は、衝突を回避するシステムを開発すると共に、今後の深層学習モデルの開発に必要な不可欠なデータセットを用いた性能評価方法についても提案している。評価できる点は、以下の通りである。

1. 稲収穫ほ場環境において物体を検出し、人、稲の未刈取り領域、既刈取り領域、畦、それ以外の5つのクラスに分類すると共に、その検出性能を明らかにした。
2. メモリ容量や処理能力に制限のある車載コンピュータに、提案する深層学習モデルを実装するため、ネットワークのスリム化を行い、同程度の検出精度を維持しつつ80%のスリム化を達成した。
3. ロボットコンバインにスリム化したネットワークモデルを実装して、稲収穫実験を行い、人検出とその衝突回避を達成した。
4. 深層学習モデルの性能評価を一般化するため、稲収穫時期のほ場に関して、データセットを作成し、その有用性を明らかにした。

以上のように、深層学習モデルを用いることで稲収穫作業時にロボットコンバインによる物体検出と衝突回避は可能であり、ロボット農機の安全性の確保と農作業の省人化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大きい。

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2年8月3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）