

## 令和7年度 研究成果の概要(1/2)

研究テーマ:「不要な植物のみを検出・識別して除去可能な選択的除草ロボットシステム開発の技術研究」	
研究代表者 ・氏名(ふりがな):中村 明生 (なかむら あきお) ・所属, 役職: 東京電機大学 教授	
研究期間:令和6年4月~令和9年3月	
研究参加メンバー(所属団体名のみ) 東京電機大学	
研究の背景・目的 不要な植物を検出・識別し, それのみを除去する, 選択的除草ロボットの開発を目的とする. マッチング先である国営公園のニーズに基づき, 花修景畑除草, 芝生除草を応用先とする. 当初は, 道路交通環境および安全な生活環境の確保に重要な役割を果たす植樹帯の維持管理を想定していたが, 植樹帯に限らず, 国営公園, 公的施設, 堤防・高速道路周辺, にも適用範囲を拡張しうる. 深層学習を利用した画像認識技術で, 路面性状を認識するとともに, 不要な植物を検出・識別し, その識別結果に基づき, 個別かつ適切な除去を可能とする除草用マニピュレータ, およびエンドエフェクタを開発し, 試作ロボットシステムを構築する.	
研究内容(研究の方法・項目等) 以下の3項目を実施する. ■ 項目1: 選択的除草ロボットの設計・開発 i) 移動プラットフォームの設計・開発 ii) マニピュレータ, エンドエフェクタの設計・開発 ■ 項目2: 深層学習を利用した植物検出・識別手法の提案 i) 除去対象植物の検出・識別 ■ 項目3: 実証実験・評価 項目1, 2を組み合わせた除草ロボットの構築, 現地実証 なお, 国営ひたち海浜公園, 国営昭和記念公園, 国営アルプスあづみの公園における現地調査, および関係者との打ち合わせに基づき, 以下の2つのサブPJTを設定, それぞれにおいて項目1-3を実施する. ・ サブPJT1.花修景畑除草 ・ サブPJT2. 芝生除草 (シロツメクサ)	
	
Fig. 1 植物列除草ロボット	Fig. 2 後方牽引型除草機構
	
Fig. 3 引き抜き除草ロボット	Fig. 4 ロボットアーム PiPER
研究成果の概要 ■ 項目1: 選択的除草ロボットの設計・開発 サブPJT1では, 2024年度に購入したクローラ型移動ロボット Agile X BUNKER MINI 2.0 の制御プログラム, および後方牽引型の除草機構を開発した. 刈払部を含む除去装置について, 上下左右の移動自由度を拡張して, 不整地に対する追従性の向上を図った. 現場で走行実験を実施し, 開発した除草機構の性能を確認した. サブPJT2では, 車輪型移動ロボット Agile X HUNTER SE 上にロボットアーム Agile X PiPER を導入し, 両者の制御プログラムを開発, 引き抜き式除草ロボットを構築した. シロツメクサの個別株を対象とした抜去試験を実施し, 基本動作が可能であることを確認した. ■ 項目2: 深層学習を利用した植物検出・識別手法の提案 サブPJT1では, 花修景畑におけるロボットの走行路推定を目的に, 作物列検出手法を検討した. 具体的には, A) 作物が一定間隔で植えられた環境(まばら植栽)を対象とした列検出手法と, B) 作物が密に植えられた環境(密植栽)を対象とした列検出手法の二方式を提案し, 推定した2本の作物列の中線を走行路として決定する. 評価指標は, 作物列の真値に対する距離偏差 $x$ , および角度偏差 $\theta$ とする.	

## 令和 7 年度 研究成果の概要 (2/2)

A) では、深層学習による物体検出により作物位置を取得し、その配置規則性に基づいて作物列を推定する手法を構築した。1点透視画像においては、左右の作物列が消失点に向かって傾く一方、画像中央付近の作物列は傾きが相対的に小さい。この性質を利用し、画像中央に作物列と干渉しにくい縦方向の基準線を画面下端から上端まで設定する。次に、基準線を起点として左右に近傍作物を探索・対応付けすることで2本の作物列を推定した。その結果、距離偏差  $x = 1.08 \text{ px}$ 、角度偏差  $\theta = 7.1 \text{ deg}$  を得た。

B) では、色情報に基づく閾値処理により植物領域を抽出し、クラスタリングによって左右の作物列と列外植物を分離することで作物列を推定する手法を構築した。画像を縦方向に分割し、各領域における作物領域の重心を接続することで作物列を推定する。さらに、時系列情報に基づく補正を導入し、過去フレームとの整合性を保つことで、作物の途切れや雑草繁茂による急激な推定変動を抑制した。その結果、距離偏差  $x = 18.5 \text{ px}$ 、角度偏差  $\theta = 4.2 \text{ deg}$  を得た。

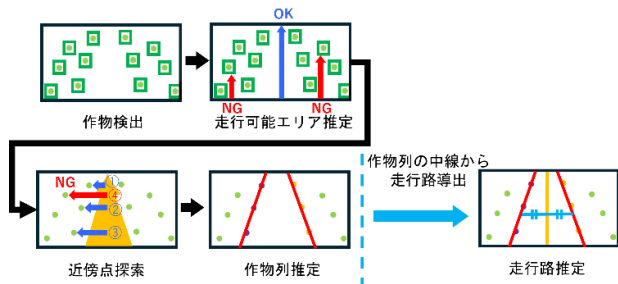


Fig. 5 まばら植栽環境における作物列の検出

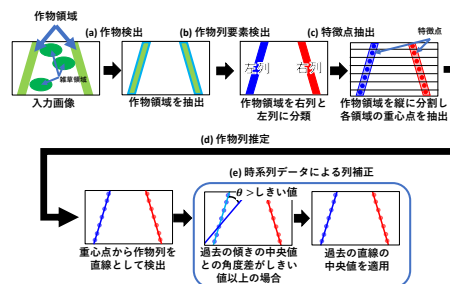


Fig. 6 密植栽環境における作物列の検出

サブPJT2では、芝生上に繁茂する雑草(シロツメクサ)の個別除去を目的に、C) ソフトラベル分類と再帰的グリッド分割による芝生・雑草領域判別手法と、D) 合成画像データを用いたインスタンスセグメンテーションによる雑草個別株検出手法を提案した。

C) では、入力画像をグリッド分割し、ソフトラベル付き画像分類モデルにより芝生と雑草の混合割合を推定する手法を構築した。混合割合が閾値を超えるグリッドを再帰的に分割することで、芝生・雑草領域を判別しつつ計算量の削減を図った。従来手法と比較し、F値の低下を0.03に抑えながら、計算量を23%削減した。

D) では、検出対象となる雑草(シロツメクサ)を切り抜き、芝生背景画像へランダムに合成することで学習用データセットを生成し、個別株検出のためのインスタンスセグメンテーションモデルを構築した。本手法により、雑草が繁茂する環境においても実画像へのアノテーション負担を軽減しつつ、データセットの確保を図った。検出実験の結果、平均F値は0.71であった。

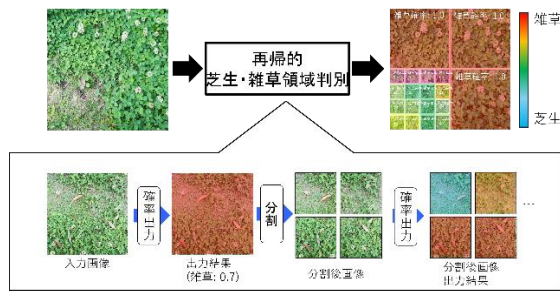


Fig. 7 特定雑草領域の判別

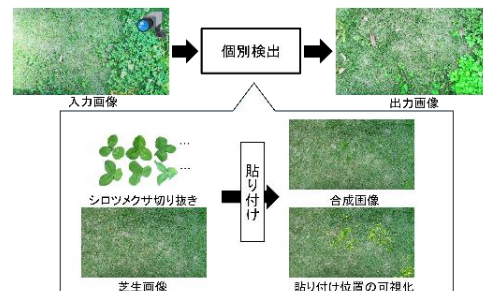


Fig. 8 雑草個別株の検出

### ■項目3: 実地検証・評価

5月、10月、および1月に国営昭和記念公園、7月に国営ひたち海浜公園において、項目1, 2で得られたハードウェアおよびソフトウェアの成果を統合したプロトタイプシステムを用い、実地検証を実施した。サブPJT1では、作物列の検出・識別および列間における除草機構の移動動作を確認した。サブPJT2では、雑草(シロツメクサ)の領域判別および個別株検出、ならびに当該株の除去に関する基本動作を確認した。



Fig. 9 国営昭和記念公園における実地検証の様子