

氏名	秋山 実穂
学位の種類	博士（工学）
学位の番号	甲 第 2 5 号
学位授与の要件	学位規則（昭和 28 年 4 月 1 日 文部省令 9 号） 第 4 条 第 1 項 該当
学位授与の日付	令和 5 年 3 月 2 1 日
学位論文題目	CanSat における Deep Learning を用いた 誘導制御手法に関する研究
論文審査員	（主査） 湘南工科大学教授 二宮 洋 （副査） 湘南工科大学名誉教授 渡辺 重佳 （副査） 湘南工科大学教授 堀越 力 （副査） 湘南工科大学教授 三浦 康之

## 論文内容の要旨

CanSat と呼ばれる小型模擬惑星探査機を題材にした競技会が世界中の各地で行われている。CanSat ではサイズ制限やロケット荷重衝撃耐久の振動試験を始めとしたロケット格納可能の要件を満たし、ロケットから放出された小型模擬惑星探査機が自律制御でターゲット位置へどれだけ近づけられるか到達距離を競う Comeback 部門が各地で開催されている。CanSat Comeback 競技ではターゲット位置にパイロン（ゴール）が設置してあり、接近制御のために、主に GNSS

位置情報を用いて誘導制御を行うが、ARLISS2016において3チームがゴール達成した際にGNSS測位誤差により、各チーム1mずつのゴール判定位置にて順位差がついたことから、GNSS測位精度誤差の問題を解決するため、搭載している通信機におけるGNSSの電波干渉調査を行い、外部電波によるGNSS測位精度への影響を明らかにした。さらにGNSSでゴール付近まで誘導した後に、カメラを用いてゴールの色の画像認識を行うことで、CanSatをゴールまでの距離0mまでの誘導制御を実現し、種子島ロケットコンテスト2018にて優勝した。

色を用いた画像認識における日照状態の変化による認識率低下の問題を解決するため、サイズ要件内に搭載可能なエッジデバイスであるLinuxコンピュータ最低クラス性能のRaspberry Pi Zero Wを利用した、Deep Learning Image Classification手法でのTensorflow Kerasを用いた可能な限り小さなモデルにおいてのゴール認識率や認識速度を調査し従来手法より誘導制御に適していることを確認した。ARLISS2019による実証実験により、ゴールまでの距離0mまでの接近に成功しMission・Accuracy・Over All Winnerの3Awardにて優勝した。

画像分類手法のImage Classificationの10m以上の長距離からの認識率が大幅に低下する問題があった。そのため水平方向のROI分割数を、従来の5分割よりも増やすことにより、長距離での認識率の向上について調べた。その結果、7分割が最も認識率と認識時間のトレードオフ関係から適していることを明らかにした。さらにCanSatのピッチ角度によりゴールが上下に移動することによる認識率低下を防ぐため、ROIを上下に3段階に動かす手法も提案した。その結果、7分割のみで上下3段階に動かすことが同様のトレードオフ関係から適していることを明らかにした。この手法を実装したCanSatによりACTS 2020に参加し、実証実験を行った結果、ゴールまでの距離が0mまで誘導制御に成功し、優勝し、本手法の有効性を確認した。

ゴールからCanSatまでの距離が長距離の場合、これまでの手法ではゴールの認識に時間が最大約15sほどかかる。CanSat競技には15分間という時間制限があるため、このように認識時間が長いと競技時間内にゴールまで距離0mまで誘導制御することが困難になる問題がある。この問題を解決するためにCoral TPU Acceleratorを用いてSSD MobileNet V1を用いてゴールを認識する手法について調べた。その結果、従来手法と比較して長距離においてもほぼ同等の認識

率を有しており，さらに認識時間は 0.2s まで短縮できることを明らかにした．本手法を用いた CanSat により能代宇宙イベント 2021 と ACTS2021 で実証実験を行った結果，両大会ともにゴールまでの距離 0m までの誘導を実現し，総合優勝することにより，本手法の有効性を示した．

## 審査の結果の要旨

本論文では，CanSat と呼ばれる小型模擬惑星探査機を題材にした競技会へ参加することで，新たに開発した小型模擬惑星探査機の実証実験を行う．また，その性能を評価するとともに学術的意義を検証する．競技会では，ロケットから放出された小型模擬惑星探査機が自律制御でターゲット位置へどれだけ近づけられるか到達距離を競う Comeback 部門が各地で開催されており，本研究では，特に，この部門に主眼を置いている．具体的には，以下の点に関して検証している．色を用いた画像認識における日照状態の変化による認識率低下の問題を解決するため，サイズ要件内に搭載可能なエッジデバイスである Linux コンピュータ最低クラス性能の Raspberry Pi Zero W を利用した，Deep Learning Image Classification 手法での Tensorflow Keras を用いた可能な限り小さなモデルにおいてのゴール認識率や認識速度を調査し従来手法より誘導制御に適していることを確認した．この実証実験のために，ARLISS2019 に参加し，ゴールまでの距離 0m までの接近に成功し Mission・Accuracy・Over All Winner の 3Award にて優勝した．次に，これまでの手法では，画像分類手法の Image Classification の 10m 以上の長距離からの認識率が大幅に低下する問題があった．そのため水平方向の ROI 分割数を，従来の 5 分割よりも増やすことにより，長距離での認識率の向上について調べた．その結果，7 分割が最も認識率と認識時間のトレードオフ関係から適していることを明らかにした．さらに CanSat のピッチ角度によりゴールが上下に移動することによる認識率低下を防ぐため，ROI を上下に 3 段階に動かす手法も提案した．その結果，7 分割のみで上下 3 段階に動かすこ

とが同様のトレードオフ関係から適していることを明らかにした。この手法を実装した CanSat により ACTS 2020 に参加し、実証実験を行った結果、ゴールまでの距離が 0m まで誘導制御に成功し、優勝し、本手法の有効性を確認した。最後に、ゴールから CanSat までの距離が長距離の場合、これまでの手法ではゴールの認識に時間が最大約 15s ほどかかる。CanSat 競技には 15 分間という時間制限があるため、このように認識時間が長いと競技時間内にゴールまで距離 0m まで誘導制御することが困難になる問題がある。この問題を解決するために Coral TPU Accelerator を用いて SSD MobileNet V1 を用いてゴールを認識する手法について提案した。本手法を能代宇宙イベント 2021 と ACTS2021 で実証実験を行った結果、両大会とも、総合優勝することにより、本手法の有効性を示した。以上のとおり、新たな手法の提案およびそれを実装した実験を通してその有効性を示しており、博士課程の研究として十分な内容および成果であると判断できる。

また、論文業績に関しては、筆頭著者として、学術論文誌が 3 件、国際会議プロシーディングが 6 件、国内会議発表が 5 件あり、学位を授与するに十分な業績であると判断できる。