

第9回廃炉創造ロボコンにおけるサポート機に関する開発

A Development on Support Machine in the 9th Decommissioning a Nuclear Reactor Creative Robot Contest

小林 慶大¹⁾

指導教員 富田 雅史¹⁾

1) サレジオ工業高等専門学校 機械電子工学科科 電子制御システム研究室

本研究では廃炉創造ロボコンにおいて確実にデブリを回収するためロボットを3機構成としての開発を行っている。本論文ではデブリ回収機をサポートする2機、ドローン・ポーターについて報告する。

キーワード： 福島第一原子力発電所, 廃炉創造ロボコン, サポート機, ドローン, ポーター

1. 研究背景

廃炉創造ロボコンは文部科学省の叡智を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業の成果を踏襲して実施するものである。ロボットの開発を通じて学生に廃炉に関する興味を持たせると同時に、学生の創造性の涵養に貢献し課題解決能力のみならず課題発見能力を養うことを目的としている。本研究では、廃炉創造ロボコンというコンテストにおいて優秀な成果を治めることができるロボットの開発・提案を目的としている。

2. 大会の課題概要

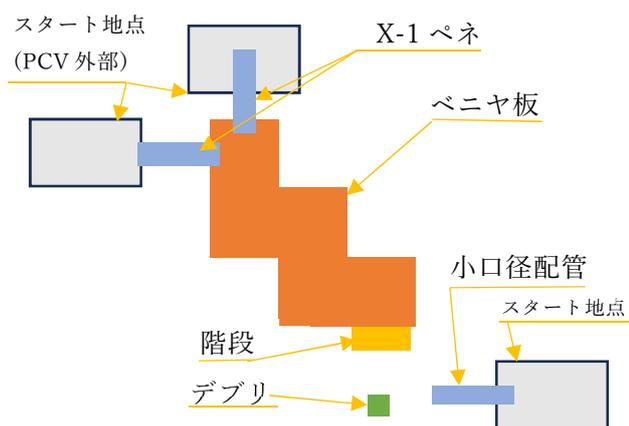


図1 競技フィールド図

福島第一原子力発電所原子炉格納容器炉(PCV)の内部調査を想定して行う競技である。また、競技形式は10分の実演とテストラン中における審査員の質疑応答によって評価が行われる。競技フィールド図を図1に示す。ロボットはPCVの外部にあ

るスタート地点からPCVの内部へのアクセスをする。PCV内部にアクセスするためには所員用エアロックであるX-1ペネトレーション(X-1ペネ)もしくは、小口径配管のいずれかをスタート地点として選択することができる。PCV内部にアクセス後X-1ペネをスタート地点とした場合、ベニヤ板上を約10m走行し、階段を約1.5m降下する。小口径配管をスタート地点とした場合、グレーチングの隙間を通り抜けた後約1m降下する。降下後どちらも回収対象物(デブリ)に向けて約3m移動しデブリを回収してスタート位置に戻る。デブリは一辺10mmの立方体である。またデブリの回収作業では、回収時の状態が極めて重要になる。回収時にかに密封性を考慮して容器に収納し、スタート地点に帰還するかが実機でも厳しく審査される。そのため、回収方法・収納方法・隔離方法が重要になってくる。

3. 課題達成方法

今大会では床材をベニヤ板として使用しているが実際のPCV内部ではグレーチングが使われている。そのため実際の現場でも動作できる機体設計を行なった。ポーター(運搬用ロボット)・プロローラー(探索・回収用ロボット)・ドローンで構成された計3台のロボットで達成することとした。デブリ回収手順は3機がまとまった状態でX-1ペネ内部からスタートする。その後階段の前まで移動する。ドローンが離陸し上空で待機する。その後プロローラーが射出される。ドローンが空からサポー

トし、リアルタイムで周囲の状況を監視しながらプロローラーの活動をサポートする役割を果たす。プロローラーがデブリを効率的に回収を行なったあとポーターがプロローラーを階段上まで回収する。プロローラーの活動が困難な状況や視覚的な障害物が存在する場合、ドローンが空からサポートし、周囲の状況を監視する。ドローンはプロローラーに俯瞰視点からの位置や3Dマップ情報を提供するだけでなく、緊急時には素早くプロローラーをフックで迅速に回収を行い後々の作業に影響を与えない操作を行うことができる。このように、ポーター・プロローラー・ドローンの各システムが相互に連携し、それぞれの得意分野を活かして効率的かつ効果的なデブリ回収を実現することを目指している。特にドローンのサポート機能により、プロローラーの移動や作業の最適化が可能となり、デブリ回収の精度及びスピードが向上することが期待できる。

4. ドローン機体開発

図2にドローンの外観を示す。ドローンは可能な限り小型化し、X-1ペネのφ500mmの横幅に収ま

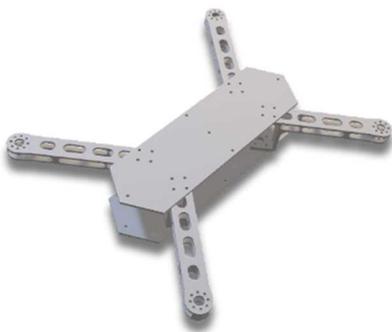


図2 ドローン外観

るように設計した。ドローンの高さ方向のサイズは、ドローン運ぶポーターおよび回収機であるプロローラーを合わせた状態で通れる厚さに合わせている。また、ドローンの積載量と軽量化を図るために、ドローンのアームの付け根部分および上下の板の投影面積を大幅に削減した。これにより、ドローンの空気抵抗が減少し、得られる推力が増加することが期待できる。さらに、ドローンの重量を抑えるため、通常のネジ、ワッシャー、ナットなどの増量要因となる部品は極力使用せず、代わりに

結束バンドなどの軽量の固定方法を採用した。これにより、現状のプロペラとモーターで得られる推力は、1つのモーターで約1630[gf]、クワッド構成にすると合計で瞬間的に6525[gf]の推力を発揮することが可能となる。ドローンの主な役割はデブリ回収を行うプロローラーのサポート機として機能することである。具体的には、上空から俯瞰視点で回収機であるプロローラーの位置を確認するだけでなく、3D LiDARを用いた3D SLAM（自己位置推定と地図作成）を行い、プロローラーの回収作業を支援する。このように、ドローンはプロローラーが効率的にデブリを回収できるようにサポートするために開発した。

5. ポーター機体開発

ポーターは実際の廃炉現場で使用されることを想定して設計しており、特にグレーチングなどの特殊な地形を踏破できるようにしている。そのため、段差や不整地での走行に強いクローラーを採用し、安定した移動を可能にした。ポーターの主な機能は、ドローンとプロローラーを階段前まで運び、必要に応じてドローンを離陸させたりプロローラーを射出させたりすることである。また、ポーターはプロローラーなどとの無線通信を容易にするため、有線通信で操作され、PCとの有線通信距離を拡張し、遠隔操作やデータ送受信を安定化させるためのデバイス(エクステンダー)を介してWi-Fiの機能を持たせることで、移動基地局としての役割も果たしている。ポーターの主な機能は、デブリを回収したプロローラーを再びポーターで回収し、ドローンを着陸させた後、スタート地点に戻ることができるように設計した。

今後の予定

ドローンの機体バージョン0が完成した。これを基に今後は、ドローンの制御部分を開発していく予定である。

参考文献

廃止措置人材育成高専等連携協議会より
第9回廃炉創造ロボコン実施要項.pdf
電動RC飛行機を作ろう>モーターの推力計算より
<https://horol1929.sakura.ne.jp/hikouki52/page5205.html>