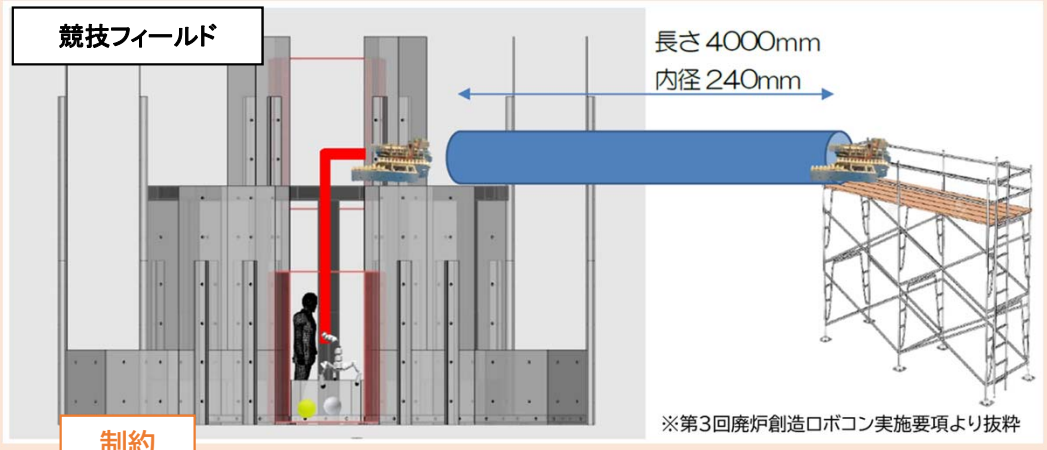
不整地環境探査のための遠隔操作移動ロボットの開発

廃炉創造ロボコンにおける核燃料デブリ取出しロボットの製作

A Development of Fuel-Debris Retrieval Robot for Decompossioning Robo-Con

廃炉創造ロボコンは，文部科学省の国家課題対応型研究開発推進事業（英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業）廃止措置研究・人材育成等強化プログラムの一環として，平成28年度より4年間にわたり福島工業高等専門学校の主管により実施されたものである．福島第一原子力発電所の廃炉において，ペデスタル底部に溶け落ちた核燃料デブリ回収をテーマとして製作したロボットの概要について報告する．

競技フィールド



※第3回廃炉創造ロボコン実施要項より抜粋

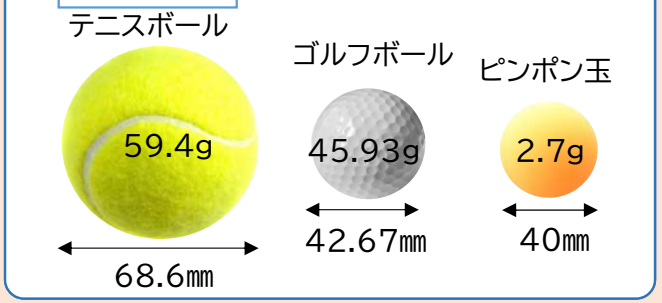
制約

- スタート時のサイズが全長1000[mm]，重量が15[kg]以下
- ロボットは遠隔で操作するため直視できず，コンリートの厚い壁があることから電波は届かないという想定

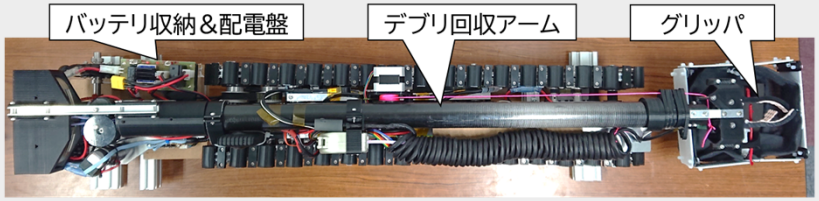
競技課題

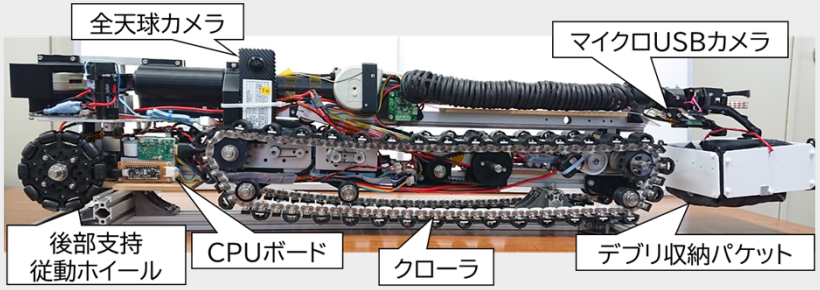
制限時間10分の間に，長さ4[m]，内径240[mm]のパイプを通ってペデスタル内部へアクセスし，プラットフォーム上に設けられた1[m]×1[m]の開口部から3.2[m]下に配置された模擬デブリ（テニスボール，ゴルフボール，ピンポン玉）を回収したのち，ペデスタルの外へ移動させる．

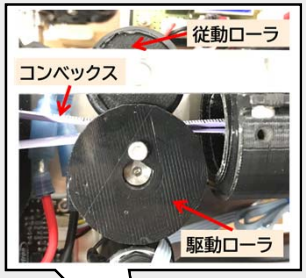
模擬デブリ



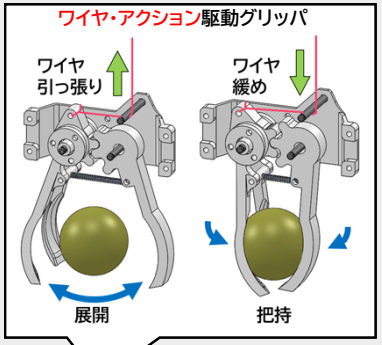
ロボットの概要

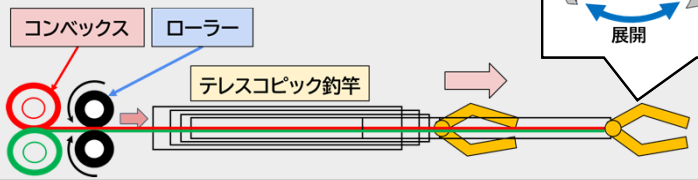






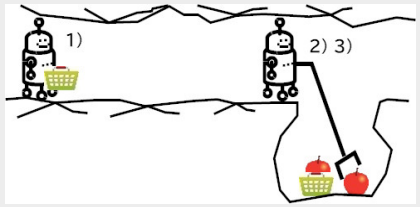
全長	998[mm]
全幅	140[mm]
高さ	215[mm]
重量	10.2[kg]





軽量な**カーボンファイバー製テレスコピック釣竿**を使用
コンベックスルールを竿内部に挿入し，ローラで送り出すことで**伸縮動作を実現**

戦略方針「腕を伸ばしてつかみ取る」



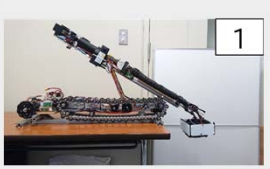
目標タスク

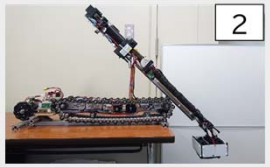
1）パケットをペデスタル底部へ搬送する
2）デブリをパケットに掴み集める
3）パケットを回収し帰還する

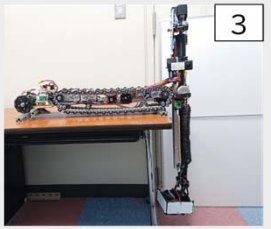
設計要件

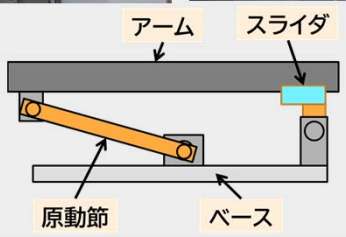
1. 3.2[m]下のデブリをピックアップするための**伸縮アーム**を実装する
2. アーム展開転倒を防ぐようなリンク機構を用いる
3. 足場の悪さを見越して移動機構には**クローラ**を用いる
4. 回収したデブリの収容用のパケットを備える
5. **全天球カメラ**を用いてロボットの周囲の状況を把握を行う

スライダークランク機構
によるアーム展開

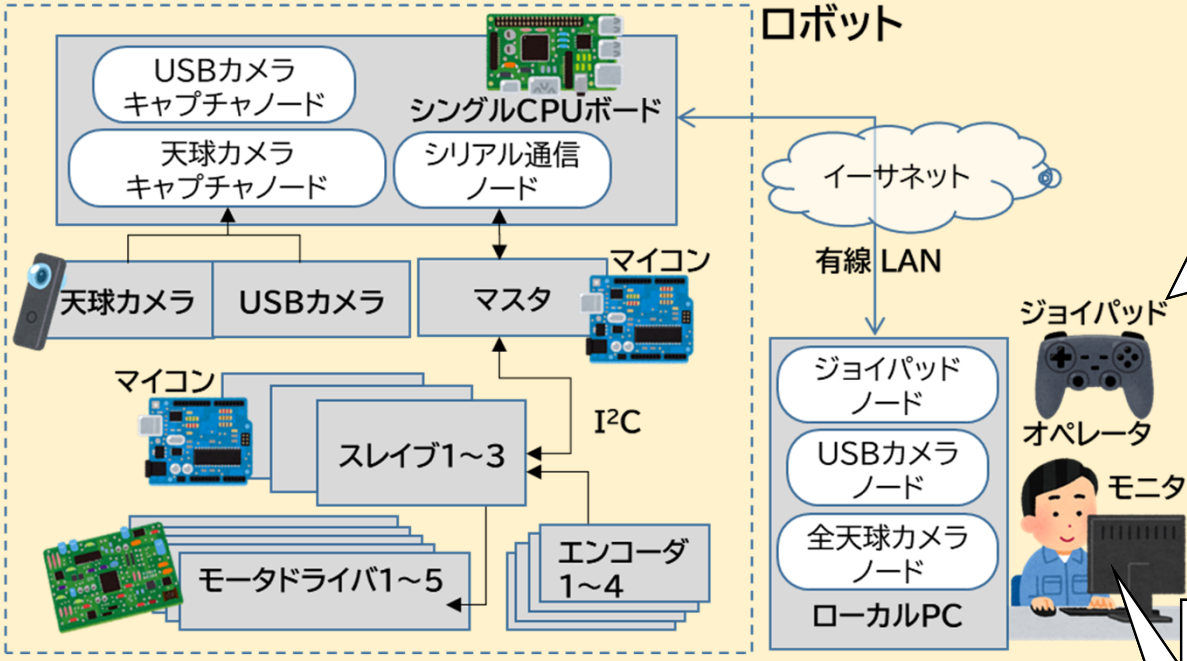








遠隔操作システム



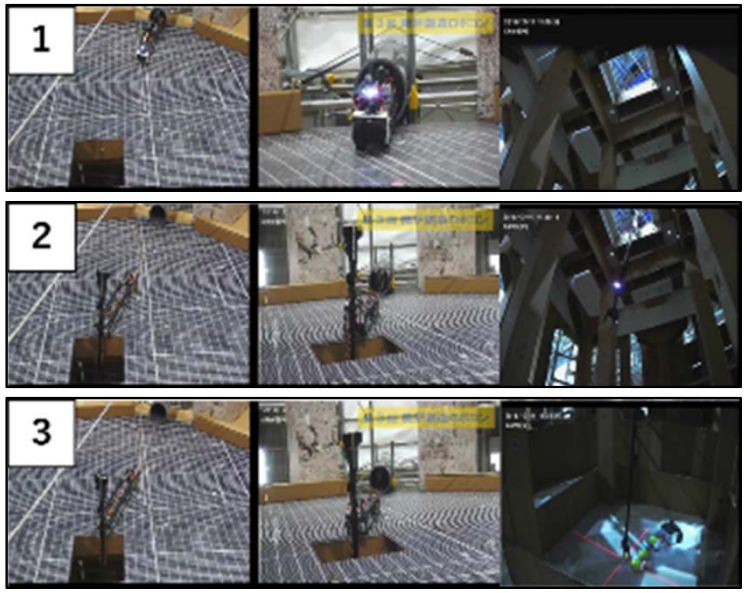
全天球カメラビュー
- 操作周囲の確認
- スティックで**視点の変更が可能**

エンコーダから計算した
ロボットの状態

USBカメラビュー
- 前方の確認
- 手先の位置決め

- **ROS**(Robot Operating System)をベースにシステムを構築
- ロボットとオペレータ間は**有線イーサネット通信**
- 広く慣れ親しまれているDualShock3を採用
- 操縦を1つのジョイパッドで行うことにより**オペレータの操作ミスの可能性を軽減**

動作確認



コンテストを通しての結果

- 本番でのデブリ回収は未達
- 達成事項
  - ✓ ペデスタルフロアへのエントリー
  - ✓ 開口部へのアーム展開
  - ✓ ペデスタル底部での模擬デブリの探索とアプローチ
  - ✓ 制限時間内で帰還

問題点

- ホイールベース-トレッド比大ゆえに，旋回性が極めて乏しい
- アーム展開後のグリッパ位置の操作について
  - ■ UI上のカメラ越しでの距離感喪失
  - ■ 微調整操作に対してのオーバーリアクション
- 模擬デブリのキャッチに最短でも4～5分の時間を要する
- 通信状況について
  - ■ ジョイパッド操作反映までおよそ0.2[s]程度（最大で0.4[s]）の遅延

まとめ

デブリ回収に要する各機構の動作検証により，想定通りのパフォーマンスを確認したが，最重要課題である模擬デブリ回収法について大幅な見直しが必要である．また過日，ロボットアーム調査によってペデスタル底部の実情や，燃料デブリの実態が把握され始めたことから今後はこれらの知見を取り入れ，次回ロボコン参戦のアイディア創発と設計製作を行う予定である．

【専攻科 エコデザイン工学専攻・1年 由井 秀弥】
　この度は共同研究に参画させて頂きありがとうございました。「しっかりとしたロボットを作る」ことの難しさ、動き始めたときの感動も束の間、そこからが本当の意味でスタートなのだと身に沁みました。

【電気制御システム工学科・准教授　金子 慎一郎】
　短期間で1つのシステムを作り上げるプロセス、それに伴う工程管理責任、動き始めて判る問題発見と対策など、学生にとって授業以上に濃密な経験を積む機会となったものと思います。また、ギリギリの設計レギュレーション達成に力強い一押しご支援を頂き感謝の限りです。

【電気制御システム工学科・5年　島田 孝輝（左）】
【電気制御システム工学科・5年　土田 昌矢（右）】
　この度は共同研究に参画させて頂きありがとうございました。経験ゼロスタートの手探り試行錯誤、ほぼ初めて尽くしで、あらゆることが修行ですが、1歩事を進めるごとに見えてくる製作物のカタチに喜びを感じました。

【シードシステムズ株式会社 代表取締役 栗原 貞雄 様】
　富山高専の教育・研究に少しでも貢献できるかと思い、共同研究に参画しています。研究室を訪問したとき、研究学生のパワーが学生時代を思い出すように伝わってきます。原子力発電所の廃炉に向けて、皆さんのアイデアが実用化されるよう頑張ってやり遂げてください。