

論 文 要 旨

2024 年 1 月 10 日

※報告番号	甲第 3 5 3 号	氏 名	小林 亮介
主論文題名 放射線環境作業用ロボットの計測制御システム構成に関する研究			
内容の要旨 本研究では、放射線環境作業用ロボットシステムについて、作業目的を達成する上で必須となる耐放射線性や寸法などの制約条件を満足しつつ、オペレータへの情報提示やロボット制御の自動化などを実現するための計測制御システム構成を定量的に評価することを目的に、その設計評価指標を提案した。 まず、放射線環境下での代表的な作業である、原子力プラントメンテナンス作業と被災プラント廃炉作業を対象に、その作業に用いられる遠隔操作ロボットシステムの基本構成を述べ、各作業でのロボット要素動作を分析した。分析の結果、移動機構の位置姿勢や、作業機構の関節角度・手先位置姿勢などのロボット状態量を把握する必要性を述べた。原子力安全の観点でのシステムへの要求を整理し、放射線環境作業用ロボットシステムの共通要件をまとめた。そして、遠隔操作で特に重要となるオペレータへのロボット位置姿勢情報の提示や、ロボットの動作制御を実現する計測制御システムに対し、耐放射線性を確保するための構成方法を検討した。耐放射線性確保には、放射線影響で故障するセンサ機能への遮蔽材の追加または低放射線環境への分離が必須であり、センサの回路構成を信号検出部、信号増幅部、信号伝送部など機能別に考えると、全てのセンサ機能をロボットへ搭載した構成（Type1）、センサ機能を一部ロボット外へ分離した構成（Type2）、センサ機能を全てロボット外へ分離した構成（Type3）の3つへ分類できることを示した。その構成を分類する評価指標として、計測制御システムを構成するセンサ機能のロボットからの分離割合を示すセンサ機能分離率 Score1 を提案した。 次に、Type1 の事例として、メンテナンス作業の一つである水中での炉内構造物目視点検を対象に開発したロボットとその計測制御システムで、ロボット位置推定機能と遊泳制御機能を実現した結果を述べた。そして、Type2 の事例として、被災プラント廃炉作業の一つである濁水中での漏えい箇所調査を対象に開発した、超音波センサでの形状計測結果を用いたロボット位置推定機能を検討した結果を述べた。また、同じく Type2 の事例として、被災プラント廃炉作業の一つである気中・高放射線環境での構造物破損状況および環境調査を対象に開発したロボットとその計測制御システムとして、搭載カメラ映像のみを用いたロボット位置推定機能を検討した結果を述べた。さらに、Type3 の事例として、被災プラント廃炉作業の一つである気中・高放射線環境での干渉物撤去作業を対象に、センサレスマニピュレータの姿勢推定機能を開発した結果を述べた。 そして、上記開発事例について、要求される耐放射線性とセンサ機能分離率の関係を整理した結果、一般環境向けセンサをそのまま適用できることが多い耐放射線性 200Gy までは、一般			

環境向けロボットシステムと同様にロボットへのセンサ搭載を前提にした構成であるが、高い耐放射線性が求められる場合には Score1 は高くなり、この評価指標を用いて計測制御システム構成を検討することが有効であることを確認した。また、開発結果から得られた知見を活用し、計測制御用と目的作業用のセンサ兼用でセンサ数削減を図り省センサ構成を実現するための評価指標として、新たにセンサ兼用率 Score2 を導入することを提案した。開発事例に対して Score2 を算出した結果、耐放射線性が累積 1000Gy 以上の場合には Score2 が 1.0 となりセンサ削減率が高いこと、200Gy 以下の場合には通常プラント向けシステムと比較して被災プラント向けのセンサ兼用率が高くなることを確認した。さらに、Score1 と Score2 によってシステム構成を分類すると、両スコア小のグループ（耐放射線性 200Gy の通常プラント向け）、両スコア中程度のグループ（耐放射線性 200Gy の被災プラント向け）、両スコア大のグループ（耐放射線性 1000Gy 以上の被災プラント向け）に大別できることを示した。

以上、耐放射線性を確保するための評価指標であるセンサ機能分離率 Score1 と、複数用途でセンサ兼用することで省センサ化を図るための評価指標であるセンサ兼用率 Score2 を用いて、放射線環境作業用ロボットの計測制御システム構成を分類・評価することで、その設計初期段階でシステム構成を定量的に評価できることを確認した。提案評価指標の活用により、これまで対象環境や作業に応じて個別になされていたロボット本体やその計測制御システムの設計・製作に要していた時間を削減する効果が期待できる。また、定量的な評価指標を用いた構成検討により、計測制御システムの故障リスクが低減され、計画的なメンテナンス作業の遂行、迅速な事故収束作業への対応など、実用的なシステム開発へも貢献できると考える。