

プログラム名：タフ・ロボティクス・チャレンジ

PM名：田所 諭

プロジェクト名：ロボットインテリジェンス

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平 成 2 9 年 度

研究開発課題名：

油圧駆動ロボットの高臨場感遠隔操縦に関する研究

研究開発機関名：

国立大学法人神戸大学

研究開発責任者

横小路 泰義

# I 当該年度における計画と成果

## 1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

本研究開発では、タフ・ロボティクス・チャレンジで開発する複合ロボットプラットフォームに対して高臨場感遠隔操縦に関する研究を行う。本年度は前年度の成果を受け、油圧駆動ロボットの高臨場感遠隔操縦の実現に向け、完成した神戸大学の実験評価用プラットフォームで検証された手法を複合ロボットプラットフォームに実装し、フィールドテストでその有効性を検証する。フィードバック量子化器による1軸油圧駆動システムの高精度制御については、フィードバック量子化器による高精度位置決め制御をさらに向上させる手法を導入し、新油圧駆動システムに迫る軌道追従精度を実現する。シリンダ油圧による高精度手先負荷力推定に関しては、加速度センサの情報を利用することで、動的な衝撃力も推定可能な手法を開発し、開発した手先負荷推定法を建設ロボットプラットフォームへ実装するとともに、フィールドテストで有効性を検証する。高臨場感視覚システムのプロトタイプの開発に関しては、RBG-Dカメラによる奥行き感の提示が可能な視覚システムのプロトタイプを従来手法と比較し、その効果を検証する。複腕建設ロボットプラットフォームの評価タスクの検討とタスク実現のための制御法および高臨場感操縦インタフェースの検討に関しては、建設ロボットプラットフォームの開発主担当の大阪大学の研究グループと協力しながら、複腕アームを有する第二世代の建設ロボットプラットフォームの操縦インタフェースを検討するために、評価タスクを定義し、様々なアームの制御手法やカメラ配置による作業性の違いを比較検討する。

## 2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

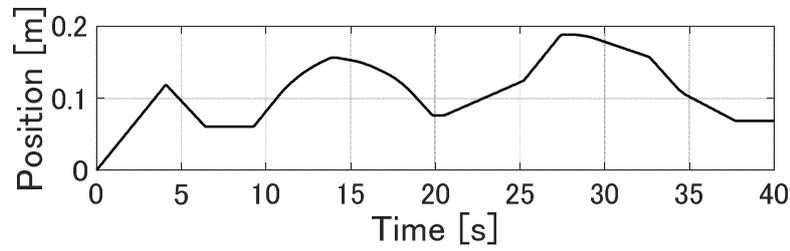
### 2-1 進捗状況

提案するフィードバック量子化器の軌道追従性能を向上させるために、量子化器に新たにヒステリシス特性を持たせた手法を新たに提案し、神戸大学の実験評価用プラットフォーム上で新油圧駆動システムとの性能比較を行い、新油圧駆動システムと同等の性能を有することが確認された。シリンダ油圧による高精度手先負荷力推定に関しては、加速度センサの情報を利用することで動的な衝撃力も推定可能な手法を開発し、その成果を複腕建設ロボットプラットフォームへ実装して11月のフィールド評価会の実験で実証した。同時にバイラテラル制御に関しても、大阪大学の研究グループと共同で複腕建設ロボットプラットフォームに実装し、11月の公開テストフィールド実験で高精度手先負荷力推定と組み合わせることで有効性を実証した。前年度に開発したRBG-Dカメラによる奥行き感の提示が可能な視覚システムの有効性を検証するために、複数カメラ配置やHMDなどの従来手法と遠隔操縦の作業効率を比較し、RBG-D方式の課題を確認した。複腕建設ロボットプラットフォームの評価タスクの検討とタスク実現のための制御法および高臨場感操縦インタフェースの検討に関しては、複腕建設ロボットプラットフォームのモデルを用いたシミュレータにより、まず複腕建設ロボットプラットフォームにより行わせるべき作業を設定し、その作業を実行するために適した制御手法、カメラ配置を検討するための被験者実験を行った。

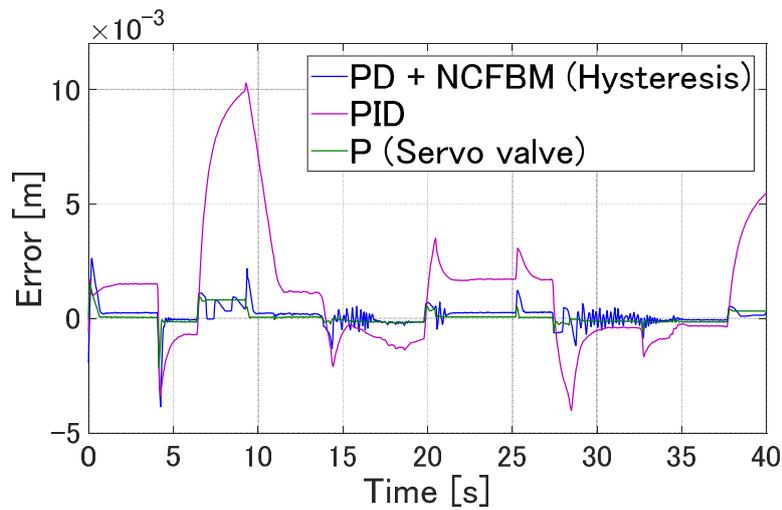
### 2-2 成果

図1に実験評価用プラットフォーム上で、比例弁に提案手法を適用した場合、比例弁に単純なPID

制御を適用した場合，建設ロボットに導入した新油圧駆動システムと同じタイプのサーボ弁を用いてP制御を適用した場合の，軌道追従性能の比較実験の結果を示す．目標軌道は，遠隔操縦を想定し，ジョイスティックで与えた任意軌道とした．



(a) 目標軌道



(b) 軌道追従誤差

図1 神戸大学の実験評価用プラットフォームによる軌道追従性能比較実験結果

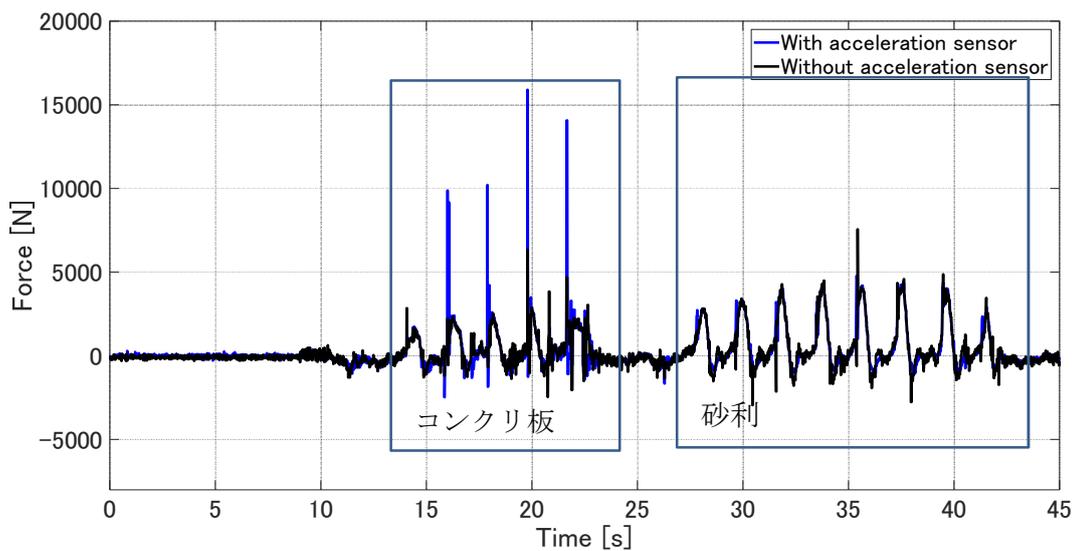


図2 2017年11月のフィールド評価会での実験結果

PID のゲインは限界感度法で調節したものであるが、PID 制御ではサーボ弁と比べて大きな誤差が生じたのに対し、提案手法では比例弁を使用しながらもサーボ弁に迫る軌道追従性能を示すことが確認された。

図 2 に 2017 年 11 月の東北大学でのフィールド評価会において、開発した手先負荷力推定法を複腕建設ロボットのアップパーアームに実装して行った実験結果を示す。アップパーアームで砂利の下にコンクリート板を埋めた地面と砂利のみの地面を数回たたきつけた場合の応答を示している。加速度センサの情報を利用することで動的な衝撃力も推定できており、力覚だけでコンクリート板と砂利の区別が可能であることが示唆される。実際に、推定した手先外力をオペレータにフィードバックするバイラテラル制御も大阪大学の研究グループと共同で実装し、作業を行ったオペレータにインタビューしたところ、衝撃力も含めた推定外力をフィードバックすることで、地面と接触の瞬間を認知できるとの感想を得た。

図 3 に試作した RGB-D カメラを用いた視覚システムによる遠隔操縦実験の様子を示す。比較手法として 2 台の単眼カメラを直交するように配置した場合や、HMD と頭部運動に追従するステレオカメラを組み合わせた VR 型システムを用いた場合とで作業時間を比較したところ、複数単眼カメラや VR 方式よりはやや劣る結果となった。視点移動をマウスで行う必要があったためと思われる。

図 4 に、複腕建設ロボットの操縦インタフェースの検討に用いたシミュレーション環境下での 3 つのタスクを示す。それぞれ複腕を用いた効率的な作業、背密なはめ合い、クローラとアームの協調が試されるタスクとなっている。手先やベース部さらには俯瞰カメラなどを作業に応じて適宜変更することで、作業効率が向上することが確認された。アームの制御手法に関しては、手先制御は特に微細操作に有効であるが、建設ロボットの各軸の動作範囲が狭いために、ある軸が動作制限に達すると、指令した方向に手先が動かなくなる。よって手先制御においては、常に各関節の動作範囲を把握しておくなど、操作には多少の熟練が必要であることがわかった。

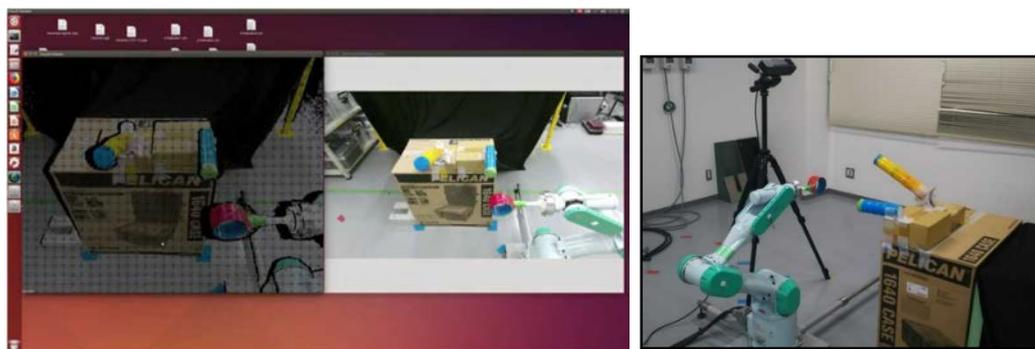


図 3 遠隔操作時の RGB-D カメラによる奥行き情報提示の有効性検証

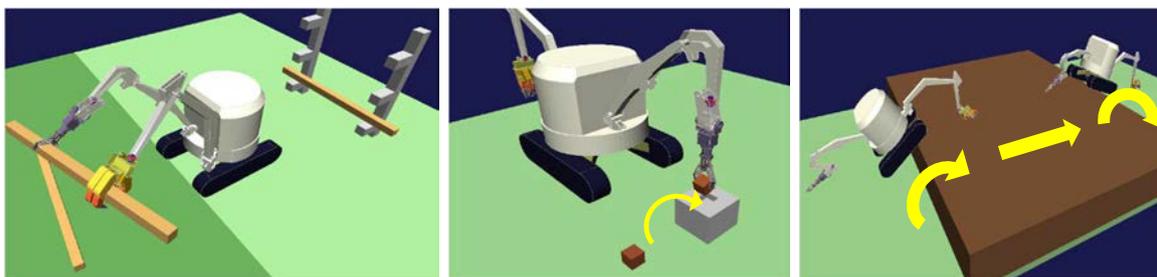


図 4 複腕建設ロボットの操縦インタフェースの見当に用いた 3 種のタスク

### 2-3 新たな課題など

フィードバック量子化器については、軌道追従精度についてはサーボ弁に迫る性能が得られつつあるが、応答が振動的となる場合があるので、更なる改善を図る。

手先負荷力推定に関しては、衝撃力の大きさが大きいと、ハプティックデバイスの最大提示力に収まるように力のスケール変換をすると、静的反力の提示力が小さくなりすぎる傾向があるため、衝撃力と静的外力とで提示スケールを変える手法を検討する。またノイズ等の影響により非接触時も推定値が完全にゼロにならないため、ある大きさ以下の推定値はマスクすることを検討する。

高臨場感視覚システムのプロトタイプの開発に関しては、HMDを用いるVRタイプが現場での使用を考えると現実的でないため、RGB-Dカメラによる視覚システムの可能性を引き続き検討する。

複腕建設ロボットプラットフォームの評価タスクの検討とタスク実現のための制御法および高臨場感操縦インターフェースの検討に関しては、協調制御など複腕の特徴を生かせる制御手法を導入し、シミュレータでの検討を経て実機への実装を検討する。

## 3. アウトリーチ活動報告

該当なし。