

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28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。本年度は前年度に引き続き、油圧駆動ロボットの高臨場感遠隔操縦の実現に向け、神戸大学で使用する実験評価用プラットフォーム構築を継続して完成させる。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、完成したプラットフォーム上での新油圧駆動システムとの性能比較により、フィードバック量子化器による高精度位置決め制御の性能限界を定量的に明確にする。シリンダ油圧による高精度手先負荷力推定に関しては、構築したマイクロショベルプラットフォームにより、静的、動的状態において手先負荷推定を行い、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。またマイクロショベルカーの実験用プラットフォームにバイラテラル制御を実装し、バイラテラル制御のための評価タスクを設定する。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、レンジセンサや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による高臨場感視覚提示の可能性を検討し、高臨場感視覚システムのプロトタイプを開発する。

クローラとアームとの協調動作など器用かつ多様な作業を実現するための機構の検討に関しては、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によって多様な動作が実現できるような制御手法、操縦インタフェースを検討し、シミュレーション等により検討した制御手法とインタフェースを評価する。同時に、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（評価タスク）を明確化する。

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

神戸大学で使用する実験評価用プラットフォームの構築は完了した。完成したプラットフォーム上でフィードバック量子化器による1軸油圧駆動システムと新油圧駆動システムとの性能比較を行い、フィードバック量子化器が定常偏差においては、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、構築したマイクロショベルプラットフォームの成果を建設ロボットプラットフォームへ実装し、11月の公開テストフィールド実験で実証した。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実証した。高臨場感視覚システムのプロトタイプとして、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を開発した。

クローラとアームとの協調動作など器用かつ多様な作業を実現するための機構の検討に関しては、第二世代の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（評価タスク）の候補を設定し、その作業を実行するために適した制御手法、操縦インタフェースを検討した。

2-2 成果

図1に完成した実験評価用プラットフォームを示す。回転軸、ブーム軸、アーム軸、バケット軸の4軸が電磁比例弁により計算機からの指令により動作可能となっている。またアーム軸のみ高性能サーボ弁による新油圧駆動システムとの切り替えが可能となっており、電磁比例弁+フィードバック量子化器との性能比較を行える。

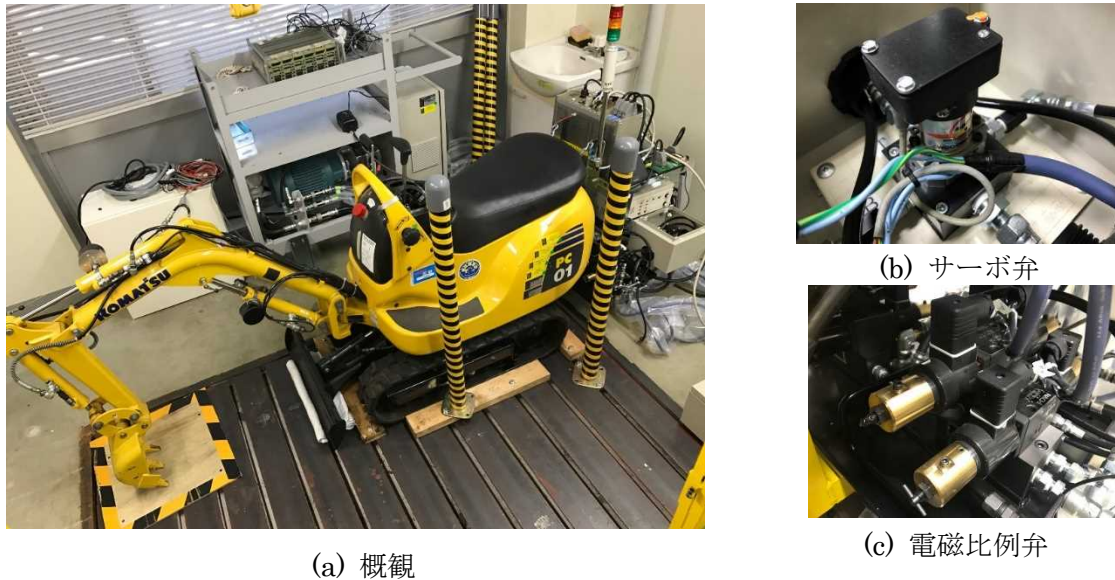


図1 構築した実験評価用プラットフォーム

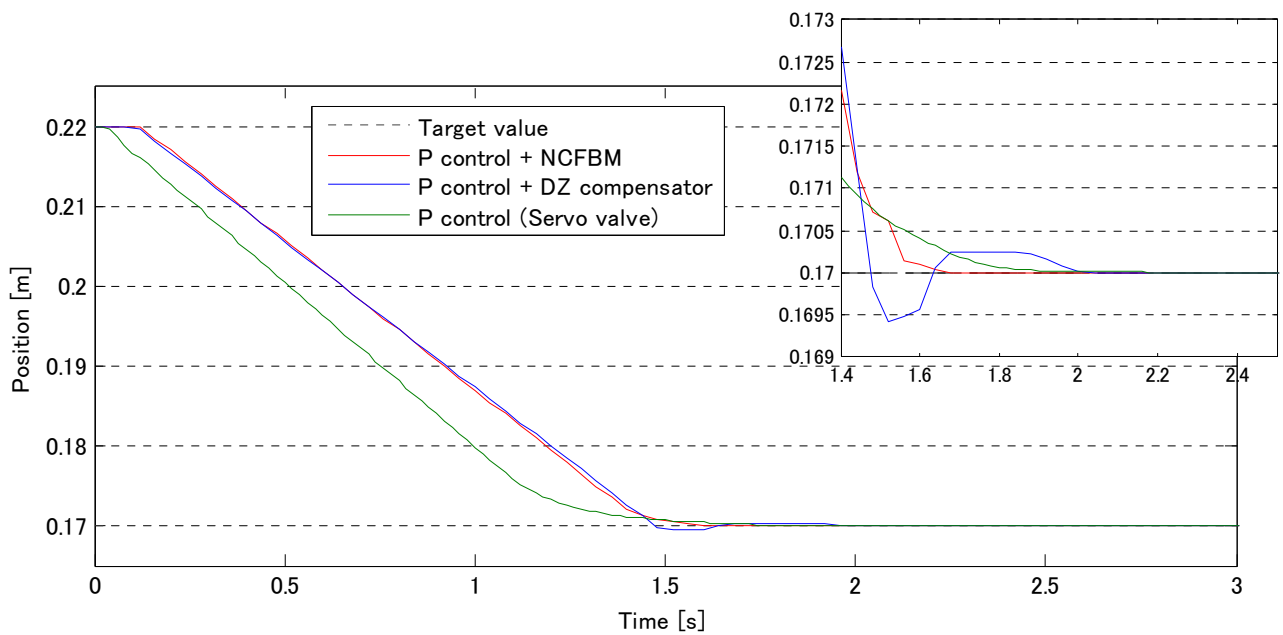


図2 構築した実験評価用プラットフォームによるサーボ弁と比例弁+フィードバック量子化器の性能比較実験結果

図2にアーム軸のステップ応答を示す。右上の図は、応答の一部を拡大したものである。サーボ弁に単純な比例制御を適用した場合は初期応答も良く、目標値へも定常偏差なく収束している。電磁比例弁にフィードバック量子化器を用いた比例制御を適用すると、初期応答はサーボ弁には及ばないものの、定常偏差に関してはサーボ弁とほぼ同等の性能を有することが確認できた。比較のために行った、電磁比例弁に単純な不感帯補償器を加えた比例制御では、同定時の不感帯幅からの変動の影響によりオーバーシュートが生じている。以上より、電磁比例弁とフィードバック量子化器の組み合わせは、定常偏差に関しては新油圧駆動システムのサーボ弁と同等の性能を有していることが確認できた。電磁比例弁の初期応答を改善するには、フィードフォワード項の追加により解決できる余地がある。

手先負荷推定に関しては、昨年度に神戸大学の実験評価用プラットフォーム（電磁比例弁の実装前）において先行的に行った実験において、今年度目標である静的状態での最大負荷力の5%の精度での推定を達成していたが、本年度ではシリンダ摺動部の抵抗力を実験的に同定しそれを補償することで、手先が環境と接触しない無負荷動作においては、動的状態であっても最大負荷力の5%の精度での推定を達成した。この成果を単腕建設ロボットプラットフォーム（図3）に移植し、行った実験結果を図4に示す。概ね良好な推定結果が得られているが、建設プラットフォームの各種パラメータ同定に十分な時間を割けられていないので、さらなる精度向上が見込めるが、現時点ではフォースプレートによる真値の計測ができていないので、推定精度の評価はできていない。なお、11月のフィールド評価会では、大阪大学の研究グループと共同で建設ロボットプラットフォームにバイラテラル制御を実装し、外力推定および力覚フィードバックのデモンストレーションを行った。

図5は、RGB-Dカメラの一種であるKinect v2を用いて、スレーブ側の作業環境の奥行き情報を獲得し、操縦者に提示する視覚システムのプロトタイプである。図の左側に示したアーム搭載カメラの映像のみからでは分かりにくい奥行き情報が、Kinect v2によるRGB-D点群データにより容易に把握できることが確認できた。またアーム自身により点群データが所得できない部分には過去の点群データを補完する手法も試みた。



図3 単腕建設ロボットプラットフォーム

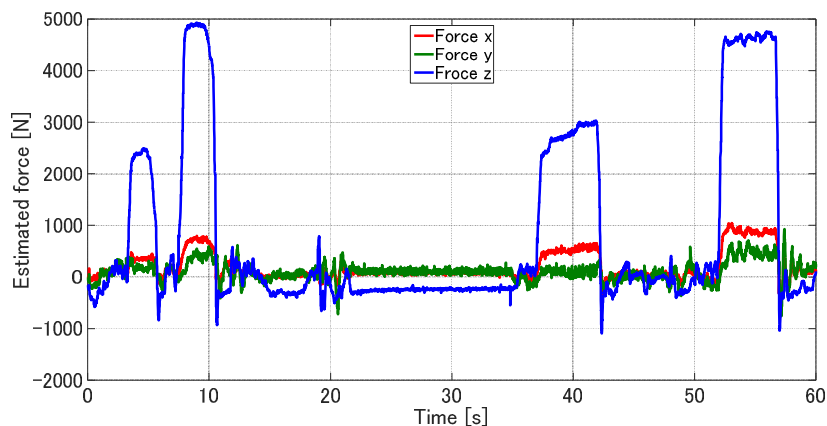


図4 単腕建設ロボットプラットフォームによる外力指定実験結果

図6に、複腕建設ロボットプラットフォームの操縦インターフェース検討用のシミュレータの外観を示す。このシミュレータ上で図7に示すような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（評価タスク）の候補を設定した。次に、それらの作業を実行するために適した制御手法、操縦インターフェースを検討した。今年度は操縦デバイスとしてはジョイスティックのみとしたが、各軸制御と手先制御とを比較したところ、タスクに依存し明確な優劣はつけられなかった。ただし、手先位置の調整が重要なタスクでは手先制御が、手先位置の調整が重要なタスクでは各軸制御が使いやすい傾向にあった。

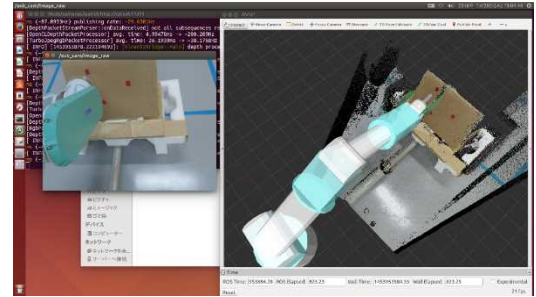
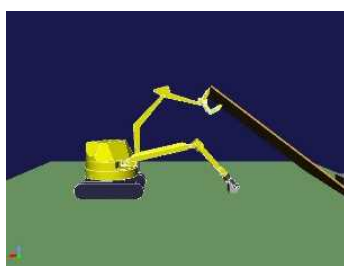


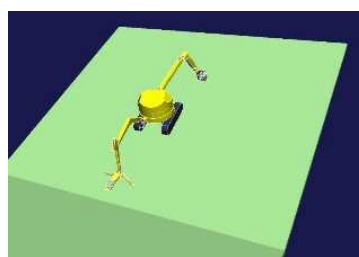
図5 RGB-D 点群データによる奥行き情報提示



図6 複腕建設ロボットプラットフォームの操縦インターフェース検討用のシミュレータの外観



(a) 瓦礫下の対象物の取り出し



(b) 急斜面上の対象物の撤去



(c) 急斜面の横断

図7 複腕建設ロボットプラットフォームによるタスクの候補

2-3 新たな課題など

手先負荷推定に関しては、シリンダ部の摺動抵抗を同定し補償することで、無負荷状態では動的状態であっても精度良く推定できるようになったが、強く環境と接触した際の衝撃力の推定はできていない。そこで加速度計を併用するなどにより、衝突時の高減速とその後の振動による慣性項の影響を補償し、さらなる精度向上を図る。

バイラテラル制御の実装に関しては、フィールドデモの都合により、先に建設ロボットプラットフォームへの実装を行ったので、今後は神戸大学実験評価用プラットフォーム上での実装を進め、制御系の最適化などを進め、その成果を再び建設プラットフォームへの実装に生かす。

複腕建設ロボットプラットフォームの操縦インタフェース検討に関しては、被験者がシミュレータ上での俯瞰映像に大きく依存していたが、現実的にはこのような高解像度でかつ安定な画像を得ることは難しいため、より現実に即したシミュレーションの上での評価を行う必要がある。

3. アウトリーチ活動報告

特になし