

採 択 番 号 07001

研究開発課題名 通信・電力を無線化し連携協調動作するワイヤフリーロボットの研究開発

(1) 研究開発の目的

本研究開発の目的は、ワイヤレスハーネス技術の確立である。まず、配線が無くなることで、可動域が広がり設計の自由度が増加する。また、配線に使っていた空間を削減でき、コネクタなどの実装面積も小さくできる。線材やコネクタなどを低減でき、機器内部の換気の効率も改善する。さらに廃棄における分別も容易になる。配線ミス、組立工数が低減でき、断線の心配もなくなる。組立・分解が容易にできることで、移設もしやすくなる。このように、様々な利点を挙げることができる。これらのメリットは、ユーザーよりも製造者にとって大きいものであるが、省スペースや低コストは、やがてユーザーにも利点となってくるはずである。

さらに、これらの実現はSDGsの目標である「9 産業と技術確立に基礎を作ろう」「7 エネルギーをみんなにそしてクリーンに」「8 働きがいも経済成長も」に合致する。

(2) 研究開発期間

令和 4 年度から令和 5 年度 (2 年間)

(3) 受託者

株式会社国際電気通信基礎技術研究所<代表研究者>

国立大学法人室蘭工業大学

国立大学法人千葉大学

学校法人五島育英会東京都市大学

(4) 研究開発予算 (契約額)

令和 4 年度から令和 5 年度までの総額 230 百万円 (令和 5 年度 150 百万円)

※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

研究開発項目 1 ワイヤレスロボティクスにおける協調型制御技術

研究開発項目 1-a) 低遅延ミリ波通信と複数ロボット・基地局の連携協調動作に関する研究開発 (株式会社国際電気通信基礎技術研究所)

研究開発項目 1-b) ロボットアーム要求を考慮したワイヤレス給電負荷低減のモータ協調制御に関する研究開発 (国立大学法人室蘭工業大学)

研究開発項目 2 ワイヤレス電力伝送とそれを実現する構造設計

研究開発項目 2-a) ロボットアーム向け多段直並列多出力ワイヤレス給電システムの研究開発 (国立大学法人千葉大学)

研究開発項目 2-b) 堅牢かつ脱着容易なロボット関節を実現するワイヤレス給電用ドッキング機構に関する研究開発 (学校法人五島育英会 東京都市大学)

(6) 特許出願、外部発表等

		累計 (件)	当該年度 (件)
特許出願	国内出願	6	6
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	4	4
	その他研究発表	32	29
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	1	1
	受賞・表彰	1	1

(7) 具体的な実施内容と最終成果

研究開発項目 1：ワイヤレスロボティクスにおける協調型制御技術

研究開発項目 1-a) 低遅延ミリ波通信と複数ロボット・基地局の連携協調動作に関する研究開発

見通し内通信が前提のミリ波通信において、見通し外でも電波が到達するように反射方向を幾何学的な方向とは異なる向きとすることを特徴としたリフレクタレーを設計し、シミュレーション及び実機にて動作を確認した。これにより基地局を天井に配置した場合、ロボットの下の方に発生する見通し外における不感地帯の対策ができる目途が立った。

無線通信装置については、コロナ以降のミリ波帯の半導体不足の影響が残っており、ベースバンド部分を中心に FPGA 及びマイコンでの回路を平行して設計・試作を進めた。FPGA 方式では Zynq の FPGA 評価ボード上にアップ・ダウンコンバータを実装する形態で、マイクロ波帯の IF での通信装置の開発を完了した。マイコン方式は RX72N を採用し、ベースバンド通信装置の開発を終えるとともに、それをを用いてプロトコル検証を行う多元接続評価用治具の開発まで完了した。

加えて、ロボットアームを動作させるための基本的な通信プロトコルの検討、及び装置を実際に使用するための無法的な手続きの確認も終えた。

さらに、過去の開発したプロトタイプワイヤフリーロボットを改造し、重量物の持ち運びなど高トルク時の評価を行った。

研究開発項目 1-b) ロボットアーム要求を考慮したワイヤレス給電負荷低減のモータ協調制御に関する研究開発

ピーク電力が制限され、かつ、初期位置・姿勢から目標位置・姿勢、目標達成時間が規定されている単体のロボットアームの軌道生成アルゴリズムを考案し、シミュレーションによりその有効性ならびに問題点を明らかにした。考案アルゴリズムは電力制限下ではアーム関節の角速度を同一比率で減速するものであるが、減速に関して関節毎の整合性をとらないとエンドエフェクターの最終位置がずれするという課題を明確にした。

さらに、複数のロボットアームを動作させる場合には、整数計画法を用い、かつ、それぞれのロボットアームに休止時間を設け、かつ、整数計画法を用いることにより総電力エネルギーを制限内に抑えられることを確認した。上記いずれも、目標達成時間を規定する場合、制限可能な電力量には限界があり、目標姿勢角に目標時間内に到達できない可能性があることも明らかにした。

また、制御システム検証用ロボットアームシステムの設計・構築を行うとともに、モータドライバー選定・購入を行い、実際に駆動することにより、設計の妥当性及び課題を明確にした。

研究開発項目2：ワイヤレス電力伝送とそれを実現する構造設計

研究開発項目2-a) ロボットアーム向け多段直並列多出力ワイヤレス給電システムの研究開発

システムトポロジに対するワイヤレス給電システム設計を検討した。本研究では同じパーツであらゆるトポロジに対応する汎用性の高いシステム実装を実現することとした。このためには、結合コイルからみた負荷が均一になることが望ましい。この要望に対し、我々が持つ負荷非依存技術に、アクティブインピーダンス変換を適用した。これにより、1.負荷変動のみならず位置ずれに対してもロバストなワイヤレス給電システム、2.複雑な制御を用いずに負荷バッテリーへの充電特性の切り替えが可能なワイヤレス給電システム、3.同一のコイルを用いて出力の異なる複数の負荷へ同時に電力供給が可能なワイヤレス給電システムの設計論を構築した。ロバスト性の獲得は構築したモデルを用いて数理的に保証された。さらに実験によりその妥当性を確認できた。

また、本年度は1キロワットのワイヤレス給電システムの実装を検討した。ここでは、1直列のワイヤレス給電システムを実装し、インバータ回路の大電力化に最も焦点をあてることとした。大電力実装にも対応できる設計最適化のためのアルゴリズムを開発しソフトウェア実装した。このフェーズを通じて、大電力化における基板実装のノウハウおよび磁性素子の設計に関するノウハウを蓄積した。購入した計算機のマシンパワーによって最適設計アルゴリズムの計算時間は3分15秒まで短縮された。実装したワイヤレス給電システムはプッシュプルトポロジによるキロワット動作を達成し、実験によりその有効性が示された。

研究開発項目2-b) 堅牢かつ脱着容易なロボット関節を実現するワイヤレス給電用ドッキング機構に関する研究開発

ワイヤレスロボット実現のため、ドッキング機構における開発目標および設計方針について検討を実施した。それに基づいて、ワイヤレス電力伝送で重要なカギとなる送受信コイルによる電磁誘導を妨げない材料選定や構造考案を実施し、脱着機構ではロボット規模や動作に応じた十分な剛性や強度を有する設計を実施した。脱着機構では複数の構造様式を提案し、その中からトレードオフを実施して詳細な設計と試作を行った。試作したロボットアームでは脱着機能を設計通りに製作されているか確認し、クリアランスと剛性との関係について実験より明らかにした。さらに全体のロボット構造を試作することで強度評価を実施した。その結果、ロボットアームにおける剛性や強度は十分であることがわかり、設計の妥当性が明らかとなった。

(8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

実質14カ月の研究期間しかない中で多くの研究成果が出ていることもあり、別なスキームでの研究開発の継続を目指すことになった。

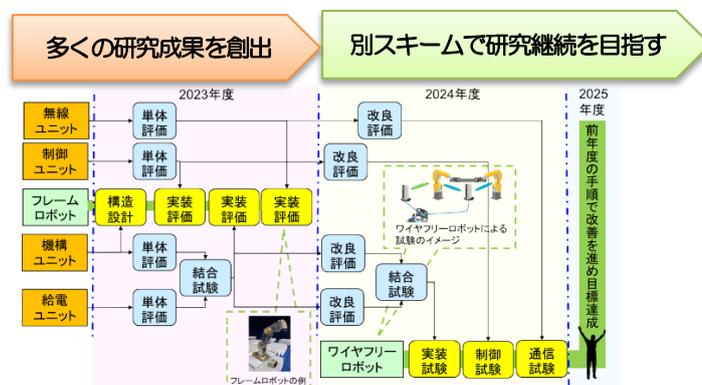


図1 今後の研究開発計画概要