

パプティック機能を持つやさしくやわらかい 次世代ロボットハンド・アームシステムの開発と 医療支援システムへの応用

研究代表者 共生システム理工学類 高橋 隆行

1. 研究目的

ロボットによる人支援を現実化するには、未解決の難問が山積していることは言うまでも無い。例えば、福祉分野に関する調査では、介護者もしくは第三者からはロボットの導入が期待される一方で、被介護者からはロボットは敬遠される傾向がある。これは、現在の対人用途ロボット技術のレベルを端的に物語るものである。

本研究テーマでは、材料、センサ、システム等、異分野の専門家を密に連携させ、複合機能材料を用いた最適構造設計や軽量小型直動アクチュエータ等を用いた関節機構のシステム化などを通して、限界の軽量化を図ったロボットハンド・アームシステムを実現する。また、研究参加者のこれまでの研究成果を活用した高度なセンサデバイスや軽量・柔軟な筐体を実現し、また、心理学の専門家による解析・評価を設計に取り入れることで、人間共存型ロボット用次世代ハンド・アームシステムとしての有用性を高めることを試みる。

また、本研究で開発する要素デバイスは、基本的に全て単体として製品化することを目標として強く意識しており、裾野の広いロボット産業の特徴を最大限に生かした成果を目指す。

2. プロジェクトチーム

<研究代表者>

高橋 隆行 (福島大学)

<研究分担者>

小沢 喜仁、福田 一彦、島田 邦雄、鄭 聖熹、鄭 耀陽、浅岡 章一 (福島大学)、佐々木裕之 (鶴岡工業高等専門学校)、尾股 定夫、村山 嘉延 (日本大学)、Anton Shiriaev (ウメヲ大学)、渡邊 真義 (福島県立郡山高等技術専門学校)、菊地 時雄 (福島県ハイテクプラザ)

3. 研究活動

本研究は、平成18年度から20年度まで3年間の研究プロジェクトであり、以下の5つのサブテーマから構成されている：(1)指関節駆動用アクチュエータと制御系、(2)指骨格用複合強化材料、(3)触覚センサ埋め込み樹脂、(4)腕関節駆動用アクチュエータ、(5)心理学的評価に基づく工学設計支援と素材。当初2年間は、上記サブテーマ毎に要素技術開発を行い、最終年度には、これらのグループを、最終目標達成を念頭に編成し直し、以下のような新しいグループにて実施した：(1)高精度に加工された立体カムを用いた指関節機構、(2)超軽量構造材と上記指関節機構を用いた5指ロボットハンド・システム、(3)摺動部などへの応用を可能とする超軽量構造材、(4)小型軽量アクチュエータならびに超軽量構造材を用いた8自由度ロボット・マニピュレータ、(5)ロボットハンドならびにマニピュレータの制御システム、(6)心理評価に基づいて設計された心地よい触感をもち、さらに高感度・高引張特性を有するMCF触覚センサ、(7)全体システム・インテグレーション。

研究プロジェクトでは、3年間で、特許7件 (内外国出願2件)、論文発表29件、口頭発表86件、報道23件、特許実施契約1件、等の成果を挙げた。

4. 研究成果

4-1 高精度に加工された立体カムを用いた指関節機構

ロボットハンドの指関節機構は、これまで世界中で多くの試作例があるにも関わらず機能・性能面で十分なものが無いという状況であった。研究代表者らは、新しい立体カムを用いた指関節機構開発し、この課題を解決した。最終試作では、カム直径を約12mmまで縮小することに成功し、カムの全動作領域 (0~180 [deg]) においてフォロア軸換算で0.02[deg]以下のバックラッシュであることを確認した。また、DLCコーティングを施したカムを用いて耐久試験を実施

し、フォロア軸に約10[mNm]の荷重をかけた状態で、10,000回の往復摺動後のバックラッシュが約0.04[deg]以下であり、十分な耐久性があることを確認した。この立体カムは、平成21年9月に特許を取得するとともに、国際特許出願を行っている。また、県内企業1社との間で通常実施契約を締結した。

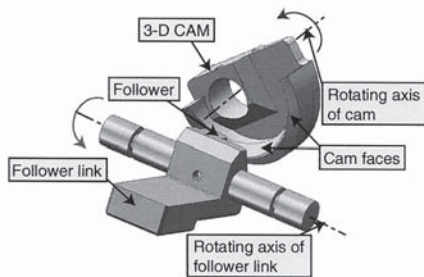


図1 立体カム

4-2 超軽量構造材と上記指関節機構を用いた5指ロボットハンド・システム

上記4-1で試作したカムを用いたハンドの試作を行い、全長216 [mm]、幅139 [mm]のロボットハンドを完成させた。成人男性の標準的な手の大きさ（全長200 [mm]、幅110 [mm]）と比較して若干大きくなったが、目標はほぼ達成されたと考えられる。

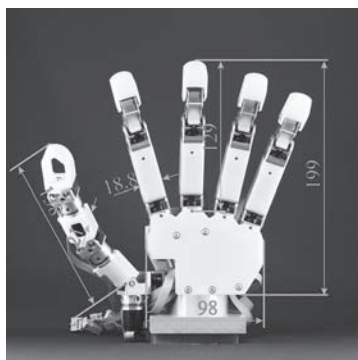


図2 試作したロボットハンド

4-3 摺動部などへの応用を可能とする超軽量構造材

醸造酢の生産工程で産業廃棄物として排出されるバクテリアセルロース (BC) とフェノール樹脂を用いて nano-C/C コンポジットを作成しその摩擦・磨耗特性を測定した。測定結果は、比磨耗量 $3.77E-10$ [mm²/N]、動摩擦係数 $\mu 0.17 \sim 0.18$ と通常の炭素材よりも優れた低磨耗量であり、炭化ケイ素に近い材料であることがわかった。またこのきわめて少ない磨耗量は、マトリックス中に複雑に分散した直径がナノオーダーの BC 由来の炭素繊維によるものであることがわかった。バイオマスであり、ナノスケールのマイクロフィブリルである BC は、きわめて大きなパフォーマンス

を秘めた魅力あふれる材料であることを再確認した。

4-4 小型軽量アクチュエータならびに超軽量構造材を用いた8自由度ロボット・マニピュレータ

人支援ロボットに搭載し、安全に重作業が行える8自由度マニピュレータを試作した。運用に必要な制御システムは、リアルタイム Linux の一種である ART-Linux を OS として、FPGA に各種 I/O を実装したものを構築した。

4-5 ロボットハンドならびにマニピュレータの制御システム

上記の要素技術を用いて、ロボットハンドならびにマニピュレータを統合的に制御するシステムの構築を行った。ロボットハンド用には、CPU として SH-4 を搭載したゼネラルロボティクス社製 HRP-3 P-CN と専用 I/O モジュールを使用し、モータードライバ基板も、小型のものを新規に設計した。マニピュレータ用には、CPU として Pentium III 1 GHz を搭載した FA 用 PC-AT モジュール (JUKI-3711PT) と研究室で開発した FPGA ボードを使用した。これらのシステムを RS-232C ならびに Ethernet を利用して相互接続して統合制御システムを構築し、目的の動作が行えることを確認した。

4-6 心理評価に基づいて設計された心地よい触感をもち、さらに高感度・高引張特性を有する MCF 触覚センサ

(1) MCF 触覚センサ

MCF ゴムに、混合粒子として導電性ペーストを採用することにより、圧力による導電率変化が生じる新しい素材を開発した。また、この素材を触覚センサとし、これらを複数搭載したロボットハンド用の触覚ゴムを製作した。

(2) 心理学的評価に基づく工学設計支援と素材開発

人共存型ロボットの手のひらや指先に用いる触り心地のよい「柔らかさ」を持つ素材開発を行った。実験の結果、ある特定の割合でシリコンとシンナーを混合したシリコン樹脂素材の持つ柔らかさが最も望ましいと示唆された。また、表面の質感の異なる素材を複数用意し、その表面素材の触り心地について、主観的評価による検討を行った。20人の被験者に対する実験の結果、ロボットハンドの表面素材として最も好ましいと判断されたものはタオルであり、ラテックスも高い評価を得た。