

学位論文審査の結果の要旨

報告番号	先端科学技術甲第159 号	氏名	樋口 凱
論文題目	把持アプローチの計画にもとづく義手の最適な関節構成の分析		
論文審査委員会	委員（主査） 教授	大西 謙吾	
	委員（副査） 教授	本間 章彦	
	委員（副査） 教授	三井 和幸	
	委員（副査） 准教授	井上 貴浩	

研究の背景

上肢切断者の使用する義手は生活を支援する道具として用いるという医療現場の思想と、工学における多自由度・多機能な人間の手の構造・制御を追求する開発研究との乖離により実用的な義手の開発がない状況にある。近年、市販された多機能 5 指義手ハンドも、第一次大戦後に開発されたフック式の義手よりも実用上劣るとの臨床上の評価もあり、義手の運動機能の設計にあたり、把持形態数を単純に増やすことを是とする設計思想自体に疑問がある。

研究の目的

ロボットハンドの機構や筋電のパターン識別コントローラの開発研究のベースとしてあった、人間の手の把持形態分析と形態数を望大特性として扱う設計・評価論は、把持を点でのみとらえるものであり、作業前の手を動きや、手・腕・体幹との関係を相対的な位置姿勢の関係で義手の機能を議論できていないため、臨床上問題となる過剰な代償動作につながっていると本研究は仮定している。そこで、代償動作抑制を主課題と考え、あらたな義手機能の選択と設計手法として、机上作業での手の使用実態調査の結果を、把持に至るまでの前腕から末梢部と体幹との姿勢関係に基づいて分類し、姿勢の出現頻度や時間などの尺度を用いて、手の開閉と手関節からなる義手において使用優先度の高い関節構成を求め、模擬義手での検証を行うことを研究の目的としている。

研究の内容

作業を支援するための義手開発を念頭に、手先具に付与する機能の優先順位を明らかにするため、成人男性健常者 3 名の胸部に高画角ビデオカメラを装着して 1 日の作業を動画として記録し、机上における左右両手の動作の出現回数と出現時間を記録、分析した。把持が回数・時間共に最多であり、1 回あたりの継続時間が短い把持の頻度が多いことを確信した。続いて、短い把持のためには、把持に至るまでの時間も重要な評価因子であるとして、出現回数の多かった缶、ペン、ノートを把持対象として、実験装置を作り、健常手と模擬筋電義手にて把持に至るまでの時間を計測、比較した。健常手では全対象物は 2 秒以

下であるのに対し、模擬筋電義手は缶とペンは 3 秒、ノートは 4 秒以上であった。さらに、最遅のノートの把持は 30 回までテストを繰り返し、対数近似による習熟予想で 3 秒になるとの結果を得た。これらから、代償動作等による 1 秒の遅延を改善するための義手の関節構成の設計戦略立案を課題とした。

設計戦略立案には、義手の関節構成案が最適化する評価関数が必要となる。本研究では、肩・肘関節の代償動作が最大化する座位中の机上把持の条件において、机の上面にある対象物を掴む際の手の姿勢より設定される面、ならびに対象物を掴む際の指の動作の軸の組合せ関係を把持方向と定義している。そして、体幹を基準とする座標系で把持方向を示す表記法を述べ、前述の動作記録で出現する各把持方向の出現回数割合を正規化した把持方向寄与率を算出した。これを取りまとめた成果は、

Gai Higuchi, Kengo Ohnishi, Kohei Tsuda, Hiroyuki Matsubara, Isamu Kajitani: "Hand design priority based on cadence of grasping direction in deskwork," 2019 IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics, pp.1516-1522, 2019

としてまとめている。

さらに、撓尺屈機能を付与したフック型手先具、ならびに回内外機能を付与したフック型手先具が可能とする把持方向を各々表記し、前述の机上作業の記録より、それぞれの手関節構成のフック型手先具が可能とする把持方向の把持方向寄与率を求めた。また、初期回内外姿勢を定めた手の開閉のみのハンド型手先具の把持方向寄与率を求め、比較し、この考察をまとめた。これら一連の成果は

樋口凱、大西謙吾、松原裕幸、梶谷勇：日常生活における机上把持方向寄与率にもとづく義手機能選択、バイオメカニズム学会誌 (採録承認)

としてまとめている。

把持方向寄与率の算出結果にもとづいて提案されるフック型手先具と同等の関節構成案の電動義手ハンドの 1 例と、現在国内で最も使用されている電動義手ハンドを模擬筋電義手に装着して、把持に至るまでの時間と肩・肘の位置を三次元動作解析装置で測定、算出、比較した。把持対象をペンとした場合に提案した例が従来ハンドよりも短時間化、肩・肘の代償動作が抑制されることが示されている。

以上、本論文において著者が検討して得た結論に記された事柄は、実用性の高い義手の開発設計・評価に貢献が認められる点で極めて有用であると判断できることから、本論文の価値は工学的、工業的な観点からも十分に評価できる。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有するものと認められる。