

氏名（本籍）	富岡 雅弘（長野）
専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	※工博 甲第 230 号
学位授与の日付	平成 28 年 12 月 26 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	工学資源学研究科（電気電子情報システム工学専攻）
学位論文題目（英文）	長さの異なるつまみ動作における示指および母指の把持戦略の研究 (Research of Grasp Planning of Index Finger and Thumb during Pinching Motion for Different Length)
論文審査委員	(主査) 教授 水戸部 一孝 (副査) 教授 西田 眞 (副査) 教授 五十嵐 隆治 (副査) 教授 景山 陽一

論文内容の要旨

近年、高齢者の単身世帯が増加傾向にある。このような状況で、老化に伴い ADL および IADL の低下した高齢者は、自立した生活を送ることが困難となっている。そのため、日常生活動作を支援する技術の重要性が高まっている。高齢者が自立して生活するためには、「シャツのボタンの留め外し」や「靴の紐を結ぶ」などの着衣動作および「箸」や「フォーク」などを使った食事動作などの指先を使った巧緻動作が極めて重要となる。しかしながら、高齢者は指先の巧緻動作を含めた上肢機能が低下する傾向にある。そのため、IADL の低下を緩和するためのリハビリテーションや着衣および食事などを補助するための遠隔支援型ロボットハンドなどの支援技術により、QOL の向上が期待できる。現在、指先の巧緻動作に対する検査および評価方法は、圧力センサを用いた手指筋力の測定や医療従事者がインタラクティブに可動域や筋力を評価する徒手筋力検査、ADL・IADL アンケート評価などがある。しかしながら、「運動機能の検査・診察」および「訓練効果の高いリハビリテーション」を実現するためには、手指巧緻動作を定量的に評価する必要がある。作業に応じた手指の使い方を明らかにする必要がある。また、現在開発されている遠隔支援ロボットは遠くにいる家族との会話などのコミュニケーションに主眼が置かれ、日常生活の多様な作業を実際に遠隔地から支援するには至っていない。着衣や食事などの日常生活動作をロボットで遠隔支援するためには、ヒトの指先の巧緻動作をロボットハンドで再現する極

めて高い汎用性と把持戦略が求められる。そのため、ヒトの指先の把持戦略を明らかにすることで、よりヒトの巧緻動作を模倣することのできるロボットハンドの制御や設計に役立てると期待している。

本研究は、高齢者の ADL および IADL 検査における評価や効果的なリハビリテーションの新たな指標として活用できるパラメータ、さらには、日常生活を支援するために必要なロボットハンドの制御や設計に役立つパラメータを抽出することを目的としている。そこで、「着衣」や「食事」などの日常生活動作の中で基本となる「示指および母指による物体を掴む際の指先の使い方」を明らかにするために、任意の大きさ（長さ）の対象物（ターゲット）を模擬した長さの異なる棒の両端を「掴む動作」を計測し、ヒトの指の把持姿勢および接触位置（エンドポイント）を解析した。本論文では、高分解能な磁気式 Hand-MoCap 装置を使用し、ターゲットを掴んだ瞬間の示指および母指の爪上に装着したレシーバの位置姿勢を自動計測する検査システムを構築した。また、計測したレシーバの位置姿勢データからヒトの指の位置姿勢を導出するための計算手法を構築した。さらに、若年者 10 名、高齢者 7 名の計 17 名の被験者を対象として計測し、長さの異なるターゲットの掴み動作を比較することで、掴み動作における若年者と高齢者の違いを顕在化し、巧緻動作の新たな評価指標を提案する。

ターゲットに対する示指および母指の姿勢を解析した結果、若年者および高齢者に共通した特徴として、対象物を掴まむ際に示指は「伸展」、母指は「屈曲」した姿勢をとることが明らかとなった。また、示指と母指の相対的な位置関係を調べるために、母指のローカル座標に対する示指の位置を解析した結果、高齢者の Z 成分の変化量は、若年者と比較して顕著に小さいことがわかった。これは、母指の対立姿勢に起因すると考えた。Z 成分の変化量の大きい被験者を示指と母指の指腹部が向かい合うように対立する母指掌側示指対立（若年被験者の 70%）、Z 成分の変化量の小さい被験者を示指の指腹部に対し母指が側面で対立する母指側面示指対立（若年被験者の 30%と全ての高齢被験者）の 2 種類に大別した。高齢者群を対象として Z 成分の変化量と ADL アンケートとの関係を調べた結果、アンケートの点数が低い高齢者ほど、示指に対して母指が側面で対立しており、相関があることが明らかとなった。さらに、各指の指腹部におけるエンドポイントを解析した結果、長さが 10mm から 80mm のターゲットを掴んだ瞬間の各指腹部におけるエンドポイントは、若年者および高齢者ともに直径約 6mm の円内に収まることが明らかとなった。一方で、高齢者は若年者に比べ、長さが 35mm から 55mm のターゲットを掴んだ際の各指の指腹部におけるエンドポイントが指先方向にズレることが明らかとなった。エンドポイントのズレの差と ADL アンケートの関係を調べた結果、示指のエンドポイントが指先方向にズレている高齢者ほど ADL アンケートの点数が低くなり、相関があることが明らかとなった。

本研究で得られた「母指の対立姿勢」および「指腹部におけるエンドポイント」の違いについての知見は、高齢者の ADL および IADL 検査における新たな評価指標および訓練効果の高いリハビリテーションのための新たな訓練指標として役立てることができると期待

している。さらに、「母指の対立姿勢」に関しては、ロボットハンドの母指の制御や設計にも役立つと期待できる。

論文審査結果の要旨

1 論文審査結果の要旨

超高齢社会を迎えた日本では、日常生活動作 (ADL) または手段的日常生活動作 (IADL) が低下した高齢者の単身世帯が増加傾向にあり、自立した生活を継続できるように残存機能を維持・支援する技術の必要性が高まっている。高齢者が自立して生活するためには、「シャツのボタンの留め外し」や「靴の紐を結ぶ」などの着衣動作および「箸」や「フォーク」などを使った食事動作などの指先を使った巧緻動作が極めて重要となる。単身高齢者の生活の質 (QOL) を維持するためには、巧緻動作の機能低下を高感度に早期に発見し、適切にリハビリテーションすることが重要となり、そのためには、手指巧緻動作の定量的な検査手法を考案すると共に、対象物に応じた手指の使い方を明らかにする必要がある。本論文は、日常生活動作の中で基本となる「示指および母指による物体をつまむ際の指先の使い方」に着目し、任意の大きさ (長さ) の対象物 (ターゲット) を模擬した長さの異なる棒の両端を「つまむ動作」を計測し、ヒトの指の把持姿勢および接触位置 (エンドポイント) を解析することで高齢者の巧緻動作を定量的に評価する新たな検査手法を提案している。

本論文は全7章から構成されている。

第1章では、本研究の背景、特にヒトの手指巧緻動作を定量的に評価する必要性と作業に応じた手指の使い方を明らかにすることの重要性、本研究の最終目的とそれを達成するための手順について述べている。

第2章では、現在の高齢者の状況と、老化に伴いヒトの上肢機能がどのように低下するのかについて老化に関する既存の検査方法を含めて述べている。

第3章では、基礎知識として、モーションキャプチャ技術の種類および過去の研究で開発された磁気式手指用モーションキャプチャ装置および本研究で使用しているモーションキャプチャ装置のレシーバにおける位置姿勢の表現方法について述べている。

第4章では、ターゲットをつまんだ瞬間の示指および母指の位置姿勢を計測するために開発した自動検査システムの構成および実験内容について述べている。

第5章では、計測データから「ターゲットに対する示指および母指の姿勢」、「母指のコア型特異点をローカル座標系の原点とした示指のコア型特異点の位置」、「示指および母指の指腹部におけるターゲットとの接触位置 (エンドポイント)」の3つのパラメータを算出するための解析アルゴリズムについて述べている。

第6章では、前述の3つのパラメータによる解析結果を基に高齢者と若年者の特徴について述べている。若年者および高齢者に共通した特徴として、対象物をつまむ際に示指は「伸

展」，母指は「屈曲」した姿勢をとること，また，高齢者は若年者に比べ指腹部におけるエンドポイントが指先方向に移動し，指先方向への移動量が ADL アンケートの成績と相関があること等について明らかにしている。

第 7 章では，本研究の結論の要約，今後の課題および展望について述べている。

本論文で明らかにした「母指の対立姿勢」および「指腹部におけるエンドポイント」の違いについての知見は，高齢者の巧緻動作の低下を高い分解能で検出する新たな検査手法として幅広く活用でき，同時に訓練効果の高いリハビリテーションを考案する上でも有用な知見となる。また，本論文で開発した巧緻動作の計測手法および解析手法は，名医や熟練技術者が経験的に獲得した技能やノウハウを数値化する際にも活用でき，これまで暗黙知とされてきたヒトの技能を科学的に研究する基盤技術となると期待でき，人間情報工学に寄与するところが大きい。よって，本論文は，博士（工学）の学位論文として十分価値のあるものと認められる。

2 最終試験結果の要旨

最終試験は，平成 28 年 10 月 7 日（金）午後 4 時 30 分から 5 時 50 分まで理工学部 1 号館 101 教室にて開催された博士論文公聴会において，論文内容および関連する専門分野について学位審査委員会委員による口頭試問により行われた。主な質疑事項は次のようであった。

- (1) 本研究における工学的な成果について。
- (2) つまむ対象のサイズに対する評価パラメータの有意差について。
- (3) 学際分野である本研究成果を発表する学会について。
- (4) 従来の認知機能検査との比較について。
- (5) 検査参加者の男女の偏りについて。
- (6) 検査参加者の認識とデータ取得のタイミングのズレについて。
- (7) 過去のつまみ動作に関連する論文のサーベイについて
- (8) 課題の遂行時間に対する加齢の影響について

以上の口頭試問に対していずれも的確な回答がなされた。

本公聴会后，同場所にて開催した学位審査委員会において審議した結果，本学位審査委員会は富岡雅弘が最終試験に合格し，博士（工学）として十分な資格があるものと判定した。