

令和 4 年 6 月 9 日現在

機関番号：54501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12834

研究課題名(和文)医療・介護用ロボット用の安価な力覚計測システムの開発と回診支援ロボットによる検証

研究課題名(英文)Development of a low-cost force sensor device for medical caring robots

研究代表者

大向 雅人 (ohmukai, Masato)

明石工業高等専門学校・電気情報工学科・教授

研究者番号：70259901

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：医療や福祉、介護分野における人手不足を打開するためにロボットの現場導入が強く望まれているが、販売価格の高さが現実的な問題となっている。その一因は各種機能を実装するために必要なセンサの価格にある。この問題に対し、我々は、パワーアシスト機能(加えた力の方向にロボットが自動で動く機能)に必須の6軸力覚センサの代替となるデバイス有感圧導電性ゴム等の安価な材料を用いて開発している。本申請では、加圧力推定速度の改善方法を提案した。また、小型化を行い、ロボットを用いた性能検証実験を通じて、代替デバイスとなり得ることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、パワーアシスト機能で検出すべき力が「押す力」と「回す力」の2種類であることに注目し、安価に入手できる感圧導電性ゴムと可変抵抗を用いて6軸力覚センサの代替となるデバイスを、現場が許容できる開発コスト内(数万円以内)で試作できた。そして、実際にロボットが押した方向に動くことを検証し、実用上の観点で必要な性能を有していることを確認できた点に意義がある。

研究成果の概要(英文)：The goal of this study is to develop a low-cost force sensor device to detect manipulation to proceed or rotate medical caring robots. As a low-cost force sensor, pressure-sensitive conductive rubber has been adopted instead of the expensive 6-axis force sensor ever used. In this study, some procedures have been proposed for more the precise estimation of applied forces. Moreover, a smaller prototype of a force sensor device has been developed, verified to have practical performances.

研究分野：半導体材料 センサ材料

キーワード：力覚検出デバイス 加圧力推定 医療・介護ロボット 感圧導電性ゴム

1. 研究開始当初の背景

病院等での人手不足は日本に限らず深刻な問題となっており、今後、労働人口が減少していくとより過酷な状況に追い込まれることが容易に予想できる。このような社会的背景から、医療・介護分野の現場を支援するロボットの開発と普及に大きな期待が寄せられている。このような背景から、ロボットの開発研究が様々行われている一方で、現場視点では「価格が高すぎる」という現実的な課題が見受けられる。ここで、ロボットの価格が上がる要因の一つに、ロボットに実装させたい機能を実現するために利用されるセンサの価格が挙げられる。

ロボットに実装させたい機能の一つとして、パワーアシスト機能がある。本機能は、医療や介護の現場でロボットを利用する場合、患者や要介護者の安全を確保するため、ロボットを自動で動かすのではなく、看護師や介助者が手動で動かしたい場合がある、というニーズに応えるための機能であり、本機能の実現により、女性や高齢者であってもロボットを簡単に動かせるようになる（イメージは図1参照）。本機能を実現するためには、動かしたい方向、つまり、ロボットに加えられた力の方向を検出してその方向へロボットを自走させる必要があるため、加圧方向検出のために6軸力覚センサが利用されることが多い。しかし、6軸力覚センサの価格は50万円程度になる場合があることに対し、現場が許容できる価格を実現していくためには、パワーアシスト機能の実現に許容できるコストは数万円、と言われている。したがって、6軸力覚センサの代替となる安価な力覚検出デバイスが必要である。

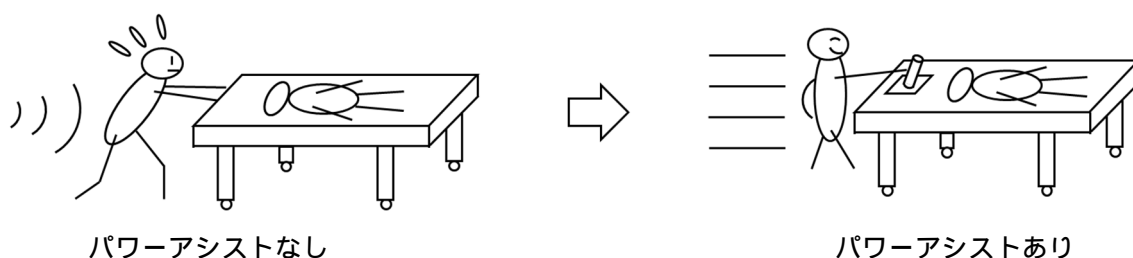


図1：パワーアシスト機能のイメージ

2. 研究の目的

上記の背景の下、研究代表者らは、以下の特徴をもつ力覚計測デバイスの開発を進めてきた。

- ロボットを動かす向きは、床や地面に対して平行な向き（押し動かして移動させたい場合）と床や地面に対して垂直な向きを軸とする回転方向（旋回させたい場合）の2種類に限定されることから（図2参照）、この2種類の力の検出に限定した機構をもつ
- 以下の理由により、力の大きさの測定精度は実用に耐えうる範囲で十分とする代わりにコストダウンを図る
 - 移動時は、実際の進行方向を見ながら操縦者が力の入れ具合を調整するため、操作者の所感で加圧方向と実際の移動方向が一致する程度の精度で実用上の問題は生じない
 - 安全面の観点から、移動は、所定の低速もしくは数段階の速度切り換えで行われるため、力の大きさを精度よく計測できる必要はあまりない。また、回転動作に関しては所定の低速で行われるため、回転方向のみ検出できれば十分。
- 感圧導電性ゴム（感圧ゴム）や可変抵抗など、安価に入手できる材料でデバイスが構成される。ここで、感圧導電性ゴムとは、ゴムの素材の中に導電性粒子が均一にちりばめられたシート状の材料であり、加圧すると内部の導電性粒子同士が接触して導電経路を形成するため、加圧により電気抵抗値が減少する特性をもつ（図3参照）。原理上、図4に示す構成で回路を実装し、感圧ゴムへ加圧を行った際の測定電圧の収束値を、事前に測定しておいて測定電圧の収束値と比較することで加圧力が得られる。

そして、図2に示した2種類の力を検出できるデバイスとして開発当初は図5の構成を考えており、以前の研究においてデバイスの試作まで完了していた。本デバイスで加圧力の推定はある程度できることを確認していたが、以下のような課題が残っていた。

課題1 加圧方向推定速度の改善

加圧方向の推定に1秒程度要し、操作感として「遅い」という感想があるので、推定速度を上げる必要があった。

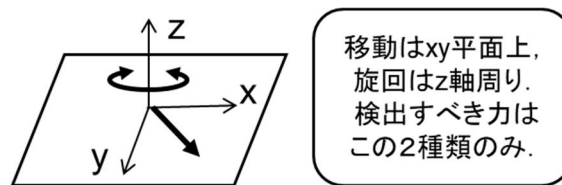


図2：パワーアシスト機能で検出対象となる力の種類

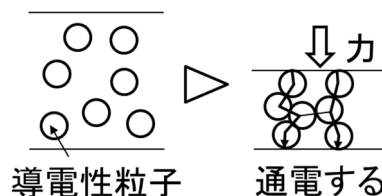


図3：感圧導電性ゴムの導電原理

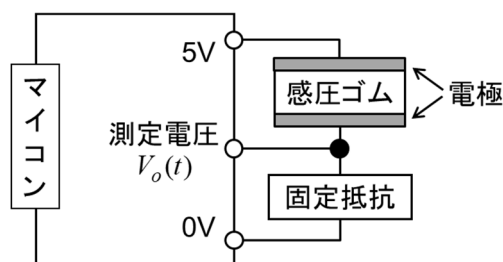


図4：感圧導電性ゴムを用いた圧力センサ回路の構成

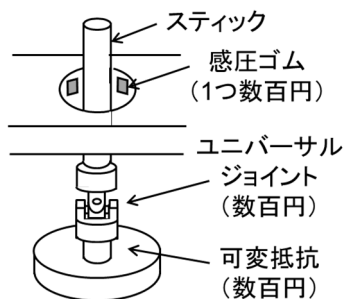


図5：当初のデバイスの構想

課題2 小型化

以前に試作したデバイスの全体のサイズは 10cm × 10cm × 17cm 程度であるため、ロボット内部に設置するには小型化が必要であった。

本研究の目的は、上述の2つの課題を解決し、6軸力覚センサと同等の操作感でパワーアシスト機能を実現できる代替デバイスを開発することであった。

3. 研究の方法

本研究では、上述の2種類の課題に対し、以下のように取り組んだ。

- 課題1 に対して

課題1で示した推定速度の改善に向けては、予測機構が必要であると考えた。研究開始当初、一定の加圧力に対する図4中の測定電圧の挙動は加圧力に依存することを見出していた。そこで、本圧力センサの入出力特性を事前に（オフラインで）同定しておくとともに、加圧時にオンライン同定を行うことで加圧力の大きさを識別することを考えた。また、研究を進めて行く過程で、ニューラルネットワークを用いて加圧力を推定することもでき、事前の学習に時間がかかる可能性はあるが、学習が終われば、加圧力の推定はオンライン同定よりも効率よく行えるのではないかと考えるに至った。そこで、これら2種類のアプローチで取り組むことにした。具体的には、オンライン同定については、数学モデルの構造の特定やオンライン同定法の確立

を、ニューラルネットワークを用いた推定については、利用するモデルなどについての検討を行うこととし、実際に利用する方法については、双方の成果から判断することとした。

● 課題2に対して

図5のスティック周辺に環状配置された感圧導電性ゴムへの加圧部(スティック周辺部の構成方法)の当初の実装構想を図6に示す。本構想では、図に示すように、スティックと感圧導電性ゴムの隙間を埋める材料を介して感圧ゴムを加圧するようになっており、複数の感圧導電性ゴム圧力センサからの出力電圧の分布から加圧方向を推定していた。本研究では、推定のロジック、つまり、電圧の分布を利用する点を変えないままデバイスを小型化できるような構成を考えた。

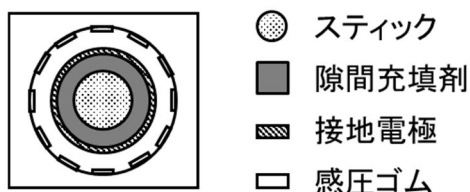


図6：本研究着手前のスティック周辺の実装構想

4. 研究成果

課題1におけるオンライン同定に関しては、荷重の大きさを任意に変えることができる環境がなかったことから分銅による加圧で実験を進めた。その結果、加圧力に依存してシステムパラメータが変わるものの、2次遅れ要素で記述できる見込みを得た。また、オンライン同定について検討を行った結果、感圧導電性ゴムを用いた場合に発生するばらつきなどの影響に対してロバストに推定できるようにする点が推定速度改善につながっていくであろうことを確認できた。一方、ニューラルネットワークの利用に関しては、適切なモデルについて検討した。具体的には、時系列データの扱いに適しているリカレントニューラルネットワーク(RNN)やLong-Short Term Memory(LSTM)、および、過去の特徴的な入力情報を利用できるSelf-Attentionについて、利用可能性を探った。その結果、正解率についてはLSTMとSelf-Attentionが高くなる傾向を示しており、Self-AttentionはLSTMよりも比較的少ない学習回数で一定の正解率となることを確認した。つまり、利用するニューラルネットワークモデルとしては、Self-Attentionを候補として考えればよいことが分かった。また、一定加圧に対しては0.5秒までに得られる測定電圧である程度の加圧力判別が可能であることを確認した。

課題2に対しては、6.5cm×6.5cm×9cmのサイズに小型化した試作機を製作した。スティック周辺の構成概念図を図7(a)に、試作機の外観を同図(b)に示す。また、本研究着手前に試作していたデバイスとの比較写真を図8に示す。また、本研究で開発した試作機を用いたロボットの操作実験を行い、操作者がロボットの状態を確認しながら加圧方向を調整して目標としている位置までロボットを動かすことができるかどうかを確認した。利用したロボットは自作の全方向移動ロボットである。図9に走行ルートを示す。なお、本ルートは、扉の通過や廊下の曲がり角の草稿を想定して道幅が狭い箇所や直角クランクが設けられており、走路の全長は約2[m]である。また、また、本ロボットが直線2[m]を移動するための所要時間は約76.3[s]である。走行結果は図10の通りであり、目標位置への到達に要した時間は約80[s]であった。この結果から、本研究で小型化したデバイスは、実用上の観点で必要とされる操作性能を有すると考えられ、一定の成果を得ることができたといえる。なお、現場に入る予定のロボットを用いた検証が今後の課題となる。

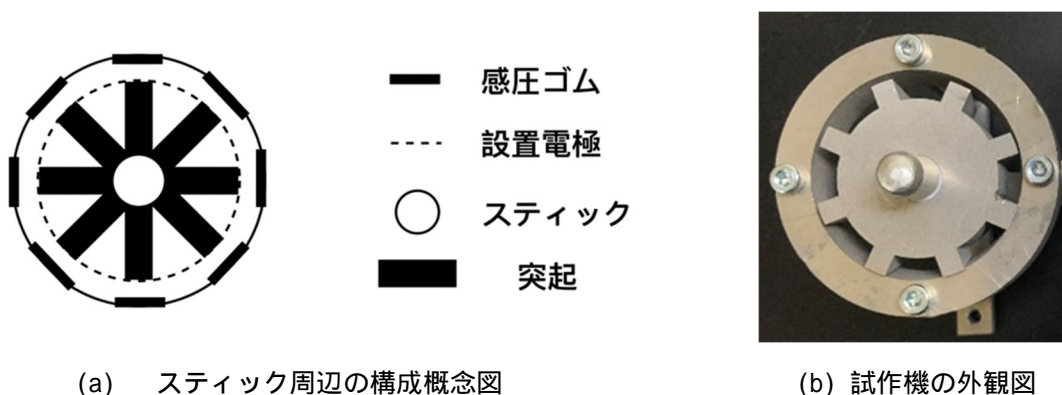


図7：本研究による試作機の構成と外観

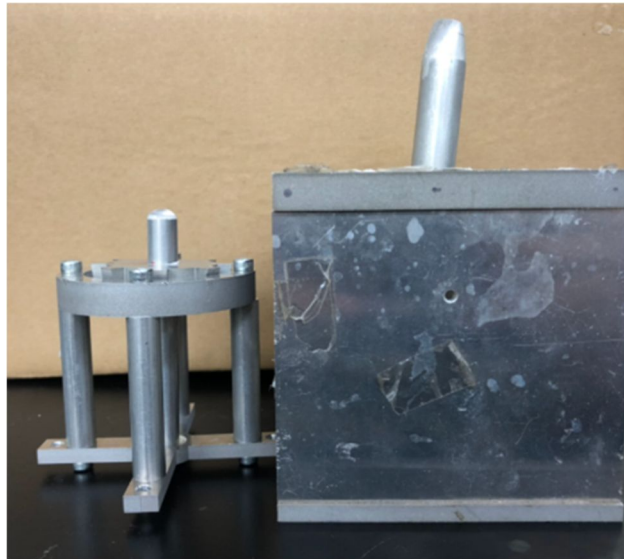


図 8 : 本研究による試作機 (左) と以前の試作機 (右) の比較

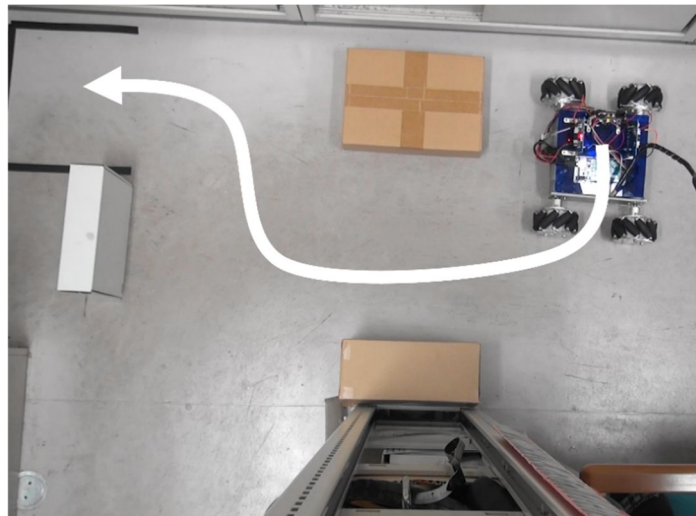


図 9 : 走行ルート[1]

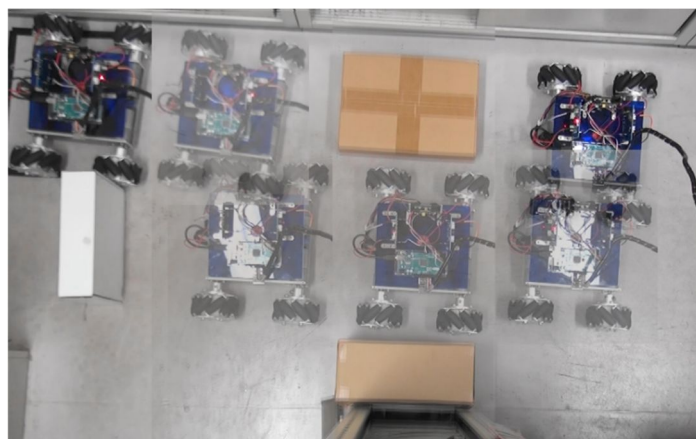


図 10 : 図 7 の試作機を用いた操作実験結果のキャプチャ画像[1]

[1] 上, 岩野, 大向: 感圧導電性ゴムを用いたパワーアシスト用力覚検出デバイスの開発, システム/制御/情報, 第 66 巻, 第 3 号, pp. 107-112, 2022

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 K.Funato, R.Tasaki, H.Sakurai, K.Terashima	4. 巻 33
2. 論文標題 Development and Experimental Verification of a Person Tracking System of Mobile Robots Using Sensor Fusion of Inertial Measurement Unit and Laser Range Finder for Occlusion Avoidance	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 33-43
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 K. Funato, Y. Kenmotsu, R. Tasaki, T. Sakakibara, K. Kakihara, K. Terashima	4. 巻 14
2. 論文標題 Experimental Analysis and Anti-Sway Control of Jigiri Behavior in a Nursing Lift	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Int. Journal of Automation Technology	6. 最初と最後の頁 615-624
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 奥村, 上, 奥村, 西村
2. 発表標題 ニューラルネットワークを用いた感圧導電性ゴムへの加圧力推定に関する実験的検証
3. 学会等名 人工知能学会第34回全国大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 K. Yamamoto, Y. Kato, R. Tasaki, T. Akiduki, T. Mashimo, A. Honna, M. Kitazaki
2. 発表標題 Effect of Motion and Hand Shape of a Massage Robot on Social Impression: Exploratory study in a Virtual Environment
3. 学会等名 ICAT-EGVE（国際学会）
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 H. Sasatake, R. Tasaki, N. Uchiyama
2. 発表標題 Deep Imitation Learning for Broom-Manipulation Tasks Using Small-Sized Training Data
3. 学会等名 7th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT'20) (国際学会)
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 堀切翼, 田崎良佑
2. 発表標題 体幹筋の回旋動作へのアシスト制御システムの提案
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 笹竹晴萌, 内山直樹, 山下貴仁, 田崎良佑
2. 発表標題 ロボットマニピュレータによる掃き掃除の深層模倣学習と実行
3. 学会等名 日本鑄造工学会 第176回全国講演大会
4. 発表年 2020年～2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	三谷 祐一郎 (Mitani Yuichiro) (00280389)	沼津工業高等専門学校・機械工学科・教授 (53801)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	上 泰 (kami Yasushi) (20413809)	明石工業高等専門学校・電気情報工学科・准教授 (54501)	
研究分担者	田崎 良佑 (Tazaki Ryosuke) (70644467)	青山学院大学・理工学部・准教授 (32601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関