

令和 4 年 5 月 9 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04263

研究課題名(和文)人の行動理解に基づく人とロボットの協調動作の実現

研究課題名(英文) Realization of cooperative motion between human and robot based on understanding human behavior

研究代表者

伊藤 彰人 (ITO, Akihito)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号：60516946

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：産業ロボットにおいても、ISOの安全基準の改正により、基準を満たせば安全柵のない状況で人の作業を補助し、人と同じ空間で動作するロボットが実現可能になっている。今後、ロボットは常に変化する周りの環境や人の動作から、人の動きの意図を読み取り、自身の動作を決定し、人と協調作業を行う必要がある。そこで、本研究では、カメラを用いた計測では死角になり計測できなかった手指の運動を慣性センサを用いた手指運動計測システムを開発することで計測し、人の手指の動作識別を行い、人の作業の進捗状況を把握した。その情報を基に、ロボットの動作させることで協調作業を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Connected Industriesやインダストリー4.0のコンセプトでのスマート工場では、人と機械・システムが協働・協調することが求められる。そのためには、ロボットに人の動きを把握させ、積極的に活用することが求められる。本成果により、ロボットが協働する人の手指動作を計測する際の技術的な障壁を解決することができ、人の意図を把握し、柔軟に動きを決定する状況に応じた人とロボットの協調作業実現に向けた第一歩となる。

研究成果の概要(英文)：With the revision of ISO safety standards, industrial robots can assist human works without safety fences if the standard is met and robots that operate in the same space as humans can be realized. In the future, it is necessary for robots to read the intent of human from the constantly changing surrounding environment and human motions, determine their own motions, and collaborate with humans. Therefore, in this research, a finger movement measurement system was developed. This sensor system made it possible to measure finger motions, which could not be measured due to blind spots when measured using a camera system. By using the developed system, the motions of human fingers were identified, and the progress of human work was got. And, based on these information, collaborative work was realized by operating the robot.

研究分野：機械力学・計測制御

キーワード：慣性センサ 運動計測 協調制御

## 1. 研究開始当初の背景

サービス産業、介護・医療、農業、インフラ・災害対応など様々な分野でロボットの活用が期待され、人と共存し、人を支援するロボットの開発が盛んに行われている。また、産業用ロボットにおいても、ISOの安全基準の改正により、基準を満たせば安全柵のない状況で人の作業を補助し、人と同じ空間で動作するロボットの実現が可能になってきている。

産業用ロボットに注目すると、ロボットの導入においては、作業量と作業の複雑さにより、専用機械の導入や人手による作業の実施となり、適用範囲が制限されているのが現状である。これからの産業用ロボットの発展を考えた場合、適用範囲を拡大させるためにロボットを高度化することも重要であるが、人と協調し、人の作業負担を低減させることも必要不可欠である。そこで、これまで実用化されている人と共同作業を行うロボットを考えると、力学的な協調作業支援を行うロボットが主であり、ロボット先端に付与する機械インピーダンス特性を人との協調作業に適した値に設定し、ロボットが人の作業を適切に補助することで作業負担を軽減することを目的としてきた。しかし、人同士が作業を分担する場合においては、お互いの作業の進み具合を確認しながら、共同作業を行い、相手に合わせた補助を実施している。声などを掛け合う場合もあるが、意識的なやり取りは必要なく、手の動き、作業の進捗具合で判断し、協調作業を実現している。これまでのロボットは人の作業意図を理解する機能を持っていなかったため、人からの情報伝達手段として、スイッチやジェスチャなどを用い、意識的にロボットに作業状況を教示する必要があり、人同士が行う様な協調動作を実現することはできていない。そこで、本研究では、力学的な人とロボットの協調動作だけではなく、常に変化する周りの環境や人の動作から人の動きを予測、人の動きの意図を読み取り、自身の動作を決定し、作業を行うロボットシステムの開発が必要であると考えた。従って、このようなロボットシステムを実現するためには、人の動きをどのように計測し、その計測結果から人の次の行動をどのように抽出するかが課題となる。

## 2. 研究の目的

人とロボットの協働システムの運用に関わる技術的な知見はまだ不足しているのが現状である。特に、作業者の動作認識は未成熟なところがあり、センシングに代表される要素技術の充実が求められる。これは、光学式モーションキャプチャなどのカメラを使用した装置では死角によるオクルージョンなどの問題があるため、十分な計測ができず、動作に制約を設けるなどの対処が必要になるためである。

そこで、本研究の目的は、作業空間内での人の手指の動きを正確に計測することにより、人の行動を理解し、人とロボットの協調作業を実現することとした。

## 3. 研究の方法

### (1) 手指運動計測システムの改良

3軸加速度センサ、3軸ジャイロセンサ、3軸地磁気センサが1体に集積された9軸センサ(MPU-9250, InvenSense社製)を指の各セグメントに装着可能なシステムを開発することにより、指の動作計測を実現する。また、各慣性センサをつなぐ配線を伸縮配線とし、指の動きに追従させることが可能で、断線のしにくい手指計測センサを開発する。

### (2) 慣性センサを用いた計測結果を基にしたロボットの制御

人の作業動作を計測する際、上体、上腕の運動を正確に計測する必要がある。従って、慣性センサを用いた上体の運動計測アルゴリズムの構築を行い、その計測結果を基にロボットを制御する。慣性センサを配置した人の運動計測を基にロボットの制御の検証のため、人の動作を指令値とするマスタースレーブ型でロボットを動作させるシステムを構築し、検証を行う。

### (3) 開発した手指運動計測システムにより動作識別

(1)にて開発した手指計測システムを用いた手指の動作識別モデルを構築する。特定の作業を想定し、各動作での識別結果を検証する。

## 4. 研究成果

### (1) 手指運動計測システムの改良

開発した手の運動計測システムを図1に示す。2019年度に開発した手指計測システムは断線などの故障が多かったため、2021年度に改良版を試作した。各慣性センサをつなぐ配線を伸縮配線に変更したことにより、指の屈曲伸展だけでなく、内転外転においても動きを阻害することなく、

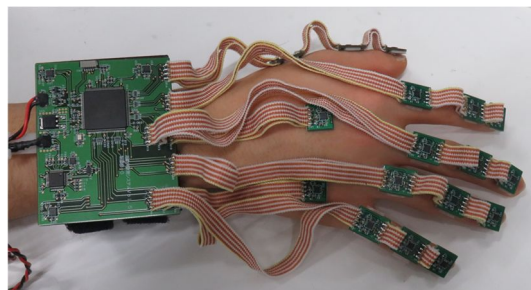


図1 手指計測システム

柔軟に手指の動きに追従する手指計測システムを開発した。

### (2) 慣性センサを用いた運動計測結果を基にしたロボットの制御

人の作業動作を計測する際、上体、上腕の運動を正確に計測する必要がある。従って、慣性センサを用いた上体の運動計測アルゴリズムの構築を行い、上腕を含むセンサシステムと組み合わせることにより、上体の運動を計測できるシステムとした。また、これらのセンサシステムの一部を使用し、人の動作を指令値とするマスタスレーブ型でロボットを動作させるシステムを構築し、ピックアップブレース動作を対象に構築したシステムの動作確認を行い、十分な精度で運動計測でき、ロボットを動作させることができることを確認した。図2に上腕を含む計測結果の例を示し、図3に背骨を含む上体運動計測結果の例を示す。そして、図4に慣性センサを用いた運動計測結果を基にしたロボットの制御実験時の様子を示す。



図2 上腕を含む計測結果の例

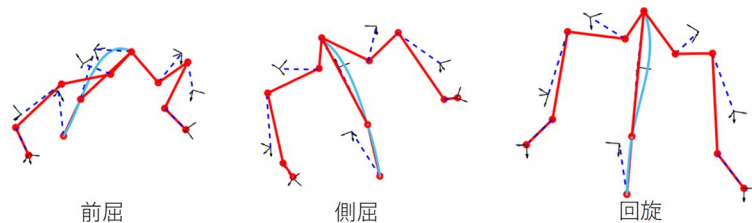


図3 上体の計測結果の例



図4 マスタスレーブシステム

### (3) 開発した手指運動計測システムにより動作識別

(1)にて開発した手指計測システムを用いた手指の動作識別モデルを構築した。図5にペグインホール作業を計測した例を示す。従来のカメラシステムでは死角となり、計測できなかった指の動きを正確に計測することができ、その計測結果を基に、静止時、ピンをつまむ作業、穴にピンを差し込む作業を識別することが可能となった。

これまでのロボットは人の作業意図を理解する機能を持っていなかったため、人からの情報伝達手段として、スイッチやジェスチャなどを用い、意識的にロボットに作業状況を教示する必要があった。現時点では、あらかじめ設定された作業内容に対してのみ適用可能であるが、本システム、動作識別モデルを使用することにより、指の動きを正確に計測し、人の作業の進捗状況を把握することが可能となり、人の作業に合わせた共同作業が可能となることが示唆された。

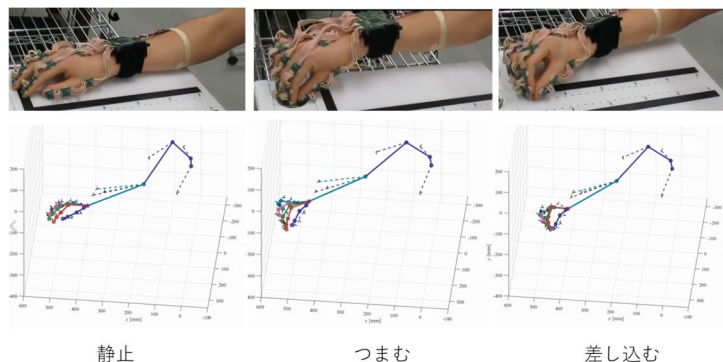


図5 指の動作識別

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 K.Kitano, A.Ito, N.Tsujiuchi
2. 発表標題 Analysis of Dexterity Motion by Singular Value Decomposition for Hand Movement Measured Using Inertial Sensors
3. 学会等名 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平山泰寛, 辻内伸好, 伊藤彰人, 渥美航
2. 発表標題 紐状柔軟物体モデルの構築と実機を用いたモデルの精度評価
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松岡大成, 辻内伸好, 伊藤彰人, 安田和磨, DavidGonzalez Pomares
2. 発表標題 慣性センサによる手首推定位置に基づいたロボット遠隔教示システムの構築
3. 学会等名 日本機械学会Dynamics and Design Conference 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 北野敬祐, 伊藤彰人, 辻内伸好
2. 発表標題 慣性センサによる手指動作計測結果に対する特異値分解と階層型クラスタリングを用いた手指巧緻性の解析
3. 学会等名 LIFE2020-2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三間郭凱, 伊藤彰人, 辻内伸好, 北野敬祐, 植田慎也
2. 発表標題 慣性センサによるヒトの関節位置を考慮した上体運動計測モデルの構築
3. 学会等名 日本機械学会第17回「運動と振動の制御」シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤彰人, 辻内伸好, 今井隆博, 浦公平
2. 発表標題 障害物回避を考慮した冗長マニピュレータのダイレクトティーチング
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長田伊織, 北野敬祐, 伊藤彰人, 辻内伸好
2. 発表標題 慣性センサによる手指動作計測結果を用いた巧緻性要素の評価
3. 学会等名 日本機械学会関西支部第96期定時総会講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中内一步, 辻内伸好, 伊藤彰人, 房士傑
2. 発表標題 筋電信号に基づく手指ピンチ力推定の検証
3. 学会等名 日本機械学会関西支部第96期定時総会講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K.Kitano, A.Ito, and N.Tsujuchi
2. 発表標題 Hand Motion Measurement using Inertial Sensor System and Accurate Improvement by Extended Kalman Filter
3. 学会等名 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤彰人, 辻内伸好, 友田大暉
2. 発表標題 マニピュレータに対する3Dカメラの空間認識を使用したRRT経路計画法
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北野敬祐, 伊藤彰人, 辻内伸好
2. 発表標題 拡張カルマンフィルタを用いた慣性センサによる手指運動計測
3. 学会等名 LIFE2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渥美航, 伊藤彰人, 辻内伸好
2. 発表標題 ロボットによる操作のための紐状柔軟物体のモデル構築とシミュレーション
3. 学会等名 The 38th JSST Annual International Conference on Simulation Technology
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 植田慎也, 伊藤彰人, 辻内伸好, 北野敬祐
2. 発表標題 慣性センサを用いた上体運動計測モデルの構築
3. 学会等名 日本機械学会第16回「運動と振動の制御」シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長田伊織, 北野敬祐, 伊藤彰人, 辻内伸好
2. 発表標題 慣性センサによる手指モデルの構築
3. 学会等名 日本機械学会第16回「運動と振動の制御」シンポジウム
4. 発表年 2019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	辻内 伸好  (TSUJIUCHI Nobutaka)  (60257798)	同志社大学・理工学部・教授    (34310)	

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
---------	---------