

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04291

研究課題名（和文）ロボットアーム用のスマート油圧駆動機構

研究課題名（英文）Smart hydraulic mechanism for driving robot arm

研究代表者

関 啓明（Seki, Hiroaki）

金沢大学・フロンティア工学系・教授

研究者番号：20270887

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）：介護ロボットやレスキューロボットなどには、状況により高速に動く動作（高速駆動）と大きな力を出す動作（高圧駆動）が求められるが、その両立はなかなか困難である。本研究では、そのような人間共存型ロボットアーム用のスマートな油圧駆動機構を提案し、試作した双腕ロボットアームで実証した。アイデアとしては、制御性の良い油圧源として、モータやボールネジで駆動される油圧シリンダを持ち、そのピストンの両側間のオイルの移動を弁で切り替えることで、送り出すオイルの流量と圧力を2段階に変えて大きく変速させる。損失等の検討、複数シリンダの位置制御、油圧源の並列化に取り組んだ後、開栓作業のデモを行って有用性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

油圧駆動は古くからの技術であり、建設機械等には普通に採用されているシステムである。しかしながら、油圧駆動ロボットの研究開発は、ロボット研究の黎明期に検討されていたものの、重くて損失が大きく制御性が悪く、オイルが漏れやすいというデメリットから、少なくとも、屋内で動作するロボットにはあまり採用されてこなかった。ところが、油圧の要素技術や部品が進歩してきたことから、近年、ロボットにも用いられることが増えてきた。本研究は、これらの油圧駆動システムをさらに高機能化するものである。大きな力を出す動作と高速な動作を簡単に切り替えられるという点が新しく、人間共存型ロボットの新たな駆動機構として貢献できる。

研究成果の概要（英文）：Care and rescue robots are required to move at high speed (high speed drive) and generate large force (high pressure drive) depending on the situation, however it is quite difficult to achieve both. In this research, we proposed a smart hydraulic drive mechanism for such human coexistence robots and demonstrated it with a prototype dual robot arm. The idea is to have a hydraulic cylinder driven by a motor and ball screw as a hydraulic source with good controllability, and to switch the movement of oil between the two sides of the piston with a valve to change the flow rate and pressure of the oil to be delivered in two stages and vary the speed significantly. After studying hydraulic losses, controlling the position of multiple cylinders, and working on parallelization of hydraulic sources, the usefulness of the proposed system was confirmed through a demonstration of a bottle-opening operation by the dual-arm robot.

研究分野：ロボット工学

キーワード：油圧駆動 2段変速 双腕ロボットアーム 油圧源シリンダ 開栓作業

1. 研究開始当初の背景

近年、人の近くで作業を行う人間共存型のロボットが盛んに研究開発されている。介護ロボットやレスキューロボットなどもそれらの例であるが、なかなか実用に至っていない。それらのロボットが対象とする作業には、それなりの速さで動く必要のある作業とゆっくり大きな力を出す必要のある作業の両方が求められる。例えば、人にもものを取って渡したりするような動作と人を抱え上げるような動作である。電動モータでそれらのロボットを設計すると、かなりの重量とサイズになることが実用にならない一因である。一方、油圧回路は、建設機械等に用いられていくことから分かるように、大出力が出せ、前述の問題を解決できる1つの方法であることから、最近、油圧駆動ロボットが見直されつつある。しかしながら、高速な動作と大きな力を出す動作を簡単に切り替えられ、かつ、コンパクトで効率や制御性の良い、ロボット用の油圧駆動機構は見当たらない。

2. 研究の目的

介護ロボットやレスキューロボットなどには、状況により高速に動く動作(高速駆動)と大きな力を出す動作(高圧駆動)が求められるが、本研究では、その両立を目指し、人間共存型ロボットアーム用のスマートな油圧駆動機構を提案し、実証する。アイデアとしては、制御性の良い油圧源として、モータとボールねじで駆動される油圧シリンダを持ち、そのピストンの両側間の油の移動を弁で切替えることで、送り出す油の流量と圧力を2段階に変えて大きく変速させる(図1)。低損失の油圧源を目指してシリンダロッドを回転させながら直動させることを含め、この油圧駆動機構に特有の問題となる、損失や制御系について、最適な設計指針を明らかにしながら、前述のアイデアを実現していく。

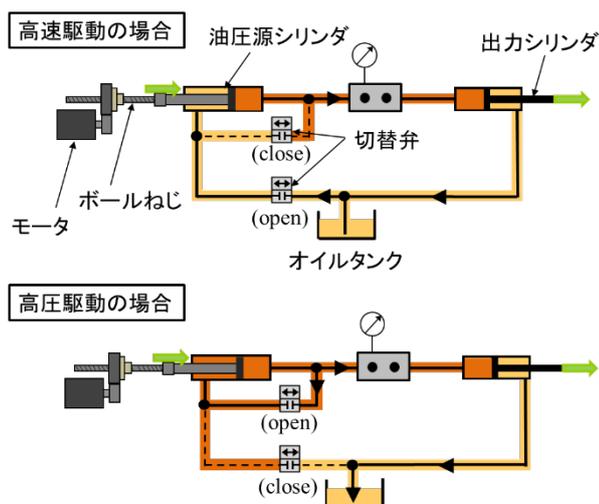


図1 油圧切替弁による2段変速のアイデア

3. 研究の方法

次のような手順で研究を進めた。

- (1) 提案する2段変速の原理を確認し、損失を測定するため、基本的な予備実験装置を試作する。油圧弁を切り替えて、所望の動作が滑らかに行われるかどうか、どの程度位置制御しやすいかを、各部の変位や圧力を測定しながら詳細に確認する。さらに、提案する油圧駆動機構について、損失の少ない部品の組み合わせを調べる。そのためにはまず、シリンダの摩擦や、弁・配管等の流体抵抗などの各部の損失の特性を個別の実験により測定しておく。その後、高速駆動と高圧駆動に分けて、機構全体の損失の計算方法を整理し、具体的に各部の損失の割合を計算する。計算した結果から、全体の損失を下げるには、どこの損失を減らすのが効果的かを明らかにする。
- (2) 油圧駆動機構の損失の割合が大きい部分は、油圧シリンダの固体摩擦ではないかと予想した。この摩擦を減らすための方法の1つとして、シリンダのロッドを回転させながら直動させるということを考える。これを確認するため、油圧源シリンダのロッドを直動すると同時に回転させる機構を考案し、試作する。試作装置を使って、直動・回転比などを変えながら、摩擦力がより小さくなるような最適条件を調べる。
- (3) 油圧源シリンダで複数の出力シリンダの位置を制御する方法を構築する。切換弁で断続的に油を送って制御する方法を整理し、複数の出力シリンダを制御する実験装置を作成して、制御系を実装し、制御特性を評価・改善する。
- (4) 最終的に、できるだけコンパクトな油圧駆動機構を設計・試作し、4自由度程度のロボットアームに適用する。高速な動作と大きな力を出す動作の両方が必要な作業をデモンストレーションし、提案する油圧駆動機構が、実際の作業に有効であることを示す。

4. 研究成果

(1) 油圧弁の切り替えによる2段変速の確認

提案する2段変速の原理を確認し、損失を測定するため、図2のような、基本的な予備実験装

置を試作した。油圧弁を切り替えて駆動し、各部の変位や圧力を測定する実験により、所望の2段階変速動作が得られることを確認した。

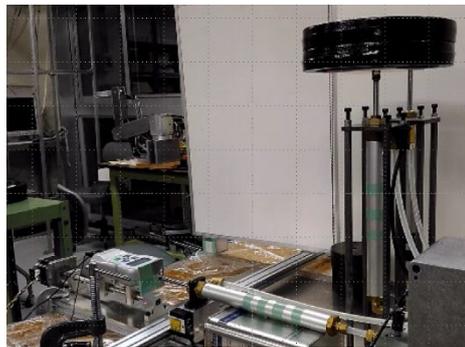


図2 予備実験装置

(2) 油圧駆動系の損失計算と測定

提案する油圧駆動機構について、損失の少ない部品の組み合わせを調べた。その際、シリンダの摩擦や、電磁弁・配管等の流体抵抗などの各部の損失の特性を個別の実験によって測定しておき、高速駆動と高圧駆動に分けて、機構全体の損失や各部の損失割合をシミュレーションした。その結果を図3に示す。油圧源シリンダの摩擦の影響が大きいことや、高圧駆動においては、油圧源シリンダのピストンの両側のオイルを行き来させる配管の損失が大きいことが分かった。後者については、実験装置において、その経路の配管や継手の径を大きくし、実際に損失が改善することができた。

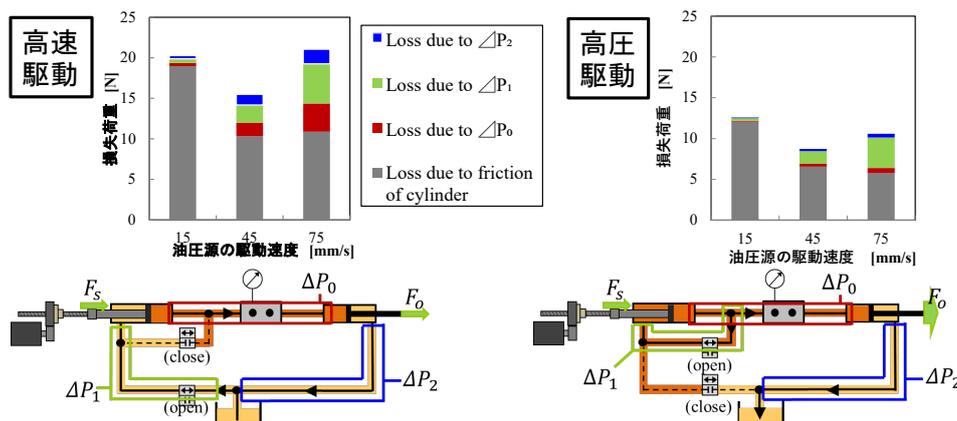


図3 油圧駆動系の損失の割合の測定結果

(3) 油圧源シリンダのロッド回転機構の考案と試作

油圧源シリンダの摩擦による損失が大きいことが分かったため、この摩擦を軽減するように、油圧源シリンダのロッドを回転させながら押し込む方法を検討した。ロッドの直動にあわせてロッドを回転させる機構を付加し(図4)、直動・回転比を変えながら、摩擦が小さくなるような条件を調べた。その結果、静止した状態から動かす場合や低速で動かす場合において大きく摩擦を減らすことができた。

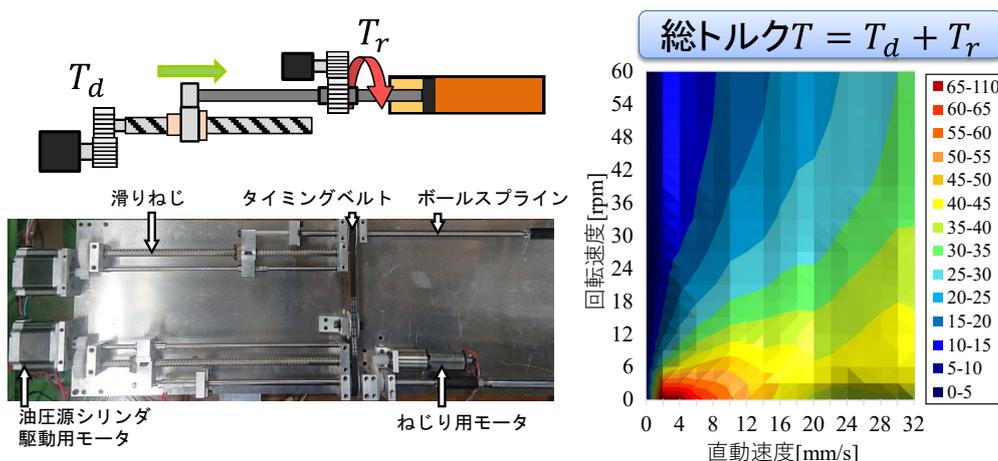


図4 油圧源シリンダのロッド回転機構と摩擦の低減結果

(4) 複数の出力シリンダの制御法

ロボットアームの複数の関節を動作させることを想定して、複数の出力シリンダの位置を制御する方法を構築した(図5)。切換弁で短い周期で断続的に複数のシリンダにオイルを送り込んで制御する方法である。負荷の方向によって、出力シリンダにオイルを送り出して制御するモードと吸い出して制御するモードを使い分ける必要もある。油圧源シリンダが負荷によって

引っ張られて動くとき位置制御しにくくなるため、出力シリンダの変位センサで、目標位置に対する変位の行き過ぎ量を検出してそれらのモードを切り換えた。このような制御を実現するため、油圧源シリンダもそれらに対応して2本化した。改良した実験装置により、さまざまな負荷条件において、駆動モードを使い分けることにより、ある程度滑らかに位置制御できることを示した(図6)。

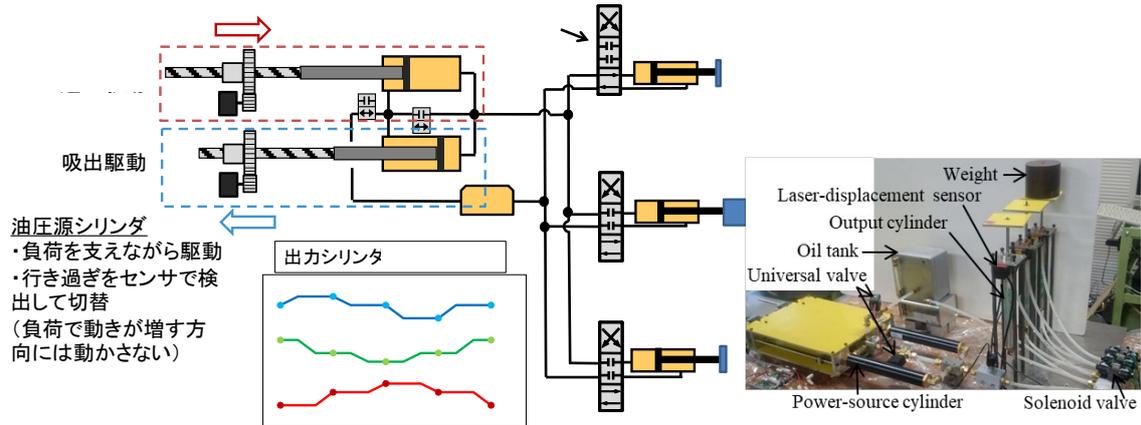


図5 2本の油圧源シリンダによるマルチ駆動

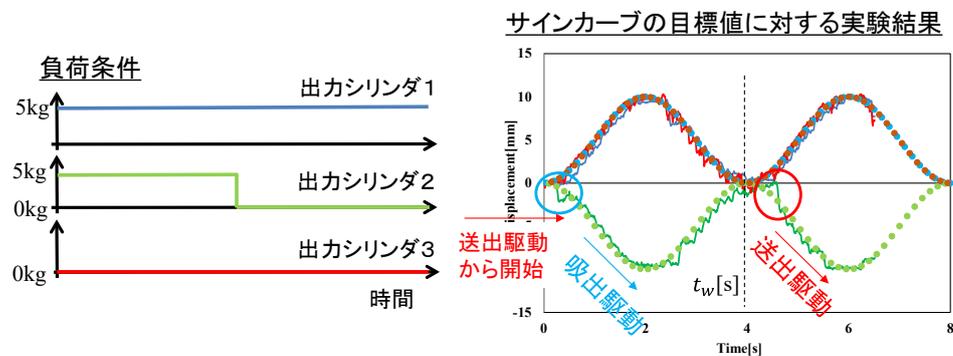


図6 マルチ駆動の制御結果例

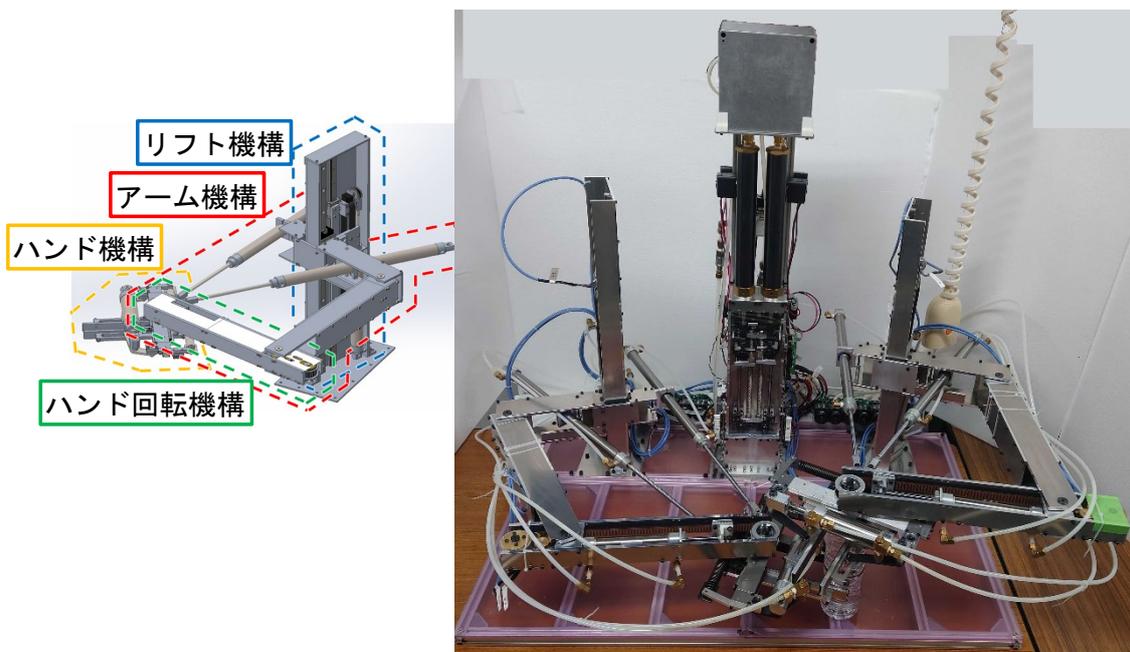


図7 試作した双腕の油圧駆動ロボットアーム

(5) 油圧駆動ロボットアームの試作と検証

本研究の提案手法が基本的に有効であることが示せたため、この油圧駆動機構を採用した多自由度ロボットアームを試作して、動作検証を行った。油圧シリンダの直動を生かせるような3

自由度の平面アームを設計し、それを高さ方向に昇降させる構造とした。グリップハンドも油圧シリンダで駆動できる構造とし、把持する間隔が小さくなるほど力が出せるような機構を考えた(図8)。これを2台試作し、図7のような双腕アームとした。

動作検証を行ったところ、アームを大きく動かす際に油圧源シリンダのオイルが不足して、そこにタンクからオイルを補給する動作を行うことで、アームの動作が不連続になってしまう現象が発生した。この現象を防ぐため、計画にはなかったが、油圧源シリンダを2回路化して、油圧源シリンダへのオイルの補給駆動も含め、途切れなく出力シリンダへオイルを送り出せるような仕組みを導入した(図9)。

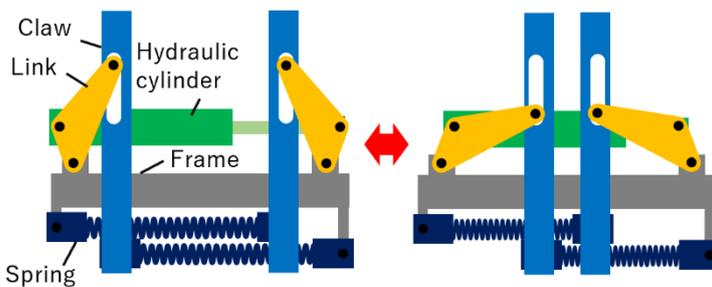


図8 油圧駆動のグリップハンドの機構

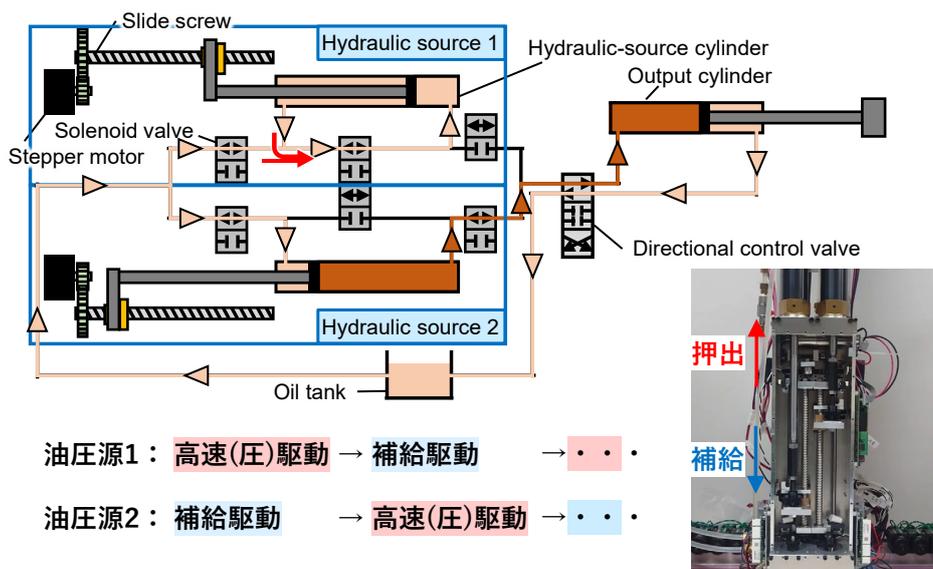
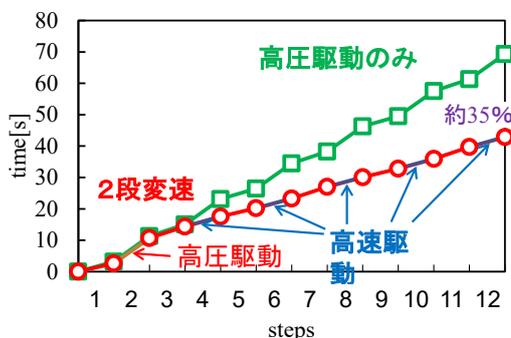


図9 油圧源シリンダの2回路化によるオイルの連続送付

試作アームにより、高速な動作と大きな力を出す動作の両方が求められる作業として、片方で把持したペットボトルのふたを効率よく開けたり閉めたりするデモを行った(図10)。これにより、提案する2段変速がこのような作業に有効であることが示された。



1: ハンド閉じる 2: 反時計回り
3: ハンド開く 4: 時計回り
を繰り返す

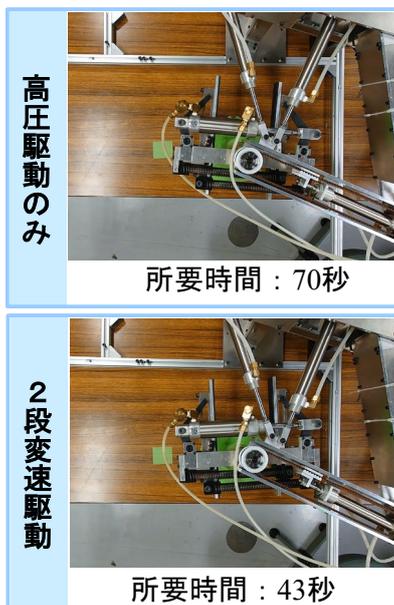


図10 ボトルのふたを開ける実験結果

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 1件）

1. 著者名 HAYASHI Tatsuya, SEKI Hiroaki, TSUJI Tokuo, HIKIZU Masatoshi	4. 巻 85
2. 論文標題 Smart Hydraulic System for Driving Robot Arm	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Japan Society for Precision Engineering	6. 最初と最後の頁 904 ~ 911
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2493/jjspe.85.904	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 Yuki Sawamoto, Hiroaki Seki, Tokuo Tsuji, Tatsuhiro Hiramitsu	4. 巻 1
2. 論文標題 Hydraulic Dual-Arm Robot with Two-Step Transmission	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the AROB-ISBC-SWARM 2023	6. 最初と最後の頁 GS30-3
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 澤本佑樹, 関啓明, 辻徳生, 平光立拓
2. 発表標題 2段変速可能な油圧駆動ロボットアームの設計
3. 学会等名 日本設計工学会 2021年度 秋季大会研究発表講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林竜也, 関啓明, 辻徳生, 平光立拓, 疋津正利
2. 発表標題 ロボットアーム用の二段変速可能な油圧駆動システムとその低損失化 - シリンダロッドのねじりによる摩擦力低減 -
3. 学会等名 2020年度精密工学会春季大会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林竜也; 関啓明; 辻徳生; 平光立拓; 足津正利
2. 発表標題 ロボットアーム用の二段変速可能な油圧駆動システムとその低損失化
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会
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 徳生 (Tsuji Tokuo) (30403588)	金沢大学・フロンティア工学系・准教授 (13301)	
研究分担者	平光 立拓 (Hiramitsu Tatsuhiro) (70845536)	金沢大学・フロンティア工学系・助教 (13301)	

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