

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06254

研究課題名(和文) 人力ロボティクス 人力機械のロボット化のための基盤技術と展開

研究課題名(英文) Human-Powered Robotics - Basic technology and development for robotization of human-powered machines

研究代表者

菅原 雄介 (Sugahara, Yusuke)

東京工業大学・工学院・准教授

研究者番号：60373031

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、「人力ロボティクス」の更なる展開に向けて、操作者の加える動力により駆動されながらもシステムの運動を制御可能とする機構と制御技術の開発と展開を目的とし、回生クラッチを用いた人力駆動関節機構、および無段変速機を備えたパワーアシスト駆動系を開発した。また1台の回生クラッチで正逆転の制御が可能な人力駆動関節機構とこれを用いた多自由度人力ロボットを開発し、人力駆動による多自由度位置決めを実現した。また足漕ぎ式スマートモビリティへの応用や集束超音波治療のためのトランスデューサ位置決めロボットへの応用のための試作検討を行った。これらにより人力ロボティクスの今後の展開のための基礎技術を開発できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

操作者が動力を加えて駆動する「人力機械」は世に多くあるが、そのロボット化の方法論が議論された例はなかった。本研究の類似研究は世界にほとんどなく、本研究の成果により人力ロボティクスの更なる展開すなわち人力機械の知能化・ロボット化が可能になるという学術的意義がある。このことは同時に、手軽に利用でき多機能性と本質的安全性、健康増進/リハビリテーション機能、環境親和性を兼ね備える、これまでにないタイプのロボットシステムの実用化につながるという社会的意義もある。

研究成果の概要(英文)：Toward the further evolution of "human-powered robotics", the purpose of this study is the development of mechanisms and systems which enable control of the motion driven by the power applied by the operator. The human-powered joint drive mechanism using the regenerative servo clutches and the power-assist system having CVT have been developed. The human-powered joint drive mechanism which can control bidirectional motion with one regenerative clutch and the multi-DOF human-powered robot using them have been also developed, and the multi-DOF positioning driven by the power applied by the operator was realized. Furthermore, several trial studies for applications to pedaling type smart mobility and transducer positioning robot for HIFU therapy were conducted. From these, basic technology for further evolution of "human-powered robotics" was developed.

研究分野：ロボティクス, 機構学

キーワード：ロボティクス 人間機械協調 機構

1. 研究開始当初の背景

Goswami, Peshkin らが 1990 年代に提案した **Passive Robotics** は、動力を持たないロボットを提案する画期的なコンセプトであった。このコンセプトに従うロボットは、操作者が押し引きする力のみにより駆動され、システムは制動力を操作することで多様な知的運動を実現する。ロボットにとって最大の危険源であるアクチュエータをもたず、また原理的には操作者が力を加えない限り動作しないため、ロボットの本質安全の実現に有利であると考えられ注目されてきた。

このコンセプトに基づくシステムは、Peshkin らのグループの他、平田らにより数多く提案され大きな成果を挙げており、また樋口の PAS-Arm, Troccaz らの手術支援用アーム PADyC, 手術用手台ロボット EXPERT や iArmS もこの理念を共有する技術といえる。

ただしこれらの研究例に共通するのは、人がエンドエフェクタに直接力を加えることを前提とし、人の加える力とロボットが発生する制動力の合力で運動が発生するということである。このため人がロボットを介して外部の環境と接触したり、人の加える力がロボットを介して外部に出力されるような構造ではその手法はそのまま利用できない。

一方、自転車や車いすなどの人力車両、手動リフトやホイストなどに代表されるように、人間の運動を動力源として用いる機械は実は数多い。これら人力機械を、人力で駆動しながらもその運動をシステムで制御する事ができれば、ロボット技術の応用により衝突・転倒回避や制振制御などの知的動作が可能となり、能動安全化・多機能化を実現できる可能性がある。しかしながらこれらは先に述べたような、人間の加える力がシステムを介して外部に出力される構造であるため、**Passive Robotics** の研究成果は直ちに応用できない。これまでこういった「人力機械の知的制御」の方法論が議論された例はこれまでほとんどなかった。

そこで申請者らは、人間機械協調の新たなフレームワークのコンセプト「**人力ロボティクス (Human-Powered Robotics)**」を着想した。これは、操作者の運動による動力により駆動されながらもシステムの運動を制御できる機構と制御系を開発することで「**知能化された人力機械**」すなわち人力機械としての本質的安全性とロボットシステムとしての多機能性を両立する人間-ロボットシステムを実現しようとするものである (図 1)。これに基づくシステムは、動力を持たないため本質安全の実現に有利であり、かつロボット技術により能動的にも安全で多機能なシステムとなる。

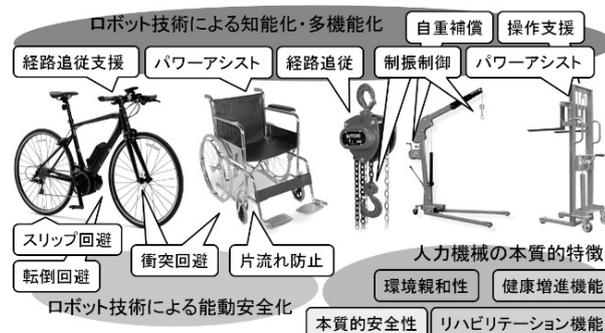


図 1 人力ロボティクスが実現するもの

このコンセプトを実現するには、操作者がその運動により入力する動力を用い、伝達トルクを制御することで関節角のサーボ制御を行う手法の開発が課題であった。申請者らはこれまでに、一対のパウダクラッチを用い、操作者がハンドルを回す動力により出力軸の位置決め制御を行う 1 自由度の関節機構、また搭乗者がペダルを漕ぐ動力により左右両輪の駆動と制御を行う 2 自由度のパーソナルモビリティを試作した。これらにより操作者の加える動力によりシステムを駆動しながらその運動を制御することに成功しており、基本的な原理検証をほぼ終えている。

しかしながら、駆動系に既存のパウダクラッチを用いてきたために制御性能が悪く、実現可能な運動・動作が限られており操作感も劣悪であった。エネルギー効率も高くなく、このために実用システムへの応用可能性も十分に示すことができていない。

2. 研究の目的

以上の成果を踏まえ、本研究では、新たな学問領域「**人力ロボティクス**」の更なる展開に向けた基礎技術の開発と実用システムへの展開可能性の検討を行う。応答性とエネルギー効率の高い回生式人力関節駆動系の開発や、人力機械の備える本質的安全性を損なわないパワーアシストシステムの開発を行い、操作者の加える動力により駆動されながらもシステムの運動を制御するための基礎技術を完成させる。また実用システムにおける人力ロボティクスの技術的有用性を示す。これらにより、ロボットシステムとしての多機能性と人力機械としての本質的安全性、健康増進/リハビリテーション機能、環境親和性を兼ね備えるシステムの設計論を構築することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究は、(A) 回生式人力関節駆動系の開発、(B) 本質的安全性を損なわないパワーアシスト駆動系の開発、(C) 多自由度人力ロボットの開発、(D) ロハス・モビリティへの人力ロボティクスの応用可能性の検討、(E) 手術支援ロボットへの応用可能性の検討、の項目について遂行した。

4. 研究成果

(A) 回生式人力関節駆動系の開発

提案者らがこれまでに提案した、回生ブレーキを用いたサーボクラッチ機構「回生サーボクラッチ」を2つ使い、出力軸の角度制御を行う1自由度関節機構（図2）を開発した。

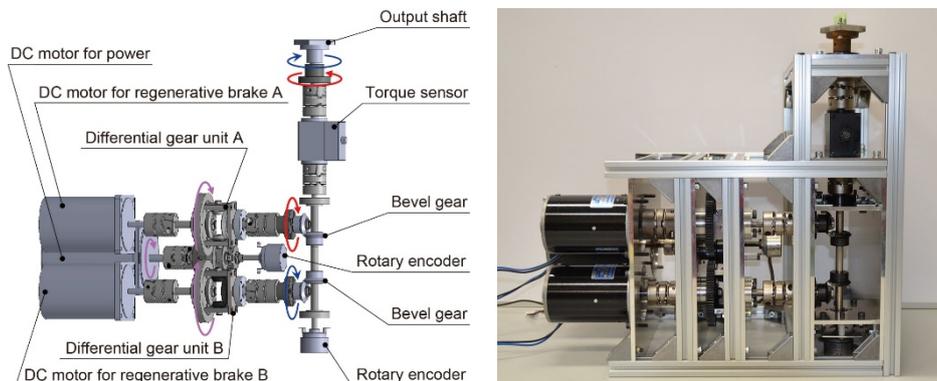


図2 回生サーボクラッチを用いた1自由度関節駆動機構 THR75

この機構は正転用と逆転用の2台の回生サーボクラッチを備えており、これらにより伝達トルクを制御することで、一方向の一定回転数の入力動力を用いて出力軸のサーボ制御が可能である。

試作機を用いた実験により、良好な角度制御性能を確認した。

(B) 本質的安全性を損なわないパワーアシスト駆動系の開発

前述の回生サーボクラッチは発電により回生エネルギーを生成するが、これを有効に利用する方法がなかった。また、機構の摩擦損失が大きく、また入力軸に必要なトルクの変動が大きいため操作者にとって扱いづらいという問題があった。

そこで、本研究では回生クラッチにおいて回生されたエネルギーを入力のアシストに用いることでこれらの問題を解決することを考えた。

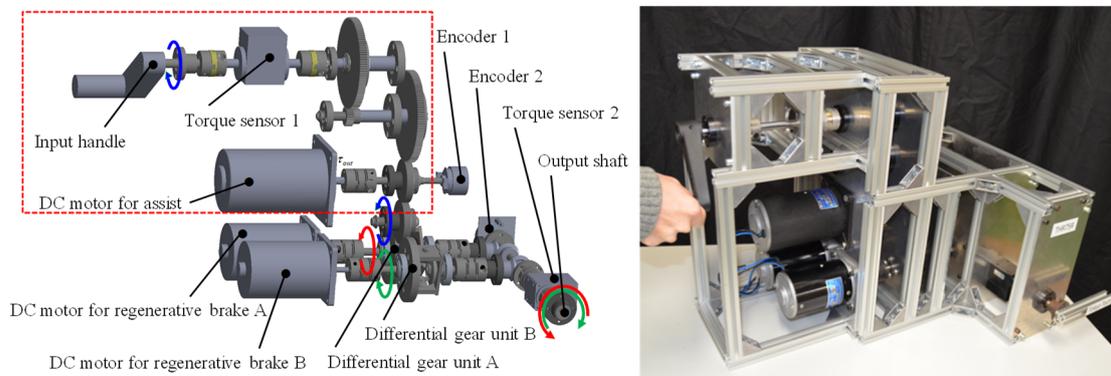


図3 回生エネルギーを用いた駆動アシスト機能付人力駆動関節機構 THR75R

図3はTHR75にアシストモータを搭載した改良機THR75Rの構造と写真である。回生クラッチの動作により発生した回生エネルギーは小型のバッテリーに蓄積し、これを用いてアシストモータの駆動を行う。アシストモータは機構の摩擦損失を補償する程度のアシストトルクを常時発生し、また出力軸のサーボ制御のために必要となるトルクはPD制御速で計算できるので、これを含め入力ハンドルの駆動のために操作者が感じるトルクをなるべく一定になるようアシストモータを制御する。

開発した試作機を用いた実験より、アシストモータによる操作者の負荷低減は実現できた。しかしながら回生エネルギーのみを使ったアシストのみでは負荷低減に十分ではなかった。

そこで次に、これに加えCVTを用い減速比を制御することで、電力を大きく消費することなく操作時の負荷低減を図った。

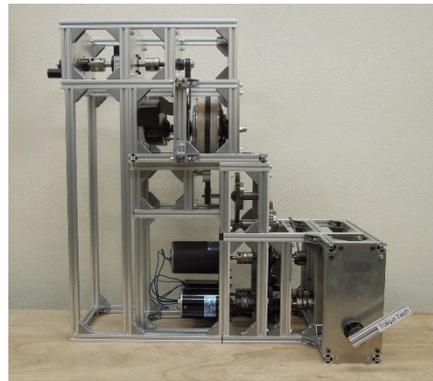
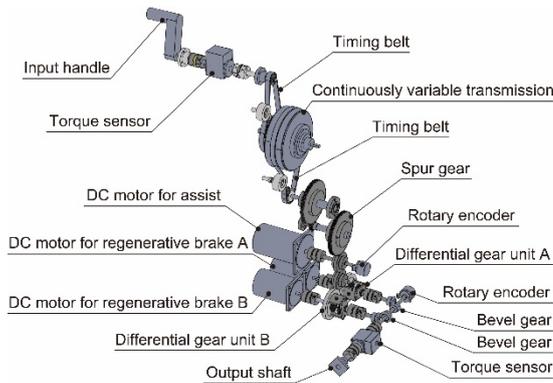


図4 CVTを備えた人力駆動関節機構 THR75RII

図4はTHR75Rの入力用ハンドルの直後に自転車用のCVTとして市販されているNuVinci N171を搭載した改良機THR75RIIの構造と写真である。この研究では、THR75Rではアシストモータのみで補償していた入力軸のトルク変動を、これに加えCVTによる減速比の変更で補償する。ただしCVTが減速比を変化させるのには時間を要するため、出力軸が大きなトルクを発生する必要がある場合にはまず瞬間的にアシストモータがトルクを発生し、CVTによる減速比の変化に従ってアシストトルクを減少させる。

開発した試作機を用いた実験より、出力軸に外力がかかり出力トルクが急激に変化した際も、まずアシストモータがトルクを補償し、次いでCVTの稼働によりハンドルのトルクを低減でき、またCVTによりアシストモータの消費電力を低減できた。

(C) 多自由度人力ロボットの開発

これまでの人力駆動関節機構では、1自由度の運動を制御するために、正転用と逆転用の2台の回生クラッチが必要であり、多自由度機構への拡張にあたってサイズやコストの面で課題があった。そこで、定荷重ばねを併用することで1台の回生クラッチで1自由度の正逆転が可能な人力駆動機構を開発した。

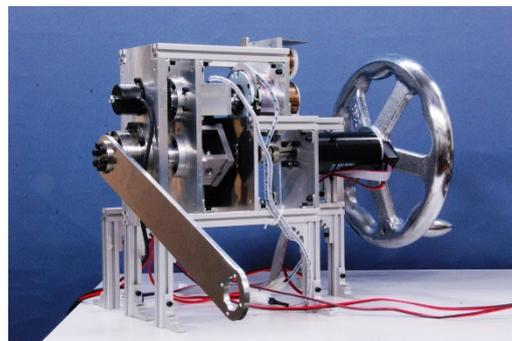
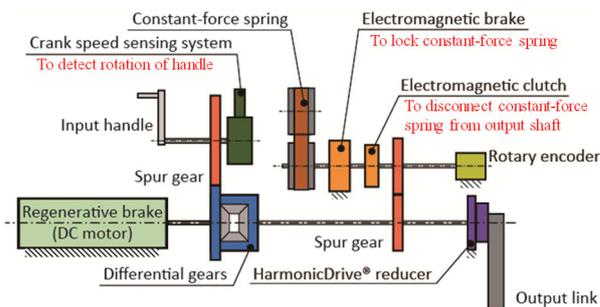


図5 回生クラッチと定荷重ばねを用いた1自由度人力駆動関節機構 THR78S

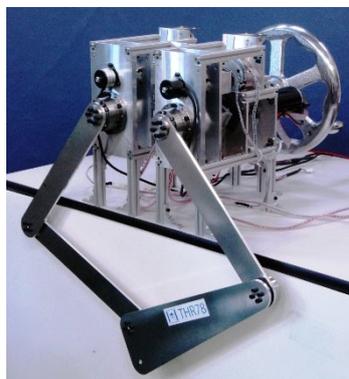
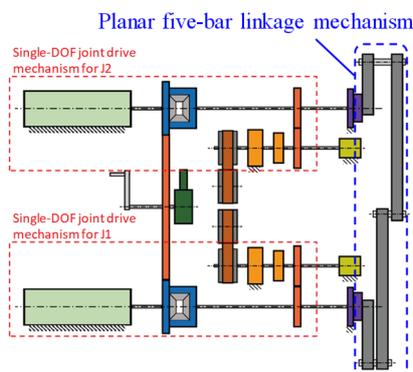


図6 回生クラッチと定荷重ばねを用いた2自由度人力駆動関節機構 THR78

図5はTHR75における片方の回生クラッチを定荷重ばねで置き換え、出力トルクを逆転方向にオフセットすることで、1自由度の正逆転を1台の回生クラッチで制御する、1自由度関節機構THR78Sの構造と写真である。操作者がハンドルを回転させていないときに定荷重ばねを固定し駆動系から切り離すための回転検出機構と定荷重ばねロック機構も備えている。また図6は、THR78Sを2台用いて構成した2自由度人力ロボットTHR78の構造と写真である。

開発した試作機THR78Sを用いた実験より、1台の回生クラッチと定荷重ばねを用いて1自由

度の関節角制御を実現した。また操作者が不意に入力ハンドルの回転を止めた際にも、回転検出機構がこれを検知し、電磁クラッチとブレーキにより定荷重ばねを固定し駆動系から切り離すことができた。また試作機 THR78 を用い、エンドポイントが東京工業大学のシンボルマークを描画する軌道に追従する実験を行ったところ、これもおおむね滑らかに追従することができ、人形ロボットの多自由度化に成功した。

(D) ロハス・モビリティへの人形ロボティクスへの応用可能性の検討

人形ロボティクスを応用し、搭乗者の健康増進と高い環境親和性を実現可能な足漕ぎ式スマートモビリティの研究・開発に取り組み、その応用の可能性を検討した。図7に開発したロハス・モビリティの実機を示す。このモビリティは後輪の左右の車輪の回転を、それぞれパウダクラッチを用いた1軸関節機構により制御することで走行する。入力搭乗者のペダル運動によるものである。搭乗者の継続的なペダル運動による長時間走行を実現するために、搭乗者のペダリング状況を推定するペダルシステムや、推定した状況に基づく入力動力を回生 / 補助するシステムなどの研究に取り組み、システムが必要とする出力動力に依らず、搭乗者のペダリング速度を一定することに成功した。



図7 ロハス・モビリティ

(E) 手術支援ロボットへの応用可能性の検討

人形ロボティクスへの応用可能性を検討すべく、まず受動式ロボットの手術支援システムにおけるニーズを調査したところ、HIFU 治療のためのトランスデューサの位置決めを行うロボットにおけるニーズがあることがわかった。トランスデューサはロボットアームの先端に固定され、従来技術ではインピーダンス制御などを用いて操作者が直接指示により位置決めを行っていたが、操作感があまりよくないことが問題となっていた。本研究ではこのロボットアーム先端に、受動的な自由度を有し操作者が自在に位置決めを行い必要に応じて固定することのできるトランスデューサ位置決め装置を設けることを着想した。

まず、このような装置の将来的な実用機における目標仕様の検討を行った。将来的な治療対象を膵がん/骨腫瘍(転移性含む)と設定した。膵臓は平均 $15 \times 2 \times 3 \text{cm}$ 程度の大きさであるが、腫瘍自体の大きさは 4cm 程度であり、患者自体の初期位置も動かせることを考えれば、トランスデューサの並進可動範囲は $10 \times 10 \times 10 \text{cm}$ 程度あればトランスデューサ姿勢の可動範囲を考慮しても十分治療可能と考えられる。骨肉腫/骨転移に関しては平均的な大きさのデータはないものの、同等の可動範囲で多くの腫瘍の治療が可能と考えられる。姿勢の可動範囲については、膵臓は腹部側から照射を考えれば鉛直方向から 45° 程度まで可動すれば十分である、骨腫瘍は様々な部位に発生するため、姿勢の可動範囲は大きいほど対象症例は広がるが、可動範囲が 90° 程度まであれば、患者姿勢を工夫することにより多くの症例に対応可能と考えられる。一方、使用時の操作感や反力については定量的な仕様の設定には至らず、今後の検討が必要である。

次に、これに基づき図8に示す5自由度の受動式位置決め機構を設計した。

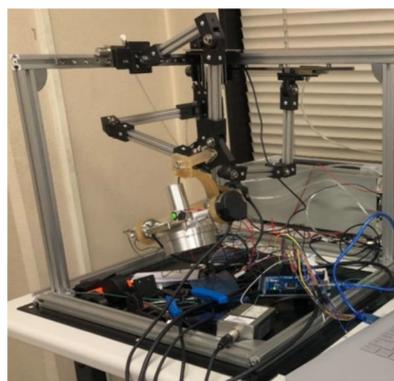
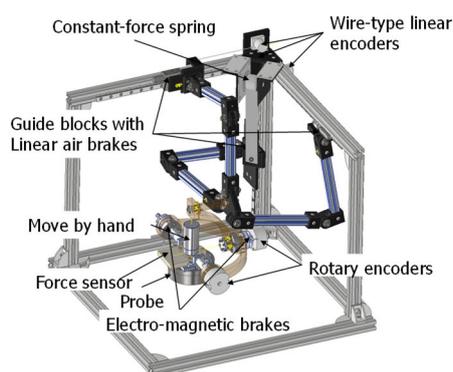


図8 受動式5自由度トランスデューサ位置決め機構

この機構は3自由度並進平行メカニズムである3-PRR機構に2自由度ジンバル機構を追加したものである。一部の対偶にブレーキが入っており、任意の姿勢で固定することができ、また鉛直方向の並進対偶に定荷重ばねが備わっており、自重補償がなされているため上下方向へも小さな操作力で操作することができる。

この試作機を用いた実験より、操作性にはまだ課題が残るが、比較的小さな操作力で自在に動かすことができ、任意の位置で簡単に固定できることを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 菅原雄介	4. 巻 31-1
2. 論文標題 用語解説 人カロボティクス	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本知能情報ファジィ学会誌	6. 最初と最後の頁 13
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 無
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 -

1. 著者名 遠藤央	4. 巻 36-1
2. 論文標題 人力駆動モビリティ利用者と環境の持続可能性を考慮したロハスな搭乗型ロボットシステム-	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本ロボット学会誌	6. 最初と最後の頁 42-45
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.7210/jrsj.36.42	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 遠藤央	4. 巻 41-2
2. 論文標題 健康増進機能・環境親和性・先進安全性を併せ持つ 脚漕ぎ式搭乗型移動装置「ロハス・モビリティ」の展望	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 バイオメカニズム学会誌	6. 最初と最後の頁 79～84
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.3951/sobim.41.2_79	査読の有無 無
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22件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 遠藤央, 菅原雄介, 柿崎隆夫
2. 発表標題 人カロボティクスに基づく足こぎ式自律搬送ロボットシステム（第5報：全方向移動型人カモビリティ）
3. 学会等名 第19回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会（SI2018）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菅原雄介, シャフィック・ムハマド, 島悠貴, 松浦大輔, 武田行生, 遠藤央, 岡本淳
2. 発表標題 人力ロボティクスの研究 (第10報, CVTとパワーアシストを用いた人力関節駆動機構の操作負荷低減)
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2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡邊麻友美, 射手園健斗, 遠藤央, 菅原雄介, 武藤伸洋, 柿崎隆夫
2. 発表標題 人力ロボティクスに基づく人と環境の持続可能性を考慮した搭乗型移動ロボットLoMo (第8報, 基礎走行制御)
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2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木颯太, 射手園健斗, 渡邊麻友美, 遠藤央, 菅原雄介, 武藤伸洋, 柿崎隆夫
2. 発表標題 物体の把持と持ち上げを同時に実現する1自由度機構
3. 学会等名 第18回日本機械学会機素潤滑設計部門講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 島悠貴, 佐久間菜月, 菅原雄介, 松浦大輔, 武田行生, 西畑智道, 二瓶美里, 鎌田実
2. 発表標題 高齢者向け下肢操作式モビリティにおける歩行機能改善に有効な運動負荷を与えるペダル機構の設計
3. 学会等名 第18回日本機械学会機素潤滑設計部門講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yusuke Sugahara, Hayato Akiyama, Jeremy Jong, Mitsuru Endo and Jun Okamoto
2. 発表標題 Design and Control of a Human-Powered Robotic Personal Mobility Vehicle Prototype
3. 学会等名 Proceedings of the 22nd CISM IFToMM Symposium on Robot Design, Dynamics and Control (ROMANSY22) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yusuke Sugahara, Kensuke Kikui, Mitsuru Endo, Jun Okamoto, Daisuke Matsuura and Yukio Takeda
2. 発表標題 A Human-Powered Joint Drive Mechanism Using Regenerative Clutches
3. 学会等名 Proceedings of the 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 菅原雄介, ムハマドシャフィック, 島悠貴, 松浦大輔, 武田行生, 遠藤央, 岡本淳
2. 発表標題 人力ロボティクスの研究 (第10報, CVTとパワーアシストを用いた人力関節駆動機構の操作負荷低減)
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2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡邉麻友美, 射手園健斗, 遠藤央, 菅原雄介, 武藤伸洋, 柿崎隆夫
2. 発表標題 人力ロボティクスに基づく人と環境の持続可能性に配慮した搭乗型移動ロボットLoMo (第7報: モビリティの基礎制御)
3. 学会等名 第18回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 射手園健斗, 渡邊麻友美, 遠藤央, 菅原雄介, 武藤伸洋, 柿崎隆夫
2. 発表標題 人力ロボティクスを応用した自律搬送システム (第4報: 走行シミュレーション)
3. 学会等名 第18回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 遠藤央, 渡邊麻友美, 射手園健斗, 菅原雄介, 武藤伸洋, 柿崎隆夫
2. 発表標題 人力ロボティクスのための操作者によるペダリング運動に基づく入力動力の計測と推定
3. 学会等名 日本機械学会スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス2017講演論文集
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 射手園健斗, 遠藤央, 菅原雄介, 柿崎隆夫, 武藤伸洋
2. 発表標題 人力ロボティクスを応用した足漕ぎ式自律搬送システム (搭乗者の身体寸法を考慮した移動モジュールの設計)
3. 学会等名 日本設計工学会2017年度秋季大会研究発表講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 渡邊皆実, 遠藤央, 菅原雄介
2. 発表標題 人力ロボティクスに基づく人と環境の持続可能性を考慮した搭乗型移動ロボット LoMo, 第 7 報: 入力動力計測ペダル
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 射手園健斗, 渡邊麻友美, 遠藤央, 菅原雄介, 柿崎隆夫, 武藤伸洋
2. 発表標題 人力ロボティクスを応用した足漕ぎ式自律搬送システム, 搬送ロボットの機構設計
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2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 渡邊麻友美, 射手園健斗, 遠藤央, 菅原雄介, 岡本淳, 柿崎隆夫
2. 発表標題 人力ロボティクスに基づく人と環境の持続可能性を考慮した搭載型移動ロボットLoMo, 第6報: 人力によるモビリティの走行
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2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yusuke Sugahara, Kohei Tsukamoto, Mitsuru Endo, Jun Okamoto, Daisuke Matsuura and Yukio Takeda
2. 発表標題 A Multi-DOF Human-Powered Robot Using Regenerative Clutches and Constant-Force Springs
3. 学会等名 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菅原雄介, 島悠貴, 松浦大輔, 武田行生, 二瓶美里, 佐久間菜月, 西畑智道, 鎌田実, 遠藤央
2. 発表標題 高齢者向けハンズフリーモビリティのためのペダリング運動負荷システム
3. 学会等名 LIFE2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 塚本航平, 菅原雄介, 松浦大輔, 武田行生, 遠藤央, 岡本淳
2. 発表標題 人力ロボティクスの研究 (第11報, 回生クラッチと定荷重ばねを用いた2自由度人力ロボット)
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

1. 発表者名 島悠貴, 菅原雄介, 松浦大輔, 武田行生, 遠藤央, 岡本淳
2. 発表標題 人力ロボティクスの研究 (第9報, 人力関節駆動機構における回生エネルギーを用いた駆動アシスト)
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2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 菅原雄介
2. 発表標題 差動機構を用いたロボットの駆動について
3. 学会等名 日本機械学会研究協力事業委員会RC283「歯車装置の設計・製造・評価に関する革新技術のための試験・調査研究分科会」第3回全体分科会「モーションコントロールを支える要素技術の最新動向～歯車とそのライバル達～」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yusuke Sugahara
2. 発表標題 Human-powered robotics
3. 学会等名 IGM-Seminar, RWTH Aachen (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 菅原雄介
2. 発表標題 人を支援するロボットシステム～設計・制御・インテグレーション～
3. 学会等名 大田区産業振興協会第89回東京工業大学技術セミナー（招待講演）
4. 発表年 2017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	遠藤 央 (Endo Mitsuru) (50547825)	東京工業大学・工学院・特任准教授 (12608)	
研究分担者	岡本 淳 (Okamoto Jun) (10409683)	東京女子医科大学・医学部・特任准教授 (32653)	
研究協力者	武田 行生 (Takeda Yukio) (20216914)	東京工業大学・工学院・教授 (12608)	
研究協力者	松浦 大輔 (Matsuura Daisuke) (40618740)	東京工業大学・工学院・特任准教授 (12608)	