

令和 2 年 6 月 12 日現在

機関番号：12608
 研究種目：基盤研究(B)（一般）
 研究期間：2017～2019
 課題番号：17H03162
 研究課題名（和文）ダイナミックペアの提案とこれによる人間-支援機械システムの新たな機構学の創出

 研究課題名（英文）Novel kinematics based on the introduction of the dynamic pairs in the kinemato-dynamic modeling of mechanical systems composed of human and wearable assist-devices

 研究代表者
 武田 行生（Takeda, Yukio）

 東京工業大学・工学院・教授

 研究者番号：20216914
 交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,200,000円

研究成果の概要（和文）：パワーアシストスーツ、関節リハビリ装置など、使用者の身体の一部に直接設置される装着形動作支援装置において、支援装置と人体の結合部などの挙動をモデル化した効果的な動作支援を行う装置の設計を可能とするために、ダイナミックペアの導入を提案した。具体的な支援装置を取り上げ、ダイナミックペアを用いた動作支援装置-人間系の運動力学モデルを示し、解析を行うとともに、設計への展開について考察を行った。その結果、本手法により、従来方法では設計の初期段階において検討が困難であった、人間と機械のインターフェース部分の挙動を考慮した支援装置の機構構造の単純化設計が可能となるなど、新たな知見を得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、人の動作支援やリハビリテーションを行う装置等のように、使用者の身体の一部に直接設置される装着形動作支援装置を対象として、支援装置と人体の結合部などの挙動をモデル化して人間-支援装置系を統一的に扱った解析・設計を可能とするものであり、新たな学問の創出とともに、使用者が快適に使用でき、かつ効率的な支援動作を実現する支援装置の開発に貢献する。

研究成果の概要（英文）：In order to enable designing effective and useful assistive devices/tools which are connected to some part of human body directly or through some attachment parts, such as wearable power-assist suits, joint rehabilitation devices and walking sticks, taking into consideration the deformation of the connection parts and slippage between them, the concept “dynamic pair” is introduced. The dynamic pair is a kinemato-dynamic model of the connection parts between the assist device and human body. By introducing the dynamic pairs to the model of the human-device systems, effective and practical designs of the assistive devices have been discussed through demonstrative examples on the rehabilitation devices and stick walking. The results will contribute to the generation of the novel kinematics and design, assessment and development of effective, useful and lean assistive devices/tools.

研究分野：機械工学，機構学

キーワード：機械設計 機構学 ダイナミックペア

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

高齢者や障害者の生き生きとした自立生活、積極的な社会参加を支援するために普及が期待される、パワーアシストスーツのような装着形動作支援装置(以下、支援装置と呼ぶ)は、いわゆる機械装置としての機能・性能と、価格、質量、信頼性、着脱と操作の容易性や外観の意匠などを考慮して開発が進められている。しかし、これらを長期間にわたって愛用される、使用者の喜び/満足/興奮を喚起する真のデライト製品とするためには、支援装置が運動中も常に使用者の身体にフィットし、意思通りに動くことによって、使用者と一体となって効果的に支援動作を実現することが不可欠である。そのためには使用中に生じ得る負荷に伴う使用者の皮膚・筋骨格系と装置との運動学および力学的な相互作用を考慮した新たな運動学・力学解析に基づく実用的なモデル化・設計手法の構築が必要である。具体的には、

(1) 身体側と装置側双方の部位からなる支援装置の取付部の力学的特性

(2) 運動に伴って生じ得る身体側の関節の軸の位置・方向の変化

(3) 身体側の関節の可動範囲、剛性、駆動力

(4) 支援装置の取付位置誤差と対偶のガタ・弾性、使用者の特性のばらつき

など、さまざまな要因を考慮して人間-支援装置系の設計を可能とする手法が必要である。

しかし、これまでは設計の初期段階から上記の(1)~(4)を積極的に考慮した手法が開発されておらず、理想化された人体モデルを用い、支援装置側に要求される自由度、作業領域、発生力などに基づいて設計された装置を適当な方法で人体に装着して支援装置として機能させようとしてきた。つまり、

(a) 設計の初期段階において、装着部を介して人体に作用する力や変位の影響は無視されており、

(b) 装着した状態で構成される人間-支援装置系を対象とした設計活動は一部の人体装着部品の幾何形状や弾性などの局所的なパラメータ調整程度であり、全体設計がなされていない。

要するに、従来の支援装置の設計では、自動機、産業用ロボットなどを対象とした旧来からの機構学的手法と何ら変わりのない手法により機構設計が行われ、現場での調整によって稼動可能としていた。

一例として、肘関節の動作支援機械について考える。これまでは、図1(a)のように、上肢のモデルに基づいてモータで駆動される関節で結合された2つのリンクからなる支援装置を設計し、一方のリンクを上腕部、他方を前腕部に、それぞれマジックテープ等により適度な強度で固定して使用してきた。人体側の関節と支援装置側のモータ軸の間のオフセット(図1における2つの+印間の相対距離)が生じないように設置することは困難であり、これにより発生する作用力とこれに伴って生じる人体の痛みに対しては、装着部のもつ弾性により結果的に回避していた。この場合、結合部分の材料や固定方法の選定・設計は、技術者らの経験や直感、試行錯誤に基づいており、科学的根拠に基づく指針は明らかではない。また、上記のオフセットによる過大な荷重発生を回避するために、受動的な対偶(関節)を装置内に付与することが種々行われてきた⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾。しかし、この受動対偶による運動と目的とする支援運動を区別することなく系全体として必要な自由度を有するように受動対偶の配置を行うために、機構が全体として複雑かつ冗長となり、機構学的には正しくても実用的ではない設計に陥ることが往々にしてある(図1(b))。装着部の違和感は固定帯の逃げ等で回避できるが、使用者に与える障害を恐れるあまり過剰な逃げとなり、本来の目的である動作支援が効果的に実現できなくなるケースすらある(図1(c))。これらに対し、設計の初期段階すなわち支援装置の基本構造の設計から実機での調整に至るまで、上記のオフセットや装着部の弾性等を統一的に扱うことが可能となれば、使用者が快適に使用でき、かつ効率的な支援動作を実現する支援装置の開発が効率的に行えるようになると思う。従来、まず支援装置を構成する物体の剛体モデルであるリンクとこれらの相対運動を理想化した対偶からなる機構を用いて機械運動系の基本的な骨組構造(機構)が決定され、リンクの弾性などを、ばねなどによる集中系や有限要素などによりモデル化した静的・動的シミュレーション

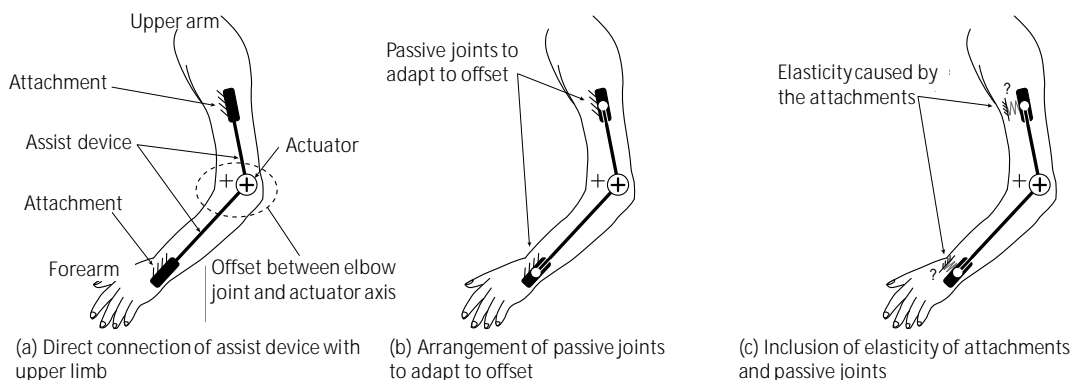


図1 上肢の支援装置のモデル

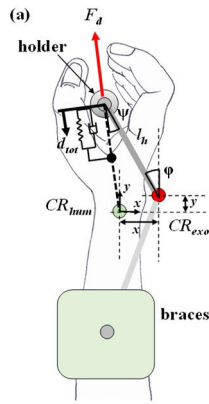


図2 手首リハビリ装置のモデル

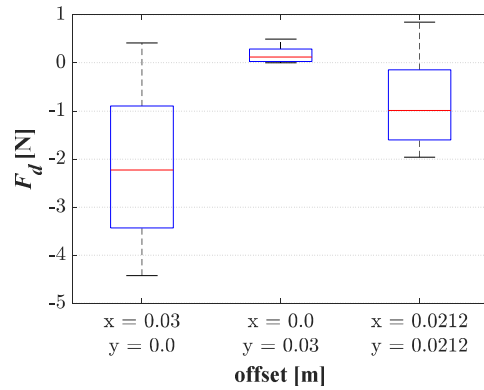


図3 解析結果(手首リハビリ装置)

に基づく設計が行われてきたため、人間-支援装置系として必ずしも最適なシステムが得られていなかった。

2. 研究の目的

本研究では、剛体リンクとこれらの理想的な拘束(相対運動)を実現する対偶(キネマティックペア)によって人間や装置をモデル化する旧来の機構学から脱却し、支援装置と人体の結合部などの挙動もモデル化することで人間-支援装置系を統合的に扱った解析・設計手法の開発を目指した。そして、このモデルをダイナミックペアと呼び、設計の初期段階から使用者と支援装置を一体化して扱うためにダイナミックペアを提案して新たな解析・設計手法の構築を目指した。これにより、従来の機構学的アプローチでは表現できなかった結合部の動力学特性を可視化した人間-支援装置系の最適機構設計を可能とする。つまり、従来の機構学的手法やマルチボディダイナミクス、有限要素法などのCAE的アプローチとは一線を画す新たな機構学を創出する。

3. 研究の方法

ダイナミックペアは次のように分類された要素を組み合わせて構成するものとする。

運動の種類：回転あるいは直進

固定・解放機能：有あるいは無

ストロークの大きさ：微小あるいは有限

ストローク制限：有あるいは無(有の場合、数値設定を行う)

力学的特性：能動あるいは受動

ばね特性：有(強)、有(弱)あるいは無(有の場合、数値設定を行う)

粘性：有あるいは無(有の場合、数値設定を行う)

具体的な支援装置を用いた場合について、人間-機械システムを上記のダイナミックペアを用いてモデル化し、シミュレーションを行って、運動力学的特性の解析と支援装置の設計について検討を行った。また、人間への装着に関する問題はないもののダイナミックペアの概念を活用することが有用な機械運動系の解析・設計に対しても、本研究のアイデアおよび手法を適用して検討を行い、本研究の手法の適用範囲の拡大を図った。

4. 研究成果

具体例として、手首リハビリ装置、足首リハビリ装置、杖を用いた高齢者歩行を対象として行ったモデル化および特性解析・設計検討の結果を示す。

4.1 手首リハビリ装置

図2に示す手首リハビリ装置は手首と掌に装着され、手首の伸展・屈曲を行うものとする。掌側装着部の弾性をダイナミックペアでモデル化し、装置の駆動関節位置のオフセット(図の CR_{exo} と CR_{hum} がそれぞれ装置と手首の回転中心である)が手首関節の作用力に及ぼす影響について検討を行った例を示す。当該ダイナミックペアを考慮しない場合には3つの回転対偶からなる系となるため、2つの回転中心にオフセットがある場合には動かないが、ばね特性を有する直進のダイナミックペアを組み込むことにより、3回転・1直進の閉ループ機構となって1自由度の運動が可能となるとともに作用力の解析も可能となる。Shieleによるモデル⁽⁵⁾にしたがってダイナミックペアのばね定数を決定し、屈曲・伸展角を $-30 \sim 30^\circ$ の範囲で変化させて解析を行った。その結果の一部を図3に示す。ここでは、リンク長および装着部のばね定数をそれぞれ $l_h=70 \text{ mm}$ 、 $k_h=172.5 \text{ N/m}$ とし、オフセットの大きさを一定としてその方向の影響を調べた。同図より、 x 軸方向へのオフセットはリハビリ運動により手首関節への大きな負荷となり得ることから、装着時の調整や受動対偶などによりある程度解消しておく必要があることがわかる。

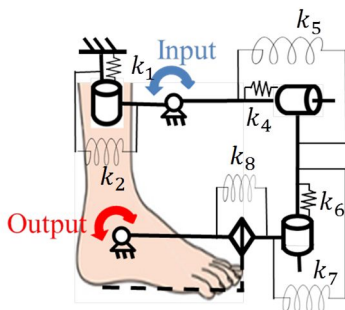


図4 足首リハビリ装置の
ダイナミックペア導入モデル

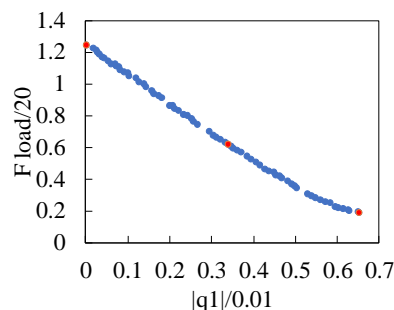


図5 最適設計の結果（足首リハビリ装置）

4.2 足首リハビリ装置

従来、装着形足首リハビリ装置を対象として、リハビリ運動中の足首関節の軸の位置と方向の変化および装着位置の誤差に受動的に適應して簡易な装着操作により安全なリハビリ運動を可能とする機構を提案し、その実用化設計まで進めてきた⁽²⁾⁻⁽⁴⁾。しかし、下腿部および足部におけるリハビリ装置との装着部には弾性があり、駆動に伴う運動と装置内の受動対偶による運動により全体として冗長系を構成していた。そこで、ここでは、装着部をダイナミックペアでモデル化して足首関節および装着部に作用する力を評価し、装置内の受動対偶の一部を除去して装置の単純化を図った例について述べる。

図4のように下腿部への装着部をダイナミックペアでモデル化し、軸方向の並進運動および回転運動が可能でばね作用のあるものとする。また、装置内のすべての受動対偶にもばね特性を持たせるものとする。同図において、 k_1, k_4 および k_6 は並進ばね、 k_5, k_7 および k_8 は回転ばねであり、“Input” と示した回転対偶はモータで駆動される能動対偶であり、“Output” と示した回転対偶は足首関節である。装着部に設置したダイナミックペアのばね定数は実測により求めた。能動対偶と足首関節の相対位置および足首関節の軸方向角に種々の値を与え、足首関節角を $-30^\circ \sim 20^\circ$ で変化させた際の装着部の並進方向変位と足首関節に作用する力の大きさを最小化する最適化問題を設定し、パレート最適解を求めた。その結果を図5に示す。図5において、対偶5を除去し各受動対偶に適切なばねを設置することで、装着部の並進変位をほぼなくすることができること、あるいは足首に作用する負荷を大幅に低減できることがわかる。すなわち、ダイナミックペア導入モデルによる解析により、装置の単純化設計が可能となることが示された。

4.3 高齢者の杖歩行

高齢者の杖歩行を対象として、ダイナミックペアを導入した運動力学解析を行った例を示す。この解析では、ヒトの手の皮膚や筋肉、脂肪といった生体組織の変形により発生する手と杖の間の変位・角変位とそれに伴う復元力・復元モーメントが杖歩行の安定性に影響していると仮定し、これらの変位および力・モーメントを表現するためにダイナミックペアを適用した。

解析に使用する高齢者の運動学モデルを図6に示す。高齢者の歩行は歩幅が小さく擦り足に近いことを考慮すると、リンク間の相対運動は小さく、重心位置の変動や慣性力などの影響は無視できると考えられる。そのため、高齢者の杖歩行における運動学モデルを平面4節リンク機構によって単純化して表現した。このモデルでは、遊脚や杖を持っていない方の腕、および杖を持っている方の腕の上腕から前腕および体幹をBodyなる節としてまとめ、杖の把持に關与するHandのみをそこから独立した節としている。図6において、HandとCane shaftの接続部をダイナミックペアによって表現している。このダイナミックペアは、並進・回転のそれぞれに対応する直進対偶・回転対偶の組み合わせ、および、各対偶に1つずつ並列で接続されているばね・ダンパ要素で構成されている。なお、解析モデルの各定数はモーションキャプチャシステムを使用した動作測定実験に基づいて適宜定めた。

図6の高齢者のモデルを使用して、杖歩行の安定性を計算するための運動力学シミュレーションを行った。図7にその結果を示す。シミュレーションでは、動作測定実験結果に基づいて適宜初期姿勢を設定した後に、ダイナミックペア部の復元力・復元トルクが重力と釣り合って姿勢変化が収束した後（図6における $t=8$ s 時点）、Bodyの重心位置に対してX方向に 5×10^3 Nの外力を0.1 s間加えた。この力は、杖歩行中に躓きによって発生するインパルス状の慣性力を模擬したものである。また、シミュレーションでは図6の中に示す5種類の異なる組み合わせのばね・ダンパ定数を使用しており、それぞれの組み合わせにおけるBodyの姿勢角 θ_B の時間変化を比較している。シミュレーションの結果、ダンパ定数が大きくなると θ_B の振動の収束が早くなり、ばね定数が大きくなると θ_B の収束後の値が大きくなることが示された。これより、ダイナミックペアを導入した解析により、安定な杖歩行のためには、杖と使用者との機械的インターフェース部分の設計が重要であることを定量的に示すことができた。

さらに、このシミュレーションモデルを活用し、転倒の要因を外力モーメントにより表現し、杖先の接地位置の違いが転倒防止に寄与する効果を定量的に検討した。その結果、ダイナミック

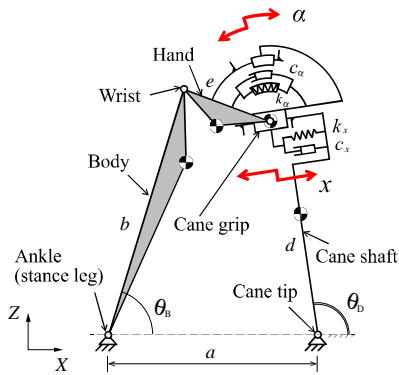


図6 杖歩きのダイナミックペア導入モデル

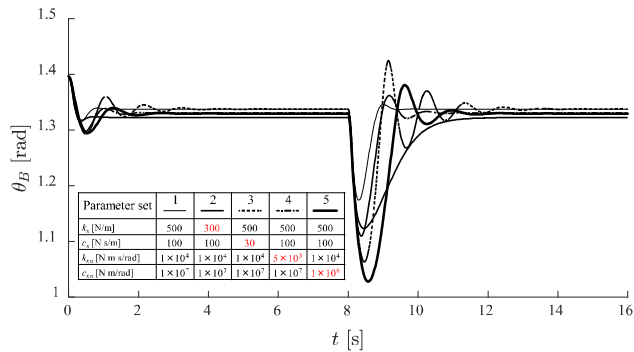


図7 シミュレーション結果(杖歩行)

ペアを導入した解析モデルにより得られる杖と使用者の機械的インターフェースにおける消散エネルギー量が、杖歩きの転倒防止を検討する際に考慮されるべき評価量になり得ることがわかった。

4.4 その他の機械運動系への適用

上記以外にも、指のリハビリ支援装置、歩行リハビリ装置、折り紙をモデル化した伸展アーム、食事支援ロボット用箸型グリップ、対偶すき間のある平行ロボット、形状記憶合金を用いたアクチュエータなどの解析・設計にもダイナミックペアの概念を導入することで、有用な結果を得ることができた。

4.5 まとめ

アシストスーツ、関節リハビリ装置など、使用者の身体の一部に直接設置される装着形動作支援装置において、支援装置と人体の結合部などの挙動をモデル化した効果的な動作支援を行う装置の設計を可能とするために、ダイナミックペアの導入を提案した。具体的な支援装置を取り上げ、ダイナミックペアを用いた人間-支援装置系の運動力学モデル化により、従来のキネマティックペアに基づくモデルではできなかった特性の把握および装置の機構構造の設計の単純化などが行えることを具体的に示すことができた。今後は、ダイナミックペアを導入した、人間-支援装置系の統一モデルによる設計手法として、より一般化した手法を構築するとともに、本成果に基づく効果的な動作支援装置の開発を目指す。

文献

- (1) Otten, A., et al, "LIMPACT: a hydraulically powered self-aligning upper limb exoskeleton", IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 20, No. 5(2015), pp. 2285-2298.
- (2) Szigeti, A., et al, "Portable Design and Range of Motion Control for an Ankle Rehabilitation Mechanism Capable of Adjusting to Changes in Joint Axis", International Journal of Mechanisms and Robotic Systems, Vol. 3, Nos. 2/3(2016), pp. 222-236.
- (3) Matsuura, D., et al, "Design of Ankle Rehabilitation Mechanism Using a Quantitative Measure of Load Reduction", Advances on Theory and Practice of Robots and Manipulators: Proceedings of ROMANSY 2014, XXth CISM-IFTOMM Symposium on Theory and Practice of Robots and Manipulators, June 22-26, 2014, pp.27-36.
- (4) Matsuura, D., et al, "Kinetostatic Design of Ankle Rehabilitation Mechanism Capable of Adapting to Joint Axis Fluctuation", Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 25, No. 6(2013), pp. 1029-1037.
- (5) Schiele, A., "An explicit model to predict and interpret constraint force creation in pHRI with exoskeletons," Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1324-1330, 2008.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 大野 真澄, 武田 行生	4. 巻 84
2. 論文標題 対偶すき間を有するパラレルロボットにおける対偶作用力モデルに基づく運動誤差の高速計算法	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 18-00057
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.18-00057	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 Rasheed Kittinanthapanya, Yusuke Sugahara, Daisuke Matsuura, Yukio Takeda	4. 巻 8
2. 論文標題 Development of a Novel SMA-Driven Compliant Rotary Actuator Based on a Double Helical Structure	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Robotics	6. 最初と最後の頁 12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3390/robotics8010012	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 Chu ZHANG, Bluest LAN, Daisuke MATSUURA, Celine MOUGENOT, Yusuke SUGAHARA, Yukio TAKEDA	4. 巻 12
2. 論文標題 Kinematic design of a footplate drive mechanism using a 3-DOF parallel mechanism for walking rehabilitation device	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jamdsm.2018jamdsm0017	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 該当する
1. 著者名 松田 聡一郎, 武田 行生	4. 巻 86
2. 論文標題 ダイナミックペアを適用したモデルに基づく高齢者の歩行時の転倒防止に着目した前方杖先位置の評価法の提案	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 20-00063
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1299/transjsme.20-00063	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 Ying-Chi Liu, Yukio Takeda	4. 巻 8
2. 論文標題 Kineto-Static Analysis of a Wrist Rehabilitation Robot with Compliance and Passive Joints for Joint Misalignment Compensation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 MDPI Journal of Machines	6. 最初と最後の頁 23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3390/machines8020023	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 松尾 博史, 松浦 大輔, 菅原 雄介, 武田 行生	4. 巻 85
2. 論文標題 部材の干渉と変形を考慮した Origami Spring の実挙動の機構学的考察	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 19-00005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1299/transjsme.19-00005	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 Matsuo Hiroshi, Matsuura Daisuke, Sugahara Yusuke, Takeda Yukio	4. 巻 73
2. 論文標題 Modeling and Displacement Analysis of Origami Spring Considering Collision and Deformation of Components	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Mechanisms and Machine Science	6. 最初と最後の頁 329 ~ 336
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/978-3-030-20131-9_33	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18件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 岡朋宏, 松浦大輔, 菅原雄介, Jorge Solis, Ann-Lo uise Lindberg, 武田行生
2. 発表標題 食べ物への馴染み機能を有する箸型グリッパの開発
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 松尾博史, 松浦大輔, 菅原雄介, 武田行生
2. 発表標題 折り紙に基づく伸縮機構の安定性を考慮した挙動解析
3. 学会等名 第24回日本IFTOMM会議シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Oka, D. Matsuura, Y. Sugahara, J. Solis, A. L. Lindborg, Y. Takeda
2. 発表標題 Chopstick-type Gripper Mechanism for Meal-Assistance Robot Capable of Adapting to Size and Elasticity of Foods
3. 学会等名 The 4th IFTOMM Symposium on Mechanism Design for Robotics (MEDER2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Rasheed Kittinanthapanya, Yusuke Sugahara, Daisuke Matsuura, Yukio Takeda
2. 発表標題 A Novel SMA Driven Compliant Rotary Actuator Based on Double Helical Structure
3. 学会等名 The 4th IFTOMM Symposium on Mechanism Design for Robotics (MEDER2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Woo hyeok Choi, Daisuke Matsuura, Yusuke Sugahara, Yukio Takeda
2. 発表標題 An exoskeletal mechanism for rehabilitation of the CMC joint
3. 学会等名 7th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Rasheed Kittinanthapanya, Yusuke Sugahara, Daisuke Matsuura, Yukio Takeda
2. 発表標題 Modeling and Characterization of the Double Helical Compliant Joint
3. 学会等名 5th International Symposium on Robotics & Mechatronics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松田 聡一郎, 松浦 大輔, 菅原 雄介, 武田 行生
2. 発表標題 高齢者の安定歩行支援のための住環境評価を目的としたバランス復帰特性に基づく単一支持物の評価指標の提案
3. 学会等名 日本機械学会・シンポジウム：スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大野真澄, 武田行生
2. 発表標題 対偶すき間を有するパラレルロボットにおける対偶作用力モデルに基づく運動誤差の高速計算法
3. 学会等名 第23回ロボティクスシンポジア
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masumi Ohno and Yukio Takeda
2. 発表標題 Identification of Joint Clearances in Parallel Robots by Using Embedded Sensors
3. 学会等名 IFTOMM D-A-CH Konferenz 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 武田行生, 菅原雄介, 松浦大輔, 松田聡一郎, 鈴木智行, 北川雅隆, Liu Ying-Chi
2. 発表標題 ダイナミックペアに基づく装着形動作支援装置のモデル化と運動力学解析
3. 学会等名 日本機械学会2019年度年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松田聡一郎, 武田行生
2. 発表標題 ダイナミックペアを適用したモデルを使用した高齢者の杖歩行の動力学解析
3. 学会等名 The Second International Jc-IFTOMM Symposium
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ying-Chi Liu, Yukio Takeda
2. 発表標題 Static Analysis of a Wrist Rehabilitation Robot with Consideration to the Compliance and Joint Misalignment Between the Robot and Human Hand
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 岡朋宏, Jorge Solis, Ann-Louise Lindborg, 松浦大輔, 菅原雄介, 武田行生
2. 発表標題 把持対象物の弾性を考慮した劣駆動管型グリッパの力学解析と把持計画
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 Yukio Takeda
2. 発表標題 Introduction of research activity in Mechanical Systems Design Laboratory in Tokyo Institute of Technology: Kinematic design of assistive devices and parallel robots
3. 学会等名 13. Kolloquium Getriebetechnik (国際学会) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 YING-CHI LIU and YUKIO TAKEDA
2. 発表標題 KINETO-STATIC ANALYSIS OF A WRIST REHABILITATION ROBOT WITH COMPLIANT ELEMENTS AND SUPPLEMENTARY PASSIVE JOINTS TO COMPENSATE THE JOINT MISALIGNMENT
3. 学会等名 The Second International Jc-IFTOMM Symposium (国際学会) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 HIROSHI MATSUO and YUKIO TAKEDA
2. 発表標題 IMPROVEMENT OF AN ORIGAMI BASED EXTENDABLE MECHANISM WITH A MODIFICATION OF FOLDING DIAGRAM
3. 学会等名 The Second International Jc-IFTOMM Symposium (国際学会) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Matsuo Hiroshi, Daisuke Matsuura, Yusuke Sugahara and Yukio Takeda
2. 発表標題 Modeling and Displacement Analysis of Origami Spring Considering Collision and Deformation of Components
3. 学会等名 IFTOMM World Congress 2019 (国際学会) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Andres OSORIO, Yusuke SUGAHARA, Daisuke MATSUURA, Yukio TAKEDA
2. 発表標題 A novel scalable SMA actuator using thermally conductive fluid: Its concept and basic characterization
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〕

<p>東京工業大学 武田・菅原研究室 http://www.msd.mech.e.titech.ac.jp/jp/</p>

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
研究協力者	菅原 雄介 (SUGAHARA YUSUKE)	東京工業大学・工学院・准教授 (12608)	
研究協力者	松浦 大輔 (DAISUKE MATSUURA)	東京工業大学・工学院・特任准教授 (12608)	
研究協力者	松田 聡一郎 (SOICHIRO MATSUDA)		