

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H03300

研究課題名（和文）運動意図に同期した体性感覚刺激を用いた自己身体として認知するサイボーグ義手の実現

研究課題名（英文）Realization of a cyborg prosthetic hand that can be perceived as a body using somatosensory stimulation synchronized with motor intention

研究代表者

加藤 龍（Kato, Ryu）

横浜国立大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：70516905

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、自己身体として身体認知を可能にするサイボーグ義手の開発とその方法論を構築し、生来身体に近づいた自然な操作感を実現する次世代の実用的なサイボーグ義手の実現を目的とする。主な研究成果は以下の3点である。(1)プリシェイピング時の筋電や距離画像を併用することで操作負担の小さいサイボーグ義手の制御手法を開発した、(2)指関節の脱臼機構や人の手の機能および機械特性を考慮しハンドを実現することで常時装着が可能な多自由度サイボーグ義手を開発した、(3)触覚および深部感覚フィードバック法を用いた心理物理実験により身体認知を促進させる体性感覚フィードバック方法の一例を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、自己身体として身体認知を可能にするサイボーグ義手の構築とその感覚フィードバック手法を示せたことは、ただの使いやすい道具ではなくより身体に近づいた自然な操作感を実現するサイボーグ義手の構築の可能性を示したことであり学術的に大きな意義がある。また、本研究は上肢切断者のQOL(生活の質)の向上や、マニピュレータを用いた両手作業の拡張による組立作業支援などの産業応用など社会的波及効果も大きいものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：This research aims to develop a cyborg prosthetic hand that enables body recognition as one's own body and to establish a methodology for doing so, with the aim of realizing a next-generation practical cyborg prosthetic hand that achieves a natural operating feel close to that of a natural body. The main research results are as follows: (1) We developed a control method for a cyborg prosthetic hand that reduces the burden of operation by combining myoelectrical stimulation and distance imaging during pre-shaping, (2) We developed a multi-degree-of-freedom cyborg prosthetic hand that can be worn at all times by creating a hand that takes into account the dislocation mechanism of finger joints and the functions and mechanical characteristics of the human hand, and (3) We clarified a somatosensory feedback method that promotes body recognition through psychophysical experiments using tactile and deep sensory feedback methods.

研究分野：ロボティクス

キーワード：サイボーグ義手

1. 研究開始当初の背景

近年、病気や事故等で上肢機能を失った上肢切断者の身体機能を再建する方法として、サイボーグ義手が注目を浴びている。サイボーグ義手とは、人間の脳や筋、神経などの情報を直接読み取り、随意的に操作可能な制御手法を有するロボットハンド・アームの総称である。切断された腕に装着し残存する筋の筋活動電位(筋電)で動く筋電義手(Ottobock,独)や四肢が動かせないALS患者の脳活動で動くロボットアーム(Brain gait project,米)など多くの先進的研究事例が報告されている。また、サイボーグ義手は、上記リハビリ目的だけではなく、Supernumerary Robotic Limbs(MIT)に代表されるように、健常者の身体に新たな人工肢を付与しヒトの両手作業を拡張するいわゆる”第3の手”と呼ばれる身体拡張の可能性を有しており、日本や米国が中心となって大規模の研究展開が始められ、如何に人の手に近づけた義手ロボットや制御手法を構築できるかを世界中が競い始めた最もホットな分野である。

このような背景の下、申請者はこれまで、日常的に義手を装着して使用する上肢切断者のためのサイボーグ義手に関する研究に従事してきた。センサの脱着や疲労・発汗などで信号特性が経時変化する生体信号であっても多くの手指動作を安定して推定できる深層学習を用いた筋電義手や、切断された手指神経を外科手術により残存する筋に神経移行することで、前腕などに存在する手指に関連する筋が消失しても筋電位で義手が操作できるサイボーグ義手など、申請者らは先行研究に多い実験室のみ検証ではなく日常的な装着を想定したサイボーグ義手の実現を行っており、その成果の一部は厚労省の義肢補装具等完成用部品にも指定され実用化されている。

その一方で、サイボーグ義手は、未だに使用者にとってはあくまで便利な“道具”であり、自分の身体の一部のように感じ主体的に利用できる”身体”として認知されるに至っていないのが現状である。このようなサイボーグ義手が身体化に至っていない原因及び解明できていない課題は以下の3点である。

<感覚> サイボーグ義手に対する感覚の欠如および感覚と身体認知との関連が未解明：身体認知に関する研究では、ラバーハンド錯覚(自分の手とダミーの手に対して同時に刺激を与えるとダミーの手に触感覚が生じる)が有名であるが、心理実験や脳機能解析を通じて、身体に関わる複数の感覚情報が脳内で同時に結合・処理されることで生じることが明らかになってきた。しかし人の手のように多様に動く義手での検証ではなく、義手を動かさない静的な環境や単種の刺激のみの検証であることが多く未だに身体認知のメカニズムは未解明のままである。さらに、日常利用できるような効果的な体性感覚フィードバックシステムが存在せず長期利用に関する身体認知などへの効果も議論できていないのが現状である。

<制御> 過度な集中力・操作力が必要となるサイボーグ義手操作の不自然さ：サイボーグ義手は、脳活動や筋活動などから使用者の運動意図を読み取り随意的に操作できるものの、非常に不安定な信号特性からその操作に相当な集中や不自然な力の入れ方が必要であったり、生来持つ身体運動を制限したりと自然な操作感とはかけ離れているものが少なくなく、現状ではサイボーグ義手を自分の身体の一部のようにコントロールできていない。

<身体> サイボーグ義手と生来身体との一体化が不完全：サイボーグ義手では、身体形状に合わせて作られたソケットの先端部に義手を取り付けて装着する。また義手の上から外見を皮膚に似せたグローブを装着して使用する場合が多い。しかし、防水性に乏しく、入浴や睡眠、スポーツ時などは義手を外すことが多い。また、装着重量による身体負担の問題から、仕事には装着していくが自宅では外すなど、この義手の脱着が身体認知を妨げる要因となっている。身体同様に常時、生来身体に装着しつづけられる義手でなければならない。

このようにサイボーグ義手による身体機能の拡張も含め、サイボーグ義手を自己身体として認識させるにはどうしたらよいかを解明することが本研究課題の核心をなす学術的「問い」である。

2. 研究の目的

そこで本研究では、自己身体として身体認知を可能にするサイボーグ義手の開発とその方法を構築し、ただの使いやすしい道具ではなくより身体に近づいた自然な操作感を実現する身体拡張を含めた次世代の実用的なサイボーグ義手の実現を目指す。

3. 研究の方法

上記目的を達成するために下記4つ研究課題を設定し、最終的には、サイボーグ義手の身体認知メカニズムの解明と肢体不自由者および健常者が日常生活に利用できるレベルのサイボーグ義手の試作品の完成を目指す。

- (1) 操作集中や操作負担を軽減するサイボーグ義手の制御手法の開発
把持動作のプリシェイピング時の表面筋電位を用いた義手把持姿勢推定手法の構築
物体との距離画像と表面筋電位を用いた義手把持姿勢推定手法の構築
上肢の複合関節動作を可能にする上肢動作推定手法の構築
- (2) 常時装着が可能な多自由度サイボーグ義手の開発

筋電義手の故障リスクを低減させる超弾性合金を用いた指関節脱臼機構の開発

人の手の機能分離と皮下組織の柔軟さを考慮した多様な把持を実現する義手用多自由度ロボットハンドおよび装飾グローブの開発

(3) 身体認知を促進させる運動意図に同期した体性感覚フィードバック方法の検討

形状記憶合金アクチュエータを用いた薄型振動刺激シートによる義手の触覚フィードバック手法の構築

義手操作に同期した感覚刺激(動作遅延, 触覚/深部感覚フィードバック手法の違い)がその身体認知度に与える影響の調査

(4) 義手の長期使用における身体認知への影響の調査

上肢切断者4名に対するサイボーグ義手の長期使用におけるパフォーマンス評価

4. 研究成果

(1) 操作集中や操作負担を軽減するサイボーグ義手の制御手法の開発

本研究では, 上記目的を実現する以下の3種の制御手法を開発した.

これまでの研究では生体信号特徴が安定するという理由から把持姿勢を維持する際の筋電信号特徴を用いられることが多いが, 動作遅延が生じること, 姿勢維持に過度な操作力が必要になることが問題であった. そこで本研究では, 把持のプリシェイピング(準備動作)時に発生する表面筋電信号の過渡信号における筋電ピーク付近の筋電特徴を用いた手指動作の推定手法を開発した. 上肢断端部の複数筋から計測される筋電位から積分筋電位を算出し, そのピーク値と各センサの振幅比を生起確率とみなして算出された情報エントロピー値から, プリシェイピング動作を検出し, 検出時の積分筋電位, ピーク値, エントロピー値を入力とする multi-layer perceptron により5種の手指・手首動作を推定する. また推定された動作は一定値以上の積分筋電位の大きさがある限り維持される. 上肢切断者を含む6名の被験者により検証実験を行い, プリシェイピング動作を90%以上の精度で検出可能であること, 前方9か所×奥行3段階に配置された把持物体の義手に把持において従来手法同様に80%以上の成功率で把持できること, 義手の握力・側面把持時の開始タイミングの遅れ時間が健常手の動きに対して0.1秒以下に抑えることができること, 義手操作(把持アプローチ)に必要な筋活動量が従来手法に比べ大幅に少なく, 健常手の場合と同程度であったことを示した.

また, これまで筋電で多様な把持姿勢の推定する場合, 把持種類が多くなるほど不安定になる問題に対して, 把持姿勢は物体形状に依存すると仮定し, 義手掌部に配置された距離画像センサから得られる把持物体の距離画像から把持姿勢を推定し, 表面筋電位から動作決定を行う手法を開発した. 計測された距離画像から Canny 法によるエッジ抽出および CLAHE 法により局所的なコントラストの調節を行い把持対象物の強調を行う. この2つの特徴画像と輝度画像を RGB に対応させた合成画像を生成し, 機械学習への入力とする. 機械学習には, MobileNetV2 による学習・推定を行う. この手法は通常の畳み込みの代わりに, 空間方向とチャンネル方向を分けて計算することでパラメータを大幅に減らし, 同じ時間複雑さでもより深い構造を作ることができる. この手法を用いて6種の把持姿勢を推定する. 同時に上肢断端部から計測される筋電特徴(積分筋電位)から手を開く, 把持をする, 脱力するという3つの状態をサポートベクターマシンでパターン識別を行い, “手を開く”状態と距離画像から推定された把持姿勢を“把持をする”状態と識別されたら実行し, “脱力する”状態と識別されるまで姿勢を維持する. 被験者3名による検証実験により, CNN に比べて MobileNetV2 では高い推定精度(97.9%)で把持姿勢を推定できること, 数十種類の様々な形状の日常生活品において義手による把持試験を60試行実施したところ, アプローチ方向における把持姿勢の誤推定はあるものの, 全体の平均としての推定率は83%, 把持成功率は80%と高いパフォーマンスを示すことができた.

さらに, これまで標的化筋肉再神経分布を施した上腕切断者では, 手指・手首・肘の単関節動作の推定しか行えず健常手のような把持アプローチができなかった問題に対して, 断端部で計測される6つ筋に対応した表面筋電位から手指・手首・肘の6種の単関節動作と手首肘の4種の複合動作の計10種の動作を multi-layer perceptron により推定する手法を開発した. 上腕切断者を含む3名の被験者で検証実験を行い, 平均動作識別率が80%程度, うち単関節動作が90%以上の識別が可能であること, また上肢切断者において, これら制御手法を用いた筋電義手を用いて, 1)机上のペットボトルを把持し台の上に寝かせるように置く. 2)物干し竿を目標位置に移動しそこにタオルをかける. 3)ハンガーへシャツをかけ, ハンガーを物干し竿へかける. 4)水平に並べられた洗濯ばさみ3つをすべて垂直な向きに並べなおす. といった動作を, 複合関節動作を発生させながらタスク達成したことを確認した.

(2) 常時装着が可能な多自由度サイボーグ義手の開発

本研究では, 上記目的を実現する以下のサイボーグ義手用ロボットハンド・アームを開発した. まず, 市販の筋電義手は高強度材料を用いて設計・製作されてるものが多く, 頑健であるが非常に重量が重く, 日常生活の使用頻度の低下を招いている. そこで, 衝撃時に義手の関節剛性を小さくし構造への負荷を低減させ, かつ把持時に高い関節剛性で指先に駆動力を伝達する機構として超弾性合金(通常金属の弾性域の10倍の変形ひずみを加えた場合でも, 外部応力を除荷すれば元の状態に戻る金属)による座屈現象を用いた関節脱臼機構を開発し, それを具備する義手用ロボットハンドを実現した. 指関節は指節が嵌合するすべり関節であり, ワイヤで連結される.

指関節に外力がかかり関節が曲がるとワイヤーと並列に連結された超弾性合金柱に圧縮荷重がかかり、外力が大きく座屈荷重に達した時、超弾性合金が座屈して湾曲し、ワイヤーが牽引され外力によるトルクが働き、関節脱臼が発生する。このとき、指関節の剛性は小さくなっているため柔軟に衝撃を逃がすことが可能となる。その後、超弾性合金の性質によって外力が除荷されると元の形状に戻る。このような指を根元に配置されたアクチュエータで駆動することで、高剛性時には指先に駆動力を伝達し、低剛性時には脱臼して過負荷を逃がす構造となる。70 cmの高さの机から義手を落とした場合、義手に対して30 cmの高さから500 mlのペットボトルを落とした場合の2つの状況を想定し、母指と他4指に衝撃荷重を付与したところ構造の破損は見られず、故障を回避できることを確認した。

次に、義手用ロボットハンドに必要な運動自由度を作業療法の観点から把持機能を分類すると多様な把持に関与する指の機能は、母指の対立/並立、示指・中指の屈伸、薬指・小指の屈伸と分離できると仮定し、これら運動自由度をもつ義手用ロボットハンドを設計した。は母指CM関節、は示指・中指MP関節にアクチュエータを配置し、それ以外は、把持した際にpinch姿勢となるよう関節角度に固定した。また、薬指、小指に関しては、2つの4節閉リンク機構を2つ組み合わせ、3つの接続点を指関節軸とみなして1つの能動関節軸を回転させることで、残り2つの関節軸が連動して駆動する機構とした。これにより、3関節が連動して指を巻き込んで把持する軌道で駆動する。これにより日常生活に必要な基本3種の把持姿勢（握力把握、精密把握、側面把握）を実現する。さらに、人の手の皮下組織の柔軟性が把持に伴う変形により把持の安定化や精密な把持点の位置決めまで必要としないといった特徴を参考に、ロボットハンド表面にも柔軟な素材を配置する。強化ゴム素材(アクリルゴム)を光造形機により皮下組織を3次元造形し、健全な手と物体との接触領域を考慮して指の末節部および手掌母指球部に配置し、全体を包含するようグローブを3次元造形により製作した。これにより防水性を担保したまま、作業療法の観点から分類した14種類の把持分類のうち、10種類の把持姿勢が実行可能であり、高い把持性能を示すことができた。

(3) 義手操作に同期した感覚刺激(動作遅延、触覚/深部感覚フィードバック手法の違い)がその身体認知度に与える影響の調査

身体認知を促進させる体性感覚フィードバックの実現のために、義手を装着するソケット内に設置可能な超薄型多点振動シートを開発した。形状記憶合金を薄板に配置し、高速で伸縮させ薄板を振動させることで、厚さ2mm程度の柔軟な振動子を実現した。これにより、従来の10mm程度の円盤型振動子と同様の刺激・認識精度を実現した。

本研究では、サイボーグ義手のどのような要因が身体認知に影響するかを整理し、静置されたラバーハンドとは異なり、動きを伴うサイボーグ義手における特有の影響因子を、操作に同期した触覚FBの有無(2条件)や深部感覚(姿勢覚)FBの有無(2条件)、操作時の動作遅延の有無(2条件)と仮定し、それらが身体認知に与える影響(計8条件)を調査した。

義手への制御指令を調整し、ハンドの動作遅延を200 ms、800 msに設定する。また、触覚フィードバック(触覚FB)システムとして、義手の母指先端に感圧センサを配置し、物体を把持した際に計測される触圧の大きさに比例して、皮膚表面(健全者は拇指、示指指腹面、切断者は断端部)に設置した振動子を一定強度で振動させ、皮膚刺激を付与する。また、深部感覚フィードバック(深部感覚FB)システムとして、ハンドに曲げセンサを設置し、開閉角が大きくなるほど、操作者の示指MP関節付近の振動子の振動強度を大きくして皮膚刺激を付与する。さらに、装着ソケットとして、前腕切断者の断端部を挟み込んで保持するソケットを使用し、健全者を対象とした検証では、操作者から見た際にロボットハンドと健全手が重なって見え、かつ健全手がロボットハンドと接触しない位置に調整可能なソケットを開発した。健全者では、前腕と健全手を布で覆い身体イメージの毀損を防ぐ。

被験者は、触覚FBを用いるタスクと深部感覚FBを用いるタスクを、前述の8条件で行い、各条件の身体認知に関するアンケート結果を比較する。触覚FBタスクは規則的に5回物体把持を、深部感覚FBタスクは規則的に5回義手の開閉を行う。タスク中はソケットを介し義手を装着するが、義手操作のための4指動作以外は行わないように前腕の位置を固定する。義手条件ごとに4試行を行い、各試行後にアンケートを行う。アンケートは身体所有感と運動主体感をそれぞれ3問の質問で測定するものを用い、回答は7段階リッカート尺度で紙面に印をつけて答える。身体所有感、運動主体感の指標はそれぞれイリュージョンスコアと呼ばれる質問1~3、7から9の回答平均値を用い、高いほど肯定的であると考えられる。回答は後からの参照、訂正を許可する。この結果の解析は動作遅延と触覚、深部感覚FBそれぞれの交互作用を調べるための分散分析の後に条件間の有意差を見るためのt検定を行う。本検証を健全成人8名と前腕切断者1名を対象として行った。得られた結果は以下のとおりである。

義手における視覚FB(動作遅延)は、他の感覚FBと比較して身体認知に与える影響が最も大きく、身体認知の前提条件である可能性が考えられる。身体所有感、運動主体感どちらにおいても動作遅延が小さいほど向上し、遅延が大きい条件では身体所有感は強く否定される一方、運動主体感は遅延が大きい条件でも肯定度は低くなったが否定する程度ではないと考えられる。

義手における触覚FBは、健全者、前腕切断者ともに身体所有感、運動主体感両方を高める可能性があり、特に身体所有感については、触覚FBによって大きく向上する可能性が示された。これより、触覚FBの付与により義手の身体認知が向上する可能性が考えられる。また、触覚FB

システムを義手に追加せずとも義手のアクチュエータの振動をソケットから受け取ることにより、触覚 FB と同程度の効果が期待できる可能性が示された。

義手における深部感覚 FB は、本研究で開発したシステムでは健常者においては身体所有感を低下させ、運動主体感をわずかに向上させる可能性が、前腕切断者においては身体所有感をわずかに向上させ、運動主体感に影響を与えない可能性が考えられる。これより、深部感覚 FB によって身体認知を向上させるには適切な FB 方法が必要であると考えられる。

また上記結果を踏まえ、ハンド姿勢を決定する手首の回転角を被験者の上腕に振動ではなくワイヤー巻き付けによる圧刺激で伝える深部感覚 FB システムを開発し、物体を義手で把持・アプローチに対するリーチングタスクで、再度身体認知への影響を調査した。その結果、本フィードバックが身体所有感をわずかに向上させることを示した。

さらに、深部感覚 FB がタスクに対する視覚的認知負担の軽減にどの程度寄与するかも同時に評価を行った。これは二重課題法で実施し、主課題を義手による把持リーチングタスク、副課題をできるだけ把持対象物以外への注視時間を長くするタスクとした。これらを前腕義手および上腕義手で実施した（上腕義手については、ARを用いた筋電義手シミュレータを利用し、現実空間に仮想ハンド・アームと仮想物体を配置して計測した）。

その結果、どちらの義手においても、フィードバックを付与したほうが有意に注視時間が長くなり、主課題に対する視覚的認知負担が減少し、身体認知への寄与が確認できた。

(4) 義手の長期使用における身体認知への影響の調査

構築したサイボーグ義手（上腕）を東海大学医学部と連携し4名の上腕切断者に適用した。貸出期間は、2023年4月～2024年3月まで実施した。臨床指標として、Box and Block test や Pick and place テスト（11種類の日用品：デジタルカメラ、スポンジボール、ペットボトル、積み木球、ペットボトルキャップ、単三電池、ビー玉、湯呑、単四電池、歯ブラシ、紙パック飲料）を実施した。結果として、4名中3名の被験者に関して把持物体11種中7～10種の物体把持・移動が可能であることが明らかとなった。また、被験者に共通して1度も把持できない物体はなかったことから、被験者の習熟により11種の物体把持・移動が可能であった。また、4名中1名については、下記の両手を使用する日常生活動作評価を実施した。

机上に立てておいてある空の500mlペットボトルを把持し、机上の台の上に寝かせて置く。一度手を放し、台の上のペットボトルを把持し、最初の状態へ戻す。

立てかけた状態の物干し竿を目標位置へかける。タオルを把持し、物干し竿へかける。

ハンガーへシャツをかけてそのハンガーを物干し竿へかける。タスクの様子を Figure 5 4 へ示す。

正面に水平方向の棒に並べられた3つの洗濯ばさみをすべて、右正面の垂直な棒へと移す

タスク1について腰による代償動作は見られたもののこれらタスクを自然な操作姿勢ですべて成功することができた。

以上により、義手の長期使用における評価について、身体認知に対する定量評価まで研究期間内で評価ができなかったものの、身体認知度を促進する感覚フィードバックパラメータやそれを用いたサイボーグ義手の構築を行うことができた結論付ける。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1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 Nakao Soichiro, Hirai Taichi, Ono Yuma, Yamanoi Yusuke, Kuroda Yuki, Yabuki Yoshiko, Togo Shunta, Jiang Yinlai, Kato Ryu, Takagi Takehiko, Ishihara Masahiro, Yokoi Hiroshi	4. 巻 40
2. 論文標題 Development of Robotic Hand for Prosthetic Limb using a Gear Mechanism for Infants with Congenital Upper Limb Defects	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Robotics Society of Japan	6. 最初と最後の頁 903 ~ 914
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7210/jrsj.40.903	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6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Yuki Miyahara, Ryu Kato
2. 発表標題 Development of Thin Vibration Sheets Using a Shape Memory Alloy Actuator for the Tactile Feedback of Myoelectric Prosthetic hands
3. 学会等名 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮原優希, 加藤龍
2. 発表標題 義手の触覚フィードバックのための SMA アクチュエータを用いた薄型振動刺激シートの開発
3. 学会等名 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 谷村 瞭, 加藤 龍
2. 発表標題 筋電義手の故障リスクを低減させる超弾性合金を用いた関節 脱臼機構の開発
3. 学会等名 関東学生会第61回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 姚 辰昊, 加藤 龍
2. 発表標題 ブリシェイピング時の表面筋電位を用いた筋電義手の手指動作推定法
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2023 (Robomech2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 濱岡 麟太郎, 加藤 龍
2. 発表標題 筋電義手の操作に同期した感覚刺激がその身体認知に与える影響の調査
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2023 (Robomech2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 齋藤礼人, 加藤龍
2. 発表標題 生来手との両手協調動作を可能とする足圧中心入力を用いた身体拡張マニピュレータの制御手法の検討
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2023 (Robomech2023)
4. 発表年 2023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	山野井 佑介 (Yamanoi Yusuke) (40870184)	東京理科大学・工学部電気工学科・助教 (32660)	

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	横井 浩史 (Yokoi Hiroshi) (90271634)	電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授 (12612)	
研究分担者	矢吹 佳子 (Yabuki Yoshiko) (80774017)	電気通信大学・脳・医工学研究センター・特任研究員 (12612)	
研究分担者	吉田 進二 (Yoshida Shinji) (80464882)	東海大学・医学部・講師 (32644)	
研究分担者	高木 岳彦 (Takagi Takehiko) (00348682)	国立研究開発法人国立成育医療研究センター・小児外科系専門診療部・部長 (82612)	
研究分担者	児玉 三彦 (Kodama Mitsuhiko) (90317777)	東海大学・医学部・准教授 (32644)	

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