

令和 3 年 6 月 18 日現在

機関番号：12605

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）

研究期間：2018～2020

課題番号：17KK0064

研究課題名（和文）協調運動学習下の脳機能ネットワーク解析に基づく運動学習支援アルゴリズムの開発

研究課題名（英文）Development of a motor learning support algorithm based on the functional brain network analysis during cooperative motor learning

研究代表者

近藤 敏之（KONDO, Toshiyuki）

東京農工大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：60323820

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,600,000円

渡航期間： 5ヶ月

研究成果の概要（和文）：本研究では、協調運動課題においてヒトとヒトまたはロボットの相互適応が促進される条件ならびにその際の脳活動解析を英国・レディング大学との国際共同研究として実施した。熟練度が異なる被験者二名をペアとした協調運動課題における個の運動スキルの学習過程を調査した。この実験には環境の未知外力と協調相手という二重の未知ダイナミクスが存在するが、経験順序を入れ替えた二群で比較実験した結果、未知外力が無い条件から学習を開始した群は協調相手のダイナミクスを先に同定したことで、両者を分離して獲得できることを示唆する結果を得た。また運動下脳波の機能的ネットワーク解析手法を提案し、その妥当性を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ロボトリハビリテーションのように人がロボットと協調して未知なる運動課題を経験・学習する場合、学習者は環境（課題）と協調相手（ロボット）という二つの未知ダイナミクスが重ね合わされた対象の下で運動学習する必要がある。本研究の結果、まずロボットのダイナミクスに習熟した後に二重ダイナミクスを経験する手順をとることで、学習後に両者を分離して獲得できたことから、ロボトリハビリテーションにおいても、ロボットの支援戦略を先に体得させた後にリハビリ課題の難易度を高めることが有効であると考えられる。また、運動下の脳波解析法はリハビリ下の患者の状態を類型化して運動支援戦略を変更できる可能性がある。

研究成果の概要（英文）：When learning a new skill through unknown environment, it is helpful to have an expert guidance. It is fundamentally based on the mutual interactions. From the perspective of the beginner, one needs to face dual unknown dynamics of environment and motor coordination of the expert. This inevitably involves the process of adaptation to the partner. Within a cooperative visuo-haptic motor task, we asked the novice participants to control the virtual mass toward the specified target under unknown external force field as an individual or with an expert or another novice. Experimental results suggested; (1) Peer-to-peer interactions among beginners to achieve a common goal enhanced the motor learning most, (2) Individuals practicing on their own showed the better motor learning than practicing under the expert's guidance. Regarding the adaptability, peer-to-peer interactions induced higher adaptability to a new partner than the novice-to-expert interactions.

研究分野：知能情報学

キーワード：ロボット 協調運動学習 エージェント 脳波解析

様式 F-19-2

1. 研究開始当初の背景

麻痺患者の運動リハビリテーションにおいて、「能動的な運動企図」が運動機能の回復に影響するメカニズムは必ずしも自明ではない。認知神経科学的には、随意運動指令とその遠心性コピーに基づく感覚予測が実際に受容される感覚フィードバックと時間的に一致することで得られる運動主体感（動かしているのは自分であるという身体意識）や身体保持感（この身体は間違いなく自分のものであるという身体意識）が可塑性に影響すると考えられる。現状のニューロリハビリテーションはこの仮説に基づいて設計されており、例えば脳波を用いたブレインコンピュータインタフェース（BCI）型リハビリテーションでは、身体動作を1人称的に想起することによって感覚運動野付近の β 波帯域のパワーが低下する事象関連脱同期（Event-related De-synchronization: ERD）特徴量の検出に合わせてロボットや機能的電気刺激を用いて麻痺肢を駆動する閉ループ型のリハビリテーションの有効性が報告されている。しかしながら、運動主体感が成立するためには運動指令が遠心性コピーとして頭頂葉に渡される必要があり、感覚運動野に障害がある脳卒中患者では、先の仮説が成立する保証は無い。これに対し研究代表者は平成26年～令和元年度に実施した科学研究費補助金基盤研究（B）「受動的運動経験が運動学習に及ぼす影響の解明」において、ロボットによる受動的な運動経験が運動機能再建に及ぼす鍵は患者の「能動性」の認知レベルにあるとの着想に基づき、一連の能動的運動制御プロセスを、「運動企図」「運動計画」「運動指令の生成」「運動実行」に分け、各々を統制した条件で運動学習実験を行い、その結果を比較することにより、BCIやロボットを用いた運動リハビリテーションにおいて「能動性」が果たす役割を調査した。また運動企図を正確に反映する脳波特徴量の同定も併せて試みることで、BCIとロボットを組み合わせた神経科学的エビデンスに基づくニューロリハビリテーションシステムの設計指針について検討した。現在までに、視覚運動回転変換課題を用いた運動学習パラダイムにおいて、完全受動運動学習条件（上肢が運動企図や運動指令の生成とは無関係に運動させられる条件）であっても手先位置の脳内身体表現すなわち身体図式の更新が生じ、それが能動的な運動司令の生成にも影響する可能性を示唆する結果を得ており、受動的運動経験は運動指令を生成する内部モデルの更新に影響しないとするこれまでの常識を覆す結果を得ている。

一方、日本は世界に先駆けて社会の超高齢化が進行した課題先進国であり、近年、急速に発展するICTや人工知能技術を活用して、高齢者の認知・運動機能を高め、健康寿命を伸ばす方法論、特にリハビリテーション支援システムの開発が期待されている。しかしながら、現状のリハビリテーション支援ロボットの多くは、理学療法士の不足を補うために、リハビリ課題の遂行を自動化するに留まり、理学療法士が患者の状態を随時モニタして課題の強度、難易度等を調節している状況にあり、本質的な自動化・省力化には至っていない。例えば、ロボットを用いて運動支援のすべてを行ってしまうと、患者は運動主体感や身体保持感を得ることができず、脳の可塑的な変化は生じ得ない。一方、ロボットが運動支援の量を減らしすぎると課題そのものが達成されず、脳の可塑性を促すきっかけとなる達成動機が満たされない。このように、最適な運動支援の量と質は患者ごとに異なり、また患者の機能改善とともに変化すると考えられる。優れた理学療法士は、患者の課題成績のみならず、力学的な相互作用や表情、リハビリへの取り組み姿勢までを総合して課題難易度や支援の量を決定する技量を有していると考えられる。このようなヒトと相互作用してその活動を支援する人工物の開発は、高齢者を対象とするのみならず、スポーツ技術や伝統技能の継承など、様々な人間活動を記録・活用する技術の実現にも繋がると期待される。

2. 研究の目的

本研究は、ヒトとロボット（人工エージェント）が力学的に相互作用する協調運動学習系における適切な支援量決定アルゴリズムの開発により、「運動企図」「運動計画」「運動指令の生成」「運動実行」のような一連の随意運動制御プロセスを実験的に統制することにより学習者の「能動性」が運動記憶の形成に及ぼす影響の解明ならびに「能動性」をオンラインで定量評価するための脳波特徴量の開発を目的とした研究代表者の基盤研究の成果を発展させることを狙ったものであり、これまでに研究代表者と二者協調運動の数理モデル化に関する国際共同研究の実績がある海外共同研究者（Prof. Yoshikatsu Hayashi, University of Reading, UK）の協力の下、ヒトとヒトによる協調運動学習下の運動・脳活動データを同期計測し、機能的ネットワーク解析を行う。これにより、運動学習下のヒトの脳状態推定ならびに運動支援ロボットを制御する人工知能エージェントの設計指針を得ることを目指す。また、二者が協力して作業を行う協調運動を学習課題とすることで、最終的には一方の動作主体を、最適な支援を提供する人工知能エージェントとして設計することにより、得られた知見をシームレスにリハビリテーション支援ロボットへと展開することができると考えられる。

3. 研究の方法

初年度は、人間同士の協調運動学習において、ペアを組む相手の課題習熟度（初心者、熟練者）の違いが、当該学習者の（1）協調運動学習課題の成績および（2）新規の相手とペアを組んだ場合の適応性に及ぼす影響について文献調査を行う。また、協調運動学習を行うための実験装置を海外共同研究者と共同で開発する。

二年目は、英国・University of Readingにて二者協調運動学習実験を実施する。熟練者と組んで協調運動学習を行う場合、学習開始時から課題達成に向けて最適な支援が受けられるため、運動技能の習熟は促進されるものの、獲得される内部モデルは必要最小限のものに留まると予想される。一方、初心者とペアを組んで学習を行う場合には、相手のダイナミクスが不確定要素となり、内部モデルの獲得には時間を要するが、多様な状況を経験できるため、事後の適応性が高まると予想される。さらに協調運動学習の課題成績のみならず、協調運動学習時の二者の脳活動(脳波)を同期計測し、機能的ネットワーク解析を行うことで、学習者の脳状態を複数のモードとして類別化することを試みる。各脳状態モードにおける課題成績を分析することにより、学習者の脳状態に基づいて最適な支援を提供する人工知能エージェントの実現に向けた知見を得ることができると考えられる。

三年目は、実験成果の解析ならびに論文執筆を行い、本研究の成果取りまとめを行う。

4. 研究成果

平成30年度は、8月21日から9月2日ならびに10月31日から11月6日にかけて短期渡英し、二者協調運動学習実験の実験条件と実験に使用するハプティックロボットの仕様について海外共同研究者のHayashi博士と検討した。また、渡英していない期間も、遠隔会議システム(Zoom)を有効活用して定期的に進捗の確認と議論を行った。

令和元年度は、4月25日から9月16日にかけて渡英し、以下に述べる二者協調到達運動学習実験を実施した。

本実験は、20~23歳の右利きの健常男性24名の協力により行われた。実験前にエンジンバラテストを行い、被験者全員が右利きであることを確認した。被験者は、本実験の課題や未知環境下での協調作業を通じた運動学習実験を過去に経験しておらず、実験に関する予備知識を持たないものとした。本研究は、国立大学法人東京農工大学人を対象とする研究に関する倫理審査委員会の承認を得て実施した。実験参加にあたり、すべての被験者から書面によるインフォームドコンセントを得た。

実験には、ロボットマニピュラタムを用いた。被験者は、背もたれのついた椅子に座り、利き手でマニピュラタムのハンドルを把持・操作した。被験者が上肢運動を行う平面の真上には、白色の不透明なスクリーンが水平に設置されており、被験者は実験中に自身の上肢運動の様子を直接見ることはできなかった。実験中は、上方に設置されたLCDプロジェクタからスクリーンに投影される課題画面を見ながら上肢到達運動課題を行った。

本研究では、未知外力が作用する力場環境下で、被験者とロボットエージェントが物理的に相互作用しながら、ともに把持する仮想物体を目標地点まで到達させる協調到達運動を実験課題とした。なお本実験では、この協調到達運動課題をともに行ったロボットエージェントの運動補助戦略の違いが、被験者単独の運動技能や適応性に及ぼす影響を定量化するため、被験者が単独で課題を実施する単独運動条件と、被験者がロボットエージェントと協調して課題を実施する協調運動条件という2つの運動条件があることに注意されたい。

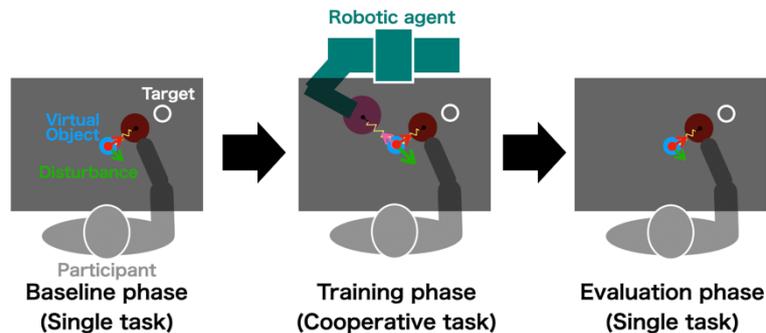


図1 協調到達運動課題と実験手順

本実験で用いた実験課題と実験手順を図1に模式的に示す。同図に示すように、被験者は、右手を操作して、スクリーン中央の初期位置に表示される青色の仮想物体(Virtual Object)を、試行開始のピープ音とともに出現する白色の到達目標(Target)に向けて、できる限り速く直線的に到達・保持する到達運動課題を行った。ここで、仮想物体は直径10mmの青色の円、到達目標は直径15mmの白色の円としてそれぞれ表示された。また、到達目標は、初期位置から半径100mmの同心円上に45度間隔で定められた8つの候補位置のいずれかに出現するものとした。被験者は、実験中、仮想物体と到達目標のみを視覚的に確認することができた。なお本実験では、連続する8試行を1セットと呼び、各セットには8種の到達目標がそれぞれ1回ずつ含まれるものとした。次に仮想物体の運動を支配するダイナミクスについて述べる。まず被験者が操作するハンドルと仮想物体は、仮想的な弾性要素で結合されており、その位置関係に基づいて算出される弾性力が相互に作用するものとした。したがって、被験者は課題中、視覚情報に加えて力覚フィードバックを常に受けることができる。また、ロボットの手先と仮想物体も同

一の弾性要素で結合されていることから、協調運動条件下では、ロボットの手先位置に基づいた弾性力が仮想物体に作用する。加えて本研究では、人間とロボットが物理的に相互作用する環境下における、人間の運動学習特性を調べることを目的とするため、仮想物体には常に環境から未知外力が加わるものとした。具体的には、位置依存回転弾性力場を環境から受ける未知外力場として設定した。

被験者は、8人ずつ3つのグループに無作為に分けられた。本実験は、図1に示すように、単独で課題を行う Baseline phase と Evaluation phase の間に、グループごとに以下で説明する3種類のロボットエージェントのいずれかと協調して到達運動学習を行う Training phase を実施する手順で構成される。Baseline phase と Evaluation phase の運動成績を比較することで、ともに協調運動学習を行うロボットエージェントの運動補助戦略の違いが、未知外力環境下の到達運動学習に及ぼす影響を定量的に比較する。本研究では、協調運動学習を行うロボットエージェントの運動補助戦略を設計するにあたり、まず課題遂行に対して最適な支援を行う熟練者 (Expert) の制御アルゴリズムを構築した。被験者の反応時間を考慮し、エージェントは、試行が開始されてから被験者が動き出すまでは動かないものとした。また動き始めた後は、300 ms 前の被験者とロボットエージェント、仮想物体ならびに到達目標の位置情報と外部環境のダイナミクスに基づいて、仮想物体が到達目標に最も近づく最適なロボットエージェントの目標位置を決定し、そこに向けてフィードバック制御された。一方、初心者 (Novice) エージェントは、上記の目標位置の決定において外部環境のダイナミクスを考慮せず、かつ算出されたエージェントの目標位置方向に正規乱数を加えた方向に向けて、より小さな比例ゲインで制御された。さらに本研究では、被験者の運動成績に合わせて運動補助量を段階的に調節する Skill-level adjust エージェントを設計した。Skill-level adjust エージェントは、Expert と Novice エージェントの違いである、外部環境ダイナミクスの考慮と制御目標方向に加える正規乱数の大きさを10段階で均等に補完するように設計した。すなわち、同エージェントは、レベル1では Novice エージェント、レベル10では Expert エージェントとして振る舞う。Skill-level adjust エージェントのレベルは1から開始され、第 N セットにおける各施行の運動成績 (次節で述べる CI) と、第 $N-1$ セットの対応する到達目標への試行のそれを比較し、5試行以上で改善がみられる場合はレベルを1上げ、2試行以下の場合はレベルを1下げる階段法 (staircase method) により調節した。階段法によるレベル変更基準は、本実験とは別の被験者を用いた予備実験により、ほぼすべての被験者が Training phase の全20セットのうちに、レベル8以上に到達するように定めた。

本実験では、被験者のパフォーマンスの定量的な評価指標として、保持までに要した時間 (time to target) T と仮想物体の総移動距離 (travel distance) L を掛け合わせた値の対数をとった Combined Index (以下 $\log CI$) を用いた。

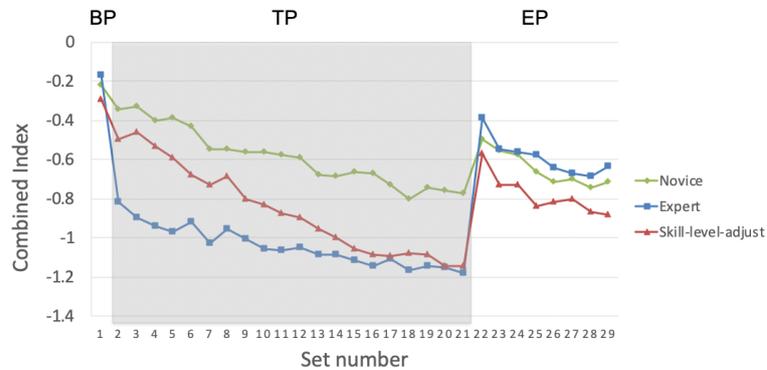


図2 実験結果

図2に、Baseline phase (BP, 1セット), Training phase (TP, 20セット), Evaluation phase (EP, 6セット)における、各グループの $\log CI$ の平均値の推移を示す。この結果より、協調運動学習前の単独試行に相当する BP では、すべてのグループの成績に差は見られなかった。一方、TP では、グループ間に特徴的な違いが見られた。具体的には、Naive グループは TP の最初から最後まで最も悪い成績を示し、Expert グループは学習初期から優れた成績を示した。また、Skill-level adjust グループは、学習初期は Novice グループとほぼ同じ成績であったが、終盤は Expert グループとほぼ同じ成績となった。協調運動学習後の単独試行に相当する EP の1セット目 (図2では22セット目に相当) は、Expert グループが最も悪く、その次が Novice グループ、Skill-level adjust グループが最も良い成績を示した。また、EPの2セット目以降は、すべてのグループで、セットが進むにつれて成績が改善する様子が見られ、特に、Skill-level adjust グループは顕著な成績向上を示した。BPについて、統計的検定を行った結果、グループ間に有意差は見られなかった (Kruskal-Wallis, $p > 0.1$)。また、EPについて、グループとセットの二要因分散分析 (混合計画) を行ったところ、交互作用は認められず、グループ間 ($p < 0.05$)、セット間 ($p < 0.01$) ともに有意な主効果が認められた。Holm 法による多重比較を行った結果、Skill-level

adjust とその他のグループ間に有意差があった($p < 0.05$).

以上より、ロボットエージェントと協調運動学習を行う前 (BP) には、すべてのグループ間で評価指標に違いが見られなかったことから、被験者は無作為にグループ分けできていたと考えられる。一方、協調運動学習後の EP においては、Skill-level adjust グループの成績が、Novice, Expert グループよりも優れる結果となった。これは、Skill-level adjust グループとの協調運動学習の経験が運動技能の汎化性を高めたことを示唆する。この傾向は、Kager らの先行研究で、人間の初心者同士がペアを組んで課題を行った場合に学習成績が最も良い結果になったという報告と合致する。なぜなら、相手が人間の場合は、本実験の Novice エージェントとは異なり、相互適応が生じていたと考えられるからである。一方、あらかじめ決められたスケジュールでエージェントのレベルを上げていく場合と、今回の Skill-level-adjust のように、被験者の成績に準じてレベルを変更する場合の学習効果の違いについては、今回の結果からは明らかにならない。支援レベルの変更・調節は、学習者の課題への取り組みの姿勢、内発的動機づけにも影響すると考えられることから、総合的に検討する必要がある。内発的動機づけを高く維持するためには、人間とロボットのインタラクションを相互適応系として設計することが有効と考えられる。

令和 2 年度は、前年度までに実施した協調運動学習実験の結果の解析と対外発表ならびに学術文の執筆に従事した。力覚フィードバックが無い条件下の二者協調運動学習実験に関する論文は、令和 2 年度末までに日本ロボット学会の国際誌である *Advanced Robotics* に採録済みである。また、力覚フィードバックを付与した条件下の二者協調運動学習実験に関する論文は、現在投稿中である。また、これまでの研究で高い有効性を示したスキルレベル調節エージェントについて、学習者のレベルによらずレベルをあらかじめ定められたスケジュールで段階的に上げていくレベルアップエージェントとの協調運動学習条件を追加して実験を行うことで、学習者のレベルに合わせて運動支援を行う、すなわち人と相互適応することが真に運動技能の向上を実現する上で重要であるか否かを実験的に明らかにすることを試みた。その結果、学習者の上達に合わせてレベルを上げるスキルレベル調節エージェントと組んだ被験者グループが、学習後に有意に高い運動成績・汎化性を示すことを明らかにした。この結果は IEEE の国際会議 EMBC2020 と第 38 回日本ロボット学会学術 演会にて口頭発表した。また、協調運動学習実の具体的な方法・結果に加えて、研究背景・目的から波及効果までを含めて日本ロボット学会の学会誌に解説記事として発表した (2020 年 12 月号) さらに 8 月には計測自動制御学会自律分散システム部会の若手研究者向けサマースクールで「人とロボットの相互適応」という演題で講演を行い、アウトリーチ活動に努めた。

以上の結果を総合し、本研究は当初計画どおりの研究成果を達成したと言える

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 6件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Thorne Nicolas, Honisch Juliane J., Kondo Toshiyuki, Nasuto Slawomir, Hayashi Yoshikatsu	4. 巻 13
2. 論文標題 Temporal Structure in Haptic Signaling Under a Cooperative Task	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Human Neuroscience	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnhum.2019.00372	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 Honda Takeru, Mitoma Hiroshi, Yoshida Hirotaka, Bando Kyota, Terashi Hiroo, Taguchi Takeshi, Miyata Yohane, Kumada Satoko, Hanakawa Takashi, Aizawa Hitoshi, Yano Shiro, Kondo Toshiyuki, Mizusawa Hidehiro, Manto Mario, Kakei Shinji	4. 巻 11
2. 論文標題 Assessment and Rating of Motor Cerebellar Ataxias With the Kinect v2 Depth Sensor: Extending Our Appraisal	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Neurology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fneur.2020.00179	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 Li Xinzhe, Mota Bruno, Kondo Toshiyuki, Nasuto Slawomir, Hayashi Yoshikatsu	4. 巻 15
2. 論文標題 EEG dynamical network analysis method reveals the neural signature of visual-motor coordination	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0231767
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0231767	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 Kondo Toshiyuki, Hayashi Yoshikatsu	4. 巻 38
2. 論文標題 Human-Robot Cooperative Motor Learning	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Robotics Society of Japan	6. 最初と最後の頁 895 ~ 900
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7210/jrsj.38.895	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 -

1. 著者名 Yano Shiro, Hayashi Yoshikatsu, Murata Yuki, Imamizu Hiroshi, Maeda Takaki, Kondo Toshiyuki	4. 巻 11
2. 論文標題 Statistical Learning Model of the Sense of Agency	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Psychology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fpsyg.2020.539957	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 Nguyen Phuong Thi Mai, Hayashi Yoshikatsu, Baptista Murilo Da Silva, Kondo Toshiyuki	4. 巻 10
2. 論文標題 Collective almost synchronization-based model to extract and predict features of EEG signals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-73346-z	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 該当する

1. 著者名 Nishimura Kotaro, Saracbasi Ozge Ozlem, Hayashi Yoshikatsu, Kondo Toshiyuki	4. 巻 -
2. 論文標題 Cooperative visuomotor learning experience with peer enhances adaptability to others	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Robotics	6. 最初と最後の頁 1~7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/01691864.2021.1913445	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

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 Yoshikatsu Hayashi, Nicolas Thorne, Ozge Ozlem Saracbasi, and Toshiyuki Kondo
2. 発表標題 Temporal structure in haptic interactions and perspective of mutual motor learning for skill transfer
3. 学会等名 The 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuya Yoshikawa, Yoshikatsu Hayashi, Shiro Yano, and Toshiyuki Kondo
2. 発表標題 How Does Intervening Strategy in Cooperative Motor Task Affect Individual Motor Adaptation?
3. 学会等名 The 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nguyen Thi Mai Phuong, Xinzhe Li, Yoshikatsu Hayashi, Shiro Yano, Toshiyuki Kondo
2. 発表標題 Estimation of brain dynamics under visuomotor task using functional connectivity analysis based on graph theory
3. 学会等名 The 19th annual IEEE International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE 2019), Athens, Greece (Oct 28-30, 2019). (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中屋敷弘晟, 戸敷 創, 林 叔克, 矢野史朗, 近藤敏之
2. 発表標題 把持運動下の筋力発揮パターンと視覚フィードバックの違いが事象関連脱同期に及ぼす影響
3. 学会等名 第32回自律分散システム・シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kosei Nakayashiki, Hajime Tojiki, Yoshikatsu Hayashi, Shiro Yano, Toshiyuki Kondo
2. 発表標題 Effects of motor load and visual feedback on event-related desynchronization
3. 学会等名 第3回ヒト脳イメージング研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaya Watanabe, Naoya Yamamoto, Yuki Ishii, Tetsunari Inamura, Fuminari Kaneko, Shiro Yano, Toshiyuki Kondo
2. 発表標題 Development of a Fugl-Meyer Assessment Evaluation Support System using Wearable Mocap
3. 学会等名 The 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuuki Murata, Shiro Yano, Toshiyuki Kondo, and Takaki Maeda
2. 発表標題 The proposal of a new diagnostic criterion for schizophrenia focused on an abnormal sense of agency
3. 学会等名 The 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kotaro Nishimura, Yoshikatsu Hayashi, Shiro Yano, and Toshiyuki Kondo
2. 発表標題 Motor Learning through Cooperative Motor Experience
3. 学会等名 IEEE 2018 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nicolas Thorne, Juliane Honisch, Toshiyuki Kondo, Slawomir Nasuto, Yoshikatsu Hayashi
2. 発表標題 Emergence of long range temporal correlations in cooperative tasks
3. 学会等名 The Second International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshiyuki Kondo, Hajime Tojiki, Yoshikatsu Hayashi, and Shiro Yano
2. 発表標題 Motor planning attenuates event-related spectral power of EEG
3. 学会等名 The 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Biologically-inspired Computing Laboratory https://www.livingsyslab.org/

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
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	林 叔克 (HAYASHI Yoshikatsu)	レディング大学・生命科学研究所・准教授	

	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
その他の研究協力者	矢野 史朗 (YANO Shiro)	東京農工大学・工学研究院・助教 (12605)	

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			
United Kingdom	University of Reading	University of Aberdeen		