

採択番号 21701
研究開発課題名 国際共同研究プログラムに基づく日米連携による脳情報通信研究（第3回）
副題 月面ジャグリング課題を用いたスキル獲得の脳内メカニズムの解明

(1) 研究開発の目的

本委託研究では、運動スキル（技術）獲得の脳内メカニズムの解明を目指す。スキル獲得とは、運動学習に関する一つの側面であり、例えば、自転車の乗り方を覚えることや、楽器の演奏やスポーツを習うことがスキル獲得の例として挙げられる。多彩なスキルを獲得する能力はヒトにおける優れた能力の一つと考えられるが、スキル獲得を可能とする脳の情報処理メカニズムの全容は未解明である。本委託研究では、ヒト特有の複雑な運動課題であるボールを用いたジャグリング課題を研究対象として、スキル獲得がどのように脳内で行われるのかを可視化するとともに、スキル獲得メカニズムの計算論的なモデル化を目的とする。

特に、スキル獲得の初期段階においてしばしば効果を発揮する「ゆっくりと体を動かしながらトレーニングする（以後、スローテンポトレーニング）」という事象や、「トレーニング後の睡眠による運動スキルの上昇（オフラインゲイン）」というスキル学習の固有の事象に着目する。また、ジャグリングのスキルを構成する三つの能力、1) ボールの動きを予測する能力（prediction）、2) 正確にボールを投げる能力（accuracy）、3) ボールや腕の間の時空間的協調関係を調節する能力（sequencing）を仮定し、これらの能力を行動データから定量化する実験パラダイムを提案する。

日本側研究グループは、仮想現実（VR）技術を用いて、ボールが通常よりゆっくりと動く環境でジャグリングを行うスローテンポトレーニングを可能とするVRシステムの開発を行う。さらに、ジャグリング初心者を集めた脳活動・行動計測実験を実施し、スローテンポトレーニングによるジャグリングの能力やオフラインゲインへの影響を検証するとともに、ジャグリングスキルやオフラインゲインと関係する脳活動を脳波データから抽出することで、スキル獲得に関連する脳活動を可視化する。最後にそれらの知見をもとに、ジャグリングのスキル獲得に関する脳内メカニズムの計算論的な理解を米国側研究分担者のカリフォルニア大学サンディエゴ校（UCSD）とともに目指す。

(2) 研究開発期間

令和2年度から令和5年度（3年間）

(3) 受託者

国立大学法人東京工業大学〈代表研究者〉
学校法人五島育英会 東京都市大学
学校法人名古屋電気学園 愛知工業大学

(4) 研究開発予算（契約額）

令和2年度から令和5年度までの総額29百万円（令和3年度10百万円）
※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

研究開発項目1 視覚と力覚を提示する仮想現実システムの構築

- 1-3. 脳波計測のためのヘッドマウントディスプレイアダプタの開発（愛知工業大学）
- 1-4. 視覚・力覚提示システムの統合した仮想現実システムの開発（東京工業大学）
- 1-5. 仮想現実システムを用いた脳波・運動計測実験（東京工業大学）
- 1-6. 運動データの解析（東京工業大学）

1-7. 仮想現実システムと現実空間の運動と脳波データの統計比較（東京都市大学）

研究開発項目 2 ジャグリングの運動スキル構成要素の定量化と関連する脳活動を抽出するための脳波解析手法の開発

- 2-1. ボール軌道のオンライントラッキングシステムの開発（東京工業大学）
- 2-2. 液晶シャッターメガネを用いた視覚遮断システムの開発（愛知工業大学）
- 2-3. 運動スキル構成要素の定量化（東京工業大学）

研究開発項目 3 視覚・力覚仮想現実空間を利用したスローテンポジャグリングトレーニングの効果の検証とスキル獲得の脳内メカニズムのモデル化

- 3-1. スローテンポトレーニングの実施と脳波・運動計測実験の実施（東京工業大学）
- 3-4. 運動スキル獲得の計算論的学習モデルの構築（東京都市大学）

(6) 特許出願、外部発表等

		累計（件）	当該年度（件）
特許出願	国内出願	0	0
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	1	0
	その他研究発表	3	2
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	0	0
	受賞・表彰	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

研究開発項目 1：視覚と力覚を提示する仮想現実システムの構築

- 1-3. ヘッドマウントディスプレイの頭部固定部分と脳波電極との接触を防ぐアダプタ機構の2次試作を行った。1次試作の問題点であったケーブルの接触に対して、2次試作ではケーブルの揺れの影響を低減する機構を考案し、製作した。予備実験において、アダプタ機構の2次試作がアーチファクトの低減に効果的であることがわかった（図1）。
- 1-4. 仮想現実空間においてジャグリングが行うために、ボールを保持した際の擬似的な力を提示する力覚提示システムとボールや手の視覚映像を提示するヘッドマウントディスプレイを同時に制御するシステムをゲーム開発エンジンUNITYを用いて作成した。また、同システムの使用テストを行い、実験時と同様の運転時間に対して安定して動作することを確認した。
- 1-5. 仮想現実システムを用いてジャグリングをトレーニングする予備実験を行い、仮想現実空間内の練習によりジャグリング初心者の現実空間におけるパフォーマンスが向上することを確かめた。また、仮想現実システムを用いてジャグリングを行っている際の脳波を計測する予備実験を行い、同システムの制御と脳波計測を同時に行えることを確かめた。来年度の長期トレーニング前後の脳の変化を捉えるためのMRIシーケンスの準備を完了した。
- 1-6. これまでに計測した実験データを用いて、ボール位置のトラッキングから個人の運動パターンの特徴を可視化するプログラムを構築した。
- 1-7. 仮想現実システム利用中の脳波データ計測については、今年度に環境設定が完了し、データ比較は次年度に実施する。

研究開発項目 2：ジャグリングの運動スキル構成要素の定量化と関連する脳活動を抽出するための脳波解析手法の開発

- 2-1. 実空間でジャグリングを行なっている際のボール三次元位置のオンライントラッキングシステム開発を米国側と共同で進め、日本および米国側で同様の実験が行えるための技術を完成させた。
- 2-2. 視覚遮断に用いる液晶シャッターメガネを購入し、実際のボールの軌道をリアルタイムでトラッキングして任意のボール位置でシャッターを遮断できるシステムを完成させた。
- 2-3. 運動スキル構成要素の定量化に必要となる、ボール三次元位置のオンライントラッキングシステムと液晶シャッターメガネによる視覚遮断システムの構築が完了した。定量化は次年度よりジャグリングの経験者と未経験者のデータ取得を通して実施する。

研究開発項目 3：視覚・力覚仮想現実空間を利用したスローテンポジャグリングトレーニングの効果の検証とスキル獲得の脳内メカニズムのモデル化

- 3-1. スローテンポトレーニングの実施に必要な設備と体制の準備が完了した。次年度より実際のトレーニング実験と計測を実施する。
- 3-4. ジャグリングのボール軌道データの解析を行い、ポアンカレマップなどの可視化からジャグリングスキルの安定性・不安定性を議論した。また、運動スキル獲得の計算論的学修モデルの構築に向けて、3次元空間上での腕の運動制御と外部環境ダイナミクスを予測する機能を備えた運動学習アルゴリズムを GPU を用いて実装する計算機プログラムの開発と計算機シミュレーション実験を行った。

(8) 今後の研究開発計画

研究開発項目 1 については、ジャグリングのための仮想現実システムを利用時に安定した脳波データ計測を実現するためのヘッドマウントディスプレイアダプタの改良を続けていくとともに、脳波・運動計測データの解析を進める。

研究開発項目 2 については、米国側で実施する実環境における脳波・運動計測実験データの解析を米国側と共同で行う。

研究開発項目 3 については、仮想現実システムを用いたジャグリングトレーニング実験を実施し、ゆっくりとしたテンポでトレーニングすることが運動スキルの上達に与える影響を、脳波、MRI、および運動計測データの解析を通じて検証する。また、ジャグリングの運動スキル獲得に関する計算論的なモデルの構築と計算機シミュレーション実験を行い、トレーニング中の被験者の行動データが再現できるかを検証する。さらに学習モデルに含まれる変数やパラメータと関係する神経基盤をトレーニング中の被験者の脳活動データから抽出する。これらを通じて、計算論モデルの妥当性を、行動および脳活動データを用いて検証する。

(9) 外国の実施機関

University of California, San Diego (アメリカ合衆国) <代表研究者>