

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、ボールが通常の数よりも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（36 カ月）

(3) 実施機関

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）

総額 28 百万円（令和2年度 9 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

- 1-1. 力覚提示システムの開発（東京工業大学）
- 1-2. 視覚提示システムの開発（愛知工業大学）
- 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）

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）

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

- 3-4. 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	1
	その他研究発表	1	1
	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

1-1. 仮想現実空間に存在するボールがユーザの手に与える力覚を模擬するために、力覚提示装置およびその制御プログラムを組み合わせたシステムを構築した。コンピュータの画面上にボールの視覚情報が提示される状況でボールの投上げと捕球を行い、それぞれの動作が直感的に行えることを確認した。

1-2. ボールや腕などのCGモデルを製作し、ユーザの動きに応じてそれぞれのCGモデルがインタラクションする映像を提示することで、仮想空間内でジャグリング運動を行うシステムを試作した。

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を試作した。予備実験において、頭頂部の電極について頭部の揺れのアーチファクトを軽減できた一方、電極だけでなくケーブルとの接触を低減することが検討課題であることがわかった。

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に向けた技術検討を米国側と行い、日本および米国側で同様の実験が行えるための技術仕様を策定した。

2-2. 視覚遮断に用いる液晶シャッターメガネを米国側と検討した。米国内で調達可能であり、コンピュータで容易に開閉の制御ができる装置を選定した。

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

3-4. ジャグリング運動のキネマティクスデータ解析の基づき、計算論モデルにおける入出力表現と学習アルゴリズムを検討した。具体的には、予測計算のための内部順モデル学習、運動正確性のための強化学習、時系列生成のための再帰的ニューラルネットワークが適切であるとの結論に至った。ボールの視覚情報から運動系列の運動指令を生成する計算論モデルを次年度以降に実装するためのアルゴリズムとコーディングを調査し、次年度以降の実装のための準備を行った。

(8) 今後の研究開発計画

研究開発項目1については、今年度に個別に開発した力覚提示システムと視覚提示システムを統合した仮想現実システムを構築するとともに、同システムを用いた脳波・運動計測実験を行い、実環境でジャグリングを行っているときと同様の行動パターンや脳活動が観測されるかを検証する。

研究開発項目2については、日本側と米国側の双方で実施する予定であるジャグリングの運動スキル構成要素の定量化のための計測実験のプロトコルの検討およびシステム開発を行う。また、米国側が行う実環境における脳波・運動計測実験のデータの解析を米国側と共同で行い、運動スキル構成要素と関係する脳活動の特徴を抽出する。

研究開発項目3については、研究開発項目1で構築する仮想現実システムを用いて、ゆっくりとしたテンポによるジャグリング運動トレーニングの方が通常のテンポよりも早く上達することを検証する。さらに、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を用いた計算機シミュレーションを通じて、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

カリフォルニア大学サンディエゴ校 (アメリカ合衆国) <代表研究者>