

(様式 11)

平成 29 年 8 月 10 日

学位論文審査要旨 (課程博士)

東京農工大学大学院工学府長 殿

審査委員 主査 近藤 敏之  
副査 中川 正樹  
副査 藤田 欣也  
副査 清水 郁子  
副査 藤波 香織  
副査



学位申請者	電子情報工学専攻 平成 26 年度入学 学籍番号 14834303 氏名 坂本 貴史
申請学位	博士 (工学)
論文題目	視覚運動回転変換環境下における受動的運動経験が身体図式および内部モデルに及ぼす影響に関する研究
論文審査要旨 (2000 字程度) 運動麻痺患者のリハビリテーションでは、特定の身体運動に対する適切な感覚入力を理学療法士が繰り返し患者に経験させることで新たな脳内身体表現の獲得を促し、運動機能の再建が図られる。近年、理学療法士の代替を目的としてロボットリハビリテーションの研究開発が盛んに行われ、その効果検証が試みられている。しかしながら、受動的に運動を経験することが、感覚適応・運動学習に及ぼす影響とそのメカニズムについては必ずしも明らかにされていない。本論文では、受動的な運動経験におけるどの要因が感覚適応・運動学習の基礎となる脳内身体表現の更新に影響を及ぼすかを明らかにするため、視覚運動回転変換環境下の上肢到達運動学習を対象とした 4 つの心理物理実験を計画、実施した。本論文は、本研究の背景、実験方法、実験結果および考察についてまとめたものである。 第 1 章「序論」では、本研究の背景として、神経科学の分野における運動学習に関する従来研究についてまとめた後、ロボットリハビリテーションの現状について述べた。運動学習の研究分野からみたりリハビリテーションの問題点を挙げ、本研究の意義、目的について述べた。 第 2 章「受動的な運動経験が内部モデルの獲得におよぼす影響」では、従来研究の実験方法を踏襲し、視覚運動回転変換課題 A とその対立課題 B で構成される一般的な ABA パラダイムによる運動学習実験を行うことで、受動的な運動経験が内部モデルの獲得に及ぼす影響について調査した。被験者には、課題 A を能動的に学習させた直後に対立課題 B を能動的もしくは受動的に経験させ、翌日の課題 A の成	

## 論文審査要旨

績を群間比較することで内部モデルの獲得状況を評価した。実験の結果、対立課題 B を受動的に経験した被験者群には逆行性干渉による課題 A の成績低下が認められなかったことから、受動的な運動経験のみでは内部モデルが獲得されない可能性が示された。

第 3 章「運動企図のある受動的運動が視覚運動回転変換学習におよぼす影響」では、受動的運動経験下の認知状態に着目した。視覚運動回転変換課題を受動的に経験する際、運動の開始タイミングと運動方向を随意的に決定できる運動企図群とそうでない群に分けて訓練を行い、その後の能動的な到達運動の成績を比較することで、運動企図が受動的運動学習に及ぼす影響を調査した。実験の結果、運動企図の有無による受動的運動学習への影響は確認されず、内部モデルの獲得には運動指令の生成をとまなう随意運動の経験が必要である可能性が示された。一方、視覚運動回転変換を受動的に経験したことが、その後の能動的な到達運動に順行性の干渉効果をもたらすことも確認された。

第 4 章「受動的運動が身体図式の変化に及ぼす影響」では、受動的な運動経験が身体図式の変化に及ぼす影響について調査した。視覚運動回転変換課題を受動的に経験する前後の手先位置知覚とアフターエフェクトを比較することで、実験 2 における順行性干渉が身体図式の適応に起因するものであることを検証した。

第 5 章「運動指令の生成および視覚誤差が運動学習に及ぼす影響」では、本章までの実験結果の補足を目的とし、随意的な運動指令の生成と視覚誤差フィードバックが内部モデル獲得に及ぼす影響について調査した。実験 3 に、随意運動をトリガとして既定の運動方向への受動的運動を経験させる被験者群と、トリガとする随意運動の運動方向に向けて受動的に運動させることで、視覚誤差フィードバックが与えられる被験者群を新たに追加して実験を行った。その結果、随意的な運動指令の生成と視覚誤差フィードバックが伴うことで、受動的運動経験であっても能動的な運動と等価な運動学習を行うことができる可能性が示された。

第 6 章「考察」では、本論文で実施した 4 つの実験の結果を基に、受動的な運動経験が人間の感覚適応・運動学習に及ぼす影響とそのメカニズムについて考察した。本研究の結果から、受動的な運動経験による運動技能の向上には少なくとも二つのメカニズムがあることが示された。一つ目は、受動・能動という運動状態によらず、反復運動経験によって一時的に生じる状態推定器の順行性適応であり、二つ目は、随意的な運動指令の生成と評価フィードバックに基づく内部モデルの適応である。ロボットリハビリテーションのように、受動的かつ反復的な運動経験によって運動技能の改善を図るのであれば、その介入がいずれの適応をもたらすかを考えて訓練課題を設計する必要があると言える。

第 7 章「結論」では、本論文で実施した実験結果をまとめ、受動的な運動経験が運動学習に及ぼす影響とそのメカニズムについて総括した。受動的な運動経験が身体図式の一時的な変化を導く可能性を示し、身体図式が変化する条件や変化の生じる理由について論じた。さらに、本研究の問題点や今後の展望について述べた。

本研究は、(1) 能動的・受動的という運動の随意性に関わらず、運動中もしくは運動後の体性感覚フィードバックによって身体図式が変化する、(2) 内部モデルの学習は自発的な運動指令の生成

(様式 11)

#### 論文審査要旨

と適切な感覚フィードバックにより促進されること，を明らかにした。これらの知見は，運動麻痺患者の自発的運動を阻害することなくロボットによって支援するロボットリハビリテーションが有用である可能性を支持する。また，ブレインコンピュータインタフェース技術により推定される随意性をトリガとするロボットリハビリテーションへの展開も考えられる。また，本研究の成果はリハビリテーション以外にもスポーツトレーニングなどにおいて，ロボットを活用した人間の身体機能訓練の新たな手法となることが期待される。

学位審査の申請から半年経過後の最終試験となっている理由について，坂本氏は社会人博士であり，平成 29 年 3 月修了に向けて平成 28 年 11 月 28 日に予備審査を終えて本審査の準備を進めていたが，平成 29 年 1 月に本務先の都合で海外勤務があり本審査を受けることができなかった。このため，半年間延長して今回の審査に至っている。

以上に基づき，本研究の成果は，審査委員全員一致で，博士（工学）の学位を付与するに値すると判定した。