

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月18日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21700518

研究課題名（和文）随意的連続運動課題時の運動制御と筋の特性についての研究

研究課題名（英文）The motor control and muscle activities during the voluntary rhythmic movement task

研究代表者 笠原 敏史（KASAHARA SATOSHI）

北海道大学・大学院保健科学研究所・助教

研究者番号：10312422

研究成果の概要（和文）：立位時の運動制御と下肢筋活動及び加齢変化について、健康な若年者及び高齢者を対象に足圧中心を用いた視覚誘導型追跡運動課題を行った。運動成績は運動方向、大きさ及び速度の影響を受けることが明らかとなった。特に、運動成績と運動速度の間に U 字型の曲線関係がみられ、最適運動速度を持つことが確認された。筋活動の年齢差は膝関節屈筋群にみられ、加齢による姿勢戦略の選択の低下と二（多）関節筋群の活動低下が関与していることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：To understand the motor control during standing, this study investigated the motor performance and muscle activities of lower limbs in healthy youths and elders by using the visually guided tracking task on the force platform. The motor performance was influenced by the movement direction, the amplitude and the velocity of the motor task. Especially, there was the U shape relation between the motor performance and the motor velocity, and the optimum motor velocity for the motor task was shown in both groups. Age differences were confirmed in muscle activities of knee flexors which were biarticular muscles. This suggested that the functional loss of biarticular muscles might narrow elder's range of choice for the postural strategy by aging.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	0	0	0
2013年度	0	0	0
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学

キーワード：理学療法学・加齢・運動制御・二関節筋

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 日常活動は随意的かつ連続的であり、変わりやすい環境の中で姿勢や運動を制御しなければならない。随意的運動制御について、中枢神経系は無数の軌道、無数の関節運動の組み合わせ、無数の筋張力の組み合わせの3つのレベルの問題をそれぞれ解決しなければならない。過去の研究は主として外部からの動揺に対する運動制御あるいはリーチング動作などの上肢を使った運動課題を用いて行われているが、立位での可変的環境下での姿勢及び運動制御を調べた研究はDietzら(1993)が最初であり、この領域に関する知見は乏しい。また、随意的な立位時の姿勢・運動制御はその複雑さから多くの問題を残している。

(2) 立位での姿勢・運動制御の複雑さの要因の一つに挙げられるのが二(多)関節筋の存在である。単関節筋の作用は単純であるが、二(多)関節筋は複数の関節に作用するため、諸家らの報告や見解は異なる。また、姿勢戦略に寄与する筋の共同収縮系をシナジーと呼ぶが、その中で二(多)関節筋の役割も不明な点が多い。

(3) リハビリテーションにおいて高齢者の転倒メカニズムの解明は重要なテーマである。これまでの報告によれば、高齢者の立位姿勢・運動制御の特徴は反応時間の遅れと股関節戦略を用いることである。しかしながら、加齢におけるこれらの特徴がどのようにして起こるのか十分解明されていない。Nonakaら(2003)は高齢者の下肢の二(多)関節筋の短縮が顕著であることを報告し、我々は加齢による二(多)関節の機能低下により高齢

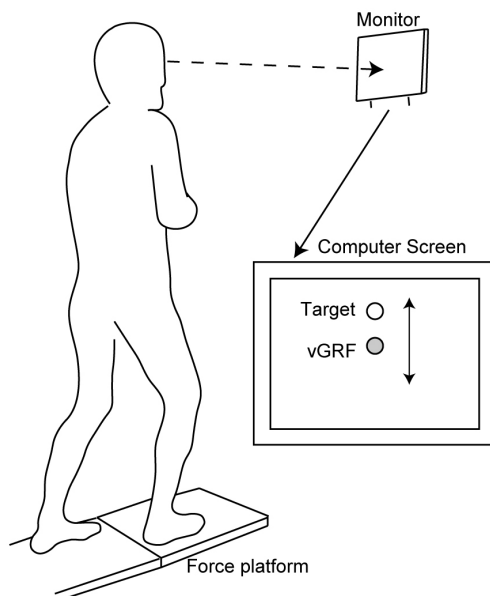


図1. Target: 目標、vGRF: 被験者の荷重量者の運動戦略の冗長性の乏しさを引き起こ

し、その結果、運動戦略が固定化あるいは制約化されたと考えた。

### 2. 研究の目的

(1) 可変的な環境下での動的システムモデルによる運動制御の特性を視覚誘導型追跡運動課題を用いて明らかにする。

(2) 立位姿勢及び運動制御時の筋シナジーへの二(多)関節筋の機能的役割について明らかにする。

(3) 高齢者と若年者を対象に、立位時の運動制御への加齢の影響を調べ、その要因について明らかにする。

### 3. 研究の方法

(1) 立位運動課題への視覚誘導型追跡運動課題の応用と影響因子についての予備実験

①被験者は健常若年者6名(男女各3名)。被験者は1枚の床反力計上に利き足をおき、眼前に設置されたコンピュータスクリーンから自身の荷重量(●)の視覚的フィードバック情報を受け取る(図1)。目標(○)が同じスクリーン上に呈示され、コンピュータによって正弦波状の上下運動に制御された。被験者にスクリーン内で目標と自身の荷重量を一致させるよう指示した。

②立位姿勢安定性への眼球運動を含む視覚条件の影響を調べるため3つの条件下(開眼、閉眼、眼球運動)での立位姿勢保持課題(3秒間)を行った。運動課題の特性をそれぞれ異なる運動方向、運動振幅、運動速度での運

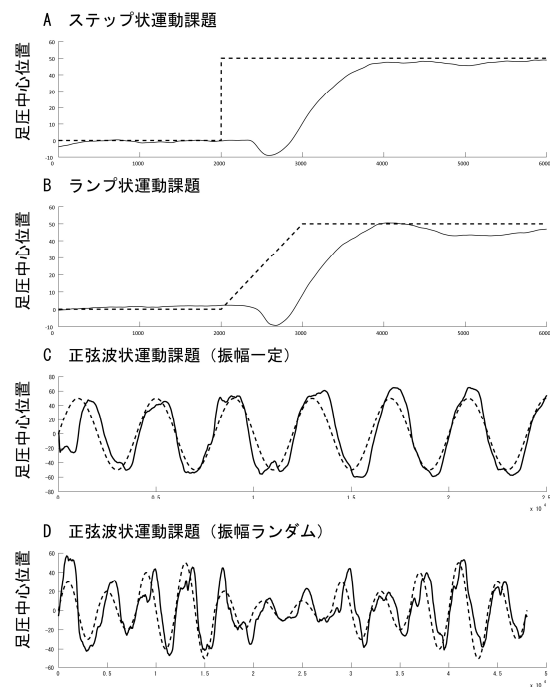


図2. 破線は目標、実線は被験者の足圧中心の軌跡

動の正確さ、変動係数、運動学習の到達点を調べた。また、再現性は1日目と1週間後の運動成績について比較した。

③運動の正確さは、目標と被験者の荷重量のスクリーン上の振幅の利得、1周期内の誤差（二乗平均平方根誤差）、位相差、反応時間等を計算した。また、運動学習または運動技能の獲得は過去の研究を参考に、運動成績が安定した最初の試行とした。

#### (2) 姿勢・運動制御への加齢の影響

健康若年者26名と健康高齢者35名を対象とし、立位での視覚誘導型追跡運動課題時の運動制御への加齢の影響を床反力計、3次元動作解析器、筋電計を用いて調べた。本実験

では視覚的フィードバック情報に被験者の足圧中心を用いた。視覚誘導型運動課題をさらに離散運動と周期運動に分けて行った。

##### ①離散運動

- 1) 足圧中心の前後方向への随意的最大移動
- 2) ステップ状運動課題 (図 2A)
- 3) ランプ状運動課題 (図 2B)

##### ②周期運動

- 1) 正弦波状運動課題 (振幅一定) (図 2C)
  - 2) 正弦波状運動課題 (振幅ランダム) (図 2D)
- ③さらに、運動適応後のフィードバックとフィードフォワード系の運動制御への加齢と視覚情報の影響を調べるために、a) 目標無し、b) 足圧中心無し、c) 視覚情報無しで正弦波状運動課題を行わせた。視覚情報操作後10周期分を解析し、運動成績は予備的実験で用いたものと、下肢関節運動と筋活動を調べた。

#### 4. 研究成果

##### (1) 視覚誘導型追跡運動課題の立位姿勢制御への応用について

若年者での運動成績の再現性は級内相関係数 0.65~0.85 と十分な評価であった。視覚条件間の関節運動、荷重量、足圧中心、筋活動及びそれらの変動性に差を認めなかった。一方、高齢者では眼球運動時に頸部運動

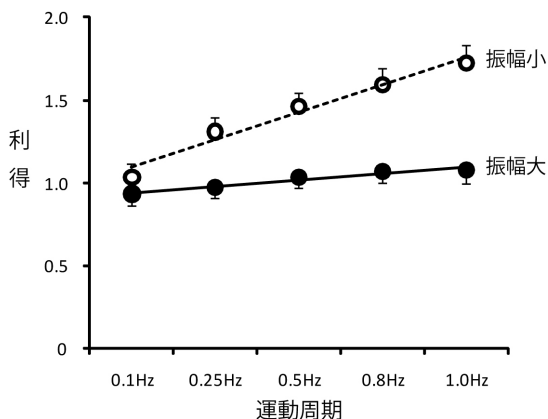


図 3. 運動周期と利得の関係

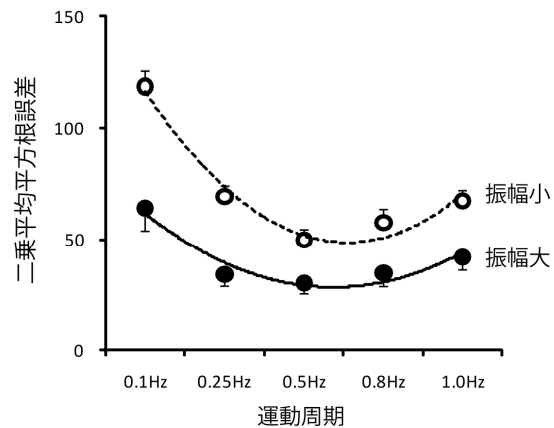


図 4. 運動周期と RMSE の関係

が出現していたが、他の関節運動、筋活動、荷重量、足圧中心に変化を認めなかった。本研究での眼球運動の立位姿勢安定化への影響は少ないことが示された。立位姿勢時の視覚誘導型運動課題への再現性及び眼球運動の影響の検証は十分に行われておらず、本研究の結果はその妥当性を部分的に示された。

##### (2) 視覚誘導型追跡運動課題時の運動成績への影響因子について

①運動の利得は運動速度が大きくなるにつれ利得が1を超え、運動の正確性が低下していた。特に、振幅の小さい運動課題では運動速度が増加するに従い誤差が次第に広がり、速い運動速度と小さい振幅の運動課題はより困難であることが示された (図 3)。

##### ②二乗平均平方根誤差 (RMSE) と運動速度の関係

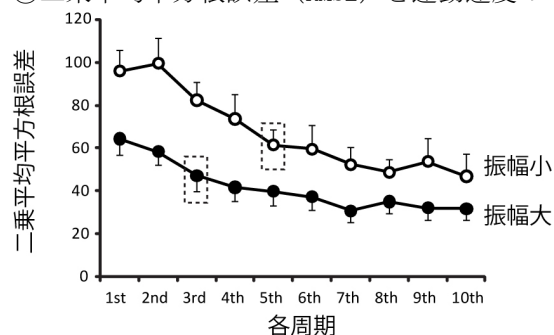


図 5. 運動誤差の推移の例  
(1.0Hz の二乗平均平方根誤差)

関係はU字型の曲線関係をもち、最適な運動速度が確認された。全ての運動速度において、小さな振幅の運動課題で大きい振幅課題に比べて有意に大きな誤差をもっていた (図 4)。一方、位相差に関して有意差を示さなかった。

③運動技能の獲得推移の例を図 5 に示す。運動技能の獲得ポイントが破線四角で囲まれている。0.5Hz 以上の運動速度の課題では利得及び二乗平均平方根誤差に運動技能の獲得ポイントが確認された。さらに、大きな振

幅運動は小さな振幅運動に比べて早期に出現していた。位相差においても運動技能獲得ポイントは出現していたが、振幅の大きさによる影響は確認されなかった。

以上の結果から、立位姿勢での視覚誘導型追跡運動課題時の運動制御は運動振幅及び速度に影響を受けることが明らかとなった。また、本研究ではいくつかの興味深い発見があった。本運動課題は視覚情報をもとにオンラインでのフィードバック制御によって実行されるが、同じ運動の空間的正確さを評価する利得と二乗平均平方根誤差の結果が異

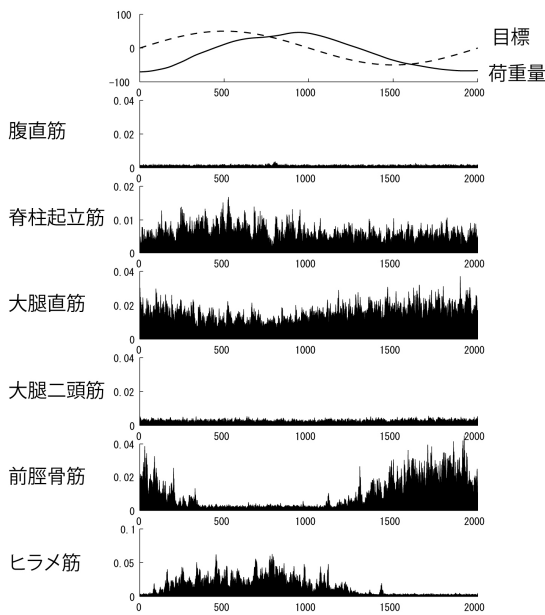


図6. 若年者群の筋活動の代表例になっていた。このことは、中枢神経系がフィ

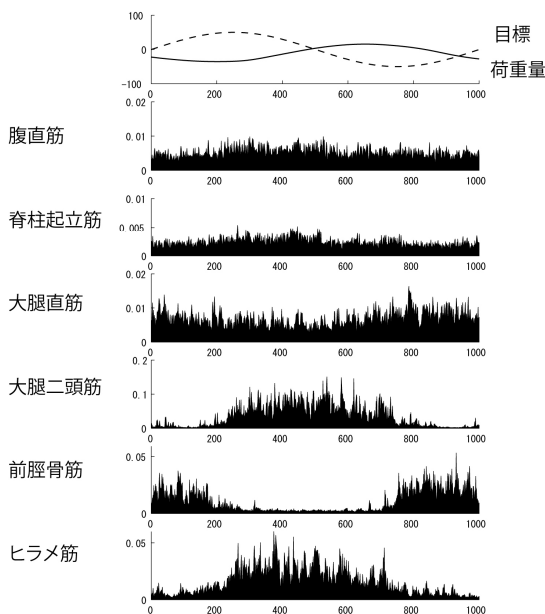


図7. 高齢者群の筋活動の代表例

ードバック情報の用途を運動課題の中で柔軟に変化させていることを示唆する。一般的に運動の振幅が増加するにつれ難易度が上がることが予想されるが、本研究では逆に小さな振幅運動でより大きな誤差を生じていた。このことは感覚情報の識別能力に依存する運動精度の限界を表しているのかもしれない。また、運動技能の獲得においても運動の大きさが影響しており、運動制御及び学習過程に有効な感覚情報の大きさが必要である可能性がある。

### (3) 立位外乱時の関節運動と筋活動の加齢による変化

①過去の報告と一致して、高齢者の姿勢戦略は主として股関節戦略を用いているのに対し、若年者は一貫した姿勢戦略をとっていなかった。言い換えると、このことは若年者の姿勢戦略の豊かな冗長性と高齢者の姿勢戦略の固定化を示唆する。

②両群とも、脊柱起立筋、大腿直筋、前脛骨筋及びヒラメ筋に足圧中心の移動と有意な相関関係を持っていた (図 6, 7)。年齢差は大腿二頭筋の活動にのみ認め、高齢者の大腿二頭筋活動と足圧中心との間に強い正の相関を認めた。また、両群とも関節運動と筋活動の間に一貫した傾向は確認されなかった。

以上の結果から、若年者群と高齢者群の姿勢戦略及び筋活動に年齢差があることが示

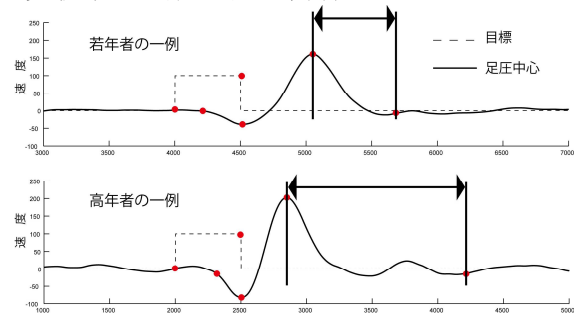


図8. ランプ状運動課題時の代表例。矢印の区間は制動運動を表された。特に、高齢者の二関節筋活動の制約はステレオタイプな姿勢戦略と関連し、立位姿勢制御と筋シナジーへの加齢の影響を示すものである。今後、他の運動課題下での下肢二(多)関節の役割を含めさらなる研究が必要である。

### ③離散運動時の運動制御への加齢の影響

運動への加齢の影響は運動開始に対する反応時間の遅れや運動速度の低下に代表される。本研究でも 高齢者は反応時間の遅れと総運動時間の延長を認め、さらに、停止に要する制動時間の延長が明らかにされた (図 8) (制動時間は反応時間の遅れ分を予め差し引いて分析)。

#### ④周期運動時の運動制御への加齢の影響

離散運動時の結果を基に高齢者の運動の制動能力に着目し、周期運動の停止課題を若年者と比較し加齢の影響を調べた。その結果、高齢者の停止直後の運動振幅の縮小幅は若年者に比べ約10~15%低く、離散運動時と同様に制動時間が延長し、停止時間の遅延が認められた。

上述③の制動時間の延長と④の高齢者の停止合図後の運動振幅縮小の低下の結果より、加齢によって反応時間の遅れや運動制御の促進（推進）だけでなく停止時間の遅れや抑制（制動）能力の低下が明らかとなった。運動停止に関する運動制御の研究は歩行停止課題を用いて行われているが、本研究の立位での系統的な運動停止課題で明らかにされた発見は立位での姿勢制御及び運動制御の両方に新たな知見をもたらすものである。加齢による運動抑制能力の低下は日常生活での変換動作（食べ物を噛む、歩行、方向転換など）の困難さへの可能性のある要因と考えられる。従って、高齢者はこれまでの機能低下に加え、運動を抑制あるいは停止する能力も低下し運動全体を制御することが困難となると考えられる。その結果、高齢者は身体機能の低下と運動制御の低下から未然に転倒を防ぐために慎重な運動制御を実行していると予想される。高齢者の運動制御の特徴を理解するためにさらなる研究が今後必要である。

#### （4）運動適応後の運動制御への視覚的フィードバック情報と加齢の影響

若年者に比べ高齢者の本運動課題の適応は遅延していたが、適応性変化は10周期以内で確認された。目標のみの提示の場合、両群とも続く試行の運動誤差に大きな変化を示さなかった。一方、自己の足圧中心のみの提示の場合、両群にその後の運動誤差の増大と年齢差が確認された。目標と自己の足圧中心が同時に呈示される場合、中枢神経系は教師としての誤差情報を更新することができ、正確な運動を実行することが可能となる。目標のみの提示の場合、視覚的フィードバック情報を他の感覚フィードバック情報や運動性記憶、遠心性コピーなどによって代償し、視覚から得られた目標位置と誤差を推測し、正確な運動を実行しようとしていたと考えられる。自己の足圧中心のみ提示された場合、運動の目標が消失されているため誤差情報を更新するため代償して予測することが出来なかったと予想する。若年者の場合、次第に自己の足圧中心の情報を利用して運動を修正していたが、高齢者の誤差はその後拡大

していた。両群とも視覚的フィードバック情報操作前の試行で視覚運動変換に適応していたにも関わらず、直後に混乱を生じ、運動誤差が増大したのか、そして、その後の推移に年齢差を認めたのかについては多くの課題を残し、適応後の運動制御について更に研究を行う必要がある。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計8件）

1. Kasahara S, Samukawa M, Ishigaki T, Torii Y. Gender differences in the Curl-up and the Double-leg-lower tests. *J Phys Ther Sci*. 23:463-467, 2011(査読有)
2. 名古屋薫、高田美咲、笠原敏史。床面の違いが立位バランス能力に与える影響。北海道リハビリテーション学会雑誌、36巻、45-50、2011(査読有)
3. 齊藤優輝、笠原敏史、高橋光彦、石川啓太、水本梓、宮本顕二。練習方法の違いによる立位での目標追跡課題への影響。北海道リハビリテーション学会雑誌、36巻、15-20、2011(査読有)
4. Kasahara S, Ishigaki T, Torii Y. The relationship between the muscle activity and the muscle grade of the trunk flexors using Manual Muscle Testing by electromyography. *J Phys Ther Sci*. 22:123-128, 2010(査読有)
5. 笠原敏史、戸塚満久、高橋光彦、宮本顕二。非対称性体幹前屈運動時の屈曲弛緩現象について。理学療法科学 25巻、133-138、2010(査読有)
6. Fukushima K, Kasahara S, Akao T, Kurkin S, Fukushima J, Peterson BW. Eye-Pursuit and Reafferent Head Movement Signals Carried by Pursuit Neurons in the Caudal Part of the Frontal Eye Fields during Head-Free Pursuit. *Cereb Cortex*. 19:263-75, 2009(査読有)
7. Fukushima K, Kasahara S, Akao T, Saito H, Kurkin S, Fukushima S, Peterson BW. Reafferent Head-Movement Signals Carried by Pursuit Neurons of the Simian Frontal Eye Fields during Head Movements. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1164:194-200, 2009(査読有)
8. 笠原敏史、鳥井勇輔、高橋光彦、宮本顕二。段差昇降の大腿四頭筋の筋活動と床反力の関係。理学療法科学、24:523-528、2009(査読有)

〔学会発表〕（計10件）

1. Kasahara S. The effect of weight load on motor performance during weight-shift tasks. The 16th International WCPT Congress, 2011, June 22-24, Amsterdam
2. 笠原敏史、他。荷重量の違いによる追跡

運動課題のパフォーマンスの変化(第2報)、第46回日本理学療法学会、2011.5.26-28、宮崎市、シーガイアコンベンションセンター

3. 石川啓太, 他. 随意的身体動揺課題時の下肢筋群の活動、第46回日本理学療法学会、2011.5.26-28、宮崎市シーガイアコンベンションセンター

4. 笠原敏史, 他. 荷重量の違いによる追跡運動課題のパフォーマンスの変化、第45回日本理学療法学会、2010.5.27-29、岐阜市、長良川国際会議場

5. 水本梓, 他. 非対称性体幹前屈運動と脊柱起立筋の屈曲弛緩現象、第45回日本理学療法学会、2010.5.27-29、岐阜市、長良川国際会議場

6. 齊藤優輝, 他. 練習方法の違いによる運動学習の効果の検討、第45回日本理学療法学会、2010.5.27-29、岐阜市、長良川国際会議場

7. 高橋光彦, 他. スモン患者に対する理学療法について、第45回日本理学療法学会、2010.5.27-29、岐阜市、長良川国際会議場

8. 水鳥武蔵, 他. 健康若年者の荷重量を用いた追跡運動課題のパフォーマンス、第44回日本理学療法学会、2009.5.28-30、東京都、東京都国際フォーラム

9. 廣瀬利彦, 他. 荷重量を用いた追跡運動課題時の下肢筋群の活動について、第44回日本理学療法学会、2009.5.28-30、東京都、東京都国際フォーラム

10. 戸塚満久, 他. 非対称性体幹前屈運動と屈曲弛緩現象の関係、第44回日本理学療法学会、2009.5.28-30、東京都、東京都国際フォーラム

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

笠原 敏史 (KASAHARA SATOSHI)

北海道大学・大学院保健科学研究院・助教

研究者番号：10312422

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：