

令和 3 年 6 月 1 日現在

機関番号：23201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17K01569

研究課題名（和文）歩行を伴わない歩行訓練手法と訓練効果の評価

研究課題名（英文）Walking training method without walking and its effect evaluation

研究代表者

大島 徹 (Oshima, Toru)

富山県立大学・工学部・教授

研究者番号：60223806

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、ポスチャーコントロールシステム(動的立位バランス訓練評価装置)を用いて、歩行を伴わずに歩行訓練の可能性を示すことを目的とする。ポスチャーコントロールシステムは、対象者が起立した床面に2軸のピッチングおよびローリングの揺動運動を与え、そのときの身体挙動を捉える装置である。

受動的揺動刺激により立位姿勢を維持しようとする姿勢の安定化とともに、能動的視覚刺激によって積極的に姿勢を誘導させることで、姿勢に応じた筋活動の誘発が顕著に可能である。このことから、歩行筋活動を誘発するような受動的揺動刺激と能動的視覚刺激を与えることで、歩行を伴わない歩行訓練の可能性が見出された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の歩行訓練は、トレッドミル上や歩行路を歩行することによる訓練であるが、歩行せずとも歩行をイメージし、歩行時に黄な活動を誘発することができれば、十分な訓練効果が期待できる。

そのために、起立した床面を揺動することで姿勢維持しようとする受動的揺動刺激と、積極的に姿勢を変えようとする能動的視覚刺激を併用して、歩行時の筋活動を誘発できることを示した。

構築した装置(ポスチャーコントロールシステム)は、歩行訓練という目的を限定することで、さらに小型化が可能であり、提案する刺激提示方法とともに、新しい歩行訓練手法として期待できる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to show the possibility of walking training without walking by using a posture control system. The posture control system is a device that applies biaxial pitching and rolling swing motions to the standing floor on which the subject stands up, and measures the physical behavior at that time.

It is possible to remarkably induce muscular activity according to the posture by stabilizing the posture to maintain the standing posture by passive swing stimulus and actively inducing the posture by active visual stimulus. From this, it was found that the possibility of walking training without walking was found by giving a passive swing stimulus and an active visual stimulus that induce walking muscular activity.

研究分野：福祉工学

キーワード：歩行訓練 揺動刺激 視覚刺激 歩行モデル 筋活動

### 1. 研究開始当初の背景

近年、四肢の運動の構築に対する神経筋モデル、筋骨格力学モデル、脳の可塑性とこれらの連携が大きく議論され、神経科学的な領域から踏み出して運動療法への適用の可能性が示唆されている。しかし、ロボット技術による動力装具を用いた歩行訓練に生かされているとは言い難い。フィードバック情報に基づいて歩行をイメージし、歩行を脳内で再構築できることが示されていない。

現行のロボット技術による動力装具を用いた歩行訓練装置は、理学療法士が対象者の両脚を前後に運動させることで行っていた訓練をロボット化したものである。わが国では、国立身体障害者リハビリテーションセンターに試験的に導入されているが、その効果は未定である。なぜ訓練効果があるかの理由が明らかになっていないからである。

### 2. 研究の目的

本研究は、これまで開発を進めてきた「ポスチャーコントロールシステム(動的立位バランス訓練評価装置)」を用いて、歩行を伴わない歩行訓練が可能な可能性を探ることを目的とする。ポスチャーコントロールシステムは、対象者が装置の円形プレート上に起立し、プレートにピッチングおよびローリングの揺動刺激を与えることで立位バランス能力の評価および訓練を行う装置である。

脚の歩行運動は、大腿の二関節筋である大腿直筋(Rf)とハムストリングス(Hm)を構成要素とする大腿の平行リンクメカニズムによるモデル化<sup>1)</sup>と、下腿のロッカーファンクションによるモデル化<sup>2,3)</sup>によってモデル化がなされ、下肢の姿勢と筋活動、抗重力と推進力に関して合理的な解釈が可能であることが示されてきた。

起立したヒトに外乱刺激を与えることで、姿勢を維持しようとする、あるいは積極的に姿勢を変えようとするので、歩行モデルに基づく姿勢と筋活動を誘発できれば、歩行訓練につなげることができる。

そこで本研究では、揺動装置を中心とした刺激提示装置を構築し、受動的揺動刺激と能動的視覚刺激について検討し、歩行訓練の可能性を探ることを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 平行リンクメカニズムとロッカーファンクションによる歩行モデル

平行リンクメカニズムとロッカーファンクションによる歩行モデルを図1に示す。大腿に適用される平行リンク<sup>1)</sup>は、大腿直筋(Rf)あるいはハムストリングス(Hm)が大腿骨とともに平行リンクを構成し、力伝達要素(股関節から膝関節へ、膝関節から股関節へのトルク伝達)として作用するリンク先端(接地端)の拘束はロッカーファンクション<sup>2)</sup>による回転を拘束しない接地と回転を拘束する接地により、抗重力性と推進力性のふたつの特性が得られる。

図1(a)は立脚初期であり、踵が回転軸となるヒールロッカーが機能する。図1(b)は立脚中期であり、足関節部が回転中心となるアングルロッカーが機能する。さらに、図1(c)は立脚後期であり、前足部が回転中心となるフォアフットロッカーが機能する。ロッカーファンクションにより、平行リンクメカニズムは立脚初期、立脚後期では抗重力性を、立脚中期では推進力性を発揮する。立脚初期から立脚後期にかけて二関節筋の活動筋が大腿直筋(Rf)からハムストリングス(Hm)へと移行することで、ヒールロッカーからフォアフットロッカー間で平行リンクメカニズムが構成される<sup>3)</sup>。

#### (2) 刺激提示装置

揺動装置を中心とした刺激提示装置を図2に示す。揺動装置は、ヒトが起立したプレートに揺動刺激を与え、そのときの姿勢の乱れを計測することで、ヒトの動的バランス能力の評価を行う装置である。

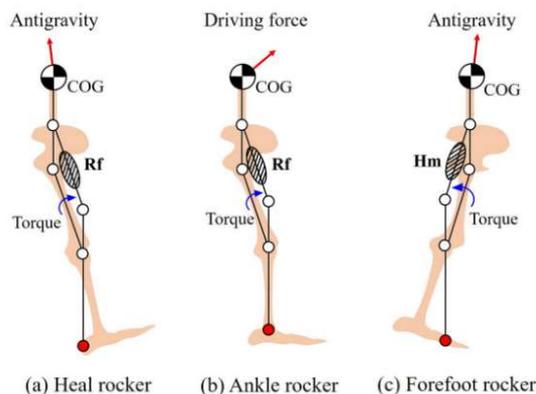


図1 平行リンクとロッカーによる歩行モデル

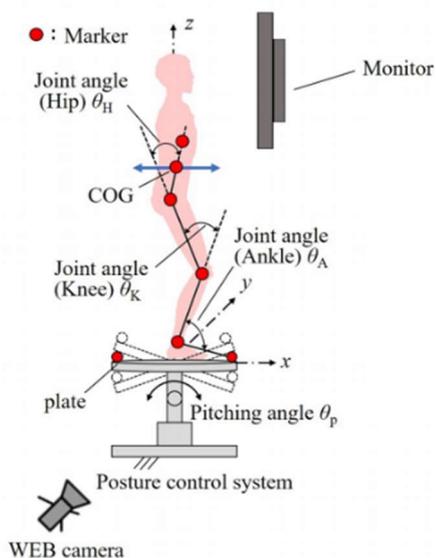


図2 刺激提示装置

この揺動刺激に対して、ヒトは立位姿勢を維持しようとする。この揺動刺激を受動的揺動刺激とする。

さらにヒトの体節に取り付けたマーカの位置を WEB カメラにより検出することで、立位姿勢を計測する。また、計測された立位姿勢と揺動装置のプレート傾斜から算出される視覚ターゲットをモニタ上に提示し、このターゲットを積極的に追従するように立位姿勢を調節する。これを能動的視覚刺激とする。受動的揺動刺激と能動的視覚刺激により、立位を維持しつつ歩行モデルに基づいた姿勢変化を促す。

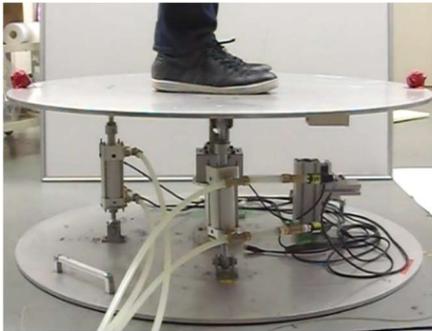


図3 受動的揺動刺激

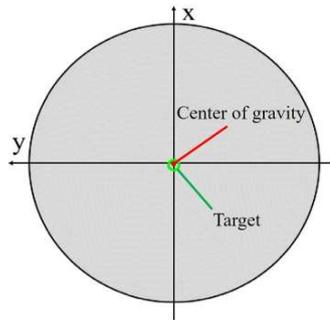


図4 能動的視覚刺激

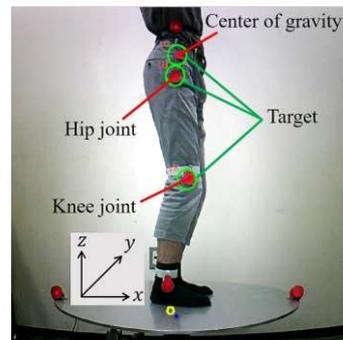


図3には受動的揺動刺激を与える揺動装置を示す。油圧マスタシリンダの力と運動を油圧スレーブシリンダへ伝達し、油圧スレーブシリンダはヒトが起立したプレートにピッチング(前後揺動: y 軸回り)と左右揺動(ローリング: x 軸回り)を与える。本研究では歩行時の片脚矢状面内の運動を取り扱い、ピッチング(前後揺動: y 軸回り)のみとした。揺動装置はマスタスレーブ方式により、揺動装置本体を小型化できるとともに、揺動装置本体は減速機などの伝達要素を持たないため、ハンチングなどによるプレートへの振動を生じることなく、スムーズな駆動が可能である。

図4には能動的視覚刺激のモニタ画面を示す。ヒトの体節(肋骨下部、股関節、膝関節、足関節)およびプレートの両端に取り付けたマーカの位置を WEB カメラにより検出し、体重心位置を推定しモニタの円形プレート上にリアルタイムで提示する。さらにプレートの傾斜(揺動刺激)と歩行モデルから、歩行モデルを構成できる体重心を推定してターゲットとする。ヒトは体重心をこのターゲットに追従するように姿勢を調節する。また、体重心のみをターゲットとする方法に加えて、推定された股関節および膝関節の位置をターゲットとして追従する方法、すなわち姿勢を追従目標する方法も提案した。

### (3) 実験

歩行モデルに基づく大腿部の二関節筋の筋張力変化を再現することを目的として、受動的揺動刺激と能動的視覚刺激の提示実験を行った。揺動刺激はピッチング(前後揺動: y 軸回り)を正弦波駆動とし、前傾、後傾を繰り返した。視覚刺激は体重心のみを追従目標とする方法と、姿勢を追従目標とする方法を比較した。大腿の二関節筋の筋張力は筋電図を計測することによっても可能であるが、すでに歩行モデルとの関連<sup>4)</sup>が明確になっていることから、計測された姿勢から容易に推定することができる。

10名の被験者に対して、体重心をターゲットとする方法および姿勢をターゲットとする方法により実験を行った。被験者を伴う実験は富山県立大学ヒトを対象とする研究倫理審査の承認を得た上で実施された。

## 4. 研究成果

代表的な1名の被験者の結果を図5、図6に示す。図5は体重心をターゲットとする方法、図6は姿勢をターゲットとする方法の結果である。揺動刺激は振幅±5度、周波数0.5Hz、20周期ほどの実験の安定した1周期分を取り出している。それぞれのグラフの横軸は時間であり、プレートの揺動(傾斜角 $\theta_p$ )は、水平から前方(最大傾斜角 $\theta_p = -5$ 度)、後方(最大傾斜角 $\theta_p = +5$ 度)を経て水平に戻る。図2の歩行モデルが構成できれば、前方傾斜時にはフォアフットロッカーが機能し、ハムストリングス(Hm)が活動する。水平時にはアンクルロッカーが、後方傾斜時にはヒールロッカーが機能し、大腿直筋(Rf)が活動する。

関節角度(股関節 $\theta_H$ 、膝関節 $\theta_K$ 、足関節 $\theta_A$ )を比較すると、体重心をターゲットとする方法に比べて姿勢をターゲットとする方法では、膝関節 $\theta_K$ 、足関節 $\theta_A$ の変動が小さく、重心位置(前後 $G_x$ 、上下 $G_z$ )の前後変動 $G_x$ が小さく、平行リンクメカニズムとロッカーファンクションによる歩行モデルを構成できる。また、歩行モデルからハムストリングス(Hm)と大腿直筋(Rf)の緊張力の差を算出すると、体重心をターゲットとする方法では、ハムストリングス(Hm)の活動はみられないが、姿勢をターゲットとする方法では、前方傾斜時にはハムストリングス(Hm)が優位に、後

方傾斜時には大腿直筋(Rf)が優位に活動していることがわかる。

他の被験者についても体重心をターゲットとする方法では、姿勢の変化が被験者によって異なるために歩行モデルが適用できないが、姿勢をターゲットとする方法では歩行モデルの適用が可能である。

ヒトの正常歩行時における代表的な筋電図と床反力およびその姿勢を図7に示す<sup>4)</sup>。図7(a), (b), (c)は歩行における代表的な3姿勢の相でありそれぞれ、ヒールロッカー、アングルロッカー、フォアフットロッカーである。ヒールロッカーからフォアフットロッカーにかけて筋活動は、大腿直筋(Rf)からハムストリングス(Hm)へと移行しているのが分かる。この変化は、本実験における姿勢をターゲットとする方法における歩行モデルと筋張力の変化の傾向と一致する。

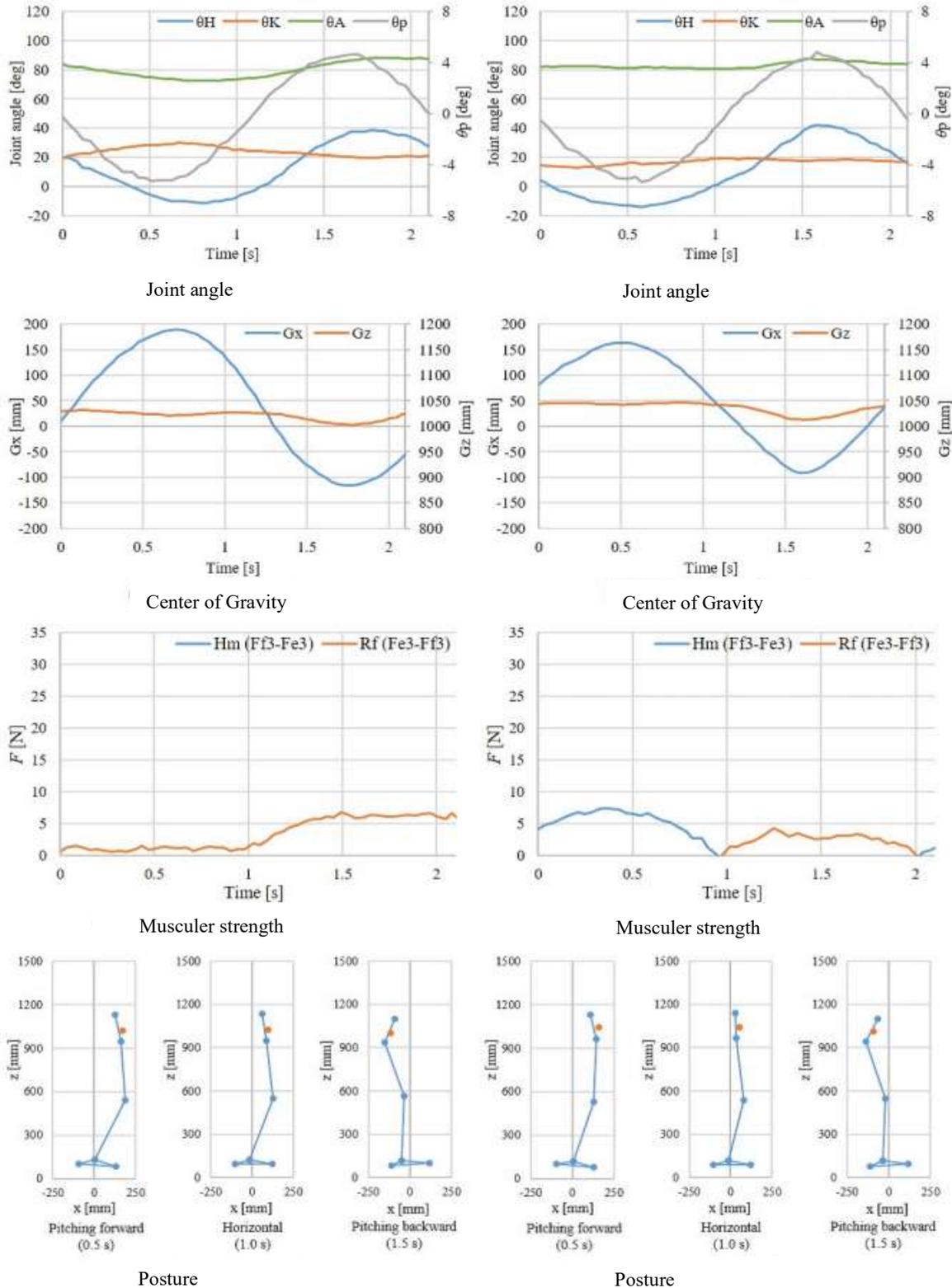


図5 体重心をターゲットとする方法

図6 姿勢をターゲットとする方法

受動的揺動刺激に加えて能動的視覚刺激を提示することで、プレートに起立した状態で平行リンクメカニズムとロッカーファンクションによる歩行モデルを構成できることが示された。歩行時の二関節筋の筋活動の変化が歩行せずに再現することができ、歩行訓練へつなげることができる。

#### 文献

- 1)大島徹, 百生登, 藤川智彦, 鳥海清司, 小柳健一, 松野隆 幸, 動物の脚機構を模倣したリンク機構による跳躍の実現, 精密工学会誌, Vol. 74, No. 4, pp. 416-420, 2008.
- 2)Jacquelin Perry, Judith M. Burneld, ペリー 歩行分析 正常歩行と異常歩行, 医歯薬出版, pp. 2-21, 2012.
- 3)M. Rosaki, T. Oshima, T. Tamamoto, K. Koyanagi, H. Masuta, T. Motoyoshi, K. Sawai, T. Higashihara, T. Fujikawa, Development of Walking Mechanism based on Parallel Link and Rocker Function, Proc. of the 12th France - Japan Congress, 10th Europe - Asia Congress on Mechatronics, JD-000272, 2018.
- 4)藤川智彦, 百生登, 大島徹, 下肢大腿部における三対 6 筋 の協調制御パターンからみた歩行動作の分析, バイオメカニズムシンポジウム, Vol. 20, pp. 197-206, 2010.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 安藤開人, 大島 徹, 玉本拓巳, 小柳健一, 塚越拓哉, 野田堅太郎, 藤川智彦
2. 発表標題 足底外乱刺激を提示した際の姿勢変化に伴う歩行筋活動
3. 学会等名 バイオメカニズム学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安藤開人, 大島 徹, 玉本拓巳, 小柳健一, 本吉達郎, 増田寛之, 澤井 圭, 藤川智彦
2. 発表標題 立位バランス評価・訓練装置による歩行訓練
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安藤開人, 大島 徹, 玉本拓巳, 小柳健一, 塚越拓哉, 野田堅太郎, 藤川智彦
2. 発表標題 揺動刺激と視覚刺激による歩行訓練システム
3. 学会等名 日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安藤開人, 大島 徹, 玉本拓巳, 小柳健一, 塚越拓哉, 野田堅太郎, 藤川智彦
2. 発表標題 足底揺動刺激と視覚刺激による歩行筋活動
3. 学会等名 バイオメカニズム学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安藤開人, 大島 徹, 玉本拓巳, 小柳健一, 塚越拓哉, 野田堅太郎, 藤川智彦
2. 発表標題 動的立位揺動装置による歩行訓練
3. 学会等名 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安藤開人, 大島 徹, 玉本拓巳, 小柳健一, 本吉達郎, 増田寛之, 澤井 圭
2. 発表標題 動的揺動装置による歩行筋活動の誘発
3. 学会等名 日本機械学会北陸信越支部56期総会・講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安藤開人, 大島 徹, 玉本拓巳, 小柳健一, 本吉達郎, 増田寛之, 澤井 圭, 藤川智彦
2. 発表標題 揺動刺激と視覚刺激による歩行訓練装置
3. 学会等名 ライフサポート学会第28回フロンティア講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安藤開人, 大島 徹, 玉本拓巳, 小柳健一, 本吉達郎, 増田寛之, 澤井 圭, 藤川智彦
2. 発表標題 立位バランス評価・訓練装置による歩行訓
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浅野秀光, 大島徹, 玉本拓巳, 他
2. 発表標題 仮想的歩行モデルによる歩行訓練手法の提案
3. 学会等名 日本機械学科第30回バイオエンジニアリング講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 浅野秀光, 大島徹, 玉本拓巳, 他
2. 発表標題 動的姿勢制御評価・訓練システムによる歩行訓練に関する研究
3. 学会等名 第27回ライフサポート学会フロンティア講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究分担者	玉本 拓巳  (Tamamoto Takumi)  (30800908)	富山県立大学・工学部・助教    (23201)	

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
---------	---------