

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12777

研究課題名（和文）回転可能な胸部支持パッドを有するトレッドミル型歩行リハビリテーション機器の開発

研究課題名（英文）Development of a treadmill for walk rehabilitation equipped with a rotatable chest supporting pad

研究代表者

黄 健（Huang, Jian）

近畿大学・工学部・教授

研究者番号：10282956

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）：本研究では利用者の上半身と下肢部のリズム的な連動を重視するという考えに基づいて回転可能な胸部支持パッドを有するトレッドミル型歩行リハビリテーション機器を新たに開発した。一軸回転可能な胸部支持パッドを有するトレッドミル歩行訓練機を試作し、その効果を検証した。トレッドミルの速度がさまざまなパターンに設定されたときの歩行実験を行い、その効果を検証した。解析結果に示されるように、胸部支持パッドの背部に取り付けられる回転機構が歩行中に回転することで利用者上半身のスイングを自然に引き出すことによって利用者の歩行運動へのアシスト効果が確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

脳卒中や病気で立位歩行が困難となった方に対して免荷式トレッドミルによる下肢部の反復運動だけのリハビリテーションが臨床的に広く使われている。しかしながら、人間の歩行は上半身と下肢部のバランスをとれた連動効果による身体運動という視点から、従来の手法は利用者の自立歩行を目指す訓練手法として十分とは言えない。本研究で開発された回転可能な胸部支持パッドを有するトレッドミル型歩行リハビリテーション機器は、市販の機器と同様に免荷式でありながら、利用者の上半身と下肢部のリズム的な連動を図ることで、歩行者の自立歩行を目指す歩行再建を期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a novel treadmill-type walking rehabilitation device featuring a rotatable chest pad, aiming to enhance the rhythmic coordination for a walking motion between the user's upper body and lower limbs. Walk measurements at various treadmill speeds were conducted to evaluate its effectiveness. Analysis results revealed that the rotation mechanism integrated into the chest pad induces a natural swing in the user's upper body during walking, thereby aiding the user's walking movements.

研究分野：知能ロボティクス

キーワード：歩行訓練 歩行リハビリテーション 歩行トレーニング 歩行アシスト

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

病気や加齢で下肢部の弱い高齢者の多くは、立ち上がれば歩けるにもかかわらず、車いすに乗せられるケースが多い。高齢者の自立歩行を支援するため、これまでに様々な支援機器が開発されてきた。しかしながら、これまでに開発された歩行支援機器には、高価でありながら使い勝手が悪いものが多いため、自宅で生活している高齢者が利用したいという意欲を掻き立てるものがなかった。そこで、申請者らは企業との共同研究で胸部支持パッドに1自由度のフリージョイント回転機構を有する歩行車を試作した。提案の胸部支持パッドの背部に取り付けられるフリージョイントが、歩行中に回転することで利用者上半身のスイングを自然に引き出し、腰部と大腿部に取り付けたベルトを介して利用者の下肢を引っ張り、その結果によって利用者の歩行意欲を促す効果が歩行実験で確認された。

一方、脳卒中や病気で立位歩行が困難となった方に対して、免荷式トレッドミルを用いてリハビリテーションを行う手法が臨床的に広く使われている。この手法では利用者の上半身が吊り上げられた状態にしながらかトレッドミルで下肢部を強制的に動かすため、下肢部の回復に一定の効果が確認された。しかし、人間の歩行は上半身と下肢部のバランスをとれた連動効果による視点から、利用者の自立歩行を目指す訓練手法としては不十分と言える。そこで、従来の研究で歩行意欲の向上が確認された回転型支持パッドをトレッドミルに取り付けることによって、全身運動を使った真の自立歩行を目指す歩行リハビリテーション訓練機器になるとの発想を得た。

2. 研究の目的

申請者はこれまでに一軸回転可能な胸部支持パッドを有する歩行車を試作し、アシスト効果の検証を行った。この歩行車の胸部支持パッドの背部に取り付けられる1軸回転機構が、歩行中に回転することで利用者上半身のスイングを自然に引き出し、腰部と大腿部に取り付けたベルトを介して利用者の下肢を引っ張ることによって利用者の歩行意欲を促す効果が従来の研究で確認された。従来の研究で得られた知恵を活かして、本申請は利用者の上半身と下肢部のリズム的な連動を重視するという考えに基づいて回転可能な胸部支持パッドを有するトレッドミル型歩行リハビリテーション機器を新たに開発し、その効果を検証することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) ハードウェアの設計製作

フリー回転型胸部支持パッドを有するトレッドミル歩行訓練機の試作

本申請では、従来の研究で開発された回転型胸部支持パッドをトレッドミルシステムに取り入れるため、初年度では一軸フリー回転可能な胸部支持パッドを有するトレッドミル型歩行訓練機器の設計と試作を行う。

駆動型回転支持パッドの設計製作

初年度で試作された一軸フリー回転可能な胸部支持パッドは上半身を少しながら回転できる利用者限定しており、脳卒中や脊髄損傷などの病気で上半身の回転が困難な方に利用できない。この問題を解決するため、駆動型胸部支持パッドを試作し、トレッドミルに取り付ける。

(2) 計測制御系の構築

歩行訓練機の効果を検証するための歩行計測において様々なセンサを用いて情報を集計する。試作された回転型胸部支持パッドに力覚センサが取り付けられており、歩行時利用者上半身からの圧力を測る。また、歩行時利用者下肢部の運動情報を取得するためゴニオメータを用いる。さらに駆動型胸部支持パッドの場合モータの回転制御が必要になり、モータ制御系とセンサ計測系の連携を構築する。

(3) 歩行実験による評価

試作された回転型胸部支持パッドを有するトレッドミル歩行訓練機を評価するため、歩行計測を行う。胸部支持パッドの回転とトレッドミルの走行速度との関連性を解析するため、まずトレッドミルの速度を数パターンに設定したときの歩行運動を測定し、上半身の回転と下肢部の運動およびトレッドミル走行速度の時系列と周波数の解析を行う。また、駆動型胸部支持パッドを用いた場合、支持パッドの回転角とトレッドミルの速度のそれぞれを数パターンに設定したときの歩行実験を行い、時系列と周波数解析を行うことによって、上半身の回転運動と下肢部運動のそれぞれの特徴、さらに支持パッドの回転とトレッドミルの速度の関連性について明らかにする。

4. 研究成果

(1) ハードウェアの設計製作

フリー回転型胸部支持パッドを有するトレッドミル歩行訓練機の設計と試作

本研究では一軸フリー回転機構付きの胸部支持パッドと周辺の支え機構を新たに設計し、トレッドミル（ウェルロード 200E、竹井機器工業㈱）に取り付ける。また、身長 160cm～180cm の利用者が使用できるという目標を実現するためには、支持パッドを駆動するリニアモータの固定位置、リンクの長さ、手すりまでの距離などのさまざまな要素を考える必要がある。先行研究で胸部支持パッド部分の各リンクの長さやリニアモータの高さなどのパラメータは計算されていたが、本稿では胸部支持パッドをトレッドミルに取り付けるため、シミュレーションを新たに行うことで各パラメータを調整する。

シミュレーションの結果をもとに試作したトレッドミル型歩行訓練機器の実機を図 1(a)に示す。また、異なる身長の歩行者が利用できるように支持パッドが前後方向に移動するためのスライド機構を設計し、図 1(b)に示す。



(a) 試作機



(b) スライド機構

図 1 自由度フリー回転可能な支持パッドを有するトレッドミル型歩行訓練機

駆動型回転可能な胸部支持パッドの設計と試作

回転可能な支持パッドがトレッドミルに取り付けられる場合、支持パッドの回転運動に伴いウェストにつけているベルトによって利用者の足の持ち上げにアシストする効果を期待できる。しかしながら、脳卒中や脊髄損傷などの病気でそもそも上半身の回転が困難な方はフリー型回転支持パッドを利用できない。そこで本研究では、病気や加齢で下肢部の弱くなった人でも本装置を利用できるようにするためには、胸部支持パッドの背面に小型 DC モータを取りつけることで駆動型胸部支持パッドを有するトレッドミル歩行訓練機を設計し、制作した。試作した装置は図 2 に示す。

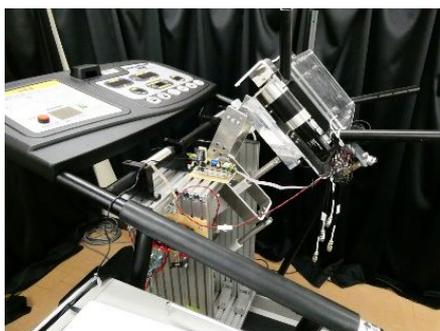


図 2 駆動型胸部支持パッドを有する
トレッドミル歩行訓練機

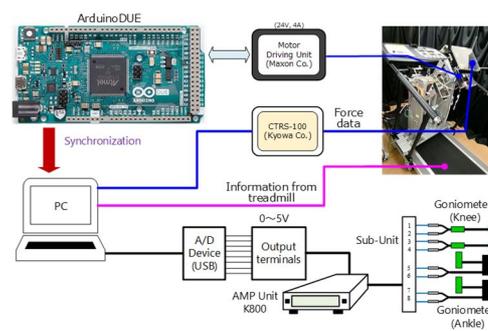


図 3 構築された計測制御系

(2) 計測制御系の構築

本研究では、利用者上半身の姿勢変化を測定するため、胸部支持パッドに力センサ（LMA-A-500N，共和電業㈱）4個を取り付けており、ロードセル4個のデータ集計に小型アンプ（CTRS-100A，共和電業㈱）を用いる。また、歩行運動中の膝屈曲角を計測するため、ゴニオメータ（SG150，Biometrics LTD）を両足の外側に大腿上部と膝の側面に取り付ける。足首関節の回転情報を計測するためにくるぶしの上部、足首関節にゴニオメータ（SG110A，Biometrics LTD）を取り付ける。ゴニオメータ4個で計 8 チャンネルデータを、A/D 変換ユニット（AI-1608GY-USB，コンテック㈱）に入力し、ノート PC によって集計する。

一方、駆動型支持パッドの小型 DC モータを制御するため ArduinoDUE を用いる。さらに、図 3 に示すように、歩行計測の際に ArduinoDUE からは同期信号を出力しており、これによってモータの制御とセンサ計測を同時に開始できるようにした。

(3) 主な結果

歩行計測では、健常者3名（男性3名、平均年齢は22歳）に協力してもらった。被験者の身長は155cm～175cmであり、全被験者には近畿大学工学部生命倫理委員会の規程に基づいた説明を受けてから同意書に署名した。

フリー回転型胸部支持パッドを用いた歩行測定と解析の結果

歩行実験の際に胸部支持パッドの回転とトレッドミルの走行速度との関連を解析するため、トレッドミルの時速を1.0km/h、1.5km/h、2.0km/h、2.5km/hの4パターンに設定して歩行測定を行った。

トレッドミルの速度を1.0km/hと2.0km/hのそれぞれに設定した場合の歩行実験で得られた各センサからの時系列結果を図4と図5に示す。各図の(a)にはロードセルの結果を、(b)には膝屈曲角の結果を、(c)には足首関節回転角の結果を示す。図4と図5より、利用者下肢部の運動が周期的に変化しており、運動の速さも時速2.0km/hでの結果は時速1.0km/hの時と比べて約2倍変化し、支持パッドの回転に合わせてリズム的な歩行を行ったことが分かる。

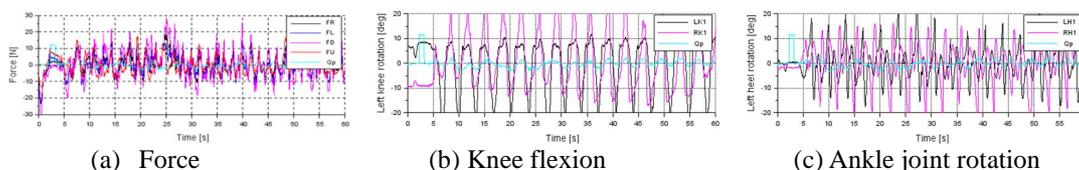


図4 トレッドミルの時速1.0km/hの時系列結果

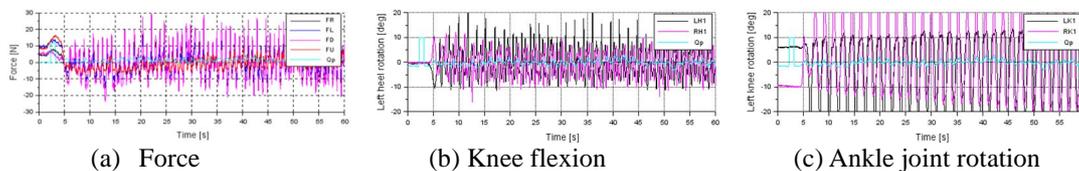


図5 トレッドミルの時速2.0km/hの時系列結果

また、歩行実験で得られた各センサからの時系列結果に対して周波数解析を行い、パワースペクトルの結果を得た。支持パッドへの左右押し付け力と支持パッド回転角のスペクトル結果を図6(a)と図7(a)に、膝屈曲角と支持パッド回転角のスペクトル結果を図6(b)と図7(b)に、足首関節回転角と支持パッド回転角のスペクトル結果は図6(c)と図7(c)に示す。これらの図に示すように、トレッドミルの速度を上げることによって上半身の回転と下肢部の運動が速くなり、周波数主成分が上昇したことが分かった。

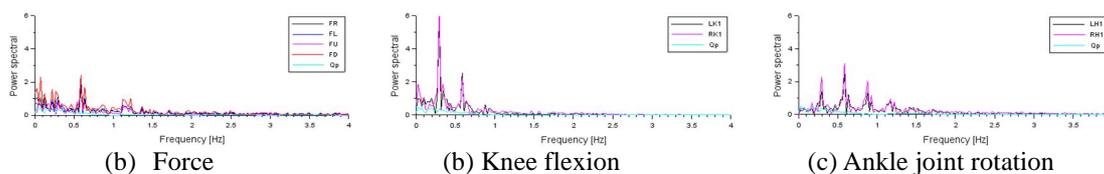


図6 トレッドミルの時速1.0km/hのパワースペクトル

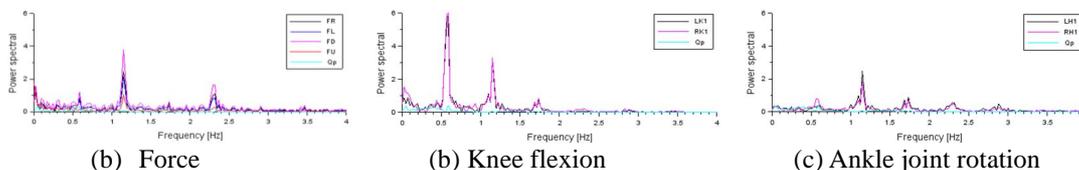


図7 トレッドミルの時速2.0km/hのパワースペクトル

駆動型胸部支持パッドを用いた歩行測定と解析の結果

駆動型胸部支持パッドを用いた歩行測定では、支持パッドの回転周期を5sで固定し、回転角度を20deg、15deg、5degに、トレッドミルの速度を1km/h、1.5km/h、2km/hに設定し、歩行測定を行った。

図8にはトレッドミルの時速が1km/hに設定されたとき測定した下肢部運動の結果が示される。これらの図に示されるように支持パッド回転角の増減に関わらず、トレッドミルの速度を上げた場合膝関節と足首関節の運動リズムが顕著に増加した傾向が確認された。一方、トレッドミ

ルの速度が同じで支持パッドの回転角が増加する場合、歩行者上半身の揺れが大きくなり、支持パッドに加わる力が増幅しており、さらに体のバランスを取るため歩行者の足首関節に複雑な動きが確認された。

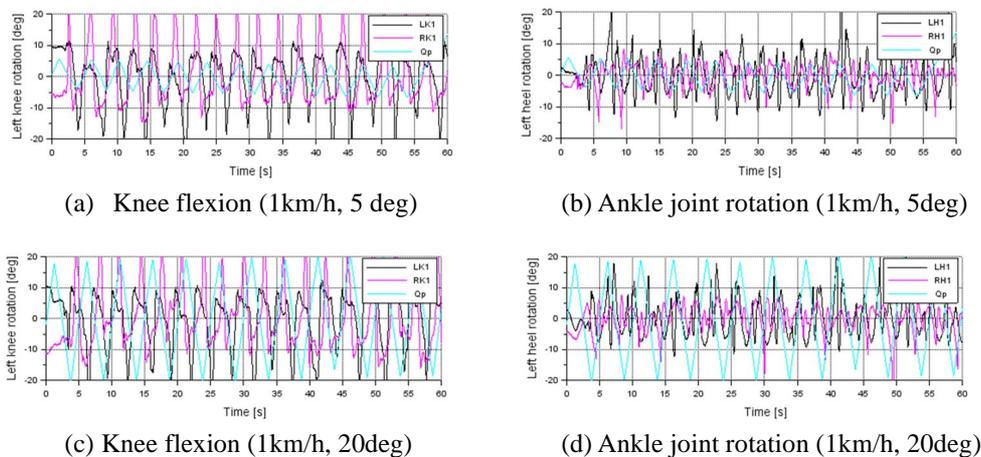


図 8 膝屈曲角と足首回転角の時系列結果

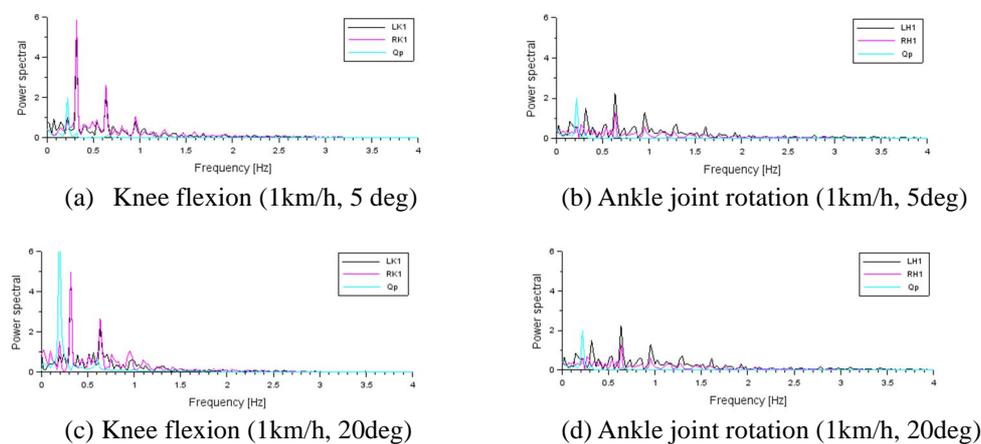


図 9 膝屈曲角と足首回転角のパワースペクトル

また、得られた各センサ情報の時系列結果に対して周波数解析を行い、算出したパワースペクトル結果は図 9 に示す。支持パッドの回転周期 (0.2Hz) が固定されているが、トレッドミルの速度が速くなるにつれて膝関節と足首関節の主周波数成分が上がるのが分かった。従来の回転型支持パッドつき歩行車での歩行では、支持パッドの回転が下肢部運動に強い影響を与えることが確認された結果に比べて、トレッドミル訓練機の場合ベルトの回転速度が支持パッドの回転より利用者下肢部に強い影響を与えたことが明らかになった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Jian Huang, Noriho Koyachi	4. 巻 34 No.6
2. 論文標題 Development of a Novel Rollator Equipped with a Motor-Driven Chest Support Pad and Investigation of its Effectiveness	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 1329-1337
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jrm.2022.p1329	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Huang, J., Ashida, H., He, Y., Koyachi, N., Harada, T.	4. 巻 34
2. 論文標題 Measurements and Analyses of Walk Using a Novel Rollator Equipped with a Rotatable Chest Pad	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 18 ~ 27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jrm.2022.p0018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Huang, J., Terado, T., Horaguchi, S., Ohashi, Y., Aota, A., Mukai, K., Koyachi, N.
2. 発表標題 Development of A Walking Rehabilitation Treadmill System By Using A Rotary Chest Pad
3. 学会等名 World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering (IUPESM2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 黄 健, 寺戸友哉, 大橋勇介, 向井敬太, 小谷内範穂
2. 発表標題 回転可能な胸部支持パッドを備えた歩行訓練トレッドミルシステムの開発
3. 学会等名 日本機械学会ロボットメカトロニクス部門講演会'22
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宗紹詰, 黄健, 小谷内範穂
2. 発表標題 駆動型支持パッドを用いた歩行計測と解析
3. 学会等名 第23回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(SI2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 蒋晓珂, 多田 尚生, 宗紹詰, 黄健, 小谷内範穂
2. 発表標題 駆動型胸部支持パッドを有する歩行車を用いた歩行測定
3. 学会等名 日本機械学会中国四国支部第53回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大屋樹輝, 菅井莉人, 黄健, 小谷内範穂
2. 発表標題 トレッドミル型歩行訓練機に利用する駆動型回転支持パッドの試作
3. 学会等名 日本機械学会中国四国支部第53回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 向井敬太, 宮本空, 阿部凌輔, 黄健, 小谷内範穂
2. 発表標題 駆動型支持パッドを有する歩行車の計測制御系の構築
3. 学会等名 日本機械学会ロボットメカトロニクス部門講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 寺戸友哉, 向井敬太, 黄 健, 小谷内 範穂
2. 発表標題 回転型胸部支持パッドを有する歩行訓練トレッドミルシステムの試作
3. 学会等名 第22回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(SI2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大屋樹輝, 菅井莉人, 黄健, 小谷内範穂
2. 発表標題 回転型胸部支持パッドつきトレッドミル訓練機による歩行の測定と解析
3. 学会等名 日本機械学会ロボットメカトロニクス部門講演会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 蒋晓珂, 多田尚生, 宗紹喆, 黄健, 小谷内範穂
2. 発表標題 歩行車の駆動型胸部支持パッドの回転制御による下肢部運動の影響解析
3. 学会等名 日本機械学会ロボットメカトロニクス部門講演会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Huang, J., Terado, T., Horaguchi, S., Ohashi, Y., Aota, A., Mukai, K., Koyachi, N.
2. 発表標題 Development of A Walking Rehabilitation Treadmill System By Using A Rotary Chest Pad
3. 学会等名 World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering (IUPESM2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Xiaohe Jiang, Shaozhe Zong, Jian Huang
2. 発表標題 Lower Limb Motion Measurements During Walking by Setting Rotation Angle and Period of the Motor for Driving the Chest Pad of a Rollator
3. 学会等名 2024 4th International Symposium on Intelligent Robotics and Systems (ISoIRS 2024) (国際学会)
4. 発表年 2024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	小谷内 範穂 (Koyachi Noriho) (50357034)	近畿大学・工学部・教授 (34419)	

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