

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：35410

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K03389

研究課題名(和文) センサ技術を活用した障害児の認知機能評価・発達支援プログラムの開発

研究課題名(英文) Development of programs evaluating and supporting cognitive development of disabled children using human sensing technology

研究代表者

吉田 弘司 (Yoshida, Hiroshi)

比治山大学・現代文化学部・教授

研究者番号：00243527

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、近年のセンサ技術を活用することで、障害児の認知機能評価や発達支援に利用可能なプログラム群を開発した。タッチセンサを利用すれば、子どもの注意や実行機能をゲームによって評価したり、書字動作時の運筆分析を行うことができた。また、視線センサを使うことで重度の運動障害をもつ子どもの意思表示を可能にしたり、注意や記憶を含む認知機能の評価が可能となった。さらに、身体センサやVR技術を用いることで、身体イメージや視点取得、共感性や視線・表情の認知といった高次の認知機能の評価も可能となることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

実験系基礎心理学においては、情報技術を活用したさまざまな実験課題や研究技法が開発され、多くの学術的知見を得てきたが、医療や福祉、教育などの社会の現場においてどれだけ貢献してきたかと問えば、その社会貢献は十分とは言えないだろう。それに対して、本研究では、センサ技術を活用することによって、知的障害や重度身体障害を含む障害児の認知機能の評価や発達支援を可能にするプログラムを開発した。この点において、本研究は、基礎心理学研究の社会貢献についてひとつの可能性を示したと言える。

研究成果の概要(英文)：In the present study, I have developed programs that can be used for cognitive evaluation and developmental support for children with disabilities by utilizing new sensor technology. Using a touch sensor, it was possible to evaluate children's attention and executive function in games, and to analyze movements in handwriting behavior. Using a gaze sensor, it made possible for children with severe motor disabilities to express their intentions and to evaluate cognitive functions such as attention and memory. Furthermore, using body sensors and VR technology, it became possible to evaluate higher-order cognitive functions such as body image, perspective taking, empathy, and recognition of gaze and facial expressions.

研究分野：実験心理学

キーワード：障害児 認知機能評価 発達支援 ヒューマンセンシング

1. 研究開始当初の背景

実験系基礎心理学においては、情報技術の発展とともにコンピュータを応用した種々の実験課題や研究技法が開発され、実験室場面を用いた研究を通して多くの学術的知見が得られてきた。しかしながら、このような基礎心理学研究の知見や技術が、医療や福祉、教育などの社会の現場においてどれだけの貢献をもたらしているかと問えば、その貢献度は必ずしも高いとは言えないのが現状であろう。

その一方で、最近の情報機器においては、スマートフォンやタブレット PC のインタフェースとしてタッチセンサが一般化したり、人の視線をとらえることのできる 2 万円程度のゲーム用視線センサが市販されていたり、同様に安価に人の身体をとらえることのできるセンサも手に入るようになってきた。また、仮想現実 (バーチャルリアリティ、以下 VR) 環境を体験できるセットも 5 万円以内で手に入る時代である。VR 環境においては、人は自らの身体とは異なる身体 (分身、以下アバター) をもって自由に移動することも可能であり、その中で、他者を含むさまざまな対象とインタラクションをもつことができる。

このような新しい技術を応用すれば、知的障害があってもタッチで遊べるようなゲームを使ってその心的発達を評価したり、視線による反応を用いて重症心身障害児の発達を評価したり、ゲーム的な要素が豊富な課題を用いることで課題集中が困難な発達障害児の認知機能を評価するなど、障害児の認知機能の評価と発達支援の領域においてさまざまな可能性が考えられる。そこで、本研究では、種々のセンサ技術を活用することで、障害児の認知機能の評価を可能にしたり、その発達を支援できるようなプログラム群を開発することを試みた。

2. 研究の目的

本研究では、以下の 4 つの観点に分けて、障害児の認知機能評価や発達支援を目的とした課題プログラムを開発し、療育現場で実践することで、その有効性を評価するとともに改良を施し、効果が認められたものについては、Web ページを介して成果を広く社会に還元することを目的とした。

(1) 療育上必要となる基礎的な認知機能 (知的機能を含む) を評価・訓練する課題

療育上必要とされる言語理解などの基礎的な認知機能を評価したり、訓練する課題であり、タブレット PC のタッチ機能を利用したり、視線センサと組み合わせることで、重度の知的障害や、四肢の運動障害をもつ重症心身障害児にも適用可能なものとする。

(2) 注意や記憶、実行機能といった認知機能を評価・訓練する課題

発達障害児においては、注意やワーキングメモリなどの認知機能の障害がみられることが少なくない。また、自動的に生じようとする反応を抑制したり、適切にワーキングメモリの内容を更新したり、複数の課題に対して認知セットを切り替えながら同時遂行するというような実行機能に問題をもつことも頻繁にみられる。そこで、このような認知機能を評価したり、訓練できるような課題を開発する。

(3) 身体イメージや視点取得といったより高次の認知機能を評価・訓練する課題

脳性まひのような運動機能障害をもたない発達障害児においても、縄跳びやボール投げ、ボール蹴りが上手にできないなど協調運動の困難を示したり、他者の行動を模倣するのが上手にできない子どもたちがいる。近年、他者視点からものを見る視点取得の心的過程において自己の身体イメージが関与するといわれることから、このような子どもたちは視点取得にも問題をもつことも予想される。そこで、このような運動のぎこちなさをもつ子どもの身体イメージを評価・訓練する課題の開発を試みる。

(4) 他者の視線や表情の認知といった社会的な認知機能を評価・訓練する課題

我々の日常生活においては、共感的なコミュニケーションが重要な意味をもっているが、自閉スペクトラム症に代表されるような発達障害児では、非言語的な社会的シグナルから相手の意図を読むことが難しいことがある。そこで、視線や表情といった社会的シグナルの認知についても評価・訓練できるような課題の開発を試みる。

3. 研究の方法

本研究は、実験系基礎心理学の知見と技術を障害児支援の現場に役立てることを目的としていることから、アクションリサーチ (実践研究) として開始した。ここでは、以下に示すような PDCA サイクルによる研究進行を計画した。

(1) 計画段階 (Plan) : 障害児施設や療育にあたる保護者・施設職員と協働して、療育現場で必要となる認知機能の評価や発達支援に役立つ課題プログラムを考案し、開発を行う。その際、課題はゲーム的な要素に富むものにするとともに、障害の程度に関わらず達成が可能なレベル可変型のものにした。対象者の自己効力感を高められるものにするよう配慮する。(2) 実践段階 (Do) : 施設において課題を継続的に実施し、対象者の認知機能を定量的に測定し、その成長の様子を可視化して保護者や施設職員等に対して情報としてフェードバックする活動を行う。(3) 評価段階 (Check) : 課題で得られたデータを用いてその有効性や妥当性について検討し、課題の内容や実施方法等に改善すべき点があるかを検討する。また、継続実施によって、成長・発達を支援できるものかを検討する。(4) 修正段階 (Act 1) : 課題について改善すべき点があれば修

正を行い、再度、実践～評価の過程を繰り返す。(5) 適用段階 (Act 2) : 上記の手続きを繰り返しながら、障害児の認知機能評価や発達支援という側面において一定の効果があると考えられた課題については、それを Web サイトで無償公開し、より多くの対象者に利用してもらうことで、研究成果の社会還元を図る。

なお、本研究は 2019 年度より 3 年間の研究期間を用いて実施したが、2020 年 1 月からの新型コロナウイルスの大流行により、障害児・障害者施設の一時閉鎖や部外者立ち入りの制限が行われ、研究期間が終了した本稿執筆時点 (2022 年 6 月) でも、ほとんどの施設において制限は解除されていない状況である。そのため、2020 年度以降は、一部の在宅障害児を除いて、療育現場にはオンラインでプログラムを提供することしかできず、課題の評価・検証については大学内での実験等を通して行うことしかできなかつた。したがって、本研究で開発したプログラムの障害児における有効性の評価・検証については、十分とは言えないことを記しておきたい。

4. 研究成果

本研究では、成果として、以下に示すプログラム群を開発した。これらのプログラムは筆者のホームページ上で順次公開中である (<https://maruhi.heteml.net/>)。

(1) 療育上必要となる基礎的な認知機能 (知的機能を含む) を評価・訓練する課題

① 視線による意思表示プログラム (eTalk)

筆者は、先に行った科研費研究 (16K04439) において、重症児が視線を使ってものの名前や言葉の意味、ひらがな文字を学習したり、その習得状況を評価できるプログラムを開発したが、それらは、常に固定した刺激を提示するものであった。そこで、本研究では、障害児の療育に関わる保護者や施設職員が簡単に刺激を入れ替えることができ、障害児の意思表示や、言葉の理解の確認などに使えるプログラム (eTalk, 図 1) を開発した。このプログラムでは、画像ファイルと音声ファイルを用意してディスクフォルダに入れ、そこにテキストファイルを作成して対応する画像ファイルと音声ファイルを並べて書けば、自動的にプログラムが画像を並べて表示し、それを見たり画面をタッチしたりすると音声ファイルを鳴らしてくれる。また、音声ファイル名の代わりに別のテキストファイル名を書くと、そのテキストファイルで指定された画像の一覧画面に変わるので、階層的なコミュニケーションボードを作ることもできる。本研究の対象児である重症脳性まひ児や脊髄性筋萎縮症 (以下 SMA) 児は、これを使って意思表示を行ったリ、学校での学習教材提示等に活用している。



図 1. eTalk の画面例 (左) と利用風景例 (右)

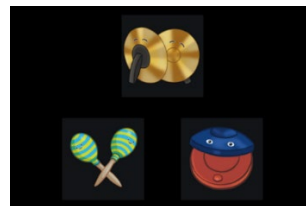


図 2. Y字型迷路を模した楽器画面

② 動物実験における Y 字型迷路のアイデアを応用した重症児の記憶機能の評価 (実践例)

常時の医療ケアを必要とするような重症児の中には、意思表示はもちろん、その内的過程を知る手がかりが少ないため、知的発達の程度などについても評価が困難な子どもがいる。一方、動物実験においては、たとえば 3 本のアームをもつ Y 字型迷路を使って動物の短期記憶を評価する方法がある。この方法では、動物がアームに入った総進入回数と、3 つの異なるアームに連続して進入したときにカウントされる交替行動数を調べ、 $[\text{交替行動数} / (\text{総進入回数} - 2)]$ の式によって交替行動率を求め、それが短期記憶の指標となる。そこで、本研究では、①の視線による意思表示プログラムをカスタマイズして 3 つの楽器が表示される画面を提示し (図 2)、視線に反応してアニメーションに伴い楽器音が再生されるようにしたものを使って、記憶能力をもつと考えられるが眼球以外の随意運動がみられない重症 SMA 児 (4 歳) の記憶の評価を行った。図 3 は、典型的な大学生の視線による交替行動率変化である。図では、無作為な反応シミュレーションから作られた 95% 信頼区間を赤線と緑線で示しているが、注視開始後 10 秒~40 秒で交替行動率が有意に高まり、その後、低下する傾向がみられる。これは、短期記憶による近時情報保持と、その後の長期記憶による飽きを示していると言える。実践の結果、SMA 児についても図 4 に示すように同様のパターンが確認された。したがって、このような方法を応用すれば、極めて反応の少ない重症児についても、記憶能力の評価が可能になることが示唆された。

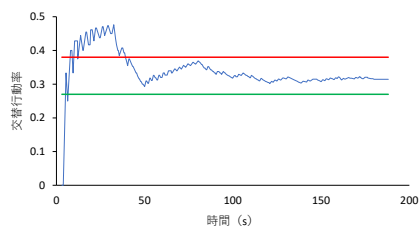


図 3. 大学生の交替行動率変化の典型例

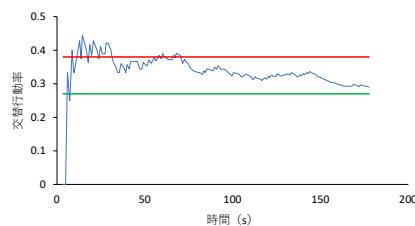


図 4. SMA 児の交替行動率変化

(2) 注意や記憶、実行機能といった認知機能の評価・訓練する課題

① トレイルメイキングテスト視線対応版 (TMT02)

トレイルメイキングテスト（以下 TMT）は、広く使われている神経心理学的検査である。検査には Part A（図 5）と Part B（図 6）があり、Part B では持続性注意、選択性注意にあわせて、転換性注意や実行機能を反映する検査となっている。本研究では、この TMT の電子版を作成した。紙媒体では刺激配置は固定されているが、電子版であれば毎回異なるパターンを作成することができ、刺激項目数を変えることによって難易度を変化させることもできるので訓練に使える。また、本研究で開発した TMT は視線でも実施できるので、運動障害をもつ子どもの注意機能を評価する有効な検査としても使える。



図 5. TMT (Part A) の画面例

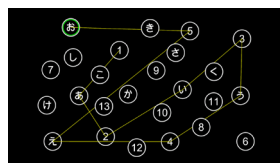


図 6. TMT (Part B) の画面例

②モグラたたきゲーム視線対応版 (MogGame03)

知的障害をもつ子どもにおいても、その注意機能の評価・訓練が可能な課題として、本研究ではモグラたたき課題も作成した（図 7）。このゲームでは、モグラの代わりとなる動物たちの出現頻度や露出時間、ターゲットとなる動物の種類、ディストラクタとなる（叩いてはいけない）動物の種類など、詳細な設定を行えることから、対象者に合わせた難易度のゲームとすることができる。大学生を参加者とした実験では、ターゲットとなる動物を 1 種類（単一ターゲット）から 3 種類（複数ターゲット）へと変化させることでワーキングメモリに対する負荷を高め、ターゲットを叩くように教示するポジティブ試行と、ターゲット以外を叩くように教示するネガティブ試行でパフォーマンスを比較すると、記憶負荷を高めた複数ターゲット条件ではネガティブ試行において抑制失敗の指標であるフォルスアラーム反応が大幅に増加することがわかった（図 8）。したがって、このような簡単なゲームでも、記憶負荷を操作したり、抑制反応を要求することで、実行機能に相当する高次脳機能を評価・訓練できる可能性が示唆された。



図 7. モグラたたき課題

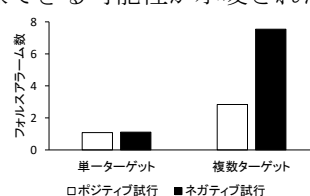


図 8. 大学生参加者のフォルスアラーム反応

③Windows タブレットを用いた描写課題における運筆分析プログラム (WinTab)

協調運動を苦手とする発達障害児は少なくなく、放課後等デイサービスなどの療育現場においては、対象児の書字の困難がしばしば問題となる。多くのケースにおいて、書字時の筆圧の調整が難しいという声が多いことから、筆圧を含めた運筆行動の評価や訓練ができないかと考え、ペンのセンシングが可能なタブレット PC による運筆分析プログラムを開発した。また、それを鏡映描写（図 9）と組み合わせることで、衝動的に運筆する動作を意識的にコントロールする訓練を行った。たとえば、図 10 は PDD 児（小学 5 年）に鏡映描写課題（鏡の中では正立して見える逆さの「あ」をなぞる課題）を 1 か月おきに 4 回訓練した結果の例である。ペン型デバイスのデータの記録から、運筆速度や筆圧変化などを分析して評価することができるので、たとえば筆圧の変化（図 11）を見ることで、文字を書く際のストロークが安定してきていることなどもわかり、単に遂行時間を指標とするにとどまらず、多面的な量的データをエビデンスとした質的側面に関する評価も可能になることが期待される。



図 9. 鏡映描写実施風景

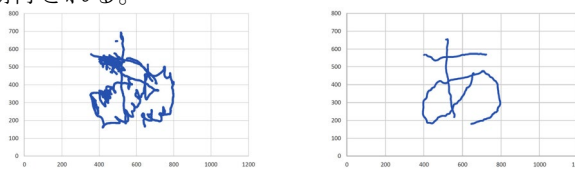


図 10. PDD 児の鏡映課題の例（左: 1 回目, 右: 4 回目）



図 11. 図 10 の課題遂行中の筆圧変化（左: 1 回目, 右: 4 回目）

(3) 身体イメージや視点取得といったより高次の認知機能を評価・訓練する課題

①身体センサを用いたサッカーゲーム (Kinect サッカー)

発達障害児における協調運動の障害は、書字のような微細な運動だけでなく、全身を使った運動にもみられる。自閉スペクトラム症児において脳の視覚-運動系に関わるミラーシステムの異常が報告されていることから、発達障害児においては、外から見た他者の身体イメージを自分の身体の動きと関連づけて認知することが難しいのかもしれない。Microsoft 社の Kinect センサのような身体センサを使えば、身体イメージの評価・訓練ができる可能性があることから、筆

者は先の科研費研究（16K04439）において、センサでとらえた自己の身体イメージを使って風船にさわって遊ぶ Kinect 風船割りというゲームを開発した。本研究では、そのプログラムのデータ記録機能を改善して公開するとともに、自分がアニメキャラになって遊ぶゲームを開発した。そのひとつである Kinect サッカー（図 12）では、自分がゴールキーパーになって、飛んでくるボールがゴールに入らないように防ぐゲームとなっている。



図 12. サッカーゲーム

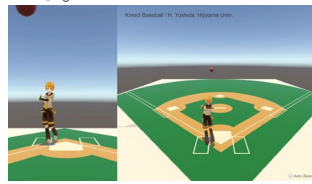


図 13. 野球ゲーム

②身体センサを用いた野球ゲーム（Kinect ベースボール）

Kinect ベースボール（図 13）は、アニメキャラになってボールを打って遊ぶゲームである。

③VR 内でのアバター操作を用いた身体イメージ評価プログラム（BodyImage VR）

VR を使えば、手や頭部の位置の変化を詳細に記録・分析することができる。そこで、身体イメージが共感性のような高次の心理機能と関連をもつかを調べるために、半透明のロボットをアバターとして、自分がロボットになる自己視点（図 14）、ロボットを背後から観察して操作する背面視点（図 15）、ロボットと対面して操作する対面視点（図 16）のそれぞれの条件において、左右の手の同側同士が対応した非交差条件と左右の手の逆側が対応した交差条件を組み合わせ、VR 空間内に提示される標的にロボットの手で触れる課題を行った。実験の結果、非交差条件よりも交差条件で課題は困難であったが、その困難の程度は自己視点でもっとも大きく、背面視点、対面視点となるにつれて影響が少なくなることがわかった。しかしその一方で、質問紙で測定した情動的共感性の高い参加者は、より容易なはずの対面視点や背面視点において、左右の手の対応が交差することによって操作に困難をきたすことがわかった。このことは、情動的共感性の高い者が、離れたところにある身体像に対しても、自己の身体とのつながりをより強固にもっている証拠と考えられた。このように、共感性というような、高次で人間的な心的特性にも身体イメージが関連することがわかったことから、発達障害児の身体イメージと社会的認知機能との関連について、さらに研究を行う必要があると考えられた。

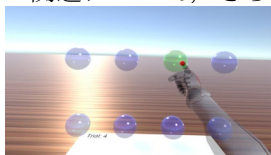


図 14. 自己視点

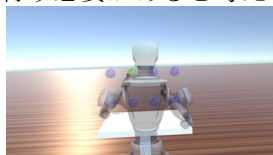


図 15. 背面視点

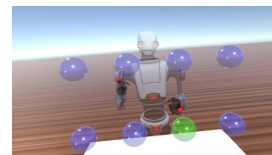


図 16. 対面視点

(4) 他者の視線や表情の認知といった社会的な認知機能を評価・訓練する課題

①リアルタイム CG によるロボット（SoftRobot）

本研究では、VR 環境で提示可能なリアルタイム CG によるロボット（図 17）の開発も行った。視線や表情などの社会的刺激は、目の前に存在する 3 次元対象である人の顔から動的に発せられる情報であるが、このような情報に対する認知機能評価は、従来、2 次元の静止画である写真を用いて行われることが多かった。現実の人間を完全に制御することはできないが、ロボットであればそれが可能となる。また、CG であれば細かな視線や表情筋の動作の緻密なコントロールが可能になる。本研究の期間内にはまだ実用段階には達していないが、大学生を対象とした実験によって、ロボットの視線に対してそれが自分を見ているととらえるかどうかを測定することで、自己境界を描き出す研究（図 18）や、ロボットの表情に対する認知に関する研究（図 19）を行っているところである。このほかに本研究で行った実験では、VR 空間において提示されるこのロボットに対してパーソナルスペースが存在することもわかっており、実際の人間に代わる社会的刺激として活用できる可能性は大きいと考えている。



図 17. ロボット

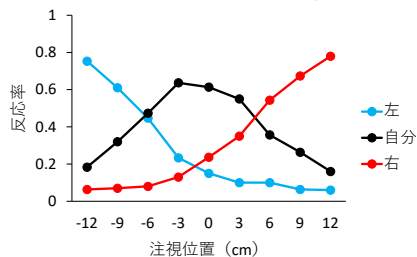


図 18. 視線判断結果

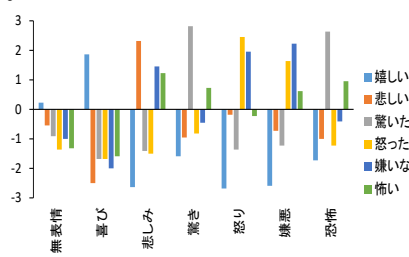


図 19. 表情判断結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 吉田 弘司・谷山 侑弥・真宇根 凌太
2. 発表標題 他者と自己の身体イメージ対応づけの特性について
3. 学会等名 中国四国心理学会第76回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉田 弘司・長岡 彩香・吉田 りな
2. 発表標題 バーチャルリアリティ空間におけるソーシャルディスタンス
3. 学会等名 日本心理学会第84回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉田 弘司・桑原 加奈・大畑 美紗
2. 発表標題 バーチャルリアリティ空間におけるロボットを用いた視線知覚
3. 学会等名 日本心理学会第83回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田 弘司・桑原 加奈・大畑 美紗
2. 発表標題 バーチャルリアリティ空間におけるロボットを用いた視線知覚（2） 視線に対する感受性と個人特性との関連
3. 学会等名 中国四国心理学会第75回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福田 龍見・佐藤 優聖・畑山 莉菜・山路 真琴・吉田 弘司
2. 発表標題 重度障害児の文字・言葉学習における視線を用いた発達支援
3. 学会等名 日本心理学会第83回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田 弘司
2. 発表標題 認知リハビリテーションから見る高次脳機能障害支援の拡大と深化：ICTを利用した認知リハビリテーションの可能性
3. 学会等名 日本心理学会第85回大会（企画シンポジウム）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田 弘司・新田 芙美・堀口 智佳
2. 発表標題 ダーウインの“相反の原理”はヒト表情にもあてはまるか？
3. 学会等名 日本心理学会第85回大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 柴崎 光世・橋本 優花里(編)	4. 発行年 2021年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 160
3. 書名 手を動かしながら学ぶ神経心理学	

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究において開発したプログラムの公開
 トレイルメイキングテスト2 (TMT02) : Unity (視線対応) 版
<https://maruhi.heteml.net/programs/tmt02/tmt02.html>
 もぐらたたきゲーム ver.3 (MogGame03) 視線対応版
<https://maruhi.heteml.net/programs/MogGame03/MogGame03.html>
 視線によるコミュニケーションボード (eTalk)
<https://maruhi.heteml.net/programs/eTalk/eTalk.html>
 Kinectサッカー
<https://maruhi.heteml.net/programs/kinectsoccer/kinectsoccer.html>
 風船割りゲーム (BodyImage2)
<https://maruhi.heteml.net/programs/bodyimage2/bodyimage2.html>
 アバターを使ったVR実験プログラム
<https://maruhi.heteml.net/programs/bodyimagevr2020/bodyimagevr2020.html>
 ロボット (デジタルヒューマン)
<https://maruhi.heteml.net/programs/softrobot/softrobot.html>

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

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