

令和 4 年 6 月 12 日現在

機関番号：22101

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K17787

研究課題名（和文）シミュレーションを用いた野球の打撃パフォーマンスを高めるスウィング動作の解明

研究課題名（英文）Investigation of swing motion for improvement of batting performance in baseball using computer simulation

研究代表者

阿江 数通 (Ae, Kazumichi)

茨城県立医療大学・保健医療学部・特任助手

研究者番号：30781538

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、野球打撃において標準動作モデルを用いた関節角度入力によるシミュレーションモデルを構築して、最適なスウィング動作を明らかにした。ティー打撃における標準動作モデル（23名）を用いて10セグメントからなるAngle-driven上半身モデルの構築し、最適化計算において関節角加速度の値・タイミングの変化、タイミングのみの変化をさせて最適な動作を探索した。その結果、上半身の動作における値・タイミングの変化ではバット・ヘッドスピードが40 m/s、タイミングのみの変化では39.2 m/sとなった。バット・ヘッドスピードの増加には、主にバレル側上肢の動作の変化が寄与することが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究における上半身の動作を変化させることによってバット・ヘッドスピードが増加したという結果は、具体的な理論値を評価できるシミュレーション分析の有用性を改めて示したと考えられる。打撃パフォーマンスを向上させるための力学的・理論的な知見を具体的に提示できたことは、本研究の大きな成果の一つである。加えて、野球の打撃という複雑なスポーツ動作に対して、コンピューターシミュレーションを実施できたことは、野球打撃以外のスポーツ動作におけるパフォーマンス向上に関する知見の獲得にも大いに有効となるだろう。

研究成果の概要（英文）：The objectives of this study were to 1) develop a simulation model of baseball batting utilising the standard motion and 2) explore optimal motions of the upper body to increase the bat-head speed. A ten-segment angle-driven simulation model consisting of a bat and upper body was driven using with the coordinate data of the standard motion from twenty-three male collegiate baseball players who performed tee batting. Two performance optimisations were conducted to increase the peak bat-head speed by changing values and timings (OPT1) or timing alone (OPT2) of the upper joint angular acceleration time history data. In performance optimisations, the bat-head speeds increase from 35.6 m/s (measured data) to 40.0 m/s (OPT1) and 39.2 m/s (OPT2), respectively. The increases of the bat-head speed were achieved through changes of the barrel-side upper limb movements considerably.

研究分野：スポーツバイオメカニクス

キーワード：野球打撃 シミュレーション 最適化計算 パフォーマンス改善

1. 研究開始当初の背景

多くのスポーツ動作において、運動課題を達成するためにはその競技の運動特性を考慮した上で合理的な動作や効率の良い動作を行うことが求められる。複雑なスポーツ動作の一つとされている野球の打撃動作では、打具であるバットをできる限り大きく加速させる必要があり、巧みにバットを加速できるかが打撃パフォーマンスの決定に大きく影響を及ぼすことになる。したがって、合理的な良い動作を明らかでできることは、打撃パフォーマンスの向上に加えて、指導やコーチングに関する有用な知見の獲得に寄与できると考えられる。

バイオメカニクス分野において、コンピューターシミュレーション手法は、仮説検証や動作改善などを具体的に提示できる有効な手段の一つである。しかし、関節トルク入力による従来手法では、多くの運動自由度を有する複雑な動作の場合には、動作自体が再現できないことや、膨大な計算コストが必要になるという問題点がある。したがって、関節トルク入力の代わりに動作データとなる関節角度を入力値 (Angle-driven モデル) とすることによって、野球の打撃動作に対してもシミュレーションが可能となり、打撃パフォーマンスの向上させるための最適な動作を明らかにすることができると考えられる。

加えて、Ae et al. (2007) が提案している標準動作モデル (※平均動作) を本シミュレーション手法に適用する。これにより従来のシミュレーション手法では、特定の対象者のみに関する知見しか獲得できなかったのに対して、特定の対象者に留まらず、多くの対象者に対しても適応可能な知見の獲得、すなわち一般的な動作パターンを導き出すことができると考えられる。

2. 研究の目的

上記の研究背景から、本研究では野球打撃において標準動作モデルを用いた関節角度入力によるコンピューターシミュレーションモデルを構築して、高い打撃パフォーマンスの発揮を可能とする最適なスウィング動作を明らかにすることを目的とした。具体的には、打撃パフォーマンスをバット・ヘッドスピードと定義して、最適化計算において、関節角度における①値・タイミングの変化、および②タイミングのみの変化をさせて、バット・ヘッドスピードを増加させるための最適な動作を探索した。

3. 研究の方法

(1) 被験者

硬式野球部員 (首都大学野球リーグ1部所属するチームのレギュラー) の23名を被験者とした (年齢: 19.8 ± 1.3 歳, 身長: 1.74 ± 0.04 m, 体重: 74.1 ± 6.2 kg, 競技歴: 12.0 ± 2.1 年, 右打: 11名, 左打: 12名)。各被験者には予め実験の目的および試技内容の説明を行い、協力への同意を得てから実験を行った。

(2) データ収集および処理

被験者は、ボールコースを真中に設定されたティー打撃を行った。その際、バットおよび身体に複数の反射マーカを貼付し、光学式3次元自動動作分析装置 (VICON-MX, 250 Hz) を用いて各マーカを3次元座標を計測した。その後、ラベリング作業を行って取得したバットおよび身体各座標データを用いて、バイオメカニクスのパラメーターであるバットや身体各関節の角度といったキネマティクスに加えて、関節トルクといったキネティクスデータを算出した。

(3) シミュレーションモデル

23名の被験者からなる標準動作モデルを作成し (①)、同モデルを用いた角度入力によるシミュレーションモデル (②) を構築した。

① 標準動作モデル

まず取得したバットおよび身体各部分の3次元座標から各被験者の身体重心を算出する。つぎに身体重心を基準点として、被験者の身長および動作局面の経過時間によって3次元座標を規格化する。最後に3次元座標データを平均する。なお本研究では、手部点の座標値が他に比べて構築精度が低かったことから、再構築された前腕部と平均手関節角度から座標値を再構築した (前腕部に対する相対値)。

② シミュレーションモデル (Angle-

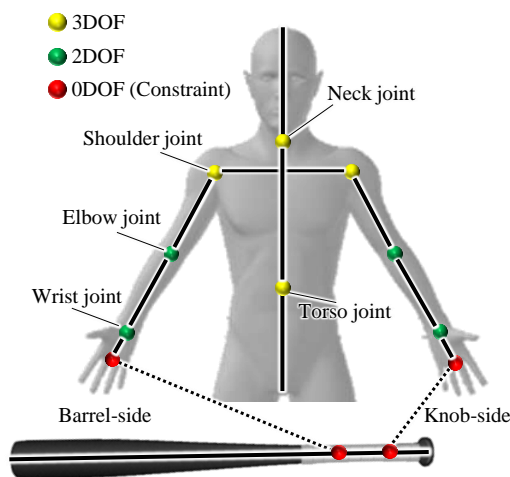


図1 シミュレーションモデル (バットおよび上半身)

driven)

まず作成した標準動作モデルにおいて、剛体リンクモデル化したバットおよび身体各セグメントから、オイラー角によって関節角度を算出する。つぎに関節角度を入力値として基準点、すなわち計測値をそのまま利用する点から各セグメントの長さ情報をもとに、各セグメントの姿勢を再算出する（左右上肢・上腕からなる上半身モデル、図1）。なお、シミュレーションモデルにおける動作時間については、全被験者の平均時間である0.202秒を用いた。

(4) 最適化計算

打撃パフォーマンス（＝バット・ヘッドスピードの最大値）の向上に寄与する最適な動作を探索するために、関節角度における①値・タイミングの変化、および②タイミングのみの変化の2パターンを実施した。加えて、①および②のパフォーマンスが最適な動作探索の際に、得られた動作が現実的な動作となることを保証するために、左右上肢の関節トルクを評価した。打撃動作における左右上肢の関節トルクを算出するためには、バット作用力およびモーメントを算出する必要がある。このため、本研究ではバットの座標値および慣性パラメーターから算出ができるバットの合力およびモーメントを算出し、これらの情報をもとにして左右各手に力およびモーメントを分配するための最適化計算も実施した（閉ループ問題の解決）。

本研究では、変化させた値から上半身の動作を再構築する際の精度を考慮して、関節角加速の値を変化させて、同角加速度を2階積分することによって関節角度を算出してその値を入力した。具体的には、図2および3に示すように、値・タイミング、あるいはタイミングのみを変化させた関節角加速度をスプライン関数によって補間して新たな時系列データを作成した。

スウィング開始からボールインパクトまでの変曲点（図2および3の白点）を、焼きなまし法（SA: Simulated Annealing）を用いて、以下の2つの目的関数を設定した。

① パフォーマンス最適化（値・タイミング）

$$F = |40 - \|V_{\text{bat-head}}\|| + 0.04 \times \text{RMSE}_1 + 0.12 \times \text{RMSE}_2 \quad \dots (1)$$

ここで、 $V_{\text{bat-head}}$ は計算されたバット・ヘッドスピード最大値、 RMSE_1 はバット作用力の時系列におけるRMSE（二乗平均平方根誤差）、 RMSE_2 はバット作用モーメントの時系列におけるRMSEである。なお、40は計測値のバット・ヘッドスピード（35.6 m/s）からおよそ10%増加させた値である。

② パフォーマンス最適化（タイミング）（図3）

$$F = \|V_{\text{bat-head}}\| + 100 \times (0.03 - F_1) - 10 \times F_2 \quad \dots (2)$$

ここで、 F_1 はインパクト時点における計測値と計算値のインパクト位置の誤差（m）、 F_2 はインパクト時点における計測値と計算値のバット・ヘッド速度ベクトルのなす角の誤差である。

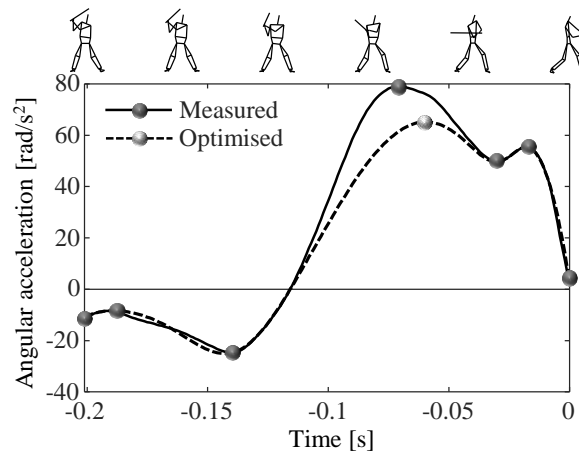


図2 最適化計算における時系列データの値およびタイミングの変化（例）

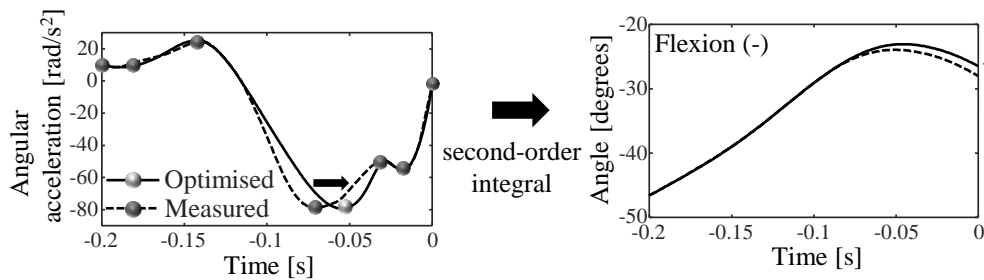


図3 最適化計算における時系列データのタイミングのみの変化（例）

構築した Angle-driven シミュレーションモデルの精度について、バット姿勢角、上半身の関節角（17 自由度）において、実測データとシミュレーションモデルとの間の RMSE はそれぞれ 0.98° および 0.31° であり、バットおよび上半身の姿勢は非常に高い精度によって構築できていたと考えられる。

パフォーマンスの最適化（値・タイミングの変化）について、バット・ヘッドスピードはおよそ 12% 増加の 40 m/s となり、設定した値を達成した。このヘッド・スピードを達成するためには、主にインパクト付近においてバット・ヘッド側（以下、バレル側）の肩関節外転、グリップエンド側（以下、ノブ側）の肘関節屈曲伸展および体幹の右側屈動作が寄与していることが明らかとなった（図 4 および 5）。

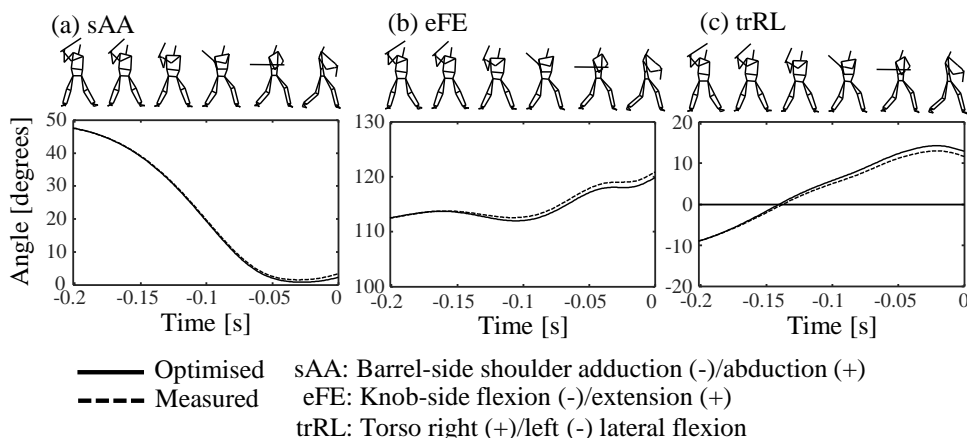


図 4 関節角度における値およびタイミングの時系列変化（a：バレル側肩関節内外転，b：ノブ側肘関節屈曲伸展，c：体幹関節左右側屈）

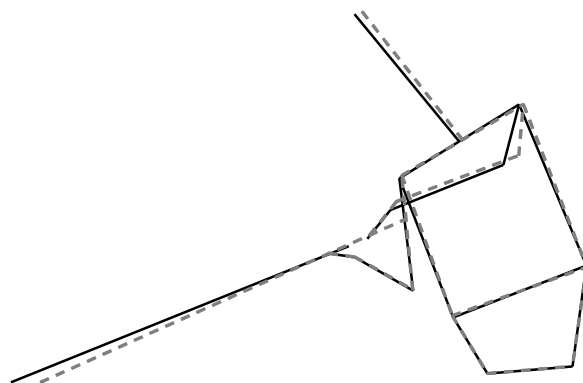


図 5 インパクト時点における前方からみたスティックピクチャー（実線：計算値，点線：計測値）

つぎにパフォーマンス最適化（タイミングのみの変化）については、バット・ヘッドスピードはおよそ 10% 増加の 39.2 m/s となった。このヘッド・スピードの増加には、主にバレル側の肘関節回外および手関節撓屈，ならびに体幹の右側屈のより早いタイミングによる変化が、またバレル側の肩関節外転のより遅いタイミングによる変化が寄与することが明らかとなった（図 6 および 7）。

以上のことから、2 つの最適な打撃パフォーマンスの共通点として、体幹の右屈動作の変化に加えて、バレル側上肢の動作の変化がバット・ヘッドスピードを増加させることに大きく寄与することが示された。野球打撃に関する先行研究では、バット・ヘッドスピードの生成に対しては、グリップエンド側上肢が大きく寄与することが報告されている。本研究と先行研究との結果が異なった理由については、既に打撃技術が高いと予想される本研究の被験者がさらにバット・ヘッドスピードを増加させようとした場合には、ノブ側上肢よりもバレル側上肢の動作の違いによる影響が大きくなると思われる。また、野球打撃では上肢とバットは力学的な閉ループ系を構成しているため、左右上肢は連動していることその要因と推察もされる。

パフォーマンス最適化におけるタイミングのみの変化の効果については、野球の打撃動作のみに留まらず、様々なスポーツ動作においてパフォーマンスの向上を目指して動作改善を行う際には、動作のタイミングの変化を意識的に調整させることが試みられる。このため、本研究における上半身の動作タイミングのみを変化させることによってバット・ヘッドスピードが増加したという結果は、バット・ヘッドスピードの増加に対して遠心力の効果が大きいことを改めて

示すこととなった。また、これらの結果は、具体的な理論値を評価できるシミュレーション分析の有用性を合わせて示すものであるだろう。

最後に、上記に記述したように打撃パフォーマンスを向上させるための力学的、そして理論的な知見を具体的に提示できたことは、本研究の大きな成果の一つとなるだろう。加えて、野球の打撃という複雑なスポーツ動作に対して、コンピューターシミュレーションを実施できたこと、すなわち本シミュレーション手法を確立できたことは、野球打撃以外のスポーツ動作におけるパフォーマンス向上に関する知見の獲得にも大いに有効となるだろう。

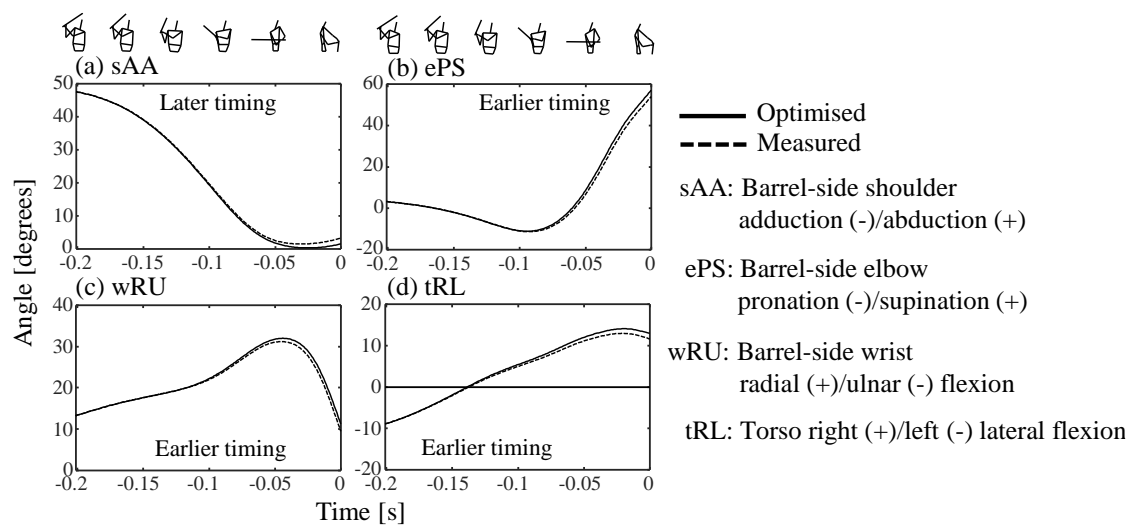


図6 関節角度におけるタイミングの時系列変化 (a: バレル側肩関節内外転, b: バレル側肘関節回内外 c: バレル側手関節撓尺屈, d: 体幹関節左右側屈)

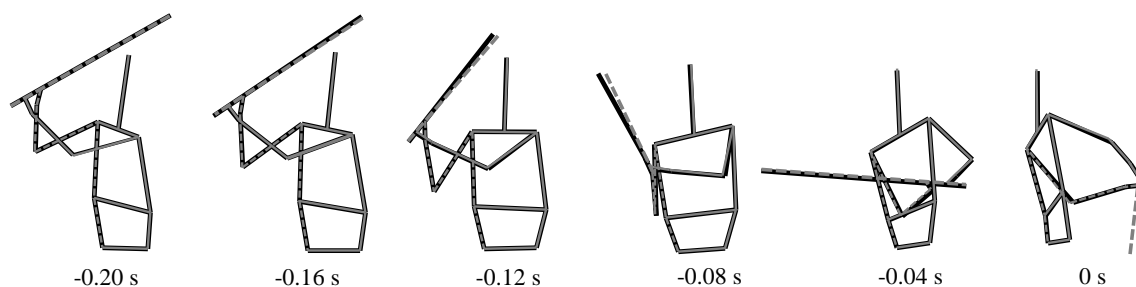


図7 インパクト時点における前方からみたスティックピクチャー (黒線: 計算値, 灰色線: 計測値, 実線: バレル側)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kazumichi Ae, Dave Burke, Sekiya Koike, Takashi Kawamura	4. 巻 In press
2. 論文標題 Optimized simulation of upper body timing on the production of bat-Head speed in baseball batting	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Applied Biomechanics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kazumichi Ae, Dave Burke, Sekiya Koike, Takashi Kawamura	4. 巻 In press
2. 論文標題 Optimisation of the upper body motion for production of the bat-head speed in baseball batting	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sports Biomechanics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 阿江数通, 勝亦陽一	4. 巻 10月号
2. 論文標題 Bridge the Gap エビデンスに基づく野球の実践～高低に対応するためのバットと身体の動き～	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ベースボール・クリニック	6. 最初と最後の頁 46-50
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kazumichi Ae, Sekiya Koike, Norihisa Fujii, Michiyoshi Ae, Takashi Kawamura	4. 巻 61
2. 論文標題 A comparison of kinetics in the lower limbs between baseball tee and pitched ball batting	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Human Movement Science	6. 最初と最後の頁 126-134
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kazumichi Ae, Sekiya Koike, Takashi Kawamura	4. 巻 19(4)
2. 論文標題 Kinetic function of the lower limbs during baseball tee-batting motion at different hitting-point heights	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sports Biomechanics	6. 最初と最後の頁 452-466
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 川村卓, 阿江数通, 小池関也	4. 巻 64(1)
2. 論文標題 野球打撃における上肢のエネルギーフロー: バット・ヘッドスピードの上位群と下位群のスイング局面の比較	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 体育学研究	6. 最初と最後の頁 37-48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

1. 著者名 阿江数通, 小池関也, 川村卓, 中島亮一	4. 巻 64(1)
2. 論文標題 野球打撃における身体の回転運動に対する下肢のキネマティクスについて: 地面反力によるモーメントの上位群と下位群の比較	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 体育学研究	6. 最初と最後の頁 135-149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

〔学会発表〕 計3件(うち招待講演 0件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 阿江数通
2. 発表標題 野球打撃における左右脚の地面反力の推定
3. 学会等名 第26回日本バイオメカニクス学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 阿江数通, 小池関也
2. 発表標題 野球打撃における関節角度入力によるシミュレーション分析 - 上肢キネティクスの変化について -
3. 学会等名 第70回日本体育学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 阿江数通, 小池関也
2. 発表標題 標準動作モデルを用いたキネマティクス入力によるシミュレーションモデルの構築 - 野球の打撃動作への適応 -
3. 学会等名 第25回日本バイオメカニクス学会大会
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
---------------------------	-----------------------	----

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