

令和元年6月6日現在

機関番号：25403

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K16026

研究課題名（和文）運動情報の抽出による新たな歩容解析

研究課題名（英文）Gait Analysis by Extracting Motion Information

研究代表者

満上 育久（Mitsugami, Ikuhisa）

広島市立大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：00467458

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、歩行時の運動特徴と認知機能や注視方向の関係を分析し、歩行の様子からこれらを推定する技術を提案した。認知機能推定においては、計算問題などの認知課題と歩行などの運動課題を同時に遂行するデュアルタスクが認知症高齢者のリハビリテーションに活用されていることに着目し、デュアルタスクの様子から認知機能を推定する技術を開発した。注視方向推定については、自然な注視行動の中で無意識的に行われている頭部と眼球の協調運動を機械学習によりモデル化しておくことで、頭部運動のみから注視方向を推定する技術を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、主に個人認証の目的で着目されている歩容解析技術だが、歩容認証で用いられる特徴量は人物の身体形状と運動情報が分離されていないため、運動に生じる変化を分析するには不向きだった。本研究は、歩行観測から運動情報を抽出し、それと人の認知機能や注視方向との関係を分析するためにデータセットを構築し、それを用いて分析を行った。実際の人物から収集したこのデータセットは学術的価値が高く、またこのデータセットの分析によって実現された認知機能推定技術や注視方向推定技術もそれぞれの応用場面でその有用性が認められるものである。特に認知機能推定は実際の高齢者施設で現在も活用されている。

研究成果の概要（英文）：In this project, I focused on motion information in walking behavior, analyzed if it is related to cognitive function and gaze direction, and proposed methods for estimating them from observation of walking. For realizing the cognitive function estimation, I used "dual-task" paradigm that means performing cognitive and physical tasks simultaneously, which is applied for rehabilitation of dementia, and developed a method that enables cognitive function estimation from observation of dual-task. As for the gazing direction estimation, I constructed a method that models conscious eye-head coordination using machine learning techniques, and estimates the gaze direction only from the head motion measured from surveillance cameras.

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：歩容解析 認知機能 注視方向 データセット構築

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

人の歩き方(歩容)には、その人ごとの癖が現れるため人ごとに異なることが知られている。このことに着目し、歩容を1つのバイオメトリクスとして捉えて、個人認証に利用する(歩容認証)という試みが既によく行われている。歩容認証の手法には、大別すると、モデルベースとシルエットベースの2つのアプローチが存在するが、その実用性の高さからシルエットベースのアプローチがとられることが多い。シルエットベースの手法にもさまざまなものがあるが、計算が容易でかつ認証性能が高いことから最もよく利用されるのが、Hanらが提案したGait Energy Image (GEI)である。これは、1周期分の歩行者のシルエット画像列を重心で位置合わせした上で得た平均シルエット画像を特徴量とする方法である。人の形が表現されつつ、運動のある手足についてはその運動範囲も表現された画像となっているため、身体形状と運動情報を含んだ歩容特徴であると一般に考えられている。しかし、これは身体形状情報と運動情報が分離不可能な形で混ざった表現であるため、個人認証の際、例えば同じ人物でも服装が変化した場合や太る・痩せるなどの体型変化があった場合には、認証に失敗してしまう。

一方、近年この歩容解析技術を、個人認証だけではなく、エンターテインメント・医療・福祉等、他のアプリケーションへ利用しようという試みが見られる。例えば、パーキンソン病や正常圧水頭症の患者あるいは認知症高齢者は、歩行に変化が見られることは一般に知られており、病気の程度と歩行の変化の対応を得ることができれば、歩行を観測するだけで病気の進行度合いを推定することが可能となり、診断が簡便になるだけでなく医者による評価のばらつきを軽減できるなどの利点が生まれると期待される。このような目的を考えた場合、異なる人物間の運動情報の類似性を評価する必要があるため、身体形状に影響されない純粋な運動情報の抽出が必要となる。しかし、既存の歩容特徴では運動情報が身体形状情報に混ざりこんだ形でしか含まれていないため、これらの用途には有効ではない。

2. 研究の目的

本研究では、個人認証以外を目的とした歩容解析として、身体形状情報に影響されない運動情報に着目した研究を行う。具体的には、

- ① 認知課題と同時遂行される歩行(デュアルタスク)による高齢者認知機能推定
 - ② デュアルタスクによる子供の成長度判定
 - ③ 歩行時の頭部方向からその人物の注視方向を推定する技術開発
- の3点について研究を行った。

3. 研究の方法

上述の3つの研究課題について、以下にその研究方法を述べる。なお、いずれの課題でも、本研究代表者が参画していた戦略的創造研究推進事業(CREST)「歩容意図行動モデルに基づいた人物行動解析と心を写す情報環境の構築」(研究代表:八木康史, 2010年~2017年, 以下「CRESTプロジェクト」)の一環で収集したデータを活用した。

①高齢者の認知機能推定

認知機能を評価する方法には問診や知能検査テストなどが挙げられる。しかし、これらの手法は評価に多くの時間を要する点で簡便といえない。そこで近年、日常でよく扱う行動を計測することで認知機能を評価する試みが盛んに取り組みされている。その中でも、行動と認知の課題を同時に被験者へ課すデュアルタスクによる評価は、認知課題を単独で課した場合に比べ低度の認知症も捉えやすく、既に高齢者施設など臨床現場で導入されている。ただし、これらの臨床場面では、両タスクの様子を医師や臨床心理士が主観的に観察するのみであることが多く、診断を行う人により結果がばらつくことがあった。我々は、CRESTプロジェクトの一環で大阪府下に3つの高齢者施設を持つ社会福祉法人みささぎ会の協力を得て、このデュアルタスクの観測から得られる客観的な特徴から認知機能を推定することを目指し、そのデータ収集および分析を行った。図1は、ある高齢者が足踏み(運動タスク)をしながら「『か』からはじめる言葉を挙げる」というタスク(認知タスク)を行った際の関節座標値の推移を示している。手首や足首の座標値の変位量に注目すると腕振りや足上げの運動の大きさや速さを捉えることができ、また、頭や肩の座標値の変位量から上半身のぶれの大きさを測ることができる。時間やタスクの内容によって運動が変化の様子を観察できることから、関節座標値の時系列データを解析することによって、運動タスクの遂行に対する認知タスクの影響、ひいては認知機能の推定に有効な特徴を抽出できる。運動タスクを計測することで得られる関節座標値の時系列データは非正常性や非線形性を示すことから、時間周波数解析が有効である。特に、ヒルベルト・ホワン変換と呼ばれる解析手法を用いた。従来の時間周波数解析手法である短時間フーリエ変換やウェーブレット変換は周波数分解能と時間分解能がトレードオフの関係にあるが、ヒルベルト・ホワン変換にはそういったことがない。また、ウェーブレット変換などとは異なり、基底関数を用いずに信号を分解するデータ駆動型の手法であることから、運動の個人差に対応できると考えられる。関節座標値の時系列データそれぞれについてヒルベルト・ホワン変換を

適用し、得られるスペクトルを任意の解像度に量子化したものを直線的に連結して、運動に関する特徴ベクトルとした。認知症の判定には、シングルタスクとデュアルタスクにおけるこれら特徴ベクトルの差分ベクトルを用いた。図 18 にスペクトルの例を示す。

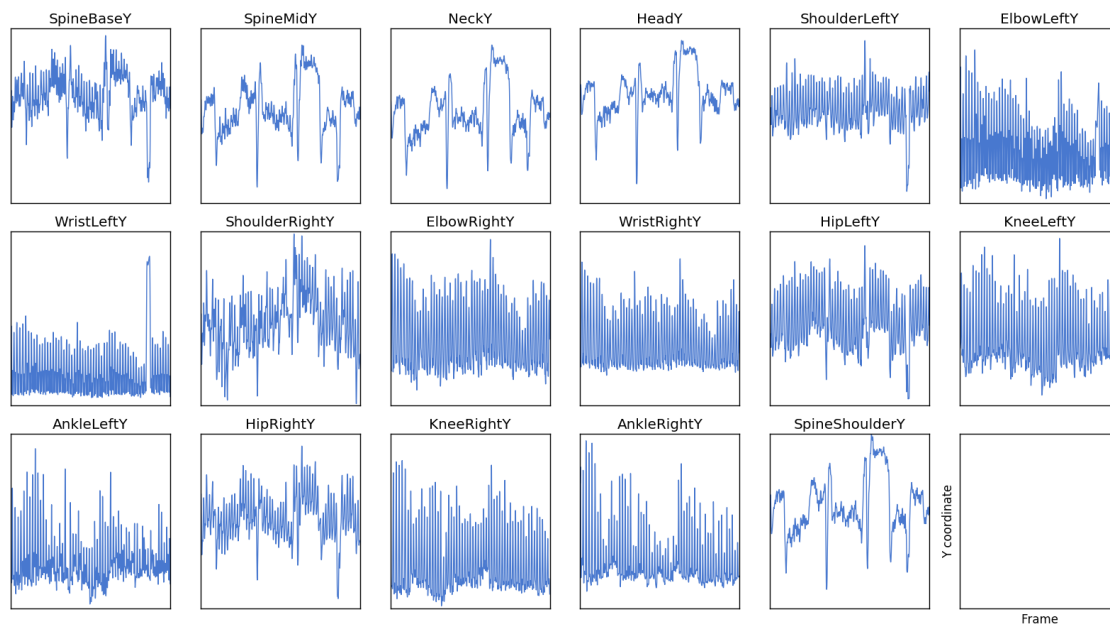


図 1 デュアルタスク実施中の各関節位置の動き

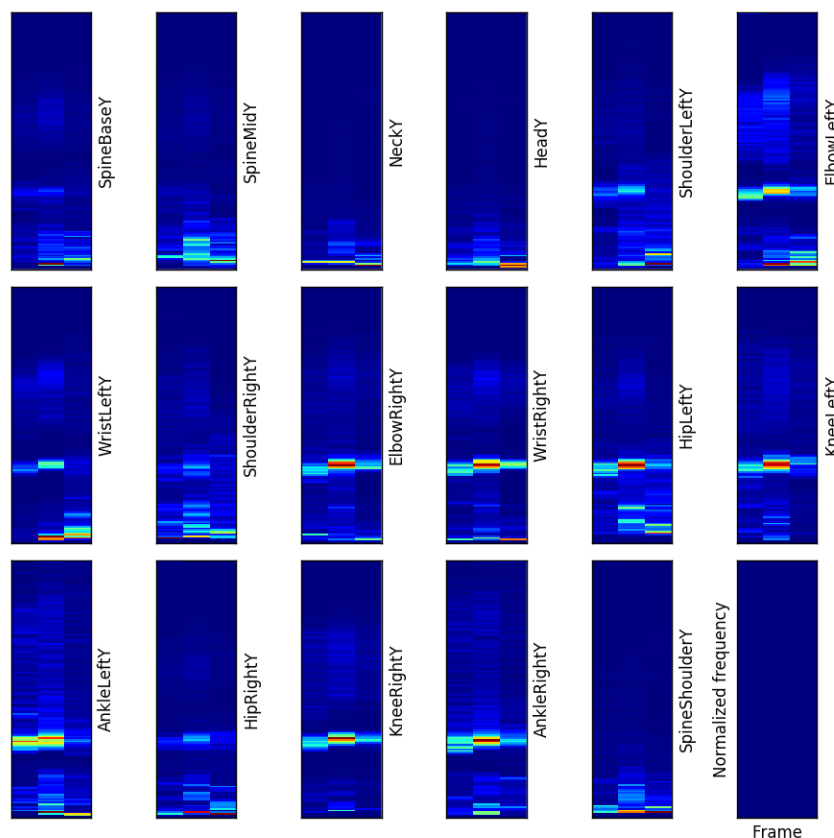


図 2 関節位置の時系列データをヒルベルト・ホワン変換して得られたスペクトル

認知症テスト MMSE のスコアによって被験者を 2 つのグループに分け、スコアの低いグループを認知症の疑いあり（正例）とし、運動に関する特徴による識別を行った。ここでは、計測エラーや不規則な行動を含まない被験者 103 名を対象として、26 点未満（正例 22 人）と 26 点以上（負例 81 人）のグループに分けた。識別アルゴリズムには linear SVM (support vector machine) を使い、交差検証により性能評価を行った。

②子供の成長度判定

CREST プロジェクトの一環で、東京都の日本科学未来館でデュアルタスク体験システムを①年間展示し、全年齢層の大規模データを収集した。本来の目的はそこに含まれる高齢者のデータの分析だったが、施設の性質上、小中学生が多数を占めることから、この年代のデュアルタスクに着目し、その傾向を探った。足踏み運動および認知タスクに関する様々な特徴量の年齢による違いを調査した結果の一部（平均回答時間と正答率）を図 3 に示す。これらのグラフから、20 歳未満すなわち未成年の年齢層において、年齢の上昇に伴い、平均回答時間が短くなり、正答率が上昇する様子が確認できる。一方、高齢者においては年齢の増加にともなって平均回答時間が長くなるとともに、正答率が低下することが確認できるが、未成年層における傾向は、高齢者層における傾向よりもはっきりと表れていることがここから確認できる。これらの結果は、子供の知能発達度をデュアルタスクの実施状況を捉えることによって推定可能であることを示唆していると考えられる。この知見を踏まえ、これらの特徴量から機械学習により子供の年齢推定が可能かを調査した。なお、機械学習手法には Gradient Boosting Regression を採用した。

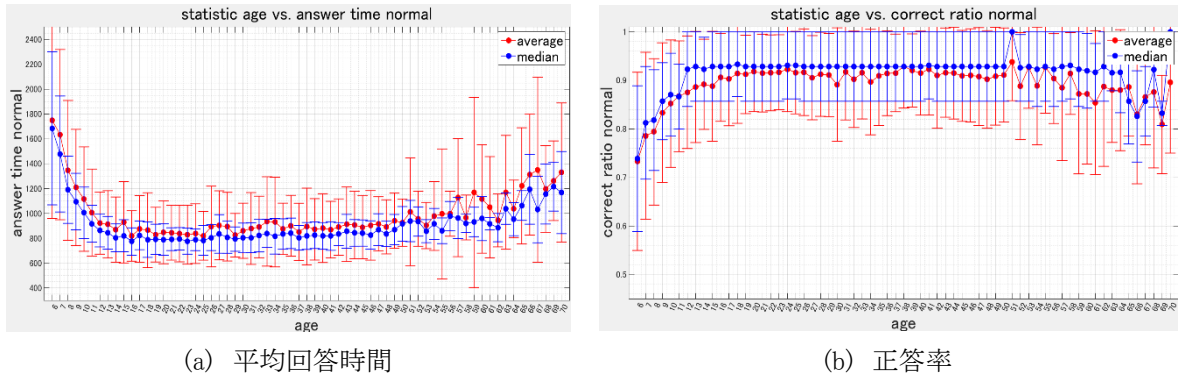


図 3 デュアルタスクにおける特徴量の年齢傾向

③頭部方向からの注視推定

人は興味のあるものに自然と眼を向けるため、注視情報は人の意図・興味・関心を推定する手がかりとなる。この注視情報が、既に多数設置されている防犯カメラで撮影される俯瞰映像から得られれば、非常に有益である。画像・映像から注視方向を推定する研究は多数行われており、最近では、OpenFace のように簡単に利用できるツールなどが存在するが、いずれの手法も目領域のパターンが注視方向に対して識別や回帰ができる程度に高解像度・高品質である必要があり、本研究で想定している防犯カメラ映像のようなそもそも目領域画像がまともに得られないような状況には適用できない。また、映像中で後ろ向きに写っている人物やサングラスをかけている人物など、そもそも目が観測できない状況においては、これらの既存手法は適用不可能である。この問題への解決策として、本研究では、直接目を観測せず頭部の動きから注視を推定することで俯瞰映像からでも注視推定ができる手法を提案する。このようなアプローチを実現するために着目したのが、人間生理学の分野で明らかにされている頭部・眼球の強調運動である。自然な注視行動においては眼球と頭部は互いに独立には運動せず、そこに静的・動的な関係性が存在しているが知られており、この関係性を機械学習によりモデル化することで、頭部方向の観測のみから注視方向の推定を行う。俯瞰映像からの頭部方向推定には、顔向きラベル付きの顔画像データセット () を構築し、それを Convolutional Neural Network (CNN) で学習することで顔向き推定器を作り、顔向きの時系列から注視方向を推定するためのモデル化には Gradient Boosting Machine を用いた。



図 4 顔向きデータセット

4. 研究成果

①高齢者の認知機能推定

図 5 に ROC (受信者動作特性) 曲線を示す。デュアルタスクを用いた場合の Equal Error Rate が 0.25 となっており、これは他のシングルタスクでの識別性能に比べて良好な結果であり、デュアルタスク利用の有効性が確認された。また、この性能は、医療分野で用いられる「感度+特異度」で表現すると 1.52 となる。一般にパーキンソン病のスクリーニングに用いられる診断手法が 1.56 というスコアであることから、このデュアルタスクによる診断は早期認知障害のスクリーニング技術として実用的な性能を有することができる。

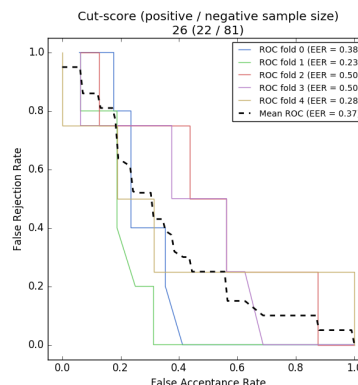


図 5 性能評価 (ROC 曲線)

②子供の成長度判定

デュアルタスクにおける認知タスク特徴(Cognitive)、運動タスク特徴(Kinematic)、身体形状情報(Anthropometric)を用いた場合、およびそれらをすべて用いた場合(Comprehensive)の年齢推定の平均絶対誤差を表 1 に示す。子供の年齢を推定するのに最も有効なのはやはり身体形状情報であることが確認された一方、それを一切用いずに各タスクの遂行の様子をみるだけでもある程度の年齢推定が可能であることが確認された。さらに、これと身体形状情報を組み合わせることで、身体形状情報だけよりも推定精度が向上することが確認された。

表 1 デュアルタスク観測における各特徴量を用いた年齢推定誤差

Aspects	Features	MAE[years]
Cognitive	Performance of mathematics responses	1.57
Kinematic	Performance of stepping movement	1.38
Anthropometric	Height, length of body parts and their ratios	0.89
Comprehensive	Concatenation of all aspects of features	0.84

③頭部方向からの注視推定

本研究で構築した顔向きデータセットを CNN で学習することで構築した顔向き推定器の平均絶対誤差を図 6 に示す。後頭部は顔器官が無くテクスチャー様な後頭部になるため、後方から撮影した場合にやや誤差が大きいのもの、ほぼ全域に渡って 5 度以下の誤差となった。一方、顔向きの時系列からの注視方向推定については、水平方向で 7.2 度、垂直方向で 9.2 度の誤差となった。これらは、顔向きを注視方向とみなした場合の誤差(顔向きと注視方向のずれ)である水平方向 10.7 度、垂直方向 10.4 度よりも小

撮影方向	MAE (度)
-15 度	4.63
45 度	3.45
105 度	4.73
165 度	6.87
-135 度	4.13
-75 度	3.41

さいことから、単純に顔が向いている方向を注視していると判断するよりも、提案手法により注視方向を推定するほうがより正しく注視方向を推定できることを示している。

図 6 顔向き推定器の誤差

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 10 件)

- [1] Kota Aoki, Trung Thanh Ngo, Ikuhisa Mitsugami, Fumio Okura, Masataka Niwa, Yasushi Makiyama, Yasushi Yagi, Hiroaki Kazui, “Early Detection of Lower MMSE Scores in Elderly Based on Dual-Task Gait,” IEEE Access, Vol.7, No.1, pp.40085-40094, 2019. [10.1109/ACCESS.2019.2906908]
- [2] Yui Shigeki, Fumio Okura, Ikuhisa Mitsugami, Yasushi Yagi, “Estimating 3D human shape under clothing from a single RGB image,” IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications, Vol.10, No.16, 2018. [DOI: 10.1186/s41074-018-0052-9]
- [3] Chengju Zhou, Ikuhisa Mitsugami, Fumio Okura, Kota Aoki, Yasushi Yagi, “Growth Assessment of School-age Children using Dualtask Observation,” ITE Transactions on Media Technology and Applications, Vol.6, No.4, pp.286-296, 2018. [DOI: 10.3169/mta.6.286]
- [4] Yui Shigeki, Fumio Okura, Ikuhisa Mitsugami, Kenichi Hayashi, Yasushi Yagi, “Directional Characteristics Evaluation of Appearance-Based Gait Recognition,” IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications, Springer, Vol.10, No.10, 2018. [DOI: 10.1186/s41074-018-0046-7]

- [5] Fumio Okura, Ikuhisa Mitsugami, Masataka Niwa, Kota Aoki, Chengju Zhou, Yasushi Yagi, “Automatic Collection of Dual-task Human Behavior for Analysis of Cognitive Function,” ITE Transactions on Media Technology and Applications, Vol.6, No.2, pp.138-150, 2018. [DOI: 10.3169/mta.6.138]
- [6] Hirotake Yamazoe, Hitoshi Habe, Ikuhisa Mitsugami, Yasushi Yagi, “Depth Error Correction for Projector-Camera Based Consumer Depth Camera,” Computational Visual Media, Springer, Vol.4, No.2, pp.103-111, 2018. [DOI: 10.1007/s41095-017-0103-7]
- [7] Hirotake Yamazoe, Ikuhisa Mitsugami, Tsukasa Okada, Tomio Echigo, Yasushi Yagi, “Immersive walking environment for analyzing gaze-gait relations,” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.22, No.3, pp.435-443, 2017. [DOI: 10.18974/tvrsj.22.3_435]
- [8] Hazem El-Alfy, Ikuhisa Mitsugami, Yasushi Yagi, “Gait Recognition Based on Normal Distance Maps,” IEEE Transactions on Cybernetics, Vol.48, No.5, pp.1526-1539, 2017. [DOI: 10.1109/TCYB.2017.2705799]
- [9] 波部斉, 橋本知典, 満上育久, 鷺見和彦, 八木康史, “人物のジェスチャーを加味した歩行者グループ検出,” 知能と情報 (日本知能情報フレンジイ学会誌), Vol.29, No.3, pp.605-610, 2017.
- [10] Takuya Ogawa, Hirotake Yamazoe, Ikuhisa Mitsugami, Yasushi Yagi, “Analysis of Gait Changes Caused by Simulated Left Knee Disorder,” EAI Endorsed Transactions on Creative Technologies, Vol.3, No.9, e1, 2016.

[学会発表] (計 37 件)

- [1] Chengju Zhou, Ikuhisa Mitsugami, Kota Aoki, Fumio Okura and Yasushi Yagi, “Age Estimation from Dual-Task Behavior for Comprehensive Growth Assessment of Children,” International Workshop on Frontiers of Computer Vision, 2018.
- [2] Ikuhisa Mitsugami, Yamato Okinaka, Yasushi Yagi, “Gaze Estimation Based on Eyeball-Head Dynamics,” International Workshop on Human Activity Analysis with Highly Diverse Cameras, 2017.
- [3] Yasushi Makihara, Takuhiro Kimura, Fumio Okura, Ikuhisa Mitsugami, Masataka Niwa, Chihiro Aoki, Atsuyuki Suzuki, Daigo Muramatsu, Yasushi Yagi, “Gait Collector: An Automatic Gait Data Collection System in Conjunction with an Experience-based Long-run Exhibition,” IAPR International Conference on Biometrics, 2016.
- [4] Hirotake Yamazoe, Takuya Ogawa, Ikuhisa Mitsugami, Yasushi Yagi, “Gait Analysis of Simulated Left Knee Disorder,” International Conference on Bio-inspired Information and Communications Technologies, 2015.

他, 国際 10 件, 国内 23 件.

[図書] (計 1 件)

- [1] Yasushi Yagi, Ikuhisa Mitsugami, Satoshi Shioiri, Hitoshi Habe, “Behavior Understanding Based on Intention-Gait Model,” Human-Harmonized Information Technology, Vol.2, Springer, ISBN:978-4-431-56533-8, 2017

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

本研究課題の成果を含む研究代表者のこれまでの成果は以下の Web ページに掲載している。
<http://www.sys.info.hiroshima-cu.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

無し

(2) 研究協力者

無し

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。