

令和 2 年 5 月 30 日現在

機関番号：37111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00422

研究課題名(和文) ミツバチライフログ解析システムの開発

研究課題名(英文) Development of Honeybee Life-log Analyzing System

研究代表者

高橋 伸弥 (TAKAHASHI, SHINYA)

福岡大学・工学部・准教授

研究者番号：40330899

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：観察用人工巣箱内のミツバチの行動を自動追跡することを目的として、画像処理によりミツバチ個体を検出する手法について検討した。目視による行動観察作業の手間を削減するために、まずは前処理により膨大な撮影データから観察対象となる尻振りダンスの時間帯と画像領域を自動的に切り出す手法を開発した。さらに、これまでの観察実験により大量の画像データが利用可能なことから、段階的な畳み込み自己符号化器を用いた教師なし学習を行い、ミツバチ画像の特徴モデルを学習し、この特徴モデルを用いて分類した大量のデータを用いて、ミツバチ領域検出モデル、ミツバチ追跡モデルの転移学習を行う方法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、ミツバチを含む受粉昆虫の数はヨーロッパや北米を中心に減少を続けており、人類の将来の食料供給を支える上で深刻な問題を引き起こしている。その原因は、ダニ、病原体、害虫駆除剤、農業振興によるミツバチの居住環境の変化(花の種類、数の激減)などが考えられる。本研究によるミツバチのライフログシステムを用いて、激減するミツバチの生息環境を保全するための有用な情報を提供できると考えている。また動物行動学の解析作業を効率化する上で、提案手法のような教師なし学習による対象物体検出アルゴリズムは様々な場面、対象で有用であるため、動物行動学研究をさらに発展させることができると考えている。

研究成果の概要(英文)：For a systematic and theoretical analysis of honeybee's communication, we have developed an automatic tracking algorithm of multiple honeybees using image processing and constructed an automatic recording system for long-term tracking of honeybee behaviors with Radio Frequency Identification (RFID) sensors and high-resolution camera modules.

In this research we developed the automatic detecting program for reducing visually work as a pre-processing at first.

Next, we attempt to detect the honeybee region based on a deep learning approach using deep auto-encoder and transfer learning. In the proposed method, high accurately classification of the honeybee images is achieved using the feature vectors obtained by the deep auto-encoder instead of the Haar-like features in the previous work without preparing enormous labeled data in advance.

Finally, we show the experimental results and confirm the proposed model's capabilities.

研究分野：パターン認識・人工知能応用

キーワード：動物行動学 社会性昆虫 行動追跡 Computational Ethology ミツバチ 深層表現学習

1. 研究開始当初の背景

採餌から帰巢したミツバチ(採餌バチ)は、尻振りダンスと呼ばれる行動で蜜源の所在地を仲間のミツバチに伝えていることが知られている。尻振りダンスは翅を振動させながら尻を振って歩く動き(尻振り走行)と右もしくは左に回転して戻って来る動き(リターン走行)から構成され、この尻振り走行の向きと距離が蜜源までの方角と距離を表している。ミツバチは仲間との間で情報交換を行うことで効果的な採餌を可能にしており、この情報交換は一種の「言語」と考えられるものである。このメカニズムを解明することは、ミツバチの社会性を理解するうえで生物学上の重要なテーマとなっている。一方、ミツバチは成長の過程でその役割を変化させるという特徴を持つ。羽化後のミツバチは、初めは巣内の清掃や幼虫の世話などを行い、その後、巣外へと採餌に出かけ、仲間に尻振りダンスで蜜源を知らせるようになる。その間、採餌バチとお互いの口器を接触させて栄養交換をしたり、採餌バチの尻振りダンスに追従して蜜源の位置情報を得たりといった採餌関連行動を経て、自らも尻振りダンスをするようになると予想されているが、ミツバチの成長過程においてダンス行動が採餌経験や周囲の個体とのコミュニケーションによってどのように形成されるのかについては明らかではない。ミツバチの行動分析に関する研究は、半世紀近くの歴史があるが、ビデオカメラ等の記録装置の高性能化に伴い、近年では長時間撮影した動画像を用いて行われるようになってきた。しかし、撮影された動画像からミツバチの歩行軌跡を追跡する作業は人手により目視で行われ、多大な労力を要するものとなっている。このことから、コンピュータによる自動化が強く求められており、画像処理により対象を検出して、その行動を追跡する手法がいくつか提案されているが、数百から数千の個体からなる群れにおいて、個体識別をしながら羽化後のミツバチの生涯を観察するような研究は行われていない。そこで、本研究では、羽化後のミツバチの行動を追跡し、採餌経験やコミュニケーション行動を通してダンス行動が行われるようになるまでを観察できるようなシステムを開発し、その成長の過程を記録することを試みた。我々はこれまでに、密集した巣内における複数ミツバチの歩行軌跡を同時追跡するアルゴリズムを考案し、その有効性を検討しており、また観察巣箱を実験室内に設置し、RFID タグを各ミツバチに装着することで出巢・帰巢を自動モニターし、高解像度カメラモジュールを接続したボード型の小型マイコン Raspberry Pi を複数台用いてミツバチの行動を長時間記録するシステム(図 1)を開発してきた。

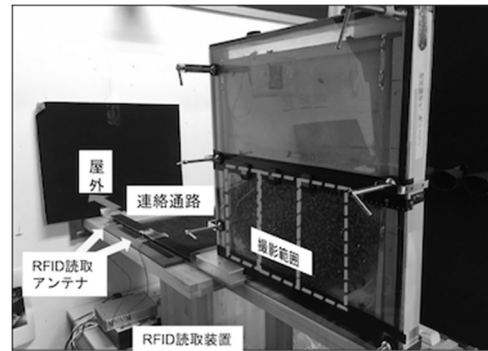


図 1 ミツバチ行動観察システム

本研究では、これまでに開発・検討してきたシステムを更に改善・機能追加し、最終的には「羽化後のミツバチを個体識別しながら、対象個体の採餌行動および周囲とのコミュニケーション行動と発達過程との関係を記録・観察することのできるシステム」の実現を目指した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、羽化後のミツバチの成長過程(ミツバチライフログ)を自動記録・観察するシステムを開発することである。このシステムでは、羽化後のミツバチに RFID タグと AR (Augmented Reality: 拡張現実) タグを取り付けて、RFID 読み取り装置により出巢・帰巢を自動記録するとともに、AR タグを画像処理により自動検出することで巣内における歩行軌跡を個体識別しながら自動追跡し、巣外活動とダンス行動の発達過程との関連を観察する。更に、タグをつけていない周辺個体の歩行軌跡も機械学習を用いた画像処理技術により自動追跡し、対象個体と周辺個体間でのコミュニケーション行動を観察する。また、長時間にわたって記録された大量のライフログを任意の時間・空間解像度で閲覧可能なツールを提供することを目指す。

3. 研究の方法

これまで開発を進めてきた羽化後のミツバチの行動追跡手法の高精度化・高機能化を目的として、AR タグを用いた個体追跡手法の検討と、より効率的な個体識別・歩行軌跡追跡技術の開発を行った。またタグをつけていない周辺個体の歩行軌跡を高精度に検出するための手法として、機械学習を用いた自動追跡手法について検討した。

1) 効率的な観察巣箱内における個体識別・歩行軌跡追跡技術の開発

我々が本研究開始までに開発してきたシステムでは、RFID に背番号を貼りつけ、カメラで取得した大量の動画データから観察者が目視で尻振りダンスを検出していた。ここでは動画像から背番号を自動抽出する手法の開発を試みてきたが、検出率の低さのため信頼性に問題があることがわかった。そのため観察者による視認によりダンス行動の抽出を併用してきたが、長時間の録画データを観察するには莫大な時間が必要であり、人為的なエラーの発生も見られるという問題があった。そこでミツバチに AR タグと呼ばれる二次元バーコード状の図形マーカーを装着し、画像からタグ番号の自動抽出する技術を検討した。予備実験の結果、画像解像度やカメラの焦点の問題などが明らかになったが、これらの問題を解決するために、システムで使用するカメラモジュールを再検討し、歩行軌跡追跡アルゴリズムを改良して、高精度かつ高速な個体識別・

歩行軌跡追跡を実現することを試みた。しかし、AR タグを高精度に認識するためには画像の解像度を上げる必要があり、解像度を上げると観察対象の巣箱全体を記録するのに更に多くのカメラモジュールによる大量の撮影データを解析しなくてはならないため、AR タグによる対象の絞り込みではなく、観察対象の個体が撮影されている領域を自動的に切り出すことで、ダンス行動の解析を効率化することとした。具体的には以下のような手順で行った。尻振りダンス軌跡は、大きな画素変化が断続的に含まれている軌跡であると考えられることから、フレーム間の差分画像を積み付け加算した画像に対し、2 値化処理、膨張収縮処理、ラベリング処理を行い、最大面積の領域を尻振りダンス領域の候補として検出する(図 2)。次に、断続的な画素変化区間を切り出すため、画素変化量(検出された尻振りダンス領域の面積)の時系列データ(図 3)を分割する。

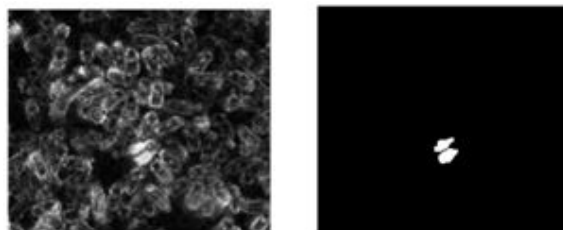


図 2 尻振りダンス領域の検出の例

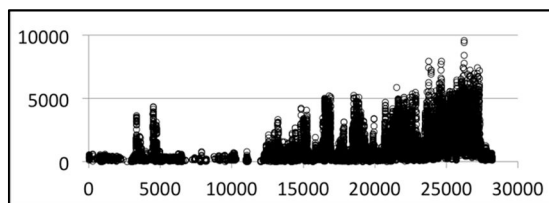


図 3 画素変化量最大領域の時間変化

ただしここでは、各フレームを縦横 3x4 のブロックに分割し、それぞれに対して、時系列データを得ることとした。以上の処理により、膨大な撮影動画データから観察対象となる画像領域および時間帯を効率的に抽出することを可能とした。

2) 観察巣箱内の複数個体の同時追跡アルゴリズムの改良

タグを装着した個体のコミュニケーション行動を観察するためには、タグを装着していない周囲の個体の歩行軌跡も高精度に追跡する必要がある。我々がこれまで提案してきた手法においては、ミツバチの腹部の画像特徴を Haar-Like 特徴量で事前に学習しておき、Ada-Boost 法によりミツバチ個体を画像中から検出するという方法を採用していた。この方法では、再現率は 93.3%だが適合率は 78.9%となり未検出数は少ないものの誤検出数がやや多い結果となった。そこで、この問題に対しミツバチ腹部の画像情報を入力として深層学習の 1 手法である畳み込みニューラルネットワークによりミツバチ領域検出器を学習し、より高精度な追跡を実現することを試みた。物体追跡や画像認識の分野では、畳み込みニューラルネット(CNN)を用いた物体検出手法が高い精度を達成可能であることから、広く用いられるようになってきた。しかし、この手法は人手で画像の正確な対象領域を大量に切り出す必要があり、人的コストを削減することは難しい。そこで本研究では、機械的に(もしくはランダムに)切り出したやや小さめの画像領域を大量のラベルなしの学習データとし、畳み込み自己符号化器を拡張した段階的畳み込み自己符号化器(Stepwise Convolutional Denoising Autoencoder: SwCDAE)(図 4)を用いて教師なし学習を行い、クラスタリングによりミツバチの腹部または頭胸部領域(以下、ミツバチ部分領域と呼ぶ)の検出を行うことを試みた。さらに、この教師なし学習によるミツバチ部分領域の分類結果を用いて、画像識別のためのニューラルネットワーク VGG16 を転移学習することで、高精度な識別を可能とし、さらに物体検出のための Faster R-CNN を VGG16 の識別結果の画像から再学習してミツバチ領域を検出する。

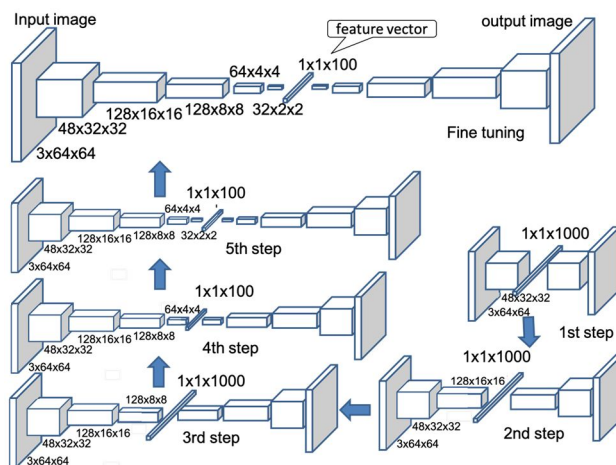


図 4 段階的畳み込み自己符号化器(SwCDAE)の構成

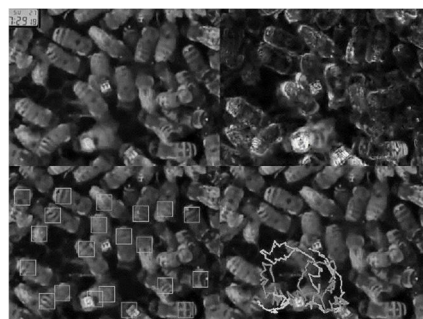


図 5 分割したブロックからの尻振りダンス検出例(左上:入力画像、右上:積み付け差分画像、左下:ミツバチ個体検出結果、右下:軌跡検出結果)

4. 研究成果

1) 効率的な観察巣箱内における個体識別・歩行軌跡追跡

前処理による採餌関連行動区間の検出方法について検討し、切り出された区間に対して複数個体同時追跡手法を適用することを試みた。13 時間分の映像データ 78 ファイルに対して実験を行った結果、3 時間分の 18 ファイルに関してダンス行動がないものと判定した。目視により確認した結果、ごく短い尻振りダンスが 4 回含まれていたが、それ以外はすべて非ダンス行動であった。全 13 時間を目視で確認することを考えた場合、確認作業を約 23% 削減できたことになる。またダンス区間として切り出されたブロックは 269 ブロック、約 130 万フレームとなった。対象全ブロックが約 2700 万フレームであることから、95% の計算量低減が見込まれる結果となった。これは、1 か月分の撮影データ (カメラ 1 台分として約 400 時間) の処理に、従来手法では半年近く必要としていたのに対し、提案手法をすれば 10 日弱で完了する計算となる。結果として長時間のデータからの行動抽出が可能となり、尻振りダンス軌跡だけでなく、振身ダンスの軌跡やダンス追隨個体の軌跡も抽出できることが確認できた。図 5 は提案手法による前処理で観察対象の領域を絞り込み、絞り込んだブロックに対してミツバチ個体検出および軌跡検出を実施した例である。

2) 観察巣箱内の複数個体の同時追跡アルゴリズムの改良

ミツバチの行動追跡手法の高精度化を目的として、表現学習を行うためのディープラーニング手法の 1 つである畳み込み自己符号化器を改良した、段階的畳み込み自己符号器 (SwCDAE) によるミツバチ領域検出モデルの学習と評価実験を行った。さらに、この教師なし学習によるミツバチ部分領域の分類結果を用いて、画像識別のためのニューラルネットワーク VGG16 を転移学習することで、ミツバチ部分領域識別モデルを作成した。さらに物体検出のための Faster RCNN を VGG16 の識別結果の画像から再学習してミツバチ領域を検出することを試みた。図 6 は、入力画像から切り出された分割ブロック画像に対する、VGG16 をベースとしたミツバチ部分領域モデルによる識別結果を示したものである。各ブロックがミツバチ部分領域であるとした確率を色分けして示している。図 7 は FasterRCNN をベースとしたミツバチ領域検出モデルによる検出結果となっている。密集度の高い画像では領域切り出しに失敗するケースがあり、解決すべき課題として今後検討を続けていく必要があることも示された。画像識別・画像検出のためのニューラルネットワークを学習するには大量の正解データを人手で用意する必要があるが、提案手法により大幅にその手間を削減することができることを示した。一方、ミツバチ個体領域の自動検出に関しては、静止画を入力とするのではなく、時間変化を考慮した差分画像を学習に用いることが有効であろうと考えており、現在、検討を進めている段階である。

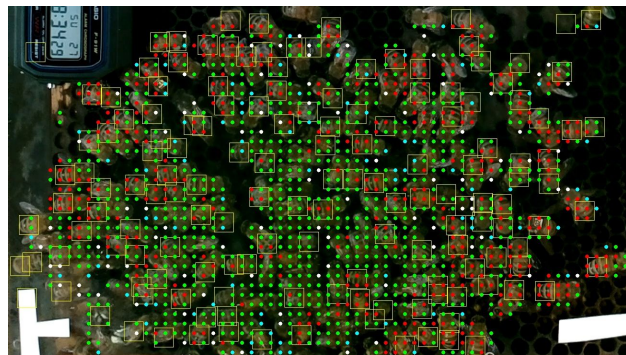


図 6 VGG16 によるミツバチ部分領域の識別確率の分布
(赤: ≥ 1.0 , 緑: > 0.99 , 青: > 0.9 , 白: > 0.5)

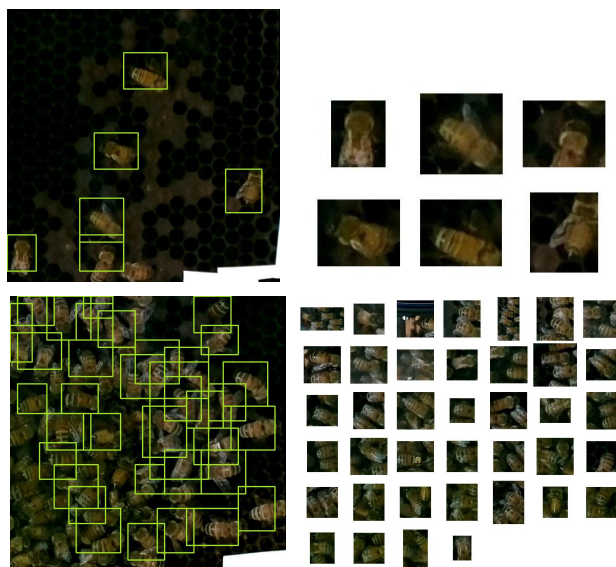


図 7 ミツバチ領域の検出結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 高橋 伸弥、藍 浩之	4. 巻 62
2. 論文標題 ミツバチコロニーにおける巣内行動観察システムとコミュニケーション行動の検出	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 システム制御情報学会誌	6. 最初と最後の頁 490,495
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 -

1. 著者名 高橋 伸弥、藍 浩之	4. 巻 54
2. 論文標題 ミツバチライフログシステムの開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 昆虫と自然	6. 最初と最後の頁 34,37
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 Yujie Li, Shinya Takahashi:	4. 巻 810
2. 論文標題 Small Object Tracking in High Density Crowd Scenes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Cognitive Internet of Things 2019	6. 最初と最後の頁 497,505
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1007/978-3-030-04946-1_48	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 -

1. 著者名 高橋伸弥・橋本浩二・前田佐嘉志・鶴田直之・藍浩之	4. 巻 32
2. 論文標題 ミツバチコロニーの巣内行動観察システムの開発 - RFIDセンサと画像処理を併用したコミュニケーション行動の自動検出 -	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 人工知能学会論文誌	6. 最初と最後の頁 B-GC2_1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1527/tjsai.B-GC2	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 高橋伸弥・前田佐嘉志・橋本浩二・鶴田直之・藍浩之	4. 巻 100
2. 論文標題 フレーム間差分動画像を用いたミツバチ尻振りダンス自動検出手法の検討	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 福岡大学工学集報	6. 最初と最後の頁 75,80
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takahashi Shinya, Hashimoto Koji, Maeda Sakashi, Li Yujie, Tsuruta Naoyuki, Ai Hiroyuki	4. 巻 1
2. 論文標題 Development of Behavior Monitoring System for Honeybees in Hive Using RFID sensors and Image Processing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc.of the201916thInternationalJointConferenceonComputerScienceandSoftwareEngineering (JCSSE)	6. 最初と最後の頁 170,175
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JCSSE.2019.8864160	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10件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Shinya Takahashi
2. 発表標題 Development of the Honeybee Life-Log Monitoring System Using RFID-tag and Image Processing
3. 学会等名 the 3rd International Symposium on Artificial Intelligence and Robotics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋 伸弥、前田 佐嘉志、橋本 浩二、鶴田 直之、藍 浩之
2. 発表標題 ミツバチの尻振りダンス軌跡およびダンス追従軌跡の自動検出手法の検討
3. 学会等名 2018年度人工知能学会全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藍浩之
2. 発表標題 ミツバチのダンス言語発達の過程－RFIDを用いた羽化後20日間の行動観察－
3. 学会等名 第40回ミツバチ科学研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋伸弥
2. 発表標題 差分動画をを用いたミツバチ尻振りダンス領域検出手法の検討
3. 学会等名 電気・情報関係学会九州支部第70回連合大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋伸弥
2. 発表標題 RFIDタグと画像処理を用いたミツバチの行動分析
3. 学会等名 福岡市IoT推進ラボ 農業ワーキンググループ（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋伸弥, 李玉潔, 鶴田直之, 藍浩之
2. 発表標題 段階的畳み込み自己符号化器を用いたミツバチ画像分類手法の検討
3. 学会等名 電気・情報関係学会九州支部第72回連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中聡至、押川梨沙、藍浩之
2. 発表標題 地理情報を利用した福岡大学周辺のミツバチの採餌分布の多角的解析
3. 学会等名 日本動物学会九州支部大会（第72回）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 楠目晃大、大塚彩世、藍浩之
2. 発表標題 ミツバチの尻振りダンスに対する追従様式の解析
3. 学会等名 日本動物学会九州支部大会（第72回）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中聡至、藍浩之
2. 発表標題 セイヨウミツバチの尻振りダンスを用いた推定蜜源の可視化と多角的比較
3. 学会等名 第64回日本応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 楠目晃大、藍浩之
2. 発表標題 セイヨウミツバチの尻振りダンスに対する追従様式の解析
3. 学会等名 第64回日本応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2019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	鶴田 直之 (Tsuruta Naoyuki) (60227478)	福岡大学・工学部・教授 (37111)	
研究 分担者	藍 浩之 (Ai Hiroyuki) (20330897)	福岡大学・理学部・准教授 (37111)	
研究 協力者	橋本 浩二 (Hashimoto Koji)	福岡大学・工学部・助教 (37111)	
研究 協力者	前田 佐嘉志 (Maeda Sakashi)	福岡大学・工学部・助教 (37111)	
研究 協力者	李 玉潔 (Li Yujie)	福岡大学・工学部・助教 (37111)	