

令和 2 年 7 月 6 日現在

機関番号：23901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00413

研究課題名(和文)自動車運転者のドップラーセンサ計測信号データベース構築と運転者センシング法の研究

研究課題名(英文) Database construction and research on Doppler sensing for car drivers

研究代表者

神谷 幸宏 (Yukihiro, Kamiya)

愛知県立大学・情報科学部・准教授

研究者番号：10361742

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)：体調の急変による自動車事故の防止を目指し、ドップラーセンサで取得した自動車ドライバの生体信号データベースを構築した。このデータベースはインターネット上に公開しており、同分野の研究者が活用できる仕組みを整えている。また、この実験を通して信号解析アルゴリズムCARSを提案した。このアルゴリズムは、生体信号の解析で重要となる低い周波数帯で高い解像度を有しながら体動によるノイズに比較的高い耐性を有する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高齢化社会に向け、自動車運転中の体調急変が原因となって発生する交通事故への懸念は年々増している。また自動運転車が普及した場合でも、自動車乗車中の体調急変の検出は重要な問題として残るものと考えられる。本研究で構築した自動車ドライバのドップラーセンサによるモニタリングデータのデータベースは、他の研究者がデータをダウンロードして検討することに使うことができ、この分野の研究の推進に大きく貢献するものである。

研究成果の概要(英文)：Aiming at prevention of automobile accident by sudden change of physical condition, a biological signal database of automobile driver acquired by Doppler sensor was constructed. This database is opened to the public on the Internet, and the mechanism which the researcher of the same field can utilize is arranged. And, the signal analysis algorithm CARS was proposed through this experiment. This algorithm has comparatively high resistance to noise by body motion, while it has high resolution in low frequency band which is important in the analysis of biological signal.

研究分野：デジタル信号処理

キーワード：自動車ドライバモニタリング 生体モニタリング ドップラーセンサ デジタル信号処理 データベース

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。

## 1. 研究開始当初の背景

近年の社会の高齢化にともなって、自動車ドライバの体調の急変が原因となって発生する重大な交通事故が問題となっている。本研究の申請時、2016年には国土交通省により世界初の「ドライバ異常時対応システム」のガイドラインが策定された。これは、交通事故が発生した際に重大な被害が発生しやすいバスやトラックなどの大型自動車のドライバを対象に、体調急変時に自動車を安全に停止させるシステムに関するガイドラインである。こうした社会的な背景をもとに、自動車ドライバの健康状態のモニタリング技術への関心が高まっている。

こうしたシステムを実現するためには、心拍・呼吸などの生体信号をモニタリングする必要がある。しかし、心電計や呼吸を測定するためのベルトを装着することはドライバに強い拘束感を与えることから現実的ではない。そこで、非接触型のセンサ、すなわち人体に直接センサや電極を取り付けることなく、離れた場所から遠隔で生体情報の取得が行えるセンサおよびシステムが望まれる。このような非接触計測を実現するセンサとしてドップラーセンサが知られていたが、特に2016年ごろから、高精度で安価なドップラーセンサが市販され、簡単に入手できるようになった。

ドップラーセンサは、微弱なマイクロ波を人体に向け放射する。このマイクロ波が人体に反射して生まれる反射波をドップラーセンサは受信し、自身が送信したマイクロ波と受信した反射波の周波数差を検出する。ドップラーセンサ出力は、この周波数差に比例した電圧である。この電圧の変化を観測することで呼吸や心拍を検出できる。その原理は次のようである。人体の胸や腹、また他の部位は心臓の拍動や呼吸によって動いている。この動きによって、センサとの距離は、わずかながら変化している。この距離の変化はマイクロ波にドップラー効果を生じさせるので、ドップラーセンサが受信する人体からの反射波の周波数は変化し、送信波との間に周波数差が生じる。ドップラーセンサの出力は、この周波数差に比例した電圧であるので、最終的に、この電圧の周波数解析を行えば心拍や呼吸の周波数または周期が得られることになる。

このようなドップラーセンサが小型化・高性能化されて市販されるようになり、手軽に非接触生体計測に応用できるようになった。しかし問題はドップラーセンサ出力の解析である。ドップラーセンサ出力の周波数解析として従来使われているのが高速フーリエ変換 (FFT) である。FFTは離散フーリエ変換 (DFT) の計算量を削減した計算法で、その手軽さから広く様々な分野で使用されている。そうした一般的な方法でありながら、自動車ドライバのモニタリングの観点からは次のような問題が挙げられる。

第1の問題は、低い周波数での解像度の低さである。心拍や呼吸による体表面の変化をとらえたドップラーセンサ出力の周波数は1 Hz以下と非常に低い。こうした低い周波数領域ではFFTの周波数解像度が低いことが知られており、周波数のわずかな変化をとらえることは困難である。

第2の問題は、上述のように低周波数領域において低いFFTの周波数解像度を改善する方法として、FFTに入力する信号サンプル数を増大させることが考えられる。しかし、そうすると計算量がとても大きいものとなることに加え、時間解像度が低くなる問題がある。

こうしたFFTの問題に対処するため、研究代表者は信号の周期推定法 Accumulation for real-time serial-to-parallel converter (ARS)<sup>[1]</sup>を提案した。ARSは低い周波数帯においてFFT・DFTよりも解像度が高く<sup>[2]</sup>、かつ計算量も低い<sup>[1]</sup>。これを用いることで、自動車ドライバモニタリングの領域においてもこれまでに検出できなかった情報を抽出できる可能性がある。

## 2. 研究の目的

上述のような背景をもとに、本研究の目的を次のように設定した。

第1は、自動車運転中のドライバにドップラーセンサを適用して得られたドップラーセンサ出力信号サンプルのデータベースの構築である。本研究では、研究分担者が保有する実車を用いたドライビングシミュレータ内部にドップラーセンサを設置し、シミュレータを用いた運転動作中に取得したドップラーセンサ出力を取得する。この実験でドライバは様々な衣類を着用し、衣類の影響を比較検討できるようにすることを目指す。さらに、このデータベースをインターネット上に公開し、同分野の研究者が自由にデータを取得して研究に活かすことができるようにする。これにより単に研究代表者らの研究を推進するだけでなく、同分野の研究者の研究の推進にも貢献できる。

第2は、自動車ドライバのモニタリングに適した信号処理アルゴリズムの提案である。前述のように自動車ドライバのモニタリングには1 Hz以下の非常に低い周波数帯で高い解像度を持つことが求められるのに加え、体動への耐性が求められる。体動、すなわちハンドルを操作する際の腕の動きや、それに連動した全身の動きなど、心臓の拍動や呼吸と関係ない体の動きはドップラーセンサの原理上、問題となる。ドップラーセンサは対象物の変位を計測するため、体動に由来する動きも計測してしまう。そして、これが所望する心拍、呼吸に由来する信号の雑音になってしまうからである。自動車ドライバは運転中に安静にしていることができないので、運転中のモニタリングには体動への耐性が重要となる。

### 3. 研究の方法

本研究ではまず、研究分担者が保有するドライビングシミュレータを用いて運転動作中のドップラーセンサによる計測を行なった。図 1 に示すように、本ドライビングシミュレータは実車を用いている。このため、運転席の環境は当然ながら自動車そのものであり、センサの取り付け位置やドライバの姿勢に影響を受ける電波伝搬環境を実車で再現できる利点がある。このシステムでは、自動車の前面にあるディスプレイに、ハンドル・アクセル操作と連動して動く風景が映し出され、決められたコースを運転することができる。このコースを運転する動作を行いながらドップラーセンサによる計測を行なったため、実際の運転動作を忠実に再現できている。加えて、これも当然ながら、交通事故の心配もなく安全にデータの取得を行えることも利点の一つである。



図 1 実車を用いたドライビングシミュレータの外観

また図 2 に、自動車内部のセンサ取り付け位置とドライバとの位置関係を示す。ドップラーセンサはサンバイザに取り付けている。その拡大を図 3 に示す。また、図 2 中に示すように、センサとドライバの胸部との距離は、ドライバの体格やシート位置によって異なるが概ね 60 cm 程度である。

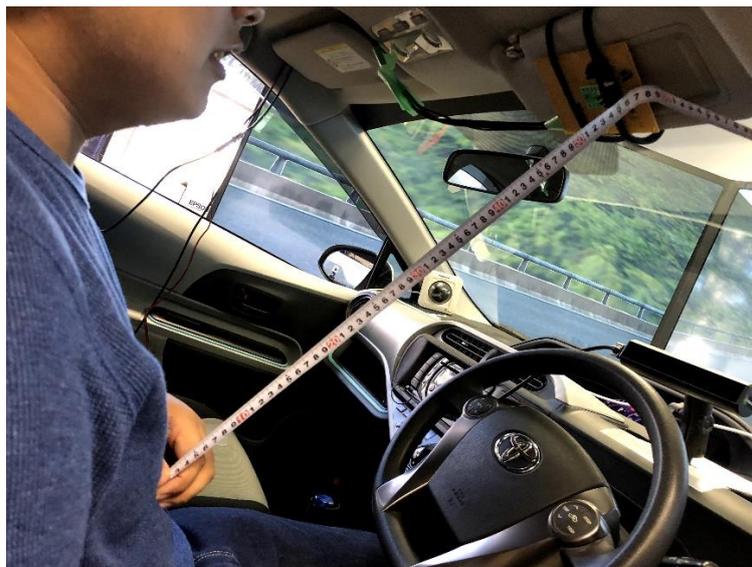


図 2 車内のドップラーセンサ取り付け位置

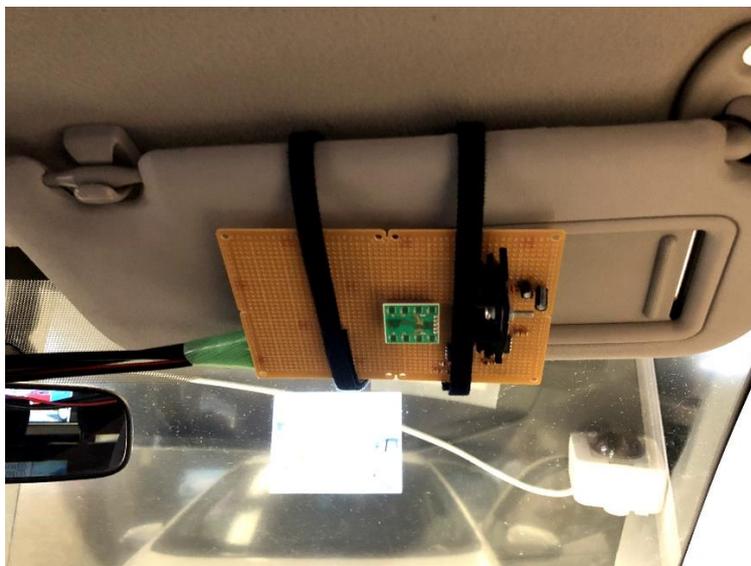


図 3 ドップラーセンサの外観

#### 4. 研究成果

こうして取得したデータのデータベースを構築しインターネット上に公開している。そのホームページの外観を図 4 に示す。



図 4 公開しているデータベースの外観 (<https://vdb.sensing-lab.com/>)

また、これらの計測データの特徴をもとに、ドップラーセンサ出力のデータ解析にあたり、体動に耐性のあるアルゴリズム CARS<sup>[3]</sup>を提案した。このアルゴリズムは、ARS の特長として挙げられる低周波数領域での高い解像度を有しながら体動への耐性を高めている。しかしながら、ARS の低い計算量は犠牲となり、FFT よりもかなり大きな計算量を必要とする。

今後は CARS および ARS を用いながら、腕の動きなど極端に大きな体動への対処法を明らかにしていく予定である。

#### 参考文献

- [1] Y. Kamiya, "A simple parameter estimation method for periodic signals applicable to vital sensing using Doppler sensors", SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol. 10, No. 5, pp. 378-384, September 2017.
- [2] R. Takao and Y. Kamiya, "A Performance Evaluation of Periodic Signal Analysis by ARS Compared with Frequency Analysis by FFT", SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration (Printing)
- [3] S. Imai and Y. Kamiya, "A new signal processing method for vital sensing using a Doppler sensor

aiming at reliable sensing under body movement”, The 20th IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES’2018), DOI: 10.1109/ICVES.2018.8519507, Madrid, Spain, September 12-14, 2018

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Y. Kamiya	4. 巻 67
2. 論文標題 A simple concurrent parameter estimation method suitable for non-contact vital sensing using a Doppler sensor	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Trans. on Antennas and Propagation	6. 最初と最後の頁 5081-5092
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TAP.2019.2916482	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 Y. Kamiya	4. 巻 10
2. 論文標題 A simple parameter estimation method for periodic signals applicable to vital sensing using Doppler sensors	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration	6. 最初と最後の頁 378-384
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.9746/jcmsi.10.378">https://doi.org/10.9746/jcmsi.10.378</a>	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 K. Yano and Y. Kamiya	4. 巻 11
2. 論文標題 A new approach for joint parameter estimation of continuously and non-continuously phase-varying multiple periodic signals	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration	6. 最初と最後の頁 81-89
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.9746/jcmsi.11.81">https://doi.org/10.9746/jcmsi.11.81</a>	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 R. Takao, C. Miyajima, and Y. Kamiya	4. 巻 1
2. 論文標題 An Experiment of Non-Contact Vital Sensing for Multiple Targets by a Doppler Sensor	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE SENSORS2017	6. 最初と最後の頁 406-408
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICSENS.2017.8234002	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 Y. Kamiya	4. 巻 1
2. 論文標題 Statistical performance evaluations of a simple parameter estimation method for periodic signals suitable for vital sensing using Doppler sensors	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of SICE Annual Conference 2017	6. 最初と最後の頁 120-125
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 Y. Kamiya	4. 巻 1
2. 論文標題 A Simple Non-Contact Vital Sensing Method Using Doppler Sensors Applicable to Multiple Targets	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of (EMBC2017)	6. 最初と最後の頁 2838 - 2842
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/EMBC.2017.8037448	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 K. Yano, G. Kondo and Y. Kamiya	4. 巻 1
2. 論文標題 A new non-contact measurement of heartbeat variations for car drivers using Doppler sensors	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of ICVES2017	6. 最初と最後の頁 162-167
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICVES.2017.7991919	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 Y. Kamiya	4. 巻 1
2. 論文標題 A new simple preprocessing method for MUSIC suitable for non-contact vital sensing using Doppler sensors	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of KES IIMSS2017	6. 最初と最後の頁 514-524
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-319-59480-4_51">https://doi.org/10.1007/978-3-319-59480-4_51</a>	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 -

[学会発表] 計26件(うち招待講演 0件/うち国際学会 11件)

1. 発表者名 V. Stanovov, S. Akhmedova, and Y. Kamiya
2. 発表標題 Confidence-Based Voting Procedure for Combining Fuzzy Systems and Neural Networks
3. 学会等名 The 8th International Workshop on Mathematical Models and Their Applications (IWMMA2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Takao, Y. Okuma and Y. Kamiya
2. 発表標題 Clustering of Respirations as a Biometric Using ARS and Machine Learning Techniques
3. 学会等名 EEE 2019 Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS201) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Yamada, S. Imai, K. Tsuji, R. Takao and Y. Kamiya
2. 発表標題 Respiration Monitoring of Multiple Car Passengers by using One Doppler Sensor with ARS
3. 学会等名 2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Inagaki, T. Sasaki and Y. Kamiya
2. 発表標題 A New Simple Approach Signal Analysis Suitable for Non-Contact Vital Sensing Using Doppler Sensor
3. 学会等名 2019 4th International Conference on Biomedical Imaging, Signal Processing (ICBSP2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 R. Kokubo and Y. Kamiya
2 . 発表標題 A Novel Period Estimation Method for Periodic Signals Suitable for Vital Sensing
3 . 学会等名 2019 4th International Conference on Biomedical Imaging, Signal Processing (ICBSP2019) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Akhmedova, V. Stanovov, Y. Kamiya, E. Semenkin, C. Miyajima and D. Erokhin
2 . 発表標題 Automated Detection of Complex System Operator ' s Condition by Using Non-Contact Vital Sensing
3 . 学会等名 8th International Congress on Advanced Applied informatics ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Kamiya
2 . 発表標題 A Performance Evaluation for Parameter Estimation Method Suitable for Machine Noise Analysis
3 . 学会等名 IEEE 6th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT2019) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Tsuji and Y. Kamiya
2 . 発表標題 A Simple Algorithm for Fetal Heartrate Estimation
3 . 学会等名 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2018) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Yamada and Y. Kamiya
2. 発表標題 A Non-Contact Detection and Measurement Method of Conversation and Mastication using a Doppler sensor
3. 学会等名 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Imai and Y. Kamiya
2. 発表標題 A new signal processing method for vital sensing using a Doppler sensor aiming at reliable sensing under body movement
3. 学会等名 The 20th IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES ' 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Kamiya
2. 発表標題 A Simple Preprocessing Technique for ESPRIT Suitable for Non-Contact Vital Sensing Using a Doppler Sensor
3. 学会等名 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山田 幹也, 神谷 幸宏
2. 発表標題 信号パラメータ推定法ARSとドップラーセンサを用いた非接触咀嚼検出
3. 学会等名 第61回自動制御連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 水野 啓悟, 神谷 幸宏
2. 発表標題 ドブラーセンサによる非接触生体計測に適した到来角度推定法の性能評価
3. 学会等名 第61回自動制御連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮嶋 千織, 神谷 幸宏
2. 発表標題 呼吸によるストレス推定に関する基礎的検討
3. 学会等名 第61回自動制御連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山田拓稔, 神谷幸宏
2. 発表標題 ドブラーセンサによる非接触生体計測用信号処理アルゴリズムARSに適用する簡単な前処理法の提案
3. 学会等名 電気学会東海支部 若手セミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 原田一希, 神谷幸宏
2. 発表標題 呼吸による非接触ストレスモニタリングに関する検討
3. 学会等名 電気学会東海支部 若手セミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山田 拓稔, 神谷 幸宏
2. 発表標題 高い時間分解能を達成する簡単な信号パラメータ推定法ARSに適用する前処理と性能改善に関する検討
3. 学会等名 計測自動制御学会ライフエンジニアリング部門シンポジウム2018(LE2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 近藤源, 高尾良太, 宮嶋千織, 松原達也, 神谷幸宏
2. 発表標題 ドップラーセンサを用いる簡単な生体計測アルゴリズムに適した体動影響除去法
3. 学会等名 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 辻 和樹, 神谷幸宏
2. 発表標題 足音から人数を推定する信号処理の性能検証実験
3. 学会等名 自動制御連合講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 今井章太, 神谷幸宏
2. 発表標題 ドップラーセンサによる非接触計測における対象物の移動に関する検討
3. 学会等名 自動制御連合講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高尾良太, 宮嶋千織, 近藤源, 神谷幸宏
2. 発表標題 ドップラーセンサによる非接触計測距離の延伸する対策の提案
3. 学会等名 自動制御連合講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 近藤源, 神谷幸宏
2. 発表標題 複数のドップラーセンサを統合利用する非接触生体計測のための構成と信号処理手法の提案
3. 学会等名 自動制御連合講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 辻 和樹, 神谷 幸宏
2. 発表標題 生体計測に適したシリアルパラレル変換に基づく簡易な信号パラメータ推定法
3. 学会等名 電気学会知覚情報研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Tsuji and Y. Kamiya
2. 発表標題 A new simple estimation method of the number of persons by footsteps sounds
3. 学会等名 Proceedings of Life Engineering Symposium 2017(LE 2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Kamiya
2. 発表標題 A simple space-time parameter estimation method suitable for non-contact vital sensing by Doppler sensors
3. 学会等名 Proceedings of Life Engineering Symposium 2017(LE 2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Imai and Y. Kamiya
2. 発表標題 An image cancelling scheme for parameter estimation applicable to randomly phase-varying signals
3. 学会等名 Proceedings of Life Engineering Symposium 2017(LE 2017)
4. 発表年 2017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	小栗 宏次  (Koji Oguri)  (00224676)	愛知県立大学・情報科学部・教授   (23901)	
研究 分担者	河中 治樹  (Haruki Kawanaka)  (90423847)	愛知県立大学・情報科学部・准教授   (23901)	