

令和 3 年 6 月 10 日現在

機関番号：34416

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17H01741

研究課題名（和文）生体信号情報に基づく潜在的危険要因の検出と回避技術に関する研究

研究課題名（英文）An Identification System for Unsafe Conditions based on Biological Signal Monitoring

研究代表者

田頭 茂明（TAGASHIRA, Shigeaki）

関西大学・総合情報学部・教授

研究者番号：70332806

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、建設工事において潜在的な危険要因となる不安全状態を、生体信号情報に基づき自動的に検出し、その通知を行う技術の研究開発を行った。主要な研究成果として、潜在的な危険要因を人的危険要因と環境的危険要因に分類して異なるアプローチで分析した点、建設工事に従事する労働者自身が意識せず潜在的な危険を検出するセンサとなる技術を開発した点、従来研究では取り扱わなかった不安全状態を定量的に評価した点をあげることができる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究においては、従来研究では取り扱わなかった不安全状態を定量的に評価できた点は、建設工事における労働災害の防止にむけた極めて有用な意義をもつと考えられる。また、本研究では比較的取り扱いやすい建設工事に着目したが、得られた知見は、日常生活を営む様々な生活環境への展開が期待できる。このことから日常生活の安全性向上というライフイノベーションの観点からも、広範な社会的意義を有することを強調しておきたい。

研究成果の概要（英文）：In this research project, we developed a biological-signal based identification and alert system for unsafe conditions which are hazardous factors in construction works. The main achievements of this project are summarized as follows: First, unsafe conditions that have the potential to cause harm to workers can be classified into human and environmental factors to be easily analyzed. Next, unsafe conditions can be identified by biological signals which are monitored in construction workers acting as active sensors. And finally, unsafe conditions can be evaluated quantitatively although most studies have not focused on them.

研究分野：モバイルコンピューティング

キーワード：情報システム 生体信号情報 潜在的危険要因

1. 研究開始当初の背景

建設工事は他業種に比べ労働災害が多い。建設業における労働災害の発生要因について、通路の幅が狭い、照明が暗いなどの作業環境に関する“不安全状態”と、運転速度超過、安全設備不使用などの作業行動に関する“不安全行動”で分類すると、全死傷者数の98%以上が両者に起因するものである。これは、不安全状態と不安全行動のどちらか、あるいは両者を排除できれば、ほとんどの労働災害が防げることを意味している。労働災害の撲滅を目指して、距離センサによる大型機械接近警告や、加速度センサによる急加速急停止の運転監視など、センサによる労働者の管理に関する研究が進められている。研究代表者らも測位センサネットワーク技術を応用し、カラーコーンに測位センサノード機能を組み込んだITカラーコーンによる労働者の不安全行動の検出・通知に基づく安全管理システムの研究開発を行ってきた。当該研究を含めた従来研究では、不安全行動だけを対象として、労働災害の危険要因を評価するものがほとんどである。一方で不安全状態に関しては、過去の経験や事例による判断など、“人手による判断”に頼る部分が多く、管理監督者による定期的な巡回による危険場所の検出とその是正の実施に留まっているのが現状である。

2. 研究の目的

本研究課題は、労働災害の潜在的な危険要因として不安全状態の検出を研究の対象とするものである。具体的には、生体信号情報に基づく認知科学的アプローチにより、不安全状態を自動的に検出しその通知を行う技術を研究開発する。本システムは、建設工事に従事する労働者自身が不安全状態を検出するセンサになる。すべての労働者に脳波・眼電位・脈拍などの生体信号センサを装着してもらい、それぞれの情報を取得する。労働者の生体信号から不安全状態と認知した場所や対象を特定することで、周辺環境の不安全状態を漏れなく検出する。

3. 研究の方法

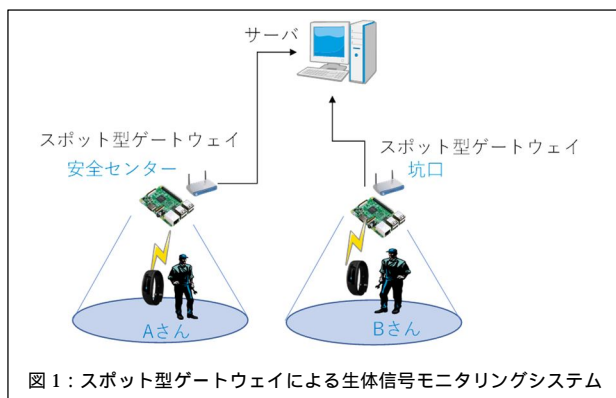
本研究は、潜在的な危険要因である不安全状態を、生体信号情報に基づき自動的に検出し、その通知を行うシステムを開発するものである。

- (1) 潜在的危険要因検出時の生体信号の関係を明らかにし、生体信号情報から危険要因検出を判別する手法を提案する。また、建設工事において労働者の作業を阻害しない小型の生体信号測定機器を開発する。
- (2) 危険要因検出時にその危険要因の場所・状況を特定するための情報を得るセンサシステムを開発する。その情報に基づき危険要因の場所・状況の特定と通知を行うシステムを開発する。
- (3) 生体信号による危険要因特定・通知システムを統合し、建設工事現場においてシステムの有効性を実証する。

4. 研究成果

本研究課題の研究成果は次の通りである。

- (1) 不安全状態に関する潜在的危険要因を詳細に分析し、生体信号情報から検出できる人的危険要因と、周囲に存在する環境情報から検出できる環境的危険要因の二つに分類した。それぞれの要因を異なるアプローチで検出することで複雑で多様な潜在的危険要因の検出精度を向上できる。
- (2) 生体信号情報から検出できる人的危険要因に関して、労働者の作業を阻害せず生体信号情報の計測が可能なプロトタイプシステムを構築した。提案プロトタイプシステムの信頼性の向上を目的として、実際の工事現場での



テスト運用を開始した。生体信号情報から検出できる要因として定義した人的危険要因に関して、図1に示すような電源やネットワーク設備が貧弱な環境でも低コストかつ持続的に生体信号情報を計測可能なスポット型ゲートウェイモデルに基づく生体信号モニタリングシステムを構築した。構築したモニタリングシステムを実際のトンネル工事現場（愛知県田原市および沖縄県名護市）で評価した（図2）。実環境での提案システムの課題を洗い出すことができ、明確な改善点を得ることができた。スポット型ゲートウェイモデルに基づく生体信号情報モニタリングシステムの信頼性を評価し、すれ違い時のデータ取得率および時間精度の向上を実現する手法を開発した。また、継続的な現場での実証実験から、作業者の装着感やゲートウェイの配置場所と間隔を考察し、実用上の課題となる改善点を得ることができた。

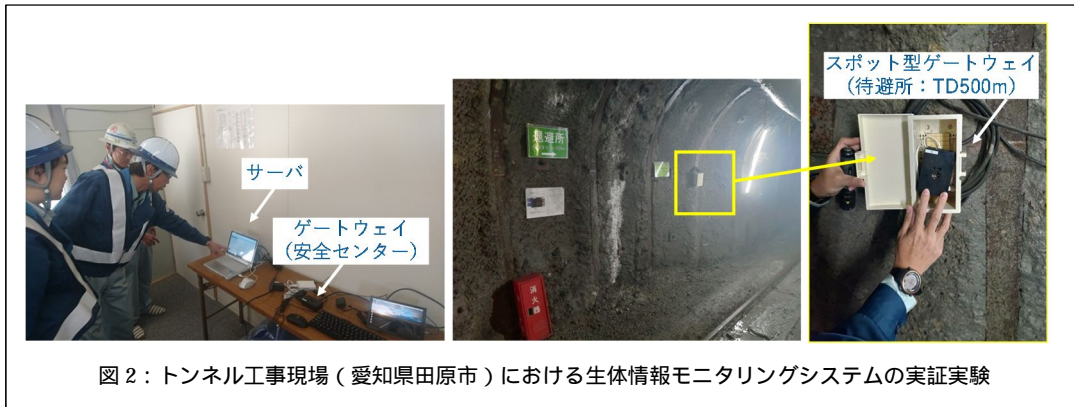


図2：トンネル工事現場（愛知県田原市）における生体情報モニタリングシステムの実証実験

- (3) 周囲に存在する環境情報から検出できる環境的危険要因に関して、環境情報として労働者や重機を含む車両の軌跡を安価で効率よく獲得する技術を開発した。労働者の軌跡に関しては、圧力センサシートを現場に複数配置し、その上を歩行することで、労働者の軌跡を獲得する技術を確認した。車両に関しては、複数のマイクロフォンを路側に設置し、車両が通過する音により、車両の軌跡を獲得する技術を開発した。環境情報として労働者や重機を含む車両の軌跡を圧力センサシートや複数のマイクロフォンを用いて獲得する技術の信頼性の向上に努めた。圧力センサシートによる労働者の軌跡の獲得では、手法を改善し、獲得精度を高めることに成功した。また、マイクロフォンによる車両検知では、風や土木作業による雑音による影響を緩和する手法を提案し、手法の頑健性を高めることに成功している。

- (4) 危険要因検出時に危険要因の場所・状況を特定し、それを通知するための労働者および車両の測位通知システムの開発を行った。スポット型ゲートウェイの識別子から得られる測定者位置と、通信内容であるセンサ情報を計測し、位置情報をベースにして危険要因情報を通知するシステムを設計した。様々な情報を蓄積できるように設計し、潜在的危険要因に至った原因・軌跡を追跡できるように提案ソフトウェアを改良した。開発した要素技術を統合するために、入出力データフォーマットの違いや各要素技術の計算量の違いからくるシステムの不具合を解消し、計算資源を柔軟に変更可能な仮想化基盤上での実装や、広域システムで連携を可能にする Web 技術の活用を実施した。これらの統合により、スポット型ゲートウェイの識別子から得られる測定者位置と、通信内容であるセンサ情報を計測し、位置情報をベースにして危険要因情報を提示する機能、および様々なセンサ情報を蓄積・表示できるように設計し、潜在的危険要因が生ずる場所を表示する機能を実現した。

- (5) 低コストかつ高信頼なスポット型ゲートウェイモデルに基づく生体信号情報収集システムを用いて、収集した生体信号から労働者のシーンを検出し、潜在的な危険を有する類似シーンを発見するマッチング手法を確認した。潜在的な危険を有する既知のシーンで生体信号情報を計測し、それらとのマッチングにより得られる類似度を危険度として評価し、潜在的な危険要因の発見につなげている。建設工事現場での継続的な実験および研究期間全体で開発した提案技術の有効性の検証実験を計画していたが、新型コロナウイルスの影響があり現場実験が制限されるものとなった。このた

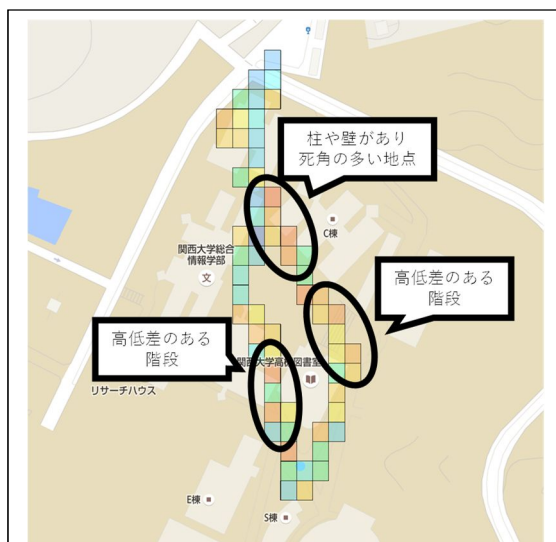


図3：大学キャンパスにおける潜在的な危険を有する地点の検出結果（地図は Google Map を利用）

め、研究代表者の所属する大学構内において評価を実施し、システムの有効性を検証した。実験の目的は、大学キャンパス(関西大学高槻キャンパス)内にある潜む危険要因を検出し、提案した生体信号情報に基づく危険要因判別手法の有効性を評価することである。実験では、開発したスポット型ゲートウェイモデルに基づく生体信号モニタリングシステムを装備した人が大学キャンパスを一周する。その際に、あらかじめ危険を有するシーンを登録し、キャンパスを一周した際に獲得した生体信号とのマッチングを行う。マッチングにより得られた類似度の高い地点を潜在的な危険を有するシーンと判定することになる。実験結果を図3に示す。図では青色に近づくほど危険度が低く、赤色に近づくほど危険度が高いことを示す。結果から、特に危険度が高い地点として3カ所を判定した(図において円で囲んだ地点)。まず、柱や壁が多くあり周辺の見通しが悪い地点を潜在的な危険を有する地点として検出した。これは、死角に潜む見えない危険の存在や、危険の発見が遅れやすく事故につながる可能性が高いためと考えられる。次に危険度の高い地点として、高低差のある階段のある地点を2ヶ所検出した。高低差のある階段はつまずきや転倒の危険があり事故につながる可能性が高いためである。このように大学キャンパス内の実験ではあるが、潜在的な危険を有する地点を列挙できた点は本研究課題の大きな成果であるといえる。一方、多くの課題が残っているのも事実である。特に誤検出した地点も存在し、検出精度の向上は今後の課題である。また、コロナの影響により実際の工事現場での実証実験が制限されたが、収束後の精力的な検証を進めるべく、提案システムの改良に傾注している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Ryota Kimoto, Shigemi Ishida, Takahiro Yamamoto, Shigeaki Tagashira, and Akira Fukuda	4. 巻 vol.19, no.7
2. 論文標題 MuCHLoc: Indoor ZigBee Localization System Utilizing Inter-Channel Characteristics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 MDPI, Sensors	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/s19071645	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 Shigemi Ishida, Yutaka Arakawa, Shigeaki Tagashira, and Akira Fukuda	4. 巻 vol.32, no.1
2. 論文標題 Wireless Local Area Network Signal Strength Measurement for Sensor Localization without New Anchors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Int. J. of Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 97-114
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18494/SAM.2020.2592	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 Kimoto Ryota, Ishida Shigemi, Yamamoto Takahiro, Tagashira Shigeaki, Fukuda Akira	4. 巻 19
2. 論文標題 MuCHLoc: Indoor ZigBee Localization System Utilizing Inter-Channel Characteristics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 1645 ~ 1645
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/s19071645	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 Zhang Zizheng, Ishida Shigemi, Tagashira Shigeaki, Fukuda Akira	4. 巻 19
2. 論文標題 Danger-Pose Detection System Using Commodity Wi-Fi for Bathroom Monitoring	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 884 ~ 884
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/s19040884	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 石田 繁巳, 梶村 順平, 内野 雅人, 田頭 茂明, 福田 晃	4. 巻 60
2. 論文標題 路側設置マイクロフォンを用いた逐次検出型車両検出システム	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 76 ~ 86
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 石田 繁巳, 田頭 茂明, 荒川 豊, 福田 晃	4. 巻 J101-B
2. 論文標題 オンデマンド屋内位置情報サービスに向けた分散測位型アドホック測位ネットワーク	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌	6. 最初と最後の頁 357 ~ 371
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 Yamamoto Takahiro, Ishida Shigemi, Izumi Kousaku, Tagashira Shigeaki, Fukuda Akira	4. 巻 -
2. 論文標題 Accuracy Improvement in Sensor Localization System utilizing Heterogeneous Wireless Technologies	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. The Tenth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU)	6. 最初と最後の頁 26 ~ 31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/ICMU.2017.8330074	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 Kajimura Jumpei, Ishida Shigemi, Tagashira Shigeaki, Fukuda Akira	4. 巻 760
2. 論文標題 Design of Distributed Calculation Scheme Using Network Address Translation for Ad-hoc Wireless Positioning Network	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. Information Search, Integration, and Personalization (ISIP), Communications in Computer and Information Science (CCIS)	6. 最初と最後の頁 33 ~ 48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-68282-2_3	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 Ishida Shigemi、Takashima Yoko、Tagashira Shigeaki、Fukuda Akira	4. 巻 742
2. 論文標題 Design and Initial Evaluation of Bluetooth Low Energy Separate Channel Fingerprinting	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 New Trends in E-Service and Smart Computing, Studies in Computational Intelligence, Springer	6. 最初と最後の頁 19 ~ 33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-70636-8_2	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23件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 15件)

1. 発表者名 Shigemi Ishida, Masato Uchino, Chengyu Li, Shigeaki Tagashira, and Akira Fukuda
2. 発表標題 Design of Acoustic Vehicle Detector with Steady-Noise Suppression
3. 学会等名 22nd Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Billy Dawton, Shigemi Ishida, Yuki Hori, Masato Uchino, Yutaka Arakawa, Shigeaki Tagashira, and Akira Fukuda
2. 発表標題 Initial Evaluation of Vehicle Type Identification using Roadside Stereo Microphones
3. 学会等名 2020 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masato Uchino, Billy Dawton, Yuki Hori, Shigemi Ishida, Shigeaki Tagashira, Yutaka Arakawa, and Akira Fukuda
2. 発表標題 Initial Design of Two-Stage Acoustic Vehicle Detection System for High Traffic Roads
3. 学会等名 PerVehicle 2020 (2nd International Workshop on Pervasive Computing for Vehicular Systems) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takahiro Yamamoto, Shigemi Ishida, Ryota Kimoto, Shigeaki Tagashira, and Akira Fukuda
2. 発表標題 Design of BLE 2-Step Separate Channel Fingerprinting
3. 学会等名 2020 IEEE 91st Vehicular Technology Conference(VTC2020-Spring) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石田繁巳, 内野雅人, 小池大地, 田頭茂明, 福田晃
2. 発表標題 路側設置ステレオマイクを用いた車両種別推定手法の初期的評価
3. 学会等名 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOM2019)シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 内野雅人, 石田繁巳, 田頭茂明, 荒川豊, 福田晃
2. 発表標題 多車線道路に対応した2段階音響車両検出システムの初期的評価
3. 学会等名 情報処理学会 第27回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ(DPS)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 折原凌, 石田繁巳, 荒川豊, 田頭茂明, 福田晃
2. 発表標題 Wi-Fi信号を用いた自動車・自転車・歩行者の検出手法の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会MIKA2019革新的無線通信技術に関する横断型研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 内野雅人, 石田繁巳, 田頭茂明, 荒川豊, 福田晃
2. 発表標題 ステレオマイクを用いた車両検出及び車線推定手法の検討
3. 学会等名 情報処理学会ITS研究会 ITS研究フォーラム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 内野雅人, Billy Dawton, 堀祐貴, 石田繁巳, 田頭茂明, 荒川豊, 福田晃
2. 発表標題 音響車両検出システムの多車線道路における車線推定手法の提案
3. 学会等名 情報処理学会第82回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Uchino, S. Ishida, K. Kubo, S. Tagashira, and A. Fukuda
2. 発表標題 Initial Design of Acoustic Vehicle Detector with Wind Noise Suppressor
3. 学会等名 The International Workshop on Pervasive Computing for Vehicular Systems (PerVehicle) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Ishida, J. Kajimura, M. Uchino, S. Tagashira, and A. Fukuda
2. 発表標題 SAVeD: Acoustic Vehicle Detector with Speed Estimation capable of Sequential Vehicle Detection
3. 学会等名 The 21st IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 R. Kimoto, T. Yamamoto, S. Ishida, S. Tagashira, and A. Fukuda
2 . 発表標題 Evaluation of MultiZigLoc: Indoor ZigBee Localization System Using Inter-Channel Characteristics
3 . 学会等名 the 11th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 R. Orihara, S. Ishida, M. Miyazaki, S. Tagashira, and A. Fukuda
2 . 発表標題 Initial Attempt of Bluetooth Low Energy Water-Level Estimator
3 . 学会等名 International Workshop on Informatics (IWIN) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 S. Ishida, S. Takaki, T. Yamamoto, S. Tagashira, and A. Fukuda
2 . 発表標題 Evaluation of BLE Separate Channel Fingerprinting in Practical Environment
3 . 学会等名 IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics (AAI) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Sato, S. Ishida, J. Kajimura, M. Uchino, S. Tagashira, and A. Fukuda
2 . 発表標題 Initial Evaluation of Acoustic Train Detection System
3 . 学会等名 ITS Asia-Pacific Forum (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Kubo, C. Li, S. Ishida, S. Tagashira, and A. Fukuda
2 . 発表標題 Design of Ultra Low Power Vehicle Detector utilizing Discrete Wavelet Transform
3 . 学会等名 ITS Asia-Pacific Forum (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 S. Ishida, M. Uchino, J. Kajimura, S. Tagashira, and A. Fukuda
2 . 発表標題 Initial attempt of acoustic vehicle detection under strong wind
3 . 学会等名 Int. Conf. on Healthcare, SDGs and Social Business (SocialTech) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Kubo, C. Li, K. Sato, M. Uchino, S. Ishida, S. Tagashira, and A. Fukuda
2 . 発表標題 Initial evaluation of low power vehicle detection system utilizing discrete wavelet transform
3 . 学会等名 Int. Conf. on Healthcare, SDGs and Social Business (SocialTech) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Sato, S. Ishida, J. Kajimura, K. Kubo, M. Uchino, S. Tagashira, and A. Fukuda
2 . 発表標題 Design and implementation of train detector using rail-side microphone
3 . 学会等名 Int. Conf. on Healthcare, SDGs and Social Business (SocialTech) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuta Nakamura and Masaki Ogino
2. 発表標題 Intrinsic motivation based on Bayesian optimization for effective training data exploration
3. 学会等名 The 7th Joint IEEE International Conference on Developmental and Learning and on Epigenetic Robotics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 長江 真志, 越智 祐貴, 青山 千紗, 呉屋 良真, 荻野 正樹, 七五三木 聡
2. 発表標題 VR を利用した奥行き方向の動体視力トレーニング
3. 学会等名 第22回バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 和田 瞭也, 田頭 茂明, 荻野 正樹, 石田 繁巳, 福田 晃
2. 発表標題 圧力センサシートを用いたユーザトラッキングシステムの歩行者の軌跡に対する性能評価
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山本 貴宏, 泉 幸作, 石田 繁巳, 田頭 茂明, 福田 晃
2. 発表標題 センサ測位システムZigLocの精度向上に向けた差分フィンガープリント法の設計
3. 学会等名 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICO MO 2017)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Koji Sato, Shigemi Ishida, Jumpei Kajimura, Shigeaki Tagashira and Akira Fukuda	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 471, pp. 427-444
3. 書名 Intelligent Transport Systems for Everyone's Mobility	

〔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	荻野 正樹 (OGINO Masaki) (00397639)	関西大学・総合情報学部・教授 (34416)	
研究 分担者	松田 浩朗 (MATSUDA Hiroaki) (80443646)	飛鳥建設株式会社技術研究所・・・上席研究員 (92503)	

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