

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的研究（開拓）

研究期間：2019～2023

課題番号：19H05578・20K20483

研究課題名（和文）運動準備の潜在生体活動と3次元運動の高速計測による人の行動予測と事故回避

研究課題名（英文）High speed sensing of latent biological activities prior to human actions and their very early stages for accident prevention

研究代表者

熊澤 逸夫（Kumazawa, Itsuo）

東京工業大学・科学技術創成研究院・教授

研究者番号：70186469

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 20,000,000円

研究成果の概要（和文）：研究期間中に新型コロナウイルスの感染対策が続いたため、予定していた「人の参加を伴う実験やデータ収集」は大幅に縮小することになったが、その間もオンラインで可能な部分に専念して以下の研究成果を得ることができた。オンラインで実験するため仮想空間でリアルな事故体験ができるようにするため、衝撃や振動等の触覚情報を生成する装置を用いたオンライン実験環境を構築し、運動準備の潜在生体活動と3次元運動の高速計測技術を開発し、人の行動予測を試みた。特に潜在活動の手掛かりとなる眼球運動を計測する手法ではメガネガラス表面からの反射を除去する手法を開発して国際会議VR2023で発表した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人の行動は、そのきっかけとなる刺激を感覚器が受けてから、脳内の情報処理や神経伝達に要する数十から数百ミリ秒程度の時間が経過した後で、初めて筋肉が動き出して開始する。行動開始後も、加速し、目標に到達するまでに相応の時間を要する。本課題では、こうして生じる数百ミリ秒の遅延の間に人の行動を先読みする技術と、事故が予知される場合にそれを未然に回避する方法を研究してきた。上記遅延時間の間に先回りして事故回避しようとする点に革新性があり、従来技術の方向を大きく変革、転換させる潜在性を有する挑戦的課題になっており、得られた成果は社会の安全性の向上に大いに寄与するものである。

研究成果の概要（英文）：Our initial research plan had to change due to restrictions on our social activities to prevent people from infections of COVID-19. However, even during the restricted period, we conducted online experiments instead of the face-to-face experiments and got sufficient experimental results. For the online experiments in a virtual environment, we developed our original equipment with force and haptic feedbacks and tried to predict human reactions against virtually created hazardous situations using 3D sensing of latent human actions. As the eye movement is shown to be effective for the prediction, we developed a technique to measure eye movement reducing the reflection from eye glasses and presented the technique in VR2023.

研究分野：画像認識、ニューラルネット、高速センシング

キーワード：高時間分解能光学的計測 フォトリフレクタレイ 危険運動・行動検知 仮想現実 オンライン実験 人体揺動装置 テレビ放送コンテンツ ディープラーニング

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、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

人の行動は、そのきっかけとなる刺激を感覚器が受けてから、脳内の情報処理や神経伝達に要する数十から数百ミリ秒程度の時間(運動準備期間)が経過した後で、初めて筋肉が動き出して開始する。開始後も、行動を完了するまでには、質量を持つ運動部位は、力学の法則に従うことになり、限られた筋力の作用で徐々に加速し、目標に到達するまでに相応の時間(運動遂行期間)を要する。例えば、危険を目で察知して自動車のブレーキを踏む行動においては、ブレーキの必要性を判断し、アクセルペダルから足を動かし始めるまで約 500 ミリ秒、足をブレーキペダルに移動するのに約 200 ミリ秒、ブレーキが効くところまで踏み込むのに約 200 ミリ秒を要することは、免許取得の際にも学ぶ事実である。

本課題では、こうして生じる数百ミリ秒の遅延の間に人の行動を先読み(予測)する技術と、事故が予知される場合にそれを未然に回避する方法を研究する。行動予測技術は多々あるが、上記遅延時間に着目した研究は従来なく、その遅延の間に先回りして事故回避しようとする点に革新性があり、従来技術の方向を大きく変革、転換させる潜在性を有する挑戦的課題になっている。

残念ながら現在、以上の研究方針が必要となる「運動が詳細正確に分かる生体情報計測技術」と「非装着で高速な 3 次元運動計測技術」はいずれも存在しないため、本研究の中で互いの不備を補い合い性能を満たすように独自開発する必要がある。また行動目的には、行動する人の周囲にある事物等の環境も関与するため、周辺環境をカメラで計測し、事物を認識して予測結果に加味しなければならない。生体情報と 3 次元運動、そして周辺環境という異質の情報を統合して行動を予測する計算機のプログラムは、人知で論理的に設計することが難しく、ディープラーニング等の機械学習手法を利用してサンプルから構成する必要がある。

2. 研究の目的

本課題の研究目的は、数百ミリ秒先という非常に近い未来の行動を、その行動よりも数百ミリ秒先立って生じる潜在神経活動や行動直前から生じる眼球運動や筋活動の計測結果と、1000fps(周期 1 ミリ秒)のサンプリングレートでの 3 次元運動の計測結果とを用いて予測することである。そのため、生体信号と 3 次元運動の高速計測技術を独自開発し、高速カメラで周辺環境の情報を計測し、計測動画を高速処理する画像処理手法や有意な情報をディープラーニングで機械学習により獲得する手法も開発することが研究目的となる。

3. 研究の方法

研究目的を次の 3 つに分けて、それぞれ以下の体制と方針で研究を進めてきた。

(a) 行動予測に関わる生体信号の非侵襲計測技術

研究分担者、小池康晴が主として担当し、非侵襲であり、かつ日常生活で支障にならないように装着できる生体信号計測技術を開発する。脳波は行動の全貌を数秒先の時点まで大まかに予測するのに適するが、詳細、正確に行動を予測することが困難な状況にある。一方、筋電信号を使う場合は、ノイズ対策を適切に行うことで数百ミリ秒程度先までの運動については、脳波よりも高い精度で行動を予測できる可能性があるが、それより先の行動や行動の全貌を予測することができない。両者の長短を組み合わせ、さらに予測結果の不正確さや行動の詳細まで予測できない欠点は、次の (b) の 3 次元運動計測技術で計測する情報によって補うことを前提として、補完に適する形で生体信号を計測する技術を開発する。

(b) 行動部位の高速 3 次元計測技術

研究分担者、渡辺義浩と、研究代表者、熊澤逸夫が主として担当し、センサやマーカを装着することなく、行動時に動く運動部位の 3 次元位置、3 次元速度を周期 1 ミリ秒のサンプリングレートで計測できる光学的センサを開発する。10 メートル前方で x, y, z の 3 軸で 5 cm 以下の動きを捉える解像度を備え、10 メートル先の歩行者の行動を、体と足の動きを区別して計測できるようにすることを目標とする。現在自動運転分野で各種センサが開発されているが、各メーカーは 3 次元計測には注力していても、本課題のミリ秒スケールでの行動予測を想定していないため、高速計測を目指したセンサは開発されていない。応募者等は、図 1 に示すように、光学マウスのセンサを利用して、投射パターンを用いずに、生活照明の明るさだけで、手の 3 次元運動速度を周期 1 ミリ秒のサンプリングレートで計測することに成功しているので、このセンサを二次元アレイ化して本課題に応用する予定である。

(c) 機械学習(Deep Learning)により、生体信号、3 次元運動、周辺環境の計測情報を統合して行動予測、事故防止

研究代表者、熊澤逸夫が主として担当し、機械学習を通じて、3 種の異質な計測情報の間に相関を見出すことによって、行動を詳細(運動部位とその運動方向、到達目標を推定)、正確に(10% 以下の誤り確率で)予測して、事故を防止する手法を開発する。

4. 研究成果

新型コロナウイルスの感染対策が 2022 年度の 10 月頃まで続いたため、予定していた「人の参

加を伴う実験やデータ収集」を行うことができず、研究計画をオンライン実験を主体とした内容に変更した。研究期間は2024年度まで延長したが、資金は継続期間分増額した訳ではなく、2022年度前の当初の研究期間分の金額の一部を繰り越した分しかなかったため、感染対策の規制解除後も2022年度までに制作していたオンライン実験用の機器を引き続き使用した。

被検者に実験室に来て頂かなくとも自宅にいながらオンラインで実験に参加できるように仮想空間でリアルな事故体験ができるようにするため、ヘッドマウントディスプレイによる映像とヘッドフォンによる3D音響、さらに衝撃や振動等の触覚情報を生成する装置を用いたオンライン実験環境を構築した。制作した装置の内容を以下に示す。

(a) 全身揺動装置の構成図と試作装置

被験者はデバイスの上に腰を掛け、三軸加速度計ジャイロスコープを頭部及び胸部に貼り付けて使用する。デバイスはサーボモーターによって前後左右に傾くようになっていて、三軸加速度計ジャイロスコープで計測した値でフィードバック制御できるようになっている。この装置で衝突や転落などの事故時の体の動きを再現することが可能である。被験者はヘッドマウントディスプレイと3Dサラウンドヘッドフォンを装着し、視覚、聴覚、触覚に同時に刺激を得て、リアリティーの高い事故体験ができるようになっている。こうした刺激に対する眼球運動、体の各所の動き、反射運動をカメラと加速度センサで計測する。

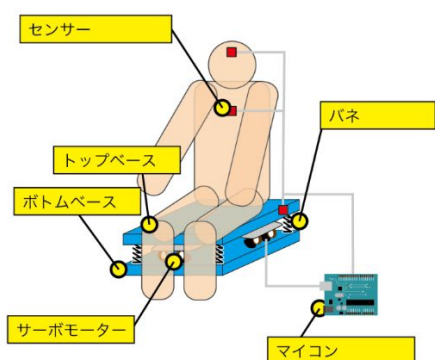


図1 本研究で考案した全身揺動装置の構成図

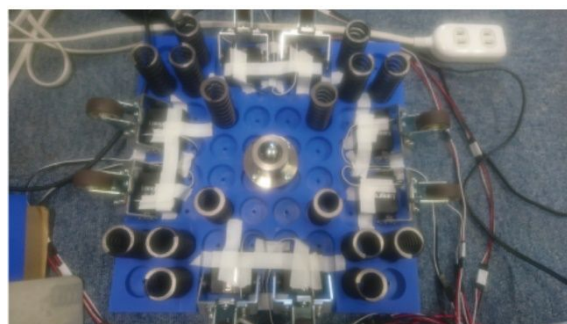


図2 左構成図の揺動機構を試作した結果（左の構成図の青色部分の上座面を外して、内部の機構を見えるようにしている。）

(b) 試作装置を用いて収集したデータ

計測した加速度の時間推移のグラフは以下ようになった。図3は周期が400[ms]のとき、図4は周期が600[ms]のとき、図5は周期が800[ms]のときである。横軸は時間[ms]で、縦軸は加速度[g]である。ベース（試作装置の青色の座面）の加速度と頭部の加速度がミリ秒以下の遅延で計測できている。体の反射運動はベースの動きに反対の方向に生じて姿勢を維持しようとしていることが分かる。周期が短いほど反射運動が追従しにくくなっている。飲酒運転や高齢者の認知機能の低下による事故は、この反射運動の遅延や程度を分析することで予測警告できるはずである。

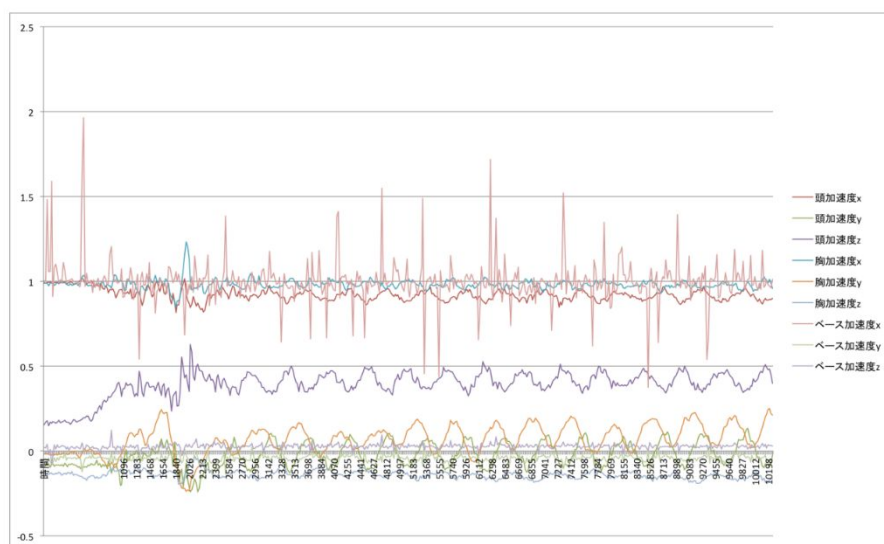


図4 周期400ミリ秒で揺動させたときのベース(青色の座面)の加速度とそれに対する体の反射運動に伴う頭部や胸部の加速度



図 5 周期 600 ミリ秒で揺動させたときのベース(青色の座面)の加速度とそれに対する体の反射運動に伴う頭部や胸部の加速度



図 6 周期 800 ミリ秒で揺動させたときのベース(青色の座面)の加速度とそれに対する体の反射運動に伴う頭部や胸部の加速度

上記の加速度センサに加えて体の各所の動きをカメラでも捕らえて、分析を進めているが高速撮影カメラでも限られた照明光の強度では 2 ミリ秒に 1 枚程度のフレームレートが限界であり、独自に制作したセンサでは解像度が不足したため体の微小の動きをとらえることができず、唯一、狭い撮影範囲に対して比較的大きく動く眼球の運動に関してのみ、運動準備の潜在生体活動を反映した動きをカメラで計測することに成功した。メガネの反射に妨害されずに眼球運動を高速計測する手法は国際学会 VR2023 でも報告して好評であったので以下にその手法を紹介する。

眼球運動は、外部座標に固定した赤外線参照光が眼球表面で反射する位置と瞳中央位置との相対関係から推定する。しかしながら赤外線参照光はメガネでも反射し、その反射光が眼球運動の推定に悪影響を及ぼすため、本課題では CycleGAN と呼ばれている Deep Learning 手法を用いてメガネの反射光を除去することを試みた。メガネからの反射光は、眼球運動計測用カメラに図 7 のように映り込んでしまう。

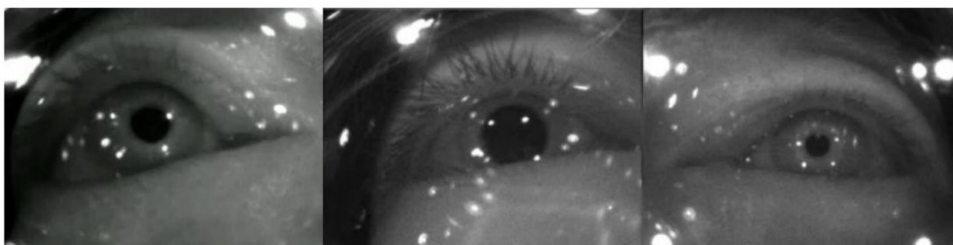


図 7 眼球運動計測用赤外線参照光のメガネからの反射例

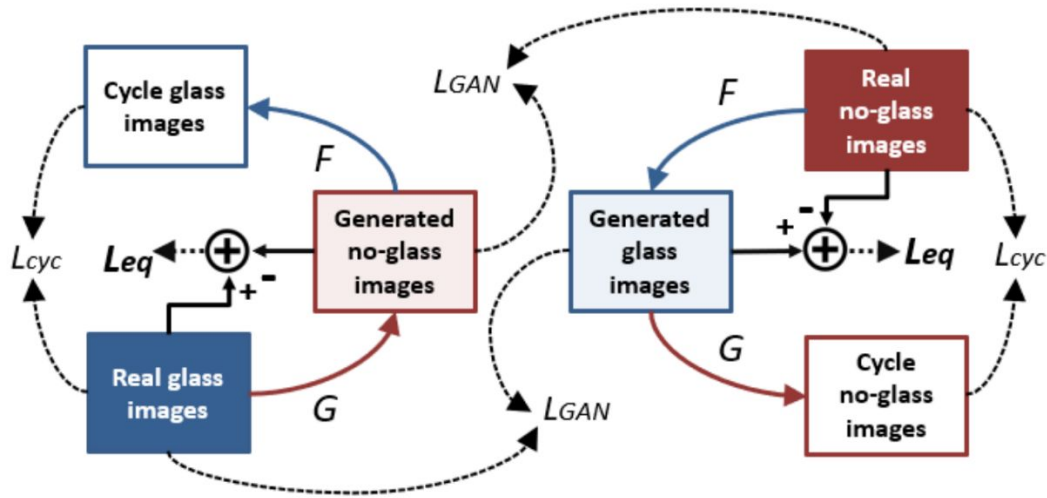


図 8 本研究課題でメガネ反射光除去のために考案した CycleGAN の構成

本課題では、CycleGAN と呼ばれているディープラーニング手法を図 8 に示すように使って、メガネからの反射光を除去することを試みた。この CycleGAN で画像生成は図 9 に示す Deep Neural Network で行っている。

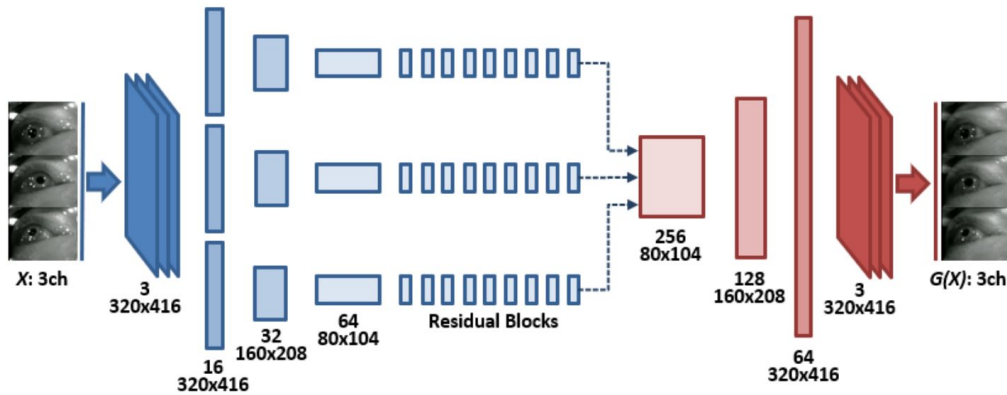


図 9 本研究課題でメガネ反射光除去のために考案した CycleGAN の画像生成器

以上のようにメガネの反射光除去のために構成した CycleGAN を 10 人、各 500 フレームの学習用データを使用して機械学習したところ、学習に使用しなかった評価用画像である図 7 のメガネの反射光を図 10 に示すように除去することに成功した。



図 10 提案手法で眼球運動計測用赤外線参照光のメガネからの反射を除去した例

本研究課題では、以上のようにコロナ感染下でも、被検者に実験室に来て頂かなくとも自宅にいながらオンラインで実験に参加できるように仮想空間でリアルな事故体験ができるようにするため、ヘッドマウントディスプレイによる映像とヘッドフォンによる 3D 音響、さらに衝撃や振動等の触覚情報を生成する装置を用いたオンライン実験環境を構築した。そして、この装置を使い運動準備の潜在生体活動に関わるデータを収集した。またカメラを使った運動準備の潜在生体活動の計測については、眼球運動を観察することが有効であることを示し、メガネからの反射光を除去して計測精度を向上することに成功した。新型コロナウイルス感染によって研究が遅れたため、事故の事前予測手法の機械学習手法にまでは至らなかったが、学習に使える多量のデータの収集を行い、事前予測手法の実現の見込みを得ることができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 WONGSAKORN PREEDANAN, KENJI SUZUKI, TOSHIKI KONDO, MASAKI KOBAYASHI, HAJIME TANAKA, JUNICHIRO ISHIOKA, YOH MATSUOKA, YASUHISA FUJII, AND ITSUO KUMAZAWA	4. 巻 VOLUME 11
2. 論文標題 Urinary Stones Segmentation in Abdominal X-Ray Images Using Cascaded U-Net Pipeline With Stone-Embedding Augmentation and Lesion-Size Reweighting Approach	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 25702-25712
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2023.3257049	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 WONGSAKORN PREEDANAN, KENJI SUZUKI, TOSHIKI KONDO, MASAKI KOBAYASHI, HAJIME TANAKA, JUNICHIRO ISHIOKA, YOH MATSUOKA, YASUHISA FUJII, AND ITSUO KUMAZAWA	4. 巻 VOLUME 10
2. 論文標題 Improvement of Urinary Stone Segmentation Using GAN-Based Urinary Stones Inpainting Augmentation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 115131-115142
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2022.3218444	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 Christoph Walter Senn, Itsuo Kumazawa	4. 巻 3
2. 論文標題 Abstract Reservoir Computing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 AI	6. 最初と最後の頁 194-210
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/ai3010012	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 該当する
1. 著者名 Hyeonseok Kim, Yeongdae Kim, Makoto Miyakoshi, Sorawit Stapornchaisit, Natsue Yoshimura, Yasuharu Koike	4. 巻 1
2. 論文標題 Brain activity reflects subjective response to delayed input when using an electromyography-controlled robot	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Systems Neuroscience, Frontiers	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） 10.3389/fnsys.2021.767477	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 該当する

1. 著者名 Zixuan Qin, Sorawit Stapornchaisit, Zixun He, Natsue Yoshimura, Yasuharu Koike	4. 巻 1
2. 論文標題 Multi-Joint Angles Estimation of Forearm Motion using a Regression Model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Neurobotics, Frontiers Media SA	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) 10.3389/fnbot.2021.685961	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 該当する

1. 著者名 Takeyama Saori, Ono Shunsuke, Kumazawa Itsuo	4. 巻 12
2. 論文標題 A Constrained Convex Optimization Approach to Hyperspectral Image Restoration with Hybrid Spatio-Spectral Regularization	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 3541 ~ 3541
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs12213541	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 Kim Yeongdae, Stapornchaisit Sorawit, Miyakoshi Makoto, Yoshimura Natsue, Koike Yasuharu	4. 巻 14
2. 論文標題 The Effect of ICA and Non-negative Matrix Factorization Analysis for EMG Signals Recorded From Multi-Channel EMG Sensors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Neuroscience	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnins.2020.600804	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 Koike Yasuharu, Kim Yeongdae, Stapornchaisit Sorawit, Qin Zixuan, Kawase Toshihiro, Yoshimura Natsue	4. 巻 32
2. 論文標題 Development of Multi-sensor Array Electrodes for Measurement of Deeper Muscle Activation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 959 ~ 959
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM.2020.2636	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 Kim Yeongdae, Stapornchaisit Sorawit, Kambara Hiroyuki, Yoshimura Natsue, Koike Yasuharu	4. 巻 2020
2. 論文標題 Muscle Synergy and Musculoskeletal Model-Based Continuous Multi-Dimensional Estimation of Wrist and Hand Motions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Healthcare Engineering	6. 最初と最後の頁 1~13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1155/2020/5451219	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 Stapornchaisit Sorawit, Kim Yeongdae, Takagi Atsushi, Yoshimura Natsue, Koike Yasuharu	4. 巻 13
2. 論文標題 Finger Angle Estimation From Array EMG System Using Linear Regression Model With Independent Component Analysis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Neurobotics	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnbot.2019.00075	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 Kim Hyeonseok, Yoshimura Natsue, Koike Yasuharu	4. 巻 13
2. 論文標題 Characteristics of Kinematic Parameters in Decoding Intended Reaching Movements Using Electroencephalography (EEG)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Neuroscience	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnins.2019.01148	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 -

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Yoshikazu Onuki, Kosei Kudo, Itsuo Kumazawa
2. 発表標題 Enhanced Removal of the Light Reflection of Eyeglass Using Multi-Channel CycleGAN with Difference Image Equivalency Loss
3. 学会等名 IEEE VR2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Weijun Mai and Yoshihiro Watanabe
2. 発表標題 Feature-Aided Bundle Adjustment Learning Framework for Self-Supervised Monocular Visual Odometry
3. 学会等名 2021 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小石原 遼, 渡辺 義浩
2. 発表標題 投影型拡張現実への応用に向けたインスタンスセグメンテーションの高速化
3. 学会等名 第24回 画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 久一 空, 渡辺 義浩
2. 発表標題 位相シフト法のための高速な運動誤差補正の検証
3. 学会等名 第27回画像センシングシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 P Rattanasuwan, I Kumazawa, and T Kasetkasem
2. 発表標題 Non-destructive Measurement of Rice Leaf Dimension in 3D Point Cloud
3. 学会等名 Proceedings 5th International Conference on Green Energy Technology (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野元 貴史, 田畑 智志, 渡辺 義浩
2. 発表標題 偏光アレイカメラを用いた構造化光法による深度・法線の高速取得
3. 学会等名 第26回画像センシングシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小石原 遼, 渡辺 義浩
2. 発表標題 時系列情報を用いた顔追跡の高速化に関する基礎研究
3. 学会等名 第26回画像センシングシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 久一 空, 野元 貴史, 田畑 智志, 渡辺 義浩
2. 発表標題 マルチパターン埋め込み型位相シフト法に基づく高速3次元計測の開発
3. 学会等名 第26回画像センシングシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 武山彩織, 小野峻佑, 熊澤逸夫
2. 発表標題 ハイパースペクトルイメージングのための圧縮pansharpening の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Poompat Rattanasuwan, Hiroki Yano, and Teerasit Kasetkasem
2. 発表標題 3D reconstruction of a rice model for growth monitoring
3. 学会等名 2019年映像情報メディア学会年次大会予稿集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kitti Chumkesornkulkit, Itsuo Kumazawa, and Teerasit Kasetkasem
2. 発表標題 A simple multi-spectrum imaging technique with a micro-prism sheet and a standard camera removing cross-talks using deep neural networks
3. 学会等名 2019年映像情報メディア学会年次大会予稿集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshikazu Onuki, Kosei Kudo, and Itsuo Kumazawa
2. 発表標題 Removal of the Infrared Light Reflection of Eyeglass Using Multi-Channel CycleGAN Applied for the Gaze Estimation Images
3. 学会等名 2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (国際学会)
4. 発表年 2020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	小池 康晴 (Koike Yasuharu) (10302978)	東京工業大学・科学技術創成研究院・教授 (12608)	

6. 研究組織（つづき）

	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	渡辺 義浩 (Watanabe Yoshihiro) (80456160)	東京工業大学・工学院・准教授 (12608)	

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