

令和 2 年 6 月 19 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01778

研究課題名(和文) ソフトな体性感覚呈示デバイスによる寄り添い促す動作・行動支援

研究課題名(英文) Gengle Motion and Action Support by Snuggling Tactile Interface

研究代表者

中村 裕一 (Nakamura, Yuichi)

京都大学・学術情報メディアセンター・教授

研究者番号：40227947

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：利用者の自立的な動作をその意図に応じて支援するシステムの一形態として、「着るアシスタント」、つまり、体性感覚を呈示するデバイスによる動作支援を提案した。

(1) 皮膚の引っ張りを用いた(skin-stretcher) デバイスを設計し、頸部に装着することによって情報呈示を行う仕組みを提案した。(2) 姿勢・筋張力・筋電位の計測データを収集するシステムを実装し、立ち上がりを支援するための動作予測の手法を提案した。(3) 機械操作を支援することを想定し、初心者から熟練者までの複数の操作者による操作列を観測し包括的な操作モデルを獲得する手法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

体性感覚を呈示するデバイス「着るアシスタント」は、従来のパワーアシストのように強い力学的補助を与えるものではなく、また、情報呈示のみでもなく、その中間的な性質を持つ。つまり、皮膚感覚などを通して、動作の基準となる時間や位置を呈示しながら動作を促したり、弱い拘束力を関節などに及ぼすことによって、望ましくない動作を抑えるものである。これはリハビリテーションや健常者のトレーニングにも通じる考え方であり、多くの潜在的需要が見込まれる。その実利用を目指して、他者の動作感覚の共有、立ち上がり補助のための動作予測、機器操作のモデル化など、種々の方向から検討を行い、良い知見を得た。

研究成果の概要(英文)：We proposed "wearable assistant" that gives gentle somatosensory sensation or weak force to users for urging or inducing appropriate motions based on their intentions. It can be one alternative style of power support such as exoskeleton devices. The results during the research period are as follows.

(1) We design and implemented the skin-stretcher device that can be used for inducing head rotation of the user or informing the head rotation of a remote person. (2) We implemented an integrated measurement system for motion, posture, and electromyography. By using the system, we measured Sit-to-Stand (StoS) motions and demonstrated that the prediction of StoS is possible at a certain error rate. (3) Considering the future use for working support, we proposed the modeling method for machine operations, which integrates necessary Human-Machine interactions of operators with a variety of skill levels.

研究分野：情報メディア工学

キーワード：動作支援 動作予測 ヒューマンインタフェース 体性感覚呈示 筋電位計測

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

高齢者・障がい者の動作補助やリハビリテーション補助、また、作業負荷の軽減のためのパワーアシストが社会で利用され始めている。また、力学的なアシストを行わない場合でも、ウェアラブルデバイスなどを用いて、利用者の様々な状態を記録・解析したり、情報呈示をすることによって行動を支援するシステムが活用されている。

このような支援を提供する際の背景として、支援を必要とする多くの人々が動作を行う筋力自体は保持しているが、その正確さや判断に問題を抱えている場合が多いことがあげられる。このような人に必要以上の力学的補助を与えることは、自立心や自尊心を損なう恐れがあり、廃用症候群などに代表されるような悪影響を及ぼしかねない。そのため、被支援者の主体性を生かしつつ動作を支援する新しい形態が必要とされており、それが社会での行動支援の一つの選択肢となることが期待されている。関連研究としては、仮想現実感のための擬似的な感覚呈示や、拡張現実感における感覚の増強呈示などがあげられ、そのためのデバイス設計や性能に関する多くの報告がなされているが、動作の誘導に関する定量的な性能や人間機械系としての総合的な性能の解析をシステムティックに行った例は乏しい。

### 2. 研究の目的

利用者の自立的な動作をその意図に応じて支援するシステムの一形態として、「着るアシスタント」、つまり、体性感覚を呈示するデバイスによる動作支援を設計・実装することを目指した。これは、従来のパワーアシストのように強い力学的補助を与えるものではなく、また、情報呈示のみでもなく、その中間的な性質を持つ。つまり、皮膚感覚などを通して、動作の基準となる時間や位置を呈示しながら動作を促したり、弱い拘束力を

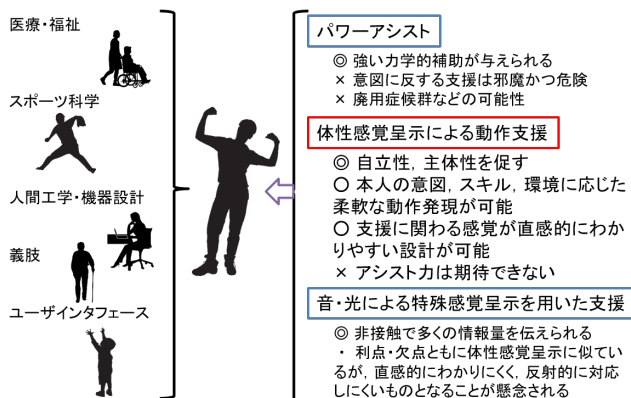


図 1: 体性感覚呈示による動作支援

関節などに及ぼすことによって、望ましくない動作を抑えるものである。これはリハビリテーションや健常者のトレーニングにも通じる考え方であり、多くの潜在的需要が見込まれる。

このような支援形態を提案するのは図 1 に示した理由による。例えば、手で物体に接触するような日常動作でも「触りたい」、「押したい(移動させたい)」、「自分のバランスを保つ支えにしたい」、等の異なった意図があり得る。このような状況で、本人の意図にそぐわない外力を加えたり、無理に動作を誘導することは危険な補助になりかねない。さらに、タイミングも重要であり、例えば、バランスを失ってから注意を促したのでは、転倒を防止することは難しい。

このような「着るアシスタント」を実現するためには多くの課題がある。その主なものには、(i) 動作や生理的状态を計測するためのセンシング方法、(ii) 身体動作の多様性・自由度の高さに対応できる動作や意図の解析・認識、さらに、(iii) 状況に適した支援を行うための行動やタスクのモデル化などが上げられる。さらに、安定性、疲労等、考慮すべき重要な点も多い。そのため、種々の観点から詳細な計測を行うことや、内部状態のモデル化を行うことから着手した。

### 3. 研究の方法

以下のような研究項目に対し、複数の組織の協力によって研究を進めた。

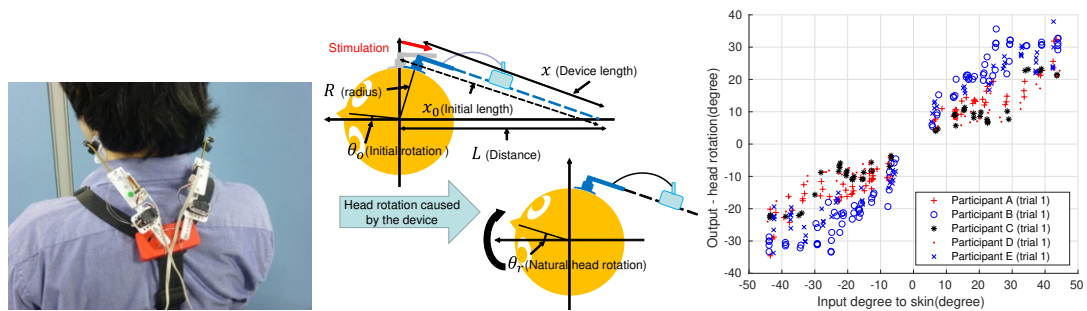


図 2: 皮膚の引っ張りを用いた頭部回転誘導デバイス (左図が skin-stretcher を装着した状態を, 中央は引っ張りによって回転を促す幾何的な関係を示す。右図は引っ張りによって要求する回転角と実際の回転角の対応を複数の被験者に対してプロットしたもの。比例関係に近い入出力特性が得られていることがわかる)

(1) 体性感覚を用いた支援デバイスの設計とその基礎的性能の確認 (京都大学・ブリストル大学)  
 種々の体性感覚を呈示するデバイスを設計・実装し, その基礎的な特性を確認する。装着部位, 誘導したり抑制する動作の種類, 装着するデバイスの数などにより, 適した形態が変わってくる。これが想定されるため, 複数のデバイスを並行して設計・実装し, その基礎的な特性を確認する。

(2) 動作・行動支援のための動作計測と意図推定手法 (金沢大学・熊本大学・京都大学)  
 身体の姿勢, 筋電位を統合的に計測して無線通信を介してホストに転送するシステムを実装し, 動作予測を行う。その基本的な考え方は, 複数の筋肉の協調関係 (筋シナジー) を類型化することである。単純な動作では, 主動筋, 協働筋 (同じ向きのトルクを発生), 拮抗筋の 3 種類の関係が基本となるが, 複雑な動作では, 離れた筋肉を考慮する。

(3) 机上作業タスクにおける動作の認識とタスクのモデル化 (京都大学, ブリストル大学)  
 これからの高齢化に備え, 高齢者が安心して働ける環境と支援機器を整えることが社会的に重要な課題となっているため, 動作のモデル化を本研究課題の一環とする。具体的には, 機器操作時の動作や視線その他の記録を記録し, 作業における動作モデルを構築すること, それを基に作業の支援や誘導を行うことを目的とする。その際に, 熟練者だけではなく初心者を含めた記録を用いることにより, 初心者や不安定な作業者に対する支援や訓練に適したものとする。

#### 4. 研究成果

(1) 体性感覚呈示デバイスとして, 図 2 に示したような皮膚の引っ張りを用いた (skin-stretcher) デバイスを設計し, 頸部に装着することによって, 情報呈示を行う仕組みを提案した。実装したデバイスを用いて基礎的な性能の解析を進めた。これにより, 装着者が刺激に合わせて自分の頭部を回転させる場合には, 図 2 のように刺激が要求する回転角を装着者が一定の精度で推定することができることが検証された。また, その際の頭部の回転動作を制御モデルで近似する際のパラメータや精度について分析を行った。その結果, 提案システムが, 所定の時刻に所定の頭部回転を促す動作誘導・動作支援デバイスとして良い性質を持っていることが検証された。

さらに, 装着者が頭部の回転を行わない場合でも, 回転を許す場合に比べて推定精度は悪くなる

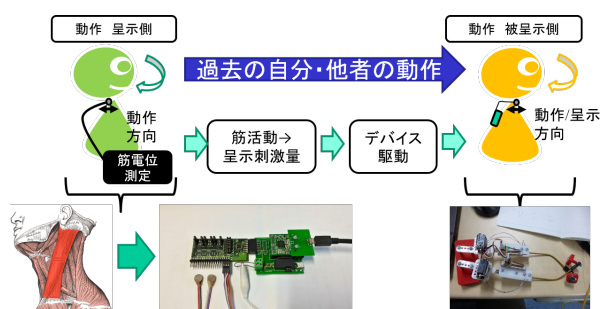


図 3: 体性感覚呈示による動作伝達 (他者, または, 過去の自分の動作を直感的に感じ取ることができる)



図 4: 動作の統合的計測 (上段が画像計測, 慣性航法計測, 筋電計測を統合した動作計測であり, 研究室外に出られることを特徴とする. 下段は立ち上がり時の筋活動と姿勢 (関節角) を表示したものである)

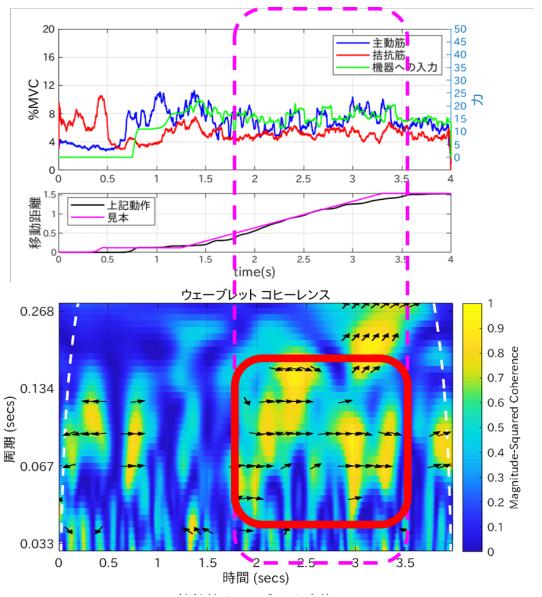
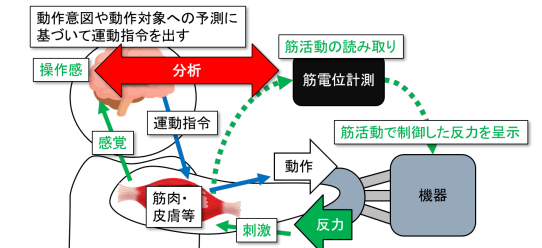


図 5: 力覚呈示デバイスを用いた刺激・動作意図・筋活動の関係の解析 (上段が分析の考え方, 中段が筋活動と発揮筋力 (=機器の反力), 下段が主動筋と拮抗筋の賦活のコヒーレンスを示す)

が, 回転のタイミングや角度の大きさを一定の精度で推定可能であることもわかってきた. この観点に基づき, 図 3 のように, 被観測者 (患者・被訓練者など) の頭部動作を筋電位によって計測し, 観測者 (介護者・教育者など) に伝えるシステムの主要部分として skin-stretcher を用いることを提案した. すなわち, 離れた人間同士で状態を伝えるためのデバイスとしての頭部動作のセンシング・伝達方法として, 主動筋, 拮抗筋の相互作用を考えることの妥当性を検証した. 日常生活によく現れ, 注意することが必要な起き上がり, 立ち上がり動作など, 典型的な動作等を基に動作要素のアルファベットと呼ぶべき頭部姿勢変化・筋活動パターンの類型化を行い, その組み合わせ (複合動作) としての行動の成り立ちについて, 観測者に伝わる精度などを分析した.

(2-1) 動作・行動支援のための動作計測と意図推定手法のために, 図 4 のように姿勢・筋張力・筋電位の計測データを収集するシステムを設計・実装した. 具体的には, 慣性航法 (IMU) を用いた体の各部位の位置計測と深度情報が得られる画像計測を併用し, 隠れが生じる場合でも正確に身体の姿勢を計測しながら, 筋電位などの生体計測データ同期して収録するものである. 本システムを用いる利点は, 統合的な計測を実験室の外, 特に屋外でも行うことが可能なことである. 実際に, 本システムを用いて屋外での種々の路面 (上り下り, 凹凸, 滑りやすさ等の変化) での歩行動作の計測の計測を行い, 良好な計測結果が得られることを確認した.

また、このシステムを用いて、日常生活の中で最も重要な動作である立ち上がりを支援するための動作予測の手法を提案した。立ち上がり動作、似ているが立ち上がりでない日常動作、立ち上がり動作の失敗など、立ち上がりに関連する動作データを用い、立ち上がり動作の予測と識別に関する分析を行った。立ち上がり動作と日常動作との混在に対しては、座面から臀部が離れるまでに一定の精度で予測が可能であることが明らかになった。さらに、筋シナジーが良い指標となり、種々の路面条件における歩行動作の比較が容易になることを確認した。

(2-2) 種々の動作意図と筋の賦活の関係を調査するために力覚呈示デバイスを用い、外部から与える力を制御しながら筋電位を計測し、図5に示すように、主動筋、協働筋、拮抗筋の細かな賦活やその協調・拮抗関係から動作意図を推定するための分析を行った。いくつかの特徴的な時空間的パターンが現れることが確認でき、今後の動作意図推定への手がかりを得た。

(3) 機械操作を自動的にモデル化するために、初心者から熟練者までの複数の操作者による操作列を観測し、熟練過程を考慮した統合を行うことにより包括的な操作モデルを獲得する手法を提案した。まず、機器操作の様子を操作者の視点から撮った映像から、手と機器の接触を自動的に検出し、それを統計的に処理することにより、hotspot と呼ぶ重要な操作点を抽出し、手の形状や移動などから操作の種類を識別することにより、機器操作に必要な手と機器のインタラクションの列を求める手法、また、複数の熟練した操作者のインタラクション列を統合することにより、操作モデルを得る手法を提案した。

また、熟練者の操作には、初心者にとって難しすぎる操作が含まれていたり、初心者が必ず行うべき確認などが抜けていることが多い。そのため、初心者を含めて多くの操作者からその機器操作を記録し、包括的な操作モデルを構築する手法を提案した。具体的には、まず熟練者の操作によってベースラインとなるモデルを作成し、それに初心者の記録から得られる種々の操作を付け加えていく二段階の手法であり、初心者の記録が誤りや種々の雑音的な操作を含んでいる場合でも、図6のような包括的なモデルを得られる。

実用を考慮した場合、操作者の熟練度を客観的に評価することは簡単ではない。

ある部分の操作には熟練していても、他の部分に対しては初心者レベルである場合も想定される。この問題に対処するため、本研究では、操作者が熟練していく過程をモデル化し、それに基づいて初心者と熟練者を識別することにより、様々な人の操作記録を統合して包括的な操作モデルを得る手法を提案した。以上の手法に対し、実際にミシンの操作を題材とした実験を行い、種々のインタラクションを含む操作が良好にモデル化できることを実証した。

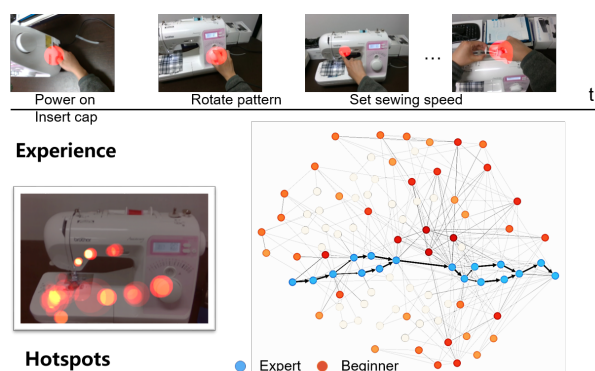


図 6: 機器操作のタスクモデルの獲得 (上段が自動的に取得された個々の操作, 下段左が機器操作が起こった場所 (hotspot), 右が初心者と熟練者の操作記録を統合して得たタスク実行モデル)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Takahide Ito, Yuichi Nakamura, Kazuaki Kondo, Jonathan Rossiter, Junichi Akita, Masashi Toda	4. 巻 -
2. 論文標題 Motion Information Transmission for On-Neck Communication	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Conference on Computer-Human Interaction Research and Applications (CHIRA)	6. 最初と最後の頁 206-213
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 該当する
1. 著者名 Takahide Ito, Yuichi Nakamura, Kazuaki Kondo, Espen Knoop, and Jonathan Rossiter	4. 巻 E103-D
2. 論文標題 Design and Performance Analysis of a Skin-Stretcher Device for Urging Head Rotation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems	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） 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 該当する
1. 著者名 Alice Haynes, Melanie Simons, Tim Helps, Yuichi Nakamura, Jonathan Rossiter	4. 巻 Vol. 4, No.2
2. 論文標題 A wearable skin-stretching tactile interface for human-robot and human-human communication	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 1641-1646
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） <a href="https://ieeexplore.ieee.org/document/8632684">https://ieeexplore.ieee.org/document/8632684</a>	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 Longfei Chen, Yuichi Nakamura, Kazuaki Kondo, Walterio Mayol-Cuevas	4. 巻 Vol. E102-D, No.2
2. 論文標題 Hotspot Modeling of Hand-machine Interaction Experiences from a Head-mounted RGB-D Camera	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE TANSCTIONS on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 319-330
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） <a href="https://doi.org/10.1587/transinf.2018EDP7146">https://doi.org/10.1587/transinf.2018EDP7146</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 該当する

1. 著者名 Longfei Chen, Kazuaki Kondo, Yuichi Nakamura, Dima Damen, Walterio W. Mayol-Cuevas	4. 巻 なし
2. 論文標題 Hotspots Detection for Machine Operation in Egocentric Vision	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Fifteenth IAPR International Conference on Machine Vision Applications (MVA2017)	6. 最初と最後の頁 223 - 226
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/MVA.2017.7986841	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 該当する

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 寺田翔平, 右田雅裕, 戸田真志, 近藤一晃, 秋田純一, 中村裕一
2. 発表標題 水平腕運動中に腕の筋から 生じる反射応答の調査
3. 学会等名 HCGシンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡田拓洋, 井藤隆秀, 近藤一晃, 中村裕一, 秋田純一, 戸田真志
2. 発表標題 筋活動による呈示反力の制御と質感の変容の分析
3. 学会等名 HCGシンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡田拓洋, 井藤隆秀, 近藤一晃, 中村裕一, 秋田純一, 戸田真志
2. 発表標題 筋活動による呈示反力の制御と質感の変容の分析
3. 学会等名 HCGシンポジウム2019, B-1-1, 8 pages, 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井藤隆秀, 近藤一晃, 中村裕一, Jonathan Rossiter, 秋田純一, 戸田真志
2. 発表標題 頸コミュニケーションのための動作伝達様式の選択 ~ 複数様式の併用と腕時計型デバイスによる選択 ~
3. 学会等名 信学技報 MVE2018-48, Vol.118, No.405
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡田拓洋, 近藤一晃, 中村裕一, 秋田純一, 戸田真志
2. 発表標題 力覚デバイスを用いた筋協調の時間的変化の分析と俯瞰
3. 学会等名 HCGシンポジウム2018, B-1-5, 8pages, 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 武田健資, 井藤隆秀, 近藤一晃, 中村裕一, 秋田純一, 戸田真
2. 発表標題 立ち上がり動作の予測 ~ 筋電位と姿勢を用いた立ち上がり動作の計測と予測 ~
3. 学会等名 信学技報 HIP, Vol.118, No.262, pp.9-12, 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井藤隆秀, 近藤一晃, 中村裕一, Jonathan Rossiter, 秋田純一, 戸田真志
2. 発表標題 皮膚引っ張り型デバイスによる行動・動作状態の伝達と見守り
3. 学会等名 信学技報 PRMU, Vol.118, No.35, pp.17-22
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 土谷将人, 右田雅裕, 戸田真志, 近藤一晃, 秋田純一, 中村裕一
2. 発表標題 複数筋の協調関係に注目した動作変容検出の試み
3. 学会等名 HCGシンポジウム2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 井藤隆秀, 近藤一晃, 中村裕一, Jonathan Rossiter, 秋田純一, 戸田真志
2. 発表標題 頸コミュニケーションの提案
3. 学会等名 HCGシンポジウム2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 栗栖崇紀, 近藤一晃, 中村裕一
2. 発表標題 注意分配に依存した頭部・体幹・手の動きの協調関係の解析
3. 学会等名 HCGシンポジウム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	秋田 純一  (Akita Junichi)  (10303265)	金沢大学・電子情報通信学系・教授   (13301)	

## 6. 研究組織 (つづき)

	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	戸田 真志  (Toda Masashi)  (40336417)	熊本大学・総合情報統括センター・教授     (17401)	