

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 31 日現在

機関番号：32665

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25750256

研究課題名(和文) ブルンストロームステージに適合する片麻痺患者支援のための動作解析に関する研究

研究課題名(英文) Motion analysis based on Brunnstrom stage for supporting hemiplegia

研究代表者

遠藤 央 (ENDO, Mitsuru)

日本大学・工学部・助教

研究者番号：50547825

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本申請課題では複数台3Dスキャナを用いて片麻痺患者の回復段階を自動診断するシステムの研究に取り組み、レーザースキャナを前提とした高精度な位置校正手法、複数台レーザースキャナの計測情報統合手法、統合情報からの計測対象者のデジタル人間モデル(DHM)の自動生成手法ならびにDHMに基づいた回復段階の自動判定システムを確立した。また、より一般的に利用でき、より多くの診断例を取得するために、ビデオカメラ映像と確率学的にDHMをマッチングすることで計測対象者のDHMを構築する技術を確立した。これらを統合し、日常生活動作から回復段階を自動診断するシステムのプロトタイプを構築した。

研究成果の概要(英文)：In this study, a system to estimate recovery stage of hemiplegia automatically by using multiple three-dimensional laser scanners was developed. To achieve this target, the following system and methods was researched and developed: a high-precision position calibration method on the assumption uses laser scanners, an algorithm for integrating measuring information of multiple scanners, a method to generate the digital human model of a target person automatically based on the integrated information and estimation and diagnosis method based on the digital human model. For utilizing generally and getting much diagnosis case, a method to generate a digital human model by matching video movie of a target person and a digital human model analyzed already was developed. By integrating technologies described above, a proto-type system, which estimates recovery stage of a target person automatically from activities of daily living, was built.

研究分野：ロボット工学

キーワード：麻痺グレード自動診断 人体3D計測 デジタル人間モデル 複数台3Dスキャナ利用システム ブルンストロームステージ マーカレスモーションキャプチャ

1. 研究開始当初の背景

高齢者や脳血管疾患患者などの介護ニーズは今後倍増すると予想され、現行の介護サービス水準を維持・改善しようとする場合、労働力人口に占める介護従事者数の割合は倍以上になると見込まれる。しかし現状では、被介護者・介護者と支援技術のマッチングが未だ不十分とされ、ロボット技術や福祉機器技術などがサービスとして確立するためにも、障害者のニーズをきめ細かく把握する研究が極めて重要な課題となっている。

申請者も、片麻痺患者の日常生活を移動ロボットと多用途作業装置により支援する研究を進め、簡単な設備の代行操作を実現してきた(図1)。研究ではニーズに即した支援のために、申請者らが開発した3次元デジタル人間モデル(DHM)を被験者動作の実写映像に適用し詳細動作を検証した(図2)。

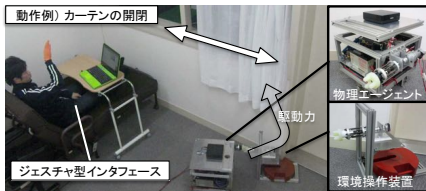


図1 物理エージェントによる環境操作支援

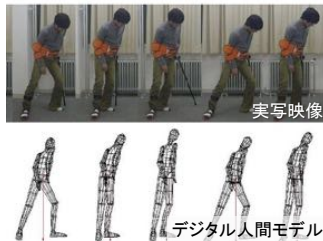


図2 被介護者動作のDHM化

しかし、麻痺患者を6つの回復段階に分類するブルンストロームステージ(BS)にあるように、片麻痺患者の機能レベルは様々である。加えて、分類のための試験や計測は被験者に過大な負担を強いる上、倫理上の問題やプライバシー保護の観点から簡単ではない。この結果「ニーズに即した適度な支援」を提供しようとしても、その前提となる機能レベルや状態を高精度かつすみやかに絞り込む方法が未だ提供されていない。

2. 研究の目的

以上の背景を受け、本研究ではセンサおよびカメラ情報を用い、片麻痺患者の機能レベルや状態を高精度かつすみやかに推定するシステムおよび、その手法について研究することを目的とする。推定はシステムにより自動的に実施することを目標とし、分類は前述した片麻痺患者の分類として臨床現場でも一般的なブルンストロームステージ(BS)に準拠する。

(1) 典型動作を対象とした複数センサによる3D計測法および標準3D-DHMの開発

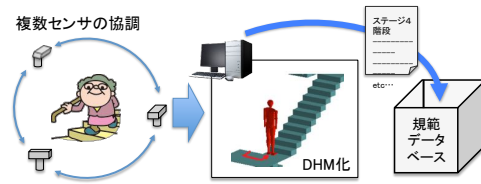


図3 典型動作の複数背差による3D-DHM化

被介護者のBS分類に必要な片麻痺の典型動作データベースを構築するための計測技術を開発する(研究1-1)。具体的には、3Dスキャナを用いることとし、センサ計測時の仕器や被験者自身による計測の遮蔽に起因する計測不可能な状況を回避するために、複数のスキャナを協調する計測法、ならびに誤差を有する複数のスキャナからのデータを同期させるための校正法を開発する。

これら複数スキャナによる計測技術を用い、被験者の典型動作を計測しBS分類する。ここで収集したデータをもとに、BS分類準拠の3次元デジタル人間モデル(以下BS-DHM)を作成する(研究1-2)。このBS-DHMに基づきデジタル値として定量化された動作情報をもとに被験者のBSを自動推定する手法を研究する(研究1-3)。

(2) BS対応デジタル人間モデルの構築と生活支援診断技術の開発

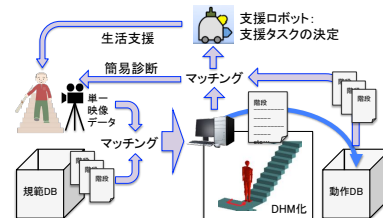


図4 ビデオデータに基づくDHM化と簡易診断

BS-DHMを縮約すると任意姿勢の2次元シルエット画像を作成できる。これを広く研究用として提供されている片麻痺動作ビデオとフレーム毎に統計的にマッチングを取ることによって、その差分から3DのBS-DHMを精緻化する。さらに医療専門家および現場介護専門家の意見を導入して、より細分化された高精度なBS-DHMを作成する(研究2-1)。

以上の手順によれば、倫理およびプライバシーの問題を最小限として計測し、診断できる。現状では学習・研究用の資料として数多くの片麻痺患者の記録が存在する。そこで次のステップでは高精度なBS-DHMを記録画像の動作検定に適用することにより該当するステージを絞り込み、生活支援診断を行うことのできる技術として開発する(研究2-2)。

3. 研究の方法

(1) 研究1-1 [複数台3Dスキャナを用いた

BS 典型動作の 3D 計測法の開発]

赤外線カメラを用いたモーション計測システム、いわゆるモーションキャプチャは既に製品として十分に成熟し、複数の赤外線カメラを協調させるための校正技術や、それらのデータ統合技術はほぼ確立されている。

一方、近年になり赤外線レーザーを用いた様々な 3D スキャナが開発されている。これらは赤外線カメラを用いたシステムと違い、マーカレスでモーション計測が出来る利点がある。しかし、これらは単体のセンサから計測するため、遮蔽による計測誤差の問題がある。実際の介護現場で被介護者を計測する場合はマーカレスであることが望ましいが、現場での住設機器や日用品などによる遮蔽に対処する必要がある。

そこで上記の問題を解決するため、本研究では複数台の 3D スキャナを協調して計測する技術を導入し、スキャナの位置校正技術と計測データの統合技術を開発する。校正技術に関しては、申請者が従来研究している車両搬送システム iCART の搬送物体位置計測システム (図 5) の技術に基づき、手法を研究する。具体的には iCART で複数台の 2D レーザスキャナを協調して位置校正する技術を 2D から 3D に拡張し応用する。

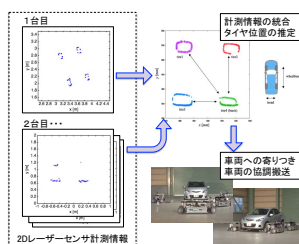


図 5 車両搬送システム iCART における複数台 2D レーザセンサの協調利用

加えて、計測データ統合技術に関しては、申請者らが従来研究していたダンスパートナーロボット PBDR の計測データ統合技術 (図 6) を応用する。具体的には PBDR において実際のダンサーのステップを赤外線カメラによりモーション計測し、ロボットの規範動作のデータベースを構築した技術を拡張し、3D スキャナの統合技術として応用する。

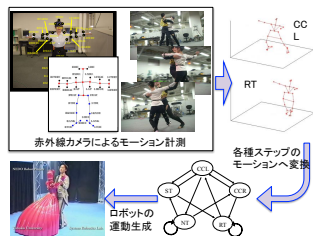


図 6 ダンスパートナーロボット PBDR における計測データ統合

(2)研究 1-2 [3D 計測データに基づく簡易モデル参照型 BS-DHM 生成法の開発]

研究 1-1 で開発したセンサシステムを用い

て実際にモーションを計測し、DHM を生成する。ここでは、取り込んだ動作情報から DHM を生成する技術が必要となる。これは申請者が携わっている DHM に基づいた大規模避難のシミュレーションの研究 (図 7) における DHM 構築技術を片麻痺患者のモデルへと拡張することで実現する。

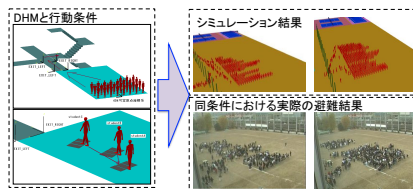


図 7 DHM に基づく大規模避難シミュレーション

(3)研究 1-3 [DHM に基づく BS 判定]

研究 1-2 で開発するアルゴリズムにより生成される DHM により、被験者の四肢の位置や各関節の角度を定量的に取得可能となる。一方で、介護福祉関連の研究において、従来観察者の主観により判断していた麻痺の回復段階を一般化するために、定量評価する研究例がある。これに生成される DHM から得られる情報を適用することで、システムにより BS を自動診断する。このために DHM 各部位位置情報から関節角度へ変換する手法および介護福祉分野の先行研究への適用手法について研究する。

(4)研究 2-1 [選択的低次元モデルと動作ビデオデータ照合法の開発]

本研究ではビデオデータを解析し、それよりモーション計測する技術の開発をする。具体的には、解析対象となるビデオデータにおける被介護者とビデオカメラの位置関係に基づき、研究 1 により生成される DHM より 2D のポーズ参照画像 (シルエット画像) を生成する。これには申請者が使用している CAS リサーチ社のモーション生成ソフトウェア (図 2) を用いる。

生成したポーズ参照画像とビデオの各フレームを、運動パターンの認識分野で実績のある隠れマルコフモデル(HMM)により解析し、ビデオデータ内の被介護者の体勢を推定する。これにより 3D のモーション計測をマーカレスで、かつ 1 台のカメラで実現する。HMM を用いた推定手法については PBDR のダンスステップ推定法を応用する (図 8)。

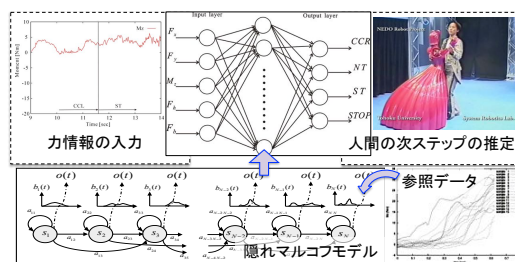


図 8 PBDR における HMM によるステップの推定

(5)研究 2-2 [既存ビデオデータ群を用いた当該患者 BS 分類推定手法の開発]

研究 2-1 の技術を用いて、学習教材や医療介護指導用として過去に作成されたビデオデータを解析する。これにより、倫理やプライバシーの問題から撮影が難しい実際の被介護者の動作を多数 DHM として取得できる。これらの HMM の学習データとして用いる事により、研究 2-1 の推定精度を向上させることが可能となる。また、学習教材や医療介護指導用として作成されているため、それらのビデオデータには BS 分類や症状の情報が詳しく付記されているだけでなく、倫理やプライバシーの問題も解決済みである。

(6)研究 2-3 [被介護者の映像に基づいた自動簡易診断技術の開発]

モーションおよび BS 分類や症状のデータを参照し、実際の被介護者を解析する。これにより徐々に回復し、日々状態が良くなる麻痺患者の BS 分類を医者や介護士でなくても診断できるだけでなく、BS 分類に基づいてリハビリなどの指導が可能となる。また、インターネットなどを介してビデオデータをシステムに入力することによっても同様に診断や指導ができる。

4. 研究成果

本申請課題では 3 年間の研究期間内において研究期間内に、研究 1-1 に関してレーザスキャナを前提とした高精度な位置校正手法、複数台レーザスキャナの計測情報統合手法を確立した。また、研究 1-2 に関して統合情報からの計測対象者の DHM の自動生成手法、研究 1-3 に関して DHM に基づいた回復段階の自動判定システムを確立した。

また、研究 2-1 に関連し、ビデオカメラ映像と確率的に DHM をマッチングすることで計測対象者の DHM を構築する技術を確率した。研究 2-2 に関連し介護関連研究者と連携し、既存資料から DHM を生成することで歩容などの特徴を抽出することを実現した。加えて研究 2-3 に関連し、提案システムを統合し、日常生活動作から回復段階を自動診断するシステムのプロトタイプを構築した。

(1) 従来、様々な用途を想定したレーザスキャナを利用したシステムがある。本申請課題のように複数台の位置合わせだけでなく、AR と呼ばれる仮想現実を構築するためにも利用される。そのためセンサ位置を構成する手法はライブラリとして入手可能である。しかしながら、その位置精度が劣悪で本申請課題で利用できない。そのため、位置校正手法を独自に研究開発した。

本研究では RGB-D センサと呼ばれる一般的に容易に入手できる 3D レーザスキャナを利用する。従来技術により RGB-D センサの位置校正をする場合、センサに搭載されるカメラ画像に基づき、カメラを対象に開発され

た位置校正手法を用いて校正する。これを本研究ではレーザスキャナそのものの情報を用いて校正することとした。図 9 に位置校正技術およびそれに使用するために開発した校正マーカを示す。

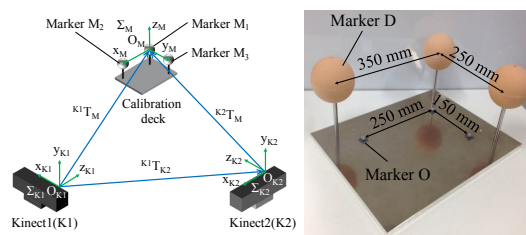


図 9 複数台レーザスキャナの位置校正

また、開発した手法による校正結果を図 10 に示す。図中の青線が従来の一般手法を用いた結果、赤線が開発手法を用いた結果、緑線がマーカを用いた光学センサによる測定結果である。開発した手法が従来よりも精度良くまた、光学センサより高精度であることが確認出来る。

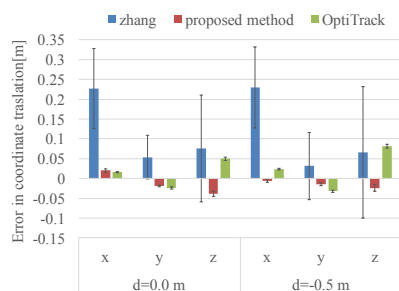


図 10 位置校正結果 (従来技術との比較)

(2) 複数台のレーザスキャナを利用することを前提とした研究も海外には例がある。このなかでレーザスキャナは自己が発光するレーザーの反射光に基づき距離を測るセンサであるため、複数台利用した場合にはレーザーが干渉し、位置精度が著しく悪化することが分かっている。またこれについて、センサを一定周期で振動させることで干渉の影響を低減できることも判明している。

本研究では振動の周波数および方向に着目し、従来詳細には調査されていなかった振動の特性と干渉の低減量を実験より明らかにした。図 11 にその一例を示す。実験より一般的に用いられる Microsoft 社製の RGB-D センサについては 70 Hz 程度の振動を加えることでセンサ干渉を効果的に低減可能であることがわかった。

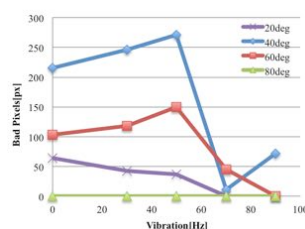


図 11 加振によるレーザー干渉の減少

(3) 複数台レーザスキャナを用いて DHM を生成する技術を確認した。単体のスキャナから得られるワイヤフレームモデルでは、日常生活環境における什器や計測対象者本人による遮蔽により、不完全になることがある。図 12 に一例を示す。例では体幹による遮蔽で左前腕部のモデルが不完全に成っている。

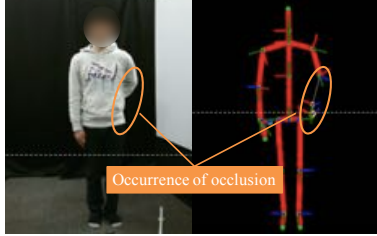


図 12 計測対象者本人による計測の遮蔽

これに対して本研究では複数台のレーザスキャナによるモデルを自動的に統合するアルゴリズムを研究開発し、実装した。本アルゴリズムでは計測対象者と正対しているセンサを主に利用し、計測点（手首や肘など関節点）の確かさに基づき遮蔽の有無を判断する。遮蔽が起きた場合は正対していないセンサの計測点を利用することでモデルを補完する手法である。図 13 に DHM の生成例を示す。中段 1 台による計測では右前腕が遮蔽され位置が正しく出ていないが、下段複数台統合した計測では補完されている。

Frame no.	0th	95th	110th	120th	130th
RGB image					
WFHM (1 Kinect)					
WFHM (2 Kinects)					

図 13 複数台のスキャナ情報統合による DHM 生成

(4) 複数台スキャナ情報統合により生成された DHM から BS を自動判定するシステムを構築した。DHM より定量的に得られる各関節の位置に基づき、本研究では人間の関節モデルに基づいた逆運動学問題を解くことで各関節角度を定量的に得ることとした。これら関節位置と角度の値より BS を判定する。

BS の判定については、従来上田らにより提案された BS 判定手法（上田法）に基づき実施する。上田法では他の BS 判定手法に比べ各関節の角度や位置を定量的に表現している。これを利用し、本研究では得られた関節位置および角度を上田法の条件に照らし合わせることで、BS を判定する。図 14 に実験結果の一例を示す。グラフ下部の淡実線が上田法のある試験の結果を示しており 0 が不合格、1 が合格を意味する。120 s 前後において合格判定されていることが分かる。

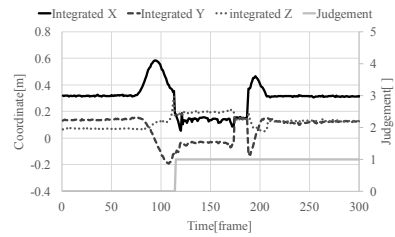


図 14 DHM に基づく上田法による BS 判定結果

特に上田法においては、その位置や角度を確認するための予め定められた試験運動を実施する事としている。本研究では日常生活動作を継続的に記録可能であるため、日常生活動作が上田法試験動作に当てはまる運動をした時に判定をすることとした。これにより被験者は特定の運動をすることなく、日々の BS を診断・記録可能となる。図 15 に開発した BS 診断アプリケーションの例を示す。

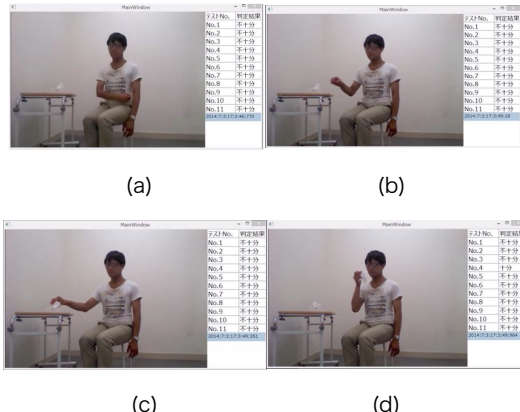


図 15 日常生活動作からの BS 判定アプリ

(5) 上記システムではレーザスキャナを前提としており、研究目的で述べたようにレーザスキャナの計測結果を利用することで、ビデオカメラを用いて簡単に BS 判定することを目指す。このために、ビデオカメラ画像から撮影対象の運動と状態を抽出することに取り組み、確率学を応用した手法により実現した。当初は HMM を用いることを想定していたが、計画後にロボット工学の分野に置いて確率学が広く取り入れられるように成り、HMM よりも簡便にかつ精度良く推定出来ると予想できるため、確率学の手法を採用した。

図 16 に本研究で使用した実験システムを示す。本研究ではモデルを簡便化するために、腕部を模した撮影対象を撮影し、3 関節の角度を推定する。このとき、関節の個数および腕部の長さが違う 4 種類のデジタルモデルを対象とし、いずれかのモデルであるかもマッチングする。マッチングにはパーティクルフィルタを利用し、尤もらしさに従い推定することとした。

図 17 に実験の結果を示す。左図が該当モデルの確率的推定結果であり、時間経過共にあるモデルの値が大きくなっていることが分かる。また、このときの関節角度の推定値

を右図に示す。これよりカメラ画像より種類と運動が推定可能であることが示された。本成果を DHM に拡張することで麻痺の種類と運動が推定できる。

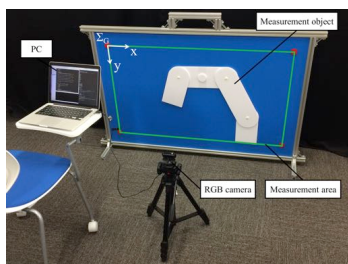


図 16 カメラ画像マッチングによるモデル作成実験

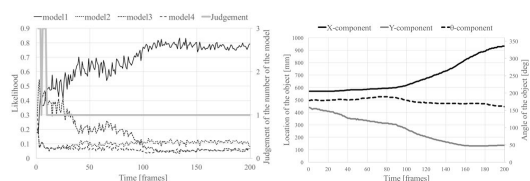


図 17 マッチング結果

(6) 片麻者の医療記録から DHM を作成することに取り組み、その手法を確立した。ここで図 18 に例を示す。左側に示す写真は理学療法の学習用教材に掲載されている写真である。写真をみるとわかるように、医学的に特徴的な状態を一連の動作から切り出し、表示することが一般的である。すなわち、歩行 1 周期の情報が完全では無い。

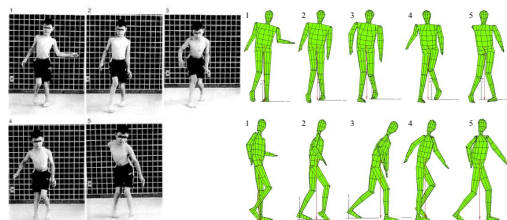


図 18 麻痺患者記録*からの DHM の構築
* 標準理学療法学 専門分野 臨床動作分析, 医学書院

これを本研究ではランチョ・ロス・アミーゴ法に基づき、欠落した情報を健常者の歩容と比較することで予測する手法を確立した。これに基づき、DHM を構築することで右図に示すような歩容を得られる。画像情報から 3D のアニメーションを作成できるため、学習用途にも大変有効である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

- ① Takao Kakizaki, Mitsuru Endo, Jiro Urii, Experimental, Study of an Airplane Accident Evacuation / Rescue Simulation using Three-Dimensional Kinematic Digital Human Models, ASME Journal of Computing and Information Science in Engineering,

査読あり, Vol.15, No.3, 2015, pp.031006-1-031006-10

- ② Takao Kakizaki, Jiro Urii, Mitsuru Endo, Post-Tsunami, Evacuation Simulation Using 3D Kinematic Digital Human Models and Experimental Verification, ASME Journal of Computing and Information Science in Engineering, 査読あり, Vol.14, No.2, 2014, pp.021010-1-021010-9

〔学会発表〕(計 14 件)

- ① 諸根理仁, 遠藤央, 柿崎隆夫, 複数台 RGB-D センサを用いた片麻痺者の状態推定システム -複数台 RGB-D センサ情報の統合-, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会 2016, 平成 28 年 6 月 9 日, パシフィコ横浜 (神奈川県・横浜市)
- ② 諸根理仁, 遠藤麻衣, 遠藤央, 柿崎隆夫, 複数 RGB-D センサを用いた片麻痺患者のブルンストロームステージ推定システム -距離画像情報に基づく RGB-D センサの位置校正-, 第 16 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 平成 27 年 12 月 16 日, 名古屋国際会議場 (愛知県・名古屋市)
- ③ 諸根理仁, 遠藤麻衣, 遠藤央, 柿崎隆夫, RGB-D センサを用いた障害者の状態推定システムの開発, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会 2015, 平成 27 年 5 月 18 日, みやこめっせ (京都府・京都市)
- ④ 諸根理仁, 遠藤麻衣, 遠藤央, 柿崎隆夫, 障害者の早期社会復帰を目的とする支援システム REACH -複数台の RGB-D センサによる計測情報の統合-, 第 15 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 平成 26 年 12 月 17 日, 東京ビックサイト (東京都・江東区)
- ⑤ 諸根理仁, 遠藤麻衣, 遠藤央, 柿崎隆夫, RGB-D センサを用いた片麻痺者のブルンストロームステージの自動判定, 生活生命支援医療福祉工学系連合大会 2014 (LIFE2014), 平成 26 年 9 月 26 日, ルスツリゾート (北海道・留寿都村)

〔その他〕

ホームページ等
<http://www.sslab-nu.com>

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
遠藤 央 (ENDO, Mitsuru)
日本大学・工学部・助教
研究者番号: 50547825