

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 29 日現在

機関番号：82404

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24240095

研究課題名(和文) 障害者の座位姿勢における衣服作製のための3次元計測とバーチャル着装の研究

研究課題名(英文) A research of three-dimensional measurements and virtual try-on systems to make clothes for persons with special needs in seating positions

研究代表者

小野 栄一 (ONO, Eiichi)

国立障害者リハビリテーションセンター(研究所)・研究所 障害工学研究部・研究部長

研究者番号：80356732

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 22,200,000円

研究成果の概要(和文)：障害により体が不自由な車いす利用者の体型に合い、着崩れせず、動きを妨げない等、障害に配慮された衣服が必要だが、従来の衣服作製技術は立位姿勢が基本で、座位姿勢ではない。そこで、座位姿勢の衣服作成支援のため、衣服を着た座位姿勢での非接触・接触3次元体形計測システム、衣服圧が測定できて自由に座位姿勢を変えられるダミーを研究・試作した。また、試着の負担軽減のため、RGB-Dカメラによる非接触3次元計測にて衣服CGモデルを作成し、アパレルCAD等によるシミュレーションのような実時間で試着結果を可視化するため、体の動きの認識結果に応じて衣服CGを変形させAR技術で重畳表示する手法を開発した。

研究成果の概要(英文)：Wheelchair users with special needs have desired comfortable and flattering clothing, which is suit them considering their disabilities without disturbing their movements and getting disheveled. However, conventional manufacturing technologies of clothing are mainly based on standing postures, and most of ready-to-wear clothes neglect the comfort and appearance in seating positions. In this study, we developed a three-dimensional body measurement system for seating positions using a RGB-D camera and a contact sensor. We proposed a clothing CG model by the three-dimensional body measurement system, and a recognition method of sitting postures in order to reduce burdens of the try-on of clothes. Then, an AR technology was adopted to visualize try-on results like real-time simulations of apparel CAD systems. Moreover, we developed a dummy of wheelchair users with pressure sensors in order to evaluate clothes in seating positions.

研究分野：障害工学

キーワード：衣環境 障害者衣服 座位 体形計測 バーチャル

1. 研究開始当初の背景

3次元体型計測技術には、様々な技術があるが、衣服製作用の3次元体型計測機は立位姿勢が基本で、座位姿勢に対応しておらず、研究においても座位姿勢の体型計測の研究は見当たらず、一般に3次元の座標値から曲面を平面状に展開する型紙製作のソフトウェアは、あまり一般に普及していない。

衣服の着装シミュレーションに関しては、立位姿勢での着装シミュレーションはあるが、座位姿勢での着装シミュレーションは見当たらない。

2. 研究の目的

障害により手足が不自由な車いす利用者で、衣服で困っている方は、自力の着脱が困難で、長時間の座位姿勢のため床ずれができません。これは、障害や体型の変化以外に、一般に立位姿勢を基本に作られている上着やズボン、障害を持つ車いす利用者にも必ずしも合っていないことによる。現在の衣服製作技術は3次元体型計測も含め、立位姿勢が基本であり、座位姿勢での衣服製作技術は研究面でも進んでいない。そこで配慮された衣服を作るための支援として、座位姿勢の人の3次元体形計測システム、車いす利用者の衣服製作の支援と衣服の評価を目的としたダミー人形、および障害を持つ人の試着の負担を減らすため、座位姿勢の着装シミュレーション技術の基盤技術の構築を目的とする。

3. 研究の方法

(1) 3次元体型計測

【非接触型計測】

座位姿勢の各部位の計測方法について説明する。深度画像が取得できる代表的なRGB-Dセンサの一つであるXtionを用いて座位姿勢の人の下半身の各部位を計測する。処理の流れは以下の通りである。座位姿勢の人の周囲をXtionで撮影し3次元復元を行う。三次元の床平面を求める。脚部の太ももの方向と脛脛の方向を求める。脛、太もも、脛脛を1cm感覚で刻み、周囲の長さを計測する。

の処理では座位姿勢の下半身部分に対してReconstructMeを用いて三次元の点群を復元し、人が床平面の点を3点以上与えることで幾何学計算によって、床平面を抽出しx、y平面が床平面、z軸が鉛直上向きになるようにキャリブレーションを行う。図1にその結果を示す。

次にの処理では三次元復元結果に対してx-y平面と平行にz軸に対して1cm間隔でスライス画像を作り、点群を領域分割することによってそれぞれの領域の点群の重心を求め、脛脛の方向を決定する。同様の処理をy軸の方向に対してx-z平面に平行に処理することで太ももの方向を決定する。最後にで太ももと脛脛の方向と垂直な平面でスライスすることによって太ももと脛脛、

ウエストのスライス画像を作成し、それぞれの点群に対してエネルギー最小化問題であるスネークを適用することで太ももや脛脛、ウエストの輪郭線を抽出し、それらの周囲の長さを算出する。

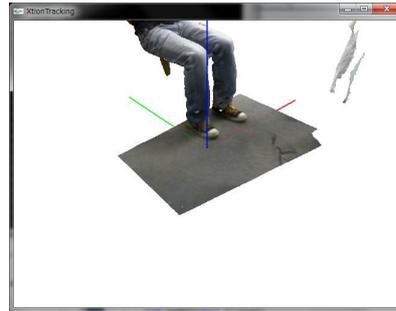


図1 3次元復元とキャリブレーション結果

【接触型計測】

車いす利用者の負担を極力減らし、効率的に体型計測を実施するためには、非接触の3次元計測器を用いた方法が有効である。しかし、この方法では身体による自己遮蔽または計測時の衣服のたるみ等によって正確に計測できない箇所の発生を回避することが不可能なため、並行して接触型の計測装置を局所的に使用することで、より精密な体型計測システムが実現できると考えられる。そこで本研究では、非接触による3次元計測器を補完することを目的とする接触型の計測装置(以下、「局所手動計測器」という。)の開発を行った。

局所手動計測器の開発にあたり、求められる要件として、計測対象である車いす利用者には不快感をもたらさないこと、十分な計測領域を確保できること、および非接触の3次元計測器による計測データとの融合が容易であること、の3点が挙げられる。では、被計測対象に不快感を与えないように、身体との接触部に対して過剰な力が加わらないことが求められる。そのため、身体との接触部には柔らかいパネを使用した。の要件では、座位姿勢時に最も変形が大きくなる腹部形状の変化を計測することが求められることから、最低でも200mm以上の幅が計測可能であることを必要条件として仕様を決定した(図2)。では、データを簡易な方法でPCに取り込むことができるように、無線通信によるデータの送受信を実現した。

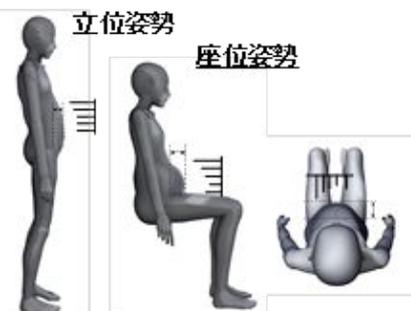


図2 座位姿勢時における腹部形状の変化

(2) 車いす利用者を模擬するダミー人形  
車いすを手でこぐ場合、広い肩の可動域が

必要になる。そこで、人のような広い肩の可動域を再現するために鎖骨(clavicle)に相当する鎖骨リンクを導入した。ダミーのリンク機構を図3に示す。

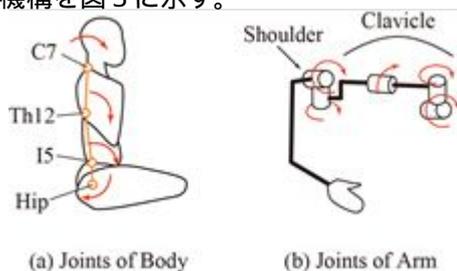


図3 リンク機構

人の臀部は立位時と座位時において形状が異なる。一般的なズボン立位姿勢を規範として型紙が設計されているため、車いす利用者にとって動きづらいなどの問題がある。本研究では、距離画像センサ KINECT を用いて、座位時の臀部の形状を取得し、この形状データを参考にダミーの臀部形状を決定した。人の臀部形状を参考に開発したダミーの臀部を図4に示す。



図4 臀部の形状

衣服を評価するために、ダミー人形に衣服圧を計測するセンサを取り付ける必要がある。そこで衣服圧を計測するセンサとして、圧力分布が計測可能なセンサを開発した。開発したセンサは引用文献を参考にフォトリフレクタと発泡ウレタンによって構成されている。フォトリフレクタにおいてウレタンの変形をセンシングし、圧力を推定する。本センサでは衣服圧を計測することを目指し、低い圧力においても計測できるように調整を行った。センサの外観を図5に示す。製作した分布型触覚センサはウレタンの変形量を検出できることを利用し、人の軟組織を模擬したデバイスを開発した。本デバイスによって臀部などの大変形をする部位における衣服評価が可能になる。



図5 圧力分布センサ

### (3) 座位姿勢の着装シミュレーション

着装シミュレーションに関する技術開発は大きく分けて2つに分けられる。

1つ目は、仮想的に重畳表示するための衣服CGモデルの作成である。本来は衣服の型紙情報から縫合結果をシミュレーションし、それを実際の人間の体型や姿勢に合わせる必

要があるが、本研究では、図6右に示すように近似的な手法としてRGB-Dカメラを用いてすでに誰かが衣服を着ている状態でスキャンすることでCGモデルを作成する。それらを人体形状や姿勢の計測結果により変形させる方法についても検討する。



図6 衣服CGのモデル化によるMR着装シミュレーション(左:合成前、中:合成結果、右:衣服CGモデル)

2つ目は、図6中に示すような体験者を撮影した実写映像に衣服CGモデルを合成するMR合成部分である。予め作成しておいてCGモデルを体験者の位置姿勢に合わせて3次元的に正しい位置に重畳表示し、切り替えられるようにすることで、仮想的な試着を可能にする。着装シミュレーションに必要な機能に関しては、車椅子利用者からのヒアリング等において、下記のような必要機能要件を得ていることから、下記の実現を目指す。

**要件1** . 車椅子利用者が普段見られる様々な角度からの試着結果の可視化

**要件2** . 3次元的に正確なサイズの衣服を正確な位置に矛盾のなく合成

**要件3** . 体験者の移動や関節角度の変更に

関する追従  
着装シミュレーション機能のユーザビリティ評価や要求機能の調査評価は、車いす利用者に対するアンケート調査を実施する。

## 4. 研究成果

### (1) 3次元体型計測

#### 【非接触型計測】

3. で説明した手法で座位姿勢の人を計測した。 $x-y$  平面と  $x-z$  平面によるスライス画像を図7に示す。始めのうちに靴が抽出されており、その後に脛脛、膝、ウエストが抽出されていることが分かる。また  $x-z$  平面におけるスライス画像では靴から脛脛、太ももが抽出されていることが分かる。

以上のスライス画像に対してスネークを適用することで輪郭周囲の長さを求めた結果を図8に示す。赤色の線が脛脛とウエスト、青色の線が太ももを表している。また、線の横の数字がそれぞれの部位の長さを表している。実際の計測結果と比較したところ、太ももの長さについての実際との平均誤差は5.56 mmであり、太ももの太さは11.82 mmであった。

今回の実験は健常者を被験者としたが、今後の課題として実際の障害者を計測することや大量の人の計測結果を用いて統計処理を行うことなどが挙げられる。

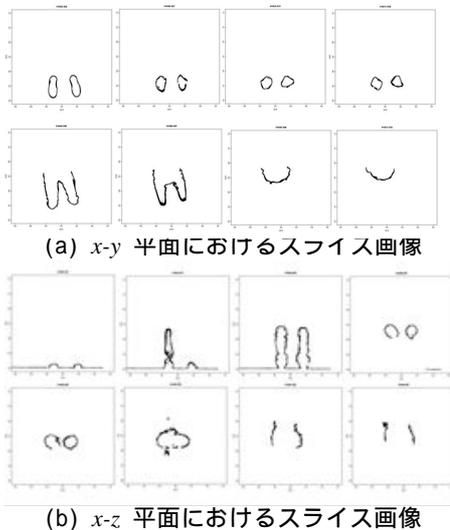


図7 座位姿勢でのスライス画像

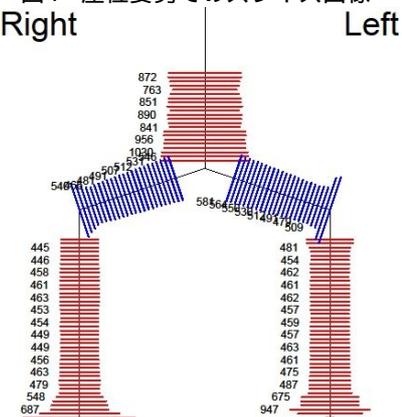


図8 座位姿勢における各部の計測結果

【接触型計測】

研究の方法で示した要件に従い平成 25 年度に試作機 1 を製作した(図9、左)。試作機 1 では、50 mm 間隔で設置されたりニアポテンショメータがバネによって伸張されており、計測時に計測部に接触させてバネを押し込むことで、最大で 200 mm×50 mm の領域の表面形状の計測が可能である。

しかし、製作した試作機 1 に対し、簡易評価を実施したところ、50 mm のセンサ間隔を短縮することによる分解能の向上、および計測範囲の拡張が改善点として挙げられたことから、改良型として平成 26 年度に試作機 2 を製作した(図 9、右)。

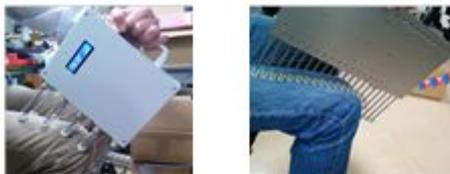


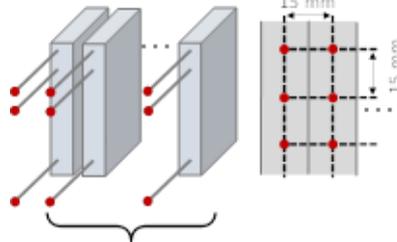
図9 開発した局所手動計測器

試作機 2 では、センサ間隔を 50 mm から 15 mm に短縮することで分解能を向上した。また、リニアポテンショメータ 20 個を 1 列に配置したものを 1 つのモジュールとし、それを縦横に複数台配置することで、15 mm×15 mm のセンサ分解能を維持したまま計測範囲の拡張が可能である(図 10)。今後は、健常者および車いす利用者の計測実験を通して、製作

した局所手動計測器の性能評価を実施するとともに、腹部形状等の身体データを収集が期待される。それによって、衣服製作に必要な座位姿勢時の身体形状の変化を数理モデルとして表現することを検討している。

モジュール構造

分解能



センサユニットをモジュール化することで、計測領域を任意に拡張可能

図 10 試作機 2 のモジュール構造。

(2) 車いす利用者を模擬するダミー人形 開発したダミー人形において、多様な姿勢を再現できることを確認した。ダミー人形の外観(a)及びダミー人形において再現可能な姿勢(b)を図 11 に示す。

図 11 のように、鎖骨リンクを導入することで水平面内での上肢帯において広い可動域が実現できていることが分かる。また、胸部、腰部、大腿などにおいて体幹に複数の関節を配置することで頸髄損傷者の日常的な姿勢を再現出来た。製作した分布型触覚センサをダミー人形に実装し、衣服圧の変化をタブレット上で確認できるようにした。その様子を図 12 に示す。強い圧力がかかるとタブレット上で赤く表示される。図では手で押しているが、上肢を動かすことで圧力が変化する様子も確認できた。軟組織を模擬したデバイスを開発するにあたり、加圧した際の電圧値とウレタンの変形量を計測した。その結果を図 13 に示す。

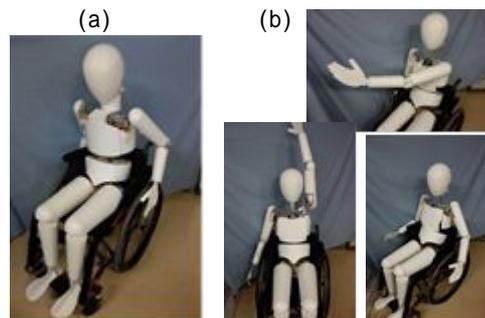


図 11 車いす利用者を模擬したダミー人形 開発したセンサを層状にすることで臀部などの軟組織の再現を検討した。層状に重ねたセンサとそれによる変形量の計測結果を図 14 に示す。単層では計測できない、大きな変形を計測可能であることが確認できた。



Sensor

図 12 センサのダミーへの実装

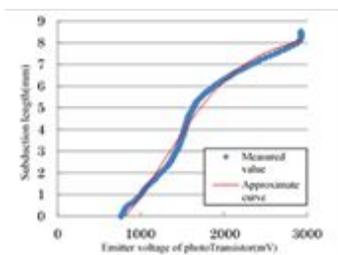


図 13 変形量と電圧値

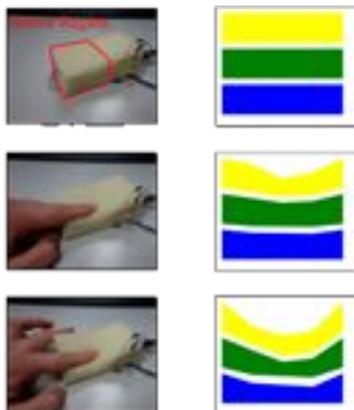


図 14 積層型センサの変形量推定

(3) 座位姿勢の着装シミュレーション  
【衣服モデル作成関係】

衣服 CG モデルの作成に関しては、図 15 に示すように、RGB-D カメラ画像の 1 フレームから衣服部分を切り出す方法からまず着手した。切り出された RGB-D データは、点群からメッシュ構造への変形し、メッシュをスムーズにすることで、深度情報のノイズを軽減されたなめらかな表面を実現した。



図 15 RGB-D 画像からの衣服部分の切り出し  
(左: RGB、中: 深度画像、右: メッシュ)

上記の手法でも正面から固定の姿勢の可視化であれば機能したが、仮想視点を変更したい場合や、体験者の関節角度を変形したい場合に対応できない制約があったため、全面だけでなく背面もカバーする衣服 CG モデルを作成できる方法を採用した。その方法として、RGB-D カメラを用いて被写体の周りぐるりとまわって撮影して幾何形状、テクスチャを推定する 3 次元スキャンシステム ReconstructMe を導入した。また、スキャンされた衣服 CG モデルを変形させるために、内部にスケルトンの定義や表面の追従度を定義することで、スケルトンによる変形を可能にした。メッシュの推定結果とスケルトンの定義の結果の画像を図 16 に示す。

作成のプロセスと一貫性を持たせるために、図 17 にしめすように、衣服製作における型紙に似せたテクスチャ座標のレイアウトを行った。

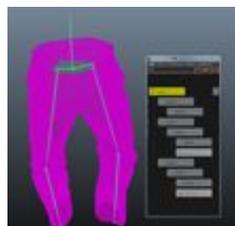


図 16 メッシュの推定結果とスケルトン定義  
衣服 CG の作成方法に関して、できる限り衣服



図 17 型紙に似せた UV レイアウト

【着装シミュレーション関係】

着装シミュレーションに関する機能要件の実現に関しての研究成果として、要件 1 に関しては、RGB-D カメラによる接触での計測結果を用いて体験者や車椅子を 3 次元 CG 空間において再構成合成を行う手法を導入することで、図 18 に示すように、車椅子利用者が望む様々な視点からの試着結果の確認を可能にした。



図 18 RGB-D カメラを用いた 3 次元再構築による  
様々な角度からの試着結果の可視化

要件 2 に関しては、まずは衣服 CG モデルと実写間の対応点 4 点を 3 次元的に指定できる機能を実装し、その対応点に合わせて適切な位置に自動的に移動させる機能を実装し、その後自動的に特徴点位置を検出・追跡する手法へと改良した。また、視覚的な矛盾をなくす方法として、図 19 に示すように、Diminished Reality (DR) や Inpainting 技術を活用することで、3 次元空間再構成時の RGB-D カメラの死角や衣服合成時のはみ出し部分を埋めることで、視覚的な矛盾なく写実的に衣服の合成を実現した。

要件 3 に関しては、作成された衣服 CG モデルを RGB-D カメラを用いて推定された関節位置・角度推定結果を用いて変形する手法を実装した。またウエスト等の個人の体型さへの対応を考慮して、太さ方向の変形に関しても、表面の法線方向の膨張・収縮させる機能することで変形可能にした。



図 19 DR と Inpainting による RGB-D カメラの  
オクルージョン部分の穴埋め

【評価関係成果】

着装シミュレーション機能のユーザビリティ

ティ評価や要求機能の調査評価は、プロトタイプを所内の一般公開で展示し、車椅子利用者に体験していただくことで、フィードバックを得た。得られた意見をまとめたものを表1に示す。主に、車椅子利用者へ配慮や、視点変更機能などが高評価を得られた。また、この時点では想定していなかった後方背後からの可視化の重要性を指摘され、その後のシステム開発、衣服CGモデル作成に関する開発方針に生かすことができた。

表：1

質問項目	意見の抜粋
デモの感想	車椅子利用者への配慮，操作の簡単さは好印象，裾のはみ出しが気になる
自然に感じられた点	衣服CGモデルのしわをそのまま表現できているのは自然
不自然に感じられた点	袖のはみ出し，実物のCGのポーズの違いが不自然
仮想視点	前方上方からの視点は好ましい，後方上方から可視化も望む（補助者の目線）
左右反転表示	有りを好む1名，無しを好む3名
体全体や腕の追跡	腕の移動や体の移動に衣服を追従させてほしい

【今後の課題】

今後は、実際に型紙情報が既知である衣服の計測を行い、図17に示したようなUVとの関連性を強化していく。また、衣服自体が圧力や伸縮度合いがわかるEテキスタイル等も活用することで、実際の服作りに必要な情報を収集し、可視化を行えるようにしていく。それにより、プロジェクト内において、計測、可視化、服作りまで一連の工程を1通り実現できるようにしていく。

<引用文献>

Yoshiyuki Ohmura, Yasuo Kuniyoshi, Akihiko Nagakubo, Conformable and Scalable Tactile, Sensor Skin for Curved Surfaces, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.1348-1353, 2006.

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計6件)

海野 暁央、尾形 邦裕、小野 栄一、五十嵐 洋(東京電機大学)：衣服及び座面による体圧を評価する人体軟組織を模したセンシングシステム、第15回計測自動制御学会SI部門講演会、2M2-4、2014. 東京ビッグサイト(東京都、江東区)

Ryosuke Ichikari, Masaki Onishi, and Takeshi Kurata: MR Fitting Simulation and Clothes Modeling for Wheelchair Users Korea-Japan Workshop on Mixed Reality(KJMR), 2014年04月19日、KIST Jeonbuk Branch、全羅北道全州市(大韓民国)

Ryosuke Ichikari, Masaki Onishi, and Takeshi Kurata: MR fitting simulation with virtual camera motions for wheelchair users, International Conference on

Artificial Reality and Telexistence(ICAT) 2013年12月12日、日本科学未来館(東京都、江東区)

一刈良介、大西正輝、蔵田武志：RGB-Dカメラを用いた車椅子利用者のためのAR着装シミュレーション、電子情報通信学会マルチメディア・仮想環境基礎研究会、2013年09月26日、利尻町交流促進施設「どんと」(北海道、利尻郡)

小野栄一、筒井澄栄、尾形邦裕、粟生田友子、障害に配慮したおしゃれな衣服環境促進のための取組、第15回日本感性工学会大会、D72、2013年09月07日、東京女子大学(東京都、杉並区)

尾形邦裕、田中隆、小野栄一、筒井澄栄：衣服製作支援のための車いす利用者を模擬したダミー人形、第15回日本感性工学会大会、D73、2013年09月07日、東京女子大学(東京都、杉並区)

〔その他〕(計5件)ホームページ等

国立障害者リハビリテーションセンター研究所一般公開にて、衣服製作支援のための車いす利用者を模擬したダミー人形を尾形邦裕が発表。2013.10.19

産総研つくばセンター一般公開にて、バーチャル着装プロトタイプシステムのライブデモを連携研究者の一刈らが発表。2013.7.20 ライフパースン推進実証実験事業(主催：公益財団法人大阪市都市型産業振興センター)のイベントに展示出展し、バーチャル着装プロトタイプシステムのライブデモを研究分担者の大西らが発表。2013.2.20-21

国リハコレクション 2012 ~気楽におしゃれ、始めませんか~ 開催報告

[http://www.rehab.go.jp/rehanews/japanese/webnews/201302/news\\_201302\\_6.html](http://www.rehab.go.jp/rehanews/japanese/webnews/201302/news_201302_6.html)

国リハコレクション 2012 に展示出展し、3次元人体計測とバーチャル着装の研究成果の一端を研究分担者の蔵田、大西が発表。2012.12.9 6. 研究組織

(1)研究代表者

小野 栄一(ONO, Eiichi)国立障害者リハビリテーションセンター(研究所)・研究所 障害工学研究部・部長 研究者番号：80356732

(2)研究分担者

筒井 澄栄(TSUTSUI, Sumiei)国立障害者リハビリテーションセンター(研究所)・研究所 障害福祉研究部・室長 研究者番号：20285969

蔵田 武志(KURATA, Takeshi)独立行政法人産業技術総合研究所・サービス工学研究センター・研究チーム長 研究者番号：20356934

大西 正輝(ONISHI, Masaki)独立行政法人産業技術総合研究所・サービス工学研究センター・研究員 研究者番号：60391894

尾形 邦裕(OGATA, Kunihiro)埼玉大学・理工学研究科・研究者番号 40641436

植山 祐樹(UEYAMA, Yuki)国立障害者リハビリテーションセンター(研究所)・研究所 障害工学研究部・流動研究員 研究者番号 30710800