

## 人型ダミーロボットを用いた上肢運動による衣服評価法の検討

Discussion of Method for Evaluating Clothes using Upper Limb Motions  
of Humanoid Dummy Robot

○ 尾形邦裕 (産総研) 小野栄一 (国リハ) 中山剛 (国リハ)

Kunihiro OGATA, AIST

Eiichi ONO, NRCD

Tsuyoshi NAKAYAMA, NRCD

**Abstract:** Most persons with spinal cord injury have problems such as dressing and toileting, need assist. The persons with spinal cord injury are difficult to obtain suitable clothes considering their body shape and their disabilities. Therefore, a device evaluating a usability of the clothes and assistive technologies quantitatively is required. In this study, a humanoid dummy robot simulated the persons with spinal cord injury were developed to evaluate the clothes and the assistive technologies. This humanoid dummy robot has a superior limb girdle mechanism to extend a motion range of upper limb and simulate several human poses. To measurement a pressure on the body, tactile sensors are mounted on exteriors of the dummy robot. Then, a sensory and motor system that perform desired motions and measure the pressure force from clothes are implemented. When the upper limb of the dummy robot moved, the tactile sensor patterns were measured, then the sensor patterns changed with the coordinated motion of the arm.

**Key Words:** Persons with spinal cord injury, Assistive technology, Robotics, Tactile sensing

## 1. はじめに

厚生労働省の身体障害児者実態調査によると対麻痺及び四肢麻痺を持つ脊髄損傷者は全国に6万人いる<sup>(1)</sup>。麻痺の程度によっては脊髄損傷者の中には下肢のみならず上肢に麻痺を持つ場合がある。そのため、頸髄損傷者の7割以上が更衣や排泄などの日常生活動作(ADL: Activities of Daily Living)を自立して行うことが困難である<sup>(2)</sup>。

このような衣服の課題に対して、障害者の身体機能や体型に適した工夫がなされてきた<sup>(3)(4)</sup>。加えて、機能性だけでなくファッション性を配慮することで障害当事者のQuality of Life(QOL)を向上させることができると考えられている。しかし、障害の配慮とファッション性を兼ね備えた衣服が市販化されているケースは少なく、多くはオーダーメイドにとどまっている。国立障害者リハビリテーションセンターでは障害当事者が抱える衣服に関する課題を周知させる試みとして、障害者によるファッションショー: 国リハコレクションを開催してきた。

このような社会的な解決方法のみならず、衣服の課題を定量化する工学的な課題解決が求められている。衣服の動きやすさや着心地は人の主観的な評価にとどまり、客観的に扱うことが困難である。また、下肢に麻痺のある脊髄損傷者では日常的に車いすで生活しているために、上肢の広い可動域が求められる。また、体型や運動機能の変化、常に座位姿勢であることなどを考慮する必要がある<sup>(5)</sup>。そのため、肩や腕の動きを阻害しないことや座位においても見た目に優れていることなどの機能性、ファッション性が求められている。

そこで本研究では、衣服における機能性を定量的に評価可能なプラットフォームの開発と評価方法の検討を目的としている。これまでに体型変形と上肢の可動を併せ持つダミーロボットの上肢帯機構や腹部機構の開発を行ってきた<sup>(6)(7)</sup>。本稿では、このダミーロボットによる衣服評価法の検討について述べる。

## 2. ダミーロボット

人の身体を模擬し、可動性を有するロボットは人体に身につけるものの評価や医療等の教育に応用されている。

## 2.1 従来のダミー

障害による身体に生じる特性を機械的に表現することで医学教育に応用するためのロボットが開発されてきた<sup>(8)</sup>。これは特定の身体部位の機能特性にとどまっている。これに対して、人の全身運動を模擬することで福祉機器の人の身体に与える効果を定量化する方法が提案されている<sup>(9)</sup>。ロボットを用いることで関節トルクなど人では定量化しにくい指標を用いることを可能にしている。人の身体は骨などの硬組織と筋肉や脂肪などの軟組織によって構成されている。そこで、これらの組織を模擬したダミーを開発し、人の身体にフィットする衣服の評価が行われてきた<sup>(10)</sup>。このダミーは臀部と大腿部のみで構成され、大腿部の可動に伴う衣服による身体への圧迫を定量化した。

これらのダミーでは関節の可動を模擬しているが、体型の違いは考慮されていない。Abelsらは体型が変形するマネキンロボットを開発し、単体のロボットで多様な体型の再現を実現している<sup>(11)</sup>。

## 2.2 脊損者ダミーロボット

これに対して本研究では、衣服の着心地や座位における褥瘡の評価を目的とした脊髄損傷者の身体を模擬したダミーロボットを開発してきた<sup>(6)(7)(12)</sup>。ここで、ダミーロボットの外観をFig. 1に示す。

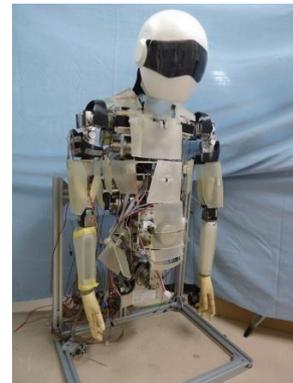


Fig.1 Dummy Robot simulated a person with spinal cord injury.

脊髄損傷者は損傷箇所によって運動機能や体型が異なってくる。例えば、車いすバスケットボールなどのスポーツをしている場合、肩から上腕にかけて筋肉が多く付いていることがある。また、腹筋を使えないために、腹部に脂肪が付いてしまうことがある<sup>(13)</sup>。このような障害に伴う体型の変化が起こりえるため、本研究で開発したダミーロボットには変形機構が搭載されている。また、上肢を使える方にとっては、車いすを漕いだり、様々な日常生活動作などにおいて上肢の動きが重要になる。そのため、上肢の動きを妨げないことは衣服に求める機能性の1つである。本研究では、この上肢の動きに着目し、上肢の動きに伴う皮膚にかかる衣服圧を定量化するシステムを構築し、データ化する方法について検討を行う。

### 3. 脊損者を模擬したダミーロボット

本稿では衣服の着心地や快適性を検討する方法論について検討を行うことを目指す。そこで、衣服評価を行うのに必要なダミーロボットの機構系、センシングシステム、ソフトウェアについて述べる。

#### 3.1 ダミーロボットの機構系

衣服の着心地を検討する上で、上肢帯の動きを考慮する必要がある。そこで、本ダミーロボットには鎖骨に相当するリンク機構を有する。リンク機構の概略図を Fig. 2 に示す。

鎖骨リンクは体幹中央付近に関節を持ち、Roll 軸及び Yaw 軸を持つ。人の肩に相当する部分には Pitch 軸、Roll 軸、Yaw 軸を持ち、肘には Pitch 軸を持つ。これら合計 6 自由度によって上肢の様々な姿勢再現が可能となっている。なお、着衣時の着心地を対象とするため、手首には関節自由度を持たない。

また、肩、胸部、腹部等には体型変形機構を有し、異なる体型における試験を可能としている。本稿では変形機構は用いない。

#### 3.2 ダミーロボットのセンサシステム

衣服圧を評価するために、ロボットの表面に分布型の触覚センサが必要となる。そこで本研究では光拡散方式による分布型触覚センサを製作した。本センサはフォトリフレクタをウレタンで覆い、ウレタンの変形による拡散光の変化を計測することで圧力を推定する。本研究で製作したセンサシートを Fig. 3 に示す。

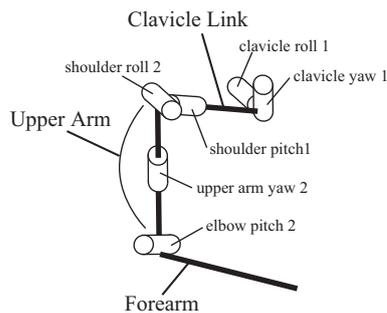
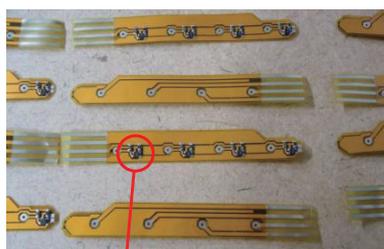


Fig.2 Mechanism of superior limb girdle.



Sensor Element

Fig.3 Tactile sensor sheets.

各シートはフレキシブル基盤上に 4 つのセンサエレメントを持ち、曲面形状のダミーロボットの外装に搭載することが可能である。このセンサをダミーロボットの肩上部、胸部、肩峰部、上腕上部、上腕下部にそれぞれ取り付けた。その取付位置の概観を Fig. 4 の左側に示す。

肩上部に 2 枚、胸部に 1 枚、肩峰部に 1 枚、上腕上部に 1 枚、上腕下部に 2 枚取り付け、7 枚のセンサシートから 28 点の圧力変化を取得することが可能となっている。また、Fig. 4 の右側にセンサ上にウレタンフォームを貼り付けた状態を示す。

### 3.3 ダミーロボットの感覚運動系システム

上記の運動系と感覚系を統合し、任意の動作中の触覚センサパターンを取得可能なシステムを構築した。また、ダミーロボットのコンピュータグラフィックスモデルと連結させることで、目標関節角度軌道によってロボットが自己干渉などの危険動作を行わないかを目視で確認することが可能となっている。本システムの概要を Fig. 5 に示す。

任意に設計した目標関節角度軌道をシステムに入力すると、シミュレータあるいは実機において動作を実行することが可能となる。各モーターはサーボ制御によって任意の関節角度への制御が可能である。また、その際の触覚センサ値は A/D 変換ボードでデジタル値に変換され、システムに入力される。センサ値は関節角度軌道と同時に保存することができる。また、シミュレータ上で圧力変化を色の変化としてリアルタイムに確認することができる。

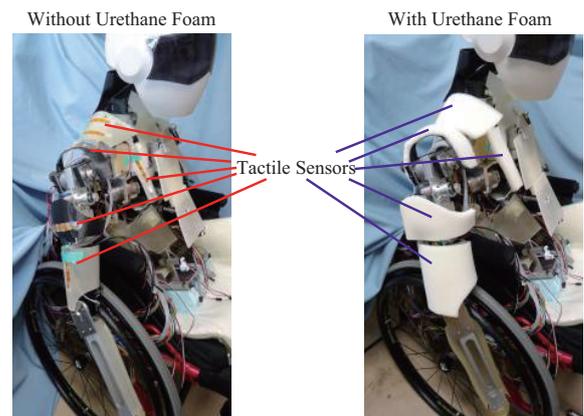


Fig.4 Tactile sensor sheets mounted on dummy robot.

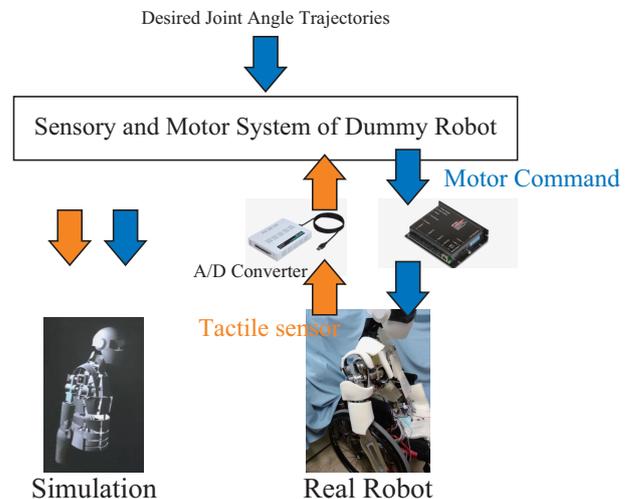


Fig.5 Sensory and motor system of dummy robot.

#### 4. 衣服評価実験

ダミーロボットによる衣服評価方法を検討するための基礎実験を行った。そのため、衣服そのものの評価には言及せず、動作時の触覚センサ変化からどのような評価が可能かの検討を行う。

##### 4.1 実験条件

ダミーロボットにジャケットを着せ、上肢帯及び腕の各アクチュエータを動作させた際の触覚センサパターンを取得する。このジャケットは倉敷スクールタイガー縫製株式会社においてダミーロボットの寸法に合わせて特注で製作した。ロボットに与える動作は各関節を直線軌道で与えた。ロボットに与えた関節角度軌道を Fig. 6 に示す。

clavicle roll1 では肩の挙上，clavicle yaw1 では肩の水平面伸展，shoulder pitch1 では肩の矢状面での伸展，shoulder roll2 では肩の内転，shoulder yaw2 では上腕の内旋，elbow pitch2 では肘の伸展を意味する。但し、関節角度が負値では逆方向の運動となる。各関節角度は 100[ms] ごとに指令値を与えている。この動作を与えた際のロボットの様子を Fig. 7 に示す。

画像から分かるように、肩が水平面に屈曲し、腕全体が前方へ伸びている様子が分かる。また、最後に肘が屈曲し、前腕が体幹前面に来ている。

##### 4.2 実験結果

Fig. 7 に示される姿勢における触覚センサパターンの変化を Fig. 8 に示す。各センサ値は初期値をゼロとして規格化した。電圧値と圧力値の間には正の相関があることを確認しているので、本稿では各センサ値の電圧値を示した。各センサ値は 100[ms] ごとにデータを取得している。センサを搭載した部位ごとに掲載した。肩上部 (shoulder exterior) に 8 点，肩峰部 (acromion exterior) に 4 点，上腕上部 (superior part of upper arm exterior) に 4 点，上腕下部 (lower part of upper arm exterior) に 8 点のエレメントが搭載され、それぞれのエレ

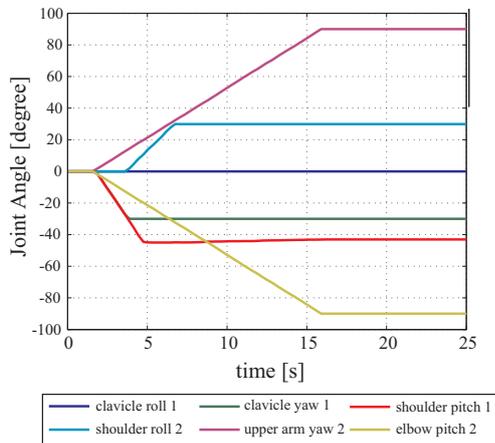


Fig.6 Joint angles of the superior limb girdle and arm.

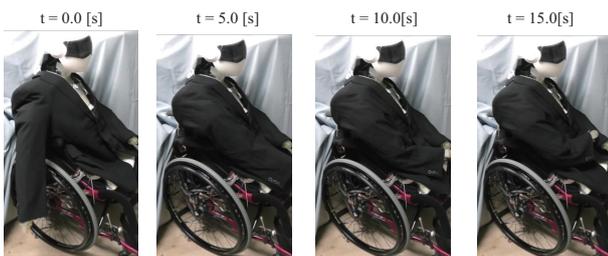


Fig.7 Experimental result: snapshot of superior limb girdle and arm motion.

メントのセンサ値をグラフとして示した。なお、前開きのジャケットでは胸部の触覚センサの変化に大きな意味は無いと考え、胸部のセンサ値は割愛した。

肩上部では変化が見られない、あるいはセンサ値が減少している様子が見られる。上腕上部では全てのセンサ値が変化していない。これに対して、肩峰部ではセンサ値の増加が確認できる。上腕下部では複雑な挙動が見られ、動作開始直後にセンサ値の減少が確認されるも、その後に増加に転じている。このように、センサ値の変化は部位ごとに大きく異なることが分かる。

##### 4.3 考察

幾つかのセンサにおいてセンサ値の減少が見られた。本実験では実験開始時点からジャケットを着衣しており、これによる任意の圧力がロボットの体表にはかかっている。ここで、ロボットが稼働することで衣服にたるみができ、幾つかの部位においてセンサ値が減少したと考えられる。特に、肩上部は腕が矢状面内で伸展することで大きなたるみができたのではないかと考えられる。これに対して、肩峰部は上腕の内転と同期するように 5[s] からセンサ値が増加している。上腕が内転することで、肩峰部が突っ張り、センサ値が増加したと考えられる。

ここで、上腕下部では前半でセンサ値が減少しており、これは肩の矢状面での伸展によって腕が持ち上がることで重力の影響で服がたるんだことが影響していると考えられる。一方で、後半においてはセンサ値が増加している。これは上腕の内旋及び肘の屈曲により袖が引っ張られ、上腕下部での圧力が増加したためだと考えられる。

本実験から、姿勢の時系列の変化から身体各部の負荷の変化を定量化が可能であることを確認した。特に、動作中に刻一刻と触覚センサの値が変化しており、任意の姿勢だけでなく、時系列データによる評価が必要といえる。また、特定の関節だけではなく複数の関節の変化によって生じる触覚センサパターンの変化が見られたことから、複数の関節の変化もデータ解析においては重要であると考えられる。このことから、触覚センサ及び関節角度による多次元ベクトルの時系列情報による衣服評価法を確立する必要がある。

#### 5. まとめ

本研究では衣服の着心地、快適性を定量的に評価するために人型ダミーロボットによる評価方法の枠組みを検討することを目

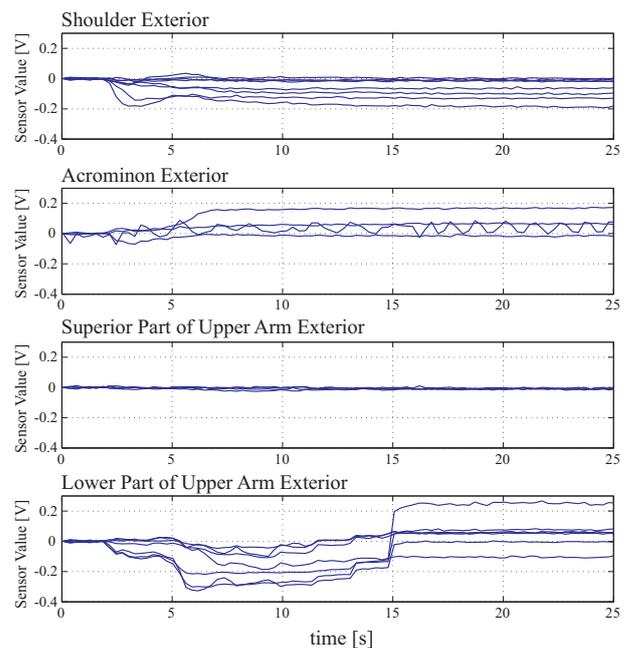


Fig.8 Experimental result: tactile sensor patterns.

指している。着心地、快適性を定量化することで障害者にとって機能性とファッション性の高い衣服の普及に寄与すると期待される。本ダミーロボットは人の上肢帯を模擬した構造と多数の触覚センサを持つ。そこで、複数の関節を協調させた運動における触覚センサの変化を計測した。その結果、任意の姿勢だけではなく、動作中に触覚センサが増減していることが分かった。このことから、時系列変化を考慮する必要があることと複数の関節の協調によって現れる特性があることが分かった。

今回は触覚センサにのみ着目したが、今後は各モーターの電流値など関節自体の負荷も定量化の指標として用いることを目指す。そして、様々な関節角度軌道における触覚センサパターン、関節負荷を健常者向けの服や障害を配慮した服など様々なケースにおいて比較することで、ダミーロボットによる衣服評価法の確立を目指す。

#### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 25282181 「車いす利用者を想定した支援機器等の開発・評価を目的とするダミーの研究」及び 15H01765 「データ同化手法を用いた身体障害者向け衣服の共創的作製に関する研究」の助成をそれぞれ受けた。

#### 参考文献

- (1) 厚生労働省，平成 18 年身体障害児者実態調査結果，<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/shintai/06/index.html>
- (2) 全国頸髄損傷者連絡会，「頸髄損傷者の自立生活と社会参加に関する実態調査」中間報告，<http://k-son.net/?p=131>.
- (3) 小野栄一，リハビリテーションを支える繊維-おしゃれ、元気が出る取り組みに向けて-，繊維と工業，Vol.69, No.11, pp.366-370, 2013.
- (4) 赤川詠子，看護師として障害者の衣料開発に携わって，繊維と工業，Vol.69, No.11, pp.371-372, 2013.
- (5) I. Howe, Fashioning identity: inclusive clothing design and spinal cord injury, Spinal Cord Injury Research and Knowledge Library, [http://include11.kinetixevents.co.uk/rca/rca2011/paper\\_final/F431\\_2295.PDF](http://include11.kinetixevents.co.uk/rca/rca2011/paper_final/F431_2295.PDF), 2010.
- (6) Kunihiro Ogata, Tomoya Kawamura, Eiichi Ono, Tsuyoshi Nakayama and Nobuto Matsuhira, Upper Body of Dummy Humanoid Robot with Exterior Deformation Mechanism for Evaluation of Assistive Products and Technologies, JRM, Vol. 28, No. 4, (in press), 2016.
- (7) 尾形邦裕，中山剛，小野 栄一，辻俊明，体幹部の多様な姿勢と腹部変形を模擬するダミーロボット，第 33 回日本ロボット学会学術講演会，1I1-08, 2015.
- (8) 三浦，徳本，王，ノ，セッサ，千原，松岡，松永，石井，庄司，中江，松岡，高西，全身型患者シミュレータに関する研究-神経疾患を再現する肘関節ロボット-，第 31 回日本ロボット学会学術講演会，1G2-02, 2013.
- (9) Y. Imamura, T. Tanaka, Ko Ayusawa and Eiichi Yoshida, Verification of assistive effect generated by passive power-assist device using humanoid robot, Proceedings of the 2014 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, pp.761-766, 2014.
- (10) 菅谷紘子，岩崎謙次，衣服圧評価用歩行動作ダミーの開発-第 1 報柔らかなダミーの開発-，東京都立産業技術研究センター，第 7 号，pp.58-61, 2012.
- (11) A. Abels and M. Kruusmaa, Construction of a female shape-changing robotic mannequin, Journal of Automation and Control Engineering, Vol. 1, No. 2, pp. 132-134, 2013.
- (12) 金谷康平，尾形邦裕，中山剛，小野栄一，梅津光生，褥瘡リスク評価に向けた荷重推定可能な骨盤モデルの試作，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，2015.
- (13) Y. Maruyama, M. Mizuguchi, T. Yaginuma, M. Kusaka, H. Yoshida, Y. Kasahara, and T. Hosoya, Serum leptin, abdominal obesity and the metabolic syndrome in individuals with chronic spinal cord injury, Spinal Cord, Vol. 46, No. 7, pp. 494-499, 2008.