

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：34504

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350693

研究課題名(和文) 筋肉の協同発揮と姿勢調整・姿勢反射の重ね合わせに基づく能動的起立支援

研究課題名(英文) Standing assistance with a remaining physical strength of the patient considering a voluntary movement and a postural adjustment

研究代表者

中後 大輔 (Chugo, Daisuke)

関西学院大学・理工学部・准教授

研究者番号：90401322

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、高齢者の能動的起立支援のため、姿勢調整と姿勢反射を考慮した個々人に適する起立支援システムの開発を目的とする。本目的を実現するため、本研究は起立動作を、自発性運動と「姿勢調整」、「姿勢反射」の重ね合わせであると仮定し、起立動作を筋肉共同発揮の観点から三つの基本動作に分割することで、各基本動作に要求される各機能との対応付けを明らかにした。さらに、各基本動作における筋肉の負荷を実時間で推定する手法を提案し、これをパラメータとすることで各基本動作における不足する機能を最低限補いつつ被介護者の体力発揮を誘引する起立支援手法を開発した。以上は実機実装を行い、被験者実験にてその効果を確認した。

研究成果の概要(英文)：This study proposes an individual body parameter based robotic standing assistance scheme which considers two functions, one is a motion generating function using a patient's own physical strength, and the other is postural adjustment function. In general, a human movement consists of a voluntary movement which mainly generates the body motion and a postural adjustment which keeps the body stability during the motion. Based on these previous knowledge, this study investigates general standing motion consists of three basic parts and each part requires different physical function of the patient. Furthermore, this study proposes a real-time physical activity estimation scheme during a standing motion and using this result as an index, this paper develops a standing assistance scheme which uses remaining physical strength of the patient maximally. These ideas are implemented to our prototype and its effectiveness is verified by the experimental results.

研究分野：ロボティクス・メカトロニクス

キーワード：起立支援 筋肉共同発揮 姿勢調整 姿勢反射

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、我が国では起立動作を支援する装置の開発が望まれている。特に、施設等に入所していないが起立動作に支障のある65歳以上の高齢者の割合が、高齢者人口1,000人あたり235人となっている。これら的高齢者は完全な寝たきり状態ではなく、家庭にて適切な起立支援を受ければ、十分に自立可能であると考えられる。しかし、従来開発されている起立支援装置は、起立時に高齢者の自発的な起立意志に関わらず機械的に起立支援を行うため、高齢者が自ら起立しようとする意志を弱め(依存心が生じる)、さらに高齢者が自らの力を使わないため足腰の弱体化が促進されるという弊害がある。

(2) この弊害を避けるには、高齢者個々人の低下した筋力部位を特定し、残存する生体機能を最大限活用できるように、能動的な起立動作の支援法をテーラーメイド的に設計することが必須である。従来、高齢者の起立支援法は作業療法士等の経験則によって現場レベルで試行錯誤的に決定されており、起立支援モデルを起立支援法の定量的評価に役立てるという研究は成されていなかった。そこで我々は、起立動作を行う人間の動作をモデル化し、各筋力にかかる負荷を解析すると共に、その負荷を低減する支援方法の開発を試みて来た。

(3) しかし、起立動作はその進み方に応じて求められる支援の性質が異なり(単に筋力負荷を減らすだけではなく、状況に応じてバランス維持なども求められる)、いつ、どのタイミングでどのような支援を行うことが効果的かは明らかではなく、また、そのような発想に基づいた起立支援装置も開発されていなかった。

(4) 一方、先行研究より起立動作は、自発性の運動とその自発性運動に併せて発現する「姿勢調整」「姿勢反射」の重ね合わせと捉えられることが明らかにされている。そこで、起立動作を筋肉共同発揮の観点から複数の基本動作に分割し、その基本動作各々に求められる身体能力を、「姿勢調整」「姿勢反射」の観点から定義づけることで、被介護者個々の起立動作を成すために最低限必要な支援条件を明らかにすることができ、もって能動的起立支援のテーラーメイド化が期待できる。

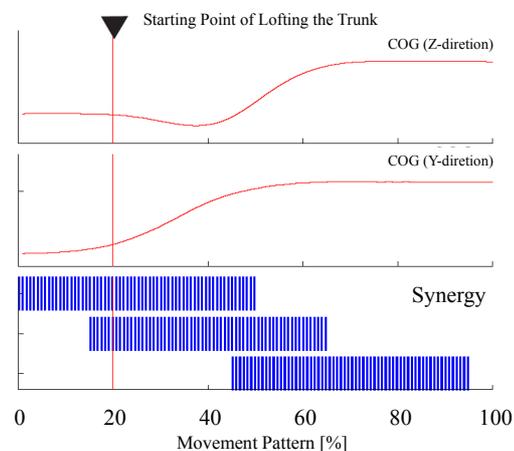
2. 研究の目的

以上より本研究は、高齢者個々人に適した能動的起立支援のため、姿勢調整と姿勢反射で定義された起立動作モデルを確立することと、これを用いた能動的起立支援システムの開発を目的とする。また、提案モデルは、開発中の起立支援システムにおける“高齢者自身の筋力を駆動させ、かつ足りない筋力を補う支援方法”として実装し、被験者実験を通してその有効性を確認する。

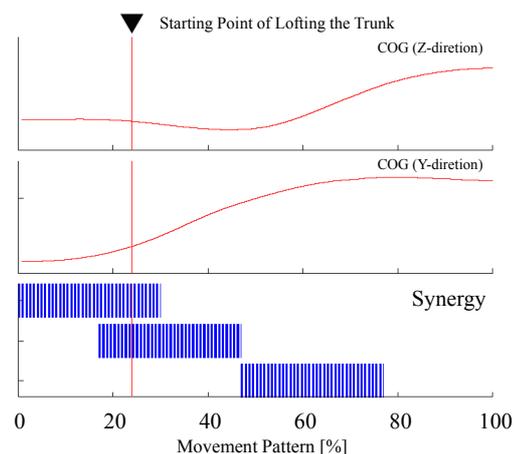
3. 研究の方法

(1) 筋肉協同発揮による起立動作解析

従来、我々の研究より下腿部のヒラメ筋、大腿部の大腿直筋、殿部の大殿筋、広背部の広背筋の4箇所が特に起立動作に関係があると考えられる。そこで本研究では、健常者、高齢者(要支援2)の被験者の起立動作を計測した。本計測実験で得られた4箇所の筋電波形より、従来我々の研究で開発したシナジー解析法を用いて抽出された筋肉協同発揮現象の発揮タイミングと実動作との関係を図1のように明らかにした。図1(a)は健常者の起立動作解析によって抽出された協同発揮現象、図1(b)は高齢者のそれである。健常者、高齢者いずれの場合においても、各々3つの筋肉共同発揮現象が抽出できた。さらに、起立動作の進行度合い(本報告では以後、起立割合と表記する)と実際の起立動作の関係を図2に示す。



(a) 健常者



(b) 高齢者

図1 抽出された筋肉共同発揮現象

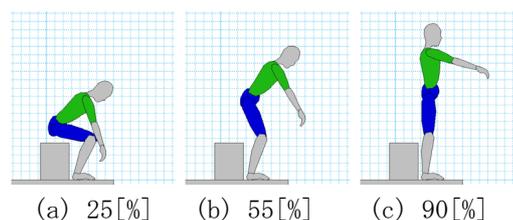


図2 健常者の起立動作

起立動作中は、3つの筋肉協同発揮現象が抽出され、すなわち起立動作は3つの基本動作より構成されることが示唆された。1番目の基本動作が発生した時点では体重心は上方への移動をまだ開始しておらず、前方方向への移動を開始したタイミングにあたる。さらに2番目の基本動作が発生した直後に、体幹が上方移動を開始している。ここで注目すべきは、2番目の基本動作が開始された時点で1番目の基本動作も同時に並行している点である。(この結果は健康者、高齢者とも同様の結果となった。) Chenna らは人間が意志に基づいて遂行する随意運動を行う際には、筋肉の活動は運動に先立って行われ、APA (Anticipatory Postural Adjustments) と呼ばれる準備動作が発動されることを示している。このことから、2番目の基本動作は人間の意思に基づく随意運動で、1番目の基本動作は2番目の基本動作に先立ってAPAを発動させることで転倒の危険を軽減し、体幹を上方に持ち上げる動作を誘発するものであると考えられる。以上より、1番目の基本動作は姿勢調整機能がその動作の可否に重要であり、2番目の基本動作はその動作に必要な筋力発揮機能がその動作の可否に重要であると考えられる。

3番目の基本動作は、重心位置が前方へ移動し、最も体幹の重心が下方に位置する際(すなわち体幹を持ち上げる2番目の基本動作において臀部が離床を開始する時)に発生していることがわかる。重心の前方への移動は、着座状態から起立状態への移行を示している。この際に、足裏と臀部から成る支持基盤面が足裏のみの支持基盤面となり、バランス維持が困難となる。このことから、3番目の基本動作は、主動作が行われている体のバランスをフィードバック的に保つ機能、すなわち姿勢調整機能がその動作の可否に重要であると考えられる。

(2) 身体負荷推定法の提案

従来、実時間身体負荷推定法には多くの場合、人間をリンクモデルと仮定した手法が用いられてきた。この場合、筋肉の発揮力は関節部に設置されたアクチュエータが発生する回転トルクとして表現される。しかし、筋肉が発揮できる力は関節角に依存するため、仮に同じ回転トルクが必要な場合であっても姿勢(関節角)によってその負荷に対する評価は異なる。

そこで本研究は関節角に応じた筋肉配置から、その時に発揮できる筋力を評価する手法を提案した。まず、力学的にその時に必要な各関節の回転トルクを幾何学的に算出する。人間モデルは図3に示す通り6リンクから成る。本支援装置は肘掛けから腕(リンク1)の中点へ $f_{armrest}$ の力を、パッドから体幹(リンク3)の中点へ f_{pad} の力を支援する。さらに着座時、椅子は臀部(リンク3下端)を f_{chair} で鉛直上向き方向に保持する。

この時、所定の身体動作に成すために各関節が出力すべき回転トルク τ_i^{req} (腰関節 τ_w^{req} 、膝関節 τ_k^{req} 、足首関節 τ_a^{req}) は報告者らの先行研究より力学的に導出できる。

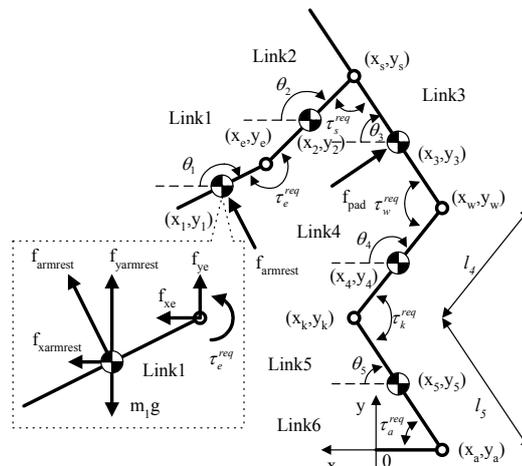


図3 起立動作をあらわす人間モデル

続いて、その瞬間の姿勢において筋肉が発揮できる最大の回転トルクを導出する。本研究では、下肢の筋肉の配置に図4、表1に示す二関節筋モデルを使用した。

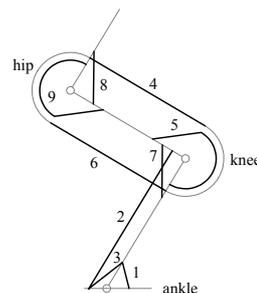


図4 二関節筋配置モデル

表1 使用した筋肉パラメータ

No	Muscle actuator	Physical Areas [cm ²]
1	Tibialis anterior (TA)	19.7
2	Gastrocnemius (GAS)	99.1
3	Soleus (SOL)	247.6
4	Rectus femoris (RF)	43.5
5	Vastus lateralis (VAS)	248.1
6	Semimembranosus (SM)	60.2
7	Biceps femoris and short head (BFSH)	8.7
8	Iliopsoas (IL)	23.0
9	Gluteus masimum (GMAX)	20.0

先行研究より、各筋肉が各方向へ発揮できる力 F_{me1} , F_{me2} , F_{me3} , F_{mf1} , F_{mf2} , F_{mf3} は図5に示す通り幾何学的に計算でき、その分布は六角形になることが知られている。 F_{me1} と F_{mf1} は脚部リンクと平行方向に、 F_{me2} と F_{mf2} は、腰と足首の関節を結ぶ補助線に平行方向に、 F_{me3} と F_{mf3} は脚部リンクと垂直方向に定義される。

さらに、大島らの先行研究によると筋肉の出力とその稼働度合い η_i の関係が示されている。

る. 図5に示す筋肉の幾何学関係と本知見を用いることで, 足先の力出力とその時の姿勢より, 各筋肉の稼働具合を推定することができる. 例えば, 図5において $F_{example}$ の足先出力があった場合, 力ベクトルは図5の六角形内における e 点と f 点の間に存在する. 従って, 図5の筋力出力一覧より各筋肉の稼働度合いは $\eta_{e1} = \eta_{e3} = 100[\%]$, $\eta_{f1} = \eta_{f3} = 0[\%]$, $\eta_{e2} = \eta_{f2} = 50[\%]$ となる.

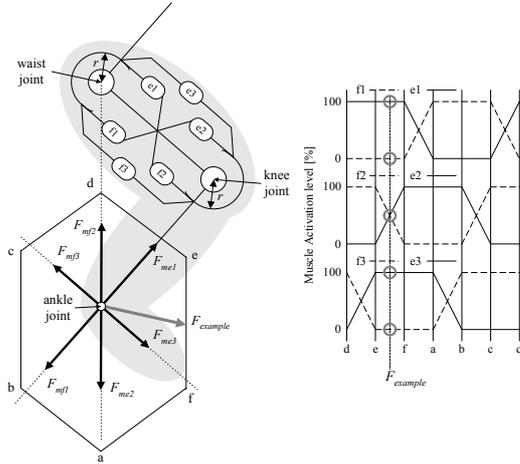


図5 各筋肉出力と足先出力の関係

今, ある姿勢で腰関節と膝関節にて力を発揮した場合 (τ_w^{req} : 腰関節, τ_k^{req} : 膝関節), 足先で発生する力出力ベクトル (f_x, f_y) は(1)式の通りとなる.

$$\begin{pmatrix} \tau_w^{req} \\ \tau_k^{req} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l_5 \sin \theta_5 + l_4 \sin \theta_4 & -(l_5 \cos \theta_5 + l_4 \cos \theta_4) \\ l_5 \sin \theta_5 & -l_5 \cos \theta_5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f_x \\ f_y \end{pmatrix} \quad (1)$$

さらに導出した力出力ベクトル (f_x, f_y) を図5に当てはめることで, 各筋肉の活動度合 η_i を導出することができる.

一方, 各筋肉が発揮できる最大出力 F_i^{max} は, 先行研究より(2)式に与えられる.

$$F_i^{max} = A_i \sigma \quad (2)$$

A_i は各筋肉の断面積, σ は単位面積あたり筋力が発揮できる力である. 本研究では, 先行研究の結果を用いて A_i は表1に示す通り, また $\sigma = 50[N/cm^2]$ と設定した.

筋肉の稼働度合が η_i の時, その時の姿勢において筋肉が発揮できる最大腰関節トルク τ_w^{max} は(3)式, 最大腰関節トルク τ_k^{max} は(4)式の通りとなる. なお, r は骨格によって定まる定数で, 本研究は Hoy ら先行研究の知見を用いた.

$$\tau_w^{max} = (\eta_{e1} F_{e1}^{max} - \eta_{f1} F_{f1}^{max}) r + (\eta_{e3} F_{e3}^{max} - \eta_{f3} F_{f3}^{max}) r \quad (3)$$

$$\tau_k^{max} = (\eta_{e2} F_{e2}^{max} - \eta_{f2} F_{f2}^{max}) r + (\eta_{e3} F_{e3}^{max} - \eta_{f3} F_{f3}^{max}) r \quad (4)$$

(3)式, (4)式における各筋肉の活動度合 η_i は筋肉と骨格の位置関係により変化するため, 筋肉が発揮できる最大腰関節トルク τ_w^{max} , 最大腰関節トルク τ_k^{max} は姿勢に依存することがわかる. 以上より, 本研究で提案する身体負荷推定指標は(5)式である.

$$\mu_i = \frac{\tau_i^{req}}{\tau_i^{max}} \quad (5)$$

本指標は, 現在の姿勢において筋肉が出力できると最大出力 τ_i^{max} のうち, 実際の起立動作において求められる出力 τ_i^{req} を表す指標である. すなわち, 同じ出力トルクを求められた場合であっても, 力を出しやすい姿勢 (すなわち筋肉が出力できる最大出力が大きい場合) は, 力が出にくい姿勢 (すなわち筋肉が出力できる最大出力が小さい場合) に比べて負荷を軽く評価することができ, より実態の即した身体負荷指標となる.

(3) 高齢者個々人に適した起立支援制御

1章の議論より, 起立動作は以下の3つの基本動作より構成され, その基本動作で特に必要となる身体能力は以下ようになる.

- ① 重心を前方に移動させる動作: 姿勢調整能力
- ② 体幹を持ち上げる動作: 随意運動を実行できる筋力発揮能力
- ③ 二足支持時の身体の安定性を保つ動作: 姿勢反射機能

さらに, 2章の議論より, 最も筋力が要求される動作は②の動作であると推測される.

よって, 被介護者の体力を用いながら起立支援を行うためには, ②の動作時に積極的に負荷を軽減する支援方策をとる一方, ①③では身体の姿勢維持に留め, 被介護者の自発的な動作を優先することが適当である.

一般に力制御法を適用した場合, 被介護者を支援する力は増加し, 被介護者の負担は軽減する. なお, 被介護者の負荷軽減は被介護者自身の力を使用しないという点において注意を要する. 一方, 位置制御法を適用した場合, 被介護者の姿勢を誘導する効果は大きい, 被介護者を支援する力は一定のため, 被介護者の負担軽減になりにくい.

よって本研究では, ①③の基本動作においては位置制御法を用いて姿勢の誘導を優先することで「姿勢調整」「姿勢反射」能力を補い, ②の基本動作においては力制御法を優先することで不足する筋力分を補う制御則を実装した.

提案手法を実装した起立支援装置による実験結果を図6および図7に示す. 図6より, 試作した起立支援装置は安定して動作することが確認できた. さらに図7は, 起立動作中, 2番目の基本動作において顕著に働くことが

知られる外側広筋の筋電位を随意最大筋力にて一般化した計測値と、同じく2番目の基本動作において最も負荷が高い膝関節における負荷推定結果をあらわしたものである。図7より、負荷推定結果は概ね妥当であることがわかる。すなわち提案した身体負荷推定法は有効である。

さらに図7(a) (比較のため身体負荷を低減しない補助動作で実施)と図7(b) (提案手法)を比較すると、提案手法では起立割合45[%]程度の時点で身体負荷が低減していることがわかる。これは、提案手法では起立動作中、②の基本動作において体幹を上方に持ち上げるために膝周りの身体負荷が高まったことで、起立支援装置は、制御則を被介護者自らの力を用いることを優先する負荷低減を優先する位置制御から、被介護者の負荷を低減することを優先する力制御に切り替わったことを意味しており、すなわち提案起立支援法およびそれを実装した支援機器制御法が有効であると判断できる。

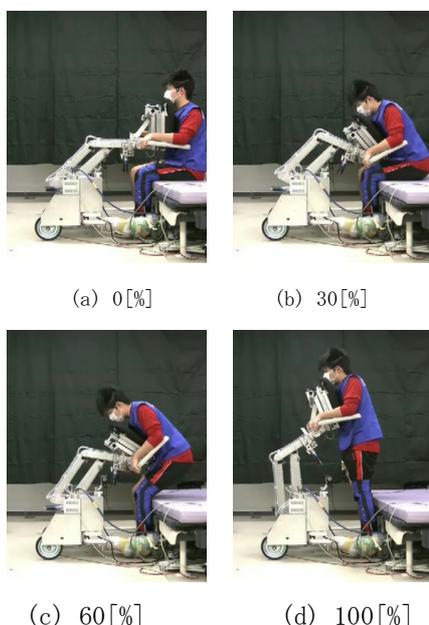
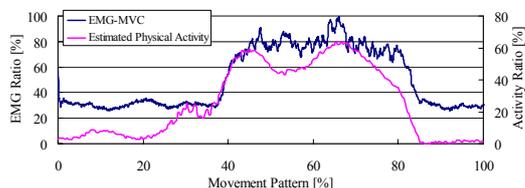
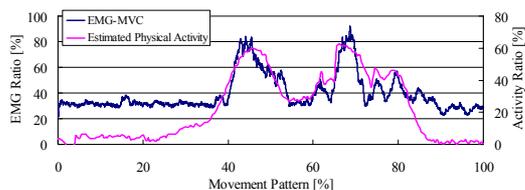


図6 被験者実験結果 (被験者A, 提案手法)



(a) 身体負荷を低減しない場合



(b) 提案手法を用いた場合

図7 起立動作中の身体負荷 (被験者A)

4. 研究成果

本研究を通じて得られた知見・成果は以下の通りである。

- 人間の起立動作は、3つの基本動作より構成され、それぞれの基本動作の内容とその基本動作に特に必要となる身体能力は、①重心を前方に移動させる動作：姿勢調整能力、②人の意志に従って体幹を持ち上げる動作：随意運動を実行可能な筋力、③二足支持時の身体の安定性を保つ動作：姿勢反射能力、である。
- 使用者の身体能力を積極的に用いる能動的起立支援を実現するためには、1番目と3番目の基本動作において姿勢調整能力・姿勢反射能力を補うことに優先し、2番目の基本動作において随意運動に必要な筋力補助を優先することが有効である。
- 下肢の二関節筋モデルを用いて使用者に求められる負荷が、その瞬間の使用者の姿勢から発揮できる筋力から見た場合に大きいか小さいかで評価する、使用者の実時間身体負荷推定を提案した。さらに推定結果を基に身体負荷に応じて、姿勢調整・姿勢反射機能の補助を優先するか、足りない筋力補助を優先するかを切り替える制御手法を提案した。本提案手法は、被験者実験よりその有効性が確認できた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2件)

- ① Daisuke Chugo, Takahiro Yamada, Satoshi Muramatsu, Sho Yokota and Hiroshi Hashimoto, "A Standing Assistance Scheme Using a Patient's Physical Strength by a Load Estimation Considering the Muscle Arrangements of a Human Leg," Recent research on Informatics in Control Automation and Robotics, Informatics in Control, Automation and Robotics 12th International Conference, ICINCO 2015 Revised Selected Papers, Springer, pp.137-156, (2016). (査読有)
- ② Daisuke Chugo, Satoshi Muramatsu, Sho Yokota, Hiroshi Hashimoto, "Robotic Seating Assistance to Prevent Pressure Sores on Wheelchair Patients," Journal of Medical Imaging and Health Informatics, 5(8), pp.1610-1621, (2015). (査読有)

[学会発表] (計16件)

- ① Daisuke Chugo, Satoshi Muramatsu, Sho Yokota and Hiroshi Hashimoto, "Standing Assistance considering a Voluntary Movement and a Postural Adjustment," Proc. of 14th Int. Workshop on Advanced Motion Control, pp.494-499, (2016.04.22, Auckland, New Zealand). (査読有) ※Best Paper Award 受賞
- ② Daisuke Chugo, Nobuhiro Goto, Satoshi Muramatsu, Sho Yokota and Hiroshi Hashimoto, "Robotic Driving Assistance System for Manual

- Wheelchair User on Uneven Ground," Proc. of 2015 IEEE Int. Conf. on Rehabilitation Robotics, pp.648-653, (2015.8.13, Singapore, Singapore). (査読有)
- ③ Daisuke Chugo, Takahiro Yamada, Satoshi Muramatsu, Sho Yokota and Hiroshi Hashimoto, "Assistive Robot for Standing with Physical Activity Estimation based on Muscle Arrangements of Human Legs," Proc. of 12th Int. Conf. on Informatics in Control, Automation and Robotics, pp.21-23, (2015.7.21, Colmar, France). (査読有)
- ④ Daisuke Chugo, Kenji Shiotani, Masaaki Yoshida, Satoshi Muramatsu, Sho Yokota and Hiroshi Hashimoto, "Active Seating Support which reduces the Pressure and Share Stress for a Wheelchair User," Proc. of 8th Int. Conf. on Human System Interaction, pp.27-32, (2015.6.27, Warsaw, Poland). (査読有)
- ⑤ Daisuke Chugo, Sota Aburatani, Takuma Masushige, Satoshi Muramatsu, Sho Yokota and Hiroshi Hashimoto, "A Hand Movement which shows the Intention of a Robotic Guide for Safe Walking," Proc. of the 24th Int. Symp. on Industrial Electronics, pp.940-945, (2015.6.4, Rio de Janeiro, Brasil). (査読有)
- ⑥ 山田 貴博, 中後 大輔, 横田 祥, 橋本 洋志, "起立/着座支援とリハビリ機能を有する歩行器の研究 第14報:使用者姿勢推定センサ用位置調整機構の性能評価," 計測自動制御学会第15回システムインテグレーション部門講演会, pp.111-115, (2014.12.15, 名古屋国際会議場, 愛知県名古屋市).
- ⑦ 西村 諒, 山田 貴博, 中後 大輔, 横田 祥, 橋本 洋志, "起立/着座支援とリハビリ機能を有する歩行器の研究 第13報:筋電信号に基づく被介護者の筋力を用いた起立支援システムの制御," 計測自動制御学会第15回システムインテグレーション部門講演会, pp.111-115, (2014.12.15, 名古屋国際会議場, 愛知県名古屋市).
- ⑧ Daisuke Chugo, Takahiro Yamada, Satoshi Muramatsu, Yuki Sakaida, Sho Yokota and Hiroshi Hashimoto, "A Standing Assistance based on a Load Estimation considering with a Muscle Arrangements at the Human Leg," Proc. of the 2014 IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics, pp.1517-1522, (2014.12.8, Bali, Indonesia). (査読有)
- ⑨ Takahiro Yamada, Masaki Sakaguchi, Daisuke Chugo, Sho Yokota and Hiroshi Hashimoto, "A Load Estimation of a Patient Considering with a Posture During Standing Motion," Proc. of 17th Int. Conf. on Climbing and Walking Robots, pp.61-68, (2014.7.23, Poznań, Poland). (査読有) ※CLAWAR Association Best Technical Paper Award - Highly Commended Paper Award 受賞
- ⑩ Kenji Shiotani, Yu Sakamoto, Daisuke Chugo, Sho Yokota and Hiroshi Hashimoto, "A Depressurization Motion Analysis and Its Assistance for Pressure Sore Prevention of a Seated Patient on a Wheelchair," Proc. of 2014 IEEE/ASME Int. Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics, pp.1510-1515, (2014.7.10, Besançon, France). (査読有)
- ⑪ Daisuke Chugo, Kenji Shiotani, Yu Sakamoto, Yuki Sakaida, Sho Yokota and Hiroshi Hashimoto, "An Automatic Depressurization Assistance based on an Unconscious Body Motion of a Seated Patient on a Wheelchair," Proc. of 7th Int. Conf. on Human System Interaction, pp.38-43, (2014.6.17, Lisbon, Portugal). (査読有)
- ⑫ 山田 貴博, 中後 大輔, 横田 祥, 橋本 洋志, "被介護者の負荷推定に基づく起立動作支援システム", 第19回ロボティクスシンポジウム, pp.251-256, (2014.3.13, 有馬グランドホテル, 兵庫県神戸市). (査読有)
- ⑬ 山田 貴博, 中後 大輔, 横田 祥, 橋本 洋志, "起立/着座支援とリハビリ機能を有する歩行器の研究 第12報:使用者姿勢推定センサ用位置調整機構の提案," 計測自動制御学会第14回システムインテグレーション部門講演会, pp.2707-2710, (2013.12.20, 神戸国際会議場, 兵庫県神戸市).
- ⑭ Takahiro Yamada, Daisuke Chugo, Sho Yokota and Hiroshi Hashimoto, "A Simple Load Estimation of a Patient during a Standing Assistance Motion," Proc. of 16th Int. Conf. on Climbing and Walking Robots, pp.109-116, (2013.7.15, Sydney, Australia). (査読有) ※CLAWAR Association Best Technical Paper Award - Highly Commended Paper Award 受賞
- ⑮ Kenji Shiotani, Daisuke Chugo, Yuki Sakaida, Sho Yokota and Hiroshi Hashimoto, "A Depressurization Assistance System with a Suitable Posture for a Seated Patient on a Wheelchair," Proc. of 13th Int. Conf. on Rehabilitation Robotics, doi: 10.1109/ICORR.2013.6650355, (2013.6.25, Seattle, WA, US). (査読有)
- ⑯ Daisuke Chugo, Kenji Shiotani, Yuki Sakaida, Sho Yokota and Hiroshi Hashimoto, "An Automatic Adjustable Backrest for a Posture Coordination of a Seated Patient on a Wheelchair," Proc. of 6th Int. Conf. on Human System Interaction, pp.97-102, (2013.6.7, Gdansk, Poland). (査読有) ※ The Best Paper Award in the area of Human Machine Interaction 受賞

[その他]

<http://www.chugolab.com/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中後 大輔 (Daisuke Chugo)

関西学院大学・理工学部・准教授

研究者番号: 90401322