

腰サポート用ロボティクスウェアの解析と設計

杉本 光公

キーワード：ロボティクスウェア 腰部サポート 筋活動量

1. はじめに

近年、介護施設などで、腰痛を訴える介護者が増加している。そのため、介護の姿勢の改善や補助装置などが開発されているが、それらはまだまだ普及しているとは言えない。

そこで、本研究では、腰サポート用ロボティクスウェアの解析と設計を目指す。このようなサポートウェアができると、様々な作業での腰への負担が軽減し、腰痛などの予防ができる。また、介護などの場面でも腰に負担をかけずに、作業できるようになる。そのため本研究での研究成果は、今後の日本の社会に非常に有用であると考えられる。まずは、表面の歪の計測により腰部の伸長を測定し、腰アシストの形状、構成の検討をおこない、必要な形状や出力の同定を行うことを目的とする。

2. 方法

既存のアシストスーツなどを参考に、ソフトアクチュエータに必要な収縮力（必要トルク）、その形状と配置位置を同定する。具体的な動作としては、「正面下の取手付き箱(10kg)を持ち上げる」というものを行ってもらい、ストレッチャブル変位センサで、腰部の伸長を測定するとともに、脊柱起立筋の筋電図から筋肉の活動量を計測する。

本既存のアシストスーツなどを参考に、ソフトアクチュエータに必要な収縮力（必要トルク）、その形状と配置位置を同定する。

1) 被験者

被験者は、同意を得た健康な男子学生4名であった。被験者の基礎データを表1に示した。

表1 被験者の特性

	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重(kg)
平均	20.3	167.8	60.3
標準偏差	0.50	4.99	9.11

2) 実験プロトコル

実験プロトコルを図1に示した。被験者は、実験の説明を受けた後に同意書に署名し。被験者の基礎情報のカードに記入後、電極、ストレッチャブルセンサーを腰部に添付され、負荷の入った箱を写真のように、持ち上げ保持する動作を行った。この際、脊柱起立筋からの表面筋電図および、腰部の伸長を測定した。

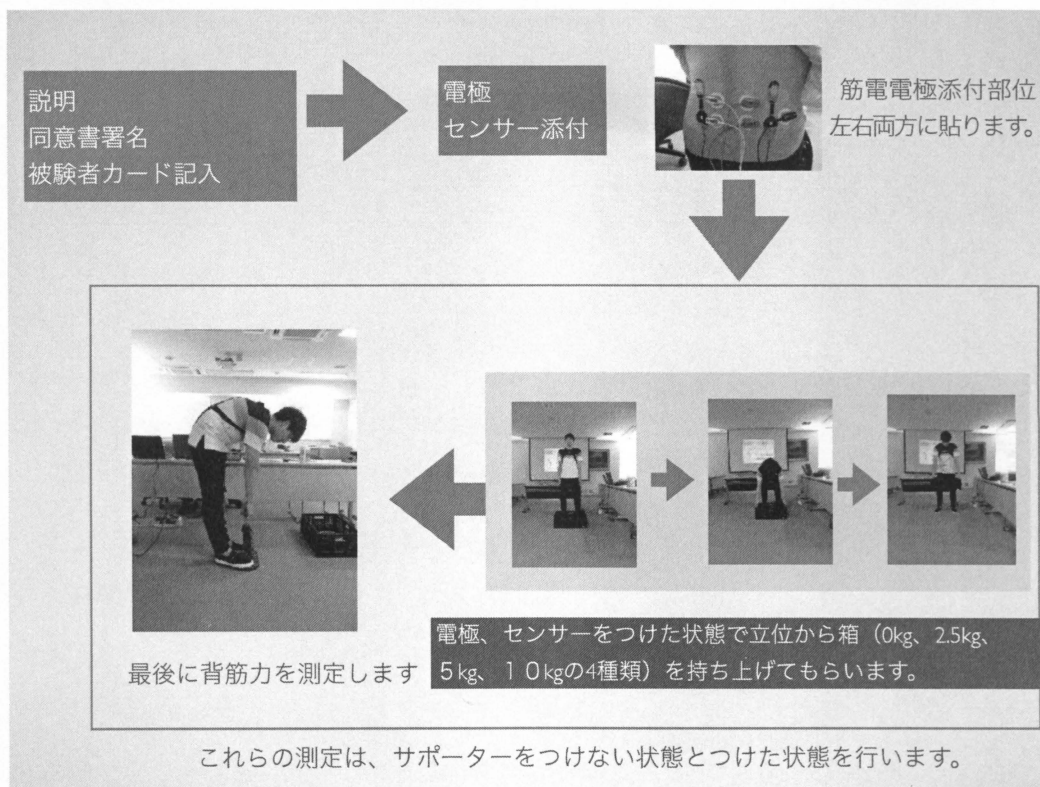


図1 実験プロトコル

3) 実験条件

実験条件は、市販のサポータ付きの条件を S 条件とし、サポータなしの条件を N 条件とした。それぞれの条件で、負荷なし、2.5Kg、5.0Kg、10.0Kg のそれぞれの負荷で計測を行い、最後に腰部角度 30 度での最大筋力を測定した。

3. 結果

1) ストレッチャブルセンサーの結果

ストレッチャブルセンサーの結果を表2に示した。ストレッチャブルセンサーは電圧で出力されるので、キャリブレーションを行い長さに変換してある。ストレッチ

ャブルセンサの結果から、全ての被験者での全ての動作の腰部変位の平均は1.0cm±0.3であった。

実験結果から、サポーターは最大伸長時で上部 7%、下部で 17%伸長しており、全体の伸長率は約 12%程度であると思われる。ロボティクスウェアも 12%程度の伸縮が必要であることが示唆された。

表 2 ストレッチャブルセンサーの結果

		負荷なし	2.5kg	5.0kg	10kg	最大筋力
S条件	平均	1.1	1.1	1.0	1.0	1.2
	標準偏差	0.60	0.50	0.42	0.38	0.50
N条件	平均	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0
	標準偏差	0.12	0.16	0.18	0.22	0.15

2) 市販のサポーターの変異と短縮力

市販のサポーターの形状と、短縮部位を図 2 に示した。市販のサポーターは、上部 2 箇所、下部 2 箇所の計 4 箇所が短縮し、腰部の伸展動作を補助する仕組みとなっている。今回はこのサポーターをモデルに、可塑化 PVC ゲルによるアクチュエータの出力とその配置を検討する。

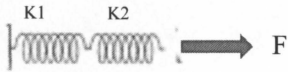
市販の腰部サポーターの変位とその短縮力を表 3 に示した。



図 3 市販のサポーターの形状と短縮部位

市販のサポーターは、立位の状態で各短縮部位は引き伸ばされておらず、張力を発揮していない。しかし、腰部を90度屈曲させた場合は、その長さが最大となり、表3のような長さで、張力を発揮した。

ここで、サポーターの全体の発揮張力を、下式にの様に求めた。



すなわち、上図のように上部と下部のサポーターを直列の連結バネとして、それぞれのばね定数を k_1 、 k_2 、伸びを x_1 、 x_2 とし、力 F で引っ張ると仮定する。

それぞれのばねにかかる力は F であるから、それぞれのばねでのフックの法則の式は、

$$x_1 = \frac{F}{k_1} \quad x_2 = \frac{F}{k_2}$$

であり、書き換えて、

$$F = k_1 x_1 \quad F = k_2 x_2$$

2つ合わせて1つのばねと見なしたときのばね定数を K としてフックの法則の式を考えてみると、このときの伸びは $(x_1 + x_2)$ だから、

$$F = K(x_1 + x_2) = K\left(\frac{F}{k_1} + \frac{F}{k_2}\right)$$

両辺を F で割って、

$$1 = K\left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}\right)$$

この値を全体のばね定数として、上部下部を連結バネとして合成する。また、左右は並列バネとして単純加算して、全体として合成すると、腰部90度屈曲で約5.2kg重の補助力が出力されたと推定できた。

表3 市販のサポーターの伸長とその出力および合成出力

		上部右	上部左	下部右	下部左
伸長	長さ	28.9cm	28.9cm	31.5cm	31.4cm
	伸び率	109%	109%	120%	120%
短縮力	短縮力	2.65kg重	2.42kg重	3.26kg重	3.24kg重
	合計短縮力	5.2Kg重			

3) 筋活動量

負荷別の筋電計の積分値を図4と、図5に示した。積分値は、右側左側とも同じ傾向を示した。すなわち、サポーターなしのN条件は、全ての負荷でサポーターありのS条件の方が低い値を示した。また負荷は負荷なしの状態から、負荷が10kg重まで増加するが、負荷が増加するほど積分値は大きくなった。しかし、これらの平均値について有意な差は見られなかった。これは、被験者数が4名と少ないためであると考えられる。しかし本実験はサポーターの負荷軽減効果を同定するものであるので、本実験の結果は有効であると思われる。

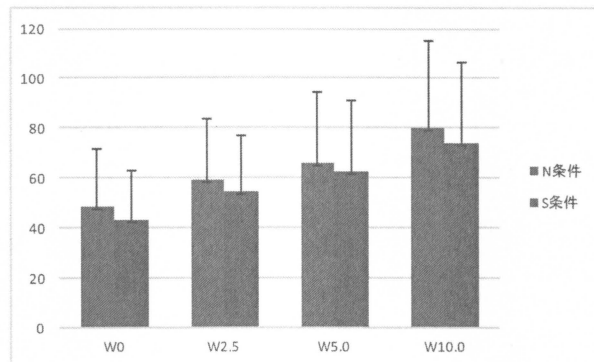


図4 負荷別の筋電計の積分値 (右側)

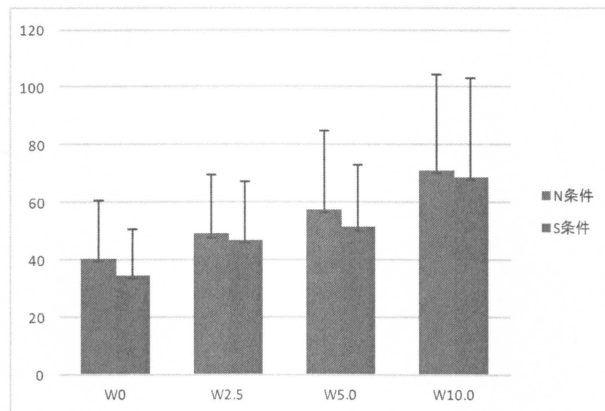


図5 負荷別の筋電計の積分値 (左側)

4. まとめ

本件実験の結果から、以下のことが示唆された。

- 腰部アシスト時の皮膚の伸縮は、1cmであるが、市販のサポーターは、最大伸長時で上部7%、下部で17%伸長しており、ロボティクスウェアも全体で12%程度の伸縮が必要であると考えられる。
- 最大伸長時の市販のサポーターの出力は、上部で約2.5kg重、下部で約3.2kg重

であり、上部はクロスしているのでそれを考慮して計算すると、直列バネと並列バネの合成であり、約5.2kg重の出力があると考えられる。

- このため、ロボティクスウェアの出力は合計で5kg重はこえる必要があると思われる。ただしこれは最大伸長時であり、市販のサポーターは、短くなるにつれて、出力が減少するので、ロボティクスウェアに用いられる繊維素材が、短縮しながらも出力が減少しない場合は、全体の力積を考慮する必要がある。
- ソフトアクチュエーターの配置位置は市販のサポーターと同様に腰部関節に沿って、腰部から大腿部へ装着する必要がある。

参考文献

- 1) 杉本光公, 加藤彩乃:授業「信大マラソン」における自己効力感と記録の関係、信州大学総合人間科学研究 (11), 143-152, 2017.
- 2) Yi Li, Yasuhiro Maeda, Minoru Hashimoto : Light-weight, Soft Variable Stiffness Gel Spats for Walking Assistance International Journal of Advanced Robotic Systems, 12(12):175 2015.
- 3) Li, Y, Hashimoto, M : PVC gel based artificial muscles: Characterizations and actuation modular constructions, SENSORS AND ACTUATORS A-PHYSICAL, 233:246-258 2015(Sep.)
- 4) Hirohito Tanaka and Minoru Hashimoto : Development of a Non-Exoskeletal Structure for a Robotic Suit International Journal of Automation Technology, 8(2):201-207 2014
- 5) Yi Li and Minoru Hashimoto : Emotional Synchronization-Based Human-Robot Communication and Its effects, Int. J. Humanoid Robots, 10(1):1350014 2013.
- 6) 杉本光公, 速水達也, 廣野準一: 体育の授業からみた人間力モデルの構築とその検証 : ロジスティック回帰による分析. 信州大学人文社会学研究 (7), 132-134, 2013.
- 7) Y. Tanaka, M. Hashimoto : Evaluative Experiments of a Fellow Passenger Robot Using a Driving Simulator, Int. J. Adv. Robotic Systems, 10:95-101 2013.
- 8) T. Hirai, M. Ali, T. Ogiwara, D. Tsurumi, K. Yamamoto, T. Ueki, H. Xia, M. Hashimoto : Characteristic Electrical Actuation of Plasticized Poly(vinyl chloride)-Various Electrical Functions in Relation with the Dielectric Plasticizers-, Adv. Sci. Tech., 79:1-3 2013.
- 9) 杉本光公, 折口築, 速水達也: スポーツ実践演習の教養科目への移行に関する考察-抽選システムと二単位化を含めて-. 長野体育学研究 (19), 29-35, 2012.
- 10) 杉本光公, 折口築, 速水達也: 平成 23 年度信州大学新入生の体力測定結果-学部別データの検討-. 信州大学人文社会科学研究 (6), 251-254, 2012.
- 11) 速水達也, 杉本光公, 折口築: 平成 23 年度信州大学新入生の体力傾向の分析. 信州大学人文社会科学研究, 6, 2012.
- 12) 杉本光公: エクササイズバイクのトレーニングに対する音楽の影響 -主観的運動強度および心拍変動による考察-. 長野体育学研究, (17), 1-6, 2010.
- 13) 杉本光公: iPod を用いた運動習慣獲得プログラムの有効性. 2009PC カンファレンス論文集, pp455-458, 2009.

(信州大学 総合人間科学系 全学教育機構 教授)
2018年1月12日受理 2018年2月5日採録決定