

研究報告書表紙

労災疾病臨床研究事業費補助金

炭素繊維バネ搭載ロボット装具による労働者の腰痛防止のための医工連携研究

令和2年度 総括研究報告書

研究代表者 小野寺宏

令和3（2021）年 5月

研究報告書目次

目 次

I. 総括・分担研究報告	
炭素繊維バネ搭載ロボット装具による労働者の腰痛防止のための医工連携研究----	3
研究代表者 小野寺宏	
(資料) 研究成果	
II. 分担研究報告	
炭素繊維バネ搭載ロボット装具による労働者の腰痛防止のための医工連携研究---	9
分担研究者 山口健	
(資料) 研究成果	
III. 研究成果の刊行に関する一覧表-----	14

労災疾病臨床研究事業費補助金  
(総括) 研究報告書

炭素繊維バネ搭載ロボット装具による労働者の腰痛防止のための医工連携研究

研究代表者 小野寺宏 東京大学大学院工学系研究科

研究要旨：炭素繊維(CFRP)バネを搭載する装着型無動力ロボットを開発し荷物上げ下ろし動作時の労働負荷軽減および腰痛予防を目指す。令和1年度は下肢装着型ロボットの仕様と性能評価項目を策定して装具ロボットを試作し運動支援効果を検討した。令和2年度は前年度モデルの課題を抽出しCFRPバネを再設計するとともに人体接続部品のレイアウトを見直して装着所要時間短縮と軽量化を図った。その結果、足関節可動域制限が軽減されて装着感が向上するとともに荷物挙上動作の支援効果が向上した。本装具ロボットの支援効果は正しい荷物挙上姿勢で最大となる(ウエイトリフティングのパワーポジション)。パワーポジションはウエイトリフティングやパワーリフティング選手の腰痛予防に不可欠の姿勢であり、労働者も腰痛予防のため習得すべきである。そこで正しい荷物挙上姿勢習得のためのアプリ開発に着手し令和3年度に完成の予定である。これにより労働安全行政(腰痛誘発動作回避による労災予防)に貢献する。

研究分担者 山口健・東北大学大学院工学系研究科・准教授

A. 研究目的

荷物上げ下ろし作業支援機能と腰痛予防効果(持ち上げ重量15kg以下)を有する無動力の炭素繊維強化プラスチック(CFRP)バネ搭載型装具ロボットを開発する。対象となる労働として、空港や倉庫・工場における重量物上げ下ろし、医療介護施設における患者の動作支援(立ち上がりとベッドから車椅子等への移動支援)を想定する。これらの業務において労働者が常時装着でき、現行の電動ロボットの不得意領域である水濡れ環境や消毒が不可欠な業務環境においても労働負荷軽減効果とともに腰痛予防効果を発揮できる無動力装着型ロボットを目指す。

現在開発が進められている装着型労働支援ロボットは電気モーターや圧縮空気を駆動源とするアクチュエータを用いるものであり、装具ロ

ボットの重量と稼働時間が実用化において課題となっている。アクチュエータを用いる装具ロボットは電源を搭載する必要があるためロボット総重量は更に増加する。このため転倒時に装着者は大きなダメージを受ける危険がある。アクチュエータ搭載型装具ロボットは水や油で汚染された環境での動作が困難だが、無動力のCFRPバネ搭載ロボットは水中を含めてあらゆる労働環境において活用できる利点があり、消毒も容易であるため医療現場や食品工場など清潔が求められる労働環境での活用も期待される。

本研究ではCFRPバネ搭載装具ロボットのプロトタイプを製作し運動解析装置と筋電図計測により本ロボットの労働支援効果と腰痛誘発姿勢の関係を客観的に解析する。装着者が装具ロボットの性能を評価するためのアンケートを制作する(官能試験)。最終年度には労働者が装着し

たままて終日労働が可能な装具ロボットを完成させ腰痛予防と労働負荷軽減を目指す。

※ 労災補償行政の課題との関連性

労働者の腰痛予防・軽減対策としては可能な限り重量物を持ち上げる作業を減らすことが重要である。米国 CDC の基準によれば 15kg を超える重量物の日常的な上げ下ろし作業は機械が担うことが望ましく、人間が空間に挙上・運搬することが許容される重量は 15kg 以下(望ましくは 10kg 以下)に限定すべきであるという。したがって 15kg を超える重量物を人間がやむを得ず空間保持・移動させざるを得ない業種においては従来型のモーター駆動型装具ロボットが担うべきである。本研究において実用化を目指す無動力 CFRP 装具ロボットは 15kg 以下の重量物 (CDC 勧告のように 10kg 以下を将来的に実現すべきである) の挙上動作支援に特化し、従来型のモーター搭載型ロボットと役割分担する。腰痛は荷物持ち上げ型の労働で頻発しており労働補償行政のなかで解決すべき重要項目である。重量物を日常的に扱う労働環境において労働者は脊椎の障害 (椎体変形, 圧迫骨折, 椎間板損傷) に起因する疾患および疼痛に悩まされ離職や生活の質の低下など社会的にも大きな損失が生じる。本研究は労働者が短時間で装脱着できる安全な装具ロボット開発により労働補償行政に貢献できると信じる。

労働者が自らの作業姿勢を実際に見て腰痛リスクを知るとともに効率的で安全な荷物挙上動作を習得するためのソフトウェアの開発が求められる。ソフトウェアには重量物挙上時の腰椎負荷推定値を表示する機能も搭載すれば労働安全管理者が腰痛リスクのある作業工程見直しの際に活用できる。我々は重量物挙上のスペシャリストであるウエイトリフティング選手とパワーリフティング選手の動作を解析し、重量物挙上時の効果的な体の使い方と腰痛予防動作を労働補償行政に反映させたい。重量物操作時の腰痛予防と正しい重量物持ち上げ姿勢の教育に使

用できるマニュアルの策定は最終年度に予定する。

B. 研究方法

CFRP バネ搭載下肢用ロボットの装着による腰痛予防・軽減効果を評価して実用性能を有する装具ロボットを開発する。R1 年度は安全のため市販の汎用アルミニウム製装具を改造して炭素繊維バネで下肢と靴部を連結し種々のバネ強度およびバネのレイアウトを検討した。装具下腿部の外側と内側に 2 枚の CFRP を連結し、CFRP の他端は靴の内外側に連結した。重量物持ち上げ開始時 (しゃがみこみ) に CFRP バネが屈曲し重量物持ち上げ動作時 (立ち上がり) に CFRP バネがエネルギーを解放して元位置に復することで持ち上げ作業を無動力で支援することができる。CFRP バネ定数の最適化にあたり、厚みの異なる数種類の CFRP バネを用いて支援効率の最適化をおこなう。本装具ロボットによる荷物挙上動作支援効果の判定には、(a) モーションキャプチャーによる運動学的解析と筋電図解析、(b) 官能試験 (アンケート) を使用する。官能試験項目については整形外科医・リハビリテーション医・神経内科医が検討のうえ作成した (修正 Borg スケール) (表 1)。モーションキャプチャー解析については従来の光学的 passive marker 法による 3 次元的動作解析とともにビデオ画像のディープラーニング動作解析法を用いた。ディープラーニングによるビデオ解析も併用する理由は実際の労働環境におけるロボットの性能を解析できるからである。

R2 年度は R1 年モデルの問題点 (装具時間が長く調整が面倒, 内側 CFRP バネが介護動作時に被介護者の足に接触する可能性がある, 足関節可動域の制約が大きい) を基に CFRP バネを再設計し CFRP バネ装着位置と取り付け方法を見直した (図 1)。

正しい重量物挙上動作は効率的な筋使用と腰

部ストレスを軽減できる挙上姿勢を意味する。パワーリフティング選手に正しい挙上姿勢と悪い挙上姿勢を演技してもらい挙上効率と腰椎負荷量を計算する。この結果をもとにCFRP バネの支援効果最大化と腰痛誘発リスク最小化を可能にする挙上動作を学習できるマニュアルとソフトウェアを開発する。

(倫理面への配慮) 東京大学および東北大学の倫理委員会に装着実験実施を申請。令和2年度より実業務における装着を視野に入れて承認の後インフォームドコンセントを得て実施する。

### C. 研究結果

R1 年度に決定した重量物作業模倣動作(椅子座面の高さから 10kg の物体を把持して立ち上がり再び元の位置に降ろす)と性能評価基準(客観評価と主観評価アンケート)により装具ロボットの労働支援効果を解析した。R1 年モデルでの要改善点は内側 CFRP バネが介護者の車いす乗乗支援時に邪魔になる事、調整個所が多く装着所要時間の長い事(10 分程度)であり、これらの指摘と解析結果をもとに CFRP バネ再設計、CFRP バネ下端と靴との連結方法見直し、下腿装着部品の改良をおこなった。

測定結果:

装着者全員(分担研究者施設ふくめ 13 名)がロボットの中腰・立ち上がり・荷物挙上支援効果、足関節支援効果を実感した(研究分担者山口の項参照)。膝関節を支援していないにも関わらずほとんどの被検者が膝関節支援効果も自覚した。モーションキャプチャー解析では足関節に加えて膝関節でもバネ強度に比例した支援効果が確認でき、被検者の主観評価が裏付けられた。CFRP バネの強さと支援効果はほぼ比例したが逆に通常歩行の阻害効果が出現した。筋電図のパワースペクトル解析では最大 30% の筋活動軽減効果が認められた(腓腹筋、図 2)。支援効果の個人差は比較的大きいがその原因の一つとして正しいパワーポジションが取れていたか

否かが挙げられる。今年度の実験では被験者が最も挙上しやすいと感じる動作姿勢での計測であった。なおパワーリフティング選手に良い姿勢(パワーポジション)と悪い姿勢(前傾姿勢)で試技をしてもらったが悪い挙上姿勢では腰椎ストレスが増加した(図 3)。

労働者が正しい挙上姿勢を習得し腰痛発生リスクを軽減するためのソフトウェア開発に着手した(R3 年度完成)。労働者が自己の作業姿勢を録画でき腰痛危険度を数字として知り正しい姿勢を学習できる機能を搭載する予定である。手軽に録画と学習ができることを重視しスマートフォンのアプリを開発中である(図 4)。

### D. 考察

我々は CFRP バネを足の両側に搭載することにより、弱いバネを用いても十分な歩行・しゃがみ動作の支援効果が得られること、方向転換時に足関節運動が保たれるため CFRP バネの欠点であった方向転換阻害効果が軽減されることを見出し下肢装着型装具ロボットの開発に着手した(特許出願)。装具ロボットには大きな力が加わるため装具の安全性を最優先し、令和1年度は既存の(スポーツ競技用装具として実績のある)下肢用アルミ製装具を改造して装具ロボットを制作したが被験者の体格・性別により装具ロボットサイズが異なることもあり調整個所の多い(金属部品が多く重い)ロボットとなった。令和2年モデルでは介護支援ロボットと一般労働支援ロボットを分離して設計することで金属製部品点数を削減でき脱着時間短縮と大幅軽量化が可能になった。R2 年度は主に介護支援ロボットの性能評価と性能向上に注力したが、R3 年度は一般労働支援ロボットの評価ならびに両ロボットの実用化にむけた最終調整をおこなう予定である。

本装具ロボットの重量物持ち上げ効果に関しては被験者全員が有効と答えたが、筋電図解析で支援効果を解析すると個人差が大きかった。

パワーポジションが上手に取れた被験者で支援効果（筋電図）が大きい傾向が認められた（研究分担者 山口の項参照）。本研究申請時には労働負荷軽減用 CFRP バネ定数をコンピュータ制御で可変にする予定であったが介護支援ロボットと一般労働支援ロボットに分けることでバネ定数調整が不要となり一切の電子部品とバッテリーを除去できた。これにより水濡れ環境さらには水中での労働にも本ロボットシステムを活用できる。消毒薬でロボット全体を殺菌することも可能であり食品業界や製薬業界などロボットの清潔性が重視される労働環境においても本ロボットの活用が期待される。正しいパワーポジションを取れた被験者で支援効果が大きいことから、正しい荷物挙上姿勢（＝腰痛予防姿勢）を学習できるアプリの開発を進める予定である。

#### E. 結論

労働現場で装着可能な無動力装具ロボットの实用化を目指し、軽量かつ装着が容易で装着違和感の少ない重量物作業支援型装具ロボットを制作し評価した。重量物持ち上げ時の支援効果を確認した。正しい挙上姿勢により支援効果が向上し腰痛リスクも軽減できるため、正しい労働作業姿勢を学習できるマニュアルとソフトウェアが必要である。

#### F. 健康危険情報 なし

#### G. 研究発表

##### 1. 論文発表

Iwori Takeda, Atsushi Yamada & Hiroshi Onodera. Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering. 2020 電子版 <https://doi.org/10.1080/10255842.2020.1856372>. ArtificialIntelligence-Assisted motion capture for medical applications: a

comparative study between markerless and passive marker motion capture.

Iwori Takeda, Wataru Yasunaga, Satoshi Kobayashi, Yusaku Tagawa, and Hiroshi Onodera.

Gait assist brace with double carbon fiber reinforced plastic spring blades to allow ankle joint movement and change in walking direction. Advanced Robotics 2021 (in press).

##### 2. 学会発表

武田伊織, 小野寺宏. 炭素繊維強化プラスチックを活用した歩行・中腰作業支援装具の開発. 第41回バイオメカニズム学術講演会 東海大学湘南キャンパス. 2020/12/6

多川雄作, 岡谷泰祐, 小野寺宏. 弾性半球の周辺局所滑りを利用した1軸力センサでの静止摩擦係数推定の実験的評価. 38回日本ロボット学会学術講演会. 早稲田大学早稲田キャンパス. 2020/10/

Tagawa Y, Okatani T, Onodera H. Experimental study of Estimation of Coefficient of Static Friction with One-Axis Force Sensor by Observing Peripheral Local Slips on Elastic Hemisphere. The proceeding of The SICE Annual Conference 2020. Thailand online. 2020/9/1

#### H. 知的財産権の出願・登録状況

特許出願

歩行支援装具

特願 2017-166264

国際特許移行 PCT 2019

表 1

被験者による官能試験解答項目（アンケート）

アンケート		修正Borgスケール	
修正Borgスケールで評価（最悪が10点）		点数	つらさ指標
・装着時のつらさ(不快感)	_____点	10	非常に強い
バネ無しで3回連続動作		9	
・しゃがみ動作のつらさ	_____点	8	
・荷物持ち上げた時のつらさ	_____点	7	かなり強い
・荷物を元の位置に置く時のつらさ	_____点	6	
バネ装着で3回連続動作		5	強い
・しゃがみ動作のつらさ	_____点	4	やや強い
・荷物持ち上げた時のつらさ	_____点	3	
・荷物を元の位置に置く時のつらさ	_____点	2	弱い
バネの支援効果はありましたか？		1	かなり弱い
股関節 あり・わからない・なし		0.5	非常に弱い
膝関節 あり・わからない・なし		0	なにも感じない
足関節 あり・わからない・なし			
10kg荷物の50回上げ下ろし作業をする場合、 この装具を使いたいですか？			
使いたい・どちらでもよい・使いたくない			
腰痛予防効果はありますか？			
大いにある・多少ある・改良すればある わからない・無い			

図 1 令和 2 年型 CFRP バネ搭載装具ロボット（介護支援用）と挙上動作例

令和 1 年型モデルと比較し重量は半減(500 グラム)し装着所要時間が短縮した。



図 2 重量物(10kg) 挙上動作における腓腹筋表面筋電図

上段は筋電図記録(単位ミリボルト)，下段は wavelet 解析. ロボット装具を装着せずに重量物の上げ下ろし動作をおこなうと，挙上時に腓腹筋活動が著明に増加し，200Hz に達する高周波数の筋活動が認められる（多数の腓腹筋繊維活動を反映. ほぼ full interference). ロボット装着時の筋活動上昇は比較的小さく高周波成分を認めない. ロボット装具の腓腹筋支援効果は一連の動作において約 30 パーセントである（筋電パワー解析）.

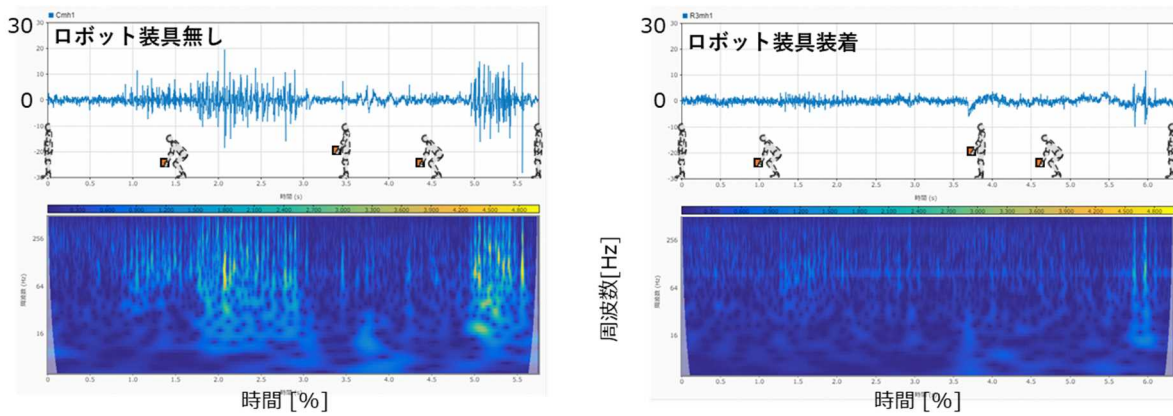


図3 パワーリフティング選手による正しい重量物挙上姿勢（パワーポジション）と悪い姿勢の例  
 20kg のシャフトを挙上しているため正しい姿勢でも腰部負荷は 4500N に達している．悪い姿勢では 4800N と腰部負担が増加している．ただし悪い姿勢であっても重心位置をシャフト近傍に位置させて腰部負荷軽減姿勢を無自覚にとっているため 300N の増加にとどまるが，一般労働者の場合は腰部負荷がさらに大きくなると推測する．

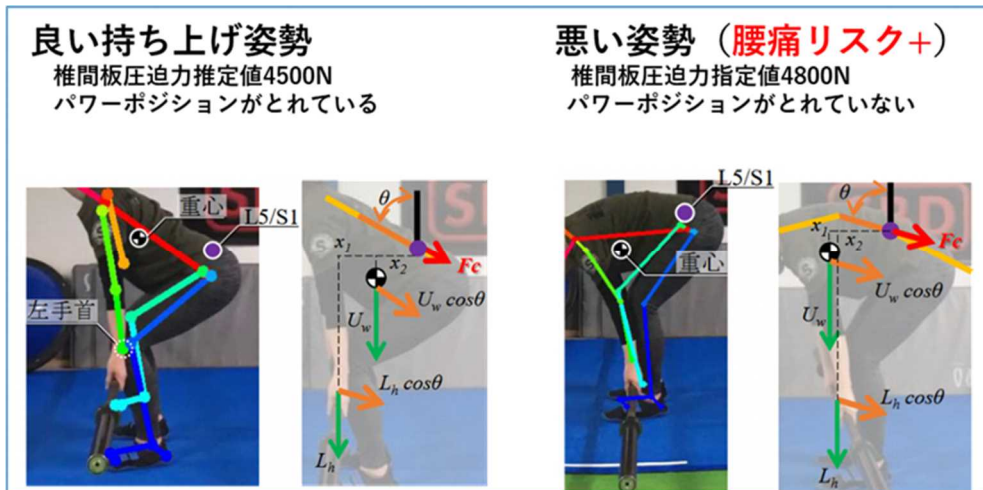


図4 労災(腰痛) 予防見える化アプリ  
 スマートフォン撮影動画から重量物運搬業務（介護を含む）における労働負荷量を計算．国際標準NIOSH lifting equation ならびに腰痛誘発リスクとして腰椎負荷量を表示する予定である．労働者が自身の挙上姿勢を見て正しい挙上姿勢を学習する．





労災疾病臨床研究事業費補助金  
(総括) 研究報告書

炭素繊維バネ搭載ロボット装具による労働者の腰痛防止のための医工連携研究

研究分担者 山口健・東北大学大学院工学研究科・准教授

研究要旨：炭素繊維(CFRP)バネを搭載する装着型無動力ロボットを開発し荷物上げ下ろし動作時の労働負荷軽減および腰痛予防を目指す。令和1年度に策定した重量物上げ下ろし動作モデルと評価項目を改良するとともにマルチチャンネル筋電図解析を併用して装具ロボットの運動支援効果を検討した。前年度の装具の課題を抽出して装具ロボットを改良するとともにバネ強度の最適化をおこなった。バネ強度と重量物上げ下ろし支援効果との関係を解析したところ、被検者によって最適な支援効果が得られるバネ強度は異なっていた。本装具ロボットの支援効果は正しい荷物挙上姿勢で最大となる(パワーポジション)。パワーポジションはウエイトリフティングやパワーリフティング選手の腰痛予防に不可欠の挙上姿勢だが、パワーポジションがうまくとれている被検者ほど高い支援効果を示す傾向があった。令和3年度は挙上姿勢と支援効果との関係を詳細に解析するとともに、本装具ロボット実用化を目指し企業とも連携していく予定である。

#### A. 研究目的

荷物の上げ下ろし作業支援のための炭素繊維バネを搭載した下肢装具の開発を行う。令和2年度は、炭素繊維バネ搭載下肢装具を装着した状態で荷物の持ち上げ実験を行い、フォースプレート、光学式3次元動作解析装置、ビデオ画像のディープラーニング(openpose)、筋電図を用いた運動力学解析を行う。なお令和1年度において確立した実験プロトコルと解析方法を使用する。

#### B. 研究方法

CFRPバネ搭載下肢用ロボットの装着による腰痛予防・軽減効果を評価して実用性能を有する装具ロボットを開発する。令和2年度モデルでは炭素繊維バネと下肢および靴との連結方法を改良してバネの交換を容易にするとともに軽量化を図った。図1に示すように、L字型板バネは足関節周りの骨格に沿うように上部は膝関節装

具に、下部は靴に取り付けてある。膝関節装具の重量(治具を含む)は0.8 kg、靴の重量(治具を含む)は0.4 kgであるため、下肢装具全体の重量は両脚で2.4 kgほどである(図2)。板バネの復元力つまり板バネの厚さと作業支援効果の関係を明らかにするために、厚さのみが異なる3種類の板バネ(板バネ厚さ:2, 3, 4 mm)を用意した。しゃがみ込み時に膝関節の屈曲と足関節の背屈により板バネがたわみ、生じる復元力によって立ち上がりの際に足関節底屈のアシスト力を得られる仕組みとなっている。足関節が40°背屈した時、図3に示されるように板バネのたわみはおよそ0.25 mとなるため、2 mm板バネによるモーメントは4 N・m、3 mm板バネによるモーメントは12 N・m、4 mm板バネによるモーメントは30 N・mと推定される。ここで、装具使用者の体重を60 kgと仮定すると、足関節モーメントの最大値は54 N・mとなるため、立ち上がり時に最大で、2 mm板バネ使用により

7 %, 3 mm 板バネ使用により 22 %, 4 mm 板バネ使用により 56 % のアシストを得られると推定される。なお、バネは片脚につき、内側と外側それぞれに取り付けることができ、着脱も可能である。



図 1 CFRP バネ搭載下肢用装具の外観

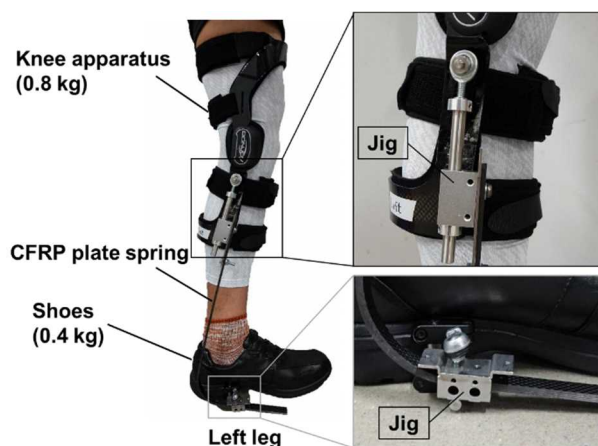


図 2 CFRP バネ搭載下肢用装具の構造

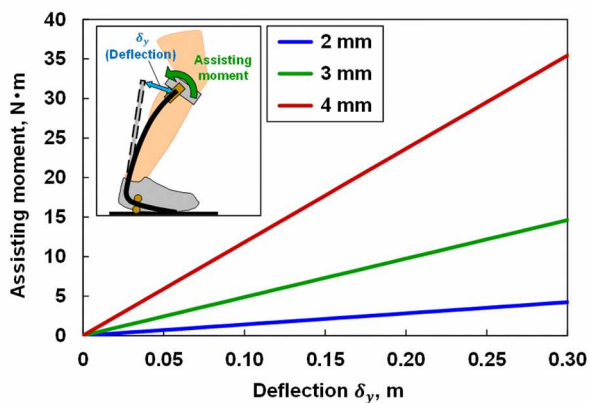


図 3 板バネのたわみ量とアシストトルクの関係

R1 年度に決定した重量物作業模倣動作（椅子座面の高さから 10kg の物体を把持して立ち上がり再び元の位置に降ろす，図 4），マルチチャンネル筋電計（下肢や体幹に装着），性能評価基準（客観評価と主観評価アンケート）により装具ロボットの労働支援効果を解析した。健常成人男性 12 名を被験者として荷物の持ち上げ実験を行った。フォースプレートにより床反力を測定した。また，被験者の各関節に取り付けた赤外線反射マーカークの位置を 3 次元動作解析装置により測定するとともに，openpose でも同時に測定した。炭素繊維板バネによるアシストの強さは被験者の体格を考慮しつつ板バネの厚さによって調整した。被験者には立位からパワーポジションを目標としてしゃがみ込み，荷物を把持し，その後立ち上がって荷物を持ち上げるよう指示した。

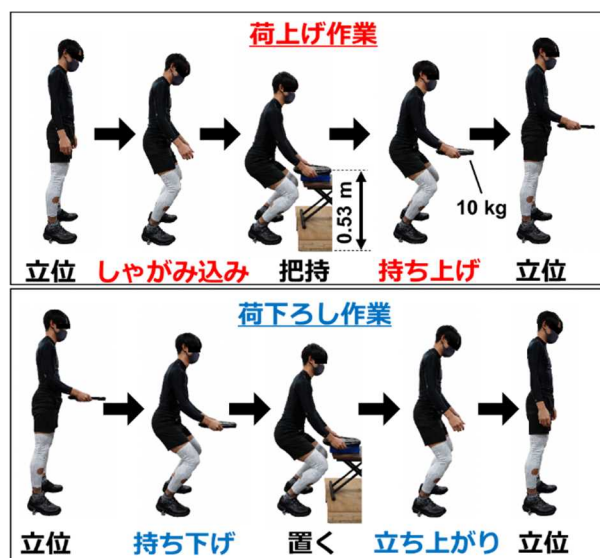


図 3 重量物作業模倣動作の概略

評価項目として，股関節，膝関節，足関節モーメントを逆動力学法に基づき算出し，各下肢関節パワーを下肢関節モーメントと関節角速度の積として求めた。なお，関節パワーの代表値としてしゃがみ込み及び持ち下げでは，負のパ

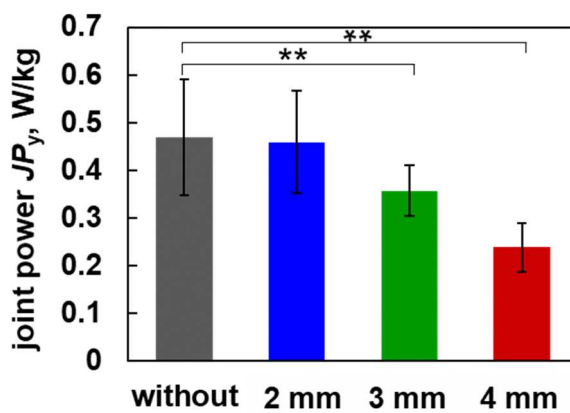
ワーの最大値を、持ち上げ及び立ち上がりでは正のパワーの最大値を評価に用いた。マルチチャンネル筋電計を用いて重量物上げ下ろし動作時の表面筋電図を取得した。筋電図を取得した筋は、前脛骨筋、内側腓腹筋、大腿直筋、脊柱起立筋の4つである。筋電図解析には最大振幅法、積分法、FFT法、wavelet法等を用いた。また、実験後に、被験者に対して運動時の主観的負荷度を表す自覚的運動強度に関する質問を行い、修正Borgスケールにより評価するよう指示を行った。また、各下肢関節における板バネの支援効果の有無について質問を行った。

(倫理面への配慮) 本研究における実験プロトコルは、東北大学大学院工学研究科人を対象とする研究に関する倫理委員会にて事前に承認を得ており(20A-5)、各被験者には事前に実験方法と注意点を説明したうえで書面にてインフォームドコンセントを取得した。

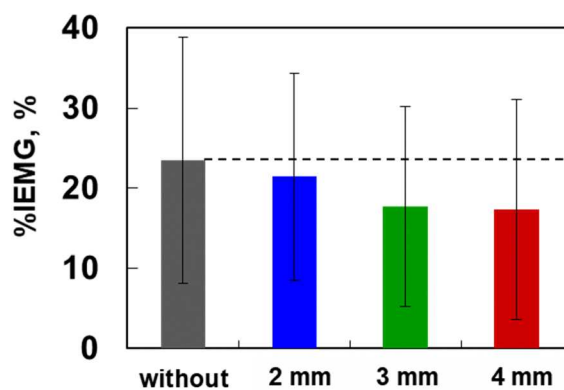
### C. 研究結果

荷上作業のしゃがみ込み動作において、使用する板バネ厚さの増加とともに、足関節パワーが増加し、前脛骨筋の使用量が増加する傾向がみられた。その結果、しゃがみ込み動作時の主観的負荷度は増加する傾向がみられた。一方、図4に示されるように、荷上げ作業の持ち上げ動作において、4mm厚の板バネを使用した際に、足関節パワーが板バネ未使用に比べて減少し(図4(a))、腓腹筋の使用量が減少する傾向がみられた(図4(b))。その結果、主観的負荷度も減少することが分かった(図4(c))。荷下ろし作業の持ち上げ動作において、4mm厚の板バネを使用すると、足関節パワーが増加するものの、腓腹筋の使用量は減少する傾向がみられた。よって結果的に、主観的負荷度が減少することが分かった。荷下ろし作業の立ち上がり動作において、4mm厚の板バネを使用すると、足関節パワーが減少し、板バネ使用により厚さによらず前脛骨筋の使用量が減少する傾向がみられた。

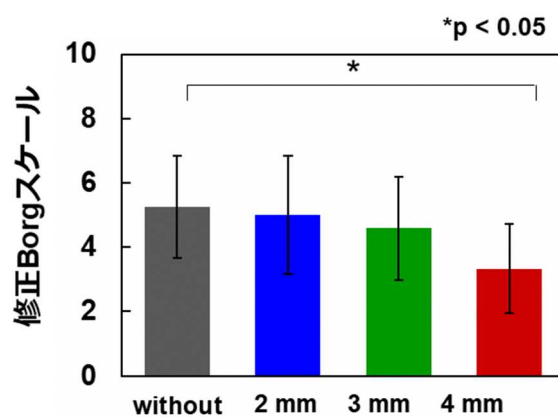
支援効果の個人差は比較的大きいが、その原因の一つとしてパワーポジションが取れていたか否かが挙げられる。その根拠として、荷上げ作業と荷下ろし作業それぞれにおいて、足関節



(a) 足関節パワー



(b) 腓腹筋使用量

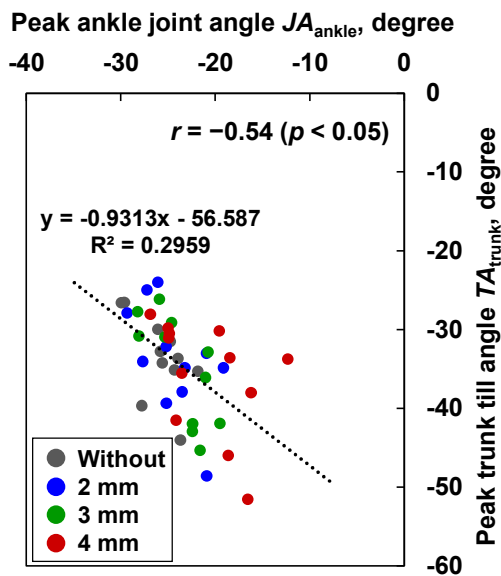


(c) 主観的負荷度

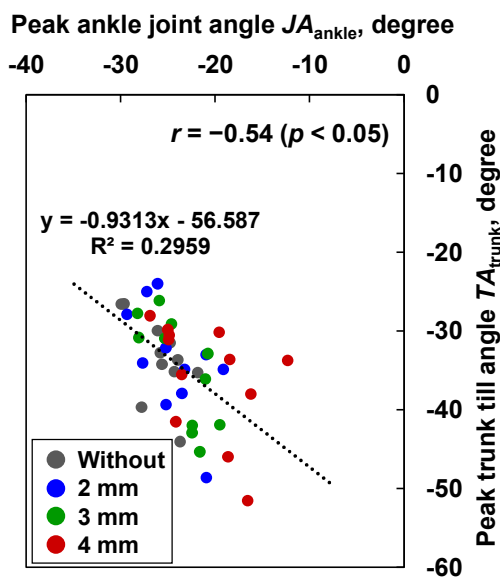
図4 持ち上げ動作における評価結果

背屈角度がより大きな被験者ほど最大体幹前傾角度が得られ(図5)、そして腓腹筋使用量が装具未使用時に比べて低下する傾向がみられた。

また、足関節背屈角度が大きく、その結果最大体幹前傾角度が大きな被験者、すなわちパワーポジションをうまくとれている被験者群では、板バネが直接作用しないと考えられる膝関



(a) 荷上げ作業



(b) 荷下げ作業

図5 足関節背屈角度と最大体幹前傾角度の関係

節伸展動作の支援効果も得られることが示唆された(図6). さらに、これらの被験者群では、4 mm厚の板バネ搭載装具を用いることにより、持ち上げ、持ち下げ動作のいずれにおいても脊柱起立筋の使用量が装具未使用時に比べて減少す

ることも明らかとなった(図7). このことは、足関節トルクをアシストする本ロボット装具が、腰痛予防にも効果があることを示している.

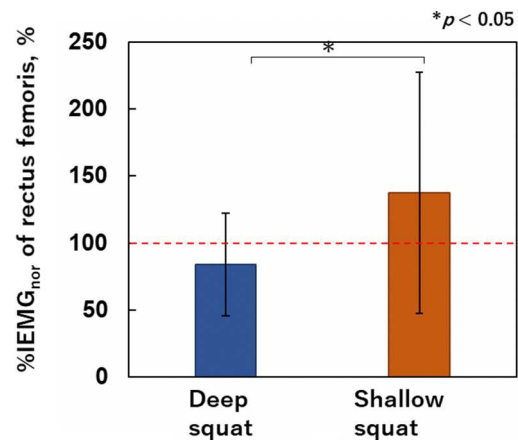


図6 パワーポジションをとれている被験者群 (Deep squat 群) と取れていない被験者群 (Shallow squat 群) の大腿直筋 (膝関節伸展筋) 使用量

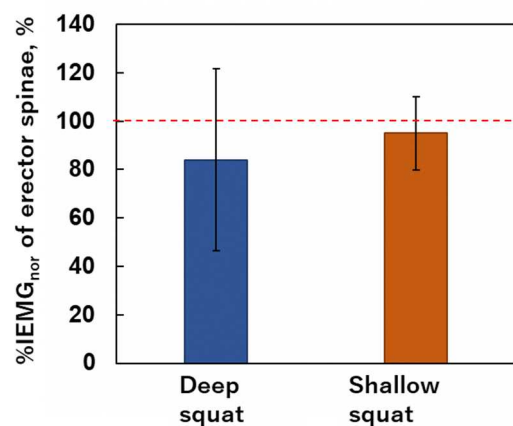


図7 パワーポジションをとれている被験者群 (Deep squat 群) と取れていない被験者群 (Shallow squat 群) の脊柱起立筋使用量

#### D. 考察

炭素繊維板バネ搭載下肢用ロボットを用いることで、しゃがみ込み、立ち上がりの各フェーズにおいて足関節とともに膝関節の支援効果がみられた。板バネの厚さが大きくなるにつれて支援効果は増加する傾向がみられたが、同時に

関節可動域が制限される傾向があるなど被検者の体格や筋力により最適なバネ強度（支援効果と関節可動域制約の兼ね合い）は異なるが、本装具ロボットではバネ強度の変更は容易であり装着者の体力や体形にあわせた装具ロボットの最適化が可能である（オーダーメイド装具ロボット）。3次元動作解析装置とAIを用いた解析のいずれにおいても同様の解析結果が得られた。このことは労働現場の撮影動画をもとに腰痛危険動作の解析ならびに炭素繊維板バネの支援効果の解析が十分可能であることを示している。R2年度はR1年度の知見をもとに改良した実用機を試作し評価したが、筋電図解析によりほとんどの被検者において下肢筋の負荷軽減効果が観察された。一部の被検者では傍脊柱筋の支援効果も観察されたが、これが理想的な重量物挙上開始姿勢（ウェイトリフティングのパワーポジション姿勢）と関連するかについては今後より詳細な解析を行う予定である。

このように本装具ロボットの重量物持ち上げ支援効果に関しては被験者全員が有効と答えた

が、筋電図解析で支援効果を解析すると個人差が大きかった。パワーポジションが上手に取れた被験者で支援効果（筋電図）が大きい傾向が認められたが、R3年度においてより詳細に解析する予定である。

#### E. 結論

炭素繊維板バネ搭載下肢装具の荷物の持ち上げ実験を行い、キネマティクス解析と筋電図解析により装具の支援効果を確認できた。R2年度までに確立した実験プロトコルと解析方法をもとに、R3年度は実用レベルの装具ロボットを目指し靴メーカー等とも連携していきたい。

#### F. 健康危険情報 なし

#### G. 研究発表

1. 論文発表 なし
2. 学会発表 なし

#### H. 知的財産権の出願・登録状況 なし

## 研究成果の刊行に関する一覧表

## 雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
Iwori Takeda, Atsushi Yamada, Hiroshi Onodera	Artificial Intelligence-Assisted motion capture for medical applications: a comparative study between markerless and passive marker motion capture.	Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering	電子版	Dec8;1-10	2020
Iwori Takeda, Wataru Yasunaga, Satoshi Kobayashi, Yusaku Tagawa, Hiroshi Onodera	Gait assist brace with double carbon fiber reinforced plastic spring blades to allow ankle joint movement and change in walking direction.	Advanced Robotics		in press	2021