

腰部補助用アシストウェア装着者を対象とした 姿勢判定装置を用いた安全な持ち上げ姿勢への誘導

岩井聖明^{†1} 杉原太郎^{†2} 山路直樹^{†3} 佐々木大輔^{†4} 五福明夫^{†2}

概要：近年、重量物の持ち上げ作業などによる腰部負担を解消するために、装着型の腰部補助用アシストスーツの研究が多く行われている。本研究ではユーザの主観的評価を中心に、ユーザがアシストスーツに求める条件を探索的に調査した。試作アシストウェアを使用した模擬実験から、本試作機を含む多くのアシストスーツが装着者の作業姿勢を腰部負担の大きい持ち上げ方法(Stoop 法)に誘導している可能性を見出し、現地で行ったニーズ調査から、このアシスト方法が作業員にとって受け入れ難いものであると判断した。この問題の解決のために、音声を用いた安全な持ち上げ方法(Squat 法)への誘導装置を作製し、模擬実験を通して、装置の有効性を確認した。

キーワード：アシストスーツ、アシストウェア、作業姿勢、Squat、Stoop

1. はじめに

アシストスーツとは、人間の動作や業務上の作業に必要な力を補助する人体装着型ロボットである。近年では、様々な業務や人々の生活の中で起こる問題をアシストスーツによって解決しようという動きが活発化し、その用途は、身体能力の拡張、歩行支援、リハビリテーション、作業の軽労化など多岐にわたる。国内では、重量物取り扱い時の腰部への負担軽減を目的とした腰部補助用アシストスーツが多く開発されている。アシストスーツによって、労働者の安全確保と健康維持を促進し、就労の継続を実現することが期待されている。いくつかのアシストスーツは製造・物流分野、医療・福祉分野などで、すでに本格的な導入が始まっている。しかし、現場でのアシストスーツの利用に関して、データや経験が乏しく、試行錯誤しながら、課題の洗い出しとアシストスーツの改善を行っている。

こうした研究では、アシストスーツの技術的性能が評価において取り上げられてきた。一方で、アシストスーツを利用するとどのぐらいの利益がユーザにもたらされるか、アシストスーツの利用によって不利益を被ることはないのか、アシストスーツ利用による利益と不利益の割合がどの程度バランスすればアシストスーツを使用したいと感じるか、といった、ユーザが感じるアシストスーツの利用価値を取り扱った研究はほとんど見られない。したがって、ユーザの視点からアシストスーツの改善点を探索すれば、技術的改良の過程の中で見落とされてきた新たな発見がでてくると大いに期待できる。本研究では、アシストスーツの利用者を中心に据え、利用者の心理的側面からアシストスーツの改善点について調査し、アシストスーツの研究分野に新しい視点を提供することを目的とする。

2. 研究背景および関連研究

腰痛は多くの職場で発症しており、職業に関連する疾患として代表的な存在である(図1)[1]。医師の診断によって原因を特定できない非特異的腰痛は、腰痛症の約85%から90%を占めており、原因不明であることから対処が難しく、再発しやすい。非特異的腰痛を引き起こす要因は、人間工学的要因、個人的要因、環境的要因、心理・社会的要因に分けられる[2]。人間工学的要因では、重量物の挙上や運搬、前かがみや中腰といった無理な姿勢での作業、急激な動きを伴う作業、長時間の静的姿勢での作業などが含まれ、これらの要因を避けて作業することが推奨されている。

長時間の静的姿勢などを避けるための改善策の一つとして、作業の全部または一部を機械によって自動化する技術が注目を浴びている。自動化技術は、作業者の作業負担を著しく軽減させることができるものの、現時点では、大規模で高価なものが多い。自動化が困難である場合は、補助機器や道具を用いて作業の省力化をすることが薦められている。アシストスーツも省力化機器の一つと言える。アシストスーツの利点は、現状の作業環境や作業方法の変更を最小限に留め導入できる点、使用時の学習コストが低い点、自動化システムに対し安価である点、機械による代替が難しい作業の支援が可能である点などが挙げられる。

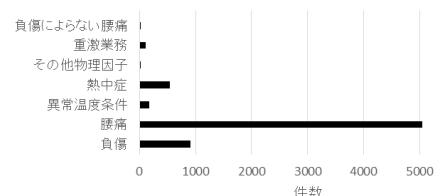


図1 平成29年業務上疾病発生状況(業務別)[1]

^{†1} 岡山大学大学院自然科学研究科
Okayama University, Graduate School of Natural Science and Technology

^{†2} 岡山大学大学院ヘルスシステム統合科学
Okayama University, Graduate School of Interdisciplinary Science and Engineering in Health Systems

^{†3} 芦森工業株式会社
Asimori Industry Co.,Ltd.

^{†4} 香川大学創造工学部
Kagawa University, Faculty of Engineering and Design

アシストスーツは各大学、企業の独自の技術に応用したものが多く、腰部補助用アシストスーツは、使用想定場所、形状や構造、アクチュエータ、センシング方法、制御方法が異なり、多様性を持つ技術である。同時に、広範囲での社会実装が望まれている技術でもあり、社会のニーズに応えられるかがアシストスーツの普及の鍵を握っている。代表的な腰部補助用アシストスーツの仕様をまとめたものを表1に示す。この表を用いて、アシストスーツの課題を検討する。

表1 腰部補助用アシストスーツの特徴

	骨格	アシスト動作・姿勢	アシスト部位	対象現場	効果	動力源
マッスルスーツ	外骨格型	持ち上げ 運搬	腰	製造 物流 介護	30kg	圧縮空気
AWN-03	外骨格型	持ち上げ 中腰姿勢保持	腰	製造 物流	15kgf	リチウムイオン バッテリー
スマートスーツ	衣服型	中腰姿勢	腰	介護 看護 農業	背筋の 筋免弾力を 25%軽減	-
作業支援用 HAL	外骨格型	持ち上げ	腰	製造 物流 介護	-	リチウムポリマー バッテリー
農作業向け アシストスーツ	外骨格型	持ち上げ 中腰・歩行	股関節	農業	10kgf	バッテリー

	アクチュエータ	重量	素材	センシング	スイッチング	稼働時間
マッスルスーツ	空気圧 人工筋肉	約7kg	フレーム (加速度センサ)	加速度スイッチ 呼吸スイッチ タッチスイッチ	-	-
AWN-03	電動モータ	約7kg	フレーム	位置センサ	自動	150分
スマートスーツ	弾性素材	-	布 生地	-	-	-
作業支援用 HAL	電動モータ	約3.0kg	フレーム	生体電位信号	自動	3時間
農作業向け アシストスーツ	電動モータ	約7.0kg	フレーム	股関節角度信 号	手袋・フット	2時間

腰部補助用アシストスーツの有効性を確認するために
行われた実証実験では、作業負担軽減効果が認識されるも、
多くの実用的な問題を浮き彫りにした[3][4][5]。

着用感の悪さが主観的な補助効果を減少させることや、締め
付け、蒸れ、擦れなどがアシスト力の伝達を阻害している可能性
があると指摘した。また、外骨格型のアシストスーツは軽量化が
求められている。しかし、軽量化を含め、制御の最適化、安全性
の確保、センシング技術の向上などの技術的問題は、各コンポー
ネントの技術的課題を起源としており、各要素のブレイクスル
ーが必要であると考えられる。

また、個人用機器としては、高価なことが指摘された。導入実
績が少なく、十分な費用対効果が得られるか分からないことが、
導入に踏み切れない要因になっている可能性がある。経営者や
現場マネージャの安全意識の向上やアシスト製品に作業方法を
合わせるなど、現場の意識改革が必要であると指摘されている。

関連研究や報告書では確認されていないが、アシス
トスーツの利用を阻害する人間的な要因として考えられ
るものを以下に記述する。人間的な要因は情緒的要因と実
用上の要因の二つに分けられる。情緒的要因として、ア
シスト技術の安全性、アシスト効果に対する不信感や、装

着に対する心理的な抵抗感、必要性を感じない、などが存
在すると考えられる。実使用上の要因では、装着や脱着に
時間がかかり手間であることが第一に挙げられる。平行
して複数の作業を行う現場では、着用時にアシスト対象
動作以外の動作を妨げてしまうことがあり得る。たとえ技
術的な問題が解決されたとしても、他の要因から利用が避けら
れる可能性は、十分に考えられる。

3. ニーズ調査

3.1 現地調査

調査対象の現場として、製品検査工場を選定した。工場
内で行われる製品の抜き取り作業(図2)では、重量物の取り
扱いにより、作業者の腰部への負担が懸念される声が上が
っている。

検査では、乱数表を使って、製造した製品群からランダ
ムに検査対象の製品を選定する。製品は床に並べられたパ
レットの上に、積み重ねて置かれておいた。抜き取り作業
では、検査対象の製品の上に積まれた製品を下ろしてい
き、対象の製品を抜き取り、積み下ろした製品を元の位置に積
み直す、という一連の作業が行われる。作業者の腰部は、
製品を持った状態で前屈と直立の姿勢を何度も往復するこ
とになる。この繰り返し動作により、作業者の腰部に負担
がかかることになる。抜き取る製品の標準的な重量は1つ
で約6kgである。段ボールに入れられた出荷直前の製品の
重量は15~20kgある。抜き取り作業および検査は、その業
務を専門とする部署が担当し、基本的に6~7人で行う。



図2 製品の抜き取り (イメージ)

3.2 調査方法

観察法の一つであるエスノグラフィ (Ethnography) を参
考にして、短期的な参与観察を行った。本来、エスノグラ
フィは長期的に行われるべきだが、都合上、本研究では短
期的調査となった。そのため、入念な事前調査と面接法も
同時に行い、多角的に情報を収集するよう努めた。

部署の作業員らを対象に、抜き取り作業、検査室での作
業の様子を観察した。その後、同部署の作業員6人を対象
とした半構造化面接法を行った。インタビューでは、作業

員の役割と業務内容、仕事がうまくいったと感じたとき、反対にうまくいかなかったと感じたときについて質問を行い、その原因について深く掘り下げた。仕事はうまくいかなかった場合の原因を探ることで、現場の問題点を探り、ひいては、作業員のニーズを明らかにすることを狙っている。

最初に、倫理配慮とともに、納得した場合には自書による同意書を求めることを説明した。その結果、6名全員からインフォームドコンセントを得た。

3.3 調査結果

収集したデータを KJ 法によって分析し、作業現場の全体像を表す関係図を作成した。さらに、関係図のそれぞれの事象を調査現場でのニーズに変換し、さらに「ユーザの本質的なニーズ」、「ユーザの行為目標」、「ユーザの事象」と3つの階層に分類し図解した。その結果を図3に示す。下位層はインタビューと観察から得られた事象によって構成されている。中間層は KJ 法によって導き出された主なニーズである。ユーザの本質的なニーズは中間層ニーズの真意として新たに考案した。

「毎回の検査を何事もなく終わらせたい」は、体力的に無理はしたくないことと、早く仕事を終わりたいというニーズから成り立つ。これは検査がルーティンワークという特性を持っているためである。常に、同じ場所、同じメンバー、同じ作業手順・内容で検査は行われる。作業の遅延や事故・怪我によって、その日常が崩れることは、作業員に望まれない事象であることは容易に想像できる。また、検査の遅れによって、他部署や取引先への出荷に支障をきたすことも避けたい事象となるため、各作業は問題なく、効率的に早く終わらせることが重要となる。

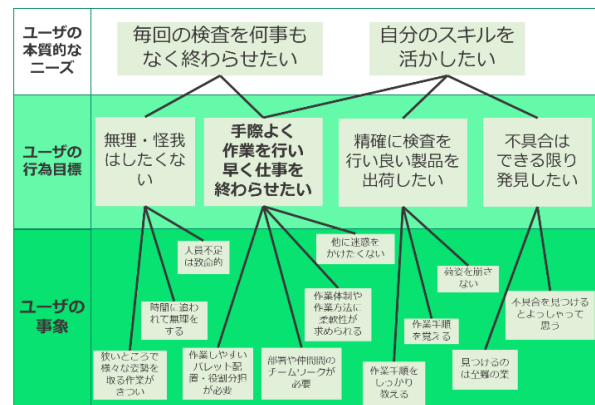
「自分のスキルを活かしたい」は、手際よく作業を終わらせること、精確に検査を行うこと、不具合を発見したいことから導き出した。これらの事象は、作業員が自分のスキルを活かし、良い結果を得ることで、自分自身や自身の能力に自信を持つことができることを意味している。

一方、ルーティンワークの性質上、作業は問題なく遂行されることが前提であり、評価は減点方式である。加えて、不具合自体が少なく、発見することはごく稀であることから、作業員がスキル発揮できる機会は少ないことが伺える。

ここで、従来の腰部補助用アシストスーツが提供する価値を考えてみる。ほぼ全てのアシストスーツが肉体作業を楽にするという体験価値を提供している。しかし、本調査から導き出した現場のニーズと照らし合わせると、従来のアシストスーツの利用価値が現場のニーズをカバーしている範囲は「無理・怪我はしたくない」だけである。さらに、従来のアシストスーツがアシスト対象としている動作や姿勢は全作業中のごく一部のものであり、仕事全体で見たとときにアシストスーツの貢献可能性は低いと言わざるを得ない。

つまり、作業負担軽減という課題に対して限定的な解決方法となっているといえる。

今回は「作業効率が良くなる価値」に着目した。二つの最上位ニーズに共通した項目であり、実現できた時のベネフィットが一番大きいと考えられるからである。腰痛を患っている作業員が、アシストスーツによって腰の痛みが軽減された結果、作業効率が向上したという事例はある。しかし、現行のアシストスーツが、どのような対象者にどれほどの作業効率向上効果をもたらすかは明らかにされていない。次の章では、抜き取り作業の模擬実験によって、アシストスーツを装着することによって作業効率が向上するか確認する。



となる。一度の作業の制限時間を5分と設定し、被験者にはなるべく早く作業を行うように指示した。時間的プレッシャーを与えることで、現場の作業員と似た条件で作業を行うように仕向けた。

この作業をアシストウェア未装着で3セット行った後、アシストウェアを装着して3セット行い、合計6セット行う。各回の作業時間をタイマーで計測し、作業の様子をビデオカメラで撮影した。

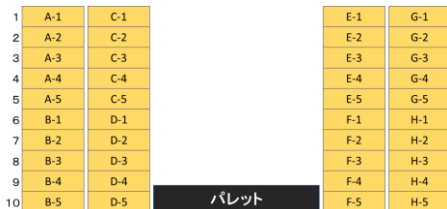


図4 段ボールの整列図

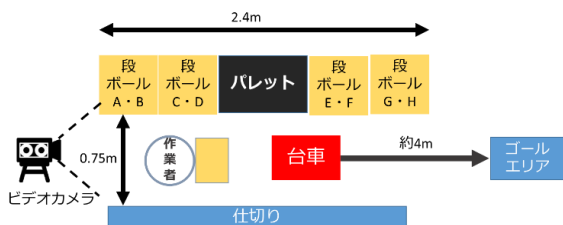


図5 実験環境俯瞰図

4.2 実験で使用するアシストウェア

調査結果から、現場の作業環境において、狭い場所でも邪魔にならないサイズ、長時間使用可能な快適性と軽量性、複合的な動作に対応する柔軟性が制限条件として判明した。これらの要件を満たす腰部補助用アシストウェアが、本研究と同時に並行で行われている共同研究で開発された(図6)。本アシストウェアは、ベストと腿に巻き付けるバンド、それらをつなぐ空気圧アクチュエータ2本からなる。本体重量は約1.5kgで、外部のエアシステムからエアチューブを通してアクチュエータに500kPa前後の空気圧でエアを供給する。

背中に配置されたアクチュエータの短縮によって発生する張力が脊柱起立筋の補助を行い、腰部の屈曲姿勢の保持と伸展補助を実現する。



図6 腰部補助用アシストウェア(試作機)

4.3 実験結果と考察

項目aでは、「アシストウェアによってアシストをされている感覚があった」(mean=3.6; SD=1.1)に9人中7人が肯定的な評価を付けた。しかし、被験者がアシスト力と張力発生に伴って生じる体幹への締め付け力を混同している可能性があり、本アシストウェアのアシストの定義が曖昧であることや、認知しやすいアシスト力が必要であることが判明した。

項目bに関しては、体力の消耗割合を問うアンケート結果からアシストウェアの装着、未装着時において有意差はみられなかった。原因として、実験の作業量が少なく、体力の消耗が少なかったため、アシストウェアの本領が発揮されなかったことが考えられる。

項目cに関しては、アシストウェア装着時と未装着時の二元配置分散分析の結果より10%で主効果ありとなった(図7)。しかし、実際の作業時間に大きな差は見られなかった。約2分の作業で2~3秒程度の短縮効果が見込まれるが、装脱着の手間を考えると、作業効率向上のメリットがあるとは考えられない。また、アシストウェアを装着したことで、作業スピードが早くなったと感じた被験者はいなかった。

考慮する余地があるのは、アシストウェアが装着者の疲労による作業パフォーマンスの低下を遅らせるという点である。今回の模擬実験は短期集中型の作業形態であり、被験者の疲労が限界に来ていたとは言い難い。作業量を増えた場合に、作業スピードの低下を抑える可能性はまだ残っている。

アンケートの自由記述欄では、アシスト力・効果の不明瞭さを訴える記述があった。アシスト力が小さいこと、アシスト力に起伏がないこと、元々患っている腰部の痛みが軽減されるという事象が無かったこと、などがアシストの実感が薄かった原因とみられる。

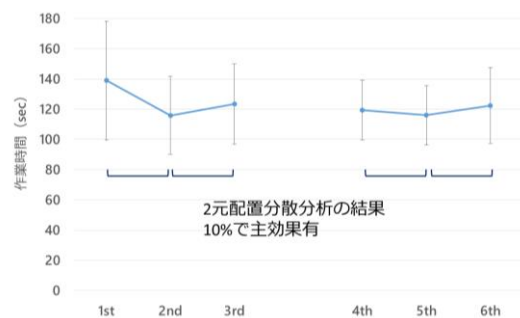


図7 作業時間

4.4 実験中の作業姿勢

一般的に、荷物を持ち上げる方法は、図8のように大きく二種類に分けられる。1つは膝関節がほぼ完全に伸長し、股関節および脊柱が屈曲している姿勢であり、Stoop法と呼ばれる。もう一つは、Squat法と呼ばれ、膝関節が完全に

屈曲し、胴体をできるだけ垂直に保持する姿勢である。Stoop 法をはじめとする極端な腰椎屈曲を伴う姿勢は腰椎や椎間板への負担が大きい姿勢であることが人間工学的、筋電図学的知見から明らかにされている[6][7]。今回の実験では、被験者 9 人中 8 人が一貫してほぼ Stoop 法で持ち上げており、残りの 1 名も実験開始直後は Squat 法であったが、時間とともに Stoop 法で持ち上げるようになっていた。

被験者の多くが持ち上げ方法として Stoop 法を用いた原因として、第一に、被験者達が Squat 法を知らなかったという知識の問題が考えられる。アシストによって、膝関節・股関節の屈曲を妨げる力が発生し、Squat 法での持ち上げを阻害していた可能性がある。これが第二の問題であり、アシストウェアの構造的な問題である。

アシストスーツの構造上、Stoop 法で持ち上げた場合に腰軸回りの最大モーメントを得られるため、Stoop 法で持ち上げたときに、ユーザは最も強いアシスト力を感じると推測される。アシストウェアからより多くの恩恵を受けたいと考えるユーザが、無意識あるいは意識的に Stoop 法をしてしまう可能性があることが問題となり得る。これが第三の問題であり、ユーザの心情的な問題といえる。構造的な問題も合わせると、アシストウェアが Stoop 法への姿勢誘導を引き起こした可能性があると考えられる。これは外骨格型アシストスーツの関連研究においても指摘されている[8]。

一方で、調査現場の作業員は Squat 法で持ち上げる教育を受け、出来る限りその持ち上げ方をしようと努めていることがインタビューから判明している。したがって、Stoop 法を促進するようなアシストの在り方は、作業員の不安感をあおると同時に彼らの仕事のやり方を否定することになり、受け入れられない可能性が高い。

この問題の解決策として、アシストウェアの構造の改良が真っ先に挙げられる。例えば、Squat 法を推奨できるように膝関節の屈伸運動をアシスト対象とすることや、アシスト方法・構造を変えることである。このように技術的改良に取り組む余地は多くあるものの、改変に応じて新たな問題が発生する可能性も否定できない。

本研究では、ユーザの意識に働きかけ、ユーザ自身が安全な行動をとるように促すという方法で問題の解決を試みる。最終的な目標として、アシストウェア着用時にユーザの作業姿勢を Squat 法に誘導することを目指す。その手段として、アシストウェアを利用した各種センサを用いて、作業中に姿勢の判定を行い、装着者の姿勢をリアルタイムで装着者自身に知らせるというフィードバックシステムを考案した。このアイデアは現行のアシストスーツに容易に応用・実装できる点に優れており、本来危険な持ち上げ方を避けるという点から、より高い作業の安全性を確保できると考えた。



図 8 Stoop 法 (左) と Squat 法 (右)

5. 姿勢判定装置の作製

5.1 実験中の作業姿勢

アシストウェア装着者の作業姿勢をできるだけ Stoop 法を避け、Squat 法に誘導する装置を作製する。今回は、Stoop 法での持ち上げを危険、Squat 法での持ち上げを安全と定義し、Stoop 法で持ち上げたときに警告音、Squat 法で持ち上げたときに成功音が鳴る装置を考案した(図 9)。警告音が鳴ると、装着者は自身が危険な姿勢を取っていることに気づき、Stoop 法を避けるようになる。逆に、成功音が鳴ると、安全な姿勢であることを学習し、Squat 法を率先して取るようになることを期待できる。また、成功音を聞くことに快感を覚え、積極的に Squat 法を選ぶことも考えられる。このような働きかけによって、装着者の意識を変化させ、間接的にアシストスーツの姿勢誘導の問題の解決と作業姿勢の改善を試みる。

本装置では、腰部に取り付けた加速度センサと大腿部に取り付けた加速度センサから体幹角度と大腿部屈曲角度を測定し、それらの値をもとに姿勢判定を行った(図 10,11)。各センサ角度と再生する効果音の対応表を表 2 に示す。Squat 法の成功判定は「持ち上げ(下げ)動作中に①一度も体幹角度が 45° を越えておらず、②大腿部角度が 25 度以上のときに、③体幹角度が 20° 以上 45° 以下になった場合」とした。

生活支援ロボット一第 1 部 腰補助用装着型身体アシストロボット (JIS B 8456-1) では体幹角度 50° 以上が危険な姿勢であると定義されており、今回は事前に危険な体幹角度領域を回避するために Squat 法の体幹角度の上限を 45° と設定した。作業員への姿勢判定情報のフィードバックには、圧電スピーカーによる効果音を用いた。五回連続 Squat 法で持ち上げた場合に長めの成功音を再生し、一層の快感を提供するようにした(図 12)。実装後は、実際に抜き取り作業を数セット繰り返し行い、装置が想定した通りに動作することを確認した。

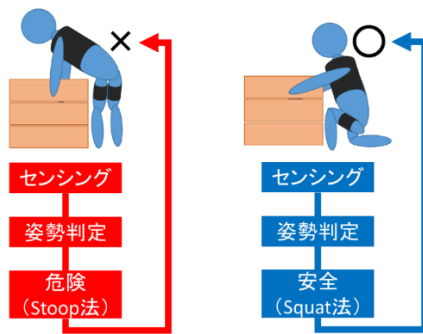


図 9 フィードバックシステム概念図

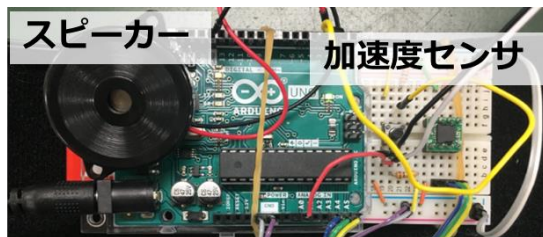


図 10 Arduino を使用した姿勢判定装置



図 11 加速度センサの取り付け位置

表 2 各センサ角度の各数値に対する効果音対応表

		大腿部の屈曲角度	
体幹角度	45° ~	0~25°	警告音
	20~45°	25° ~	警告音
	0~20°		成功音
			無反応

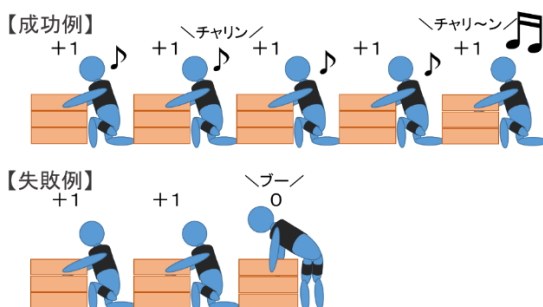


図 12 五回連続成功で効果音再生

5.2 姿勢判定基準の検討

重量物の持ち上げ時には Squat 法で持ち上げることが「好ましい姿勢」として推奨されている[2][9]。一方で、いくつかの研究が Squat 法の危険性について述べている[6][10]。膝関節を大きく屈曲するため、腰椎と同レベルで膝関節に懸念すべき負担がかかることが指摘されている。また、足首関節、膝関節が大きく屈曲するため、重心動揺が大きくなり、身体平衡が不安定になるという指摘もある[11]。Squat 法が可能である状況に限られているという実用的な問題も抱えている。このように Squat 法にも懸念すべき問題点は多くある。

理想的な姿勢は Squat 法と Stoop 法の間姿勢の中であり、特に、重量物と作業者の合成重心が膝関節と鉛直線になるまで上体を起こして膝を曲げる姿勢が適切であると述べられている[6]。他にも、持ち上げ姿勢における絶対的に有効な一つの姿勢は存在しないという見解もある。極端な腰椎屈曲を避けることだけが対策方法として正しいと述べられてもいる[10]。

文献調査からは Squat 法は理想的な姿勢であると言い切ることはできないが、Stoop 法は腰痛発生の観点からは避けるべき姿勢と言える。今回は、誘導すべき姿勢(Squat 法)と避けるべき姿勢(Stoop 法)の2条件を判別対象とした。

5.3 センシング方法とフィードバック方法の検討

装着者の姿勢の変化を読み取るためには、姿勢変化に伴って増減する数値を測定することが望ましい。本研究の装置では2値を判別できれば良いため、小型軽量で安価に手に入るもので実装することとした。加速度センサ、筋電位センサ、圧力センサなどを使用したいくつかの試験の結果、二つの加速度センサを腰部と大腿部に配置し、姿勢を判別することに成功した。

フィードバックする感覚情報は、視覚、聴覚、触覚が候補であった。視覚情報は確実性に優れ、様々な手段に富んでいる。しかし、作業員は手元、製品、次の作業対象などに視線を集中させるため、作業中に表示画面を見ることは難しい。したがって、実用上、不適合であると判断した。聴覚情報は作業と同時並行で情報を認知することができるが、音が大きすぎると作業員同士のコミュニケーションの邪魔になり、小さすぎると工場内騒音にかき消されてしまう恐れがある。また、工場内の環境音、機械の操作音、と似た音にすると装着者が混乱するため注意しなければならない。聴覚情報は、細かな配慮がいくつか必要になるが、作業しながらでも認知できることが大きなメリットである。触覚情報は、聴覚情報と同様に作業しながら認知できるが、情報伝達の確実性に疑いがある。

現場での実用性をふまえ、本研究では聴覚情報を採用した。

6. 姿勢判定装置の評価実験及び考察

6.1 実験概要

作製した簡易姿勢判定装置によって、荷物の持ち上げ方法を Squat 法へ誘導することが可能か確認する。前回と同様、抜き取り作業の模擬実験を実施する。アシスト無（グループ C）、アシスト有・効果音有（グループ S）の2条件に分けて、それぞれ5人ずつ実験を行った。実験配置は4章の図5とほぼ同じである。

被験者の自然な作業姿勢を観察するため、実験中にどのような姿勢で段ボールを持ち上げるかは被験者の自由とした。被験者が本実験で Squat 法をとるように強制されると感じさせないように、実験概要の説明中に自然な流れで、「Stoop 法は腰部に負担がかかり危険である」、「Squat 法は腰部への負担が少ない持ち上げ方である」と紹介した。これらの紹介は口頭および実演によって行った。被験者に Squat 法を強制することはしなかった。作業開始前に事前アンケートを行い、重量物の取り扱いの経験の有無を確認し、Squat 法での持ち上げ方を以前に指導されたことがあるかどうかを確認した。姿勢判定装置を付けるグループには、装置に関して、Squat 法で持ち上げると成功音が再生され、Stoop 法で持ち上げると警告音が再生されると説明し、自分の姿勢の参考にするように説明した。

作業終了後は作業に関するアンケートを実施し、作業姿勢への意識と自己採点を行ってもらい、姿勢判定装置による姿勢誘導効果の実証と、警告音と成功音のどちらがより有意に姿勢誘導の効果を示したかを明らかにする。

6.2 実験結果

ビデオカメラで撮影した作業動画から、被験者の持ち上げ姿勢を Stoop 法と Squat 法に分類した。作業動画から実験者が目視で姿勢を判断し、手元のカウンタを用いて、持ち上げ時の姿勢と持ち下げ時の姿勢をカウントした。実験中にみられた典型的な姿勢とその特徴を図13に表す。

二つの姿勢判定は、その特徴が大きく表れるので、比較的容易であった。しかし、「膝部を十分に屈曲しているが、腰部も大きく屈曲している姿勢」が多く見られ、分類が困難な姿勢もあった。このような姿勢は、本実験ではすべて Stoop 法として分類した。腰痛にとって危険なのは、腰部の屈曲であると判断したためである。また、深い動作では、段ボールに手をかけるまでは Stoop 法、その後、段ボールを掴んで持ち上げる瞬間に腰を落として、Squat 法で持ち上げるといった複合動作も見られた。逆に、持ち上げる前半は Squat 法だが、途中で腰が上がり、後半部分は Stoop 法になるという場合もあった。



(a) Stoop 法 (b) Squat 法
 図 13 実験で見られた各作業姿勢と特徴

各被験者（アシスト無：グループ C1～C5、アシスト有音有：グループ S1～S5）の各作業回数で見られた姿勢を分類し、回数をカウントした。Squat 法での C、S グループの t 検定の結果を表 3 (a) に示す。Stoop 法での C、S グループの t 検定の結果を表 3 (b) に示す。t 検定の結果、Squat、Stoop の両方で有意差が得られた（両側検定、有意水準 5%）。T 検定には、Excel の「等分散を仮定した 2 標本による検定」を用いた。

アンケート結果、「Q11：極端に腰を曲げる姿勢を回避しよう」と意識した、「Q12：実際に極端に腰を曲げる姿勢を回避できたと思う」、「Q13：膝を曲げ、腰を下ろす姿勢を取ろう」と意識した、「Q14：実際に膝を曲げ、腰を下ろす姿勢を取ることができたと思う」の4つの項目において、有意差は得られなかった。

また、「Q15.1：警告音が極端に腰を曲げる姿勢を回避するために役立った」、「Q15.2：警告音によって危機感を抱いた」、「Q15.3：警告音で悪い気分になった」、「Q16.1：成功音が膝を曲げて腰を下ろす姿勢をとるために役立った」、「Q16.2：成功音によって安心して作業ができた」、「Q16.3：成功音で気分が良くなった」の6つの質問項目の表 4 に示す

表 3 各姿勢時の t 検定

(a) Squat 法			(b) Stoop 法		
Squat法	アシスト無	音有	Stoop法	アシスト無	音有
平均	4.366667	9.033333	平均	17	7.366667
分散	37.96437	23.13678	分散	65.03448	32.24023
観測数	30	30	観測数	30	30
t	-3.26996		t	5.349796	
P(T<=t) 両側	0.001812		P(T<=t) 両側	1.56E-06	
t 境界値 両側	2.001717		t 境界値 両側	2.001717	

表 4 効果音に対するアンケート結果

Q15.1		Q15.2		Q15.3	
平均	3.8	平均	4	平均	2.8
標準誤差	0.489898	標準誤差	0.316228	標準誤差	0.663325
Q16.1		Q16.2		Q16.3	
平均	4	平均	4	平均	4.4
標準誤差	0.316228	標準誤差	0.316228	標準誤差	0.244949

6.3 考察

想定していた通り、S グループに比べて、C グループの Stoop 法の回数が多く、Squat 法の回数が少なくなった。特に、C2, C3, C5 は極端に Stoop 法と Squat 法の回数に差があった。C1 は、上記の三人ほどではないが、それでも Stoop 法の割合が高い。説明方法、作業方法に異なる部分はないため、個人差によるものと思われる。唯一、C4 は Squat 法の割合が高かったが、実験後半では、Squat 法の回数が減り、Stoop 法と Squat 法の回数は、ほぼ等しい割合となっている。C1 も後半になるにつれて、Squat 法の回数が減少している。被験者の Squat 法への意識が時間経過とともに薄れていく可能性があると考えられる。ほぼ全員が実験に対し体力的に楽ではなかったと（アンケート項目 2）と答えていることから、実験後半では、早く作業を終わらせて休憩することに意識が向かい、作業姿勢への関心が薄れるといったことが考えられる。Squat 法が自発的に取られないことがない[10]ことから、集中力の低下によって Stoop 法の頻度が多くなることは十分にあり得る。

S1 グループの Squat 法の回数が増えた理由を考察する。まず、実験説明時に S グループにのみ、姿勢判定装置の説明をしたため、他グループよりも姿勢への意識が強化された可能性がある。

装置の直接的な効果について考察する。音が鳴ること自体が、被験者の作業姿勢への関心を強くし、結果 Squat 法が増えた原因の一つであると考えられる。このことから、作業者の心理面からの姿勢誘導は可能であると推測できる。

装置のもう一つの効果は Squat 時の成功音にあると考えられる。表 4 のように、警告音に関して、ほぼ肯定的な結果となったが、実際、被験者は、警告音が鳴っても気にせず、警告音が鳴らないように作業をするという様子は顕著には見られなかった。一方、成功音を鳴らすために、実験中に Squat 法を試みる様子は多く見られ、休憩中にも、成功音が鳴る仕組みを理解しようと何度か持ち上げ動作を試す被験者もいた。さらに、当初の目論見通り、Q16.3 で肯定的な結果が得られ、5 回目の特別な成功音へのリアクションもよく、被験者に成功音を鳴らしたいと思わせることができた。このことから、危険な姿勢を注意するよりも、理想的な姿勢に導く方が、より効果的であることが考えられる。

この装置の問題点としては、Squat 法の判定は持ち上げ動作完了時になるため、装置の仕組みや正しい Squat 法を理解していないと音が鳴らないことである。そのため、持ち上げ前に、理想的な動作を被験者に示すことができれば、より姿勢誘導の効果を期待することができると考えられる。

作業姿勢への意識変化に関して、有意差は見られなかった。どちらのグループも作業姿勢を意識している傾向があり、効果音によって、被験者の姿勢への意識に大きな変化は起こらなかった。評価値を 10 段階に変更する、実験人数

を増やすなどして確認する必要がある。仮に、C, S グループ間で有意差が無いとすれば、C グループの被験者は自身では作業姿勢を意識しているが、実際の作業では Stoop 法を多く用いているということになり、懸念すべき事態となる。

7. おわりに

アシストスーツの改善と普及に向け、ユーザの主観的評価に着目し、製品検査工場にてニーズ調査を行った。また、抜き取り作業の模擬実験から作業姿勢が Stoop 法に誘導されている可能性を見出し、その対策として、ユーザの作業姿勢を Squat 法に誘導するように、作業姿勢を効果音でフィードバックする機器を作製した。再び行われた抜き取り作業の模擬実験により、姿勢判定装置の有効性が証明された。実験結果から、誘導する姿勢をより正確に示すこと、ユーザに持ち上げ動作前に分かりやすく知らせることが次の課題になると考えた。また、この装置によってユーザの作業姿勢への意識が改善されるか確認するため、実験人数を増やし検討する必要がある。

謝辞 多忙の中、調査、実験に協力していただいた皆様に感謝申し上げます。研究資金および調査機会を提供して下さった協力企業に感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 厚生労働省, “平成 29 年業務上疾病発生状況 (業務別・疾病別)”, 2017.
- [2] 厚生労働省, “職場における腰痛予防対策指針及び解説”, 2013.
- [3] 今村由芽子, “筋力補助効果と体幹安定化効果を持つ軽労化装具スマートスーツ・ライト.”, 2014.
- [4] 経済産業省一般社団法人日本ロボット工業会, “ロボット導入実証事業～先進的なロボットの活用方法を紹介します～事例紹介ハンドブック 2016”, 2016.
- [5] 国土交通省物流審議官部門, “物流分野での先進的技術の導入・活用を巡る動きについて”, 2015.
- [6] 松丸隆文, 福山聡, 島和義, 伊藤友孝, “異なる開始姿勢からの重量物挙上動作の解析・評価と躍度最小規範を用いた適切な動作姿勢の検討.” 日本機械学会論文集 C 編 72.720 (2006): 2554-2561.
- [7] 藤村昌彦, 奈良勲. “重量物持ち上げ動作における腰痛症発生機序に関する筋電図学的研究.” 日本職業・災害医学会誌 52.6 (2004): 341-347.
- [8] 麻植雄樹, 安田尚広, 高岩昌弘, “2H3-2 パワーアシストスーツの装着による作業姿勢と関節トルクに基づく腰部負担の定量的評価.” 人間工学 54. Supplement (2018): 2H3-2.
- [9] 中央労働災害防止協会, “運送業務で働く人のための腰痛予防のポイントとエクササイズ”, 2010.
- [10] Burgess-Limerick, Robin. “Squat, stoop, or something in between?.” International Journal of Industrial Ergonomics 31.3 (2006): 143-148.
- [11] 川崎和代, 後藤伸介, 池田拓史, 稲沢奈津美, 田端智恵美, 中原利恵. “リフティング動作方法の違いが重心動揺に及ぼす影響” Stoop 法と Squat 法の違いについて (理学療法基礎系 21). 理学療法学, 2005, 32.2: 259.