

建設現場向けパワーアシストスーツ

岡 尚 人・八 幡 真 純

建設作業員の業務上疾病の6割は腰痛によるものと言われている。すでに疾患を抱えている方のアシストのため、また次の世代の若い作業員を守るため、建設業向けアシストスーツの開発に着手した。農業用アシストスーツメーカーの協力を得て、建設現場での適用が難しい現実を実際に見てもらい、課題解決の案と一緒に検討し、プロトタイプのアシストスーツを完成させた。完成後は、現場実証を踏まえ、細かい動きを調整しながら改良を行っている。本報文では、建設業向けに開発を行ったアシストスーツについて、その概要および実験結果について述べる。

キーワード：アシストスーツ、軽労化、腰痛、少子高齢化、作業環境改善

1. はじめに

近年急速に様々な分野で機械化・自動化やロボット化が進んでいるが、労働集約型産業である建設業は大型のクレーンや重機以外は今でも大半の作業が人の手で行われている。しかし、少子高齢化や作業員になる担い手不足の課題もあり、建設業の労働人口は年々減少傾向にある。一方再開発事業の増加に伴い建設市場は増加傾向にあり、限られた労働人口で品質や安全を確保し、安定した利益を生むためには今まで以上の生産性を確保する必要がある。この様な背景から、作業員の作業負担軽減を目的としたアシストスーツの開発を始めた。

建設現場では重量物の移動や取り付けなどを人の手で行うことが多く、作業員の業務上疾病（熱中症、私病等除く）の5割は腰痛によるものと言われている¹⁾。アシストスーツの開発では、重量物の持上げ・降ろし、中腰姿勢の作業などで腰に掛る負担軽減を目標とした。

また、この30年間で労働人口が減少傾向にある中、労働力人口はほぼ横ばいで推移している²⁾。このことから、若い世代の労働人口は減っているため、高齢者や女性就業者が増えていると言える。そこで、一般男性よりも非力と考えられる高齢者や女性就業者、次の世代を担う若い作業員の作業負担を軽減するためのアシストスーツの開発も目標とした。

2. 既存アシストスーツの調査

現在、市場には多くのアシストスーツが流通しており、主に介護や物流分野での適用を目指し開発されてきた経緯がある。これらの分野では一か所での繰返し持上げ作業が主であるため、機能としては持上げ時の腰の負担軽減を対象としている。また、着用した状態での他の動作を想定していないため、動きの自由度が制限される機種が多い。しかし、建設現場ではいろいろな作業が付随しており、どの作業姿勢でも体の動きを阻害することなく装着できる機構が求められた。

この様な経緯から、農業用に開発されたアシストスーツ³⁾に着目した（写真—1）。このアシストスーツは1台で持上げ・降ろし、中腰姿勢保持、歩行アシストの3つの機能を具備しており、農作業を想定して開発されているため自由度の高い構造を有していた。これを元に、アシスト機能を維持し、かつ作業の邪魔にならない建設業向けモデルの開発を行った。



写真—1 農業用アシストスーツ

3. 評価実験

(1) 実験方法

開発に際し、農業用アシストスーツが実際の現場において有効であるかを評価した。アシストスーツの3つの機能について、以下の建築現場で想定される作業を模擬した実験を実施した。

① 持上げ・降ろし、資材運搬アシストの検証

セメント袋等の重量物持上げ運搬作業を模擬した

② 中腰姿勢保持アシストの検証

床仕上げ（土間おさえ）作業を模擬した

③ 歩行アシストの検証

現場内の歩行（フロア内、階段昇降）を模擬した

2名の被験者の協力の元、1週間の慣らし期間を経て、評価実験（写真—2）を実施した。評価はセンサを用いた定量的評価と、被験者へのヒアリングによる定性的評価を併用した。



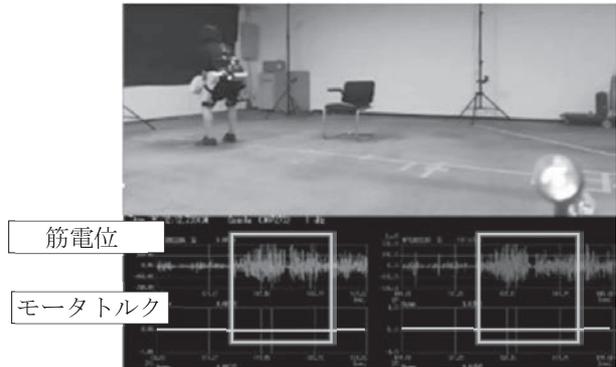
写真—2 評価試験の様子

(2) 定量的評価結果

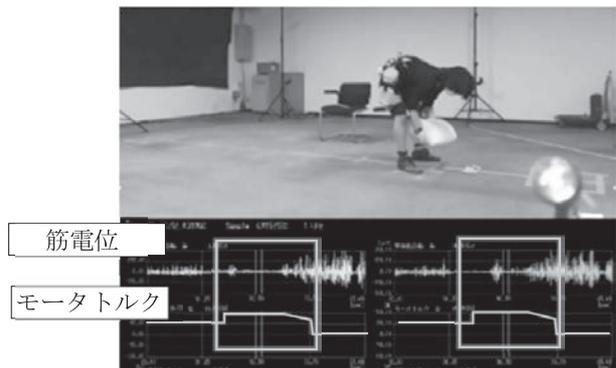
持上げアシストの結果を写真—3, 4に示す。アシストスーツを着用し、アシストが入っていない状態とアシストが入っている状態で背筋の筋電位の差を比較した。波形の上段は腰の筋肉に取り付けた筋電位センサの出力、下段の波形はアシストスーツのモータトルクの波形となっている。モータトルクが一定の状態はアシストが働いていない状態であり、持上げ時にアシストが働いた際はモータトルクが上昇する。写真—3, 4の波形を囲った範囲が、今回持上げ動作を行ったタイミングである。アシストなしでは、セメント袋を持上げる際に筋電位センサに反応が見られたため、筋肉が収縮し筋力を発揮している。それに対しアシストありの状態では、筋電位が低くなっている。これにより、アシストにより筋力の発揮が少ないと言え、ア

シストが有効に働いたと考えられる。

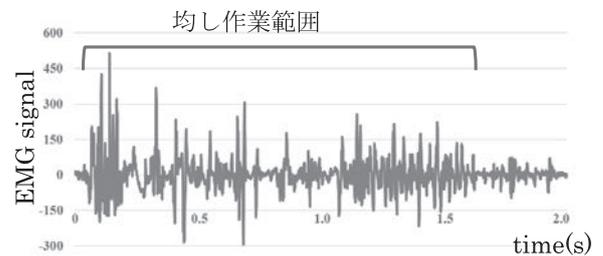
中腰姿勢保持は持上げアシストとは違い、瞬間的に力を出すのではなく、モータにブレーキが掛かることで継続的にアシストをするため、筋電位の波形形状は持上げアシストのように顕著な差はなかった。実験時に得られた筋電位センサの波形を図—1, 2に示す。筋電位が大きく変化している範囲が均し作業を行っている時のもので、変化が小さい範囲は一度立ち上り、休



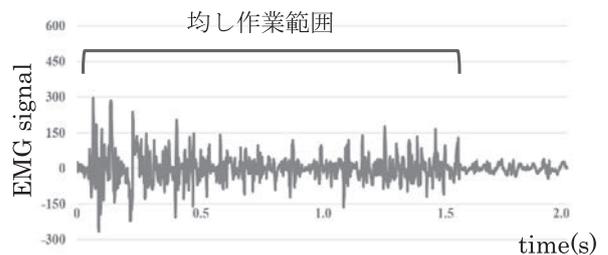
写真—3 持上げ動作時の評価結果（アシストなし）



写真—4 持上げ動作時の評価結果（アシストあり）



図—1 持上げ作業時の評価結果（アシストなし）



図—2 持上げ作業時の評価結果（アシストあり）

息をしている時のものである。2つの波形を比較すると、波形の振幅には多少の変化が見られた。アシストがない状況と比較し、アシストがある状態では波形の振幅が小さく表れたため、中腰姿勢保持のアシストが働いたと考えられる。

今回はアシストスーツの構造上、足の筋肉を計測するための筋電位計測器を取り付けることができなかった。そのため、歩行アシスト時の有効性を数値的にとらえることはできなかった。

(3) 定性的評価結果

2名の被験者の主なヒアリング結果は以下となる。

- ・ 持上げアシスト時の腰にかかる負担が軽減されているのを感じた（体を起こすアシストを感じた）
- ・ 荷物を下ろす際のブレーキ機能が、腰の負担を軽減しているのを感じた
- ・ 中腰姿勢保持時の腰の負担の軽減を感じた
- ・ 歩行時に足を前へ振り上げるアシストを感じた
- ・ 持上げアシスト、中腰姿勢保持に比べ、歩行アシストは慣れるのに時間がかかった

上記のように、個別のアシスト機能については有効に感じられたとの評価を得られた。一方で、材料を持上げてから歩行し、再度材料を下ろすなどの複合的作業が生じた場合は、アシストを感じにくいなどの意見も出た。

装着感や動きやすさの面でのヒアリング結果は以下の通りとなった。

- ・ 作業態勢によってはフレームが体に当たり、痛みを感じる
- ・ 長時間の着用は重さを感じる
- ・ 拘束が多いため、動きにくさを感じる
- ・ 慣れるまでは体が疲れる

農業用のアシストスーツは他の市販のものと比較し着用者の体の動きを比較的妨げない機構を用いているが、一か所での繰り返し作業でない作業態勢においては動きにくさを感じるとの評価となった。

(4) 評価実験のまとめ

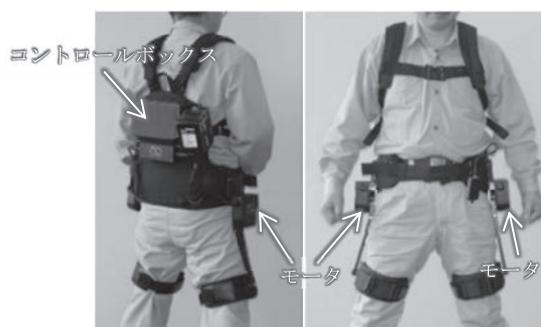
本評価実験では、アシストスーツの重さ、着心地に関しては課題が残るものの、作業内容によっては建設現場でのアシストスーツ利用は有効であることが確認できた。

4. 建設業向けアシストスーツの開発

(1) 構造・仕様

開発した現状のアシストスーツを写真—5に、概要を表—1に示す。重量は従来品から40%の軽量化を図りバッテリーを含めて4.3 kgで市販品と大差ない仕様となっており、稼働時間は約8時間、アシスト力は10 kg程度である。アシスト力とは、例えば20 kgのモノを持上げた際に、腰にかかる負担が10 kg軽減される力である。

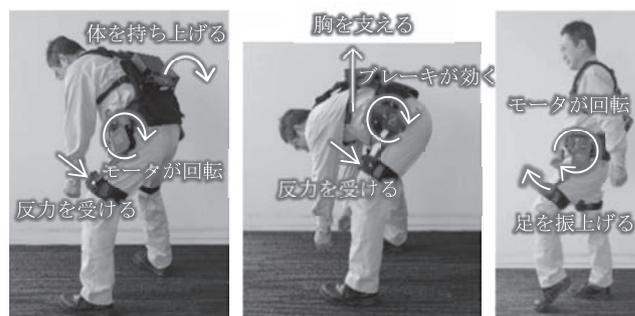
アシスト機能は持上げ・降ろしアシスト（持上げ時のアシスト、荷降ろし時のブレーキアシスト）、中腰保持アシスト、歩行アシストの3つの種類があり、動作原理を写真—6に示す。腰にあるモータの回転力を太ももで反力を取ることで上半身を持上げるアシスト、モータにブレーキが掛かることで上半身を固定するアシストが発生する。また、モータの回転力により足を振上げる力を生み、歩行するアシストを行う。そ



写真—5 建設業向けアシストスーツ

表—1 建設業向けアシストスーツ概要

機構	電動
重量	4.3 kg (バッテリー含む)
稼働時間	4～8時間
機能	持上げアシスト 中腰姿勢保持 歩行アシスト
アシスト力	10～15 kg



写真—6 アシストスーツの動作原理

それぞれのアシストは手元にあるスイッチを切り替えることで動作し、アシストの強度（速さ・強さ）も調整可能である。

(2) 特徴

建設現場では安全帯の着用が義務化されているが、従来のアシストスーツは駆動部が腰部に位置する構造が多く、安全帯や腰道具を着けた状態での着用が難しかった。この課題を解決するために、本モデルでは構造の検討をし、アシストスーツが作業の邪魔にならないよう、さらに着心地にも配慮した。

一つ目の特徴は腰周りの構造を簡素化し、ハーネス型安全帯や腰道具をアシストスーツと併用して着用できるようにした（写真一7）。アシストスーツの原理として、駆動モータと股関節の回転中心を一致させることでモータのトルクをアシスト力として最大限有効に働かせることができ、かつ着用者と機械の動きがシンクロしやすくなる。本開発品では、腰道具と干渉しない位置に駆動モータ配置し、かつアシストを十分に発揮することができる構造を実現した。

二つ目の特徴は、個人の動きを妨げない自由度の高い構造にある（写真一8）。従来型のアシストスーツではスーツを体に密着させるため拘束部が多く、足を大きく広げたり、屈伸したりする動作が難しいという課題があった。本開発では、モータとその反力を受ける太ももをつなぐフレームの接続方法を改良し、今ま



写真一7 安全帯と腰道具を併用した様子



写真一8 アシストスーツを着用した状態の姿勢

で出来なかった自由な動きができるよう配慮した。

三つ目は、現場でアシストスーツを使用する際に周囲との接触を避けるため、全体的に薄型の構造にし、着用者の体よりもアシストスーツが極力はみ出さないよう、背面のコントロールボックスや腰周りのモータの改良を実施した（写真一5, 7参照）。

5. 現場での実証実験

(1) 実験対象

アシストスーツの効果は繰り返し作業において有効性を感じられること、また腰にかかる負担を軽減できることが先の評価実験で確認できたため、主に腰に負荷が発生する作業において表一2に示す職種を対象に現場実証を実施した。

表一2 実験対象職種

職種	実験項目		
	持上げ	中腰保持	歩行
鉄筋工	○	○	
耐火被覆工			○
内装工	○		

(2) 持上げ・降ろしアシスト実証の結果

鉄筋工における地中梁鉄筋の持上げの様子を写真一9に、鋼材及びボード材を持上げる様子を写真一10に示す。床面にある材料を垂直または、斜め方向へ持上げる動作（写真一9、写真一10左）ではアシストを感じられるとのヒアリング結果を得ることができた。しかし、同じ持上げ動作でもボードなど腕を広げた状態で持上げる動作（写真一10右）ではアシストを感じにくいというヒアリング結果であった。

アシストが感じにくい要因は、上半身と太もものなす角度にあると考えられる。アシストスーツは腰のモータの反力を太ももで受けるような構造であるため、上半身と太もものなす角度が鋭角すぎると反力を受けにくくなる。そのため、腕を大きく広げる動作を行うと鋭角になり、アシストの効果を感じにくいという結果となった。

本実験では2名で持上げ作業を行う際に、両者ともアシストスーツを着用した場合と一方だけ着用した場合での動作の違いも検証した。どちらの場合もアシストを感じることができた。ただし、両者ともアシストスーツを着用した場合の方が同じタイミングで持上げ動作を行う事ができ、よりアシストを有効に感じられる結果となった。



写真-9 鉄筋持ち上げの様子



写真-10 アシストを感じやすい・感じにくい態勢



写真-11 床配筋の様子

(3) 中腰保持アシスト実証の結果

鉄筋工におけるスラブ配筋の様子を写真-11に示す。左側の写真の様に体をかがめた状態の配筋作業では、中腰保持アシストを感じることができ、腰への負担が軽減されたというヒアリング結果を得られた。しかし、完全にしゃがみ込んだ状態(写真-11右)ではアシストを感じにくい結果となった。

アシストを感じにくい要因は前項の持上げアシスト検証時と同じく、上半身と太ももがなす角度が鋭角すぎるのが原因と考えられる。

(4) 歩行アシスト実証の結果

耐火被覆プラント内で材料を移動の様子を写真-12に示す。床面はフラットで傾斜や段差がない状態で、ハンドパレットを用いて材料の移動を行った。材



写真-12 歩行アシスト検証の様子



写真-13 ヒップベルト追加状況

料の重さに関係なく、前へ進む動作では歩行アシストを感じることができた。

(5) 検証結果を受けての改良

前項で挙げた上半身の姿勢によるアシストの感じ易さの有無を改良するため、アシストスーツにヒップベルトを追加した(写真-13)。鋭角な角度でもアシストを感じられるよう、太ももでのみ受けていた反力を臀部へ分散することで、どのような角度でもアシストを感じることができるよう改良した。

6. 今後の課題

現場での実証実験を通し、各作業(持上げ、中腰、歩行)でアシストを感じることができ、腰や足などの負担軽減が実現できると言える結果を得られた。しかし、各アシストが作用していない時はアシストスーツの重量などが着用者の負担になっていることもヒアリングで分かった。今回の結果より、アシストスーツが有効と考えられる作業内容や、適している職種の検討を継続して実施する必要があると感じた。

また、アシストスーツの普及は以前より進んできているが、建設現場での活用は、前述した装着性や安全性の面で課題が残っている。さらに、装着者個人の慣れも必要なことから、万人に効果が得られるよう適応させる難しさもある。様々な課題はあるが、アシスト

スーツへの関心は高く、引き合いも多いことから実際にアシストスーツに触れてもらう機会を増やすなど、将来的に建設現場での普及を目指せる基盤整備も必要と考える。今般、建設業界のロボティクストランスメーションの推進を図るべく、RX コンソーシアム⁴⁾が発足した。コンソーシアムを通じて建設業界全体でのアシストスーツの現場導入の課題に取り組み、普及を促進できればと考える。

7. おわりに

現場作業は3K（きつい、きたない、危険）と言われるが、これからの時代は働きやすい環境づくりが重要だと考える。生産性向上のための技術開発と共に、「未来の現場は人にやさしい」を実現できるような技術開発も大切なキーワードだと感じている。アシストスーツは重量物の持上げ・降ろし、中腰姿勢での作業などで腰に掛る負担軽減をできるため、アシストスーツの開発を通して、今後も現場の働き方改革に貢献していきたい。

JCMA

《参考文献》

- 1) 厚生労働省, 令和2年業務上疾病発生状況(業種別・疾病別)
- 2) 厚生労働省白書, 令和2年労働力人口・就業者数の推移
- 3) 八木栄一, 佐藤元伸, 佐野和男, 三井利仁, 馬淵博行: “歩行と持ち上げ動作を支援するための電動パワーアシストスーツの検証実験”, 日本機械学会論文集, Vol.81, No.830, 2015
- 4) <https://rxconso.com.dw365-ssl.jp/>
- 5) 八幡真純, 岡尚人: “建設現場向け労務軽減アシストスーツの開発”, 日本建設学会 第23回建築の自動化シンポジウム 予稿集, P33, 2022

【筆者紹介】



岡 尚人 (おか まさと)
鹿島建設株式会社
技術研究所 先端・メカトロニクスグループ
担当部長



八幡 真純 (やはた ますみ)
鹿島建設株式会社
技術研究所 先端・メカトロニクスグループ
主任研究員