

令和2年度

厚生労働省 高年齢労働者安全衛生対策実証等事業

実証報告書



厚生労働省 安全衛生実証

実証申請者 : マックス株式会社
実証対象対策 : 鉄筋結束機 ツインタイヤ ウォーカーモデル
RB-400T-E シリーズ による腰痛対策
実証番号 : 2020-03
実証機関 : 一般社団法人埼玉県環境検査研究協会

令和3年3月

本実証報告書の著作権は、厚生労働省に属します。

目次

1. 実証の目的と体制	- 1 -
1.1 実証の目的	- 1 -
1.2 実証参加組織と実証参加者の責任分掌	- 1 -
2. 実証対象対策の概要	- 4 -
2.1 実証対象対策の原理と構成	- 4 -
2.2 実証対象対策の仕様	- 5 -
2.3 消耗品、消耗材、電力等消費量	- 5 -
2.4 実証対象対策の運用や維持管理に必要な作業項目、技能	- 6 -
2.5 実証対象対策が必要とする条件の制御	- 6 -
2.6 回収物及び廃棄物とその取扱い	- 6 -
3. 先行して実施した試験データの活用	- 6 -
3.1 先行して実施した試験データの取扱いについて	- 6 -
4. 試験方法	- 7 -
4.1 試験機関と試験実施場所の概要	- 7 -
4.2 実証スケジュール	- 8 -
4.3 監視項目	- 8 -
4.4 実証項目	- 8 -
4.5 測定方法、測定周期及び管理	- 9 -
4.6 運用及び維持管理項目	- 20 -
4.7 実証に伴う倫理審査等	- 20 -
5. 試験結果及び考察	- 21 -
5.1 監視項目	- 21 -
5.2 実証項目	- 22 -
5.3 参考項目	- 32 -
5.4 運用及び維持管理項目	- 44 -
5.5 所見（実証結果のまとめ）	- 44 -

(参考情報)	- 46 -
○付録	- 48 -
1. 専門用語の解説	- 48 -
2. 品質管理システムの監査	- 49 -
○資料編	- 50 -

1. 実証の目的と体制

1.1 実証の目的

高年齢労働者安全衛生対策実証等事業は、普及が進んでいない高年齢労働者安全衛生対策について、その効果等を、第三者が客観的に実地で検証し、結果を公表することにより、適切な高年齢労働者安全衛生対策の選択・導入を後押しし、もって高年齢労働者の労働災害防止対策の推進を図ることを目的とするものである。

本実証では、高年齢労働者安全衛生対策実証等事業実施要領⁽¹⁾に基づいて選定された実証対象対策「鉄筋結束機ツインタイヤ ウォーカーモデルRB-400T-Eシリーズ」について、以下に示す項目を客観的に実証した。

- 実証申請者が定める対策仕様の範囲で使用した際の腰痛リスク低減効果
- 実証対象対策の操作性・有効性
- 運用及び維持管理にかかる労力

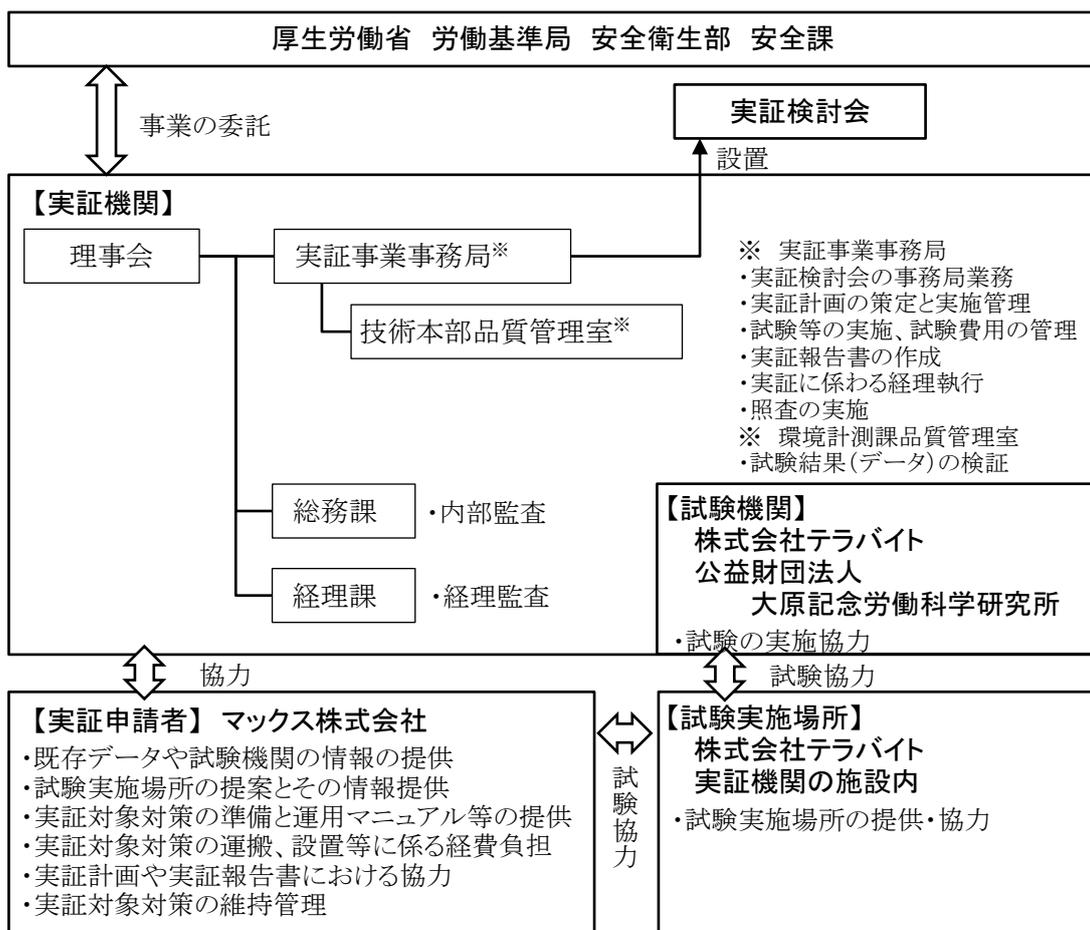
本報告書は、専門家で構成される実証検討会において、実証対象対策の腰痛リスク低減効果等について検討し、その結果を取りまとめたものである。

- (1)：高年齢労働者安全衛生対策実証等事業実施要領
(厚生労働省労働基準局安全衛生部安全課) 令和2年2月版

1.2 実証参加組織と実証参加者の責任分掌

実証に参加した組織を図1-1に示した。実証検討会は、人間工学、先進技術、実証プロセス等の有識者や産業医で構成された専門家で構成した。実施計画や実証方法について意見を得て実証を実施した。実証参加者とその責任分掌を表1-1に示した。

これらの関係者とは必要に応じて秘密保持等の守秘義務を約束した。



実証機関：一般社団法人埼玉県環境検査研究協会
埼玉県さいたま市大宮区上小町 1450-11

実証申請者：マックス株式会社
東京都中央区日本橋箱崎町 6-6

図 1-1 実証参加組織

表1-1 実証参加者の責任分掌

区分		実証参加機関		責任分掌	参加者
実証	実証機関	一般社団法人 埼玉県環境検査研究協会	実証の 実施と 管理	実証検討会の設置・運営	野口裕司 青木行広 山岸知彦 長濱一幸 市橋美博 大塚俊彦 岸田直裕
				実証計画の策定と実施管理	
				試験の実施（統括）	
				試験費用の管理・執行	
				実証報告書の作成	
				実証に係わる経理執行	
				照査の実施	野口裕司
		データの 検証	試験結果（データ）の検証	高橋広士	
		内部監査	内部監査の実施	田島照久	
		経理監査	経理に係る内部監査に関する実施	田中勇希	
	試験機関	株式会社テラバイト	試験の実施協力 測定及び試験データの情報提供 品質管理体制等の情報提供	営業部係長 川瀬健造	
公益財団法人大原記念 労働科学研究所		副所長 北島洋樹 研究部研究員 石井賢治			
実証申請者		マックス株式会社	既存データや試験機関の情報の提供 試験実施場所の提案とその情報提供 実証対象対策の準備と運用マニュアル 等の提供 実証対象対策の運搬、設置等に係る経費 負担 実証計画や実証報告書における協力 実証対象対策の維持管理	RB 事業推進室 室長 伴 孝則	
試験実施場所		株式会社テラバイト	試験実施場所の提供・協力	営業部係長 川瀬健造	
		一般社団法人埼玉県 環境検査研究協会 土呂支所		浅川 進	

2. 実証対象対策の概要

2.1 実証対象対策の原理と構成

実証対象対策「鉄筋結束機 ツインタイヤ ウォーカーモデル RB-400T-E シリーズ」は、最適な重心バランスを保ち、全長を長くすることで、立ち姿勢のまま鉄筋結束作業を可能とした、高齢労働者でも簡単に扱うことができる習熟不要な建設工具である。特徴として、両手持ちにより操作性を上げ、結束ポイントを目視しなくても機械先端部の形状で鉄筋を拾いこみ、自重によりコンタクトスイッチが鉄筋に接触することで一連の結束動作を行うことができる。腰を深く屈めることにより発生する下肢・腰部への負担を軽減させることで、腰痛という労働災害の発生を抑制することが期待できる、腰痛リスク低減対策である。



図2-1 実証対象対策

表2-1 実証対象対策の原理・効果

原理・特徴
<ul style="list-style-type: none"> 機械先端部が結束する鉄筋を拾い込む機構を有し、鉄筋に接触すると機械の自重によりコンタクトスイッチが入り、結束動作を行うことができる。 全長を長くし両手持ちとしたことにより、安定した立位姿勢で作業が行える。 バッテリーを動作の回転中心である手元に配置したことにより、先端部の操作性が良い。
効果
<ul style="list-style-type: none"> 腰を深く屈めることにより発生する身体的負担を軽減。 立位姿勢でも結束交点が狙い易い。 手結束のように手首を回す動作が不要。 経験問わず高齢作業でも簡単に結束作業が可能。 従来機（ハンドガン型結束機）のような、トリガスイッチを引く指への負担が無い。（自社製品との比較）

2.2 実証対象対策の仕様

実証対象対策の仕様を表2-2に示した。

表2-2 実証対象対策の仕様

商品名	ツインタイヤ ウオーカーモデル RB-400T-E シリーズ
外形寸法 (高さ×幅×長さ) (電池パック装着時)	H 322mm×W 408mm×L 1,100mm
重量	4.6kg (電池パック含む)
モータ電圧	DC14.4V (専用リチウムイオン電池パック)
電池容量	4.0Ah (4,000mAh)
電池質量	0.5kg
充電電圧 (電流)	DC14.4V/4.0A
使用温度範囲	0℃～40℃
1 リール結束回数	150 か所～260 か所程度 (対象鉄筋径などによって異なる)
1 充電当たり結束回数	約 4,000 か所 (4.0Ah 電池使用時)
1 回の充電時間	約 50 分 (リチウムイオン急速充電器使用)
使用上の注意	<ul style="list-style-type: none"> ・ 保護メガネを着用する。 ・ 雨の中、水のかかる場所では絶対に使用しない。 ・ 使用前に機械の故障や破損などの異常がないか必ず確認する。 ・ 電源が入った状態で先端結束部・回転部には絶対に手を近づけない。 ・ 作業後は、高温にならない乾燥した場所に保管する。 ・ 落下のおそれがある所には置かない。 ・ 分解・改造しない。

2.3 消耗品、消耗材、電力等消費量

実証対象対策の消耗品等を表2-3に示した。

表2-3 消耗品、消耗材、電力等消費量

消耗品	専用結束線 (タイワイヤ)、リチウムイオン電池パック
消費電力	220VA (AC100V 50/60Hz)

2.4 実証対象対策の運用や維持管理に必要な作業項目、技能

日常的な管理や使用者等に推奨している定期点検は、表2-4に示すとおりである。

表2-4 運用や維持管理、必要な技能の項目

項目	担当者	作業項目	頻度
日常点検	使用者	<ul style="list-style-type: none">・外観チェック・清掃・バッテリー残量チェック・充電器の異常、破損、稼働状況	使用の都度
定期点検	メーカー	<ul style="list-style-type: none">・外観チェック・動作性能確認・バッテリー性能確認・充電器の異常、破損、稼働状況	1年に1回程度

2.5 実証対象対策が必要とする条件の制御

本対策は、鉄筋を結束することを目的とした建設工具である。作業経験の年数問わず取り扱うことを可能とした実証対象対策ではあるが、指定以外の用途、使用方法は重大な事故につながるおそれがあるため、取扱説明書の記載事項を厳守すること。

2.6 回収物及び廃棄物とその取扱い

使用済みの電池パック（付属のリチウムイオン電池）は、実証申請者であるマックス株式会社の販売店、サービス拠点にて回収する。

3. 先行して実施した試験データの活用

3.1 先行して実施した試験データの取扱いについて

実証申請者は、外部委託による筋骨格モデル機構解析シミュレーションによる腰部椎間板圧縮力試験のデータを保有しているが、詳細は非公表である。

このため、本事業の目的に沿ったものとして取り扱うことは難しく、先行して実施した試験データは、実証の参考情報として取り扱うこととした。

4. 試験方法

実証対象対策は、腰痛リスクを軽減させる対策である。試験は、ハッカーによる手結束と実証対象対策による機械結束を同じ条件で行い、筋骨格モデル機構解析シミュレーションによる腰部椎間板圧縮力、筋電位、心拍数などの人体工学的な計測、負荷・負担・疲労に関する主観的な調査の結果を比較することで、実証対象対策を使用した際の身体的負担軽減への効果を確認した。

4.1 試験機関と試験実施場所の概要

表4-1に示すとおり、筋骨格モデル機構解析システムを用いた腰部椎間板圧縮力に関する試験は、外部試験機関である株式会社テラバイトにて行った。表4-2に示すとおり、筋電位等の人体工学的な計測については、当実証機関施設内に鉄筋結束模擬作業場を設置し、外部試験機関である公益財団法人大原記念労働科学研究所の研究職員が計測を行った。

表4-1 試験機関と試験実施場所の情報（腰部椎間板圧縮力）

項目	内容
試験実施場所	株式会社テラバイト
	東京都台東区上野 1-4-4 藤井ビル (Testing laboratory)
試験機関の情報	解析テーマに応じて適切なソルバーを選定し、解析を実行して結果レポートを納入する受託解析サービスを行っている。
試験方法の概要	今回使用する筋骨格モデル機構解析システム（AnyBody Modeling System (AnyBody)）は、人体メカニズムのモデリングを行うソフトウェアシステムであり、個々の筋・関節力・代謝・腱の弾性エネルギー・拮抗筋力・その他動作中の人体における様々な部分に作用する力を計算することができる。

表4-2 試験機関と試験実施場所の情報（人体工学的な測定）

項目	内容
試験実施場所	一般社団法人埼玉県環境検査研究協会 土呂支所（研修室）
	埼玉県さいたま市北区土呂町 1-50-4
試験機関の情報	公益財団法人 大原記念労働科学研究所 高年齢者をはじめ労働者の労働安全衛生分野の調査や、認定人間工学専門家を中心とした人間工学的製品評価等の実績を豊富に有している労働科学に関する調査・研究機関である。
試験方法の概要	筋電位などの人体工学的な計測

4.2 実証スケジュール

実証に関する試験期間とスケジュールを図4-1に示した。

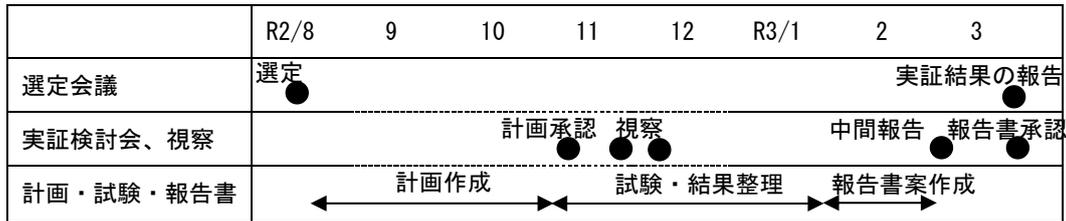


図4-1 実証のスケジュール

4.3 監視項目

監視項目には、表4-3に示す項目を設定した。

表4-3 監視項目

監視項目	内容
試験環境条件	試験場所である屋内の温度や湿度を測定した。 筋電位の測定に影響を及ぼす磁力等が発生していないことを確認した。
被験者の情報	年齢、身長、体重、性別、鉄筋結束作業経験年数を確認した。

4.4 実証項目

実証項目及び参考項目には、表4-4、4-5に示す項目を設定した。本実証では、これらの項目の総合的な評価により、鉄筋結束作業における手結束作業に対する実証対象対策を使用した際の効果や有効性を調査した。

表4-4 実証項目

実証項目	内容
腰部椎間板圧縮力	腰部負荷の定量的評価指標である腰部椎間板圧縮力をシミュレーションで算出し、姿勢の違いによる変化を瞬間的な負荷等で確認した。
筋電位（脊柱起立筋・僧帽筋・大殿筋・大腿四頭筋（外側広筋））	結束作業に影響すると考えられる筋部位について、筋活動量の指標である筋電位を測定し、総活動量や活動強度を平均的な負荷の視点で比較した。
心拍数	運動の強度を計る指標である心拍数を測定し、結束作業での循環器系への影響について経時的な変化を比較した。
握力	結束作業での腕への疲労について、握力計測により経時的な変化を確認した。

表4-5 参考項目

参考項目	内容
疲労度評価 （疲労部位しらべ・自覚症しらべ）	結束作業による疲労状況の経時的変化を主観的な調査で評価した。
パフォーマンス評価（膝関節腰関節曲げ伸ばし回数・結束回数・誤結束回数）	身体動作（膝・腰部屈伸）の頻度、作業目的である結束作業数を従来手法と比較した。
事後使用感評価（操作性・腰部負担感・作業速度・安全性）	実証対象対策の操作性や負担感を主観的な調査で評価した。

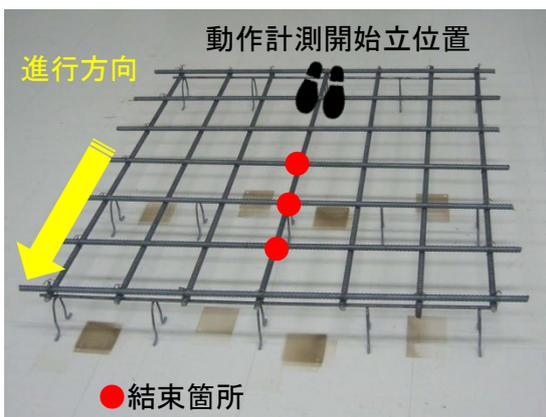
4.5 測定方法、測定周期及び管理

ハッカーによる手結束と、実証対象対策による機械結束について、それぞれ以下に示す方法により試験を実施した。

(1) 筋骨格モデル機構解析シミュレーション

【試験準備】

- 株式会社テラバイト試験室内に、模擬的な鉄筋結束作業場(鉄筋径 D13(φ13mm)、配筋ピッチ 150mm、縦 1.0m×横 1.0m、鉄筋床面シングル配筋、バー型スペーサー高さ 70mm、スペーサー配置ピッチ 500mm 以内)を1面設けた(図4-2)。



(模擬鉄筋作業場)

(試験場所風景)

図4-2 試験室内施設

【試験方法】

- 被験者(高齢労働者 55歳以上)計3名(1日1名で試験)に、反射マーカを体表面の各部位等に41カ所貼付し、ハッカー(図4-4 重量約300g)を用いた手結束作業と、実証対象対策(重量約5kg)を用いた機械結束作業を行ってもらった。動作上計測が困難なマーカがあったため、骨盤と体幹(第12肋骨のあたり)に2点ずつ、さらに実証対象対策にそれぞれマーカを追加した(図4-3)。作業動作における反射マーカの位置を6台のカメラ(Vicon Vonita10、計測周波数100Hz)にてモーションキャプチャデータを取得した。



○ : 追加したマーカ

図4-3 マーカ貼付状況

- 取得する作業動作は、ハッカーを用いた手結束、実証対象対策を用いた機械結束とし、模擬鉄筋結束作業場の中央1列(図4-2)を使用し、それぞれの結束回数を3回と設定した。

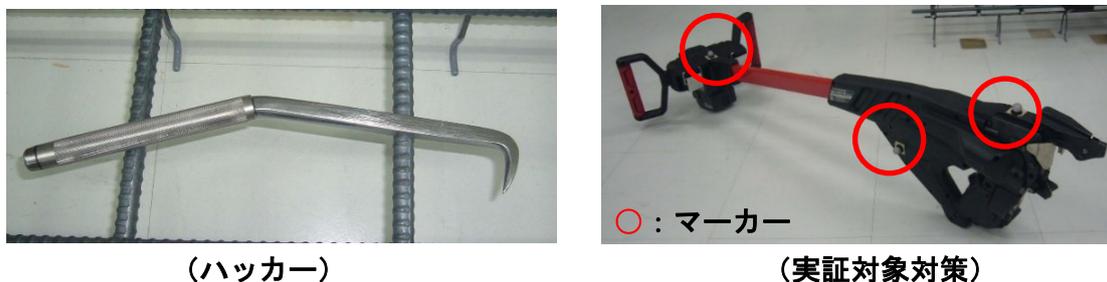


図4-4 使用道具、実証対象対策

- 手結束の動作計測では、ハッカーを持った被験者が鉄筋結束作業場上で立位姿勢を維持し、その場で前屈姿勢をとり1結束(ハッカーの回転は2回転)行った。前屈姿勢のまま1歩前進し、1結束(ハッカー回転は2回転)行った。その場で伸展し1歩前進した後、前屈姿勢をとり1結束(ハッカー回転は2回転)を行った。その場で伸展し計測終了とした。この一連の動作を計3回繰り返した。
- 機械結束の動作計測では、機械結束機を持った被験者が鉄筋結束作業場上で立位姿勢を維持し、その場で立位姿勢のまま結束交点に向け1結束行った。その場から1歩前進して1結束、さらに1歩前進して1結束行い、その場で機械結束機を持ち上げて計測終了とした。この動作を計3回繰り返した。

【評価方法】

- 表4-6に示すとおり、取得したデータは筋骨格モデル機構解析システム(AnyBody)を用いて運動解析及び逆動力学解析を行い、腰部椎間板圧迫力を算出した。
- 解析評価は、各被験者の腰部椎間板圧縮力について立位姿勢時との相対比を算出し、手結束動作に対し実証対象対策による機械結束動作における腰部椎間板圧縮力の低減効果を確認した。

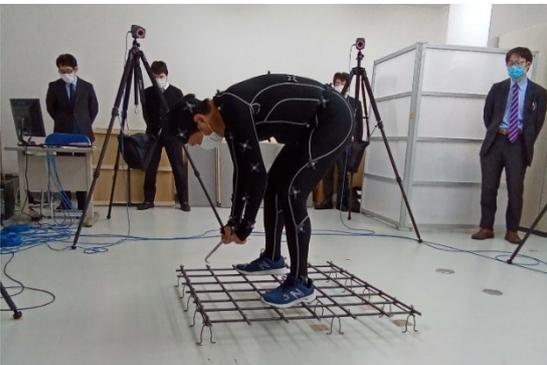
表4-6 筋骨格モデル機構解析シミュレーション工程

項目	内容
動作計測	反射マーカーを用いて、被験者の動きを取得した。
運動解析	反射マーカーの動きから、骨格の動きを推定した。
逆動力学解析	骨格の動きから、筋張力または筋発揮力を推定した。
腰部椎間板圧縮力	筋張力または筋発揮力から圧縮力を計算した。
評価	結束作業時の腰部椎間板圧縮力最大値をそれぞれ比較し、手結束に対する実証対象対策による機械結束での腰部椎間板圧縮力の低減率を算出した。

計測風景を図4-5に示した。



被験者 A による計測風景



被験者 B による計測風景



被験者 C による計測風景

図4-5 計測風景

(2) 筋電位等計測、作業負荷試験（疲労度評価・パフォーマンス評価・事後使用感評価）

【試験準備】

- 実証機関屋内研修室内に模擬的な鉄筋結束作業場（鉄筋径 D13（φ13mm）、配筋ピッチ 150mm、縦 2.7m×横 2.7m、鉄筋床面シングル配筋、バー型スペーサー高さ 70mm、スペーサー配置ピッチ 500mm 以内）を 2 面設けた（図 4-6）。
- 被験者（高年齢労働者 55 歳以上）計 7 名（1 日 1 名または 2 名で試験）に対し、ハッカーを用いた手結束、実証対象対策を用いた機械結束作業について以下に示す試験を行った。
- 各試験における結束作業は、進行方向 2.7m 1 列 2 本の鉄筋交差部をジグザグ状（一つ飛び）に結束する「チドリ結束」とし、1 列 2 本の交差部結束可能数 17 箇所（4 往復）の作業の往復とした。1 面は 8 列 16 本（4 往復）で鉄筋交差部 136 箇所の結束が可能である。1 面すべてのチドリ結束を終えるとすぐに、再度作業開始場所の 1 列目に戻り作業を継続した（図 4-6）。
- 試験中、実証機関職員は結束状況を確認後、ワイヤーカッターで結束線を切除し、作業可能な鉄筋交差部の確保に務めた。また、試験中にワイヤ切れの交換などによる作業時間のばらつきを無くすため、実証対象対策機を 3 台準備し、常時使用可能な状態を保った。
- 被験者の作業時の服装は、通常業務で使用している作業着、安全靴、ヘルメット、安全帯など私物を持参して着用してもらった。

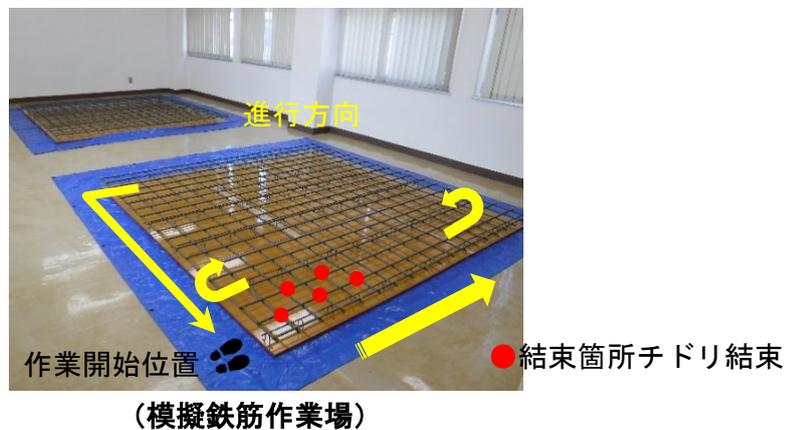


図 4-6 試験室内施設

【試験方法】

- 試験を開始する前に、調査の目的を被験者に説明するとともに、現在及び過去の腰痛の状況について質問紙（図 4-12）を用いて把握した。
- 筋電位測定のため、被験者に表面電極を身体の皮膚面に直貼りした。測定部位は、脊柱起立筋・僧帽筋・大殿筋・大腿四頭筋（外側広筋）とし、心拍数測定は、ロガー付き心電計を身体の皮膚面に直貼りした（図 4-7）。
- 筋電位等計測動作は、模擬鉄筋結束場 1 列の結束作業とし、計測はハッカーによる手結束、実証対象対策による機械結束それぞれ計 3 回ずつ行った（図 4-7）。

被験者が1日2名の場合は、手結束と機械式結束の開始順を入れ替えて実施した。



図4-7 筋電位センサー貼付状況、測定風景

- 筋電位測定後、作業負荷試験（10分間の結束作業、疲労度評価、握力計測、パフォーマンス評価）を行った。1日の試験工程を、図4-8に示した。

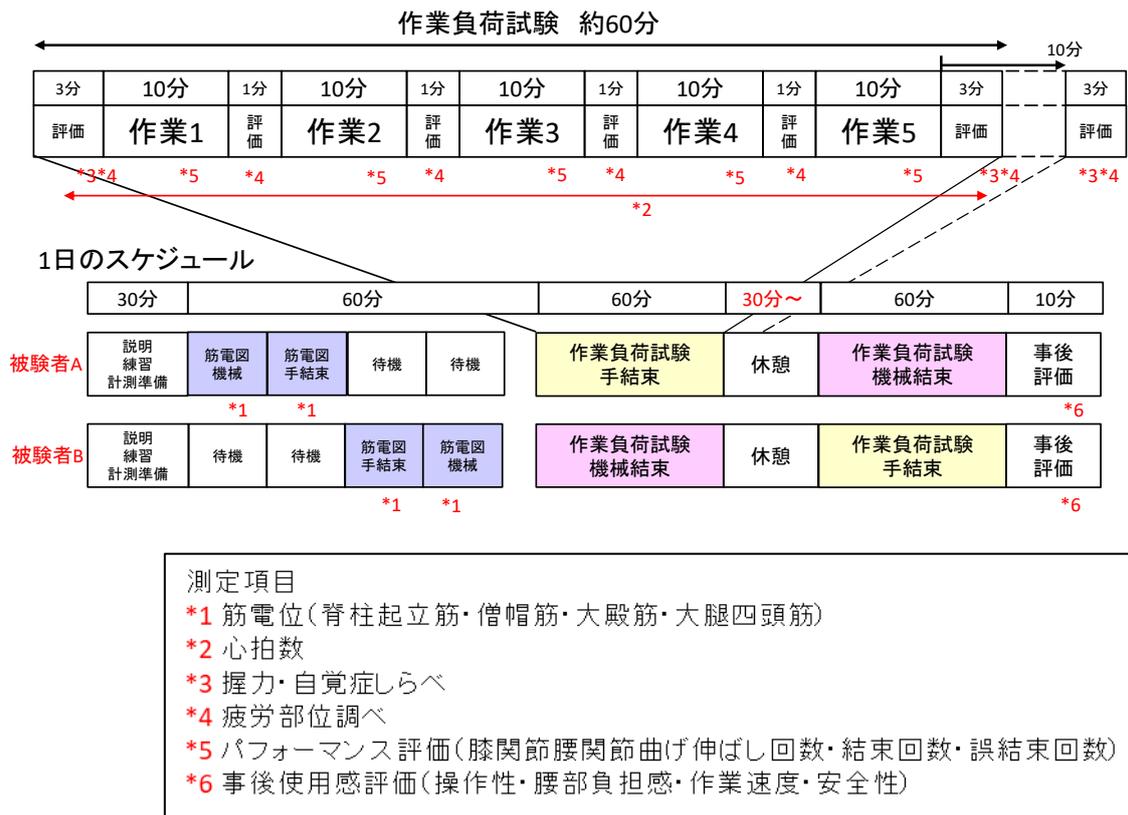
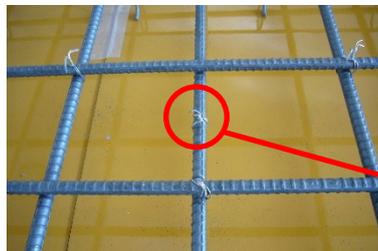


図4-8 1日の試験工程

【評価方法】

- 作業負荷試験では、ハッカーによる手結束作業を約1時間（10分間結束×5回）実施後、30分休憩を挟み、実証対象対策での機械結束作業を約1時間（10分間結束×5回）行った。被験者が1日2名の場合は、手結束と機械式結束の開始順を入れ替えて実施した。
- パフォーマンス評価では、作業負荷試験それぞれ10分間の作業中に、「膝腰関節曲げ伸ばし回数」「鉄筋結束回数」「誤結束回数」を計測した（図4-9）。膝の曲げ伸ばしの定義は、観測者が目視により被験者の膝が150度以上に達した場合を1カウントとした。腰曲げ伸ばしの定義は、観測者が目視により被験者が上体傾斜角度30度以下に達した場合を1カウントとした。誤結束の定義は、対象となる結束交点以外の結束や、チドリ結束の欠落をした場合とし、人由来（ヒューマンエラー）か機械由来（マシンエラー）かを分けて計測した。



誤結束箇所例

（誤結束の一例）



（結束回数、誤結束回数、膝腰関節曲げ伸ばし回数計測）

図4-9 作業負荷試験（パフォーマンス評価）

- 疲労度評価では、日本産業衛生学会 産業疲労研究会「自覚症しらべ」「疲労部位しらべ」（図4-13～15）を用い、作業負荷試験中の疲労状況の経時的変化

を確認した。方法は、作業負荷試験作業の開始前に握力計による握力測定、自覚症しらべ、疲労部位しらべを行い、10分間の結束作業終了ごとに疲労部位しらべを計4回、5回目の作業終了後すぐに握力計測及び自覚症しらべ、疲労部位しらべを行った。さらにその10分後に握力計測及び自覚症しらべ、疲労部位しらべを行い、体力の回復状況を確認した。握力測定は、左右3回ずつ測定を行った(図4-10)。



(握力計測)



(疲労度評価ヒアリング)

図4-10 作業負荷試験(握力計測、主観評価)

- この作業負荷試験の間、ロガー機能付き心電図計による心拍数の計測を行った。
- 手結束及び機械結束によるすべての作業負荷試験終了後、事後使用感評価として質問紙(図4-16)によるアンケートを行った(図4-11)。
- 事後使用感評価終了後、鉄筋結束機の日常点検方法、結束ワイヤ交換方法を申請者が説明し、被験者に交換作業などを実際に行ってもらった。さらに、説明書を一読してもらい、日常点検やワイヤ交換の作業性、説明書記載内容や読み易さについて実証機関が被験者にヒアリングした(図4-11)。



(事後使用感評価)



(点検、備品交換作業)

図4-11 事後使用感評価、点検作業

高年齢労働者安全衛生対策実証等事業

ID: _____ 記入日: 2020年 11月 _____ 日

氏名:		性別:	男・女
年齢:	歳	身長:	cm
利き手:	左・右	体重:	kg
現在、腰痛や背中 の痛みなどを抱えていますか。		結果作業の経験年数:	
過去、腰痛や背中 の痛みなどを抱えたことが ありますか。		年	
		はい・いいえ	
		はい・いいえ	

※普段からの痛みや違和感がある身体の部位に○をつけてください

図4-12 試験開始前の質問票

自覚症しらべ

氏名 _____ (男・女 _____ 歳) No. _____

記入日・時刻 _____ 月 _____ 日 午前・午後 _____ 時 _____ 分 記入

いまのあなたの状態についてお聞きします。つぎのようなことについて、どの程度あてはまりますか。すべての項目について、1「まったくあてはまらない」～5「非常によくあてはまる」までの5段階のうち、あてはまる番号1つに○をつけてください。

1 頭がおもい	1	2	3	4	5
2 いらぬ	1	2	3	4	5
3 目がかわく	1	2	3	4	5
4 気分がわるい	1	2	3	4	5
5 おちつかない気分だ	1	2	3	4	5
6 頭がいたい	1	2	3	4	5
7 目がいたい	1	2	3	4	5
8 肩がこる	1	2	3	4	5
9 頭がぼんやりする	1	2	3	4	5
10 あくびがでる	1	2	3	4	5
11 手や指がいたい	1	2	3	4	5
12 めまいがする	1	2	3	4	5
13 ねむい	1	2	3	4	5
14 やる気がとほしい	1	2	3	4	5
15 不安な感じがする	1	2	3	4	5
16 ものがぼやける	1	2	3	4	5
17 全身がだるい	1	2	3	4	5
18 ゆうつな気分だ	1	2	3	4	5
19 腕がだるい	1	2	3	4	5
20 考えがまとまりにくい	1	2	3	4	5
21 構になりにくい	1	2	3	4	5
22 目がつかれる	1	2	3	4	5
23 膝がいたい	1	2	3	4	5
24 目がしょぼつく	1	2	3	4	5
25 足がだるい	1	2	3	4	5

日本産業衛生学系職業疲労研究室, 2002年

図4-13 疲労度評価「自覚症しらべ」

ID: _____ Cond: 手結束・機械結束
Date: _____

現在、あなたの身体各部位で痛みやたるさなどの程度感していますか？各部位名欄の当てはまる番号に○をつけてください。

例 左上腕 0 1 ② 3
右膝・下腿 ① 1 2 3

0:全く感じない 1:わずかに感じる 2:かなり感じる 3:強く感じる

首 0 1 2 3
左肩 0 1 2 3
背部 0 1 2 3
左上腕 0 1 2 3
左肘・前腕 0 1 2 3
膝部 0 1 2 3
左手・手首 0 1 2 3
左臀部・大腿 0 1 2 3
左膝・下腿 0 1 2 3
左足・足首 0 1 2 3

右肩 0 1 2 3
右上腕 0 1 2 3
右肘・前腕 0 1 2 3
膝部 0 1 2 3
右手・手首 0 1 2 3
右臀部・大腿 0 1 2 3
右膝・下腿 0 1 2 3
右足・足首 0 1 2 3

他に特に気になる痛みや違和感、場所があればお答えください。

握力	
左1回目	右1回目
左2回目	右2回目
左3回目	右3回目

図4-14 疲労度評価「疲労部位しらべ」作業前、作業5、作業終了10分後用

ID: _____ Cond: 手結束・機械結束
Date: _____

現在、あなたの身体各部位で痛みやたるさなどの程度感していますか？各部位名欄の当てはまる番号に○をつけてください。

例 左上腕 0 1 ② 3
右膝・下腿 ① 1 2 3

0:全く感じない 1:わずかに感じる 2:かなり感じる 3:強く感じる

首 0 1 2 3
左肩 0 1 2 3
背部 0 1 2 3
左上腕 0 1 2 3
左肘・前腕 0 1 2 3
膝部 0 1 2 3
左手・手首 0 1 2 3
左臀部・大腿 0 1 2 3
左膝・下腿 0 1 2 3
左足・足首 0 1 2 3

右肩 0 1 2 3
右上腕 0 1 2 3
右肘・前腕 0 1 2 3
膝部 0 1 2 3
右手・手首 0 1 2 3
右臀部・大腿 0 1 2 3
右膝・下腿 0 1 2 3
右足・足首 0 1 2 3

他に特に気になる痛みや違和感、場所があればお答えください。

握力	
左1回目	右1回目
左2回目	右2回目
左3回目	右3回目

図4-15 疲労度評価「疲労部位しらべ」作業1～作業4用

本実証における測定方法・周期・管理を表4-7に示した。

表4-7 測定方法・周期・管理

測定項目	測定方法	測定周期	管理
腰部椎間板圧縮力	筋骨格モデリング・シミュレーション (AnyBody) で算出	手結束作業、実証対象対策使用による結束作業 (3 結束分)	試験機関、実証機関の管理下で行った。
筋電位	左右の筋電位について筋電計で測定 ・脊柱起立筋 ・僧帽筋 ・大殿筋 ・大腿四頭筋 (外側広筋)	作業負荷試験開始前に1回	試験機関、実証機関の管理下で行った。
心拍数	心電計で計測	各作業負荷試験中に1回	
握力	握力計で計測	各作業負荷試験前後に1回、体力回復確認で1回	
疲労度評価	「疲労部位しらべ」*1 「自覚症しらべ」*2を実施	*1:各作業負荷試験前後に1回、体力回復確認で1回 *2:各作業負荷試験開始前及び10分間作業後に1回、体力回復確認で1回	試験機関、実証機関の管理下で行った。
パフォーマンス評価	・膝関節腰関節曲げ伸ばし回数計測 ・結束回数計測 ・誤結束回数計測	各作業負荷試験10分間の作業中に1回	
事後使用感評価	・操作性 ・腰部負担感 ・作業速度 ・安全性	試験の最後に1回	

4.6 運用及び維持管理項目

運用及び維持管理項目には、表4-8に示す項目を設定した。

表4-8 運用及び維持管理項目

測定項目	測定方法	測定周期	管理
取扱説明書の見やすさ	被験者へのヒアリング 試験機関の意見	試験期間中に 1回	実証機関 の管理下 で行った。
結束線ワイヤの交換しやすさ			
日常点検のしやすさ			

4.7 実証に伴う倫理審査等

本実証はヘルシンキ宣言に則り、人体工学的な計測、負荷・負担・疲労に関する主観的な調査については、公益財団法人大原記念労働科学研究所「調査研究に関する倫理委員会」の審査・承認を得た後に実証を行った。

試験内容については、事前に十分な説明を行い、被験者の自由意思による同意を得たうえで試験を開始した。また、疲労や危険な徴候がみられたときにはいつでも測定及び試験を中止できることとした。

さらに、取得したデータは個人名を切り離して取扱い、匿名性を確保した。

5. 試験結果及び考察

5.1 監視項目

(1) 試験環境条件

試験実施場所の室温及び湿度を表5-1に示す。試験実施場所の室内温度は、空調で一定に保たれており、試験を実施する環境として問題ないことを確認した。また、試験実施場所の周辺には、磁力等を発生する器具や設備がないことを確認した。

表5-1 試験実施場所の室温及び湿度

試験日		測定時間	室温(°C)	湿度(%)	試験時間 試験場所
2020年	11月4日(水)	13:30	17.9	35	13:30-16:00 テラバイト
	11月10日(火)	13:30	16.7	37	13:30-16:00 テラバイト
	11月11日(水)	13:30	16.2	36	13:30-16:00 テラバイト
	11月17日(火)	13:00	21.8	38	13:00-17:00 実証機関
	11月18日(水)	13:00	20.7	52	13:00-17:00 実証機関
	11月19日(木)	13:00	23.3	61	13:00-17:00 実証機関
	11月20日(金)	13:00	21.5	74	13:00-17:00 実証機関

(2) 被験者の情報

表5-2に、試験に参加した被験者の性別、人数、年齢、身長、体重、鉄筋結束作業経験年数(平均±標準偏差)、腰背部の痛みを示す。本実証においては、55歳以上の労働者を高年齢労働者として定義した。

表5-2 被験者情報

性別・数(人) (試験場所)	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	結束作業 経験年数(年)	腰背部の 痛み(人)
男性・3 (テラバイト)	62.7±6.1	175.7±2.1	79.0±9.5	0	現在3 過去3
男性・7 (実証機関)	66.1±5.1	161.2±4.0	63.3±3.8	36.4±8.4	現在3 過去4

5.2 実証項目

(1) 腰部椎間板圧縮力

持ち上げ動作時など、腰部負荷の定量的な評価指標と考えられている腰部椎間板圧縮力が、姿勢によりどのように変化するかについてAnyBodyによるシミュレーションで算出した。この結果、ハッカーによる手結束作業動作では5つの腰椎のうち第5腰椎(L5)の腰部椎間板圧縮力が最も高い値を示した。最大となる動作は、腰曲時及び伸展で生じていた。腰部椎間板圧縮力が最少となる動作は、立位姿勢であった。腰の屈伸を頻繁に伴うハッカー結束作業は、腰部椎間板圧縮力の変化が激しいことが確認された。一方、実証対象対策による結束作業動作では、5つの腰椎のうちL5からL1腰椎全体にかけて同程度の腰部椎間板圧縮力が生じていたが、腰椎間での差異はほとんど見られなかった。

そこで、5つの腰椎のうち腰部椎間板圧縮力が最大値を示すL5に着目した。

腰部椎間板圧縮力が最も低い動作姿勢はハッカー結束作業時の立位姿勢であったことから、この姿勢時のL5腰部椎間板圧縮力を1.0として、それぞれハッカー結束と実証対象対策結束動作における腰部椎間板圧縮力の推移を相対値*で図5-1から5-3に示した。

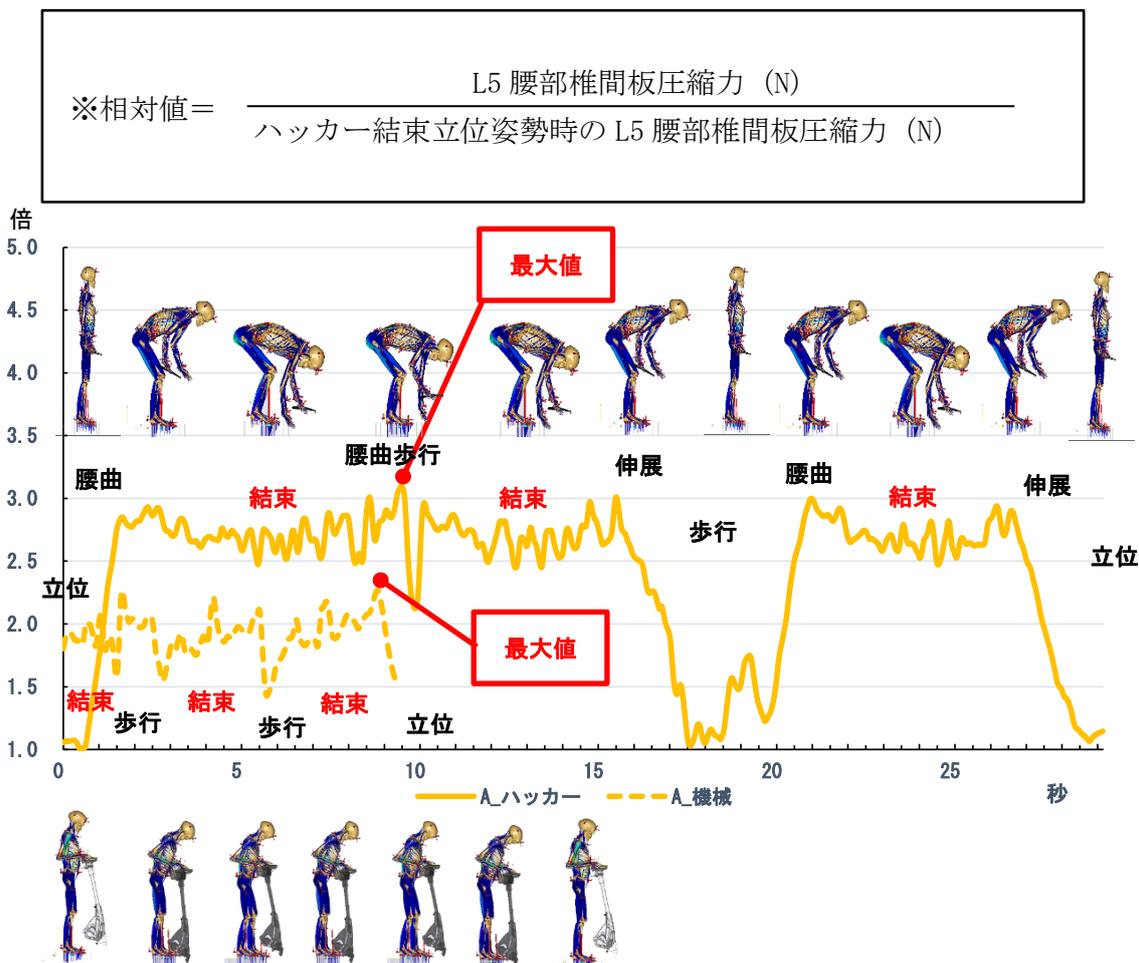


図5-1 被験者A_ハッカー結束と機械結束におけるL5腰部椎間板圧縮力相対比較

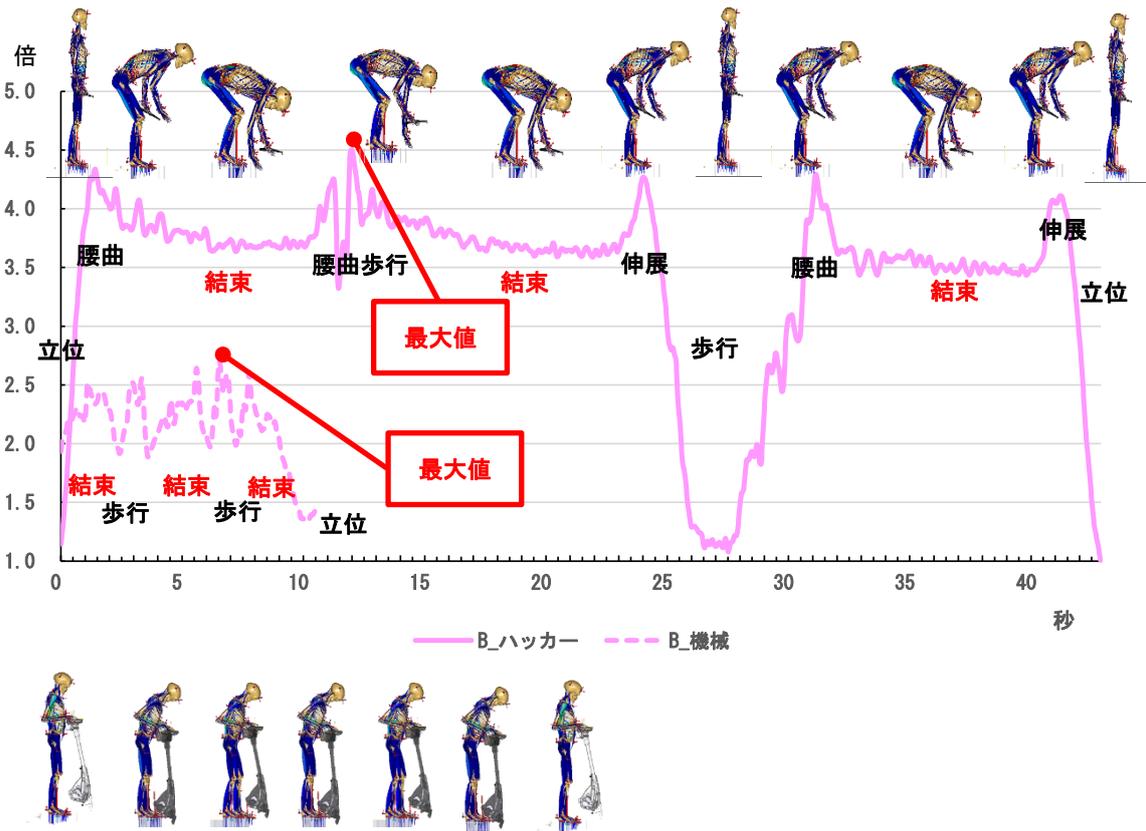


図5-2 被験者B_ハッカー結束と機械結束におけるL5腰部椎間板圧縮力相对比较

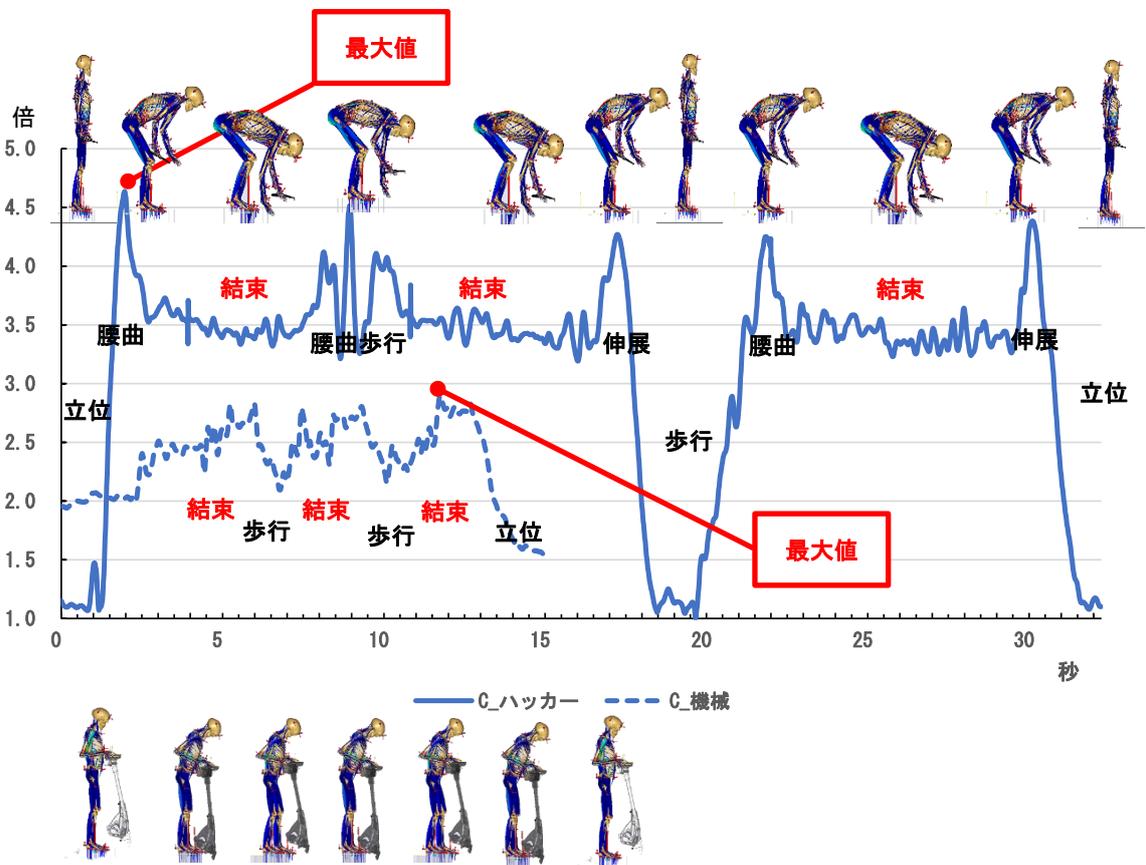


図5-3 被験者C_ハッカー結束と機械結束におけるL5腰部椎間板圧縮力相对比较

腰部椎間板圧縮力の相対比較をみると、実証対象対策結束動作では、概ね2～2.5倍で推移しているのに対し、ハッカー結束作業では3～4倍程度で推移していた。ハッカー結束では、実証対象対策結束よりも約1.5倍の負荷が生じていることが確認された。

腰部椎間板圧縮力の最大値を示す動作についてみると、実証対象対策結束では結束交点へのアタック時または結束後に機器を持ち上げる際に発生していた。ハッカーの重量（約300g）に対し、実証対象対策の重量は5kg程度あるため、ハッカー結束と比較して計測開始時点の腰部椎間板圧縮力初期値に相違は見られるものの、立位姿勢のまま作業が行え、腰の伸展などの大きな変化が伴わず、腰部椎間板圧縮力の変動は少ない。一方、ハッカー結束では腰曲または腰曲歩行時に最大値が生じ、作業開始とともに前屈することで、腰部椎間板圧縮力が一気に上昇し、結束動作中はやや低下して横ばいとなるが、腰を曲げたままの状態でも移動することにより再び上昇がみられた。腰の屈伸を頻繁に伴うハッカー結束作業は、腰部椎間板圧縮力の変動が激しい。

結束動作中の腰部椎間板圧縮力の変動が顕著にみられたことから、作業姿勢の変化は腰痛リスクへの要因の一つであると考えられた。

ハッカー結束作業に対し、実証対象対策を用いることの効果を明らかにするため、それぞれの結束動作におけるL5腰部椎間板圧縮力瞬間最大相対値を比較し低減率^{*}を求めた（表5-1及び図5-4）。なお、本試験における動作計測では、作業動作速度をゆっくり行うことを意識して取得したため、作業動作時間が通常の動作時間よりも過大となっている可能性がある。そのため、比較対象の指標として瞬間最大相対値を用いて算出した。

この結果、実証対象対策結束はハッカー結束に対して約27%～40%腰部椎間板圧縮力の低減が確認された。

表5-1 L5腰部椎間板圧縮力瞬間最大相対値の比較

区分	ハッカー結束 最大相対値①	実証対象対策結束 最大相対値②	瞬間最大相対値 低減率 (%)
被験者 A	3.10	2.27	26.8
被験者 B	4.50	2.71	39.8
被験者 C	4.64	2.90	37.5

（ハッカー結束立位姿勢時のL5腰部椎間板圧縮力最小値を1.0とした場合の相対値）

$$\text{※低減率 (\%)} = \frac{(\text{①} - \text{②})}{\text{①}} \times 100$$

①：ハッカー結束 L5 腰部椎間板圧縮力瞬間最大相対値

②：実証対象対策結束 L5 腰部椎間板圧縮力瞬間最大相対値

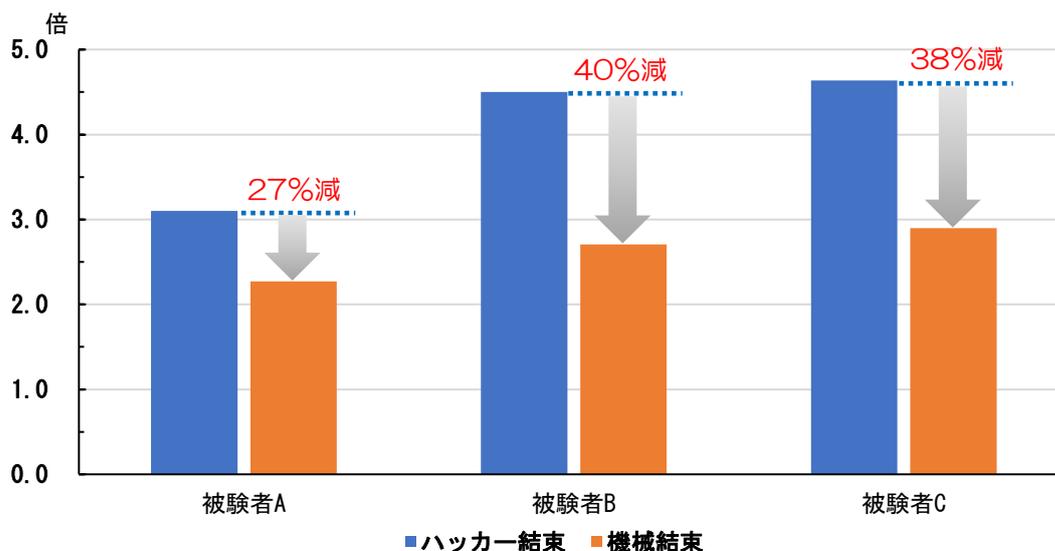


図5-4 L5腰部椎間板圧縮力瞬間最大相対値の比較

また参考として、一連の結束動作中における単位時間あたりの腰部への負荷をみるため、動作計測全期間データを用いた面積分相対値を算出し、各被験者間それぞれの動作時間で除した1秒間あたりのL5腰部椎間板圧縮力面積分相対値を求め、ハッカー結束と実証対象対策結束を比較した(表5-2及び図5-5)。

この結果、実証対象対策による結束はハッカー結束に対して約21%~38%腰部椎間板圧縮力の低減が確認された。

表5-2 L5腰部椎間板圧縮力1秒間あたりの面積分相対値の比較

区分	ハッカー結束 1秒間あたりの 面積分相対値①	実証対象対策結束 1秒間あたりの 面積分相対値②	1秒間あたりの 面積分相対値 低減率 (%)
被験者A	2.40	1.90	20.8
被験者B	3.44	2.15	37.5
被験者C	3.17	2.34	26.2

(ハッカー結束立位姿勢時のL5腰部椎間板圧縮力最小値を1.0とした場合の相対値)

$$\text{※低減率 (\%)} = \frac{(\text{①} - \text{②})}{\text{①}} \times 100$$

① ハッカー結束1秒間あたり面積分値:

$$\Sigma (0.01 \text{ s} \times \text{L5 腰部椎間板圧縮力相対値}) / \text{動作計測時間 s}$$

② 実証対象対策結束1秒間あたり面積分値:

$$\Sigma (0.01 \text{ s} \times \text{L5 腰部椎間板圧縮力相対値}) / \text{動作計測時間 s}$$

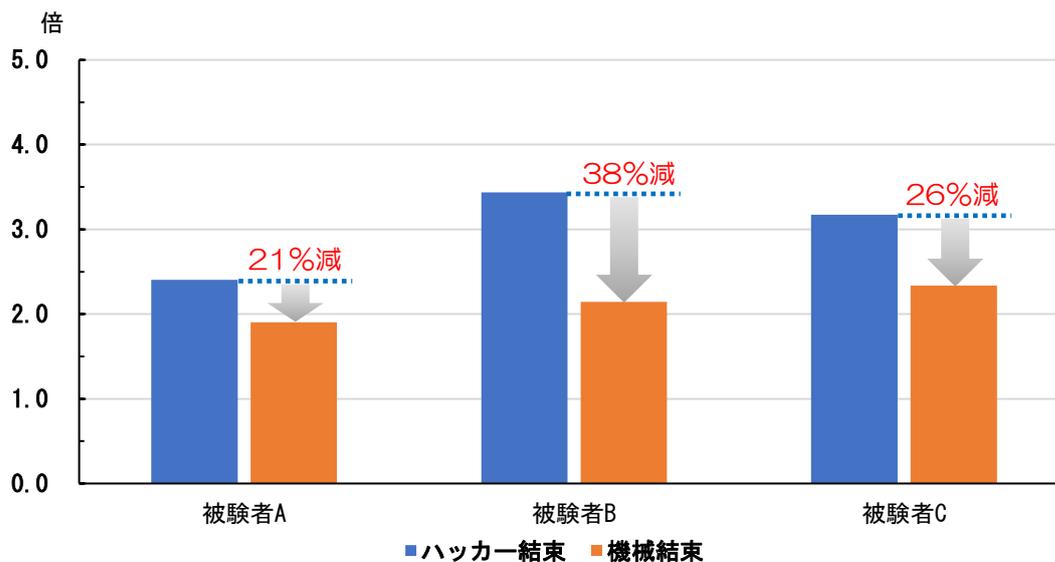


図5-5 L5 腰部椎間板圧縮力1秒あたりの面積分相対値の比較

本試験の結果、立位、屈伸、歩行、物を持ち上げるなど動作要因による姿勢の変化に応じて腰部椎間板圧縮力の変動が確認された。鉄筋結束作業においては、腰の屈伸を頻繁に伴うハッカー結束作業に対し、立位姿勢で作業できる実証対象対策による結束作業の方が腰部椎間板圧縮力の変動は少なく、低減が明らかであった。

以上のことから、腰部椎間板圧縮力の低減については、実証対象対策による結束作業の有効性があると考えられた。

(2) 筋電位

姿勢による筋活動を確認するため、ハッカーによる手結束、実証対象対策による機械結束作業における左右の外側広筋、大殿筋、脊柱起立筋、僧帽筋筋電位の測定結果を以下に示した。解析は、それぞれ面積分値、作業時間1秒あたりの面積分値より平均値を算出し、いずれも各測定筋のハッカーによる結束時の値を100%とした場合の、実証対象対策結束時の筋指標について相対値で示した。評価は、t検定(対応のある2群の比較)によって検定し、有意水準は5%とした。図中の*印は、統計的な有意差が認められた筋を表記した。

なお、筋電位は筋活動の大きさを測る指標であり、面積分値は1回の結束作業で筋がどれだけ活動したかの総活動量を、作業時間1秒間あたりの面積分値は単位時間あたりの筋の活動強度を意味している。

ハッカー結束及び機械結束作業における平均作業時間を表5-3に示した。

表5-3 筋電計測作業時間

区分	時間±標準偏差(秒)
ハッカー結束	52.1±8.4
実証対象対策結束	31.8±3.8

面積分値の結果を表5-4、図5-6、5-7に示した。

この結果、ハッカー結束に対して実証対象対策結束で有意な下肢筋の低値(左外側広筋56.8%、右外側広筋43.4%、左大殿筋52.2%、右大殿筋52.8%)を認めた。また、脊柱起立筋は左で79.1%、右は74.8%となり、右は有意に低値であった。手結束と比べ機械結束では、作業姿勢の違いから下肢筋の負担が軽減されることがわかった。手結束と比べ機械結束で腰部でも筋活動が小さくなることがわかった。

一方で僧帽筋では、統計的に有意な差ではないものの、左で125.6%、右で149.6%となった。機械結束時は機器を持ち運ぶ負荷が生じるため、手結束と比べ明瞭な負担軽減は認められなかった。

表5-4 各筋指標における面積分値(相対値)比較

区分	左外側 広筋	右外側 広筋	左 大殿筋	右 大殿筋	左脊柱 起立筋	右脊柱 起立筋	左 僧帽筋	右 僧帽筋
ハッカー 結束	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
実証対 象対策 結束	56.8%	43.4%	52.2%	52.8%	79.1%	74.8%	125.6%	149.6%
p値	0.012	0.001	0.000	0.001	0.098	0.034	0.275	0.215

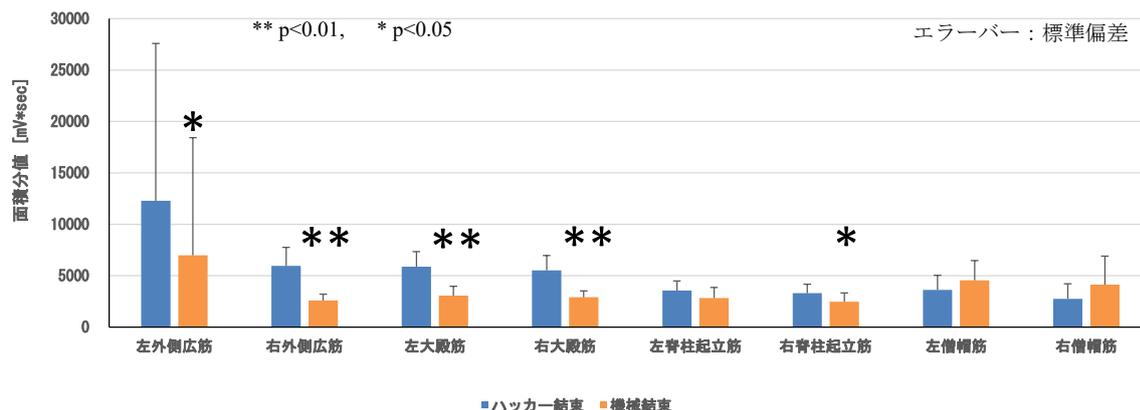


図5-6 各筋の面積分値（絶対値）結果

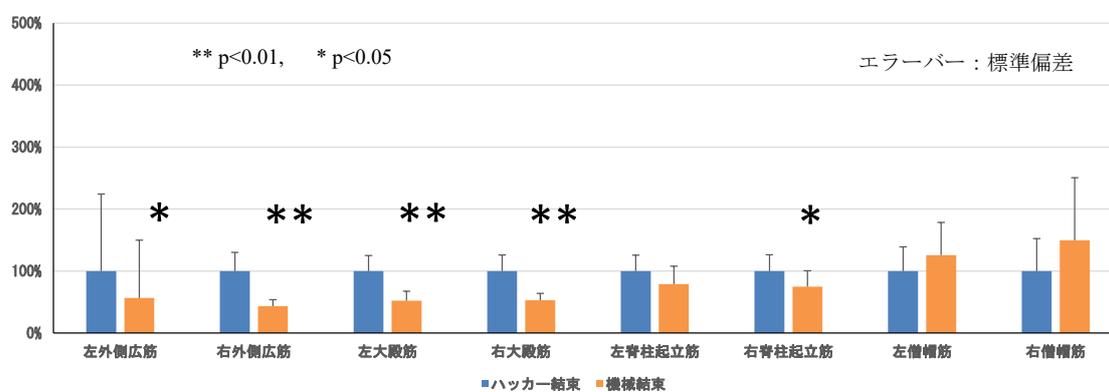


図5-7 各筋の面積分値（相対値）結果

次に、作業時間1秒間あたりの面積分値を表5-5、図5-8、5-9に示した。

下肢筋でハッカー結束に対し実証対象対策結束で低値（左外側広筋 90.3%、右外側広筋 75.1%、左大殿筋 88.4%、右大殿筋 89.1%）となり、右外側広筋及び左大殿筋は有意な差が認められた。単位時間あたりの筋の活動強度で比較しても、ハッカー結束と比べ実証対象対策結束で下肢筋の負担が軽減されることがわかった。

一方、僧帽筋は左で214.2%、右で261.0%となり、ハッカー結束と比べ実証対象対策結束では、機器を持ち運ぶ負荷を反映して有意に負担が増加した。また、脊柱起立筋は左で129.5%、右は121.3%で、統計的に有意な差は認められなかった。

表5-5 各筋指標における作業1秒間あたりの面積分値（相対値）比較

区分	左外側広筋	右外側広筋	左大殿筋	右大殿筋	左脊柱起立筋	右脊柱起立筋	左僧帽筋	右僧帽筋
ハッカー結束	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
実証対象対策結束	90.3%	75.1%	88.4%	89.1%	129.5%	121.3%	214.2%	261.0%
p値	0.124	0.000	0.049	0.063	0.076	0.102	0.007	0.035

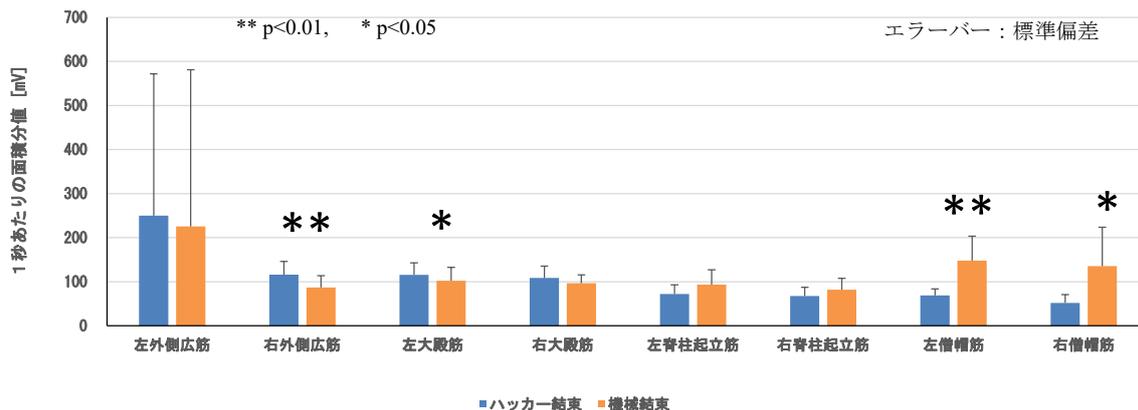


図5-8 各筋の作業1秒間あたりの面積分値（絶対値）結果

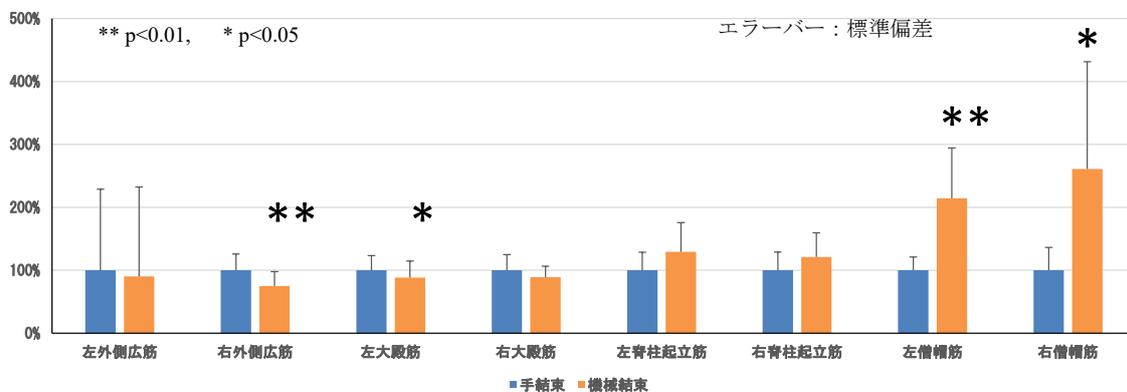


図5-9 各筋の作業1秒間あたりの面積分値（相対値）結果

以上のことから、実証対象対策を用いることで、下肢への負担軽減が明らかとなった。一方で、1秒間あたりの作業負荷でみると、約5kgの結束機器を持ち運ぶため腕部への負荷が生じやすい可能性がうかがえた。

建設現場における結束作業では、ある一定の面積に対して作業を行う場合が多い。機械結束は作業効率が良いため、手結束作業で行う場合と比して作業時間が短縮できる。仮に、同じ時間作業を行った場合、機械結束では各筋の筋電位が増す可能性があるが、同じ数の結束作業を行うのであれば、機械結束の方が筋電位を減らせることができると考えられた(39頁「(2) パフォーマンス評価」参照)。

(3) 心拍数

姿勢による循環器系への影響について確認するため、ハッカーによる手結束、実証対象対策による機械結束における作業ごとの平均心拍数の結果を、表5-6、図5-10に示した。なお、電極の接触不具合などにより被験者3名の心電図の波形が不明瞭であったため心拍数を検出できなかったことから、試料数は4名とした。評価は、2要因の反復測定分散分析によって検定し、有意水準は5%とした。

平均心拍数で見ると、ハッカー及び実証対象対策結束の作業前平均 100.0 拍に対し、ハッカー結束作業中（作業1から作業5の平均）は 126.7 拍、実証対象対策結束作業中（作業1から作業5の平均）は 109.9 拍と、いずれの作業でも増加した。また、いずれの作業も作業後半の心拍数増加は認められなかった。なお、図表には示していないが、作業中の心拍数の推移を被検者ごとでも、ハッカーによる結束作業の方が、実証対象対策による結束作業よりも高まる傾向がうかがえた。

この結果、ハッカー結束と実証対象対策結束作業の条件間での統計的な有意差は認められなかったが、参考までに各時点の心拍数を t 検定（対応のある 2 群の比較）により結束条件で比較したところ、作業中 8 時点で実証対象対策結束作業の心拍数が小さかった。

以上のことから、実証対象対策結束作業の心拍数増加は、ハッカー結束作業より小さく、実証対象対策結束作業の方が循環器系への負担は少ないことがうかがえた。

表5-6 作業ごとの平均心拍数

区分	作業前	作業1 5分時点	作業1 10分時点	作業2 5分時点	作業2 10分時点	作業3 5分時点	作業3 10分時点	作業4 5分時点	作業4 10分時点	作業5 5分時点	作業5 10分時点	作業終了 10分後
ハッカー 結束	103.8	120.3	128.0	126.3	135.8	128.0	130.5	126.0	128.8	122.8	121.0	101.5
標準誤差	5.6	4.5	7.2	8.2	13.5	7.0	6.3	4.6	5.6	8.1	9.4	6.7
実証対象対策 結束	96.3	107.5	108.0	108.8	110.3	111.3	111.3	111.5	112.5	109.8	108.3	93.5
標準誤差	4.8	4.8	4.9	5.7	6.8	7.4	7.2	8.3	8.2	9.5	11.0	7.3
p 値 (参考)	0.219	0.000	0.009	0.014	0.050	0.010	0.022	0.099	0.038	0.014	0.035	0.269

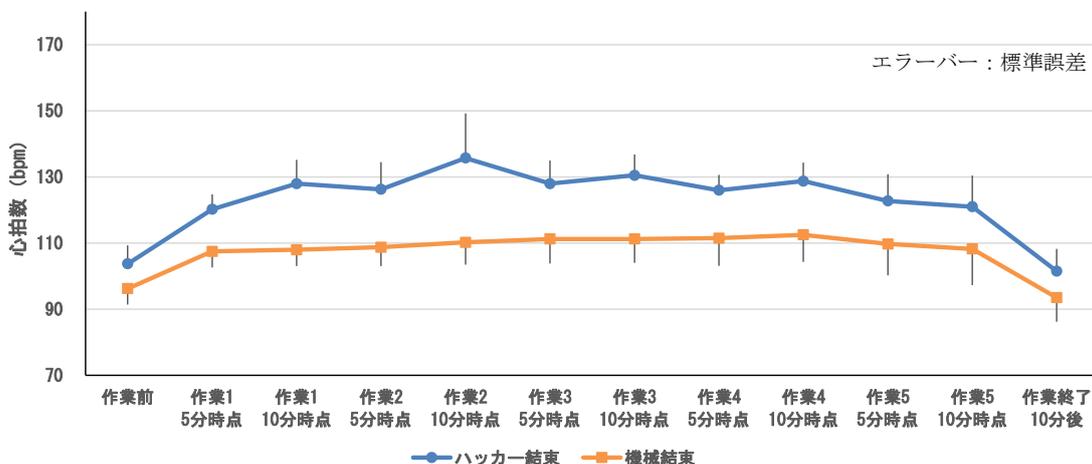


図5-10 作業ごとの各被験者心拍数の推移

(4) 握力

ハッカーによる手結束、実証対象対策による機械結束における「作業前」、「作業5後」、「作業終了10分後」における握力の結果を図5-11、5-12に示した。

ハッカー（約300g）に対して、実証対象対策では約5kgの結束機器を両手で持ち歩くため、腕部への負荷に伴う握力低下が懸念されたが、統計的に有意な差がみられるほどの握力低下は確認されなかった。

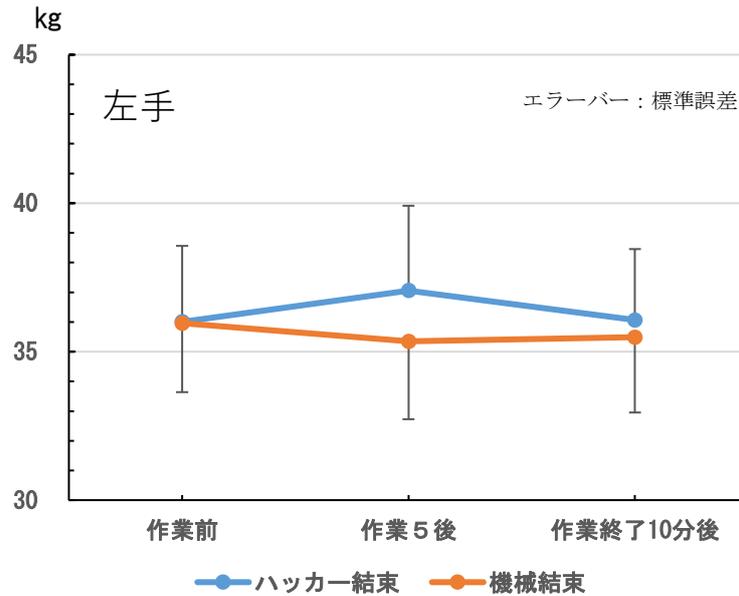


図5-11 左手握力の推移

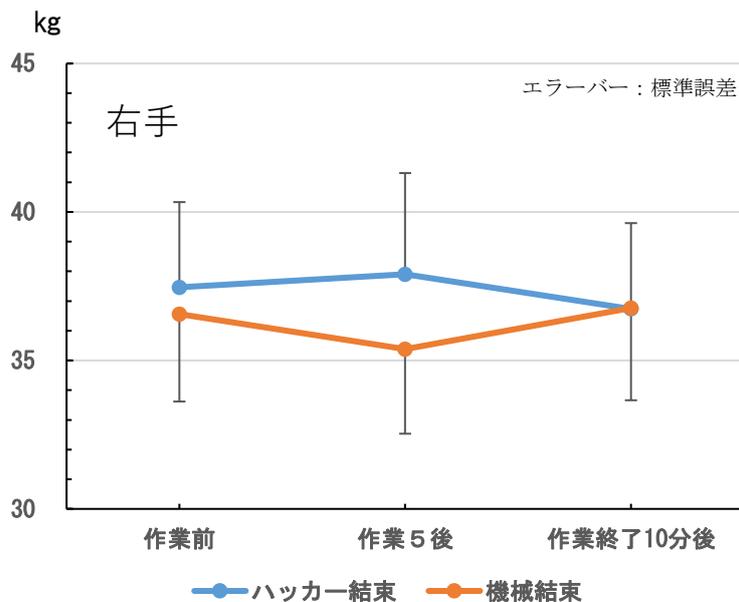


図5-12 右手握力の推移

5.3 参考項目

(1) 疲労度評価

① 自覚症しらべ

結束作業による疲労状況の経時的変化を主観的な調査で評価した自覚症しらべは、日本産業衛生学会産業疲労研究会 2002 年改訂版を用いた。自覚症の訴えを 25 項目に分類して作業による負荷を調べ、5 段階評価方式で各項目を点数化したものを自覚症しらべのスコアとした。評価は、Friedman 検定（対応のある 3 群以上の比較）・Scheffe の多重比較法によって検定し、有意水準は 5% とした。

図 5-13、5-14 に作業ごとの推移を、表 5-7 から 5-10 に自覚症しらべの集計スコア平均値を症状別、群別にそれぞれ示した。

ハッカー結束では「作業 5 後」、「作業終了 10 分後」、「作業前」の順に総合計が高く、「作業 5 後」のスコアでは「作業前」と比較して疲労感の増加が顕著にみられた。ハッカー結束では最もスコアの高い「作業 5 後」の IV 群「だるさ感」が「作業前」と比較して 5% 水準で有意に高く ($p=0.013$)、IV 群の症状をみると、「足がだるい」の症状が「作業前」と比較して 5% 水準で有意に高い値が認められた ($p=0.030$)。

また、有意な差は認められなかったが、「腕がだるい」「腰がいたい」の症状について、作業進捗に伴い疲労感が高まる特徴がみられた ($p=0.082$, $p=0.076$)。

一方、実証対象対策結束では「作業前」、「作業 5 後」、「作業終了 10 分後」の時系列順にスコアが高くなり、有意な差は認められなかったが、IV 群「だるさ感」については、作業終了後も疲労が蓄積される特徴がみられた。

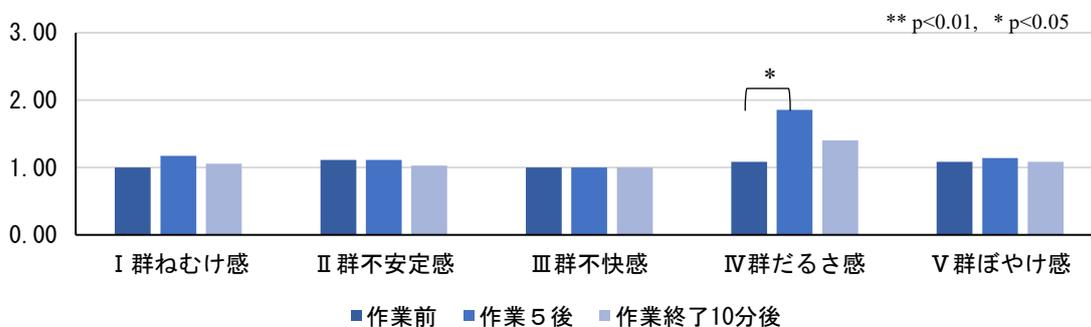


図 5-13 ハッカー結束における自覚症しらべ (群別)

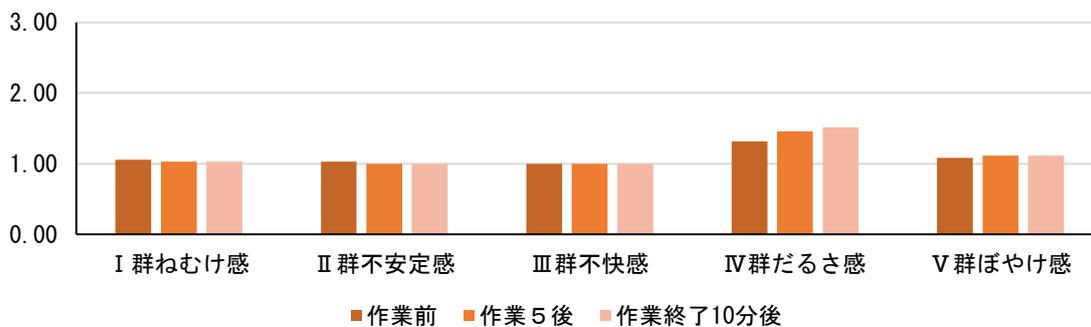


図 5-14 実証対象対策による結束における自覚症しらべ (群別)

以上のことから、実証対象対策を用いることは、ハッカー結束作業で生じる「足の
だるさ」自覚症の発生を防ぐ上で有効であると考えられた。

表5-7 ハッカー結束における自覚症しらべ（症状別）

ハッカーによる結束		作業前 ^{a)}		作業5後 ^{b)}		作業終了10分後 ^{c)}		p値
群	項目	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
I ねむけ感	あくびがでる	1.00	±0.00	1.00	±0.00	1.00	±0.00	非有意
	ねむい	1.00	±0.00	1.00	±0.00	1.00	±0.00	非有意
	やる気がとぼしい	1.00	±0.00	1.14	±0.38	1.00	±0.00	非有意
	全身がだるい	1.00	±0.00	1.43	±0.79	1.14	±0.38	非有意
	横になりたい	1.00	±0.00	1.29	±0.76	1.14	±0.38	非有意
I群平均		1.00		1.17		1.06		
II 不安定感	いらいらする	1.14	±0.38	1.14	±0.38	1.00	±0.00	非有意
	おちつかない気分だ	1.43	±0.53	1.14	±0.38	1.00	±0.00	非有意
	不安な感じがする	1.00	±0.00	1.00	±0.00	1.00	±0.00	非有意
	ゆううつな気分だ	1.00	±0.00	1.00	±0.00	1.00	±0.00	非有意
	考えがまとまりにくい	1.00	±0.00	1.29	±0.76	1.14	±0.38	非有意
II群平均		1.11		1.11		1.03		
III 不快感	頭がおもい	1.00	±0.00	1.00	±0.00	1.00	±0.00	非有意
	気分がわるい	1.00	±0.00	1.00	±0.00	1.00	±0.00	非有意
	頭がいたい	1.00	±0.00	1.00	±0.00	1.00	±0.00	非有意
	頭がぼんやりする	1.00	±0.00	1.00	±0.00	1.00	±0.00	非有意
	めまいがする	1.00	±0.00	1.00	±0.00	1.00	±0.00	非有意
III群平均		1.00		1.00		1.00		
IV だるさ感	肩がこる	1.14	±0.38	1.57	±0.79	1.29	±0.49	非有意
	手や指がいたい	1.00	±0.00	1.43	±0.79	1.00	±0.00	非有意
	腕がだるい	1.00	±0.00	1.71	±1.11	1.29	±0.49	非有意
	腰がいたい	1.29	±0.49	2.43	±1.40	1.86	±0.90	非有意
	足がだるい	1.00	±0.00	2.14	±1.46	1.57	±0.79	※1
IV群平均		1.09		1.86		1.40		
V ぼやけ感	目がかわく	1.00	±0.00	1.00	±0.00	1.00	±0.00	非有意
	目がいたい	1.00	±0.00	1.14	±0.38	1.00	±0.00	非有意
	ものがぼやける	1.29	±0.49	1.29	±0.49	1.29	±0.49	非有意
	目がつかれる	1.14	±0.38	1.29	±0.49	1.14	±0.38	非有意
	目がしょぼつく	1.00	±0.00	1.00	±0.00	1.00	±0.00	非有意
V群平均		1.09		1.14		1.09		
平均		1.06		1.26		1.11		

※1 : a)-b) $p=0.030$ 、他非有意

表5-8 ハッカー結束における自覚症しらべ（群別）

群別	作業前 ^{a)}	作業5後 ^{b)}	作業終了10分後 ^{c)}	p値
I 群ねむけ感	1.00	1.17	1.06	非有意
II 群不安定感	1.11	1.11	1.03	非有意
III 群不快感	1.00	1.00	1.00	非有意
IV 群だるさ感	1.09	1.86	1.40	※1
V 群ぼやけ感	1.09	1.14	1.09	非有意

※1 : a)-b) $p=0.013$ 、他非有意

表5-9 実証対象対策結束による自覚症しらべ（症状別）

実証対象対策による結束		作業前 ^{a)}		作業5後 ^{b)}		作業終了10分後 ^{c)}		p値
群	項目	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
I ねむけ感	あくびがでる	1.14	±0.38	1.00	±0.00	1.00	±0.00	非有意
	ねむい	1.00	±0.00	1.00	±0.00	1.00	±0.00	非有意
	やる気がとぼしい	1.00	±0.00	1.00	±0.00	1.00	±0.00	非有意
	全身がだるい	1.14	±0.38	1.14	±0.38	1.14	±0.38	非有意
	横になりたい	1.00	±0.00	1.00	±0.00	1.00	±0.00	非有意
I群平均		1.06		1.03		1.03		
II 不安定感	いらいらする	1.00	±0.00	1.00	±0.00	1.00	±0.00	非有意
	おちつかない気分だ	1.14	±0.38	1.00	±0.00	1.00	±0.00	非有意
	不安な感じがする	1.00	±0.00	1.00	±0.00	1.00	±0.00	非有意
	ゆううつな気分だ	1.00	±0.00	1.00	±0.00	1.00	±0.00	非有意
	考えがまとまりにくい	1.00	±0.00	1.00	±0.00	1.00	±0.00	非有意
II群平均		1.03		1.00		1.00		
III 不快感	頭がおもい	1.00	±0.00	1.00	±0.00	1.00	±0.00	非有意
	気分がわるい	1.00	±0.00	1.00	±0.00	1.00	±0.00	非有意
	頭がいたい	1.00	±0.00	1.00	±0.00	1.00	±0.00	非有意
	頭がぼんやりする	1.00	±0.00	1.00	±0.00	1.00	±0.00	非有意
	めまいがする	1.00	±0.00	1.00	±0.00	1.00	±0.00	非有意
III群平均		1.00		1.00		1.00		
IV だるさ感	肩がこる	1.29	±0.76	1.43	±0.53	1.29	±0.76	非有意
	手や指がいたい	1.00	±0.00	1.14	±0.38	1.29	±0.76	非有意
	腕がだるい	1.43	±0.79	1.57	±0.53	1.57	±0.79	非有意
	腰がいたい	1.43	±0.79	1.71	±0.76	1.86	±1.07	非有意
	足がだるい	1.43	±0.79	1.43	±0.53	1.57	±1.13	非有意
IV群平均		1.31		1.46		1.51		
V ぼやけ感	目がかわく	1.00	±0.00	1.00	±0.00	1.00	±0.00	非有意
	目がいたい	1.00	±0.00	1.00	±0.00	1.00	±0.00	非有意
	ものがぼやける	1.43	±0.53	1.29	±0.49	1.29	±0.49	非有意
	目がつかれる	1.00	±0.00	1.29	±0.49	1.29	±0.49	非有意
	目がしょぼつく	1.00	±0.00	1.00	±0.00	1.00	±0.00	非有意
V群平均		1.09		1.11		1.11		
平均		1.10		1.12		1.13		

表5-10 実証対象対策結束による自覚症しらべ（群別）

群別	作業前 ^{a)}	作業5後 ^{b)}	作業終了10分後 ^{c)}	p値
I 群ねむけ感	1.06	1.03	1.03	非有意
II 群不安定感	1.03	1.00	1.00	非有意
III 群不快感	1.00	1.00	1.00	非有意
IV 群だるさ感	1.31	1.46	1.51	非有意
V 群ぼやけ感	1.09	1.11	1.11	非有意

② 疲労部位しらべ

結束作業による疲労状況の経時的変化を主観的な調査で評価した疲労部位しらべは、日本産業疲労研究会産業疲労研究会選定を用いた。17項目の身体各部位の痛みやだるさなど、疲労の有無について4段階評価方式で各項目を点数化したものを疲労部位しらべのスコアとした。評価は、Friedman 検定（対応のある3群以上の比較）・Scheffe の多重比較法によって検定し、有意水準は5%とした。

表5-11、5-12に、疲労部位しらべの集計スコア平均値を、図5-15から5-17に作業ごとの推移をそれぞれ示した。

ハッカー結束では、「腰部」が作業の進捗に応じて疲労感が増大傾向にあり、「作業前」と比較して「作業5後」の疲労感が有意に高い値であった ($p=0.024$)。「臀部・大腿」、「膝・下腿」は、左右共に疲労感が増大傾向にあり、「作業前」と比較して「作業3後」から「作業5後」の疲労感が有意に高い値であった ($p=0.007$ 、 $p=0.026$ 、 $p=0.003$)、($p=0.003$ 、 $p=0.036$ 、 $p=0.002$)、($p=0.014$)、($p=0.042$ 、 $p=0.013$)。

実証対象対策結束では、有意な差は認められなかったが、「左肘・前腕」は「作業前」と比較して「作業4後」が、「右肘・前腕」は「作業前」と比較して「作業5後」で、作業の進捗に伴い疲労感が高まる特徴がみられた。

以上のことから、実証対象対策を用いることは、ハッカー結束にみられた「腰部」、「臀部・大腿」、「膝・下肢」部位の疲労に対して低減効果が認められると考えられた。

一方、ハッカー結束では認められなかった「肘・前腕」の疲労がうかがえたことから、実証対象対策による結束作業では「肘・前腕」への負荷に対して十分に注意を要する必要があると考えられた。

表5-11 ハッカー結束における疲労部位しらべ

部位	作業前 ^{a)}		作業1後 ^{b)}		作業2後 ^{c)}		作業3後 ^{d)}		作業4後 ^{e)}		作業5後 ^{f)}		作業終了10分後 ^{g)}		p値
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
首	0.00	±0.00	0.00	±0.00	0.00	±0.00	0.00	±0.00	0.14	±0.38	0.57	±0.53	0.14	±0.38	非有意
左肩	0.14	±0.38	0.00	±0.00	0.00	±0.00	0.14	±0.38	0.14	±0.38	0.29	±0.49	0.00	±0.00	非有意
右肩	0.14	±0.38	0.00	±0.00	0.14	±0.38	0.57	±0.79	0.71	±1.11	0.43	±0.79	0.43	±0.79	非有意
背部	0.00	±0.00	0.00	±0.00	0.00	±0.00	0.43	±0.79	0.86	±1.07	1.14	±1.21	0.71	±0.95	非有意
左上腕	0.14	±0.38	0.00	±0.00	0.43	±0.79	0.00	±0.00	0.43	±1.13	0.43	±1.13	0.14	±0.38	非有意
右上腕	0.14	±0.38	0.00	±0.00	0.14	±0.38	0.29	±0.76	0.43	±1.13	0.57	±1.13	0.29	±0.76	非有意
左肘・前腕	0.14	±0.38	0.00	±0.00	0.43	±0.79	0.14	±0.38	0.43	±1.13	0.57	±1.13	0.29	±0.49	非有意
右肘・前腕	0.29	±0.49	0.00	±0.00	0.43	±0.79	0.29	±0.76	0.43	±1.13	0.57	±1.13	0.29	±0.76	非有意
腰部	0.43	±0.79	1.14	±1.07	1.43	±0.98	1.71	±0.49	1.86	±0.90	2.29	±1.11	1.29	±1.11	※1
左手・手首	0.00	±0.00	0.14	±0.38	0.00	±0.00	0.00	±0.00	0.14	±0.38	0.14	±0.38	0.14	±0.38	非有意
右手・手首	0.00	±0.00	0.14	±0.38	0.29	±0.76	0.43	±1.13	0.57	±1.13	0.71	±1.11	0.43	±0.79	非有意
左臀部・大腿	0.00	±0.00	1.43	±0.53	1.71	±0.49	2.14	±0.69	2.00	±0.82	2.29	±0.76	1.00	±0.82	※2
右臀部・大腿	0.00	±0.00	1.57	±0.53	1.86	±0.38	2.29	±0.76	2.00	±0.82	2.29	±0.76	1.14	±0.90	※3
左膝・下腿	0.00	±0.00	0.57	±0.79	0.71	±0.76	1.29	±0.76	1.43	±0.98	1.57	±0.98	0.86	±0.69	※4
右膝・下腿	0.00	±0.00	0.57	±0.79	1.00	±0.82	1.43	±0.98	1.43	±0.98	1.57	±0.98	1.00	±0.82	※5
左足・足首	0.00	±0.00	0.29	±0.49	0.29	±0.49	0.43	±0.53	0.57	±0.79	0.57	±0.79	0.14	±0.38	非有意
右足・足首	0.00	±0.00	0.29	±0.49	0.29	±0.49	0.71	±1.11	0.71	±1.11	0.71	±1.11	0.43	±0.79	非有意

- ※1 : a)-f) $p=0.024$ 、他非有意
- ※2 : a)-d) $p=0.007$ 、a)-e) $p=0.026$ 、a)-f) $p=0.003$ 、他非有意
- ※3 : a)-d) $p=0.003$ 、a)-e) $p=0.036$ 、a)-f) $p=0.002$ 、他非有意
- ※4 : a)-f) $p=0.014$ 、他非有意
- ※5 : a)-d) $p=0.042$ 、a)-f) $p=0.013$ 、他非有意

表5-12 実証対象対策結束における疲労部位しらべ

部位	作業前 ^{a)}		作業1後 ^{b)}		作業2後 ^{c)}		作業3後 ^{d)}		作業4後 ^{e)}		作業5後 ^{f)}		作業終了10分後 ^{g)}		p値
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
首	0.14	±0.38	0.00	±0.00	0.14	±0.38	0.29	±0.76	0.29	±0.76	0.29	±0.76	0.14	±0.38	非有意
左肩	0.00	±0.00	0.14	±0.38	0.43	±0.79	0.57	±0.98	0.86	±0.90	0.86	±0.90	0.29	±0.49	非有意
右肩	0.29	±0.49	0.14	±0.38	0.14	±0.38	0.57	±0.98	0.86	±0.90	1.00	±1.00	0.43	±0.53	非有意
背部	0.29	±0.49	0.14	±0.38	0.43	±0.79	0.57	±0.79	0.57	±0.79	0.57	±0.79	0.57	±0.79	非有意
左上腕	0.00	±0.00	0.00	±0.00	0.29	±0.49	0.29	±0.76	0.43	±0.79	0.57	±0.98	0.29	±0.49	非有意
右上腕	0.29	±0.76	0.00	±0.00	0.14	±0.38	0.29	±0.76	0.43	±0.79	0.71	±0.95	0.29	±0.49	非有意
左肘・前腕	0.14	±0.38	0.29	±0.49	0.71	±0.76	1.14	±0.90	1.43	±1.13	1.29	±1.11	0.43	±0.53	非有意
右肘・前腕	0.14	±0.38	0.29	±0.49	0.57	±0.79	1.00	±1.00	1.29	±1.25	1.43	±1.13	0.43	±0.53	非有意
腰部	0.57	±0.98	0.43	±0.53	0.71	±0.76	1.00	±1.00	1.14	±0.90	1.14	±0.90	0.86	±0.90	非有意
左手・手首	0.00	±0.00	0.00	±0.00	0.00	±0.00	0.00	±0.00	0.00	±0.00	0.00	±0.00	0.00	±0.00	非有意
右手・手首	0.14	±0.38	0.14	±0.38	0.14	±0.38	0.29	±0.76	0.43	±1.13	0.29	±0.76	0.14	±0.38	非有意
左臀部・大腿	0.29	±0.49	0.14	±0.38	0.29	±0.49	0.57	±0.79	0.57	±0.79	0.57	±0.79	0.43	±0.53	非有意
右臀部・大腿	0.57	±0.98	0.14	±0.38	0.29	±0.49	0.57	±0.79	0.57	±0.79	0.71	±0.95	0.43	±0.53	非有意
左膝・下腿	0.43	±0.79	0.14	±0.38	0.14	±0.38	0.43	±0.79	0.43	±0.53	0.86	±0.90	0.29	±0.49	非有意
右膝・下腿	0.43	±0.79	0.14	±0.38	0.14	±0.38	0.43	±0.79	0.57	±0.79	0.86	±0.90	0.29	±0.49	非有意
左足・足首	0.00	±0.00	0.00	±0.00	0.00	±0.00	0.00	±0.00	0.00	±0.00	0.00	±0.00	0.00	±0.00	非有意
右足・足首	0.29	±0.76	0.00	±0.00	0.00	±0.00	0.00	±0.00	0.14	±0.38	0.14	±0.38	0.14	±0.38	非有意

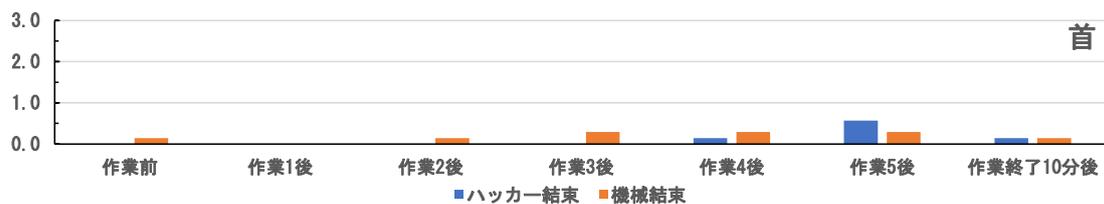


図5-15 疲労部位しらべ①

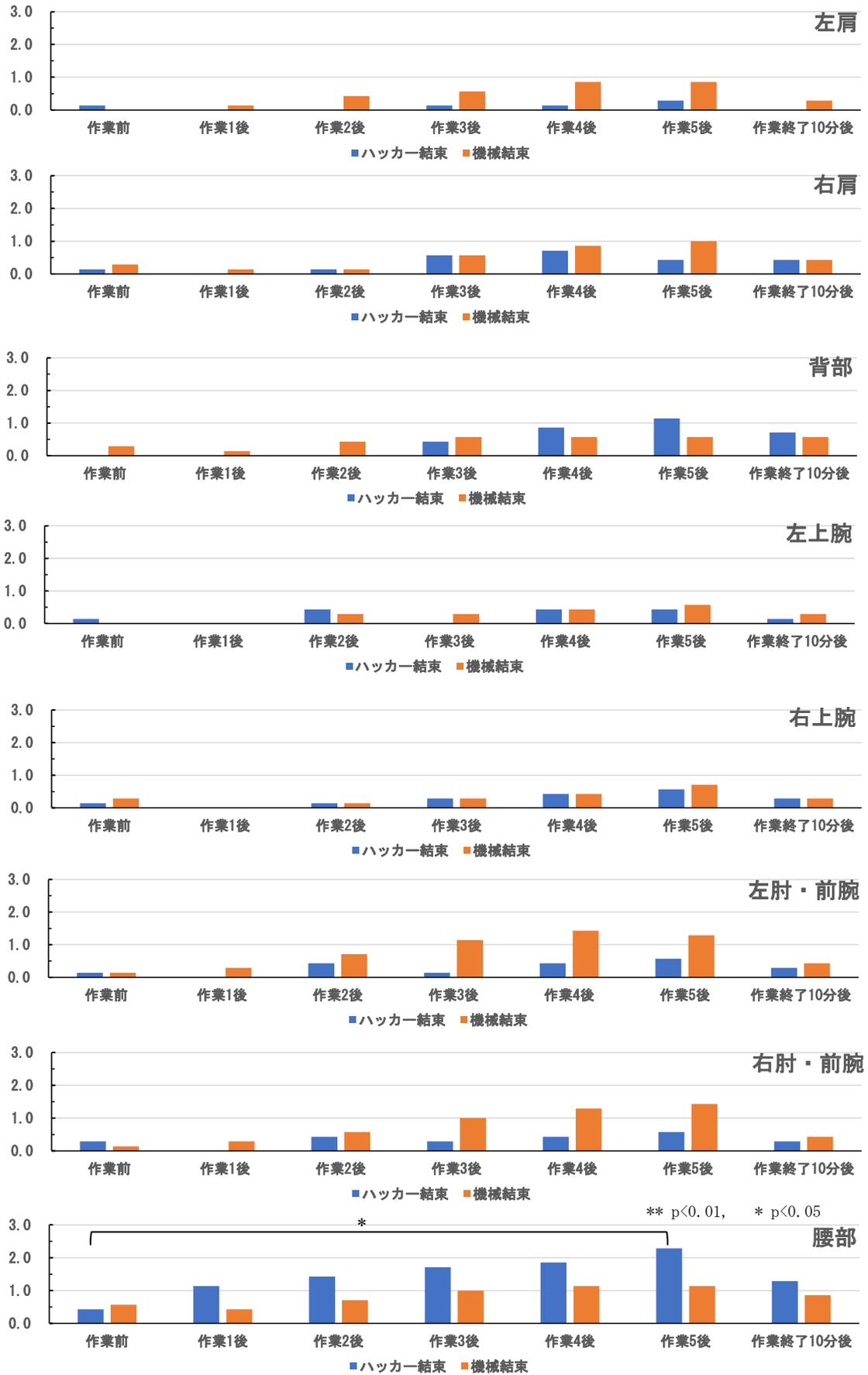


図5-16 疲労部位しらべ②

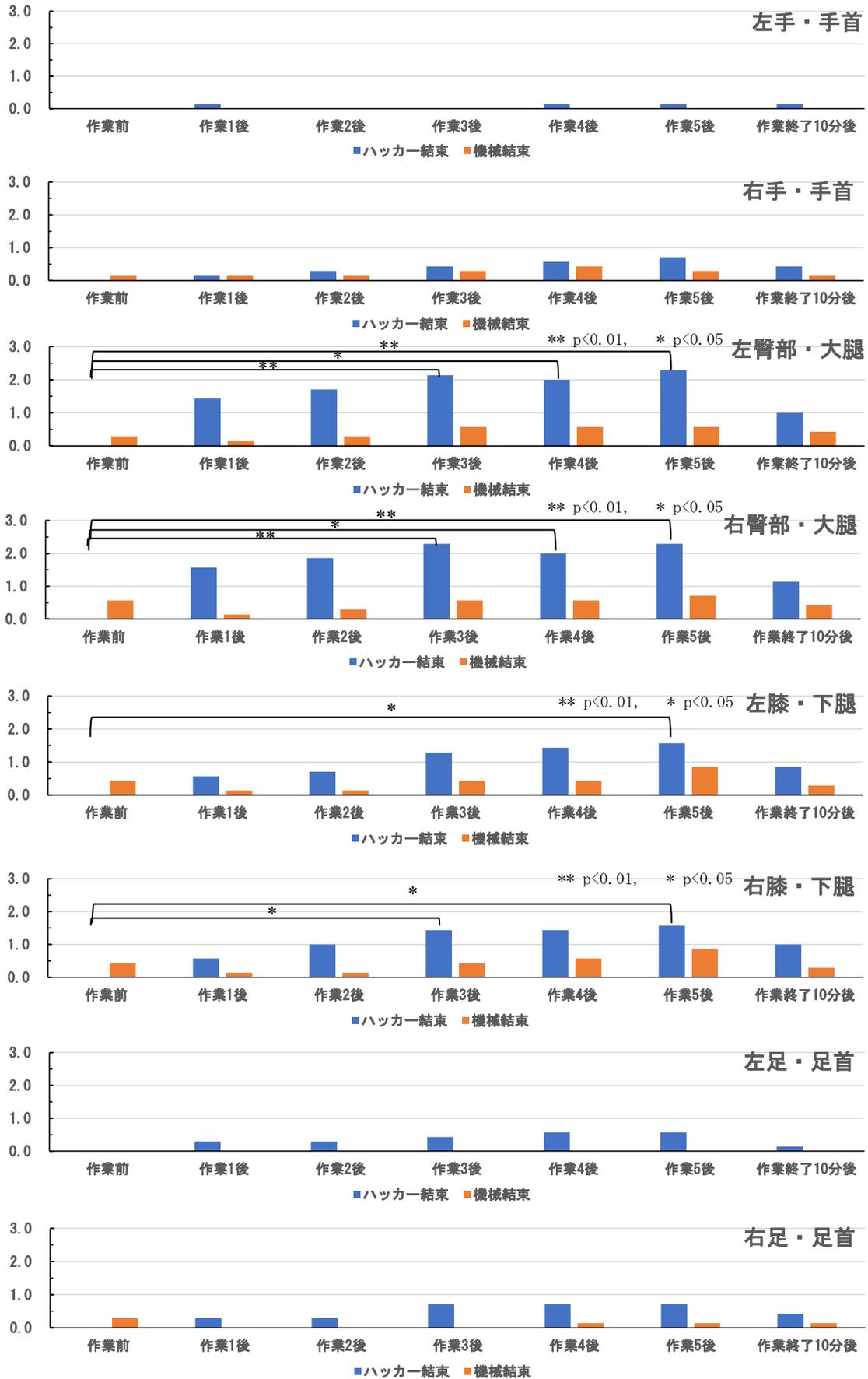


図5-17 疲労部位しらべ③

(2) パフォーマンス評価

① 結束回数

作業効率を比較するため、結束回数を計測した。作業負荷試験における10分間の作業でのハッカー結束、機械結束それぞれの平均結束回数と、作業1から作業5ごとの平均結束回数の推移を図5-18、5-19に示した。

ハッカー結束では、平均結束回数194.9回（実証試験模擬鉄筋結束作業場1.4面（約10.2m²）相当）、実証対象対策結束では330.0回（同2.4面（約17.5m²）相当）であった。10分間という同一時間における結束数では、実証対象対策による結束が5%有意水準で有意に多かった（ $p=0.000$ ）。

また、作業進捗に伴う作業ごとでの結束数の変化は生じなかった。

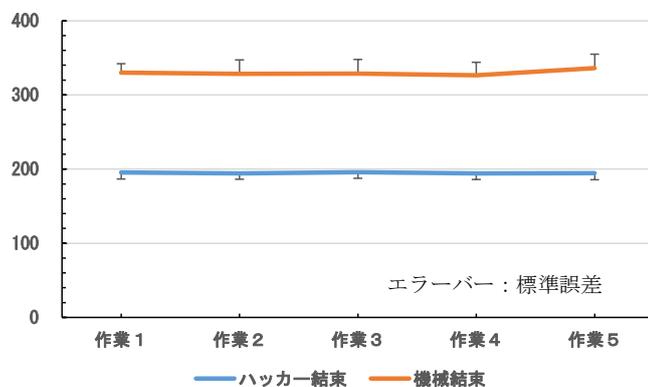
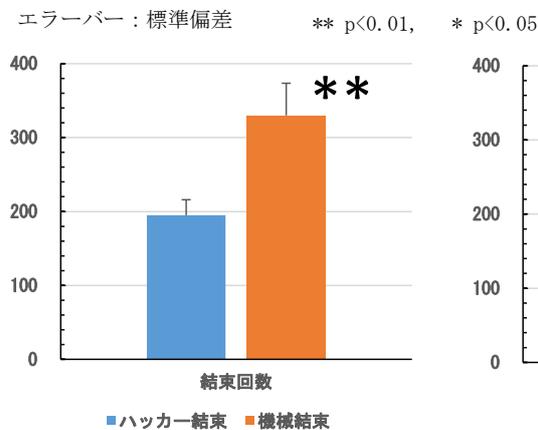


図5-18 10分間平均結束回数

図5-19 作業ごとの平均結束回数の推移

以上のことから、実証対象対策を用いることで、ハッカー結束よりも早く結束作業が行えることが明らかとなった。

② 誤結束回数

作業効率を比較するため、誤結束回数を計測した。作業負荷試験における10分間の作業でのハッカー結束、機械結束それぞれの平均誤結束回数と、作業1から作業5ごとの平均誤結束回数の推移を図5-20、5-21に示した。機械結束については、人による誤結束（ヒューマンエラー）、機械的な誤結束（マシンエラー）を分けて計測した。

ハッカー結束では、平均誤結束0.3回、実証対象対策結束では2.4回で、10分間同一時間における誤結束数は実証対象対策による結束が5%有意水準で有意に多かった（ $p=0.002$ ）。また、実証対象対策機器の不具合による機械的な誤結束（マシンエラー）の発生は無かった。

ハッカー結束では作業の進捗に伴い、作業の後半で誤結束数が増加したが、機械結

束では作業ごとに明瞭な誤結束数変化は生じなかった。しかしながら、本実証試験で初見の機器を利用した機械結束作業での誤結束数は、結束数 330 回に対して 2.4 回であり、発生率は 0.7% であったことから、比較的早い段階で機械の扱いに慣れることができ、作業に順応できることが考えられた。

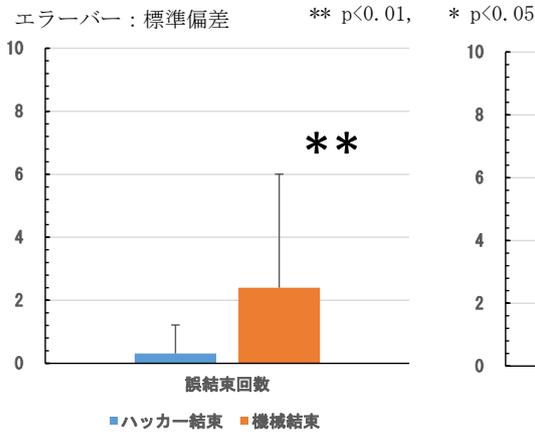


図5-20 10分間平均誤結束回数

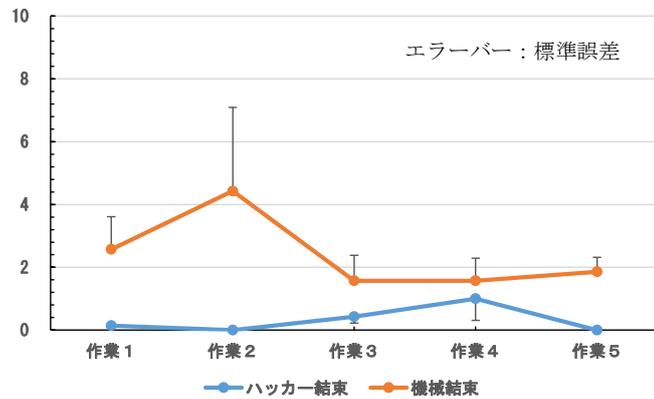


図5-21 作業ごとの平均誤結束回数の推移

以上のことから、実証対象対策を用いることで、誰もが比較的容易にかつ正確な結束作業が行えることが明らかとなった。

③ 膝腰関節曲げ伸ばし回数

身体動作（膝・腰部屈伸）の頻度を比較するため、作業負荷試験における 10 分間の作業でのハッカー結束、機械結束それぞれの膝及び腰の曲げ伸ばし平均回数、作業ごとにおける平均回数の推移を図5-22から5-25に示した。

実証対象対策結束時は、膝・腰の曲げ伸ばし回数とも 0 回であり、ハッカー結束と比べて有意に少なかった ($p=0.031, 0.016$)。膝の曲げ伸ばし回数は、10 分間で平均 3.5 回であり、作業 2 以降で増加した。腰の曲げ伸ばし回数は、10 分間で平均 0.9 回であり、作業 5 で増加した。

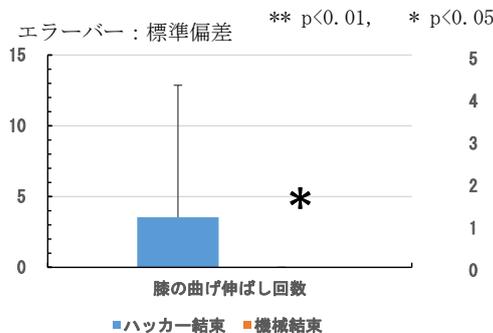


図5-22 10分間平均膝曲げ伸ばし回数

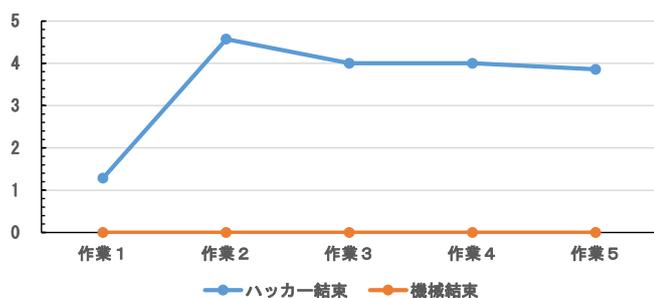


図5-23 作業ごとの平均膝曲げ伸ばし回数の推移

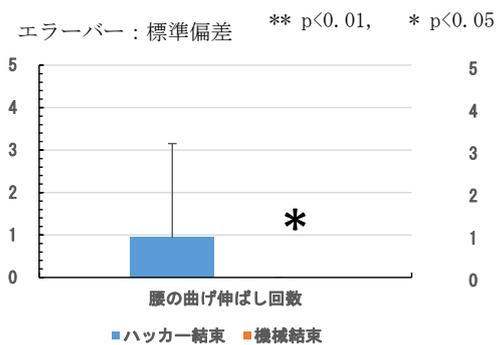


図5-24 10分間平均腰曲げ伸ばし回数



図5-25 作業ごとの平均腰曲げ伸ばし回数の推移

以上のことから、実証対象対策を用いることで、これまでのように腰や膝を頻繁に曲げることなく結束作業が行えることが明らかとなった。

④ 事後使用感評価

実証対象対策の操作性や負担感を主観的な調査で評価するため、ハッカー結束、実証対象対策結束による全ての作業の終了後に実施した事後使用感アンケートの結果を表5-13に示した。

全体的に満足度の高い回答が得られ、実証対象対策が高年齢労働者に受け入れやすい対策であることがうかがえた。評価コメントの中には、機器重量の更なる軽量化、身長等に応じた長さの微調整などの要望も寄せられた。高年齢労働者として、体力の低下、体格に見合う要望に関しては、今後の製品開発への重要な意見でもあり、現場の第一線で活躍している高年齢労働者の声として、大事に取り扱っていただきたい。なお、「Q11：自由意見」はQ1からQ10の回答に分類して含めて記載した。

表5-13 事後使用感アンケート結果

n=7		Q1 機器の持ちやすさはいかがでしたか。							【主な高評価コメント】 おなかにあたっていると力が要らない、軽い。 【改善に繋がるコメント】 もう少し短くできるとよい。
		0	1	2	3	4	5	6	
非常に持ちやすい	5								
やや持ちやすい	2								
やや持ちにくい	0								
非常に持ちにくい	0								

<p>n=7</p> <p>Q2 機器の移動のしやすさはいかがでしたか。</p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7</p> <p>非常に移動しやすい やや移動しやすい やや移動しにくい 非常に移動しにくい</p>	<p>【主な高評価コメント】 手結束よりも移動がしやすい。</p> <p>【改善に繋がるコメント】 慣れが必要だ。腕が疲れてくると機器の先端がぶつかる時がある。</p>
<p>n=7</p> <p>Q3 機器の重さはいかがでしたか。</p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7</p> <p>非常に軽い やや軽い やや重い 非常に重い</p>	<p>【主な高評価コメント】 軽いので楽である</p> <p>【改善に繋がるコメント】 腕が疲れる。もう少し軽ければ片手でも使えそう。</p>
<p>n=7</p> <p>Q4 機器の使いやすさについてどう思いますか。</p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7</p> <p>非常に使いやすい やや使いやすい やや使いにくい 非常に使いにくい</p>	<p>【主な高評価コメント】 広い現場で役に立つ。センサーが上手く働く。対象の結束交点へ誘導してくれる。</p> <p>【改善に繋がるコメント】 従来型のハンドガン型よりは結束速度がやや遅いように思う。</p>
<p>n=7</p> <p>Q5 腰の痛み、違和感はいかがですか。</p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7</p> <p>全くない あまりない ややある 非常にある</p>	<p>【主な高評価コメント】 本当に楽で他のモノが使えなくなりそう。腰を曲げずに済むのでよい。</p> <p>【改善に繋がるコメント】 作業が連続だと同じ姿勢が続き、疲労が溜まる。機器を持ち上げるときに少し腰に違和感がくる。</p>
<p>n=7</p> <p>Q6 結束箇所の見やすさはいかがでしたか。</p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7</p> <p>非常に見やすい やや見やすい やや見にくい 非常に見にくい</p>	<p>【主な高評価コメント】 先端にセンサーがあるので、結束交点に当てやすい。先が当たれば、すっと入る。</p> <p>【改善に繋がるコメント】 目で見て交点を確認してから当てている感じ。慣れが必要だと思う。</p>
<p>n=7</p> <p>Q7 実感として1回の結束にかかる時間はいかがですか。</p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7</p> <p>非常に短い やや短い やや長い 非常に長い</p>	<p>【主な高評価コメント】 このくらいのスピードでいい。あまり速くても疲れる。</p> <p>【改善に繋がるコメント】 もう少し短くてもいい。結束ワイヤが出る時に間がある。</p>

<p>n=6</p> <p>Q8 怪我のリスクがどの程度あると思いますか。</p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7</p> <table border="1"> <tr><td>全くない</td><td>4</td></tr> <tr><td>あまりない</td><td>2</td></tr> <tr><td>ややある</td><td>0</td></tr> <tr><td>非常にある</td><td>0</td></tr> </table>	全くない	4	あまりない	2	ややある	0	非常にある	0	<p>【主な高評価コメント】 足の巻き込まれもなさそう。手より安全。普通に使う分には全くない。 【改善に繋がるコメント】 長いので、転んだら胸にあたりそう。移動での躓きがあるかもしれない。</p>
全くない	4								
あまりない	2								
ややある	0								
非常にある	0								
<p>n=7</p> <p>Q9 総合的な満足度はどのくらいですか。</p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7</p> <table border="1"> <tr><td>非常に満足</td><td>4</td></tr> <tr><td>やや満足</td><td>3</td></tr> <tr><td>やや不満</td><td>0</td></tr> <tr><td>非常に不満</td><td>0</td></tr> </table>	非常に満足	4	やや満足	3	やや不満	0	非常に不満	0	<p>【主な高評価コメント】 腰や太ももが楽だ。 腰に負担がかからないのでよい。 ハッカーの1日中の作業だと腰が痛くなるが、機械を使い始めたら、手作業はつらく感じてしまう。 今までにないセンサーで、従来型のハンドガンのように指でスイッチを入れるより確実に結束できる。 両手で使えるので軽い。 改善に繋がるコメント：もう少し軽ければもっと楽だ。長さが自分に合わないと腕が疲れる。今の仕様では片手では使えない。片手で使える伸び縮みの形でもよい。 重さを軽くしてほしい。長い時間使う場合、今の重さは少しつらい。 平坦な場所では機械もいいが、斜めの場所は難しいように思う。</p>
非常に満足	4								
やや満足	3								
やや不満	0								
非常に不満	0								
<p>n=7</p> <p>Q10 手結束と機械式結束では、どちらが好みでしたか。</p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7</p> <table border="1"> <tr><td>手結束</td><td>0</td></tr> <tr><td>どちらかという手結束</td><td>1</td></tr> <tr><td>どちらかという機械式</td><td>0</td></tr> <tr><td>機械式結束</td><td>6</td></tr> </table>	手結束	0	どちらかという手結束	1	どちらかという機械式	0	機械式結束	6	<p>【主な高評価コメント】 早くて足・腰が楽だ。 体の負担がなく、楽だ。 絶対機械式がいい。</p>
手結束	0								
どちらかという手結束	1								
どちらかという機械式	0								
機械式結束	6								

5.4 運用及び維持管理項目

被験者へのヒアリングより確認した、運用及び維持管理項目の結果を、表5-14に示す。高年齢労働者を対象とした対策では、老視も重要な指標であるため、説明書の文字の大きさなども今後の製品開発に重要な意見であることがうかがえた。

表5-14 運用及び維持管理項目の結果（ヒアリング意見）

聞き取り内容	被験者からの回答
取扱説明書の見やすさ	もう少し説明書の字が大きいと読みやすいといった意見があった。 「雨や水に濡らさないこと」への程度が気になるといった意見があった。
結束線ワイヤの交換しやすさ	「ワイヤ交換作業は楽だ」といった意見が寄せられた。
日常点検のしやすさ	「点検箇所は電源のON、OFF、概観の破損の有無など目視程度であるため、特に煩わしさはない」といった意見が寄せられた。

5.5 所見（実証結果のまとめ）

総括として、実証結果と実証結果から見た実証対象対策の特徴や導入効果について、以下のとおりまとめた。

（1）実証申請者が定める対策仕様の範囲で使用した際の腰痛リスク低減効果

筋骨格モデリングシミュレーションでの解析結果から、腰の屈伸を頻繁に伴うハッカー結束作業に対し、立位姿勢で作業できる実証対象対策による結束作業の方が腰部椎間板圧縮力の変動は少なく、低減が明らかであった。心拍数の結果より、実証対象対策結束作業の方が循環器系への負担は少ないことがうかがえた。筋電位計測の結果、実証対象対策を用いることで、下肢への負担軽減のほか、腕部への負荷が生じやすい可能性が示唆された。また、自覚症及び疲労部位しらべの結果、実証対象対策を用いることで、「足のだるさ」を防ぐ上で有効であるとともに、「腰部」、「臀部・大腿」、「膝・下肢」部位の疲労低減に効果が認められると考えられた。一方で、前述のとおり「肘・前腕」への負荷に対して注意を要する必要があることがうかがえた。

腰痛の発生要因には、動作要因、環境要因、個人的要因、心理・社会的要因など多面的なものがあり、「職場における腰痛予防対策指針」（平成25年6月18日付け基発0618第1号）では、不自然な姿勢を伴う作業では、機械による作業の自動化を行い、作業者の負担を減らす省力化を行うことが必要であると示されている。

以上のことから、これまで前屈姿勢でかつ手作業で行っていた鉄筋結束作業については、実証対象対策を用いることにより、機械による作業の自動化と合わせ、無理な姿勢を取らずに作業ができるため、高年齢労働者に対する腰痛リスク低減効果は大いに期待できると思われた。

(2) 実証対象対策の操作性・有効性

パフォーマンス評価試験及び事後使用感評価より、実証対象対策を用いることで、これまでのように腰や膝を頻繁に曲げることなく誰もが比較的容易に、かつ正確な結束作業が行えることが明らかであった。また、ハッカー結束よりも早く結束作業が行え、作業効率は飛躍的に向上した。

以上のことから、高年齢労働者には、実証対象対策の特徴でもある習熟不要であり受け入れやすい対策であるとともに、作業効率を図る上でも有効であると思われた。

(3) 運用及び維持管理にかかる労力

高年齢労働者を管理監督する現場管理者への運用上の留意点として、実証対象対策を用いることで腕部への負担も蓄積される懸念があることから、日々の必要な作業量（作業範囲）と作業時間の設定を適切に行い、十分な休息を取らせた上で、作業に従事させる必要があると考えられた。

実証対象対策本体における日常点検などの維持管理は、特に煩わしさを感じない程度の内容であるが、精密機器のため不具合が生じた際は、使用を止めメーカーに相談する必要がある。日々の使用範囲においては、特殊な技能等は必要ではなく、使用可能であると考えられた。

(参考情報)

注意：このページに示された情報は、高年齢労働者安全衛生対策の実証申請者が自らの責任において申請した内容及びその情報を引用したものであり、実証の対象外となっています。

6.1 高年齢労働者安全衛生対策（技術）データ

項目		実証申請者 記入欄				
対策の名称／形式		鉄筋結束機ツインタイヤウオーカーモデル／RB-400T-E-B2C/1440A				
製造(販売)企業名		マックス株式会社				
連絡先	住所	東京都中央区日本橋箱崎町 6-6				
	担当(部署)	RB 事業推進室 伴 孝則				
	TEL/FAX	TEL 03-3669-8120 / FAX 03-5695-7916				
	Web アドレス	https://www.twintier.global/jp/				
	E-mail	t-ban@max-ltd.co.jp				
導入対象		鉄筋工事業に従事する高年齢労働者・腰痛防止用途				
付帯設備		なし				
コスト概算(円)	※販売先を想定した情報 月間1台あたり約7,050 結束(D13×D13 換算)した場合	費目 ※標準小売価格	単価(円)	数量	計(円)	
		イニシャルコスト			320,000	
		本体	320,000	1台	320,000	
		ランニングコスト(月間)			10,100/月	
		専用結束線 TW1060	9,600/c/s	1 c/s	9,600/月	
		※メンテナンス費用	6,000/年	1回/年	500/月	
		メンテナンス				
		<ul style="list-style-type: none"> ● 乾燥した涼しいところに保管してください。 ● グリップ部は乾燥させ、清潔にし、油やグリスが付かないようにしてください。 ● 本機は乾いたやわらかい布で拭き、濡れた布や、シンナー、ベンジンなど揮発性のものは使用しないでください。 ● 電池パックは充電してから保管してください。 ● 電池パックは必ず本機・充電器から取り外して保管してください。 ● 本機を落としたり、ぶついたり、叩いたりしない。 ● 本機には注油を絶対しない。封入してあるグリス等が取れ、故障の原因となります。 ● 作動しない、回転が止まらない、本機が高温になる、ブザーによる警報とその処置方法を実施しても改善しない、作業中に本機の調子が悪いという異常を感じた時には、すぐに使用を中止し、お買い上げの販売店を通じてマックスエンジニアリングサービスで修理を行って下さい。 				

6.2 その他メーカーからの情報

(1) 開発目的

鉄筋コンクリート造の建築物や道路・橋梁などの土木構造物においては、鉄筋同士をワイヤで結束する作業が、鉄筋工という職種の方々によって行われています。一般的に鉄筋結束作業は腰を深くかがめてハッカーという道具を用いて行われ、この結束作業は一定程度の習熟期間が必要となります。一方で、建設市場においては、その作業者の減少と高齢化が問題となっており、作業効率改善と作業者の身体への負担軽減が大きな課題となってきております。マックス株式会社は1993年に世界で初めて充電式鉄筋結束機を開発したメーカーで、この工具を用いることで誰でも習熟不要で中腰姿勢で鉄筋結束作業が可能となり、作業の効率化と体への負担軽減を実現させてきました。しかし、従来の充電式鉄筋結束機においても、結束時には手作業と同様に腰を曲げたままの姿勢が必要で、次の施工箇所へ移動するには腰を伸ばすという繰り返しの動作が必要となり、腰痛は大きな問題となっております。そこで、誰でも立ち姿勢のまま結束作業を行える鉄筋結束機「TWINTIER ウォーカーモデル」を開発しました。この商品は立ち姿勢のまま結束作業を可能とすることで、腰部椎間板圧縮力の最大値を約40%軽減することができました。この結束機を用いることで、腰痛による労働災害の低減と生産効率改善に大きく寄与できると考えています。

(2) 製品の原理と効果

「ツインタイヤ ウォーカーモデル」は最適な重心バランス保ちながら全長を長くし、立ち姿勢のまま結束することを可能とし、腰痛の原因となる腰部椎間板圧縮力を最大40%軽減し、慢性的な腰椎症を発症するリスクを低減させます。

※腰部椎間板圧縮力は、筋骨格モデル機構解析システム(Anybody)で測定

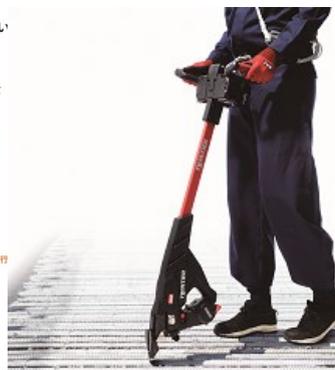
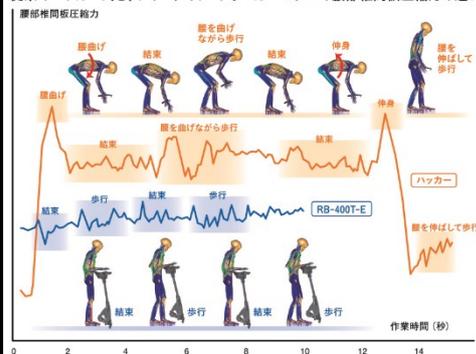
(3) 特徴・先進性

「ツインタイヤ ウォーカーモデル」は立ち姿勢のまま身体的負担を軽減しながら結束を行え、かつ作業性を損なわない、これまでにない先進的な結束機です。これまでも立ったまま使用できる鉄筋結束機はありましたが、結束交点を狙いにくく作業がしにくい、腕への負担が大きいなどの問題により、実際の鉄筋結束作業現場では普及はしていませんでした。

これらの機械を発展させた形態として、本機においては腰への負担を軽減しながら、作業性を損なわないということの特徴としております。①両手持ちとし腕への負担を軽減しながら操作性を上げた ②バッテリーを動作の回転中心である手元に配置 ③結束ポイントを目視しなくても機械先端部の形状で鉄筋を拾いこむ ④自重によりコンタクトスイッチが鉄筋に接触することで一連の動作を行う。こういった特徴により、結束交点が狙い易く、手結束のような手首を回す動作を不要とし、従来機のようなトリガスイッチを引く指への負担を無くし、腰を深く屈める

身体的負担を軽減しながら新規高齢作業員でも簡単に扱える習熟不要な建設工具です。また、2017年より販売しておりますツインタイヤシリーズとして高い評価をいただいている、結束力、結束スピード、振りしろの長さなどの特徴も持ちます。

従来のハッカー式と、ツインタイヤ ウォーカーモデルの腰部椎間板圧縮力の違い



○付録

1. 専門用語の解説

用語	内容
実証	高年齢労働者安全衛生対策の提案者（開発者や販売者も含む）でも利用者でもない第三者機関が、その効果等を実地における試験、試行等に基づき客観的なデータとして示すことをいう。一定の判断基準を設けて、この基準に対する適合性を判定する「認証」とは異なる。
実証対象対策	本実証事業で実証された実証対象の高年齢労働者安全衛生対策を指す。
実証項目	実証対象対策を市場に提供する際に示す性能や効果の指標であり、本実証事業で「実証」として測る試験の項目を指す。
参考項目	実証対象対策を実証する際に、実証項目の結果を裏付けるまたは参考とすべき試験の項目を指す。
監視項目	実証対象対策を使用する際の条件や使用により生じる悪影響、注意事項に関する項目を指す。この中には、安全・衛生・環境への配慮が含まれる。
運用及び維持管理項目	実証対象対策の運用・維持管理に必要な資源や物資等（点検の頻度、人数等）を指す（実証対象対策が機器や装置の場合に限る。）。
ハッカー	鉄筋と鉄筋を針金（結束線）で締め付ける道具。
腰部椎間板圧縮力	脊椎の腰椎椎間板にかかる圧縮力を示す。物体の持ち上げ動作時の腰部負荷の定量的評価指標と考えられている。
筋電位	筋電位とは生物の筋細胞（筋繊維）が収縮活動するときに発生する活動電位である。
心拍数	一定時間内に心臓が拍動する回数。通常は1分間の拍動回数を示し、自律神経によって調節され、体位や運動などで変化が起きる。
脊柱起立筋	長背筋のうち、脊柱の背側に位置する筋肉。脊柱起立筋のうち、外側の筋群を腸肋筋、中間内側の筋群を最長筋、最内側の筋群を棘筋とよぶ。
僧帽筋	首の後ろから背中にかけて肩甲骨を覆っている大きな筋肉。肩関節の運動に寄与する。
大殿筋	お尻の中でも最も大きな筋肉。骨盤の後ろから太ももの横まで伸びており、上半身を支えるとともに、上半身と下半身の動きをつなぐ役割がある。
大腿四頭筋（外側広筋）	大腿直筋、中間広筋、外側広筋、内側広筋から構成されていて、主に膝関節の伸展に作用する。
自覚症しらべ	日本産業衛生学会産業疲労研究会が開発した作業に伴う疲労状況の経時的变化をとらえることを目的とした主観調査。
疲労部位しらべ	日本産業衛生学会産業疲労研究会が開発した身体の部位ごとに痛みやだるさを簡便に評価できるツール。
積分値	筋電図はその波形の面積を計測することが一般的で、波形値と積分値で示すことができる。積分値は筋の活動状態全体を反映している指標であり、積分値が大きいと筋肉の活動量が大きく、積分値が小さいと筋肉の活動量が小さいといえる。
標準偏差	データ全体の平均値からの散らばり具合（ばらつき）を表す指標。
標準誤差	標本（母集団の部分集合）ではなく母集団（調査対象となる数値、属性等の源泉となる集合全体）に対象を広げてデータを取った時の、推定される平均値からの散らばり具合（ばらつき）を表す指標。

2. 品質管理システムの監査

実証が適切に実施されていることを確認するために実証機関が定める品質マネジメントシステムに従い、実証期間中に1回、本実証から独立している部門による内部監査を実施した。

その結果、実証はマニュアルに基づく品質管理システムの要求事項に適合し、適切に実施、維持されていることが確認された。

内部監査の実施状況の概要を付表1に示す。

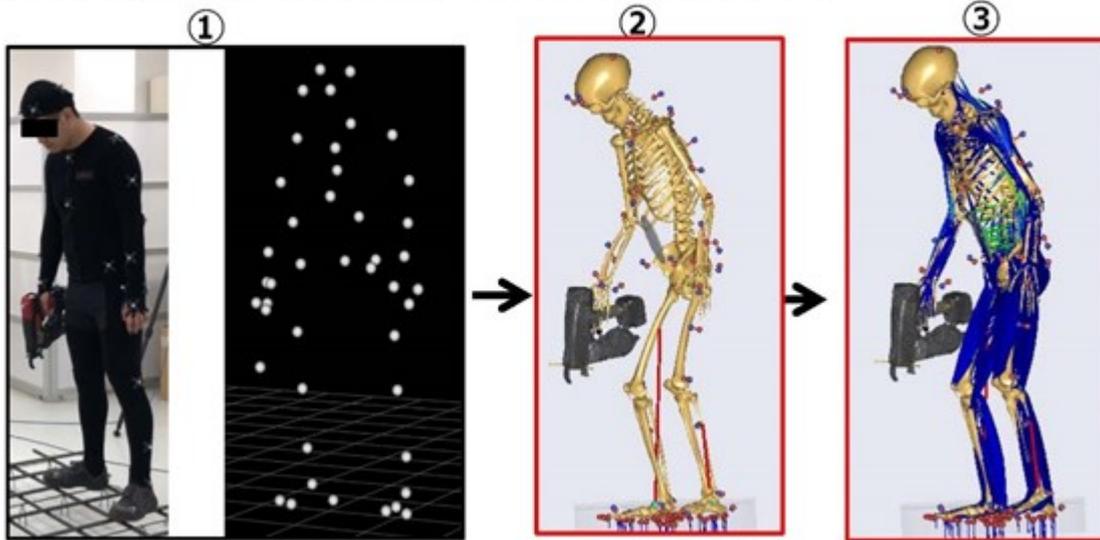
付表1 内部監査の実施概要

内部監査実施日	令和3年2月25日（木）
内部監査実施者	管理本部 総務課 ISO担当
被監査部署	実証に係る全部署
内部監査結果	品質管理システムの要求事項に適合し、適切に実施、維持されていた。

○資料編

AnyBodyについて

逆動力学解析によって、各筋肉が発揮する力を解析するソフト。



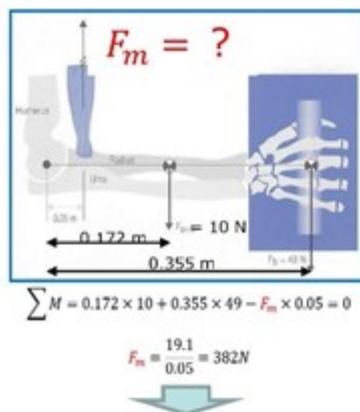
- ① 動作測定 (Vicon Nexus) : モーションキャプチャにより被験者の動きと外部からの作用する力を測定する。
- ② 運動解析 (AnyBody) : モーションキャプチャで収録したマーカの位置データから、人体各部の関節の角度時刻履歴データが算出される。
- ③ 逆動力学解析 (AnyBody) : 算出された関節の動作データおよびフォースプレート・外部力覚センサー等による人体に作用する力の測定データを用いて、筋張力、関節反力・関節トルク、消費エネルギーなどの生態内部の情報を計算する。

逆動力学解析について

● 1関節に筋が1つ

→ モーメントアーム長、拘束点、荷重作用点、関節位置の関係から Fm は一意に定まる

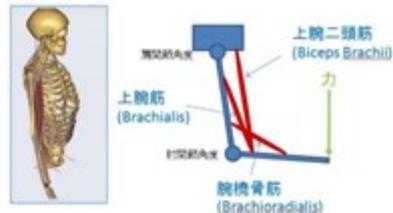
例)



※逆算で容易に求められるケースはほとんどない

● 実際の人体

- 1関節に複数の筋 (協働筋、拮抗筋) の存在。
2つの関節をまたぐ筋 (2関節筋) の存在。
・・・解が一意に定まらない



- 自由度2 (肩関節角度、肘関節角度) に対し不明な筋力は3つ
⇒ 既知の自由度 < 未知数

…冗長な系。不静定問題。⇒ 解は一意に定まらない
…筋動員の最適化アルゴリズムによって筋分配算出

※筋分配の判断基準は筋疲労最小基準

…人間の体はすべての筋がなるべく疲労が少なくなるよう反応する事実に基づき、筋活動のベキ乗和を最小にする筋力分配決定

動作をおこなうために必要な筋活動、筋動員は、目的関数G

$$G = \sum_i (f_i / N_i)^p$$

を最小化すると仮定して f を算出。ここで、

f_i … ある時刻での個々の筋 i の発揮筋力

N_i … 個々の筋 i のもつ最大筋力

f_i/N_i … 筋活動量

p … 筋シナジ (主動筋/協働筋) 発生には 2 以上



厚生労働省 安全衛生実証

●本事業に関する詳細な情報は、ウェブサイトでご覧いただけます。

https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_11396.html

●本事業に関する照会先

厚生労働省 労働基準局 安全衛生部 安全課

〒100-8916 東京都千代田区霞が関1-2-2

Tel : 03-3595-3225 (直通)