

厚生労働省科学研究費補助金（労働安全衛生総合研究事業）  
陸上貨物運送業を対象とした Minds 参照型腰痛予防対策ガイドラインの策定と  
予防対策の普及実装の推進  
分担研究報告書

## アシストスーツ介入プログラム開発研究

研究代表者 榎原 毅 産業医科大学 産業生態科学研究所 人間工学研究室 教授  
研究分担者 田中 孝之 北海道大学 情報科学研究院 教授

### 研究要旨

陸上貨物運送業における腰痛予防と労働寿命の延伸を目的として、パッシブ型アシストスーツ（PAS）の適正な導入および科学的根拠に基づく介入戦略の構築に取り組んだ。特に、PAS を用いた介入の有効性を検証する無作為化比較試験の実施に向けて、作業負荷の可視化、対象者の体力評価、導入判断基準の整備といった基盤技術の構築を行った。本年度は、(1) 陸上貨物運送業に適した PAS の選定、(2) 狭小空間でも高精度な姿勢推定を実現する作業姿勢計測技術の開発、(3) 体力測定と腰痛リスクの関係性の解析、(4) 作業負荷と体力の不均衡に基づく PAS 導入判断手順と On the Job Exercise による応用戦略の検討を実施した。これにより、疾病リスクを適切に回避しながら身体機能の維持も可能とする軽労化の理念に則った介入設計の妥当性が確認された。

### A. 研究目的

陸上貨物運送業における腰痛の予防と労働寿命の延伸は、労働安全衛生の観点から喫緊の課題である。特に中高年層の作業員においては、繰り返しの荷役作業や長時間の運転姿勢により、腰部への慢性的な負担が蓄積し、離職や生産性低下の一因となっている。

本研究分担では、こうした課題に対して、パッシブ型アシストスーツ（PAS）による介入の有効性を無作為化比較試験（RCT）により検証するための設計・実施を最終目標とし、その科学的根拠の確立と適用条件の明確化に資する基礎的検討を進めた。また、

得られた知見をもとに、Minds 参照型ガイドラインの策定に必要なエビデンス構築にも寄与することを目的とする。

今年度は具体的に、以下の 4 項目を重点的な検討課題として取り組んだ：

- (1) 作業内容や支援部位に応じて適用可能なアシストスーツの選定と導入準備
- (2) 遮蔽環境下でも高精度な作業姿勢推定を可能とする隠れ補正技術の開発
- (3) 大規模体力測定と腰痛評価に基づく体力と腰痛リスクの関係性の応用
- (4) 作業員の身体能力と作業負荷に応じたアシストスーツの導入指針と応用

## 戦略の提案

これらの検討により、RCT 実施に必要な評価技術・対象者選定基準・介入判断指標の構築を図り、エビデンスに基づく現場導入の実効性を高めることを目指した。

## B. 研究方法と結果

本分担研究では、陸上貨物運送業における腰痛予防対策としての PAS 導入に向けて、RCT の実施を見据えた基礎的準備を行った。特に、介入対象者の選定、効果測定 of 指標設計、ならびに現場への実装性を高める技術的条件の整理に重点を置いた。

今年度は、介入研究の設計に必要な実践的知見を蓄積するため、次の 4 項目に取り組んだ：

- (1) 作業種別や支援部位に応じた特性を考慮し、現場で実用可能な複数の PAS 候補を比較・選定し、導入準備を進めた。
- (2) 現場環境における視野の制約や遮蔽物による観測困難性に対応するため、姿勢推定 AI と補正アルゴリズムを組み合わせた作業姿勢計測手法を構築した。
- (3) 建設・土木作業員を対象とした大規模体力測定と腰痛調査データを解析し、加齢による体力変化と腰部負担の関連性を評価指標として応用する可能性を検討した。
- (4) これらの成果をもとに、アシストスーツの介入可否を判断するための導入条件を整理し、身体能力と作業負荷のバランスに応じた活用戦略として On the Job Exercise の展開も検討した。

これらの取り組みにより、RCT 実施に必要な基礎データと評価手段の確保に加え、科学的根拠に基づくアシストスーツの導入基準の策定に向けた実証的な知見を得た。

### B-1 アシストスーツの選定

本研究では、陸上貨物運送業における腰部負担軽減のため、PAS による介入を検討した。対象業務には荷役作業のみならず、長時間の運転作業が含まれることから、PAS を装着したまま車両運転が可能であることを重要な選定条件とした。そのため、装着中の運転動作を妨げず、衣服のように柔軟かつ快適な構造を持つことを必須要件とした。さらに、補助力源としてモータ等を用いず、ゴム素材の伸縮特性を活かした受動的な支持構造を採用していることを条件とし、現場での安全性、軽量性、装着継続性、コスト面の観点からも実用性の高い製品を選定対象とした。

これらの要件を満たす PAS として、以下の 3 製品を選定し、導入準備を進めた (図 1)：

- ナチュアシスト (住友ゴム工業)  
骨盤安定と腰部屈曲防止を目的とし、腸腰筋・腹直筋を意識させるゴム支持構造を有する。自然な装着感と動作追従性に優れる。
- e.z.UP (ASAHI CHO)  
背部と腕部に配置したゴムにより、地面から荷物を持ち上げる作業において、腰や腕の負担を軽減する。荷役作業に適している。
- スマートスーツ (スマートサポート)  
ゴムベルトの配置により、動作に応じた体幹安定・腰伸展サポートを同時に実現。軽量で運転作業への適応性も高

い。

これらの PAS はいずれも、軽労化研究会によって「軽労化技術」として認定された製品であり、疲労や腰部負担の軽減効果に加えて、アシストによる身体能力の低下を招かないことが科学的に実証されている。こ



(a) ナチュアシスト



(b) e.z.UP



(c) スマートスーツ

図1 選定したパッシブ型アシストスーツ

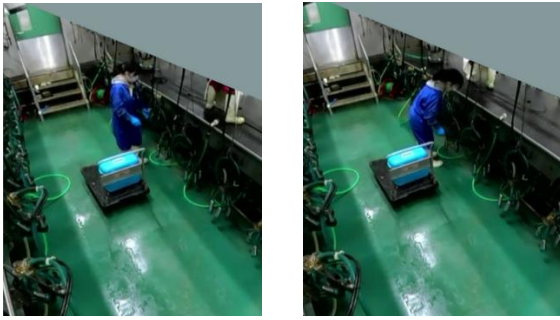
のことは、アシストによって身体を“甘やかす”のではなく、作業の継続性や身体機能の維持・向上を両立するという「軽労化アシスト」の基本理念に則ったものである。

これらの PAS を導入候補として選定したうえで、現場での装着性・動作適合性・妨害の有無などを評価し、今後の RCT 設計と作業姿勢・体力データとの統合的検討に向けた実証準備を進めた。

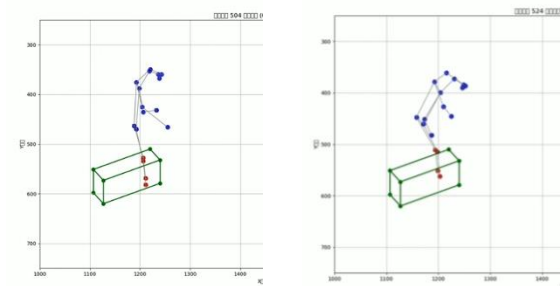
## B-2 作業負荷推定のための作業姿勢計測

アシストスーツの導入判断においては、作業中の身体姿勢および姿勢変化に伴う負荷の把握が不可欠である。本研究では、現場において非接触かつ汎用的に適用可能な姿勢計測手法として、カメラ映像と AI を用いた姿勢推定に、独自の隠れ補正アルゴリズムを組み合わせた方法を開発・適用した。姿勢推定には、深層学習ベースの骨格推定モデルである MMpose を使用し、単一カメラ映像から人の 2 次元関節位置と信頼度 (confidence) を推定した。対象とする作業空間には遮蔽物が存在することが多く、関節位置の欠損が生じるため、以下のような補正処理を行った：

- (1) 欠損フレームの抽出：Youden's Index を用いて、信頼度が低下している関節を含むフレームを自動的に識別し、補正対象とした。
- (2) 身体方向の識別：両肩の関節位置から体の向きを推定し、類似姿勢をもつ有効フレーム群を分類する。
- (3) 相対位置の学習と補正：有効フレーム群から各関節の相対位置を学習し、欠損関節を補間する。
- (4) 最終補正值の決定：複数の基準関節か



(a) 入力映像（一部切り出し）



(b) 隠れ補正した推定姿勢

図2 狭小空間での作業姿勢計測

ら得られた補正候補を統合し、滑らかな推定姿勢を生成した。

この手法を、狭小空間作業での実環境映像に適用した結果、遮蔽物による下肢関節の欠損が発生したフレームすべてに対して補正が適用可能であり、視野制限下でも高い推定安定性が得られた（図2）。

本手法の強みは、単一カメラでの安価かつ柔軟な設置が可能でありながら、欠損関節の補間により精度の高い姿勢計測が実現できる点にある。これにより、物流施設や運送現場においても実環境下での作業姿勢の可視化が可能となり、今後は作業負荷評価やアシスト効果の定量化に応用することが期待される。

### B-3 腰痛に関わる体力水準

アシストスーツによる介入効果の最大化と適用判断の妥当性を高めるためには、作

業者の身体的特性、特に体力水準と腰痛リスクとの関連性を明らかにする必要がある。本研究では、アシストスーツの導入対象となる作業者の属性を明確にするため、体力と腰痛の関係性に関する実証的データの解析を行った。

陸上運送業とは異なるが荷役、搬送作業を行う建設・土木作業に従事する 2,884 名（男性 2,766 名、女性 118 名）を対象に実施された体力測定結果と、腰痛歴・腰痛度に関する聞き取り調査データを用いた。測定項目には、握力、足握力、2 ステップ、座位ステップング、ファンクショナルリーチ（FR）、プランク、閉眼片足立ち、タオルギャザ（TG）などを含む全 8 項目を採用した。解析の結果、以下の知見が得られた：

- 加齢に伴う体力の低下傾向は多くの測定項目で顕著に認められ、とくに握力、足握力、2 ステップ、FR、TG において年齢との相関が強かった。
- 腰痛の重症群（腰痛歴 1 年以上かつ腰痛度 9 以上）では、これらの項目における加齢による体力低下率が非腰痛群よりも有意に高かった。
- 体幹部の筋力や柔軟性・バランス能力を表す測定値は、腰痛リスクとの関連性が高く、身体年齢（体幹力年齢）の指標として活用できる可能性が示唆された。

これらの結果は、体力低下が進行した作業員ほど、腰痛の有症率が高く、アシスト介入の必要性が高いことを示す定量的根拠となる。また、体力測定結果に基づいて、作業員の「身体年齢」を推定することにより、介入対象者の選定基準やアシスト強度の個別

最適化につながると考えられる。

本研究では、こうした体力・腰痛関連データを介入判断指標の基礎データとして位置づけ、今後の RCT 実施に向けて、アシストスーツ導入の科学的根拠の整備を進めている。

#### B-4 アシストスーツ導入手順と応用

本研究では、PAS の効果的な活用に向けて、作業負荷・身体特性・作業者の体力に基づいた導入判断の手順を整理し、さらに腰痛予防と身体機能維持を両立させる応用的な視点を含めた運用戦略を検討した。

##### ■アシストスーツ導入の手順

PAS 導入にあたっては、以下の 3 段階を基本とする判断手順を構築した：

- (1) 作業負荷の可視化とリスク抽出  
カメラ映像と姿勢推定 AI により、各作業における腰部への負荷を推定し、過度な前傾や繰り返し動作など、腰痛リスクの高い作業パターンを抽出する。
- (2) 体力評価に基づく対象者選定  
体力測定データと腰痛リスクの解析結果から、加齢や筋力低下などにより腰痛耐性が低下している作業者を対象者として選定する。
- (3) 作業負荷と体力の不均衡に対する補助の設計
- (4) 作業負荷が作業者の体力的耐性を超える場合に限り、補助効果を発揮できる PAS を選定し、使用タイミングや部位に応じた適用条件を設定する。

このように、「作業負荷に対して身体が弱いと判断された人に対してのみアシストす

る」という設計思想により、過剰なアシストによる身体能力低下を避けつつ、腰痛リスクの予防を最優先とした導入が可能となる。

##### ■On the Job Exercise への応用

PAS の運用においては、軽度な作業負荷を活かして身体を動かしつつ、腰痛リスクを回避するために適切に補助を介入させるという、「軽労化」の考え方に基づく運用戦略を採用した。これは、「On the Job Exercise（仕事をしながら身体を鍛える）」という新たな支援概念として位置づけられる。

- 体力の範囲内での作業は PAS を用いずに実施し、筋力維持や柔軟性の低下を防ぐ。
- 体力を超過する負荷が一時的または継続的にかかる場面では、PAS によって腰痛リスクから身体を守る。
- これにより、作業中の適度な負荷により身体機能を維持するためのトレーニング効果が期待できる。

このような積極的アプローチは、補助による負担軽減を過剰にせず、あくまで“守るべき場面でのみアシストする”という方針により、作業継続性と身体機能の維持の両立を実現しようとするものであり、「軽労化アシスト」の理念に則った介入設計の実践的モデルといえる。

#### C. 考察

本研究では、PAS による腰痛予防介入の有効性を科学的に検証するための基盤整備を行い、姿勢推定技術、体力評価データ、導入手順の構築に取り組んだ。これらの取り組みを通じて、以下の 3 点について重要な

示唆が得られた。

(1) アシストスーツ導入判断における定量的基準の確立可能性

これまでアシストスーツの導入は、使用者の主観的負担感や作業種別に基づく判断に留まることが多かったが、本研究では姿勢推定 AI による作業負荷の定量化と、体力測定に基づく腰痛耐性の評価により、作業負荷と身体能力の不均衡に基づいた客観的な導入判断基準の構築が可能であることが示された。

特に、関節座標の欠損を補間する隠れ補正技術により、遮蔽環境でも高精度な作業姿勢推定が可能となり、現場適用性の高い定量評価ツールとしての実用化が見込まれる。

(2) アシストによる身体機能維持と疾病予防の両立

体力測定と腰痛リスクの解析により、加齢に伴う体力低下が腰痛発症のリスク因子であることが実証され、作業負荷がその体力耐性を超過する状況下でのアシスト介入が合理的であることが確認された。

また、「軽労化」理念に基づき、作業負荷に応じた選択的補助を行うことで、身体を“甘やかす”ことなく、適度な運動負荷を維持しつつ疾病リスクを回避するという、PAS の適正利用と身体機能維持の両立が実現可能であることが示唆された。

(3) 軽労化アシストの概念に則った介入設計の社会的意義

On the Job Exercise の実装により、作業そのものを健康維持・促進の契機

とする支援設計が可能となる。

これは、単に身体的負担を軽減するだけでなく、作業を通じて働き続ける力を維持するという予防医学的観点からも重要であり、介入技術としての PAS が、高齢化社会における労働持続性の確保や産業現場の人的資源維持に寄与する可能性を示している。

## D. 結論

本研究分担では、パッシブ型アシストスーツ (PAS) による腰痛予防対策の科学的有効性を検証するための準備段階として、RCT 実施に向けた基盤整備を行った。運送業における作業特性と実用性を考慮し、ゴム素材を用いた柔軟構造を持つ 3 種類の PAS を選定した。また、姿勢推定 AI と独自の隠れ補正技術を組み合わせた作業姿勢の可視化手法を開発し、実環境においても高い推定精度を確認した。

加えて、建設・土木作業者の体力測定データと腰痛歴の解析により、体力と腰痛リスクの定量的関係が明らかとなり、作業負荷と体力の不均衡に対して PAS を適切に適用する導入判断基準の妥当性が示された。さらに、軽労化の理念に基づき、体力の範囲内では作業による身体機能の維持を促しつつ、リスクが高い場面においてのみ補助を介入させる「On the Job Exercise」の運用戦略を整理した。

これらの成果により、PAS 導入の合理性と有効性を裏付ける定量的根拠を得るとともに、RCT に向けた評価手法、対象者選定基準、適用条件の整備が進展した。今後は、実作業環境における PAS 介入の長期的効果を検証するとともに、得られた知見を

Minds 参照型ガイドラインの策定に活用していく予定である。

## E. 研究発表

### 1. 発表論文

該当無し

### 2. 学会発表

1. 田中, ほか, 腰痛予防対策アシストツールの介入方法整備に関する基礎的知見, 日本労働科学学会 第 5 回年次大会 (2024).
2. 田中, ほか, 建設・土木作業員の腰痛に関わる体力測定項目の検討, 第 31 回日本産業衛生学会 作業関連性運動器障害研究会 (2024).
3. 田中, ほか, 姿勢推定 AI と隠れ補正技術による狭小空間での作業姿勢分析, 日本人間工学会第 66 回大会 (2025).

## F. 知的財産権の出願・登録状況

### 1. 特許取得

該当なし

### 2. 実用新案登録

該当なし

### 3. その他

該当なし