

# 作業姿勢分析システムの開発とその応用 Development of Work Posture Analysis System and Its Application

大竹 一世<sup>\*1</sup> 早川 貴英<sup>\*1</sup> 寒川 淳平<sup>\*1</sup>  
Kazutoki Otake Takahide Hayakawa Jumpei Samukawa

\*1 生技開発センター

## 要 旨

当社製造工程では、高齢者（50歳以上のメンバー）でも継続して働ける職場づくりのために、社内基準に基づく工程評価・改善に取り組んでいる。そこで、作業映像から作業者の2次元骨格を抽出し、さらに3次元化することで高精度に作業姿勢の辛さを自動評価できるシステムを開発した。これにより、従来の目視による手動評価と比較して評価工数を約85%低減し、大幅な効率化を実現した。

本記事では、今回開発した作業姿勢分析システムの内容とその応用事例について紹介する。

キーワード：作業姿勢、3次元化、工程改善、工数低減

## Abstract

In our manufacturing process, we are working on process evaluation and improvement based on internal standards to create a workplace where even older workers (members over 50 years old) can continue to work. To this end, we have developed a system that can automatically evaluate work load of posture with high precision by extracting a worker's two-dimensional skeleton from work video and further converting it to three dimensions. This system reduces the man-hours required for evaluation by about 85% compared to the conventional manual evaluation by visual inspection, and has achieved a significant improvement in efficiency.

This article introduces the contents of the newly developed work posture analysis system and its application examples.

Keywords: Work Posture, Three Dimensionalization, Process Kaizen, Reduction of Man-hours

## 1 はじめに

### 1.1 高齢化問題

近年、社会問題となっている労働者の高齢化は、当社においても深刻である。工場に製造に関わる技能職のメンバーの高齢者数が急増し、体力が低下する高齢者でも就労できる工程の数（高齢者の就労可能工程数）が大幅に不足することが予想されるため、継続的な工程改善が必要である（図1）。

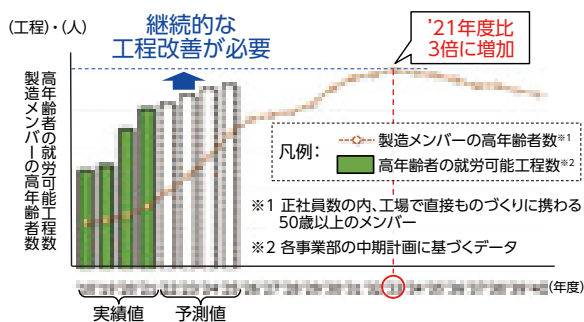


図1 高齢者数及び高齢者の就労可能工程数  
Fig.1 Number of Older Workers and Number of Workable Processes for Older Workers

### 1.2 高齢者の就労可能工程の認定方法

当社では、高齢者の就労可能工程を認定するために、安全健康推進部が定める作業姿勢・重量物取扱い基準（図2）に基づく工程評価を行っている。評価は主に「作業姿勢の点数化」と「姿勢重量点の算出」の2つで構成される。「作業姿勢の点数化」とは、作業者の腰と膝の角度から作業姿勢を分類し、辛さに応じて点数化することである。「姿勢重量点の算出」とは、点数化した作業姿勢をとった合計時間や重量物の重さから総合的に姿勢重量点を算出することである。評価者は、姿勢重量点調査票を使ってこれらの評価を行い、各工程の姿勢重量点を求める。姿勢重量点が20点未満であれば高齢者の就労可能工程と認定される。

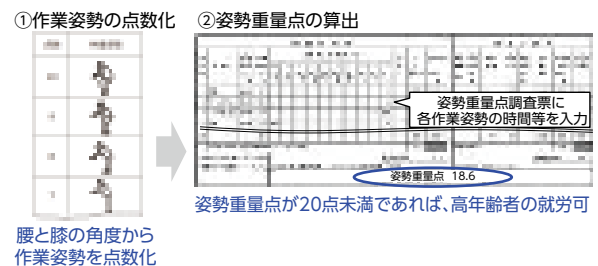


図2 作業姿勢・重量物取扱い基準  
Fig.2 Work Posture and Weight Handling Standards

### 1.3 工程評価の問題点

当社のL&Fカンパニーで行われていた工程評価の方法を図3に示す。評価者は、作業者をカメラで撮影し、その作業映像を繰り返し見て、腰と膝の角度を測定していた。しかし、目視による角度測定のため、測定精度は約±20度と大きなばらつきが生じていた。また評価工数は、10分の工程を評価するのに平均73分/工程かかっており、評価者の負担が膨大になっていた。

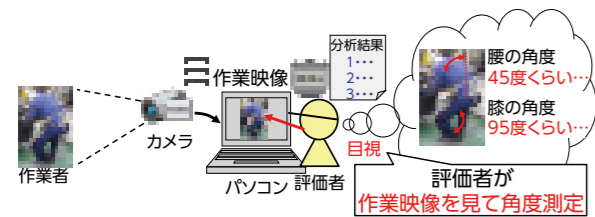


図3 L&Fカンパニーの工程評価方法(2019)  
Fig.3 Process Evaluation Method of L&F Company(2019)

その他の評価方法として、作業者の全身にセンサを取り付けるモーションキャプチャーを使う方法がある。測定精度は±5度と良く、作業者の周囲に遮へい物があっても問題なく測定できるメリットがある反面、センサの着脱や調整の工数は約45分/工程を要し、作業者の負担が大きかった。そこで、映像分析の技術を活用し、精度、効率よく作業姿勢を分析できるシステムの開発に取り組み、工程評価の工数低減を目指した(図4)。

評価方法	目視	モーションキャプチャー	映像分析
イメージ概要	目視測定 作業映像 評価者 ストップウォッチ 作業映像を繰り返し見ながら測定	モーションキャプチャー (全身にセンサ取り付け) 作業者 ワイヤレス パソコン 受信機 モーションキャプチャー-監視測定	作業映像 入力 結果 評価者 パソコン 出力 システム 作業映像を入れるだけ
性能	関節角度 測定精度 約±20度	±5度	±10度
評価工数	73分/工程	45分/工程	10分/工程
備考		当社所有品にて確認	今回開発

図4 評価方法毎の性能  
Fig.4 Performance of Each Evaluation Method

## 2 作業姿勢分析システム

### 2.1 着眼点と課題

作業映像から自動で作業姿勢を分析するために、2017年頃より普及し始めた映像から人物の骨格を抽出するデジタル技術を取り入れている。当初、人物の骨格から腰と膝の角度測定をするこ

とで作業姿勢を分析できると考えたが、精度よく角度測定するには作業者を真横から撮影する必要があった。実際の製造現場で検証してみると、常に真横から撮影し続けることは難しく、人物の骨格から高精度に角度測定をするアルゴリズムが必要であった(図5)。



図5 角度測定の課題  
Fig.5 Issues of Angle Measurement

### 2.2 方策

今回開発したアルゴリズムとシステム構成を図6に示す。

アルゴリズムの特長は、作業映像から2次元の人物骨格を抽出した後、体の向きを考慮して3次元化することで、腰と膝の角度を高精度に測定できる点である。この工夫により、作業者を撮影する際に一定の制約条件(横や斜め横から撮影する等)はあるものの、測定精度±10度での角度測定が可能になった。角度測定後、作業姿勢の点数化を行い、身体的負荷を自動で評価する。

またシステム構成は、作業映像を所定フォルダにコピー&ペーストで入れるだけで、姿勢重量点調査票等の分析結果が自動作成されるようにした。各工場のパソコン端末から、いつでも誰でも簡単操作で使用できるようになり、評価工数を10分/工程に低減できた(従来比85%減)。

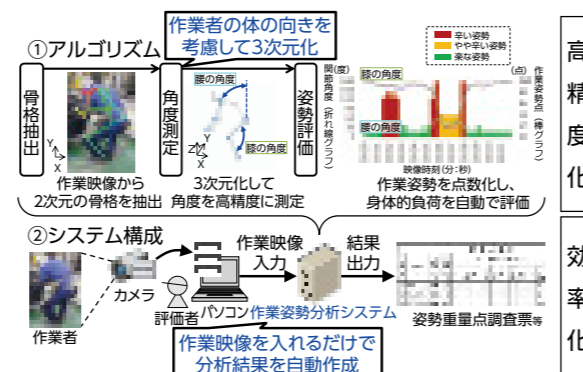


図6 アルゴリズムとシステム構成  
Fig.6 Algorithm and System Configuration

このようなアルゴリズムとシステム構成により、姿勢分析の高精度化と効率化を両立した。

### 2.3 分析結果

自動作成される分析結果を下記に示す。

#### 1) 映像

作業姿勢が分析された映像が作成される(図7)。左側には2次元の骨格抽出結果、右側には正確な角度測定のために3次元化した骨格データ、下側には作業姿勢点と姿勢名称の字幕を表示している。字幕の色は緑・黄・赤で色分けしており、姿勢が辛くなるに従って黄や赤で表示することで、作業の様子を見ながら辛い姿勢をとった箇所を確認できる。

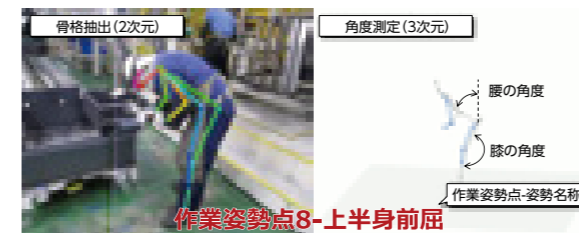


図7 分析結果(映像)  
Fig.7 Analysis Result (Video)

#### 2) グラフ

横軸に映像時刻、縦軸に腰と膝の角度と作業姿勢点を示したグラフが作成される(図8)。作業姿勢点を示す棒グラフにより、辛い姿勢をいつ、どれだけの時間とったかが可視化され、改善すべきポイントが一目で分かるようになっている。

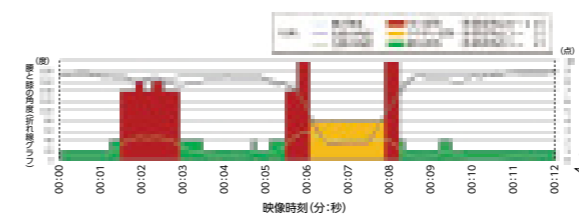


図8 分析結果(グラフ)  
Fig.8 Analysis Result (Graph)

### 3) 姿勢重量点調査票

これまで評価者が全て手入力で作成していた姿勢重量点調査票が自動で作成される(図9)。これにより姿勢分析後に行う帳票作成作業を効率化している。

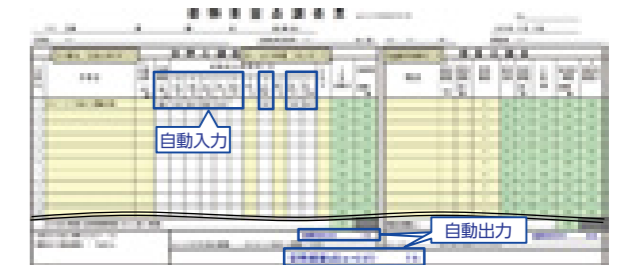


図9 分析結果(姿勢重量点調査票)  
Fig.9 Analysis Result (Posture-weight Score Questionnaire)

### 2.4 製造現場特有の問題と対策

本システムの開発は、当初よりL&Fカンパニー及び自動車事業部と協力し、アジャイル開発にて進めてきた。実際に製造現場でシステムを活用した際に発生した問題とその対策の例を下記に示す。

#### 1) 複数人の映り込み

複数人が並んで作業を行う工程等では、撮影中に評価対象者(評価すべき作業員)以外の人が映像に映り込み、その人数分の骨格が抽出される。そのため、どれが評価対象者か特定できず正常に姿勢分析ができない問題が発生した。対策として、人の位置や大きさ等から、評価対象者のみを自動で特定するアルゴリズムを追加して、複数人の映り込みに対応した(図10)。

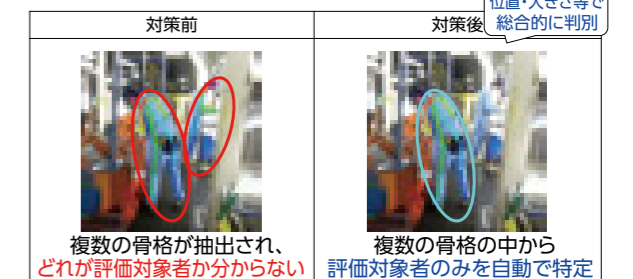


図10 評価対象者の特定アルゴリズム  
Fig.10 Algorithm for Identifying Evaluation Target Person

#### 2) 評価対象者の遮へい

作業環境によって、1台のカメラでは評価対象者がワークや設備で遮へいされ、正常に姿勢分析ができない問題が発生した。対策として、複数台の

カメラでそれぞれ別の方向から撮影し、評価対象者の全身が映っている作業映像を自動的に選択・統合するアルゴリズムを追加し、評価対象者の遮へいに対応した。

なお、車両内に入り込んで作業を行うような一部の工程では、複数台のカメラを用いても評価対象者の全身を撮影することが難しい。その際は、当社所有のモーショキャプチャーを用いる等、現場の状況に応じて使い分けて運用している。

### 3 システム運用結果

#### 3.1 利用実績

2020年7月の社内利用開始後、高年齢対応以外の工程評価・改善でも利用され、評価件数は2021年度で1367件、そのうち工程改善まで行われた件数は約80件あった。評価時間に換算すると、1754時間相当を削減できた。

また利用者のアンケート結果より、システムの利用用途は、辛い姿勢の見える化が最も多く、次いで工程改善前後の姿勢比較や姿勢重量点調査票の作成等があった(図11.②)。その他、利用者の声として「本人も気づきにくい年齢的な体力低下を考慮し、作業環境を改善できた」や「モーショキャプチャーよりも作業者の負担が少なくて良い」等、好評である。

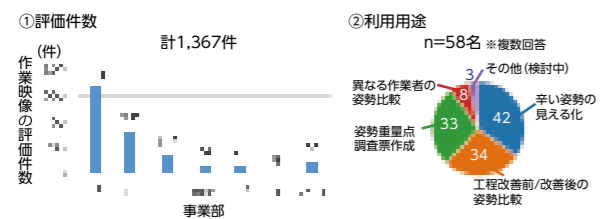


図11 システムの評価件数と利用用途  
Fig.11 Number of System Evaluations and Uses

#### 3.2 工程改善への活用例

L&Fカンパニー製造部の溶接仕上げ・検査工程は改善前、姿勢重量点24.7点(基準の20点以上)で、高年齢者の就労不可工程であったが、分析結果からしゃがみ姿勢での作業が多いことが判明したため、椅子を活用することで楽な着座姿勢に改善した。改善後は、姿勢重量点19.3点(基準の20点未満)となり、高年齢者の就労可能工程となった(図12)。



図12 システム活用による工程改善事例  
Fig.12 Example of Process Kaizen by System Utilization

## 4 システム応用事例

### 4.1 市販の作業分析ソフトとの連携

当社では、作業の効率化や生産性向上のために市販の作業分析ソフトも活用している。今回はとくに、OTRS(ブロードリーフ社製ソフト)を組み合わせて利用したいというニーズがあり、中間ファイルを生成してデータの受け渡しができる仕組みを構築した(図13)。OTRS上で作業姿勢の分析が可能となる他、OTRSの機能を活用することで作業姿勢・要素作業を合わせた標準作業組合せ票を作成することも可能となり、工程改善の検討がしやすくなった。

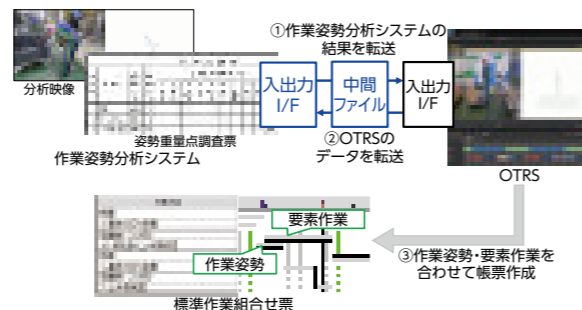


図13 OTRSとの連携イメージ  
Fig.13 Image of the Linkage with OTRS

### 4.2 作業映像検索サイト「STube」の制作

作業姿勢分析システムが全工場で活用され始めたことにより、各工程の改善前、改善後の作業映像が自動的に蓄積されるようになったため、それらを検索・閲覧できる作業映像検索サイト「STube」を制作し、運用している(図14)。これまで工場見学等でしか見る機会がなかった他工場の工程・作業を、各工場のパソコン端末から手軽に見られるようにして、改善のヒント発見による工程改善のスピードアップと活性化を図っている。

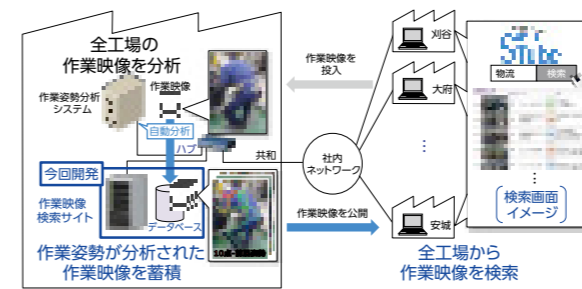


図14 作業映像検索サイト「STube」の構成  
Fig.14 Configuration of the Work Video Search Site「STube」

また単に作業映像を検索して閲覧できるだけでなく、映像内の物体の種類や位置を検知する技術を取り入れ、骨格抽出の技術と組み合わせることで、映像中から見たい作業箇所へジャンプ再生できる機能を開発した(図15)。本機能により、時間の長い作業映像でも、効率よく短時間で内容を確認できるようになった。

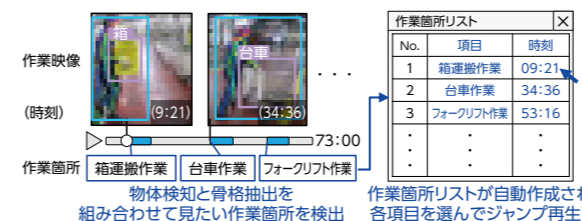


図15 見たい作業箇所へのジャンプ再生機能  
Fig.15 Jump Play Function to Points of Interest

### 4.3 姿勢比較アプリの制作

作業映像から作業者の2次元骨格が抽出できる技術を応用し、2つの映像と骨格の重ね合わせ表示ができる姿勢比較アプリも制作している。製造現場だけでなく、当社女子ソフトボール部でも活用されており、日々のコンディション毎にデータを蓄積し、分析している(図16)。監督や選手からは「修正すべき点の議論がしやすい」、「好調時の自分自身や、参考にしたい選手とのフォーム比較がしやすい」と好評である。



図16 姿勢比較アプリの女子ソフトボール部応用  
Fig.16 Women's Softball Team Application of Posture Comparison App

## 5 まとめ

製造現場のニーズに応じてデジタル技術を活用し、作業映像から作業姿勢を分析できるシステムを開発した。さらに、蓄積される作業映像を活かした検索サイトや姿勢比較アプリの制作を順次進めている。

今後とも利用者のニーズに基づく機能改良を継続しながら、海外拠点への展開を検討していく。また骨格抽出や物体検知等の技術を作業の異常検知等にも活用し、誰でも安全で快適に働ける職場づくりを支援する取り組みを継続していく。

## ■ 著者紹介 ■



大竹 一世

早川 貴英

寒川 淳平

### 開発の経緯と開発者の思い

本開発は、製造現場で姿勢評価を行っている担当者から困りごとを聞き、映像から人物骨格を抽出するデジタル技術が活用できそうと考えて開発を始めました。しかし、実際の現場で応用してみると作業者を常に真横から撮影ができない、他者が映り込む等、問題が多発しました。本稿で述べたような1台の汎用カメラで撮影した人物の2次元骨格を3次元化し、腰と膝の角度を測定して姿勢分析ができるシステムの実例はまだ少なく、実際に製造現場で使えるレベルにするために、各工場の担当者と一緒に精度向上やシステム改良に取り組んできました。新技術をただ取り入れるだけでなく、現地現物で課題を洗い出し、地道に改良を重ねる大切さを改めて学ぶことができ、とても良い経験になりました。本取り組みを通じて各工場の工程評価・改善の活動をさらに活性化し、安全で快適な職場づくりに貢献していきます。