

特集：DX/AIの活用

06

## 働きやすい製造環境構築に向けた作業負荷評価技術の開発

## Development of Ergonomics Evaluation Technology for the Construction of a Comfortable Working Environment

木村 美昭<sup>\*1</sup> 丸茂 夏洋<sup>\*2</sup> 松岡 光子<sup>\*3</sup>  
Yoshiaki Kimura Natsuhiro Marumo Teruko Matsuoka

## 要約

近年の少子高齢化への対応は、マツダにおいても重要な課題の一つである。無理なく安全に働ける製造環境整備をねらいとし、工程の作業負荷を定量的かつ効率的に評価・管理する仕組みを構築する。そのために、作業者の骨格を推定するAIを用いて作業姿勢をデータ化し、エルゴノミクス（人間工学）に基づいて身体的作業負荷を自動的に評価する作業負荷評価システムを開発した。また生産工程の課題を共有し、問題の未然防止を実施するため、作業姿勢データと負荷評価の結果を一元管理するネットワークシステムを構築した。これらのシステムによって、安全で働きやすい製造環境実現の土台作りを行った。

## Abstract

The recent aging society and declining birthrate is one of the most important issues for Mazda. Aiming to develop a manufacturing environment where workers can work safely and without strain, we have established a structure to evaluate and manage workloads correctly and efficiently. For this purpose, we used AI to estimate the worker's skeletal structure and to convert his/her working posture into data, we developed a workload evaluation system that automatically evaluates physical workload based on ergonomics. In addition, to share issues in the production process and prevent problems before they occur, a network system was established to centrally manage work posture data and load evaluation results. These systems laid the foundation for realizing a safe and easy-to-work-in manufacturing environment.

**Key words** : Human engineering, Production • manufacture, Image recognition system, Fatigue/burden, AI, Pose estimation, Ergonomics evaluation

## 1. はじめに

近年、少子高齢化により、国内の労働人口は年々減少しており、2040年には2020年比で約20%の労働人口が減少することが予測されている<sup>(1)</sup>。そうした背景を受け、作業環境の改善対応は重要な課題の一つである。マツダでは、ロボットやIoT (Internet of Things)、AI (人工知能) などの技術を取り入れることで、組み立て作業などに対して、省人化対策や効率改善といった負荷軽減に取り組んでいる。

そうした中で、マツダで多く採用している多品種混流生産では、さまざまなボディタイプや車格・仕様・装備の違いに加え、近年の先進安全装備や、お客様のニーズに応じたさまざまな機能に応えるため装着する部品種類を増やしている。そのため作業者の多能工化の必要性

が高まり、作業者の高度なスキルや練度に依存している部分が多くなってきた。工程の自動化が進んでいるのは、人手の対応が困難な重量物搭載工程や接着剤塗布工程など一部の工程に限定されている。そのため、組立作業領域は、人が中心の労働集約的な工程となっている。

そうした背景からマツダは、人が無理なく働き続けられる製造環境の構築を目指している。このような製造環境を実現するためには、生産工程での作業負荷を正しく把握し、作業中の人体の姿勢を定量的に把握することが不可欠となる。

その取り組みとして、AIによる骨格推定技術を活用して作業中の姿勢を定量的に測定し、姿勢の状態から作業負荷を評価するシステム開発した。また、測定した作業内容と負荷評価の結果を一元管理して共有することを目的としたサーバーシステムの構築に取り組んだ。

\*1~3 車両技術部  
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

本稿では、このような無理なく安全に働ける製造環境整備に向けた取り組みについて紹介する。

## 2. 課題と活動 STEP

現在、マツダではエルゴノミクス（人間工学）に基づいて、作業負荷評価を行っている。この作業負荷評価は、生産工程での直接作業の中から重量物の取り扱いや難姿勢といった負荷の高くなる要素作業を目視で確認し、作業時間に応じて負荷の大きさを評価する手法である。

しかしながら、この方法では作業姿勢の定義を目視判定に頼っているため、評価者によって評価結果にばらつきが生じてしまう。また、職場内の工程数と混流生産の種類数の掛け合わせにより、評価対象数が多くなるため、非常に時間がかかる。そのため、生産工程での作業の負荷を正しく把握するためには、定量的かつ効率的に作業負荷を評価できる仕組みが必要となる。

また現在、作業負荷の評価結果は、各工場の部門ごとに集計されている。そのため、工場間をまたがった一元管理ができておらず、問題があった場合の対策はその職場の工程のみに限定される。その結果、他工場での類似作業で問題が再発してしまう課題があり、問題の未然防止が出来ない仕組みとなっている。生産工程の作業内容と作業負荷の評価結果を紐付け、関係部門全体で課題を共有できる仕組みを構築する必要がある。

本取り組みでは、以下の活動 STEP に基づいて課題解決に取り組んだ。

### ■ STEP1: 生産工程の作業負荷評価の効率化

AI により骨格推定を行い作業負荷の評価を自動化し、評価時間を大幅に短縮するとともに、より正確に評価する。

### ■ STEP2: 生産現場における課題の共有

ネットワークサーバーに作業負荷評価システムを構築し、その作業負荷評価結果をネットワークサーバー上に保存することで、工場や生産現場によらず、共通のデータベース上で一元管理を行う。

## 3. STEP1: 生産工程の作業負荷評価の効率化

### 3.1 作業負荷評価システムの概要

現状の生産工程での作業負荷を正しく把握する仕組みが必要である。そこで画像や動画の画面にいる人物の骨格を推定する AI 技術を活用することで、生産工程の作業の様子を撮影した動画から作業者の骨格を推定し、負荷の高い姿勢を算出するシステムを考案した。

特に「手を上げて行う作業」・「腰を曲げる作業」・「膝を曲げる作業」を負荷の高い姿勢と位置づけ、負荷評価の対象とした。これらの負荷の高い姿勢は、各関節の曲げ角度に閾値を設け、推定された作業者の骨格情報から算出した。

そして作業全体から負荷の高い姿勢を行っている時間をカウントし、合計作業時間に基づいて作業性の OK/NG の判定を行っている。一連の評価フローを Fig. 1 に示す。

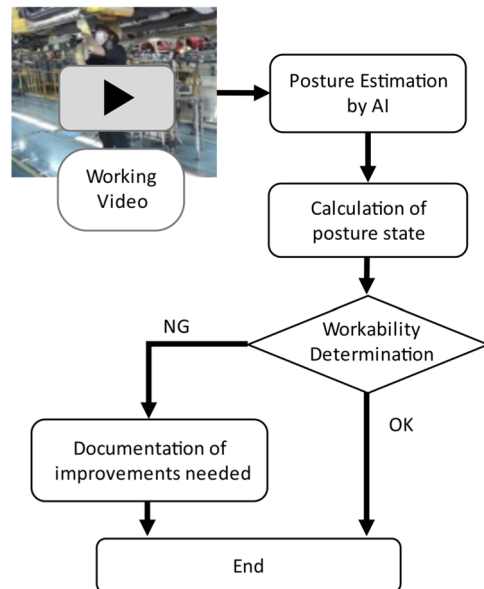


Fig. 1 Evaluation Process

このシステムによって、これまで手作業で評価していた膨大な数の評価対象の工程に対し、動画を撮影するだけで自動かつ一定の基準で評価することができるようになった。本システムは負荷の高い姿勢の評価を目的としているが、今後は作業者が保持するツールや荷物による「重量物の取り扱いに起因する作業」の評価についても機能拡張を計画している。

### 3.2 姿勢状態の算出

負荷の高い姿勢状態の算出を行うにあたり、オープンソースソフトウェアの機械学習モデルによる骨格推定を行う AI 技術を活用している。この骨格推定の AI は、動画の構成する一つ一つのフレームごとに、作業者の肩やひじ・腰・膝などの骨格の特徴点を推定する。そして各特徴点の座標値（≒位置情報）を、フレーム順の時系列データとして出力する。

このようにして得られた各特徴点の座標値を用いて、作業者の姿勢状態を算出した。右手を上げた状態を算出する場合の例として、右肩の位置 (A) と右ひじの位置 (B) からなるベクトルの角度 (C) を求めることで、手の上がり角度を算出する (Fig. 2)。

同様の考え方で「腰を曲げた作業」や「膝を曲げる作業」についても、各関節の曲げ角度から姿勢状態を算出した。

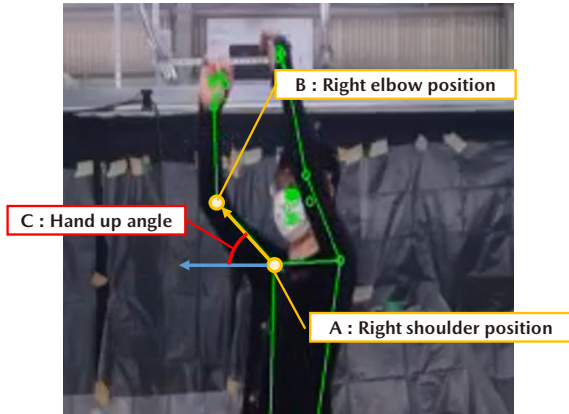


Fig. 2 Calculation of Posture Status

3.3 作業負荷評価

上記で算出した姿勢状態をフレームごとの時系列データとして出力し、時系列データを通して作業負荷評価を実施することで、作業性のOK/NGの判断をしている。手を上げた状態を例に挙げると、手の上り角度の姿勢状態の時系列データの中で、肩の高さを超える角度となった場合は「負荷が高い状態」とする閾値設定を行う (Fig. 3 上段)。時系列データ全体に対して「負荷の高い状態」の時間をカウントし、作業時間全体に対する負荷の高い作業時間の割合が一定の基準を超えた場合、作業負荷が高いと見なして作業性をNGと判定する (Fig. 3 下段)。

また手を上げる作業以外にも、同様の考え方で体幹の姿勢や、中腰や着座など下肢の状態など負荷の高い作業の負荷評価機能を具備する。

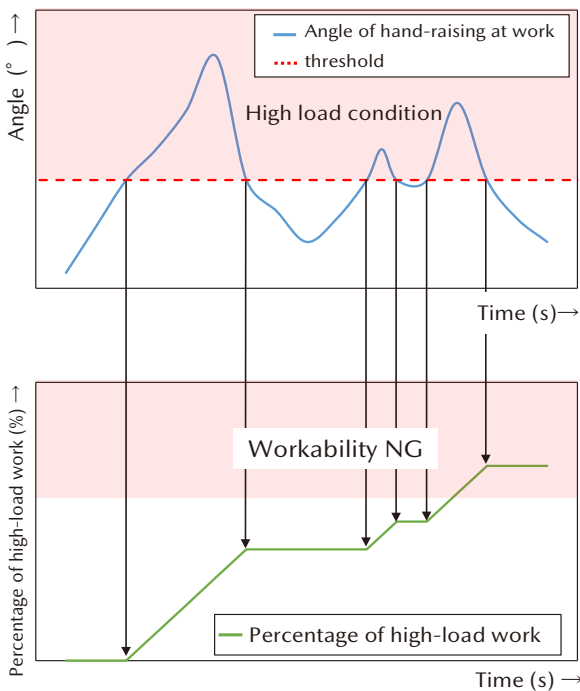


Fig. 3 Calculation of Workload

3.4 生産現場での負荷評価システムの機能評価

生産工程の作業動画から負荷評価を行うシステムの開発を行い、当初の目標である「定量的かつ効率的に作業負荷を評価できる」仕組みを構築した。次に生産ラインにおいて、負荷の高い姿勢を伴う作業のある生産工程を対象に、開発したシステムの先行導入トライアルを行った。また実際の利用者の視点から運用上の要望や表示など機能面での要望を抽出するため、開発したシステムの運用は、IT ツールへの特別な知識をもたない工場スタッフとした。対象となる工程は、網羅性を確保するため、内装及び下回り配管作業主体のトリムゾーン、エンジンや足回り作業主体のシャーシゾーン、最終組み立てのファイナルゾーンの3ゾーンとした。

先行導入トライアルの結果、背景や撮影アングルなど適切な条件を定めた上で作業動画を撮影することで、従来のエルゴノミクス評価と同程度の評価精度を確保することができ、生産現場でも十分利用可能であることがわかった。

更に、工場スタッフからの表示や操作性に関する要望も抽出ができた。例えば、負荷が高い姿勢状態の場合には、動画上に赤く表示するなどがあり、その要望を受けて表示機能の改善を行った。「手を上げて行う作業」・「腰を曲げる作業」・「膝を曲げる作業」のそれぞれの作業の負荷の高い状態を検知し、動画上に赤く描画している様子を Fig. 4, 5, 6 に示す。また、一度の指示で多数の動画を評価できるようにするなどの要望があり、工場スタッフの要望に応じた機能追加を行った。

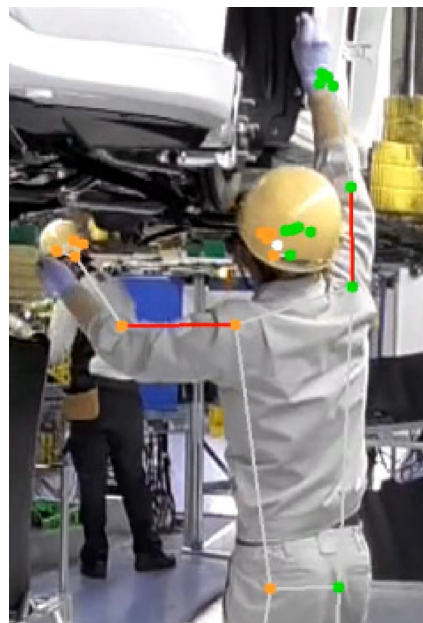


Fig. 4 Evaluation Trial (Upper Limb)

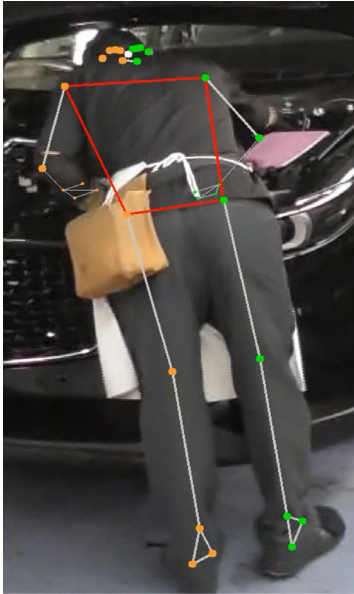


Fig. 5 Evaluation Trial (Body Trunk)



Fig. 6 Evaluation Trial (Lower Limb)

## 4. STEP2: 生産現場における課題の共有

### 4.1 負荷評価システムのネットワーク化

次に、評価結果を一括管理して生産現場の課題を共有することを目的とした、負荷評価システムのネットワーク化について紹介する。

先述のとおり、作業負荷の評価結果は生産現場の各部門で集計されている。そのため、工場や部門間にまたがった一元管理ができておらず、問題が発生しても他工場や部門で再発する可能性のある管理構造となっていた。

そこで負荷評価システムを、ネットワーク上のサーバーで稼働させる取り組みを実施している。これにより、これまでは生産現場の各職場で行っていた作業の負荷評価を、サーバー上の負荷評価システムにて自動で実施し、関係部門全員が作業内容と負荷評価結果を共有できるシステムを構築した (Fig. 7)。

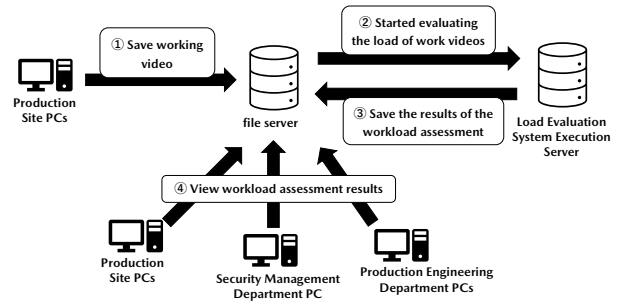


Fig. 7 Overview of Network Infrastructure

## 5. おわりに

本取り組みでは、作業の動画データから作業者の作業姿勢を算出して、身体的負荷を自動で評価する負荷評価システムを開発した。これにより、従来は人手に頼っていた目視による作業姿勢の測定及び、身体的負荷の評価が自動化され、評価時間を大幅に短縮するとともに、より正確に評価することが可能になった。

また作業負荷評価をネットワークサーバー上で実施することで、姿勢状態の時系列データと負荷評価結果を紐付けて一元管理するシステム構築の目途がたった。

引き続き、より安全で働きやすい製造環境づくりを目指して、トータル改善活動を行っていく。

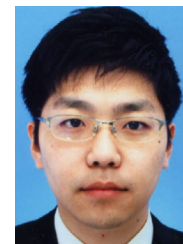
## 参考文献

- (1) 内閣府：“第1章 高齢化の状況 (第1節 1)”，2024-07-22，高齢社会白書，[https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2020/html/zenbun/s1\\_1\\_1.html](https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2020/html/zenbun/s1_1_1.html)，(参照 2024-08-26)

## ■ 著 者 ■



木村 美昭



丸茂 夏洋



松岡 光子