

奥村誠司\*  
Seiji Okumura  
草野勝大\*  
Katsuhiko Kusano  
清水尚吾\*  
Shogo Shimizu

五味田 啓\*  
Kei Gomita  
櫻井智史†  
Satoshi Sakurai

# 作業分析ソリューション“骨紋”

"KOTSUMON" : Solution for Work Analysis

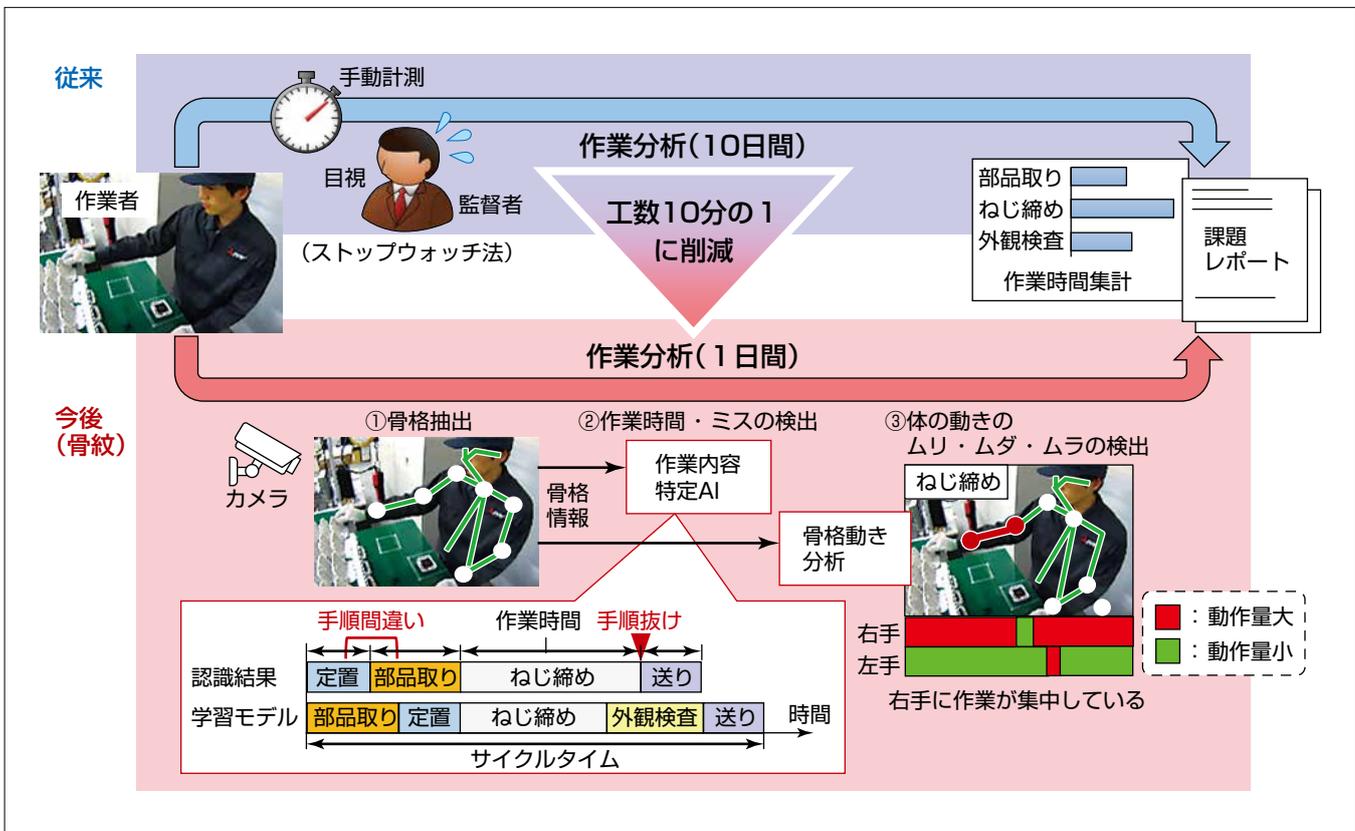
## 要 旨

製造現場では、人手作業の生産性を改善するために、作業時間のばらつき、作業ミス、ムダな動作などの問題点を抽出している。しかし、監督者が目視で作業時間の計測や作業ミス・ムダの有無確認を行っていたため、問題点の抽出に膨大な時間を要していた。また、監督者の経験の差によって抽出する問題点にばらつきがあった。

そこで、三菱電機は独自のAI(Artificial Intelligence)技術“Maisart”による作業分析ソリューション“骨紋”を開発した。骨紋はカメラ映像から抽出した作業者の骨格情報を分析することで、作業時間の計測やムダな動作の検出を

自動化し、問題点の見える化を行う。作業時間の計測では、骨格情報からAIで作業手順を認識し、作業時間を計測する。ムダな動作の検出では、“動作経済の原則”に従って骨格情報を評価し、効率的な作業ができていないかという観点でムダな動作を検出する。問題点の見える化では、作業時間のばらつきやムダな動作の可視化によって、監督者の経験に依存しない問題点の抽出を可能にした。

これによって、監督者の作業分析の工数を10分の1に削減するとともに、問題点の抽出のばらつきを抑制した。今後は、実用化に向け、当社工場で検証を重ねていく。



## 作業分析ソリューション“骨紋”のイメージ

カメラ映像から抽出した骨格情報で動作を特定する作業内容特定AIによって作業手順を認識し、作業時間の計測と作業ミスの検出を行う。また、骨格動き分析によって体の動きのムリ・ムダ・ムラを検出できる。1日分の作業を分析する場合、従来10日間かかっていた作業分析の工数が、“骨紋”を適用することで1日までに削減できる。また、監督者の経験の差によって生じる問題点の抽出のばらつきを抑えることができる。

## 1. ま え が き

近年、労働者人口の減少を背景に製造現場ではロボットの導入による作業の自動化が進んでいるが、依然として人手作業が多く存在している。人手作業は複雑な作業が可能である反面、作業者ごとの熟練度に依存して作業時間や品質にばらつきが生じやすく、生産ラインでのボトルネックになりやすい。人手作業の生産性を改善するための取組みとして、従来は監督者が目視で作業を確認して作業時間を手動計測するストップウォッチ法が主流であった。しかし、監督者の負担が大きいことや、計測に膨大な時間・工数を要することが課題であった。さらに、監督者の経験の差によって抽出する問題点がばらつくことも課題であった。この課題に対して、当社はAI技術Maisartを用いた作業分析ソリューション“骨紋”を開発した。

本稿では、骨紋の仕組みや、検証結果と今後の展望について述べる。

## 2. 作業分析ソリューション“骨紋”の仕組み

作業分析ソリューション“骨紋”は、カメラ映像から抽出した作業者の骨格情報をAIで分析することで、作業時間の計測や作業ミス・ムダ動作の検出を自動化する。これによって、当社工場での検証では、作業分析の工数を10分の1に削減できた。“骨紋”を製造現場に適用することで、常時計測が可能になるため、問題点の抽出で、見逃しだけでなく、工程改善のポイントを定量的に把握できる。“骨紋”は“作業時間・手順分析技術”と“分析結果見える化技術”で構成されており、これらの技術によって作業分析の業務を省力化するとともに、監督者の経験の差によって生じる問題点の抽出のばらつきを抑制する。

### 2.1 作業時間・手順分析技術

作業時間・手順分析技術は、カメラ映像から抽出した作業者の骨格情報をAIで分析し、作業時間や手順を出力する。この技術は“作業内容特定AIの構築”“作業認識”“作業時間計測・手順分析”の三つの処理で構成される(図1)。

#### 2.1.1 作業内容特定AIの構築

作業内容特定AIは骨格情報から作業を認識するAIである。学習用の映像から骨格情報を抽出し、その骨格情報を実作業ごとに学習して作業内容特定AIを構築する。製造現場では、作業手順単位で作業を認識することが多く、作業手順ごとに骨格情報を学習させることで、現在の作業がどの作業手順なのかを認識する作業内容特定AIを構築できる。

通常、AIで動作認識する場合、数千から数万規模の学習サンプルが必要であるが、骨格情報は人の動きを最もよく表す特徴量であるため、“骨紋”では10サンプル程度の骨格情報で認識できる。

#### 2.1.2 作業認識

分析用の映像から抽出した骨格情報を作業内容特定AIに入力することで、作業者がどの作業手順を行っているか認識する。作業内容特定AIの構築時に、作業者の体格差を吸収できるように骨格情報を加工して学習させているため、作業手順が同じであれば、学習用と分析用の映像の作業者が異なる場合でも作業認識が可能である。

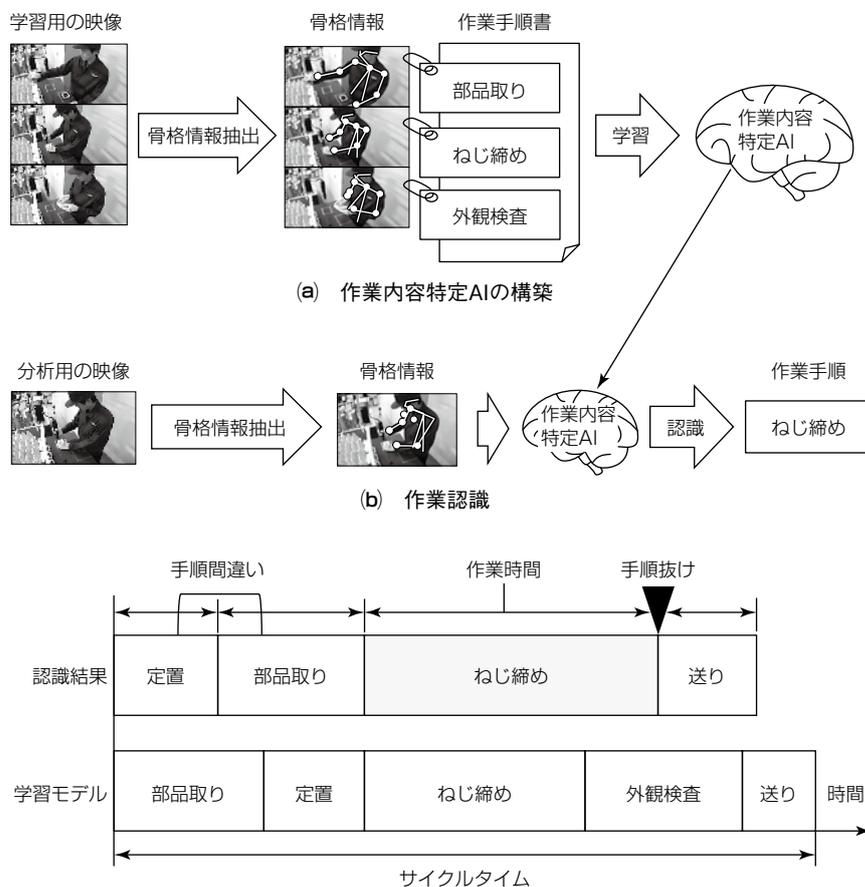


図1. 作業時間・手順分析技術

### 2.1.3 作業時間計測・手順分析

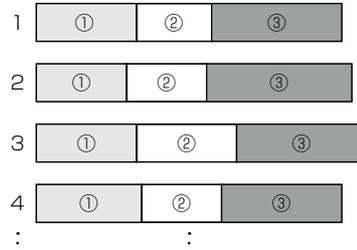
作業認識の結果を基に、同一の作業手順が連続した時間の長さから作業時間を計測する。各作業時間を合計したものがサイクルタイムとなる。また、作業認識の結果と学習モデルの作業手順を比較することで、手順間違いや手順抜けを検出する。しかし、異なる作業でも動作が類似していると、作業内容特定AIが間違った作業認識をしてしまう場合があり、作業時間の計測精度が低下する。そこで、学習モデルの作業手順を基に、誤り訂正技術を用いて作業認識結果を補正する。具体的には、作業手順の順番に整合性がとれない箇所を認識誤りとみなし、作業手順の連続性を考慮してもっともらしい作業手順に補正する。これによって、高精度な作業時間計測や手順分析が可能になる。



サイクルタイム：平均T秒，標準偏差S秒  
 ①作業手順A：平均XX秒，標準偏差xx秒  
 ②作業手順B：平均YY秒，標準偏差yy秒  
 ③作業手順C：平均ZZ秒，標準偏差zz秒

(a) 平均と標準偏差(ばらつき)

サイクル



(b) 全サイクルの時間



(c) 映像

図2. 時間分析向けの見える化イメージ

## 2.2 分析結果見える化技術

製造現場では、人手作業の生産性を改善するために、現状の様々なデータを計測して問題点を抽出し、改善方法を検討する。現状を計測する手法はメソッドメジャーメントと呼ばれ<sup>(1)</sup>、主に工程分析、作業分析、時間分析、動作分析に分けられる。これらの中で、2.1節で述べた作業時間・手順分析の結果や骨格情報などのデータは、時間分析と動作分析に活用できる。

この節では、時間分析、動作分析のための見える化について述べる。

### 2.2.1 時間分析のための見える化

時間分析は、作業時間が標準より長い／短い作業や、ばらつきの大きい作業を特定する手法であり、作業時間・手順分析の結果から算出した平均値とばらつきを見える化することで、特定を容易化できる。

作業時間・手順分析技術は、作業手順単位で分析できるため、この見える化では、作業手順単位及びサイクル単位で平均値と標準偏差(ばらつき)を算出し、図2(a)のように棒グラフなどで表示する。また、問題になるサイクルを直感的に把握できるよう、全サイクルの時間を棒グラフで表示する(図2(b))。さらに、監督者が問題になり得るサイクルや作業手順を確認できるように、指定したサイクルの映像を表示する(図2(c))。

### 2.2.2 動作分析のための見える化

動作分析は、作業の動作を細かくとらえてムリ・ムダ・ムラを特定するための手法であり、代表的な手法として、動作経済の原則、サブリック分析、PTS(Predetermined Time Standard)法などがある。これらのうち、動

作経済の原則を用いた手法には、作業者の身体動作に着目した手法がある。そこで、骨格情報の分析にこの手法を適用し、ムリ・ムダ・ムラの見える化を行う。

動作経済の原則は、“動作用能活用の原則”“動作量節約の原則”“動作法改善の原則”の三つの基本原則と、それらを具体化するための改善着眼で成り立っている。改善着眼には様々なものがあるが、身体動作に関するものとして、“不必要な動作を排除せよ”“動作は最適最低次の身体部位(末端部位)で行え”“作業域は作業に支障のない限り狭くせよ”がある。作業域とは、作業中に手先が動く範囲である。これらの改善着眼から、指先だけの動作で済むほど効率的な作業動作であり、逆に、肘、肩、上体、腰、体全体と、末端から離れた箇所が動く作業動作はムダがある可能性が高い。

この見える化では、これらの改善着眼を見やすくするために、上半身の左右それぞれで、肘・肩が動いていない(手首から先だけが動いている)時間帯、肘が動いている時間帯、肩が動いている時間帯を骨格情報から検出し、映像のタイムラインを時間帯で動作量に応じて色分けして表示する。図3(a)に色分けしたタイムラインのイメージを示す。

また、改善着眼にはほかにも“作業には両手を使用し、かつ両手は同時に動かし始め、同時に終わり”“両手は同時に、対称方向に動かせ”“休憩時間以外に手を休めてはならない”がある。これらの改善着眼を見やすくするために、手首が動いている時間帯と動いていない時間帯を検出し、映像のタイムラインをそれら時間帯で色分けして表示する。図3(b)に色分けしたタイムラインのイメージを示す。

一方で、動作の大きさや動作の有無をタイムライン上に見える化した場合、実際にどの程度大きい動作をしているか確認できるように、動作の範囲を静止画で空間的に表示する。具体的には、手首関節の移動軌跡を矢印で表現し、

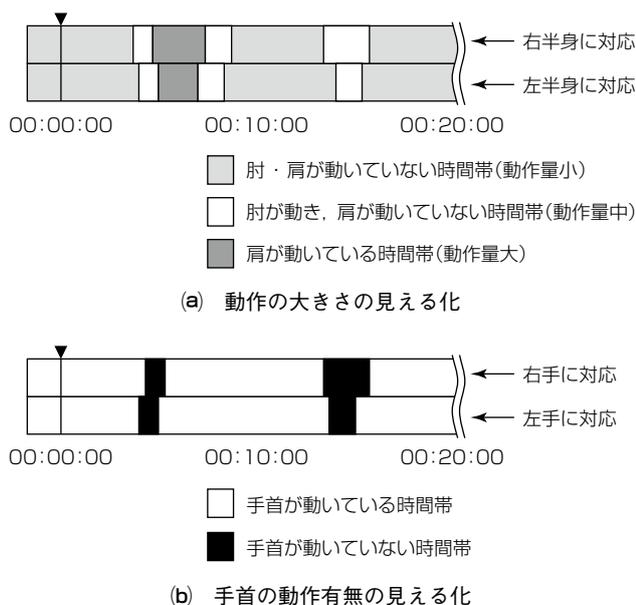


図3. タイムライン上での動作の見える化イメージ



図4. 静止画での動作の見える化イメージ

合わせて軌跡の長さを色で表現する。図4に、手首の移動軌跡を静止画で見える化した例を示す。

### 3. 作業時間の計測精度の検証

“骨紋”の有効性を確認するため、セル生産方式の製品組立て工程を模擬した環境でサイクルタイム計測精度を検証した。学習用と分析用の映像で作業者が異なる場合でも分析ができることを確認するために、作業員5人について映像を撮影した。作業は九つの手順で構成される製品組立て作業であり、平均的なサイクルタイムは約50秒である。学習用の映像は1人分とし、学習サンプルは最大10サイ

表1. 検証条件

大項目	小項目	内容
検証工程	作業内容	組立て工程
	サイクルタイム	約50秒
	作業員	作業員A～E(5人)
	作業手順数	9
撮影条件	解像度	1920×1080(フルHD)
	フレームレート	30fps
	ビットレート	5 Mbps
	映像長さ	約15分/人
検証条件	学習人数	1人分
	学習サンプル数	5～10サイクル

HD: High Definition

表2. 検証結果(サイクルタイム平均誤差)

学習/分析	A	B	C	D	E
A	0.09 (0.17)	0.34 (0.77)	0.04 (0.07)	0.48 (0.83)	0.92 (2.60)
B	0.19 (0.40)	0.37 (1.03)	0.10 (0.20)	0.41 (0.60)	0.62 (1.20)
C	0.09 (0.23)	0.33 (0.87)	0.07 (0.17)	0.69 (0.90)	2.26 (3.73)
D	0.39 (1.03)	0.48 (1.10)	0.14 (0.17)	0.11 (0.20)	0.84 (2.17)
E	0.24 (0.50)	0.48 (1.50)	0.19 (0.50)	0.28 (0.53)	0.63 (1.27)

単位: 秒, ( )内の数値は最大誤差を表す

クルにした。その他、詳細な検証条件を表1に示す。

検証結果(サイクルタイム平均誤差)を表2に示す。全体の平均誤差は0.43秒と小さく良好であった。しかし、作業員Eでは誤差が大きく、最大で3.73秒であった。作業員Eが作業に慣れておらず他の作業員と動作に違いがあったためと考えられる。

## 4. むすび

製造現場での作業分析の業務省力化を実現する作業分析ソリューション“骨紋”を開発した。

検証の結果、実用的な精度で作業時間を抽出でき、作業時間のばらつきが大きい作業の特定が可能になった。また、動作分析向けの見える化によってムダな動作の特定が容易になった。

これによって、従来10日間かかっていた作業分析の工数を10分の1の1日間に削減した。また、監督者の経験の差に依存しない問題点の抽出が可能になった。

今後は、実用化に向け、当社工場で検証を重ねていく。

### 参考文献

- (1) 吉本一穂, ほか: メソッドエンジニアリング, 朝倉書店 (2001)