

# 製造ライン向け映像解析ソリューション

松江将博\* 清水尚吾\*\*  
 齊藤弘紀\* 平松隆宏\*\*\*  
 磯貝元昭\*

## Video Content Analysis Solution for Manufacturing Line

Masahiro Matsue, Hironori Saito, Motoaki Isogai, Shogo Shimizu, Takahiro Hiramatsu

### 要旨

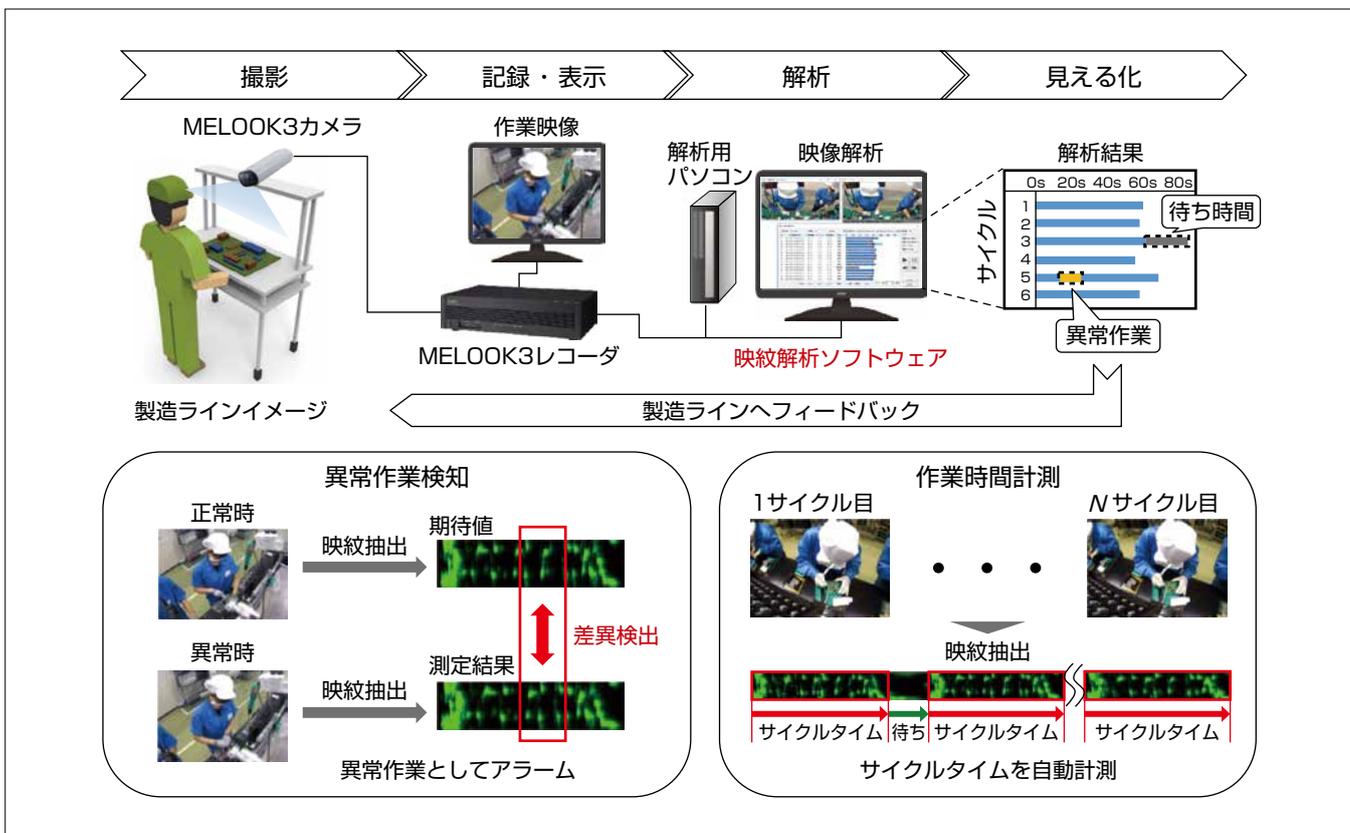
近年、生産性の向上を目的に、IoT(Internet of Things)機器やロボットによる自動化が進んでいる。しかしながら、人の手で組立てや検査等を行う工程も依然として数多く存在し、人為的な作業ミスによる品質低下や、作業者のばらつきによる作業効率低下などの生産性の課題がある。

三菱電機では、これらの課題に対し、映像解析(Video Content Analysis : VCA)技術を活用した取組みを進めている<sup>(1)</sup>。今回、当社のVCA技術である“映紋”を活用し、製造ラインの生産性改善に貢献する映像解析ソリューションを開発した。

映紋は映像の動きベクトル情報を基に算出した映像特徴量であり、作業動作に対して固有なパターンを生成できる。さらに解析時の映像特徴量の抽出における計算量を、従来

の画像処理手法に対し約65%削減(当社比)することで、解析のリアルタイム性を実現した。この映紋を映像ごとに生成して分析することで、正規の作業と異なる動きの有無を検知する“異常作業検知”や、同一作業パターンを検出・分析する“作業時間計測”が可能になり、作業分析結果を見える化できる。

さらに、これまで主に映像監視用途に展開してきた“MELOOK3システム”と組み合わせ、当社工場での実績を積み重ねることで、映像の撮影・記録から解析結果の提供までをカバーした製造ライン向けのトータルソリューションを実現した。今後もVCA技術を活用した製品・ソリューションを展開し、社会の安心・安全だけでなく、快適な社会の実現に貢献していく。



### VCA技術“映紋”を活用した映像解析ソリューションのイメージ

図は映像解析ソリューションのイメージを示している。製造現場に設置したMELOOK3カメラ<sup>(2)</sup>の映像をMELOOK3レコーダ<sup>(3)</sup>に記録・画面表示しつつ、映紋によるリアルタイム/オフライン解析を実施することで、異常作業検知や作業時間計測を自動化し、簡単に見える化できる。得られた解析結果から改善点を抽出し、製造ラインへフィードバックして作業改善につなげる。

### 1. ま え が き

近年、労働人口不足や、食の安全意識の高まり等を背景に、製造ラインの生産性改善や品質保全に対するニーズが高まっている。これに伴い、製造現場の監視や作業分析を目的としたカメラが設置されるケースが増えている。一方で、監視・分析者はカメラから送られる膨大な映像データを閲覧して対応する必要があり、効率化に向けたこれらの業務の自動化が求められている。

このような市場ニーズに応えるべく、当社ではVCA技術“映紋”を軸とした製造ライン向けの映像解析ソリューションを開発した。“映紋”の活用によって、製造工程の各作業時間の見える化や異常作業の検知を自動化し、監視・分析者の負荷軽減を可能にする。加えて、これまで監視・防犯向けの監視カメラシステムとして市場投入したMELOOK3シリーズと連携させることで、製造ラインへの設備導入から作業研究までを映像解析ソリューションとして提供できるようにした。

本稿では、製造分野の動向を踏まえつつ、VCA技術“映紋”による作業分析技術を軸に、MELOOK3システムを活用した映像解析ソリューションの当社工場での実証実験の結果や、今後の展開を述べる。

### 2. 製造分野の動向と課題

#### 2.1 製造分野でのIoT技術活用状況

2011年の“インダストリー4.0”(ドイツ)の発表以降、IoT技術を活用した製造業革新が注目を集めており、“コネクテッドインダストリー”(日本)、“中国製造2025”など同様のコンセプトを各国政府が打ち出している。

“インダストリー4.0”の中心は、IoT技術を用いて製造設備やセンサなどの工場内の機器を接続し、見える化や効率化を行うスマートファクトリである。当社では、スマートファクトリを実現するトータルソリューションとして“e-F@ctory”を2003年から推進しており、生産性・品質・安全性の向上などの付加価値を提供している。

スマートファクトリで、更なる効率化を進めるためには、モノの情報に加えヒトの情報の活用が重要となる。ただし、設備などのモノの情報はIoT技術によって比較的容易に収集可能であるが、作業者などヒトの情報を収集することは一般的に困難である。センサを用いてヒトの情報を収集する方法が考えられるが、接触型のセンサは作業者の肉体的・精神的負担が大きいため、画像センサなどの非接触型のセンサを用いることが望まれる。

製造業での画像センサの主な活用例として、製品の外観上の異常を検知する外観検査が挙げられる。従来の画像解析システムは、検知したい対象ごとにアルゴリズムを選択して組み合わせる必要があったのに対し、近年ではAI

(Artificial Intelligence)技術によって正解(良品)画像と不正解(不良品)画像を一定数用意して学習させることで、高い精度で検査を行うことが可能になっている。

このように、外観検査用途では多くの場合、静止画像を対象とするのに対し、スマートファクトリで必要なヒトの情報はヒトの様々な動きをセンシングする必要があるため動画画像が対象となる。動画画像は静止画像と比べて、解析のために多くの計算機リソースを必要とすることなどから利活用が遅れているが、画像センサからヒトの移動の軌跡を解析し、工場内配置の最適化に役立てるなどの活用が今後期待されている。

#### 2.2 製造分野での課題

スマートファクトリの実現に向け、最新技術の導入が進む一方で、製造業の現場では他の業種と同様に労働力の確保が大きな課題となっている。経済産業省の2017年版ものづくり白書によれば、現場力を維持・強化する上での課題として、57.1%の製造業企業が“人手不足によって人材の確保が難しくなっている”ことを挙げている(図1)。また、人材不足で最も重視する今後の取組みとして、21.7%の企業が“ITの活用や徹底した合理化による業務プロセスの効率化”を挙げている(図2)。

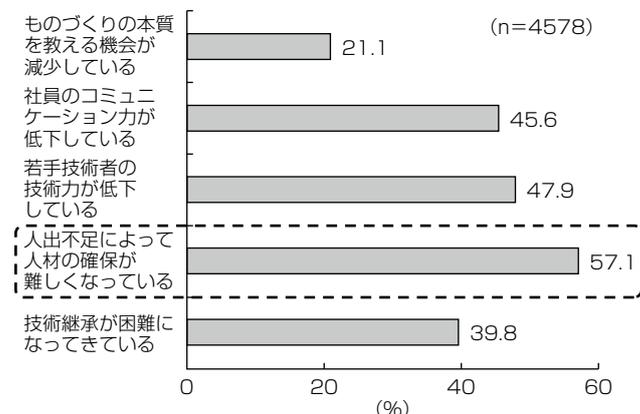


図1. “現場力”の維持・強化を図る上での課題<sup>(4)</sup>

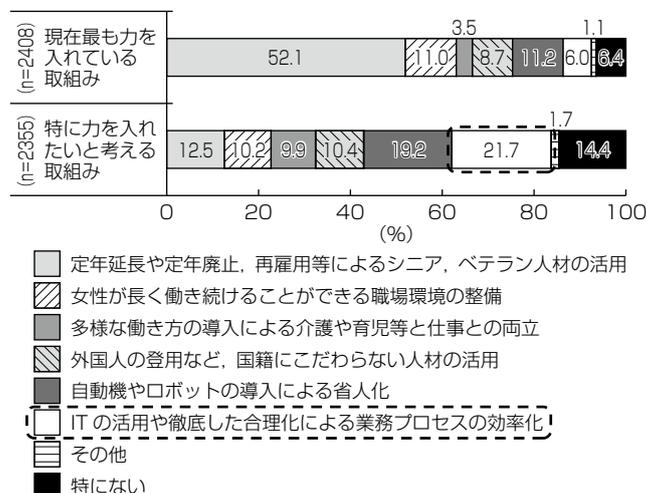


図2. 人材不足で最も重視している取組み(現状と今後)<sup>(4)</sup>

### 3. 製造ライン向け映像解析ソリューション

#### 3.1 取り組むべき課題

このような状況に対応するためには、IoT技術やAI技術などの最新技術も取り込みながら、現場が持つ人的リソースを最大限に活用して生産性を高める必要がある。

製造ラインでは、日々の生産効率を高めて計画どおりの生産性を達成するため、ヒトの作業を分析し、ムダの削減に取り組んでいる。作業分析の際は、組立てや検査といった作業工程ごとに分析を実施して標準時間と実際の作業時間の差異を把握し、ムダを見つけて改善につなげる。

従来は目視で計測を行い、また同時に異常作業や正常作業を分析していたが、作業工程を何度も確認したり、複数サイクルを計測したりと分析者の負担が大きいという課題があった。

#### 3.2 映紋を活用した作業分析技術

3.1節の課題に対し、VCA技術“映紋”を活用した作業分析技術を開発した。開発技術は、実際に作業している映像(入力映像)と、事前に記録した作業映像(基準映像)とを比較分析することで、これまで分析者が目視をベースに行っていた作業時間計測及び異常作業検知を自動的に行うことができる。比較分析には、両映像から生成した映像特徴量(映紋)を用いる。映紋は、映像を構成する各フレームについて、動きベクトルの方向別発生数を算出し、時系列に並べた映像特徴量であり(図3)、作業動作に対して固有なパターンを示す性質を持つ。

一般に製造ラインでの作業は、同じ動作の繰り返しで構成されるため、入力映像の映紋には、基準映像の映紋と同じパターンが繰り返し現れる。この繰り返されるパターンを検出することで作業が行われたことを検知し、パターンの長さから作業時間を計測する。また、工場稼働時で基準映像の映紋と類似しない区間を検出することで、異常作業の発生を検知する(図4)。

映紋を生成する上で重要となる動きベクトル情報を得る

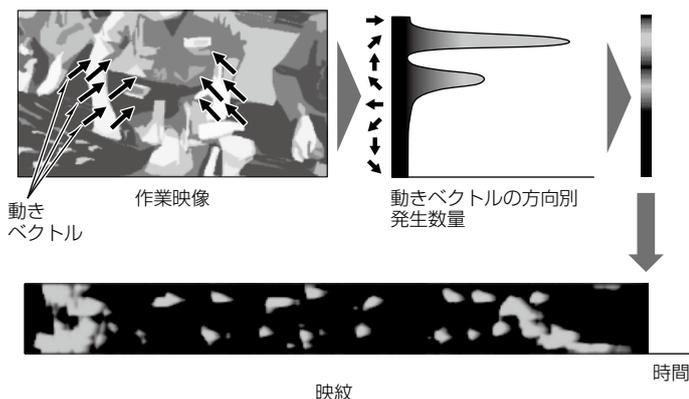


図3. 映紋生成処理

ためには、通常、圧縮符号化された映像データをデコーダで復号した後、オプティカルフローなどの画像処理手法を用いて動きベクトルを算出する必要がある。しかし、復号処理と動きベクトル算出の処理負荷が大きく、作業映像をリアルタイムで解析できないことが課題であった。

そこで今回、圧縮符号化された映像データに含まれている動きベクトルに着目した。圧縮符号化された映像データの動きベクトルは、復号処理の一部を行うことで抽出できるため、復号処理負荷の低減及び動きベクトル算出処理の省略が可能になる。これによって、映像データから映紋を生成する処理の計算量を約65%削減(当社比)し、作業映像のリアルタイム解析が可能になった(図5)。

#### 3.3 映像解析ソリューション

3.2節の作業分析技術をベースに、製造ラインで人の動きを映像解析し、作業時間計測や異常作業検知を行うことで、作業分析や品質向上を支援する映像解析ソリューションを開発した。主な特長を次に述べる。

##### 3.3.1 作業内容を判別しやすい画面

作業サイクルごとの作業時間等の数値データだけでなく、作業の正常・異常を色分けし、作業時間をグラフで表現す

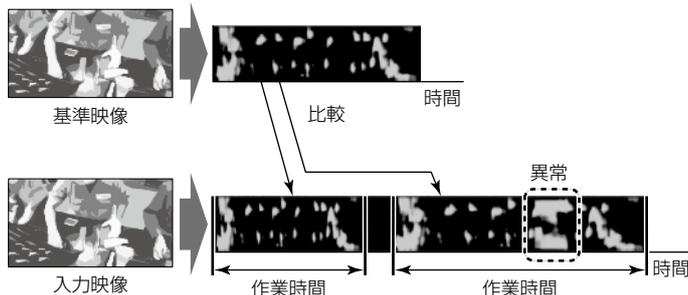


図4. 同一パターン検出及び異常区間検知

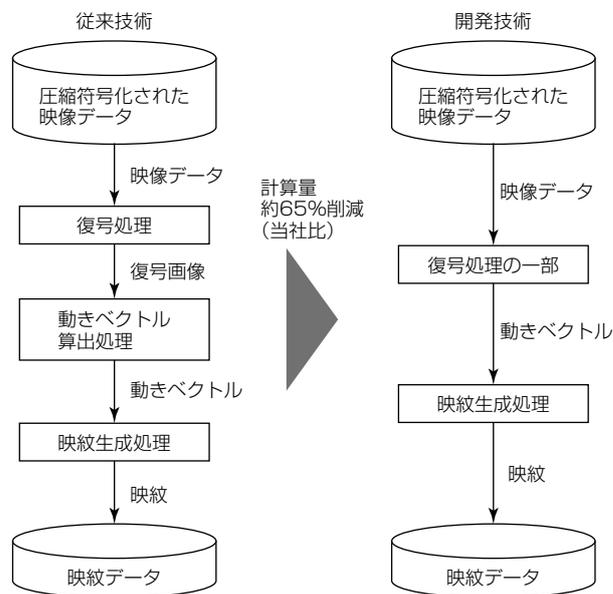


図5. 従来技術と開発技術の比較

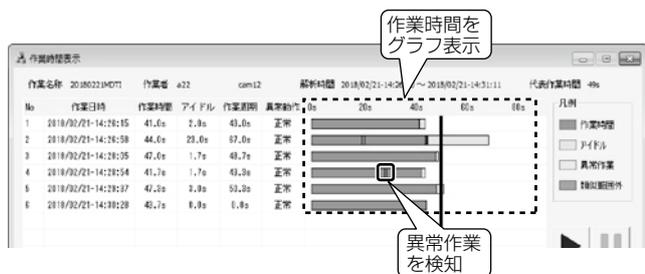


図6. 解析結果の画面

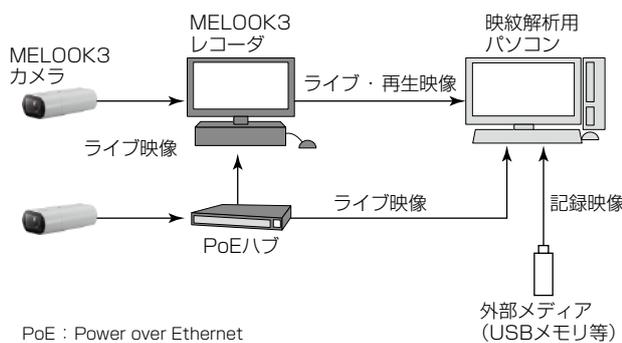


図7. システム構成

表1. リアルタイム解析の主要諸元

解析ストリーム数	1ストリーム
映像符号化方式	H.264(ハイプロファイル)
対応カメラ	MELOOK3カメラ
対応レコーダ	MELOOK3レコーダ
プロトコル	RTP/UDP
解像度	1920×1080(FHD)/1280×720(HD)

RTP: Real-time Transport Protocol, UDP: User Datagram Protocol, HD: High Definition, FHD: Full HD

ることで、複数サイクルの解析結果を視覚的に確認できる(図6)。

### 3.3.2 用途に応じた解析

#### (1) オフライン解析

MELOOK3レコーダやUSBメモリ等の外部メディアに蓄積した過去の作業映像データをインポートし、作業分析することで作業時間計測と異常作業検知をオフラインで解析できる(図7)。

#### (2) リアルタイム解析

MELOOK3システムと接続することで、MELOOK3カメラのライブ映像ストリームを取得し、リアルタイムで作業時間計測と異常作業検知が可能である(図7, 表1)。これによって、異常作業発生時は作業者へ即座にフィードバックできる。

## 4. 当工場での実証実験

実運用での効果及び現地据付け時のポイント等を確認するため、MELOOK3シリーズを生産している当工場では実証実験を行った。



図8. 分析カメラの画角

### 4.1 適用ラインの選定

当社工場の生産ラインは、多くの作業を実施するラインや作業数を細かく区切って複数人で構成するライン等、多種多様な生産ラインがある。今回、映紋による作業分析の適用ラインとして①頻繁に作業分析を実施するラインと②サイクリックに作業が行われる生産ラインを考慮し、MELOOK3カメラの生産ラインを選定した。

### 4.2 分析用カメラの設置

分析用カメラを設置する際、動きを十分に捉えられる位置に固定することが重要となる。今回は特に動きの多い腕から指先を含む上半身、組立て用部品、生産に使用する工具類が分析用カメラで捉えられるよう画角を合わせた(図8)。

### 4.3 基準映像の選定

映紋を使った作業分析には、基準映像が必要である。基準映像は、標準時間で決められた手順どおりに作業をしている“お手本作業”の映像を記録した。次に作業サイクルの開始と終了を決め、各作業の区分を明確にした映像を基準映像とした。

### 4.4 作業時間計測と異常作業検知

MELOOK3カメラの生産ラインを終日撮影してリアルタイム解析を実施した。作業時間計測機能を活用することで、作業時間をグラフ化でき、作業サイクルのばらつきを容易に確認が可能になった。また、異常作業の検知結果もリアルタイムに通知され、画面上で異常作業を一目で確認可能になった(図9)。

従来の目視での時間計測は、計測の時間に加えて計測結果のデータ整理・グラフ化などの作業が必要であった。例えば、今回検証したラインは3工程に分かれており、平均的な作業サイクルは約90秒である。10サイクル分の作業分析を人の目で分析するには、90秒×10サイクル×3工程で約45分かかり、集計やグラフ化作業等を含めると1時間以上を要していた。

今回、映紋の活用によるリアルタイムでの分析に加え、測定結果を自動でグラフ化できるため、分析者の作業は数

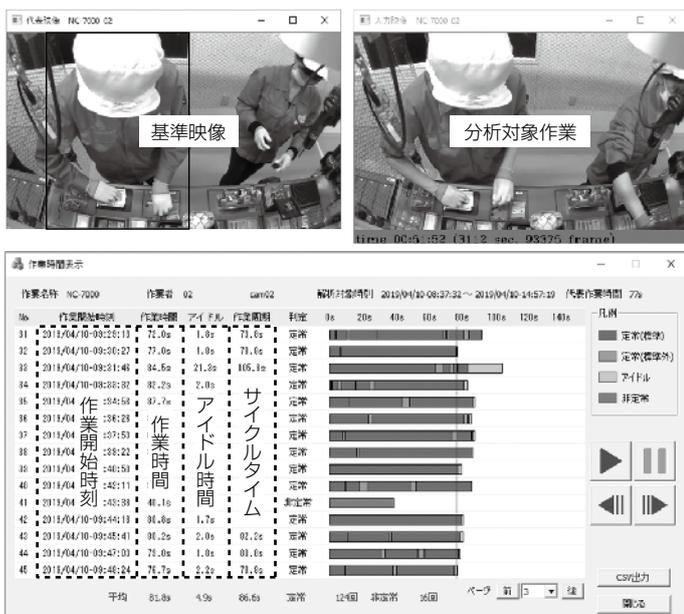


図9. 映紋分析

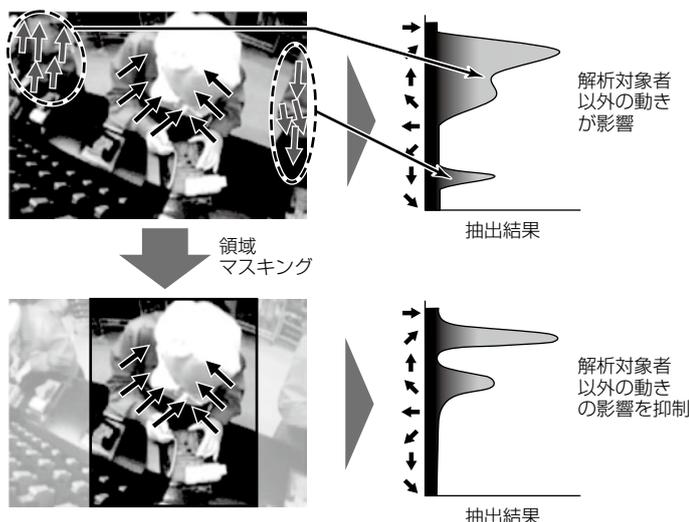


図10. 解析対象者以外の動きによる影響

分程度で済む。これによって、分析者の負担は1/10以下となり、大幅に改善された。

4.5 実験結果のまとめ

映紋による作業分析を当社工場での製造ラインへ適用した結果、作業時間の計測結果をリアルタイムに取得して自動でグラフ化が可能になった。これによって作業時間分析の効率化が図られ、分析者の負担軽減や拘束時間の短縮を実現した。

また、想定外作業による作業時間のばらつき等をリアルタイムに検出が可能になり、さらにこれまで実施できなかったような全サイクルの作業時間分析も人的コストを大きくかけることなく実施できる。これによって、品質不具合の未然防止及び早期解決や、これまで見つけられなかった新たなムダ・改善ポイントを見つけることができ、更な

る製造ラインの効率化が期待できる。

分析精度については、当社工場での検証の結果、約92%の精度で作業サイクルを検出し、平均誤差は約3%で作業時間を計測できることを確認した。加えて、異常作業検知によって今まで気づきにくかった細部の作業動作の違いをタイムリーに発見することが可能になった。

分析精度を低下させる要因として、対象者以外の動きが映像内に含まれ、映紋の生成結果に影響を与えてしまうことが分かった(図10)。画角の最適化や対象者以外の領域へのマスキング処理の実施等によって、改善できることも分かった。

5. 今後の展開

映像解析ソリューションではさらに“ねじを締める”“ラベルを貼る”といった要素作業を事前に定義することで、より詳細な作業分析ができる。これによって、要素作業単位で分析し、ボトルネック工程を抽出することで、より細かな作業改善が可能になる見込みである。

今後も当社工場での実証実験を積み重ね、製造ラインでの現場で得られる知見を活用して、分析精度の向上やユーザーの使い勝手の改善等、製品価値を高めて製造ラインの生産性改善に貢献していく。

6. むすび

VCA技術“映紋”とMELOOK3システムを組み合わせることで、映像の撮影から異常作業検知や作業時間計測の自動化までをカバーし、生産性改善に貢献できる映像解析ソリューションを開発した。また、当社工場での実証実験を通じて実運用での知見を蓄積しつつ、分析者の負担軽減が図れることを確認し、このソリューションの有用性を示した。

将来的には、ディープラーニング等のAI技術を活用した様々なVCA技術も取り込みながら、防犯用途以外の領域のニーズに対してもVCA技術を活用した新たな付加価値を創出し、ソリューションを提供できるよう開発を進める予定である。

参考文献

(1) 齊藤弘紀, ほか: 監視システムでの映像解析, 三菱電機技報, 92, No.6, 366~370 (2018)  
 (2) 蓬田 仁, ほか: “MELOOK3”カメラ, 三菱電機技報, 89, No.6, 343~347 (2015)  
 (3) 辻 亮宏: “MELOOK3”レコーダ, 三菱電機技報, 89, No.6, 348~352 (2015)  
 (4) 経済産業省: 2017年版ものづくり白書 (2017)  
[https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2017/honbun\\_pdf/index.html](https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2017/honbun_pdf/index.html)