

作業内容や作業手順の正しさを判定する 行為判定システム

川面 怜哉 浅野 将仁 蘭 浩二
山本 一真 小林 司

近年、製造業を取り巻く顧客ニーズの多様化、変化の速さは著しく、多様な商品が市場に流通し、商品のライフサイクルが早まっている。こうした顧客ニーズに合わせて一つの商品をさまざまな仕様で製造する多品種少量生産への取組みがますます重要視されている。一方で、これまでのものづくり一辺倒からサービス化を含む新しい付加価値提供を模索する動きが出てくるなど、製造現場を取り巻く環境は、これまでにない変化を迎えている。このような課題に対しては、将来的なスマート工場の実現を見据えた生産現場の省力化・自動化といったデジタルトランスフォーメーション(DX)の推進は急務となっている。

OKIは2018年より、IoTやAIなどの活用によりスマート工場実現を支援するIoT活用工場ソリューション「Manufacturing DX」を提供している¹⁾。



図1 Manufacturing DX

「Manufacturing DX」は、「現場変革」、「IT・オペレーション変革」、「マネジメント変革」の三つの変革から構成され、これら三つの変革を連携させてスマート工場化を支援している。その中の「IT・オペレーション変革」では、日本の製造業が直面する少子高齢化に伴う生産年齢人口の減少や熟練作業員の技術継承、ノウハウの属人化などの課題に対して、映像のAI解析や設備ログ、センサーデータの分析などDXを活用することで、熟練作業員の技術の形式知化、ノウハウの属人化解消を目指している。

本稿では、「IT・オペレーション変革」のソリューションとして、映像AIを活用した作業者行動認識による行為判定システムを紹介する。本システムは、現場作業での品質均一化の取組みとして、組立工程内の作業内容や作業手順の正しさを画像認識技術を活用し判定することで、作業ミス・漏れの防止や作業行為の証跡データとしての活用に取り組んでいる。

現場作業の課題

製造現場では、熟練作業員の減少や非正社員の増加が進み、作業員の人手作業によるモノづくり品質の低下が懸念される。製造の各工程の中でも「組立工程」「検査工程」は特に熟練作業員の技術や経験による依存度が高く、そのノウハウや技術のデジタル化による継承は喫緊の課題となっている。

製造現場の声として、「作業のばらつきが多く、品質基準を満たさない場合がある」、「異なる部品取付けや手順間違いなどヒューマンエラーにより仕様、スペックが変わってしまう」など作業に対する品質均一化ができていない事象が多く存在する。このような作業ミスによって、出荷後の製品の誤動作や不具合が発生、製品仕様上の問題による故障など品質不良が多く発生し、これらの品質事故によって、重大事故や、不良品の大量自主回収などのリコールを引き起こす可能性がある。

熟練工を含む作業者のノウハウ・技術のデジタル化による知・技術の継承は急務であり、人手作業による組立工程、検査工程での品質管理の考え方を抜本的に変えていく必要がある。

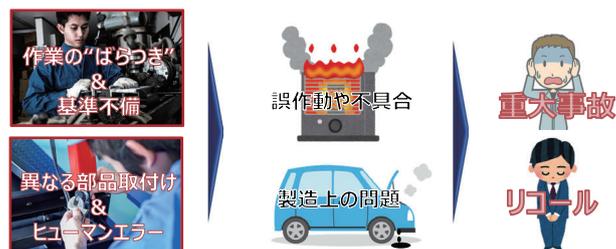


図2 現場作業の課題

現場作業の品質均一化

OKI本庄工場でも、ベテラン作業者の減少や非正規社員の増加により、未経験作業者を短期育成し、生産ラインへ従事する機会が増加している。

作業者の流動が激しい状況では、不良を流出させないために、さまざまな対策を導入し、生産ラインを構築している。例えば、部品の取付け漏れを防ぐ場合は、あらかじめ決まった数量を事前に取りそろえてライン投入することで、組込み漏れを検出できるようにしている。また、作業の出来栄は、自動外観検査、製品の各種機能検査、点検用の治具を用いた目視検査を実施するなど、作業者のスキルに頼らない不良の流出防止策を強化し、高品質で安定した検査工程を実現している。

しかし、上記以外の工程では、作業者のスキルに頼り品質を保証している工程が残っているため、工程での品質不良を完全に撲滅できないのが現状である。

作業を行う順序(手順)、間接材の塗布作業や清掃作業などの組付け作業でのプロセスそのものは、作業漏れ・ミスがあった場合も、後工程での不良検出は、非常に困難である。このような作業の例を表1に示す。

表1 作業の正常性確認が困難な作業

要素	具体的な作業	
1	作業手順	ねじを締める順序
2		手半田付け作業のコテ当て順序
3	間接材の	部品下への接着剤の塗布
4	塗布	部品内部へのグリス塗布
5	清掃	貼付け前処理のアルコール拭き
6		異物除去のエアーク拭き

表1の作業は内容によっては、出荷後の製品の誤作動や不具合を誘発したり、製品仕様上の問題による故障などの品質事故によって、重大事故の発生を招いたり、不良品の大量自主回収などリコールを引き起こす可能性がある。

これら正常性確認が困難な作業の不具合防止策の一つとして、OKI本庄工場のPHS組立工程では、組立時に異物を除去するためのエアーク拭き作業(写真1)に、映像AIを活用した作業行動認識による行為判定システムを検討した。以降に、その技術の実現方法を述べる。



写真1 PHS エアーク拭き作業

行為判定を支える技術

(1) システム概要

OKIの行為判定システムは、作業者が作業する場面をカメラで撮影し、画像認識技術を用いて作業内容や作業手順の正否を判定する。その判定結果を作業者へリアルタイムに通知することで、作業者はその場で作業漏れ、作業ミスに気付くことができる。また、判定結果を保存することで作業行為の証跡データとして活用できる。

行為判定ソリューションは、IPカメラ、エッジ端末、結果表示用PC(現場)、品質管理サーバー(管理側)で構成される(図3)。

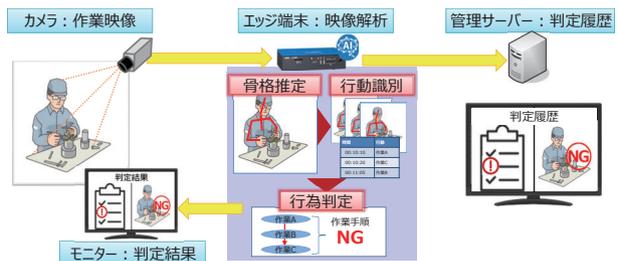


図3 システム構成

カメラは作業者の上半身全体が映るように設置し、作業開始指示に合わせて撮影を開始する。エッジ端末は撮影した画像に対して、骨格推定、行動識別、行為判定の三つの画像認識処理を行い、判定結果をリアルタイムに結果表示用PC(現場)に送信する。結果表示用PCは、モニターに結果を表示し、作業者に結果をフィードバックする。画像認識処理は、カメラで撮影する映像のフレームごとに行い、作業終了まで連続して行う。作業開始や作業終了は、センサーやPLC(Programmable Logic Controller)と連携し制御する。さらに工程情報と判定結果を紐付けて、品質管理サーバーに保存する。このとき、工程情報、作業時刻、製品情報、作業行為の判定結果と動画や担当者などの情報と合わせて保存することにより、作業行為の証跡データとして活用できる。

(2) 行為判定を実現する画像認識技術

製造現場での作業者の行為判定を実現するためのカメラ映像を用いた画像認識技術を述べる。OKIは、画像特徴から製造現場の工程での意味を持つ内容へと、認識対象の構成単位を細かいものから粗いものへ変化させながら3ステップで認識することで行為判定を実現するアプローチを採用している。行為判定のアプローチを図4に示す。この図では、認識対象の構成単位の変化にあわせ、認識のステップを層として表現している。

まず、第1層で作業者の行動を認識するために必要な特徴を抽出する。次に、第2層で作業者が行っている行動を識別する。最後に、第3層で作業者が行った行動をもとにその良否を判定する。認識対象の構成単位の粒度を徐々に上げることで、各層の処理の意味を明確化し効率よく検証を進めることができる。また、製造現場にはさまざまな工程が存在する。層を分割することにより、各工程で共通的に利用できる部分と個別にカスタマイズが必要となる部分を明確に切り分けることができる。以下に、各層の詳細とPHS組立工程での事例を示す。

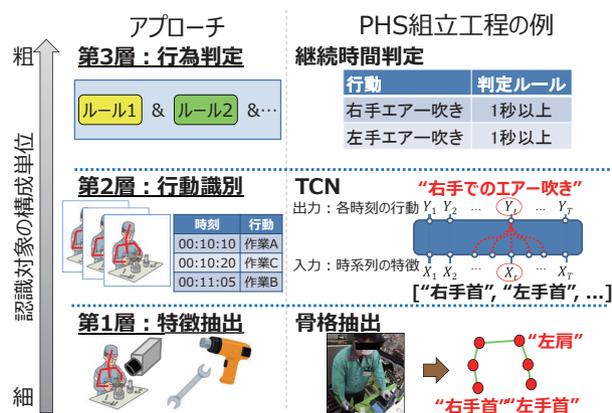


図4 行為判定のアプローチ

①第1層 骨格推定を用いた特徴量

特徴抽出では、作業者の行動を認識するために必要な特徴を映像データの各フレームから個別に抽出する。ここで抽出する特徴は、作業者の骨格情報や動き情報、利用している物体に関する情報などである。骨格情報を用いることにより、背景の状況や服装に依存しない作業時の姿勢を表すことができる。また、骨格の時系列変化を見ることにより姿勢の変化を表現することもできる。動き情報は、同じような行動に対して向きを見分ける必要がある際に有効な特徴である。また、物体情報は、利用している工具の違いを見分ける必要がある場合や作業対象の部品が固定されていない場合に有効な特徴である。骨格情報の抽出方法は、OpenPose²⁾に代表されるDeep Learningを利用した手法が多数提案され、さまざまなシーンに対して共通的に利用できる。一方で、動き情報や利用している物体は、対象工程や現場によりさまざまであり、個別のカスタマイズが必要となる。PHS組立工程では、エアーク拭きをしている姿勢が重要なため、骨格情報を用いる。

②第2層 TCNを用いた行動識別

行動識別では、抽出した特徴の時系列情報をもとに作

業者が行っている行動を識別する。識別対象の行動は、ネジを締める、パーツを取り付けるといった作業したことを確認したい工程である。行動識別では、Temporal Convolutional Network (TCN)³⁾を用いる。TCNは、画像認識分野で広く用いられている一般的な畳み込み処理 (Convolution) を時間軸方向に適用した時系列畳み込み処理 (Temporal Convolution) を用いることで、ある時刻の前後の時系列情報をもとに行動を認識する。時系列畳み込み処理を複数回行うことで、長時間の時系列情報を効率よく扱い、精度の高い行動認識ができる。また、Deep Learning技術の発展とともに画像認識分野の畳み込み処理に対して行われてきた改良を応用することができ、より複雑な行動を認識することもできる。このようにTCNは、高い汎用性を持ち、さまざまな改良を行うことができるため、さまざまな工程や現場に共通的に適用できるものとする。PHS組立工程では、右手のエアー拭きと左手のエアー拭きを識別対象の行動とし、TCNを用いた行動識別を行う。

③第3層 行動識別及び時系列情報を用いた行為判定

行為判定では、行動識別結果の時系列情報から、作業手順の正しさや作業の継続時間、また同様の手順を行った回数などを判定することで、作業自体の良否判定を行う。行為判定は、対象とする工程や現場の要望としてさまざまなものがあるため、個別にカスタマイズが必要となる部分である。PHS組立工程では、エアーク拭きを行っている継続時間を重視するため、行動識別した結果の継続時間を測定し、継続時間の閾(しきい)値処理により良否判定を行う。

今後の展開

OKIでは、自社工場のスマート工場化に向けて、更に省力化や品質向上に取り組んでいる(図5)。

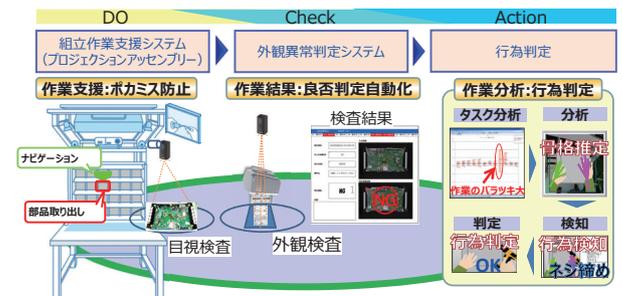


図5 OKI 自社工場の取組

組立作業支援システム(プロジェクションアッセンブリーシステム)では、組立作業のナビゲーションによるポカミス

の防止及び作業実績デジタル化を行う。外観異常判定システムでは、映像AI及びAIエッジ端末(AE2100:OKI自社製品)を用いたAIエッジ処理を活用して目視検査、外観検査の自動化する。これらの取組みに加えて、行為判定システムでは、作業プロセスに対して、作業内容や作業手順が正しく行われたかを判定することで、作業漏れ、作業ミスの検知と作業行為を証跡化する。これらの各ソリューションを組み合わせることにより、組付け作業での全ての作業内容をデジタル化・証跡化することで高品質なモノづくりを支援する仕組みが構築できる。

一方、行為判定を実現する画像認識技術は、より細粒度の行動を認識することで製造現場での「匠の技」の認識・モデリングを実現し、さらに、画像以外のセンシング技術と組み合わせることによって対象工程の拡大を推進する。

本取組みにより、自社工場のスマート工場化に向けて活用・展開を進めると同時に、Manufacturing DXの各ソリューションとともに発展させ、お客様のDX推進やスマート工場化を支援していく。 ◆◆

■参考文献

- 1) OKIプレスリリース、スマート工場実現に向けたIoT活用工場ソリューション「Manufacturing DX」を提供開始、2018年10月22日
<https://www.oki.com/jp/press/2018/10/z18044.html>
- 2) Cao et al., “OpenPose: realtime multi-person 2D pose estimation using Part Affinity Fields,” in TPAMI, 2019.
- 3) Lea et al., “Temporal Convolutional Networks for Action Segmentation and Detection,” in CVPR, 2017.

●筆者紹介

川面怜哉:Ryoya Kawatsura. ソリューションシステム事業本部 金融・法人ソリューション事業部 製造システム部

浅野将仁:Masahito Asano. ソリューションシステム事業本部 本庄工場 生産技術部

蘭浩二:Kouji Araragi. ソリューションシステム事業本部 本庄工場 生産技術部

山本一真:Kazuma Yamamoto. イノベーション推進センター センシング技術研究開発部

小林司:Tsukasa Kobayashi. ソリューションシステム事業本部 金融・法人ソリューション事業部 イノベーション推進部

TiPO【基本用語解説】

デジタルトランスフォーメーション(DX)

「ITの浸透が、人々の生活をあらゆる面でより良い方向に変化させること」という概念で、2004年にスウェーデンのウメオ大学のエリック・ストルターマン教授によって提唱された。