

センシング技術と解析技術を活用した 次世代グローバル製造管理

井坂 英也
Isaka Hideya

永吉 洋登
Nagayoshi Hiroto

吉川 裕
Yoshikawa Hiroshi

山田 敏広
Yamada Toshihiro

掛布 修弘
Kakeno Nobuhiro

IoT技術やクラウドサービスを活用した「次世代製造管理システム」の開発を生産システムの成熟度レベルに応じた機能拡張のロードマップに沿って進めている。

各種カメラを「見える化」の新たなセンシング手段として捉え、映像解析技術と製造実績データとの連携により、短期的には品質改善や生産性向上を、長期的にはビッグデータ解析技術との組み合わせによる改善施策提案やサ

プライチェーン全体の最適化を図る。

加工・組立型製造業の現場を3Mの観点で分析し、映像解析技術が効果的な解析対象を決定した。また、距離カメラで撮影した映像から作業動作の特徴量を抽出し、標準動作からの逸脱を検知する技術を開発し、顧客協創プロジェクトにおける製造現場の実映像を用いた実証実験によって効果を確認した。

1. はじめに

情報通信技術やセンシング技術の高度化・低価格化に伴い、各産業分野においてIoT (Internet of Things) の活用に注目が集まっている。ドイツではIoTおよびサービスを製造プロセスに統合する「Industrie 4.0」構想¹⁾が2011年に提唱され、生産性向上、個別要求への柔軟な対応、エネルギー消費量削減などが期待されている²⁾。ゼネラル・エレクトリック社 (General Electric Company) は、産業機器とクラウドを接続し、ビッグデータ分析によって各産業にスピードと効率性の向上をもたらす「Industrial Internet」コンセプトを提唱している³⁾。

日本では製造業において以前から取り組まれてきた改善活動により、トヨタ生産方式やセル生産方式、ダイセル式生産革新⁴⁾など、多くの企業で品質向上・生産性向上の実績を挙げた生産方式や生産改革手法が生み出されてきた。さらなる生産性向上のために、どのようなIoT技術やクラウドサービスの開発・導入が有効か、次世代の産業システムの在り方が産業界における将来に向けた大きな検討課題であるといえる。

一方、近年自動車業界で発生した部品不具合によるメガリコール問題を目の当たりにし、製品不良発生時に原因を特定し、対策するための製造実績データ (部材ロット、工程内検査結果、加工条件など) の蓄積・管理に対する重要

性が再認識されている。

現在はMES (Manufacturing Execution System: 製造実行管理システム) によって、部材ロット・生産設備から得られる加工実績データ、検査データ、作業者の目視チェック結果などの作業実績などを収集し、これらの製造実績データを製品ロット (個体識別情報) とひも付けてトレーサビリティを実現している。

しかし、製造実績データの網羅性を3M (Man, Machine, Material) の観点から検討したところ、現状のデータでは不良原因の特定に不十分と考えられる項目が挙がった (表1参照)。例えば、標準作業手順からの逸脱が製品不良の原因だと判明しても、同様の手順で作業したロットを特

表1 | 製造実績データの網羅性が不十分な例 (加工・組立型製造業の場合)

製造現場で現状収集されている製造実績データでは、不良原因の特定に不十分なケースがあることが判明した。

分類	対象	管理方法 (現状)	網羅性評価 (理由)
Man	手計量、投入	計量器データ	△ (汚損部材、異物などを判別できない)
	組み立て、加工	監督者による監視	× (全作業は監視できない、定量的な証拠なし)
	目視検査	帳票などへの結果入力	△ (作業者ごとのむら、誤入力の可能性)
Machine	ワーク把持状態	加工装置のセンサー	△ (軽微な異常は検出できない)
Material	供給部材種別、部材ロット	ラベル照合など	△ (別ラベルの読み取り、補給口ミスの可能性)

定できず、広範囲の製品を回収する事態に発展しかねない。

これらのデータはこれまでシステムで管理されていないケースが多く、品質向上、生産性向上の観点からも新たな改善が期待される。

生産性の向上をめざしつつ、製造実績データの管理対象を広げてトレーサビリティを強化することが、製造管理システムに求められる課題である。

2. 次世代グローバル製造管理システム

2.1 基本コンセプト

このような課題を解決するために、日立は加工・組立型製造業向けに次世代グローバル製造管理システムを開発している。製造現場に設置した各種カメラを新たなセンシング手段として捉え、従来のMESで蓄積した製造実績データを補強する。さらに、映像を含むこれらのデータを3Mの観点で統合するとともに、ビッグデータ解析技術によって改善施策を提案し、各製造現場の+M (Method) に反映する。最終的には世界各国の製造現場の情報を統合・分析し、グローバルでの工場間連携やサプライチェーン最適化をめざす。このシステムを共生自律分散プラットフォーム上に構築し、短期的には各現場の品質改善や生産性向上を、長期的には経営効率向上を実現する (図1参照)。

2.2 成熟度モデルに基づくロードマップ

日立は、経営効率向上に資する製造管理システムを実現するために、既存システムの成熟度に応じた機能拡張が必要と考えている。そのため、自社工場における製造管理システムを分析し、生産システムを6段階の成熟度に分類す

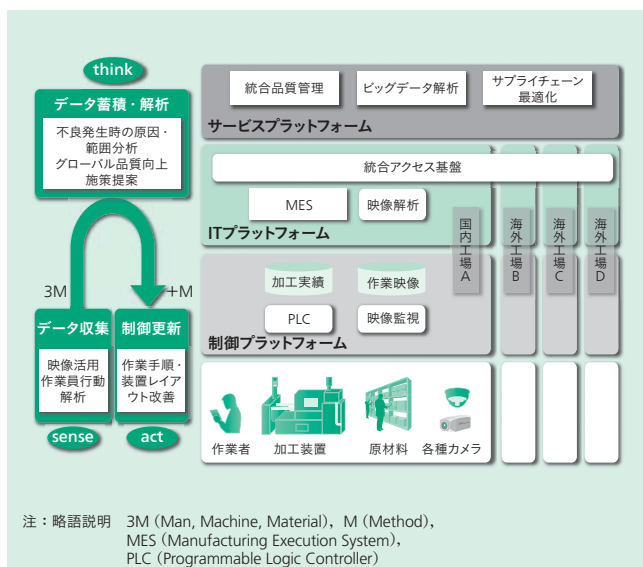


図1 | 次世代グローバル製造管理システムの基本アーキテクチャ
グローバルに展開している製造現場の情報を3Mの観点から収集するとともに、ビッグデータ解析によって品質向上施策などを提案し、製造現場にフィードバックする。

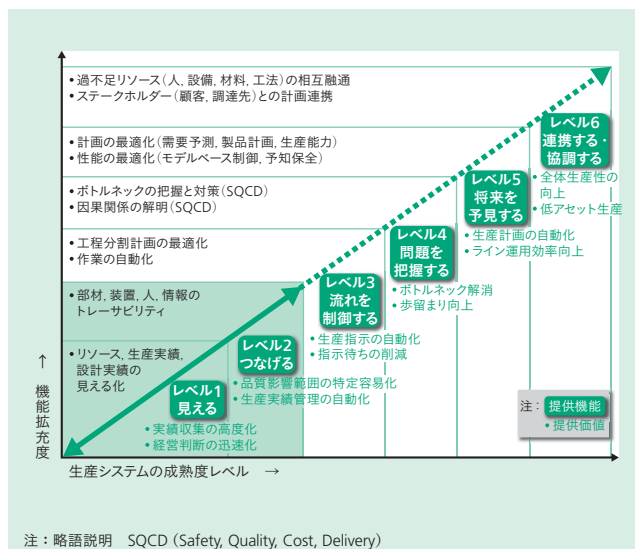


図2 | 生産システムの成熟度レベルと提供機能および提供価値
生産システムの成熟度に応じて機能拡充することで、経営効率向上に資する生産システムを実現する。

る成熟度モデルと、成熟度に応じたシステム拡張のロードマップを提唱している (図2参照)。

レベル1「見える」で現場を見える化したうえで、レベル2「つなげる」で実績情報をつなぎ、トレーサビリティを実現する。さらに、レベル3「流れを制御する」で指示を自動化し、レベル4「問題を把握する」でボトルネックを解消する。そして、レベル5「将来を予測する」で計画を最適化し、レベル6「連携する・協調する」で工場間・ステークホルダー間での全体最適化を図る。

主として、レベル2までは品質の向上に、レベル4までは生産性の向上に、レベル6までは経営効率の向上にそれぞれ寄与する。このように生産システムの成熟度に応じて機能を拡充していくことで、次世代グローバル製造管理を確立する。

日立は、株式会社ダイセルとの協創プロジェクトとして、現在はレベル2「つなげる」までの各機能実現に向け、機能開発と実証実験を推進している。

次章では、日立とダイセルが推進中の実証実験を例に、映像解析とMESの統合によって品質の向上を実現する取り組みを紹介する。

3. 映像解析

3.1 映像解析の果たす役割

図2に示すシステム成熟度モデルにおける「見える化」に大きな貢献が期待される技術が、映像解析である。日立グループには、セキュリティやFA (Factory Automation) などさまざまな分野を対象とした映像解析分野で50年近い技術の蓄積がある⁵⁾。われわれは、それを活用することで人の目では見きれない大量の映像から意味のある情報を

表2 | 解析対象とセンシング手段

3Mの観点から解析対象を決定し、目的に応じたセンシング手段を選定した。

分類	解析対象	センシング手段
Man	作業員動作	距離カメラ
	監督・部品供給者の位置	全方位カメラ
Machine	薬こぼれ、ワーク位置異常	固定カメラ
Material	部品供給	PTZカメラ

注：略語説明 PTZ (Pan, Tilt, Zoom)

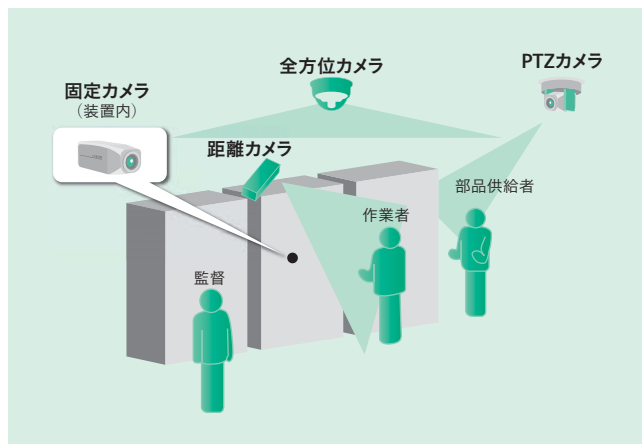


図3 | 各カメラ設置の様子

画像解析対象に応じて複数種類のカメラを選定し、作業現場に設置した。

抽出し、不具合の早期発見や、品質・作業効率の改善をめざしている。

ダイセルとの協創においては、3Mの情報を捉える観点から、解析対象を決定した(表2参照)。作業員に対しては、動作を捉えるため、体の各部位の動きを捉えられる距離カメラを用いる。監督や部品供給者に対しては、どの位置で作業をしていたかを捉えるため、広範囲を撮影できる天井に設置した全方位カメラを用いる。部品供給の様子は、対象を高精細にピンポイントで捉えられるPTZ (Pan, Tilt, Zoom) カメラによって撮影する。設備内のさまざまな異常は、固定カメラによって捉える(図3参照)。

次節では、新たな取り組みである、距離カメラを用いて作業員動作を捉える技術について説明する。

3.2 作業員動作認識

距離カメラは、撮影対象の三次元形状を取得できる。特に人物については、三次元形状から、関節位置情報(例:手, 肘, 肩)を推定することが可能である。われわれは、この情報を利用し、作業員が標準動作とは異なる動作を行ったことを検知する逸脱動作検知技術を開発している。

映像解析で一般的に使われるアルゴリズムの基本構成は、入力映像から関節位置情報に変わっても利用することができる。すなわち、入力情報からノイズを除去する前処理、認識に必要な情報に絞り込む特徴抽出、最後に、抽出された特徴量から統計的な判断を下す判定部である。

逸脱動作検知アルゴリズムの全体像を図4に示す。前処

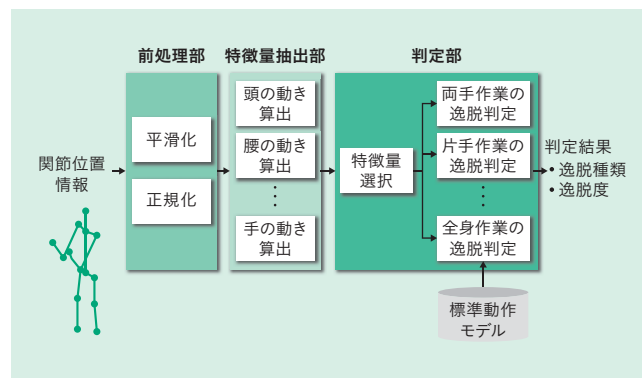


図4 | 逸脱動作検知アルゴリズムの全体像

映像解析アルゴリズムの考え方を踏襲し、全体構成は同じとした。一方、各部分は新規に開発した技術である。

理部では、関節情報のノイズを平滑化で除去し、腕や脚の長さといった作業とは直接関係ない情報を正規化によってキャンセルする。特徴量抽出部では、動作を表す情報である特徴量を抽出する。この特徴量は、ヒアリングと現場観察によって決定した。すなわち、逸脱動作として捉えたい動作をヒアリングした結果と、現場観察によって得られた標準作業に関する知見とから、捉えるべき体の動きを定義し、それを基に特徴量を決定した。判定部では、どのような作業に対する逸脱を検知するかによって特徴量の組み合わせを変え、標準動作モデルとの統計的な比較によって逸脱の有無を判定する。

ダイセル播磨工場では、すでにカメラ類の現場設置が完了している。そこで、開発技術の有効性を検証するため、現場の実データに対して逸脱動作検知を適用した。その結果、長い時間をかけて外観検査している例、製品の異常を見つけて製品を除去している例などが抽出された。標準作業とは異なる動作を検知するという意味では、この技術に効果があることが確認できた。今後は、生産ログ情報を併用することで、問題のある逸脱を絞り込む方法を提案していく。

4. 今後の展望

これまでに述べた映像解析技術は、主として品質の向上に寄与する、「つなげる」ための機能である。今後はグローバル展開している各製造現場に対して「つなげる」技術の本格導入を図るとともに、各製造現場から得られるさまざまな情報を統合して「流れを制御」し、「問題を把握」できるようにする。そのためには、次の3つの技術が重要になると考えている。

1つ目はエッジコグニション技術である。現場のセンシング技術として映像解析技術を活用する場合、膨大な映像データすべてを1か所に収集・統合・解析するのはコスト的に現実的ではない。そこで、製造現場に近い場所、すな

わち映像データの発生源であるカメラ内でリアルタイムに映像解析を行う技術が重要となってくる。2つ目は映像の高圧縮技術・超解像技術である。エッジコグニションを活用しても、トラブル発生時などは一部の現場映像データを本社やマザー工場などの遠隔地へ伝送する必要があることがある。その場合には、低コストで高品質のデータ伝送を可能にする技術が要求される。3つ目はビッグデータ解析技術である。グローバルな各製造現場で得られた映像解析結果やMESに蓄積された製造実績と、品質や生産性の実績を統合・分析し、改善施策を提案する。例えば、製造現場間の品質や生産性の差異を抽出し、その要因を明らかにする。さらには、改善施策としてグローバルで統一した標準作業手順 (Method) や品質基準などを提案し、各現場にフィードバックしていく。

さらに次の段階では、「将来を予測する」ことで各現場での最適化を自動化する。需要予測や生産能力予測に基づく計画最適化、予知保全やモデルベース制御による性能最適化がキー技術である。

最終的には、各製造現場での最適化にとどまらず、製造現場間でのリソース融通やサプライチェーン全体での計画連携によって全体最適化を図り、「連携する・協調する」生産システムを確立していく。

5. おわりに

ここでは、加工・組立型製造業を対象とした経営効率性向上に向けた次世代グローバル製造管理システムの開発の取り組みを紹介した。

システム成熟度モデルに基づき、3Mの観点で必要な機能のロードマップを整理した。カメラ画像を新たな製造実績データとして活用するための映像解析技術の例として、距離カメラを用いた作業動作認識による逸脱動作検知技術と顧客製造現場での実証試験の取り組みを紹介した。

謝辞

本稿を執筆するにあたり、適用例で紹介した「作業動作認識」を活用した逸脱検知では、株式会社ダイセルをはじめとする関係各位より多大なるご指導、ご協力を頂いた。皆様のご指導、ご協力に深く感謝の意を表する次第である。

参考文献など

- 1) Federal Ministry of Education and Research (BMBF): The new High-Tech Strategy Innovations for Germany (2014.8), https://www.bmbf.de/pub/HTS_Broschuere_engl_bf.pdf
- 2) Prof. Dr. H. Kagermann, et al.: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0, acatech Final report of the Industrie 4.0 Working Group (2013.04)
- 3) P. C. Evans, et al.: Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines (2012.11), http://www.ge.com/docs/chapters/Industrial_Internet.pdf
- 4) 経済産業省生産革新研究会：化学／プロセス産業における革新的生産システムの構築～新たな生産方式の胎動～，生産革新研究会報告書（2008.3）
- 5) 秦，外：日立におけるFA画像処理技術，日立評論，67，9，719～722（1985.9）

執筆者紹介



井坂 英也

日立製作所 インフラシステム社 産業ソリューション事業部
産業製造ソリューション本部 産業システム設計センタ 所属
現在、一般産業各業界向けのソリューションビジネスに従事



永吉 洋登

日立製作所 研究開発グループ システムイノベーションセンタ
メディア研究部 所属
現在、画像認識の研究開発に従事
情報処理学会会員，電子情報通信学会会員，IEEE会員



吉川 裕

日立製作所 インフラシステム社 技術開発本部 松戸開発センタ
電力システム部 所属
現在、サービス・IT施工の技術開発に従事
情報処理学会会員



山田 敏広

日立製作所 インフラシステム社 産業ソリューション事業部
産業製造ソリューション本部 産業システム設計センタ 所属
現在、一般産業各業界向けのソリューションビジネスに従事



掛布 修弘

日立製作所 インフラシステム社 産業ソリューション事業部
産業製造ソリューション本部 産業システム設計センタ 所属
現在、一般産業各業界向けのソリューションビジネスに従事
計測自動制御学会会員