

生産現場の効率化に貢献する 作業分析システム

八田俊之*
Toshiyuki Hatta
三輪祥太郎†
Shotaro Miwa

Worker's Behavior Analysis System to Improve Efficiency of
Production Site

要 旨

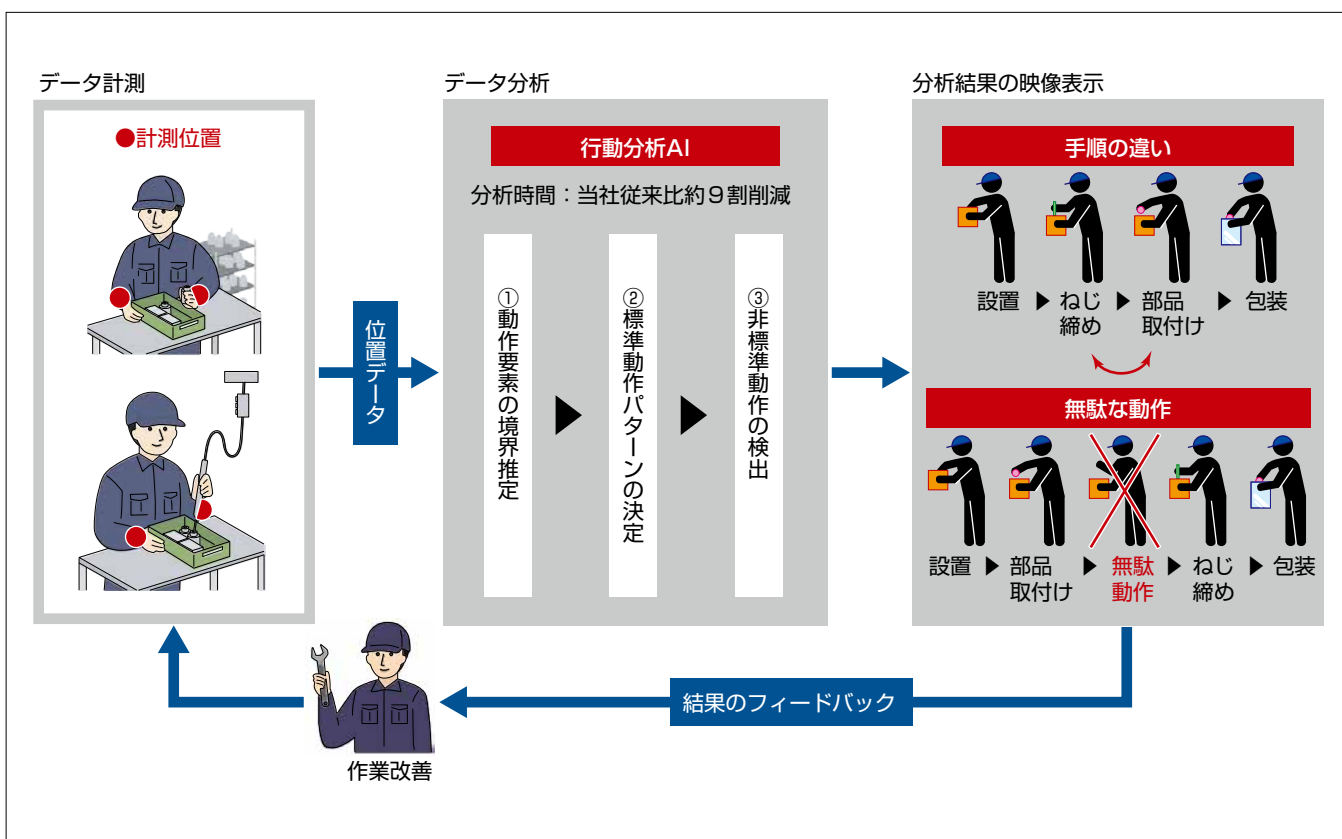
三菱電機は、FAとITの連携によって製造業の業務プロセス全般の効率化を推進するFA-IT統合ソリューション“e-F@ctory”を提唱しており、機器(生産設備)から収集したデータの自動分析による生産現場の改善を実現している。しかし、人(作業員)については、その作業行動は一連の標準動作であるものの、無駄な動作等の非標準動作が含まれるため自動分析が難しい。このため、多くの生産現場でいまだ分析者の目視に頼るVTR(Video Tape Recorder)法等が主流であり、作業分析に多くの時間を要するという問題があった。

一方、当社はこれまでに独自AI技術“Maisart”を用いた行動分析AIを開発している。行動分析AIは、人の一連の

行動を複数の動作要素に自動で分解する技術である。行動分析AIを作業行動に適用することで、動作要素に分解した作業行動の分析が可能になり、また無駄な動作等の非標準動作も検出できる。

この行動分析AIを用いて生産現場の効率化に貢献する作業分析システムを開発した。このシステムは作業行動のデータ計測機能、行動分析AIに基づくデータ分析機能、分析結果の映像表示機能で構成している。これによって、生産現場での作業分析の自動化を実現できる。

このシステムの当社工場での実証実験の結果、従来のVTR法に対して平均1割程度の所要時間で、正解率約9割の自動分析が可能であることを確認できた。



行動分析AIを用いた作業分析システム

行動分析AIは、作業行動を計測したセンサデータを三つの処理“動作要素の境界推定”“標準動作パターンの決定”“非標準動作の検出”で分析することで、作業行動での手順の違いや無駄な動作を検出する。行動分析AIに基づくデータ分析機能と、データ計測機能、分析結果の映像表示機能を統合した作業分析システムによって、作業分析の所要時間を短縮し、生産現場の効率化を推進できる。

1. ま え が き

当社では、FAとITの連携によって製造業の業務プロセス全般の効率化を推進するFA-IT統合ソリューション“e-F@ctory”を提唱しており、機器(生産設備)から収集したデータの自動分析による生産現場での改善を実現している。しかし、人(作業員)については、その作業行動は一連の標準動作であるものの、無駄な動作等の非標準動作が含まれるため自動分析が難しい。このため、多くの生産現場でいまだ目視に頼るVTR法やストップウォッチ法が主流であり、作業分析に多くの時間を要するという問題があった。

この問題に対して、当社は独自AI技術“Maisart”を用いた行動分析AIによって、作業分析の所要時間を短縮することで生産現場の効率化を推進する作業分析システムを開発した。

本稿では、行動分析AI、行動分析AIを用いた作業分析システム、及びこのシステムに関する当社工場での実証実験について述べる。

2. 行動分析AI

行動分析AIは、人の一連の行動を複数の動作要素に自動で分解する技術である。行動分析AIを作業行動に適用することで、複数の動作要素に分解した作業行動の分析が可能になり、無駄な動作等の非標準動作も検出できる。

また、人の行動を対象とした分析技術の多くが教師あり学習に基づく⁽¹⁾のに対し、行動分析AIは教師なし学習に基づくことから、事前の教師付きデータの整備と機械学習が不要であり、導入コストが低いという特長を持つ。

次に、行動分析AIについて、セル生産やライン生産での作業行動として典型的な繰り返し動作を例に、三つの処理“動作要素の境界推定”“標準動作パターンの決定”“非標準動作の検出”について述べる。

2.1 動作要素の境界推定

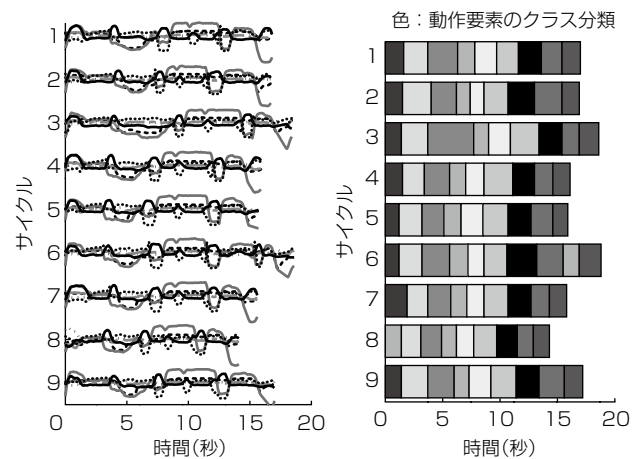
図1(a)に行動分析AIの入力になるセンサデータの例として、9サイクル分の繰り返し動作から両手三次元位置を計測した六次元センサデータの時系列グラフを示す。

動作要素の境界推定では、確率的生成モデル⁽²⁾に基づき、センサデータを複数の動作要素に分割する。ここで、動作要素は繰り返し動作を構成する要素のことであり、例えば“右手を上挙げる”“左手を前に伸ばす”などに対応する。それぞれの動作要素は、クラス分類と継続時間で表される。図1(b)は、図1(a)に示したセンサデータを動作要素に分割した時系列グラフである。

2.2 標準動作パターンの決定

標準動作パターンの決定では、まず、多重整列⁽³⁾によって前節で求めた動作要素をサイクル間で比較し、対応する動作要素を紐(ひも)付ける。図1(c)は、図1(b)で示した動作要素を紐付けた結果のマトリックス表現である。各行がサイクル、各マスが動作要素に対応し、紐付けられた動作要素を同じ列に配置している。

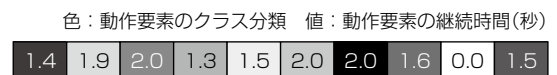
次に、マトリックス表現で同列にある複数の動作要素の



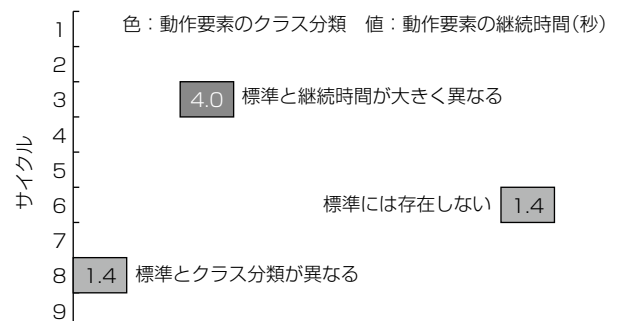
(a) センサデータ (b) 動作要素の境界推定結果



(c) サイクル間で対応する動作要素のマトリックス表現



(d) 標準動作パターンの決定結果



(e) 非標準動作の検出結果

図1. 行動分析AIの処理

統計分析によって、最も標準的なクラス分類と継続時間を算出し、標準動作パターンとして決定する。図1(d)は、図1(c)の結果から決定した標準動作パターンの例である。

2.3 非標準動作の検出

非標準動作は、各動作要素と標準動作パターンを比較することで、標準とクラス分類が異なる動作要素、標準と継続時間が大きく異なる動作要素、又は標準には存在しない動作要素として検出できる。図1(e)は、図1(c)に示した各動作要素と、図1(d)に示した標準動作パターンとの比較による非標準動作の検出結果である。

3. 行動分析AIを用いた作業分析システム

行動分析AIを用いた作業分析システムは、生産現場での作業分析の所要時間を短縮し、効率化を推進することを目的としている。このためこのシステムは、行動分析AIの入力になるデータ計測機能、行動分析AIに基づくデータ分析機能に加えて、分析結果の内容を分析者が短時間で把握するための映像表示機能を備えている。また分析結果に誤りがある場合に対応するため、分析者が誤りを短時間で修正できる修正支援UI(User Interface)を実装している。

次に、このシステムの“データ計測機能”“分析結果の映像表示機能”“修正支援UI”について述べる。

3.1 データ計測機能

このシステムでは、三次元カメラ(Intel RealSense^(注1) D400シリーズ)によって、次の2点を計測する。

- (1) 作業者の繰り返し動作を映した映像
- (2) 作業者の両手三次元位置の時間変化(センサデータ)

図2にデータ計測の様子を示す。作業者は色付きのリストバンドを両手に装着し、これを目印として三次元映像から検出することで、両手三次元位置の時間変化を計測する。



図2. 三次元カメラによるデータ計測

なおこのシステムでは、2.1節に述べたように行動分析AIはサイクルごとに分割されているセンサデータを入力として想定しており、連続的に計測したセンサデータをサイクルごとに分割する機能を次の2方式で実装している。

- (1) センサデータの相互相関解析による自動分割
- (2) GUI(Graphical User Interface)による手動分割

(注1) Intel RealSenseは、Intel Corp.の登録商標である。

3.2 分析結果の映像表示機能

このシステムでは、行動分析AIの分析結果と3.1節で計測した映像とを連携させて表示する。具体的には、サイクル間で対応する複数の動作要素の映像を同時再生することによって、分析者は分析結果の内容を短時間で把握できる。

図3は分析結果の表示例であり、左側は動作要素の時系列グラフとマトリックス表現、右側がサイクル間で対応する動作要素の映像である。時系列グラフとマトリックス表現では、行動分析AIが検出した非標準動作のマスに横線を表示して強調している。映像はマトリックス表現1列目の動作要素を同時再生しており、非標準動作であるサイクル8だけ縁取りで強調している。これによって分析者は、分析対象の繰り返し作業の冒頭は標準的に“右手で取る”動作であるが、サイクル8だけ“左手で取る”非標準動作をし

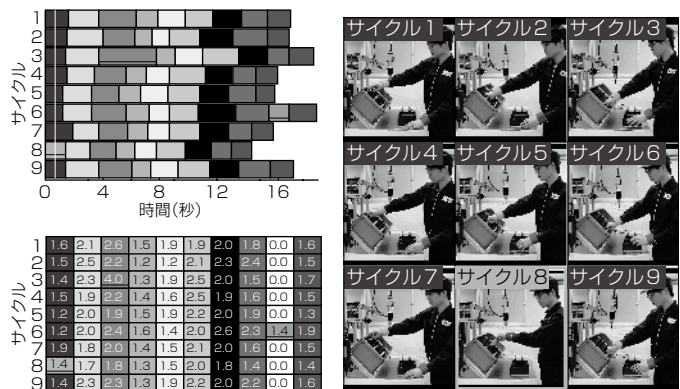
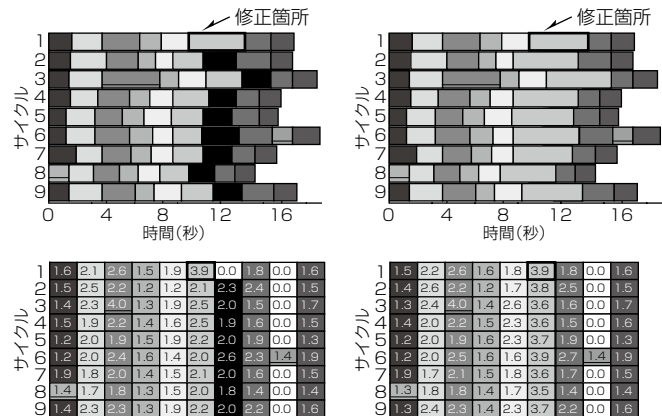


図3. 作業分析システムによる分析結果の映像表示



(a) 分析者による修正

(b) 修正をフィードバックした再分析

図4. 作業分析システムの修正支援UI

ている、と短時間で把握できる。

3.3 修正支援UI

このシステムのデータ分析は行動分析AIに基づくが、その分析結果には例えば“一つのねじ締め動作が二つの動作要素に分かれている”等、分析者の考えと一致しない誤りが含まれ得る。

これに対してこのシステムでは、分析者が分析結果の一部をGUI上で修正し、行動分析AIにフィードバックして再分析させる修正支援UIを実装している。これによって、分析者は少ない操作で、分析結果全体を分析者の考えと一致するように修正できる。

図4は修正支援UIによる修正の例であり、図3で示した分析結果について、マトリックス表現の6列目と7列目をまとめている。まず、分析者はサイクル1の動作要素二つをGUI上で結合する修正を行う(図4(a))。次に、修正内容を行動分析AIへフィードバックして再分析させる。これによって、サイクル2～9についても二つの動作要素が自動でまとめられる(図4(b))。

4. 実証実験

行動分析AIを用いた作業分析システムに関する当社工場での実証実験及び結果を述べる。実証実験は、当社工場内の2ラインで実施した。対象としたライン及びデータ計測の条件を表1に示す。データ計測1回について作業員1名を対象とし、データ計測10回で作業員延べ10名の作業を計測した。

またこの実験では比較のため、計測したデータに対して次に示す三つの手法で分析を実施した。

- (1) 従来のVTR法による分析(“目視”)
- (2) 行動分析AIによる分析(“AI自動”)
- (3) 行動分析AIと修正支援UIによる分析(“AI支援”)

分析者は生産改善業務に従事する当社社員1名であり、対象ラインの作業工程、このシステムの使用法を事前知識として持っている。“目視”及び“AI支援”では、分析者は対象ラインでの作業工程ごとの作業時間を全て確認できるまで分析を行った。

次に、“AI自動”による分析結果の正解率、及び各手法による分析の所要時間について評価結果を示す。

4.1 分析結果の正解率

2.1節に述べた“AI自動”による動作要素の境界推定結果について、“AI支援”の結果を真として各時刻でのクラス分類の正解率を評価した。その結果、対象ラインAでの正解率88.3%、対象ラインBでの正解率100%になった(図5(a))。

表1. 実証実験の対象ライン及びデータ計測条件

対象ライン	作業内容	作業員数	計測回数	総動画時間
A	組立, 検査	3	8	81分
B	組立	1	2	37分

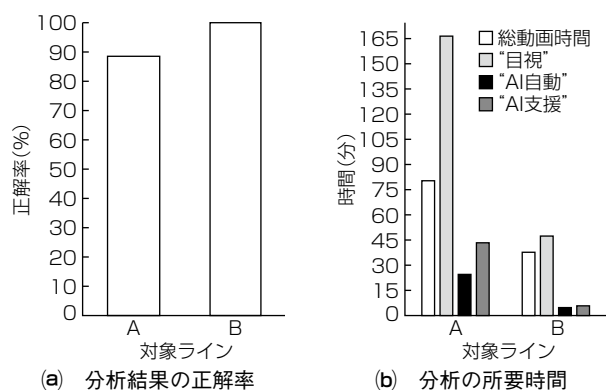


図5. 実証実験結果

すなわち行動分析AIによって、正解率約9割の分析が可能であることを確認できた。

4.2 分析の所要時間

各手法で分析の所要時間を評価した結果を図5(b)に示す。“目視”による分析の所要時間は対象ラインAで約167分、対象ラインBで約47分であった。これは動画の総時間の1.3～2.1倍に当たる。これに対して“AI自動”による分析の所要時間は対象ラインAで約24分、対象ラインBで約4分であり、“目視”に対して平均1割程度であることを確認できた。

また、分析結果に含まれる“AI支援”の所要時間は対象ラインAで約43分、対象ラインBで約5分であり、“目視”に対して平均2割程度であることを確認できた。

5. むすび

当社が開発した行動分析AI、及び作業分析システムについて述べた。またこのシステムの当社工場での実証実験によって、行動分析AIは従来のVTR法と比較して平均1割程度の時間で正解率約9割の分析が可能であることを確認できた。また行動分析AIの分析結果に誤りがある場合でも、修正支援UIによって、さらに1割程度の時間で修正可能であることを確認できた。

参考文献

- (1) Abdallah, Z. S., et al.: Activity Recognition with Evolving Data Streams: A Review, ACM Computing Surveys, 51, No.4, 71 (2018)
- (2) Nakamura, T., et al.: Segmenting Continuous Motions with Hidden Semi-Markov Models and Gaussian Processes, Frontiers in Neurobotics, 11, 67 (2017)
- (3) Hogeweg, P., et al.: The alignment of sets of sequences and the construction of phyletic trees: An integrated method, Journal of molecular evolution, 20, No.2, 175~186 (1984)