

# 画像認識AIを活用した 外観検査の自動化

## Image Recognition AI to Promote the Automation of Visual Inspections

● 廣野 慎一      ● 内部 剛志      ● 村田 寿憲      ● 伊東 信之

### あらまし

島根富士通は、ノートPCとタブレットのプリント板実装から装置組立、出荷までを一貫して行っている。個々のお客様のニーズに対応した1台単位のカスタマイズ製品をタイムリーに出荷するため、人と機械の協調生産を推進している。その中で、装置製造ラインでは画像認識技術による自動外観検査機を展開し、製品品質の安定化に努めてきた。しかし、昨今の製品仕様の多様化・マスカスタマイゼーションの進展に伴い、検査画像における特徴量の登録作業で負担が急増している。更に、従来のパターンマッチング処理では検出が困難な不良パターンが発生しており、アルゴリズム作成作業の簡素化と不良品の検出精度向上が課題となっていた。これらの課題を解決するため、富士通独自の画像認識AI(人工知能)であるFUJITSU Manufacturing Industry Solution COLMINA Service AI-Proを活用した検査アルゴリズムの自動生成技術により、従来は困難だった良否判定を可能とし、アルゴリズム作成の属人性排除および検査検出精度の向上を実現した。

本稿では、AI-Proを活用した量産ラインにおける自動外観検査機の実践事例と展望について述べる。

### Abstract

Shimane Fujitsu Limited manufactures laptop computers and tablets, from production of printed circuit boards to assembly and shipment. We promote human-machine collaborative production to realize timely shipping of individually customized items catering to specific customer needs. On the device manufacturing lines, image recognition technology has been employed to realize reliable quality assurance through an automatic visual inspection system. However, the advancing diversification and customization of specifications is rapidly becoming a burden in terms of registering reference points in the inspection images. There is also a new defect mode that the conventional pattern-matching process cannot identify, leaving us with two tasks: simplifying the algorithm generation process and improving the accuracy of defect detection. To address these challenges, we employ a technology to automatically generate inspection algorithms based on Fujitsu's unique image recognition AI, FUJITSU Manufacturing Industry Solution COLMINA Service AI-Pro. This makes visual judgment possible, which was difficult to do before, and removes the human involvement in algorithm generation as well as improves fault detection accuracy. This paper describes an actual case of applying the AI-Pro to mass-production lines to realize the automated visual inspection system. We will also give an account on its future prospects.

## ま え が き

ものづくりの現場においては、製品の品質を担保するために外観検査が行われている。外観検査は目視が主流であり、個人差によって生じる不良品の流出、良否判定のばらつきなどが出荷品質に大きく影響する。また、労働人口の減少や少子高齢化に伴って人材の確保が難しくなっていることに加え、長い時間にわたって集中力が必要となる単調な作業であるため、十分な検査員を確保できないという問題もある。これらの理由から、外観検査を自動化したいというニーズが製造業全体で高まってきている。

一方、検査を自動化するためには、新機種の製造や環境の変化に柔軟に対応できる検査プログラムの迅速な作成および修正が求められる。また、良否判定基準の明確化が困難であることが障壁となり、目視検査を続けている企業が大部分を占めている。これに対して、近年のAI（人工知能）技術の進歩により、これらの障壁を打ち破ることができるのではないかと期待が高まっている。

島根富士通は、ノートPCとタブレットの国内生産拠点として、年間158万台という日本最大級の生産規模を誇る。プリント板実装から装置組立に至る一貫生産ラインを持ち、1台ずつお客様の仕様に対応させるマスカスタマイゼーションを強みとしている。島根富士通のマスカスタマイゼーションを支えているのが、FJPS（Fujitsu Production System）と呼ばれるものづくり革新活動である。その中で、QCD（Quality, Cost, Delivery）のレベルアップに向けて、自動化や人と機械の協調生産に積極的に取り組んでいる<sup>(1)</sup>。

装置製造ラインにおいては、画像認識技術を活用した外観検査の自動化を展開し、製品品質の安定化に努めてきた。一方、昨今の製品製造のトレンドに対して、以下の問題が発生していた。

- (1) マスカスタマイゼーションの進展に伴う検査作業の高難度化
  - ・1ラインあたり1日平均70パターンの製品を多品種少量・混流生産するため、目視検査の項目・種類が膨大となる。
  - ・タクトタイム（市場・お客様の要求する製品数量によって、コンベアのスピードを決める）で管理

するものづくりにおいて、組立難度に合わせたスピードの変更はできない。

以上のことから、目視検査作業の負担が増大している。

(2) ノートPC本体の薄型化と軽量化に伴う検査アルゴリズム作成作業の属人化

- ・部品の小型・薄型化に伴い、自働外観検査機に登録する検査アルゴリズムの作成作業が複雑化する。
- ・従来の検査技術では、不良品の検出精度が安定しない。

以上のことから、自働外観検査機の登録用データ作成作業の負担が増大している。更に、これはカンやコツを要する作業であり、属人化している。

これらの問題の解決策として、自働外観検査機に富士通独自の画像認識AIを活用することで、検査アルゴリズム作成の簡易化による属人性の排除および検出精度の向上を実現した。

本稿では、島根富士通の装置製造ラインにおける画像認識AI技術を活用した外観検査自動化の取り組みと、実践内容について紹介する。

## 島根富士通における外観検査自動化の取り組み

島根富士通では、FJPSに根ざした人が得意とする作業と、ロボットやICTの得意な作業を適切に分担する「人と機械の協調生産」を推進している。これまでの装置製造ラインにおける外観検査自動化として、製品組立完了後にインライン検査を行っていた。そこでは、装置カバー面に貼られるCPUスペックやWindowsのバージョンなどの仕様に関するラベル内容、あるいは仕向け先に応じたキーボードの印字言語やテンキーの有無に対し、画像認識技術を用いて正誤を自動的に判別していた（図-1）。

製品仕様が多様化する中、仕向け先ごとに目視で判別していた検査作業の負担軽減と品質安定化を目的として、自動化を進めてきた。その検査機は、コンベアライン上に複数のカメラと照明を配置し、明るさを均一化するため暗箱で囲い、カメラの直下を通過する製品のディスプレイ画質やラベル・キーボードの文字を自働外観検査していく（図-2）。

画像認識に活用する技術は、テンプレートと呼



図-1 印字内容の微妙な違いに対応する外観検査

ばれる小さな一部の画像領域と同じパターンが画像全体の中に存在するかどうかを調べる、テンプレートマッチングという方法である。この検査において検出精度向上に大きく関わるのが、データ作成時に行う特徴量の指定である。例えば、ラベルであれば検査エリアを登録し、登録画像の撮像後に内容が類似するラベルを並べることによって特徴量を指定する。この際、正誤が見分けやすい特徴量をうまく抽出し、比較する類似のサンプル数が多いほど検出率が向上する。しかし、検査対象物の角度や照度のばらつきによる色相変化などの要因によって、誤検出が発生する。

データ作成時の特徴量の指定、画像サイズの設定などには、専門的なスキルやセンスが必要となる。誤検出が発生すると、画像を差し替えて再評価するなど画像認識アルゴリズム生成に多くの時間を費やすことになる。そのため、誤検出の低減と不良品検出率の向上をバランス良く調整して、データを簡単に作成できるようにすることが課題であった。

またFJPSには、品質やライン、製造設備の作り込みにより、自分が製造した製品の品質を保証して後工程に良品を流すという自工程完結という考え方があった。これに基づき、課題の見える化と改善を促すツールとして、自働外観検査を組立作業の途中に適用したいというニーズが挙がっていた。その実現に向けては、平準化1個流しに対応するため、組立工程にビルトインしたフリーロケーションの検査システムを構築し、テンプレートマッチング技術では検出しきれない不良パターンも検出可能とする技術の確立が、もう一つの課題であった。

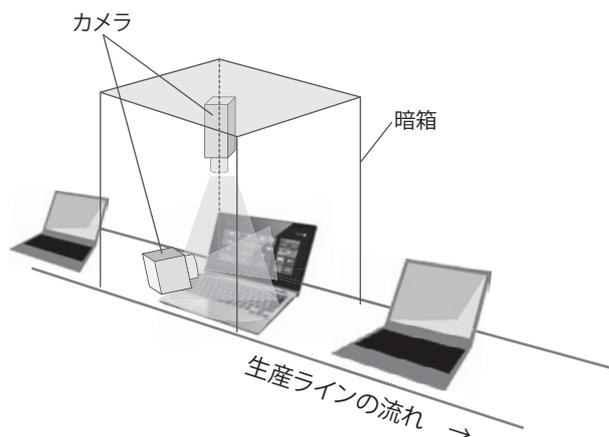


図-2 コンベアライン上の自働外観検査機

### 富士通の画像認識技術

富士通と富士通研究所では、ものづくり現場に向けた画像検査技術を長年にわたり培ってきた。現場では、環境の変化で撮像画像にノイズや明るさの差異が生じることが多く、外乱に対してロバストな画像認識プログラムの開発が望まれていた。また、製品の新規量産立ち上げや改良の際には、過去のプログラムの流用が困難である。そのため、新たにプログラムを作り直す必要があり、市場への早期投入や量産品質安定化に向けたプログラム開発の容易性も望まれていた。

そこで、環境変化に対してロバストであり、プログラムの早期構築・修正を可能とする画像認識プログラムの自動生成技術を確立し、FUJITSU Industry Solution COLMINA Service AI-Pro<sup>(2)</sup>として製品提供している。当初は、光学部品の精密実装における高精度なエッジ抽出に適用し、組立時の位置補正に利用していた。しかし、外観検査などの良否判定への応用を望む声が多く、機能の拡張を図っている。

画像の良否を判定するためには、まず画像認識の専門エンジニアが画像の特徴量を選択し、その特徴量を用いた分類器（判定ルール）を作成する。しかし、特徴量の全てを組み合わせた場合には、分類器の作成時間が膨大になる。また、不良品の発生は稀であるため、非常に少ない不良品の画像を用いてプログラムを生成しなければならない。

そこで、図-3に示すように、画像変換（C1～C6）から特徴量を抽出（F1）し、分類器を生

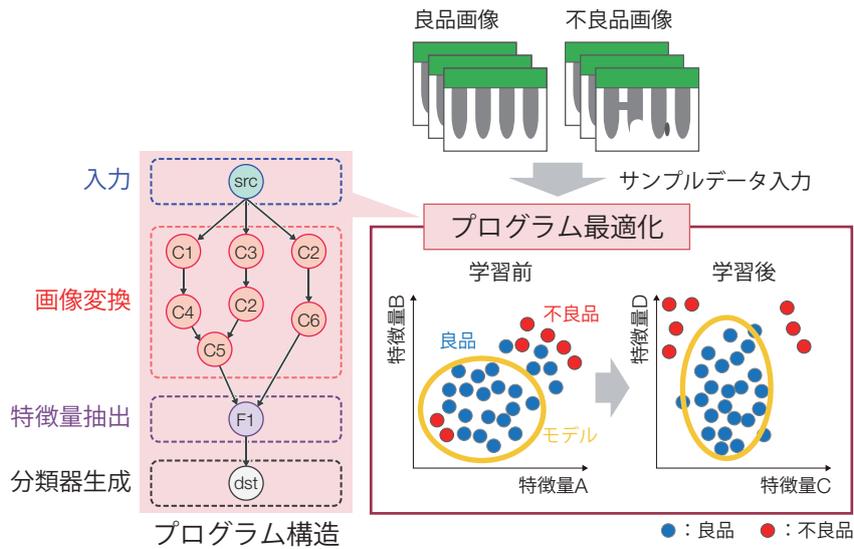


図-3 良否判定のプログラム構造と最適化

成するパラメーター決定 (dst) までの一連の処理を、これまでの実践経験から次のように行った。まず、木構造プログラムで画像変換から特徴量抽出までの流れを定義した。次に、機械学習の手法である遺伝的プログラミング (GP : Genetic Programming) による組み合わせ最適化を行うことによって、サンプル画像の探索時間の削減と少ない不良画像による学習を可能にした。

また、このプロセスを採用することによって、生成したプログラム構造が可視化されるため、エンジニアにとって可読性だけでなく安心感や納得性が高いプログラムとなる。以上によって、専門的な画像処理スキルが不要となり、属人化の排除にもつながった。

### 島根富士通の製造ラインへの適用

本章では、開発段階であったAI-Pro良否判定機能を社内に先行リリースし、島根富士通の外観検査自動化にトライアル適用した事例を紹介する。

#### ● 動機

組立工程における装置製造ラインの課題を、以下に挙げる。薄型・軽量化が進むタブレットでは、薄いフレキシブルケーブルと薄型・小型コネクタを使用した接続が多用される。したがって、作業の難易度が高くなり、目視による接続検証は難しかった。このため図-4に示すように、ケーブルが十分にコネクタに差し込まれていない斜め挿し

状態の接続不良が見落とされたまま製品の組み立てを完了してしまい、後工程の機能試験で不良が発覚するケースが増えていた。こうした場合、製造ラインから不良品を抜き取り、装置を解体して接続部分を修正し再度組立を行う必要が生じるため、リカバリーに多くの工数がかかっていた。こうした斜め挿し状態の接続不良には様々なパターンがあり、不良箇所を特定するためには時間をかけて導通試験を行う必要があった。

また、従来のテンプレートマッチング法では、明らかな未接続といった不良であれば検出できた。しかし、斜め挿しのような不明確な接続不良に対しては、従来の人による画像認識アルゴリズム生成や、自働外観検査では検証は困難であった。そこで、AI-Proを使用して良品と不良品の画像を機械学習させることによって精度の高いアルゴリズムを生成し、検証精度の向上が可能なかを評価するため、2017年8月からトライアルを開始した。

#### ● トライアル

AI-Proは専用機能を持ったパッケージソフトウェアであるため導入は比較的簡単であったが、実際の運用にどの程度耐えられるのかは未知数であった。

まず、AI-Pro学習用画像としてフレキシブルケーブル接続状態の正常と異常のサンプル画像を合計100枚程度用意し、コネクタの嵌合部分をROI (Region of Interest : 対象領域) として良・不良を

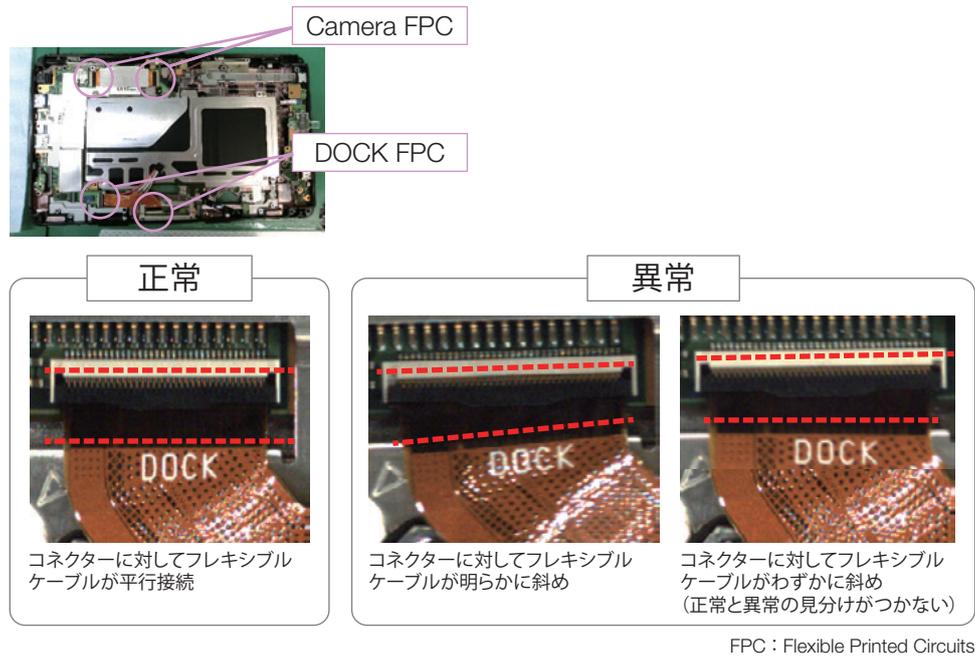


図-4 薄型コネクタへのフレキシブルケーブル接続(正常・異常)

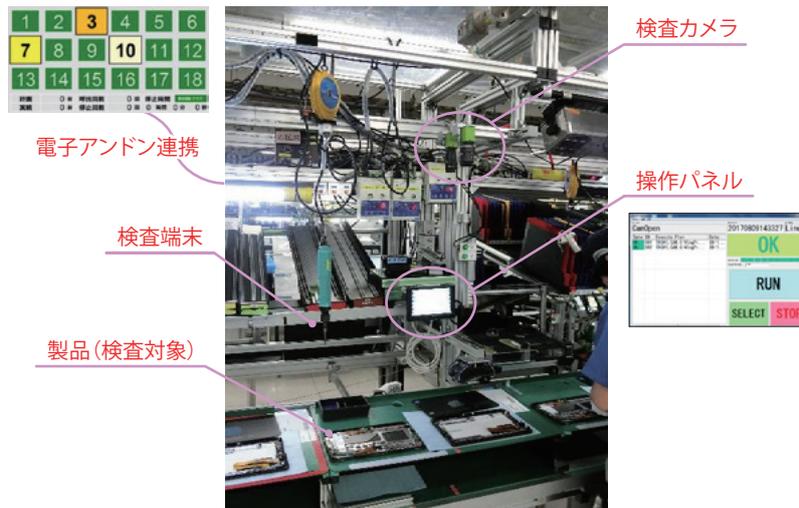


図-5 装置組立ラインへの設置

教示した上で、AI-Proによりアルゴリズムファイルを自動生成した。次に、製品に対して疑似的に良品・不良品の様々なパターンを生成し、アルゴリズムファイルを基にカメラを使って検査したところ、約98%の検出率で判別できた。最後に、装置製造ラインへの適用を進めるため、検査システムの環境を構築した。具体的には、コンベアライン上に画像データ取り込み用高精細カメラを2基配置し、作業の制約を招いていた暗箱は使用せず、

フリーロケーションで設置した(図-5)。

また、平準化1個流しに対応するため、製品1台ごとに付与されている進度管理番号をバーコードリーダーで読み取り、正解データと連携させて検査プログラムを作成した。検査ソフトウェアは、AI-Proで生成されたアルゴリズムをプログラムによって実行可能とする専用ツールである。コンベアの制御とも連携を図り、検査で異常が発見された際には電子アンドンへのアラーム発報およびコ

表-1 従来のパターンマッチング技術とAI-Proの比較

◎大きく改善, ○改善, △あまり変わらず

	項目	従来 (VST パターンマッチング)	今回 (AI-Pro活用)	改善ポイント	評価
データ作成	データ作成のスキル依存性	誤検出抑制と不良検出率向上のバランス調整が必要。専門スキルを要する	学習用撮像データを準備後AI学習。専門スキルを要さない	カンやコツを要する設定作業削減	◎
	特徴量の選択	・正誤見分けがしやすい画像の登録 ・画像サイズ設定など	・良品・不良品で変化しない ・コントラストがあり、相互が離れていること ・同じ特徴量が複数ないこと	選択・設定はマニュアル作業のまま	△
	初回作成時間(実践例より)	1製品あたり8時間	1製品あたり4時間	工数50%削減	○
能力検査	検査項目	・部品有無 ・部品種	左記に加え ・変化量	ケーブル挿入量など、微細な良否判定が可能	◎
	検出率	98.5%～99.0%	99.5%～100%	従来比 +1.0%	○
メンテナンス後の運用	検査アルゴリズム修正作業	テンプレート画像を修正して再評価	虚報画像をAI-Proで再学習	カン・コツ不要 部品/撮像ばらつきに対応したデータ自動生成	◎
	アルゴリズム修正実作業時間	1回あたり1.5時間	1回あたり1.0時間	30%短縮。再学習のリアルタイム化に向けては、更なる高速化が望まれる	△
撮像環境への追従性	外乱影響による変化を阻止	照明均一化のため、暗箱による囲いが必要	左記不要	ロバスト性向上	◎
	被検査位置決め	Y方向突き当て( $\theta = 0^\circ$ )	ラフな位置決め( $\theta \pm 10^\circ$ )	回転補正機能追加および位置決め作業削減(サイクルタイム短縮)	◎

ンベア停止となるように同期を取った。

このトライアルには万全を期して臨んだが、不良品の検出率が約75%まで低下してしまった。この状態ではラインに適用できないため、一旦中止とした。この検出率低下の原因とその対策について以下に示す。

(1) 問題1：撮像画像の回転

製品がパレット上にラフに置かれていることに起因する問題である。この対策として、以下の条件に適合する特徴量をキーに画像を回転補正する正対化機能を適用した。

- ・良品・不良品で変化しないポイント
- ・コントラストがあり相互に離れていること
- ・同じ特徴量が複数存在しないこと

(2) 問題2：撮像画像のブレ

製品はコンベア上を動きながら組み立てられることに起因する問題である。この対策として、露光時間、ガンマ値、感度などの撮像条件をチューニングした。

これらの対策のほかにも、コンベアラインの振動抑制などの施策を行うことにより、最終的には検出率98%を達成した。

● ライン適用

技術者3名によるトライアル開始後3か月が経過した2017年11月初旬から、装置コンベアラインにおいて本格稼働を開始した。誤検出画像をAIで再学習することによって、更に検出率を向上させて安定稼働に努めている。これまで、人による作業では非常に時間がかかり設定できなかった画像認識アルゴリズムを、機械学習によって1製品につき約2時間という短時間で最適解を導き出せるようになった。これによって、わずかな画像の変化に対する良否判定がリアルタイムに行えるようになり、QCD改善のツールとして大いに役立てることができた。

従来のパターンマッチング技術と比較して改善された点を表-1に示す。

む す び

本稿では、富士通独自の画像認識AI (AI-Pro) を活用した外観検査の自動化について述べた。

自働外観検査機を装置製造ラインの組立作業に適用することによって、従来技術では検出できなかったわずかな画像の変化を判別し、良否判定を可能とした。更に、データ作成の簡易化による属

人性の排除と、不良品の検出精度向上が可能となった。AI-Proを活用した検査機による効果として、工程ごとの品質の作り込み・製造不良の後工程流出の抑制につながり、ラインリジェクトに伴うムダな工数が削減された。

AI-Pro活用は、他工場にも展開を開始しており、富士通グループ製品の品質向上、コストダウンに大きく貢献すると期待されている。また、今回の社内実践による知見も活かし、キズなどの外観検査、異物混入検査、部品取付け忘れ、ネジ締め忘れなどの作業確認にも適用範囲を広げ、お客様のビジネス拡大に貢献していきたい。

今後は、最良な特徴量選択の自動化、誤判定発生時のAI再学習のリアルタイム化と学習時間の短縮化、および明度に差がない異色相検査への追従（モノクロからカラー化）を機能面で強化することにより、国内のものづくり現場における労働者不足による様々な問題を解決していく。

### 参考文献

- (1) 宇佐美隆一：ICT活用によるものづくり革新活動と人と機械の協調生産の実践。FUJITSU, Vol.67, No.3, p.90-96 (2016).  
<http://www.fujitsu.com/jp/documents/about/resources/publications/magazine/backnumber/vol67-3/paper14.pdf>
- (2) 富士通：COLMINA Service AI-Pro.  
<http://www.fujitsu.com/jp/solutions/industry/manufacturing/monozukuri-total-support/colmina/service-ai-pro/>

### 著者紹介



**廣野 慎一** (ひろの しんいち)

(株) 島根富士通  
生産技術統括部  
パソコン製造の設備・治具開発とものづくりQCD改善に従事。



**内部 剛志** (うちべ つよし)

(株) 島根富士通  
生産技術統括部  
パソコン製造の設備・治具開発とものづくりQCD改善に従事。



**村田 寿憲** (むらた ひさのり)

富士通 (株)  
テクノロジー&ものづくり事業本部  
画像検査技術の開発に従事。



**伊東 信之** (いとう のぶゆき)

富士通 (株)  
テクノロジー&ものづくり事業本部  
画像検査設備の開発に従事。