

素材検査におけるディープラーニングの応用と展開

フロンティアシステム株式会社 代表取締役社長 古田 俊治



はじめに

素材の可能性を追求していくうえで必要なことのひとつに素材の検査が欠かせない。素材は、原料からあらゆる条件によって市場がもとめている機能を最大限に発揮できる素材が製品として完成されなければならない。そのためには、製品化できない条件と製品化できる条件をどのようにして探し出していくのか、そのデータはどのようにして収集していくのか、時間とコストを常に考えながら素材の可能性は高められていくのではないだろうか。検査装置の役割は、素材の欠点を人間の目の代わりにカメラにより検査して不具合や欠点を検出することにある。検査されたその情報は、欠点の内容や発生した条件がわかると欠点を発生させないように環境や設備での対応が可能となり素材の機能性向上、生産コストをダウンさせることが可能となる。現在では、あらゆる分野において「A I」という言葉が独り歩きしているようにいろんな場面で聞かれることが多くなった、人材不足、働き方改革による労働時間の短縮などにより企業は労働力の確保のために仕事を人の代わりに「A I」が労働することで足りない労働力を補い、経済発展の基盤となる事が期待されるようになった。

人間の目の代わりに仕事を補っていく例としては自動車の自動運転も実用化に手が届くまでになった。検査装置の市場においても同じである、画像処理および光学系の技術も進みカメラの種類も高分解能、高速性、インターフェースも変わり選択肢がふえてきた。人間が考える機能としてディープラーニング「深層学習」が期待されるようになった。

当社は、A Iの機能としてディープラーニングを搭載した検査装置を市場に出していく準備ができた。当初は、欠点を流出させないことをコンセプトとしてZDシリーズ「Zero Defect」のシステムを開発した。

素材シートの欠点を確実に検出し外部へ流出させないことは当たり前のことであり、その他にも操作性、メンテナンス、コストパフォーマンスに優れていたことは今でも自信をもっている。その後は、高速ラインに対応したNFシリーズ、マルチ検査に対応したKEシリーズ、そしてこの度、創業時のZDシリーズの後継機としてZD-CF（以下CF）とディープラーニングを搭載した検査装置ZD-CFAI（以下CFAI）を市場に提供する準備が整った。

CFはカメラをGig-Eラインカメラのモノクロとカラーに対応し、カメラの解像度としては12Kまで対応していることだ、検査能力だけでなくコストパフォーマンスにおいても優れている。

CFAIは、コグネックス社の「VisionPro ViDi」を搭載しディープラーニングによる種別判別と通常の二値化では検出できない欠点を学習させることにより検出が可能となる。この機能は、シート材検査という特定の市場においては業界初ではないだろうか。＊1

CF 検査装置



CF 検査装置制御盤

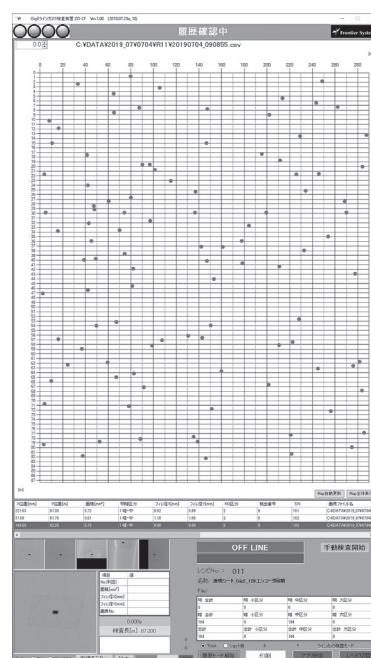
シート材検査におけるロール to ロールには「いつ、どこに、どのような」欠点が発生した状況がリアルタイムにわかるような画面としてMAP表現にはいままでとは異なりMAP表示を遠くからでもよく見えるように縦画面MAP表示にも対応した。縦マップ画面表示により画面一面により大きくMAP情報を表示することができる。

画面表示例

横画面表示モード



縦画面表示モード



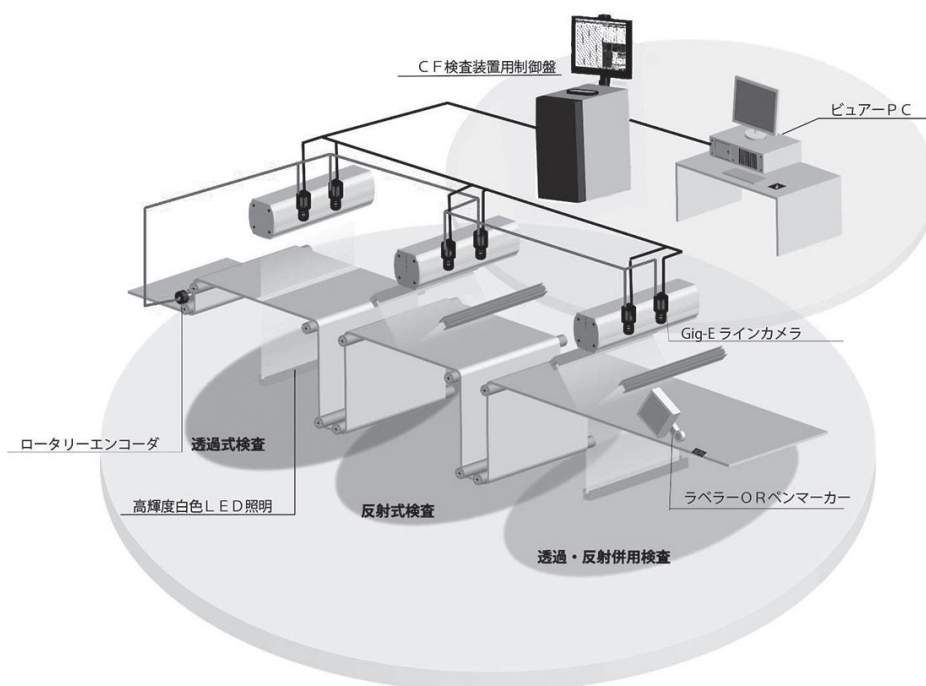
機能：

- ① 検査領域自動設定 (CF/CFAI)
- ② 波形モニター (CF/CFAI)
- ③ リアルタイムモニター (CF/CFAI)
- ④ 欠点大きさ判定 (CF/CFAI)
- ⑤ 各データ閲覧 (CF/CFAI)
- ⑥ マップ表示（横表示 / 縦表示） (CF/CFAI)
- ⑦ 欠点密集 & 周期判定 (CF/CFAI)
- ⑧ AI 種別判定 (CFAI)
- ⑨ 外部閲覧機能 (オプション)
- ⑩ IOT 遠隔監視機能 (オプション)

仕様：

- ① 4k、8k、12k、Gig-E ラインカメラ対応 (CF/CFAI)
- ② OS: Windows10 Enterprise IOT(CF/CFAI)
- ③ CPU: intel Core i7(CF)/ Core i9 (CFAI)
- ④ GPU: NVIDIA (CFAI)
- ⑤ SSD: 256GB(CF/CFAI)
- ⑥ AI：コグネックス社「V i D i」 (CFAI)

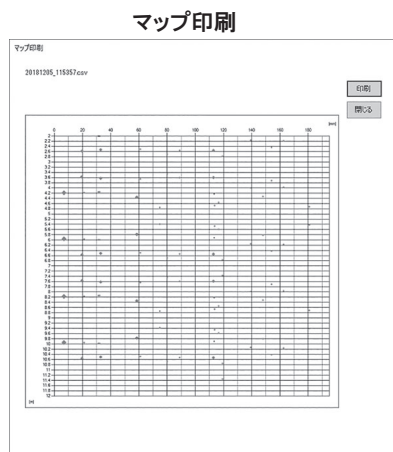
システム構成例



参考として図のシステム構成を説明する。

CF 検査装置用の制御盤にそれぞれの光学系により検出する対象欠陥が異なる場合のシステムである。ラインはエンコーダのパルスと同期を取りそれぞれの光学系で検出した欠点にラベルもしくはペンによりマーキングする。

管理用としてビューア PC を設置し検査中であっても現在の検査状況や履歴データを復元することにより過去の検査状況を確認することが可能となる。必要な情報はプリントアウトして品質管理に使用する。



リスト印刷 (データ)

No.	重心(Xmm)	重心(Ymm)	面積(mm²)	幅(mm)	長さ(mm)	厚さ(mm)	材質	単位	注
0	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
1	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
2	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
3	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
4	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
5	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
6	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
7	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
8	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
9	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
10	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
11	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
12	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
13	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
14	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
15	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
16	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
17	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
18	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
19	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
20	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
21	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
22	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
23	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
24	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
25	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
26	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
27	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
28	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
29	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
30	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
31	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
32	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
33	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
34	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
35	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
36	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000
37	100.000	100.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0	0	0000,000000



Gig-E ラインカメラの特徴：

特徴としては、カメラ用 LAN ケーブルを最大 100m * 2 まで配線できるため、これまでラインカメラが配置できなかった場所や環境で使用可能となる。また、LAN ポートを増やすだけで、複数台接続を容易に実現可能となり、フレームグラバが不要で PC とカメラを、LAN ケーブルで直接接続することが可能であるため専用の画像入力ボードが不要となり、圧倒的に安価なシステム構築が可能となる。

画素数は 2K 4K 8K12K のラインカメラによりエリアカメラに比べて高分解能による検査が可能となる。

Gig-E ラインカメラは、カメラの内部メモリと PC のメインメモリにそれぞれリングバッファを持っている。1 ライン取り込むごとに PC へデータを送信しているだけでなく、より安定した動作を実現するために、取り込んだ画像を一旦カメラの内部メモリに蓄えて一定ライン数の取り込みが完了するごとに、1 枚の画像として順次 PC 側のバッファへ送信している。

ラインとの同期はエンコーダのパルスでおこなう、カメラリンクなどは画像ボードにエンコーダのパルスを入力して同期を取るが Gig-E ラインカメラの場合はカメラ本体に RS422 の入力用のコネクタがあり、直接入力する。複数台のカメラ接続の場合には終端抵抗が必要になるがソフト側で終端のカメラに対して接続の設



Gig-E ラインカメラ本体

定が可能となる。

例えば 1 回の取り込みライン数を 1000 ラインと設定した場合、1000 ライン分の画像取り込みは、Gig-E ラインカメラ内部だけで完了しカメラの内部メモリに蓄えられた高さ 1000pix の画像データが、順次 PC に転送されていく。転送中も 1001 ライン目以降の取り込みはラインセンサ上で実施され、画像取り込みはカメラ内部だけで取りこぼしなく実施したのち、カメラから PC への画像転送はリングバッファを使用してデータ損失することなく確実に転送される仕組みが完成されている。画像入力ボードの機能を Gig-E ラインカメラ自身が内蔵することで、画像取込みの安定性を実現している。

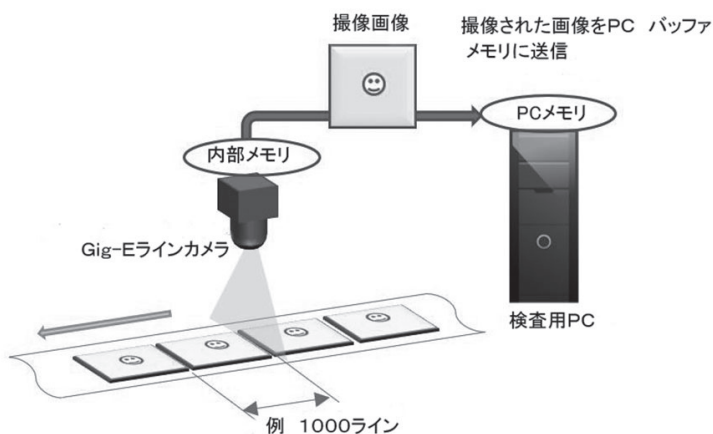


カメラ用電源 (POE に接続の場合は必要なし)

エンコーダパルス

LAN 接続 (POE)

Gig-E ラインカメラ接続例



見た目が非常に似かよった素材の変動や偏差を認識することが困難でありユーザーがどのように固有の違い、または異常を理解し分類するかによって、相違や異常が排除されたり、されなかったりする。製造者のニーズによっては、外観上の異常は排除の原因とならない場合がある。これらの欠点は既存の検査装置のシステムでは識別が難しい。

ディープラーニングを使用した検査装置の学習について別の参考画像を使って説明する。

ディープラーニングの検査と目視の検査

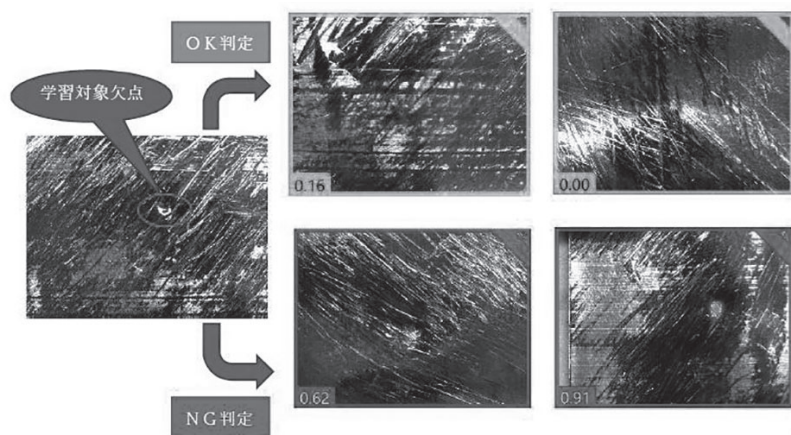
ディープラーニングとは聞きなれない言葉であるが「人工知能」（以下AI）という言葉はよく聞かれるのではないだろうか、ディープラーニングは、AIの一部であり、また機械学習の1種である。機械学習の種類（アルゴリズム／手法）は実は様々なものが存在するが、その中の1グループがディープラーニングである。

ディープラーニングとは突き詰めると、経験から学習する人間にとっては自然にできることをロボットや機械に教えることであり、並列処理が可能で高速処理できるCPUやGPUなどのハードウェアによって、人間の脳の神経細胞網を模倣（ニューロンモデル）することが、生物工学的で多層的な「深層」ニューラルネットワークの実装が実現可能になった、

ディープラーニングに基づいたソフトウェアは、従来のマシンビジョンソリューションよりも効果的に、判断による検査、分類を実現することができる。

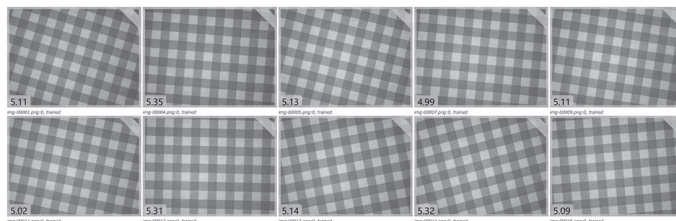
次の画像は金属の断面の打痕部分を学習させて打痕部分のみを検査することが可能な参考例である。

外観上の変動についてはある程度許容するものの、複雑な表面性状や画質は検査上の深刻な問題となる。

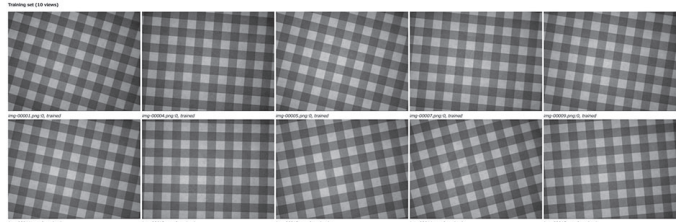


金属検査におけるディープラーニング学習例
（打痕部分は自動的に赤くマーキングされ、欠点と判定されます。）

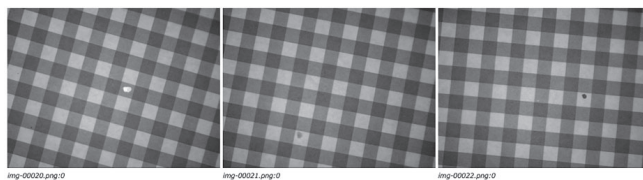
画像1 撮影画像（良品データ収集）



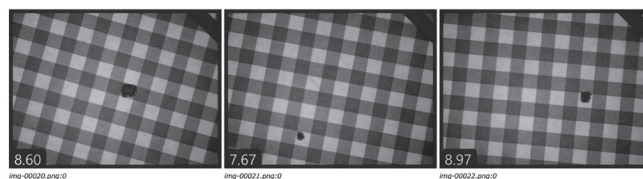
画像2 良品撮像学習



画像3 不良品撮像画像



画像4 不良判定



ディープラーニングの学習方法として2つの方法がある。

①良品のみを学習させる方法

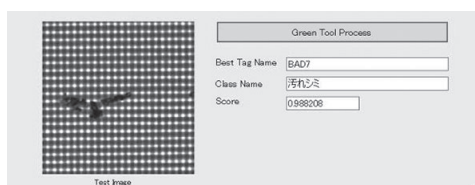
②良品と不良品の両方を学習させる方法

例としては①の良品のみを学習する方法にて実施したものである。画像1は良品を色々な角度から撮像して画像2は良品として学習させた。その後に画像3の不良品を撮像させた結果画像4の不良として結果を出すことが可能である。

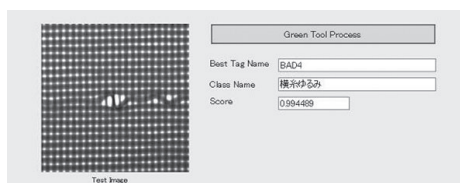
②の不良品も学習させる場合は、不良の種類を学習させることにより不良の種類分けをすることも可能となる。ただし、人間と同じように完璧ではない、ディープラーニングに完璧を求めてしまうと判断をする精度が落ちてしまう可能性が高くなる。不思議であるが学習させる材料が要求される限度を超えるとあいまいさが無くなり従来の画像処理で行う判別と変わらなくなる。ここで必要なことはあいまいであることを有効な判断基準とすべきである。

ディープラーニングによる種別判別

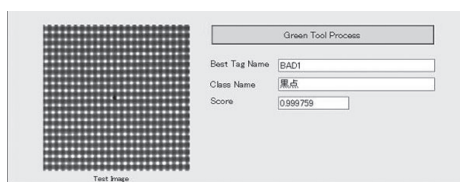
ディープラーニングにより学習された欠点はそれぞれの特徴データをもとに種別を判断し分けることが可能となる。下図の画像は繊維検査における判断された画像である。



種別判定汚れシミ



種別判定横糸ゆるみ



種別判定黒点

ディープラーニングと他の検査方法との比較

 人間の目視検査と比較して、ディープラーニングは	 従来のマシンビジョンと比較して、ディープラーニングは
より一貫している。 毎日24時間動作し、すべてのライン、すべてのシフトおよびすべての工場で同じレベルの品質を維持。	解決困難な用途のために設計。 古典的なルールに基づくアルゴリズムでは不可能または困難な、複雑な検査、分類および識別用途を解決。
より信頼できる。 設定された許容差の範囲外の欠陥をすべて特定。	設定が容易。 アプリケーションを容易に設定できるため、実証実験や展開を迅速化。
より高速。 ミリ秒単位で欠陥を特定できるため、高速用途を支援し、スループットを改善。	バラツキを許容。 目標値からの許容偏差の評価を必要とする欠陥のバラツキに対応。

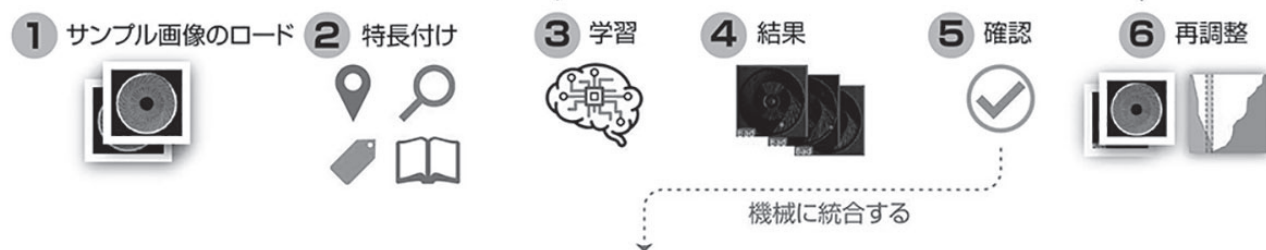
ディープラーニングと他の検査方法との比較

目視検査の良いところ

人間の目視による検査は、品質に影響を及ぼす可能性がある素材のバラツキを認識することや、微妙な外見上、および機能的な欠陥を識別することに長けている。情報の処理速度には限界があるものの、人間には概念化と視覚化に関する独特の能力が備わっており先例から学習することに優れ、微妙な異常を見つけた場合、その中で重要なものを識別できる能力がある。つまり複雑で非構造的なものにおける定性的な判断が必要とされる場合、特に微妙な異常や予測不能な欠陥がある場合には、多くの場合、人間の視覚が最善の選択となる。

この人間の持っている目視検査における利点を最大限に生かすことができるのが、ディープラーニング技術を画像処理技術と融合したコグネックス社の「VisionPro ViDi」の特徴である。「VisionPro ViDi」は人間の検査員のように、素材の既知の特長や異常、分類を示すラベル付けされた画像により学習を行う。複数な形状を持つ欠陥に対しては、有意ではあるが許容範囲内のバラツキなど、対象物の通常の外見を学習するように特徴付けをして学習モードで自身のトレーニングを行う。このような代表的な学習した画像に基づき、ソフトウェアは基準モデルを作成する。学習モデルが予想通りの動作を行うまで、パラメータの調整、結果の確認、改善の実施という一定の過程を繰り返す必要がある。この間「VisionPro ViDi」は、新たな画像セットからデータを抽出し、素材異常の抽出および分類を行う。下図のような進め方でトレーニングを行い、システムは明瞭な欠陥を認識することを学習する。

トレーニング段階



ラインへの展開段階



参考文献：コグネックス社「人工知能とマシンビジョンの融合」

ディープラーニングに基づく画像分析と従来の検査装置における画像処理技術はお互いに補い合う技術であり、重なり合う部分があれば、どちらかが他よりも優れている場合もある。

また、用途によっては両方の技術が必要となる。このバランスを考えて両方のメリットを生かしカスタマイズできるノウハウを持っているのが当社のZ D-C Fシリーズ検査装置である。

おわりに

当社は、創業以来ラインカメラを使用したシート材検査装置のシステム開発を中心にお客様の要求に応じたカスタマイズされた装置を提供してきた。現在においてもシステムインテグレータとしてお客様の要求に応じていく姿勢は変わらない、検査装置としてAIを導入するのは、今までできなかったことができるようになる可能性を秘めているからである。これから導入される企業が増えていくのも事実である。

検査装置システムを導入する場合、メーカーを選択する判断として大切なことは検査装置の能力、光学系の蓄積（ノウハウ）、現場対応力（短時間での現場復旧）、日常のサポートこれらがすべてバランスよく持っていることが必要であると思う。そういう意味では当社も選択肢の一社として加えていただきたい。まずはホームページから問い合わせさせていただきたい。

* 1：2019年8月当社調べ

* 2：エンコーダ接続、I/O接続によりケーブル長さが制限される場合があります。

<問い合わせ先>

フロンティアシステム株式会社

〒520-2152 滋賀県大津市月輪3丁目70番18号

TEL：077-547-0750 FAX：077-547-0790

URL：<https://www.frontier-s.co.jp>

mail：furuta@frontier-s.co.jp