

リチウムイオン二次電池用電極検査システムの紹介

フロンティアシステム株式会社 代表取締役 古田 俊治



1. はじめに

創業から34年経った当社は、創業から一貫してラインカメラを使用したシート材検査装置一筋に、お客様の品質向上や省力化に向けて誠実にサポートしてきました。人の目は優秀であり、人間の目のかわりにカメラで検査することに対して、創業当時は自動化の認識が低く導入に対するハードルが高かった。しかし現在では、人間の目を確実に超えている。あいまいな部分の判断も、ディープラーニングで学習することにより判断基準が明確になり、検査の自動化に向けて時代は1歩も2歩も前に進もうとしている。当社は、この可視化技術と画像処理技術と、AI技術を融合した素材検査のシステムの開発を専門に手掛ける検査装置のプロフェッショナル集団であり、化学、医薬、鉄鋼、繊維、電子、建材に関連する素材検査を長年使用されるお客様の立場に立ったシステム開発を心がけている。創業してからの34年間における検査技術の進歩には凄まじいものがある。

現代は第四次産業革命の時代とされ、技術革新に伴うAIの普及、ブロックチェーン、メタバースなどの仮想現実技術の発展が、経済・社会構造の変化をさらなる第5次産業革命の方向へと舵を切ろうとしている。その流れの中において、持続可能なエネルギーの利用を促進するリチウムイオン二次電池は、さらなる新素材の開発や仕組みの発明により、自動車だけでなくあらゆる分野における知的活動の普及に大きな役割を担っている。

当社の検査装置においても、設立当初から現在に至るまで、市場の成長に合わせて変化を続けている。当社の製品も、それぞれのシステムにより特徴を持たせ、お客様の要求にこたえてきた。いずれも、欠点の種別判別にはディープラーニングを採用している。操作面において業界では最も早くタッチパネルでの操作を採



写真1 XG-X2900 & 8K ラインカメラ



写真2 KE-XG 本体

用し、PCの操作をする必要なく、検査開始から終了までの一連の作業を品種別に容易にオペレーションできるように工夫した。コスト面においても、お客様の要求に応じて納得していただけるようにしている。

キーエンス株式会社の筐体型画像処理装置を利用した検査システムKEシリーズに、XG-X2900のハード(写真1、写真2)と、当社の各種素材に対応したソフトを組み合わせ、当社独自にシステム開発したものを検査システムとして、驚異的な高速処理と高機能を武器に2次電池市場に挑戦している。

本稿では、XG-X2900を使用した、リチウムイオン二次電池電極検査システムを紹介する。

2. 電池の製造工程における検査について

リチウムイオン電池の製造は大きく分けて原反工程と組立工程に分かれる。原反工程における検査は、負極、正極、セパレータなどの検査が必要であり、原反工程の最終工程ではスリッターを通しての検査が必要になってくる。

本システムは、電極の正極と負極の塗工工程および、プレス工程の検査を目的として開発された。電極の塗工には間欠塗工、ストライプ塗工、連続塗工がそれぞれのパターンに応じて対応可能である。塗工工程とプレス工程にはそれぞれに発生する欠点の特徴が異なる。塗工工程では、塗工ムラ、液飛び、スジ。プレス工程では、しわ、形状、はがれ、打痕、ワレ、塗工端面形状など。共通では、汚れや異物などがあり、製造工程や素材の特徴により発生する欠点は異なる。

図1は、塗工工程とプレス工程それぞれの検査イメージで、それぞれの工程に検査が必要となる。下図にて参照とされたい。参考例のイメージではあるが、カメ

ラは垂直に見て照明は斜めからとなっている。凹凸の状態によってはカメラの設定は斜めからがベストである。ただしこの場合には、シート面のバタつきや上下変動には気を付けなければならない。上下のバタつき、シートのテンションの状態によっては、ロール面で検査するほうが安定した検査ができる。

図2はカメラの設置例である。それぞれの光学系にはメリット、デメリットがあるので、設置条件や対象となる欠点によっては選択肢が異なるので、参考にしていただくと幸いである。

2-1. 容易なカメラセッティング

キーエンス社のラインカメラには、ポインターの機能が組み込まれており、視覚的に容易にセッティングできるように工夫されている。(写真3)

カメラ調整時にはカメラ視野中心には赤いポインターと、両端には青いポインターが視覚的にわかるように点灯し、どこの位置を見ているのか容易にわかる。ラインカメラはエリアカメラと異なり、撮像画像を見ながら調整することが難しいために工夫している。

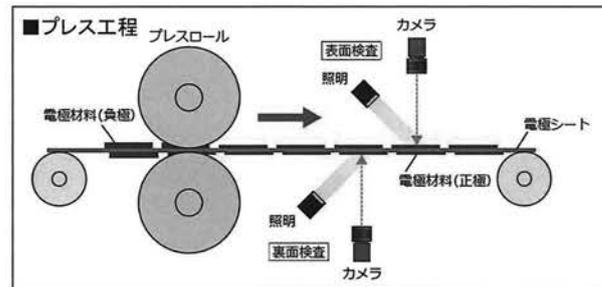
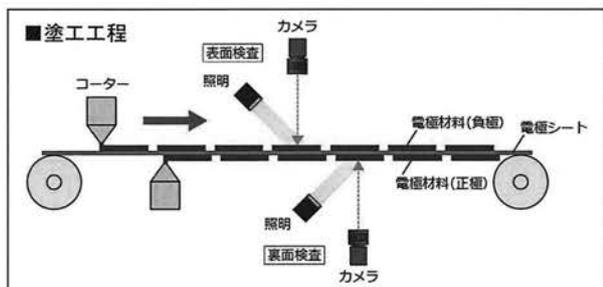


図1 製造工程別カメラ設置例

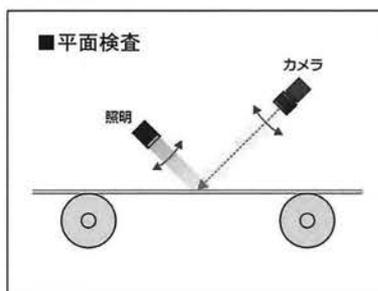
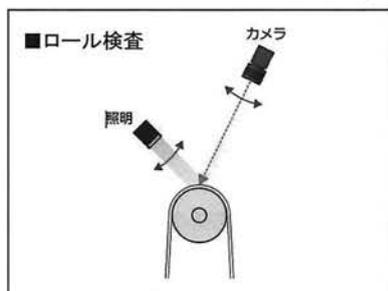


図2 カメラ設置例



写真3 カメラポインター機能



写真4 カメラ調整画面

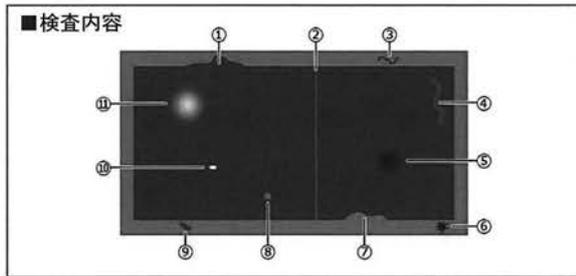
カメラの角度のモニターもでき、後述するルミトラックスでは照明の角度もモニターできる。(写真4)

2-2. 欠点検査について

検査内容は、図3を参照していただきたい。

素材の塗工やプレス条件、素材の特性により発生する欠点の特徴は異なる。

基本的には、事前にサンプルテストを実施して、カメラ及び照明の設置条件などの仕様を決めていく。検査内容としては下図のような欠点が対象となる。欠点の名称は異なる場合がある。



- ①形状不良 ②塗工スジ ③未塗工しわ ④塗工しわ ⑤塗工ムラ
⑥異物、汚れ ⑦フレ、欠け ⑧塗工抜け ⑨液飛び ⑩はがれ *1
⑪白濁、白抜け

* 1: その他にも基材及び塗工部にピンホールが発生する場合もある。

図3 欠点内容

2-3. 塗工寸法検査について

寸法検査においては、連続塗工の状態と、間欠塗工の状態では計測箇所が異なる。

連続検査の寸法測定は、塗工幅と非塗工幅の両耳部分の寸法測定が中心となるが、間欠塗工の検査は枚葉検査となり、1 畳ごとに検査が完結する。

塗工部分の幅方向と長さ方向、非塗工部分の両耳と、1 畳ごとの流れ方向の隙間の寸法計測が必要となる。さらにストライプ塗工の場合には、枚葉の状態が幅方向と流れ方向の両方あり、計測ポイントも大幅に増える。図4を参照していただきたい。

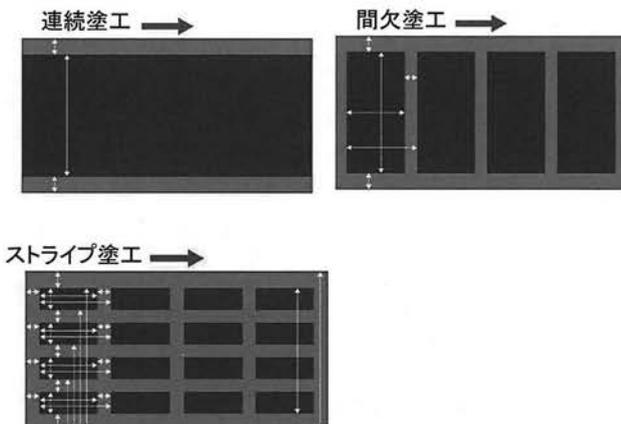


図4 寸法検査内容

3. システム構成

本システムは、現場における操作が複雑にならないようにタッチパネルでの操作を採用している。各種の設定をするための画面であり、それぞれの設定機能がブロックごとに分かれており、各ボタンをタッチすることにより、ボタンに記載されている内容の設定が可能となる。(図5参照)

基本コンセプトとしては、感覚的に操作が可能なオペレーションを目指している。画像処理装置のXG-X2900に直接操作して、複雑な設定を修正変更することも可能であるが、その部分においては本来エンジニアの仕事であり、オペレーターが直接操作する必要のないものである。

保存領域はSDカードのみであり、24時間生産におけるデータの蓄積及び画像データ保存には限界があり、「XG-X2900」のみでは、検査中における過去データや複数台カメラにおける検査状況の確認はオペレーターにはできない。そのために、当社は24時間生産においても過去データを閲覧することが可能なシステムを開発し、競合他社のスペックを超えてかつ、コスト面における競争にも有利である。

当社の専用マップアプリケーション(図6参照)を使用することにより、検出した欠点画像の管理が可能となり、過去データの閲覧、印刷、保存などが可能となる。

3-1. システム構成例

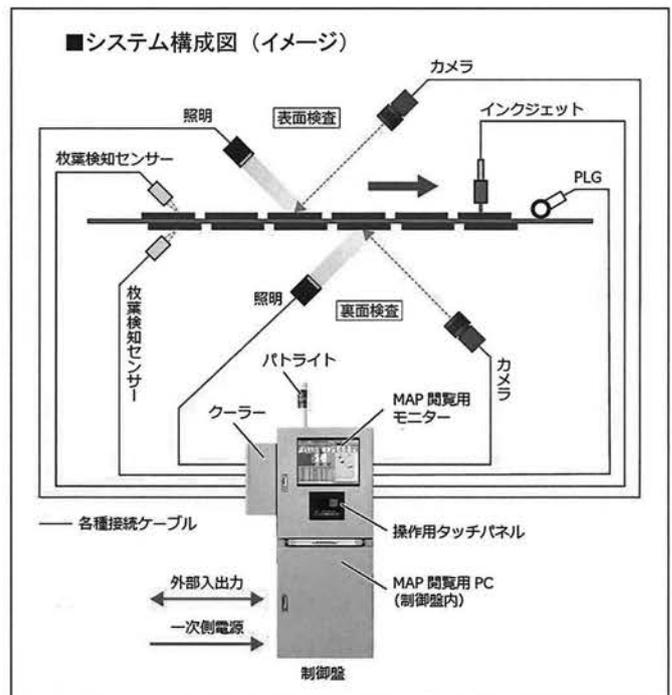
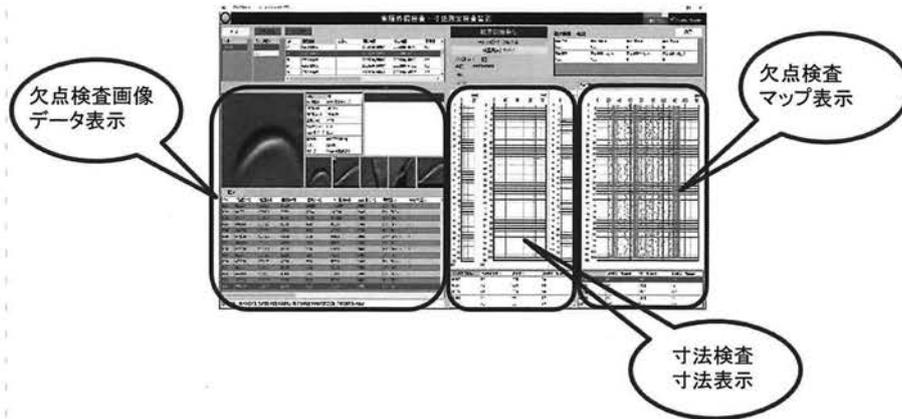


図5 システム構成例

3-2. 検査アプリケーション

連続塗工向け検査画面（片面検査）



間欠塗工向け検査画面（両面検査）

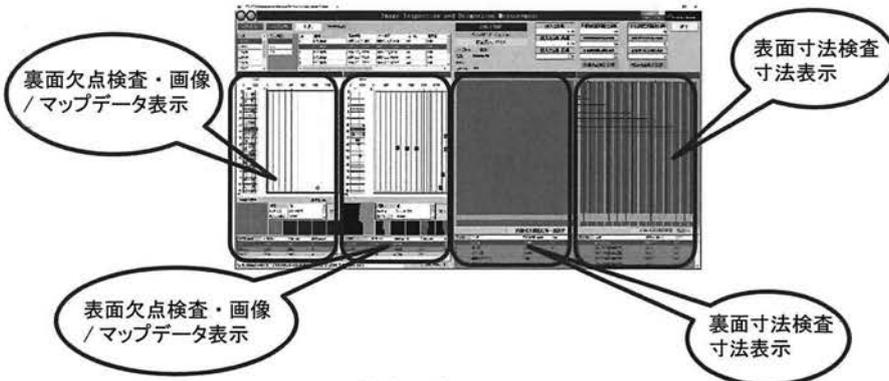


図6 検査アプリケーション画面

4. XG-X2900 の驚異的な撮像画像の実現 「LumiTrax 撮像」

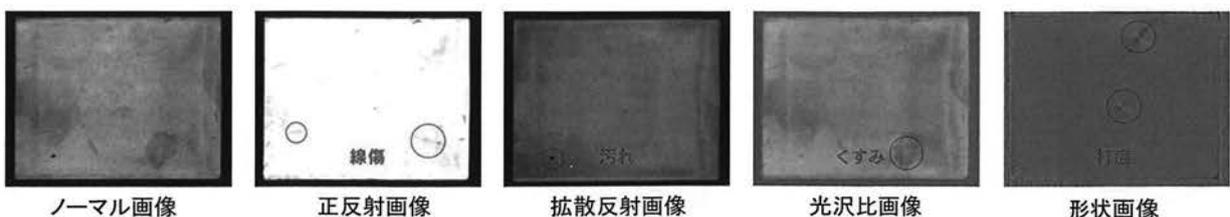
専用のLED光源は、高速に縞パターンが発光位置を変えながら撮像を繰り返し、実行1回の撮像から用途に応じた複数の画像を生成することができる。(画像1) 狙っている欠陥に適した画像データを選択することが可能となった。

ルミトラックスは、微細な欠陥を一つの専用光源で数種類の欠陥を検出するための機能を持っている。(図7) 塗工面及び未塗工面の検査において、お客様の要求される欠陥検出が困難な状況や欠陥の内容により光学系が異なる場合には、大きな効果を発揮する可能性を秘めている。



図7 ルミトラックス発光イメージ

- ノーマル画像：撮像した全ての画像の平均
- 正反射画像：縞パターン内の、正反射成分を抽出
- 拡散反射画像：ノーマル画像と正反射画像を比較し、拡散反射成分を抽出
- 光沢比画像：正反射画像と拡散反射画像を比較し、光沢変化の部分を抽出
- 形状画像：縞パターン上に生じるうねりから、凹凸などの変化部分を抽出



画像1 撮像画像の種類（キーエンス社カタログより）

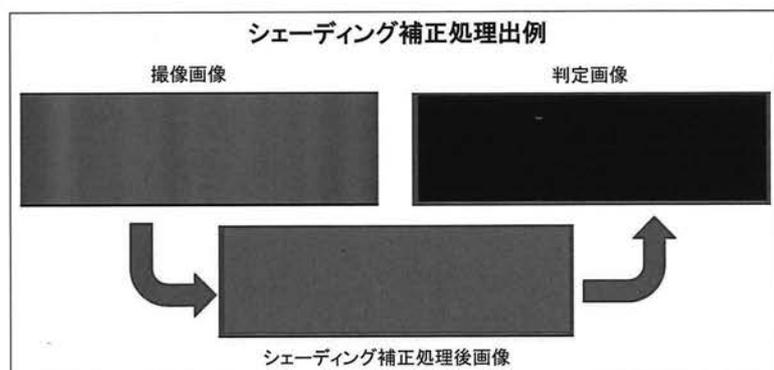
5. 業界最多 14 コアが業界最速性能を生み出す

検査装置は常に安定性が求められる。14 コアの並列処理が負荷の高い時も最速でありながら安定した検査を実現した。画像演算用 DSP を 7 コア搭載し、すべてのコアが最大限活用できるようにチューニングされており、画像保存などは別の専用コアが実行するために、影響を受けずに負荷が高いときも最速で処理が実行される。

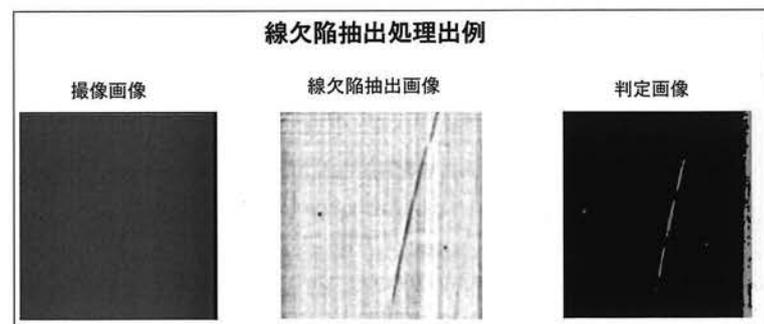
その他にも表示専用で 2 コア、制御専用で 3 コア、表示・制御用に 2 コアの合計 14 コアの DSP+CPU がそれぞれに並列処理を行うことにより、条件に影響されない安定した最速処理を実現した。7 コアとは独立した処理系の回路を 7 つ持っているということであり、7 回路の同時並列処理が可能になったということである。別に表示回路、制御回路を持っているため最小時間で判別し表示、保存までが可能となった。

6. 特化した検査アルゴリズム

本システムは、様々な状況を考慮した対応が可能ないように、マルチ対応となっている。特徴としては、各種の空間フィルタ処理が高速処理可能な能力を持っており、エッジ追従検査の機能も組み込むことが可能である。独自に組み込まれている代表的な空間フィルタがあるので、下記の通り参考にしていただきたい。



画像2 リアルタイム濃淡補正処理例



画像3 線欠陥抽出処理例

6-1. リアルタイム濃淡補正

レンズ、光源、ワークなどの影響で発生する収差、撮像面の濃淡ばらつきの変化、表面の陰影などの影響をキャンセルし、検査に最適な画像に補正する。状況が撮像ごとに毎回変化してもリアルタイムに補正を実行し、検出したい欠陥部のみを抽出する。(画像2参照)

6-2. 線欠陥抽出

撮像画像から、高速化とノイズ除去のために縮小画像を生成し、背景の濃淡変化(シェーディング)を表す背景画像を作成。この背景画像と元の縮小画像を差分演算して得られた、濃淡変化を除去した背景除去後画像に対して、線状の欠陥のみを強調する前処理を適用する。

下の画像(画像3参照)は、負極材料に発生したスジ状の欠陥である。実際に XGX にて検査した画像データをもとに、撮像から判定までの画像処理を再テスト機能にて確認したものである。

6-3. 濃淡プロブ検査

画像処理装置 XGX (共通) には、背景濃度を基準値とし、欠点濃度値との差分値を取得し判定する「濃淡プロブ検査」と、2 値化判定する「プロブ検査」の 2 種類の判定機能を持っている。

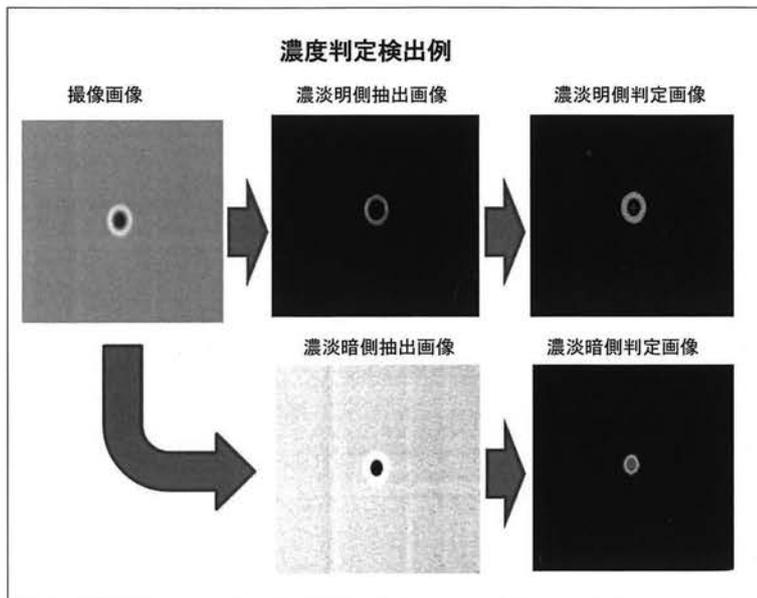
従来の二値化ではなく、濃淡の積分情報で欠陥の特徴を抽出することにより、二値化情報では得られない「濃淡変化の大小」「欠陥自体の明暗」という指標を加えて、様々な欠陥選別に対応可能となった。

欠陥の濃度値も抽出することが可能となる。(画像4参照)

このように、わずかな変化に対しても、周辺の影響を受けず明側と暗側を分離して欠陥部分のみを濃淡にて検出していることが理解いただけると思う。いずれの検査にも前処理機能が充実している。対象となる欠点の処理フローを追加することにより、柔軟な検査が可能となる。

7. 24 時間連続運転での安定検査と耐環境性

あらゆる検査において、検査対象となるワークが、サンプルテストの条件と同じであれば、検査は 100% 安定して欠点を検出できなければならない。要求された欠点を、24 時間連続運転で安定した検査をすることは必要最低条件である。検査内容とアウトプットの条件は、目的により不良流出防止、



画像4 濃淡プロブ判定例

品質管理、次工程対策などによってシステムの構築内容が変わり、仕様によっては検査画面の操作性や作業性が重視される。そして、メンテナンスや保守性能が、生産現場においてはシステム選定における重要なポイントとなる。それらの要求すべてに対して柔軟に対応することができるのが「XG-X2900」である。

この画像処理装置は、従来のパソコンと画像ボードとの構成ではなく、専用エンジンとして独自のDSP+CPUを使用して作られた、パソコンに依存しない装置である。そのメリットとして、電源を突然シャットダウンさせても、なんらハードに支障をきたさず、次の電源投入時には前回のシャットダウン時から検査を開始することが可能となる。

この条件は、メーカー各社のほとんどがパソコンに異存しているために、瞬停時や突然の停電におけるファイル破損などによりシステムが正常に起動しなくなることがあり、このメリットはシステム開発者としては大きい。なによりも、ハードディスクがないため壊れる要素が見当たらない。生産工場など24時間生産における使用において、環境面においても十分に耐えうるようなコンセプトで開発されたものであり、装置としての位置づけはシーケンサーやモーター用のコントローラなどに近いものである。

このシステムは、耐環境に強く、コストを重視してもなお、高性能であり高機能である。

装置本体の設定などは多機能であることが逆に、操作することに対して多少躊躇する場合があるが、当社は長年の素材検査における経験をベースとしてお客様の立場に立った容易な操作性を実現した。カメラケーブルにおいても、従来のカメラリンクケーブルではな

く、独自の仕様にて設計されているために、容易に延長することが可能となった。

8. 最後に

当社のお客様には末長く、検査装置を安心して使用していただくためにも、技術面やサポート面において、お客様の立場に立って対応させていただくことを心掛けている。

例えば、新たな欠点が発生し、その欠点を検出するためのアドバイスや、社内における確認のためのサンプルテストや現場において光学調整などをさせていただくだけでなく、既存の検査装置に問題がある場合における再構築提案にも対応させていただいている。

メンテナンスなどの保守対応は、当社の技術

担当が復旧に対する時間目標を持つことによって、保守の重要性和緊急性を自覚させている。その理由は、検査システムが止まれば生産が止まり、工場に与える影響は計り知れないものがあるからである。そのためにも、常日頃から、工場担当者と検査装置メーカーは常に情報交換できる関係が構築されていることが望ましい。このシステムは、XG本体、シーケンサー、タッチパネルをリモートでメンテナンスすることも可能であり、お客様の要求によりネットワーク環境を整えていただくことが可能であれば、リモートによる遠隔でのサポートなどのサービスを提供させていただくこともできる。検査装置を導入したくても過去の失敗した経験や検査装置導入に対して不安を持っている方は、是非とも当社にご相談いただきたい。必ず期待に応えさせていただくことをお約束する。

当社にご相談いただければ、検査における問題点を解決することができるだけの技術力とノウハウを兼ね備えているプロフェッショナル集団である。

まずは、ホームページ <https://www.frontier-s.co.jp> を見てお問い合わせしていただきたい。

<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 : 077-547-0780 FAX : 077-547-0790

Mail : fs_info@frontier-s.co.jp

<https://www.frontier-s.co.jp>