

2019年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「スマートフォン用のバッテリー検査工程における
品質と生産性を向上させ高度な判定を実現する
マルチインプット型AIアルゴリズム検査システムの開発」

研究開発成果等報告書

令和2年5月

担当局 九州経済産業局
補助事業者 公益財団法人福岡県産業・科学技術振興財団

目 次

第1章 研究開発の概要

1. 1 研究開発の背景・研究目的及び目標	3
1. 2 研究体制	4
1. 2. 1 実施体制	
1. 2. 2 研究者等氏名	
1. 2. 3 協力者及び指導・協力事項 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	
1. 3 成果概要	7
1. 4 当該研究開発の連絡窓口	8

第2章 本論

2. 1 AIアルゴリズム開発	9
2. 1. 1 AIアルゴリズムの設計	
2. 1. 2 AIアルゴリズムのソフト検証	
2. 2 マルチインプット画像取得方法の開発	11
2. 2. 1 基本構成ユニットの開発	
2. 2. 2 制御ユニットの開発	12
2. 2. 3 部品供給/排出ステージの開発	
2. 3 検査システムの開発	12
2. 3. 1 全体システムの開発	
2. 3. 2 実機規格値の検証	13
2. 4 フィールドテストの実施	
2. 4. 1 フィールドテストの実施	

第3章 全体総括

3. 1 研究開発成果まとめ	14
3. 2 研究開発後の課題	14
3. 3 事業化展開について	15

第1章 研究開発の概要

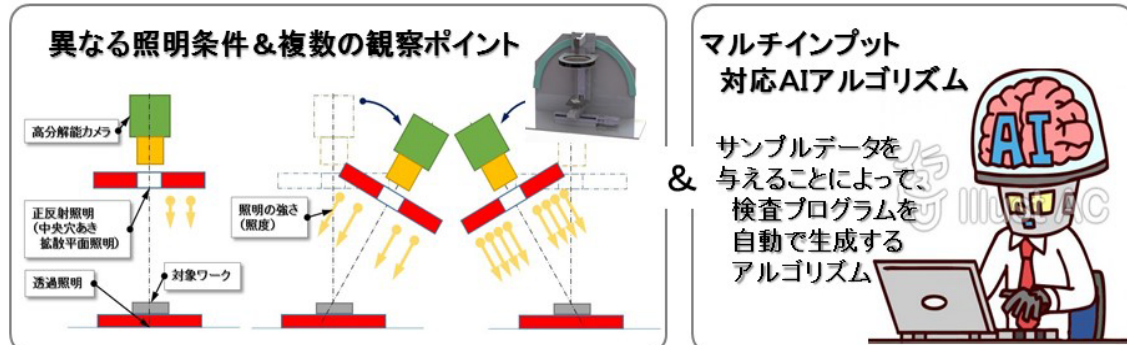
1. 1 研究開発の背景・研究目的及び目標

スマートフォンに搭載される構成ユニットであるバッテリーの外観検査工程は、検査作業員による目視検査が主体である。製造組立のほとんどが自動化されている中、外観検査工程のみが、人の作業となっており、生産性の向上をめざす製造現場での大きな課題となっている。また、人の作業による目視検査において欠陥の発見度合いや、その欠陥の OK/NG 判定の判断が作業員により異なるなど、検査品質の安定化が重要な課題となっている。

目視検査の自動化において、従来技術では単一的な判定しかできない。現状の検査作業員による目視検査からの脱却を図るためには、人の機能を持った、欠陥の発見方法とその欠陥自体を OK とするか NG とするかの高度な判定アルゴリズムが必要である。

従来の自動化による欠陥発見方法における課題を解決するためには、人が持つ機能を実現する高度な検査技術の開発が必要である。本研究開発では、スマートフォン用のバッテリーを対象に「マルチインプット型」と「AI アルゴリズム」とを応用した、革新的な部品検査装置を開発し、川下企業の課題を解決する。

◇ 本提案のコンセプト≡マルチインプット&AIアルゴリズム



T 社の現状をみると、検査作業員によるバッテリー部の外観検査工程では、その平均不良率が5%程度であり、これに対して作業員の欠陥発見とその判定に対するばらつきが、±50%程度発生している。さらに、日毎の検査量の理論値は、一個当たりの検査時間が約20秒前後であるから、時間あたり180個として8時間で1440個となるが、実際は1時間に10分程度の休憩を挟んでいることと、作業員の集中力に波があることを加味しても1回の労働時間すなわち1シフト当たり平均800～900個となっている。これに対し以下の目標を達成する。

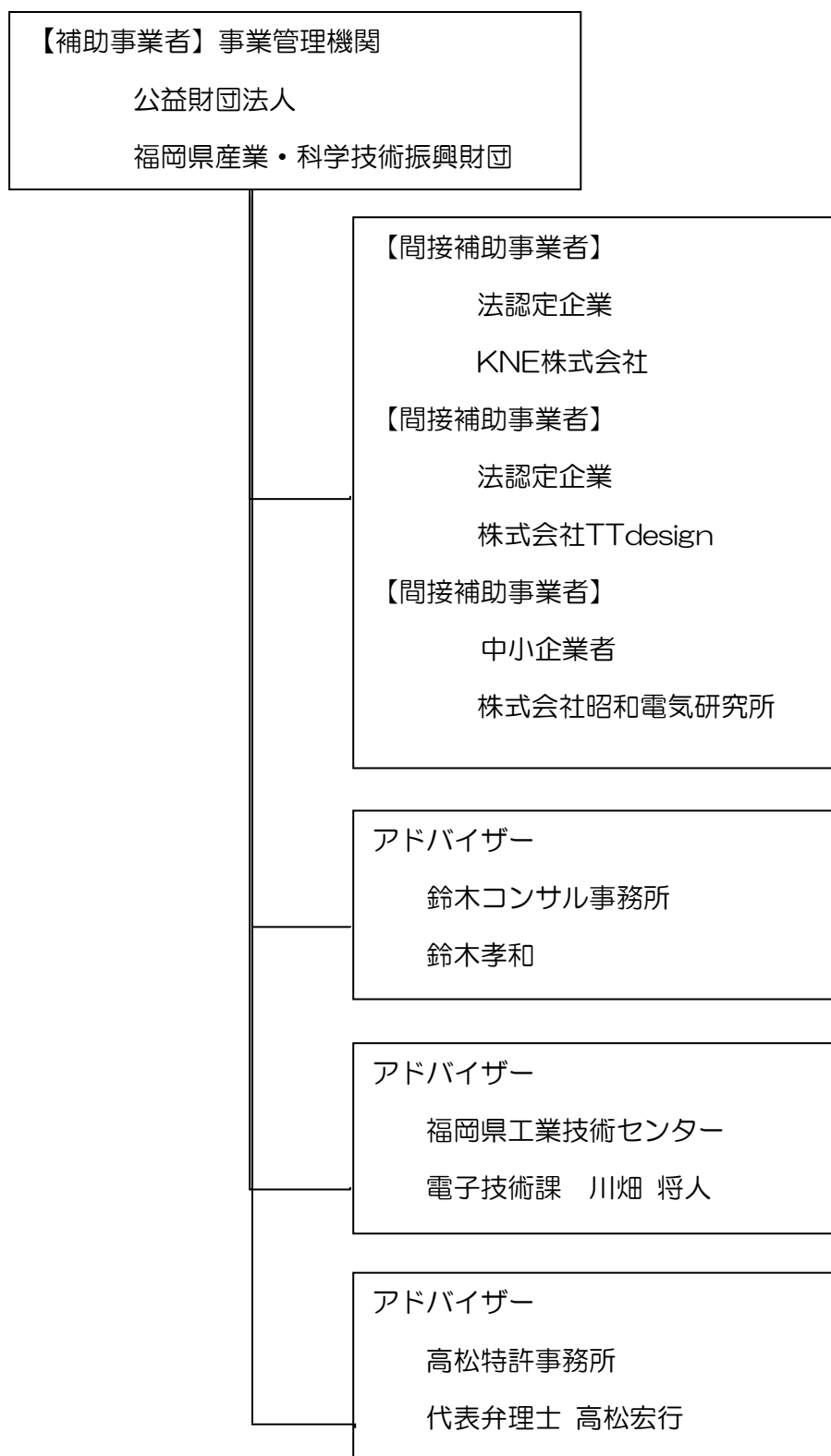
【生産性と品質の目標値】

実効生産性 : 1200個/シフト

検査品質(検査ばらつき) : 10%以下

1.2 研究体制

1.2.1 実施体制



1. 2. 2 管理員、研究員及び補助員氏名

【補助事業者】

公益財団法人 福岡県産業・科学技術振興財団(事業管理機関)

管理員

氏 名	所 属・役 職
中村 憲和	ロボット・システム開発部 部長
南 守	ロボット・システム開発部 主幹
上田 京子	ロボット・システム開発部 専門研究員
石橋 依己	ロボット・システム開発部 主任主事
古賀 恵子	ロボット・システム開発部 主事
浦田 薫	ロボット・システム開発部 主事
奥原 薫	企画管理部 管理課長
黒木 健二	企画管理部 事務主査
西谷 志織	企画管理部 主任主事

【間接補助事業者】

KNE株式会社(研究等実施機関)

研究員

氏 名	所 属・役 職	実施内容(番号)
永尾 和英	代表取締役社長 (PL)	【1】【2】【3】【4】
小宮 隆宏	機構グループ 部長	【1】【2】【4】
山崎 公幸	機構グループ 主幹技師	【1】【2】【4】
田邊 敦	機構グループ 主幹技師	【1】【2】【4】
石松 顕	制御グループ 部長	【1】【2】【4】
石山 健二	制御グループ 主幹技師	【1】【2】【4】
竹下 和浩	制御グループ 主幹技師	【1】【2】【4】
堤 卓也	ソフトグループ 部長	【1】【3】【4】
是枝 秀昌	ソフトグループ 主席技師	【1】【3】【4】
田中 富雄	ソフトグループ 主席技師	【1】【3】【4】
福武 宏理	ソフトグループ 主席技師	【1】【3】【4】
前原 正幸	評価グループ 部長	【1】【2】【4】
杉山 英之	評価グループ 主席技師	【1】【2】【4】
森田 健	管理部 部長	【1】【2】【3】【4】

株式会社 TTDDesign

研究員

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
谷崎 昌裕	機構グループ 主幹技師	【1】【2】【4】

株式会社 昭和電気研究所

研究員

氏 名	所 属・役 職	実施内容(番号)
河井 伴文	代表取締役社長 (SL)	【2】【3】【4】
元岡 和幸	取締役 専務	【2】【3】【4】
幸弥 和幸	技術部 本部長	【2】【3】【4】
作本 誠	製造部 部長	【2】【3】【4】
新野 雪広	営業部 課長	【2】【3】【4】
谷 順一	技術部 課長	【2】【3】【4】
斎藤 進	技術部 主任	【2】【3】【4】
宮崎 昌博	製造部 主任	【3】【4】
森 健次	購買部 課長	【3】【4】
岡崎 誠	購買部 主任	【3】【4】
岡 弘志	技術部	【2】【3】【4】
伊川 滋	技術部	【3】【4】
才本 徹	製造部	【3】【4】

【研究項目】

- 【1】 AI アルゴリズムの開発
- 【2】 マルチインプット画像取得方法の開発
- 【3】 検査システムの開発
- 【4】 フィールドテスト実施

1. 2. 3 協力者及び指導・協力事項

アドバイザー氏 名	所属／主な指導・協力事項
鈴木 孝和	鈴木コンサル事務所／ 総合アドバイス助言
川畑 将人	福岡県工業技術センター機械電子研究所／ 欠陥形状解析についてアドバイス助言
高松 宏行	高松特許事務所代表弁理士／ 知財戦略立案のアドバイス助言

1.3 成果概要

【1】 AIアルゴリズムの開発

1-1 AIアルゴリズムの設計

マルチインプット対応のAIアルゴリズムの計算を行うために、対象物の欠陥の種類を表す確信度、場所と囲む最小矩形領域を表す座標値、境界座標リストを表す輪郭座標値の3つのパラメータを設定し、これを導くために、5つのニューラルネットワークを設計した。具体的には、画像取得から欠陥の特徴量を抽出するための“① 畳み込みニューラルネットワーク”、次に欠陥の領域を抽出するための“② 領域提案ニューラルネットワーク”、そして欠陥形状を抽出するための“③ 矩形領域計算ニューラルネットワーク”と“④ 境界抽出ニューラルネットワーク”である。これらからの結果を利用し、確信度、座標値、輪郭座標値を計算するための“⑤ 長短期記憶ニューラルネットワーク”が5つのニューラルネットワークである。

1-2 AIアルゴリズムの検証

本AIアルゴリズムは、設計アウトプットとして231のレイヤーを独自に設計し、対象部の検査毎に随時更新されるパラメータとして6077万個のニューロン結合係数で構成される。すなわち6077万個の変数が、ソフト自身が自己学習を行う概念の結果物になり、これらを設計し、各ニューラルネットワークのコード検証を完了した。

【2】 マルチインプット画像取得方法の開発

2-1 基本構成ユニットの開発

基本構成ユニットは、ベースフレーム上に対象部品が設置されると真空中で固定される仕組みを持った部品ステージと本ステージを中心にカメラと照明を搭載したカメラ円弧移動軸で構成される。本構成ユニットを設計し、試作を完了した。

2-2 制御ユニットの開発

本設備ユニット動作とAIアルゴリズム処理が可能な制御構成を開発・設計し、試作を完了した。メインPCに、ディープラーニング向けGPUワークステーションを設置し、設備自動運転動作とAIソフト処理を並列で行える構成とした。

2-3 部品供給/排出ステージの開発

対象部品と顧客工場での搬送方法により部品のステージへの供給と排出は様々に異なる。これらを考慮した上で、自動の供給/排出機構を設備正面より部品の供給/排出可能な構想を行い、設計し、試作を完了した。

【3】 検査システムの開発

3-1 全体システムの開発

検査装置としてシステム全体を設計開発した。前述の基本構成ユニット及び部品供給ステージ、制御ユニット、カバーにより設備は構成され、制御ユニット内のソフトウェアには、設備動作を行う自動運転部、設備操作部、AI認識処理部により構成されている。設備全体の動作確認、及び各機能評価を完了させた。

3-2 実機規格値の検証

設備仕様の目標とする精度、品質、生産性についての達成度を、「マルチインプット型 AI 検査システム」基本構成ユニットを使用し、評価した。技術目標値は、設備仕様項目に対し100%を達成した。

【4】 フィールドテスト実施

4-1 フィールドテストの実施

バッテリー部の製造を行っている川下企業においてフィールドテストを実施し、さらなる顧客要求の把握、設備改善を実施する予定であったが、顧客の守秘義務等により実施出来なかった。

これに代わり、スマートフォン用のバッテリーを模擬したサンプルを製作し、キズ等欠陥の検査検証を実施した。良品とキズ等を施した不良品の検査率は100%の結果を得た。

1. 4 当該研究開発の連絡窓口

【事業管理機関】

公益財団法人 福岡県産業・科学技術振興財団

ロボット・システム開発部 研究開発支援グループ 主幹 南 守

TEL 092-832-7155

e-mail m-minami@ist.or.jp

〒814-0001 福岡県福岡市早良区百道浜3-8-33

【中小企業者】

株式会社 昭和電気研究所

専務取締役 元岡 和幸

TEL 092-881-0238

〒819-0015 福岡県福岡市西区愛宕1丁目14-35

e-mail motooka@showalabo.co.jp

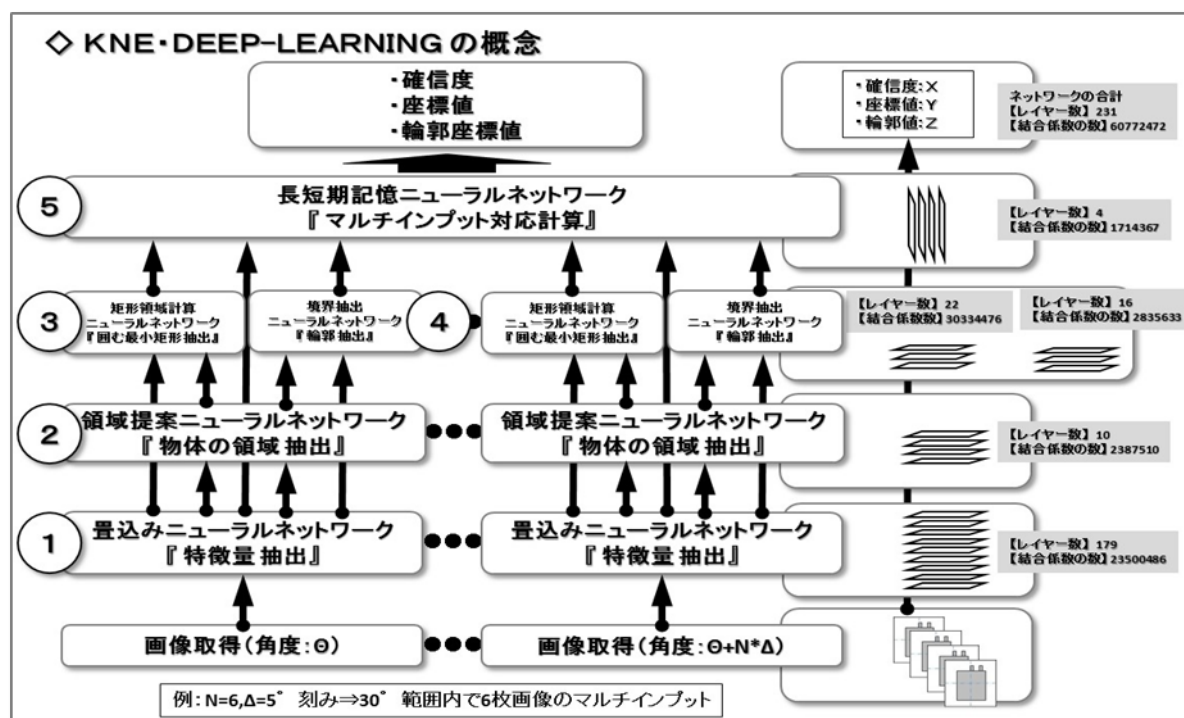
第2章 本 論

本章では、本事業で行った開発の内容および結果について述べる。

2. 1 AIアルゴリズムの開発

2. 1. 1 AIアルゴリズムの設計

AIアルゴリズムの設計(異なる役割分担のディープニューラルネットワークの構築)にあたり、



【図1】 本DEEP-LEARNING の概念

入力(複数枚画像)から出力(確信度、座標値、輪郭座標値)までを設計した。【図1】

【ニューラルネットワークの説明】

① 畳み込みニューラルネットワーク:

画像のピクセルデータからキズ、欠陥の特徴量の抽出をする役割。畳み込みレイヤー、正規化レイヤー、活性化レイヤー、プーリングレイヤーの順に繰り返して積み重ね構成した。

② 領域提案ニューラルネットワーク:

上記の①の出力を利用して、キズ、欠陥のおおよその領域座標値と各種類の確信度を計算する役割。畳み込みレイヤー、活性化レイヤー、全結合レイヤー、ソフトマックスレイヤー、四則演算レイヤーの積み重ねによって構成した。

③ 矩形領域計算ニューラルネットワーク:

上記の①と②の出力を利用して、キズ、欠陥の正確な領域座標値と各種類の確信度を計算する役割。ROI プーリングレイヤー、全結合レイヤー、活性化レイヤー、ソフトマックスレイヤー、四則演算レイヤーの積み重ねによって構成した。

④ 境界抽出ニューラルネットワーク:

上記の①と③の出力を利用して、キズ、欠陥の正確な境界座標値を計算する役割。全結合レイヤー、ソフトマックスレイヤー、四則演算レイヤーの積み重ねによって構成した。

⑤ 長短期記憶ニューラルネットワーク:

上記の複数①、③と④のセットの計算結果を利用して、最終種類確信度、領域座標値、および境界座標値リストを計算する役割。LSTM レイヤー、全結合レイヤー、ソフトマックスレイヤー、四則演算レイヤーの積み重ねによって構成した。

2. 1. 2 AIアルゴリズムのソフト検証

AIアルゴリズムの学習は、装置でマルチポジショニングデータを撮像し、行った。

① 事前に計算された角度毎の最適照明値のデータ化を行った。

② 各学習データサンプルのマルチポジショニング画像に対して、画像中のキズ、欠陥の種類をデータ化した。

この二つセットのデータを利用して、設計したニューラルネットワークの学習を行った。

AIアルゴリズムによる検査は、カメラを-70度～+70度まで5度刻みで移動させ対象物を撮像し、撮像した画像をAIソフトにリモートコールで送る。AIソフト側は受け取った画像に対して、学習したディープニューラルネットワークで計算を行う、その出力(キズ、欠陥の確信度、場所と囲む最小矩形領域の座標値、境界座標値リスト)は検査結果になる。複数のキズ、欠陥がある場合、上記のデータは複数個出力されることになる。

AI検査規格を作成し、目標とする精度、品質、生産性について規格に対する達成度を評価した。サンプル数:50枚、欠陥の種類は5種類で検証を行った結果、98.2%の適合率を達成した。

2.2 マルチインプット画像取得方法の開発

2.2.1 基本構成ユニットの開発

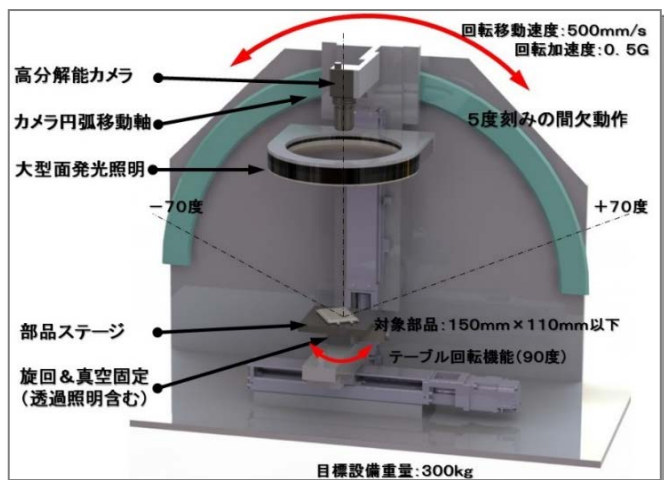
設備レイアウトについては、ベースフレーム上にカメラと照明を搭載した軸(≡カメラ円弧移動軸)を支えるバックプレートを設置し、円弧中心に配置された減速機付きサーボモーターにより円弧軸を可動させる。カメラ円弧軸は、-70度から+70度までの円弧移動を可能とする。

照明は、本軸上に配置される。部品ステージは、部品が設置されると真空により固定できる仕組みであり、また90度の θ 回転を可能とする。

動作仕様は、ステージに対象部品が供給された後、垂直位置にあるカメラ円弧移動軸が5度刻みに間欠動作を行う。各角度で静止しているタイミング毎に照度を最適値に変更し、対象物をカメラにて撮像する。円弧軸にはバランスウエイトを搭載し、設備前後方向に規制された円弧ガイドレールに沿って移動することにより制振性を向上させた構造とする。【図2】に検査機基本構成ユニット概要を示す。

照明部は、大型面発光照明とし、直接照明と透過照明を配置する。共に面発光で拡散光とすることで、対象物の欠陥を目視状態と同様に観察できる構成とした。

【図3】に基本構成ユニットを組み込んだ試作機を示す。



【図2】マルチインプット型検査機 基本構成ユニット



【図3】基本構成ユニットを組み込んだ試作機

2. 2. 2 制御ユニットの開発

本設備ユニット動作と AI アルゴリズム処理が可能な制御構成を設計した。メインPCに、ディープラーニング向けGPUワークステーションを設置し、設備自動運転動作とAIソフト処理を並列で行える構成とした。

2. 2. 3 部品供給/排出ステージの開発

対象部品と顧客工場での搬送方法により部品のステージへの供給と排出は様々に異なる。これらを考慮した上で、自動の供給/排出機構を開発設計した。ほとんどの現場において、部品は、マトリックス上に配置されたパレットにより検査エリアへ運ばれてくる。設備動作としては、所定の位置に置かれたパレット上の部品をピックアップし、検査装置のステージへ移送する。検査後、ステージよりパレットへ排出される。この一連の動作を構成する部品供給/排出ステージを開発し、基本構成ユニットに組み込んだ。

2. 3 検査システムの開発

2. 3. 1 全体システムの開発

検査装置としてシステム全体を設計した。前述の基本構成ユニット及び部品供給ステージ、制御ユニット、カバーにより設備は構成される。制御ユニット内のソフトウェアには、設備動作を行う自動運転部、設備操作部、AI認識処理部により構成される。

動作仕様として、部品供給後の設備動作により撮像された複数の画像は、メインPC内の認識専用開発したボードへ転送され、AIアルゴリズムにより処理される。処理後の結果は、設備全面のモニターに表示される。OKの場合はそのまま排出される。NGの場合は、検査員による確認作業を待つモードと排出するモードを選択可能とする。

検査機としてのソフトウェア仕様としては、以下の内容を実施した。

- ・設定された装置パラメータに従って動作する、カメラ、照明、モーターのドライバを実装した。
- ・品種に応じた検査パラメータによるカメラの指定角度移動と画像取得照明の制御、その位置におけるカメラ画像取得と AI への送信を行う制御を実装した。
- ・その他 照明値自動設定機能、背景除去アルゴリズム等の機能も付加した。

以上のように、全体システムを完成させ、画像取得後の繰返し認識精度、 $\pm 10 \mu m$ を達成した。

2.3.2 実機規格値の検証

設備仕様の目標とする精度、品質、生産性についての達成度を「マルチインプット型 AI 検査システム」基本構成ユニットを評価し、設備仕様項目に対し100%達成した。

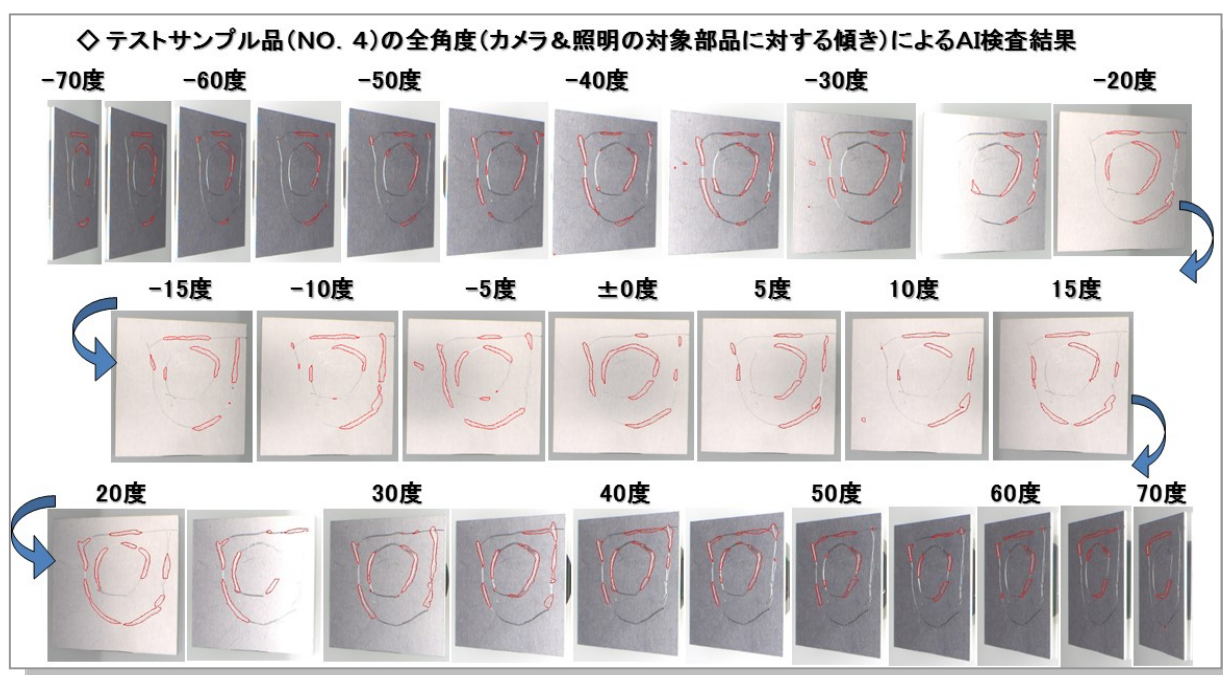
2.4 フィールドテストの実施

2.4.1 フィールドテストの実施

バッテリー部の製造を行っている川下企業においてフィールドテストを実施し、さらなる顧客要求の把握、設備改善を実施する予定であったが、顧客の守秘義務等により実施出来なかった。

技術目標値として顧客による目視検査を正解とした場合に不良ばらつき $\pm 10\%$ 以内の達成に関しては、スマートフォン用のバッテリーを模擬したサンプルを製作し、キズ等欠陥の検査検証を実施した。結果は、各画像(角度)において欠陥は独自に浮き出て検出されており、これらを全て赤枠で表示(発見出来ている) $\Rightarrow$ すなわち、欠陥のほとんどを検出している。

良品とキズ等を施した不良品の検査率は100%の結果を得た。【図4】にAI検査結果を示す。



【図4】サンプルによるAI検査結果

第3章 全体総括

3.1 研究開発成果まとめ

本研究開発により、以下の成果が得られた。

【1】基本設備構成ユニットの開発

4つの基幹ユニットの設計、製作と評価を完了し、全目標値を達成した。

(4つの基幹ユニット: 移載ユニット、X軸ユニット、供給・排出軸、制御ユニット)

移載ユニットの基幹部品であるバレルにおいて複雑で高精度な加工を実現出来た。

【2】基本ハンドラーシステムの開発

全体構成とソフトウェアシステムの設計、製作、評価を完了した。

高精度位置決め、複数軸の同期制御などの全目標値を達成することが出来た。

移載品質向上のための部品センター吸着機能とノズル高さコントロール機能を実現出来た。

また金メッキ部品の移載テストを実施し、部品表面の傷が無いことを確認出来た。

生産性: 18,000個/時間、移載精度: $\pm 50 \mu m$ (Cpk1.33)を実現することが出来た。

【3】顧客要求に沿ったアプリケーションユニットの開発

6つの周辺ユニットと各ユニットの動作をコントロールするソフトウェアの設計製作評価を完了し、全目標値を達成することが出来た。

3.2 研究開発後の課題

本研究開発により、ハードウェア及びAIアルゴリズム等のソフトウェアの部分については当初の目標を達成し、製品化の目途が立っているが、ユーザー毎の部品の設備換算のシフト時間8時間における生産性を1200個以上の検査生産性に関しての検証を実施していく必要がある。試作機を用いたユーザーによる検証が不十分であることから、今後、“売れる商品”に仕上げるためには、試作機によるバッテリー部品の検査テストを通じて、設備の信頼性を確立し、販売に向けての活動を推進していく。

3.3 事業化展開について

1. 当初の数年は、顧客と連携しモニターテストの形で実施していく。販売は数社程度に絞られると予測しており、トレンドリーダー的な顧客を選定し、数社での装置としての評価を得る活動に集中する。
2. 販売開始後3年度以降については、数社での実績を踏まえ、拡販をめざす。キー顧客工場での購入実績と設備承認を取り、顧客の各工場への展開を図る。合わせて他顧客への提案営業を強化し、販売拡大を狙う。販売先地域は、まず国内顧客を重点にすすめ、次に中国顧客への営業活動を開始する。
3. 販売開始後4年度以降：日本、中国を中心に販売を加速し、スマートフォン製造を行っている途上国へも販売活動を開始する。また、バッテリー検査からディスプレイを含めた検査工程への導入を開始する。これらにより、対象市場の大幅な拡大を図り、本装置販売の促進を狙っていく。
4. 本提案にて開発する検査方法は、あらゆる目視検査に応用が可能である。例えば、バッテリーはもちろんのこと、小型ディスプレイの外観検査から、品質を重視する電子部品の外観検査、また医療用機器の外観検査、食品分野の包装後外観検査など、従来、人でなければできなかった検査を、自動化できる有効な手段である。そのため、各検査業界に革新をもたらす試金石になると考える。すなわち、人が行っていた外観検査工程が自動化されることにより、製造工程の全自動化が加速する可能性を秘めている。本AIアルゴリズムとマルチインプット型画像取得方法を搭載した外観検査装置は、今後あらゆる外観検査市場において、幅広い活用が期待できる。これらの市場を調査し、事業展開の可能性を広げていく。