

令和5年度

デジタル化実践道場

【実践コース】 最終取組報告

株式会社 朝日電機製作所

【会社紹介】 ①

株式会社朝日電機製作所

設計から部品調達、量産製造、品質管理、現場工事まで、ワンストップのサービスを提供することを強みとし、顧客満足度を最優先に考えています！

43期にわたる制御盤の設計製造の経験を有しており、顧客との緊密なコミュニケーションを大切にし、フレキシブルな対応が可能です。お客様のビジョンを共有し、最適なソリューションを提供することが、私たちの最大の強みであると確信しています。

プリント基板実装や電子機器組み立てにおいては、最新鋭の設備を導入し、RoHS2にも厳格に対応しています。納品物において、お客様に一切のご迷惑をかけないようデジタルマイクロスコープや各種検査装置を導入し、品質保証体制にも万全を期しています！



【会社紹介】 ②

商号	株式会社 朝日電機製作所
所在地	白山市旭丘1丁目10番地
創業	昭和54年10月
法人設立	昭和56年7月
資本金	6000万円
代表者	砂崎 友宏
従業員	120名(男74名・女46名)
事業内容	制御盤設計製造、電子機器設計製造
主要製品	産業機械制御盤設計・製造・現場工事 電子プリント基板実装・検査・組立
主要設備	半田印刷機、マウンター、リフロー炉、外観検査装置、 フライングプローブテスタ、デジタルスコープ、 ポイントディップ槽、フロー半田槽
特徴	〈制御盤設計製造〉 顧客要求に柔軟な対応をし現場工事までの請け負い可能。 〈電子機器設計製造〉 RoHS2対応して検査・品質管理にも高い信頼性を保持。
特記事項	ISO9001：2015認定 白山市商工会議所：健康経営取組事業所認定 中部経済産業局：連携事業継続力強化計画認定



制御盤製造エリア



配線の様子



RoHS2対応プリント基板ライン



【実践道場への参加背景・基礎コース】

■ 会社の目的

品質重視と顧客重視の姿勢を不変に保ちながら、先端技術を活用し、製品の品質向上とお客様への信頼性を高めること。

■ 製造部門の目的

品質向上を目指しつつ、リードタイム短縮とコスト削減を実現すること。

■ 現状〈電子機器製造部門〉

- ・ 電子プリント基板実装の外観検査は主に人手によって行われており、一定の時間と労力を要する。しかし、微細な不良個所の発見が難しいことがある。
- ・ 不良個所の見落としや判定の不一致により、製品の不良率が高まる場合がある。また、人手による検査では効率性に課題があり、製造プロセスの改善が望まれる。

会社及び製造部門の目的と現状の課題を鑑み、目視による外観検査をAIに移行することで生産性向上と品質保持が図られる。また、生産計画をAIに代替えることでリードタイムが短縮され、新たな収益機会を創出することができると考え「基礎コース」へ参加。

【実践道場への参加背景・実践コース】

■あるべき姿

新しい技術による効率化にチャレンジし、新たな収益機会を作るための人的余力と時間を捻出する。

■背景

弊社は、技術力を武器に現在まで営業。

➡新分野へのチャレンジは新しい技術の習得機会・人的投資にあたる。



【取り組み内容・概要】

■プロジェクト名

AIによる電子プリント基板外観検査導入プロジェクト。

■プロジェクトの目的

- ①「誠実と信頼」「技術と研鑽」「情熱と前進」の社是に基づき、品質重視と、顧客重視の姿勢を不変としつつ、先進技術を活用して電子プリント基板の品質向上と、製造プロセスの効率化によるリードタイム短縮及び省人化を図る。
- ②AIによる外観検査の導入により、従来の人手による検査では検知が難しかった不良箇所の確実な発見と不良流出率の低減を実現し、お客様に低コストで高品質かつ信頼性のある製品を提供することを目指す。
- ③AIを用いた半田付け不良箇所の自動判定が実現可能かどうかのファーストステップとして、実験室環境（限られた条件下での撮像環境）で検証する。特に半田付けした後、部品の足の不備について、良品と不良品を判別するための判断基準を立てられそうかどうか仮説を立てて検証する。

【取り組み内容・スケジュール】

内容	期間	2023/9	2023/10	2023/11	2023/12
業務整理 要件整理	2W				
方針検討	2W				
仮撮像	2W				
本撮像	2W				
追加撮像	2~4W				
AI設計	4W				
AI実装※	2~4W				
AI評価	2W				
NextStep検討	2W				
報告書作成	2W				

①業務整理・要件整理

- ・全行程
- ・パターン整理
(種類、ボリューム、頻度など)
- ・ワークの種類
- ・不良の種類
- ・正常品、不良品の画像
(正常と不良はセットで用意)

②方針検討

- ・画像処理系
スカイディスク内で方針検討
(AI、ルールベース、都度学習など)
ワーク選定
- ・ハードウェア系
スカイディスクパートナーと
方針検討

③撮像

- ・120枚程度
(正常50枚、異常10枚)
×ワーク1種×追加撮像1回

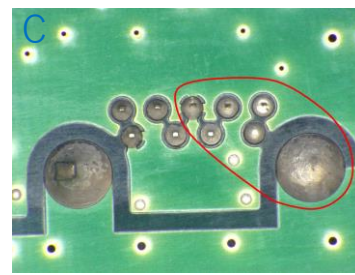
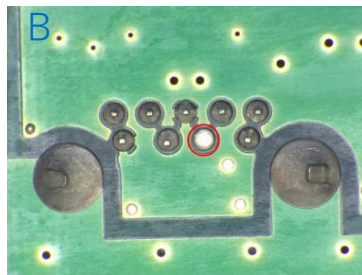
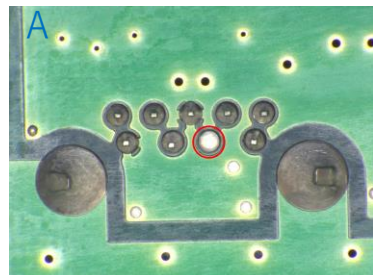
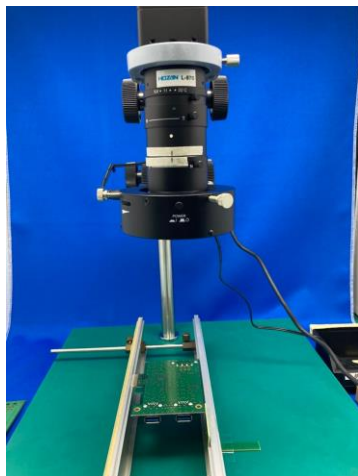
④検証・評価 (画像処理系のみ)

⑤報告

【取り組み内容・撮像】

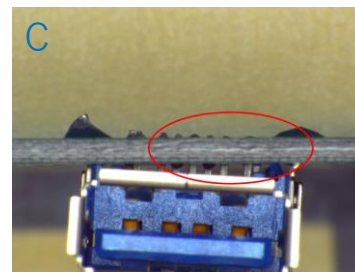
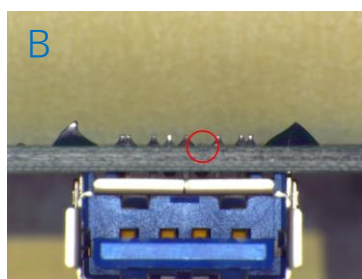
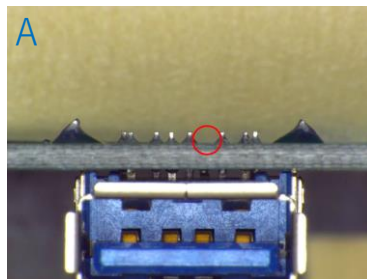
弊社の量産品において、シンプルで別機種への応用が可能な形状の基板を選定し、一般的に難しいとされている半田面の良品と不良品の判別が可能かどうかを検討するため撮像に取り組みました。

真上撮像



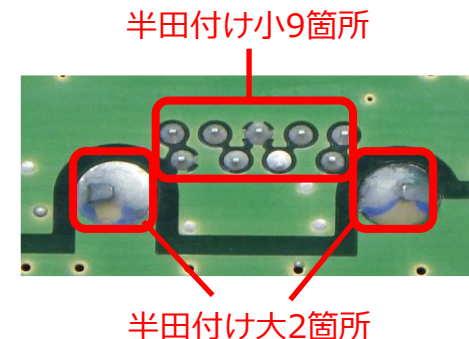
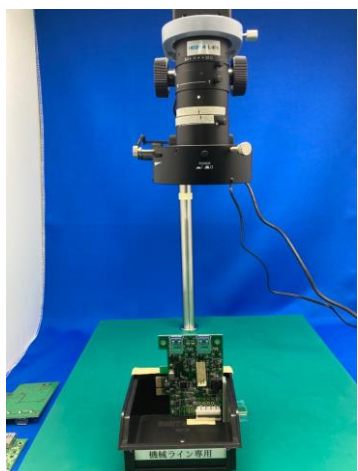
真上からの撮像は、固定した治具に載せる作業のみで、距離、倍率、角度の調整は容易でした。

アルゴリズム検証のため撮像環境は重要



真横からの撮像は、専用治具がなく、薄い基板を立てる必要があり垂直に保ちながらの同じ角度で撮影するのに苦労しました。

真横撮像



検出したい不良（主なNG抜粋）

- A 現象…基板半田面に部品の足（リード）が全く出ていない。
原因…部品の足折れにより、スルーホール（部品穴）に足が入っていない。
- B 現象…基板半田面に部品の足が出ているが、短い。内部で短絡の恐れ有。
原因…部品の足曲がりにより、スルーホールから足が出きっていない。
- C 現象…基板半田面に部品の足が出ているが、短い。原因…部品の整形不良により、部品が真っ直ぐに刺さらずに斜めになっている。

【取り組み結果まとめ】

現状のモデルとデータという前提の下で、不良品検知の実現可能性は高いと考えている。

- 「物体検知による半田付け大・小の検知+ルールベースによる高さ計測」の組み合わせがベストと考えられる。
- 物体検知で検出された半田付けの個数の差、高さの比較によって総合的に判断すれば、不良を見分けられる可能性が高いことが示唆された。
 - 上から見る、横から見る、高さに注目する、と異なる複数の着眼点で評価する事で、一つの着眼点のみでは判定が難しかった事を相互補填できた。
 - 人間とAIも得意不得意、着眼点が異なる為、最終的にどの様な検査体制とするかを総合俯瞰的に設計できると良い事が示唆される。
- 不良品かどうかの判定手順の仮説（「不良品検知の判断手順の例」スライド参照）に則れば、不良品は11件中11件全て不良と判断できる。一方で、良品は20件中1件だけ過検知するが、ルールベースによる高さ計測の精度向上により解消できる可能性はある。
- 不良品検知を安定的に実現するためには撮像の再現性担保や基板設置の安定化は必須と考えている。

【物体検知まとめ】

• 良品

- 真上：テストデータ20件のうち17件（85%）が、全ての半田付け（大小合わせて11個）を正確に検知できた。
- 真横：本撮像＋追加撮像で学習させることで、2つ重なっている半田付けの検知の精度が上がり、見逃しはなかった。
- 真上と真横からで検知された半田付けの個数の差が0であることが、良品であることの根拠の一つとして判断できそうだということが示唆された。

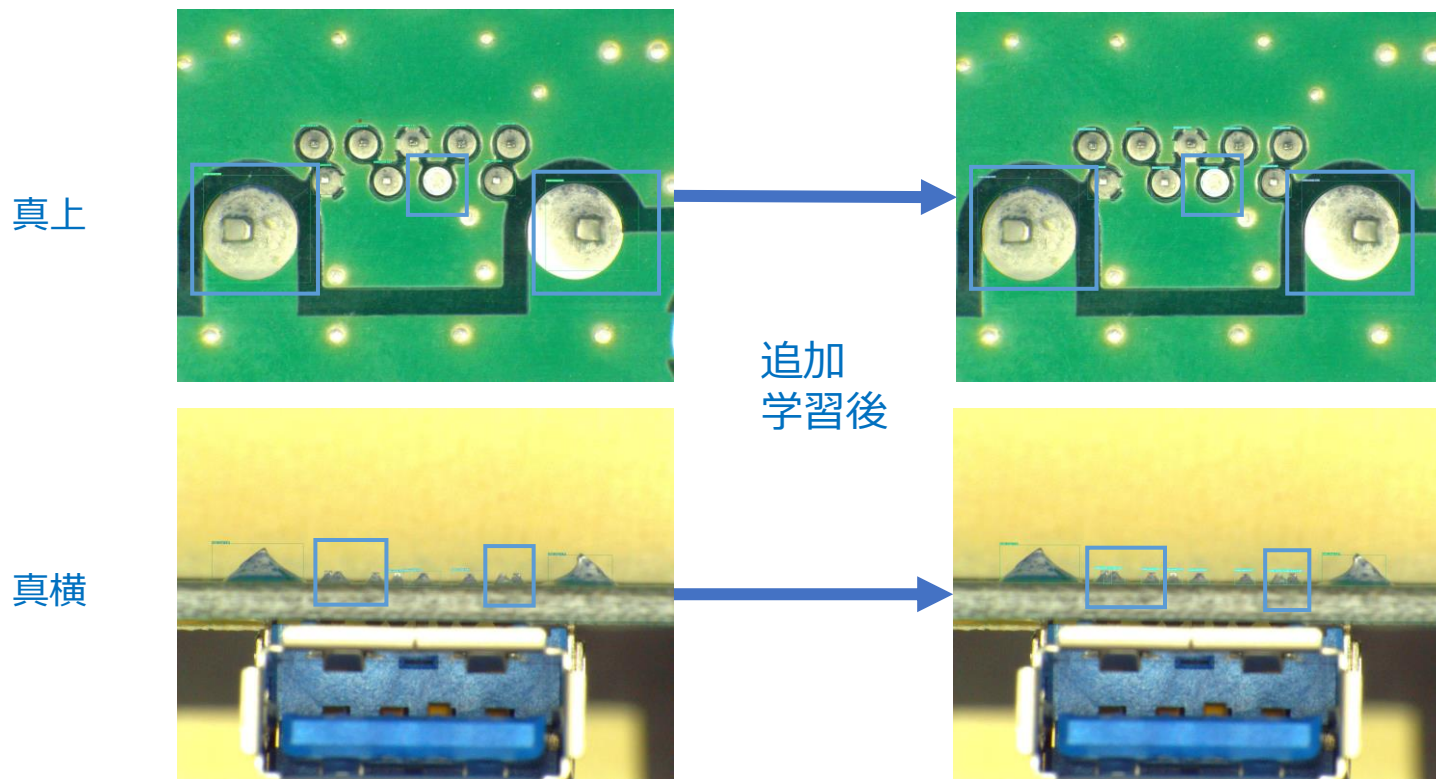
• 不良品

- 真上：ブリッジや未半田のような不良について、不自然な検知となるため不良かどうかを判断するための材料となり得る。
- 真横：リードがほとんど出ていない不良について、想定通り検知されなかった（検知されない場合は不良である可能性があるとして読み替えられる）。
- 真上と真横からで検知された半田付けの個数の差が大きいことや検知領域の面積が不自然に大きいことが、不良かどうかを判断するための材料になることが示唆された。

【物体検知まとめ】

- 本撮像データのみで学習したモデルでは、追加撮像の撮像条件の違いもあり、半田付けが検知されない場合や、やや大きめに検出されてしまうことが多かった。
- 追加撮像データも含めて追加学習した場合、見逃しは0件で検知不備も減った。撮像条件の違いがモデルの精度に影響を与えることが分かった。ただし、不良半田も検知するようになっている。
- 明るさなどの外的要因で精度が落ちるため、撮像環境の安定化は必須であると考えられる。

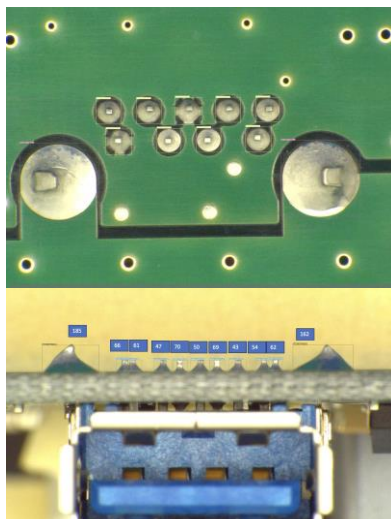
例：20231125_A



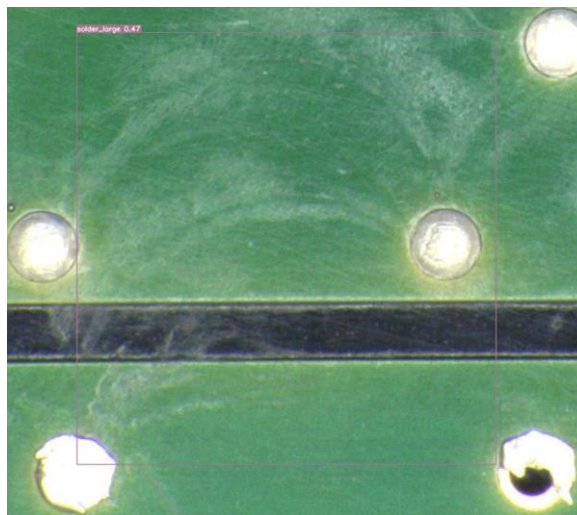
【物体検知まとめ（良品）】

- 良品（20件）：真上と真横から検知された半田付けの個数の差がなければ、良品である可能性が高いということが示唆された。
- 良品における半田付けの検知のされ方は、以下の3パターン見られた。
 - パターン1：全ての半田付け大・小が正しく検知できた（17件）。
 - パターン2：関係ない箇所が半田付け大として検知された（2件）。
検知領域の面積が大きいので閾値を設けることで対処できる可能性がある。
 - パターン3：2つ重なっている半田付け小の間に半田付け小が検知された（1件）。
半田付けである確率が一番低く、閾値を設けることで対処できる可能性がある。

物体検知不備を除けば、半田付け11個が真上と真横のどちらからも必要数検出されることが良品である可能性が高いと予想される。これは、不良品ではみられない傾向である。



パターン1



パターン2

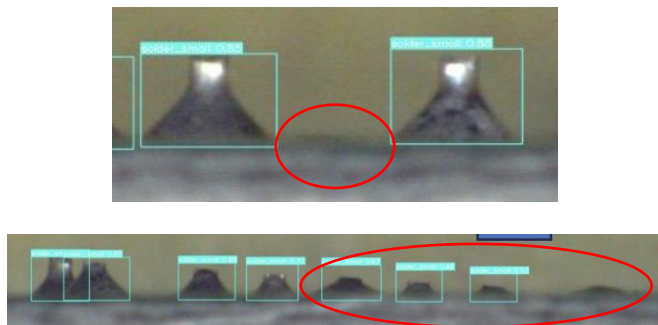


パターン3

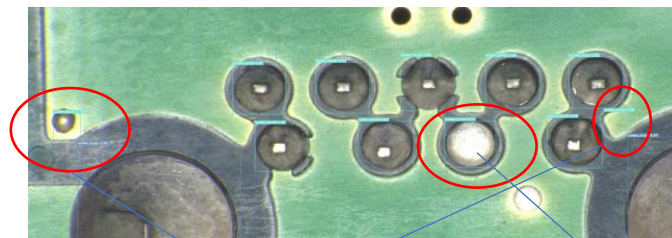
【物体検知まとめ（不良品）】

- 不良品（11件）：真上と真横で検知された半田付けの個数に差があれば、不良である可能性があるということが示唆された。
- 不良品における半田付けの検知のされ方は、以下の4パターン見られた。
 - パターン1：真横からで、リードが完全に出ていない箇所は想定通り検知されなかった（11件）。
 - 高さがある程度出てくると検知される傾向にあるが、高さ計測の結果も突合すると不良であると判断できる可能性はある。
 - パターン2：真上からの場合は不良箇所でも検知される傾向にあるが、真横からの検知数との差があるので不良と判断できる可能性がある（11件）。
 - パターン3：一部関係ない箇所が余分に検知されたが、対処可能（4件）。
 - 座標制限や領域の面積、半田付けである確率それぞれに対して閾値を儲ければ対処できる可能性がある。
 - パターン4：真上からで、ブリッジや未半田は半田付け大と小が入り乱れて不自然な検知となる傾向にあり、真横からの検知数との比較で不良と判断できる可能性が高い（2件）。

真上と真横からで、検知された半田付けの個数差が2個以上であれば不良品である可能性が極めて高くなると予想される。差が1個の場合でも、良品におけるパターンと異なるので、不良品と判断できる可能性はある。

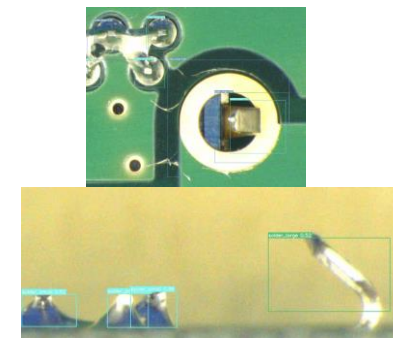


パターン1



パターン2

パターン3

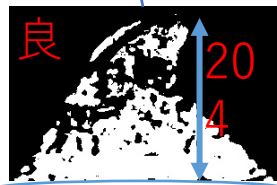
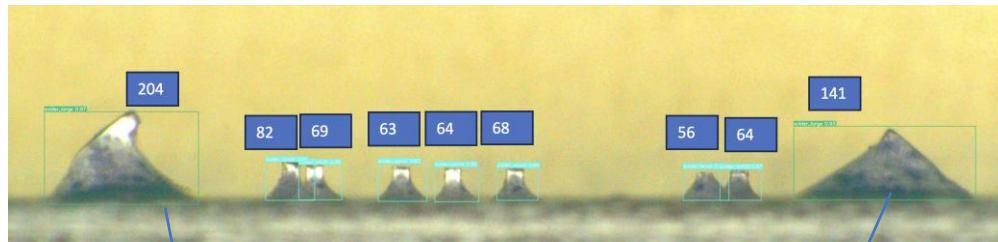


パターン4

【ルールベースまとめ】

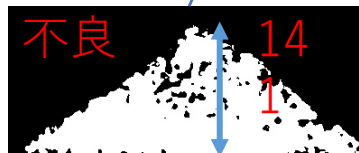
- ある程度低い半田付けを不良として弾くことが可能であることが示唆された。
 - 物体検知の結果と合わせることで、より不良と判断できる根拠が増える。
- 本撮像と追加撮像で倍率や奥行きにばらつきが少しある可能性があり、1pxあたりの長さが微妙に異なっているため精度に若干の不安定さがみられるが、**撮像環境を安定化させることで解消可能**と思われる(①)。
- ブリッジや未半田で、**高さが高い場合**では不良と判断できる根拠の一つとなり得る(②)。

①



サイズ:
203x340

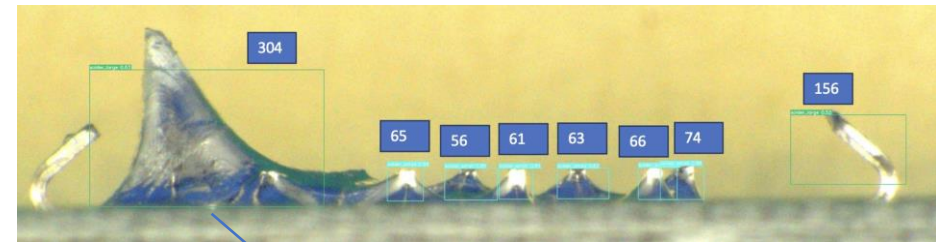
少し基板部分も物体検知で検出されてしまっている分、見かけ上高くなっているのは課題。



サイズ:
161x401

正常な分布からは外れているため、不良と判断できそう。

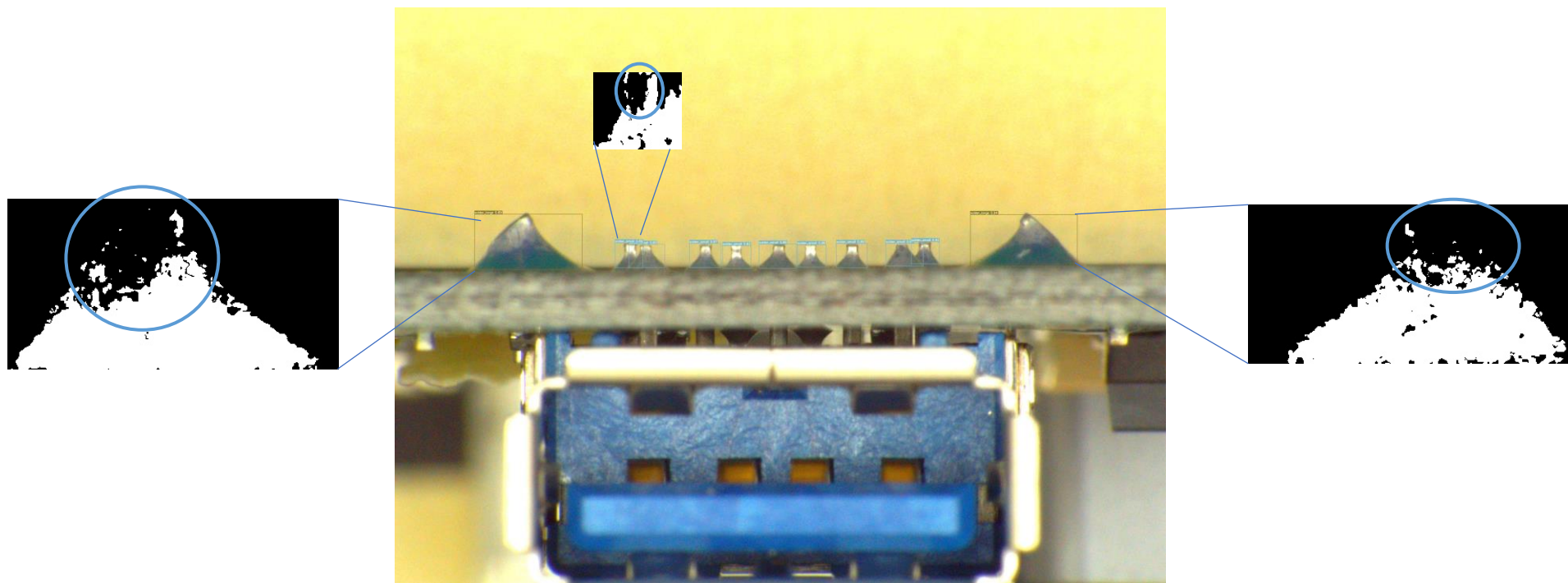
②



高さが極端に高く、正常な分布からは外れているため、不良と判断できそう。

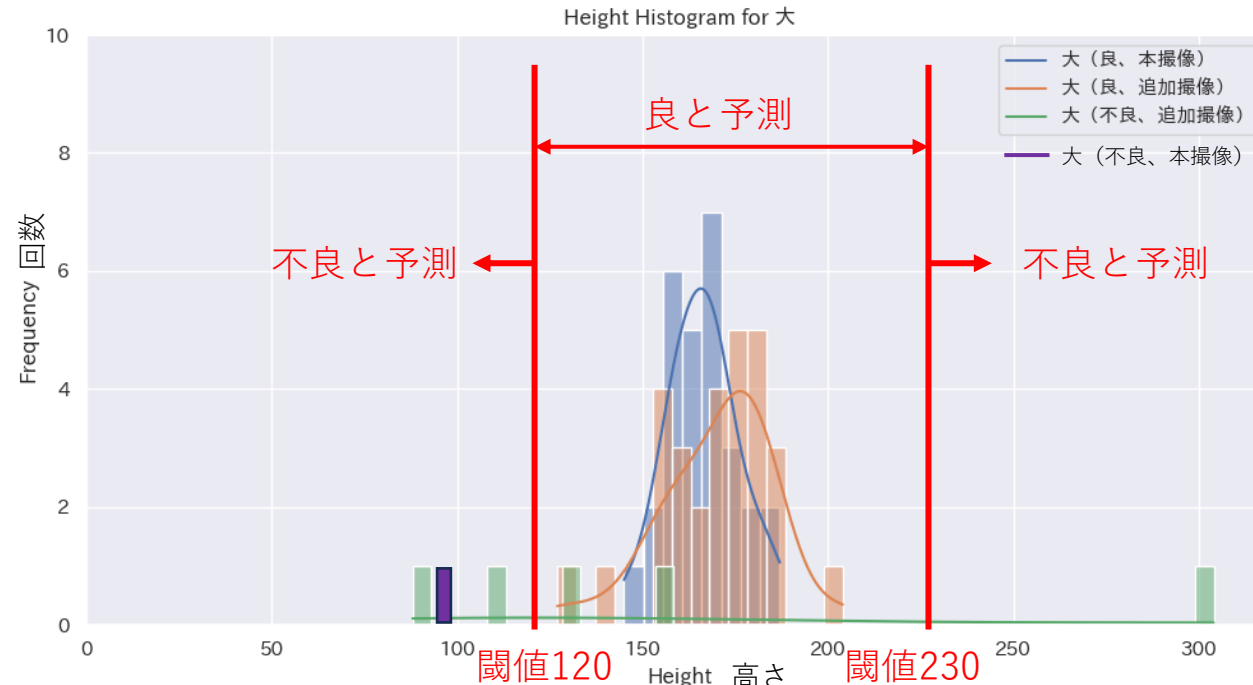
【ルールベースまとめ】

- 銀色を数値で表現することが難しいため、背景色を除くという考え方で半田付け部分を抽出している。そのため、**反射して背景色が含まれているような領域は抽出できていない場合がある**。下記の場合は、先端付近部分が一部抽出できているため実際の高さと比較して大きな乖離はないが、対策は必要である。
- 反射光の抑制や反射したとしても**背景色が目立たないようにする工夫**ができれば理想である。



【ルールベースまとめ（半田付け大）】

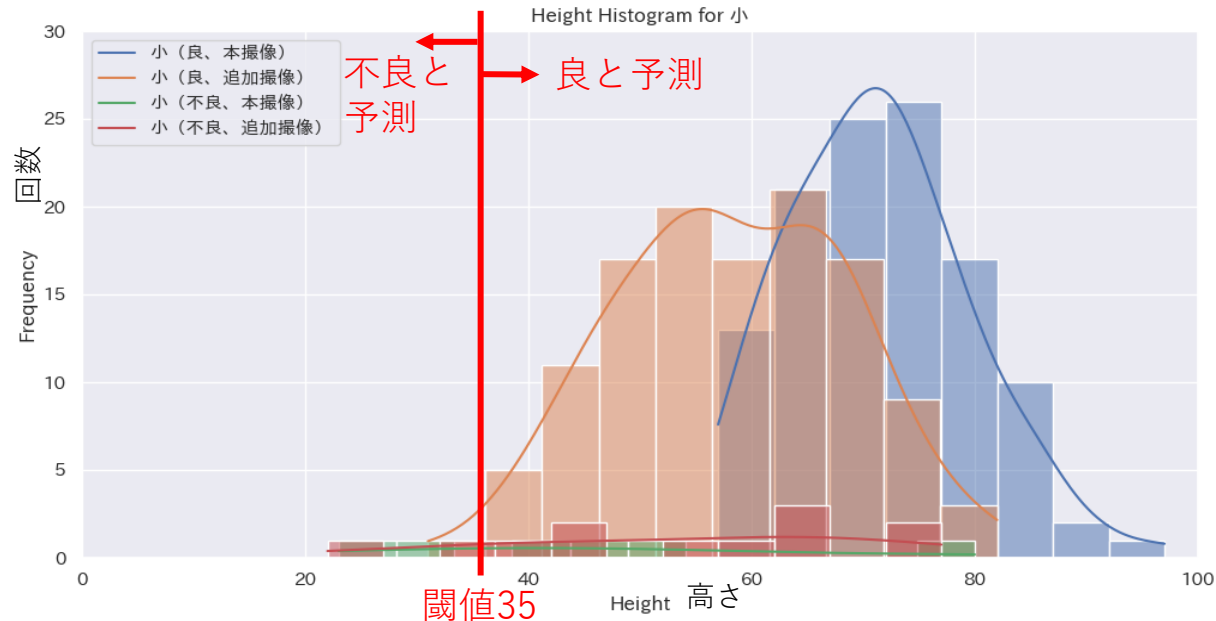
- 半田付け大について、物体検知不備を除いてルールベースで高さ計測した結果をヒストグラムに表したのが下図である。
 - 良と不良とで明確な閾値を設けることが難しいので、ある程度の低さや極端に高い場合に不良を弾くことが可能。
 - 背景の一部が検出されてしまい実際よりも高さが高く出る場合もあり、その影響も一因と考えられるが、撮像環境の安定化により解消できる可能性がある。
 - 閾値120以下を不良とした場合（良が全て良と判定されるようにした場合）は、半田付け大3件が不良と判定できる。また、閾値230以上を不良とした場合、高さが304と極端に大きい1件も不良と判定できる。したがって、テストデータ11件中4件が閾値から不良と判定でき、残りの7件は物体検知との結果と突合して総合的に判断することになる。



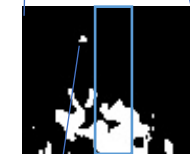
※検知された半田付けの個数でカウント。

【ルールベースまとめ（半田付け小）】

- 半田付け小について、物体検知不備を除いてルールベースで高さ計測した結果をヒストグラムに表したのが下図である。
 - 良と不良とで明確な閾値を設けることが難しいが、**ある程度の低さの半田付けは弾くことができる。**
 - 背景や基板の一部が検出されてしまい実際よりも高さが高く出る場合もあり、その影響も一因と考えられるが、撮像の安定化により解消できる可能性がある。
 - 閾値35以下を不良とした場合（良が良と判定されるようにした場合）は、半田付け小4件が不良と判定できる。残りは物体検知との結果と合わせて総合的に判断することになる。一方で、良のうちでは1件のみが不良と誤って判定されてしまう（反射で背景色が含まれてしまっていることなどが原因と考えられる）という課題はあるが、背景色の統一や工夫により解消できる可能性は高い。



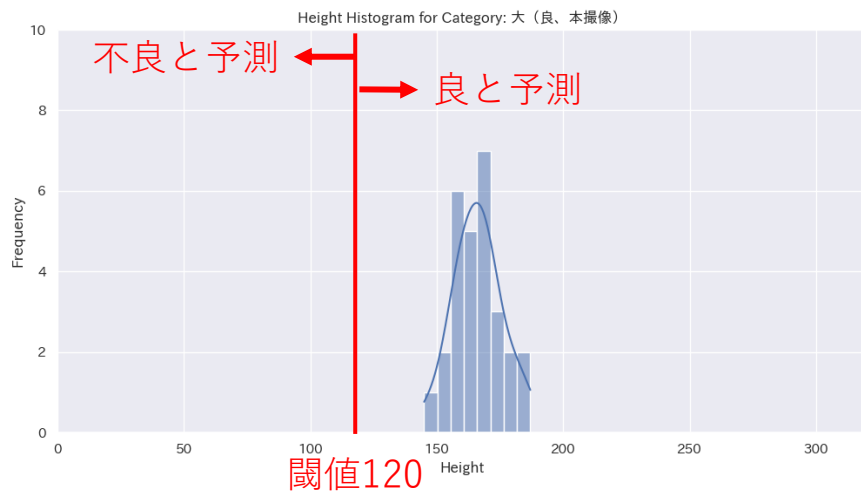
計測された高さは31で、OK品の中ではこれだけ他の正常な高さの分布から外れている。



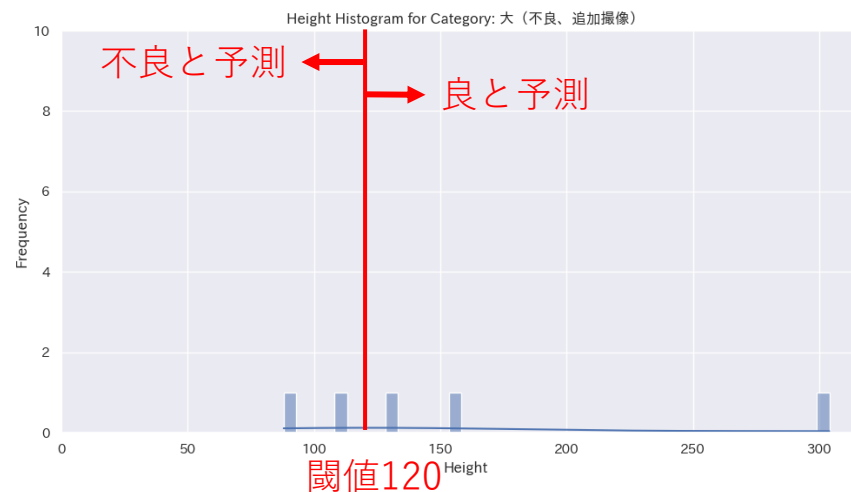
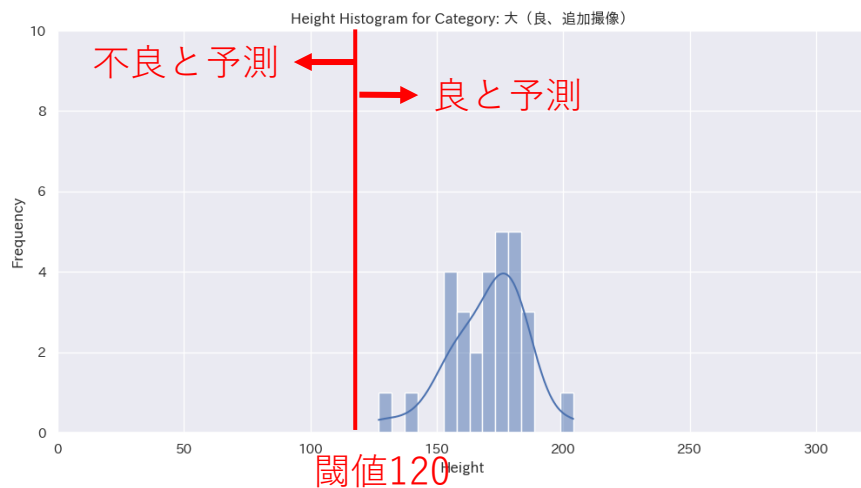
※真ん中20%の領域のみで高さ計測（隣の半田付けを除外したいので）している。

先端付近はかろうじて抽出できているが、高さ計測の対象外領域となっている。

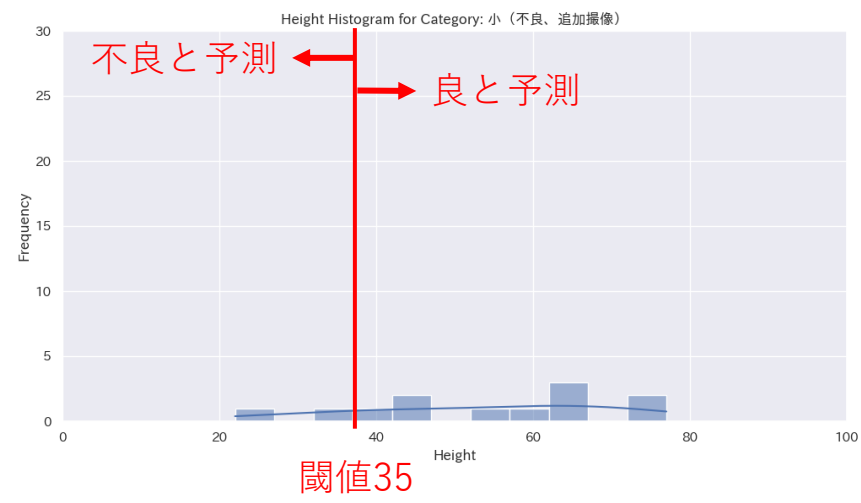
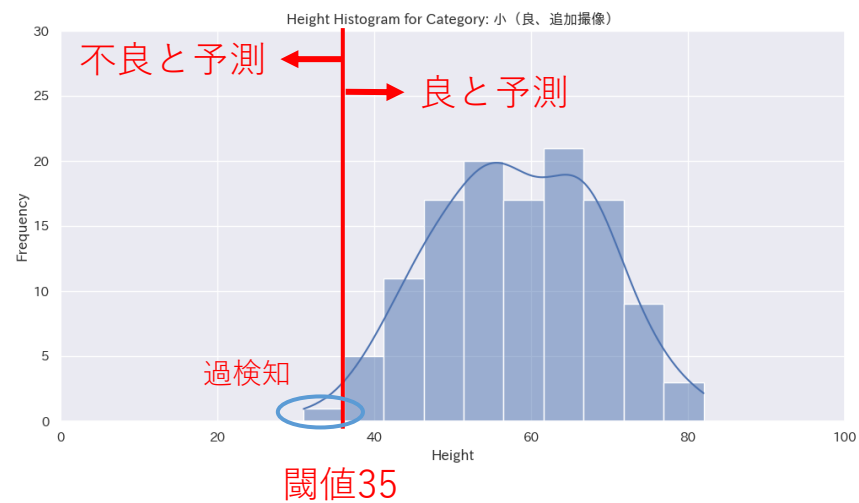
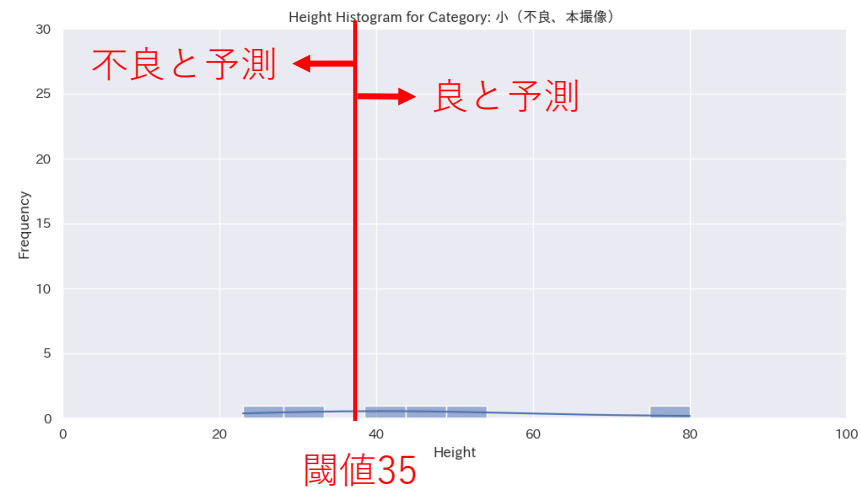
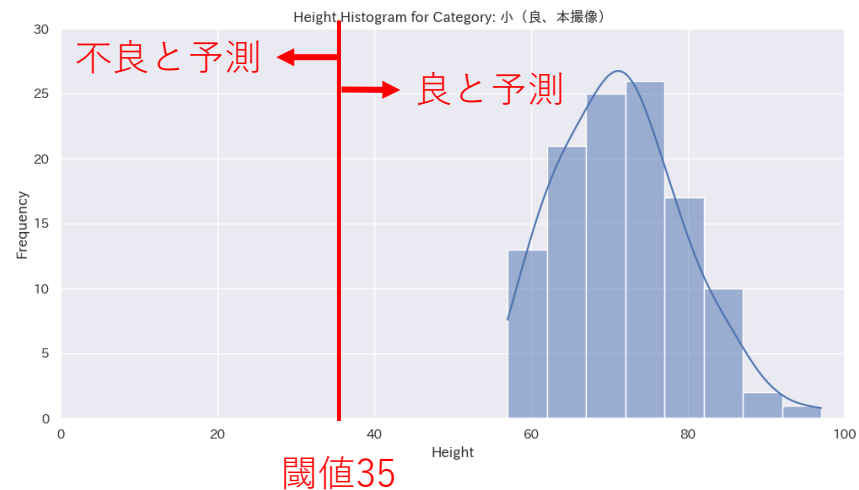
【参考：各ヒストグラム（半田付け大）】



※不良、本撮像については、
値90が1件のみであったため、
ヒストグラムは省略。

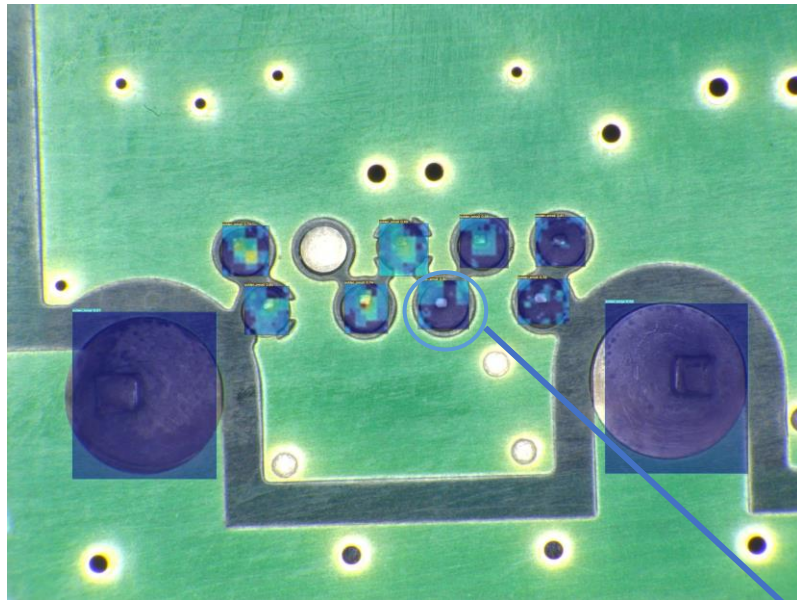


【参考：各ヒストグラム（半田付け小）】

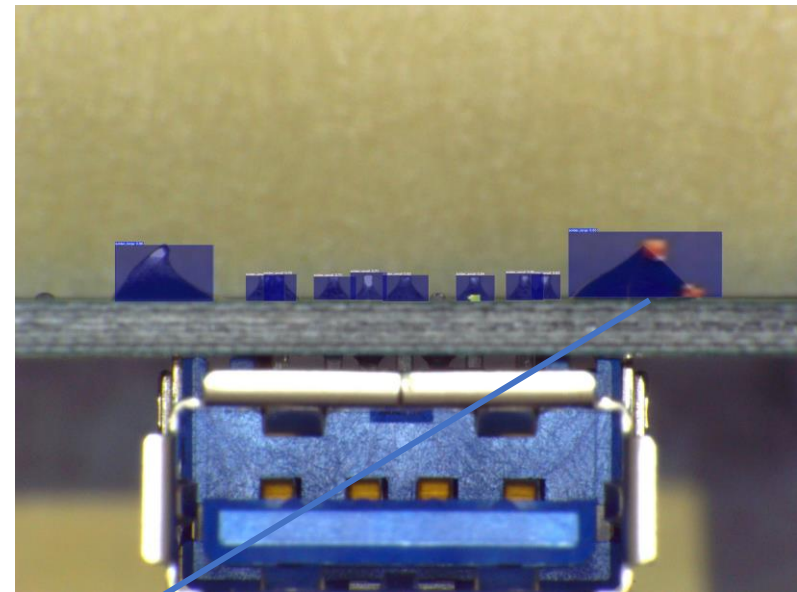


【良品学習まとめ】

- 良品学習による不良検知は、良と不良の特徴量の分布が重なってしまい、明確な閾値を設けることが極めて難しくなっている。
- また、位置ずれや微細な異常に敏感に反応してしまい過検知が多くなってしまっている。
 - 明るさや傷や埃の状態、物体検知の精度にも依存してしまうため、使い勝手が悪い。
 - 様々なパターンを網羅的に十分な枚数で学習させる必要がありそうで、汎用的なモデルを構築しづらいことが予想される。



※赤いほど異常スコアが高いことを示す。藍色は閾値未満で異常がないことを表している。

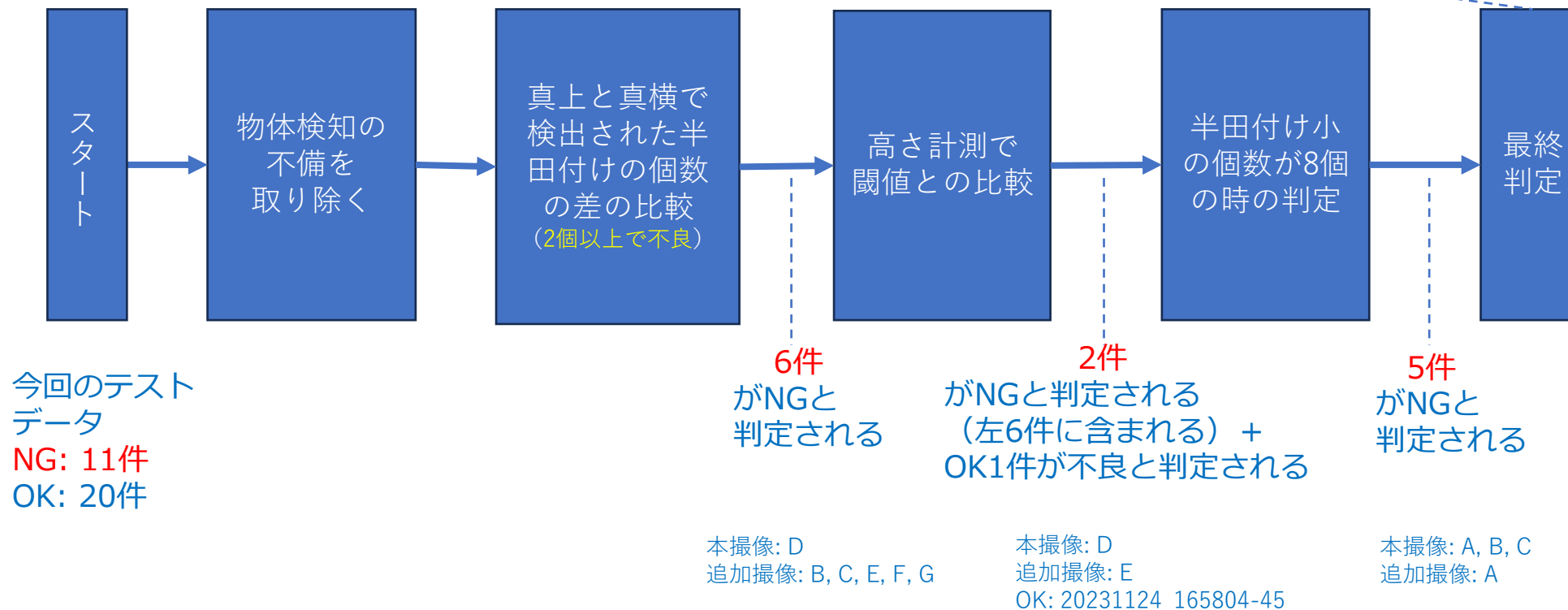


良でも異常スコアが高くなる場合がある（閾値調整で調整可能だが、高くしてしまうと逆に見逃しが多くなる）。

【不良品検知の判断手順の例】

下記の手順は、順を追って異常判断する方法の1つの例である。

下記の場合、今回のテストデータでは見逃しなし、過検知1件のみに抑えることができる。



最終判定結果を基に後続処理も自動処理させたい場合や、個々の判定基準を人間が見ても判断できない場合に生きる方法。但し「順を追う」に確実な法則性が無い場合、最終判定結果を誤るリスクを負う事になるので、使い方は気を付ける必要がある。

【今後の展望】

■ AIによる外観検査

・ 今回のワーク1種においては、「**物体検知+ルールベース**」の組み合わせにより、**不良品検知の可能性は高い**と評価されました。特に、半田面の外観検査は一般的に難しいとされていますが、今回の取り組みの成果は大きいと感じています。

■ 導入課題（運用面）

・ 弊社の取り扱っている電子プリント基板は100種類以上あり、受注ロットは数個から1000個と多品種小ロットに対応しています。特に、受注の7割が100個以下であるため、検査基板の選定と、どの工程で導入することが、製造プロセスの改善につながるかの検討が必要です。

■ 導入課題（費用面）

AIによる外観検査の導入には、費用（ソフトウェア、ハードウェア、ランニングコスト）の検討が必要です。省人化やリードタイム短縮による費用対効果の検証も、不可欠です。

【所感】

- ・ AIの万能性に興味を持ちデジタル化実践道場の基礎コースを受講しました。今まで接点のなかった分野に触れることができ、非常に興味深い経験となりました。外観検査に関する弊社の課題やあるべき姿について、他社の方々から、多くの意見やアドバイスをグループワークを通して得ることができ、人材交流も含め、貴重な機会となりました。
- ・ 以前は、AIは奥深く難解な分野だなと感じていましたが、今回の講習で苦手意識は少し薄れました。一方で、AIに取り込む画像の撮像に関しては、基板の固定治具（ずれ防止）やカメラの設定値の調整など、非常に苦労しました。しかし、新たな考え方や発想転換を学ぶことで、多くの視点や活用方法を発見し、実践コースも楽しく挑戦することができました。
- ・ 最終的に、弊社の作業コスト及び初期・運用コストなどの費用対効果を検証中ですが、デジタル化の流れに遅れを取らないよう情報収集し、適切なタイミングで導入計画を進めて行こうと考えています。