

➤ StoryからわかるABC基板の課題ポイント

- ◆ 利益が伸び悩んでいる。
- ◆ 技術力は評価されており、電子機器メーカー等から支持がある。
- ◆ グローバル化の波で安い製品が入ってきており、価格を下げざるを得ない環境。
- ◆ 社長は、以下の理由から「検品作業の効率化」に注目。
 - ✓ 検品には多くの工数がかかっている。
(導通検査・目視検査等の為に、全従業員の20% (20人) を雇用)
 - ✓ 検品作業者の退職が相次ぎ、人材不足。
- ◆ 社長は、AIでどのように検査すべきか、導入した場合にどのように工程に組み込むべきかを把握し、実現方法を検討してほしいと考えている。

⇒ ABC基板は、
「検査工数の削減により人材不足を解消するとともに、製品価格を下げることを目的」としている

提出課題 phase1 まとめ

➤ ヒヤリングから得られるポイント

◆ その他

- ✓ 社長は、無人化の暁には、どの工程に現在の検査担当従業員を配置すればいいかも案が欲しい。
- ✓ 清掃部長は、ラインを止めることはできないため、検品の画像データ取得をどのように行うべきか検討が必要と考えている。
- ✓ 品質管理責任者は、不良品出荷は少なくとも全生産数の0.02%程度に抑えるべきと考えている。

◆ 製造工程

- ✓ 工場全体の各部署の稼働状況はシステムで見える化されている。
- ✓ 従業員の出勤状況に寄り生産量調整が必要。目視点検もあり、突発欠勤は計画に支障あり。
- ✓ 基板設計は社員代替が難しく、有給取得もむずかしい。
- ✓ 製造工程は、製造・検品・梱包・出荷の4プロセス。

提出課題 phase1 まとめ

➤ ヒヤリングから得られるポイント

◆ 製造工程（続き）

■ 土台作成

① 土台素材の切断

② 穴開け、溶けた樹脂の除去

✓ 穴径に合わせたパーツ交換は人力、10人程度かかりっきり。

✓ パターンが多いときは取替・設定がおいつかない。

③ 銅メッキ、導通に必要なメッキ、厚みの追加

■ プリント基板回路作成

① チリ、ゴミ混入防止でクリーンルームへ移動

② フィルム貼り付け、感光によりパターン転写、現像。

③ 回路以外の銅を溶かすことで、回路作成。

✓ 2時間に1度程度、目視によるサンプリング検査。

✓ ゴミや傷があると致命的。熟練工6名程度で実施。

④ 回路のコーティング

⑤ 部品位置、ロット等の印字

⑥ 表面処理

⑦ 基板カット整形

提出課題 phase1 まとめ

➤ ヒヤリングから得られるポイント

◆ 検査工程

■ 導通検査

✓ 電流が流れない3000台/月程度を廃棄。

① 大量生産品は専用チェッカーで実施

✓ 検査自体は数秒。設置作業のみで作業員は4名程度で済む。

✓ 基板のランドにピンを接触させ電流を流し、抵抗値から良否判定。

② 少数品は人力で検査。

✓ 点数は少ないが、大量生産品と同じく4名体制。

✓ ピンを始点終点にあて導通を抵抗値から判定。1枚あたり5秒程度。

✓ 部品有無やブリッジ不良が多い。角ハンダやブリッジは目視で検査可。

■ 出荷検査（目視検査）

✓ 完成品の全数(製造台数10.3万台/月から導通検査不良3千台を除く)を目視で検査

✓ 1枚につき30秒程度。拡大鏡による細かな検査。

✓ 検査自体の負担も大きく、作業員が定着しない。しわ寄せは他の作業員に。

✓ 作業員に寄り、スピードと質に差が出やすい工程。

✓ ダブルチェック体制

✓ 良品判定はほぼ100%。不良品の判定率90%。

2回目の検査では、1回ごとに不良品に気づき次第廃棄。

✓ 1回目、2回目それぞれ6名ずつで、計12名で担当

演習① 必要情報の洗い出し・情報の取得方法の検討

➤ 検査工程AI導入検討に当たっての取得情報項目・取得目的

#	取得項目	取得目的	取得先
1	製造現場における製造工程の全体像	AI実装後の業務プロセスを検討するため	製造部長・製造各課担当者
2	検査工程の工数・人材不足の課題感	社長の見解と現場の見解に差異がないかを確認するため	品質管理・検査課 総務・人事課
3	顧客からの製品価格に対する評判	効率化により価格を下げる事が求めるべきゴールかどうかの確認のため。（品質やマーケティングの課題である可能性の排除）	営業部 管理部・経理課
4	検査対象品毎の検査目的・製造工程	製造品における重要な機能の理解の為。検査と製造工程の関係性把握の為。（検査対象品毎の製造工程を知らないと検査目的も十分な把握ができないと考えるため。）	製造部長・製造課
5	検査対象品毎の製造に必要な工数・人員	最終的な効果算出のため。 現状把握のため。	製造部長・製造課
6	検査対象品毎の検査目的・検査工程	検査において重要なポイントの理解のため。	品質管理・検査課
7	検査対象品毎の検査に必要な工数・人員	最終的な効果算出のため。 現状把握のため。	品質管理・検査課
8	検査時の具体的な不適切事例	AI導入の実現可能性と効果把握のため。 AI構築時のモデル候補検討のため。	品質管理・検査課
9	各種不適切事例の原因	どのような工程で不適合が発生しうるのかの把握のため。 （検査の効率化が根本課題であるかどうかの確認のため）	品質管理・検査課 （必要により製造部全課）
10	検査対象品毎の現状の検査精度	AI導入時の目標設定のため。	品質管理・検査課

演習② PoCにおける要件定義項目の列挙

➤ AI化業務の具体化／PoCにおける要件定義項目の列挙

1. 実際の検品工程を踏まえた上で、どの業務をAI化するのか。およびその理由。

◆ 出荷検査

＜理由＞

- 検査工程の中で最も、人数をかけている。（1, 2回目トータル12名）
- 検査工程の中で最も、検査1件当たりの検査時間が長い（30秒）
- 目視検査の為、AIによる検査画像分類により良否分類ができる可能性がある。
- 全数検査の為、AIに判定させる前の処理や判断が不要。
- AIにより課題解決した場合以下のような効果が見込める
 - a. 作業員によるスピードや質の違いが統一化される。
 - b. 人員によるダブルチェック体制を解除できる可能性がある。
 - c. 効率化により、ひっ迫している工程や長期の教育が必要な工程に人員を移管できる。
（社長の人員配置提案要望にもマッチする）
 - ✓ 土台作成工程
 - ✓ プリント基板回路作成工程

演習② PoCにおける要件定義項目の列挙

2. PoC実施に向け、要件定義が必要な項目。

最終的な投資判断材料を集められる最小限かつ小規模なスタートを前提。

◆ システム要件

- ① ハードウェア構成（PC、センサー、カメラ、電源構成等）
- ② ソフトウェア構成（使用言語、GUIフレームワーク等）

◆ 性能要件

- ① 処理能力（要求検査数と検査時間を考慮した判定スピード）
- ② 処理データ量
- ③ 必要端末台数

◆ インターフェース

- ① 判定結果の画面

◆ 機能要件

- ① 検査画像の良否判定
- ② 判定状況・結果表示、通知

◆ 運用要件

- ① 監視方法
- ② 障害時の対応、組織運用体制

演習③ PoCにおける要件定義

- 取得した参考情報をもとに、以下について要件定義してください。
 - a. 精度目標をどのように設定するか?(1/3)

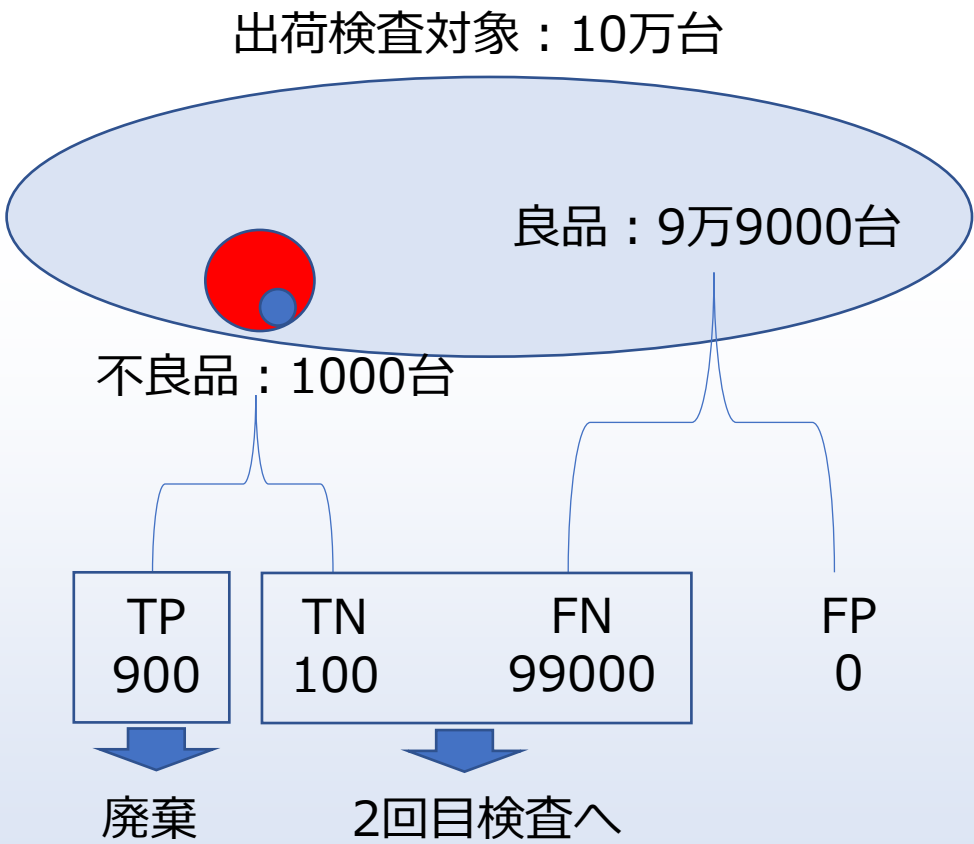
<1000台不良品が含まれていると仮定した場合の例>

- 前提条件
 - ✓ 不良品判定率90%
 - ✓ 良品判定率100%
 - ✓ ダブルチェック体制

◆ 1回目の検査（対象：10万台）

実際 検査結果	True（不良品）	False(良品)
True（不良品）	TP：900台（廃棄）	FN：100台(見逃し)
False(良品)	FP：0台	TN：9万9900台

良品は100%判定されるためFPは0台。
不良品は10%の確率で見逃されるためFNは100台。
正しく不良品と判定された900台はこの時点で廃棄され、
残りの9万9100台が2回目の検査へ向かう。



演習③ PoCにおける要件定義

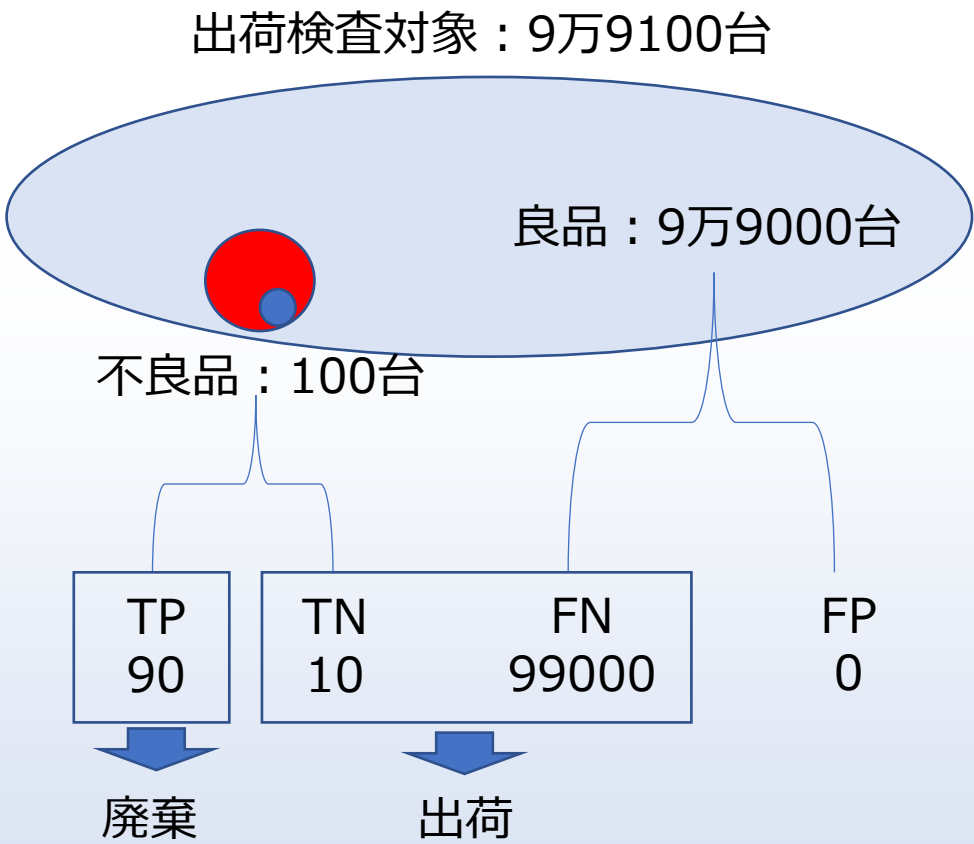
a. 精度目標をどのように設定するか? (2/3)

◆ 2回目の検査 (対象 : 9万9100台)

実際	検査結果	True (不良品)	False(良品)
True (不良品)	TP : 90台 (廃棄)	FN : 10台(見逃し)	
False(良品)	FP : 0台	TN : 9万9000台	

良品は100%判定されるためFPは0台。
不良品は10%の確率で見逃されるためFNは10台。
正しく不良品と判定された90台はこの時点で廃棄され、
見逃し品10台を含む残りの9万9010台が出荷される。

全生産品数10.3万台のうち、10台は不良品として出荷されている事となる。



演習③ PoCにおける要件定義

a. 精度目標をどのように設定するか? (3/3)

出荷検査での要求事項は、**見逃しをいかに少なくするか**である。

(品質管理責任者は、不良品出荷は全生産数の0.02%程度に抑えるべきと考えている)

実際の不良品のうち、正しく不良品と判定する割合を重視すべきと考えられることから、評価指標は「Recall(再現率)」を採用する。

現状の人力での検査では、検査一回当たり

$$recall = \frac{TP}{TP + FN} = \frac{0.9}{0.9 + 0.1} = 0.9$$

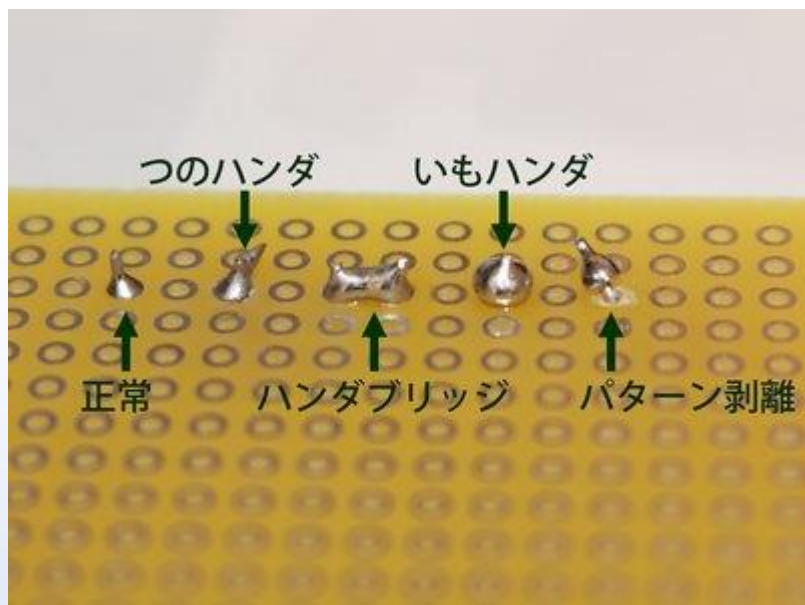
であるため、PoCにおけるAIによる精度目標は、人力での精度と同等の**Recall(再現率) = 0.9を目標**とする。

演習③ PoCにおける要件定義

b. AI実装に必要な対象データをどのように取得するか?(1/3)

➤ 前提条件

- ✓ 角ハンダ・ブリッジ・芋ハンダの外観から検査できる不良を確認
- ✓ 生産ラインは止められない



ハンダ不良の種類

➤ 取得データ

- ✓ 検査日時
- ✓ 基板画像データ
 - 上面写真（ハンダ付け面真上から）
 - 斜め写真（上面からわからないハンダ不良を考慮）対象品の大きさによりズーム写真が必要であればエリア別に複数枚準備する。
PoCであるため、どちらの角度を用いるかは精度評価結果に基づいて正式導入前に最終決定したい。
- ✓ 基板固有番号、ロット番号
 - 対象品の早期確認の為、また他の基板と同様の傾向がある場合の調査時など考慮し、画像データと対応が取れるようにして記録しておく必要がある。
(AI精度とは直接関係なし)
- ✓ 不具合の該否情報、不具合モード
 - 検査作業員に学習データ取得後にラベリングを依頼

引用 : <http://sandersonia-elec.com/?tid=3&mode=f1>

演習③ PoCにおける要件定義

b. AI実装に必要な対象データをどのように取得するか?(2/3)

➤ 取得方法

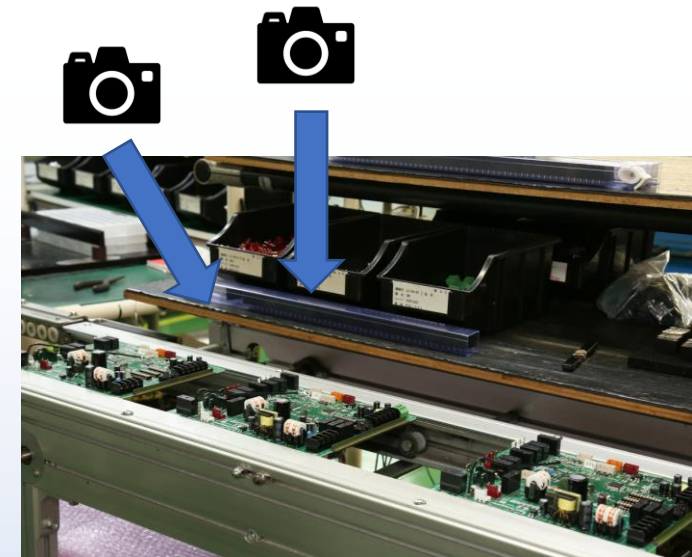
「ラインは止められない」というインタビューコメントから、検査対象品は定期的にラインから流れてくるような状況と想定。マイコンとカメラを組み合わせたツール2セット（上面用、斜め用）を作成し、検査ラインに配置する。

◆ ハード構成

- ✓ マイコン（Raspberry Pi 4B）
 - ✓ カメラモジュール（Raspberry Pi Camera V2）
- 長時間の連続稼働が想定されるため、電源は検査エリア内の最寄りのプラグから確保する。

◆ ソフト構成

- ✓ 使用言語：python
- 写真撮影のプログラムをラインスピードに合わせCronにより定期実行することで基板画像データを大量に収集する。



検査ラインイメージ

画像引用元：<https://www.maruyama-g.co.jp/iwabishi/tsukechi/line/>

演習③ PoCにおける要件定義

b. AI実装に必要な対象データをどのように取得するか?(3/3)

➤ 取得方法

月当たりの出荷検査数が10万台であるので、画像データは5営業日程度あれば各アングルで2万5千枚程度集められるため画像分類の総データ量としては十分と考えられる。

一方、不良率を考慮すると不具合データの画像は十分に集まらない可能性もあるため検証が必要。品質管理責任者が、不良品出荷は全生産数の0.02%程度にすべきとのコメントをしていることから、現状同程度の不良品出荷が発生していると仮定すると、毎月20台程度の不良品出荷である。

不良品判定率90%から逆算すると月当たりの出荷検査における全不良品数Xは

$$\begin{aligned} X \times 0.1 \times 0.1 &= 20 \\ X &= 2000 \quad (\text{台/月}) \end{aligned}$$

よって、5営業日程度だと、500枚程度の不具合データの画像が得られると考えられる。

モデル構築に当たって十分な量かどうかは、各不具合のモードがどれだけ収集できているかにもよるため、一概には言えないが、可能であれば廃棄品や過去の不具合記録等から収集画像と同様のデータが得られるのであれば別途画像データ収集を依頼しておき、可能な限り不具合画像を多く収集しておくことが望ましいと考えられる。

演習③ PoCにおける要件定義

c. どのようなモデル手法を、どのような順序でモデリングを行い、どのように評価するか？

➤ モデル手法・順序

① 画像データの2値分類モデル

- 出荷検査においては、不具合が発見された段階で廃棄することとなっている。今回はハンダの不良判定が目的であるが、**正常な場合と不具合の場合が判定できれば良いと考えられるため最初のモデル候補とする。**

② 画像データの多値分類モデル

- 2値分類モデルで想定精度が出ない場合は多値分類モデルを検証する。

③ 物体検出

- 分類により精度が出ない場合、不具合パターンごとの物体検出モデルの検証に移る。

➤ 評価方法

- ✓ いずれのモデルにおいても良品、不良品の判定精度（**Recall(再現率) = 0.9**）を基準に評価する。

実際 検査結果	True（不良品）	False(良品)
True（不良品）	TP	FN
False(良品)	FP	TN

$$recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

演習③ PoCにおける要件定義

d. AI導入によって、どの程度の効果が想定できるか?(1/2)

➤ モデルが所望の精度を得られた場合、以下の変更を提案する。

✓ ダブルチェック体制の解除

- 人力と同程度の精度が得られることから、**1回目の目視検査をAIに代替**する。

現在12人で行っている**目視検査を2回目のみ、検査人員は8名に変更**。

これにより、1回の検査にかけられる**人員が2名増**となり、**出荷検査の負荷を低減**できる。

✓ 削減した検査員の配置転換

- 1回目の検査人員は、以下部門へ**2名ずつ配置転換**する。

□ 土台作成部門

常に稼働がひっ迫している。**追加人員により負荷の分散**を図る。

□ プリント基板回路作成部門

熟練技術が必要。追加人員を新規教育対象として、**短期離職を防ぎ長期的な人材確保**を図る。

演習③ PoCにおける要件定義

d. AI導入によって、どの程度の効果が想定できるか?(2/2)

➤ 想定効果

- ✓ 出荷検査部門の残業費用削減。
- ✓ 土台作成部門の稼働ひっ迫の低減。
 - 出荷検査部門と土台作成部門合わせて、現状12+10=22名。
人員配置転換による負荷低減により、1人月当たり20時間の残業抑制につながると仮定。
さらに、一人当たりの残業時間単価 2000円/時 と仮定すると、

$$2000 \times 20 \times 22 = 880,000 \quad (\text{円/月})$$

月当たり880,000円、年間10,560,000円のコスト効果が想定できる。

- ✓ 熟練技術を持つ人材の定着（プリント基板回路作成部門）
- ✓ 全社的な短期離職の抑制。

➤ 参考情報①：企業概要／製品情報

会社概要

企業名	ABC基板	設立	1988年08月
代表者	宇都宮博（32）	業種	電子回路基板製造業
従業員数	100名	上場/非上場	非上場
株主	宇都宮忠雄 50%	宇都宮幸子 10%	
	宇都宮博 5%	その他 35%	
役員	宇都宮忠雄 代表取締役会長	宇都宮博 代表取締役社長	
	宇都宮幸子 常務	中野千寿子 取締役	

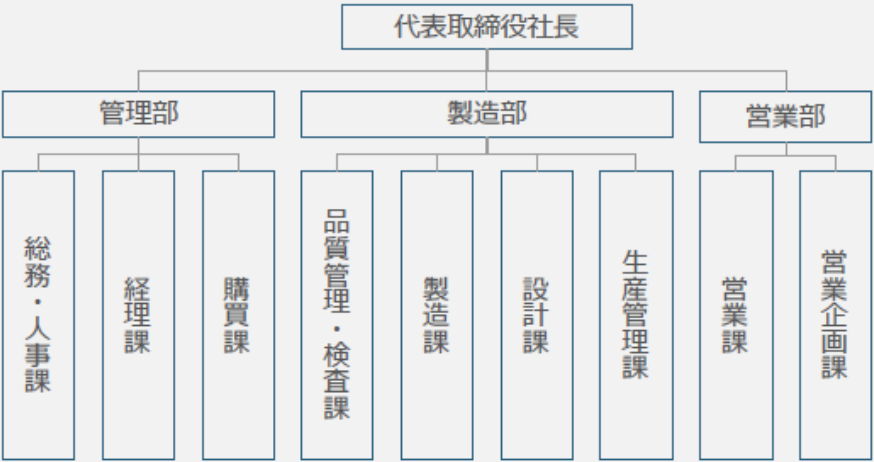
業績推移



事業概要

- ABC基板は、1988年に設立された電子回路基板製造業者。プリント基板と呼ばれる、絶縁層の板に導体の配線を配置させた、電化製品等に使用されている板状の部品を製造
- 主な取引先は、電子機器メーカー、計測制御機器などの産業機器メーカーで、小ロットから大量生産品まで顧客の要望にあわせて受注生産
- 基板設計から部品製造、検査、出荷まで一気通貫した生産設備を備え、高性能、高品質の製品を生産

組織図



➤ 参考情報②：製造工程の全体像

ヒアリング内容	
生産管理担当	<p>お客様より依頼された発注内容、回路図をもとに、作業工数を見積り、最短、確実な納期での生産管理を心がけています。</p> <p>基板の層数によって大まかな作業工数は算出できるので、納期算出はそこまで複雑な作業ではなく、私と部下の3名で担当しています。一方で、工場全体の稼働状況を見ながら判断する必要があるため、各部署の稼働状況をコンピューターシステムで見える化しています。</p> <p>困っていることと言えば、従業員の出勤状況によって生産量を調整する必要があることですね。大部分の生産ラインは機械化されているのですが、検査は目視でも行っているため、突発的な欠勤などが起きると計画に支障が出てしまいます。働き方改革の影響もあり、残業を増やすことも出来ないので、他工程も余裕がある訳ではないので人員を回すこともできないので。</p>
プリント基板設計担当	<p>お客様より依頼された回路図をもとに、CAD・CAMでのデザイン・設計を行い、プリント基板のパターンの元になる原版を作成しています。</p> <p>基板を作る上で一番大元になるものですので、ここで間違いが生じるとすべて不良品になってしまいます。そういった意味ではかなり神経を使う工程です。また、電子回路設計の経験が必要なため、他社員への代替が難しく、有給が取得しにくいことにも頭を悩ませています。</p>
製造部長	<p>製造工程では大きく、製品の製造、製造物の検品、梱包、出荷のプロセスに分かれています。</p> <p>まずはプリント基板の土台となる素材を所定のパネル寸法に切断します。その後、加工機械で回路図をもとに、基準穴、部品を取り付ける穴、電気を通す穴をあけていきます。穴あけ作業はドリルで自動的に行われますが、穴の大きさにあわせてパーツを取替える必要があります。小ロットの製品も含めると、かなりの種類の基板を制作しており、そのたびに加工機械を設定しなければいけないので、10名ほどが機械にへばりつきで対応していますね。</p> <p>この工程は特に人手が足りず、製造パターンが多い時期には、取替や設定が追いつかなくなることもままあります。その後、ドリル加工で溶けた樹脂を取り除き、銅メッキを行い、導通に必要なメッキや厚みを加えていきます。</p> <p>メッキを施した後は、プリント基板の回路を作成していきます。この工程ではチリやゴミなどが混入すると不良に繋がるので、クリーンルームの中に運び込んで行っています。基板にフィルムを張り付け、感光させてパターンを転写し、現像を行います。その後、回路以外の銅を溶かして立体的に回路を作ります。このタイミングで2時間に1度程度、目視でのサンプリング検査を行っています。ここでゴミの混入や傷があった場合、使い物にならなくなり、ロスが大きいので。この業務には熟練の工員が6名程度で行っています。</p> <p>次に、回路がむき出しになった部分をコーティングし、部品位置やロットなどの必要情報を文字印刷し、表面処理を行い、基板をカット成形することで製品は完成します。</p> <p>その後、導通検査を行い、目視で外観の異常などを検査した上で、真空包装され、出荷されます。当社では品質を保证するため、かなり細かく検査工程を設けており、不良品を一切出さないよう入念に検査しています。</p>

➤ 参考情報③：検品工程の詳細

ヒアリング内容	
品質管理責任者	<p>製造ラインから流れてきた製品を、作業員がまとめて検査場へ運び込んで検品を行い、検品後に梱包し、倉庫に運搬しています。</p> <p>検品方法は大きく導通検査、出荷検査の2工程あります。</p> <p>導通検査では、大量生産でリピート性の高い製品を専門チェッカーで、小ロットの製品は人力で検査しています。この工程では電流が正しく流れるかを確認しており、検査数のうち電流が流れない3,000台/月程度を破棄しています。専用チェッカーで行う場合は、チェッカーに製品を設置し、検査自体は数秒で完了します。設置作業のみなので作業員の負担も少ないため4名程度で担当し、作業効率も高いと思います。小ロット製品は、人力での検査となるため、検査対象製品数は少ないのですが、同じく4名で担当しております。</p> <p>出荷検査では、出荷前の最終検査として、完成品の全数(製造台数10.3万台/月から導通検査不良3千台を除いた10万台)を目視で検査しています。出荷検査の段階で検査数の1%程度が不良品のため、その不良品をはじくことが目的です。人の目での判断で、どうしても見逃しも発生しうる工程ですので、品質を高めるためにダブルチェック体制で行っています。1回毎の検査精度は、良品に対してはほぼ100%で判定できるのですが、不良品の判定が難しく、不良品に対する判定率は90%で、10%程度の見逃しが発生してしまっています。そのため、2回目は1回目での不良品の見逃しを防ぐ位置づけで、1回毎に不良品に気づいた段階で廃棄しています。一部、良品も廃棄してしまっているかもしれませんが、その点はしょうがないです。担当検査員は1回目、2回目それぞれ6名ずつで、計12名で担当しております。</p>
導通検査担当 (専用チェッカー)	<p>専用機械で基板のランドにピンを接触させて電流を流し、その部分の抵抗値から回路パターンの良否を判定します。製品毎の専用機械であるため、データ作成の手間が少なく、数秒で検査が完了します。</p> <p>大量生産、リピートの多い基板には適していますが、高額で、かつ回路変更すると再利用できないため、他製品には転用できないのが欠点ではあります。</p>
導通検査担当 (人力)	<p>2本のピンを回路の始点と終点にあて、導通を抵抗値から判定しています。1枚あたり5秒程度で、全てではないですが、部品有無やブリッジ不良が多い印象です。もし目視での検査がより効率化できれば、角ハンダやブリッジは目視でもわかるので、検査する数は減らせると思います。</p> <p>一つ一つ機器に設置し、検査する必要があるので、手間がかかりますし、出荷検査よりはましですが、これ以上多くは正直しんどいです。</p>
出荷検査担当	<p>角ハンダ・ブリッジ・芋ハンダの外観から検査できる不良を目視で、出荷前の最終検査として行っています。1枚につき30秒程度で検査しています。</p> <p>また目視と言っても、細かな凹凸を上部から検査するためほとんど拡大鏡で対応しており、まさに目を皿のようにして1日中検査しています。</p> <p>単純作業ですが、集中力を持続させることが難しく、またコツを理解するのに時間が必要なので、検査員によって作業スピード・質に差が出やすい作業だと思います。作業自体がしんどく、給料も高くないので、なかなか新しい人は定着してくれないですね。この前も辞めてしまったので、そのしわ寄せが私にも来ており、残業が増えています。</p>

➤ 参考情報④：現場視点の開発要求

ヒアリング内容	
社長	<p>現在は検品・検査に人手・コストが多くかかっているが、売上には繋がらない工程であるため、本来はゼロが望ましい。</p> <p>これまでも自動化を検討してきたが、社内でも相談先がなく先延ばしにしていた。ぜひこの機会に完全自動化、無人対応を実現してほしい。</p> <p>また、検査工程は単純・高負荷な作業であるためか、従業員の満足度が低く、なかなか定着してくれない。生産計画にも影響が出ているようだ。</p> <p>たださえ従業員が不足しているので、無人化の暁には、どの工程に現在の検査担当従業員を配置すればいいかも案が欲しい。</p>
製造部長	<p>たださえ手一杯で製造ラインをフル回転させている状態だ。</p> <p>これからAIを開発していくということだが、検品の画像データをどう取得していくつもりなのか。ラインを止めることはできないし、現場にこれ以上の負荷をかけることもできない。PoCを行うにせよ、可能な限り低負荷な形で進めてほしい。</p>
品質管理責任者	<p>我々の製造しているプリント基板は、家電製品、産業機器など日常生活で何気なく使っている製品の重要な役割を果たしている。もし不具合が起こればそれらの製品も使えなくなってしまう危険性もある。</p> <p>品質管理が徹底され、不具合を起こすような製品は極力、出荷されないこと。これが当社の強みであり、取引先への約束である。</p> <p>社長は不良品の出荷が増えるのは仕方ないと思っているようだが、理想的にはゼロにすべきだ。許容できたとしても、少なくとも競合並の全生産数の0.02%程度に抑えないと取引にも影響が出てしまうだろう。</p> <p>機械が判別できるというが、私は正直、否定的だ。不良品を100%出さないという保証ができなければ導入したくない。</p>