

精密製品における不良低減手法に関する研究

クオリティマネジメント研究

3602B036-8 朱 承剛

指導 棟近雅彦 教授

A Study on the Technique of Defect Reduction in Production Process of Precision Products

By Chenggang Zhu

1. 研究背景と目的

AV 機器, 光学機器など精密製品は, 常に高機能化, 小型化, 精密化が求められている。精密製品における製造工程のロットサイズは大きいので, わずかな不良率でも大量の不良品が発生する。精密製品のような付加価値の高い製品の大量不良は, その損失も大きい。また, 多くの不良品を製造することにより, 不良品が市場に出てしまい, 企業は信用を失いかねない。これらの理由により, 精密製品の不良低減は重要な経営課題となっている。しかし, 扱っている製品を構成する技術が高度化し, 製造工程で導入する設備も複雑化している中では, 不良低減を効果的に行うことが難しいのが現状である。

そこで本研究では, 精密製品を製造している A 工場と B 工場での不良低減活動をもとに, 効果的な不良低減手順を確立することを目的とする。

2. 精密製品における不良低減活動の難しさ

精密製品の製造メーカーでは, 製造工程で発生する不良低減が問題となっているが, 以下の 2 つの点があるために十分に行われていないのが現状である。

(A) 経験やデータが不足している

精密製品の生産設備ではさまざまな分野の先端技術が集約され, 高度に自動化されている。そのため, 生産設備がブラックボックス化される場合が多く, 設備の内部詳細をすべて知る現場の技術者が少ない。また最先端技術が多いので, 製造工程も成熟化されていない場合も多い。さらに, 製品が小型, 精密化されたこと, および消費者の品質標準がより厳しくなることで, 以前では経験したことのない問題点が顕在化している。

これらの理由により, 従来の経験や過去のデータに基づく不良低減活動の効果が期待できない。

(B) 効率性が求められる

製品のライフサイクルが短くなったことにより, 現場では常に生産活動と不良低減活動の時間配分のジレンマに追われている。

そのため, 科学的な分析が十分に行われぬまま, 容易にできる対策から行うといった不良低減活動となることが多い。

3. 不良低減に関する二つの方法論

品質管理の解決手法としてまず QC 手法がよく用いられる。これは PDCA(計画, 実施, 評価, 調整・改善)のサイクルによって継続的に改善を行うことを目的としている。不良低減のツールとして以下の 7 ステップで構成される。

(1)テーマ選定(問題の定義), (2)現状把握, (3)不良分析(原因追求), (4)対策立案, (5)対策実施, (6)効果確認, (7)標準化。

一方, 1980 年代半ば, アメリカのモトローラ社や GE 社が開発した品質改善の手法としてシックスシグマがある。これは DMAIC(定義・測定・分析・改善・コントロール)と呼ばれる 5 つのフェーズから構成され, ビジネス・プロセスを極めてバラツキの小さい状態にすることを目的としている。不良低減のツールとして以下の 4 ステップで構成される。

(1)M: 指標(Y)の設定と要因(X)のリストアップ, (2)A: Y と X の関係を定量化, (3)I: X の最適値の設定, (4)C: Y の監視と X のコントロール

これらの 2 つの方法論について, どちらが良いかといった議論がなされることが多いが, その関係を明確に言及したものはほとんどない。

本研究では, デジタルカメラの部品を製造する A 工場と携帯電話の電池を製造する B 工場の不良問題の解決を研究の対象とする。A 工場では QC 手法を, B 工場ではシックスシグマを, それぞれ用いて問題解決を行う。そして, 現場で定着した QC 手法とシックスシグマの関係について, 実践に基づいて考察する。さらにこれらの問題解決におけるさまざまな問題点を分析し, 精密製品の不良低減に有効な手法を提案する。

4. 工場での不良低減活動の展開

4.1 A 工場での不良低減活動の展開

(1) A 工場の概要および不良問題

A 工場では『ライトライト』というデジタルカメラで使う液晶ディスプレイ部品を製造している。この製造工程で発生している不良項目をまず調査した。結果を図 1 に示す。

これから, 輝点不良をまず低減することとした。これは, ライトライトの製造工程で不純物が入ることで生じる, 点灯した液晶ディスプレイの上で小さい光る点である。液

晶のサイズが大きい場合、輝点は視覚上の支障とならないが、小さいと同じ輝点でも表示効果に影響し不良となる。ライトガイドの製造工程の概要を表1に示す。

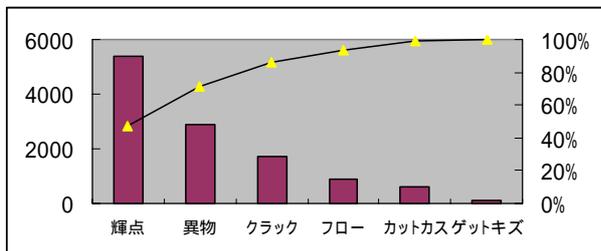


図1 A工場で発生している不良項目
表1 ライトガイドの製造工程の概要

工程	工程内容	設備	作業環境
成形	射出成形	成形機	クリーンルーム
成形検査	目視, 全数		クリーンルーム
成膜	鏡面に増透膜を付ける	成膜機	クリーンルーム
成膜検査	目視, 全数		クリーンルーム

(2)不良低減活動

A工場の不良低減活動では、製造工程単位に、QC手法の手順に従って不良低減活動を展開した。輝点不良を改善するため、最も影響すると考えられた成膜工程を検討する。

まず、成膜工程における輝点不良要因を把握するため、特性要因図を作成した。治具、作業者、設備、検査方法、作業方法、作業環境の観点から一次要因、二次要因、三次要因を整理した。その一部を図2に示す。

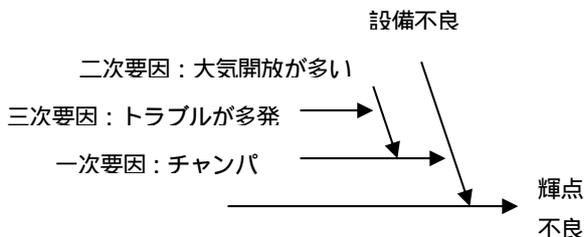


図2 不良の特性要因図(一部分)

整理した要因から重点項目を選択し、データ採取をせずに直接改善対策を立案して実行した。実行した改善策の例の一部を表2に示す。

表2 成膜工程の重点項目に対する改善策例

重点項目	改善対策
トラブルが多発	治具の金型の改造 チャンパ内の掃除
異物付着	除電バーの設置
...	...

(3)改善活動の結果

対策の効果を検証するために、対策実施前後のデータを比較した。その結果、3ヶ月間で全工程不良率30%から15%まで下がった。

しかし、短時間で解決する必要があったため、様々な改善策を同時に実行し、各対策の効果検証を行うことができなかった。したがって、不良率をさらに下げするために次にどのような改善をすればよいか明確でなく、継続的に改善を行うことが困難な状況となった。

4.2 B工場での不良低減活動の展開

(1) B工場の概要および不良問題

B工場では軽量、薄型を特徴とするリチウムイオン二次電池を製造している。この製造工程で発生している不良項目をまず調査した。その結果を図3に示す。

これから、電池の充電後、電池電圧が基準範囲外になることをまず低減することとした。

電池は切断、溶接、塗布、組立および検査工程を通じて製造される。工程の概要は表3に示す。

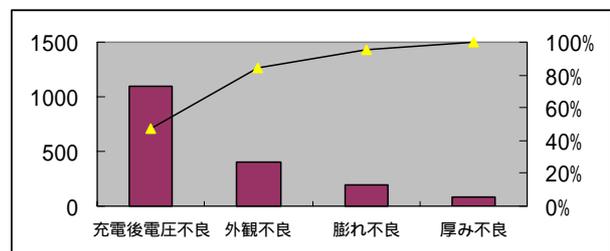


図3 B工場で発生している不良項目

表3 電池の製造工程の概要

工程	工程内容	設備	作業環境
切断	正極と負極および正極タブと負極タブの作り	切断機	ドライルーム
溶接	正極タブと負極タブをそれぞれ正極と負極に	溶接機	ドライルーム
塗布	正極の表面に電解質の塗布	塗布機	ドライルーム
組立	正極と負極を巻いて、外装材で包装	組立機 包装機	ドライルーム
検査	3回充放電で電池の性能を検査, 外観検査	充放電機	通常環境

(2)不良低減活動

B工場の不良低減活動は、シックスシグマ手法の手順にしたがって不良低減活動を展開している。電池電圧不良を改善するため、電池の製造工程を検討する。

まず、電池電圧不良の要因を把握するために、特性要因図を作成した。技術的な観点から、一次要因、二次要因、三次要因を整理した。一部を以下に示す。

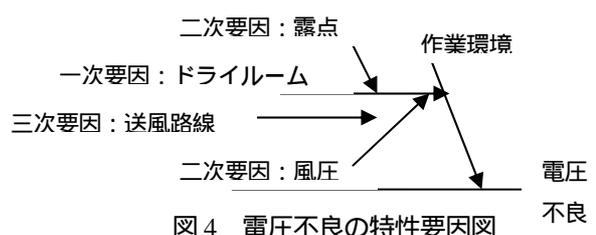


図4 電圧不良の特性要因図

図4からドライルームの環境要因を重点項目として選択した、図5に示す指標と要因を用いて1次実験を行った。図5にその結果も示す。これより、露点は重要な要因ではないことがわかる。

次に、従来管理されていない充放電機の特性を重点項目としてあげた。充放電機は、管理状態でなかったため、新たに記録を取ることでにより管理した。管理状態にした上で、図5に示す指標と要因を用いて2次実験を行った。図5に結果も示す。これより、充放電機は不良の要因であることがわかる。

一次実験					
指標Y: 電圧の値 要因X: 露点					
要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比	検定
露点	0.00003	3	0.00001	0.507	
誤差e	0.00008	4	0.00002		
合計	0.00011	7			
要因有意とはいえない					

二次実験					
指標Y: 電圧の値 要因X: 接触圧力、メンテナンスの回数					
要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比	検定
接触圧力	0.00585	3	0.00195	23.4	*
メンテ	0.00005	1	0.00005	0.6	
誤差e	0.00025	3	0.00008	-	
合計	0.00615	7	-	-	
接触圧力は有意である					

図5 実験計画法による要因の有意の検定結果

充放電機の管理を行うことにより、不良率が1%から0.5%以下に下がった。このように、不良の要因を特定し、その要因に対策をとる、というサイクルを繰り返すことにより、継続的に改善を進めることができる。

4.3 両工場での不良低減活動の違いの分析

A工場とB工場の不良低減活動の違いについて、以下の2つの観点でそれぞれ分析する。

観点1: QC手法とシックスシグマの違い

4.1, 4.2で行った不良低減活動を見ると、具体的な手順には異なる部分が見られるが、本質的には問題の把握から対策の立案と実施までの大まかな流れは同じだといえる。例えば、B工場では電圧の値を指標(Y)、ドライルームの露点を要因(X)として、結果系と要因系の関係を把握するために実験計画を行って、影響を明らかにした。これはQC手法でいえば、ステップ3の不良分析と同じであるといえる。このような検討をした結果、QC手法とシックスシグマのステップは表4のような対応づけができることが分かった。

したがって、QC手法とシックスシグマは不良低減活動としては同じ方法論だといえる。

表4 2つの方法論の対応づけ

QC手法	シックスシグマ	A工場	B工場
テーマ選定	M: 指標(Y)の設定と要因(X)のリストップ	不良率の低減	不良率の低減を目的とし、指標(Y)を電圧、露点を要因(X)に設定
現状把握		パレート分析で輝点不良を把握	
不良分析	A: YとXの関係を定量化	特性要因図で分析	特性要因図で分析
対策立案	EXの最適値の設定	技術者によるグループ・ディスカッション	一次実験を実施。要因を変えて二次実験を実施
対策実施	C: Yの監視とXのコントロール	表2の対策を実施	不良率の確認
効果検証		不良率の確認	
標準化		実施していない	

観点2: 具体的な改善手順の違い

表4を見ると、A工場ではデータ採取しないで対策立案したのに対して、B工場では実験計画法を用いて対策を立案した。これにより、B工場では想定した要因(X)が本当に効果があったかどうかを効果検証できるため、不良を減らすための有効な情報が得られた。それと異なり、A工場では時間が取れないということで行くつも対策を同時に行い、さらに効果検証もしていないため、有効な情報が得られず、次の不良低減活動につながらなかった。

また、対策後の不良低減活動に関しては、B工場では有効な情報が得られたにもかかわらず、それを日常の工程管理活動に落とし込むことができず、不良が発生したら改善をするといった活動となっていた。

これらの結果から、経験や過去のデータが使えず、時間的制限がある場合でも、ひとつひとつの対策の効果をきちんと検証し、有効な情報を蓄積することが結果的に効果的であることがわかった。さらに、要因が明確でないときには、試行錯誤的に実験を行うことが重要であると分かった。

また、対策後の不良低減活動を効果的に行うために、得られた情報を日常の工程管理活動に落とし込むことが必要であると分かった。

5. 不良低減手法に関する提案

4章の分析から、以下の3点を考慮した不良低減活動の手順を表5に提案する。

- ・ 一つ一つの対策に対して効果検証を行い、不良とその要因の因果関係を明確にする。
- ・ 未成熟な工程であるため、試行錯誤的な要素が必要である。
- ・ 日常の工程管理活動に落とし込むために、QC 工程表をまず作成し、得られた有効な情報をそれに盛り込む。

表5 提案する不良低減活動の手順

Step1.改善課題を選定する。
Step2.改善課題を数値に表現する指標(Y)を定義して、その測定方法を決める。
Step3.指標(Y)に関わる要因を検討する。この際、既存のQC工程表に基づいて管理できる要因と現在管理できていない要因に分け、要因の測定方法を検討する。
Step4.現在管理できていない要因の不良への影響度を検討する。影響があまりないなら、とりあえずそのままにしておく。管理できる要因(X)の測定方法を検討して、問題解決のための実験計画を考案する。
Step5.各要因(X)の水準を変えて、実験計画法などを使って測定できる要因(X)と指標(Y)の相関関係あるいは最適条件を推定する。
Step6.最適条件を製造工程で実施し、効果検証する。
Step7.不良が改善されないときには Step3.でそのままにしておいた管理できていない要因の中で重要な要因について再度データの収集方法を考えて、実験を行う。以上のプロセスを踏まえて、不良の改善が見られるまで実験とその効果検証を繰り返す。
Step8.不良が改善された場合、得られた要因の中で管理すべき重要な要因(X)を既存のQC工程表に盛り込んで、必要な標準手順を作成し、周知徹底する。

6. 考察

6.1 提案した手法について

品質管理で用いられる統計手法には、大量データをもとに改善を行う回帰的な方法と、少量データによる実験・検証をもとに改善を行う実験的な方法がある。

回帰的な方法の場合、要因が直交していないので、製造工程から大量のデータを収集することが必要となり、データの採取に時間がかかるため、改善にも時間がかかる。また製造条件以外の最適条件になかなか見えない。一方、実験的な方法の場合、直交している要因を設定して、実験のための工程を設けることにより、短時間での要因と指標の仮説の検証ができる。これよ

り、不良低減活動を継続的に行える。

精密製品では、常に高機能化、小型化、精密化が求められるため、新たな生産技術が多い。そのため、工程が成熟しないまま製造をする場合が多く、製品のライフサイクルも短い。したがって、大量のデータを採取することは難しく、改善に多くの時間をかけることができない。そのため、精密製品において不良低減活動を行う際は、本研究で提案した実験的な不良低減手法を用いて、効率的に行うべきである。現場で実験を行うために、実験設備が別にあるとよいが、ラインを止めなければならないケースも多い。そのため、意識的に実験ラインを設置したほうが望ましい。

同時に、本研究で提案したように、不良低減活動で解明した不良にかかわる要因をQC工程表の管理項目に反映させるといった、過去の活動や経験を蓄積するための仕組みを確立することが重要となる。蓄積したノウハウに基づいて、過去のデータが少ない状況で実験を行う際は、不良の構造を論理的に考慮した上で、より効率的に要因を取り上げることが可能である。

6.2 QC手法とシックスシグマの関係

従来は、不良低減活動の二つの方法論である、QC手法とシックスシグマの違いに焦点が置かれ、どちらが優れた方法論かといった議論がなされることが多かった。しかし、本研究でQC手法を活用したA工場とシックスシグマを活用したB工場での不良低減活動を詳細に分析した結果、両者は本質的には同じであることがわかった。企業が不良低減を行う際には、どちらがよいかといった議論ではなく、現場環境にもっとも適した方法を確立することが望ましい。

7. 結論および今後の課題

本研究では、短時間での解決を要求された精密製品の不良問題を研究対象に、QC手法とシックスシグマ手法の応用状況を考察した上で、不良低減における両手法の本質的な違いがないことが判明された。その上でより効率的に、実行性可能な不良低減の手順を提案した。

不良低減の目標を達成するために、改善方法のほかに改善組織の運営方法、改善効果の評価方法を考慮しなければならない。

参考文献

- [1]ピーター・S・パンディ(2000),「シックスシグマ・ウェイ」,日経新聞社.
- [2]細谷克也(1984),「QC的ものの見方・考え方」,日科技連出版社.