

# 工程解析支援システムに関する研究

クオリティマネジメント研究

699B046-3 永松正敏

指導 棟近雅彦 教授

A Study on Support System for Manufacturing Process Analysis

by Masatoshi Nagamatsu

## 1. 研究目的

近年、業務の効率化や有益な情報を獲得するために大容量のデータを蓄積・処理する情報システムが脚光を浴びている。これによって工程解析を行う際にも、大容量のデータを従来では考えられない速度で解析することが可能となる。しかし、使い勝手が悪く、解析前の処理に負担と時間のかかるシステムが存在していることも事実である。

業務支援を目的としたシステム構築の際には、業務内容を明らかにすることによって、支援すべき業務と必要となる機能が明確になる。しかし工程解析は非定型で標準化が困難な業務であると考えられているため、支援すべき処理を特定できない。したがって、システム構築の際に検討すべき観点が明確にならないため、使い勝手の悪いシステムが構築されている。

そこで本研究では、工程解析を手順化し、これをある半導体製造工程の事例に適用してその有効性を確認する。そしてこの解析を行う際の支援システムの問題点を明らかにし、これをもとに、支援システム構築の際に検討すべき観点を提案することを目的とする。

## 2. 工程解析フローの設計

### 2.1 工程解析の手順

支援システムが支援すべき処理を明確にするために、工程解析の手順化を行う。

工程解析とは「工程における要因と特性の関係を明らかにすること」[1]である。ここで、本研究で手順化する工程解析は、品質特性に影響を与えると考えられる要因群の絞り込みまでとした。

これは、固有技術的見地から品質特性に影響を与える要因には様々な種類のものであるので、それら全ての種類を考慮する解析フローを作成することは困難だからである。しかし、要因群の絞り込みまでであっても、統計解析によってこれを効率的に行うことができ、それが不良発生の原因を素早く突き止めることに貢献することは多くの文献で述べられているので有益であると考えた。手順は、QC七つ道具の各手法の特徴[2]を踏まえて次のように手順化した。

### (1)品質特性に関する現状把握

#### (1-1) 時系列傾向の把握

管理図、もしくは時系列グラフを作成して、発生している時系列傾向の特徴、発生時点、発生期間の長さを把握する。

#### (1-2) 分布の把握

ヒストグラムを作成して、分布の形状、平均値、ばらつきの大きさと規格はずれの状況を把握する。

#### (1-3) 他の品質特性との関係の把握

他の品質特性と多変量連関図、散布図を作成して、異常点の有無、相関関係の有無とその影響の大きさ、層別の可能性を調べる。

### (2)層別因子を利用した要因の絞り込み

#### (2-1)層別因子の列挙とその検証

(1)で得られた情報をもとに、不良発生原因として考えられる要因を挙げ、それに関連する層別因子を列挙する。

次に、取り挙げた層別因子の影響を調べるために、層別ヒストグラムを作成して、層間の平均値、ばらつきに違いがあるかどうか、また層別管理図を作成してそれぞれの時系列的なばらつきに違いがあるかどうかを調べる。

#### (2-2)時系列傾向を利用した情報の獲得

層別によって得られる情報は原因に関する手がかりであり、原因そのものではない。そこで、さらに真の原因に関する情報を得るために、(2-1)で層間に違いが見られた因子に対して、層別管理図から得られる情報を読み取る。そしてこれらの情報をもとに、その違いを生んでいる真の要因を推測して、それに関する層別因子が挙げられる場合には(2-1)に戻る。

#### (2-3)層別因子の影響の検証

(2-1)、(2-2)を繰り返し、層別因子の絞り込みを行ったら、それらの層別因子が他の品種にも同様の影響を与えているか、もしくは他の品質特性にも影響を与えているかということについて調査して、不良原因として可能性をさらに検証する。具体的な工程解析フローを図1に示す。

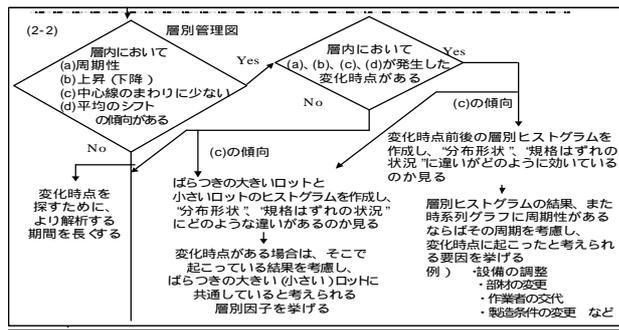


図1：工程解析フロー（抜粋）

## 2.2 事例への適用

手順化した解析フローの有効性を確認するため、ある半導体製造工程において不良が多発している2つの品質特性 A、B について解析フローを適用した。その結果、品質特性 A については、ある設備の不具合と、ある部材の特性が影響を及ぼしていることがわかった。また品質特性 B においても、ある設備の精度に原因があることを突き止めることができた。

これらから、手順化した解析フローは不良発生原因の探索に利用可能であることが確認できた。

## 3. 支援システムの不具合分析

工程解析を行う際に生じる支援システムの問題点を、S 社の品質情報システムを例にとって把握する。

### 3.1 対象とするシステム形態

本研究で対象とするシステム形態は、次の2つのサブシステムにわかれているものとする。

#### データ検索システム

解析者のデータ収集作業を支援するシステムで、解析者の要求するデータをデータベースから収集、出力する機能を持つ。S 社の品質情報システムはこれと同等の機能を持ち、本研究ではこのデータ検索システム（以下、システム）を対象とすることにした。

#### 統計解析システム

データ検索システムで収集したデータの統計解析を支援するシステムである。

### 3.2 S 社システムの不具合分析

システムの不具合を分析するために、S 社の品質情報システムを利用した2つの工程解析事例において、解析前の処理に必要とした作業時間を調査した。その結果を次の図2に示す。図2から、どちらの事例においても総作業時間の約7割を作業～で占めていることがわかる。さらにこれらの作業の発生原因を調査した結果、これらはシステム構築の際に次の3つの観点の検討不足によって生じていることがわかった。

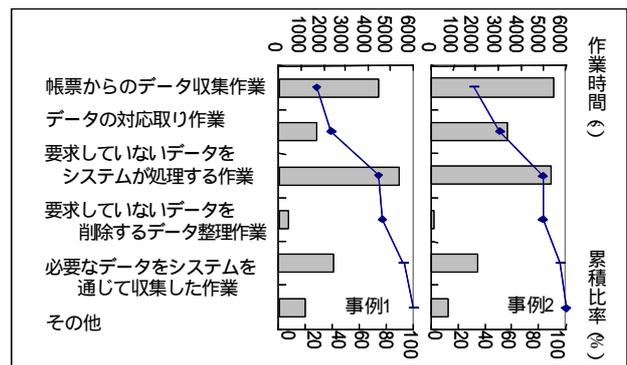


図2:解析前処理作業の内訳

( )システムに収集するデータの検討不足

解析に必要な層別因子がシステムに蓄積されていないため、それらのデータを帳票から収集する作業に多くの時間を要した。

( )データ間の対応の取り方の検討不足

工程によって異なる編成となっているロットの対応関係がシステムに入力されていないため、これらを帳票から調べる作業に多くの時間を要した。また事例2では、品質特性 B を測定する工程の1ロット内に複数の L-Chip 選別号機で測定されたものが含まれていた。これによって層別因子 L-Chip 選別号機と品質特性 B との対応を正確に取れなくなり、層別を行えないという解析上の不具合が発生した。

( )検索条件項目の検討不足

検索条件項目の不足や複数の項目を同時に指定できないため、検索結果に解析者の要求していない試作ロットのデータや品質特性値が含まれていた。このため、システムがそれら进行处理する作業に多くの時間を要した。またこれにともない、解析者が要求していないデータを削除するデータ整理作業（作業）が発生した。

## 4. システム構築の際の検討観点

### 4.1 検討すべき観点の提案

前述の課題をふまえ、システム構築の際に検討すべき観点とその検討方法を提案する。

( )システムに収集するデータの検討

解析フローから、工程解析に必要なとするデータは「層別因子」、「品質特性値」、「製造（測定）日付」に分類できる。このうち、「製造（測定）日付」は前者2つに付随するデータである。したがって、システム構築の際には、解析が必要になると考えられる「層別因子」と「品質特性」を検討しておく必要があり、その検討を「品質特性-層別因子収集表」を作成して次の手順で行うことを提案する。

- ( )全工程を分割して解析する単位工程を作る
- ( )各単位工程の作業内容を明確にする
- ( )単位工程ごとに管理する品質特性とその管理水準を決定する
- ( )品質特性の類似構造品における過去トラブルの発生状況を調べる
- ( ) ( ) ~ ( ) の情報と固有技術的知見をもとに収集する層別因子とその重要度を決定する
- ( )収集するデータ間の対応の取り方の検討

手順化した工程解析に必要な層別手法を使うためには、層別因子と品質特性値との対応関係が取れている必要がある。この対応を取るための管理は単品管理とロットごとなどの多数個管理があり、その検討を次の手順で行うことを提案する。

( )経済的観点からは、多数個管理の方が経済的と考えられる。そこで、全ての層別因子においてそれが可能かどうかを検討するために、品質特性を測定する工程において、ある単位ロット数あたりに複数の層が混在するロットの発生頻度を各層別因子ごとに把握する ( )混在することがない、もしくは頻度が少ない場合には、その層別因子は多数個管理を行うものとする。その際、層別因子のある工程と品質特性を測定する工程とのロット編成が異なる場合には、そのロット間対応関係の入力方法を検討する

( )混在する頻度が高く、層別できない因子についてはロット編成を変更する、層の大きさを変更する、単品管理を行うなどの他の対処法を検討する

( )単品管理を検討する際には、(中間)製品に識別マークがあり、存在を一意に識別できるか、また単品管理による管理コストと層別因子の重要性との比較を行って、単品管理の経済性を検討する

( )以上により収集する全データが決まるので、そのシステム入力方法を検討する

( )検索条件項目の検討

解析者がシステムを通じて行うことは、工場内に存在する様々な「(中間)製品」の中から解析する「(中間)製品」を選び、それに関する「層別因子」と「品質特性値」を収集することである。したがって、検索条件項目を決定する際には、これら3つのそれぞれを特定するための項目を検討する必要がある。

表1：品質特性 - 層別因子収集表（抜粋）

測定名称	品質特性	管理水準	重要度	設計 過去トラブル状況	データ入力方法				備考	層別因子	重要度	層が混在する頻度	ロット間対応の入力は必要か	単品管理コスト	対応の取り方	データ入力方法		
					入力工程	入力方法	入力管理責任者	入力工程								入力方法	入力管理責任者	
D c p 測定	動作電流1	3.5 - 6.5	C	Chipの影響大	D	測定機自動収集	D c p 測定工程			L-Chip選別号機	C	約99%		-	多数個管理	L-Chip選別工程	担当者システム手入力	L-Chip選別工程担当者
	動作電流2	35.0 - 47.0	C						Chip lot	A	約31%	x	-	多数個管理	L-ChipMt工程	担当者システム手入力	L-ChipMt工程責任者	
	動作電圧1	-22.0 - 50.5	B	DB工程設備の精度と関係がある						L-ChipMt号機	A	-	x	-	多数個管理	L-ChipMt工程	担当者システム手入力	L-ChipMt工程責任者

ここで、工場内に存在する「(中間)製品」は、それぞれにつく No.で一意に識別できるので、「ロット(製品) No.」という項目が(中間)製品を検索する項目として挙げられる。しかし、解析する(中間)製品のNo.を解析者が把握していない場合もあり、このような状況でも検索できるようにするための項目も検討しておく必要がある。そこでS社の事例を通してこれを検討した結果、その項目として、工場内での(中間)製品の位置を表す「工程」、時点を表す「製造日付」、特徴を表す「品種」、「生産形態(通常生産品か試作品かを表す)」が挙げられた。

これらを踏まえ、検索条件項目の検討を次の手順で行うことを提案する。

( ) ( ) で決定した解析を行う「工程」の名称、また「品種」、「生産形態」などの解析を行う(中間)製品の特徴を表す観点とその内容を調査して、結果を「検索条件項目階層表」に書き込む

( )前節で挙げた各層別因子、各品質特性の各々について、相互の類似度で分類して階層構造を作り、その分類観点と結果を「検索条件項目階層表」に示す

( )「(中間)製品」、「層別因子」、「品質特性値」を特定する項目の各解析段階(工程解析フロー)ごとの違いを明確にするために、各解析段階ごとに必要な分類観点をチェックする

#### 4.2 事例への適用

S社の半導体製造工程に対して、提案した観点で検討を行った。その結果を以下に示す。

( )システムに収集するデータの検討

解析する対象を組立ライン工程とし、収集する品質特性、層別因子とそれらの重要度を設計・過去トラブル情報を踏まえて検討して「品質特性-層別因子収集表」にまとめた。その結果を表1に示す。

( )収集するデータ間の対応の取り方の検討

検討した品質特性と層別因子の対応の取り方をそれらの重要度、層がロット内に混在する頻度を考慮して検討した。その結果を同様に表1に示す。

( )検索条件項目の検討

提案した手順に従い、「(中間)製品」、「層別因子」、「品質特性値」を検索する条件項目を検討し

た。また工程解析フローの各解析段階ごとに必要とする項目の違いを調べた。その結果を表2に示す。

表2:検索条件項目階層表(抜粋)

分類結果		分類観点		解析段階(工程解析フロー)					
				(1-1)	(1-2)	(1-3)	(2-1)	(2-2)	(2-3)
試作品	通常品	生産形態							
XKA982	XLO193	XSK412	XQA321	品種名					
EPI工程	WB工程	WL工程	組立工程	工程名					
				製造日付					
				ロットNo					
				製品No					
Dcp工程		品質特性値	測定工程名						
動作電流2	動作電流1	特性名							
計値	個別値	統計値	個別値	データ形態	必要な項目 項目内の選択肢を 複数指定する可能 性がある項目				
組立工程		層別因子	製造工程名						
設備	部材	4M分類							
L-ChipMt号機	Rts部材lot	Chip lot	層別因子名						

## 5. 考察

### 5.1 層別因子と対応取りの重要性

工程解析フローに用いたQC七つ道具の中で最も重要な手法は層別であると考えられる。工程解析で不良発生の原因を突き止めるためには、様々な要因の中から良品と不良品の違いを生み出すものを突き止めなければならない。そのためには様々な因子で層別を行い、良品と不良品にわかる因子を発見することによって、要因をそれらの違いを生じさせているものだけに絞り込むことができる。したがって原因を素早く突き止めるためには、この層別を行うための作業を電子化による処理速度の向上によって支援することが有効と考えられる。

またこの層別を行うためには、層別因子と品質特性値とのデータ間に対応が取れていなければならない。対応を取るための管理・記録は管理コストの増大につながるが、層別の有効性を理解し、その仕組み作りを行うことが重要と考えられる。

### 5.2 適用結果の評価

「品質特性-層別因子収集表」を利用して検討した結果、システムに収集されていなかった層別因子、事例1では3因子、事例2では6因子を抽出することができた。また対応関係の検討においても、因子 L-Chip 選別号機で層別を行うためには、この因子のある工程と品質特性を測定する工程とのロット編成が異なるので、その対応関係を入力する必要があることを発見できた。またこの因子は多数個管理を行うと解析の際に層が混在して層別を行えないこともわかった。したがって、これらの検討で得た結果をシステムに入力しておくことによって、データ収集、および、データ間の対応取り作業に要する時間を削減できると考えられる。

また提案した手順で「検索条件項目階層表」を作成して検討した結果、新たに、2つの事例で問題となっていた試作ロットのデータが検索結果に含まれることを防ぐための項目、「生産形態」を挙げることができた。また、データを特定するために必要な、挙げた項目間の関係を把握できるようになった。したがって、この検討結果を検索画面の設計に活かすことによって、解析者は要求するデータをシステムに正確に伝達でき、システムや解析者が必要としないデータを処理する時間を削減できると考えられる。

### 5.3 検討観点の有効性

工程解析を行って素早く原因を突き止めるために必要なシステムの要件は、収集されているべきデータに洩れがなく、かつ解析者の要求するデータを正確に理解し、それを出力することと考えられる。

「品質特性-層別因子収集表」は従来のQC工程表に工程解析に必要な層別因子を加えたものと見ることができる。したがってこの表は、工程解析に必要なデータの体系を明確にできるので、収集すべきデータや検討すべき対応関係の洩れや重複を減らすことができると期待できる。

また「検索条件項目階層表」も、検索条件項目間の関係を体系化できるので、項目の漏れや重複を減らすことができると期待できる。さらに解析フローの各解析段階ごとに必要な検索条件項目を知ることができるので、システム開発者は工程解析に適した検索画面を設計しやすくなり、解析者は要求するデータをシステムに伝えやすくなると期待できる。

## 6. 結論と今後の課題

本研究では、工程解析フローを作成し、それを事例に適用してその有効性を確認した。また、その工程解析を行った際に生じるシステムの問題点を分析し、それをもとにシステムを構築する際に検討すべき観点とその検討方法を提案した。

今後の課題としては、現在、提案した観点と方法で得られた結果を提案し、実際にシステムの構築を行っているため、今後、その有効性の確認、問題点の抽出・改善を行っていく必要がある。

### 参考文献

- [1] 朝香鐵一・石川馨・山口良(1988):「新版品質管理便覧 第2版」、日本規格協会
- [2] 棟近雅彦ら(1999):「SQC入門」、(株)日科技連出版社