

中華人民共和國  
工場近代化計画フォローアップ調査  
報告書  
(総括提言・改善事例集)  
生産管理

1999年12月

JICA LIBRARY



J 1155317 (9)

国際協力事業団  
鉦工業開発調査部

鉦調工

J R

99-225

15  
0  
IPL  
RARY







中華人民共和国  
工場近代化計画フォローアップ調査  
報告書  
(総括提言・改善事例集)  
生産管理

1999年12月

国際協力事業団  
鉦工業開発調査部



1155317(9)

中華人民共和国  
工場近代化計画フォローアップ調査 報告書  
(総括提言・改善事例集)  
生産管理

目次

1. 海外における生産管理技術の紹介	1
1-1 まえがき	1
1-2 工程管理	1
1-3 工程管理の実践	20
1-4 品質管理	31
1-5 管理図	35
1-6 在庫管理	42
1-7 機械設備の保安全管理	51
2. 提言集総括	63
2-1 まえがき	63
2-2 生産計画	63
2-3 工程管理	64
2-4 品質管理	67
2-5 在庫管理	69
2-6 調達管理	71
2-7 販売管理	72
2-8 設計管理	73
2-9 工場の組織と人員	75
2-10 工場配置と機械配置	75
2-11 運搬管理	77
2-12 設備管理	77
2-13 安全管理	78
2-14 教育・訓練	79
3. 改善事例集	81
4. 総括提言	89





## **1. 海外における生産管理技術の紹介**



## 1. 海外における生産管理技術の紹介

### 1-1 まえがき

生産管理の技術は産業革命期に発祥し、アダム・スミスが賞賛した分業制度の確立をもたらした。その後、フォードが始めた大量生産方式が発展し、テイラーなどの研究者による作業研究を経て、トヨタかんばん方式などに発展してきた技術であり、産業の発展に伴って急速の進歩を遂げている。しかし、中国では、他のアジア諸国と同様に、米国を中心に発展し、ヨーロッパ、日本に伝播した、生産管理の技術がほとんど伝わらないままの状態にある。

中国は、新鋭機械設備を導入することにより工場の近代化を進めており、新しい製造設備と製造技術の導入が進んでいる。しかし、これらに比べ、生産管理技術の導入には遅れが大きい。大量生産方式の流れ生産工場は、自動車産業などで、採用されているが、一般工場には、その考えが普及しておらず、古い工場内職場分業制が行なわれている。また、工程管理では、旧態依然とした方法がとられており、品質管理では、TQC、QCサークルなどが採り入れられているが、基盤となる統計的品質管理の方法が全く無視されていることから、これらの活動自体がほとんど意味をなしていない。

日本国際協力事業団が行なった中華人民共和国工場近代化計画調査の中で行われた生産管理に関する問題点の指摘および改善提案において、上記の状況は、かなり明確に指摘されている。この様な状況を踏まえて、本節では、中国の生産管理技術発展の参考とする為、現在、欧米および日本で、比較的標準的と考えられている生産管理技術の幾つかを紹介する。

### 1-2 工程管理

#### 1) 概要

生産管理には、工場が生産を続ける為に必要なすべての管理技術が含まれる。しかし、実務的には、生産の流れを円滑に進めるために、工場の負荷の平準化を図り、日程を計画し、その実行をフォローアップ（追跡調査）することが中心になる。生産管理の中で、この分野は特に工程管理と言われている。通常、工程管理に従事している人は、1工場で数名である。また、工程管理の方法は、一般に、学校等で教わる事が少なく、実務に付く事で、工場内で先輩が後輩に教える形で伝わっている。この為、中国では、先進国の方法（欧米法と呼ぶ事にする）が伝わらず、ほとんどの工場において、工程管理が不十分である。また、この事が原因で、設備の稼働率が低い。

問題点をやや強調して要約すると、次に述べる様になる。中国の工場では、生産管

理の担当者がいて、一日の生産数量を現場に指示している。指示する数量は1ヶ月単位の生産計画から割り出した値である。表にして指示している事が多い。また、実際に生産した数量を調べて、目標達成度を示している。しかし、これは生産管理とは言えない。何故なら、指示して結果を調べているだけで、管理をしていないからである。中国では、生産量がノルマになっている事が多く、指示数量を超える生産が行なわれているが、これが、生産性の高さを示す事にはならない。ノルマが低く設定されているからである。

工場では、個々の作業者と機械に対する仕事の割振りを、主任または組長に任しているが、日程計画が全く示されていないから、納期を守る努力がなされていない。また、生産管理の担当者が、作業の進行状態をチェックしていないから、だれも正確な工程進行状況を知らない。この為、工程の進行に問題が起っても対処できない。

工場は、過剰な機械設備を持っていて、機械の稼働率が低い。この原因は、工程が平準化されていない為、機械に仕事待ちが発生するためである。一方では、機械と作業者が足りないと言っているが、他方では、止まっている機械が多く、材料や部品が来ないので、仕事が出来ないでいる作業者がいる。これは、機械と作業者に計画的に仕事が割振られていない為である。

この様な工場では、材料待ちを防ぐ為に主任や組長が仕掛品を増す。だから、仕掛品や材料が至る所に山積みされているのが目につく。これは、日程管理が実施されていない為である。

工程管理を正しく実施すれば、仕事の流れが円滑になり、過剰な機械設備と過剰人員の存在が明らかになり、過剰な機械設備、過剰な人員、過剰な在庫がなくなる。

工程管理の実務は、少し素養がある担当者にとって、難しい仕事ではない。特別に高度な知識は必要としない。しっかりした実務のシステムを工場内に確立すれば、実施できる。

生産管理部門で日程計画を作らないでにおいて、作業の進行を現場の主任と組長だけに委ねる事は良くない。組長は職場で、自分自身で作業をしているし、職場の部下に作業方法の模範を示して教えなければならない。また、主任は担当職場の仕事の流れを計画通りに調整して、円滑な作業を進めなければならない。彼らの本来の仕事に支障を来さない様にする為にも、日程計画を作って主任と組長による作業進行を容易にしなければならない。

作業指示は作業者にわかりやすいものである必要がある。この点で、ガントチャートを使う欧米法の工程管理が優れていると言える。作業内容を羅列した表のようなものを、コンピュータからアウトプットして示しても、作業者は勿論、管理者にも、最悪の時は作った本人にも理解できない。このような状態では、良い生産管理は出来ない。

現在、自動車会社では、トヨタ自動車が始めた「かんばん方式」が多く採用されて

いる。この方式にはいくらかの批判があり、少しこれに変更を加えた方式も採用されている。これらの方法を含めて全部を説明する事は不可能なので、本文では、従来から行われている一般的な方法（欧米法）を主体に説明する。かんばん方式は簡単な説明にとどめる。

## 2) 工程管理の体系

図 1-1 に工程管理の体系を示した。

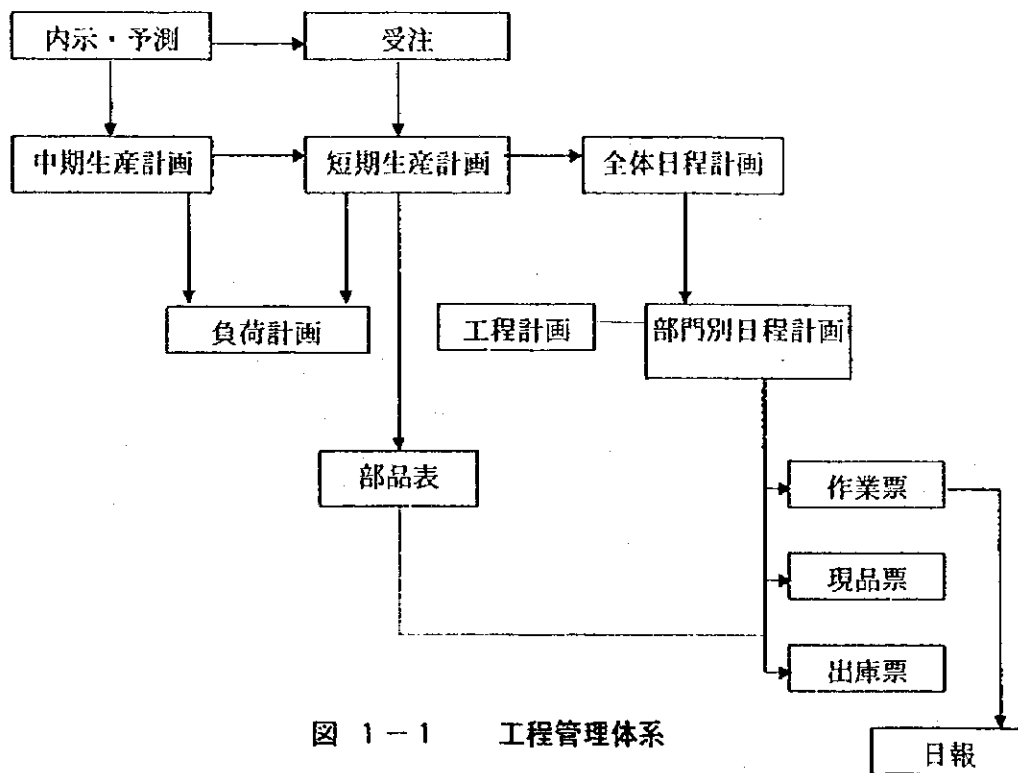


図 1-1 工程管理體系

中期生産計画は、毎月初めに、製品毎に数ヶ月分の生産量を予測した生産計画である。ただし、納期の長い製品では、1年以上に亘る長い期間の生産計画を中期生産画とする事もある。短期生産計画では、受注量または受注量に準じる確定生産予定量によって生産量を計画する。これらの生産計画は、販売部門が出した受注見込み、販売計画などの情報に基づいて、企画部門と生産部門でまとめる。

日程計画には、標準日程表を作成しておくことと便利である。日程計画には、ガントチャートを使う。

生産部門では、負荷計画図（山積み表）を使って負荷計画を作り、毎日の作業量を決める。この段階で、販売部門の協力を得て毎日の作業量の平準化を図る。

生産技術部門では、注文が決まったら、工程を決めるが、これは、製品毎に標準的な工程を予め工程図を使って作っておいて、当てはめるので、受注のつど作業する必

要はない。

生産部門では、短期生産計画に基づいてガントチャートを使って、全体日程計画を立て、部門毎の作業日程を割り付ける。更に、全体日程計画を見て、ガントチャートを使って、部門内の詳細な日程計画を立てる。

中国の工場では、年次生産計画が立てられ、これに基づいて月次生産計画が立案されている。これらは、原理的には、全体日程計画に到る手順と同じである。しかし、ガントチャートが使われないので、作業の開始、終了、作業間のつながりなどの情報が不足している。

仕掛品は、移動票（現品票）を付けて工場内を工程順に移動させる。移動票は、生産中に行先が判らなくなって品物を紛失したりするのを防ぎ、工程の流れを円滑にする為に仕掛品に付ける伝票である。

材料の必要な工程では、出庫票を発行して、倉庫から材料の払い出しを受けさせる。出庫票は、会計部門が材料費の集計をするのにもつかう。この為、価格を記入する欄があるが、この欄は、倉庫または会計部門で記入するので、生産部門で記入する必要はない。

作業の結果は、各職場から日報で報告させる。生産管理担当者は、日報によって作業の進行を知り、これを、日程計画のガントチャートの上に書き込んで、計画の進捗状況を調べる。もし、異常があれば、直ちに、関係部門に連絡する。対策は、連絡を受けた各部門が協力して行う。日報によって、会計部門は、原価計算の目的で、工数を集計する。得られたデータは標準加工工数の実績を調べるのにも使う。

伝票には、必ず製造番号が記入され、製造番号毎にデータを集め、原価が計算出来る様になっている。

### 3) 作業票、出庫票、移動票（現品票）と差立て

図 1-2 に作業票の例を、図 1-3 に移動票の例を、図 1-4 に出庫票の例を示す。各職場には、図 1-5 に示す様な差立て板があって、ここに作業票を入れて作業を指示する。この様な作業指示の事を差立て (Dispatching) と呼ぶ。最初の工程では、作業票と一緒に、移動票と出庫票を差立板に入れる。大型の差立箱にして、図面や作業標準と一緒に入れる工場もある。

図 1-5 の様に、差立板は、通常 3 段になっていて、最上段に作業中の作業票を入れる。作業が終われば、2 段目にある次の作業票を取り、これを最上段に入れて作業に掛かる。最上段に残った実行済みの作業票は、組長が時々集めて回り、日報に結果をまとめる。日報は会計部門で集計して、原価管理 (工数管理) に使う。2 段目には、すぐにかかれる準備済み作業の作業票を入れる。準備中作業の作業票は最下段に入れて置く。これで、作業者は、次の作業および次次の作業内容を知ることが出来るので、作業の準備をする事ができる。

中国の工場でも、作業票（加工工票）を発行している企業は多い。しかし、指定完成日時を指示する欄、実績完成日時を記入する欄、実績作業時間の報告をする欄がないので、工数に関する十分な情報が集まる様になっていない。

作業票			No.		
発行日	年	月	日	発行者	
指定完成日時		月	日	職場	作業者
実績完成日時		月	日		
標準作業時間	実績作業時間		検査数量	合格数量	
図面番号			製造番号		数量
部品番号			名称		

図 1-2 作業票

移動票（現品票）				No.	
発行日				発行者	
図面番号		製造番号		数量	
部品番号		名称			
No.	工程	職場	受領印	備考	
1					
2					
3					
4					
5					

図 1-3 移動票（現品票）

出庫票 (材料庫出請求票)				No.		
発行日	年	月	日	発行者	発行職場	
出庫日	年	月	日			
製造番号						
品名コード	品名			数量	単価	合計

図 1-4 出庫票

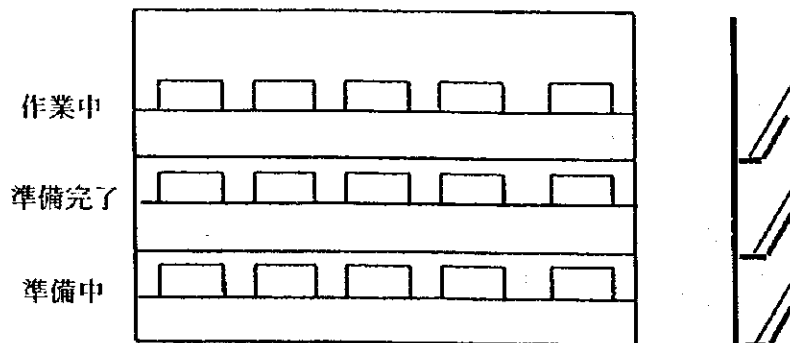


図 1-5 差立板

#### 4) 負荷計画図・・・山積表

図 1-6 に負荷計画図の 1 例を示す。この例は 1 週間分を示している。横軸は曜日で、縦軸は工数を示している。点線で定時工数、1 ラインだけ残業した時の工数、2 ライン残業した時の工数がそれぞれ示されている。積木の様に示された 1 つ 1 つの柱は、1 つ 1 つの製造ロットの所要工数を示している。

図の (1) では、火曜日の工数が、1 ライン残業の線を上回っている。そこで、図



の(2)では、火曜日の仕事の一部を月曜日に前倒しし、さらに、一部を水曜日に後送りして、月曜から木曜までを定時作業で済ますように調整している。又、金曜日と土曜日にも同じ様な調整をして、1ライン残業におさえた。この様な、調整をして、仕事の平準化が簡単に計画出来るのが、山積表を使うメリットの一つである。但し、仕事の前倒しは、問題が少ないが、後送りは納期が問題であるから、販売部門の協力を得て、客先と交渉する必要がある。

山積表は、販売部門に必ず配布する。企業は、受注計画会議を開いて、生産能力と受注量の調整を図る必要があるが、山積表は、生産能力と受注量の関係を一目で判るように表しているから、これがあると受注計画会議での調整が速く正確に出来る。

販売部門は、山積表を見て、仕事の不足する日の受注量を増やし、過剰な仕事のある日の受注を控える。

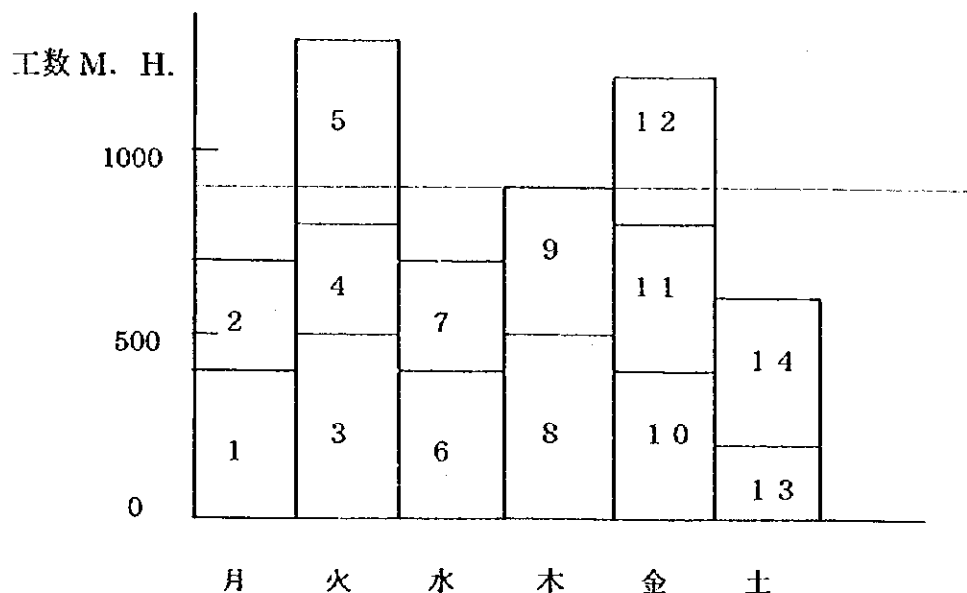


図 1-6(1/2) 負荷計画図(1)

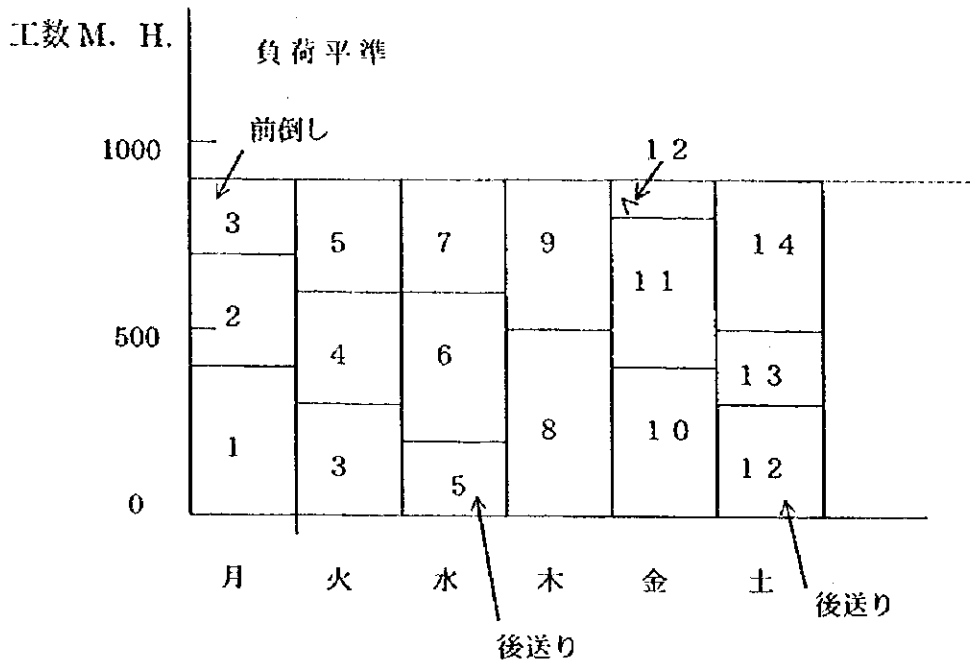


図 1-6(2/2) 負荷計画図 (2)

尚、負荷計画図は、パソコンの EXCELL の様な計算プログラムを使って簡単に  
 つくれる。図 1-7 に、EXCELL で作った例を示す。

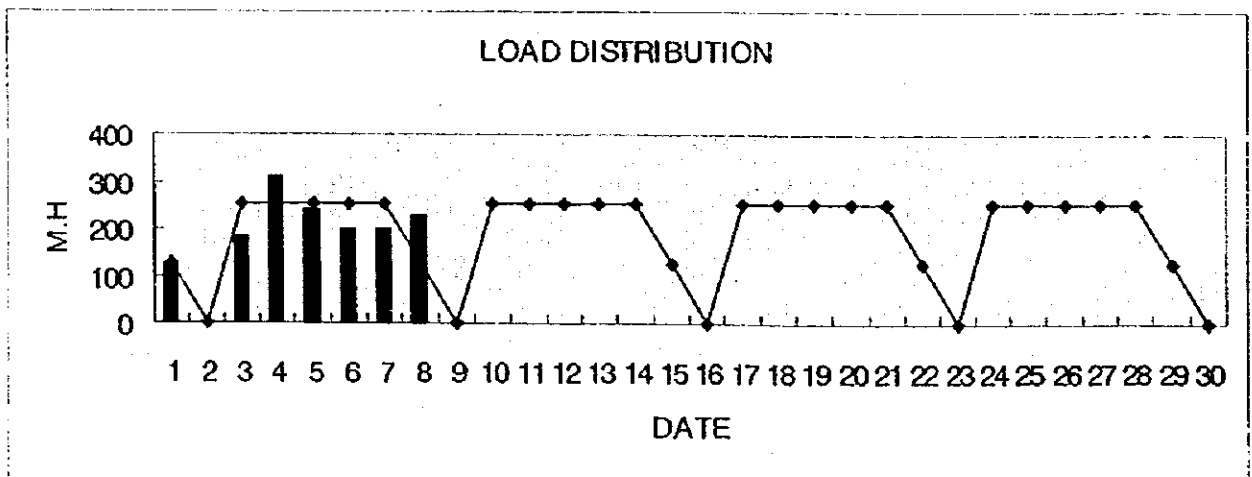


図 1-7 EXCELL で作った負荷計画図

### 5) 日程計画・・・ガントチャート

図 1-8 に加工 3 工程：機械加工—組立—検査・発送からなる架空の仕事のガントチャートを示した。この例に示す様に、ガントチャートでは、横軸は、時間軸を実時間で示す。縦に各工程を並べ、作業をしている時間を太い実線で示す。細い線は、作業の関連を示す。線の上に示した数字は、製造番号または、ロット番号である。小日程計画では、図の様に縦軸を、職場、作業者などにする。大日程計画では、縦軸を製造番号またはロット番号にして、代表的な工程だけを実線で示す。実線の上に所要時間を書き入れておくと便利である。

ガントチャートには、特定時刻における特定職場の作業状況が示されているから、ガントチャート上に赤で実績を書き込んで行くと、製造作業の進展が容易に判り、納期管理が出来る。

また、ガントチャートを使えば、緊急を要する、飛び込み注文、事故発生による遅れの取り戻し等難問が起こった時も、計画を迅速に修正して的確に対応できる。

ガントチャートは、工程の研究に使うと、非常に有用であるが、ここでは、説明を省略する。

尚、ガントチャートはアメリカ人 H. L. Gantt が考案したもので、工場の日程計画に広く使われている。

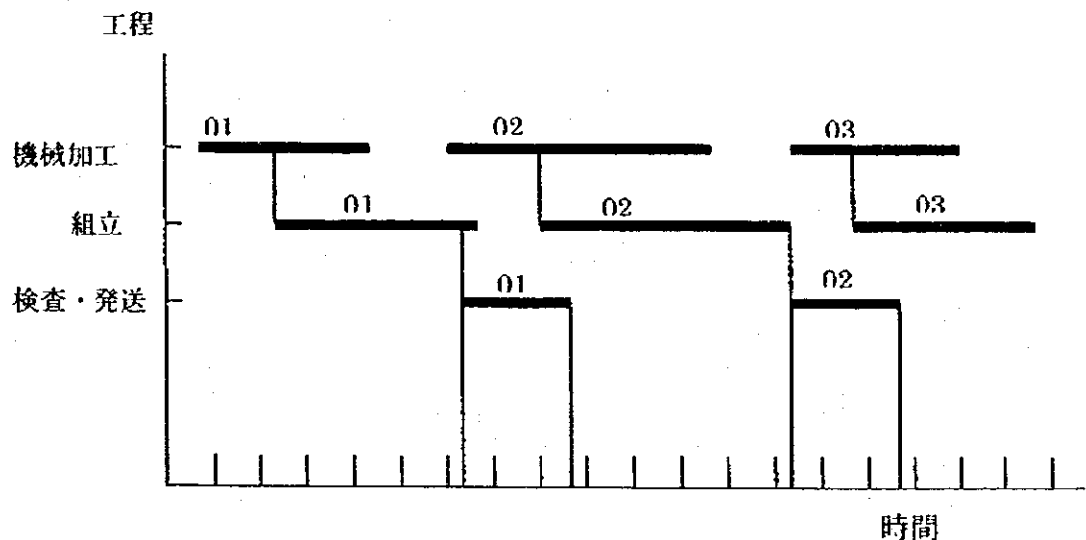


図 1-8 日程計画図 (ガントチャート)

### 6) コンピュータの活用

工程をきちんと計画すれば、作業票、日報、移動票、出庫票などの作成と実績データの収集が、コンピュータで出来る。データベースソフトを使って管理データの収集

を行えば、生産管理と原価管理の為のデータ・ストアハウスを形成できる。

## 7) かんばん方式の体系

図 1-9 に、かんばん方式による情報の流れを示す。以下、トヨタ自動車の場合を例にして説明する。

自動車会社は、3ヶ月前より系列の販売店から、3ヶ月間の毎月の売上予測を報告して貰う。この結果を、3ヶ月需要予測としてまとめる。これを基にMRP (Material Requirement Planning) 計算を行い、部品表を作り、各部品供給業者に部品納入内示を行う。これには、部品納入内示表を使う。部品供給業者はこれを基に中期生産計画を立てる。需要予測は、毎月、系列販売店からの情報に基づいて修正され、これに伴って、部品納入内示表が修正され、毎月、部品供給業者に知らされる。従って、部品供給業者は、毎月部品供給内示表によって中期生産計画の見直しを行なうことになる。

販売店は、生産開始の4日前に注文を確定する。これにより、自動車会社は、配送予定表を作る。これを基に、自動車を生産ラインで組み立てる順序を決め、順序計画表を作る。生産ラインはこの順序で自動車を組立てる。現在では、仕様の違う自動車を混在させて組立てる混成ラインになっているので、順序計画は厳密に守られる。生産ラインは、部品が必要になった時に、部品の供給を受けるため外注かんばんを発行する。現在、外注かんばんと一緒に、順序計画をインプットした電算プログラムを部品供給業者に渡し、部品供給業者の工場のコンピューターを使って計画順序通りに、仕様の異なる部品を生産し、計画順序通りに並べて納入する方法が採られている。

部品供給業者の生産が間に合わなかったり、事故があったりした時の為に、自動車会社は少量の部品中間在庫を持っている。中間倉庫には、殆どすべての部品があるので、スーパーマーケットと愛称されている。

部品納入内示表には、「搬入回数：日・回・後」とある欄がある。この欄は、かんばん方式独特の方法で部品の納期を指示している。例えば、1・14・3 とあれば、1日に14回配送便があつて、かんばんを持ち帰ったトラックから3便後の便で次を配送し納入する事を指示している。

部品供給業者も、かんばんが届いてから生産にかかるのでは、間に合わないときは、いくらかの在庫を保ち、出荷調整を行っている。

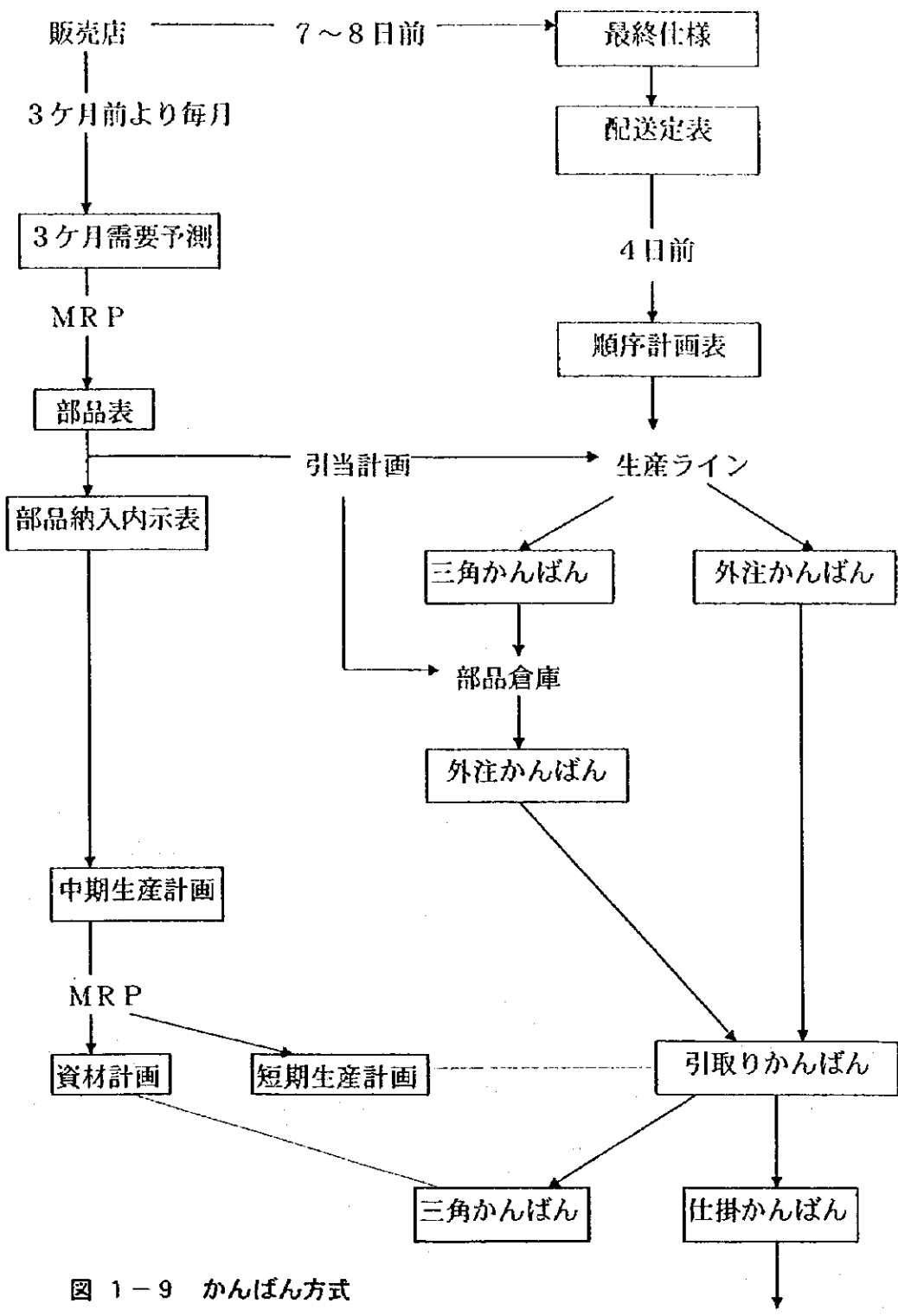


図 1-9 かんばん方式

## 7) 各種のかんばん

かんばん方式では、作業指示は後工程から出る。引取かんばんは、前工程に生産を指示する伝票の代わりをする。従って、作業票と同じ働きと考えて良い。外注かんばんは引取かんばんの1種である。引取かんばんは、後工程に仕掛品を送る時に、仕掛品の箱に付けて送り返す。従って、この場合は、現品票の働きをしている。

自動車部品工場では、数台の機械による工程が一組になっている事が多いので、1組の工程を1ラインとみなし、仕掛かんばんをライン内で使う。仕掛かんばんは、仕掛品に付けて、ライン内を回す。これは、移動票（現品票）と同じ働きをしている。但し、ライン毎に仕掛かんばんを取り替えるから、移動票の様に工程間を渡り歩く事はない。

三角カンバンは、材料を請求する為のカンバンである。従って、出庫票の働きをする。また、三角かんばんは、定量発注の場合の2ピン法と同じ考え方により、材料の箱を積み重ねた途中に挟み込んで発注点を示すのに使う。三角かんばんの位置まで材料を使ったら、三角カンバンを、材料を用意している工程に運んで材料を準備してもらおう。

三角カンバンを使わない材料請求は、信号かんばんで行う。

## 8) かんばん方式の仕事の流れ

図1-10にかんばん方式における仕事の流れを示す。図中に、引取り・仕掛板の例を示した。この板は、差立板の代りの働きをする。作業は、後工程から引取りかんばんが来てから作業を行う。引取りかんばんは、通常、2~4枚用意されていて少し余裕を持って前工程に送る。この為、図1-10に示した様に後工程から来た引き取りかんばんは1~2枚溜まっている。作業にかかると仕掛かんばんが外され職場に回るので、同じ作業の引取りかんばんと仕掛かんばんを上下に並べておくと、引き取り・仕掛板を見て作業の進行状況がわかる。

## 9) かんばん方式の特長と問題点

かんばん方式は、材料在庫、仕掛在庫、製品在庫を小さくする目的で考案されたシステムである。従って、JIT、無在庫システム等と呼ばれている。しかし、安全在庫的な少量の中間仕掛品と部品の間在庫が必要な為、厳密に無在庫になっているのではない。在庫は、1日分以下で、殆どゼロに近く保てる。従って、在庫スペースを小さく出来、在庫のための資金を減し、会社経営に寄与する。また、上記の説明で判るように、この方式の方が、従来方式より管理が簡単である。

しかし、従来の工場のままでは、かんばん方式では、チェックポイントが製品の配送点だけになってしまうから、途中で工程が止まっても、判るのが遅くなる。この欠点を補うため、いわゆる、あんどん方式による警報網を工場内に張り巡らせる必要が

ある。又、製品の品質が安定していないと、少量の安全在庫しかないので、対応しきれなくなる。同様の理由で、阪神大震災では災害に弱いことが判った。

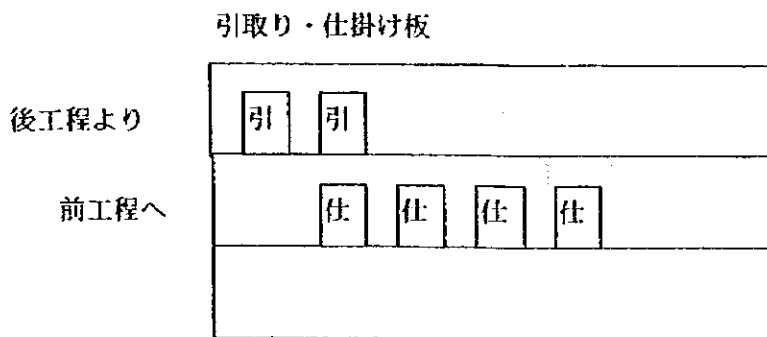
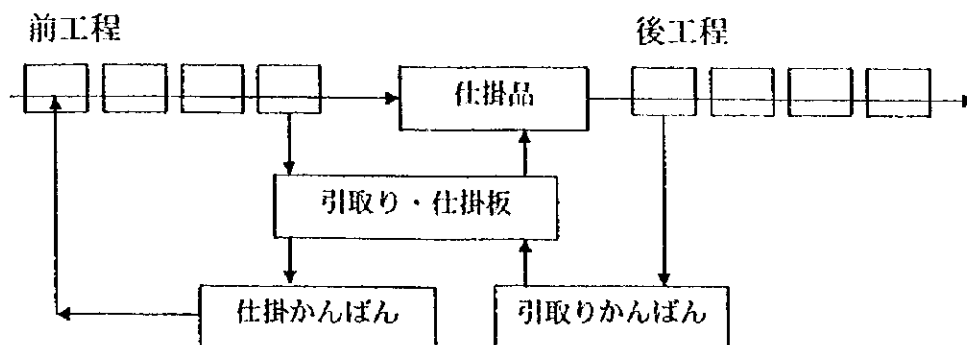


図 1-10 かんばん方式の仕事の流れ

部品供給業者は、配送を定期的にかつ正確に行う必要があるが、交通事情がこれを不可能にしている場合がある。この為、中間倉庫を持つ必要も生じている。配送頻度を増やす事が、在庫を減らす上で有効であるが、昼間に、高い頻度の輸送をすると、交通渋滞の原因となり、一般通行車の邪魔になる。

かんばん方式では、後工程の指示で生産するだけであるから、何処かで、負荷計画で示した様な、負荷の平準化を行はなくてはならない。かんばん方式が成功している自動車会社では、順序計画の時にこれを行っている。従って、複数の会社に部品を供給している様な会社は、自分で、かなり厳密な負荷管理を行なう必要がある。

### 11) 工程図







工程は、中国では、ブロックダイアグラムで示す事が多い。しかし、この方法では、工程分析に使える十分な情報が表現されていない。国際的に通用し、複雑な工程でも

比較的簡単に示せる工程図を使う必要がある。工程図は品質工程線図とも呼ばれている。

先進国メーカーの OEM や、下請けをする場合に、工程図の提出を求められる場合が多いので、NIES 諸国でもこの形の工程図が比較的多く使われている。

基本的に表 1-1 に示す記号を使う。

表 1-1 工程記号

	記号
加工	
運搬	
貯蔵	
滞留	
数量検査	
品質検査	

工程図は、工程全体が判るように、製品毎に 1 枚に纏めるのが望ましい。工程図は中国の工場が多く採用されているブロックダイヤグラム図と比べ、情報量が大きい事が特長である。

貯蔵は計画的に倉庫等に貯蔵している場合である。これに対し、滞留は本来望ましくない場所に、原材料、仕掛品等が滞っている場合である。これには、やむを得ない場合も含まれる。滞留は計画事項ではないので、工程図から洩れて、書かれていない事が多いが、改善を図る上で重要なので、調べて事実に基づいて記入する。

運搬も通常の工程図では無視されがちである。しかし、停滞同様に、製造期間を短縮する為に検討しなくてはならない重要要素なので、正確に記入する。

記号の間は、工程の流れに従って、流れ線で結ぶ。この他に表 1-2 に示す、管理区分と省略を示す補助記号がある。






表 1-2 工程補助記号

	記号
流れ線	
区分	~~~~~
省略	====

また、検査記号は、表 1-3 に示す様に他の記号と複合して使う事もある。複合記号は、2つの作業を同時並行的に行なう事を示す。

表 1-3 工程複合記号

	複合記号
品質検査中、 数量検査	
数量検査中、 品質検査	
加工中、数量 検査	

工程図を製品の種類毎に作っておくと、日程計画図（ガントチャート）を作る時に役立つ。また、工程図によれば、どの様な検査をして、どの様に作っているか自分で理解し人にも説明できるので、顧客や営業等の他部門への説明に役立つ。標準工数の計算是工程図があれば、円滑に行える。工程図は、種々の管理作業の原点になる。

## 1 2) 工程分析

製作期間を短縮することは、納期を短縮して、顧客の要求にフレキシブルに対応する為に重要である。またコストを低減する為に、設定した標準時間を短縮し、標準工数を削減するには、現状を分析する事が重要である。これらの目的で、工程分析を行う。以下で、工程図を使って、調査し、分析する方法を例題によって説明する。

工程分析に先立って、図 1-11 に示す工程図を作っておく。但し、作業時間は、後で計測してから記入する。

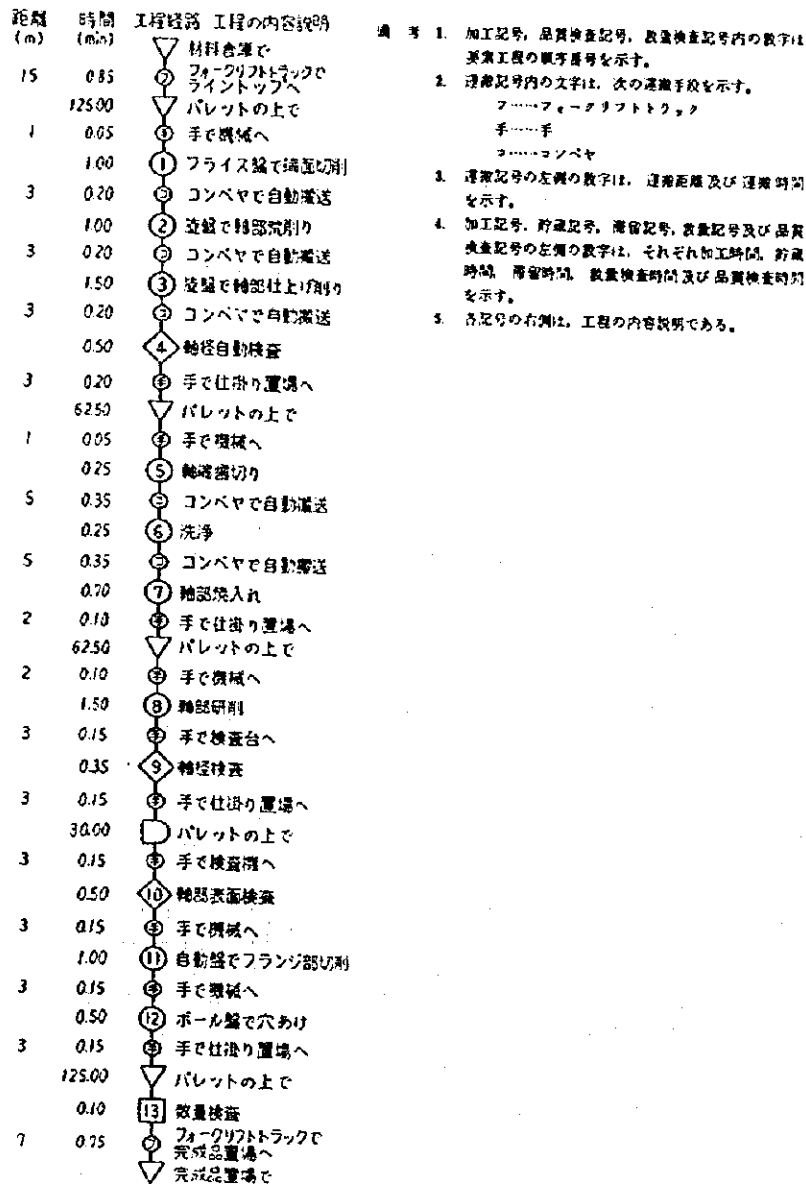
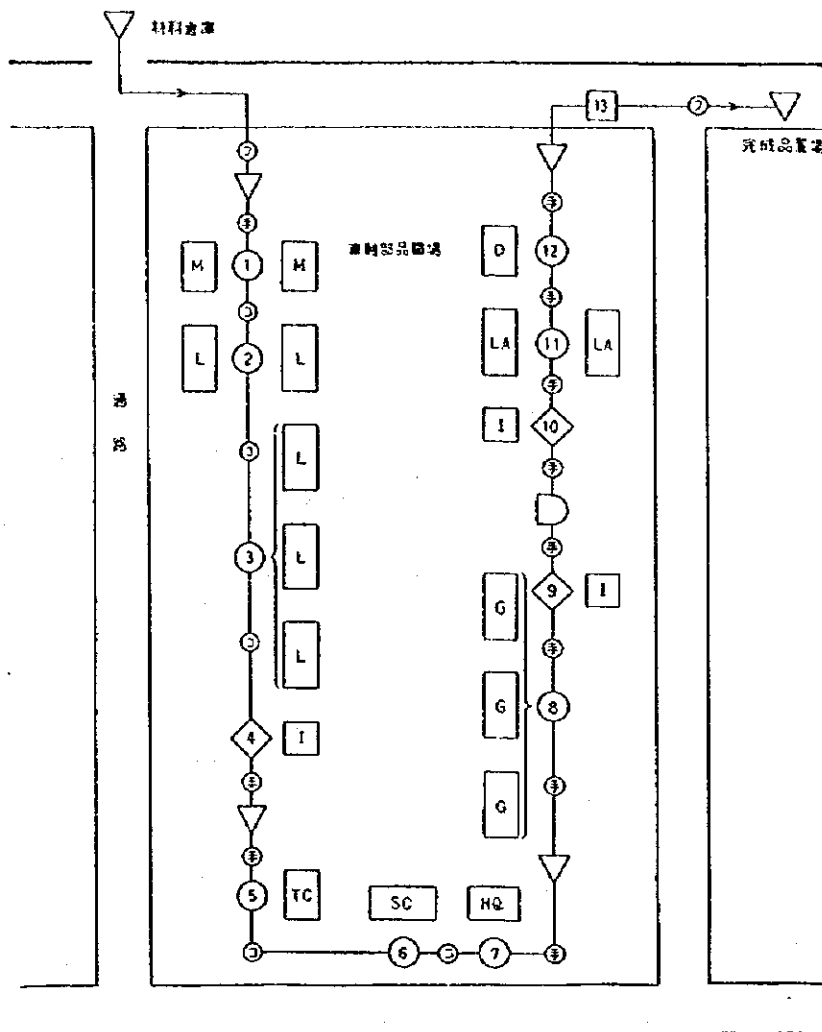


図 1-11 工程図 (JIS 「品質管理」による。)

工程図が出来たら、各工程毎に加工、組立と検査の実作業時間をストップウォッチで計測する。5回程度計って平均する事が望ましい。運搬時間、仕掛品の滞留時間を測定し、測定結果を、纏めて図に記入する。工程図があれば、工程図と、工場内機械配置図を組合わせて、図 1-12 に例を示した様な、流れ線図を作ると計測に便利である。流れ線図は運搬経路が錯綜している工場では、運搬経路の改善を考えるのに役立つ。



- |  |  |   |
|--|--|---|
| <p>備考</p> <p>(運搬手段略号)</p> <p>フ……フォークリフトトラック</p> <p>手……手</p> <p>コ……コンベヤ</p> | <p>(機械略号)</p> <p>M……フライス盤</p> <p>L……旋盤</p> <p>I……検査機</p> <p>TC……歯切り盤</p> <p>SC……洗淨装置</p> | <p>HQ……投入機</p> <p>G……研削盤</p> <p>LA……自動旋盤</p> <p>D……ボール盤</p> |
|--|--|---|

図 1-12 流れ線図 (JIS「品質管理」による。)

この工程図を基に、ガントチャートを作ると図 1-13 ができる。図 1-13 のガントチャートに示した例では、運搬は加工に並行して行なう事が出来るから、省略して、チャートには、加工と検査の工程を示している。この様なガントチャートを、実測作業時間に適当な余裕を見込んで標準時間を決めた上で作成すれば、標準日程計画図にする事が出来る。

図 1-13 に示す様に、加工と検査にかかる時間の合計は 4.00 分である。しかし、加工待ち時間があるので、図から判る様に、実際に部品がこの工程を通過する時間は、9.00 分かかる。

このラインでは、旋盤で軸部荒削りが 1.50 分で一番長い加工工程なので、1.5 分がタクトタイムになる。工程通過時間は、9.00 分であり、タクトタイムに合わせて生産するので、1.5 分に 1 個ラインから部品が出て来るから、この工程にある仕掛品の数は、 $9.00/1.5 = 6$ (個)になる。

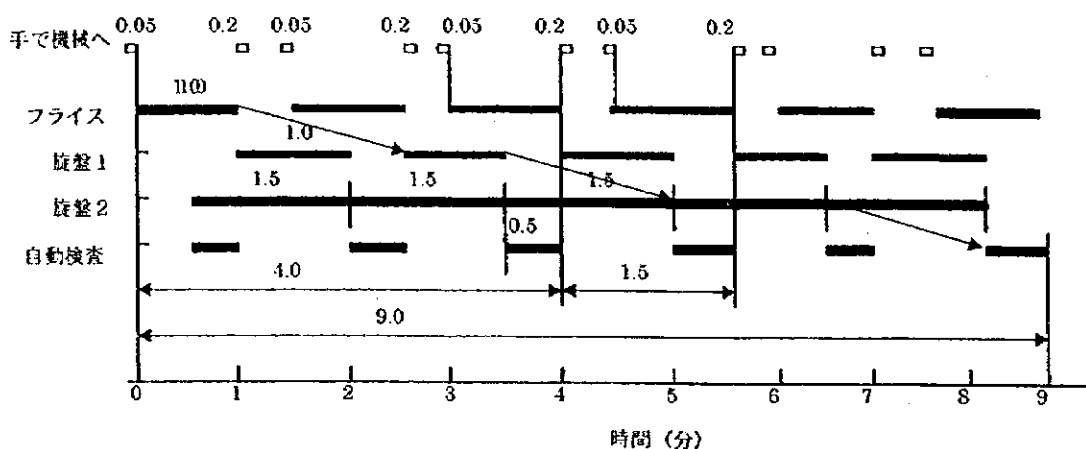


図 1-13 ガントチャート

図 1-11 の最初の方で、材料が、125 分パレットの上に貯蔵されているが、これは、 $125/1.5 = 83.3$ (個)に相当する。

以上で、各工程の状況が判ったので、更に、工程を分析して見よう。この工程全体で、一番長い加工時間は、1.5 分で、3、旋盤で軸部荒削りと 8、軸部研削の 2 箇所である。これが、工程全体のタクトタイムを決めている。従って、この全体工程で、時間当りの生産量を増大するには、これら 2 つの工程の加工時間を短縮する事が必要である。他の工程の加工時間を短縮しても、タクトタイムが変わらないので、時間当りの生産量は変わらない。

加工と検査の工程が合わせて 13 あるから、このラインでは、工程をつなぐ 12 個所で、1.5 分の加工・検査待ちが出る。この時間を含めて、全工程の通過時間と仕掛品の数を計算した結果を表 1-4 に示す。

表 1-4 仕掛品分析 (単位:分)

加工・検査	8.15
貯蔵・停滞	405
運搬・加工待ち	18
合計	431.15
仕掛品個数	287.4

貯蔵は、4箇所ある。内2箇所が125分で、2箇所が、62.5分である。これは、平均値であると考えられる。従って、各々、240分に1回160個、120分に1回80個の運搬が行われ、各々5分ぶんと2.5分ぶんに相当する安全在庫があると考えられる。

停滞30個が10軸部表面検査の前にあるが、これは、20個ずつ纏めて検査する為と思われる。これらの時間は、運搬、検査の回数を増やすか、または、自動化する事によって短縮できる。

機械の稼働率は、タクトタイムと機械毎の加工時間の比で決る。計算結果を表1-5に示した。稼働率を上げるには、旋盤2と軸研削の加工時間を短縮して、各機械の加工時間を同一値に近づける事が必要である。

表 1-5 ラインバランス分析

機械	稼働率%
フライス	66.67
旋盤1	66.67
旋盤2	100.00
歯切り	16.67
軸研削	100.00
ボール盤	43.33
平均	65.56

この例は、ほとんど問題のない工場の例を示しているが、例えばこの工場で、100個のロットで生産するとすれば、各工程の作業時間は100倍になり、仕掛品も100倍になる。また、納期も自由度を失う事が明らかである。

この様に、工程分析は改善すべき問題点を明らかにし、また、標準工程計画を組立てるのに役立つ。

### 1-3 工程管理の実践

#### 1) 概要

1-2節で、工程管理のシステムを一通り説明したが、工程管理システムの効果が理解出来ないと、1-2節の説明だけを読んで、中国で現在行なっている管理とあまり変わらないのではないかと誤解されるかも知れない。従って、以下ではこの様な誤解を避ける為、中国で現在行なっている生産管理方法との差異を明確にして、欧米法工程管理を実現する方法を実例を含めて具体的に述べる事にする。

計画経済下では、生産計画（数量計画）の達成が、生産管理の目的であった。しかし、市場経済下では、生産計画は生産量の予測値を示しているだけであって、生産計画を達成しても、製品が販売出来なければ、企業は損失を増すだけの結果になる。従って、生産計画の達成が生産管理の目標ではない。

市場経済下では、生産量を生産時点での需要量（受注量）に応じて決める必要がある。市場需要は急激に変化するので、工程管理には、市場に対応できる柔軟なシステムが必要である。しかし、計画経済的生産管理では、計画数量を生産する事だけが管理されており、需要に応じた生産を行なう為の、柔軟性が欠けている。また、市場経済では、投下した資金には、必ず金利が発生するから、資金によって購入された、機械設備の有効利用が非常に重要である。

近代的な工程管理の目的は、大きく分けて2つある。

- 1、受注時に顧客に約束した、納期を守る
- 2、工場の機械設備、作業者の稼働率を高めて、生産性を向上する。

一般に、工程管理は、納期を守る事が目的であると考えて実施されている。この為、工程管理は、日程管理と呼ばれている。市場経済下では、必要な時に供給されない商品は、価値がない。従って、納期は付加価値の重要な要素である。欧米や日本では、納期に遅れた時は、注文主に罰金（ペナルティ）を支払うのが通常の決りである。また、時には、納期に遅れた為に注文を取消される事もある。従って、企業は、工程管理を行なって、納期遅れを防ぎ、万一、納期遅れを起こす不測の事態が発生した時は、すぐに発注者に連絡をとって対処する。工程管理はこの様な対応が出来るシステムになっていないといけない。

納期の問題は、生産管理を厳しく行わなくても、機械設備を増設したり、作業者の数を増やしたりして、工場の生産能力に大きな余裕を付ければ、ある程度解決出来る。しかし、このような方法では、工場に過剰な設備と過剰な人員を抱える結果となり、生産性が阻害される。

工場で、機械設備の稼働率を高めるには、生産工程が無駄無く計画されている事が必要である。しかし、無駄なく計画された工場では、計画通りに仕事が進まないと必ず問題が起こるから、計画通りに作業を進める為の厳しい工程管理が必然的に求められる。

## 2) 工程分析と工程管理

生産工程は、先に述べた工程線図によって、全体をはっきりさせる事ができる。次に、工程線図で工程を個々に区分して、工程毎の作業時間を測定する。これによって、標準作業時間が算定できる。

先にも述べたように、工程線図を作り、工程毎に作業時間、運搬時間、検査時間、ロット数、仕掛品の停滞などを調査して工程の改善を図る方法が工程分析である。工程管理をきちっと行う為に、先ず、工場の現状に対して工程分析を行うと良い。紙の上だけで考えると実状に合わない工程管理になる。

作業現場からの情報が、工程管理には非常に重要である。工程毎に作業票を発行して実際にかかった作業時間を作業員から報告してもらい、これを基に標準時間の見直しを絶えずおこなう。最近では、データベース用のプログラムが発達しているので、データベースプログラムを使って作業票によるデータベースを作り、生産管理の担当者がアクセス出来る様にしておけば、このデータを使って、実績に基づいた標準作業時間が計算できる。

この様にして作られた標準作業時間は、工程を計画する基準とする。また、原価計算上の基準とする。

標準作業時間は、実作業時間を直接測定して求める事が出来るが、余裕時間の取り方によっては、実際に適用する時に問題を生じる場合がある。従って、実績統計の結果を基に標準作業時間設定の方が良い。しかし、実績統計だけでは、標準時間を改善（短縮）する事が難しい。従って、実績統計を重視して標準時間を決め、工程分析などによって、作業時間を直接測定し、改善方法を研究しながら、標準時間を少しずつ短縮して行くのが、合理的である。

全体の工程時間を計画する方法として、PERT 法がある。この方法は、矢印（アローダイアグラム）を用いて工程を計画する。PERT 法は、プラント建設の様な大きなプロジェクトの計画に用いられているが、一般の工程でも、複雑な工程の分析に役立つ。全体工程は、小さな独立工程がつながって出来ているが、PERT では、工程のつながりを分析し、全体工程の中で、一番時間のかかるパスを見つけ、これをクリチカルパスとする。クリチカルパスが全行程を完了する時間を制約するから、納期を決める事になる。この方法では、工程のつながりを理解し納期を短縮する方法が発見出来る。しかし、ガントチャートの様に、時間軸表示ではないから、工程の進行状況を理解するには不向きである。

一般の工程は、時間軸を横軸にとったガントチャートで計画すると判り易い。計画した工程は、現場の部長、課長、班長は勿論、個々の作業員に理解してもらう必要がある。また、営業や顧客にも判ってもらう必要がある。この目的に適うのは、ガントチャートである。数字だけで、示した計画では、計画した本人にも良く分からない計画になってしまう。また、PERT は専門家以外には読取りが難しい。ガントチャートでは、機械または作業員の作業時間と待時間がはっきり現れる。従って、どうすれば、機械の稼働率を高める事が出来るかを、チャートを見て検討する事が出来る。また、実際の作業の進み具合を簡単に

チェック出来る。

細かく一つ一つの工程をガントチャートに示すと、複雑な工程では、却って全体を理解するのが困難になるので、重要な骨格となる工程だけを示すガントチャートを作る。例えば、組立または最終仕上げ加工の工程を骨格工程に選ぶ。この様な形で、生産計画を示すガントチャートを大日程計画と呼んでいる。大日程計画があれば、詳細工程の日程は、骨格となる工程の日程を軸に、職場毎、機械毎に作成できる。これが、小日程計画である。小日程計画を見れば、何時、どの機械または職場で作業しなければならないかが判る。

工場の稼働率を高めるには、余分な機械や人員を持たない体制を造る必要がある。しかし、営業の受けてくる注文には必ず短期的な変動がある。変動があると、納期を守る為に変動に備えた余裕のある設備と人員が必要になる。勿論、ある程度の変動は、従業員の努力でカバーできるが、大きな変動は努力だけでは克服できない。従って、生産管理によって、毎日の仕事量が一定になる様に調節する必要がある。また、営業部門が、出来るだけ生産部門の仕事量が一定になる様に受注調整をする事が必要である。しかし、営業部門に何も情報が提供されなければ、この様な調整は不可能である。この為に、生産部門で負荷計画を作る。負荷容量は、全体生産工程の中で、生産能力のネックになる工程によって決まる。一般に、良く計画された工程では、ネックになる工程は、価格の高い高級な設備を使う工程になっている。従って、この様なネック工程の工数を使って負荷計画を立てる事が出来る。また、製品の種類があまり多くない工場では、全体工数で、負荷計画を作る事ができる。

製品の種類が少ない工場では、大日程計画で負荷計画を代用する事ができる。大日程計画は、主要な工程、例えば、全体組立などの工程をガントチャートで示しているから、大日程計画から負荷状況を判断する事が出来る。例えば造船所では、大日程計画の一種である船台利用計画をこの目的で使っている。

### 3) 工程管理の実施例

以下では、ある国の電話機製造工場、仮にABC電話機(株)とする、をモデルにして、工程管理を立ち上げて実施する方法を具体的に説明する。尚、説明に使ったデータは、実際のを少し変えてあるから、他に転用してはならない。

この工場では、過剰投資と過剰在庫が問題で、借入金が嵩み、金利負担が大きくなっており、製品品質には問題がなくヨーロッパへの輸出に成功しているにも関わらず、毎期赤字決算を続けていた。この工場では、中国の多くの工場と同じように、中期生産計画(1年)を立て、生産数量だけを管理していた。この為、工場には、原材料、仕掛品、製品の在庫が増えて、借入金が増大する原因になっていた。また、工程はバランスが悪く、主要設備の稼働率が低く、設備に投下した資金の回収が困難になっていた。

#### ・工程図

この工場では、先ず、コンサルタントの指導で、工程図を作成した。工程図には、先に



説明した JIS Z8206 に決められた方法を使った。この方法では、全工程を、加工、運搬、貯蔵、滞留、品質検査、数量検査に分けて表示するので、工程の流れ全体が把握できる。

電話機製造工場の工程線図 (JIS Z8205 による) を図 1-14 に示す。この図によって、電話機の製造工程が判る。工程の説明は本文の説明とは関係ないので、省略する。

自動化工程

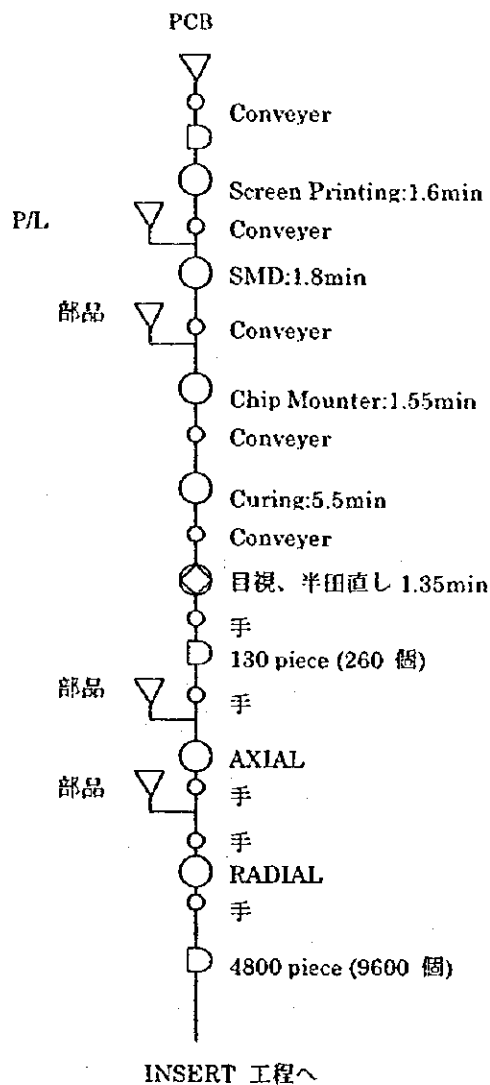


図 1-14 (1/3)  
工程線図 (1/3)

INSERT工程

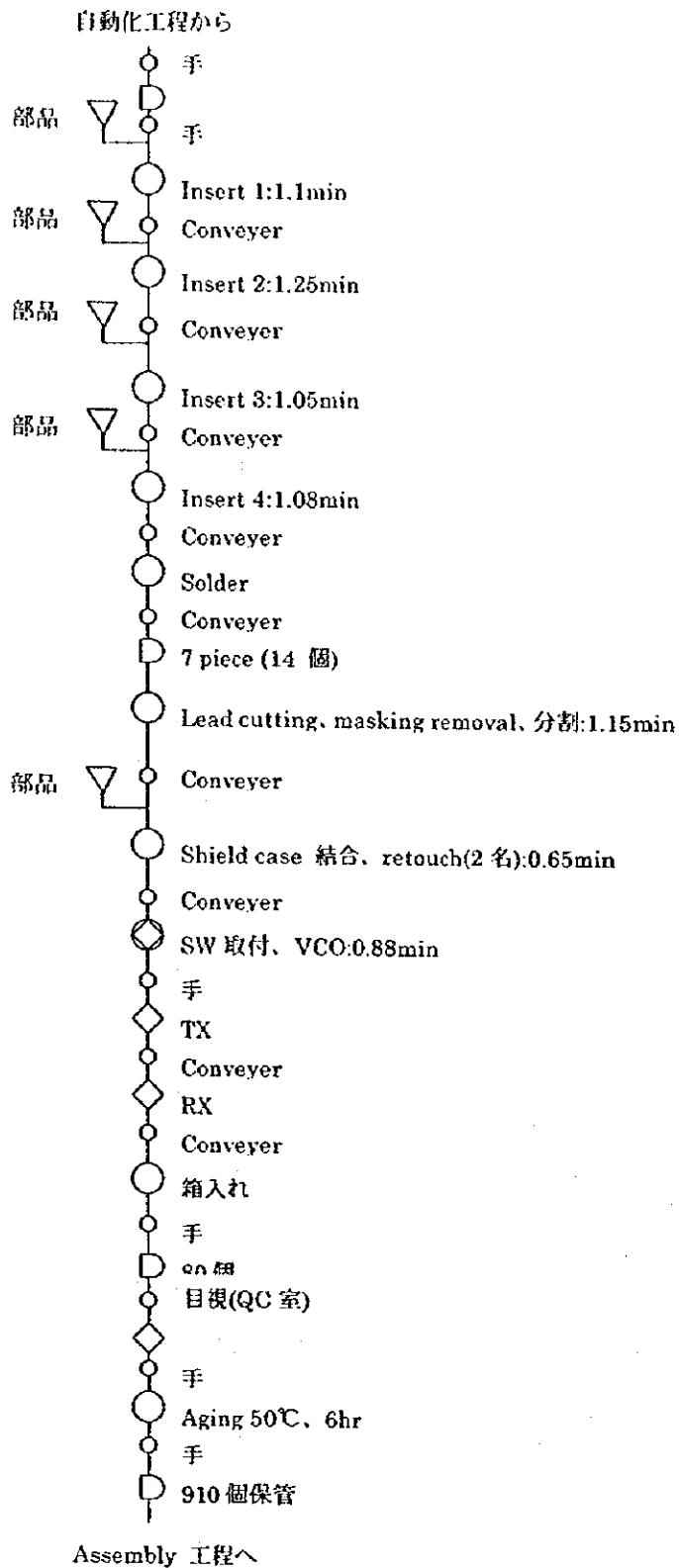


図 1-14(2/3)  
工程線図(2/3)

ASSEMBLY 工程

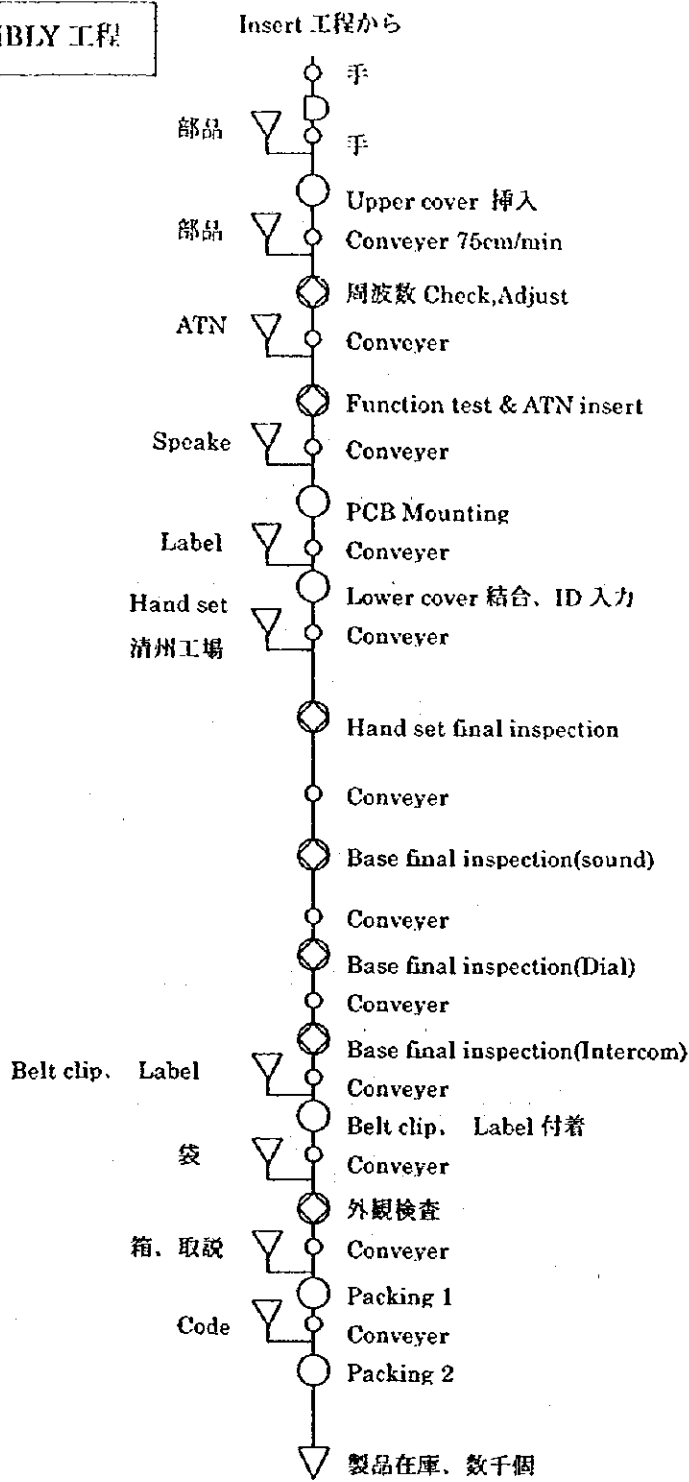


図 1 - 1 4 (3/3) 工程線図 (3/3)

この工場では、工程図を作る過程で、各工程の作業内容が検討された、その結果、コンサルタントの助言に加えて、調査に参加した工場側のスタッフによって、多くの改善点が発見された。

・標準時間

標準時間は、先にも述べた様に、作業票によって、実績作業時間を報告してもらい、これを基に、統計的に求める事が出来る。しかし、この工場の場合、工程管理を始める時点では、実績時間の統計がなかったので、工程線図に沿って計測した時間を基に、仮に標準時間を決めなくてはならなかった。

この工場の工程は、自動化工程が、SMDライン、Axial & Radialラインに分かれ、INSERT工程が、H. Insertライン、PCB Testライン、Agingプロセスに分かれているので、これにAssembleラインを加えて、全体を6工程にまとめ作業指示を行なう事にした。受注は、1000台を単位として行われるので、標準時間も1000台単位の場合を計算した。表1-6に図1-14の工程図からまとめ30%の余裕時間を見込んで標準時間を計算した結果を示す。各工程が流れ作業になっているから、標準時間は、タクトタイムを使って算出する。

表1-6 標準時間

生産量：1000台 余裕率：30%

ライン/プロセス	タクトタイム	段取り	作業時間 (分)	余裕時間 (分)	合計(分)	合計(時)
SMD	0.9	90	990	297	1287	21.45
Axial & Radial	0.9	60	960	288	1248	20.8
H. Insert	0.625	10	635	190.5	825.5	13.76
PCB Test	0.85	10	860	258	1118	18.63
Aging	360	10	370		370	6.17
Assemble	0.66	10	670	201	871	14.52

標準作業時間は、永久的なものではない。少なくとも、半期に一度は見直して改正する事が必要である。尚、この標準時間は、作業ノルマを決める為のものではないから、労務管理には使用しない。

ストップウォッチで作業時間を計測する時は、実作業時間を計測する。この実作業時間は、通常、作業票から統計的に得られる作業時間と一致しない。その理由は、ストップウォッチで計った時間には余裕時間（職場内連絡、生理的休憩などに必要な時間）が入っていないからである。従って、適当な余裕時間を加算する必要がある。上記の例では、30%の余裕時間を加算している。しかし、余裕時間を加算したとしても、実績時間の中に、記入誤差、待ち時間、段取り時間などの非作業時間が混じる事が避けられないから、統計的に求めた値と差異を生じる。従って、実績との差異が少ない管理を行なうには、統計的に求めた実績値で計測から求めた値を修正する必要がある。

統計的方法による時は、作業者に実作業時間を作業票に記録する様指導する事が望ましい。その理由は、作業者は、同じ内容の作業でも、自己判断で、不稼働時間を長

く、作業時間を短く報告する事（または、その反対）がありうるからである。

生産性向上の為に、実際の作業時間を、ワークサンプリング法、時間研究法などで、実測する必要がある。この様な実測値と統計的に求めた標準時間を比較すれば、作業票に記載された作業時間の性格がはっきりする。

工数単価は、作業票記載の工数を基に算出されるので、原価は作業票に記載された実績作業時間を集計して、操業度を求めた上で計算される。直接計測結果を基に標準作業時間を定めた時は、これをそのまま見積原価計算に使うと、工数単価の計算と計算根拠が異なるので、問題を起こす危険がある。統計的実績基準の標準時間は工数単価と整合性のある方法で計算されるので、この様な危険がない。

作業票で報告された実績を基に標準時間を決め、これを作業票に指示するのでは、進歩がなく、作業時間の短縮が実現出来ないとする意見がある。この意見は正論であるが、いきなり、時間研究などの結果を採り入れて、短縮した作業時間を指示しても成功する確率は低く、作業者の強い反発を買う結果になる。従って、作業者と良く話し合い、標準時間の短縮を実現可能な範囲に止めて、段階的に標準時間の削減を図るべきである。年間1～3%の工数削減が目安である。この様な目標を超える達成が得られた時は、作業者を表彰するなどのインセンティブを与えると良い。

#### ・ガントチャート

日程管理は、サンプルとなる小日程計画がないと作るのが困難である。この目的で、標準日程計画を作る。100個のロットで生産する事にし、段取り時間と、最初のロット、最後のロットがうまくつながる様に日程を調節して作ると図1-15になる。

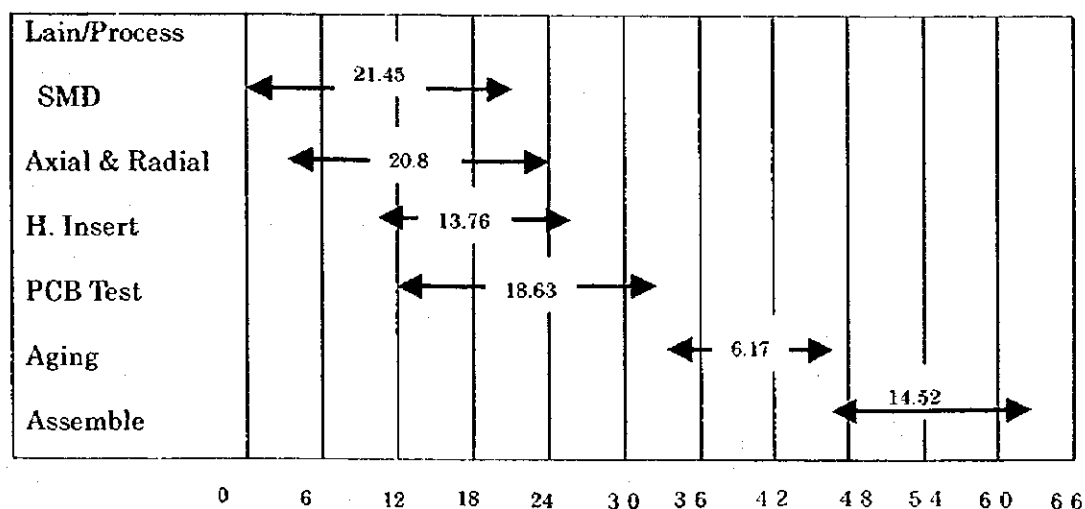


図 1-15 標準日程計画

時間 (hrs.)

・日程計画

これで準備が出来たので、日程計画を作る。SMD ラインの機械設備は高価な設備であるので、24時間操業をする。しかし、他のラインは昼間8時間の操業とする。また、Aging プロセスに作業者は不要であるから、夜間でも実施出来る。また、この工場では、日曜は休日である。但し、休日にも SMD ラインは止めないで 24 時間稼働する。実際の日程計画はこれらの点を考えて作成する。日程計画は、注文生産の工場では、納期に合致する完成予定日を決め、これを基準点として、日程を溯って決める方法が採られる。

大日程表

1999年 8月

製造番号

ABC 電器株式会社

製造番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	
99001																																
99002																																
99003																																
99004																																

図 1-16 大日程計画表

小日程表

製造番号 99001

ABC 電器株式会社

日付/工程	8月1日 (日)	8月2日 (月)	8月3日 (火)	8月4日 (水)	8月5日 (木)	8月6日 (金)	8月7日 (土)
SMD	Start	End					
Axial & Radial		Start	End				
Hand Insert		Start	End				
PCB Test		Start	End				
Aging				Start	End		
Assemble						Start	End

図 1-17 小日程計画表

大日程計画表と小日程計画表の例を、図 1-16、図 1-17 に示す。日程計画表には、細かい目の入った用紙を使うと記入が容易になるので、特製のグラフ用紙を使っている工場が多い。大日程計画には、主要な工程として、SMD 工程を記入している。点線で示した部分の端が納期（工場出）を示している。小日程計画は、SMD 工程を基準にして各工程の日程を製造番号毎に計画する。

日程計画表は、関連の生産部門の各職場、営業部門、資材・購買部門に配布する。資材・購買部門は、日程計画表を見て各工程に必要な資材・部品を発注する。ガントチャートを使った日程計画では、各職場責任者に自工程の遅れが他工程に与える影響がはっきり判るので、計画に齟齬があった時にも的確な対応が可能である。特に、生産責任者は、営業部門に連絡し、的確に顧客に連絡する事が出来るので、顧客の被害を最小に食い止める事が可能になる。

#### ・作業票

工程毎の実績工数を統計的に把握する為に、コンピュータを使って、作業票を作成し、標準時間と作業完了時間を指示し、実績を記録して回収する。中国では、作業票を発行して標準時間を指示している企業は多いが、実績を記録して回収している企業は殆どない。

作業票の作成には、データベースソフトを使うと良い。データベースに入力する時間情報は先に作ったガントチャートから得る。

データベースソフトの「リスト」に入力するとデータのリストが出来、自動的に「フォーム」で作業票が作られる。作業票をプリントアウトする事も可能である。

作業票は、実績記入欄が空欄になっているから、ここへ、作業が終わってから実績を記入する。この結果をコンピュータ画面の作業票に入力すると自動的にテーブルに入るから、テーブルを計算ソフトに転記して解析すれば良い。コンピュータへ直接入力できない場合は、この作業は組長が作成した日報を使って行う。コンピュータを活用するには、専門家の力を借りた方が良いでしょう。

このデータは、製造番号毎の実績工数を集計する目的にも使うから、原価管理の為の重要な情報源である。データベースとして保存し、アクセスを容易にしておけば、生産部門、原価管理部門、会計部門の共用の情報源になる。

#### ・実績による修正

作業票によるデータ収集がある程度進めば、工程毎に実績作業時間の平均値を算定し、これを使って標準時間を修正する。

最初に述べた様に、実績によらない標準工数と工数単価を実績によって検証する必要がある。この為には、一定期間を区切って、工程毎に実績工数を集計し、これと同じ期間内の工程毎の稼働可能時間との比をとって実績操業度を計算する。これが、原価計算に使っている、操業度に合致しているかどうかを調べ、問題があれば、工数単価の修正を行う。

#### ・実績のない工数の推定

実際に何も実績のない工場では、試験的に操業してみて工数を計測するのが实际的であ

る。工数を推定する為、切削時間、段取時間などを計算して積算する方法もあるが、この方法は、困難が多く実際的でない事が多い。

実績を基に、実績のない工数を推定する簡便な方法として、2/3 乗法がある。

通常、工数を推定計算する基準に重量が選ばれる。しかし、重量当たりの工数は、一定ではない。そこで、重量と重量当たりの工数を推定する技術が必要になる。優秀で経験のある見積者は、加工する部品を見ただけで、加工工数を見積もる事が出来る。しかし、長い経験がないと不可能である。そこで、合理的で比較的容易な方法を以下で説明する。

機械部品の加工は、部品の表面に行うと考えて良い。今、一群の同じ材料で加工部分を含めて全く相似形をした部品を考えると、この様な部品群では加工面積が基本寸法の 2 乗に比例するので、加工工数は基本寸法の 2 乗に比例する。一方、部品の重量は基本寸法の 3 乗に比例する。従って：

基本寸法を  $L$  として、

重量： $W \propto L^3$

加工工数： $K \propto L^2$

従って、 $K \propto W^{2/3}$

の関係がある。

実際には、厳密には相似形でなくても相似形に近い部品群を考える事ができる。また、同じ程度の複雑さの部品の加工工数は重量の 2/3 乗に比例すると考えても良い。

実際の部品群では、重量の 2/3 乗に比例するものが多いが、3/4 乗に比例したり、時として 1/2 乗に比例する場合もある。重量当たりの工数は、加工工数が重量の 2/3 乗に比例する場合には、重量の  $-1/3$  乗に比例する。同様に、3/4 乗の場合は、 $-1/4$  乗に、1/2 乗の場合は、 $-1/2$  乗に比例する事になる。

この冪係数は、両対数のグラフに、相似的複雑性の同じグループの部品について、重量と重量当たりの加工工数の実績をプロットして回帰直線をひくと、回帰直線の勾配から求める事ができる。逆に、いろいろな部品の重量と重量当たり加工工数をプロットしてみて、 $-2/3$  の勾配を持つ線を引けば、相似的複雑性の同じ部品群を見分ける事が出来る。

この方法を使っていると、時々、同じ相似的複雑性であると思われる部品の加工工数が、想定した直線から大きく外れる事がある。この様な場合は、加工方法に問題がある事が多く、設計を変更して加工しやすくすると解決する事がある。従って、この方法は加工方法と設計のチェックにもなる。

#### ・工程管理の成果

この工場では、工程計画を立ち上げる過程で、従来の工程に含まれていた不合理点をいくつも発見して修正した。また、治工具を工夫して作業時間の短縮を図った。特に、SMD 工程では、段取方法を改善して、大幅に段取時間を短縮する事に成功している。これらは、きちんとした工程計画を行なう為に、検討した結果得られた成果である。

また、この工場では、工程管理を行なった為に、各職場、各作業者の全体生産工程にお



ける役割が、作業者に良く判るようになり、技術改善の効果以外にモーラルの向上による生産性の上昇が実現し、予測をはるかに超える、生産量の増大と納期の短縮が実現した。

#### 1-4 品質管理

##### 1) 品質とは何か

品質は、製品の付加価値を生む為の重要な要素である。品質は、規格によって決められているとする考えが一般的であるが、正確な考え方ではない。何故なら、同じ規格に合格していても、商品の価格には大きな差が生じるのがむしろ普通だからである。品質によって与えられる付加価値の差異が同じ規格に合格している製品の間を生じると言う事実は、品質が同じ規格に合格している事だけによって保障されているのではない事を示している。

品質は、市場で、顧客によって判断される。しかし、顧客の求める特性には、試験、検査で決まるものばかりではなく、測定する事が難しい多くの特性が含まれると考えなければならない。試験・検査は、顧客の求める品質特性全体の中で、比較的簡単に検査・試験できる特性を幾つか選んで試験・検査しているに過ぎない。この意味で、検査する特性を、品質代理特性と呼んでいる。試験・検査は、品質代理特性を調べているだけであり、試験・検査だけが品質管理ではない。

検査だけでは、品質向上は実現できない。検査は、付加価値を生まない工程であるから、その意味では、検査が出来るだけ少なくして済む物を、製造するのが理に適っている。

図 1-18 は、平均値： $\mu$  が同じで、標準偏差： $\sigma$  の異なる 2 つの正規分布を模式的に示したものである。部品の寸法誤差は、正規分布を示す事が知られている。仮に、(1) は、A 社の製品寸法誤差の分布で、(2) は、B 社の製品寸法誤差の分布とする。同じ、許容誤差で検査が行われたとすると、A 社の方が、B 社より不合格の品が多い事が判る。しかし、それだけではなく、合格品についても、A 社と B 社とでは誤差の分布が違うことが明らかである。この差は、実際に市場で競争する時に、製品品質の差として現れる。同じ品質基準を使っている、A 社の製品には、合格すれすれの部品が多く使われており、B 社の製品には、目標寸法から外れる度合いが少ない部品が使われている。言うまでもなく、B 社の製品の方が、品質が安定しており、市場で高く評価される。単純に品質検査で、不良品を除去しているだけでは、安定した品質は確保できない事が判るであろう。

安定した品質を確保する手段として、最も有力な方法が 1-5 節で説明する管理図である。管理された品質と言うのは、具体的には、管理図で管理された品質と言っても良い。

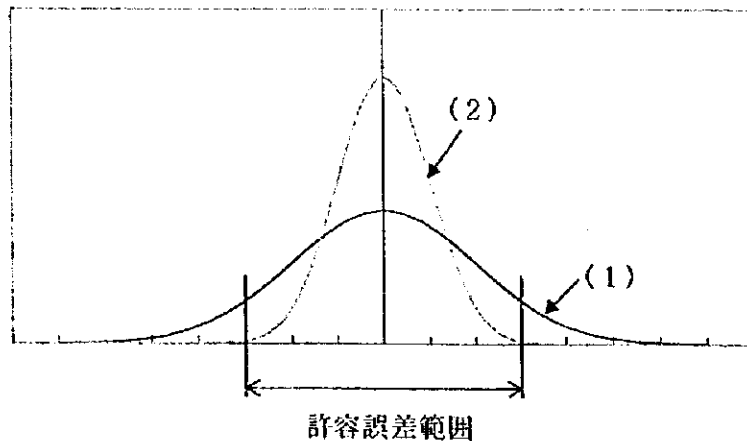


図 1-18 管理された品質と管理されていない品質 (模式図)

管理図で管理する基準は、標準偏差の 3 倍 ( $3\sigma$ ) である。しかし、製品には、製品の規格が有って、精度の許容値が与えられている。従って、精度の許容値が  $3\sigma$  に比べて十分小さければ、製品が許容値を外れて不合格となる事は希であるが、そうでなければ、不良品が多くなる。規格または、図面上の許容値に比べ、実際の精度誤差の分布がどの様であるかを示すのに、工程能力指数 (CP) を使う。工程能力指数は、標準偏差の 3 倍と許容値の幅の比で示す。すなわち、

両側規格の時

$$\text{工程能力指数(CP)} = \frac{(\text{上限規格}) - (\text{下限規格})}{6 \times (\text{標準偏差})}$$

片側規格の時

$$\text{工程能力指数(CP)} = \frac{(\text{平均値}) - (\text{下限規格})}{3 \times (\text{標準偏差})}$$

または、

$$\text{工程能力指数(CP)} = \frac{(\text{上限規格}) - (\text{平均値})}{3 \times (\text{標準偏差})}$$

で示す。

先進工業国では、工程能力指数の値を、1.33~1.67 の値にする事が必要とされている。また、工程能力指数 1.00 以下では、工程の大幅な改善が必要とされている。片側規格で 0.135% 以上の不良がでるなら、正規分布から明かな様に、 $3 \times (\text{標準偏差})$  以上の誤差がでている事を意味するから、工程能力指数は、1.00 以下と考えるべきで

ある。工程能力指数 0.67 は、ほぼ  $2 \times$  (標準偏差) に相当し不良率 2.2% に相当する。これより大きな不良率が出る状況は大きな問題であり直ちに工程を改善しないとイケないとされているが、残念ながら、中国の工場はこの水準が多い。図 1-18 で説明した様に、工程能力指数の不足は、検査では、解決されない品質上の問題を含んでいる。市場競争力のある製品を生産するには、少なくとも、1.33~1.67 の水準の工程能力指数を常に実現すべきである。

表 1-7 に、不良率 PPM と  $\sigma$  (SIGMA) および工程能力指数の関係を累積正規分布から計算した結果を示す。この表から明らかな様に、品質が高くなると、不良率で品質を評価する事は現実的でなくなり、SIGMA または工程能力指数で、品質を評価する事になる。尚、念の為申し添えると、図 1-18 の模式図は、小さい SIGMA の分布を使って説明用に作成したもので、実際の部品精度分布を示す図ではない。

表 1-7 SIGMA, CP, PPM の比較

SIGMA	工程能力指数	PPM (両側規格)
1	0.33	317310.5195
2	0.67	45500.1241
3	1.00	2699.9344
4	1.33	63.3721
5	1.67	0.5742
6	2.00	0.0020

米国では、これまで、5 SIGMA 運動が行われていた。これは、工程能力指数 1.67 に相当し、不良率は片側規格で、0.287PPM に相当する。5  $\sigma$  以上は過剰品質とも言われていたが、米国では、日本の品質に対抗する為、6 SIGMA を目標とする企業が現れている。6  $\sigma$  の時の片側規格不良率は 2 PPB に相当する。また、韓国では、不良率を 100PPM 以下にする運動が展開されている。不良率 100PPM は、工程能力指数 1.297 に相当する。韓国では、多くの企業が 100PPM の目標を達成している。

## 2) 日本の品質管理

品質管理の考え方は、欧米で生まれ発展してきたものであり、日本には統計学を使った管理図などの考え方が 1950 年以降に伝えられた。以下では、中国において、品質管理技術を発展させる為の参考として、管理図を中心に、日本の品質管理がどのようにして発展したかを述べる。

管理図は、1924 年に米国で、ベル電話会社のシュバート博士 (Dr. W. A. Shewart) によって考案された。1930 年台には、英国に伝わり、英米両国で管理図が使われる様になった。米国では、管理図を戦時規格に採り入れ、1941 年に Z 1 規格として公布している。管理図は、武器生産に大きな効果があったので、細部は軍事機密であったとも

言われている。戦争が終わってから、米国のウエスタンエレクトリック社、コダック社などで、管理図が活用され、大きな成果を挙げている。英国は、BS規格に管理図を採り入れた。また、フランス、スイス、チェコスロバキア、スウェーデン、イタリア、ドイツは、1953年に米国から指導者を招いて、管理図を学んだ。そして、1965年にEOQC (European Organization for Quality Control) を結成して、管理図の普及を図っている。

日本は、この様な流れから孤立し、世論調査などの為の統計学はあったが、工業分野では、テイラー方式の作業研究などを行う事が最も進んだ管理技術で、統計学を応用する考えは全くなかった。また、1950年の頃の日本の製品は、安かろう悪かろうのイメージが抜け出せないでいた。

第二次大戦後、連合国軍が日本に進駐してきて、通信機器の品質の不安定さに困り、1946年に日本の通信機器メーカーに米国式の品質管理の導入を提案したのが、日本の統計的品質管理のきっかけであった。

1946年に、日本科学技術連盟(日科技連)が結成され、日科技連が、中心となって、品質管理の研究と啓蒙、普及を始めた。日科技連は、1950年に米国から、デミング博士(Dr. W. E. Deming)を招き、品質管理の講習会を行った。この時の講義録の印税を博士が日科技連に寄付したので、この寄付を基に、基金を集めて、1951年にデミング賞ができた。デミング賞は、優れた品質管理の工場や研究者に与えられる賞として高く評価されたので、企業が統計的品質管理を導入する重要な動機となった。

デミング博士によって、日本に統計的品質管理が上陸したのだが、当初は、学者と研究者が中心になって、統計学的な考え方を強調した結果、工場関係者の間に難しい数学を使う方法であるとの誤解を広め、中々、普及しなかった。そこで、日科技連は、1954年にジュラン博士(Dr. J. M. Juran)を米国から招いて、工場の部課長を対象とする平易で実践的な品質管理のセミナーを開き、ようやく、品質管理が工場に入る様になった。また、これをきっかけにTQC的な考え方が大幅に採り入れられた。

これ以降、石川馨(当時、東京大学教授)らが、中心になって、管理図に関する著作を発表し、日本全国に品質管理が普及した。これらの著書も最初は、数学的な説明が中心であったが、次第にTQC的な解説を採り入れたものになっている。TQCは、数学に囚われなくて、企業経営全般を品質管理に結びつける考え方を強調しているので、数学になじみの薄い企業幹部や部課長が品質管理に関心を寄せる様になった。

日本では、1960年台以降、提案制度の導入などを経て、職場で、QCサークルが盛んになった。工場の実務担当者やQCサークルのリーダー達に、少しでも、統計的な考え方を導入する為に、日科技連のコンサルタントが、QC 7つ道具を考案した。これには、

- ・パレート図
- ・特性要因図
- ・グラフ
- ・チェックシート
- ・散布図
- ・ヒストグラム
- ・管理図

の7つが含まれている。これらは、品質管理の手法としては、管理図を除くと、初歩的なものであるが、企業の幹部と従業員に統計的品質管理に対する理解を深めるのに役立っている。

日本の品質管理では、統計学的な基礎の部分が、学者、研究者などによって確立され、工場実務者は、その基盤の上に、統計的品質管理を行っている。また、大きな工場の部課長クラス、中小企業の幹部などには、TQC が普及しており、実務者による統計的品質管理の導入に、積極的な支援を与えている。更に、班長、作業者クラスには、QC サークルがあって、品質管理を支えている。

日本の品質管理が、中国の品質管理と大きく異なる点は、統計的品質管理技術が基盤にあって、最大限に活用されている事である。中国では、TQC や QC サークルが導入されてはいるが、これらが形骸化して効果的に発展しないのは、統計的品質管理の基盤を欠いている為ではないかと危惧される。

## 1-5 管理図

### 1) 概要

前節で述べた様に、品質管理の主要目的は、安定した品質を実現する事にあり、この為の強力な手法が管理図である。中国では、まだ、ほとんど管理図が使われていないが、製品の品質を国際水準に高める為には、管理図の採用を欠く事はできない。本節では、管理図の手法を簡単に説明する。尚、詳しい説明は石川馨著「品質管理」などの専門書によらねたい。

### 2) 管理図の目的

通常の検査では、検査基準に合格しているか否かで品質を管理するが、管理図では、品質が安定しているか否かで管理する。管理図を採用する目的は、製品の品質を安定化する事にある。

同じ機械で同じ形の部品を作っても、必ず、出来上がった部品の寸法は、厳密に計測すると誤差がある。この様な誤差の分布は、正規分布になる事が知られている。正

規分布の形は、平均値： $\mu$ と標準偏差： $\sigma$  (SIGMA)だけによって決まる。

目標とする寸法が平均値になっている場合、正規分布では、標準偏差の3倍、すなわち、 $3\sigma$ 以上平均値から外れる確率は、常に0.27% (両側規格)である。 $3\sigma$ 以上平均値から外れた計測値が現れた時には、異常が発生したとみなして対処し、安定した寸法の物を作るのが管理図の基本的な考え方である。以下で、寸法精度などを対象として管理する $\bar{x}$ -R管理図の作り方を、例として説明する。

### 3) $\bar{x}$ -R管理図の作り方

$\bar{x}$ -R管理図は、寸法を対象として管理する管理図である。寸法： $x$ を管理するのに標準偏差： $\sigma$ を使っても良いが、標準偏差は、計算が面倒である。そこで、 $\bar{x}$ -R管理図では、 $x$ の代わりに5~10個ずつ測定値をまとめその平均値： $\bar{x}$ を使う。又、標準偏差： $\sigma$ の代わりに5~10個にまとめた測定値の中で一番大きな値と一番小さい値の差： $R$ 、これを範囲と呼んでいる、を使う。

表1-8に $\bar{x}$ -R管理図のデータシートの例を示す。この例では、外径6.4mmの軸の外径寸法を管理している。但し、 $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$ には、6.4mmからの寸法差を1000倍した数値が書き込まれている。

組番号1では、

$$\begin{aligned} & x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 \\ & = 47 + 32 + 44 + 35 + 20 \\ & = 178 \end{aligned}$$

この178が計の欄に示されている。

1組の測定値の数： $n=5$ であるから、

$$\text{平均値：}\bar{x} = 178/5 = 35.6$$

である。

5つの測定値の内、最大は、 $x_1=47$ で、最小は、 $x_5=20$ であるから、

$$\text{範囲：}R = 47 - 20 = 27$$

となる。

表1-8には同様の方法で計算した、25組のデータが記入されている。これを基に

$\bar{x}$ の平均値： $\bar{\bar{x}}$ を求める。同様に、 $R$ の平均値： $\bar{R}$ を求める。

$\bar{x}$  の合計 = 746.6      R の合計 = 686

$$\bar{x} = 746.6 / 25 = 29.9$$

$$\bar{R} = 686 / 25 = 27.4$$

$\bar{x}$  と R に対する管理限界は、R と表 1-9 に示す係数を使って次式で計算する。  
尚、UCL は上方管理限界を LCL は下方管理限界を示す。

$\bar{x}$  に対する管理限界：

$$UCL = \bar{x} + A_2 \bar{R} = 29.9 + 0.58 \times 27.4 = 45.8$$

$$LCL = \bar{x} - A_2 \bar{R} = 29.9 - 0.58 \times 27.4 = 14.0$$

R に対する管理限界：

$$UCL = D_4 \bar{R} = 2.11 \times 27.4 = 57.8$$

$$LCL = D_3 \bar{R} = (-) \times 27.4 = 0$$

この例の場合、表 1-9 には  $D_3$  の値がないが、ゼロと考える。

管理図は、管理限界を超える計測値が出たら異常と判断して対策をするために作られており、図中に管理限界線を引く事が重要である。

管理限界は、データを解析してから得られるが、これでは、作業中に管理図を活用する事が出来ないので、過去のデータから得られた管理限界を作業中の仕事の管理図に引いておき、作業中の管理はこの管理限界線を使って行い、作業後に実際のデータから得られた管理限界線を引き直して管理図を完成させる。

表 1-8 のデータを使って作った管理図を図 1-19 に示す。

表1-8  $\bar{x}-R$ 管理図用データシート

部品名	xx型xx軸		製造番号	1001		製造日							
品質特性	外径 6.4mm よりのずれ。		職場	A		機械							
測定単位	1/1000 mm		基準生産量/日	4000		作業者							
規格限	最大	6.470mm	試料数 n	5		検査員							
界	最少	6.400mm	試料採取間隔	毎時									
規格	00023		測定器										
日時													
組 No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
x1	47	19	19	29	28	40	15	35	27	23	28	31	22
x2	32	37	11	29	12	35	30	44	37	45	44	25	37
x3	44	31	16	42	45	11	12	32	26	26	40	24	19
x4	35	25	11	59	36	38	33	11	20	37	31	32	47
x5	20	34	44	35	25	33	26	38	35	32	18	22	14
計	178	146	101	197	146	157	116	160	145	163	161	134	139
平均 $\bar{x}$	35.6	29.2	20.2	39.4	29.2	31.4	23.2	32.0	29.0	32.6	32.2	26.8	27.8
範囲R	27	18	33	30	33	29	21	33	17	22	26	10	33
日時													
組 No.	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
x1	37	25	7	33	35	31	12	52	20	29	28	42	
x2	32	40	31	0	12	20	27	42	31	47	27	34	
x3	12	24	23	41	29	35	38	52	15	41	22	15	
x4	38	50	18	40	48	24	40	24	3	32	32	29	
x5	30	19	32	37	20	47	31	25	28	22	54	21	
計	147	158	111	156	144	157	148	195	97	171	163	141	
平均 $\bar{x}$	27.8	31.6	22.2	31.2	28.8	31.4	29.6	39.0	19.4	34.2	32.6	28.2	
範囲R	26	31	25	41	36	27	28	28	28	25	32	27	

n	A2	D4	D3	$\Sigma \bar{x} = 746.6$	$\bar{\bar{x}} = 29.9$	$\Sigma R = 686$	$\bar{R} = 27.4$
5	0.58	2.11	-	$UCL = \bar{x} + A2R = 45.6$		$UCL = D4 \bar{R} = 57.6$	
				$LCL = \bar{x} - A2R = 14.0$		$LCL = D3 \bar{R} = -$	



部品名称		規格		製造番号		製造期間	
品質特性		規格 限界	最大 最少	職場		検査員	
測定単位		試料数		標準生産量 /日		職場	
測定方法				機械			
測定器				作業者			

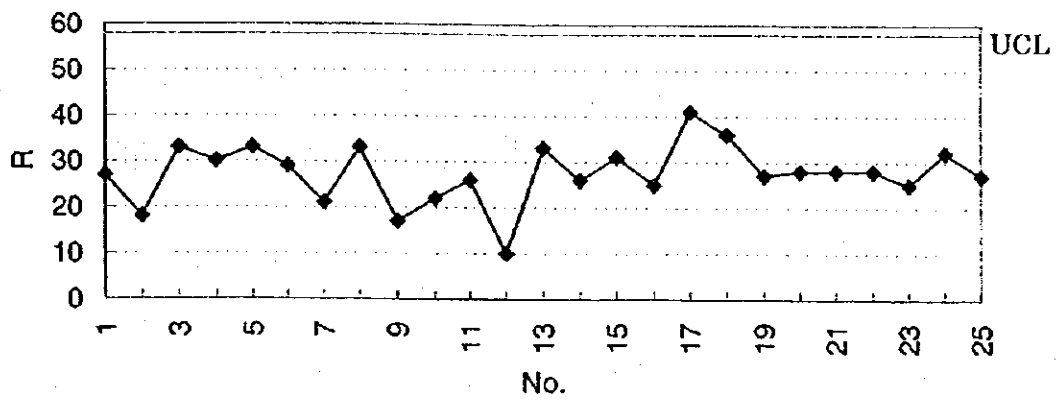
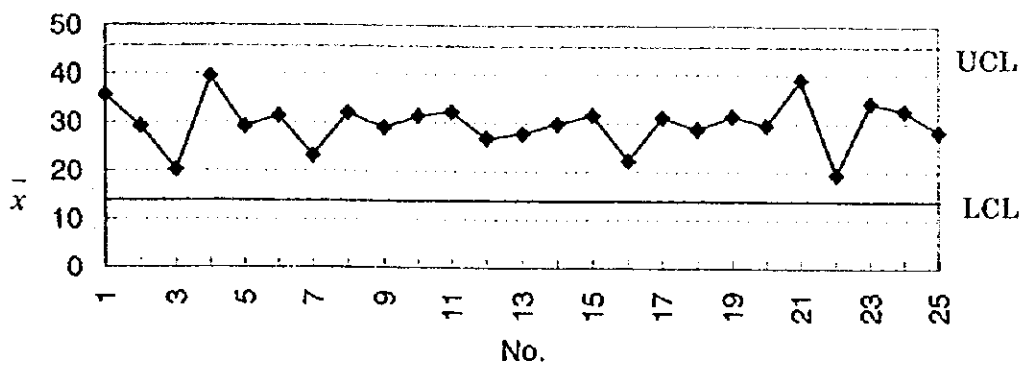


図1-19  $\bar{x}-R$ 管理図

以上の例から明かな様に、管理図を作るのに、難しい計算は必要ない。適切なデータを集めれば、誰にでも作成出来る様になっている。また、パソコンに簡単なプログラムを組んで、作成する事も出来る。上の管理図はパソコンで画いたものである。

表 1-9  $\bar{x}$ -R 管理図の管理限界を計算する為の係数表

n	A2	D3	D4
2	1.88	-	3.27
3	1.02	-	2.57
4	0.73	-	2.28
5	0.58	-	2.11
6	0.48	-	2.00
7	0.42	0.08	1.92
8	0.37	0.14	1.88
9	0.34	0.18	1.82
10	0.31	0.22	1.78

管理図には、この他に p 管理図、c 管理図、u 管理図があり、目的に応じて使い分けられている。p 管理図は、不良率を管理する為、c および u 管理図は、欠陥数を管理する為に使われる。 $\bar{x}$ -R 管理図と言うのもあるが、これは、 $\bar{x}$ の代わりに中央値： $\bar{y}$ を使う方法で、平均を求める計算が難しい時使う。しかし、中国では、教育水準が高いので、 $\bar{x}$ -R 管理図が充分使えるであろう。

#### 4) 管理図の見方

管理図の目的を十分説明しないで作業者に作らせている様な場合は、作業者は、管理図を何の目的でどの様に使うのか判らないまま、ただの折れ線グラフを画いている事が多い。この様な図には、管理限界 (UCL, LCL) が記入されていない事が多く、管理図の目的が達成出来ていない。管理図には、必ず、管理限界線が必要であり、管理限界を見ながらデータを検討して、品質管理上の判断を行う事が必要である。以下で、管理図を見て行う判断の基本となる事項を簡単に説明する。

管理図は、原理的に、発生した誤差の分布を監視している。従って、範囲：R が管理限界を超えて大きくなった時には、寸法のばらつきが増えて、標準偏差が大きくなったと考える必要がある。すなわち、図 1-18 で (2) から (1) への変化が起ったと考えるべきである。この様な状況は、工作機械が老朽化して、部品が摩耗しているような状況下で起る。逆に、ばらつきが減って管理限界の値が小さくなれば、品質が安定して来た事を意味する。すなわち、図 1-18 で (1) の状況から (2) の状況へ改善が進んでいる事を示す。

$\bar{x}$  が次第に変化して、限界を超える様な事があり、R に変化が無いとすれば、図 1-20 に示す様に、設定値が動いた事を意味する。これは、設定値を修正すれば直る。当然、設定値が動かない様、固定する対策が必要である。

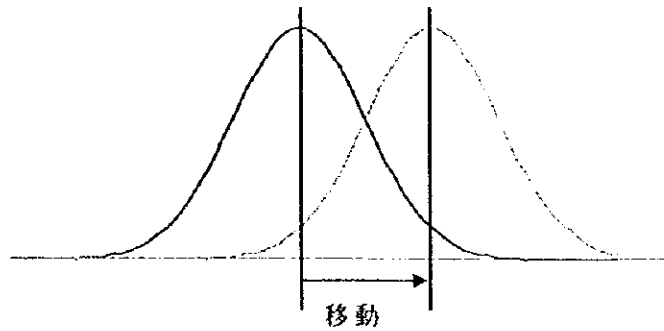


図1-20 設定値の移動 (模式図)

管理図に纏めるには、データを良く層別して置く事が重要である。元々異なった分布を示す複数の組のデータを一緒にして一つの管理図に纏めると図1-21に例示した様に分布の形が正規分布ではなくなる。この状態では、管理図による適切な判断が出来ない。層別と言うのは、この様な異なった $\sigma$ と平均値を持つ分布を示す複数のデータをあらかじめ区分して、別々の管理図に纏める事を言う。例えば、異なる機械で加工した物は、機械毎に分けて管理図を作る必要がある。層別は、管理図がうまく行かなかつたら必ず試みて見る必要がある。層別が出来ているかどうかは、データの分布図(ヒストグラム)を画いて見れば簡単に判る。

管理図上で連続して6-7点上昇または下降のいずれかの傾向を示す時は異常の前触れと見て対応すべきである。又、連続して、周期的変化を示すのも異常の前兆である。この様な場合は、管理限界を超えるデータが発生しなくても異常と考え原因を追求する。

実際の異常は複雑な変化を示すが、基本的には、上記の組み合わせである。

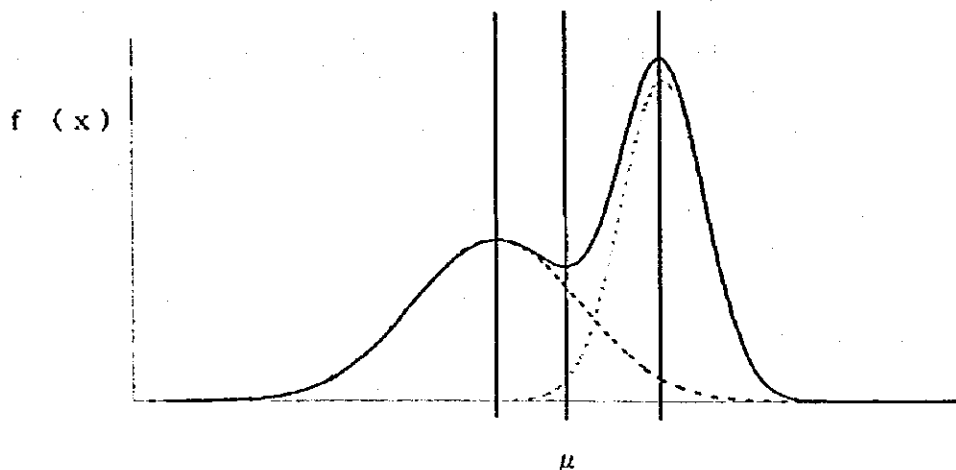


図1-21 層別されていないデータの分布 (模式図)

## 1-6 在庫管理

計画経済下で、中国の企業は、在庫管理にほとんど関心を払って来なかったのではないかと思われる。しかし、市場経済下では、過剰在庫、不良在庫は、企業の財務体質に大きな悪影響を及ぼすので、企業経営を危機に陥れる原因になっている。

以下では、欧米および日本における在庫管理の考え方と企業が実際に在庫管理をどのように行なっているかを述べる。

### 1) 在庫管理の目的

在庫は工場にとって必要であるが、製品に付加価値を付ける事(生産性)に全く貢献していないだけでなく、付加価値を損なう働きをしている。会計処理では、在庫中に起った、数量損失を棚卸損としているが、在庫で生じる損失はこれだけではなく、在庫品を買い入れた資金を工場の中で眠らせている為の損失を考えなければならない。在庫によって眠っている資金は、在庫を無くす事さえ出来れば銀行へ返却出来る性質の資金であるから、銀行から借りている資金であると考えて良い。在庫を減じる主な目的は、この種の借入金を減じる事にある。アジアでは、外国から借りていた大量の資金が国外に流出し、産業を発展させるための資金が不足している。資金の節約は国家に対する企業の責務でもある。

### 2) 在庫管理の基本的な方法

在庫には、大別して、原材料と買入部品の在庫、工程中に発生する仕掛品在庫、製品在庫の3種がある。これらの在庫は、生産と販売を円滑に進める為に必要であるが、安全を考え過ぎると大量の在庫を抱える事となる。以下で、原材料調達を中心に在庫の問題を考えて見よう。

在庫管理の方法には、基本形として、定期発注方式と定量発注方式がある。定期発注方式の方が、在庫軽減の観点からは、定量発注方式より優れた方法である。しかし、定期発注方式は定量発注方式に比べ発注費用が多くかかるので、量が多く価格が高い主要材料だけに適用し、それ以外は低費用で簡単に実施できる定量発注方式とするのが良い。まず、定期発注方式から説明する。

### 3) 定期発注方式

定期発注方式では、資材の発注を、発注間隔を決めて、例えば、毎月、特定日を決めて行なう。注文してから資材が実際に届くまでには、時間がかかる(これをリードタイムとよんでいる)ので、発注する時点はリードタイムを考えて決める。また、生産動向により資材の使用量に変動があるので、注文した資材の到着時点まで、在庫がゼロにならない様にすこし在庫量を増しておく必要がある。この為の在庫を安全在庫と呼んでいる。発注時点で、在庫量を調べ、安全在庫を考慮して、必要量を注文する

事となる。

$$\text{「注文量」} = \text{「次期間の予測使用量」} + \text{「安全在庫の不足分」}$$

次期間の予測使用量は、生産計画と日程計画を調べて決定する。安全在庫はあらかじめ数量を決めておき、過不足を調節する。

この結果、在庫は図 1-22 に示す様な変動をする。この方式では、発注間隔を一定に保つが、発注量が毎回変化する。

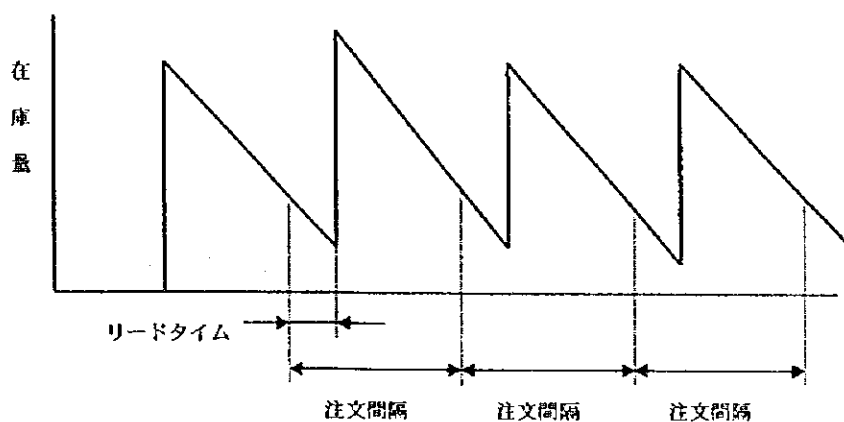


図 1-22 定期発注方式

#### 4) 定量発注方式

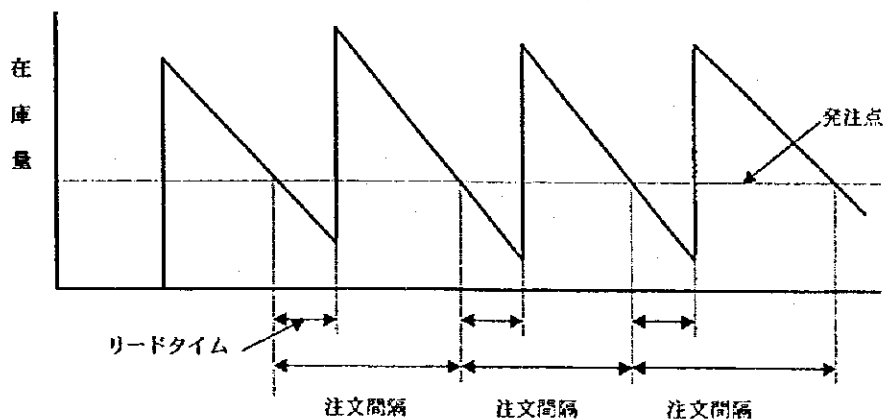


図 1-23 定量発注方式

定量発注方式は、在庫量が減じて一定量になると、決った量を注文する方法である。安全在庫とリードタイムを考えて、在庫が切れないようにするのは、定期発注方式と同じである。この方法では、在庫は図1-23の様に、発注量は一定であるが、発注間隔が変動する。

定期発注方式では、注文の度毎に、所要数量を調査しなければならないが、定量発注法では、発注点まで在庫量が減ると一定量を注文して補充するだけであるので、事務手続きが極めて簡単になる。

### 5) ツービン法

定量発注法の一つにツービン法がある。この方法では、1つの在庫品に2つの容器を用意する。最初に使いはじめた容器の中の在庫品が無くなったら、注文をする。続いて、2番目の容器中の在庫品を使うが、これが、無くならない内に、もう一つの容器に、注文した品が入るようにする。これを繰り返して行く。

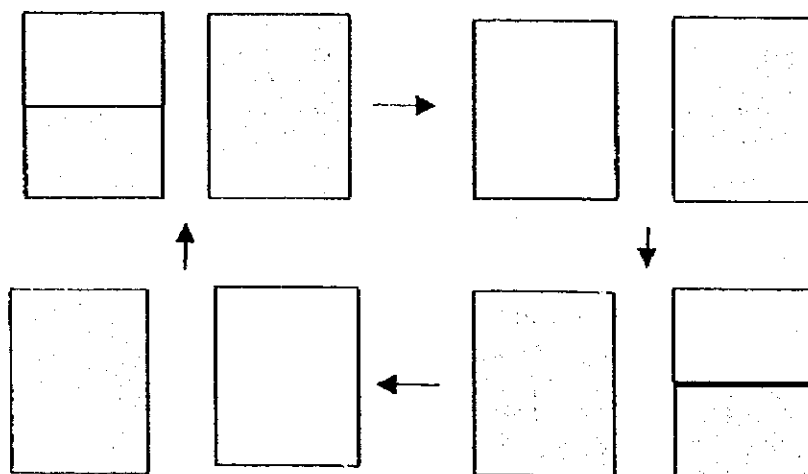


図 1-24 ツービン法

かんばん方式で、三角かんばんが使われているが、これは、定量発注方式の応用である。この方法では、発注点は、材料の途中に挟みこんだ三角かんばんの位置で示される。

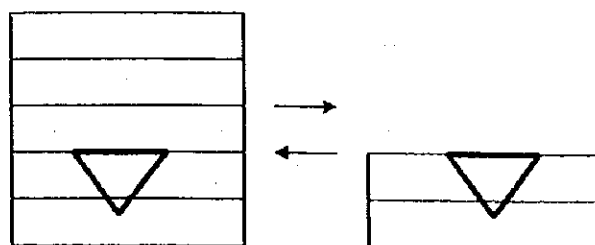


図 1-25 三角かんばん

## 6) ABC分析

定期発注にするか、定量発注にするかを決めるには、パレート図を使う。まず、原材料と買入れ部品の各々について、年間購入額を調べる。これを、購入額の多い順に並べ、多い方から累積値を計算し、図1-25の様にパレート図にして纏める。

購入額の多い2-3品目で、全体の50%を超える金額になる事が多い、この様な品目をAにランクする。また、80-90%の辺りにもう一つ区切りを設けて、この区切りとAランクとの間をBランクとし、区切り外をCランクとする。Aランクに属する資材は、定期発注とし、Cランクに属する資材は定量発注とする。Bランクに属する資材は定期発注と定量発注のどちらを採用するかを検討して決める。

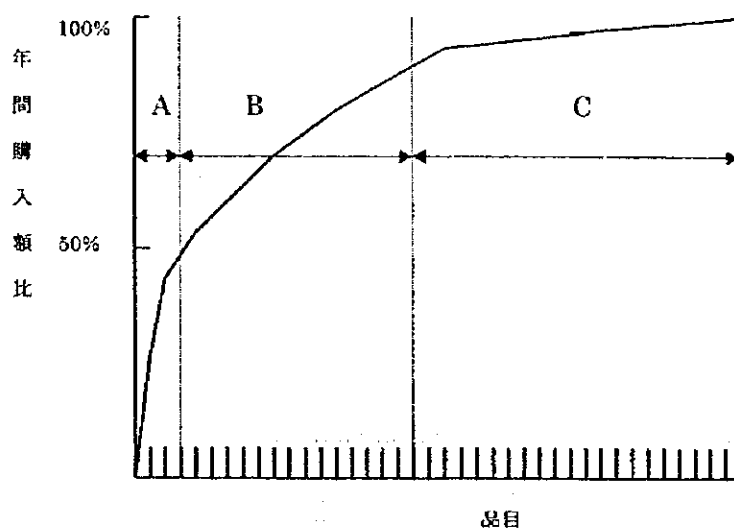


図 1-24 ABC 分析 (パレート図)

## 7) 発注間隔の最適化

在庫コストは、棚卸損、倉庫代に相当する保管コスト、および在庫額に相当する借入金の金利の合計として、計算できる。棚卸損を除き、財務会計では、これらのコストを在庫コストとして区分した計算をしていないので、殆ど関心を持たれていないが、実際はかなりの額になっている。

在庫コストは、平均在庫量に比例すると考えて良いであろう。平均在庫量は、近似的に安全在庫に1回当りの平均発注量の平均値を加えた数量と考えられる。従って、次式で計算出来る。

$$\text{在庫コスト} = a (A + D / 2N)$$

ここに、a = 定数

A=安全在庫  
 D=年間購入額  
 N=年間注文回数

式から明らかな様に、在庫コストは、年間注文回数：Nを増やせば削減出来る。

一方、注文コストは、は年間注文回数に比例して増えると考えられる。尚、注文コストには注文する為の作業コストの他、入って来た資材を受入れて検査するコストが含まれる。

注文コスト =  $bN$   
 ここに、 $b$  = 定数

この合計：Yは次式で示される。

$$Y = a(A + D/2N) + bN$$

仮に、 $A = ¥500,000$   
 $D = ¥100,000,000$   
 $a = 0.18$   
 $b = ¥100,000$

とすると、計算結果は図 1-25 の様になる。

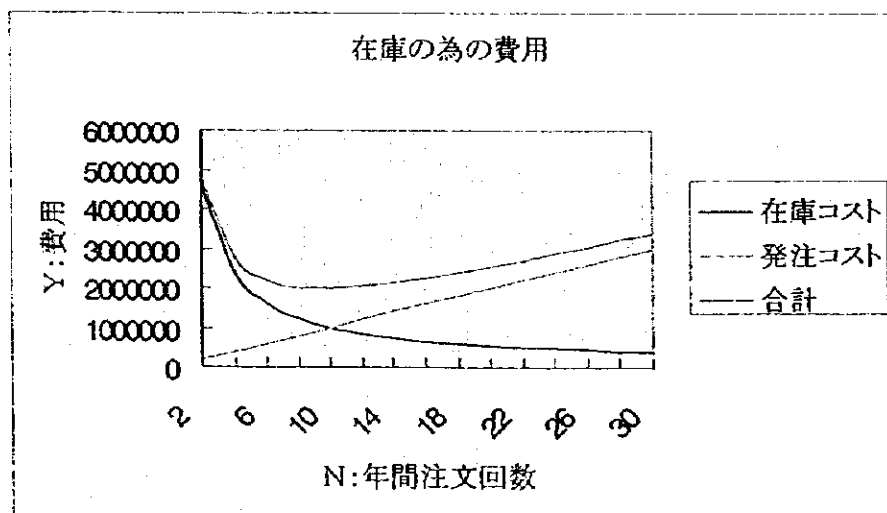


図 1-25 最適発注間隔

図から明らかな様に、合計コストが最低に成る点のNが最適注文回数である。最適



注文回数は、先に示した、YをNで微分してゼロと置いて求められる。

$$Y' = -aD/2N^2 + b = 0$$

従って、Nの最適値は次式で与えられる。

$$N = \sqrt{aD/2b}$$

先の数字を入れて計算して見ると：  $N = 9.49 \approx 10$

即ち、年に10回注文するのが最適である。

実際の場合は、この様に単純では無いので、注文間隔はある程度経験を採り入れて決めるのが良い。

この計算は定期発注モデルで計算しているが、安定した生産を仮定して計算すれば、定量発注モデルでも同じ結果になる。発注量の最適値は、Nの最適値を使って(D/N)を計算すれば求められる。実際の定量発注では、bの値がaDに比して相対的に大きい資材を扱うので、発注回数は定期発注する資材より少なくて良い事になる。

#### 8) 安全在庫の考え方

安全在庫は、使用量の変動に対応出来る数量である事が必要である。一般に、使用量の変動は平均使用量を平均値とする正規分布に従うと仮定して良いであろう。この場合正規分布表を見れば、 $2\sigma$ を超える確率： $\epsilon$ は、2.28%であり、 $3\sigma$ を超える確率： $\epsilon$ は0.13%である。従って、仮に年12回発注するとすると、安全在庫量を $2\sigma$ にすると、 $12 \times 0.023 = 0.276$  (回/年) 即ち、3.6年に1回在庫切れが起る事になり、 $3\sigma$ の安全在庫を持てば、同様の計算をすると在庫切れが64年に1回起る事になる。

在庫切れによる損失は、客先の信用の問題を採りいれると、評価が難しくなるが、ここでは、在庫切れによる直接の付加価値生産損失だけを問題にして考えて見よう。

在庫切れによる損失を論ずるには、在庫切れした数量を問題にしなくてはならない。仮に、安全在庫を持たないとすると、在庫切れを起こす回数は全注文回数に対して50%の回数である。しかし、注文数量の内、在庫切れ数量の平均は、累積正規分布で、 $50/2=25\%$ の在庫切れを起こす点で示されると考えられる。これを計算すると、 $0.67\sigma$ になる。従って、この時の損失:L(0)は、

$$L(0) = 0.67 \times 0.5c\sigma$$

ここに、 $c = [\text{製品1個当たりの付加価値}] / [\text{製品1個当たりの在庫品価格}]$

L(n) : 損失 とし、L(n) は、安全在庫  $n\sigma$  の時の損失

とする。すなわち、在庫品1個が不足すると、製品が1個生産出来なくなるから、製品1

個分の付加価値全体を失うと考える。

同様にして、

$$L(1) = 0.41 \times 0.1587c\sigma$$

$$L(2) = 0.28 \times 0.0228c\sigma$$

$$L(3) = 0.05 \times 0.0013c\sigma$$

一方、安全在庫を持つ為の在庫コストは、

$$C(0) = 0$$

$$C(1) = a\sigma$$

$$C(2) = 2a\sigma$$

$$C(3) = 3a\sigma$$

ここに、 $a = [\text{在庫コスト}] / [\text{平均在庫量}]$ ：前節の  $a$  と同じ。

従って、在庫コストと損失の合計： $L$  は、

$$L(0) = 0.335c\sigma$$

$$L(1) = (0.065c + a)\sigma$$

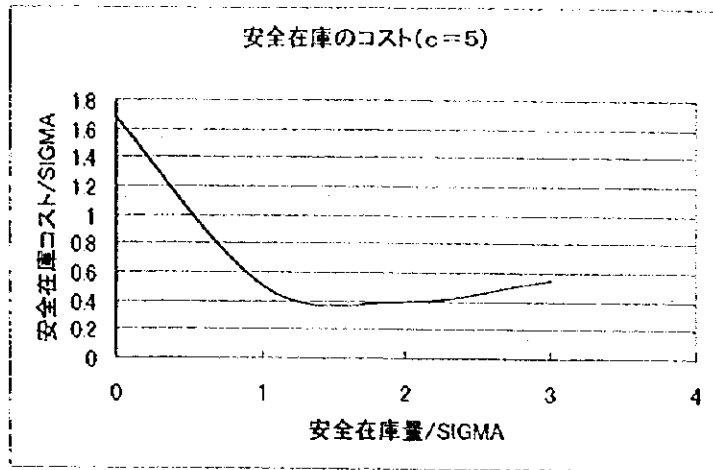
$$L(2) = (0.0064c + 2a)\sigma$$

$$L(3) = (0.000277c + 3a)\sigma$$

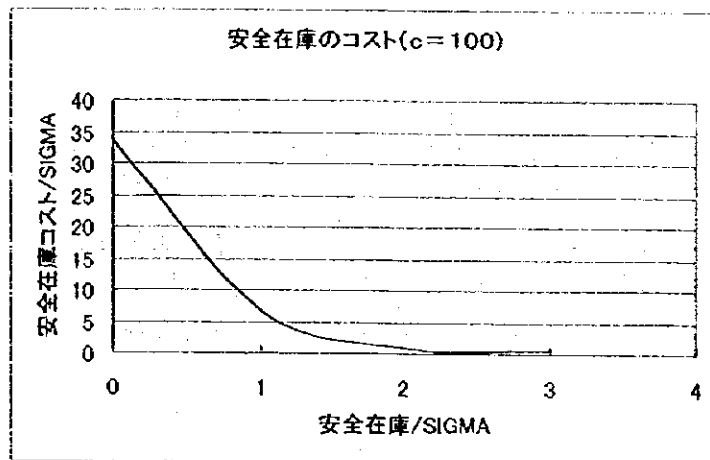
$c$  は、製品の付加価値率を 50% と仮定すると、全材料の 20% を占める様な主要な材料では、5 になるが、1% だと 100 になる。一方  $a$  は、0.18 位の値である。仮に、 $c = 5$  (主要材料) と  $c = 100$  (主要でない材料) の場合の  $Y$  を、 $a = 0.18$  として計算してみると、図 1-26 の様になる。

この計算例から判るように、主要な材料では、安全在庫を切り詰める事が有効であるが、ABC分析でCクラスの様な資材で、安全在庫を切り詰めても意味が無いばかりか、損失を増やす結果になることが判る。Cクラスの材料では、ツービン法が適切な理由がこの分析から明らかである。Aクラスの資材に重点を置いて、安全在庫を切詰めるべきである。Aクラスの材料の場合、安全在庫を  $3\sigma$  以下とするのが、一つの目安である。

材料価格が上昇する時には、安いうちに入手する目的で、過大な在庫を持つ事がある。しかし、一般的には、この様な場合でも、過大な在庫は避けた方が賢明である。在庫コストが嵩む上に、材料価格は投機的原因で変動する事が多いからである。長期的な材料価格の変動は、在庫では対処できないから、顧客と相談して、消費者側である程度吸収してもらう慣習を確立するのが望ましい。



(1)



(2)

図 1-26 安全在庫のコスト

### 9) 仕掛品

工程内に留まっている仕掛品には、原材料費と加工費が含まれている。従って、仕掛品が増えると借入金が増えるので問題である。仕掛品には、加工中の物と、加工待ちになっている物がある。この内、加工待ちの品物を無くす事が重点である。

流れ作業では、一個ずつ物が工程間を流れるので、原理的に1個以上の物が1工程間に滞留する事はない。物が滞留するのは、タクトタイムに全部の作業を合わせる事が出来ないの、工程によっては待ち時間が出るためだけである。従って、ラインバランスの良い流れ作業では、ほとんど、仕掛品が出ない。流れ作業は、仕掛品在庫を減す効果的な方法である。

ロット生産では、単個流し生産に比べて大きく在庫が増える。ロットの大きさに比

例して、1工程にかかる時間が長くなるから、100個ロットで全工程を作業すると、単個流しに比べて100倍に仕掛品が増える。作業者は、ロットが大きいと、作業が楽になる様に思う。この為、作業者はロットを大きくしがちである。流れ作業を前提に機械を配置した工場でも、事実上、ロット生産になっているのを良くみかける。このような工場では、仕掛品を置く場所が計画されていないから、状況は一段と悪く、作業能率が低下する。

運搬が問題で、仕掛品を発生している工場も多い。これは、貯めておいて運搬する為である。流れ作業でも、工程の始めと終わりはこの形になる。出来るだけベルトコンベアで、一個ずつ運搬するシステムを採り入れ、工程をつなぐ事が必要である。

バッチでしか処理できない工程もある。熱処理等の炉を使う工程がそれである。この様な工程の前にバッチ数量に達するまで、仕掛品が積まれる事になる。大きなバッチにしない様、小さい装置を複数持つ等の工夫が必要である。バッチが大きいと、生産の流れが、この工程で止まってしまい、他の工程まで引きずられて悪くなる。

かんばん方式は、仕掛品を少なくする効果的な方法である。しかし、作業負荷が一定していないと仕事待ちが生じる。この問題は、従来の吹米法による生産管理の時も同じ様に起るが、従来法では、作業者が余分な仕掛品を持つ事で仕事待ちを避けるようになる。従って、従来法では、工程間の負荷の平準化（ラインバランス）が、仕掛品を少なくする為に重要である。ラインバランスが悪い工場では、至る所に仕掛品が山積みされている。

#### 10) 製品在庫

製品在庫の発生する理由は、客先の注文量が変動する事にある。従って、基本的には、8)項で原材料の安全在庫について述べた考え方を適用すれば良い。

安全在庫的な考え方による在庫以外に、工場は、安定した高い操業度を保つ為に、需要の変動を吸収出来るだけの数量の製品をプールして置く事がある。また、在庫切れで供給がとぎれると、他の業者が自社の得意先に参入する機会を提供する事になるので、営業部門が他社の参入を避ける為に在庫を積増す事がある。しかし、操業度安定の為、他社の参入防止の為などの理由で、過大な在庫を持つと、販売できないで残る不良在庫が発生する確率が高い。製品の不良在庫は損失が大きいので、このような理由で在庫を追加するのは避けた方が賢明である。

製品在庫は、不良在庫に為った時の処分が難しく、在庫品は年月を経ると陳腐化してますます処分できなくなる。

製品は原価が大きいので、在庫コストが高価である。従って、在庫損失が他の在庫より大きい。通常原価計算では、在庫コストを製品に直接賦課する方法を採らないから、製品在庫を持つことで発生するコストが十分認識されていない。この為、製品在庫は適正量を超えて大きくなりがちである。原材料の安全在庫と同様、在庫コストと在庫切れによる確率的損失のバランスを考えて、適正在庫を決めるべきである。

受注生産の工場が、見込生産で大量の製品在庫を持つのは危険である。不良在庫の原因になる事が少なくない。しかし、市場に見込生産で生産した製品を販売している企業では、見込違いの危険性は避けられない。但し、見込生産の市場では、品切れによる損失は、特定顧客に供給している場合に比べかなり小さい。製品在庫を適正化するには、客先が供給している商品流通市場の状況を良く把握して、市場の変動に迅速に対応出来る事が必要である。また、販売部門の作る販売計画の精度を高める必要がある。さらに、生産部門は生産能力の情報を営業部門に流す必要がある。これには、負荷計画図（工数山積表）が有効である。販売部門と生産部門の密接な連携が製品在庫を減すのに役立つ。

## 1-7 機械設備の保安全管理

### 1) アベイラビリティ (Availability)

機械の稼働率が低い工場では、機械の能力に実質的な余裕があるので、機械の故障による停止は、従業員の努力でカバーされ大きな問題になっていない事が多い。しかし、日程計画、負荷計画等がきちんに行われ、機械の稼働率が改善されて来ると、機械の故障が日程計画の支障になって来る。実際に、機械の故障が多い事を理由に日程計画が出来ない工場もある。この問題を解決するには、機械の故障自体を管理する必要がある。機械の故障が起こる状況が判れば、計画にそれを折込む事が出来る。また、機械の故障が起こってから修理する事後保全 (CM) に加えて、あらかじめ、故障を起こす前に開放点検をして部品の取り替えをする予防保全 (PM) を採り入れて、故障を大幅に減少する事が出来る。

日程計画は、機械が使用出来る状況にある事を前提にしている。しかし、機械が全く故障しないと考える事は現実的でないので、故障して使えない状況を考えて置く必要がある。一般に、機械が使用出来る状況にある時間を、使用を計画している時間で除して計算されるアベイラビリティ：Aがこの為の尺度として使われる。

$$A = (\text{計画使用時間} - \text{故障及び保全の為使用出来ない時間}) / (\text{計画使用時間})$$

アベイラビリティが判れば、工程計画に機械故障に対応する為の余裕を見込む事が出来る。Availability には適当な訳語がないので、日本ではアベイラビリティの語がそのまま使われている。

### 2) 故障のモード

故障の起こる頻度は故障率： $\lambda$  で表される。一定時間：T の間に n 回故障が起こったとすると、

$$\lambda = n/T$$

で表される。また、この逆数、即ち、平均何時間に一回故障が起こったかを示す MTBF (Mean Time Between Failure) が同じ目的に用いられる。

$$MTBF = T/n$$

一般に、機械は使い初めには故障が多く現れる、これは、使いなれていない事にも原因があるが、悪い部品や間違った部品が使われていて起こる事が多い。この種の故障は初期故障 (Initial failure) と呼ばれていて、使っていると減って来る。電子機器では、初期故障によるトラブルを客先に持ち込まない為に、一定時間工場で、使用状態にしてテストを行なってから出荷する方法が採られている。これは、エージングとか、デバッキングとか呼ばれている。機械では、こうした方法は殆ど採られていないが、通常、ランニングインの期間を設けて、工場に機械を据え付けた後、1-2ヶ月かけて調整を兼ねた試験運転をする。この期間は、試運転中の機械を生産計画に含めないのが普通である。

初期故障が終わると、機械は安定した運転状態に入る。この状態では、機械の故障率はほぼ一定になる。この段階では、故障は、偶発的 (at random) に起こるが、どの様に時間区間を採って計算しても、故障率はほぼ一定となる。この状況で起こる故障を偶発故障 (Random failure) と言う。偶発故障の続く期間の長さが一般に機械の寿命であると考えられている。

偶発故障期間が終わると機械は老化して、寿命がなくなる。この段階では、機械の故障が頻繁に起こるようになる。機械の故障率は次第に上昇し、機械は使用に耐えなくなる。この状況は主として機械の磨耗が原因で起こるので、磨耗故障 (Wear-out failure) と呼んでいる。理論的には、機械は機会損失を含めた機械の故障によって生ずる損失が、新しい機械の購入によって生じる費用を上回る点で買い替える事になる。しかし、実際は、機械の多くは、陳腐化が原因で磨耗故障による寿命が来る以前に買い替えられている。以上の状況を、図 1-27 に示す。

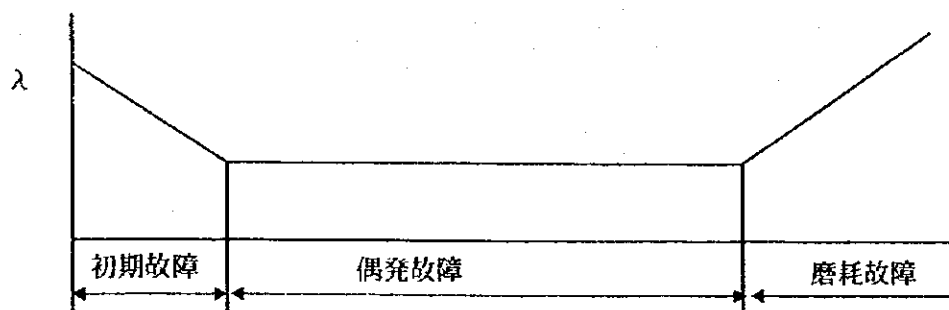


図 1-27 故障モード

### 3) 信頼度

機械の信頼度では、アベイラビリティと違って、修理して回復することを考慮しない。故障率  $\lambda$  は、一定時間内故障しないでいる機械に対する、故障した機械の率で定義される。極限では、次式で示される。

$$\lambda(t) = \frac{-\frac{dR(t)}{dt}}{R(t)}$$

偶発故障区間では、故障率： $\lambda = \text{一定}$  になるので、上の微分方程式の解は、初期条件に、 $t=0, R(t)=1$  を入れると：

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

となる。ここで、 $\lambda t$  は  $1/\text{MTBF}$  であるから、MTBF との関係で容易に  $R(t)$  を推定できる。

$R(t)$  は、累積確率分布を示しているから、特定の故障率の起こる確率の分布、即ち、確率密度分布： $f(t)$  は、 $-R(t)$  を時間で微分して求められる。

$$f(t) = -dR(t)/dt = \lambda e^{-\lambda t}$$

機械 1 台毎に記録して MTBF を計算する事も可能であるが、同種の機械を 1 つのグループにして、運転時間と故障回数をグループ全体の累積で求め、MTBF を計算することができる。n 台の機械があるとする。

$$\text{MTBF} = nt / \sum r$$

この場合、一定時間： $T$  の間に、 $c$  台以上の機械が故障する確率  $F(c)$  は、高い近似度で、図 1-28 に示す累積ポアソン確率図から求められる。

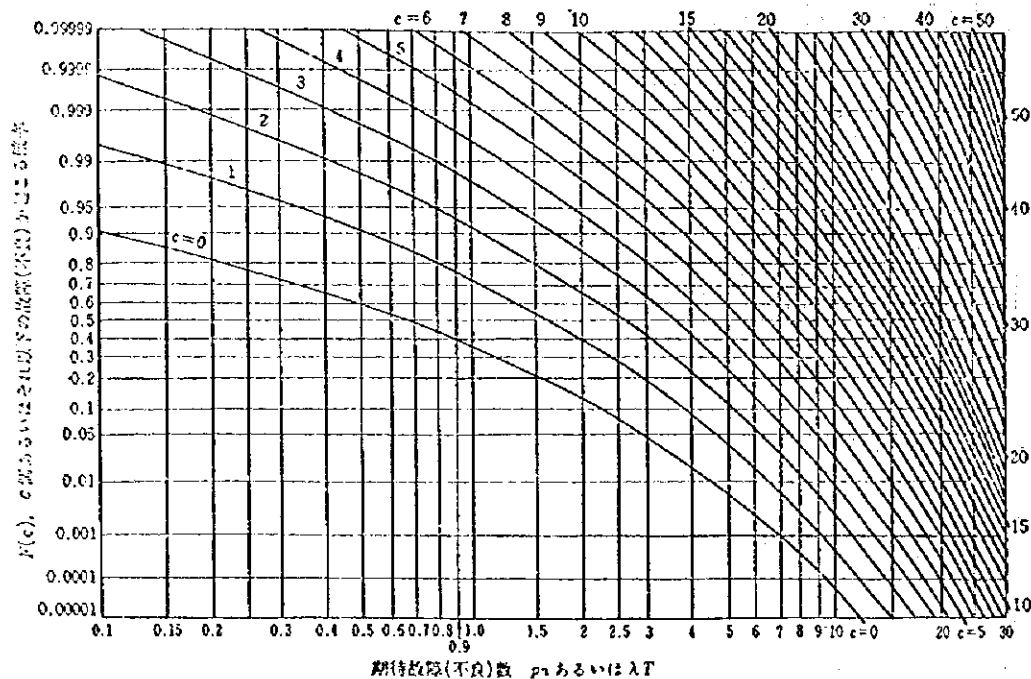


図 1-28 ポアソン累積確率：故障率 $\lambda$ の故障がT時間内にc回以上起こる確率： $F(c)$ （塩見弘「信頼性入門」による。）

#### 4) 予防保全 (PM ; Preventive Maintenance)

故障が発生する前に、予防的に機械を開放点検して部品を交換する方法を予防保全 (PM: Preventive Maintenance) と言う。これに対して、故障が発生してから行なう修理を事後修理 (CM: Corrective Maintenance) と呼ぶ。

機械は多数の部品から成り立っており、これらの一つ一つの部品について、磨耗故障が起こる。しかし、全ての部品で一斉に起こるのではなくて、短い期間で磨耗故障が起こる部品もあれば、長期間磨耗故障が起こらない部品もある。機械はどの機械部品が磨耗故障を起こしても使えなくなるから、短い期間で磨耗故障を起こす部品を予測して、磨耗故障が起こる前に取り替えて行けば、機械全体の寿命を伸ばす事が出来る。予防保全を実施すれば、磨耗故障を防げるので、故障は、偶発故障だけになる。偶発故障は管理し易いので、故障による問題は大幅に軽減される。

航空機のエンジン等では、この考え方が徹底して採用されており、エンジンは決められた使用時間が来ると開放点検 (Overhaul) される。そして、決められた部品を故障が発見されなくても、故障した部品と同様に交換する。この手順はエンジンメーカーと航空会社の整備部門によって、マニュアル化されている。一般の機械でも、この方



法を採り入れて、機械の寿命を伸ばし、機械の故障を管理することが出来る。

機械は、機械の設計；構造、材質等によって、また、潤滑油の品質等によって開放点検しなければならない期間に差異がでる。また、機械に過負荷をかけない様に操作する、注油、清掃等日常的なメンテナンスを行なう等の事が、開放点検の間隔を伸ばすのに役立つ。開放点検の平均間隔は MTBO (Mean Time Between Overhaul) と呼ばれている。予防保全を採り入れた後の課題として、開放点検の作業を能率良く行ない予防保全に必要な時間を短縮する事と、MTBO を伸ばす工夫が求められる。

#### 5) TPM : Total Productive Maintenance と マニュアル化

5 S 運動は、最近、どの職場にも広く普及している。5 S は、整理、整頓、清掃、清潔、躰 の 5 項目からなっている。機械の保全をこの 5 項目に結び付けて現場で実行してもらおうと良い。日本プラントメンテナンス協会（5 S を推進していた日本能率協会から発展的に分離して出来た協会）では、5 S 運動から発展した機械保全の方法をマニュアル化して TPM として進めている。以下にその要点を紹介する。

5 S と対応させて、機械保全を次ぎの様に考える。

- 整理・・・不具合箇所と破損箇所の発見
- 整頓・・・予備品、潤滑油、作動油、切削油等の管理
- 清掃・・・機械設備の点検
- 清潔・・・目で見る管理
- 躰・・・決まり（マニュアル）を守る

この考え方による保全の要点は次の様になる。

- ・機械を実際に使っている作業者に、定期的に、例えば毎月一回、第一金曜日（別の職場では、別の金曜日として、修理係りの負荷平準化を図る）の作業終了時を少し早めて、15分間機械をとめて、機械を清掃し、点検させる。不具合又は破損した箇所を発見すれば、荷札に不具合を書いて不具合箇所に取り付ける。簡単な修理は作業者が自分で行なうが、そうでない箇所は、修理班に通知する。修理班は通知を見て、修理する箇所を纏め、計画的に修理をする。（休日、夜間等の作業のない時間を利用して修理する事が多い。）
- ・軸シール、パッキン、軸受け等磨耗を起こしたり、劣化したりする部品は、累積運転時間に基づいて、定期的に交換する。修理班は、何時どの機械をどのくらいの時間修理の為に止めるかを計画して、工程計画係りに知らせ、計画的に修理を行う。簡単な箇所の部品取替えは作業者が行ない、難しい箇所は、修理専門工が行なう。

- ・目で見える管理が出来るように、監視、測定計器を見易い場所に移し、操作端には、明瞭な表示を付ける。また、操作し易い位置に操作端を移す。これらは、誤操作や操作遅れ等の人的な原因で起る故障を防ぐ為である。改修作業は作業者が行なうが、難しい場合は修理専門工に依頼する。
- ・潤滑油、作動油、切削油については定期的に作業者が交換、補充を行なう。フィルター等については、作業者が目詰まりの状況を点検し、清掃又は取替えを行う。汚れがひどい様なら、修理専門工がフラッシングを行ない、油を取り替える。
- ・磨耗や劣化を起こす部品の寿命については、部品メーカーが使用条件に応じた寿命を試験して発表している事が多いので、これを参考とし、独自の経験を加えて、技術部門で交換基準を決める。
- ・定期的交換を計画的に行なう為、購買部門は必要な情報を入手して計画的に予備品の購入及び管理を行う。
- ・これらの保守管理の手順はマニュアル化して作業者および他の関係者に配布する。誰が何時何をどのように行なうかをマニュアルに明記する。
- ・作業者にマニュアルを実行してもらう必要がある。この為に、一台一台の機械について、その機械を使っている作業者を機械の保全担当者に任じ、機械毎に表示する。しかし、この担当者は、機械を5SとTPMによって機械を維持管理する責任者で、修理は別の専門技能者（外部に頼む事も含めて考える）に上司を通じて頼む。
- ・修理を依頼し、修理の為の工程への影響を調節するのは作業者の責務ではなく、管理者の担当する責務である。

## 6) 故障記録と統計

制度とマニュアルは、若干の手間をかければ、作る事が出来る。しかし、実際に即して役立つ様に運用するには、具体的な機械の故障についての統計資料が必要である。この種の統計資料を得る為には、機械に実際に発生した故障を統計にとり、これを処理する必要がある。以下で、その方法の要点を述べる。

故障統計をとる目的は大きく分けて次ぎの3つである。

- 1、アベイラビリティを計測する。
- 2、保全計画を立てる。
- 3、故障の原因を究明する。

従って、次ぎの事を記録する必要がある。

- 1、故障した機械（何で）
- 2、故障した部品（何が）

- 3、どのように（故障の現象）
- 4、何年何月何日何時に故障が発生したか（使用開始からの時間）
- 5、故障によって停止していた時間と修理に要した時間
- 6、修理に要した費用または、故障の程度
- 7、故障の影響予測（納期の遅れ等、予想を述べて対策する）
- 8、故障原因（調査をする必要がある。しかし、記入は、判明してからで良い）

機械毎に記録を作成すれば、どの機械に起こった故障であるかが明らかにできる。また、機械の据え付け稼働開始年月日または前回修理年月日を調べて備考に記載しておけば、故障発生までの経過時間がすぐ計算できる。理論的には、機械を実際に動かした運転時間の累積値が欲しいのであるが、これを作業者に報告させる事は難しいので、別途計画使用時間と稼働率を調査して推定する。

故障した部品が、記録作成時に具体的に判らないときは、例えば、油圧系、電気系といった表現でもよい。後で、部品名が判ってから追記するとよい。磨耗部品の故障については、予防保全との関連で必ず部品名を記入する必要がある。

故障の原因は、すぐには判らないのが普通である。故障の原因を作業者の不注意とか操作誤りにしてしまう事は避けるべきである。この様な原因を挙げても、技術的処置が不可能である。表示不良とか操作端の不具合とかいった技術的改善が出来る原因を見出す事が大切である。原因を急いで記入する必要はない。故障の現象は見れば判るのであるからこれを記入する。例えば、ボルトが折れたとか、ナットが緩んだとか、軸受けが焼け付いたとかである。現象から真の原因を究明する。特に、繰り返し起こる故障の場合は統計があれば究明が容易になる。

故障が発生した日時記録は、故障の発生間隔を知り、MTBFを知る為に重要である。故障によって停止した時間は、故障の修理に要した時間と修理に取掛る迄の待ち時間等、修理の前後に生じたムダ時間とを区別して記録し分析する。

故障の修理に要した費用は故障の規模を示す一つの指標である。但し、正確な費用は、修理後にならないと判らないので記入が面倒である。代わりに、故障の規模を、例えば、修理費 10 万元以上をA、1 万元以上 10 万元以下ををB、1 万元以下をC等に分けておき、推定修理費規模を記入するのも良い。

故障が及ぼす工程遅れ等の影響が、工程計画に重大な影響を与える事が予想される場合は、急いで対策を立てる必要がある。従って、その事を故障記録に特記し、関係先に配布して対策を立てる。

図 1 - 2 9 に故障記録用紙の一例を示す。また、図 1 - 3 0 に故障記録集計用紙の一例を示す。

故障記録	機械番号	機械名	作成者
故障発生日時 月 日 時 分	故障の程度 A B C		故障発生箇所 (部品名)
停止時間 修理待ち 時間 分 修理時間 時間 分 作業待ち 時間 分 計 時間 分	故障の影響		故障現象
故障原因			
備考			

図 1-29 故障記録

故障統計 (まとめ)		年 月 日	作成者
機械番号	機械名	故障間隔	停止時間
	計		
	平均	(MTBF)	(MTTR)

図 1-30 故障統計

### 7) 保全性

機械の故障は頻繁に起こるものではないが、機械のアベイラビリティは、故障による停止時間に大きく影響される。高いアベイラビリティを実現するには、故障発生の際の停止時間を短くする事が必要である。停止時間の平均値は、MDT (Mean Down Time) と呼ばれている。MDT には、実際に修理に費やした時間の他に、修理工が来

るまでの修理待ち時間、修理が終わったのに機械が作業に入れなかった作業待ち時間が含まれる。これらは、改善でゼロに近く出来る時間である。改善の結果、停止は殆ど修理時間だけの状況になれば、MTTR (Mean Time To Repair) だけが問題になる。

機械を全く修理しないでいると、故障した機械が使用出来ないので、アベイラビリティは、次第に下がって来る。この様な状況を仮定して、機械の生存率を示す指標が先に述べた信頼度： $R(t)$  である。これに対して、故障して使用出来なくなった機械の比率を不信頼度： $F(t)$  とする。両者に次の関係がある。

$$R(t)+F(t)=1$$

全く修理が行われない場合には、アベイラビリティ： $A=R(t)$  となるが、修理を行なうと、 $F(t)$  の一部が回復する。回復する比率を  $M(\tau)$  とすると、

$$A=R(t)+F(t)\cdot M(\tau)$$

となる。この様な  $M(\tau)$  を保全性と呼んでいる。

ここで、 $\tau$  は、故障が発生しても、この時間以内で機械を修理して使用出来る状況にすれば、工程への影響が無視出来るとして決めた制限時間である。 $M(\tau)$  は  $\tau$  時間以内で修理出来る確率を示す。 $\tau$  が 0 の時、確率  $M(\tau)$  は 0 であるが、 $\tau$  を大きくすると、 $M(\tau)$  は大きくなる。しかし、1 以上にはならない。

$M(\tau)$  は、 $\tau$  だけの関数ではなく、修理時間 MTTR (または、MDT) の関数である。MTTR が一定に保たれるとすると、MTTR の逆数を  $\mu$  として、

$$M(\tau)=1-e^{-\mu\tau}$$

の関係がある。

工程計画を標準時間に基づいて立てている時には、 $\tau$  は、余裕時間の取り方や、緊急時の残業の可能性等によって決まる。適切な余裕時間を持つことが必要である。

MTTR は、次の機械側要素と、人的要素の二つで決まる。

- ・機械の MTTR は、部品の取り外し交換が容易であるか、交換部品が短時間で入手出来るかによって決まる。購入時に、価格、性能だけでなく、これらを考えて購入する。また、メーカーの故障修理サービスの善し悪しを考慮に入れる必要がある。
- ・人的要素は修理専門部門の人の、技術と技能の問題である。良い修理専門家がいると、適切な修理設備を整備出来る。機械を良い設備で修理する工場には良い技能者が集まるので、これらは相互に関連している。

機械の保守管理が計画的に行われていない工場では、故障の為に修理部門の負荷（作業量）が大きく変動し、難題が集中する。これでは、MTTR は改善出来ない。機械の保守はデータを基に計画的に行なう事が重要である。

## 8) ワイブル分布

先に、初期故障の段階では、運転時間の経過とともに故障率が減少する傾向のある事、偶発故障の期間は、時間に関係なく故障率が一定になる事、磨耗故障の段階では、運転時間の経過とともに故障率が增大する事を述べた。また、偶発故障の場合は信頼性  $R(t)$  と故障確率密度関数  $f(t)$  が、指数関数になる事を示した。これに対して、磨耗故障では、故障確率密度関数は、正規分布に近くなる。

初期故障、偶発故障、磨耗故障の全体をカバー出来る、 $R(t)$  の関数形として考え出されたのが、次式で示されるワイブル分布である。

$$R(t) = \exp\left(-\frac{t^m}{t_0}\right) = \exp\left(-\frac{t}{\eta}\right)^m$$

$$\text{ここに、 } \eta = t_0^{1/m}$$

$$t_0 = \text{MTBF}$$

この分布は  $m$  の値によって次ぎに示す故障の分布を現す：

$m < 1$  . . . . . 初期故障

$m = 1$  . . . . . 偶発故障

$m > 1$  . . . . . 磨耗故障

この分布は対数を使って変換すると、

$$\ln \ln 1/R(t) = m \ln t - \ln t_0$$

となる。従って、

$$y = \ln \ln 1/R(t)$$

$$x = \ln t$$

と置けば下の様に一次式になる。

$$y = m x - \ln t_0$$

縦軸を2重対数目盛りに、横軸を対数目盛りにした、ワイブル確率紙が市販されているので、面倒な計算をしなくてもデータを、ワイブル確率紙の上にプロットすることで、ワイブル分布を使った解析ができる。ワイブル確率紙を使った解析の方法を例題で示す。結果は、本節末に示してあるので、これを参照しながら読んでほしい。(この例題は、塩見弘「信頼性入門」によった。)

15 台の機械があり、故障が、次の様な運転時間 (単位:時) の後に起こったとする。

200,1100,1100,1300,1700,1800,2000,2400,2700,2900,2900,2900,3000,3900,4400

この方法の場合、不信頼性:  $F(t)$  は台数に 1 を加えた数 (自由度) で除して計算する。従って、故障が一回ある毎に、 $1/n+1=1/16 = 6.25\%$  ずつ、 $F(t)$  が増える。 $t$  は目盛りの都合で 100 時間を単位にして記入する。

t	2	11	11	13	17	18	20	24	27	29	29	29	30	39	44
F(t)	6.25	12.5	18.75	25	31.25	37.5	43.75	50	56.25	62.5	68.75	75	81.25	87.5	93.75

ワイブル確率紙にデータをプロットして、データの傾向を示す直線を引く。この直線の勾配が  $m$  を与える。 $m$  を求めるには、基線:  $x=0$  (Y軸) から、1.0 離れて、基線:  $y=0$  (X軸) の上にある点 (この点は、ワイブル確率紙の上に小さな丸がついている) からデータをもとに引いた線と並行に線を引いて、基線:  $x=0$  (Y軸) との交点を求め、この点の  $y$  座標を右の目盛りで読めば  $m$  の値である。 $\eta$  の値は、データから求めた直線が基線:  $y=0$  (X軸) をきる点の  $x$  座標を読めば求まる。

この様にして本節末の図から求めた結果は、 $m=1.95$ 、 $\eta=27$  である。 $m>1.0$  であるから、磨耗故障と考えられる。データが少ないのではっきりしないが、点線で示した様だと、点線の区間は、 $m=1.0$  で偶発故障である。MTBF は、図に  $\mu$  で示されている。 $m$  の値を基に、 $\mu/\eta$  が求められるノモグラフがついているので、これを使うと、 $\mu/\eta=0.8865$  であるから、 $\mu=0.8865 \times 27=23.9$  である。100 倍して、MTBF は、2390 時間となる。点線の部分の MTBF は同様の方法で、5000 時間である。

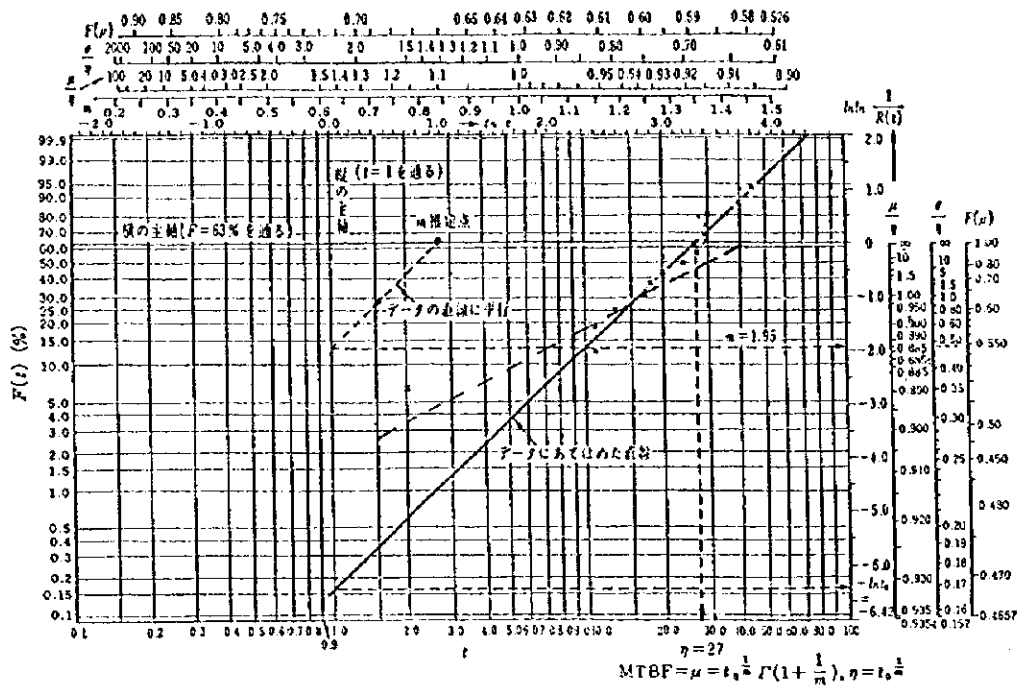


図 1-31 ワイブル確率紙 (塩見弘「信頼性入門」による。)

### 9) まとめ

機械の故障は、突然に起こるので、工程計画を実行する上で大きな支障になる。故障自体が、工場の稼働率を低下させる原因になる上に、故障による納期遅れを恐れて、過剰に予備の機械を持てば、設備過剰が機械の稼働率を低下させる。故障の問題は、確率論的に考えて、統計によって処理するのが適切である。本文では、これまでの研究で統計的に判っている故障についての理論を纏めて示し、この様な理論によって、機械設備を管理する方法を述べた。また、故障は、作業者による日常的なメンテナンスによって、大幅に改善される。5 S及び5 Sから発展したTPMはこの様な考え方に基づいている。



## 2. 提言集総括



## 2. 提言集総括

### 2-1 まえがき

生産管理の提言総括は、利用できる中国工場近代化報告全部の中から、中国における生産管理関係の問題点の指摘と提言を抽出してまとめたものである。

内容を生産管理の中のいくつかのテーマに分け、問題のレベルを次に示す A、B、C の3つに分けて示した。

- A: 中国の多くの企業で問題になっている重要な問題。
- B: 中国のかなりの企業で問題であるが、改善の進んでいる問題。
- C: 中国の多くの企業ですでに改善している問題および軽微な問題。

### 2-2 生産計画

中国では、計画経済が長い間行われていたので、国、市などの経済委員会が生産計画を作成し、各工場はこの計画に基づいて生産する方式が採られていた。この方法は改められているが、生産計画は、そのままの形式を留めて作成されている。しかし、各工場には、市場を調査する能力がないから、生産計画は実態と合わない物になっており、販売実績との間で差異を生じている。

#### レベル B

- ① 年次および月次の生産計画をほとんどの企業が作成している。また、生産実績、販売実績は、調査して記録している。しかし、生産計画と販売計画の不一致、計画と実績の不一致が大きい（多くが、生産過剰である）これが、製品在庫を大きくしている。適切な対応による調整とフォロアップの必要性がある。

表 2-1 調査例 1 生産計画と販売計画

単位 (万元)

年度		1986	1987	1988	1989	1990
生産高	計画	530	900	1200	1350	1500
	実績	903	1060	1340	1364	1351.38
	完成%	170.38	111.78	111.68	101.03	90.09
販売高	計画	900	1000	1100	1400	1400
	実績	809.38	718.36	1094.32	119.66	869.64
	完成%	89.93	71.84	99.48	79.97	62.12

## 2-3 工程管理

中国には、中国独自の工程管理の方法が普及しており、ほとんどの企業が中国式の方法によって工程管理をおこなっている。この方法では、月次生産計画を基に日次に生産量を割振って生産指示を行ない、月毎の生産量を月次の生産計画と対比して生産状況を確認している。しかし、工程の進行日程が計画されておらず、非常に粗雑な管理になっている。欧米、日本では、ガントチャートを使った伝統的な方法が確立されており、この方法の導入が課題である。

### レベル A

- ① 標準工程図は、作成されている。しかし、検査、停滞などの記入がない、ブロック図である為、十分な情報が盛り込まれていない。従って、工程分析が出来ない。品質工程線図と呼ばれている線図を普及させる必要がある。

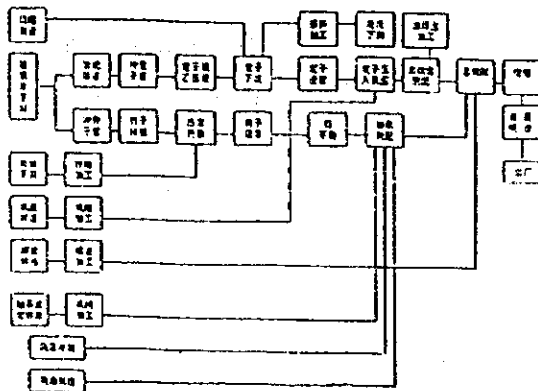


図 2-1 調査結果例 2 電動機の工程線図

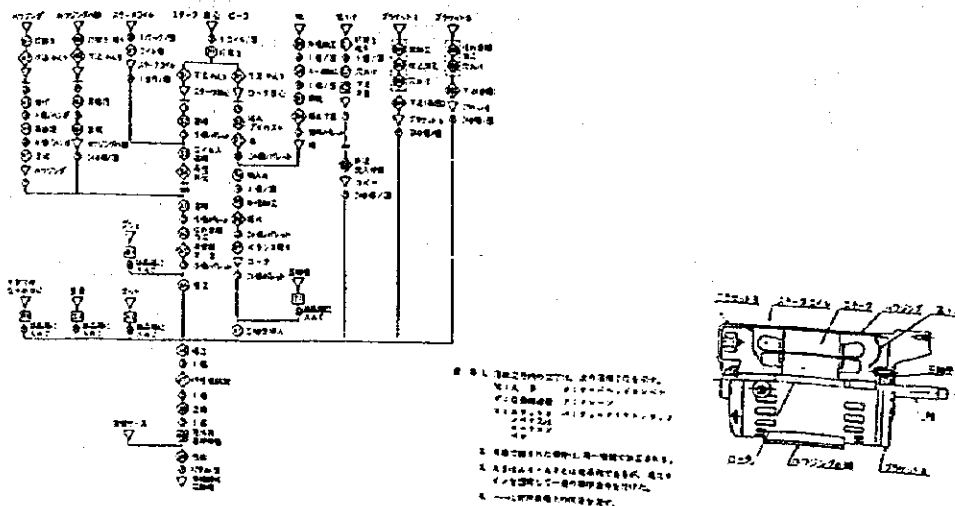


図 2-2 提案例 1 電動機の工程図 (JIS「品質管理」による)

- ② 納期が長すぎる。これまで、納期はあまり重視されなかったからであろう。しかし、市場経済では、納期は重要な付加価値要素である。納期短縮の為の努力が必要である。
- ③ 納期に対する関心が薄い。納期遅れの統計はほとんど報告されていないが、報告された例では、納期遅れ発生頻度 17.1%と 15.4%であった。これは、納期に関心を持っている企業の例であるから、実状は更に悪いと思われる。納期に関心をもって、納期遅れを改善する必要がある。
- ④ 標準（作業）時間を定めている。しかし、労務担当部門が、政府の発行したデータなどによって決めている。現場で、組長や作業者との話し合いで作成している場合もある。この標準時間は、ノルマ(例えば、標準時間で月間一定時間分の作業をする)と基本給を支給する。)として使われている。また、作業者の成績判定、奨励給支給基準にしている。この為、一番能率の悪い作業者に合わせた値になる傾向が強く、一般に、標準時間が 30%以上過大になっている事が多い。この様なベースで計算した負荷能力の 200~300%を実現している例が報告されている。また、実績時間を報告させると、ノルマの標準時間をそのまま報告し、余剰時間は作業を休止している例もある。しかし、標準時間を改める動きは少ない。この問題は重要だが、解決の困難な問題かも知れない。日程管理、原価管理の基準になる、ノルマでも目標でもない、実現性の高い、実績に基づいた、標準時間を定める必要がある。標準時間は作業を行なう為の作業標準と共に作成すると、整合性のあるものになる。
- ⑤ 年次および月次（四半期の計画を入れる事もある）の生産計画書が作成され、大日程計画、中日程計画の役割をしている。年次と月次の生産量だけが、計画されており、ガントチャートによる日単位、時間単位の進捗計画（小日程計画）がない。また、負荷計画を折込んでいないので、設備、人員の待ち時間による遊休が生じたり、実行不可能であったりする。ガントチャートを使った小日程計画の導入が必要である。

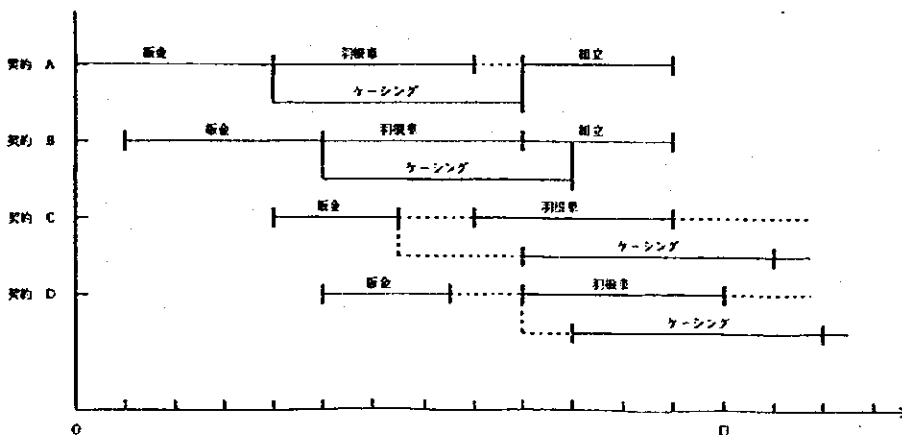


図 2-3 提案例 2 ガントチャート

- ⑥ ガントチャートを使わないで、数字の表で、日程計画を行なっているが、複雑になって、十分な情報が伝わっていない。ガントチャートを導入する必要がある。
- ⑦ 差立て（作業指示）を、主任が口頭で行なっている。生産数量だけが指示され、作業完了日時を指示していない。従って、作業の完成は、成り行きまかせになっている。これは、ガントチャートによる明確な小日程計画がない為である。ガントチャートに基づいて、作業票で差立て（作業指示）を行ない、結果を報告する必要がある。
- ⑧ 小日程計画がない為、工程のフォローアップが行われていない。
- ⑨ 機械稼働率が低い。しかし、正確な計測が行われていない為、稼働率は誤った認識がなされている様である。日程管理を行なって、稼働率を高める必要がある。また、正確な機械稼働率をワークサンプリング法で計ってみる必要がある。下表に、ある調査団が、ワークサンプリング法で実測した例を示す。この工場の機械の稼働率は32.2%である。しかし、この程度の低い稼働率は珍しくない。

表 2-2 調査例 3 機械設備稼働率

分類	%
準備・後始末	2.0
主体作業	32.2
付随作業	7.8
作業余裕	5.1
職場余裕	4.5
疲れ余裕	2.1
上記以外の停止・空転	46.5
合計	100

## レベル B

- ⑩ 作業要領書（作業標準）が整備されていない。OJT も十分行われていない。この為、作業者は自己流で作業しており、作業者間で、作業時間や品質の差が大きい。また、作業標準が作成されていても、作業者に周知されておらず使われていない事が多い。使いやすい作業標準を作成し、作業者に周知させる必要がある。また、OJT と組み合わせた作業者の訓練が必要である。
- ⑪ ノルマ(標準時間)を基準に、奨励金制度を行なっている。この為、粗製乱造を助長したり、メリットの少ない開発製品、試作製品が後回しになったりしている。ノルマ的標準時間は、工程に歪みを与える。
- ⑫ 負荷計画（負荷の平準化）が行われていなかったり、月次程度の非常に粗い計画であったりしている。この為、計画通りに工程が進まず、作りすぎと納期遅延が起っている。日単位の負荷計画を行ない、適正負荷での生産を実現するべきである。
- ⑬ 工程間の作業時間の平準化（ラインバランス）が行われていないので、時間的に大

きな余裕のある工程と時間が不足気味な工程が混在している。これが、生産のタクトタイムを長くし、仕事待ち、仕掛品停滞を発生している。また、納期が長い理由になっている。工程間負荷の平準化を図るべきである。

- ⑭ 作業者の技能にはむらがある。しかし、重要な作業に優れた技能の作業者を当てる配慮がないので、製品の品質に影響している。重要箇所の加工に腕の良い作業者を当てる配慮が必要である。
- ⑮ 部品、職場、資材、経費などのコード化（コード番号を付けて管理する）が遅れている。集計作業を容易にする為、コード化が必要である。特に、電算化には、コード化が欠かせない。
- ⑯ 製造指示書（発番通知）を生産部門が発行している工場がある。この為、予量生産が行なわれ、過剰在庫を作っている。これは、販売部門が責任を持つ事項である。販売部門が発行するべきである。
- ⑰ 従業員の生産意欲を高める為、生産量（1日、1週間または1ヶ月当たり）、1台当たりの作業工数などの変化をグラフで示して改善状況を知らせる方法：目で見える管理を推奨する。
- ⑱ 化学工業などでは、原単位の把握が重要であるが、原料、エネルギーなどの原単位を正確に把握していない企業がある。使用量と生産量を記録し、原単位を把握して、原単位の削減に取り組むべきである。

## 2-4 品質管理

中国の工場では、品質に対して、「検査に合格すれば良い」とする考え方が蔓延していて、不合格品さえ作らなければ良いと考えている。検査には、人員を投入しているが、工程の改善は、生産量の増大だけに注目し、品質に無関心である。製品品質のバラツキなど、統計的な考え方が採られていない。従って、管理図、統計的抜取検査法が普及していない。統計的に品質を考え、安定した品質を作る事が必要である。

### レベル A

- ① 一般に、検査部門の人員は多い。また、検査員による検査の頻度はかなりが高い。これは、品質水準が低く、検査で不良品を除こうとする為である。しかし、検査は付加価値を生まない。品質は加工工程で作られるのだから、品質向上にあまり役立っていない。検査を増やすのでなく、作業者の品質意識を高める必要がある。
- ② ほとんどの企業で、TQCの組織があるが、生産部門と品質管理部門の幹部だけが関与していて、企業全体（TOTAL）の運動になっていない。企業構成員全体の運動にする必要がある。
- ③ 品質に対する一般作業者の関心が薄い。これは、企業が品質より数量を重視して評

価するからである。工程能力指数（CP）などの品質指標を使って、品質を評価する方法をとるべきである。

- ④ QC サークル活動（小集団活動）が、企業幹部から課せられた目標によって管理されており、自主的活動になっていない。この為、一般に低調である。QC 活動の自主性を重視する必要がある。
- ⑤ 自主検査の為のチェックシート作成が望ましい。
- ⑥ 不良率が極めて高い。また、不良率を下げる有意な改善が見られない。不良統計が採られている場合が多いが、原因追求、不良対策はほとんどなされていない。この為、同種類の不良が繰り返され、高い不良率が継続している。原因の追求と対策が効果的に行われる必要がある。

表 2-3 調査例 4 工程間不良率 (%)

	1987	1988	1989
A	10.08	8.91	9.26
B	9.44	7.49	6.35
C	7.08	5.42	5.88
D	2.53	2.60	3.30
E	0.15	0.06	0
F	14.82	12.08	9.16
G	24.43	22.6	21.72

- ⑦ パレート図、要因分析図が利用されている例はあるが、統計的品質管理法が行われていない。管理図を採用している工場は報告されていない（管理図を採用したが、止めている報告が1件ある）。管理図を勉強し、採り入れるべきであろう。
- ⑧ 抜き取り検査では、ロットの数量に比例した抜き取り、サンプル数を固定した抜き取りなど誤った方法が行われている。ロット数量比例の方法は、大きなロットでは、検査数量が過大になり、小さなロットでは、検査する意味がない。OC 曲線に基づいた統計的抜き取り検査法によるべきである。

#### レベル B

- ⑨ 不良が出た場合でも、現場で手直しをしたり、前工程に再投入する事で修理してしまっている場合が多い。この様な不良は不良統計から消えてしまっている。修理は手間がかかっている、また、場合によっては、修理品を使う事に問題があるので、検査で不良とされたものは、修理可能でも、一旦、不良として処理するべきである。すなわち、直行率（または直行不能率）を問題にするべきである。
- ⑩ 不良品は検査によって除去すれば良いとする考え方が強く残っていて、品質を向上する努力が足りない。この様な考えを改め、付加価値性の高い、安定した品質を目標にするべきである。



- ⑪ 不良を出した作業者に対する罰則がある。この結果、作業者は不良を隠そうとし、これに対抗して、検査を増やしている。また、作業者は罰を受ける危険のある難しい仕事を避けたがる。罰則は必ずしも良い効果を持たない。再考すべきである。
- ⑫ 合金鋳鋼、高級鋳鉄などにおいては、原料の選定が非常に重要である。原料に含まれる微量元素の影響があるので、購入仕様書、規格などに記載された事項だけ検査したのでは十分でない場合がある。出来上がった製品の問題点から溯って、原料の問題点を究明しないと、高級な品質が実現しない。従って、使用結果を追求して、次ぎの原料購入に役立てる事が必要である。現在、このような考え方が欠けている。
- ⑬ 化学工業では、原料の品質が重要であるが、検査・分析が不十分である。原料分析に力を入れる必要がある。
- ⑭ 納入後に品質不良が発見される率が高い。7%に達する例もある。不良が発見され、廃却されると、それまでに加えられた、加工費が全部むだになる。従って、不良は早期に発見するほど被害が少ない。現場で、不良発見者を強く譴責すると、不良が隠されて先送りされ、損失を拡大する。早期に不良を発見した者は誉められるべきである。
- ⑮ 検査の為の測定器具、定盤などの不備が指摘されている工場がある。整備が必要である。

## 2-5 在庫管理

在庫管理には、定期発注法と定量発注法がある。しかし、中国では、この2つの方法の特長と使い分けがなされていない。また、どちらつかずの曖昧な発注法が用いられている。安全在庫の決め方が重要であるが、はっきりした安全在庫の考え方がない。この為、大きな余裕を付けた発注が行なわれ、在庫を増やしている。

### レベルA

- ① 原材料の在庫、部品の在庫が非常に多い。3~6ヶ月分を在庫している例が多い。発注間隔、発注方法の改善によって在庫を削減すべきである。
- ② 製品の在庫が非常に多い。これは、市場状況に合致した生産が行なわれていない為である。販売数量の予測を正確にし、販売数量と合致した生産を行なうべきである。
- ③ 仕掛品が非常に多い。これは、日程管理が適切に行われていない為、作りだめをするからである。この結果、納期が伸びている。
- ④ 在庫は、在庫中に錆びるなどの品質低下をもたらす、紛失するなどの在庫損失を発生する。また、在庫品の為に投入されている資金は、なんらの付加価値を生まないのに利子を発生する。これらの損失は、通常原価計算では把握されていないので、工場での認識が薄い。在庫の害について教育する必要がある。

- ⑤ 安全在庫量が決まっておらず、在庫が過大になっている。安全在庫を明確にし、在庫を減すべきである。

#### レベル B

- ⑥ 定期発注法が多く、定量発注方はほとんど行なわれていない。これは、材料、部品の発注先が少なく、変更が困難である為である。また、材料、部品の納期が不安定な為、長いリードタイムをとって発注する為である。
- ⑦ 年 1 回または 2 回と言った長間隔の定期発注が多く見られる。(例外的に、1 ヶ月間隔定期発注の企業も報告されている。) これは、国営の材料供給機関がこの様な受注交渉を行なう為である。国営企業ルート of 供給価格が民間ルートに比べ大幅に安い為、長間隔の資材購買が一般化したものと思われる。しかし、国営ルートと民間ルートの価格差は縮まって来ており、発注間隔を短くして、平均在庫量を減す事が重要になって来ている。
- ⑧ 棚卸しは比較的良くなっている。しかし、注文量は、在庫分を考慮した後で、計算による所要量に 20%位余裕を付けている事が多い。安全在庫に関する考え方を確実なものにする必要がある。
- ⑨ 定量発注法はほとんど使われていない。、定量発注と定期発注を区分する為の ABC 分析を行なう必要がある。ツウビン法などの定量発注法の活用が望まれる。
- ⑩ 倉庫建家が小さく、工場敷地内に分散して数多く設けられている。これが、倉庫係の人員を増やし、保管を困難にしている。統一化が望ましい。

#### レベル C

- ⑪ 在庫品の保管、管理が適切でなく、腐食、変形などに対する配慮が欠けている。この為、在庫品を使った製品の品質に問題を生じている。保管、管理に注意を払うべきである。大型部品を床へじか置きしている。パレット、容器などを使用し、棚を設けて、整理して保管する必要がある。
- ⑫ 注文の取り消し、見込み生産の失敗などで、売れる見込みのない不良在庫を大量に抱えている企業がある。出来るだけ早く処分する事が望ましい。
- ⑬ 見込み生産を行ない。生産数量を 1 ヶ月単位で決めている。見込み生産を止め、生産数量を 3 日以下単位で計画して、絶えず見直しを行なうべきである。
- ⑭ 端材の管理が悪く、記帳していない例もある。きちんとした管理が必要である。
- ⑮ 倉庫内での保管方法が悪く、実物の先入れ先出しが行われていない。整理、整頓をした保管が必要である。
- ⑯ 倉庫内、工場内の保管棚の整備が求められている。
- ⑰ 品物の床直置きを避けるため、パレットの使用が求められている。パレットは、運搬にも便利である。