表 2.1.2　主要調達先

分　類		調達先
金属材料	軽合金	南京鉄合金庁
	銅	蘇州銅材庁
	鉄	蘇州金属公司
硝子材料		上海新炉光学ガラス工場
		南通光学ガラス工場
		成都光学ガラス工場
光ファイバー管		南京ガラス繊維研究院
カメラ		上海カメラ総工場
コネクタートランス		上海コネクター工場・鎮江変圧器
ビス類		清江ビス工場
燃料・油類		蘇州石油化学公司
梱包木箱		蘇州木材庁

2.1.2 原材料受入の問題点

手術用顕微鏡の場合、現状では、製造原価の約 60 %が外部の資材及び部品の調達で、全て生産供応科の倉庫で受入れている。

(1) 組立生産計画に整合する調達管理がされてない。

工場は製品の生産計画に合わせ、原材料その他指定の品質の部材を、最適な数量で、最適な価格で、最適な納期に調達し、遅滞なく受入れ処理され製品組立にて製品作りがされることが理想である。しかし、現状は合理的納期指示がなく、受入れた部材は遅滞なく処理されてはいるが、ムダな停滞、または納期遅れ等と必要な時に搬入される調達システムが完全に機能していない。

(2) 製造原価低減の活動がされていない。

外部から調達する資材及び部品は、手術用顕微鏡の製造原価を左右し、大きく影響する部分である。しかも、削減には当然工場のみの努力では効果が期待できず、調達先との相互活動により始めて効果が得られる性格のものである。早急に関係部門の協力体制をつくり削減の実効をあげる展開をすべきである。

(3) 外部調達品の受入れ検査が適切にされていない。

今回、工場から検査依頼された顕微鏡照明系のファイバー管の透過光量の減衰調査は、製品性能に大きく関わる物である。調査の結果は注文仕様を満足する精度でないものが含まれていた。これら製品に重要な影響ある不良品の混入を避ける、適切な受入れ方法を検討すべきである。

以下に、その他の問題点、関連する事柄について説明する。

現状では、製造原価の約60%を外部から調達する資材及び部品が占めるので、外部調達機器が製品原価に大きく影響を及ぼす。しかも、原価の削減には工場のみの努力では、その効果が期待できないので、調達先との相互活動により、初めて効果が得られる性格を持っている。

工場は製品の生産計画に合わせて、指定の品質の部材を、最適な数量で、最適な納期に、最適な価格で調達し、ムダな在庫のない生産管理と生産技術の連携した活動が重要である。従って、生産管理システムの構築と外部購入品の価格削減は相互に関連する重点課題として、技術、生産、製造の部門が協調して取り組まなければならない。工場で現在開発途中のMRPシステムを全社をあげた支援体制により、早期に戦力化しなければならない。

MRP (Material Requirement Planning)は、コンピューターを使った生産管理のシステムで、狭義には、生産に必要な部品の所要量計算のみのシステムであるが、広義には、販売予測による基本生産計画のシュミレーションから、基本生産計画を決定し、それに必要な部品注文書、部品払出表、製造指示書の伝票類打ち出し、工程管理、能率管理、購買管理、在庫管理に発展繋がる生産管理システムである。

実績では、期末材料費の総額は項目分類によるバラツキはあるが、全体では減少している。しかし、それを一時的でなく計画的に継続するには、管理基準を設け、計画、実施、検証、対策の管理サイクルが必要がある。

ムダなコストをかけずに、より品質の良い部品を廉価に調達する為の方策を選択する必要がある。このため、工場あげてのVEの展開を提案する。VEは有効な管理技術の一つである。まず、購買VE活動を強力に進め、現在工場に流れている製品の改良による2nd Look VE（製造VE）および設計段階の新製品開発技術への1st Look VEによる部品点数の軽減、部品の標準化、部品のユニット化、部品の共通化、材料転換（例えば、異種材からプラスチックへの変更）などによるコスト削減を幅広い活動に展開する。コスト削減を技法的認識から工場体質そのものとしての認識の姿に浸透することが成功の決め手になる。

VE（Value Engineering, 価値工学）は、価値を研究し、最適価値の実現をねらう管理技術であり、VEは価値の向上で経営の効率化に貢献しようとするものある。

VEでは、その対象とする価値をV（価値）＝F（機能）／C（コスト）でとらえ、この価値Vを改善していく技術である。一般には、現製品の機能を維持したままコストを大幅に低減していきたいという要求の方策としてとり挙げられる。

原材料の金属材料は一般の汎用規格品であり、トータル．コストを考え、良質で、廉価な材料を求める活動を期待したい。光学材料については一例であるが、今回工場から依頼された照明系の光ファイバー管の透過光量減衰調査である。これは製品性能に大きく関わるものであるが、調査の結果、注文仕様を満足する精度でないものが含まれていた。今後は受入検査を確実に実施することで、不良品の混入を避けることが出来る。しかし、一概

に調達先以上の品質チェックを行うことは検査器具、技術、工数を勘案すると経済的採算に問題が生じ、実際的ではなく、調達先と品質情報の相互コミュニケーションを密にし、互いの信頼性の上で品質活動を進め品質を高めることの方が得策のようである。

受入検査のための努力よりも、不良品が納入されないような品質管理の指導、実施状況の監査等に注力するべきである、何れにせよ、検査は結果を判定するもので、不良品の出来ないような前向きの活動に力を注ぐことによる効果の方が大きなものとなる。

2.2 金属材料加工工程

2.2.1 金属材料加工工程の現状

蘇州医用器機における金属材料加工は、眼科手術器具の比較的、大量生産から医療診断機器、治療機器の少量生産と必要部品が加工されている。その為の加工設備も多様で、金属材料の鋳造・熱処理から、塑性加工の切断から曲げ、プレスおよび切削加工は旋盤、フライス盤、研削盤、歯切り盤、等と幅広い加工機械により加工されている。部品加工の他に、治工具及びダイキャスト金型はじめ鍛圧金型類を内製しているので、放電加工機、ワイヤー放電加工機など図 2.2.8 の設備で、治工具から眼科手術器具までの金属加工が行われ、生産のロットサイズも様々である。当然、生産方式も異なり、使われる工作機械の様式も違うものになる。ロットサイズ (lot size) とは、いくつかの限られた数量をまとめて作り、その後は別の製品を流すような生産方式における 1 回の生産数量をいう。このロットサイズにより、次の生産方式に大別される。

1. 流れ生産で、眼科手術器具のような大量生産でロットサイズが多く、専用機での加工になる。（例 5、000 個 / ロット）
2. 単品生産の治具、金型のように多種少量でロットサイズは極めて小さく、使われる機械は汎用機が主体である。（例 10 個以下）
3. バッチ生産（ batch system ）で 1,2, 生産方式の中間で適当数量に区切り生産する中・小量生産方式である。

いずれの生産方式も混在していて、生産方式での加工工程は、鋳造の素材加工から鍛圧加工、機械加工と広範囲の加工工程になる。主にその内の素材加工と鍛圧加工は、本社工場から離れた第二分工場で、機械加工は本社工場と第 2 分工場との両方で作業が行われている。

眼科用手術顕微鏡の金属部品の生産数量は 150 個以下で典型的なバッチ生産の方式で部品加工となる。

(1) 素材加工

素材加工は第 2 工場の図 2.1.1 の設備により、主に、手術器具類の熱間鍛圧成形と各種製品の異形部品の鋳造、ダイキャスト成形および鍛造品の加工と鍛造品、鋳物品の熱処理加工を行っている。

(a) 鋳物加工

使用されている鋳物部品には鉄鋳物とアルミニューム鋳物がある。手術用顕微鏡の架台ベース部の鋳物は、安価で鋳造が容易であり吸振性もある普通鋳鉄であるが、鋳物の形状が大きく、外部の専門の鋳造工場に加工を依頼している。

第2工場ではアルミ合金鋳物と銅合金鋳物の鋳造作業が行われている。鋳物作業は金属の収縮率および仕上げしろを考えて工作物形状の木型模型の主型と中子型を作り、この模型により忠実に造型作業をする。鋳型材は砂粒を主成分とし、鋳物に適合するように選択、配合、処理した天然砂または合成砂で造型され、湯口、湯道、鋳込口、押湯などが作られる。

鋳物に要求される機械的性質を考えて、地金配分、溶融温度、出湯成分を調整し、鋳造性の良い湯を鋳込み、砂落とし後形状寸法、品質、強さなどを検査をし次工程に送る。顕微鏡に使われているアルミ鋳物は溶解点が低く（700℃前後）、比重が軽く、鋳造性が良好なため、顕微鏡本体部、その他の重要な部分と中型で異形部品の鋳造をおこなっている。鋳型は砂型および金型のダイキャストによる方法で、その合金の種類は耐食性の良いMg-Al系、材料の溶解には抵抗式電気炉が使用されている。なお、ダイキャスト機械は3台あり、その1台は日本の東芝機械製DC-250の機械である（図2.2.1参照）。

鋳造されたアルミ鋳造品は流気式電気加熱炉により400～430℃で溶体化処理をし、その後、空冷安定化の熱処理をすることで、鋳造ひずみの除去、寸法の安定化、切削性または機械的性質の改善をはかっている。鋳物加工された部品は品質保証課担当の検査を経て、合格品は本社の中継倉庫に納入され、加工計画により次工程におくられる。

(b) 板金加工

金属材料の塑性加工は第2分工場で行われている。加工は冷間加工と熱間加工があり、熱間加工は鍛造による部品成形、冷間加工では板材のせん断、曲げ、絞りなどのプレス加工がある。主に製品の架台関係その他の部品に使われる一般構造用圧延鋼材を板金加工で行う。

板金加工の設備としては、板材の切断加工用切断機をはじめ、曲げ加工のプレスブレーキ、油圧プレス機、一般プレス、溶接機等を保有している。しかし、主に現有設備のプレス加工機及びその他の鍛圧機械は眼内手術器具の加工に使われている。

顕微鏡の架台部およびアーム部の部品は、本社工場から約30km離れた、常熟市莫城環境保護設備工場に材料支給で加工を依頼している。

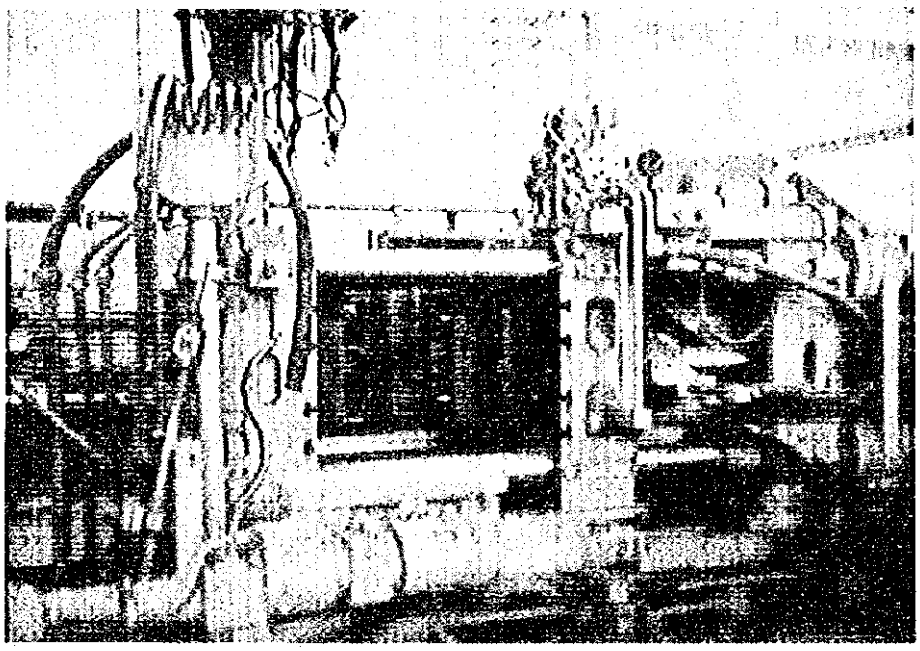


図 2.2.1　ダイキャスト機械の写真

この工場は 1978 年創業で、約 60 名の機械加工、亜鉛メッキ加工の部品工場である。この内 10 名が板金加工を担当し、材料の切断から、プレス打ち抜き、孔あけ、曲げ、部品溶接の一貫作業を行っている。作られた半成部品は、第 2 分場に納入されている。

(2) 機械加工工場

一般の部品の加工を行う主要な機械加工設備は、本社工場にある数値制御旋盤、マシニングセンター、普通旋盤、フライス盤、研削盤、その他の加工機械と、第 2 分工場にある普通旋盤、フライス盤、ラジアルボール盤、万能フライス盤などがある。主要光学器機の金属材料加工の機械工場は、大別すると製品の本体部の機械部品加工とその架台部の機械部品加工とに分かれる。その加工設備はそれぞれ特徴があり、設置場所も本社と第 2 分工場と職場も分かれていている。何れも生産課の指示する計画を基に、それぞれの工場で部品展開し、機械加工の手順をきめている。それぞれの加工計画により、機械別、作業者別に指示、機械加工が行われている。加工された部品は次工程の中継倉庫または表面処理工程に送られる。

(a) 顕微鏡部の機械加工

顕微鏡部の金属材料の機械加工は、本社の第3工場の担当で、他製品の部品加工と混流している。工場はそれぞれ図2.2.2に示すように1号棟、と3号棟、5号棟の1階部分に分散されている。各々の工場には次の主要な加工設備、表2.2.1、表2.2.2および表2.2.3の機械加工設備がある。

機械別内訳は図2.2.4、主要設備の特徴は、工作機械39台中で中国製工作機械と外国製工作機械の割合は6：4と比較的に外国機械の比率が高い。汎用工作機械は中国製であるが、生産性の高いM/C, N/Cは独、英、米、日本製機械で中国製を遥かに上回る台数となる。これらの輸入工作機械は1993/7から1994/7にかけて設備されていて、特に1号棟、3号棟のこれらの新鋭数値制御機械群(M/C, N/C)は、機械の有効活用のために、作業者の3交代勤務制により稼働時間の拡大が計られている。

部品の加工手配は、第3工場の主任以下、副主任3名、計画2名により生産課の指示する製品別計画を基に、月次部品計画表をつくる。これにより、副主任より各機械の作業担当者に作業指示を行い、材料が準備員により金属材料倉庫からの出庫払出され、図2.2.3(1)(2)の部品加工手順に沿い、各機械の工順を経て部品加工され次工程に進む。各工程の完了品の検査は、品質保証課担当の確認の上、合格品のみが次に送られる。生産担当は月次計画に対する工数、部品の実績把握及び工程間の進捗を含めた工場内の工程管理を行い、現有機械設備の能力に対応した作業量の増減による山積み、山崩しによる負荷対策を行い、一部の過負荷部品は外注工場への加工依頼を第3工場から手配する。

作業の着手は、予め検査員の良否判定を受け、確認された後に初度加工品の加工を始め、工程加工での不良品の発生を極力防止する検査システムが確立されている。

顕微鏡の加工作業は、他の製品との混流であるが、1996年度の部品加工計画によれば、表2.2.4の割合となる。この特徴は旋削、フライス加工共に汎用機と数値制御機械の加工割合は後者の加工比が高く、生産ロットが小さいにも関わらず、部品の精度を確保する意図で新鋭加工機による工程を優先している。現在の機械配置は機能別配置で、旋盤群、フライス群、N/C, M/C群と機械が並べられている。加工は予め技術課により部品の形状精度に基づく部品加工手順表、部品加工図が作られ、準備された治工具、刃具により、きめられた加工手順、と加工機械による加工を行う。数値制御の機械は、工場の技術スタッフが適切なツーリング、切削条件を設定し加工のプログラムをつくる。被削材はアルミニュウム、黄銅で材料の被削抵抗は小さく、加工は比較的に容易であるが、熱膨張係数は工作機械の鉄に比べ約2倍以上と高く、精度の高い物は工作機械自身が発生する熱の影響を受けやすい。

切削中の熱の除去には多量の切削液による冷却を実施し、熱の影響を少なくするようにしている。被削材の機械的強度が低いので、加工中の被削材の取り付けにも注意が必要である。取り付け基準面の僅かな誤差も被加工物に転写されるので、取り付けは細心の注意

を払わなければならない。

加工は旋盤による旋削からフライス・穴あけ・タップ・仕上げ工程で完了するが、複雑で精度を要する部品は加工が完了するまでの加工工程が70工程以上になるものもある。または工程の途中で時効処理を加え、加工中の歪みを取り、加工を進めるものもある。通常の加工品は限界ゲージ方式による栓ゲージとマイクロノギスで検査しており、加工精度が穴基準の H_7g_6 で形状の複雑なものは、イタリアのDEA社の三次元測定器により形状精度の確認をしている。

工程の加工が終わると、半加工部品は準備員により機械の間を部品箱ごと運搬移動される。半加工品の取り扱いによる打痕、きず等の付かないよう保管にも配慮が払われている（図2.2.4、図2.2.5、図2.2.6、図2.2.7参照）。

(b) 顕微鏡架台部の機械加工

架台部の金属部品加工は、第2分場が担当で、設備は表2.2.2に示すものがある。機械加工を担当する作業者は15名で、普通旋盤、万能フライス盤、ラジアルボール盤、円筒研削・平面研削盤を用い、主に、架台ベース部の加工、第1アーム等、大物部品の加工を行っている。加工指示書が整備されていないので、図面により、これは、いわゆる班長の指示で行うベース加工物が重量のある大物で、部品の移動取り付けに苦労している。治具作りの感覚で作業性は低い。

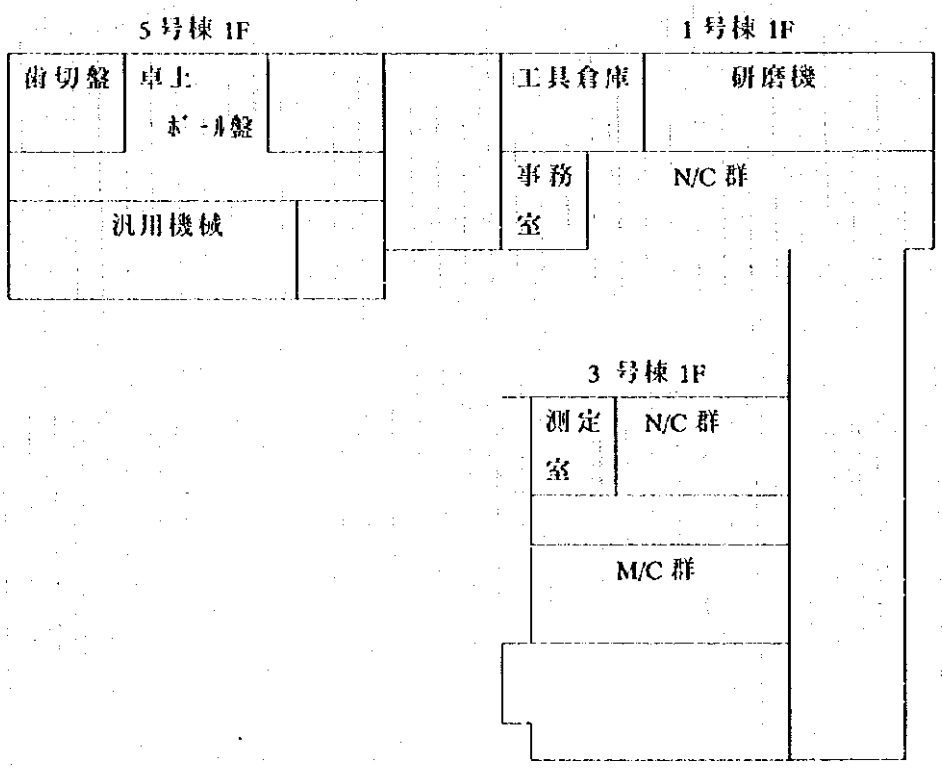


図2.2.2　機械加工工場配置図

表 2.2.1　主要加工設備 (1)

成形加工	鋳　造	混練機、溶解炉、電気炉、ﾀﾞｲｷｬｽﾄ機
	鍛圧加工	切断機、冷間プレス、熱間プレス、空気ハンマ
機械加工	切削加工	普通旋盤、フライス盤、平削盤、歯切盤、円筒研磨盤、平面研磨盤、ﾗｼﾞｱﾙﾎﾞｰﾙ盤、金属彫刻機、ﾏｼﾆﾝｸﾞ・ｾﾝﾀｰ (M/C)、数値制御旋盤 (N/C)、ボール盤、横型ボーリング、万能工具フライス盤
	砥粒加工	ラップ盤、バレル
	電気化学加工	放電加工機、ワイヤー放電加工機、切断機
その他	化学処理	シルク印刷機
表面処理	熱処理加工	真空焼入炉、焼入炉
	塗装加工	陽極酸化装置、粉体静電塗装装置、吹付ブース、乾燥炉

表 2.2.2　主要加工設備 (2)（第 2 分工場）

	（造型機）			（切削加工機）	
1	溶解炉	1	1	普通旋盤	9
2	粉砕篩機	2	2	ボール盤	2
3	ダイキャスト	3	3	平削盤	3
4	混砂機	2	4	フライス盤	5
5	（小計）	8	5	円筒研磨盤	1
	（鍛圧機）		6	平面研磨盤	1
1	パワープレス	9	7	歯切盤	2
2	プレスブレーキ	1	8	横型ボーリング	1
3	フリクションプレス	1		（小計）	24
4	油圧プレス	1			
5	シャリング	2			
6	ホットプレス	1			
7	空気ハンマー	1			
	（小計）	16			

表 2.2.3　主要加工設備 (3)（第 3 工場）

1 号棟		
	中ぐり旋盤	1
	自動制御旋盤	5
	円筒研削盤	3
	工具研削盤	2
	平面研削盤	1
	小　計	12

3 号棟		
	ﾏｼﾆﾝｸﾞｾﾝﾀｰ	6
	NC 旋盤	5
	三次元測定機	1
	小　計	12

5 号棟		
	旋盤	8
	立型ﾌﾗｲｽ盤	2
	工具ﾌﾗｲｽ盤	2
	歯切盤	2
	フライス盤	2
	小　計	16

表 2.2.4　第 3 工場機械別工数割合 (1996)　　人

	M/C	N/C	旋　盤	フライス	研削	仕上	小計
A 全体	10.5	28.0	29.0	14.0	5.0	18.0	104.5
B 顕微鏡関連	5.0	13.8	5.5	5.3	1.3	5.1	36.0
B/A　%	47.6	49.3	19.0	37.9	26.0	28.3	34.4

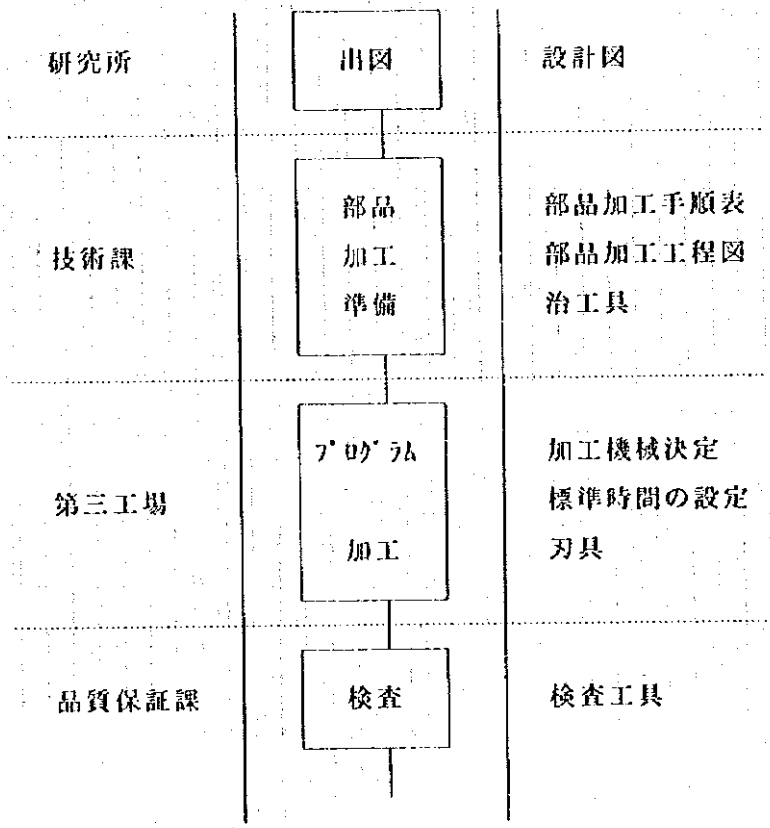


図 2.2.3　部品加工手順 (1)

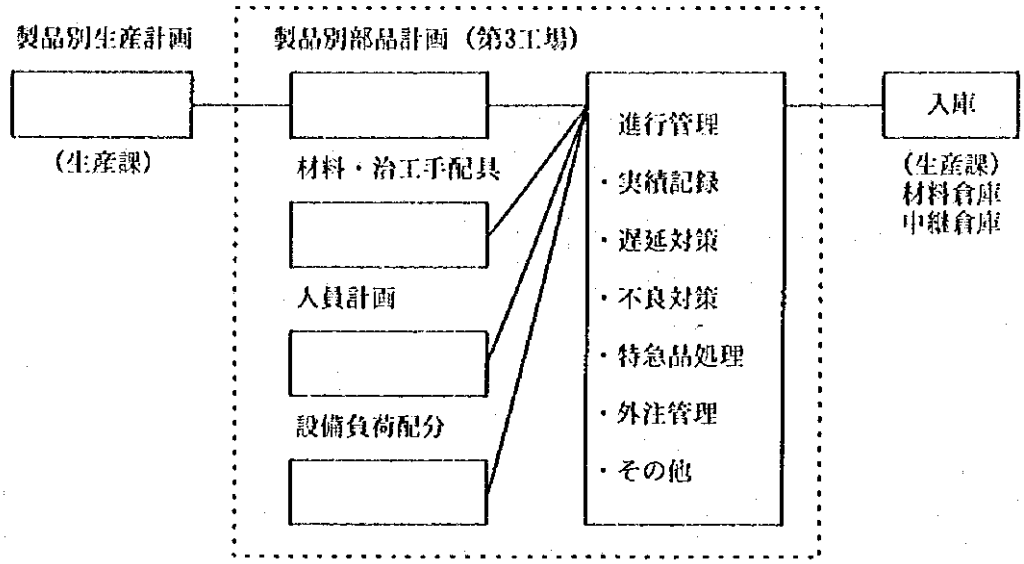


図 2.2.3　部品加工手順 (2)（第 3 工場）

図 2.2.4　マシニングセンター

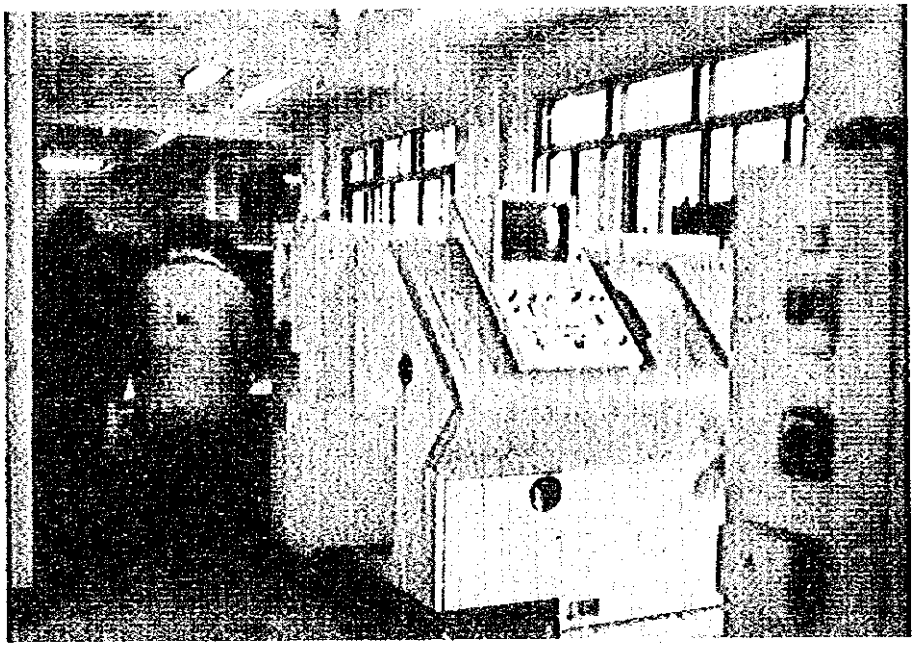


図 2.2.5　NC 旋盤

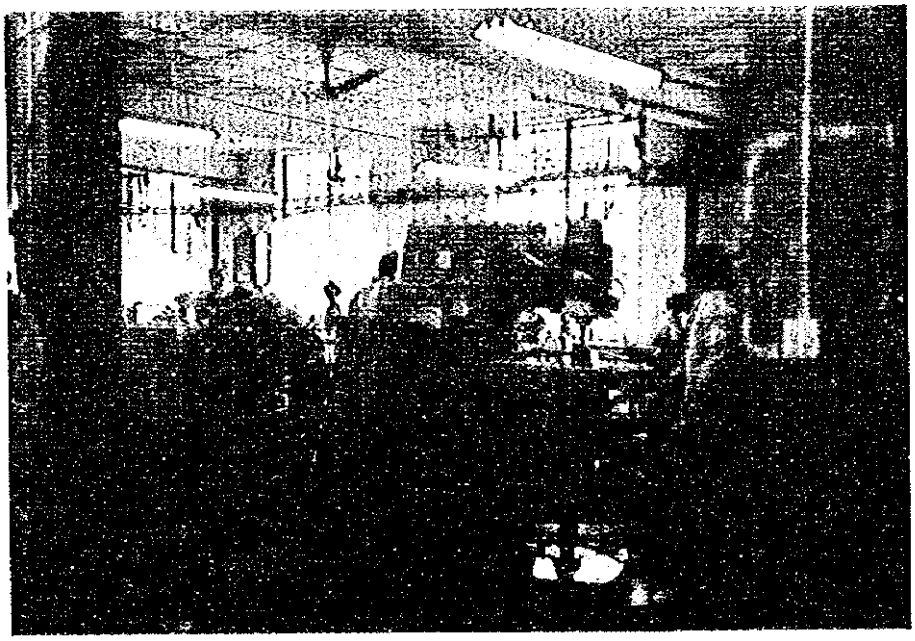


図 2.2.6　汎用フライス盤

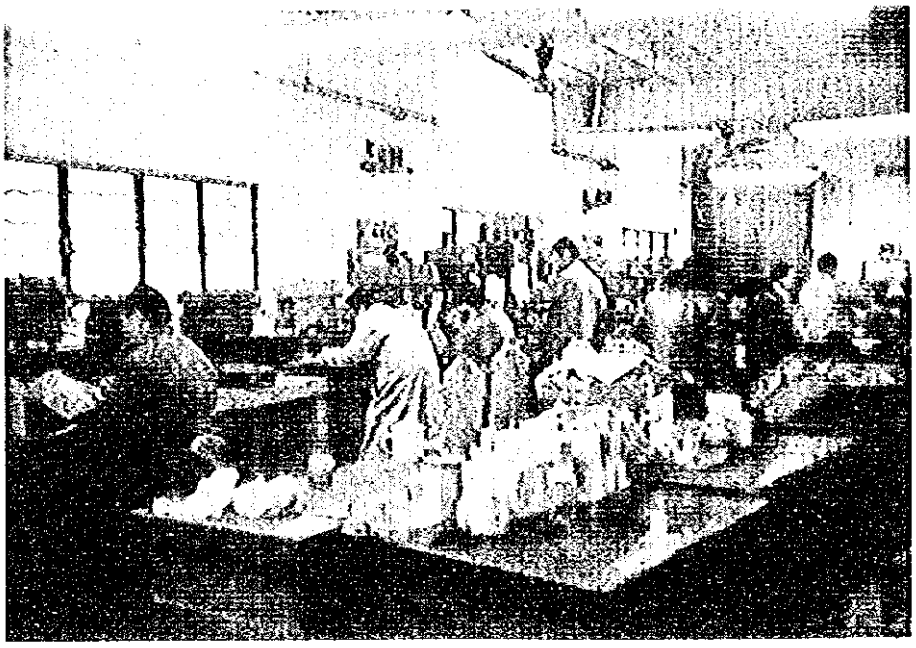


図 2.2.7　ボール盤による加工

2.2.2 金属材料加工工程の問題点

全体に共通することであるが、生産形態を巨視的に見るか、微視的に見るかで判断が分かれる。全体をバランスのとれた判断での方向付けをすべきである。金属材料加工工程の主体工場は第3工場であり、主要の機械設備の戦力は想像より高いものである、更に戦力を向上するための問題点を指摘する。

(1) 完成部品の加工精度の向上

現状では相当数の部品が組立段階で修正され製品に組込まれている。この不具合の品質情報が速やかに組立部門から部品加工部門に伝達され、対応出来るシステムが必要である。

組立工場では、部品の不具合により、部品に手を加え、部分修正しながら組立てているところを屡々見かけた。このようにして組立られた製品は、ものによるが、極端なものは互換性のない製品となる。あるいは、部品個々の関係が最適な状態に修正されたものになる。何れにせよ、組立では組立本来の仕事ではない作業が行われていることになる。

この問題は部品が正しく加工されてないか、もしくは、正しい設計寸法でないかの何れかの原因による。組立工程から速やかにこの部品品質の情報が機械加工の工場に流れないと、組立工程では依然として部品を修正しながら製品の組立をすることのムダが続けられる。

現状の部品工場での品質は工程ごとの検査であり、完成した部品の品質は検査されてい

ない。従って、工程途中の寸法変化があれば組立での不具合になることになる。

組立からの不具合の情報伝達と、迅速な対応と、多くの工程を経た部品の品質検査をいかに保証するかの検討が必要である。

(2) 部品の加工工程での長い移動距離と停滞

加工工程数が多い部品は完成するまでに工場建屋間を移動し、更に機械間を移動して加工される。当然、その間で停滞を生じ、仕掛かり期間も長くなり、進捗管理にも難点が生じる。

顕微鏡部品の代表的な鏡筒部品が、材料投入から加工完成まで、機械工場の中でどのような加工の工程を、どのような機械により加工され流れているかを検討する。

切断されたアルミニュウム棒の材料から75工程の作業により機械加工が完了し、次の工場の表面処理に進むことになる。これは半成部品が完了するまでに多くの機械の間を加工されながら次々と工程を移動して行く姿であるが、工程と機械の関連分析を行うと、汎用旋盤による端面加工から、フライス、数値制御旋盤、マシニングセンター、と最後の機械の卓上ボール盤のよる孔あけ加工、仕上が完了するまでに、各工場内、更に、各棟の間を頻繁にを行き来していることがわかる。

これは加工が整斉と流れていることではなく、途中停滞をしながら遅々と進み、長い仕掛り期間になることになる。個々の工程で如何に能率的に作業がされていても、工程が変わるる毎に、長い移動距離の後に停滞し、次工程の機械待ちをしている姿を想像させる。

しかし、これは多種少量生産のどこでも見られる形といえる。多種少量生産は一般的に労働集約性が強く、生産管理も複雑で、生産の改善はなかなか困難である。この問題の解決の有力な武器の一つとして光を灯したのがグループテクノロジーである。ソ聯のミトロファーノフが最初に提唱しものと云われ、今日では種々の段階のものが開発されている。

形状・寸法・および工作法などの類似性をつかみ、いくつかの工作物のグループに分割し、各グループに対して、適した工作機械を配置し、なるべく共通の治具・取付具および工具・刃具を利用することによって、多種少量生産を中量生産に準じた程度の効率まで引き上げるものである。この際に、類似性を細かく決めず、大きな括り、例えば角大、角中、角小、丸大、丸中、丸小程度の分類にした加工物が最大公約数的機械配置の関係に並べる事で大きな加工物に対して移動のない工程フローに改善することができる。

従来の機械別構成が旋盤、フライス盤、数値制御機械別構成から、機械混成グループ別構成に転換することのメリットは、大きい加工工程のフローが方向の戻りの無い流れとなり、管理をふくめ全ての面でムダのないものになる。

(3) 低い実機械稼働率

新鋭加工機群は生産するロットサイズが小さいので頻繁な機械段取り作業及び材料運搬による不稼働状態が多く見られる。それに比べ汎用機械群の稼働は高い、これはロットサイズが同じであり、段取りに要する時間の違いによると判断される。従って、短縮に、事前段取り、段取り専任者などによる工夫改善が必要である。

1号棟と3号棟の新鋭数値制御機械群 (M/C, N/C) は、作業者の3交代制により機械の稼働時間を増やし機械の有効活用が図られている。

工場作業者の稼働分析によると汎用機械群 (5号棟 1F) の稼働率は高いが、数値制御機械群 (1号棟 1F) の稼働率は低い。これは典型的な多種少量生産の宿命といえる。分析内容では、不稼働要因は段取り作業と材料運搬で、この間機械は不稼働状態となる。新鋭機械の長時間運転の狙いにも関わらず、費用対効果の判定からは問題がある結果といえるのではないか。

生産ロットの数量が多いもので150個程度の部品加工では、現在の既存機械では頻繁な段取り換えが必要で段取り時の機械停止は避けることができない。機械の実稼働時間（機械が実際の加工のみにかかる時間）の効率を上げるために現状でできることは、段取り時間を如何に短縮するかにかかる。

(4) 順序の「跛行」する部品加工とムダな姿勢での部品移動

組立生産に必要な部品は必要な時期に揃って準備されるのが理想であるが、部品の完成に「跛行」があり揃えるのに問題が多くある。加工工程により材料投入時期に差を付けるか、または、その部品をいたずらに他に先行加工すれば計画を乱す要因になる。「製番表示」などの工夫で、必要品を先行加工する、またこれらの表示が見える高さの材料置き棚を準備する必要がある。

部品加工の工程数により材料投入の時期に違いがあり、同じ製番の部品を同時に材料投入すれば、当然部品の完了に差が生ずることになる。

これを避け、組立に必要な部品を同じ時期に必要な部品を揃えるには、加工の投入時期に区分を付け、その後の工程の進捗にも細かい管理が必要となる。これは工場全体で進捗管理することで、全員が順序の判断が出来る生産システムをつくる、目で見る工場管理にすることが必須の条件になる。

現状での工場での部品進捗には、かなりの部品の加工に「跛行」があるようで、これに対し適切な指示がされていない。進捗状況によっては緊急部品の表示が必要である。

部品管理がやり難い一つの要因として、機械加工中の部品及び次の加工を行う部品が工場の床におかれていることがある。これは一見して現在どの部品が加工中で、どの材料が次の加工品であるかの判別がつき難い。更に、加工された部品を次工程に移動するときには、重量部品では持ち上げるための身体的苦痛がともなう。

2.3 光学材料加工工程

2.3.1 光学材料加工工程の現状

眼科手術用顕微鏡に使われている光学部品は、レンズ、プリズム、表面鏡などの光学系の構成要素となる個々の素子で、光の反射、屈折の原理に従い、入射する光束を伝達する役割を持ち、設計上は材料の種類と表面形状が定められている。

研究所での光学設計により硝種・形状寸法・公差などが決定され、発行された光学図により、技術課はその加工の工程順序を設定して加工手順書を発行し、加工に必要な治工具・計測具を準備する。一般に、形状から大別すると曲面の加工によるレンズ部品と平面の加工とによるプリズム部品、ミラー部品からなる。いずれも外部から調達の光学硝子のブロック材を加工代を付けて切断し、荒ずり工程から始まる工程順序で、レンズ形状、プリズム形状にして所定の精度に仕上げる研磨工程を経て、単体部品としての形状・精度が仕上げられる。更に、必要に応じて蒸着、接着工程を経て光学素子となる。現在の製品に使われている硝種は、表 2.3.1 に示す。

(1) 光学ガラスの種類と性質

光学ガラスは光学素子材料として用いられる場合、無色透明であること、光学的に均質等方で、光学恒数が一定していることなどが必要であるが、使用されている光学ガラスはこれらの条件をよく満足している。

表 2.3.1　硝種

名　称	中国記号	ショット社記号
クラウン　Crown	K7,　K9,　K10,　K18	K7,　K9,　K10,　K18
亜鉛クラウン　Zinc　crown	ZK2,　ZK3,　ZK9	ZK2,　ZK3,　ZK9
ﾊﾞﾘｭｰﾑｸﾗｳﾝ　Barium　crown	BaK5	Bak5
フリント　Flint	F2,　F4	F2,　F2
重フリント　Deuse　flint	ZF1,　ZF2,　ZF3	SF1,　SF2,　SF5
ﾊﾞﾘｭｰﾑﾌﾘﾝﾄ　Barium　flint	BaF2,　BaF7	BaF2,　BaF7
グリーンフィルター	LB1	G-583
防熱フィルター	QB10,　XRB1	HA-20,　HA-50

これらの光学ガラスはブロック材 (block　glass) で、精密な徐冷 (annealing) をし、歪みを除き、ガラスを安定化、均質化し、屈折率を所定の値にした材料合格品が屈折率、アツベ数、部分分散、着色度、等の検査記録されて納入される。

表 2.3.1 の硝種によれば、ケイ酸塩ガラスで大別すればアツベ数によって決められるν

＞55のクラウンガラスとν＜50のフリントガラスが使われている。その他に着色ガラスと吸熱ガラスがある。

代表的光学ガラスの硬さを表2.3.2に示す。

表2.3.2　光学ガラスの硬さ

硝　種	K7	K9	F2	F4	BaF2	BaF7
ヌープ硬さ	520	506	423	429	487	528

その他に、光学ガラスはヤケがよく問題になる。ヤケとはガラス表面が大気中に放置された場合、ガラス表面の水滴の露結で化学的浸食を受ける現象で、青ヤケと白ヤケがある。

青ヤケはガラス表面が水溶液に接して化学的浸食を受け、表面層から金属イオンが溶出し、表面層の屈折率が低下し干渉色をしめす。ヤケ易さの度合いは耐酸性の難易によって表示される。白ヤケはガラス表面と水滴との化学反応により生じる。ガラス成分の一部が溶出してガラス表面に別の化合物ができ、光散乱してくもりが生じるので、白ヤケの程度は耐水性の難易になる。これらの硬さ、ヤケはその後の加工の大きな要因となることになる。

以上のことがらを十分考慮してガラス材料は倉庫に保管されていて、この硝材が月次生産計画により払出される。眼科手術用顕微鏡に使われている光学素子は、製品により違いがあるが1台当たり平均約40個で、レンズ：プリズム：ミラーの個数割合は、大略6：2：0.5で、これら各々の光学素子が生産計画に沿い生産されると考えられる。

(2) 光学ガラスの加工

眼科手術用顕微鏡に使われている光学ガラスの加工は、本社の光学棟の第2工場の1階および2, 3階部分に分かれ、他の製品の部品と混流し加工の作業が行われている。1階は主にプラスチックレンズの圧平プリズムの研磨工程、バルサム工程、蒸着工程、および検査工程の作業で、2階では光学ガラスの球面加工、3階はプリズムやミラーの平面加工に分かれ作業が行われ、これらの工程を経由して各々の光学素子の生産がされている。各階の主要設備は表2.3.3に示す通りで、全て中国製である。

表 2.3.3　光学棟の主要設備

	1階	2階	3階	5号棟 2F	計（台）
2軸研磨盤	7	1	1		9
4軸研磨盤	2	10			12
5軸研磨盤		4			4
6軸研磨盤	3	6			9
真空蒸着機	3				3
心取機			4		4
切断機				1	3
丸め研削盤			2		
フライス盤				2	2
旋盤					1
平面研削盤			1	1	3
CG（球面研削盤）				2	
	15	21	8	6	50

工場は主任以下8名が、生産課の指示する製品別計画を基に、工場の月次部品計画表をつくり、副主任、各工程の班長を経て、工程毎に指示、作業が進められる。光学ガラスの形状・精度加工はほとんどは遊離砥粒によるラッピング、または固定砥粒のグラインデングによる加工であるが、精度の良い平面あるいは球面は圧力研磨法により得られるので、古典的な方法であるが、オスカー研磨機による比較的低圧、低速度での入念な研磨により高精度加工面が加工されている。

さらに、部品により付加機能をつける為、にガラス表面に処理を行う蒸着工程と、レンズ同士やプリズムを貼り合わせるバルサム工程により光学素子ができあがる。

レンズとプリズムの加工を形状的に比較すると、プリズムの場合、レンズを構成する球面が平面にかわり、レンズの球面精度や偏心に相当するのが角精度であり、中心厚に相当するのはプリズムの大きさと考えることができる。従って、基本的にはレンズ、プリズムとも同様に加工を進めることができる。現在行われている加工概要をつぎに述べる。

(a) プリズムの加工

プリズムはその形状が多岐に亘り、それぞれにつき加工手順も若干異なるが、プリズムの基本ともいえる直角プリズムの当工場の加工工程とその内容を表 2.3.4 に示す。

表 2.3.4　プリズム加工工程

工程番号	工程名称	加工内容（注意点）
1	切断	ブロック材を片状に切断　切断機
2	切断	四角に切断　切断機
3	切断	三角形に切断　切断機
4	検査	形状・寸法
5	貼り付け	平行板ばり（両側面を研磨）白ろう　金剛砂
6	加熱はがし	洗浄　電気炉　軽油
7	直角 A 面砂かけ	あらずり機　エメリー
8	直角 B 面砂かけ	AB
9	貼り付け	A,B 面、三角プリズムを貼り付け治具　エメリー
10	斜面	高さ寸法　90°薄板　あらずり機　金剛砂
11	はがし	洗浄　電気炉
12	手修正	検査、修正　平面型　あらずり機　金剛砂
13	面取り	面取り幅
14	検査	90°±2'　45°±2'　H=±0.05 砂自
15	A 面研磨	石膏皿　二軸オスカー　ｶﾞｿﾘﾝ、ｱﾙｺｰﾙ 酸化セリウム
16	はがし	洗浄
17	90°手修正	双眼角度ゲージ　AB　90°直角
18	B 面研磨	石膏皿　二軸オスカー　ｶﾞｿﾘﾝ、ｱﾙｺｰﾙ 酸化セリウム
19	はがし	洗浄　軽油・ｱﾙｺｰﾙ
20	角度修正研磨	45°＜0.5"　塔差＜0.5"
21	斜面研磨	石膏皿　あらずり機　エメリー
22	はがし	洗浄
23	検査	寸法
24	コート	

各面について、加工を数段階に分け、次第に表面あらさ、角精度、形状寸法を所定の精度に近ずける。研磨加工におけるブロッキングは、治具ばりと石膏ばりで行われ、角精度はスコヤーや角度定規を用いて測定され、途中工程では手による修正も加えている。

(b) レンズの加工

レンズの加工は、大きさ精度により若干の違いがあるが、基本的には機械の軸上に所要の皿を取り付けて回転を与え、水にといた砥粒を供給しながら、加工物を皿面に摺り合わせ加工物の表層の表面粗さ、球面精度、中心厚等を仕上げる。表 2.3.5 に当工場のレンズの加工工程とその内容を示す。

表 2.3.5　レンズ加工工程

工程番号	工程名称	加工 内容（注意点）	
1	けがき	材料検査後けかき	
2	切断	ブロック材料を片状に切断	自動切断機（固定砥粒）
3	切断	四角に切断	切断機（固定砥粒）
4	検査		
5	荒ずり（第１面）	平面を荒ずり基準面とする	荒ずり機、金剛砂
6	貼り付け	密ろうで平面皿に貼り付け	
7	荒ずり（第２面）	第２面の厚さを揃える（幅ぎめ）	荒ずり機、金剛砂
8	はがし		
9	洗浄		アルカリ水、軽油
10	貼り付け	四角板をろうで短冊状に接着する	
11	外径研削	機械丸め	丸め研削機（固定砥粒）
12	検査	外径、テーパー、楕円度	
13	洗浄		アルカリ水、軽油
14	面取り	稜め面取り	金剛砂
15	Ｃ・Ｇ（第１面）	球面創成加工	球面研削盤（固定砥粒）
16	Ｃ・Ｇ（第２面）	球面創成加工	球面研削盤（固定砥粒）
17	洗浄		アルカリ水
18	修正研磨	荒ずり皿で第1,第２曲面の手修正	荒ずり機、金剛砂
19	面取り		
20	検査	曲率・外径・肉厚・砂目	
21	貼付（第２面）	第２面を封ろうでさらに貼付	
22	砂かけ（第１面）	第１面砂かけ	オスカー研磨機、金剛砂
23	研磨（第１面）	第１面みがき（ピッチ皿）	〃　、酸化ｾﾘｳﾑ
24	洗浄	保護膜はがし	軽油・エーテル
25	検査	肉厚測定	
26	修正		荒ずり機、金剛砂
27	貼り付け	上皿	
28	砂かけ（第２面）	第２面砂かけ	オスカー研磨機、金剛砂
29	研磨（第２面）	第２面みがき（ピッチ皿）	〃　、酸化ｾﾘｳﾑ
30	洗浄		アルコール、軽油
31	検査	面精度、砂目、きず	ﾆｭｰﾄﾝ原器、水銀炉、集光ﾗﾝﾌﾟ
32	心取		心取機（固定砥粒）
33	洗浄		
(34)	コート		
(35)	バルサム		

(3) 加工工程の解説

加工工程の問題点を記述する前に、理解を助ける意味で、現在の技術水準で実施されている光学材料の加工工程について説明する。

(a) 固定砥粒加工

従来から精密な仕上げ加工を施すために砥石を用いた加工法があり、それを目的とした各種の研削盤が使われているが、光学素子の加工にも1910-1920年代にかけてＤ砥石やCG

の開発により、以来光学素子の加工分野での固定砥粒加工が普及し、現在では、荒ずり研削の主流になり、加工コストの低減と加工精度の安定をもたらしている。

1)D 砥石

D 砥石とはダイヤモンドの粉末を金属粉末（Cu-Sn 系等）を主体とした粉末冶金法で固めたもので、砥石減耗が少なく、高能率・高精度の加工が可能である。D 砥石の砥粒率は普通砥石の 1/2 程度で、非常に低い、気孔率は一般にきわめて小さい。細粒が用いることが多く、結合剤率の大きいことなど普通研削砥石に比べ特異な性質がある。次に、現在使われている D 砥石の使用例は表 2.3.6 に示す通りである。

表 2.3.6　D 砥石の使用例

加工	砥粒	粒度	結合度	集中度	結合剤
レンズ　荒	D	200	N	100	M
仕	D	500	N	100	M
プリズム荒	D	120	N	50	M
仕	D	400	N	100	M

2) 研削液

D 砥石によるガラスの研削は必ず湿式でおこなわれる。

研削液としては水溶性のものがよく使われる、基油としては鉱油分、乳化剤としてアニオン浸性剤の脂肪酸石鹸で水に溶解する乳化型水溶性研削液が多く、潤滑性、冷却性、浸透性のよいものが選ばれる。

3) 球面研削

カップ型砥石による球面創成原理

レンズの球面研削は、通常、CG 機を用い、カップ D 型砥石で行われる。CG 加工は完全な創成法であり、その原理は次のようである。

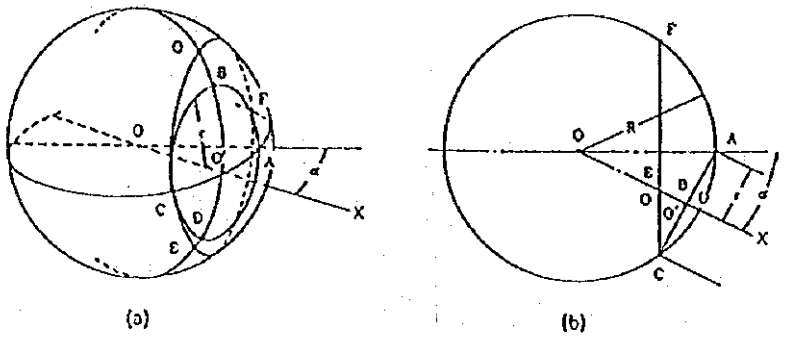


図 2.3.1　球面創成原理図

図 2.3.1 の (a) は透視図で、 (b) は (a) の軸 OX、 OA を含む平面への投影図である。図 2.3.1 の (a) において、直線 OX に垂直な一平面で球を切ったとする。この場合、切り口は円を形成し、それは円と OX 軸との交点 O' から円までの距離 r を半径としたものとなる。

球の中心 O からこの円周上の任意の各点までの距離はすべて等しいから、これを R とすれば、円周上の点 A、 B、 C、 D から O までの距離は、

$$\overline{OA} = \overline{OB} = \overline{OC} = \overline{OD} \cdots\cdots\cdots = R$$

となる。すなわち、円 ABCD は、O を中心とし、半径 R の球の上にある半径 r の円であって、円の中心 O は、直線 OX が円 ABCD を貫く点であるといえる。

∠ AOO' = α とすれば $\overline{O'A}$ = r であるから、 sin α = r/R または R = r/sin α となる。

ここで、円上の 1 点 A と球の中心 O を結ぶ直線を軸として、直線 OX を OA のまわりに ∠ AOX = α、 $\overline{OA}$ = R の関係を保ちながら 1 回転させれば、円 ABCD が描く軌跡は A を中心とした球の一部、すなわち ACEFG となり、球面が創成される。

円 ABCD を固定し、球自身を OA のまわりに回転しても同様である。

カーブゼネレータの場合、円 ABCD に相当するものがカップ型砥石であり、α はレンズ軸に対する砥石軸の傾け角である。

実際のカップ型砥石は先端に若干の丸み r_0 がついているので（図 2.3.2）、創成球面の曲率半径 R、カップ型砥石の直径 D、およびその傾け角 α との間の関係は、

$$\sin\alpha = \frac{D/2}{R \pm r_0} \quad \text{または} \quad R = \frac{D/2}{\sin\alpha} \pm r_0$$

（凸面：上符号、凹面：下符号）

となる。すなわち、カップ型砥石のセンター間隔、先端の丸みがD、r_0であるとき、カップ型砥石をαの角度にセットしてやれば、曲率半径Rの球面が創成される。

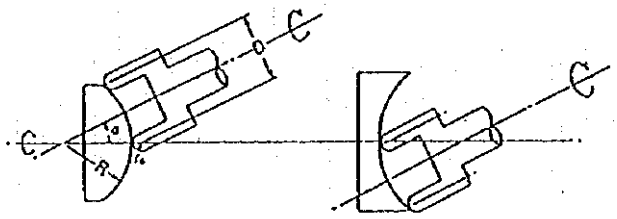


図 2.3.2　カップ型砥石による球面研削

(b) 砂掛け (fine lapping)

あらずりによって大体の曲面と厚さが出来たら、特に曲率があまり強くなく、直径が大きいもでなければ、同じ曲率の硝子を数枚ピッチで皿に張り付け、オスカー研磨機で皿を回転し、所定の曲率を持った凸凹の逆の研磨皿を硝子面に押しつけ、同時に往復運動をさせて研磨皿と硝子の間に細かい粒子の金剛砂を入れると硝子のマット面の凹凸は非常に小さくなる、これを砂掛けという。

図 2.3.3 にオスカー研磨器の概念図を示す。

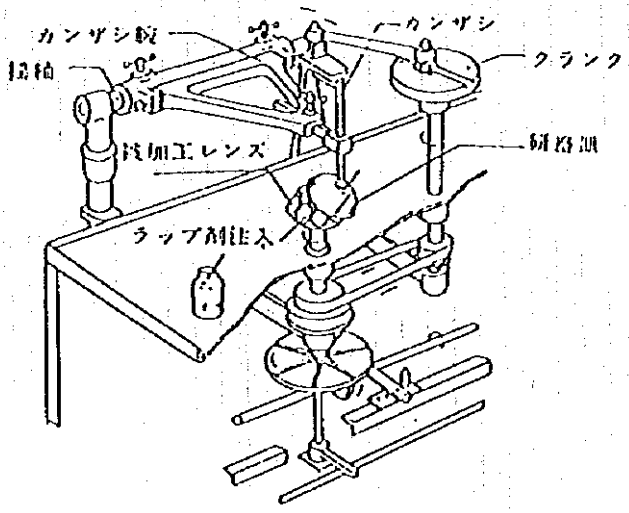


図 2.3.3　オスカー研磨器概念図

(c) 研磨 (plishing)

砂掛けが終わったら別の研磨皿にピッチを流し、レンズとの間に酸化セリウム (CeO_2) を水と共に入れて最後の研磨作業に移る。研磨はレンズ表面のつや出しで、砂掛けと同じ方法で硝子の支持皿を回転するとともに往復運動をさせ、硝子面の細かい凸凹は次第になくなりやがて砂目が完全にとれた美しい硝子の光沢ができる。一面の工程が終わると、他の面も同様の方法で研磨する。

(d) 遊離砥粒加工

砂掛け・研磨は遊離砥粒加工で、一般に云われるラッピング加工になるが、固定砥粒加工に比べて能率が劣るが、下記の特徴がある。

1. 加工が低圧、低速で行われ加工熱の発生が少ない。
2. 単位時間当たりの加工量が少ないので取りしろの微妙な調整が出来る。
3. 加工機は複雑な機構を必要としない。
4. 加工段取りが容易にできる。

1) 加工原理

ガラス材料は常温で普通の速度で負荷を受けるときは完全弾性体と考えられているが、金属材料のように弾性変形、塑性変形し、やがて破壊する過程をとらず、ほとんど変形しないうちに破壊応力に達し、塑性変形を伴わず破壊する脆性破壊が特徴である。引張り強度が圧縮強度に比べて著しく小さいく、加工は引張り破壊による微小破砕の集積のかたちで進行する。すなわち砥粒によるおし割り作用で、割りの進展、もしくは交錯によってチップが離脱すると考えられている。しかし、加工単位が小さくなると材料除去の機構も異なるようである。

2) 砥粒

遊離砥粒加工の加工能率や加工品質は、ほとんど砥粒によって支配される。粒径の均一性は特に大切で、粒径分布がわるいと加工表面に深い傷を付けることになる。砥粒の因子で重要なものは硬度、靭性、粒径で硬度はガラスより硬いことが必要であり、靭性は破砕し難く、破砕したものは一様で粒径は転動しやすい球状に近で、粒径分布の良いものが望ましい。

3) 金剛砂（カーボランダム）

主要原素は炭素を供給する物質である骸炭をよく粉砕したものと珪素原料となるシリカ砂と適当に混ぜ、少量の鋸屑を加えて化学反応させ、抵抗式電気炉中で焼成したもので、これを砕いて混合物を選択し、ロールで砕き鉄粉を除いたものである。

粒度 (gain)	1吋間の数によって粒の大きさを表す	
	極細	粉
	150 ～ 240	280 ～ 600

4) 酸化セリウム (CeO_2)

モズナ石、蓚酸セリウム、水酸化セリウムなどから製造し、セリアを90%以上含むものがあるが、一般に高純度のものの方が加工能率が良い。色は淡黄色ないし褐色を呈し、低純度のものほど褐色度が強い。

(e) 心取り (centering)

レンズの両面が指定の曲率半径に研磨されたら、これをレンズ枠に入れ、レンズ系として組み立てるためには、レンズ単体で光軸に対しレンズの外径が同心であることが設計上の要求される。

製品により作業条件により、また違いはあるが、一般の光学系での偏心精度は1'以下である。あらずり、砂掛け、研磨と途中工程を重ねて、光軸に対し片肉、偏心が生じ、精度の確保が困難であるので、研磨後両面の曲率中心を結ぶ線と外径の中心線を一致させるために外径に加工を加える作業をする。

方法としては、機械のスピンドル回転上にレンズを松脂で接着取り付け、レンズ面で反射する光源の点像の振れを観察しながら、松脂を暖めながらレンズを移動させて反射像の静止する位置を微妙の調整し、静止点でレンズを固定し、外径を研削する心出しする。機曲率の大きいレンズは、両側からレンズホルダーで挟み、レンズの両面にホルダー面を密着させるペルクランプ式の方法を採用する。この方法では両側のレンズホルダーとレンズとの接触角が方法の選択採否の判断になり、それをZ系数と呼んでいる。

$$Z = \frac{\dfrac{r_1}{R_1} \pm \dfrac{r_2}{R_2}}{2}$$

R_1, R_2：レンズの曲率

r_1, r_2：ホルダーの半径

＋符号：両凸両凹

－符号：メニスカスレンズ

$Z > 0.15$　可能

$0.55 > Z > 0.1$　可能性あり

$Z < 0.1$　困難

Z値とペルクランプ式心出しの可否を示す数値が目安になる。

(f) 真空蒸着 (vacum diposition)

真空蒸着法の目的は以下のとおりである。

空気中にあるガラスは片面4%の反射を示す。従ってレンズの枚数が多くなると光の透過率が低下し、繰り返し反射によって生じた迷光（フレヤー、ゴースト）が悪影響を及ぼ

す。この不利を除くために光学部品の表面に反射防止膜のコーティングを施すことが行われる。

このコーティングを施したレンズの表面は反射像が紅紫色となり、反射による光の損失が非常に少なくなる。研磨面のヤケが表面反射を減らしていることも発見されていたが、有害な反射光を除去しようとする試みは古くからあり、光学薄膜の理論と真空蒸着の進歩で薄膜にする物質を真空槽内で加熱蒸発させ、その蒸気を同一真空槽内の基板表面に凝着させる方法の増透処理が普及するようになった。

図 2.3.4 のように屈折率 ng のガラスの上に、屈折率 nf 厚さ t の透明薄膜があると次の式で示す条件を満足すれば反射は中心波長のところで零になることが知られている。

$$nf \cdot t = m\frac{\lambda}{4}, \quad m = 1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot$$

$$nf = \sqrt{ng}$$

普通ガラスの屈折率は ng=1,52 であるので nf=1,23 の物質を用いてλ/4 の厚さにコートすると完全に反射防止ができるが、このような屈折率の低い物質で耐久力が強い薄膜ができないので、今日では n=1,38 の弗化マグネシュウム (MgF_2) がガラスに反射防止膜をコートする材料として最も広く用いられている。現在、蘇州医療器機ではこれが用いられていて、設備は単層蒸着機を 3 基保有し、レンズ・プリズムの反射防止、増反射の蒸着作業を行う。増反射コートには Al 膜がつかわれている、高真空中で蒸着された Al 膜は紫外域から赤外域にわたりほぼ 90% 以上の反射率であるのでこれを用いている。

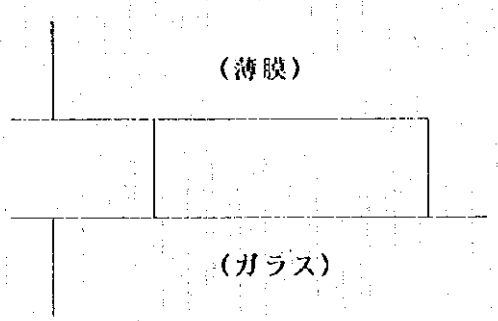


図 2.3.4 光の透過図

(g) 接合 (cementing)

光学用の接合剤を用いて、レンズ、プリズムなどの光学部品を張り合わせる作業を、接合という。

1. クラウンガラスの薄い収斂レンズとフリントガラスの薄い発散レンズとを合わせて薄い収斂二重レンズにすればい色収差の修正をすることが出来る。
2. 両方のレンズを屈折率 1.52 のバルサムで接合することで反射防止の有効な手段となるはレンズの色収差、球面収差、像面湾曲などを減少させる。ガラス表面の反射によるフレアー、ゴーストを防止する。
3. 薄膜などの保護製品の組立・調整を容易にする。
4. 単体でつくることが困難な複雑形状のプリズムも接合すれば容易につくることもできる。
5. 蒸着薄膜のなかで化学的にも機械的にも弱いものも接合して保護することで、光路の合致、分割などができる。

現在バルサムが接合剤として使用されている。バルサムはカナダバルサムといわる寒冷地方の松科植物の樹脂を精製したもので、淡黄色または淡褐色透明で、アルコール、エーテル、トリクレン等の有機溶剤に溶ける。その特性は屈折率は濃度により異なるが、1.51 ～ 1.52 で K3 の屈折率とほぼ同じ、接合の強さは強くない。

(h) 最終検査

製造工程を経て最終検査がされる。ここで行う検査はレンズの外観検査と寸度検査になる。

1) レンズの外観検査

レンズの外観検査の重点は、荒摺、砂掛での砂目、ホツ、研磨の砂目、表面きず、ヤケ、あらびである。レンズをできるだけきれいに拭き、集光照明器を使いレンズ表面とガラス内部を検査する。

2) 寸度検査

寸度検査は、外径、中心厚、面取り幅、角度等である。製造工程を経て実施される最終検査はレンズの外観検査と寸度検査になる。

2.3.2 光学材料加工工程の問題点

(1) 光学材料加工工程の加工システムが古い

光学素子の加工費が高い。現行の遊離砥粒を主体にした砂掛け、研磨では作業効率が低く、且つ、正味の作業に比べ、準備作業時間がかかるので必然的に多くの加工時間を要すことになる。

現在の、蘇州医療器機工場での光学素子加工は、日本における加工システムの約 20 年前の状況であろう。従って、製品原価に占める光学素子の加工割合は 30 % 強で、部品数の割合からも他の加工部品に比べ、1 個当たりの価格が高いものになる。これは現在の加工システムが古いことに起因している。

光学素子の加工は他の加工と比べ、高精度で段階的に形状精度と表面粗さの精度を向上させる方法がとられている。その過程の加工を遊離砥粒によるか、固定砥粒によるかは作

業効率を比較した場合、圧倒的に固定砥粒による方法が有利であるが、それには、剛性があり精度の高い加工機械を必要とする。しかし、最近は機械および工具類の進歩により、従来の伝統的な加工方法に代わり、高度な加工が一般化しつつある。この方法を段階的に取り込み、加工システムの向上を図れば、強い競争力を付けることになる。

(2) 悪い加工環境

建屋が老朽化しているために高精度の部品加工に必要な恒温、恒湿、清浄環境の条件の維持には問題がある。さらに、加工効率低下の要因にもなる。早急に高精度の加工に対応した工場環境に改善すべきである。

光学素子の加工は、全ての工程が光学棟にあり、工程間の移動にムダはないが、建物全体が老朽化していて、高精度の光学素子加工の加工環境とはいえない。

高精度の加工を実現するためには加工環境を整備することが大切で、温度、湿度を一定にして、加工の変動要因のないことが必要条件である。特に、後半の加工には、工場環境が悪いと光学素子表面に粉塵による痕が入ることを避けることが出来ない。

空気中の粉塵の粒径分布は1ミクロン以下の小さいものが圧倒的に多く、また、10ミクロンの粉塵も含まれ、このような場所での加工は粒径の大きなものによる引きかき痕が加工表面に発生しやすい。大きな粉塵の侵入を防ぎ、室内の清浄度を一定に保つ必要がある。当然、工場の中で砥粒が指の爪や指紋、髪、衣服などに付着したままで作業中の砥粒が移動しないようする必要もある。

工場粉塵の出入りによっても粉塵の進入があるので、工場内を加圧にして人の出入りによる外からの進入を防止する構造の建家が望まれる（図 2.3.5 参照）。

図 2.3.5　光学材料加工工程（写真）

(3) 正味作業に比べ準備作業が多い。

現行の光学素子の加工作業は、正味作業時間の前後に準備作業の時間を要する。準備時間を削減し、これを正味作業時間に向ける必要がある、特に工程間の洗浄作業は職場安全の面からも、早期に自動洗浄方式に変更すべきである。

加工された部品を洗浄し次工程に移る工程間の洗浄工程が、現在では、有機溶剤をバットに漬ける浸漬洗浄である。しかし、これでは汚れを完全に除くことは出来ないばかりか、安全衛生的にも問題があり、能率的でなく、火災の危険もある。

(4) 検査装置類の整備

光学素子の表面形状精度の判定は工場原器による干渉縞方式で行われているが、今後の高精度化の方向に対応出来ていない。

検査工程は品質保証からは必要であるが、その費用の点より最適な検査設備を選択する必要になる。工程検査は、一つの工程が終わり次の工程に移る途中のもので、不良品が流れることが不利な場合に適用するもので、出来るだけ工数をかけずに判定すべきである。

現在、レンズ、プリズムとも加工表面の精度をニュートン原器により測定している。これは実用的であるが、判定に作業者の経験を必要とし、高精度の判定には限度がある。

(5) 工程の進捗管理の遅れ

加工の進捗管理は、伝票の転記による台帳方式であるが、この方式では記録されたデータを利用することが出来ない。記録されたデーターを活用するためにコンピューターの活用をはかる必要がある。

製品に組み込まれている光学素子は種類が多くあるが、更に、加工工程に分解する必要がある。工程管理のために伝票を使い相当の労力がはらわれている。光学素子が完成するための仕掛り時間も従来は3ケ月を要していたが、改善され2ケ月と短縮されたと聞く。依然として工程の進捗状況のホローにはかなりの労力が費やされている様子であり、改善すべきである。

(6) 排水処理の遅れ

光学素子の加工段階では、加工途中に洗浄、冷却、研削液等と大量の水が使われ、それが、そのまま廃液として工場から排出されている。加工されている硝子材料の中には、相当量の重金属が含まれている、特にフリント系の硝子では PbO を 50 %以上含むものもあるが、これらが、そのまま研磨粉として水と混濁し工場から排水されることは、水質汚濁となり環境へも問題となる。工場から排出する廃液を含めこれらの処理は、将来の禍根とならぬよう、公害対策上の処置を早急に整備すべきである。

2.4 電気部品取付工程

2.4.1 電気部品取付工程の現状

電気設計の品質を製品に生かす電気組立の技術は、一般に実装技術と呼ばれているが、この実装技術により製品の特性に違いが生じる。

蘇州医療器機工場での実装作業は第6工場（製品組立工場）の中の電気組立グループ14名が担当している。各製品の電気基板をはじめ、その他の電気部品の組立作業を行い、各製品組立グループに供給する。これらが機械部品に組み込まれるのが全体の製品組立の流れとなっている。

眼科用手術顕微鏡の場合、電気部品の配置は、電源部、制御部は架台主柱底部に納められ、駆動はユニットのフットスイッチにより顕微鏡部の上下粗動、微動、及び前後、左右、と光学系のズーム駆動と電気的に連動する部分と照明系のハロゲン電球の点灯部とが配線接続される。電気部品の大部分は架台内に収納されるかたちで、顕微鏡部とはコネクタを介し接続する構造となっている。従って、顕微鏡部のモーター取り付け、及び基板の一部組立は本社組立工場で行われるが、主体の電気部品組立は、架台部の組み込みとフットスイッチを含め、架台部の全体組立を担当している第2分工場で行われている。

電気組立で主に使われている電気要素部品は抵抗、コンデンサー、電動機、固定継電器、ファン、変圧器、コイル、コネクター、PC基板、LED、ハロゲン電球等である。作業は半田付け、束線、配線の挽き回し、圧着などである。予備作業後、研究所が指示する電気接続図、電気機能図により、準備された部品の取り付け、配線接続、調整確認の順序で作業が行われる。

特に架台部の電気組立は顕微鏡部に相当する形状の治具を使い、負荷状態での機能確認を行い、作業完了後は品質保証担当者の検査判定を受け、不具合品は修理を行い、更に合格の判定を受けて作業が完了する。

2.4.2 電気部品取付工程の問題点

主要な問題点は以下の4点である。

- 配線作業の作業標準が無い、また配線の引き回しが雑然としている、配線類の作業性及び品質安定からハーネス化し、固定する作業とする。
- 電気組立工場としての作業環境は極めて悪い、品質面からも機械工場とは仕切られた組立工場とする改善を早急に整備する必要がある。
- 作業指示書が整備されていない。
- 安全試験の全数実施による品質保証（絶縁耐圧試験、絶縁抵抗、接地抵抗等）測定データの管理が必要。

以下に、関連する事項について述べる。

配線の引き回しが雑然としていて作業にバラツキがある。乱雑な配線は、見た目にも悪

い印象を与えるばかりでなく、良い品質を期待できない。線材を束ねる束線も品質の安定には欠かすこと出来ない作業で、束ねるだけだなく固定することが必要になる、安定した品質、安全性および作業性を目的にした配線の引き回しをすべきであり、品質の安定と作業性を向上させ整然とした配線のために配線のハーネス化をすべきである。

部品のバラツキが少なく、規格または判断のポイントが明確で手間取らない、むだな作業動作がないこと（捜す、位置を合わせる、向きを替える、つかみ直す）が作業上でのミスをなくすことになる。

電気組立の工場は、本社の工場も含め、全体が雑然としている。特に眼科手術用顕微鏡の製品の架台の電気部品組立は、第２分工場の機械工場の一隅にあるために組立環境としては極めて悪い状態である。このような環境で安定した作業が出来るとは考え難い。早急に改善の必要がある。

まず整理、整頓をはじめとして職場環境の一新を図る必要を痛感する。特に第２分工場の組立は、組立部分を仕切り、外部からの塵埃の侵入を遮断し、一定の温度、湿度の維持できる工場環境の整備をはかる事が早急に望まれる。近く、電子部品組み込みによる、高機能の製品開発も計画され、生産の戦列に加わることが予定されるているので、工場環境整備は速やかに取り組むべき課題と考える。

現在、組立作業には作業指示書がない。あらかじめ決められた設計仕様を満足させるためには、安定した品質で予定どおりのコストと、計画どおりの日程で生産するには作業条件、設備、治工具、製造規格などを標準化する必要がある。比較的簡単な半田付け、圧着端子すら、その部の接触不良による過熱焼損並びに端子部の絶縁破壊等で思わぬ製品の短寿命化に繋がる事故を経験することがある。

特に、安全規格・基準に関係する作業は作業指示書を整備しあい作業者に明確に指示を行い、同じ作業手順で全数の組立作業が出来るようにする。工程検査では検査指示書により、製品安全に関する作業の確実性は検査にて確認し、検査の結果はかならず記録し保管する必要がある。

架台部で完成品とする為には、組立が完成した時点で、全数安全試験を実施する。絶縁耐圧試験、絶縁抵抗試験および接地抵抗試験などの完成品検査は、全数実施することが全数保証できることになる。それに伴い、安全試験データ、および品質検査データは保管することと、安全試験装置は日常的に動作確認を行い、試験電圧など正しく設定されていることを確認する計測管理の徹底を実施することである

2.5 組立工程

2.5.1 組立工程の現状

組立工程で対象となる製品は、スリットランプ、検眼鏡、眼底カメラ、レンズメータ、顕微鏡類である。その内、眼鏡手術用顕微鏡関連製品の主なものは次の通りである。

1. 手術用顕微鏡 YZ20、

2. 普及型手術用顕微鏡 YZ20P、
3. 同軸手術用顕微鏡 YZ20T、
4. 外光源手術用顕微鏡 YZ20T Ⅲ、
5. ハイ・グレード手術用顕微鏡 SOM2000、
6. 携帯用顕微鏡 YZ20PS

この一連の製品の 1992 ～ 1995 年の生産実績は表 2.5.1 の示す通りである。 1996 年度以降の生産計画は表 2.5.2 に示すように、機種毎に生産が計画されている。これらの生産実績と生産予定を基に今後の製品の生産計画の推移をみると図 2.5.1 のグラフに示すようとなる。

今後開発される神経外科用顕微鏡をはじめ咽喉、形成、整形、産婦人科と製品系列を拡大する計画である。今後、新製品の占める割合は 1996 年度で 15%、 2000 年までには 42% と広がり、幅広い分野への製品供給を意図している。従って、現行製品の増産のみではなく、機種の拡大に対応する生産形態の整備充実が必要である。

現状では、製品の機種により違いがあるが、月次の生産単位は高級手術顕微鏡 SOM2000 の 40 台、軽便手術顕微鏡 YZ20SP の 150 台と、生産ロットの分割がおこなわれ、保有工数と合わせた機種毎の生産計画により作業が行われている。

現在の眼科手術用顕微鏡の組立作業は顕微鏡本体及びその周辺部（上下、 XY 動、斜・同軸照明系部）と、架台部組立とに分かれている。それぞれ顕微鏡本体は本社工場、架台は第 2 分工場で行われている。第 6 工場は蘇州医療器機工場の全製品の製品組立と電気組立を担当し、手術用顕微鏡の組立も第 6 工場で作業は行われている。

全製品を常時生産せず、生産課よりの機種毎の生産計画により、第 6 工場の月次計画をつくり生産する形になっている。第 6 工場が保有する工場は 2 号棟に 2 区画、 3 号棟の 2 階部分の 1 区画（電気組立）に分かれ製品機種毎の組立工場エリアを持っている。その中で 2 号棟の 1 区画でトプコン製品、試作を除く他の製品と手術顕微鏡の組立が行われている。

第 6 工場の構成人員は主任以下 77 名で副主任を含む 9 名により工場の生産計画を含む間接業務が行なわれている。手術顕微鏡関連の組立は、その内の 15 名により行われている。製品は 3 カ月毎の生産計画により生産月が決められ、それにより製品組立に必要な部品が準備されて、部品は半成品倉庫から払い出され組立作業が着手される。光学部分は予めサブ組立が行われ、次に製品の全体組立が行われる。

表2.5.1　手術用顕微鏡の生産実績

仕様	品名	1992	1993	1994	1995
YZ20	手術用顕微鏡	25			
YZ20P	普及型手術用顕微鏡	80	100	113	125
YZ20T	同軸手術用顕微鏡	160			
YZ20T	外光源手術用顕微鏡	150	126		
	外光源手術用顕微鏡	2	275	351	200
	分光教育手術用顕微鏡	30	3		
SOM2000	高級手術用顕微鏡			5	85
合　計		447	504	469	410

表2.5.2　手術用顕微鏡の生産計画

	仕様	品名	1992	1993	1994	1995	1995
既存製品	YZ20	手術用顕微鏡					
	YZ20P	普及型手術用顕微鏡	100	150	200	300	400
	YZ20TIII	外光源手術用顕微鏡	225	250	250	250	250
	SOM2000	高級手術用顕微鏡	200	300	400	500	600
	YZ20PS		150	250	300	400	500
新規製品		脳神経外科	100	200	300	400	500
		咽喉	25	50	100	150	200
		形成		50	100	150	200
		整形		50	100	150	200
		産婦人科			50	100	150
合　計			800	1,300	1,800	2,400	3,000

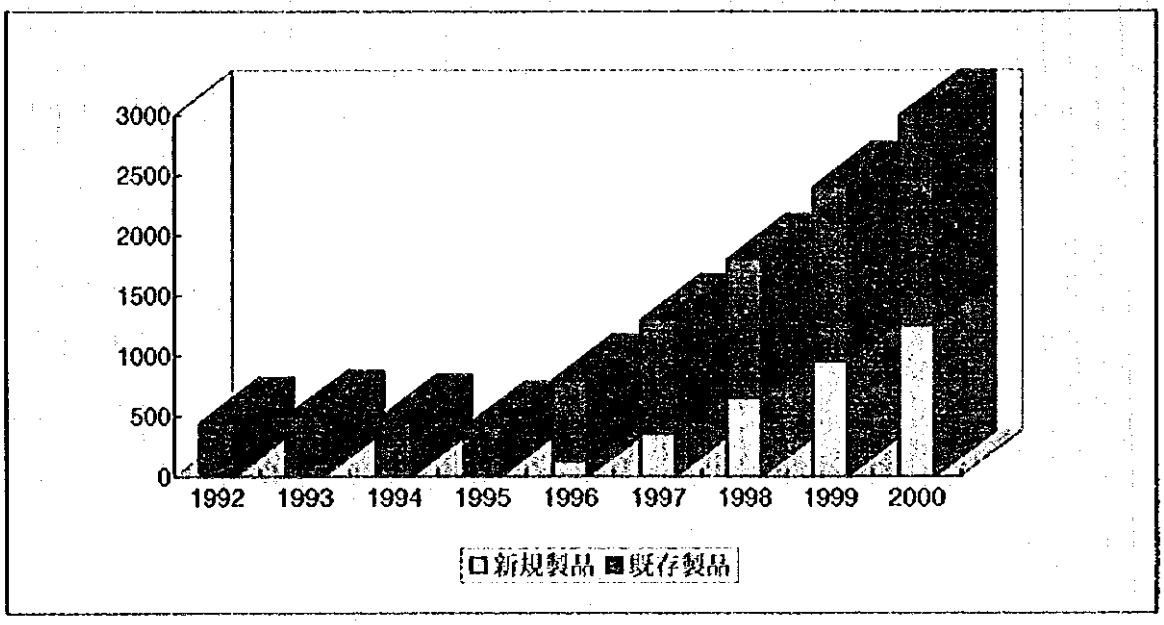


図2.5.1　手術用顕微鏡の生産推移

作業の指示は班長から各作業者に出されるが、各作業者は常時同じ作業の繰り返しではなく、日々内容の違う作業に付く事になるので作業指示はすこぶる重要になる。現状は作業指示書が整備されていないので口答による指示の形がとられている。

比較的生産の工程・工数設定は整備されている。代表的な手術顕微鏡製品 YZ20T Ⅲの顕微鏡部の組立工順を表 2.5.3 により示す。なお、顕微鏡本体組立は、顕微鏡の対物部、接眼部、およびプリズム取り付け座等の光学部位は予め準備のサブ作業として本体組立に先行し、別グループにより金属部品と光学素子との組付がされていて、この部位が本体の総合組立で使われる。

手術用顕微鏡の組立は、図面に従って部品を取り付ける作業と、部品を要求される性能・精度・機能を活用して組み上げる作業とに分けられる。後者の作業を光学調整と言い、組み付け作業の中で微細領域の位置決め、精度出しをする作業であり、標準時間の設定がしずらく、技量の関係するファクターが大きい作業となる。

一般に光学調整作業には、次の 5 種類がある。

1. 焦点調整
2. 光軸調整
3. 倒れ調整
4. 倍率調整
5. 光量調整

この光学調整作業と機能部品組み付け作業とが合されて光学製品が完成する。（図 2.5.2 参照）

図 2.5.2　組立行程

表2.5.3　顕微鏡YZ20T111の組立工順

		(斜照明部)	
1	○	スリット部組立 (斜照明部) 投射鏡 集光鏡 反射鏡	スリット開閉作動、位置決め
2	○	スリット部 斜照明部を含む総組立	最小スキマ／クサビ
3	○	焦準機構部組立 ウォーム座組立 モーター取付	真直度／倒れ 回転力量・ムラ 半田付け
4	○	微動部組立 サドル部組立 焦点調整部電気組立	 上下移動調整 4芯プラグ半田付け　上下・変倍の一致
		(X-Y微動装置部)	
5	○	ジョイント部組立 ベース部組立 電気組合せ	 スイッチ部取付、7芯プラグ、24Vリレー半田付け
6	○	微動部組立 十字ツール部組立	
		(主・副顕微鏡)	
7	○	底板及び眼幅調整組立	
8	○	45℃俯視接眼鏡組立 眼幅調整、底板、45℃プリズム、同軸照明部調整、光軸調整	
9	○	1.25倍接眼鏡筒レンズ組立 主顕微鏡矯正 プリズム座取付	
10	○	主顕微鏡、変倍部組込 1.6x2.5xカリレオ、顕微鏡視野差上下・左右 主顕微鏡校正	 供給解像力 1p/mm、拡大倍率、左右倍率差
11	○	ビームスプリッター部組立 ビームスプリッター部校正	分光プリズム取付 分光プリズム位置調整
12	○	主顕微鏡総組立	
13	○	副顕微鏡ユニット組立	顕微鏡視野差上下・左右、解像力
14	○	焦点組立 焦光レンズ 副顕微鏡、校正	

(1) 架台組立

架台の組立は第２分工場で行われている。第２分工場の主体作業は医用器機類の架台組立で、手術用顕微鏡の架台も含まれている。顕微鏡の架台の構造は顕微鏡を吊り下げる、主柱に相当する部分で、全体を支える３本足の脚になるベース部、柱となる支柱部、顕微鏡を支柱を中心に回転する肩に相当する第１アーム、顕微鏡の上下動を行う第２アームに大別される。部品はそれぞれ顕微鏡部に比べ形状は大きく、重量のあるベース部及び第１アーム部の鋳物と支柱部と第２アームは板金加工部品を組立てる作業で、組立は次の順序で組立られる。

- ベース部（脚に相当、中央に電源部が配置する部分）：架台を安定し移動用のコロの取り付け
- 支柱部：周囲を板金で囲んだ柱で内部にはベースに配置されている電源部との配線がはりめぐらされている。
- 第１アーム：支柱上部に取り付けられ、同軸照明と斜照明の調光ノブ組み込み回転ブレーキ加減調整
- 第２アーム：ランプセレクター部（光源部及び反射板）及び光りファイバー取り付け座の組立

架台の機械機構部が組立られると、電気組立に移り電源部、光源部、ランプセレクタの配線作業を行い、架台の総合機能を確認後、機能部を５つに分解し各々を梱包する。（図 2.5.3、図 2.5.4 参照）

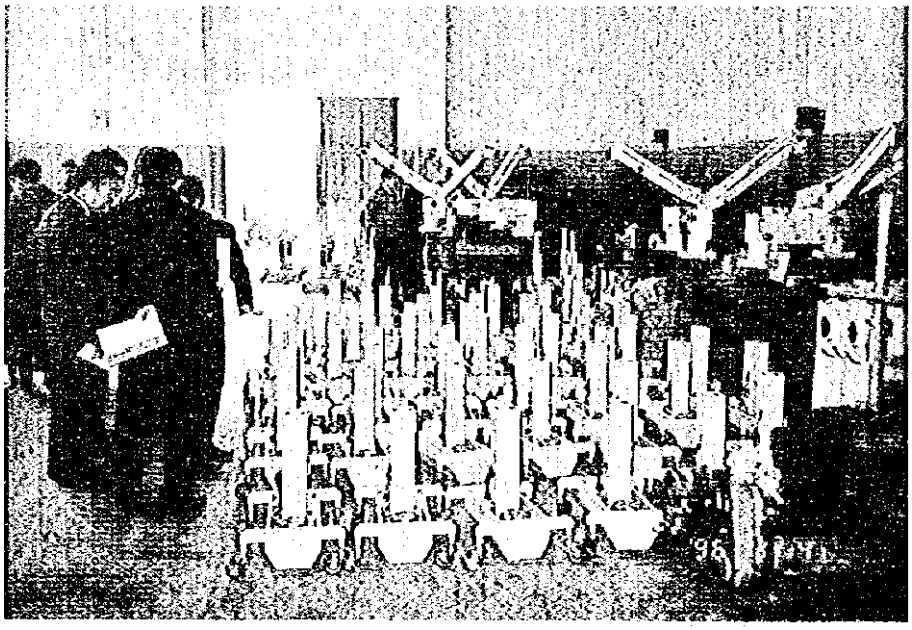


図 2.5.3　架台の組立 (1)

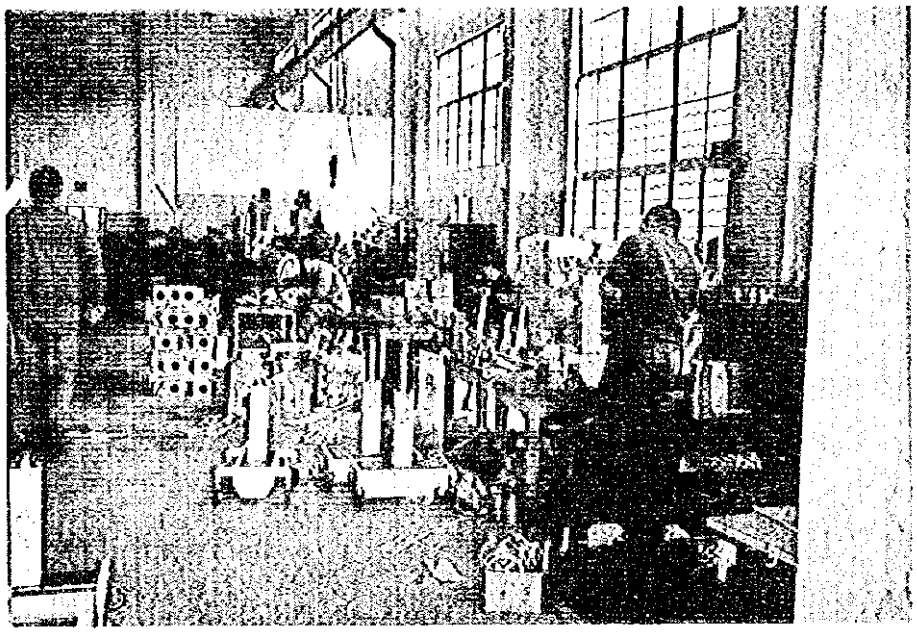


図 2.5.4　架台の組立 (2)

2.5.2　組立工程の問題点

主要な問題点は以下の 6 点である。

- 組立工場の整理、整頓は他に比べ比較的に良好であるが今一層の職場環境の向上、工場内、外部からの製品内部への塵埃進入防止（部品及び部品収容箱の塵埃付着）、工場内部での切粉発生の根絶する。
- 工場内の組立生産計画と現況の進捗が工場全員の関心事となつていない
  計画と現況の表示、事前の次作業の準備（部品払い出し）による作業停滞の削減、部品中間倉庫との隣接性を検討する。
- 組立主体作業に同期化した、関連ユニットの組立、類似作業による作業習熟の向上、ライン化の推進。
- 計画性のある作業指示、作業標準指示書の整備されていない
  作業標準による作業指示、計画性のある作業順序。
- 生産設計がされていない
  分解再組立による組立性は、調整作業を除いた組立は 1:2、3 で予想に比べ差のない作業であつたが組立作業が安定した姿勢で組立られない、工具類の標準化もされていない
- 光学調整は目視作業
  調整作業は技能経験を必要とする作業であるが、作業の標準化と調整工具の改善で安定した作業精度が可能になる。

以下に、関連する事項について述べる。

各々の組立工場に於いて、現状で問題となる点がいくつか散見される。

顕微鏡本体及び、その周辺部分の組立は本社の組立工場で行われている。組立工場の職場環境は他の職場に比べて良好で、整理、整頓、清掃の状態は比較的良いが、製品の品質保証の条件としては充分とはいえない。中継倉庫から運ばれる部品収納箱にかなりの塵埃がついたままである。医用光学機器の組立工場内の環境を一層整備することが製品の品質トラブルを削減するために必要な条件であるといえる。

工場内に工場環境の適当な見本となる作業場（トプコン製品の組立工場）があるので、そこと具体的で現実的な比較をすることが、この解を求めるための材料を提供してくれることになるのではないか。工場に塵埃を持ち込まない、塵埃を発生させないことの考慮は何よりも優先すべきである。

現在組立工場は生産機種により分かれていて、顕微鏡関連製品は本体はじめ周辺ユニット組立は単独の工場エリアで作業されているため工場管理上は好ましい。多種類で小ロットの生産のため必然的に各月に生産機種が違う製品を組み立てることになり、工場内は絶えず同じ状態で作業することが出来ない。このため、作業者の作業内容も生産月により変わることが常にある。これは多品種少量生産の抱える宿命的な問題点であるともいえる。

更に、今後は長期計画では先に述べた全体数量の増加を既存製品の生産数の増加と製品系列の分化で計画しているので、その条件は益々厳しくなることが予想される。これ等を考慮に入れた生産システムの構築を今から準備することが工場近代化の為の条件となるのではないか。これらを前提条件として、現状での問題点の指摘をしたい。

まず工場の生産計画に対して現在の生産状況が誰でもつかめるように掲示をする。現在工場で何を生産し次は何を生産するかわからず、現在の工場の生産状況を知る事は出来ない。これは当然工場の作業者も知ることが出来ず、生産の状況に対する関心を高めることにはならない。工場の全員が知るべき事項は、掲示し全員が関心を払う対象とすることが必要ではないか。

次に、主体作業に同期し纏めた類似作業を組み立てる方式を提案する。作業は習熟度により能率が格段に向上する。毎日同じ作業をしている人は、習熟するにしたがいムダのない最善な方法での作業順序を作り実践する。その例に習い現在の製品も主体作業を含め類似作業ができる生産体系にすることが望ましい。工場でもレンズ組立の一部分はそのような作業形態であるが、製品系列全体を通して作業のまとまりを再検討することで作業が習熟しやすいものとなる。

今回調査に当たり、工場での作業者の稼働分析を実施した。その結果、工場での連絡打ち合わせによる不稼働が多いことをデーターは示している。現行の作業単位が小さいために比較的頻繁に作業変更が起こる。次の作業の指示が適切にされず作業手待ちとなることが多く、それらが能率低下の要因になっているように見受けられる。

部品の払い出しについて次の問題がある。工場の生産性は停滞なく製品組立が行なわれることにあり、これに必要で不可欠なことを事前に準備することから始まる。半製品倉庫

と工場との位置関係が良くなく、階が違い、部品の移動を伴う。半成部品倉庫と組立工場とは、同一階すれば部品流れがムダのない払い出しに繋がるのではないか。

更に、工場での日次生産計画を掲示し作業に必要な部品の準備、払い出しを作業着手の事前に行うことで次作業の継続に繋がる。作業の指示について次の問題がある。標準作業書の整備がされていない。作業単位が小さいく屡々変わる作業の指示が適切にされず、作業の手待ちとなることが多く能率低下に繋がる。迅速に指示を正確に伝える為に標作業書を整備して、常に同じ内容の指示で伝達の品質を高めることが作業者を安定した作業にする最善の方法である。現状の口答指示ではなく、作業者に対する標準作業書を介した正確な指示が伝達されることになる。

今回の調査では、適当な製品を取り上げ、その製品を個々の部品に分解し再びその部品を製品に組立てる手法を用いて問題点を摘出した。分解に要した時間と組立に要した時間を比較し、そこから現状の製品に内在する問題点の掘り下げをすることを試みた。

対象作業は製品 YZ20T、および SOM2000 の顕微鏡本体の組立で、作業者は 10 年以上も製品組立に携わり作業経験の豊富な熟練者で、分解作業および再組立作業を行う間に個々の要素作業の時間と内容を観察しつつ問題になる部分を抽出し記録することにした。但し、時間の関係から光学調整の部分は今回の調査の対象から外した。

組立の際主要部品を中心に一方向から順次部品をとりつけることが出来ず、主要部品を不安定な状態で取り付ける作業がおこなわれているのが目についた。正規の組立作業では物品を安定した位置に置いての作業の工夫が必要であるようだ。今回調査の結果、分解時間：再組立時間は各機種とも 1:2、30、 1:2、39 ともほぼ同じで、当初の予想時間に比べ両者に差がないことが判った。これは、分解と組立とは作業に要する注意の度合いに違いはあるが、条件が整備され作業することは両者の間にこのような関係式が成り立つことになる。しかし、整備された条件の内容には問題が可成り内在することを捉えることが出来た。まず、組立の主要部品に組み込みの際、組み込みのために部品に何らかの加工を加えていることである。これは組立てた製品に互換性がない物になることになる。これは部品単体での精度が設計指示の精度にできていないか、もしくは設計の指示する精度では組立が出来難いかの何れかである証左であるといえる。製品の互換性が欠けることになる。実際の作業はこれらの調査作業を加えながらすすめられていることである。既に部品の精度が組み込みの要件を満たしていれば、比較的に部品を順序よく組み立てることができる。作業経験者であれば難度の高い仕事ではないのではないか。

現実に工場の中で部品の塗り落とし、鎚掛け等、組立以外の作業を屡々目にすることが多く、問題の深刻さがうかがえる。

次に、今回の観測の試みから外した光学調整であるが、この作業は各社取り組み方が様々で、ノウハウがあり、それぞれ特徴ある作業になる。ここでの光学調整は作業者が調整器具を覗きながら光学系の光軸の調整を行う、目視の光学調整である。これは作業者の技能経験を要する作業で、作業時間がばらつく。安定した作業にするためは作業手順と内容

を標準化し計測機器を改善する必要である（図 2.5.5 参照）。

図 2.5.5　光学調整工程

2.6　表面処理・塗装工程

2.6.1　表面処理、塗装工程の現状

光学機器である手術顕微鏡に使われている工業材料は鉄材料では鉄鋳物、鋼板、アルミニュウム合金では鋳物、板及び棒材、銅材料では黄銅材が主なものである。使われている場所により目的に合う表面処理が行われる。一般にメッキの目的はその表面状態を半永久的に維持するためで、光学製品ではクロームをはじめとして、ニッケルメッキ、黒色亜鉛メッキなどがある。外部は装飾の意味で外観処理、内部は光学的に反射防止の目的で各種の黒色仕上げが行われている。また、軽量化のために多くつかわれている軽合金の表面処理はアルマイトを主体としている。特に光学機器の黒色処理は黒色皮膜の性質が異なり、また黒さも種々の目的で使い分けがされている。中でも、特に重要である表面処理はアルミニュウム材料の陽極酸化で、これは蘇州医療器械工場で行われいる。工場の環境問題からクロームをはじめとする他のメッキ処理は、既に 1986 年頃から本社工場から約 15km 離

れた関連工場の長青鎮電鍍聯合庁で処理が行われている。

(1) アルミニウムの表面処理

このアルミニウムの表面処理の陽極酸化は古くからアルマイト処理として知られる方法で、アルミニウム独特の方法であり、いろいろの有益な特性を得ることができる。いかにして良好な酸化皮膜を作り、耐食性、耐磨耗性を改良するか、また、いかにして酸化皮膜を除去して、他の金属や塗装を密着させるかの二通りに分けられる。そのまま外観部品とするものと塗装の下地処理とするものがある。

陽極酸化処理は、処理品を陰極として、その表面にメッキ浴中の金属イオンを還元してメッキ皮膜を生成させる電気メッキと反対で、電解液（硫酸、しゅう酸、クローム酸など）の中でアルミニュウム製品を陽極とし、カーボンや鉛を陰極に使い電解処理をして、酸化反応によってアルミニュウムの表面に処理層を人工的に生成させ耐食性を著しく向上させることで、電解液やアルミニュウム合金の種類によって、さまざまな処理が可能である。

一般にアルミニュウの純度が高いほど皮膜は美しく、低いほど濁る。蘇州医療器機庁での陽極処理の条件は表 2.6.1 及び図 2.6.1 に示す。

表 2.6.1　アルミニウムの陽極処理の条件

酸 性 浴	硫　　酸
電解液組成	H_2SO_4　10 ～ 20(%)
電流密度	DC 12 (a/dm2)
電　　圧	10 ～ 20 (V)
浴温と処理時間	20 ～ 30(℃) 40 ～ 45(分)

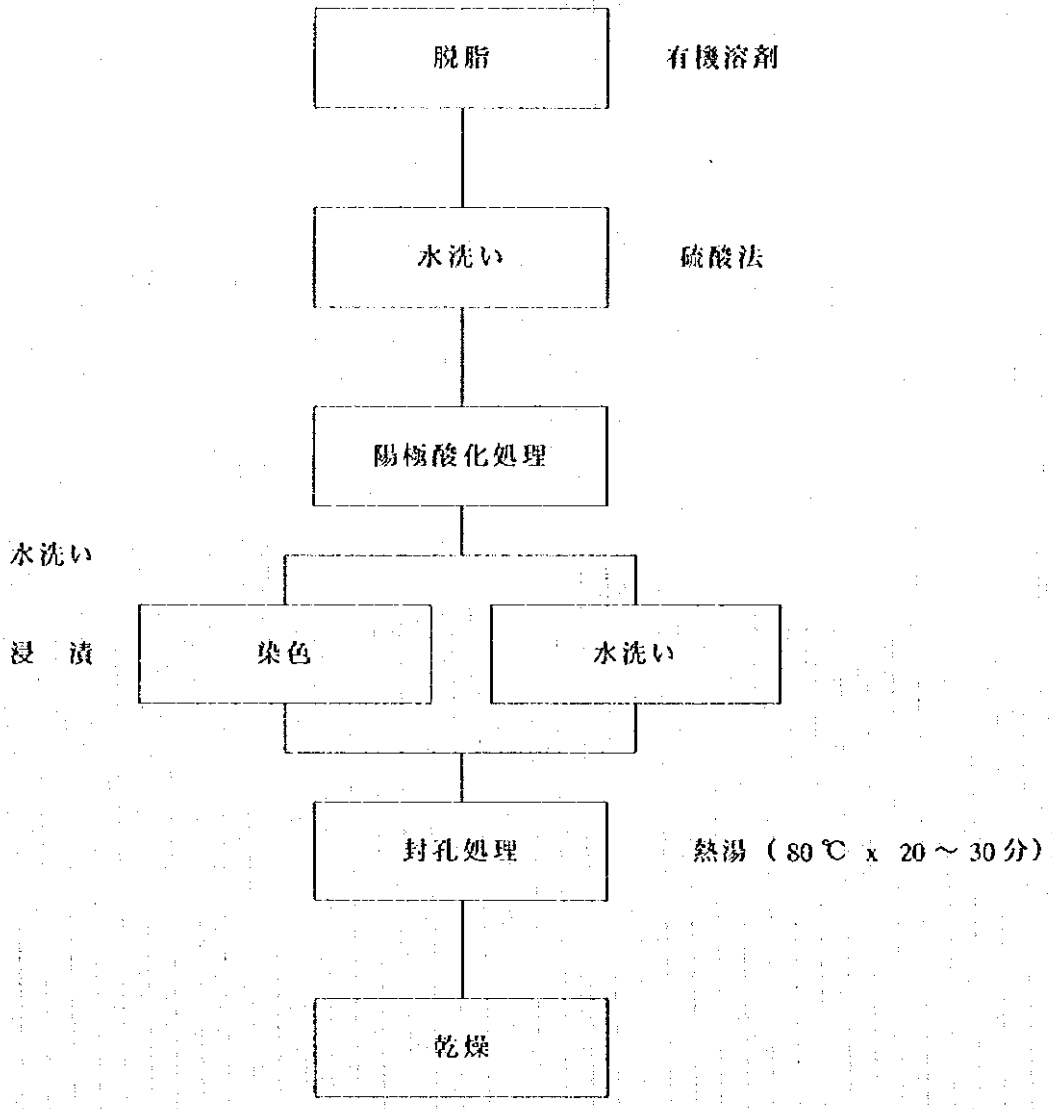


図 2.6.1 アルミニウムの陽極処理の工程

色調はアルマイト条件、染料のみによっては解決しない、アルマイト性良好な材料の選択が必要で、純アルミ、アルミーマンガン合金、アルミーマグネシュム合金などは黒色アルマイト色調がすぐれているが、シルミンなどのダイキャスト合金は色調が悪い。

(2) メッキ

クローム、ニッケル、亜鉛、ブラック亜鉛メッキは先に述べたごとく外部に加工依頼をしているため詳細な処理工程を調査が出来なかったが、2棟の建物の中で約40名でクローム槽3、ニッケル槽2槽および亜鉛槽1を持ちメッキ処理を行っている。現在の作業量の2/3は蘇州医療器機工場で、1/3はその他の工場からの依頼品処理である。工場の環境は床の整備、照明の整備、有機溶剤、クローム酸などの蒸気やミストの排気などの作業者

の健康を守るための排気と空気調和など悪く、危険物および薬品類の取扱いなどに問題がある。

(3) 塗装工程

塗装は、製品の付加価値を高め、同時に信頼性の向上に寄与するもので防錆、美観を向上させルウために塗装には高い品質を必要とする。現在、蘇州医療器機工場に於ける製品の塗装工程は、静電粉体塗装装置を中心に構成されている。一般には図 2.6.2 の工程による（図 2.6.3、図 2.6.4 参照）。

粉体塗装は、塗装の省力化と無公害化を実現する塗装法として注目されているもので、高分子合成樹脂を主成分とした塗膜形成成分からなる塗料を粉体にして被膜面に撒布し、熱処理によって融合焼結した均質な塗膜を形成する方法で、溶剤を使用ないので無溶剤塗装といわれている。塗装は手持式粉体静電吹付機（独 WAGNER 社）による。下地処理された被塗物に厚膜で 1 コート塗装するもので、塗装が極めて簡単であるなどの長所をもつ反面、色替えが困難である。

調色精度が低いなどの問題もあるが、一般的に粉体塗料は次によるな特徴がある。

長所

1. 塗膜欠陥のない厚膜が形成できる
2. 塗膜の性能が向上する。
3. 塗装時の塗膜損失がない（回収して使用できる）。
4. 塗装のの省力化・合理化ができる。
5. 安全・衛生にすぐれている。環境汚染がなく、火災の危険がほとんどない。

短所

1. 焼き付け温度が比較的高い（ 180 ℃　15 分）。
2. 薄膜仕上げに限界がある。
3. ラインの色替えが面倒である。
4. 調色精度が溶剤型に比べやや悪い。
5. 塗膜がややゆず肌である。

この表面処理・塗装工程は第 3 工場の担当業務で、現在 20 名が陽極酸化と塗装工程、それらの表面処理後の部品の彫刻およびシルク印刷等、製品の外観部の表面処理工程の一連の作業を担当している。作業に必要な関係設備は 1 号棟、2 号棟のそれぞれ 4 階に設置され、特に、静電粉体塗装装置は 1 号棟 4 階の全体に設置されている。

乾燥炉などで電気消費量も大きく、電力事情から、装置は夜間電力を使って午後 8 時から午前 2 時まで変則勤務の作業者により稼働されている。昼間は夜間稼働の為に塗装しない部分を覆うなどの準備作業が行はれている。

この設備の構成は粉体ブース 3 基と乾燥炉 1 基で、被塗物の搬送はトロリコンベヤーである。コンベヤーの進行に伴い被塗物が移行し、粉体ブースの作業者に来たところで吹付

け塗装をする。被塗物はそのままコンベヤーにより乾燥炉に運ばれ、炉内を通過のする間に乾燥されて元の吊り下げ位置に戻り作業は完了する。その間、装置（全長 75m　走行速度 0.7m/min) を一順するのに約 1 時間を要す。

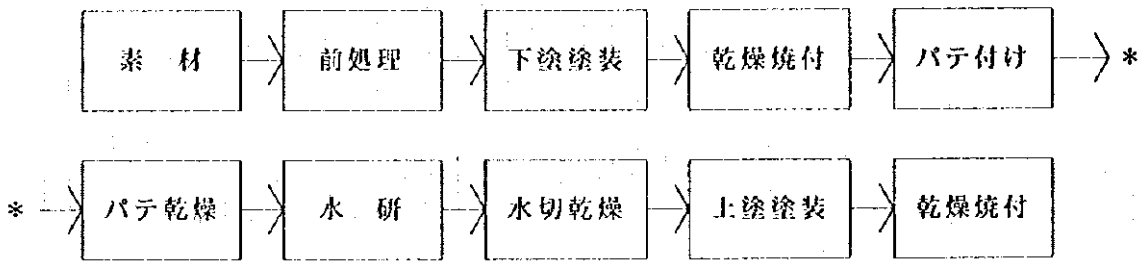


図 2.6.2　一般的な塗装工程

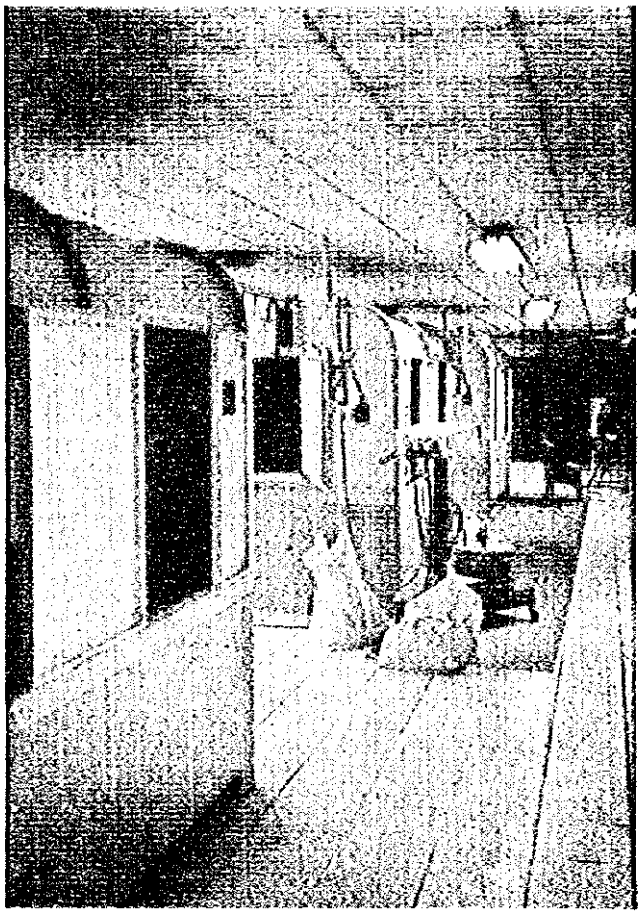


図 2.6.3　静電粉体塗装工程 (1)

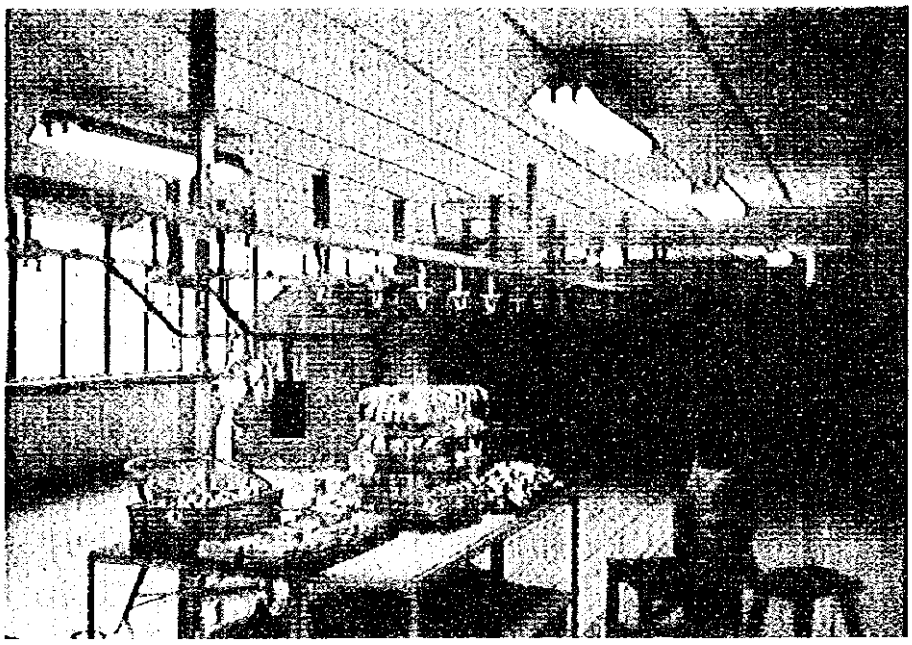


図 2.6.4　静電粉体塗装工程 (2)

2.6.2 表面処理、塗装工程の問題点

主要な問題点は以下の 3 点である。

・メッキ工程の品質が不安定

長青鎮電鍍聯合庁への本社化学技術者による技術支援（作業管理、液管理、安全管理他）による工程の安定、廃液処理の管理体制の徹底

・光学系金属部品の黒色アルマイト品質

アルミニュウム材への陽極酸化処理の徹底、光学機器の外観部品、光学系部品の艶消し処理

・嵌合部品の静電粉体塗装の塗り込み除去（焼き付け前の除去）、

以下に、関連する事項について述べる。

表面処理は本社工場でのアルミニュム半成部品の陽極酸化処理処理と黒染め処理および塗装工程があり、長青鎮電鍍聯合庁の一般部品のクロームメッキ、ニッケルメッキなどの工程がある。表面処理は光学機器の外観部品、内部部品の防食処理および光学系の内面の迷光防止の為の処理などそれぞれ重要な役割を担うものである。

問題は大別して、その工程で出来た物の品質具合と、その工程の外部との関わりが考えられる。特に、前処理から始まり後処理後の乾燥までの一連の工程は、装置を日常、いかに管理するかで、装置の品質管理が大切な工程である。準備からはじまる作業を、徹底した標準作業と装置類の管理水準を一定に保ち安定させるかが決め手になる。

現状の品質の評判は、メッキは品質的に不安定であり、塗装はとかく塗装工程で部品の嵌合部分に塗装の塗り込みがあり、その部分の除去に大変苦労している。

メッキを安定させるには、被メッキ材の油脂、アルカリ、酸化膜、錆、ごみを除く前処

理から、メッキ処理液の組成を常に一定に保ち、安定した電源から安定した電流密度で作業する一連の工程が常に管理された状態であることが必要である。長青鎮電鍍聯合庁における作業は、一見したところでは管理状態は良いとはとても見えず、作業にバラツキがある（図 2.6.5 参照）。肉眼、拡大鏡などを用いたメッキ面の光沢、色合い、しみ、ふくれ、きず、などの外観検査は十分おこなわれずに納入されている。ぜひ、本社工場の技術指導による工程の安定をはかることが望ましい。

メッキ作業は危険な化学薬品や電気機器、加熱器機などを用いるので、災害が起きることのないように安全衛生、薬物取り扱いに注意し工場の排気を点検をし作業者の作業環境を整備する必要があると考えられる。

本社工場での陽極酸化処理は安定した状態での作業である。材質により処理された表面品位に差が生じるが、これは処理の問題ではなく材質の問題で、必要であれば材質を変更することが解決になる。

塗装工程は主体が静電粉体塗装装置であるが、吹き付け塗装なども使われている。塗装後の検査は視覚検査に頼ることになるのが、塗装面のふくれ、ゆず肌、ピンホール、ぶつ、しわ、色分け等の現象を検査し、不良品が製品に組み込まれることないようすることである。

静電粉体塗装は厚い塗膜が塗装できるので作業効率からは有効な塗装方法であるが、塗装される部品により厚膜が禍し、後工程で塗膜の除去の苦労する、焼き付け乾燥の前に塗り込まれた不要部分の粉体を除去するか、発泡スチロールの治具をつけ乾燥時に焼き除去する方法など、工夫する余地があるようだ。

表面処理作業の良否を判断するための試験装置類を整備し安定した作業が必要になる。

次に、生活環境の保全から処理面をみると、長青鎮電鍍聯合庁のメッキ作業に使用される水の排出には、排出中の有害物質を除去または無害化して処理を確実に行う経済的方法の選択に努めなければならないのではないか。本社工場でも化学薬品の取り扱いには注意し、安全衛生では静電粉体塗装装置の高電圧に対する絶縁不良によるスパーク、静電におけるハンガーの塗装汚れにより絶縁となり塗装物の帯電スパークなどの無いよう注意を払い災害防止に努めることが対策となる。

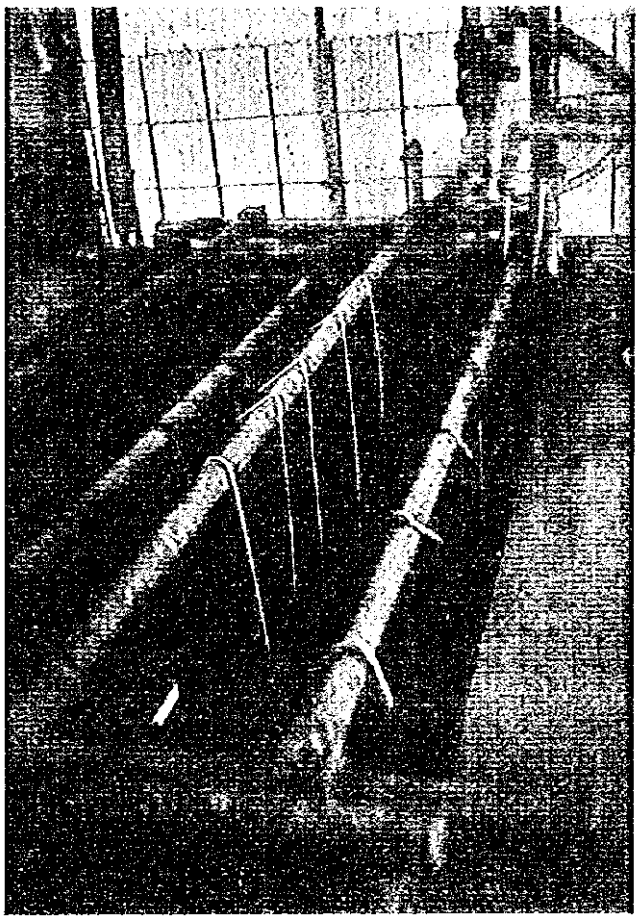


図 2.6.5　外注メッキ工場

2.7 検査工程

2.7.1 検査工程の現状

蘇州医療器機工場では、工場の生産活動に於ける製品の品質保証の行動基準を「品質管理制度」に定め、工場での製品作り関わる全ての加工プロセスの過程を三検制度（自己検査、相互検査、専門検査）の検査を柱にし品質保証体制が作られている。

この「品質管理制度」の責任者は技術担当の副工場長で、実質的な運営組織は工場の検査業務の担当である品質保証課が主管し、課長以下の 26 名により品質標準に合った製品の生産を保証するために日常の検査実務を分担している。検査の実務の概要は、原材料の受入の検査から、加工途中の工程検査、加工された部品の半加工部品検査および製品の完成品の検査までの全ての範囲で、その業務の基準は「品質管理制度」によりそれぞれの段階に細かく規定され、検査担当者は日常の業務の中でそれを遵守している。部品加工は機械別、工程別に検査担当が定めら、組立は製品別に担当が分かれている。

(1) 受入検査

受入検査とは、工場が外から資材を調達し、これを受入れる場合に行う検査をいう。一般には確認検査で、不良品の混入の摘出というより過誤の有無の摘出を目的に行うもので、取引関係との信頼維持が前提である。現在1名がこれに当たっている。主要対象品は原材料、加工部品、部分組立品などで、必要最小限の確認検査を、調達部門の検査申請をうけた担当者が、その品質を確認合否判定を伝票に明記する。この受入検査期限は原則3～5日を越えないと規定され、検査での滞留を防止している。また材料の化学成分検査等は書類審査のみのものもある。

(2) 半加工部品

半加工部品は加工過程における工程間の検査が図面との対比で工程毎に確実に実施されている。鋳物部品・ダイキャスト部品、押し出しおよび抜き部品、荒・仕上げプレス部品の最初の半加工品は必ず最初の検査をする。加工に用いた治具を修繕または調整したときには検査を受け直す。各工程の終了後の半加工品を図面、工程技術文書、治・刃具、工程順序に基ずき全数検査されるが、簡単な部品は抜取検査によるものもある。元来製作過程の検査は製造作業者の仕事の一部で、みずから行うべき自己検査が本来であるべきであるが、この段階でも品質保証課の判定が重視される。

(3) 治工具の検査

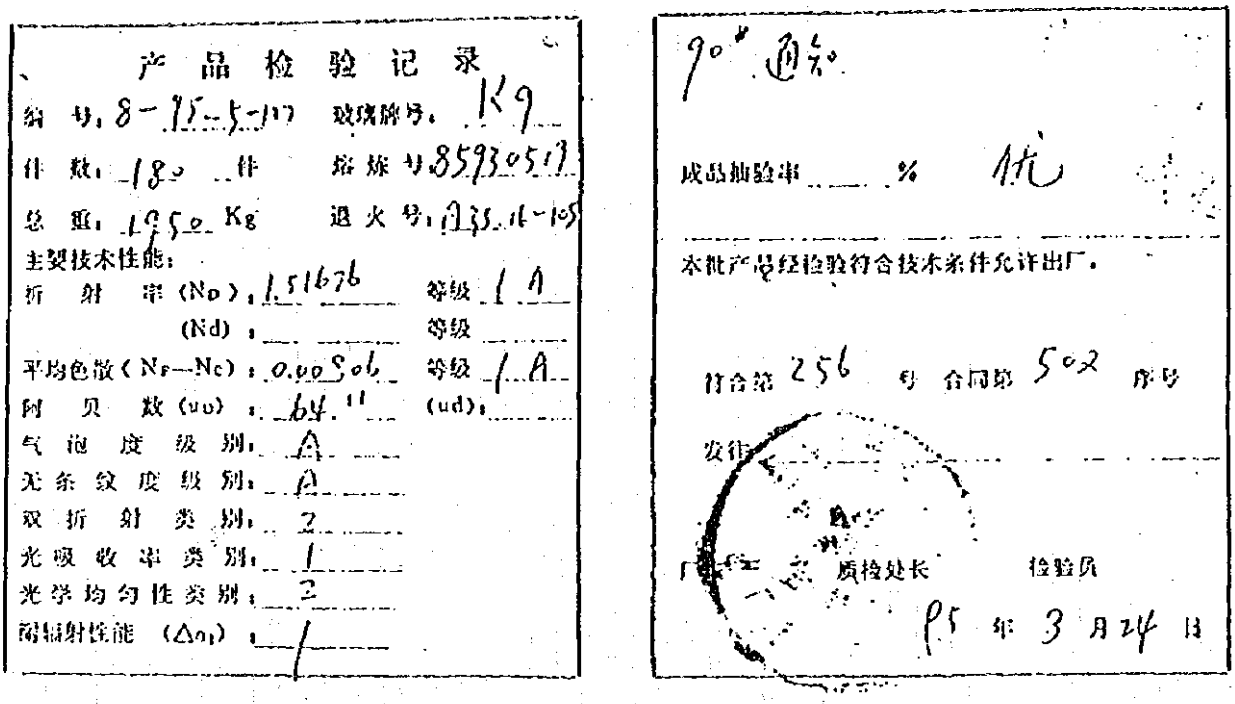
加工に必要な工具・治具・プレス型・鍛造型・旋盤及びフライス盤の治工具類は、それによる最初の加工品を初度品として検査を行い、部品の検査表にそれを記入する。

(4) 完成品検査

完成品の検査は直接市場に繋がるので全数検査（製品図面、標準の規定により）を行い、図2.7.1の製品品質検査表の全項目に検査結果を記入し検査日時ともに記録に残す。不合格品は作業グループに戻し修理後、再検査の上合格を確認する。特に完成過程の製品の一次合格率の実績は、常に上部の機関への報告義務がある。その他に検査員は検査不合格で修理不能品の責任原因追究調査にも参加することもある。

(5) 計測管理

品質保証課が主管する業務に計測管理がある。現在2名がこれを担当し、全ての工場で使う計量器機の受入検査および、その後の器機の定期的検査と機器の管理が行はれている。この業務は「計量管理制度」に規定された「計量器具の購入・廃棄処分制度」「計量器具周期検定制度」「使用中の計量器具サンプル検査制度」「計量器具の異常損傷」「計量資料保管使用制度」「計量器械メンテナンス制度」等の規定により工場が保有する計器の日常の購入から廃棄までの過程、計量器具の年度周期検定計画による検定通知から検定の実務が行なわれる。図2.7.1の計量器具の検定履歴の記録および器機台帳の保管がされ、これにより常に計量器具が正しい状態に管理されている形態となっている。



产品检验记录

编号：8-95-5-117　玻璃牌号：K9

件数：180 件　熔炼号：85930517

总重：1950 Kg　退火号：A35.4-105

主要技术性能：

折射率 (ND)：1.51676　等级 1A

(Nd)：　等级

平均色散 (NF—NC)：0.00806　等级 1A

阿贝数 (νD)：64.11　(νd)：

气泡度级别：A

无条纹度级别：A

双折射类别：2

光吸收率类别：1

光学均匀性类别：2

耐辐射性能 (Δn1)：1

90# 通知

成品抽验率 ___ %　优

本批产品经检验符合技术条件允许出厂。

符合第 256 号 合同第 502 序号

发往

质检处长　检验员

95 年 3 月 24 日

图 2.7.1　計量器具の検定記録

2.7.2 検査工程の問題点

主要な問題点は以下の 3 点である。

・検査と品質保証との責任分担に問題がある。

・受入品の検査は書類審査で良いように指導されていない。

・品質保証科による、定期的な特殊検査等の製品品質水準の確認が不十分。

以下に、関連する事項について述べる。

工場での製品の品質保証とは、本来製品の買い手が求めている対価に見合う効用を満足させるため、工場が行う品質活動の体系であるといわれている。製品の買い手に向けた工場活動であるべきであり、従って品質保証活動は工場の基本政策としてとりあげ、これを組織化し、総合的に推進することが重要であり、それに関連した品質管理活動を効果的に実施することが必要になってくる。

製造工程における品質保証の最大の任務は設計図面に示されている「あるべき品質」を「ある品質」として現実の製品に実現することである。検査は「ある品質」が「あるべき品質」に合致しているかどうかを検査の作業標準にしたがい、原材料・半成品・製品を測定し測定した特性値を、きめられた値と比較して判断を下し、その品物あるいはロットの処理をきめることである。

これらの一連を検査という立場でみると、現状の体制になんら矛盾はないが、これらの行動が工場内に止まり客先の立場、社会の立場に立った検査がされないと検査の価値とし

ては半減したものになる。この様に考えると、現在蘇州医療器機工場で行われている検査は、工場内に向かったものの比重が強いように思われる。半加工部品は工程間よりも部品としての総合品質を必要とするのである。工程間は製造部門が品質が生まれる過程の条件を管理することでバラツキの少ないものを「工程で作り込む」バラツキ管理の徹底が効果的である、製造は工程で良い品質を作り込む製造部門の自主的品質保証体制を強化し、品質品質保証としては管理活動の監査に注力するよう、方向変更が必要となるのではないか。保証部門はその体制監査に重心をおいた、総合した品質保証体制を造るべきである。

受入検査の対象品はかなりの数となっているが、今後も減少することなく、寧ろ電子化時代になり拡大し、さらに技術的に高度な判定を必要とするものが多くなる。しかし、受入検査のための努力よりも、不良品が納入されないような品質管理の指導、その実施状況の監査等に注力するべきである。何れにせよ、検査は結果を判定するもので、いわゆる水際作戦であり、寧ろ不良品の出来ないような前向きの活動に力を注ぐことによる効果の方が大きい。その結果、検査の書類審査による合否判定ができる。

次に、完成品の検査は、品質保証科による製品の全数検査が当然であるが、その検査履歴を残し、その後の製品品質記録と整合させる。

生産のロット管理で寿命試験、耐久試験、熱的ストレス試験、耐湿・耐熱試験他特殊項目による製品の信頼性試験を実施し、信頼予測までの技術とするべきである。そのための計器評価のための測機器・分析機器を充実し、製品品質向上の旗手とし、さらに、製品品質情報の仲介者として関係者への情報伝達の中心的存在となることが重要ではないか。

2.8 梱包工程

2.8.1 梱包工程の現状

包装、梱包、荷役、輸送、保管等、包装による商品価値の向上はともかく製品そのものの品質向上には寄与しないが、出荷後の品質劣化防止、誤送、誤配の防止といった問題の中心になる。

包装とは個々の製品を対象に、商品の一部として行うもので、梱包は輸送のための荷造りである。品質上の役割は、製品の保護、荷扱い、輸送、保管の容易性、各種の表示である。製品保護の面では荷扱い、輸送、保管の問題との関連で梱包の設計は外乱の遮断（温度、湿度、塵埃、振動、衝撃）を保護することが主眼であるが密閉した為に長期の在庫では包装材から発生の湿度、ガスにより製品の品質を劣化することになることもある。包装は、個装、内装、外装の３つに分かれる。

1. 個装な、最小単位の包装で、単なる結束・包・箱などで個装が不完全であると内装・外装にも影響があることもある。
2. 内装は個装せれたものまたは個装の必要のない個々の品物を外装に納める時、その内包物に影響する、水分、湿気、衝撃を考慮して間隙の充填、物品の結束、容器の内仕切の

施装。

3. 外装は、包装物の外部容器で荷造り作業の主体になるもので、製品の輸送・保管に最も影響がある。一般には、普通木箱または段ボール箱などである。

顕微鏡関連製品は顕微鏡本体部を中心に関連ユニットおよび個装されたスペアパーツを発泡スチロールの内装に配置収納し段ボールの内装箱に入れ、ビニール袋で内装梱包を包みテープで止める。更に一回り大きな段ボール箱に入れ外装梱包包装テープで止める。架台部は重量物であり、木箱に抑え金具、発泡スチロールの受け台に固定し全体を木枠に包み外装梱包としている（図 2.8.1、図 2.8.2、図 2.8.3 参照）。

2.8.2 梱包工程の問題点

主要な問題点は以下の 3 点である。

・製品の物理的強度を知る、保管中の品質を計画的に確認されていない。

・在庫製品の先入れ先出しが守られていない。

・外部製品倉庫の保管環境が悪い（恒温、恒湿が望ましい）

以下に、関連する事項について述べる。

工業製品を遠隔の場所へ運んだり、倉庫に保管したり、商品として販売する場合、その製品が破損したり、変質したりして商品価値を損ねることは販売に重大な影響をおよぼす。反面包装を無視した製品設計であると多額な包装費を要することになり、また運搬の能率が悪くすることがある。

荷扱い、輸送、保管の容易性、振動、衝撃等の保護の面からがコストの問題とともに重要である。荷役、輸送面ではまず振動、衝撃の影響が考えられるが、通常では貨物の衝撃値、最大で前後方向 3 ～ 4G、自動車の振動、1.3 ～ 2.4G と言われるが、これに比べ荷役時の落下の加速度は、物により違いはあるが輸送時の衝撃値を遥かにこえる数十倍が予想されるので荷役時の落下防止、安全面の配慮は充分払うべきである。

製品の物理的強度を知ることは、適正な包装を行う為の条件であり、製品の環境試験を行い、真の耐振、耐衝撃強さの数値を求めておくことは大切である。

保管は生産と販売の調整が主目的になるが、品質保証面では劣化防止が主になり温度、湿度、換気、塵埃等に関する一般的配慮は当然として、保管中に部材と部材がかさなった状態で、温度、湿度、圧力の総合作用による部材間の浸蝕が発生する現象であるマイグレーション (migration) など保管中の変質事故には予め防止方法を考慮すべきである、また保管中の製品品質は計画的に、抜き取り検査で品質の確認をすべきである。

梱包資材は開梱が容易に出来しかも材料処理に責任のもてるものでなくてはならない。梱包技術は製品設計と同じく、過去の貴重な事故の実例を以後の製品梱包で再発の防止に繋げるための鍵は包装技術として技術標準とし蓄積し生かすことである。在庫のない販売とリンクした生産であるべきであるが、倉入れ後の製品は、長期保管による製品品質の劣

化を防ぐ為にも、出荷品は先入先出を是非実行すべきである。

現在、製品を輸送上の利点から長青鎮電鍍聯合庁の倉庫に保管しているが保管環境としては充分とは言えない、ただ、単に製品を積み重ねていては先入れ先出しは出来ない、寧ろ、倉庫での製品品質の劣化が心配される。（図 2.8.4、図 2.8.5 参照）

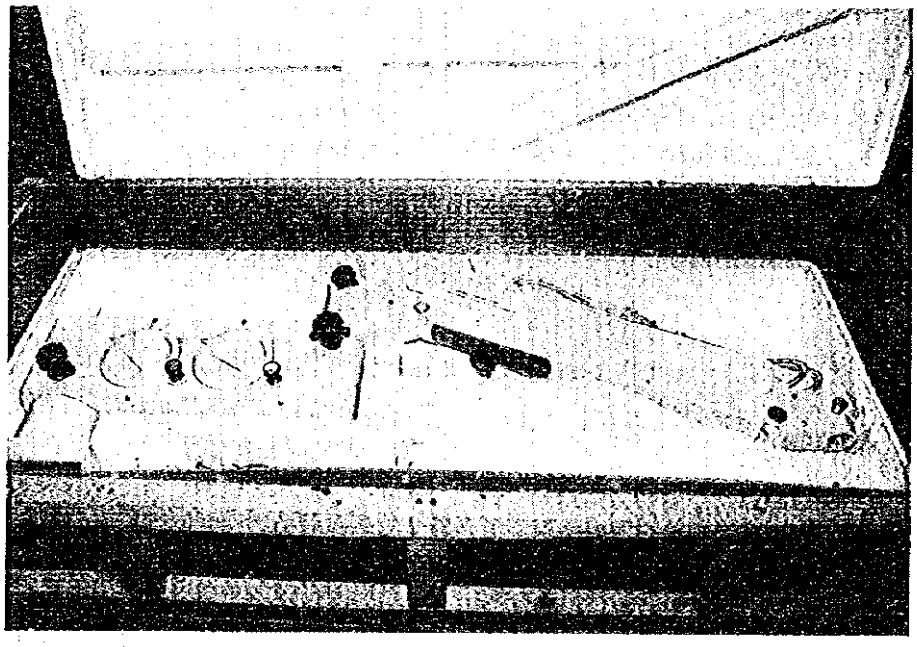


図 2.8.1　製品アーム部

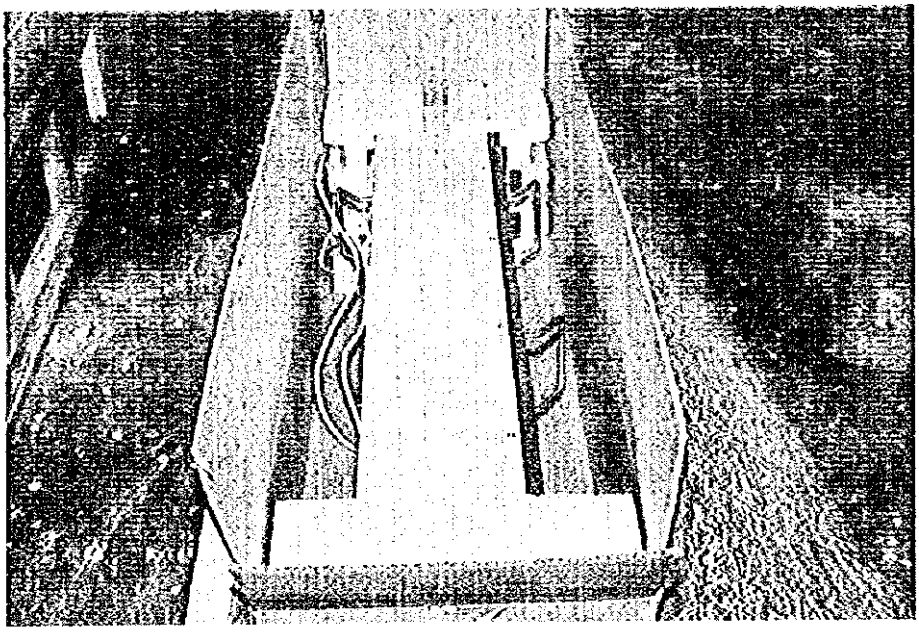


図 2.8.2　製品支持部

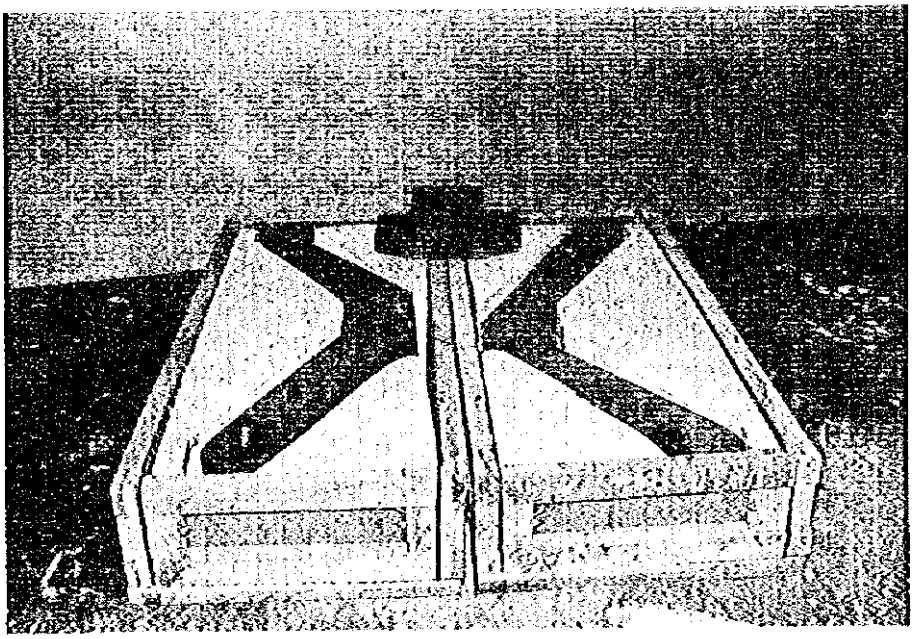


図 2.8.3　製品架台部

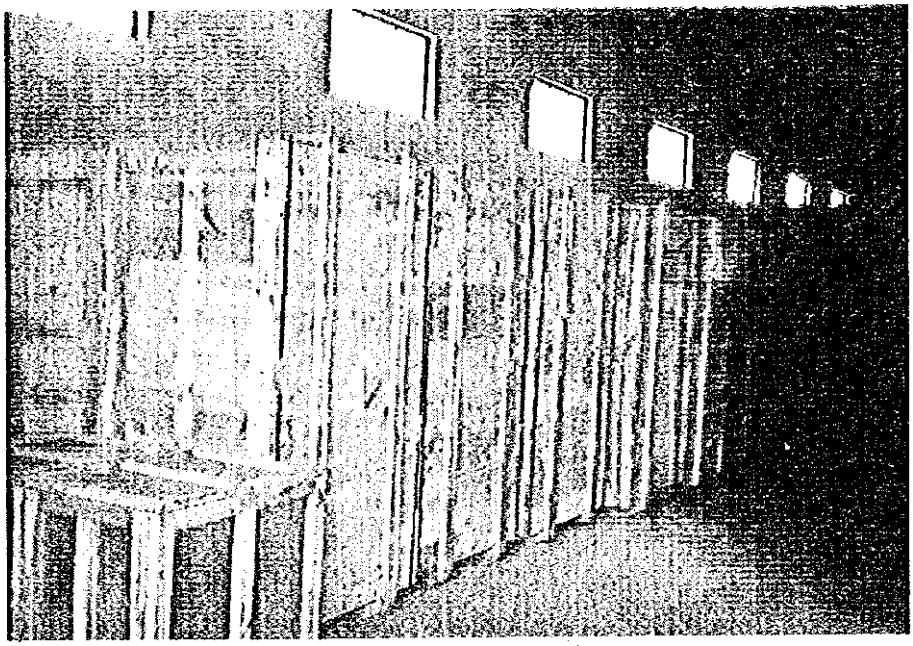


図 2.8.4　製品保管状態 (1)

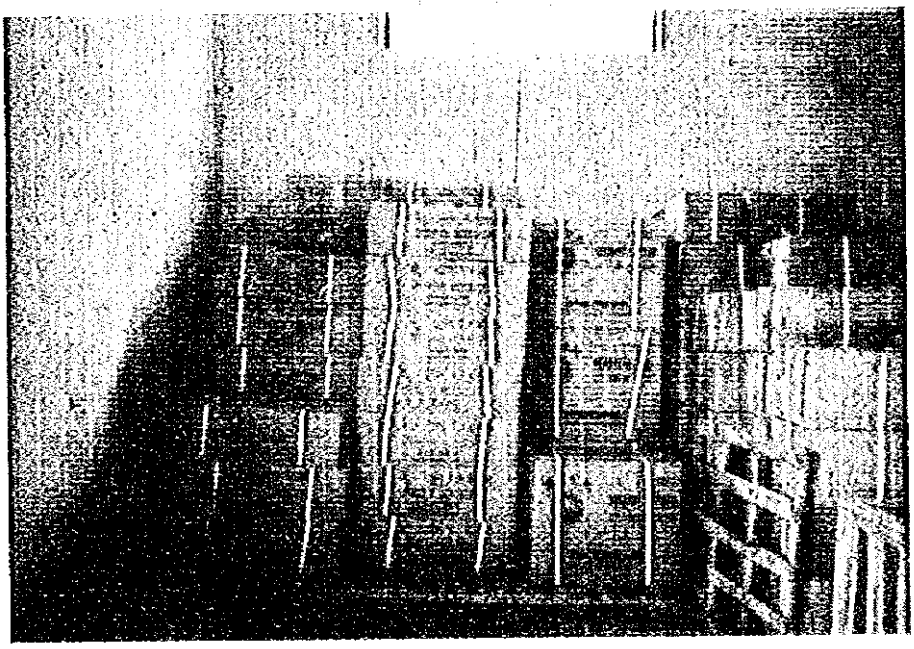


図 2.8.5　製品保管状態 (2)

第3章　生産管理の現状と問題点

第３章　生産管理の現状と問題点

3.1 設計管理

3.1.1 設計管理の現状

既に、第９次５ヶ年計画が策定されており、眼科に立脚点を置いた上で、各種の分野の医療器機を発展させるため、医療器機技術開発センター構想を含め、事業拡大計画が立てられている。これは従来からの市場である眼科医療器機の需要に答え、タイムリーに商品開発を行い市場に製品を供給してきたことが、今日の眼科医療器機工場の成長の源泉であり、今後の計画の基本である製品開発の実現こそ工場の成長の鍵を握るとしても過言ではない。成長継続とその加速には工場の開発計画の強力な推進により具現化されている。

長期計画に沿つた年度毎の新製品試作計画は、毎年 10 月中旬までに次年度の計画を「科学研究新製品計画任務書」にて上部機関に提案申請し、批准を得て進められる。この日常の製品開発活動の中心となる技術部門は「新製品設計試作管理制度」によって設計者の業務指針と製品開発段階の機能試作（設計性試作）と量産試作（生産性試作）の推進責任体制と技術者の実務と役割を規定している。その他に「製品改善モデルチェンジの管理」で製品の品質性能改善、工程改善等の目的での実務推進体制をさだめて、新製品開発からモデルチェンジまでの開発実務の指針としている。

現在、製品開発は研究所の 36 名の技術スタツフが実務を行い、機械関係技術者 13 名、光学技術者６名、電気技術者８名、標準化技術者２名、梱包関係２名、その他事務処理を含めた構成である。これ等の研究陣がスリツトランプ、手術用顕微鏡、検眼鏡、IOL (intraocular lens) 眼内レンズ、治療器機他の開発の分担している。これらの一連の技術管理は、定常的には、開発計画表を月一度技術担当の副工場長のもとで、各製品毎に開発に必要な市場調査、可能性分析、法案の分析、設計、評価、試作、試用、改善、量産の各段階の実状・問題点を報告および対策協議を関係者と進捗状況フォローを行うなかで各々の開発が推進されている。

3.1.2 設計管理の問題点

技術部門の業務の特性は、人間能力依存度が高く、物的装備率が少なく、将来への投資が多いものである。いずれにしても、技術者の活性化なくして計画実現はあり得ない。このために、技術者の作業環境整備と、図面品質の向上・安定のために、既に導入済の CAD システムなどの設計開発支援の機械化及び技術管理情報システムによる情報の共有化の推進が急務である。

更に、重要度 (seriousness)、緊急度 (urgence)、将来の影響度 (growth) の目標の明確化のための的確なミツションの提示とミツション実現への資源配分、短期、中長期とブレークダウンされた計画作りでの管理者の役割は重要であり、人材育成と併せた活性ある組織活動

が実現の条件となる。開発計画は確定し、定期的進捗フォローされているが、本来は新製品開発には先行するどの方向に努力を集中するかの基本戦略があり、それによる戦略的優先順位が決められ、開発の時間と費用を無為に発散することを防ぐ必要がある。従って、製品開発は、長期的視野での総合的な企画力が重要で、市場調査によるニーズの発掘、競合製品の調査等計画を策定する企画スタッフを育成が不足している。

次にその製品に必要な、固有の要素技術の開発から始まる製品開発に先行した要素開発計画を策定すべきである。その後に具体的製品開発計画があり、この一連の技術管理が重要である。各段階を如何に評価し、判定を下し、進行を推進する技術管理としたい。技術、ましては、工場の将来を左右する新製品開発の管理とすれば進捗も大切であるが、質の管理が重要な課題と考えられる。特に他の技術スタッフ部門である技術課、品質保証課、販売スタッフ部門との協調で課題を如何に調整し、生産部門への開発技術の移行を行う調整役としての任務が必要である。

特に、今後の技術戦略では、製品の技術的進歩性も当然であるが、製品の外観デザインの向上は商品の魅力として大切な要素となる。これは現状では他の要素に比べ劣る部分であり、将来計画の中に工業デザイナーの育成を掲げることは欠かすことが出来ない。

3.2 調達管理

3.2.1 調達管理の現状

生産供給科で行っている資材の発注、納期管理ならびに受入検収などについてインタビューならびに提供資料により調査分析した結果、現状は次の通りであった。

(1) 資材の発注方式

発注方式は丸棒、標準的な材料などでは定量発注方式、管材など特殊品では随時発注方式を採用している。

(2) 発注量

経済的発注量は3ヵ月毎の数量で発注している。

(3) 調達期間

材料の調達期間は銅管で1ヵ月、アルミ材で3ヵ月かかるが、納期遅れも生じている。

(4) 納期管理

納期管理については、納期の1～2週間前に電話で確認・催促している。

(5) 外注管理

外注部品は契約書に基づいて管理している。納入材料が不良のときは、値引き交渉、返品などを適宜行なっている。

(6) 検査と不良処理

納入検査は、倉庫に納入したものからサンプルをとり検査している。

(7) 価格

価格については絶えず値下げ要求をしている。減耗数量は材料基準表に基づいて行なっている。

(8) 材料発注量

材料発注量は、作業現場の計画と生産計画ならびに減耗を加味したのち、在庫引き当てを行い業者に発注している。

(9) 倉庫管理

倉庫では所番地管理が行なわれ、誰が倉庫に入っても置き場所が分かるような仕組みになっている。

(10) 部品の共通化

部品の共通化は、手術用顕微鏡製品の機械加工部品で 211 点中 116 点と共通化率は高い。

YZ20III ではスリットランプの 3 ～ 4 個を共通に用いている。接眼鏡は共通に使用し、ダイキャスト部分は共通化する方向で進んでいる。

(11) 材質の決定

材質の決定は設計部門が行い、金属材料についての材質変更は認められにくい。新材料については生産供給科でつかんだ情報を設計に提供するため、コスト低減のため新材料を使うこともある。

(12) 内外作区分の基準

専門技術を必要とする場合は、専門の加工業者に依頼する。自社の能力以上の加工に関しては外注に出すが、農村なので単価は安いが不良品が発生する時もある。

(13) 外注指導

外注指導は作業現場の副主任が検査員とともに月 2 回行なっている。

3.2.2 調達管理の問題点

調達管理面における問題点を Q（Quality：品質）、C（Cost：コスト）、D（Delivery：納期）の面より検討したので、次に示す。

1. 技術質量科の設計部門と生産供給科の協力体制のもとで、コストを下げるための VE 活動が機能していない。

   生産供給科では、材料・部品に関する外部情報をつかみ設計部門に提案しているが、設計部門では過去の実績、耐久性を重視し、代替材料や新材料などを活用したコストダウンに対する関心が薄い。

2. 資材予算は年間の生産計画に基づいて立てられ、利益計画に基づいたものではない。

   資材予算は、利益計画に基づいて立てられべきである。当工場では、生産数量に単価をかけ資材予算が作成するなど、数量ベースの予算編成である。しかしながら、当社の利益を少しでも上げていくためには、製品の設定価格に基づいて利益の出る資材予算を編

成すべきである。

3. 納期管理が一貫して行なわれるシステムが整備されていない。

材料・部品を発注した後、緊急に必要とするものについては納期の直前に催促しているが、全材料・部品については行なわれていない。すなわち、月の1日から31日までに発注した伝票を入れる箱をつくり、発注した伝票の控を納期の2-3日前に取りだして確認するなど、確認漏れが防止できるシステムが出来ていない。

4. 内外作区分の基準があいまいで、能力以上の仕事を外注に出す前に内部の稼働率を高め、内作化すべき余地が多い。レンズ加工、機械加工、組立などの職場全体の稼働率は51.6％（観測日：3/6、3/13、3/14）であり、全体的に連絡打ち合わせなど管理面から由来する項目が現象に多く出ている。

5. 外注は農村部に多いため、コストは安いが品質については問題が残る。

当社の工場ですら不良が発生し、迅速な対応が取れていない現状を見ると、農村部の外注などでは余ほどの指導をしないと品質面で大きな問題が生ずる。

6. 外注に出すと生産期間が長期化し、短納期に対応できなくなる。

当社の外注の多くは規模が小さく、内職的なものがある。今後、市場から製品の短納期化が求められた場合には、小回りが効かず対応が出来にくい。

3.3 在庫管理

3.3.1 在庫管理の現状

調達管理と同様に、生産供給科に対するインタビューと提供資料により調査分析した結果、現状は次の通りであった。

(1) 在庫管理基準材料

部品ごとに最大在庫量、最低在庫量、発注点等の在庫基準が経験と勘により行なわれている。古い製品の部品在庫は修理に使われることとなっているが、多くは1年ごとに処分している。

(2) 管理区分

在庫はABC的に区分され、A区分は定期発注方式、B区分は定量発注方式、C区分はなくなったら補給するようにしている。A　区分は銅材などの高価な金属、軽合金に適用している。B区分はガラス材料、光ファイバー管などであり、C区分はビス類、梱包木箱などである。おおよそ、A区分は20～30％　、B区分は50％、C区分は20～30％の比率となっている。

(3) 製品在庫の現状

図3.3.1、図3.3.2、図3.3.3より在庫状況をみると、SOM-2000、YZ20P、YZ20THIなどの製品在庫は少なくとも3カ月分あり運転資金を圧迫している。

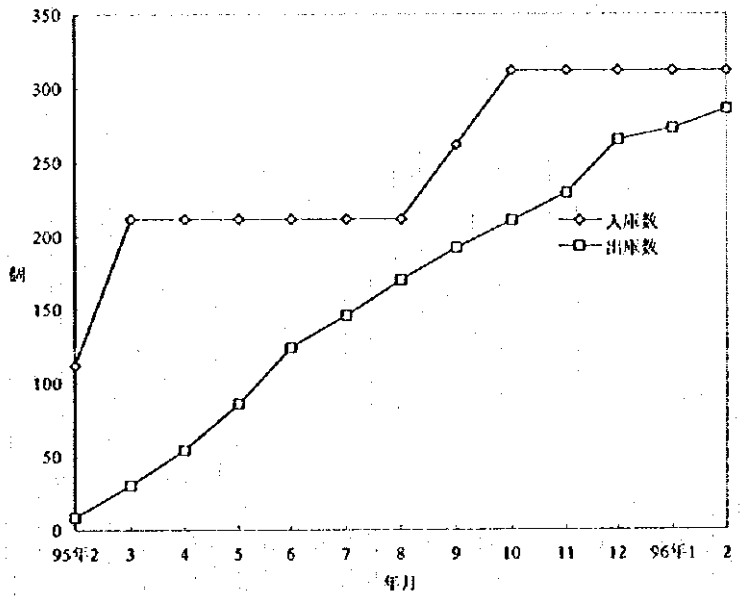


図 3.3.1　YZ20TIII の在庫状況

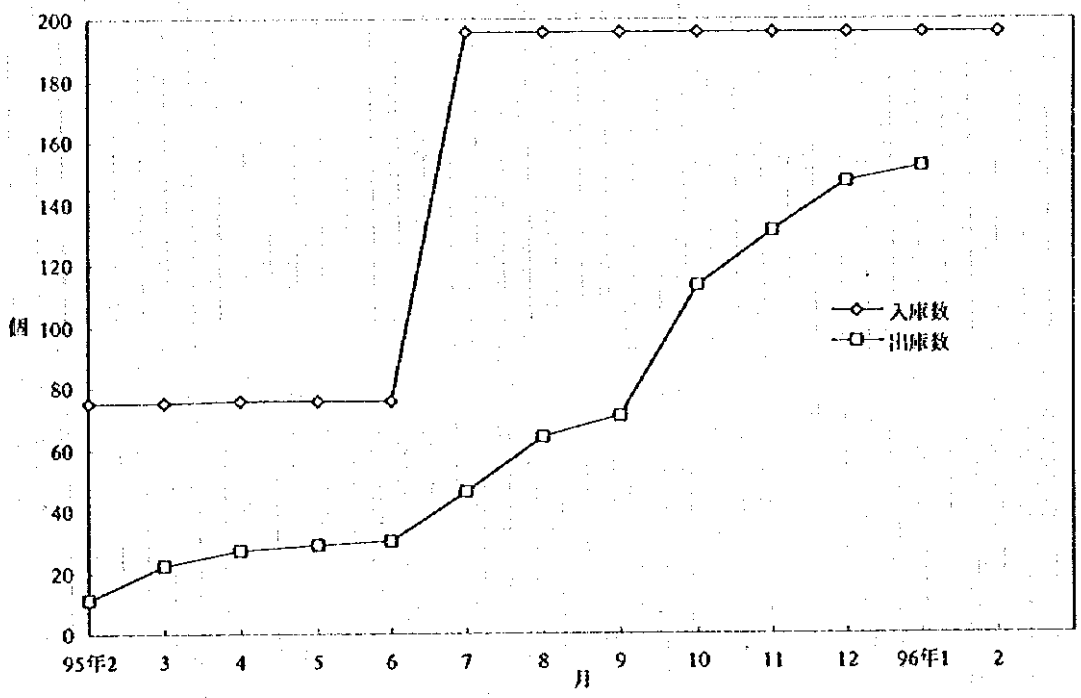


図 3.3.2　YZ20P の在庫状況

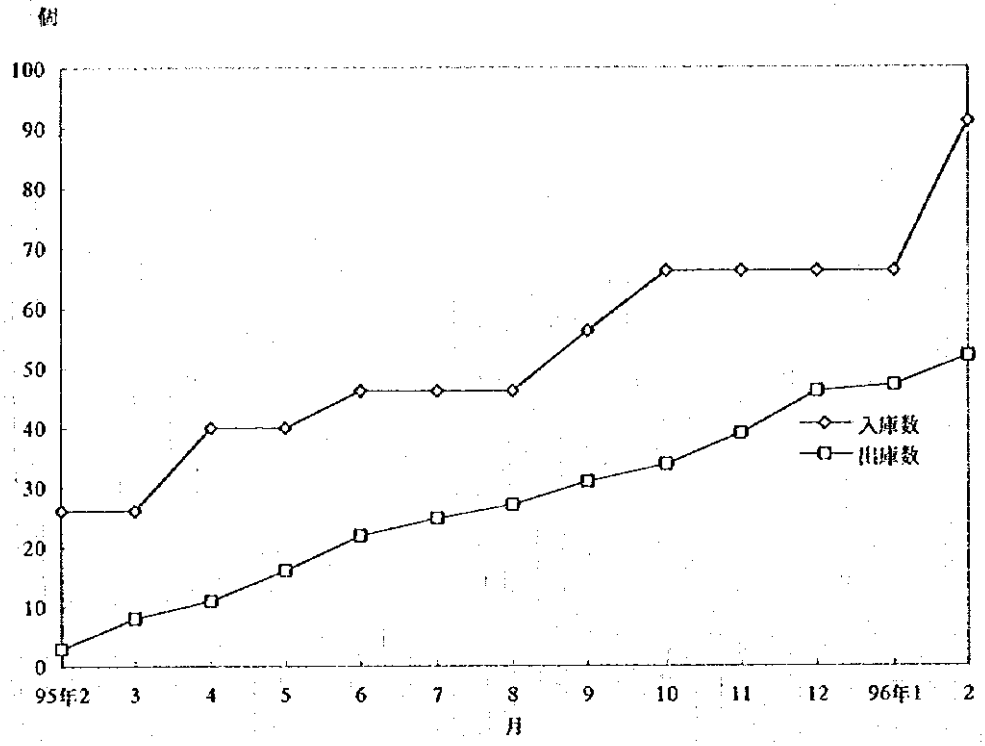


図 3.3.3　SOM-2000 の在庫状況

3.3.2 在庫管理の問題点

全体的な在庫金額については資産負債表により調査分析し、手術用顕微鏡製品の SOM-2000、 YZ20P、 YZ20TIII などについては在庫台帳よりの資料により分析を行ったので、次に示す。

(1) 全体的な問題点

1. 材料、部品、製品などに在庫基準がないため、原材料 28.3 日分、仕掛品 55 日分、製品 60 日分とかなりの在庫を持っている。旧部品の在庫と新部品の在庫が区分できないなど問題が残る。
2. 作業現場へ一度出庫した仕掛品については、在庫をつかみにくいため、仕掛品在庫については把握されていない。

(2) 手術用顕微鏡についての問題点

SOM-2000、 YZ20P、 YZ20TIII などの製品在庫は少なくとも 3 カ月分あり、在庫を減らすために生産計画とリンクした製品在庫計画が機能していない。

(3) 在庫管理システム上の問題点

ガラス材料、光ファイバー管などの B 区分では、定量発注方式で注文しているが、発注費用と在庫管理費用をの合計値を最小にするべき経済的発注量を取り決めていない。

(a) 原材料における経済的発注量はあまり重視されていない。

経済的発注量 (Q ： Quantity) は次のように算出される。

$$Q=\sqrt{2DS/CI}$$

D ：年間の資材所要数量、 S ： 1 回の発注総費用、

C ：資材の購買単価、 I= 在庫管理費用率

在庫管理費用率については、金利、保険、税金、倉敷料、陳腐化および損耗などをあわせて、日本国の場合 20 ～ 25% としている。

例） A 部品の年間所要量が 27,000 個、発注費用 1 回あたり 6,000 円、部品単価 1,500 円、在庫管理費用率 0.25 のとき、経済的発注量は次のとおりに算出する。

$$\sqrt{(2 \times 27{,}000 \times 6{,}000)/(1{,}500 \times 0.25)} = 929$$

ゆえに 1,000 個とする。

(b) 常備材料・部品の注文点が明確ではない。

鉄材など共通に使える材料については、ある程度在庫を持ち、製造である程度消費した時点で発注し、在庫切れを防止すべきであるが、実際には経験と感に頼っている。

注文点は次のように算出される。

注文点 = （調達期間）×（毎月の平均出庫量）＋（安全在庫量）

安全在庫量 = （欠品率を考慮した安全係数）×（需要のバラツキ）× $\sqrt{\text{調達期間（月数）}}$

欠品率は表 3.3.1 の通りである。

表 3.3.1 欠品率を考慮した安全係数

欠品率	1%	2.5%	5%	10%
α	2.33	1.96	1.65	1.28

需要のバラツキについては

（需要のバラツキ） = R/d_2、 R= （最大値） - （最小値）

で求められる。