

2-3-2 スクリュ圧縮機の製品ラインの強化

省力化や自動化への産業構造の変革に伴って図 V-2-3-2 に示したように、空気圧縮機のニーズは高まるばかりで、使用目的も多様化してきた。すなわち、これまでの大型圧縮機による集中設備より、各使用設備の近くに必要容量の圧縮機を設置する分散配置の傾向にあり、使用と供給が一体化することにより動力設備を一元的に管理し、電力の節約、維持費の低減を目指している。同時に、漏洩、配管による圧力低下等のエネルギー損失の防止も狙っている。一方、使用目的も従来の大型機械や工具類の動力用圧縮空気源から精密機械、電子機械の制御用や、食品、医薬品の製造に拡大されたために、クリーンガスやドライ化の要求が強まっている。言替えば、次のようになる。

要求品質

改善の方向

- a 騒音、振動の環境性の改善 往復動式から回転式圧縮機へ
- b 容量の中小型化 製品ラインの増加
- c 操作の簡易化 パッケージ化とマイコン制御化
- d 保守点検の容易化 事故診断装置付き、部品交換の簡易化
- e オイルの除去、ドライ化 オイルフリー型へ
- f 省エネルギー化 ミニコンピュータ制御へ

以上のようなニーズ多様化に対応できるためには、圧縮機の歯形の開発、加工技術の向上ばかりでなく、スクリュ圧縮機が一つのプラントとして充分機能を発揮させるための周辺技術の開発と確立がもう一つの重要な課題になる。湘潭圧縮機廠の研究開発部門は、現在進行中の定置式低圧スクリュ圧縮機の開発が終了すれば、オイルフリー型の開発とそれに必要な2段圧縮方式やロータのコーティング技術を含み、これらの周辺技術の確立と標準化を行い、製品ラインの強化につなげなければならないであろう。

最近の日本における汎用圧縮機の製品ラインの傾向を知るため、吐出圧力及び容量を組み合わせたP-Q線図に製品化されている圧縮機の形式を入れ、圧縮機の形式による領域を調査した図表を図 V-2-3-3 に示した。この図から見られるように、スクリュ圧縮機の領域は3～9 kgf/cm²g に集中して中圧、中風量の特徴を生かして経済性重視の製品ラインを造り上げている。このため、2段圧縮のスクリュ圧縮機の領域は拡大する傾向である。

一方、圧縮機の容量（出力）別の出荷台数を、14 kw 以下、15～45 kw、46～90 kw、及び91 kw 以上の4段階に分けて比較したのが図 V-2-3-4 である。

出荷台数から見れば、14 kw 以下と15～45 kw の小型及び小中型のスクリュ圧縮機が圧倒的多数を占め、あらゆる産業の分野に広く分布し始めた事を物語っている。

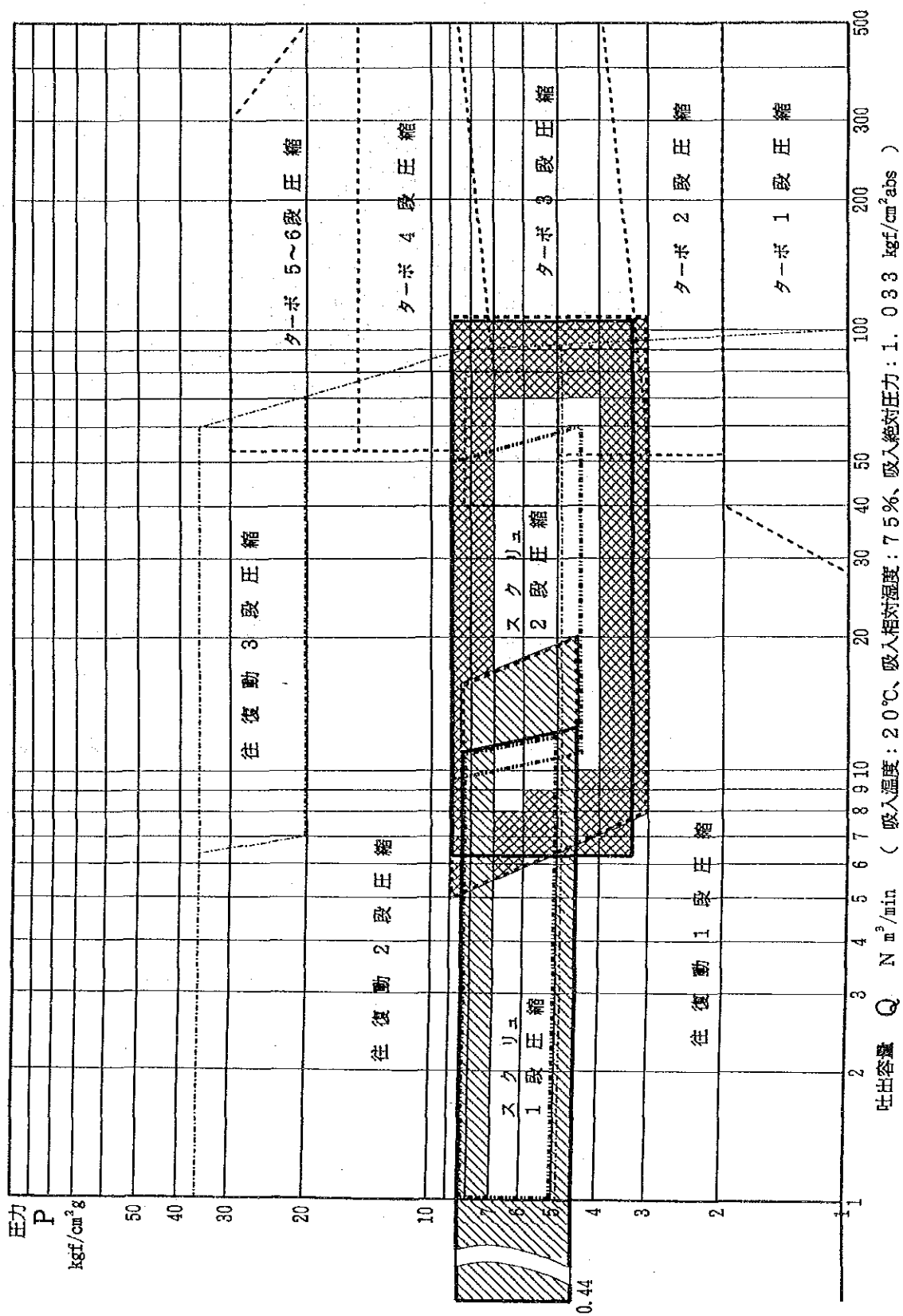
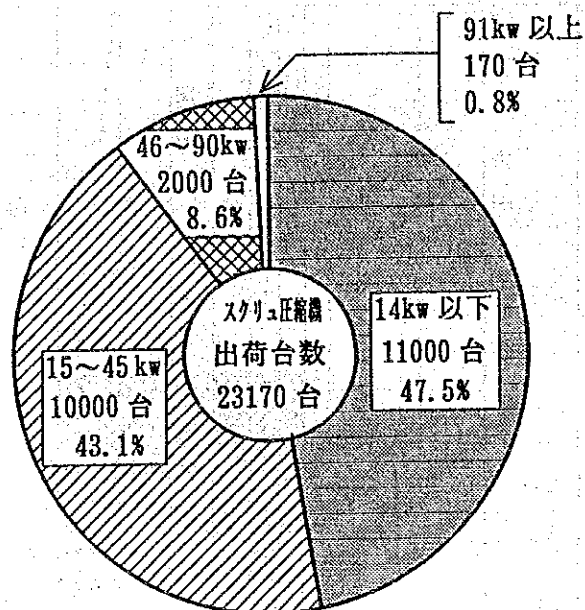
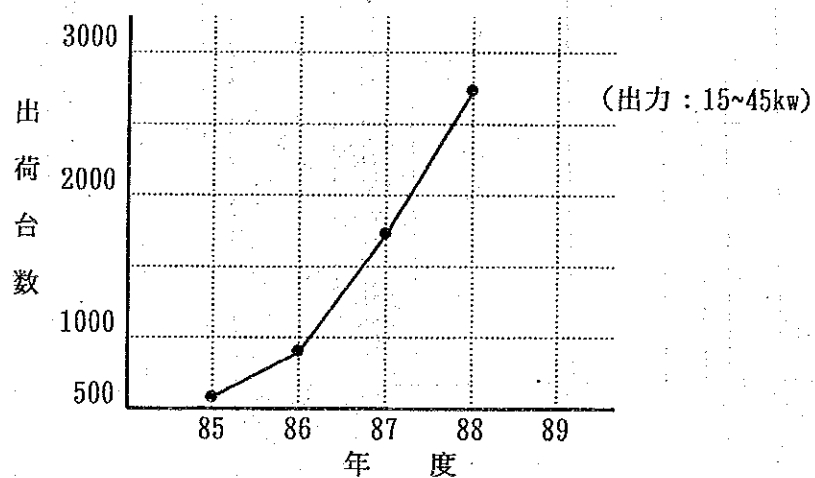


図 V-2-3-3 汎用圧縮機の製品ラインとスクリュ圧縮機の領域の例 (P-Q 線図)



図V-2-3-4 スクリュ圧縮機の1988年の出力別出荷台数（日本）

オイルフリー型のスクリュ圧縮機もここ数年、急激に増加の傾向を示している。
 1985～1988年の日本におけるオイルフリー型（出力15～45kW領域）の出荷台数は図V-2-3-5に示すように、年率約10%の増加と高い伸びとなった。



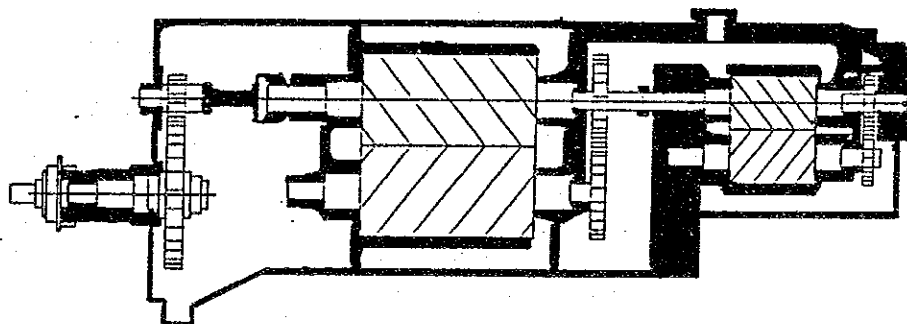
図V-2-3-5 オイルフリー型スクリュ圧縮機の伸び

現在中型機の主力になってきた2段圧縮式スクリュウ圧縮機の構造とシステムについて簡単に触れておく。

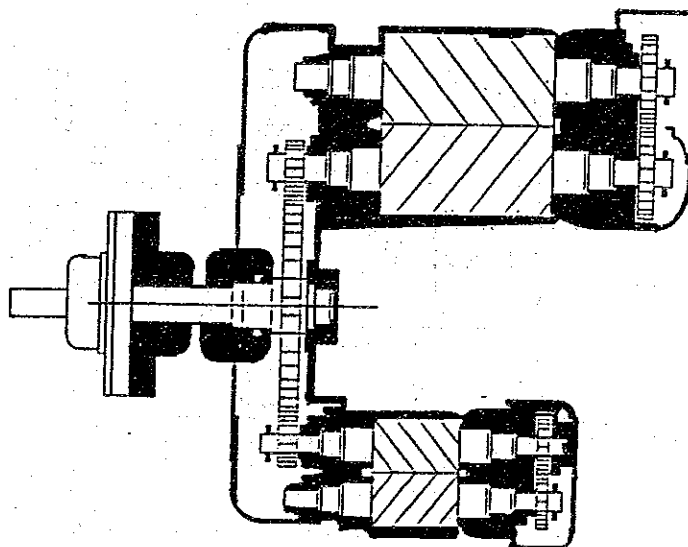
(1) 2段圧縮式スクリュウ圧縮機の構造方式

湘潭圧縮機廠の研究開発部門も既に、2段圧縮式スクリュウ圧縮機の製造のための技術的調査を開始しているので詳細には述べないが、現在製造されている2段圧縮式スクリュウ圧縮機の構造形式には、直列方式と並列方式の2種類がある。

直列方式は、給油式や大型スクリュウ圧縮機に採用され、並列方式はオイルフリー型や、中小型スクリュウ圧縮機に取り入れられている。



図V-2-3-6 直列式構造の例



図V-2-3-7 並列式構造の例

(2) オイルフリー型のスクリュウ圧縮機の例

オイルフリー型のスクリュウ圧縮機になると、ロータは非接触式でオイル冷却や潤滑ができなくなり、オイルによるシール効果も期待できなくなる。このため、ロータやケーシングの加工精度の向上が必要になる。この他にも、圧縮空気温度の上昇を防止するための中間空気冷却、回転部品の焼き付き防止、オイルの軸封対策、腐食防止のためのコーティング (Coating) 対策等の新たな技術問題の解決を考えねばならない。

図 V-2-3-8 にオイルフリー型 2 段圧縮式スクリュウ圧縮機の基本的なシステムのフロー・シートを添付した。これを参考にして湘潭圧縮機廠の必要な開発項目を決める必要がある。

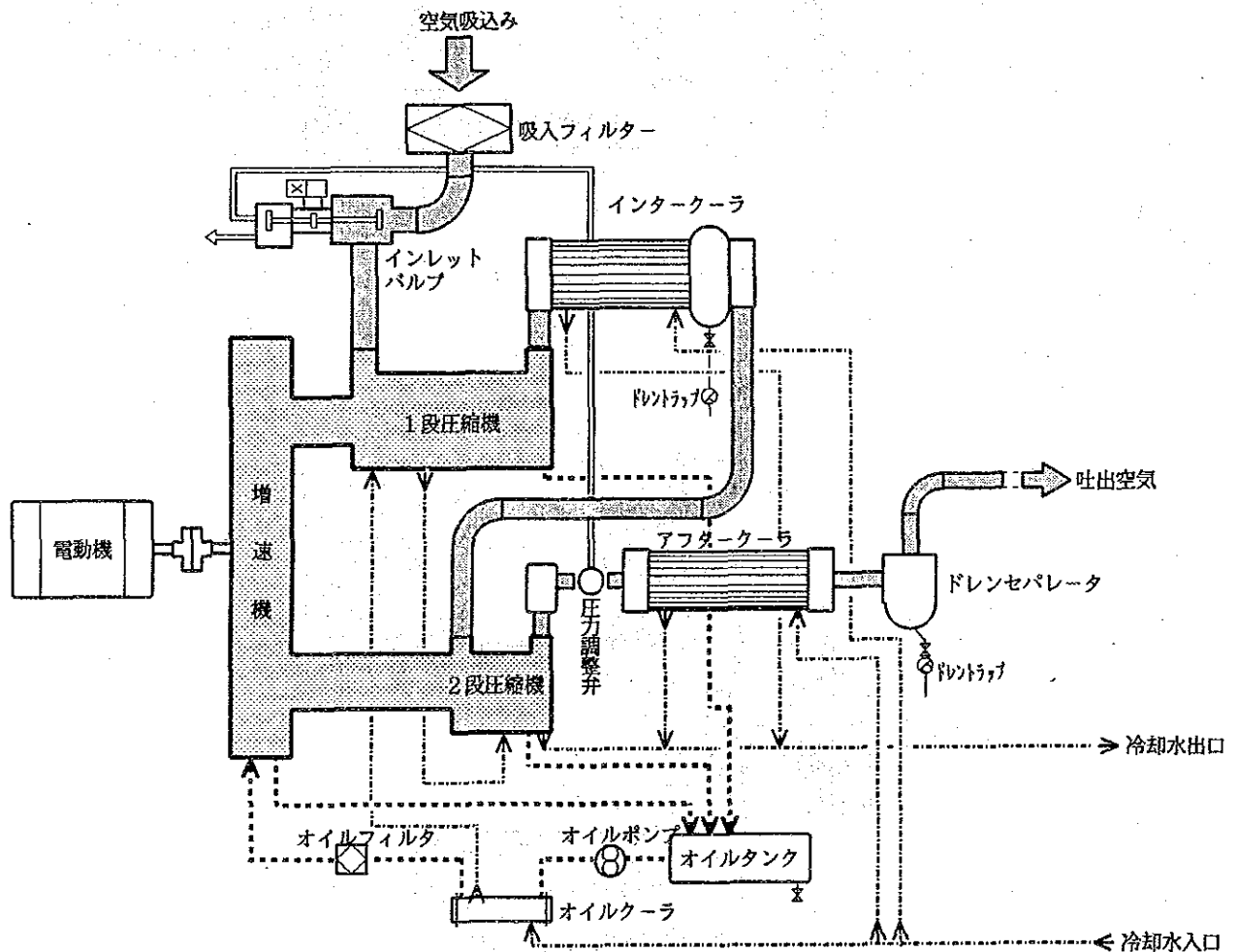


図 V-2-3-8 オイルフリー型 2 段圧縮機の基本システムの例

2-4 製品化の設計

スクリュウ圧縮機は圧縮機部本体だけでは、その要求機能（仕様）を満足させることはできず、他の付属機器と共に一つのシステムとして纏めねばならない。そのため、製品化にはスクリュウ圧縮機の操作性、経済性の長所や環境対策を盛り込んだ周辺技術問題と、その設計対策が必要である。

そのシステムは、一般に共通台盤の上に各機器を設置し、配管、配線等で結びその機能を発揮させるように設計されるべきである。共通台盤上に一つのシステムとして纏める際にはつぎの点に考慮を払わねばならない。

(1) 防振対策

スクリュウ圧縮機は高速度回転で運転されるため、圧縮機本体より微小な高周波振動が発生する。この振動が各機器を結んでいる配管により各部に伝わり、配管接手部の緩みを起こしたり、油漏れ、空気漏れの原因となる。また、配管材料や接手の構造が適切でないと破損事故を起こすことにもなる。従って、圧縮機本体から発生する高周波振動が、他の付属機器や部品に伝わらないような設計的考慮が必要である。この防振対策として圧縮機本体と台盤との取付け部に防振材（パッド状のもの）を挿入し、圧縮機の本体から台盤に振動が伝わらない方法が取られている。また、圧縮機本体と各機器の間の配管類には防振性に優れたフレキシブル接手を使用することが望ましい。吐出空気配管には熱膨脹も考慮し必要箇所には可撓管（フレキシブルチューブ）を使用すべきである。

防振対策は、圧縮機の運転中に発生する振動のみならず、停止中に外部から伝わる振動にたいしても考慮を払う必要がある。スクリュウ圧縮機の近くに往復動式圧縮機、ピストンエンジン、プレス、ハンマ等の振動発生源が設置されていると、その振動がスクリュウ圧縮機の軸受け部の転動体（ボールやコロ）と転動面との間に「叩き現象」が生じ、油切れを起こしやすくなり、これが軸受けの破損事故の原因となった事故例も多く報告されている。特に可搬式スクリュウ圧縮機の場合は運搬走行中に伝わる振動による損傷にたいしても十分な対策を必要としている。

防振材料、可撓管、フレキシブル接手の選択は発生する振動の振幅や振動数に因って設計条件を決め、専門のメーカーと協議して決定することが肝要である。一方、そのスクリュウ圧縮機の取扱い説明書や設置方法の基準を整備して客先に理解させるよう対策を立てることも一つの方法である。

(2) 防音対策

高速回転で運転されるスクリュウ圧縮機は通常高い周波数の音を発生し、その発生音の大きさは圧縮機本体の出力に比例する。一般的には 75 dB (A) 以上となり、周波数が高いため人間の聴覚に非常に耳障りな音である。このために、発生源の圧縮機本体や直接伝わる油分離器に防音対策を施さねばならない。そのため、空気の吸入

口や吐出口の近くに吸音装置（サイレンサ）を設置する。しかし、スクリュ圧縮機の防音対策は発生源の圧縮機等の機器本体にたいして行うより、圧縮機と付属機器全体を一体で遮蔽した方が遮音効果が高いことが多い。このために、圧縮機、電動機、油分離器、冷却器やファンをできるだけ小形化し、かつ箱形に有効配置して遮音しやすい総合配置を設計する必要がある。

一般に、防音カバーには約2mm厚の鋼板の内側にグラスウール（Glass Wool）やウレタン（Uretane）等の吸音板を張付けた構造が使用されているが、最近では2枚の薄板鋼板の間にウレタン材料を挟み込んだ制振鋼板で作った防音カバーが開発されている。いずれにしても、試作機での発生音の計測をして、周波数や振幅等の特性値を分析し、その特性にあった吸音板を選ぶことが大切である。また、防音カバーの構造を設計するときは開閉部やパネルの継目に隙間が生じない構造にし遮音効果を高めなければならない。

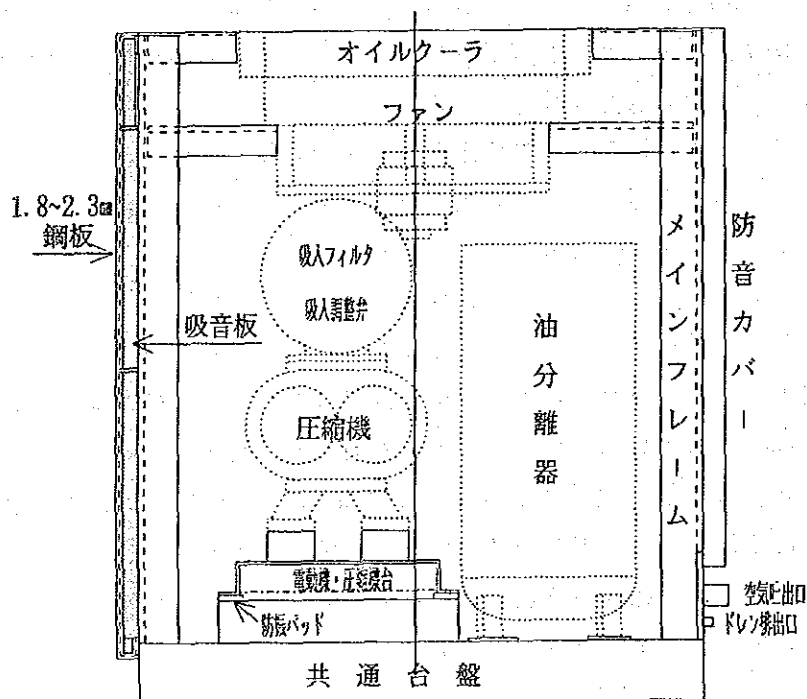


図 V-2-4-1 スクリュ圧縮機防音対策の例

(3) 換気対策

スクリュ圧縮機はその防音対策のため、密閉された部屋に設置されたり、防音カバーで遮蔽されたりする。このために圧縮機や電動機等からの放熱により周囲温度が上昇し、機器の性能に悪影響を与える事が有るので、換気対策を十分におこなわなければならない。

通常、スクリュ圧縮機の周囲温度は35℃以下に保つように設計せねばならない。それには圧縮機及び電動機からの放熱量は、その電動機出力の6%程度になり、圧縮機の装置全体ではその電動機出力の12～15%程度の熱量が放出されると推定し、この放熱を吸収するための換気量を計算し計画する。但し、空気冷却式の場合は油冷却器や空気冷却器の放熱量を考慮にいれて換気ファンの容量を決定する必要がある。このように周囲の環境条件に適應させるため、スクリュ圧縮機には通常、空気冷却式と水冷却式の両方を製品ラインに加えている。

(4) 雰囲気（環境）対策

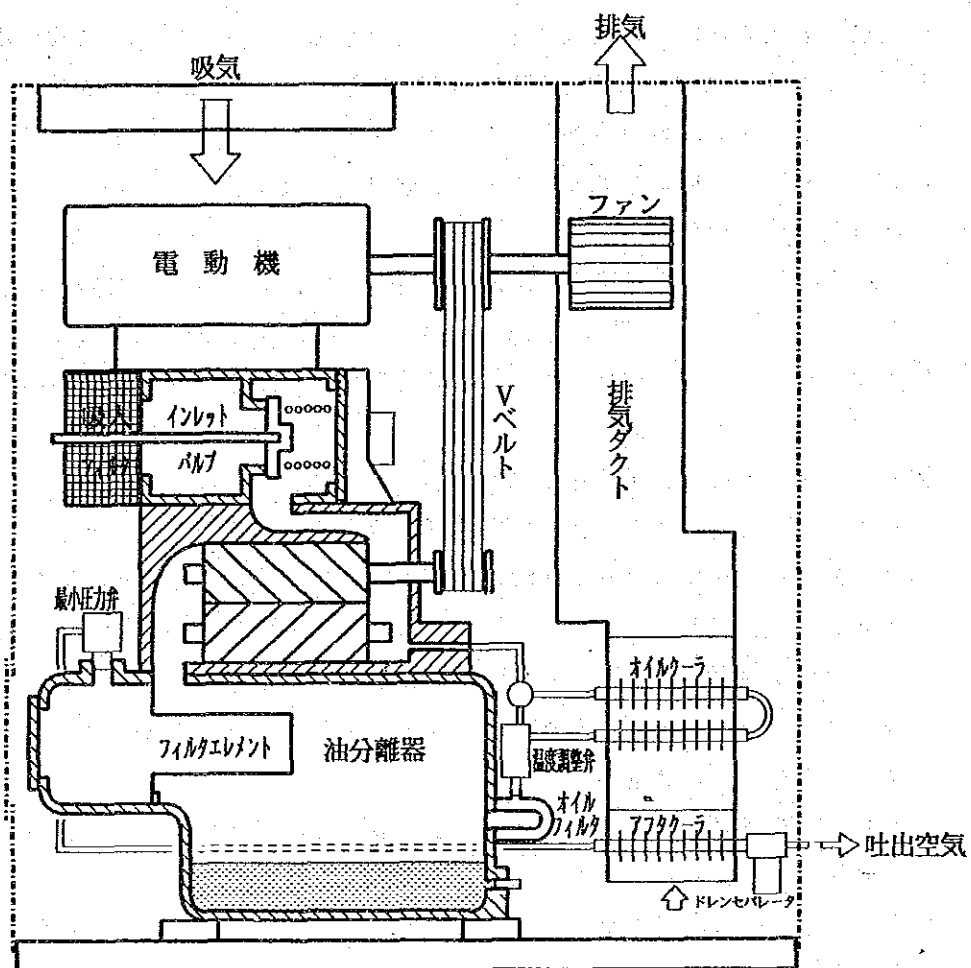
一般的に、スクリュ圧縮機の運転許容周囲温度は0～35℃の範囲である。周囲温度が0℃以下になると潤滑油の粘度が上がり、起動時に潤滑不良による軸受けの焼付け事故を起こす危険性があるので、油分離器のタンクをヒータで暖め潤滑油の粘度を調整出来るように設計する必要がある。さらに、マイナス10℃以下になると電動機や制御盤にも低温対策が必要になる。

スクリュ圧縮機の吸入空気は出来るだけ冷たくて清浄な空気が望まれ、腐蝕性ガス、爆発性ガス存在したり、塵埃が多い場所に設置することは避けねばならない。セメント工場、製鉄所、碎石場、炭鉱、鑄造工場等特に塵埃が多い場所に設置するときは、吸入口を清浄な空気の場所に移動させるか、移動が不可能なときは濾過性能の高い大形吸入フィルタを別置するなどの対策を施す必要がある。

(5) 小型（コンパクト）化対策

スクリュ圧縮機を一つのシステムとして設計し、まとめるのに、装置の全体をコンパクトにすることが必要なことは言うまでもない。各部品の形状の設計に当たっても、全体装置の配置を念頭において、配管量の減少、支持台の共通化等、VA/VEによる原価節減の対策と絡ませて小形化を検討することが重要な課題である。

一般的に給油式スクリュ圧縮機の場合は、ロータの周速が25～30 m/秒になる回転数で運転されるのが一番効率が高くなるとされている。この点に注意しながら圧縮機のロータ径と回転数を選択し小形化の努力をし、同時に製品ラインのシリーズ化を考えておくべきである。その一つの対策として、スクリュ圧縮機は中小型機では、電動機と圧縮機部を直結する方法よりベルト駆動方式を採用し、圧縮機全体の小形化を行う。同時に使用回転数の変更の幅を広げ、同じロータ径で吐出容量が容易に変えられて、部品の共通化と標準化が進み、製品のシリーズ化も行える。



図V-2-4-2 スクリュ圧縮機（空冷式）のコンパクト化の例

(6) 制御および監視システム

スクリュウ圧縮機は今後益々汎用性が広がり、多くの産業の分野で使用されることが期待されているので、客先からは、さらに高い品質のクリーンでドライな空気の要求が出てくることになる。同時に経済性や操作性を良くすることも必要となり、このために、スクリュウ圧縮機装置の自動運転制御方法とその監視装置の設置が必要となる。この方法はスクリュウ圧縮機メーカ各社の独自の開発と設計を行っている。

湘潭圧縮機廠でも幅広い客先を開拓してゆくには、要求仕様に対応できるオイルミスト除去のための脱油装置や脱湿装置を標準化し製品ラインの幅を広げておくとうい。

一方、経済性を高めるには電力を節約する機構をスクリュウ圧縮機に組み込む必要が出てきている。

この制御方法を大別すると

- a 電動機の自動発停による制御方法
- b 吐出側の圧力に応じて吸入調整弁を絞りを調節する方法
- c 吐出側の圧力に応じてアンロード弁をON-OFFする方法
- d a、b、cの3つの方法を組み合わせて使用する方法

作動要領は次の通り

- a 空気使用量が減少
- b 油分離器内の圧力が上昇
- c 油分離器内の圧力が計画圧力を越える。
- d 吸気調整弁、圧力調整弁が作動し吸気の絞り込み開始
- e 吸入管内の圧力が低下
- f バキュームスイッチが作動しアンロード弁が作動
- g 中間負荷運転の軸馬力を最小にする。
- h 無負荷運転がつづくで電動機を自動停止
- i 空気使用量が増加
- j 油分離器内の圧力が低下し圧力スイッチがON
- k 吸入調整弁が開いて全負荷運転に復帰

上記の作動をさらにマイクロコンピュータにより最適運転状態を検出制御する方法に発展している。しかしいづれにしても吸気調整弁（インレットバルブ）が制御の鍵を握ることになるので、要求仕様に合った吸気調整弁を標準化しておくことが必要である。

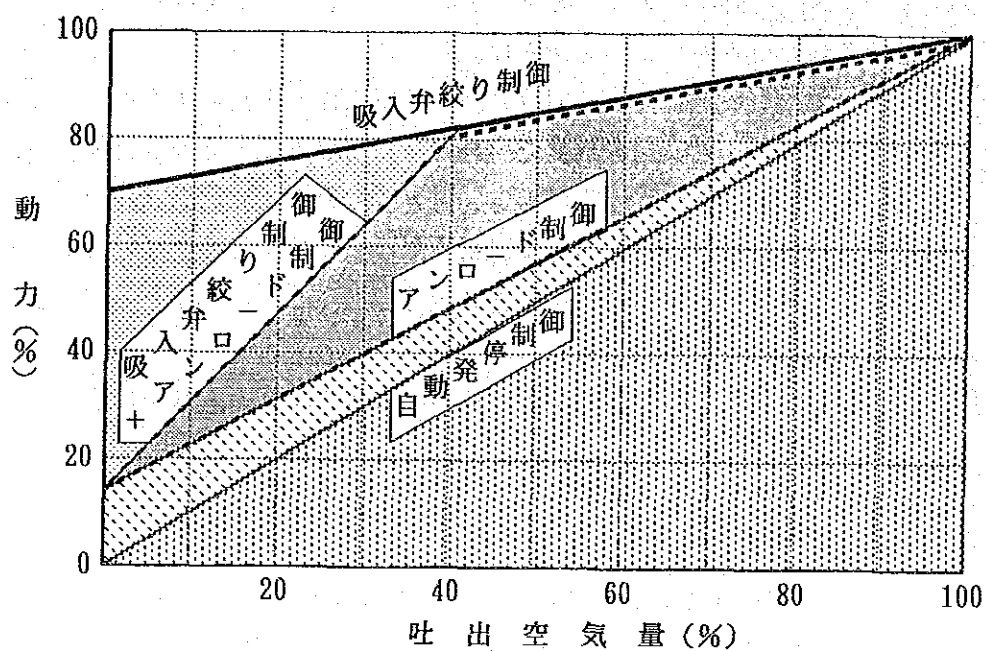
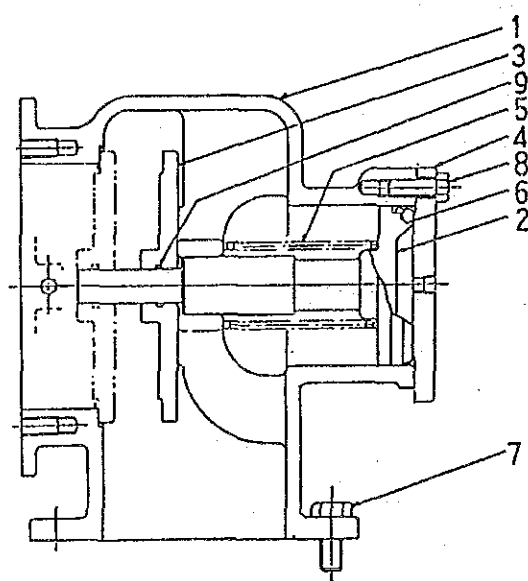


図 V - 2 - 4 - 3 制御モードの比較



番号	名 称
①	ボディ
②	ピストン
③	バルブプレート
④	キャップ
⑤	スプリング
⑥	Oリング
⑦	ボルト
⑧	ボルト
⑨	Oリング

図 V - 2 - 4 - 4 インレットバルブの構造例

制御方法を改善して行くと同時に操作方法、運転監視機能、保守点検情報の表示など監視装置も大切になってくる。現在の汎用の定置式スクリュ圧縮機の多くは、電流計、圧力計や運転表示のほかに、吸入フィルタ、オイルフィルタ、油分離器フィルタエレメントの目詰まり表示、吐出空気温度や油温度の警報、油面やドレン抜き警報、さらには油や部品交換時期の表示などを加えて、故障の防止と故障箇所表示により修理時間の短縮、保守の容易化によるコストダウンを狙っている。

以上のような制御や監視技術の開発のため、湘潭圧縮機廠の研究設計者には機械工学の知識に電子工学を加えたメカニカル・エレクトロニクス (Mechanical-electronics) の技術の習得が必要になってきた。

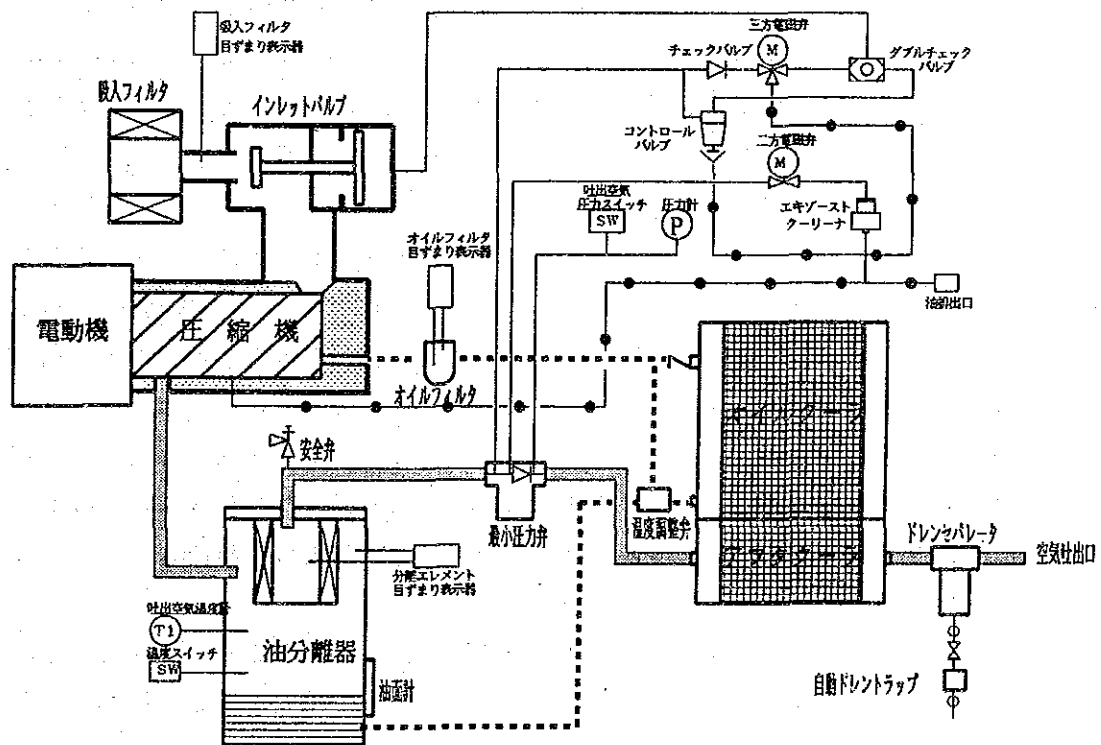


図 V - 2 - 4 - 5 空気・潤滑油の制御系統の例

2-5 移動式中圧スクリュ圧縮機の設計改良項目

IV編の1-2-7移動式中圧スクリュ圧縮機の問題点の中で設計に直接関係することを集約すると次のとおりである。

- a. 圧縮機本体の部品の要求精度と加工の工程能力を一致させること
- b. 空気及び油配管系統の部品の構造の設計を改善し VA / VE の手法を用いてスクリュ圧縮機のコストダウンを推進すること
- c. 制御システムや保護装置を改善、あるいは追加して装置の信頼性を高めると同時に経済性と操作性を良くすること
- d. 台構造や全体配置を改善すること

今回の湘潭圧縮機廠の近代化計画の事前調査および本格調査を通して、残念ながら移動式中圧スクリュ圧縮機の運転状態に立会うことができなかった。また、現在までの出荷台数が8台と少なく、アフタサービス記録や、故障・不具合の記録も整理された状態でなかったので入手できなかった。そのためこの検討は定性的な検討にとどまった。

これからは湘潭圧縮機廠は再度これまで納入された8台の移動式中圧スクリュ圧縮機について徹底した追跡調査を行い、使用状態における各種の性能データ、環境条件、騒音振動、潤滑油の状況を計測し、さらに交換部品の損傷状況から原因分析をすること、この結果をQC手法のFTA(Fault Tree analysis)、パレート図等を用いて定量的なデータ解析にかけ、外部からの専門家も参画して設計審査会(Design Review Board: DRB)を開催し、製造技術の近代化にマッチしたNEW MODEL化の運動を展開することを提案したい。

(1) 要求精度と工程能力

現在、設計(研究所)から出している加工の要求精度はスクリュ圧縮機として必要な水準であると考えられる。残念ながら加工されたロータの真の精度の測定(3次元測定)のデータがなく、「ばらつき」の範囲を把握できないので、工程能力を正確に評価することはできなかった。機会があれば、おす・めすロータの1ロットを3次元測定をして設計の要求精度と実際値とを対比させ、生産可能な規格値を掴み、その規格値の性能に与える影響を評価して加工機や計測機の新替などの抜本的対策を経営のトップに提案しなければならない。(注:加工の工程能力についてはV編の3章で取上げることにする)

ロータやケーシングにたいする設計の精度の要求は圧縮機の本質性能である圧縮効率に直接の影響を与える空気漏れを防止するうえで重要な意味を持つことを製造部門に理解されることが必要である。

- a. ロータシール(Rotor Seal)線からの空気洩れ防止
- b. 吐出側ブローホール(Blow Hole)からの空気洩れ防止
- c. 吸入側ブローホール(Blow Hole)からの空気洩れ防止
- d. 吸入側歯溝間の空気洩れ防止

- e. チップシール (Tip Seal) 線からの空気洩れ防止
- f. ケーシングとロータ端面との隙間からの空気洩れ防止
- g. 軸封部への空気洩れ防止

(2) 空気・油配管系の設計の改良

1) 油分離器の構造

空気・油配管系統の中で油分離器の構造は吐出空気の品質を保証する上で、一番重要な装置で、改善を必要とする部品であった。湘潭圧縮機廠でも既に、設計改良の検討を始めているが工場調査時に組立て中の移動式スクリュ圧縮機には改善前の油分離器を使用していた。給油式（油冷却式）スクリュ圧縮機の油分離器の目的は、圧縮行程中のおす・めすロータに油を注入し、冷却、潤滑、密封の効果を行うため圧縮された空気は油と混合しており通常は 70～80℃ の温度で油溜めに吐出される。このため油は油分離器の入口ではミスト（霧状）となっている。この混合気体をタンクの側壁に衝突、自然落下させ、さらにフィルタエレメントで油を分離させ、回収した油を循環使用することである。従って油の分離効率エレメントの分離性能の良否に左右される。この分離性能が悪いと圧縮された空気と共に油は外部に放出されるので、油の消費量が増大し圧縮機の経済性が落ち、吐出空気の品質も悪くなる。

油分離器の構造としては横型より縦型が望ましいが移動式のため台車上に配置するので形状の制約が強い。そのためにはフィルタエレメントの性能を高め小形化することが必要である。

現在使用されているフィルタエレメントでは、通常スクリュ圧縮機の吐出空気に要求される油混合率 13 ppm 以下を満たすことは不可能である。すでに工場では新製品に切替の方針を決定しているが、この材質構造については使用される油の種類、粘度や通過流速によって大きく左右されることが多いので、採用するフィルタエレメントについて専門家と協議し実際の圧縮機で実験計測し性能を確認することも必要である。構造的にみて、油分離器の直径とフィルタエレメントの直径のバランスが良くないがフィルタエレメントの小形化が進めば解決される問題であろう。そのほか圧縮機から油分離器への吐出空気が側壁や隔板に最大限接触できるように吐出口の位置と方向、隔板の配置と取付け位置を再検討し、改良を加える必要はある。

また、フィルタエレメントのメッシュが細くなればそれだけ目詰まりの不具合が増加する。特に移動式スクリュ圧縮機が使用される環境は定置式に比べ、悪い条件にあると考えられ、吸入空気中の粉塵の付着する量も多くなる。エレメントの前後の圧力差を検出することにより、エレメントの目詰まりの状況を表示方法でメンテナンス時期を指示すると良い。分離性能を維持するには

定期的洗浄を増やさざるをえないので、取外しや復旧作業のしやすい構造と油洩れや空気洩れ防止の対策を施すことが大切である。

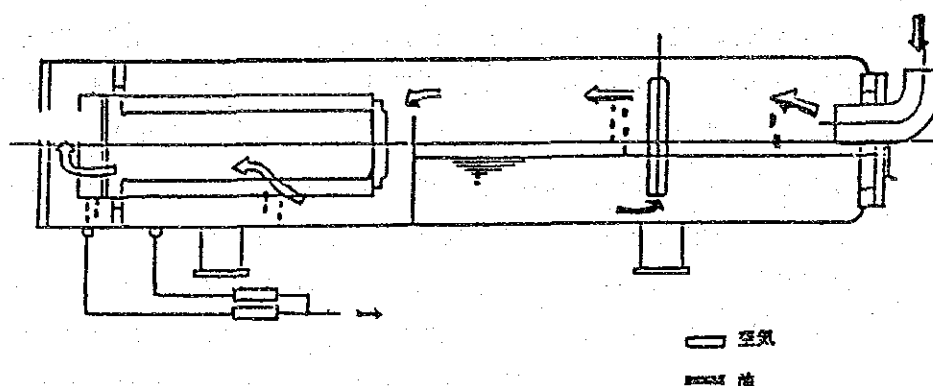


図 V - 2 - 5 - 1 油分離器の構造例

2) 吸入フィルタの材質の改善

吸入フィルタは油分離器のフィルタエレメントの目詰まり、油の劣化、ベヤリングの摺動部の磨耗等を防止する上でその性能が重要である。特に移動式中圧スクリュ圧縮機が屋外、しかも鉱山、炭鉱の掘削機との組み合わせの使用が見込まれているからには吸入空気の清浄化の強化は欠かせない。最近自動車、ブルドーザなどのエンジンの吸入フィルタにヘビーデューティ (Heavy Duty) タイプのフィルタが開発されて 20μ までの濾過精度が得られるのでスクリュ圧縮機にも使用され始めた。さらに清浄化が要求される状況の場合は通常の吸入フィルタの外周に発泡ウレタン等の多孔プラスチック製フィルタを一重ないしは二重に被せて、濾過効率を高めている。これらの高性能フィルタを採用も検討する必要がある。しかし、この方法でも不十分な場合は、圧縮機室を密封し、空気を取り入れ部に1次フィルタを装備する設計対策も考慮しなければならない。

3) オイルクーラ

湘潭圧縮機廠で生産中の移動式中圧スクリュ圧縮機 (LGY 20 - 14 / 10.5) (出力: 132kw) のクラスの普通型のスクリュ圧縮機は図 V-2-3-3から明らかなよ

うに2段圧縮で、さらに水冷却方式を採用する事が設計の通例である。

これは、一行程で高い圧縮をすると吐出空気が高温化し潤滑油の劣化を早めることの防止と、比動力 (kw/吐出空気量) を低く抑さえ経済性を改善することに重点を置いているからである。移動式の大型スクリュ圧縮機の場合は構造の小形化と移動性能が要求されるからには一段圧縮、空気冷却方式が望ましい事も事実である。しかし、中国の大陸性気候に追従するオイルクーラ、現在は設置されていない使用側の機器や人身の安全のための吐出空気のアフタクーラと共に冷却系統に対し、市場や客先からの要求品質と設計や技術上の特性を再評価し設計見直しや水冷式圧縮機も製品ラインに加えることも検討する必要がある。

注：この章末に必要な油冷却量の検討結果を示したので参考にされたい。

(3) 制御システムの設計改良

1) 容量制御システム

吐出空気の使用量の変動に対してスクリュ圧縮機の装置全体の制御の必要性についてはV-2-4(6)で説明した。現在のバタフライ弁のON-OFFによる吸入空気量の制御は、使用側の機械と1対1の対応であったり、圧縮機と相手の機械が近くに配置できて圧縮機の起動・停止を手動操作できる範囲であれば問題にならないが、使用先の機械台数が増えてくると吐出圧力が安定しなくなり、また中間負荷での運転時の軸出力が負荷の減少に比例せず電力消費量の軽減などエネルギーの節約効果が小さい。

現在の制御系統は次のようになっている。

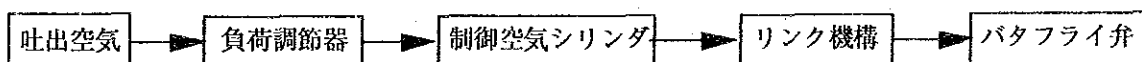
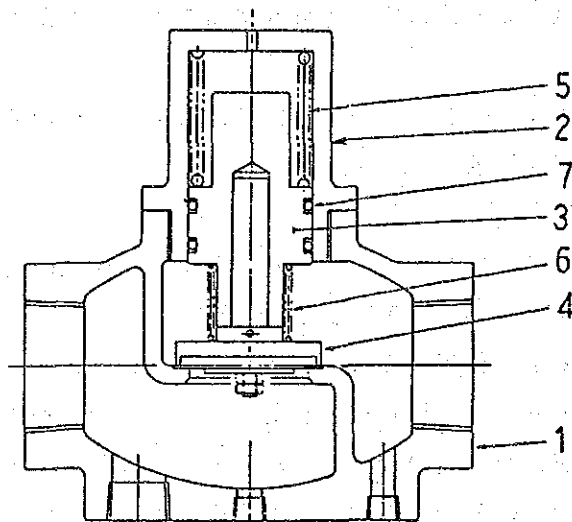


図 V-2-5-2 容量制御系統図

現在の負荷調節器では吐出空気自身で吐出圧の制御と吸入弁の作動制御空気を兼任させている。しかし、この吐出空気はオイルフィルタで濾過後といえども、油分やドレンが多く混入しているため調節器の内部機構の作動を不安定にさせ、また吸入弁を作動させる空気シリンダの動きを鈍らせる原因になっている。この不具合を除去するには、図V-2-4-5の制御系統の例に示したように吐出空気の主管には最小圧力調整用のチェック弁のみとし、圧力を検出し開閉の制御をする電氣的開閉器と、より清浄な制御用空気を生み出す機構を別にわ

けて、確実な作動が期待できる制御系統に改良して、故障原因を無くする方法である。最後に、やはり容量調節は負荷に比例して変化させることのできるピストン式吸入弁（インレットバルブ）を採用し、出力負荷の調整もできるような設計改良を施すべきである。



符号	名 称
-1	ボディ
-2	シリンダ
-3	ピストン
-4	バルブ Assy.
-5	ピストンスプリング
-6	バルブスプリング
-7	Oリング

図 V - 2 - 5 - 3 最小圧力弁

2) 潤滑油温度制御システム

潤滑油の管理がスクリュ圧縮機を長時間の連続運転や、機械の寿命を延ばす上で重要な問題になることは周知のことである。改良項目に上げた油分離器、オイルフィルタ、オイルクーラの部品の性能改良の対策もこの一環である。この油の管理の主たる目的は油の温度を一定に保つことである。これにたいし、現在の油の温度の制御は油の温度が30℃以上になるとオイルクーラのファンを自動的に起動する方法のみである。中国の気候条件からすれば高温期のクーラの容量と低温期の油の過冷却の防止である。低温期に過冷却になると吐出空気中に多量のドレンが発生し、制御ラインの凍結や油ぎれによる焼き付き事故、さらにはドレンによる異常腐食事故を引き起こす危険がある。

図 V-2-4-5 に示したように、オイルクーラの入り口には、自動温度調節弁とバイパスライン配管をして、油温度が60℃前後に保たれる装置を追加する。また油の高温警報等の安全運転に必要な監視機能も見直し、圧縮機出口に近い油分離器に、温度スイッチを設けて吐出空気の温度が異常に上昇した場合に直ちに電動機を停止させ、スクリュ圧縮機の重大な損傷を未然に防ぐ保護装置は是非必要である。

(4) 全体配置と全体構造の合理化設計

これまでの設計改良項目は性能の向上と安定に必要な問題であったが、最後に性能を維持しながらコストを削減するための設計の改良は、企業の製品にとって不可欠であることは言うまでもない事である。この目的で、本格調査のため湘潭圧縮機廠滞在中に、スクリュ圧縮機についての VA/VE の事例と効果について技術セミナーを行い、多くの方々に理解戴いたと考えます。VE の基本的考え方は表 V-2-5-5 VE の基本ステップに示した。この VA/VE の立場から移動式中圧スクリュ圧縮機の全体を見て、客先の要求する品質機能を明確に把握し、必要な品質、機能をより経済的に達成することによって、最も価値ある製品やサービスを作り出すコストダンの設計対策が必要である。

移動式中圧スクリュ圧縮機の全体配置と全体構造の設計を合理化するのに『移動式圧縮機の要件とは何か?』を VE の手法で再評価し、要求品質を見直し、台車、台盤、及びカバーの加工工数削減の設計、組立て工程も考慮した配置、構造の合理化と配管、配線の一本一本にいたるまでコストダウンの意識で設計して行かねばならない。

このためには、これまで納入された移動式スクリュ圧縮機の実績を調査し、そのデータをベースに対策を立案する。調査の項目には次の事項を加えておくこと。

① 自走行で移動の範囲

a 作業区域内 b 近距離 c 中距離 d 遠距離

(注：日本の道路交通法では作業区域外はトラックやトレーラによる運搬を義務づけられている)

② 牽引方法と牽引速度

③ 水、電力等のエネルギーの供給条件

④ 使用環境の条件

a. 標準装備品の設計条件

b. オプション(Option)装備品の設計条件と装備方法

⑤ 騒音防止や安全対策の要求項目

現在の移動式中圧スクリュ圧縮機で設計の改善点：

1) 小型軽量化対策

前項、2-4 で小形化に触れたが、移動式の場合はさらに軽量化も加わり、徹底した構成機器の性能向上による小型化軽量化対策が必要となる。可能ならば、圧縮機の歯形や圧縮段数の変更等の基本性能に立返ってみることも大切である。参考までに、現在多く採用されている非対称歯形のロータのスクリュ圧縮機の比動力の推定曲線を図 V-2-5-4 に示した。圧縮機の効率の向上によって軸馬力の減少は電動機の大きさを小さくするばかりでなく、発生熱量を減少させ、全ての構成機器の小型化に波及する。無論、そのまえに高性能フィルタ類採用により小型化されていなければならない。

2) 車体、カバーの軽量化

走行条件によるが、車輪径や板ばねの振幅を小さくし、全体重心を下げ、それだけ上下方向の立体的配置を増やし、配管量や車体全長を短くすることを検討し、カバー面積を減らす。

3) 騒音対策

カバーの側面を操作するサイドと保守点検サイドとに分け、それに合せた側壁構造として、密閉性を改善して騒音対策をする必要がある。

4) 振動対策

圧縮機と電動機を共通台盤に搭載し、台車とは防振ゴムを介して結合させると振動影響の軽減と同時に台車の撓み変形による圧縮機と電動機のカップリングの損傷防止、カップリングの小型化が可能になる。この方法にすると定置式と共通したユニット組立てが可能になり製造工程のラインを構築しやすい。

5) 標準化対応の設計

側壁板の二重曲りを無くし、台構造、骨構造、側壁板の標準化しやすい分割方式

にして、加工工程の共通化を目標とした設計に変更する。

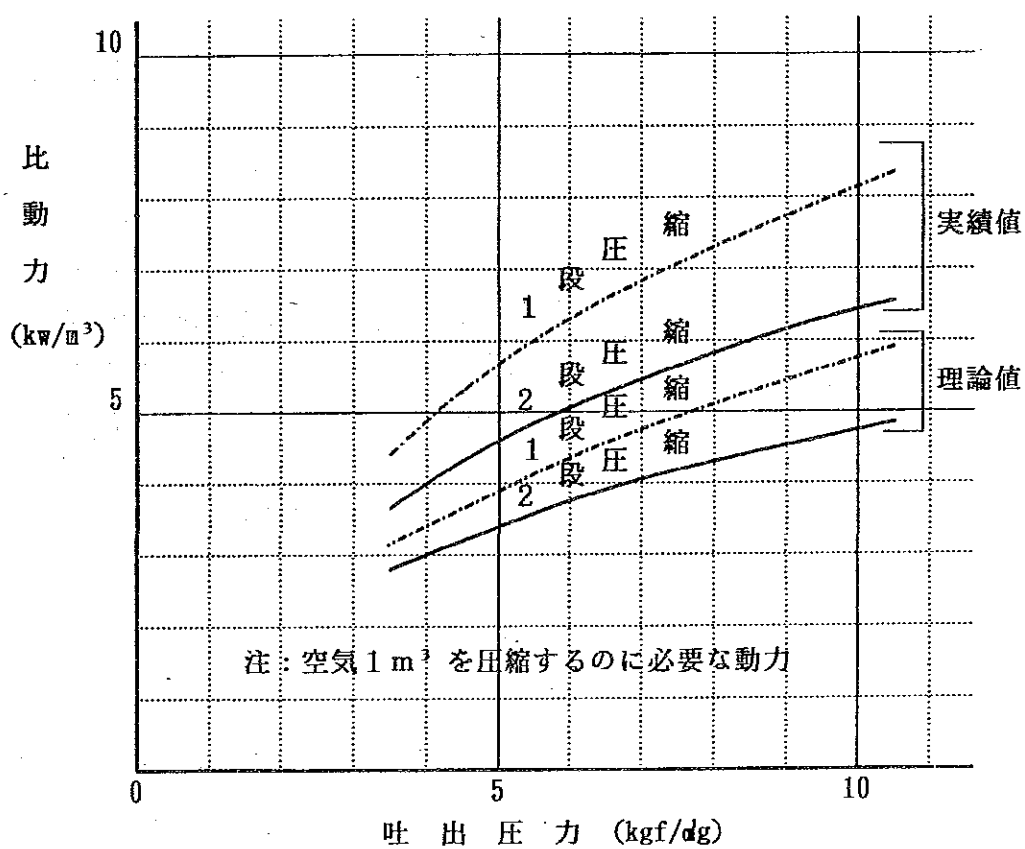


図 V - 2 - 5 - 4 スクリュ圧縮機の比動力の例

表 V-2-5-5 VEの基本ステップ

V E 質 問		実 施 項 目	
機 能 定 義	①それは何か	V E 対 象 の 現 状 分 析	何をVEするか（目標の確認） 現在どんな問題があるか（情報の収集）
	②その働きは何か		必要な働きは何か（機能の定義） 各部の働きを整理してみる（機能の整理）
機 能 評 価	③そのコストはいくらか ④その価値はどうか		どこを改善したら良いか（機能の評価）
改 善 案 の 作 成	⑤ほかに同じ働きをするものは無いか	改 善 案 の 作 成	アイデアを書き出す（創造）
	⑥そのコストはいくらか		使えるアイデアを選び出す（提案）
	⑦それは必要な機能を確実に果たすか		具体的に使える案を幾つか作る（具体化と評価）
			最も良いアイデアを選び出す（提案）
			やれることを確かめて実施に移す（実施）

2-6 生産設計

生産設計は開発基本設計と製品化の設計の後を引継いで、標準化の設計を一層押し進めることにより、客先との受注契約にもとずき、約束した機能を持つ製品をリーズナブルコスト（Reasonable Cost）で納期通り製造部門が製造できるようにするための情報を資材の調達部門と製造部門に提供する部門である。

個別受注生産方式の工場の生産設計の持つ主な役割は

- 1) 受注契約仕様書で約束した品質の確保
- 2) 過剰品質にならないリーズナブルな材料費による製作方法の確立
- 3) 製造部門が安全で作りやすい工作方法を盛込んだ製作図と作業指示書の作製
- 4) 予定通りに材料手配ができる時期を考えた図面や購入品の注文要領の出図
- 5) 製造部門と協力してVAの上につつコストダウンの実行
- 6) 標準化、基準化を確実に行って技術の安定維持

湘潭圧縮機廠では技術課が中心になり、上記の役割を実行されている。しかし、今後生産品目、生産量が増加し、客先仕様が多様化してくると営業部門からの設計変更の要求が増え、研究所も巻込んだ設計部門の負担が増加する事が予想される。

この負荷の増加に対応してゆくには、

第一に、設計手順を標準化して、設計の要員確保を容易にする。

第二に、製作図、注文図を標準化と規準化して、設計変更箇所を別図にして編集できるようにし、繰り返し設計作業、手書き作業を最少にする。

第三に、コピーマシン、コンピュータ等のOA機器を有効に活用できる体系を作る。

第四に、出図の管理を確実にし、負荷を良く調整すると同時に、購入機器のメーカー仕様や、図面等の情報がタイムリに入手できる総合的管理制度にして情報不足による設計の後懸かりやミスを防止する。

しかし、設計の負荷に比例して設計不良による仕損じが増えるのが通例であり、この対策が多くの場合難問である。そこで管理者、設計担当者、製図員全員が設計不良が後工程に与える影響のおおきさを認識して、設計不良の要因を早く是正できる体制を固めるのも工場が近代化していくうえで大切である。図 V-2-6-1 は、最近ある設計部門の設計不良の要因を分析した実例である。この中で要因に上げられている項目の一つ一つは日常の設計活動で常識的なことで見落とされているものが多い。湘潭圧縮機廠でもこれを参考にし、設計不良の撲滅対策を工夫し実施して欲しい。

末尾に設計規準と設計標準の実例を添付した。

2-7 スクリュ圧縮機的设计技術規準の例

【ロータ歯形】

スクリュ圧縮機の特徴の一つは、従来のルーツブロワ等の双回転子形圧縮機に比べて、往復動圧縮機と同様の容積型の空気圧縮が可能な点である。このためロータは振れており、その巻き角（吸込み端面から吐出端面への間に振れた角度）はおすロータで250°から360°であり、真空ポンプでは450°を越えるものもある。ロータ歯形としては用途に応じて各種の歯形が使われており、その代表的なものを図-1に示す。従来使用されていたロータ歯形(a)では効率が必ずしもよくなかった小形、高吐出圧力の分野で、その使用状態に合ったロータ歯形を使用することにより、効率改善、用途拡大が進んでいる。おすロータの歯の枚数は3～6枚であり、めすロータの歯の枚数はおすロータより1～2枚多い。ロータの歯形に関するパラメータには以下のものがある。

Nm	: おすロータの歯の枚数	Nf	: めすロータの歯の枚数
Dm	: おすロータ外径	Df	: めすロータ外径
Pm	: おすロータピッチ円直径	Pf	: めすロータピッチ円直径
CD	: ロータ間距離	L	: ロータ長さ
ϕm	: ロータ巻角	a	: Addendum 量

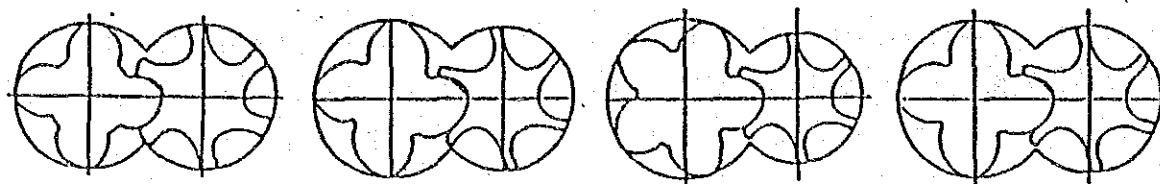
ロータ長さは L/Dm で表すことが多く通常は $L/Dm = 1.0 \sim 1.65$ の範囲で使用される。歯形パラメータの関係は以下で表される。

$$Pm = \frac{2Nm}{Nm + Nf} \times CD$$

$$Pf = \frac{2Nf}{Nm + Nf} \times CD$$

$$a = (Df/Pf - 1) \times 50$$

Addendum 量は通常 0～4% の範囲に選ばれるが、マイナスのものもある。そのほかに低圧縮用としては歯数の少ないおすロータ 3 枚、めすロータ 4 枚のものがあり、ロータ剛性は小さくなるが歯形空間の体積が大きくなり、取扱う空気の量が大きくなる。また高圧縮用としておすロータ 6 枚、めすロータ 8 枚のロータ剛性の大きなものがある



$C_n = 0.501$

$CD = 100 \text{ mm}$

$D_m = 127.5 \text{ mm}$

$D_f = 127.5 \text{ mm}$

$a = 3.125$

$C_n = 0.5123$

$CD = 100 \text{ mm}$

$D_m = 137 \text{ mm}$

$D_f = 124.8 \text{ mm}$

$a = 2.0$

$C_n = 0.4487$

$CD = 100 \text{ mm}$

$D_m = 140 \text{ mm}$

$D_f = 114 \text{ mm}$

$a = 2.25$

$C_n = 0.5235$

$CD = 100 \text{ mm}$

$D_m = 136.25 \text{ mm}$

$D_f = 127.5 \text{ mm}$

$a = 3.125$

図-1 各種ロータ歯形の比較

【性能計算】

(1) 理論排除量 V_{th}

$$V_{th} = C_n \times C_\phi \times D_m^2 \times L \times n / 60 \text{ (m}^3/\text{sec)}$$

ここで、 C_n : ロータ歯形により定まる定数 (図-1に例を示す)

C_ϕ : ロータ巻角による定数 (図-2に例を示す)

D_m : おすロータ直径 (m)

L : ロータ長さ (m)

n : おすロータ回転速度 (回転数/分)

ロータの回転に応じてロータ歯溝内の体積は図-2に示すように変化し、ロータ巻角が 230° 以上になると吸込み行程と圧縮行程が重なり、理論排除量が減少する。巻き角が大きくなると、体積変化が緩やかになり、吸込みや、吐出にともなう流体損失が少なくなり、また隣り合うロータ歯溝間の圧力比が小さくなり洩れ損失が小さくなるが、一方、圧縮に時間を要し、洩れが増えることが考えられる。

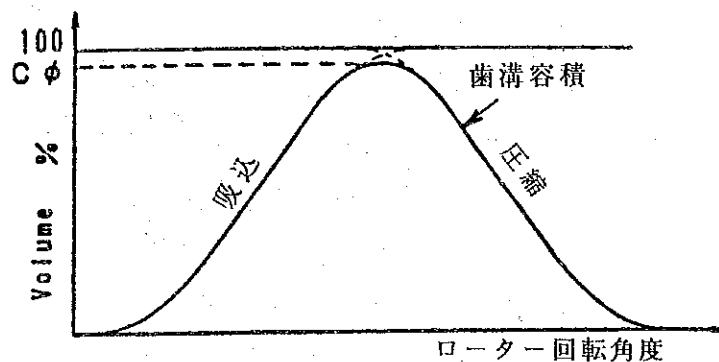


図-2 ロータ回転角と歯溝容積

理論排除量 (V_{th}) は、おすロータの外周速度 (U) を使用すると

$$V_{th} = C_u \times D_m^2 \times L / D_m \times U \quad (m^3/sec)$$

$$U = \pi \times D_m \times n / 60 \quad (m/sec)$$

ここで、 C_u : 定数

(2) 洩れ損失

図-3にスクリュ圧縮機のロータシール線 (太線で示す) と空気の洩れパターンを示す。図中の点線はおすロータケーシングとめすロータケーシングのカスプ (Casp) を示す。

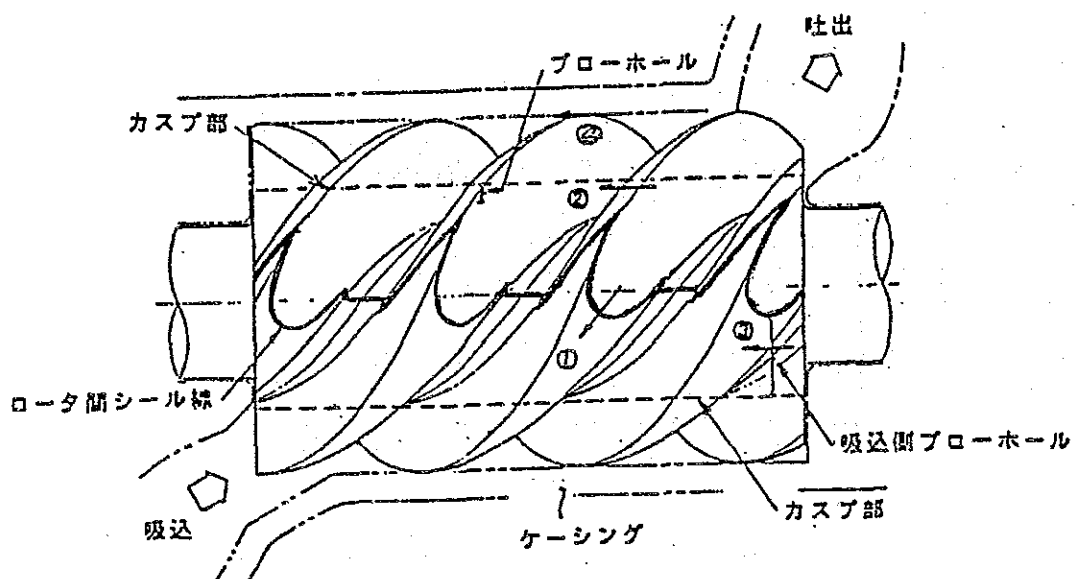
洩れは：

① ロータシール線からの洩れ；

おす・めすロータの噛み合いにより生ずる微小隙間のシール線を通っての洩れで、高圧部から直接吸込み側に洩れるため、スクリュ圧縮機の性能に大きく影響する。ロータ巻角を大きくすると空気閉じ込め後に歯溝に洩れ込む場合もある。

② 吐出側ブローホールからの洩れ；

図-4に示すように、おす・めすロータのケーシングの交点であるカスプにロータの噛み合いが達していない場合に、高圧側ロータの歯溝から低圧側ロータの歯溝へ吹き抜ける三角状の穴が生じる。この穴はブローホール (Blow Hole) と呼ばれ、歯溝間の洩れであり、効率低下を生じる。このブローホールの面積はめすロータの Addendum に関係し、Addendum 0 の歯形ではこのブローホールは最小になる。



- ① ロータシール線からの洩れ ② 吐出側ブロアホールからの洩れ
 ③ 吸込み側ブロアホールからの洩れ ④ 吸込み側歯溝間の洩れ

図-3 スクリュー圧縮機の洩れ

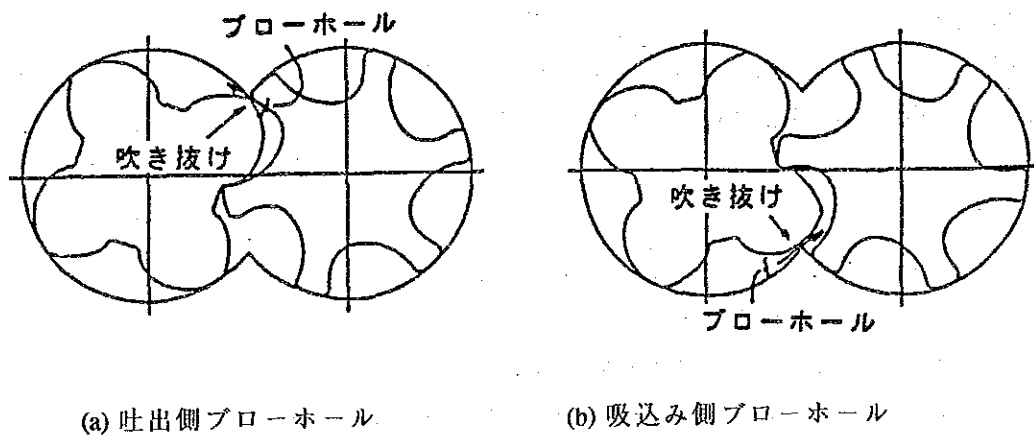


図-4 ブロアホールの形成

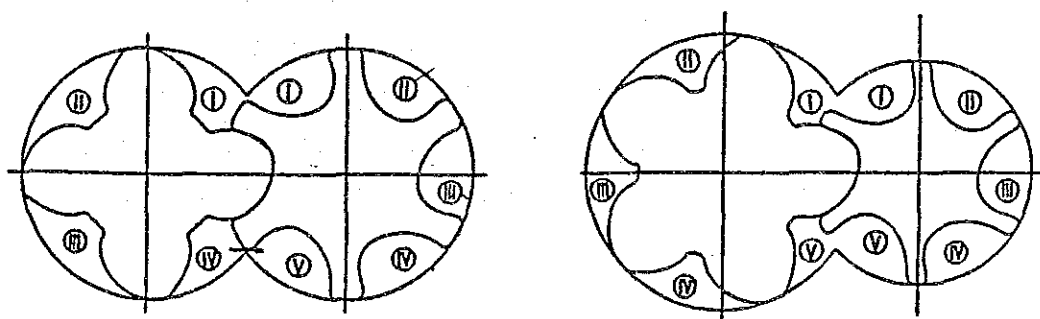
- ③ 吸込み側ブロアホールからの洩れ；

図-4 (b) に示すように、吸込み側にもブロアホールが形成され、圧縮行程に入った空気が吸入側に洩れる。ロータ巻き角が小さい場合には性能にあまり影響しない。通常吐出側のブロアホールの方が吸込み側ブロアホールより小さい。

④吸込み側歯溝間の洩れ；

おすロータとめすロータの歯溝が吸込み側で不一致となり生ずる洩れであり、おすロータとめすロータの歯数の差が2枚以上の場合に存在する。図-5(a)において吐出側から順に、Ⅰ、Ⅱ・・・と番号を付ける。例えばⅠの歯溝を吸込み側端面とするとロータはねじれているため、吐出側に向かうに従い歯溝位置はⅡ、Ⅲ・・・と移動していく。その結果吸込み側でおすロータのⅣの歯溝とめすロータのⅤの歯溝がつながる。従って、隣合う歯溝ⅣとⅤがつながることになり、歯溝間の洩れが生じる。図-5(b)の場合には同一の歯溝がつながり、歯溝間の洩れは生じない。

この歯溝間の洩れはロータ巻き角が大きくなるほど大きくなるため、ロータ巻き角が大きい場合は歯数の差を1枚にしなければならない。



(a) おす4枚、めす6枚ロータ

(b) おす5枚、めす6枚ロータ

図-5 吸込み側歯溝間の洩れ

⑤チップシール (Tip Seal) 線からの洩れ；

ロータ外周とケーシング内周の隙間を通して高圧側歯溝から低圧側歯溝、および吸込み側への洩れである。

⑥ロータ端面洩れ；ケーシングとロータ端面の隙間を通っての洩れである。

⑦軸封洩れ；軸封部への洩れである。

以上の洩れの特性については、ロータ形状と関係しておりロータ形状のどの部分により主に決まるかを表-6に示す。

表-6 洩れ特性とロータ形状の関係

番号	洩れ部名称	ロータ形状
①	ロータシール線	歯形形状、L/Dm
②	吐出側ブローホール	歯形形状、L/Dm
③	吸込み側ブローホール	歯形形状、L/Dm
④	吸込み側歯溝間の洩れ	Dm、L/Dm、歯数
⑤	チップシール線	Dm、L/Dm
⑥	ロータ端面洩れ	歯厚、ロータ外径、ロータ歯底径
⑦	軸封シール部	ロータ歯底径、ロータ軸封部径

(3) 容積効率 (η_v)

ここでは容積効率 (η_v) に影響する因子を吸込み抵抗および過充填効果による空気密度の変化、および前項(2)の洩れの損失を総合的に考慮して「圧縮行程における洩れ」、「吐出行程における洩れ」として考慮する必要がある。

(2)項で述べた洩れ、空気の吸入行程中の絞り、表面摩擦、および図-2に示す歯溝容積曲線の変化と空気流動の慣性に関係する過充填などにより、実際の空気吐出量 (V_s) は空気入口 (吸込み) 状態に換算して、次のようになる。

$$V_s = \eta_v \times V_{th} \quad (\text{m}^3/\text{sec})$$

ここで η_v は容積効率であり、以下のように表される。

$$\eta_v = \frac{\rho_1 \times V_s}{\rho_1 \times V_{th}} = \frac{(\rho_1 + \Delta \rho) V_{th} - GL}{\rho_1 \times V_{th}}$$

ここに、 ρ_1 : 入口における空気密度 (kg/m^3)

$\Delta \rho$: 過充填による密度の増加 (kg/m^3)

GL : 内部漏洩による入口側への洩れ (kg/sec)

「冷却系統の設計方法」

スクリュウ圧縮機内の理論吐出温度を実際の外部への吐出温度に冷却するのに必要な熱量とスクリュウ圧縮機内の圧縮損失と機械的損失で発生する熱量の合計（全熱量）を計算する。

(1) 全熱量＝理論冷却熱量＋（圧縮損失と機械的損失による熱量）

$$Q = V_n \times 60 \times \gamma_n \times C_p (T_{dth} - T_d) + (1 - \eta_T) \times LB \times 860$$

ここに、
 Q : 全熱量 (Kcal/h)
 V_n : 空気容量 (m³/min)
 γ_n : 空気比重
 C_p : 空気比熱
 T_{dth} : 理論吐出空気温度 (℃)
 T_d : 吐出空気温度 (℃)
 η_T : 断熱効率
 LB : 軸動力 (kw)

a. 理論吐出空気温度 (T_{dth}) の計算方法

$$T_{dth} = (T_i + 273) \left(\frac{P_d}{P_i} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 273$$

ここに、
 T_i : 吸入空気温度 (℃)
 P_i : 吸入空気圧力
 P_d : 吐出空気圧力
 k : 断熱圧縮比数

b. 断熱効率 (η_T) の計算

$$\text{断熱効率} = \frac{\text{理論断熱空気動力}}{\text{実際の軸馬力}}$$

c. 理論断熱空気動力 (L_{th}) の計算

$$L_{th} = \frac{k}{k-1} \cdot \frac{P_i \times V_n}{0.612} \left[\left(\frac{P_d}{P_i} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

「計算例」

移動式中圧スクリュ圧縮機の全熱量の簡易計算を試みる。

1) 理論断熱空気動力 (Lth) の計算

$$V_n = 14 \quad P_d = 11.733 \quad P_i = \text{大気圧} = 1.033$$

$$k = 1.4$$

故に

$$L_{th} = 82.9 \text{ kw}$$

2) 断熱効率 (η_T) の計算

実際の軸動力を電動機定格出力 132 kw と仮定すると、

$$\eta_T = \frac{82.9}{132} = 0.628$$

3) 理論吐出空気温度 (T_{dth}) の計算

吸入空気温度を 40℃ と仮定すると

$$T_{dth} = (40 + 273) \frac{11.733}{1.033}^{\frac{1.4-1}{1.4}} - 273 = 353 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

4) 全熱量 (Q) の計算

$$\text{空気比重 } \gamma_n = 1.2 \quad \text{空気比熱 } C_p = 0.24$$

実際吐出空気温度 (T_d) を 80℃ とした場合

$$\begin{aligned} Q &= 14 \times 60 \times 1.2 \times 0.24 (353 - 80) + (1 - 0.628) \times 132 \times 860 \\ &= 108273 \text{ kcal/h} \end{aligned}$$

5) 冷却に必要な油量 (q_{oil}) の計算

$$q_{oil} = \frac{Q}{\gamma_o \times C_{po} (T_1 - T_2)}$$

ここに、 γ_o : 油の比重 (0.865)

C_{po} : 油の比熱 (0.5)

T_1 : 油入口温度 (℃)

T_2 : 油出口温度 (℃)

以上のように理論的数値計算手順を明解な方法で纏め、各機器類の設計者が設計仕様を明確にし、設計図面やメーカーにたいする購入仕様書の作製に入る必要がある。

3 製造設備と製造工程の近代化

3-1 近代化の基本計画

3-1-1 近代化の基本方針の確認

湘潭圧縮機廠の機械工場の近代化に関する緊急、かつ最重要課題は次の3項目が上げられる。

第一にスクリュウ圧縮機の工程能力を高め、真の品質を保証した製品を生産できる体制を構築すること。

第二にその生産量が第8次5ヵ年計画の目標を達成すること。

第三に製造コストが狙った製品コストに対応できること。

すでに、湘潭圧縮機廠では「鑄造工場の製品別工場への改造」が終り、製造工程に沿った流れの鑄造部品工場の建設を完了した。しかし、主力製品の圧縮機を生産する機械加工・組立て関係の工場は往復動式圧縮機を中心に工場改造の計画が着手さればかりの状態である。

産業構造が急速に省力、自動化の方向に進み、圧縮機の需要が増大する中で、特にスクリュウ圧縮機の伸びが著しく（図V-2-3-2参照）、海外の圧縮機のメーカーがスクリュウ圧縮機に転換していることを踏まえ、第8次5ヵ年計画ではスクリュウ圧縮機を生産を軌道にのせるための工場の改造の基本方針を打ち出し、化学肥料プロセス用往復動圧縮機とスクリュウ圧縮機の2系列の製品を中心にした機械工場の近代化の構想を立てた。

湘潭圧縮機廠の機械工場群は工場概要で述べたように、本工場と第二分工場からなり、それぞれの工場の歴史や生産品目の違いがある。このため、湘潭圧縮機廠の機械工場の近代化を計画するにあたって、スクリュウ圧縮機の主生産工場の場所、各機械工場の位置づけについては慎重に検討して頂くように事前調査の段階からお願いした。その段階で本工場と第二分工場の2案が工場側より提案があり、この2案に基づき検討結果を7月の本格調査時に当方より提示し、工場側でさらに慎重に検討され次の基本方針を決定された。

- (1) 本工場をプロセス用往復動圧縮機とスクリュウ圧縮機の主生産工場とする。
- (2) 第二分工場は電工機械、民生機械、小型ピストン圧縮機等の生産を中心とし、さらに本工場の部品や冷間加工品の集中生産を計画する。

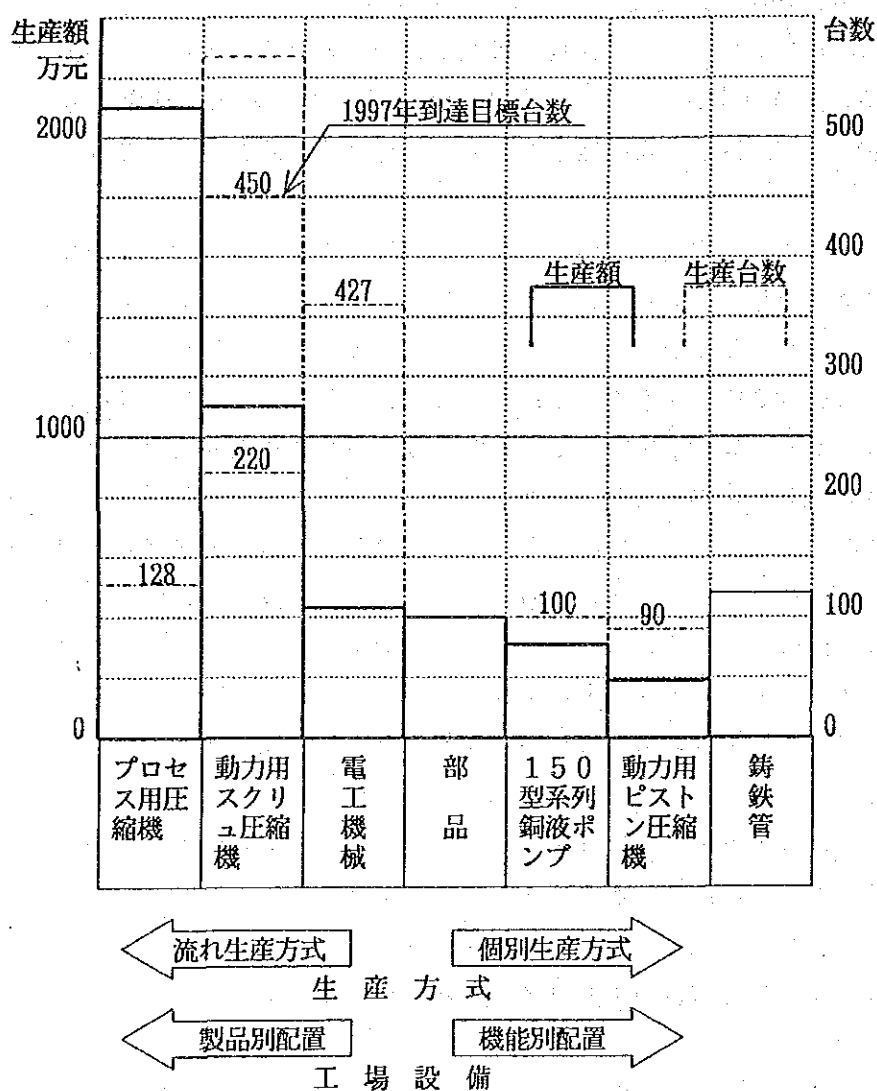
その主な理由として

- (1) プロセス用往復動圧縮機を生産ラインが本工場にできており、第二分工場での製造経験が無い。
- (2) スクリュー圧縮機はまだ製品開発や生産技術の開発の段階で、研究設計や生産技術部門の全面的協力が必要であり、この2部門が所在する本工場を優先的に考える。

以上の工場基本方針に基づいて、製造工程の近代化計画を検討し、工場設備、配置を立案して行くことにする。

3-1-2 製造工程の基本計画

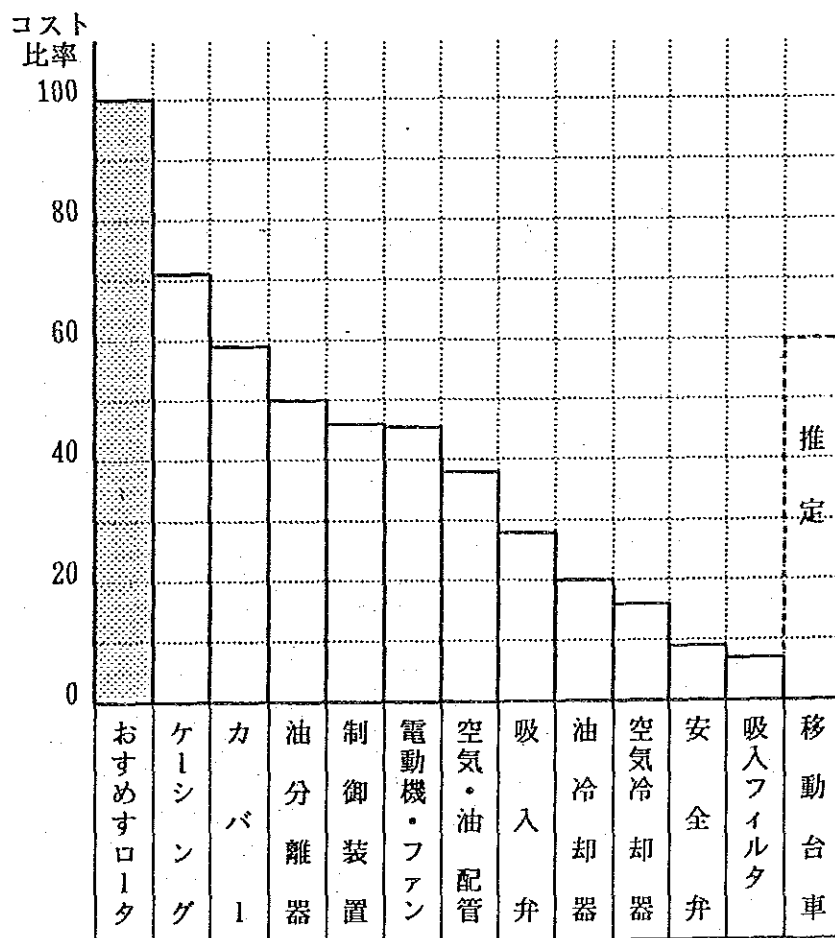
第8次5ヵ年計画における1995年の製品別生産計画（表V-7-4-1参照）による機械製造部門の生産量は次の図になる。



図V-3-1-1 生産量の比較

生産額からみればプロセス用往復動圧縮機が第一位、スクリュウ圧縮機が第二位である。1997年のスクリュウ圧縮機が生産予定台数は移動式中圧スクリュウ圧縮機150台、定置式低圧スクリュウ圧縮機300台を計画して、その生産額は推定であるが2270万元となりプロセス用往復動圧縮機と肩を並べる状況になる。この2機種を台数で見ると圧倒的にスクリュウ圧縮機が多く、その内容も移動式中圧スクリュウ圧縮機と定置式低圧スクリュウ圧縮機の2系列と種類が少ないことは、量産化の効果が期待できることになる。一般的に言えば、この図の左側に位置する機種は流れ生産方式に適した傾向にあり、右側にいくほど個別生産方式に移行して行く。この傾向にともない、工場設備も左が製品別ライン配置、右が機能別配置が適応することになる。

一方、スクリュウ圧縮機の製造工程を検討するために、一般的なスクリュウ圧縮機でその構成部品を調べると、その主なものは、図V-3-1-2になる。



図V-3-1-2 スクリュ圧縮機のコスト構成比率

移動式スクリュウ圧縮機の場合はさらに移動台車が追加される。これらの構成部品の生産体制が量産に入った状態のコスト比率をロータのコストを100として示した。この構成部品の中で、制御装置、ファン・電動機、油冷却器、空気冷却器、安全弁、吸入フィルタ等は購入品か、専門工場に外注製作委託されることが通例であり、油分離器、吸入弁、吐出弁、オイルポンプ等はそのスクリュウ圧縮機固有の技術に係る特注品のために社内製作か、その企業の関連下請け工場を専門化して外注生産されることが多い。

スクリュウ圧縮機を生産する場合、見落としてならないのが台盤やカバー（エンクロジャ）移動式の場合は移動台車を含め、薄板鋼板の冷間加工部品の量が多く、その加工能力や製造コストがスクリュウ圧縮機の製品全体の生産に影響を及ぼすことである。前章の設計の近代化の項目の中で指摘したように、台盤やカバー（エンクロジャ）の役割がスクリュウ圧縮機の機能に影響し、また外観を良くして商品価値を高める上から専門工場化の傾向が強い。

現在の湘潭圧縮機廠の移動式中圧スクリュウ圧縮機の各工程の加工工数（工時定額）の比率は次の表の通り。

表V-3-1-3 各工程別加工工数の比率

工 程	段取り時間	加工・組立時間	合計時間	比率 (%)
お す ロ ー タ ー	60.00	146.00		
め す ロ ー タ ー	105.00	200.50	511.50	20.0
ケ ー シ ン グ I	47.00	99.55		
ケ ー シ ン グ II	25.30	56.00	228.25	8.9
移 動 台 車		1000(~1500)	1000	39.2
部 品 組 立	50.00	136.25	186.25	7.3
総 組 立		402.25	402.25	15.8
試運転・完成検査		48.00	48.00	1.9
塗 装	16.00	160.00	176.00	6.9
総 計			2553.05	100.0

(注：小型部品の加工工数は含まず)

順位別に並べると次の通り。

- ① 移動台車の加工組立て
- ② ロータ加工
- ③ 総組立
- ④ ケーシング加工
- ⑤ 部品組立
- ⑥ 塗装
- ⑦ 試運転・完成検査

以上から湘潭圧縮機廠のスクリュ圧縮機の製造工程を近代化するには、次の方針で行うことを提案する。

- (1) 固有の加工技術を必要とし、その加工精度が製品機能を支配するロータの加工を専用ライン化する。
- (2) ロータと同じ加工精度が要求されるケーシングの加工も専用ライン化し、鑄造素材から加工までの一貫製造のできる優位性を発揮する製造工程を構築する。
- (3) 小型部品加工は機械工場の汎用加工ラインのNC化により多品種対応の生産効率を上げる。
- (4) ユニット組み（小組立て）を徹底して行い、作業の共通化と標準化を行い、品質の向上と生産効率を上げる。
- (5) カバーパネル（エンクロジャ）と移動台車の設計と製造工程を合理化して、工数削減対策を行い、加工組立てラインの専用化を行う。この加工は採算を考慮し社外の専用工場への委託も対策の一つであるが、工場近代化による生産性の向上によって必ず起きる労働力の移動にたいしての対策として社内製造ラインを強化するのも必要になると考えられる。

3-1-3 設備配置計画

専用機械加工ラインはできるだけ長さを短くし、また異種の系列部品の流れに弾力的に対応できることは言うまでもないが、加工ラインと組立ラインの分担と流れ、その間に入る検査と計測をも含めた次の見地から工場全体のレイアウトを考える必要がある。

- (1) 専用機械加工ラインを短縮するためには、前工程になる鑄造や鍛造で造られた粗形材の形を統一、整理して作業工程を均一化するのが良い。そのためにロータ素材は専用加工ラインに入る前に端部切断や外径加工を汎用加工機で集中加工する。

- (2) 現在一般に採用されているロータ専用フライス盤では段取り替え時間を節約するため切削加工の荒加工、仕上げ加工の工程が同一機で連続ロット生産される。荒加工後の熱処理、探傷検査が理想ではあるが熱処理場や探傷検査場への移動行程、手待ち時間等が生産効率を低下させるので、大径ロータを除き(1)の素材加工の工程にロータ軸部の荒削り工程を入れ、この加工状態で熱処理、探傷検査を行うと工程の流れが直線的になり短縮される。この工程ができる素材材質の研究を進めることが必要になる。
- (3) 専用ライン化する上で一番大切なことは、次工程に影響が出ない品質の源流管理体制を確立することである。すなわち、機械加工ラインは組立ラインに部品が流れた後、その一部に精度不良が発見され機械加工工程に逆戻りや、組立ライン内で手仕上げ修正が行うことが在ってはならない。そのためには、機械加工終了時点での精度の確認、おす・めすロータの噛み合い検査、バランス、ケーシングの軸間距離や面間距離の計測検査を完了してから部品組立に移動させる必要がある。したがって、この検査工程に必要な装置や計測器は機械加工の専用ラインに続けて同じ工場建屋内に設置が理想である。
- (4) 部品組立と総組立て作業を分離し、作業の標準化と共通化を行い品質と生産効率の向上をはかる。部品組立はベヤリングの嵌め込み、吸入弁の組立などの精密組立作業をとめない治工具の開発と使用が品質や生産効率に影響する。一方、総組立ては、取り付け、配管、配線工事が主体で作業内容が異なるので工程を分離する事がおおい。
- (5) 受注生産の形態を採っていても、機械加工の生産効率を上げるために標準部品には見込み量を加えてロット生産を行うことが通例である。このために、一時在庫が発生する。この在庫を加工部品の状態で行う場合と、部品組立後の半製品状態で行う場合がある。後者の場合は、管理の点数が少なくなり、専用ラインの数が多い時はこの状態まで完了しておけば工程の節点が明確になり工程管理上の利点がある。一方、在庫の原価が高くなるので工場の在庫調整方法に合わす必要がある。

以上から、湘潭圧縮機廠のスクリュ圧縮機の基本的製造工程の計画を図V-3-1-4スクリュ圧縮機の製造工程フローチャートに纏めた。

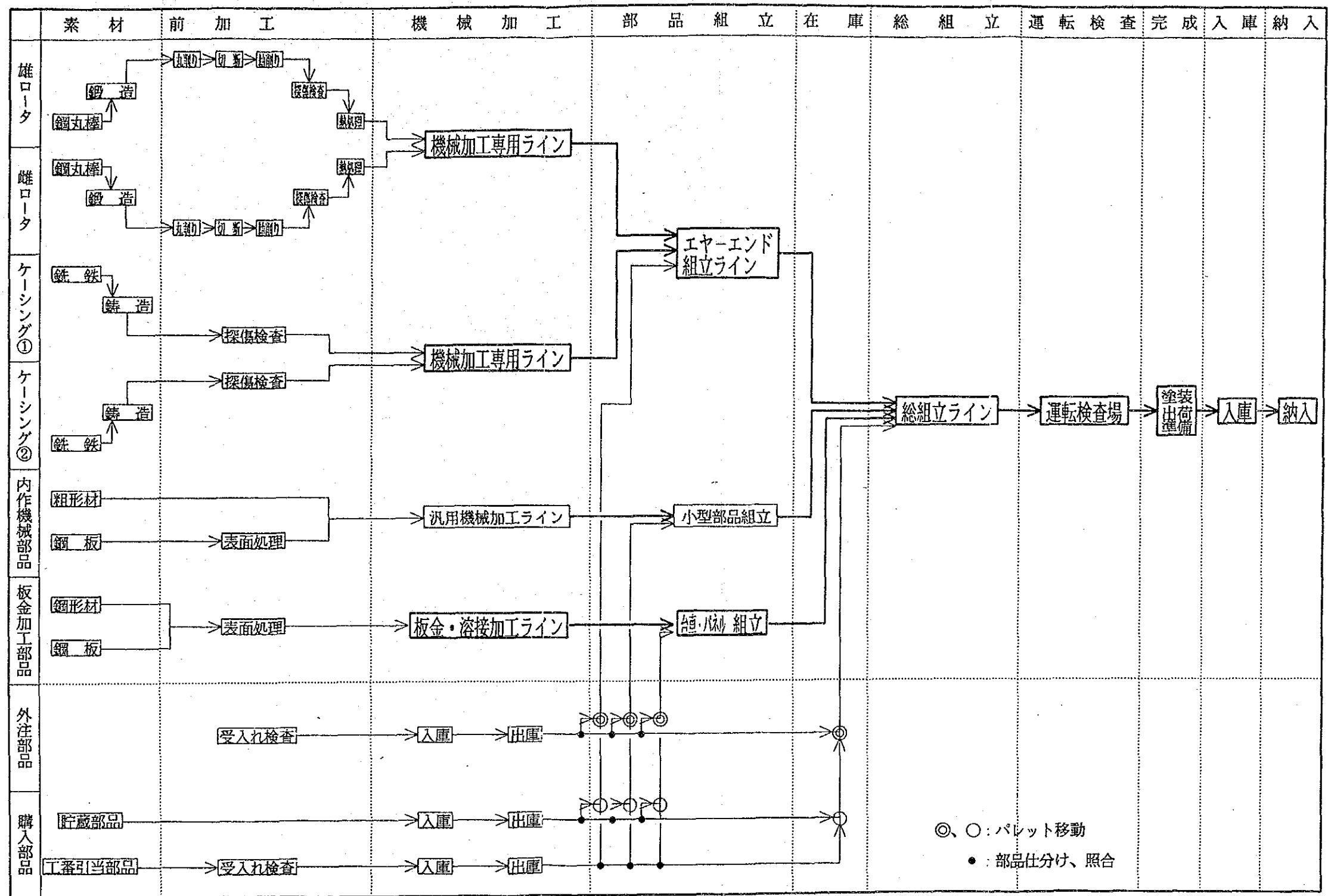


図 3 - 1 - 4

3-1-4 工場配置と設備導入の計画

スクリュ圧縮機の生産工場の新設、改造は現在の建屋と設備を有効に活用することを主眼とし、現存の製造ラインと調整をした。この結果、機械工場の再配分を行い、次の案とした。

(1) 本工場

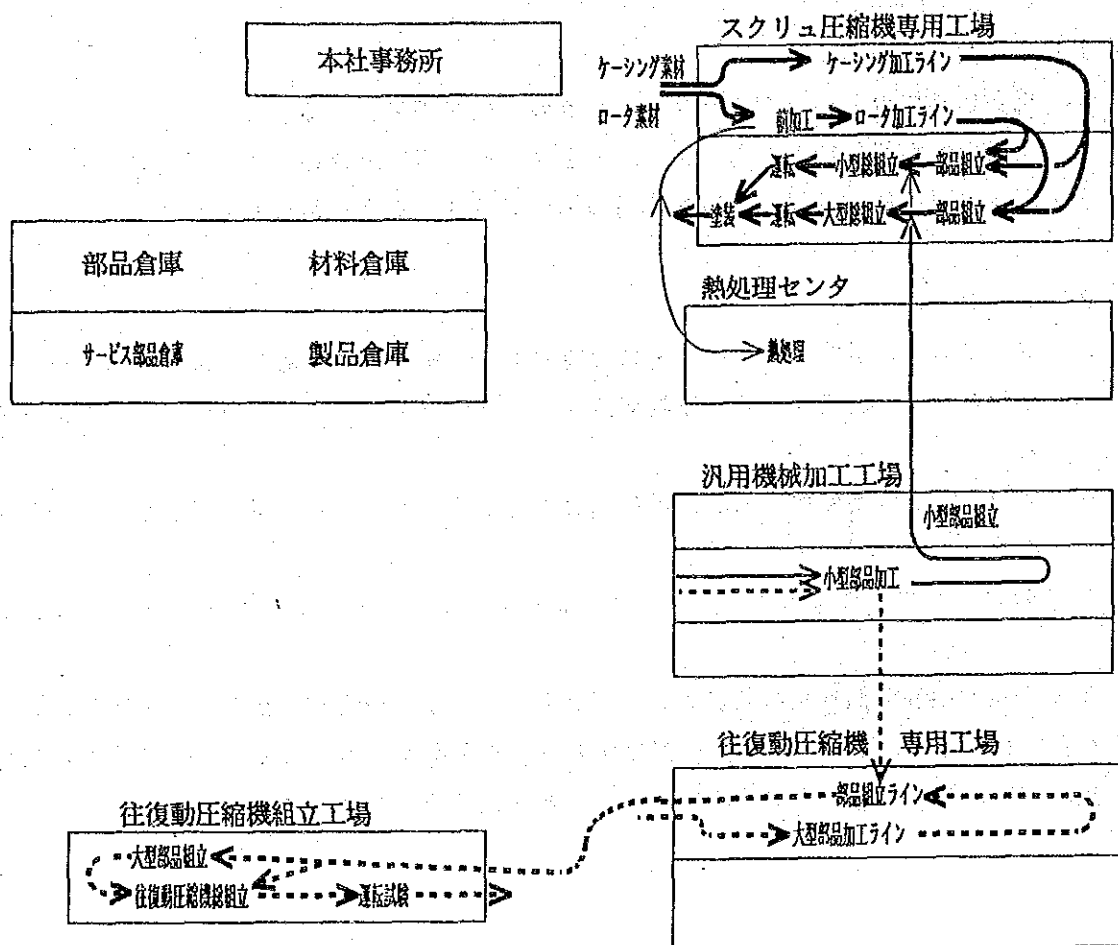
- a 現在建設中の工場棟をスクリュ圧縮機の主生産工場にする。
- b 現在の大型部品加工工場と組立工場をプロセス用圧縮機の主生産工場にする。
- c 現在の中小型部品加工工場を共通の小型部品加工組立工場とする。

(2) 第二分工場

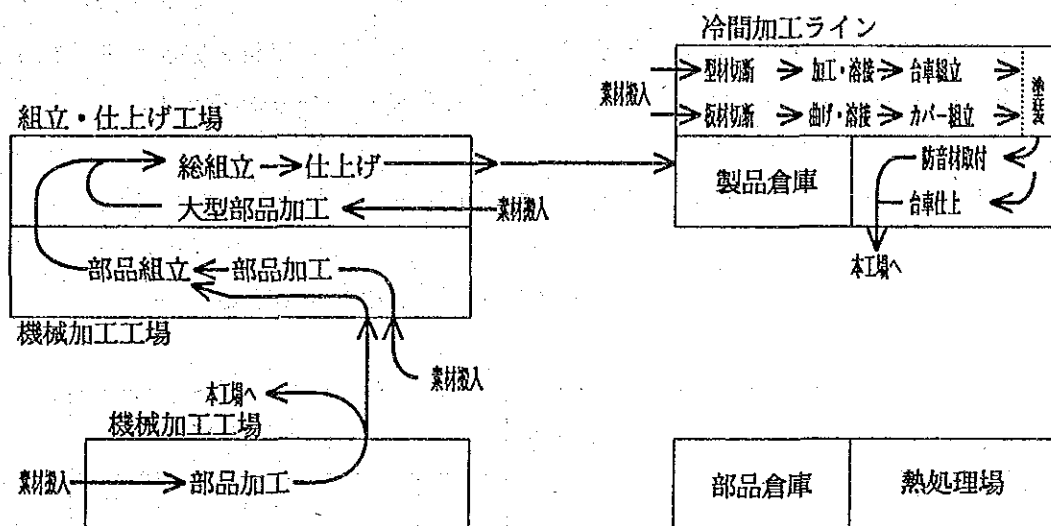
- a 鑄造工場跡の現在未使用の建屋に冷間加工、熔接加工を集約し、スクリュ圧縮機の移動台車と定置式スクリュ圧縮機のカバー（エンクロジャ）の専用ラインを計画する。
- b 第一、第二の機械加工工場は現在の機能別の設備配置とし、組立工程を製品別化する。

以上のコンセプトによる工場の再配置案は図V-3-1-5、図V-3-1-6になる。

加工機械や検査計測機械の新設導入するときは、現状の製造技術から余り飛躍しない技術の安定した操作しやすい機械、機器を優先させるが必要と考え、完全にNC化や自動化された最先端機器ではなく中間段階の実績のある機器を選択することにする。



図V-3-1-5 本工場の工場再配置の検討案



図V-3-1-6 第二分工場の工場再配置の検討案

3-2 スクリュ圧縮機の生産体制

湘潭圧縮機工場は、第8次5カ年計画期間中にプロセス用の往復動圧縮機とスクリュ圧縮機を主体とする圧縮機総合専門工場をめざし、中でもスクリュ圧縮機については1997年度には中圧移動式スクリュ圧縮機150台、定置式小型スクリュ圧縮機300台の生産達成を目標に生産計画を立てている。本章では、この目標達成のためのスクリュ圧縮機の実生産体制を構築する近代化案を検討する。

(1) 主要生産品目

移動式中圧スクリュ圧縮機：LGY20-14/10.5、定置式低圧スクリュ圧縮機：LGFD-3/7-X及びLGFD-6/7の開発を完成させ、従来の往復動圧縮機と並ぶ主力機種として位置づけた生産体制作りを考える。

(2) スクリュ圧縮機の実生産計画

表V-3-2-1に両スクリュ圧縮機の実生産予定台数を示す。

表V-3-2-1 スクリュ圧縮機実生産予定台数

型 式 \ 年 度	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
移動式中圧 スクリュ圧縮機 LGY20-14/10.5	10	20	30	50	70	90	120	150
定置式低圧 スクリュ圧縮機 LGFD-3/7-X	5	25	50	100	150	200	250	300

3-2-1 ケーシングの加工改善・1 (マシニングセンタ導入計画)

スクリュ圧縮機のケーシング加工工程、及び必要な生産設備の検討に当たっては、先に表IV-2-1-6(a)、(b)に示した加工工程表に基づいて各工程に必要な加工能力を算定し、それに対応する機械を考えるという手順で行った。その結果、生産計画を達成させ、かつ要求される品質を十分に満足させ得る加工を行うには、マシニングセンタの導入が必要である。その目的の第一は、同軸度、面間距離等の加工が向上し、人間の操作に比べバラツキの少ない安定した品質を保証するためである。

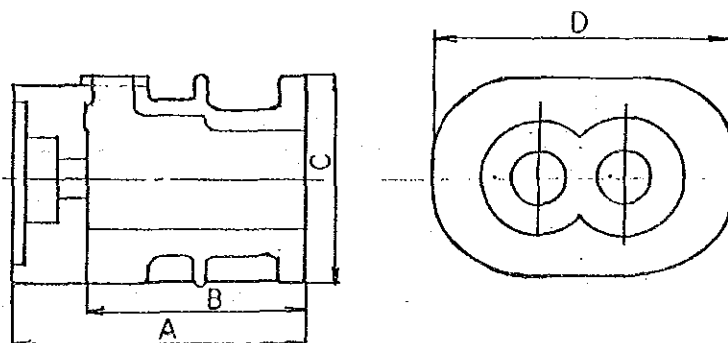
また、マシニングセンタは数値制御による多能工作機械である。単能工作機械と違い、多数のツールを使用して多面加工を行うことが出来るので、1995年以降の大量生産時にも充分対処することが出来る。また同時に、この工作機械を効率的に活用するためには、工作技術上での新しい工夫、補助作業の見直し、或いは加工の流れをシステムとして

とらえていこうとする考え方など、従来の考え方を大きく転換していく必要があり、このことが生産技術全体の向上にとっても大きな効果が期待できる。

(1) ケーシングⅠ、Ⅱ主要寸法

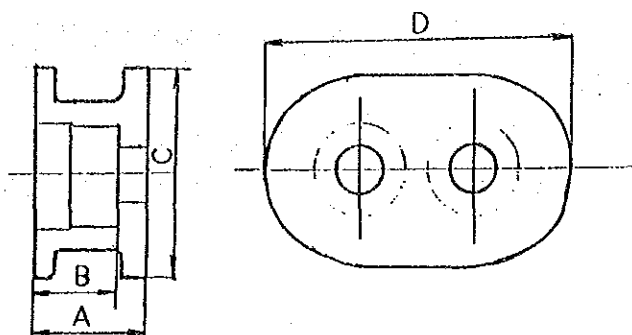
マシニングセンタの加工能力や機能を決定する時、対象加工物の大きさを充分吟味しなければならない。ケーシングⅠ、Ⅱの主要寸法を表Ⅴ－３－２－２（a）、（b）にそれぞれ示す。

表Ⅴ－３－２－２（a） ケーシングⅠ主要寸法



機 種	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	重量 (kg)
移動式中圧スクリュ圧縮機 LGY20-14/10.5	500	300	350	500	90
定置式低圧スクリュ圧縮機 LGFD-3/7-X	250	150	200	280	40

表V-3-2-2 (b) ケーシングII主要寸法



機 種	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	重量 (kg)
移動式中圧スクリュ圧縮機 LGY20-14/10.5	330	270	350	500	45
定置式低圧スクリュ圧縮機 LGFD-3/7-X	80	55	200	280	15

(2) マシニングセンタの概要

近年の金属加工産業におけるマシニングセンタの普及には目を見張らせるものがある。マシニングセンタの機能と構成は益々高度化の度を深め、構造も複雑になっている。しかし、その基本的形式は主軸の方向によって縦型と横型に大別される。いずれにしても多様な加工をこなす複合作業機械であり、無人化されている。加工データの入力方式も最近では対話式入力が広く普及している。

一般に、マシニングセンタの機種選択に当たっては、対象加工物の大きさ、形状、加工箇所、要求精度、加工時間などを考慮して総合的に判断しなければならない。表V-3-2-3にマシニングセンタの大型、中型、小型の一般的区分と、それぞれの主要寸法の一覧表をしめす。

表V-3-2-2 (a)、(b)に示した対象加工物であるケーシングI、IIの大きさと形状から、湘潭圧縮機工場には中型の横型マシニングセンタが最適と考えられる。従って、以後、中型の横型マシニングセンタを導入することを前提として、検討を進めることとする。

表V-3-2-3 マシニングセンタ区分

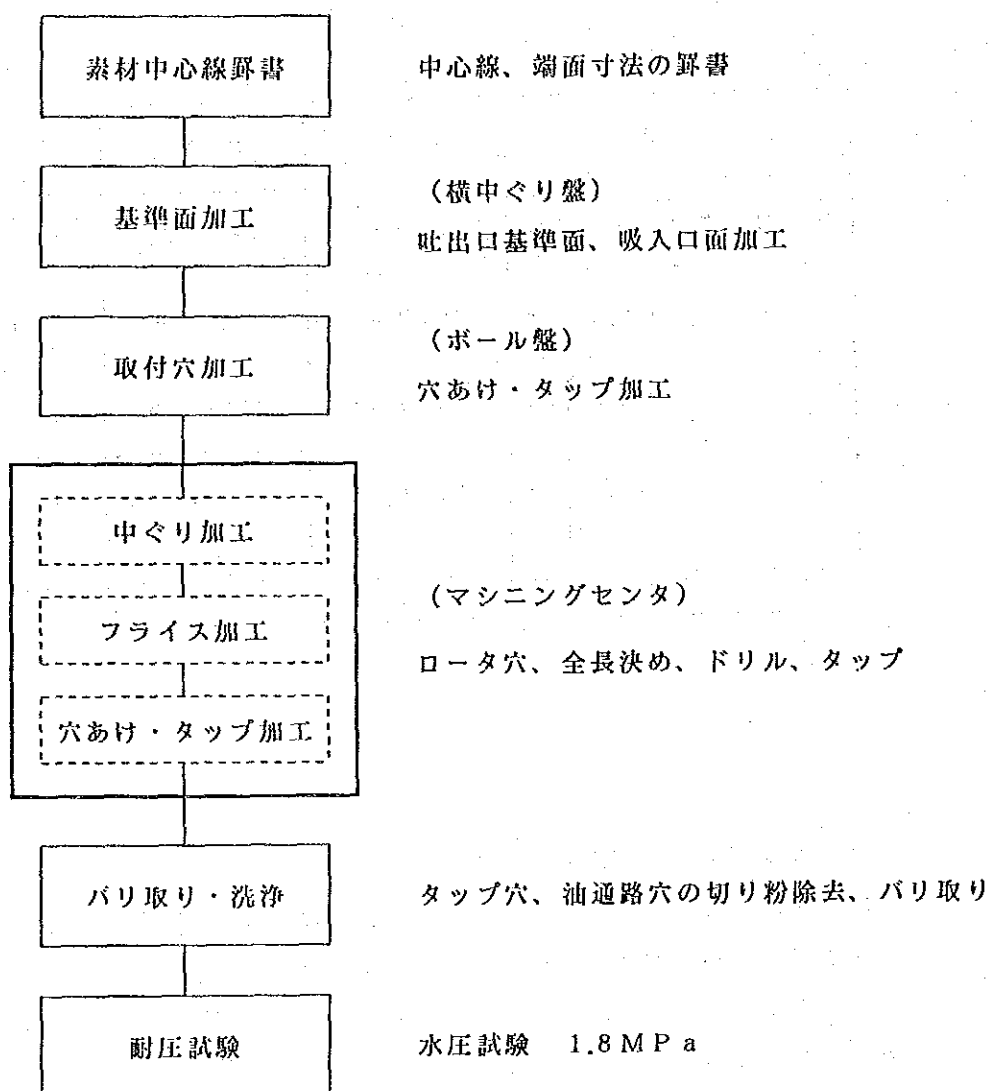
型 式		小 型	中 型	大 型
ストローク (X軸)	mm	550以下	720~850	1300以上
" (Y軸)	mm	400以下	580~700	1000以上
" (Z軸)	mm	500以下	550~750	1000以上
テーブル作業面積	mm	400x400以下	630x630	1000以上
最大積載重量	kg	500以下	800~1000	2000以上

(3) マシニングセンタ使用の加工々程案

加工々程を組み立てる場合、最も短い加工時間の達成を目指す、その方法は使用する機械の種類や加工技術によってさまざまである。

一般的に、マシニングセンタを使用する場合は、加工々程をできるだけ集約した方が能率的である。しかし、対象加工物によっては常に最適であるとは限らない。まずケーシングの全加工々程をマシニングセンタで数工程ずつに分けて加工するケースを想定してみる。この場合、ケーシングの大きさによっては、機械への取り付け治具の形状が複雑となり、位置決めに時間が掛かってしまうケースが出てくる。その結果、マシニングセンタの機能をフルに発揮させることが出来なくなることが予想される。従って、これらの特殊な取り付け治具を必要とするような工程をマシニングセンタの前後で専門機械によって処理するようにすることで、マシニングセンタ上で無駄な段取り時間をなくすることが可能となる。特に、ケーシングIは鋳物素材による楕円形の箱型であるために、形状寸法のばらつきが大きく、加えて6面の加工を必要とすることから、マシニングセンタの前段加工として、吐出口の脚部の基準面を横中ぐり盤で加工するとマシニングセンタ台盤上での安定と規準面のセットが容易となり効果的である。

以上の考え方に基づいて加工工程をフローチャートに表すと以下の通りとなる。



図V-3-2-1 ケーシング I、II 加工々程

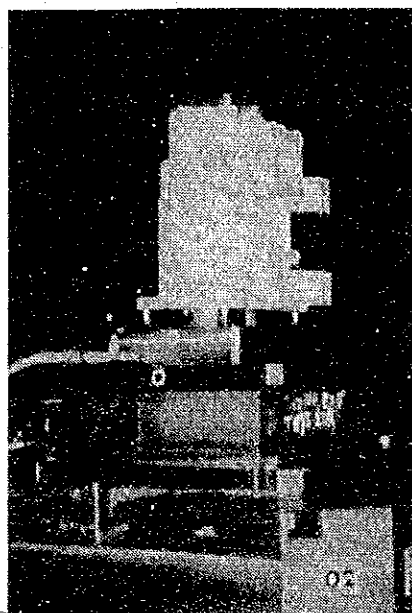
このフローに表された各工程の詳細は以下の通りである。

a) 素材中心線罫書

この工程は、すでにIV編2-1-4でも指摘した通り、本来加工工程の一部として行うべきものではない。しかし、ここではマシニングセンタの導入を中心に検討を進めているので、現状の鋳物素材の鋳肌状態をそのまま想定して考える。

b) 基準面加工

横中ぐり盤 (TX 6 1 1) により、吸入フランジ部の面加工及び基準面となる吐出口部の面加工を行う。切削工具はスローアウェイ方式の平面フライスカッタを使用するのが望ましい。日本の製造工場における脚部の加工の様子を図V-3-2-2に示す。



図V-3-2-2 脚部の加工状況

c) 取付穴加工

ラジアルボール盤 (Z 3 0 8 0) により、穴あけ治具を用いて8箇所穴あけ・タップ加工及び吸入フランジ面ドリルタップ加工を行う。

d) マシニング加工

マシニングセンタ加工では、中ぐり、フライス加工、穴加工の3工程を1つの工程だけで完了させる。

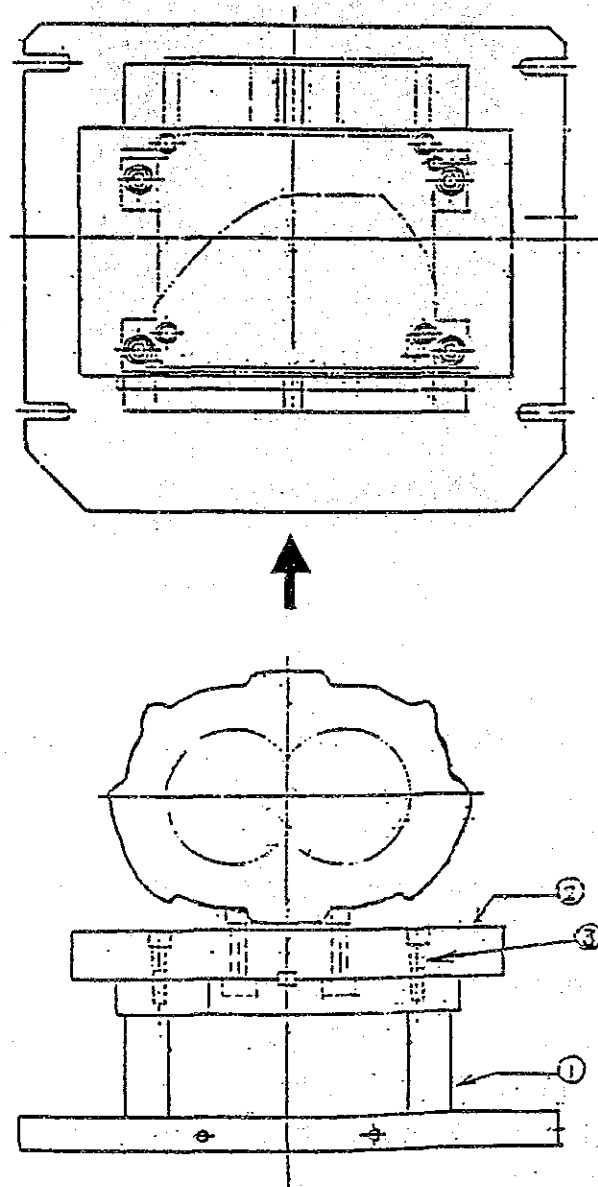
対象加工物であるケーシングI、IIのマシニングセンタの加工テーブルへの取付には専用の治具が必要である。図V-3-2-3にはケーシングI用の、図V-3-2-4にはケーシングII用の治具の案をそれぞれ示す。いずれの治具も脚部を基準として取り付ける。脚部の締め付けボルト穴6個のうち、2箇所は位置決め基準としてリーマボルトでの位置決め、他の4箇所のボルト穴は標準ボルトによる固定にそれぞれ使用される。この治具の採用で、テーブル反転精度 $\pm 0.002\text{ mm}$ が得られ、各軸穴同芯度の要求公差も確保することが可能となる。

e) バリ取り・洗浄

この工程では加工面のバリ取り及び鑄肌面の異物の除去、給油穴内部の衛生を特に念入りに行う。

f) 耐圧試験

耐圧試験は、ケーシング内部に防錆油を塗り、圧力1.8MPaの下で行う。保持時間は30分。試験終了後は洗浄器によって内部の異物を除去の為の洗浄を行う。更にその後、防錆油を塗布して保管中の錆の発生を防止する。

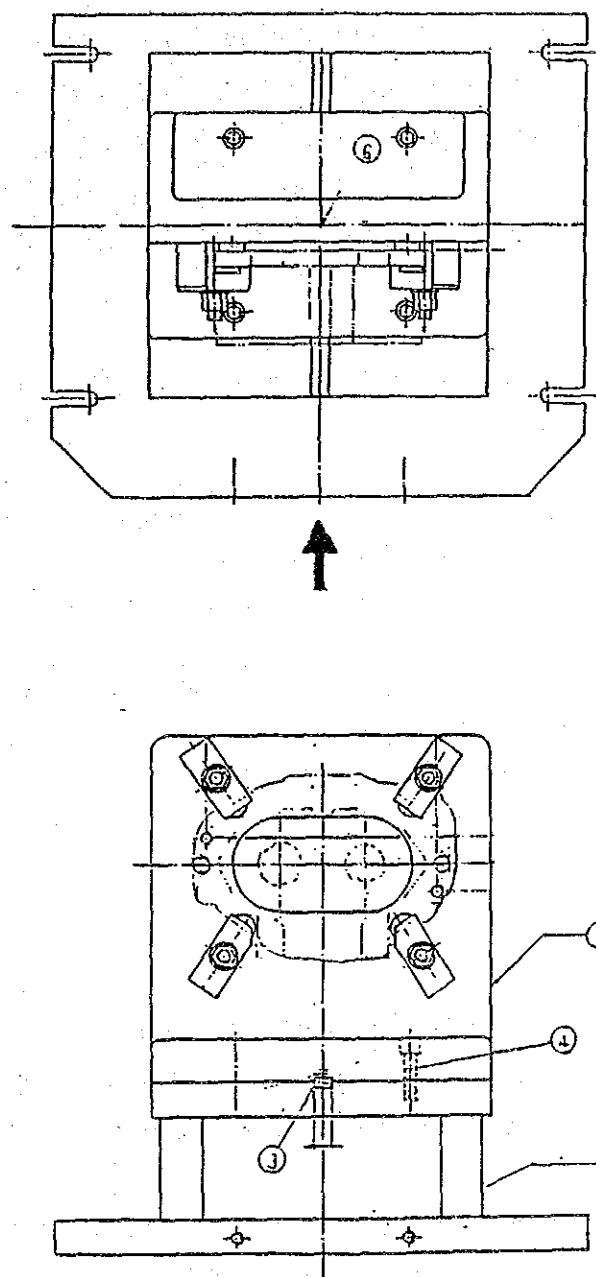


①：台板

②：ケーシング取付板

③：締付ボルト

図V-3-2-3 ケーシングI用加工取付治具



①：台板 ②：ケーシング取付具 ③：キー ④：締付ボルト

図V-3-2-4 ケーシングⅡ用加工取付治具

(4) マシニングセンタ設置台数

近代化計画の目標にそって、生産量を段階的に増加させて行くために、年度別生産計画に基づいてマシニングセンタの必要台数の算定を行う。

1) マシニングセンタ加工時間（加工部品あたり）

図V-3-2-1に示した加工々程の内、マシニングセンタでの加工時間の見積を行う。加工時間は加工正味時間、機械への取り付け、取り外し時間、測定時間の合計（サイクルタイム：cycle time）として算出した。見積に当たっては、日本の工場での実績値を参考にした。結果を表V-3-2-5に示す。

表V-3-2-4 マシニングセンタ加工時間見積

機 種	部 品	加工時間見積（時間）
移動式中圧スクリュ圧縮機 LGY20-14/10.5	ケーシングⅠ	6.30
	ケーシングⅡ	3.30
定置式低圧スクリュ圧縮機 LGFD-3/7-X	ケーシングⅠ	3.10
	ケーシングⅡ	2.00

2) マシニングセンタ必要稼働時間（月間合計の推移）

表V-3-2-4に示された一加工部品あたりの加工時間、及び表V-3-2-1に示された年度別の生産計画から、年度毎のマシニングセンタの必要稼働時間を算出する。

ここでは、実際にそった検討をするために、マシニングセンタの導入を1992年と想定し、以後の5年間に対し計算を行った。結果は次ページ、表V-3-2-5に示す。

表V-3-2-5 マシニングセンタ年度別必要稼働時間

(月あたり)

年 度	初年度 1993年		2 年度 1994年		3 年度 1995年		4 年度 1996年		5 年度 1997年	
機 種	製作 台数	加工 時 間	製作 台数	加工 時 間	製作 台数	加工 時 間	製作 台数	加工 時 間	製作 台数	加工 時 間
LGY20-14/10.5	4.2		5.8		7.5		10.0		12.5	
ケーシングⅠ		26.46		36.54		47.25		63.00		78.75
ケーシングⅡ		13.86		19.14		24.75		33.00		41.25
LGFD-3/7-X	8.3		12.5		16.7		20.8		25.0	
ケーシングⅠ		25.73		38.75		51.77		64.48		77.50
ケーシングⅡ		16.60		25.00		33.40		41.60		50.00
合 計	12.5	82.56	18.3	119.43	24.2	157.17	30.8	202.08	37.5	247.50

3) マシニングセンタ稼働率

どんな工場でも、新しい機械を導入し、その立ち上がりから100%の稼働を達成するのは難しく、その導入初期には余裕係数をいれて導入台数を算出しなければならない。

一般に稼働率を左右する要因には、導入工場の持つ技術程度、作業標準化の程度、作業者の技能レベル、製造管理の効率がある。加えて、マシニングセンタの場合には、その制御が最新のコンピュータによって行われている高性能機のために、操作の習熟度、プログラムの作成能力、デバugging (debugging: 開発途中のプログラムに存在する欠陥を取り除いて正常な作動をさせるための作業) の巧拙、ツーリング (tooling: 切削工具の自動交換作業) の整備状態などが稼働率を左右する重大な要因になってくる。特に、湘潭圧縮機工場の場合にはマシニングセンタの導入は初めてであるということから、プログラミングを中心としたソフトウェア面での習熟をどのように達成して行くかが大きな鍵を握っていると思われるし、またこの点に教育の目標、将来の技術向上の目標を置いて取り組んでいく必要がある。

以上の諸点を考慮しつつ、日本での初期導入時の実績から推定して、湘潭圧縮機工場として目標とする稼働率は、導入初年度で50%、2年度では60%、3年度で70%、4年度で80%、5年度では85%と見るのが適当であると考えられる。

以下の諸条件に従って年度別の稼働時間を計算したものを表V-3-2-6に示す。

[稼働時間算出条件]

* 稼働日数 26日/月

* 稼働対象時間 8時間/日

* 毎月稼働時間 $26 \times 8 = 208$ 時間/月

(稼働時間とはマシニングセンタが単純に稼働可能な時間であり人的余裕などは含まない)

表V-3-2-6 マシニングセンタ年度別有効稼働時間見込

(月当たり)

年 度	初年度 1993年	2年度 1994年	3年度 1995年	4年度 1996年	5年度 1997年
推定稼働率(%)	50	60	70	80	85
有効稼働時間(時間)	104.00	125.00	146.00	166.00	177.00

4) マシニングセンタ負荷率

マシニングセンタの必要導入台数は表V-3-2-5及び表V-3-2-6の結果から、1台あるいは2台を導入した場合を想定して、機械の負荷率を計算することにより決定する必要がある。。

表V-3-2-7 マシニングセンタ導入台数と負荷率

(%)

年 度 導入台数	初年度 1993年	2年度 1994年	3年度 1995年	4年度 1996年	5年度 1997年
1 台	79.4	95.5	107.7	121.7	139.8
2 台	—	—	53.9	60.9	69.9

5) マシニングセンタ導入台数計画

表V-3-2-7に示すように、導入初年度（1993年度）からの2年間は、マシニングセンタを1台導入するだけで、機械負荷率はそれぞれ79.4%及び95.5%と、いずれも十分に生産計画を消化できるということがわかる。

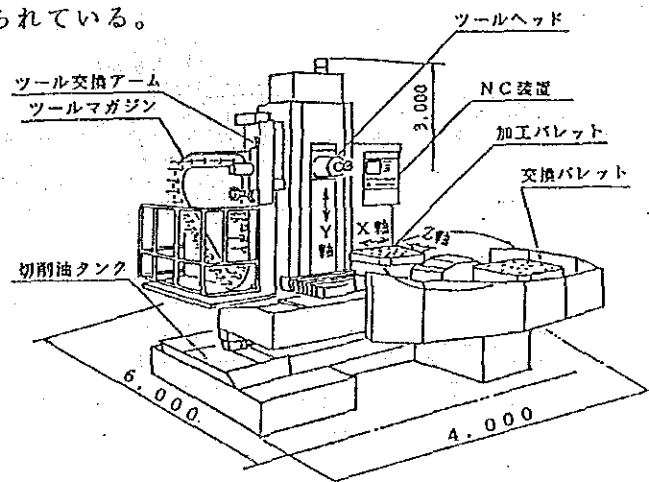
3年度（1995年度）では、機械1台だけでは負荷率は107.7%となり、もう1台必要になるということがわかる。しかし、4年度（1996年度）までは、2台では稼働率が充分とは言えない。そこで、1日の稼働時間を3年度8.6時間、4年度9.7時間に上げて対応するか、1台の有効稼働時間を上昇させるような工夫が必要と考える。1997年には2台目の稼働開始を計画する。1997年以降も、なお2台のマシニングセンタにとっては充分でない生産量となろうが、これは将来往復動圧縮機等、他の機種の加工をも取り込むことで対応していくことで解決できる。すなわち、

1. 1993年～1996年・・・・・・・・・・1台
2. 1997年以降・・・・・・・・・・2台

以上は、あくまでも生産計画と推定稼働率をもとにして試算したものであり、実際の導入に当たっては、湘潭圧縮機工場の将来の経営方針とも併せて、最終的な導入計画を立てる必要がある。

(5) マシニングセンタの概略構造

中型の横型マシニングセンタの概略図を図V-3-2-5に示す。マシニングセンタの大きな特徴の一つに、工作物の取付、取り外し時間の減少を目的としている点にある。従って、自動パレット交換装置（APC）や、工具自動交換装置（ATC）が備えられている。

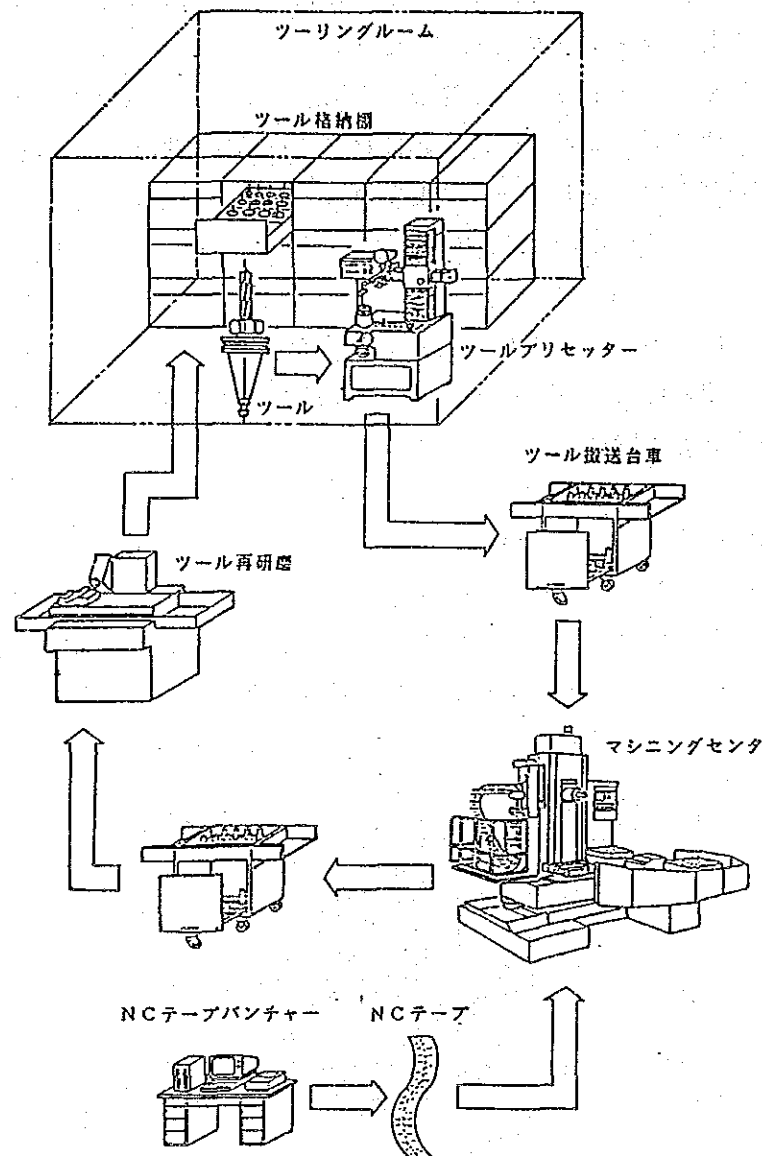


図V-3-2-5 中型・横型マシニングセンタ概略図

出典：メーカーカタログ

(6) マシニングセンタの周辺機器と施設

マシニングセンタは、治工具をはじめとする周辺機器、周辺装置と有機的に結合されて初めて、その有効性を充分発揮するようになる。周辺機器、周辺装置との最も重要な組み合わせはツーリングシステム (tooling system) である。適正なツーリングシステムの構築によって、マシニングセンタにとって一番大切な工具の効率的な管理、活用が可能になる。図V-3-2-6に、湘潭圧縮機工場に最も推奨できる、ツーリングシステムを含む周辺機器・装置類との組み合わせを示す。



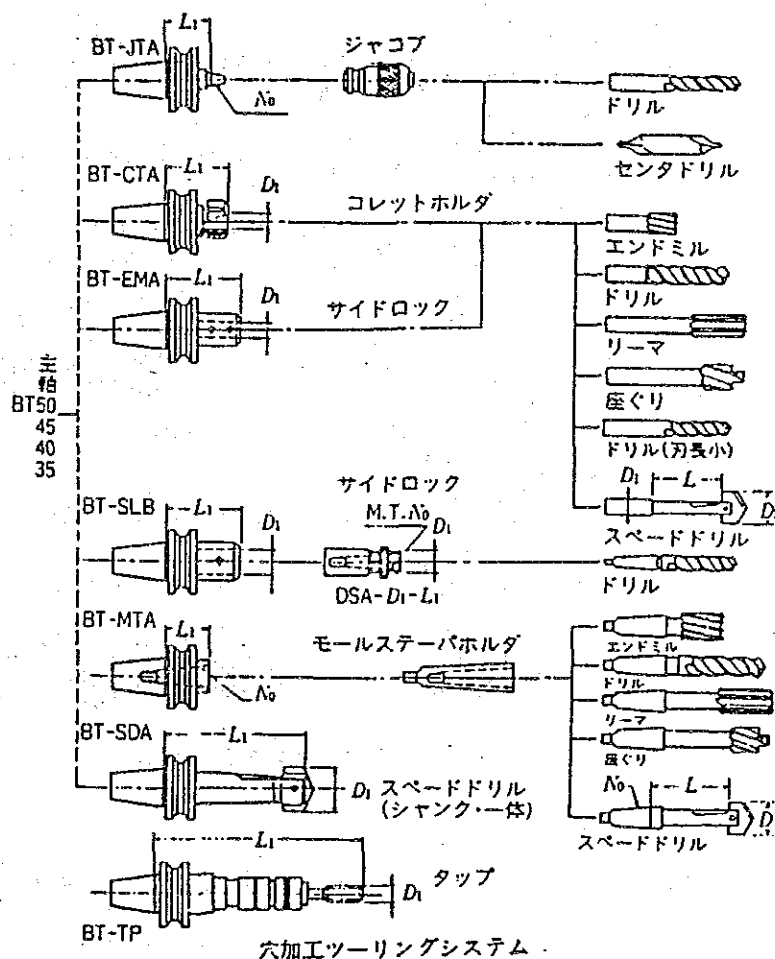
図V-3-2-6 マシニングセンタ周辺機器構成

出典：メーカカタログ

1) ツーリング

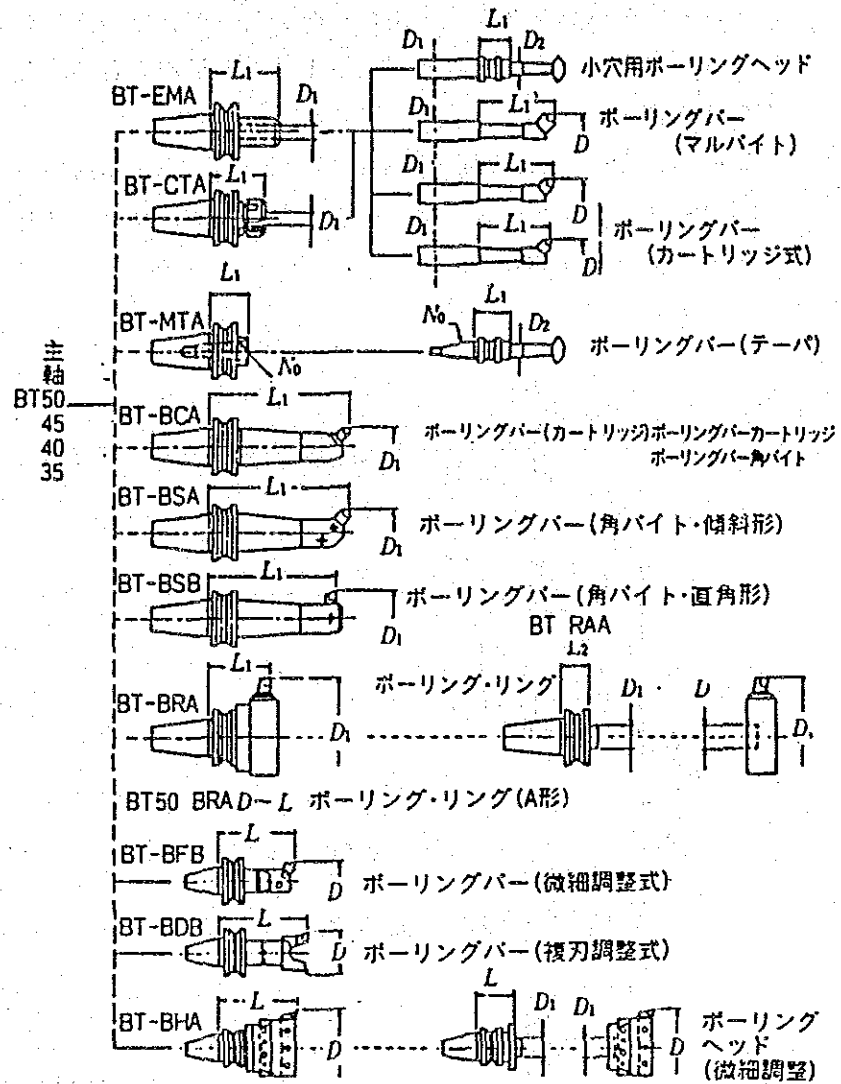
マシニングセンタでのツーリングで扱う工具は、ケーシングの穴を加工するための専用工具（ボーリングバー）と、その他の部分を加工する汎用工具に分けられる。ケーシング穴加工用の専門工具は機種毎の穴径に合わせて準備しなければならない。また、専門、汎用工具とも予備を含めて数セット用意しておく必要がある。

図V-3-2-7に穴加工用ツーリングシステム、図V-3-2-8中ぐり加工用ツーリングシステム、図V-3-2-9にはフライス加工用ツーリングシステムの例をそれぞれ示す。



図V-3-2-7 穴加工用ツーリングシステム

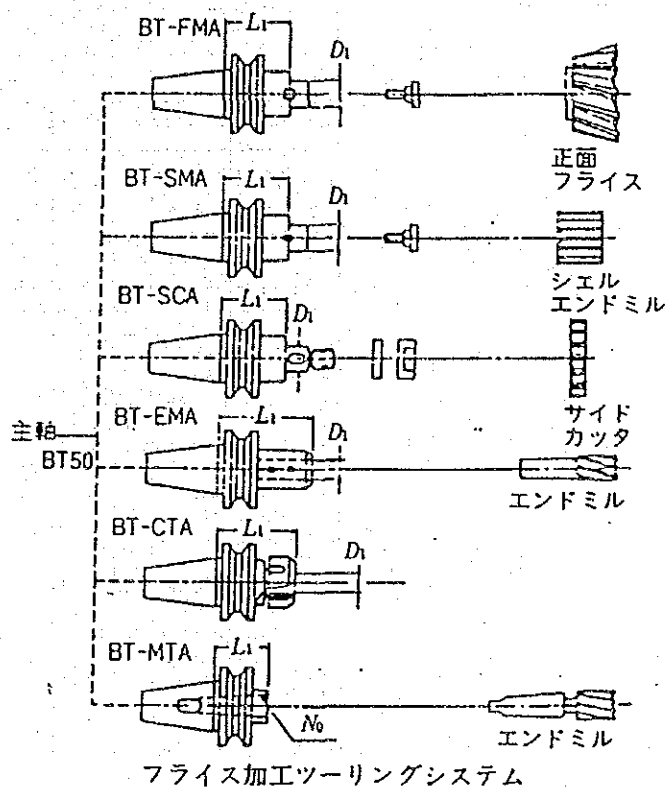
出典：メーカカタログ



中ぐり加工ツーリングシステム

図 V - 3 - 2 - 8 中ぐり加工用ツーリングシステム

出典：メーカーカタログ



図V-3-2-9 フライス加工用ツーリングシステム

出典：メーカーカタログ

2) ツールプリセッタ (tool presetter)

使用される工具は、ツーリングシート (図V-3-2-10) 上に、それぞれのセット長さや径寸法と共に一覧表として記入される。

ツーリングシートに基づいて、ツールプリセッタ (図V-3-2-11) に必要な工具がセットされる。

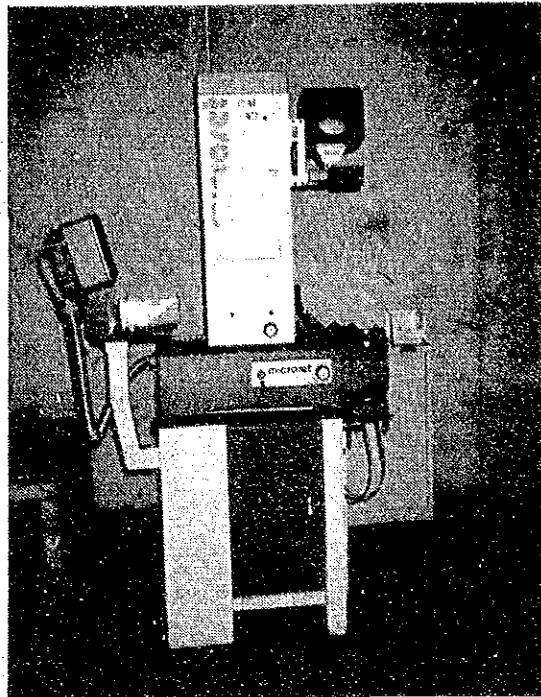


図 V-3-2-11 ツールプリセッタ

3) ツール格納箱

図V-3-2-12にツール格納棚を示す。ほこりや異物が付着しないよう特に注意を払うことが必要であり、一般の工具と同一視するのではなく、むしろマシニングセンタの一部としての管理状態を維持することが大切である。

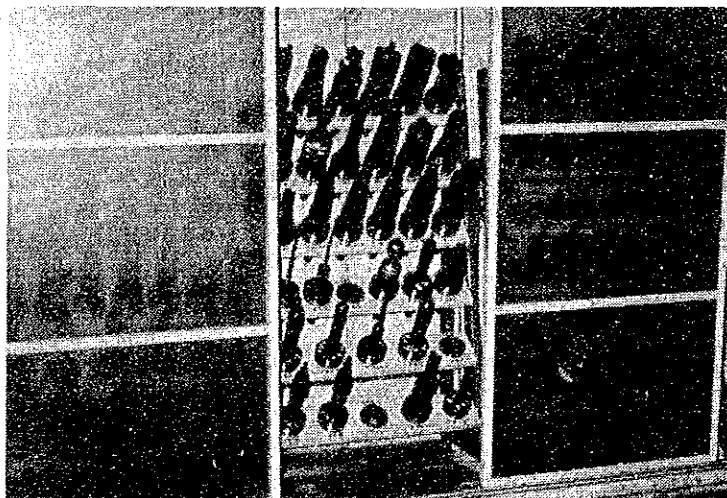


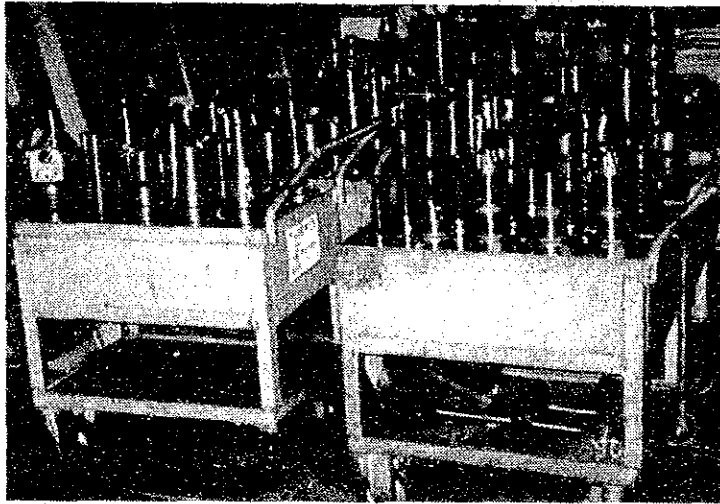
図 V-3-2-12 ツール格納棚

4) ツーリングルーム

マシニングセンタにおいて工具の取扱いは、環境上の条件を厳しく要求される。特に、ツールプリセッタは精密機器に属すると言ってもよく、油、ほこり、切粉による汚れは禁物である。従って、工場内に特別な部屋（ツーリングルーム）を作り、ツーリングに関する機器一式はその部屋の中に保管する必要がある。

5) ツール搬送台車

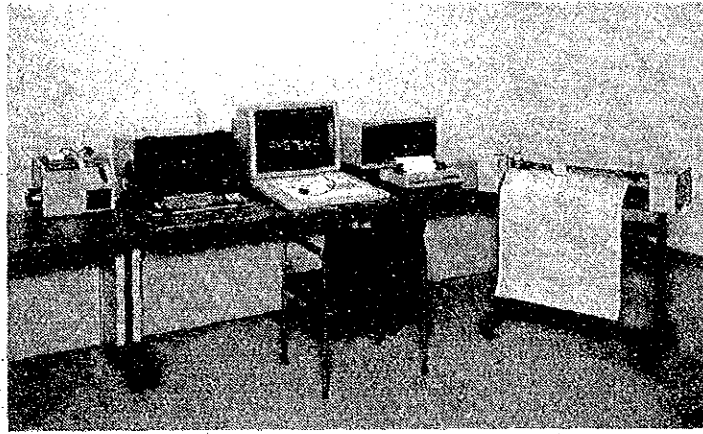
ツールプリセッタにセットされた工具の、ツーリングルームからマシニングセンタまでの運搬には、特別な搬送台車の使用が望ましい。図V-3-2-13にツール搬送台車の一例を示す。



図V-3-2-13 ツール搬送台車

6) NCテープパンチャ (tape puncher)

図V-3-2-14に、NCテープパンチャを示す。最近のマシニングセンタは、機械に直接NC加工データをキーイン (key in) することができる機能を有してはいるものの、NCテープは膨大なNC加工データを機械に伝える媒体としては主要なものであり、機械への直接のキーインは部分的な修正などに限られている。



図V-3-2-14 NCテープパンチャ

3-2-2 ケーシングの加工改善・II

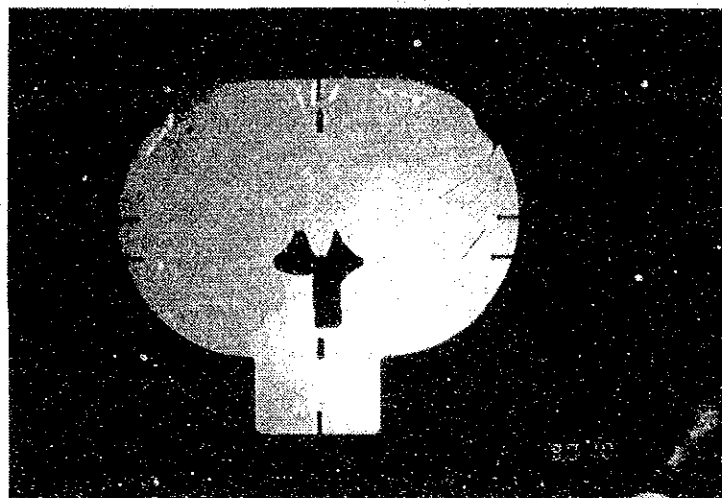
スクリュ圧縮機ケーシングの加工上の問題点と対策は、既にIV編3-1-2で述べたが、ここで再度、マシニングセンタでの加工を前提として、具体的な改善策を検討する。なお、改善の目的は、生産計画を達成するための加工時間の短縮、段取り時間の減少、加工精度の向上であることに変わりはない。

(1) ケーシングI、II個別単体加工

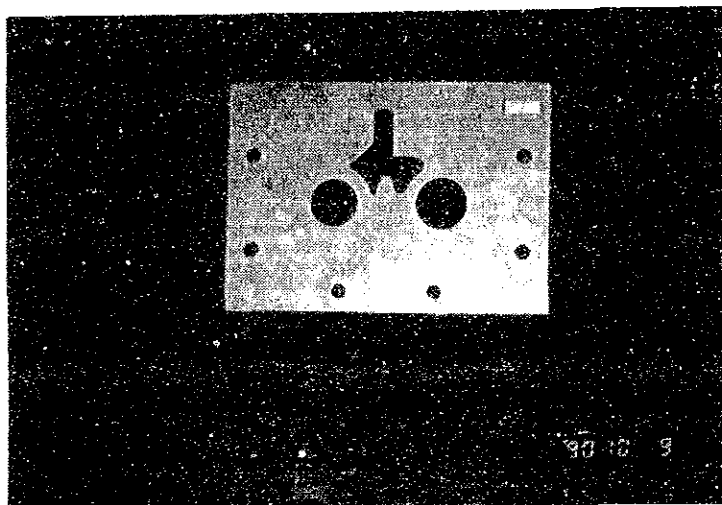
ケーシングI、IIはそれぞれ個別に単体でマシニングセンタ加工を行う。ケーシングIとIIのユニット組時の精度は、おすロータ穴を基準とした左右のノックピン位置の精度の向上によって確保するものとする。

(2) 空気吐出口位置の精度向上

スクリュ圧縮機の性能はケーシングIIの吐出口の位置精度に大きく左右される。そのため、各ロータ穴を基準として空気吐出口の位置を正確に決定する目的で、テンプレートを使用する。テンプレートは空気吐出口位置の野書用と、最終加工時の位置確認・修正用と2種類用意する。(図V-3-2-15) テンプレートの材質としては透明プラスチック板を利用する。



野書用



最終加工用

図V-3-2-15 テンプレート

(3) 横中ぐり盤の加工精度向上

横中ぐり盤 (TX118) は、X、Y 軸にマグネスケールを取り付け、位置読み取りをデジタル表示 (単位ミクロン: μ) して操作されている。しかし Z 軸には、この装置がないため端面よりの深さの段寸法精度は、機械移動量のハンドル目盛りにより決められる。この方法だと 20μ の要求精度の寸法管理は困難である。従って、Z 軸方向にマグネスケールを取り付け、Z 軸の移動量をデジタル位置読み取り方式とすることにより横中ぐり盤の機械精度向上を図ることが必要である。

(4) クイックチェンジホルダ (quick change holder)、及びスローアウェイチップ (throw-away tip) の採用

切削工具の刃先再研磨は、それぞれの機械の作業者自身によって行われており、刃の研磨誤差も大きい。従って、バイトの再取り付け時にはシム (shim) による調整作業が避けられず、芯出しに多くの時間が費やされている。

このため、クイックチェンジホルダ (ホルダと一体で刃先を管理する) を使用する必要がある。更に、マシニングセンタには、スローアウェイチップ (図 V-3-2-16) を採用して、機械の効率を最大限に発揮させるようにしなければならない。

また一方では、NC 機械に使用するバイトの種類数を少なくしていく努力も必要である。

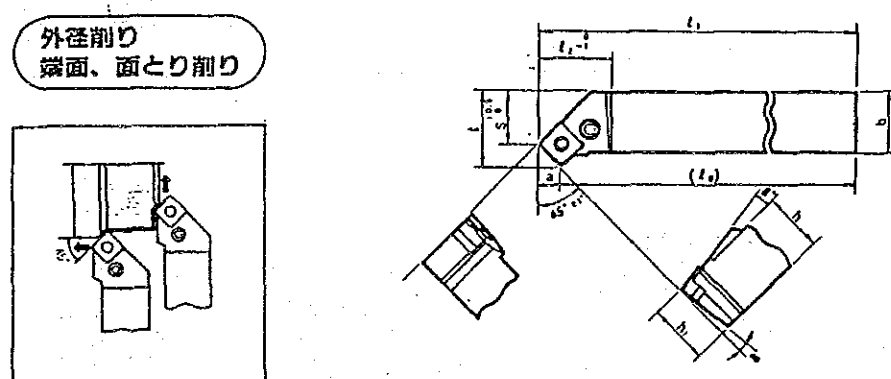
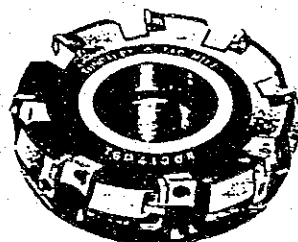


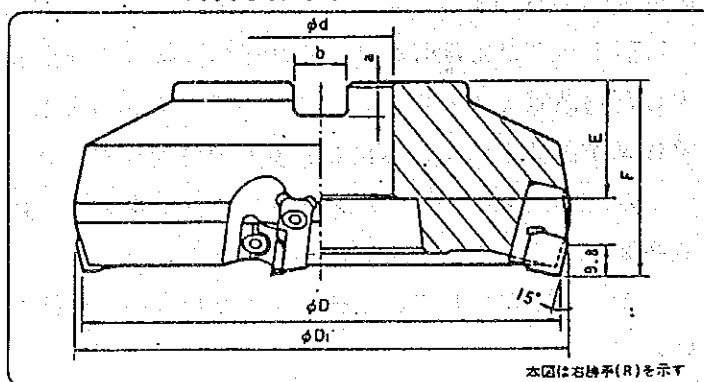
図 V-3-2-16 スローアウェイチップバイト

(5) 平面フライスカッタのスローアウェイ化

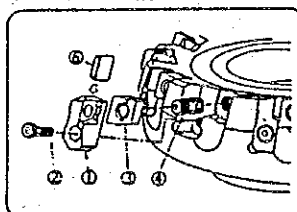
現在、横中ぐり盤を使用した面削りには切削性の悪い超硬ロー付バイトが使用されているが、これはスローアウェイ方式の平面フライスカッタに切り替えるべきである。今後、工場全体でスローアウェイ方式の持つ利点を十分研究して幅広く採用の範囲を広げていく努力が必要である。図V-3-2-17に、スローアウェイカッタの切削条件を示す。



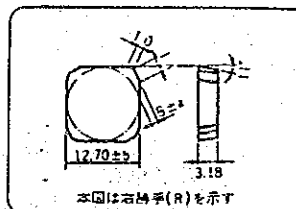
鋼材、鋳鉄の一般切削



TGP4100の構造



使用チップ



標準切削条件

被 削 材	切 削 速 度 (m/min)	送 り (mm/刃)	推 奨 チップ材種
軟 鋼	120~150	0.1~0.3	N308
炭 素 鋼	100~130	0.1~0.3	N308、UX30
合 金 鋼	80~120	0.1~0.25	N308、UX30
ス テ ン レ ス 鋼	110~120	0.15~0.2	N308
鋳 鉄	90~110	0.1~0.3	TH10 T370

図V-3-2-17 スローアウェイカッタの切削条件

出典：メーカカタログ

3-2-3 スクリュロータの加工工程改善（歯切専用機導入）

品質の安定、騒音レベルの低下など、スクリュ圧縮機の市場からの要求は益々厳しくなっていく中、今後湘潭圧縮機工場が競争力を保持していくためには、高精度、高能率のロータ歯切加工機を設置してロータ加工の高精度化と高生産性を達成する必要がある。

（1） スクリュロータ歯型加工専用機械

現在、湘潭圧縮機工場で使用されているロータフライス盤について、現在日本のスクリュ圧縮機の製造で使用されているロータフライス盤の標準的なデータと加工精度、加工能力の範囲、加工能率の3点を比較して評価した結果は次のようになった。

1) 加工精度の比較

表V-3-2-8に加工精度の比較を示す。

表 V-3-2-8 加工精度比較

項 目	湘潭圧縮機工場	標準データ
歯型精度 (μ)	計測データ無し	10~15
割出精度 (μ)	30~45	10~15
リード精度 (μ)	計測データ無し	15~20
表面粗さ (Ra)	2.5~3.2	0.8~1.0
検査合格率 (%)	全品歯形部手直し修正	100%

- 歯形精度はデータがないが、歯合わせ検査の結果から誤差は25~30 μ と推定される。
- 割出し位置の誤差最大値は45 μ である。
- 計測設備がなく、リード精度の実測データがない。おす、めすロータ歯合わせ時点でロータがスムーズに回転せず、赤色塗料をロータ歯面に塗り手仕上げ加工を行っていることから、リード誤差は30~40 μ 程度であると推定できる。

2) 加工能力範囲

非対称歯形のロータの歯切り加工は、非対称歯形の切削刃の加工ができれば現在のフライス盤で切削加工は可能である。しかし、現在のロータフライス盤は歯形条数がおす4条、めす6条の割り出し機能しか無く、しかも手動割り出しである。3条や5条の歯形のロータ加工の場合は割り出し装置を大幅に改造しなければならない、加工専用ラインに組み入れて、移動式中圧スクリュ圧縮機と定置式低圧スクリュ圧縮機のロータのロット生産を相互に流すにはその都度大がかりな段取り替えや芯出し作業が必要と考えられ、生産性を阻害する懸念がある。

3) 加工能率の比較

表 V-3-2-9 加工能率比較 (200mm径のロータ)

	湘潭圧縮機工場				標準データ			
	おすロータ		めすロータ		おすロータ		めすロータ	
	荒加工	仕上加工	荒加工	仕上加工	荒加工	仕上加工	荒加工	仕上加工
切削カッタ 回転数 (RPM)	50	32	50	32	90	90	90	90
送り (mm/M)	10	5	10	5	60	28	55	47
荒削 (回数)	4		4					
中仕上げ (回数)		3		3	1		1	
仕上げ (回数)		5		5		1		1
正味 加工時間 (時間)	85		115		4.0		4.6	

表V-3-2-9から明らかなように段取り時間を除くネットの加工時間で2.3倍の消費時間となっている。2)の段取り替えに要する時間をいれるとこの差は拡大する。

以上を総合的にみれば、現在のロータフライス盤を新鋭機に置き換えることが不可欠であることが判定される。

(2) ロータ加工機の種類

V編の2-3(3)の中で加工機械の進歩の状況について触れたが、湘潭圧縮機工場に導入するロータ加工機は現在の製造技術と大きく隔たらないロータフライス盤を導入し、これまでの経験がすぐに役立ち、生産を軌道に乗せるために完全自動化された機械より、半自動化されたものを選択することが得策と考える。そして、この機械に対応できるカッタ研削盤、検査機を完備することが望ましい。

湘潭圧縮機工場のスクリュ圧縮機の生産計画からみて、次の要目のロータフライス盤が最適の機種と考えられる。

最大加工直径	250 mm
最大行程	800 mm
リード範囲	60～750 mm
カッタ回転数	40～240 rpm

図V-3-2-18に上記要目のロータフライス盤の外形図を示す。

(3) ロータ歯切専用フライス盤加工時間

近代化計画目標の生産量を年度別生産計画に基づいてロータ歯切専用フライス盤の稼働時間と必要台数の算定を行う。(方式はケーシングに同様とする)

1) 専用フライス盤加工時間

図V-3-2-18に示した専用フライス盤での加工時間の見積を行う。加工時間は、正味加工時間、段取り時間、測定時間の合計として算出した。その結果を表V-3-2-10に示す。

表V-3-2-10 スクリュロータ歯切加工時間見積

機種	部品	加工時間見積(時間)
移動式中圧スクリュ圧縮機 LGY 20-14/10.5	おすロータ	4.7
	めすロータ	5.2
定置式低圧スクリュ圧縮機 LGFD-3/7-X	おすロータ	3.7
	めすロータ	4.6

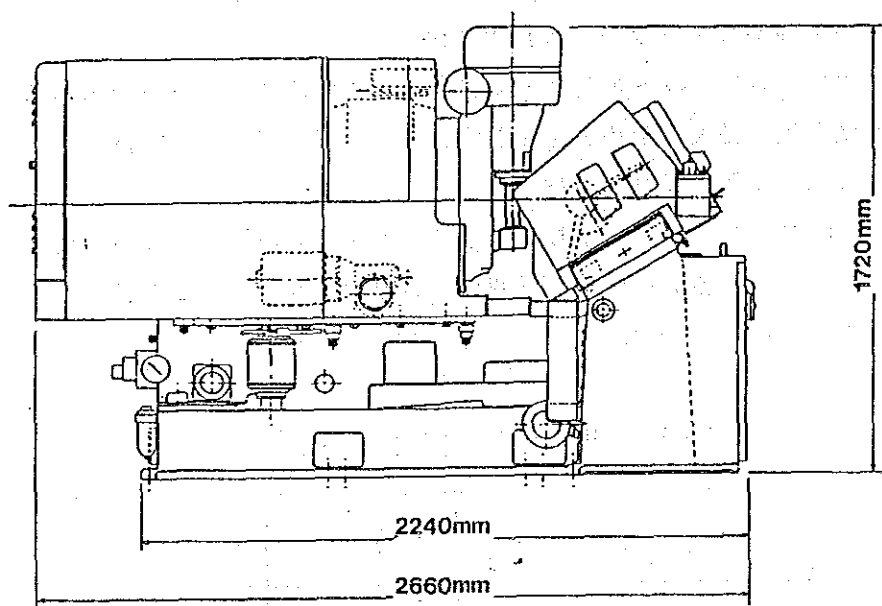
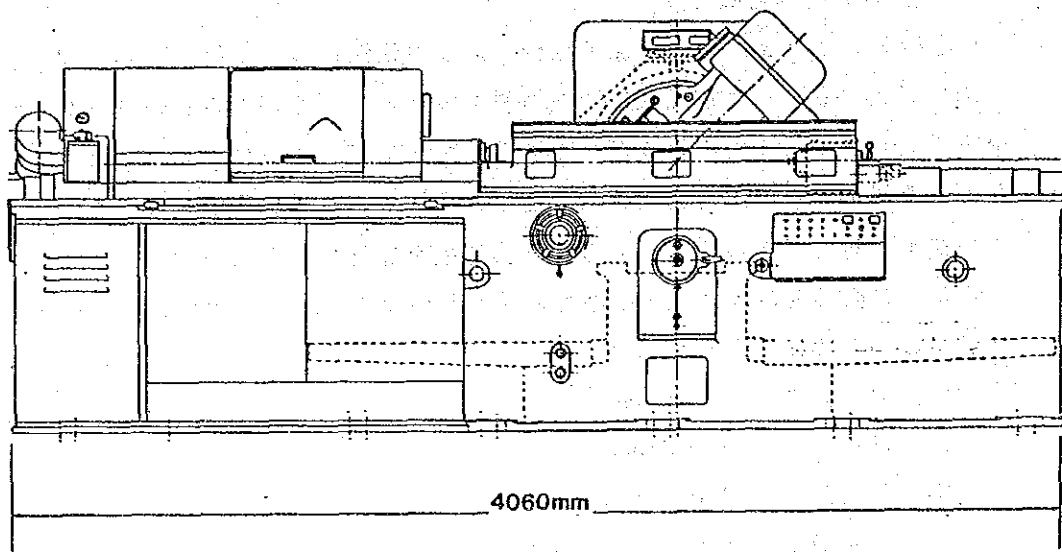


図 V - 3 - 2 - 1 8 ロータフライス盤

2) 専用フライス盤必要稼働時間（月間合計の推移）

表V-3-2-10に示された一加工部品当たりの加工時間を年度別の生産計画から専用フライス盤の必要稼働時間を算出する。専用フライス盤導入を1993年と想定し、以後5年間に対して計算を行った。その結果を表V-3-2-11に示す。

表V-3-2-11 歯切専用フライス盤月別必要稼働時間

ロータ歯切専用フライス盤年度別必要稼働時間

(月当たり)

年度	初年度 1993年		2年度 1994年		3年度 1995年		4年度 1996年		5年度 1997年	
機種	製作 台数	加工 時間	製作 台数	加工 時間	製作 台数	加工 時間	製作 台数	加工 時間	製作 台数	加工 時間
LGY 20-14/10.5	4.2		5.8		7.5		10.0		12.5	
おすロータ		19.74		27.26		35.25		47.00		58.75
めすロータ		21.84		30.16		39.0		52.00		65.00
LGFD-3/7-X	8.3		12.5		16.7		20.8		25.0	
おすロータ		30.71		46.25		61.79		76.96		92.5
めすロータ		38.18		57.50		76.82		95.68		115.00
合計	12.5	110.47	18.3	161.17	24.2	212.86	30.8	271.64	37.5	331.25

3) 歯切専用フライス盤稼働率

歯切盤は専用機械であるので稼働率は導入初年度60%、2年度 70%、3年度 80%、4年度 85%、5年度 90%とし、表V-3-2-12に示す。

表V-3-2-12 ロータ歯切盤年度別有効稼働時間見込

(月当たり)

年度	初年度 1993年	2年度 1994年	3年度 1995年	4年度 1996年	5年度 1997年
推定稼働率(%)	60	70	80	85	90
有効稼働時間(時間)	125	146	166	177	187

4) 歯切専用フライス盤の負荷率

専用フライス盤の必要導入台数は表 V-3-2-11 及び表 V-3-2-12 の結果から、1台あるいは2台を導入した場合の、機械負荷率を計算することにより決定する必要がある。機械の負荷率は表 V-3-2-13 に示す。

表V-3-2-13 ロータ歯切盤導入台数と負荷率

年度 導入台数	初年度 1993年	2年度 1994年	3年度 1995年	4年度 1996年	5年度 1997年
1 台	88.4	110.4	128.2	153.5	177.0
2 台	-	-	64.1	76.7	88.5

以上の結果から1996年には2号機の導入が必要になる。

(4) ロータ加工工程の改善

スクリュ圧縮機ロータの加工上の問題点と対策は、既にIV編 2-3-1で述べたが、ここでは対策をもういちど総合して、具体的な改善策として述べることにする。

改善策は以下の4つの基本的考え方で進めていく。

- * 加工工程の見直しを行い、工程の短縮を行う。
- * 調質熱処理は鋳造素材の状態によって判断しながら実施する。
- * 機械加工工程の専用ライン化を図る。
- * 治具、補助具の改善を行う。

図V-3-2-19に推奨し得る加工工程改善案を示す。

図V-3-2-19に示す加工工程案の要点は以下のとおりである。

a) 切断

長尺丸棒を所定の長さに切断する作業であるが、高速切断機を使用する。

b) センタ孔加工

ボール盤による、丸棒の両端面中心部へのドリル加工(6mm ϕ)。

c) 外径荒削加工

ロータ歯切加工前寸法に対して3mmの仕上げ代を残す荒削加工。旋盤による。チャッキングには3方連動締め付けチャックを用いる。

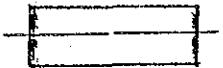

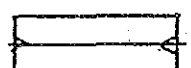
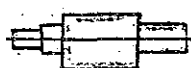

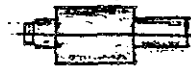
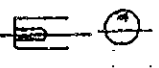
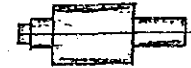

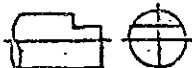
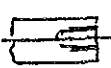
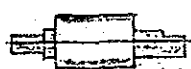
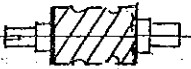

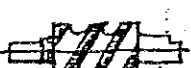
順序	加工工程	加工詳細	順序	加工工程	加工詳細
1	切断		10	専用ワイヤ盤	
2	ボール盤		11	検査	歯合せ検査(クリアランス、バックラッシュ)
3	旋盤		12	旋盤	
4	旋盤		13	フライス盤	
5	旋盤		14	円筒研削盤	
6	フライス盤		15	ボール盤	
7	円筒研削盤		16	バランス	
8	専用ワイヤ盤		17	仕上	メン取り、洗浄、防錆
9	円筒研削盤				

図 V-3-2-19 加工工程改善案

d) 全長を決め、センタ孔加工

全長寸法に両端部を切り落とし、更に旋盤により新たなセンタ孔を加工する。ここで加工されるセンタ孔はその後の加工の基準になり、高精度の加工を要求される。従って、孔加工時は振れ止めを使用する。

e) 旋盤中間加工

ロータ外径の歯切り前寸法への旋削加工。

f) ロータ位置決めキー溝加工

ロータ歯切り位置決めるためのキー溝加工。ロータ歯切りフライス盤による。Vブロック方式のロータ取り付け具を使用して芯出しの精度を向上させる。

g) 外径芯出し基準径の研削

ロータ外径及び芯出し基準径の研削。

h) 歯切荒削加工

ロータ歯型部の荒削り加工で、歯切りフライス盤による。この工程で、ヘリカル溝の大部分が取り除かれる。切削による摩擦熱、及び抵抗による変形を最小限にするために、ロータ外径にはサポート板を取り付ける事と、十分な切削油で潤滑を行うことが大切である。

i) 外径及び歯底基準径の研削

前工程で発生したロータの曲がり (0.1 ~ 0.2 mm) の修正。

j) 歯切仕上削加工

ロータ歯の仕上加工であるが、荒削り加工で使ったサポート板をそのまま使用して切削振動の発生を最小限に抑える。

k) 噛み合わせ検査

検査項目は、歯型クリアランス、バックラッシュ。計測はおす、めすロータのそれぞれの歯と溝の全ての組合せ、即ち12回行う。

l) 外径端面研削前仕上加工

軸部、ラビリンス部、ネジ切部の加工。NC旋盤による（現状は汎用旋盤を使用）。

m) キー溝、通し溝、止め溝加工

フライス盤による。Vブロック方式の専用取り付け具を使用して芯出し作業を簡略化する。

n) 外径研削

軸受支持部、その他精度を要求される軸部の外径の研削加工。ロータの両端を支持した状態で軸の振れ状態をダイヤルゲージで計測することを徹底する。

o) ピン孔加工

ピン孔 (5 mm ϕ H7) の、ドリル及びリーマによる加工。特に軸方向に対する直角度に注意する。孔明け治具の採用により作業性と品質の向上を図る。

p) 動的バランス計測、修正

バランスマシンによりアンバランス (unbalance) 量を計測、及び必要な修正。アンバランス量の修正はスクリュのリード角度にそってドリル加工を施すことにより行われる。(現在、この工程は外注されている)

q) 仕上げ

サンドペーパー (sand paper) による最終の清浄。その後防錆油を塗布して倉庫に納入、保管する。

3-2-4 改善後の移動経路図と移動距離

図V-3-2-19に示す改善後の加工々程案をもとに、移動経路図 (図V-3-2-20) を作成した。また表V-3-2-14には主要工程間の移動距離の一覧を示した。この改善効果をIV編表2-1-5と比較すると、1回当たり平均移動距離が37mから10mに減少できた。

表V-3-2-14 工程間移動距離

工 程 間	距 離 (m)	回数	合計移動距離 (m)
切 断 ~ ボール盤	50	1	50
ボール盤 ~ 旋盤 C630	12	1	12
旋盤 C630 ~ 旋 盤	3	2	6
旋 盤 ~ フライス盤	3	1	3
フライス盤 ~ 研 削 盤	3	1	3
ロータフライス盤 ~ 検 査 器	8	1	8
検 査 器 ~ フライス盤	12	1	12
フライス盤 ~ ボール盤	4	1	4
ボール盤 ~ 仕 上	6	1	6
仕 上 ~ 研 削 盤	2	1	2
研 削 盤 ~ バランスマシン	5	1	5
バランスマシン ~ 保管場所	16	1	16
合 計		13	127

(一回当たり平均移動距離: 10 m)

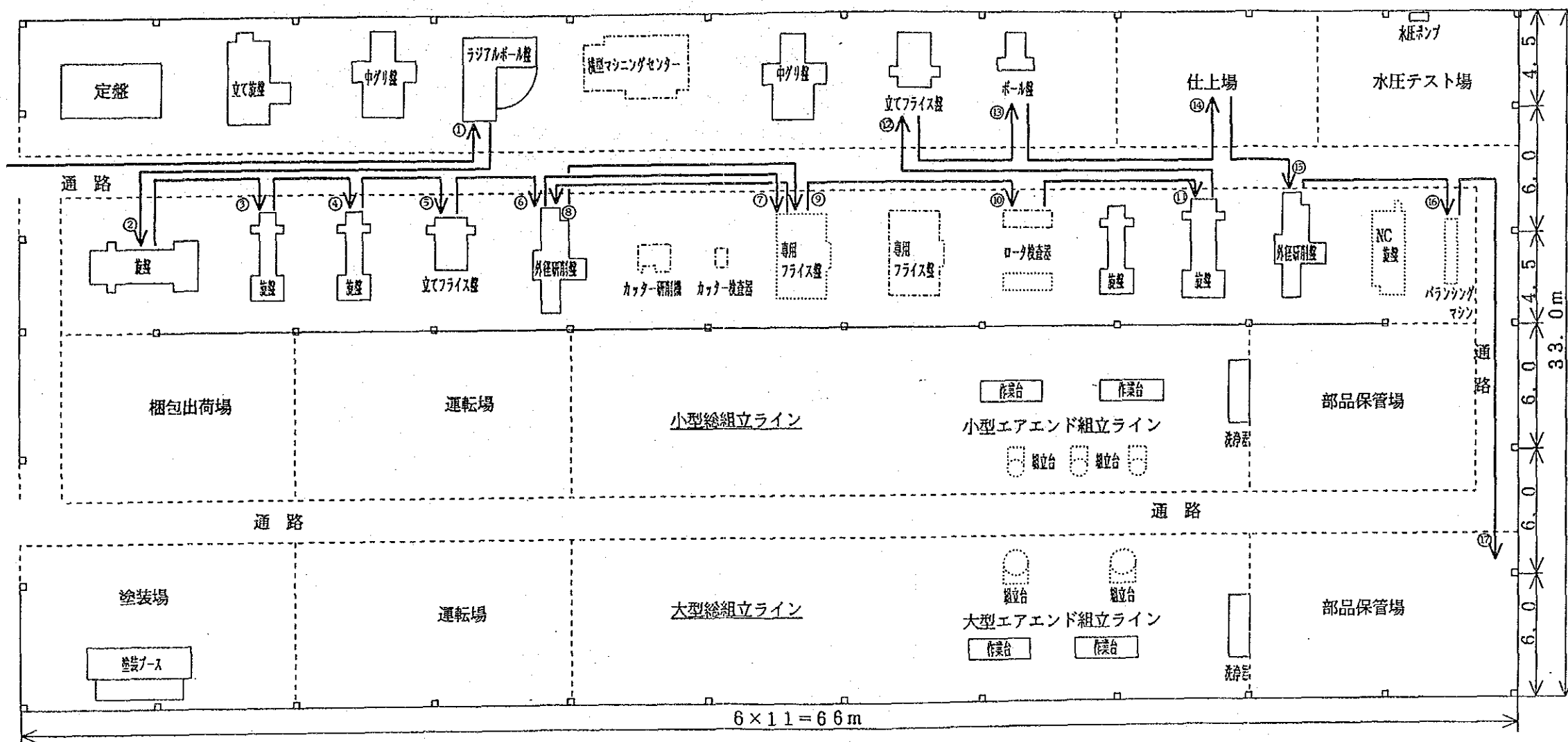


図 V - 3 - 2 - 20 改善後の移動経路図

3-2-5 機械設備の自動化

生産量を拡大をするとき、単に機械台数を増加させるのではなく、機械を高度化し逆に台数を少なくし、工具及び加工品の取付、取り外し時間（または回数）の削減、加工品の寸法計測回数の削減といった方法を考えるべきである。そのためには、機械の自動化を図り、締め付け具、加工治具、運搬具、計測器具を改良、開発して完備していくのが最も効果を発揮する。

(1) 定寸式丸棒切断機の製作

現在、資材倉庫内で行われている丸棒の切断作業も簡単に自動化できる好例である。長尺丸棒材を自動給送し、切断素材を後方から押し出してストッパに衝突させて定位置に停止させる。切断された素材は空気シリンダーで横方向に押し出す方法で自動化の目的が達成される。切断長は、リミットスイッチの位置を調節することによって可変とする。また、作動を確実にするためにアクチュエータ（actuator）を採用する。図 V-3-2-21 に簡単なスケッチを示す。

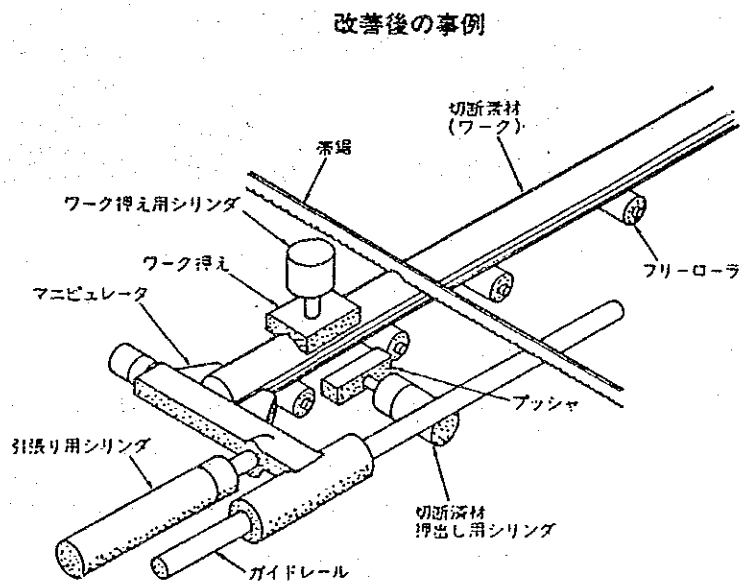


図 V-3-2-21 丸棒自動切断機

(2) 旋盤の自動化

既存の機械に、リミットスイッチ、アクチュエータなどの空気・油圧作動の機器を取り付けて、切削送りや主軸回転の自動停止等のシーケンス制御システムを作り上げる。さしあたりロータ素材の荒削加工用旋盤に応用すると威力を発揮すると思われる。他にも形状の単純な部品、例えば段数の少ないシャフト、ライナといった部品の加工用旋盤にも試みると良い。更に、次の段階では、市販の数値制御装置を購入して取り付けることで、ロータ軸部の仕上げ加工、あるいはシフトギヤ等段数の多い複雑な部品までも精度良く、かつ能率的に加工する事が可能となる。このようにして、段階的に改造された例をボール盤ではあるが（日本での例）図V-3-2-22に示す。

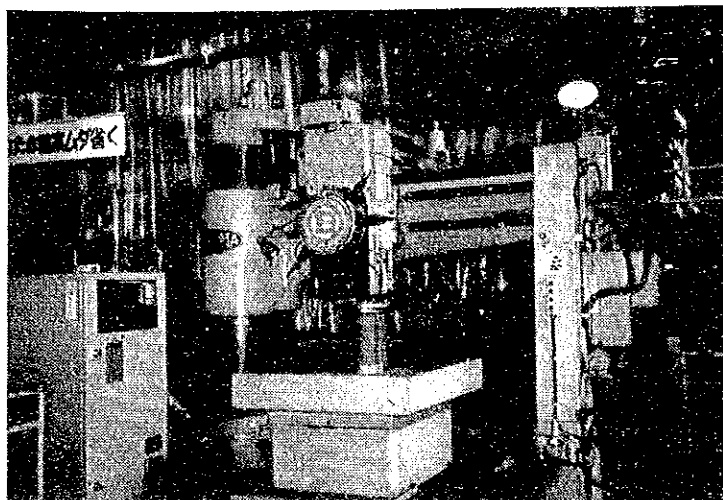


図 V-3-2-22 NC穴明機

(3) センタリングマシンの自動化

ロータの位置決めとセンタ穴もみ付けは、加工ライン横中ぐり盤による方法としているし、今後も当分の間はこの方式で十分であると考えられる。但し、将来更に生産性を高めて行くためには、センタリングマシン（centering machine）を導入する事が効果的である。この機械は、端面切削寸法決めとセンタ穴もみ付けを同時にできる専用機で、構造を図V-3-2-23に示す。

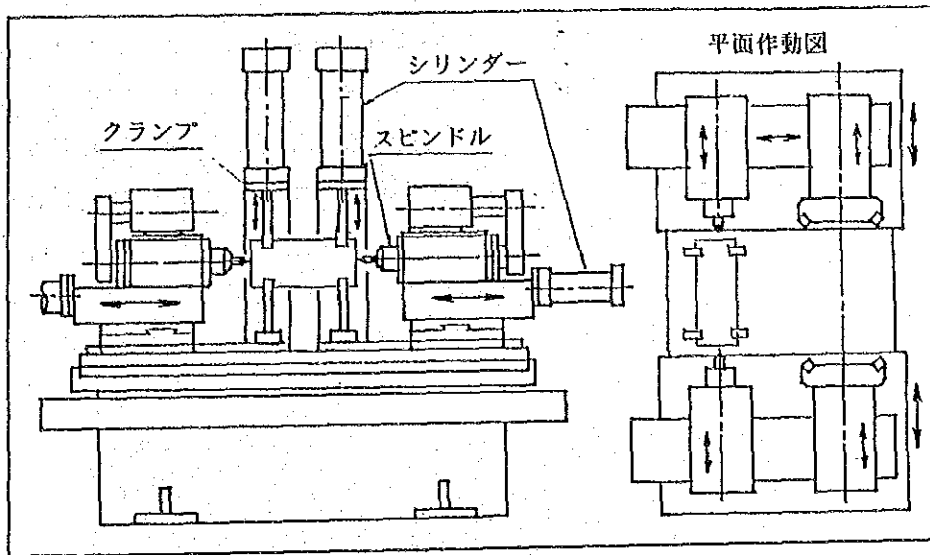


図 V-3-2-23 センタリングマシン

(4) NC旋盤の導入

ロータの外形の仕上げ加工を行う旋盤はNC制御とすべきである。手動による旋削加工は作業者の熟練度によって加工品質、能率が大きく左右される。荒削りは既存の機械の改良による自動化で、また仕上げ加工はNC機械でそれぞれ行うのが現状では最も実際的な対応といえよう。図V-3-2-24に代表的なNC旋盤の一例を示す。

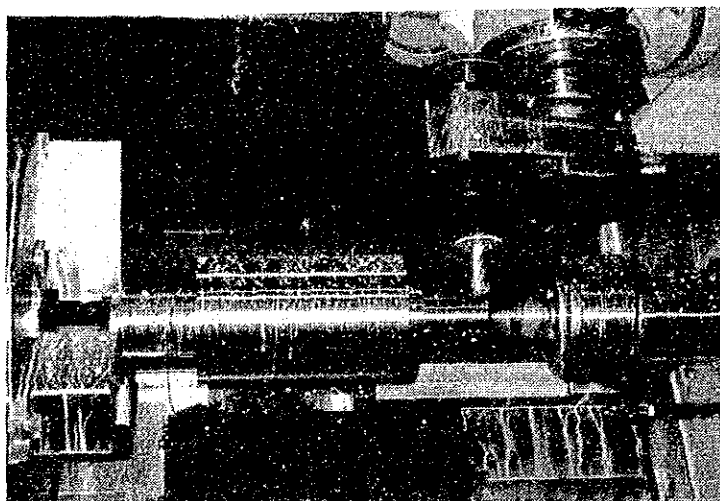
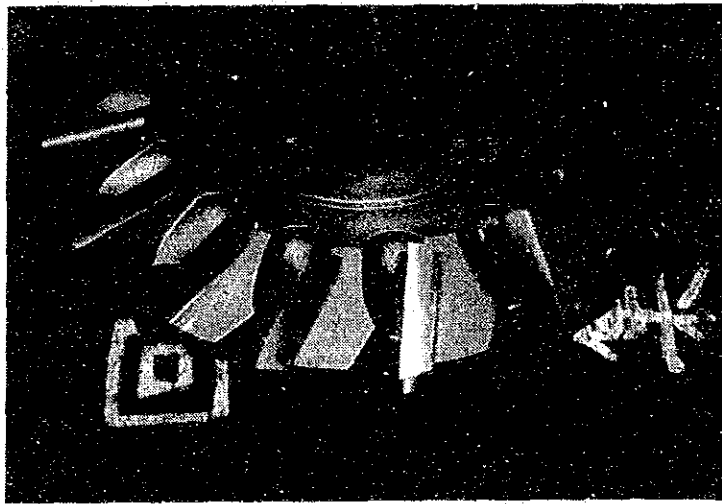


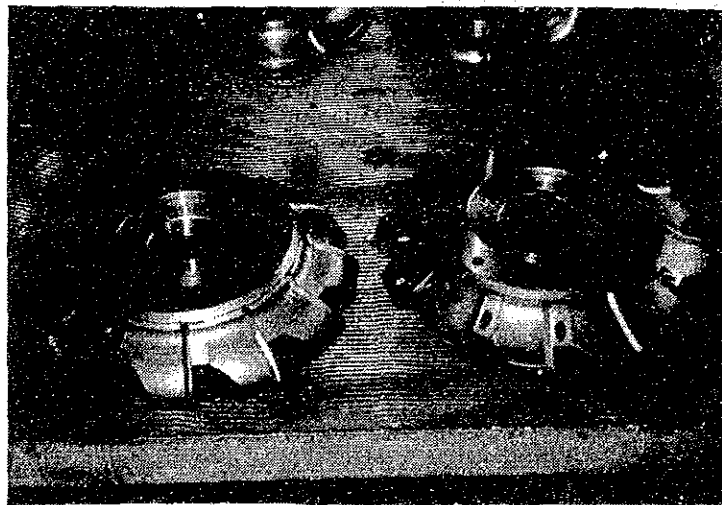
図 V-3-2-24 NC旋盤

(5) 歯切カッタの改善

現在、湘潭圧縮機工場で使用されているロータ歯切カッタ（荒削用：図V-2-1-14、15、仕上用：図V-2-1-16、17）の内、荒削用カッタの切削性は、おすロータで40時間と悪い。荒削及び中削用には切削刃枚数を、少なくとも12枚以上とし切削性を向上させる必要がある。一方、仕上加工には切削刃枚数は、可能な限り少なくし（4枚以下）、歯形精度を確保することは言うまでもない。日本の工場で使用されている歯切カッタの例を図V-3-2-25（荒削用）、図V-3-2-26（中削用）、図V-3-2-27（仕上用）に示す。



図V-3-2-25 荒削用カッタ



図V-3-2-26 中削用カッタ

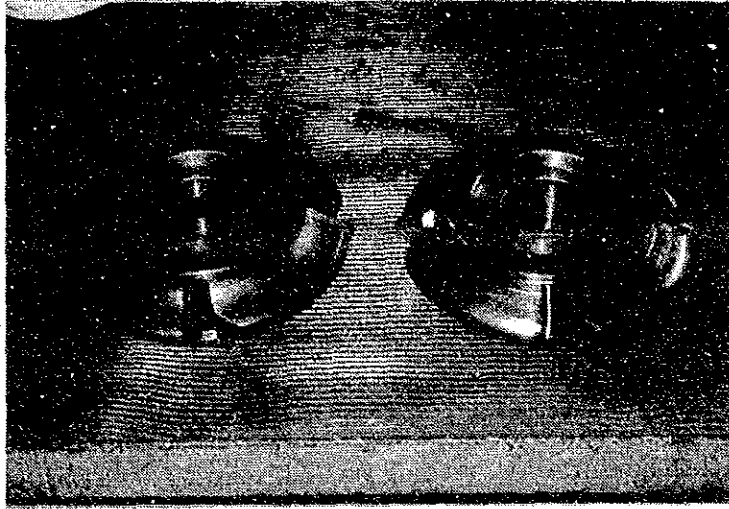


図 V-3-2-27 仕上用カッタ

3-3 組立工場の近代化

3-3-1 スクリュ圧縮機組立工程のラインの近代化

スクリュ圧縮機の製造工程近代化の基本方針により加工々程、組立工程を連続的な流れ生産方式にするため、現在建設中の建屋を専用工場とし新工場のレイアウト及び工程に従って、組立ラインの近代化を考える。図V-3-3-1に各種の検討を加えた結果としての、新工場のレイアウト図を示す。レイアウトに関しては、後に詳しく論じる。

(1) 現状の作業の問題点と対応

新工場での新しい組立ラインの構築に役立てるために、現在行われている組立作業の流れを見直した結果、以下の諸点に改善の鍵があることがわかった。

1) 工程管理

工程の管理状態を目で見えるようにする必要がある。その目的は以下のとおりである。

- a. 誰からも不具合点や異常事態がわかり、改善処置が速やかに取れるようにする。
- b. 生産に携わる全員が、部品の加工遅れや、欠品の状態を一目で掴んで、次に何をすべきかを自主的に判断でき積極的な環境を作りあげる。
- c. 工程管理者が刻々と変化する状態の中に潜んでいる問題点を事前に予測して、予防対策を立て、先取り管理ができるようにする。

2) 作業場の有効活用

現在の組立工場は、作業場の区画がはっきりと規定されていない。また、圧縮機の完成品、部品、組立済ユニットが無計画に置かれており、広い面積を占有している。作業上の明確な区分（線引き）と、作業場の効率的使用計画が必要である。

3) 塗装工程の問題点

組立工場の中央付近で、内面の防錆塗料や「光潔」と称する錆肌外表面のバテ塗り作業、上塗り塗装作業が実施されている。これらの作業には換気設備もなく、工場全体の作業環境を悪くしている。塗装作業には換気設備が必要である。

(2) 流れ作業方式の採用

スクリュ圧縮機の組立ラインは、流れ作業方式を採用するのが最も望ましい。即ち、組立工程を工程順に一本の線に配置し、その中で組み立てられる製品に一定の流れを与えることである。工程は細分化され、それぞれの細分化された工程は特定の作業者によって繰り返し作業されることになる。このことにより得られる利点は以下のとおりにとまとめることができる。

- * それぞれの作業者は、同じ仕事を繰り返し行うので作業に習熟して能率が上がり、また作業改善のアイデア（idea）もでやすくなる。
- * 工程が細分されて直線上には位置されるため、それぞれの作業の状態が一日で判るようになる。即ち、監督者にとって異常な工程と正常な工程の見分けが即座につけられるようになる。
- * 改善を組織的に行う場合に、そのねらいが絞り易くなり効果的な改善を実施することが出来る。
- * 工程毎に担当の作業者が張り付くために、それぞれの責任分担が明確になり、自主管理の実行が容易になる。

(3) 部品ユニット組立化の促進

個々の部品は、いきなり圧縮機全体として組み付けていくのではなく、まず機能単位でユニット（unit）として、中間段階の半組立品を製作するのが望ましい。機能別にまとめられる単位は、ミニマムプレッシャバルブ（minimum pressure valve）クーラ、計器盤コントロールセンタ、ドレンセパレータ・ドレントラップ、オイルフィルタがある。

個々のユニットを組み合わせる最終の製品にするのを総組立と称する。総組立は、原則としてボルト・ナットの締め付け作業だけの単純な作業とし、総合組立の期間短縮と組立工程全体の能率向上を図らなければならない。図 V-3-3-2-7 に上記の各機能別ユニットの組立図と構成部品表を示す（日本の工場の例）。

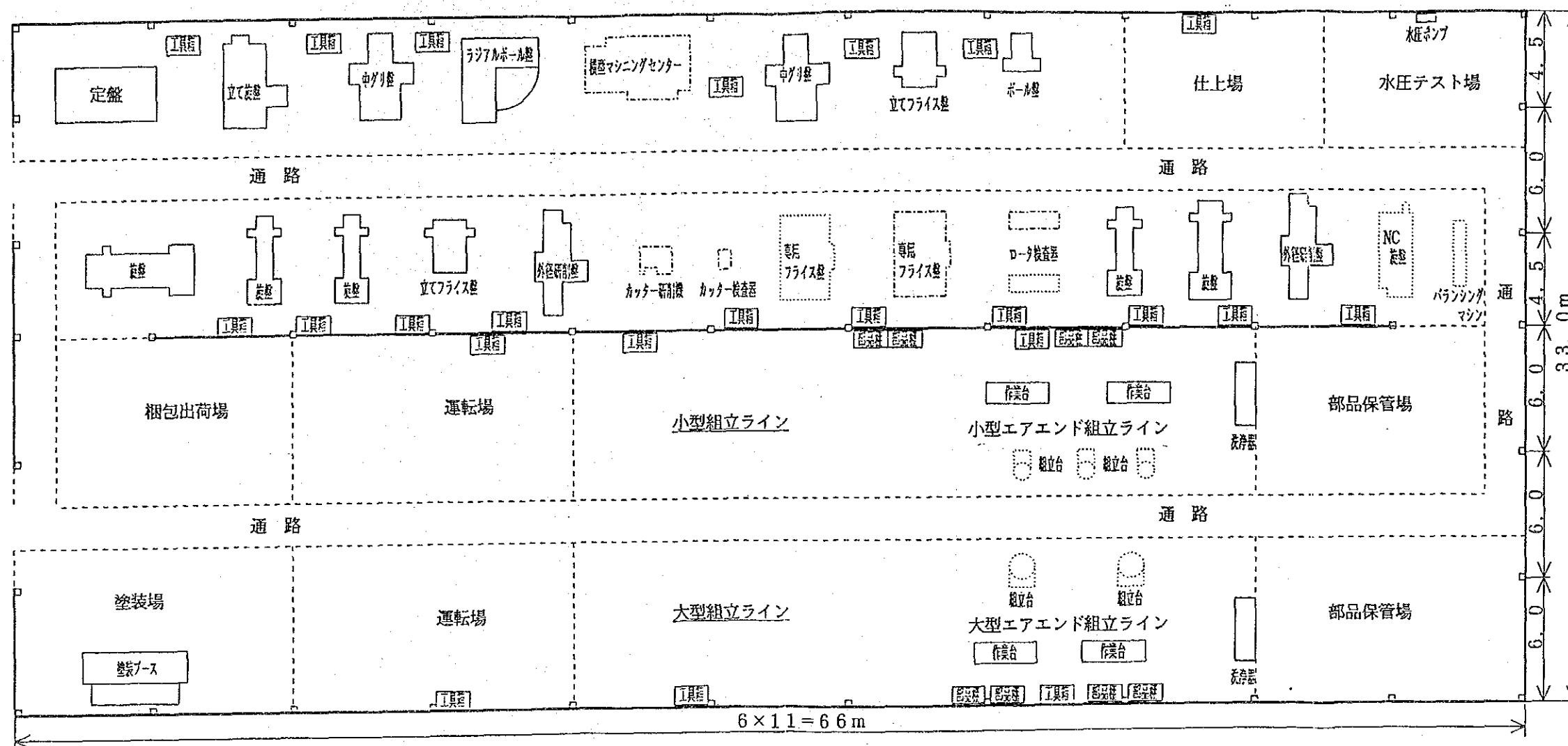
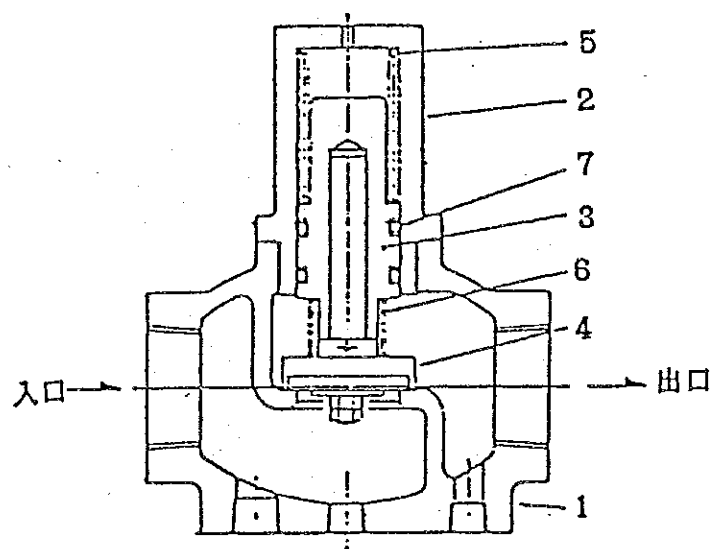


図 V-3-3-1 新工場レイアウト

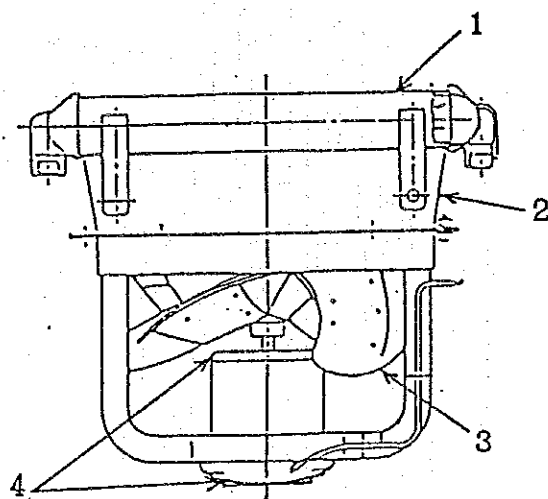
ミニマムプレッシャバルブユニット



符号	名 称	数 量	備 考
-1	ボディ	1	P22A 4種D
-2	シリンダ	1	
-3	ピストン	1	
-4	バルブ Assy.	1	
-5	ピストンスプリング	1	
-6	バルブスプリング	1	
-7	Oリング	2	

図 V-3-3-2 ミニマムプレッシャバルブユニット

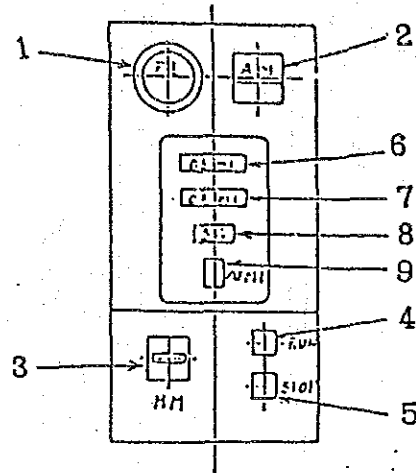
クーラユニット



符号	名 称	数 量	備 考
-1	オイル／アフタークーラ	1	
-2	ダクト	1	
-3	圧力扇（保護金網付）	1	

図 V-3-3-3 クーラユニット

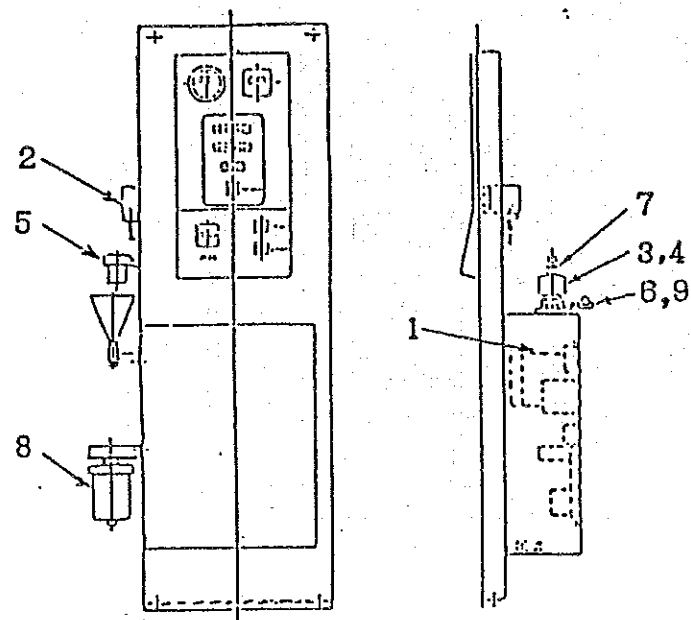
計器盤ユニット



符号	名 称	数 量	備 考
-1	圧力計	1	RUN (赤) STOP (緑)
-2	電流計	1	
-3	時間計	1	
-4	照光式押釦スイッチ	1	
-5	照光式押釦スイッチ	1	
-6	オイルセパレータ目詰り表示器	1	
-7	オイルフィルタ目詰り表示器	1	
-8	油もどりサイトグラス	1	
-9	吸入フィルタ目詰り表示器	1	

図 V-3-3-4 計器盤ユニット

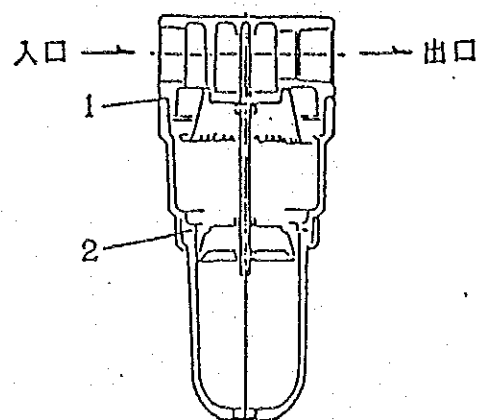
コントロールセンタユニット



符号	名 称	数量	備 考
-1	始動器	1	
-2	圧力開閉器	1	
-3	3方口電磁弁	1	
-4	2方口電磁弁	2	
-5	コントロールバルブ	1	
-6	ダブルチェックバルブ	1	PT 1/8
-7	チェックバルブ	1	PT 1/8
-8	エキゾーストクリーナ	1	
-9	油戻りオリフィス	1	

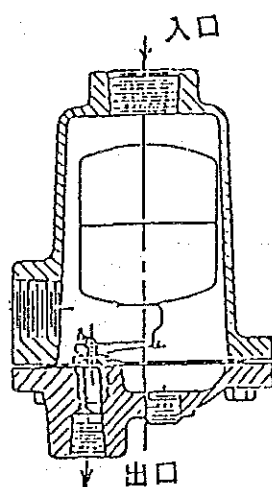
図 V-3-3-5 コントロールセンタユニット

ドレンセパレータ



符号	名 称	数 量	備 考
-1	Oリング	1	
-2	Oリング	1	

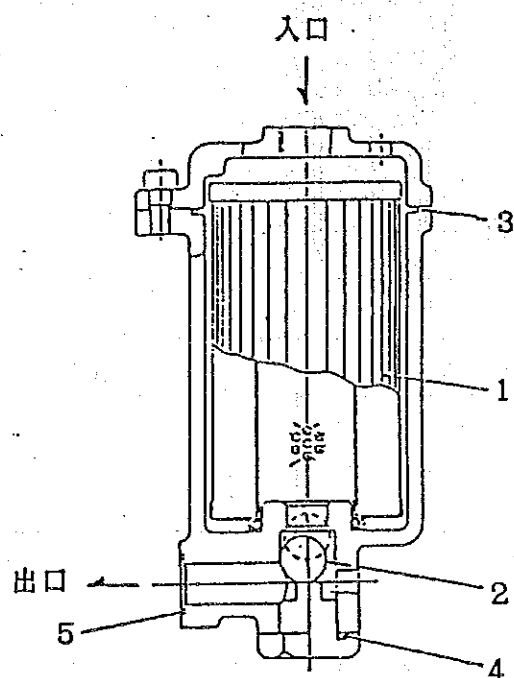
ドレントラップユニット



符号	名 称	数 量	備 考
	ドレントラップ	1 式	

図 V - 3 - 3 - 6 ドレンセパレータ/トラップユニット

オイルフィルタユニット



符号	名 称	数 量	備 考
-1	エレメント	1	
-2	ボール	1	
-3	Oリング	1	GB 85 1種B
-4	Oリング	1	GB 24 1種B
-5	Oリング	1	GB 20 1種B

図 V-3-3-7 オイルフィルタユニット

3-3-2 組立工場設備の近代化

新組立工場で導入すべき新しい設備は以下のとおりである。

(1) 油圧々入機

移動式中圧スクリュ圧縮機ロータに軸受けボールベアリングを圧入する作業は、既に第IV編3-2-2でも述べたとおり、焼きばめによっている。この方式では、能率面、品質面とも十分な結果は得られない。圧入プレスを利用すべきである。このとき、適当な圧入工具を設計し、均一な圧入が行えるようにしなければならない。

必要圧力は、低圧圧縮機ロータ用には 60 kg/cm^2 、また中圧圧縮機ロータ用には 600 kg/cm^2 と計算される。

図V-3-3-8に日本の工場での圧入作業の様子を示す。

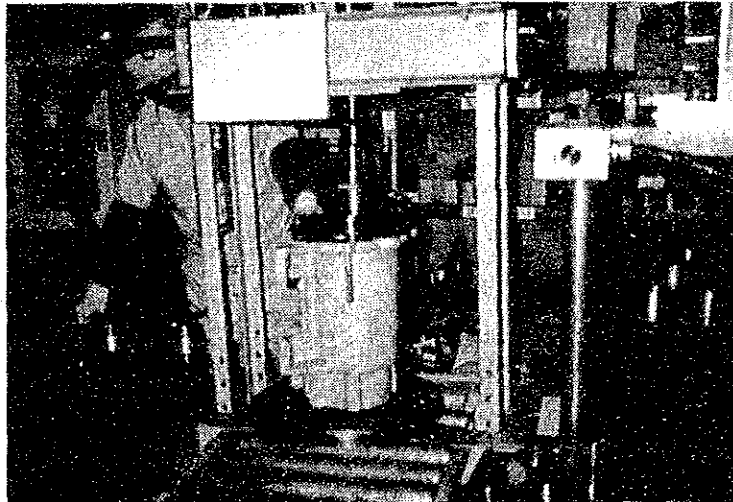


図 V-3-3-8 ベアリング圧入作業

(2) 圧縮機本体横転台

圧縮機本体の組立作業を容易にするために、横転台を設置する必要がある。図V-3-3-9に日本の工場での作業の様子を示すが、横転台は電気モータで回転し、リミットスイッチで自動停止する方式である。横転台は単に組立工程中の品物の横転を行うためだけでなく、横転後は任意の位置で静止、ポジションナとしても有効に利用することができる。

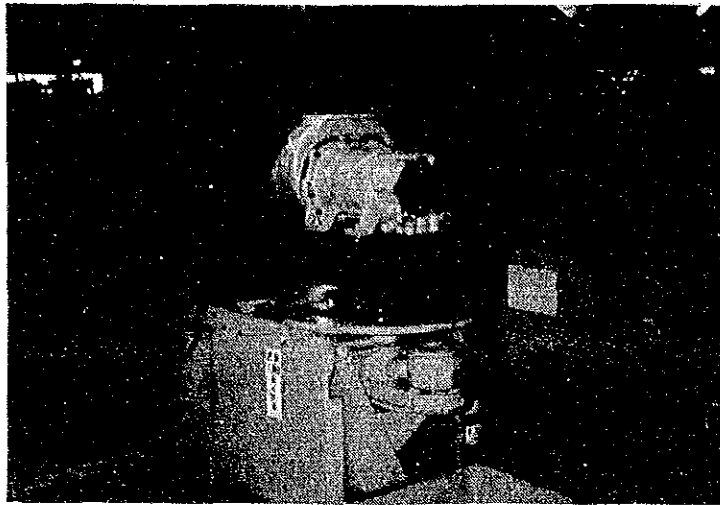
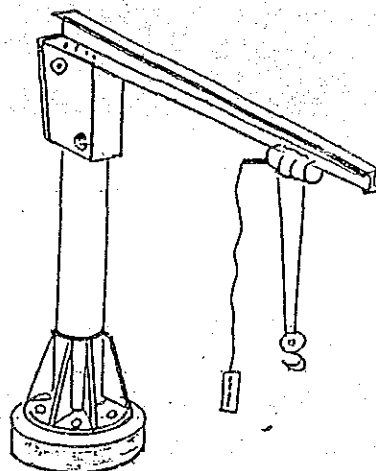


図 V-3-3-9 横転組立台

(3) ウォールクレーン (wall crane)

組立工程中にハンドリング (handling) を行う部品の重量はせいぜい 200 kg までであるが、これらの部品の移動、セッティングに天井クレーンを利用するのは非能率的であるし、また不安全でもある。工場の支柱に取り付けられるウォールクレーンを設置して、作業者自らが操作することにより生産効率を上げることができる。図 V-3-3-10 にウォールクレーンの設置例を示す。



ウォールクレーン(0.1~1TON)

(360 度回転式)

図 V-3-3-10 ウォールクレーン

(4) 運転試験設備

運転試験の条件（各種配管、及び計測機器）を可能な限り一定にさせること、及び運転試験のための準備作業を能率的に処理するために、専用の運転試験設備がぜひ必要である。運転試験用の配管例を図 V-3-3-11 に示す。

(5) 運搬設備

現在、湘潭圧縮機工場での運搬方法で最も一般的なものは手押し車による方法である。この方法は機動性がないばかりか、一度に運搬できる量も制限される。工場への材料の搬出入には、パレットトラック（pallet truck：図 V-3-3-12）、またはフォークリフト（図 V-3-3-13）を採用する必要がある。フォークリフトの採用と併せて、図 V-3-3-14 の板パレット（一般加工品用）及び図 V-3-3-15 の専用運搬台（ロータ用）は不可欠である。板パレット、専用運搬台はまた加工部品の仮置き場としても有効に利用できる。



図 V-3-3-12 パレットトラック

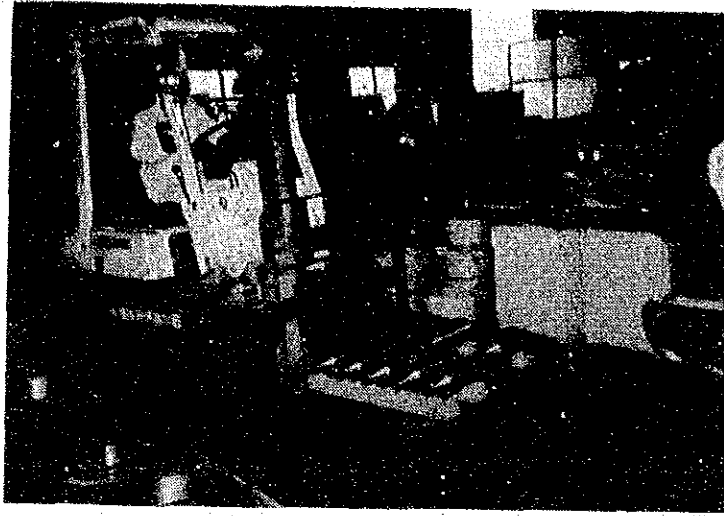


図 V-3-3-13 フォークリフト

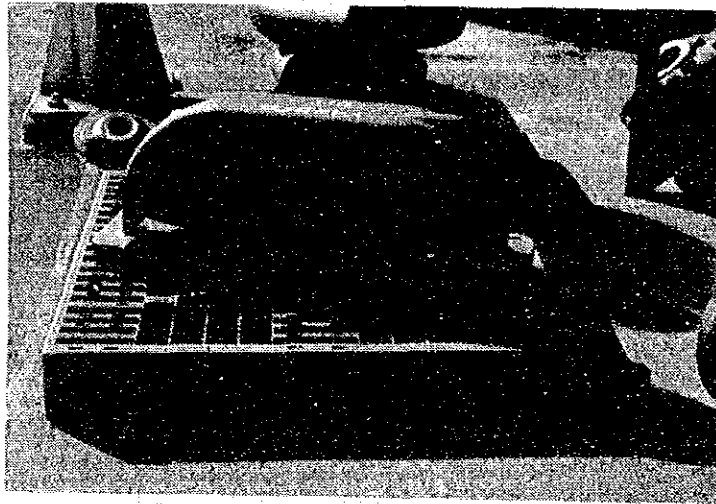


図 V-3-3-14 板パレット



図 V-3-3-15 専用運搬台

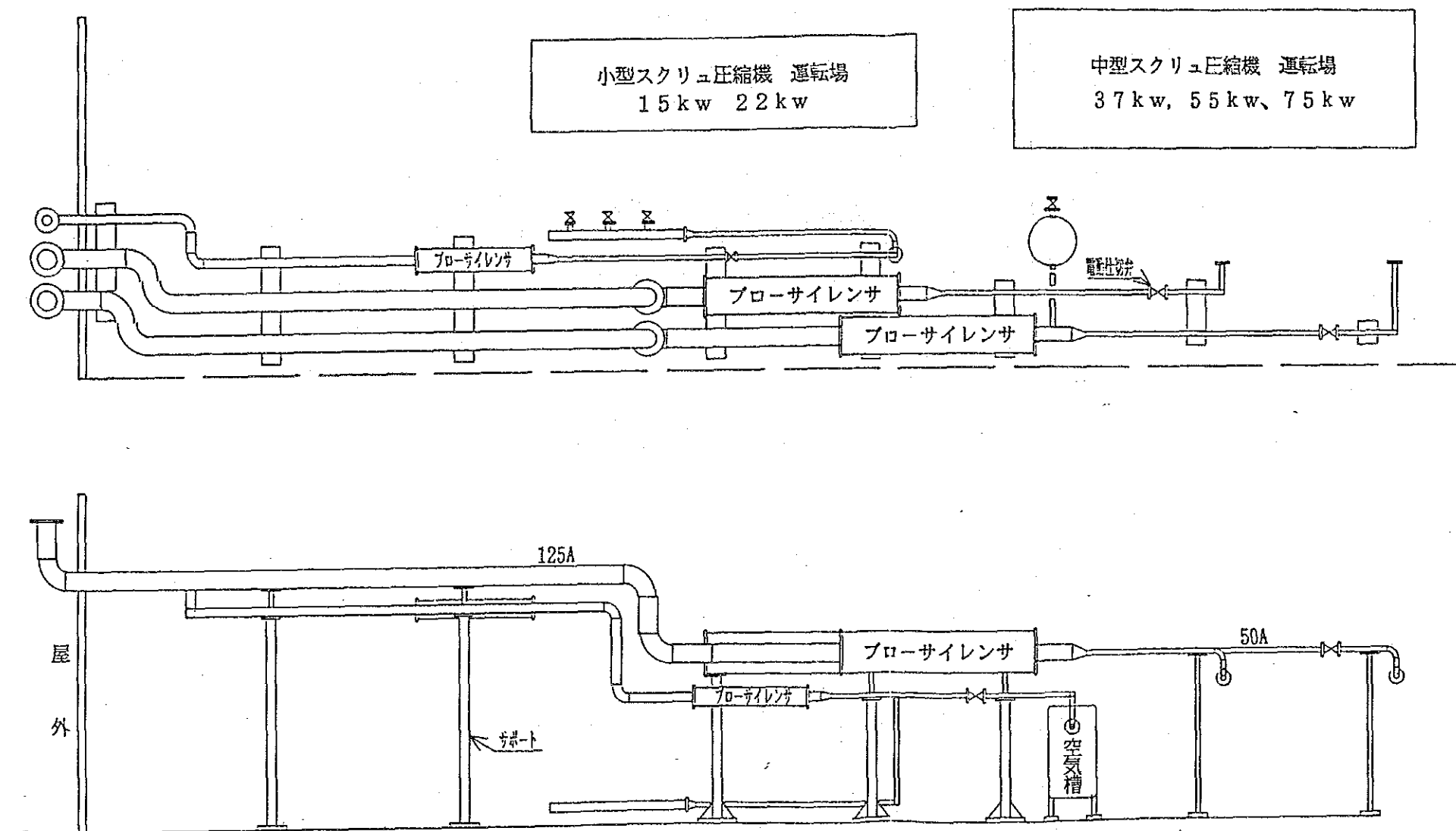


図 V - 3 - 3 - 11 運転試験用配管

(6) 空気工具施設

新スクリュ圧縮機工場には、空気工具を利用できるようコンプレッサ及び空気配管が必要である。図 V-3-3-16 に空気配管の一例を示す。

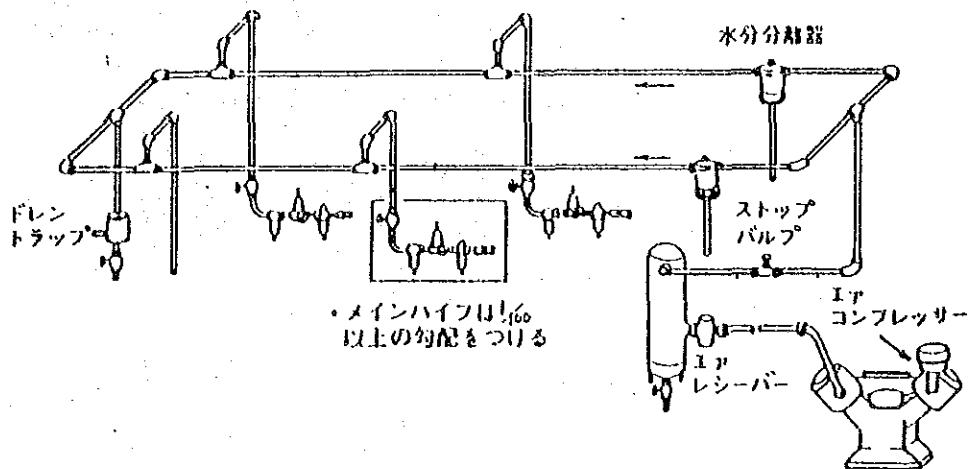


図 V-3-3-16 工場空気配管図

出典：メーカーカタログ

配管は清浄で乾燥した冷たい圧縮空気を供給できなければならない。いかに圧縮機を合理的に設置しても配管が適当でないと、圧力降下やドレンなどの悪影響により出力低下をきたす。図にみるように、コンプレッサーからの配管は床面から充分高い位置に設け、コンプレッサー側から水分が管に流入するのを防止する必要がある。また全ての配管は、水分の流出を容易にするため、 $1/100$ 程度以上の勾配を設けて設置する。メインパイプ (main pipe) や枝管にはドレンタンク (drain tank) を設けてドレンなどの侵入を防ぐ。コンプレッサーからの圧力の低下を防ぐため、主管や枝管は太めのパイプを使用する。

エアツール (air tool) のホースとオイラー出口との接続はワンタッチ式のコネクターを使用し、このコネクターの種類は一つに統一して、エアツールは全工場どこでも使用できるようにすることが大切である。

エアツールは手軽に使用できる反面、回転が高速であるために、使用に当たっては安全面で特に注意を払わなければならない。エアツールによって削り取られた鉄くずや砥石の粉が飛散して目に入ったり口から吸い込んだりしないよう、作業時には必ず防塵目がね、防塵マスクを着用しなければならない。

空気工具の使用例を図 V-3-3-17 に示す。また、空気工具の種類と用途を表 V-3-3-1 に示す。

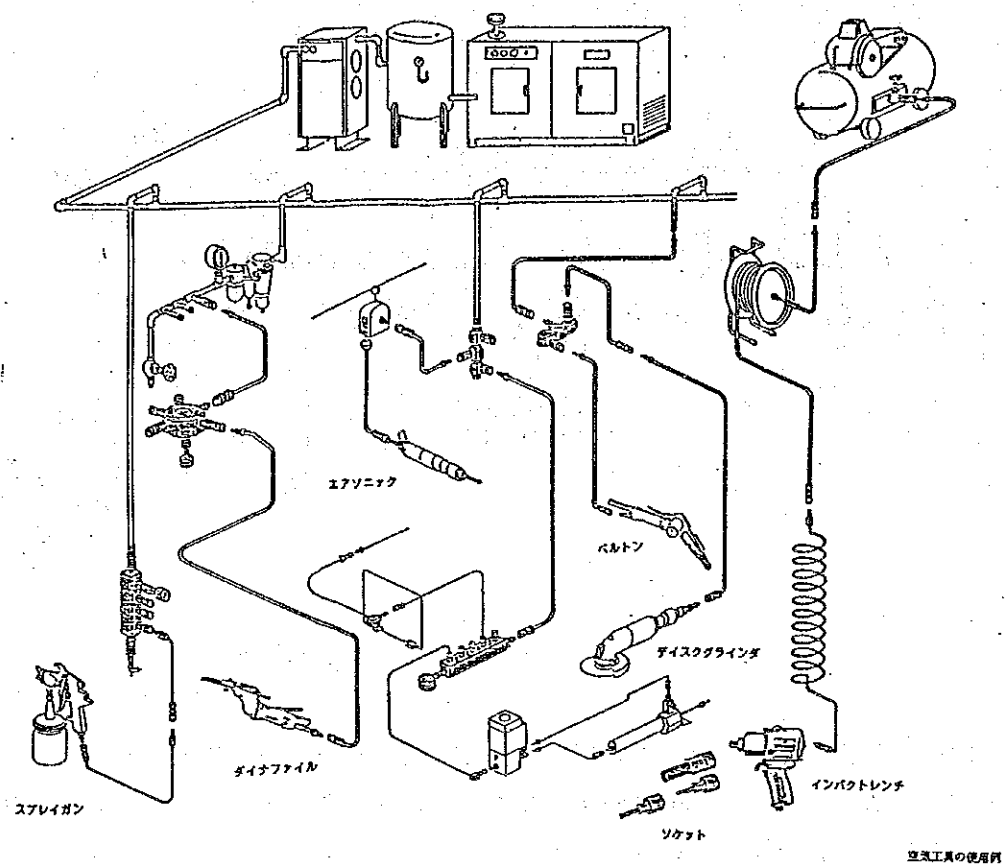


図 V - 3 - 3 - 17 空気工具使用例

出典：メーカーカタログ

表 V - 3 - 3 - 1

工 具 名 称	用 途
ディスクグラインダ (disk grinder)	鋳肌表面の凹凸仕上げなど
ポータブルグラインダ (portable grinder)	バリ取り
ダイナファイル (dyna file)	狭い場所のバリ取り、突起物の除去
ベルトン (belton)	平坦な箇所の突起物除去
エアソニック (air sonic)	狭い場所、隅部などのバリ取り、突起物の除去
エアガン (air gun)	洗浄液、切削油、切粉などの除去
インパクトレンチ (impact wrench)	ボルト、ナットの締め付け

3-5-3 組立ライン編成

図 V-3-3-1 で示したレイアウトについて、その計画条件を明らかにする。

(1) 基本組立工程

組立工場の工程編成に当たっては、機能別ユニットは別工程で組立するものとし、新工場での組立は、エアーエンドの組立及びユニット同士の総組立を中心に行うものとして考えた。ラインは2系統とし、一方は小型（定置式低圧）用、他方は大型（移動式中圧）用とした。

2つの組立ラインは、それぞれ直線的つながりとし、組立ラインの前には部品及びユニットの保管場所を、組立ラインの後には運転場を設けた。更に、塗装場を大型運転場の後に、また梱包場を小型運転場の後ろに配置した。これらはいずれも、2つのラインで共通に使用するものとする。図 V-3-3-18 に基本組立工程を示す。

工程を一直線上に配置したラインでの作業（ライン作業）には多くの利点があり、それらは、管理面、環境面、作業面で以下のようにまとめることができる。

1) 管理面

- a. 必要な工程に必要な部品を投入するタイミングが分かりやすい。
- b. ライン全体に部品を配る必要が無いので、管理工数、運搬工数が省け、部品供給の仕事が誰にでもできる。
- c. 目でみる管理がし易い。

2) 環境面

- a. 部品の山積みがなくなるので、作業場がすっきりとし、作業者が気持ち良く作業することができる。
- b. 工場内の整理、整頓、清掃が徹底され、明るい雰囲気になり職場が活性化される。

3) 作業面

- a. 作業場所の周辺に必要量以外の部品が無いので、作業スペースが広がる。
- b. 動作範囲と歩行距離が短くなり、疲労が軽減される。
- c. 専業化、専門化が進むことにより、習熟度が増して作業能率が向上する。
- d. 専業化、専門化が進むことにより、品質管理意識が向上する。

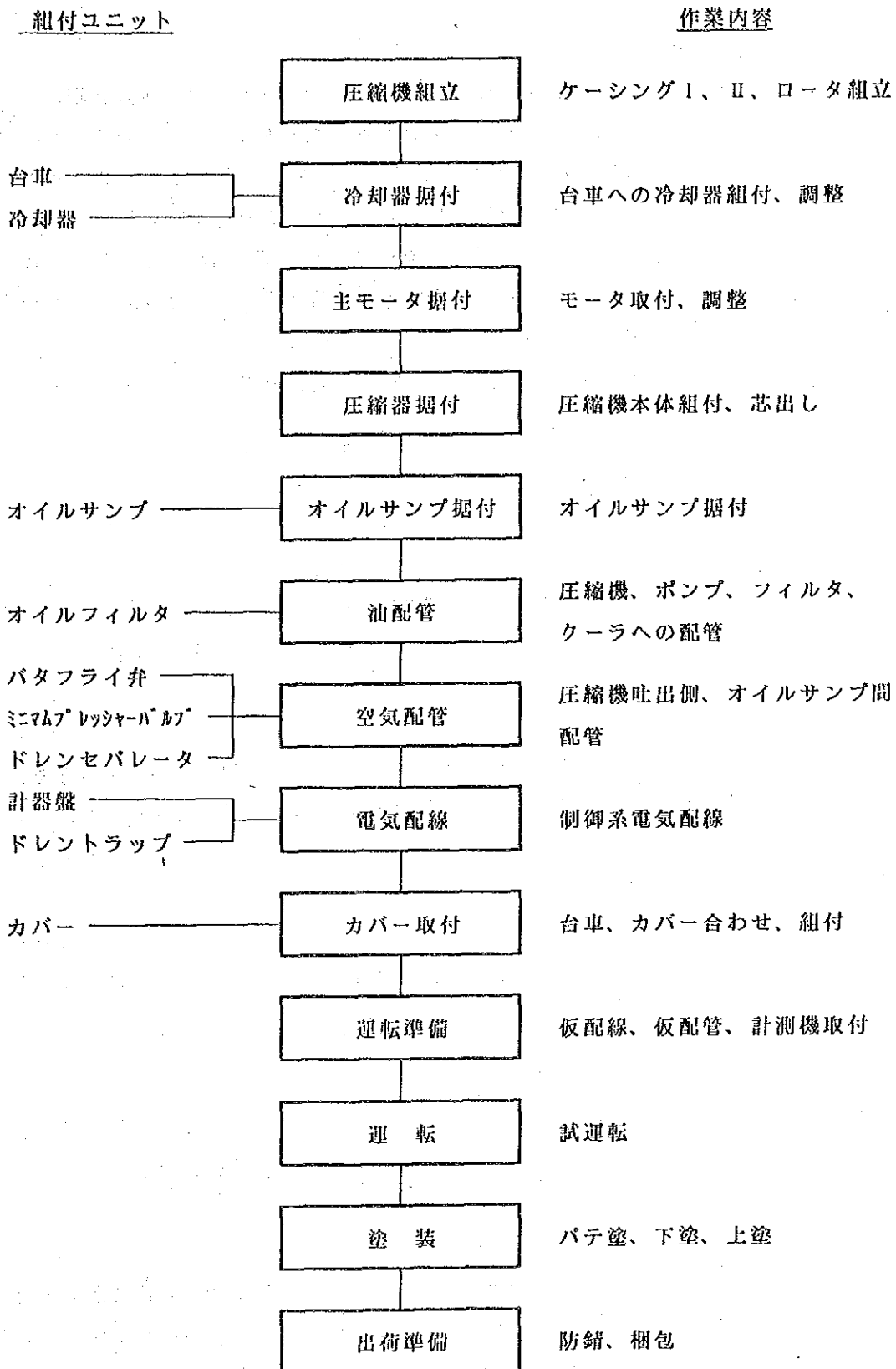


図 V-3-3-18 基本組立工程

(2) 作業標準の設定

ライン編成、及び基本組立工程は決定したが、個々のプロセスの詳細はまだ決定されていない。全く新しい組立ラインを作る作業であり、はじめから100%理想的な工程内容と工程間のつりあい（ラインバランス）を狙うことはきわめて難しい。そこで最も実的なやり方は、現状の工程と作業を分析したのち、可能な範囲で最も効率的な作業の形（作業標準）を想定して、新工場の組立工程へ適用、その後新工場での生産を行いながら、作業標準の修正並びにラインバランスの変更をしていくという順序であろう。

工程分析に基づく作業の標準化のやり方を、図V-3-3-19に示す。

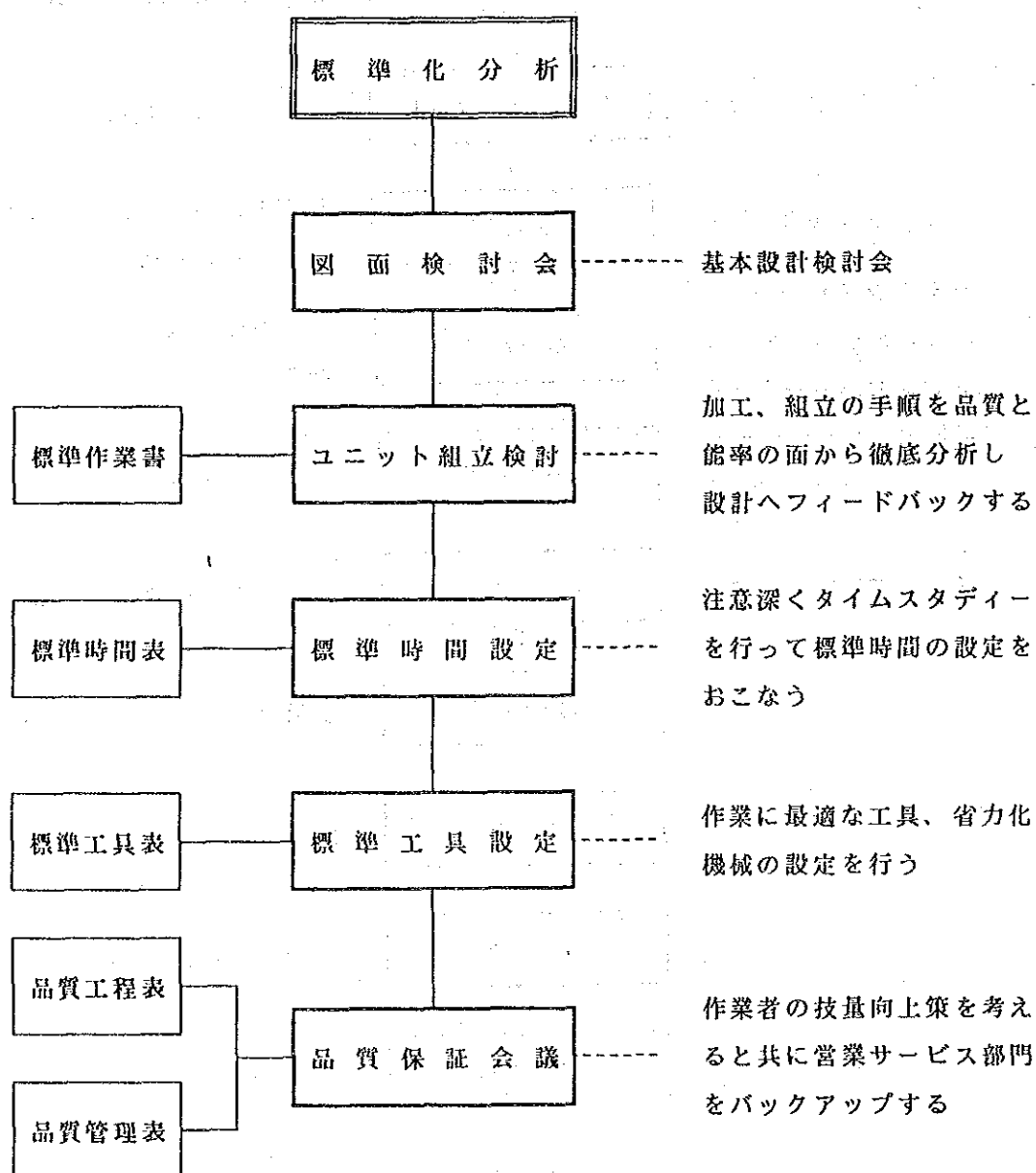


図 V-3-3-19 標準作業設定プロセス