

3.7.5 効率的な機械加工実施のための FMC (FLEXIBLE MANUFACTURING CELL) の実例

FMC (FLEXIBLE MANUFACTURING CELL) の内容としてマシニングセンター群を中心として、有軌道キャリア (CARRIER)、パレットストッカー (PALLET STOCKER)、自動倉庫、及び周辺装置としての洗浄装置、切屑処理装置等よりシステムが構成される。また、要求により、工具ストッカー、交換装置、工具搬送装置による工具の自動補給可能なシステムもある。

FMCの規模としては、マシニングセンター数台から数十台の対応が可能で、機能を拡大することにより、生産工場のトータルな総合加工システムといえるもの迄、可能となる。また、ユーザー選択の柔軟性、将来の拡張性にも、比較的容易に対応できる。

システムの種類と概要を図3.7.12に示す。

(1) モデル A (図3.7.13に示す。)

最も簡便なシステムで、作業者は段取りステーションの操作端末で、部品番号、個数、機械電源ON、システム電源ON、加工ワークの優先度等の入力をする。

システムはパレットの内容、取付具の状態、加工部品の数量等を管理し、自動的に段取りステーション (STATION) への段取り出庫、段取り済み部品の格納、さらに機械の空き具合をみて、機械への搬送等を行う。但し、システムと機械間でのNCプログラムの通信等は行わない。

パレットに装置されたパレットコーディングシステム (PALLET CODING SYSTEM) により、機械側でNCプログラム名を判読し、機械メモリ内から指示されたNCプログラムを呼出し加工する。工具番号、工具モニター (MONITOR) 機能 (適応制御、工具寿命、予備工具等のデータ) は機械側の操作盤より入力する必要がある。

(2) モデル B (図3.7.14に示す。)

工具の自動搬送を除き、その他のシステム運用は全てシステム側で自動的に行う。システムに与えられる生産情報は、何を何個、いつまでに、という命令だけで、その後のスケジューリングはシステムが全て判断し運用する。

システムは常に機械、段取りステーション、パレットストッカー、キャリア等の状況を把握し、時々刻々、その時の最も良い運用を行う。当然のことながら、特急品あるいは割込みスケジュール (SCHEDULING) 等に素早い対応ができる。

NCプログラムは全てシステムで管理し、必要に応じて機械側へ供給する。工具運用も全てシステムが行い、システムに登録された工具情報、あるいは工具プリセッターで更新されたデータは全て把握しており、工具の交換が必要となったとき、工具室、あるいはプリ

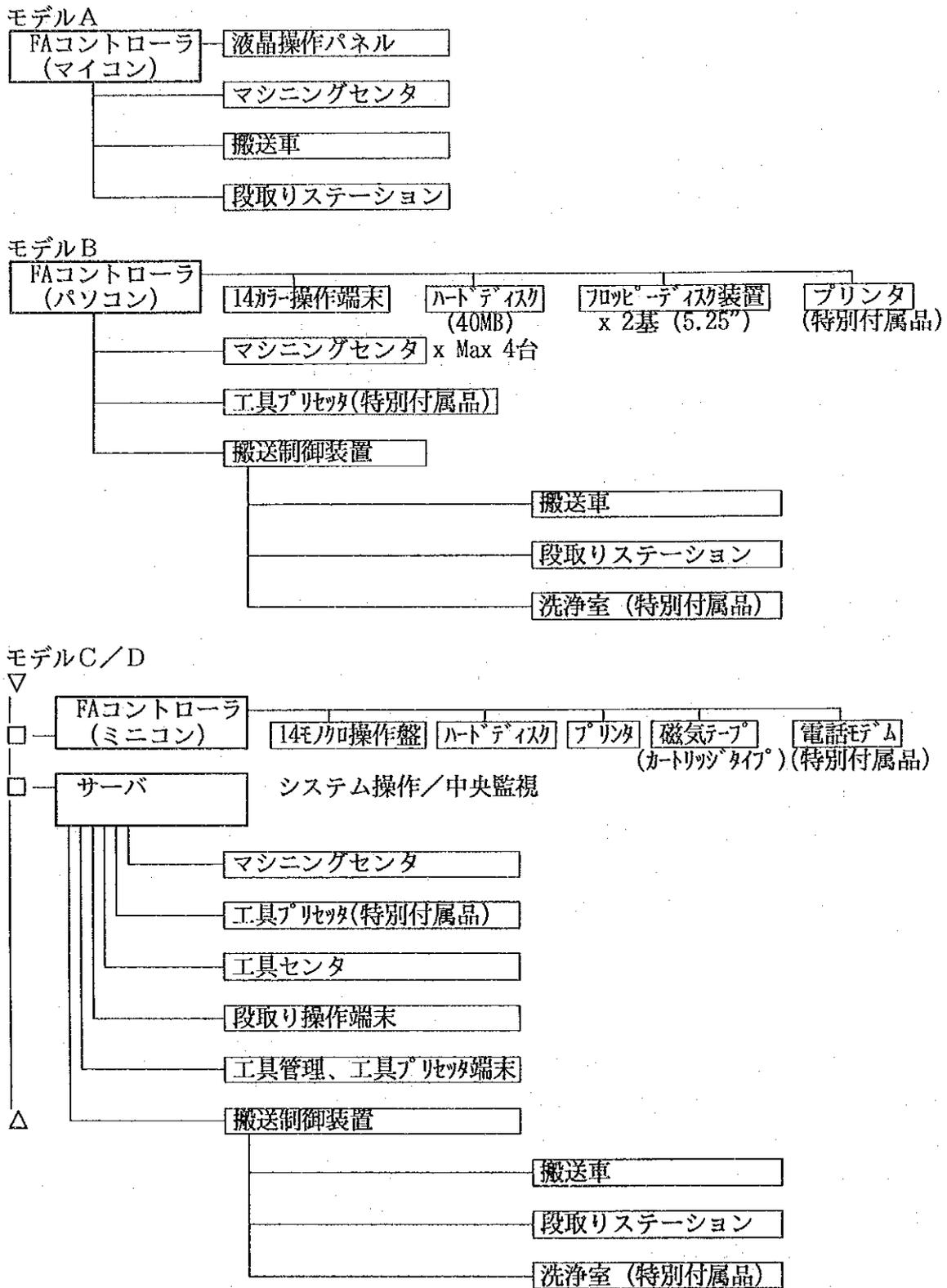


図 3.7.12 FMCシステムの概要

ッターにシステムが交換指示を出す。作業者はこの指示に従って交換工具を準備し、機械側で交換作業を行う。交換作業の終了をシステムが知ると、新規に差換えられた工具データは、自動的に機械側に送信される実用的なシステムである。

(3) モデル C/D (図3.7.15に示す。)

モデル Bと同じく、何を、何個、いつまで、という生産情報の入力のみで、システムは与えられた機械、キャリア、段取りステーション、取付具、パレットストッカーはもとより、システムで保有している工具等を最も効率的に運用することができる。基本的なデータのみを人間が取扱えばあとは全て自動で行う。最も高級なシステムである。

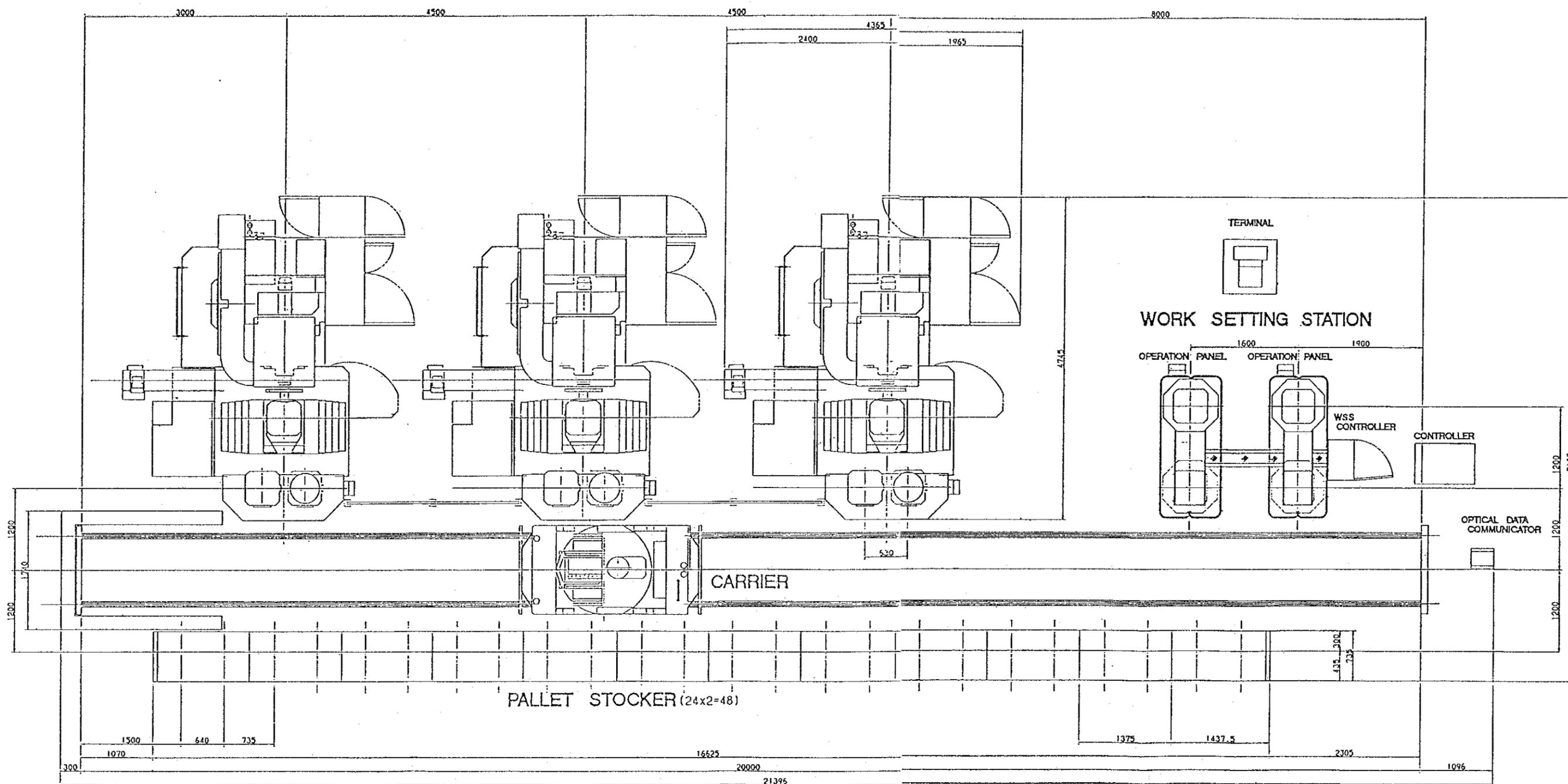


図 3.7.13 FMCシステム平面図 (モデルA)

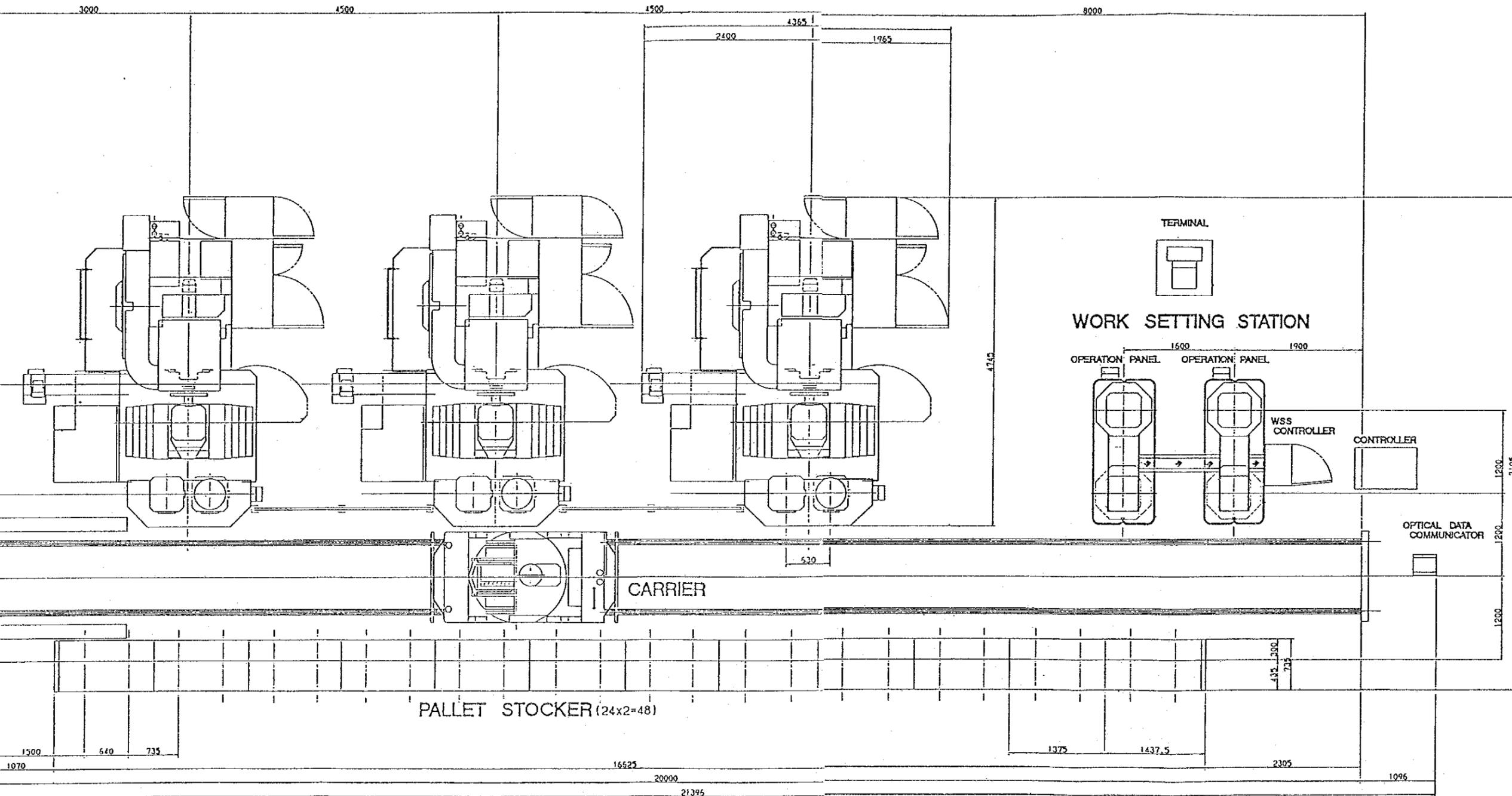


図 3.7.13 FMCシステム平面図 (モデルA)

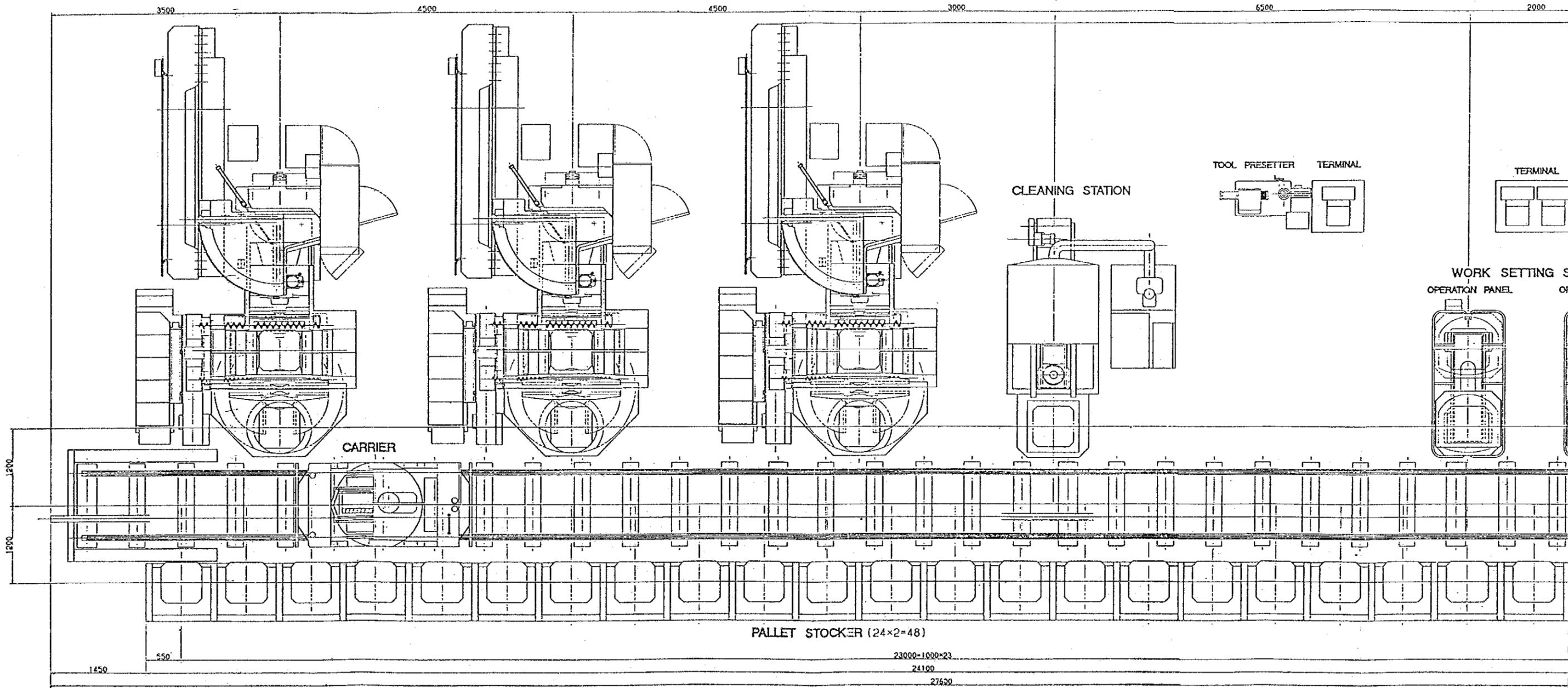


図 3.7.14 FMCシステム平面図 (モデルB)

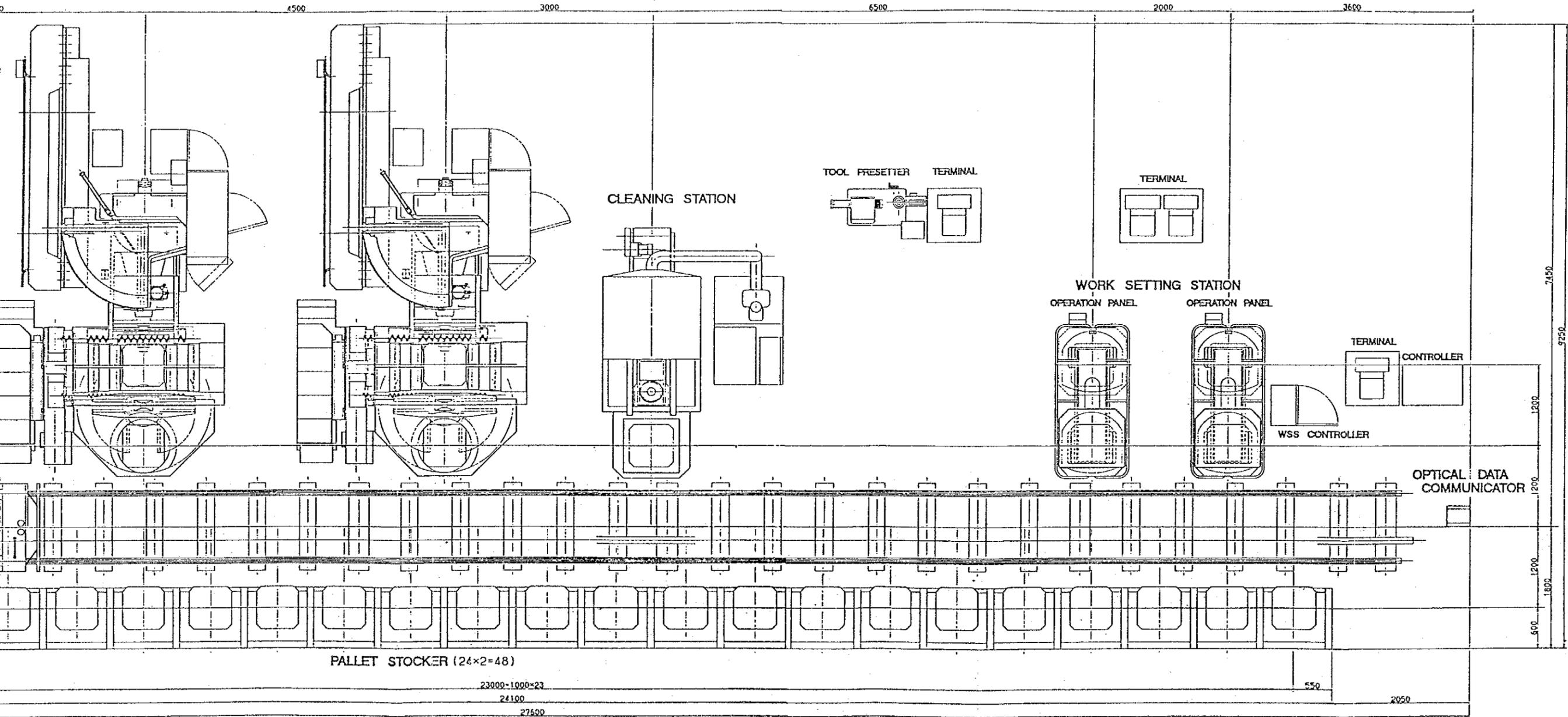


図 3.7.14 FMCシステム平面図 (モデルB)

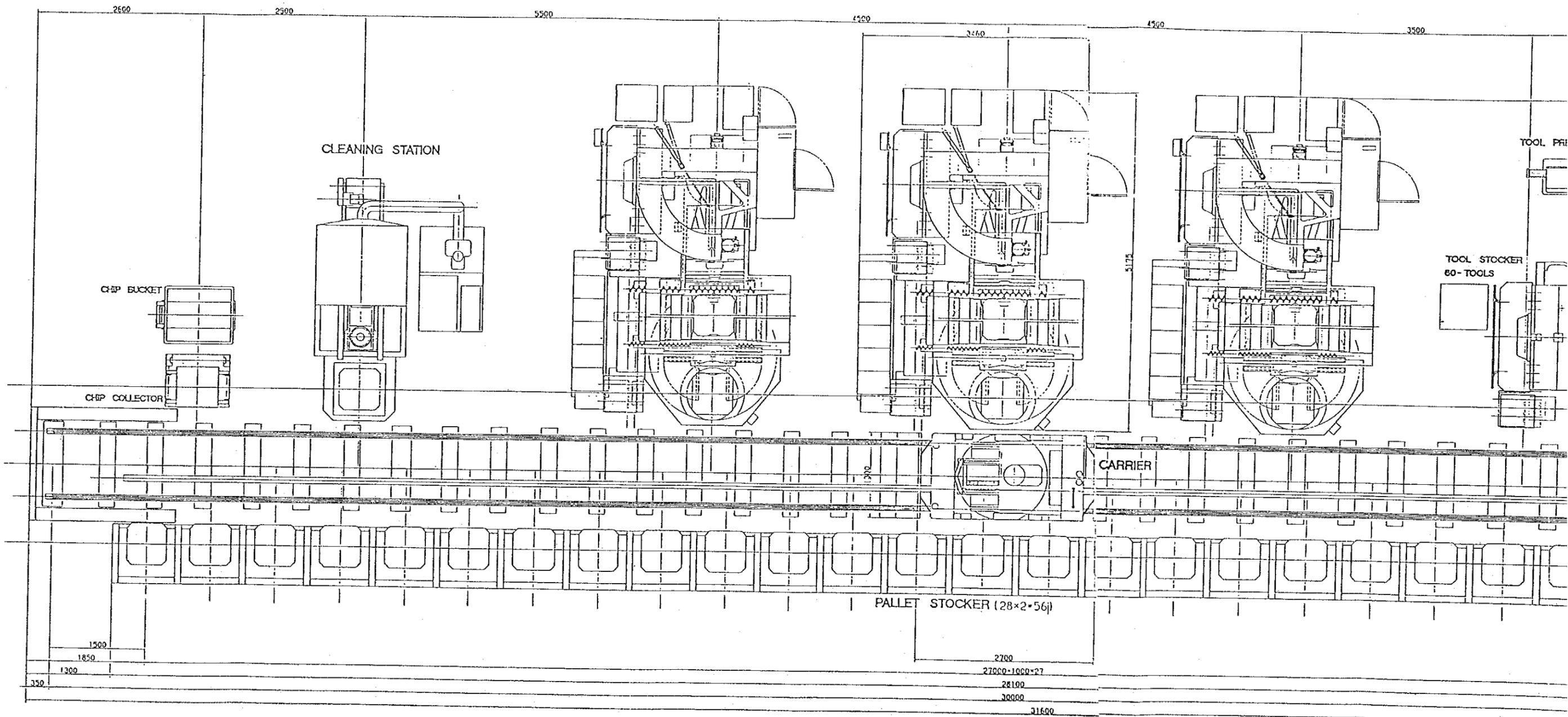


図 3.7.15 FMCシステム平面図 (モデルC/D)

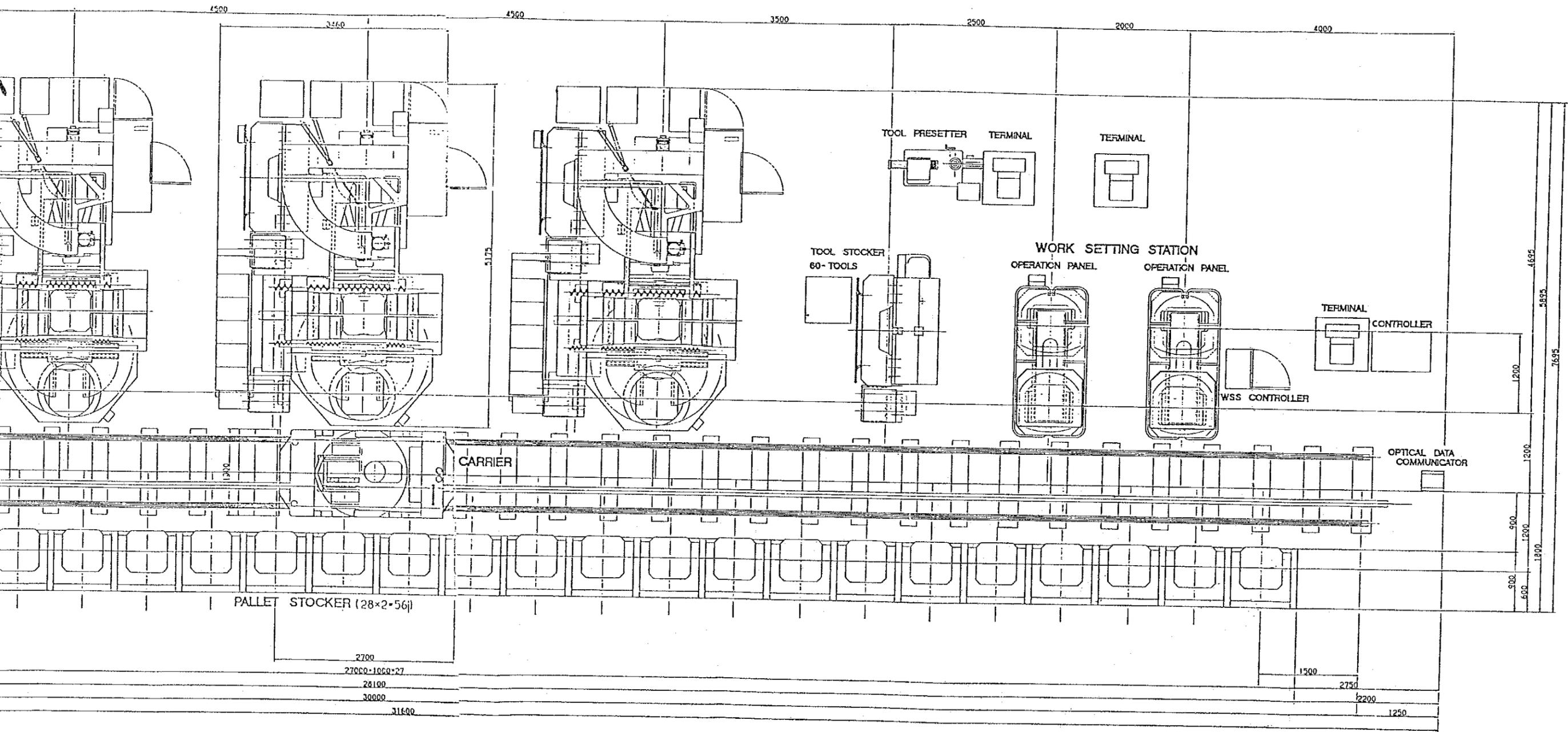


図 3.7.15 FMCシステム平面図 (モデルC/D)

3.7.6 検討依頼を受けた部品の加工時間算定結果報告

POS.	機械名	部品名	加工機械
1)	MG10100	ベッド	五面加工機
2)	MZ208	ベッド	五面加工機
3)	MZ208	箱体	マシニングセンター
4)	MG10100	軸体	マシニングセンター
5)	MG10100	前軸承蓋	マシニングセンター
6)	MG10100	后軸承蓋	マシニングセンター

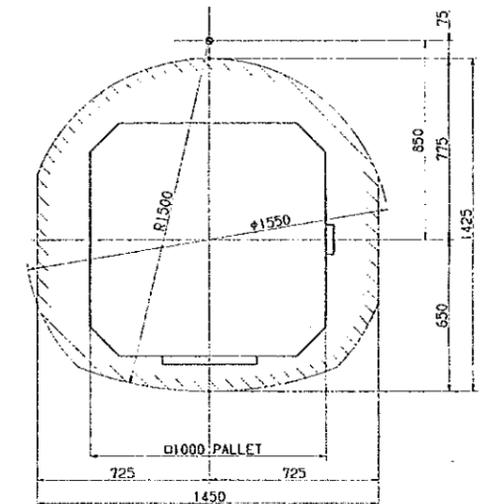
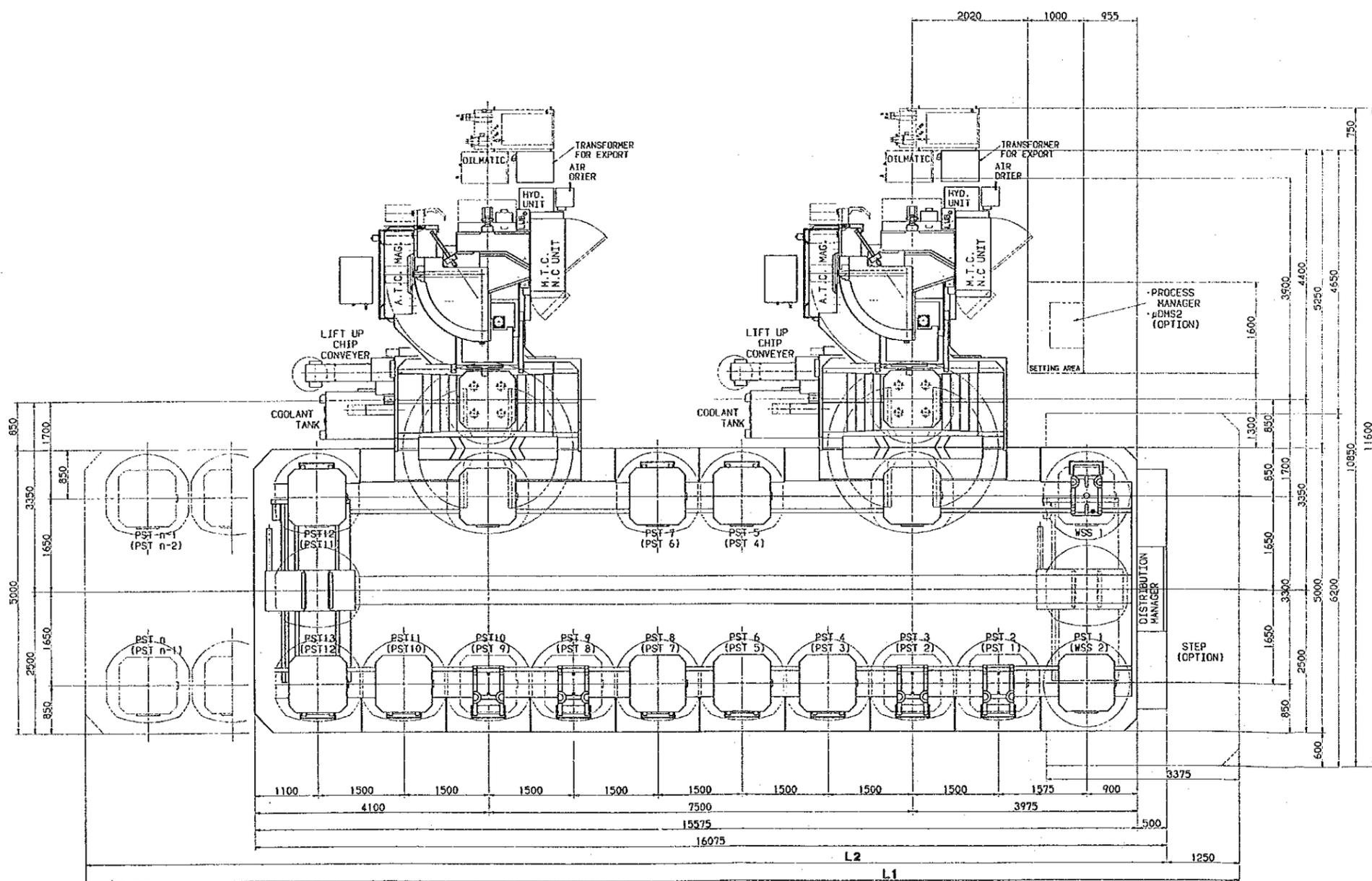
6点の部品に関し、五面加工機（大型マシニングセンター）および、横形マシニングセンターでの加工時間算定は、加工検討報告書1/5～5/5で、その詳細を報告したので検討して下さい。“機械加工合理化のための基本的考え方”の項で述べたことが、良く理解できると思われる。

3.7.7 FMCによる能率的機械加工のシミュレーション

本工場の主要部品である、MZ208の箱体、MG10100の軸体について、システム、モデルAを採用したFMC（FLEXBLE MANUFACTURING CELL）で、コンピュータによるシミュレーション（SIMULATION）を実施したので、参照して下さい。

これによれば、機械稼働状況、作業者の稼働状況と、段取りステーション（WSS1、WSS2）の状況、および、システム全体の稼働が理解できると思う。

参考までに比較資料として、8時間/月の結果も添付した。なお、FMC、システムの一例を図3.7.16および写真3.7.16に示す。



LIMITATIONS OF WORKPIECE (S-1/10)

WSS 1#	WSS 2#	L1	L2
13	12	17325	16075
15	14	18825	17575
17	16	20325	19075
19	18	21825	20575
21	20	23325	22075
23	22	24825	23575
25	24	26325	25075
27	26	27825	26575
29	28	29325	28075
31	30	30825	29575
33	32	32325	31075
35	34	33825	32575

図 3.7.16 FMCシステムの一例

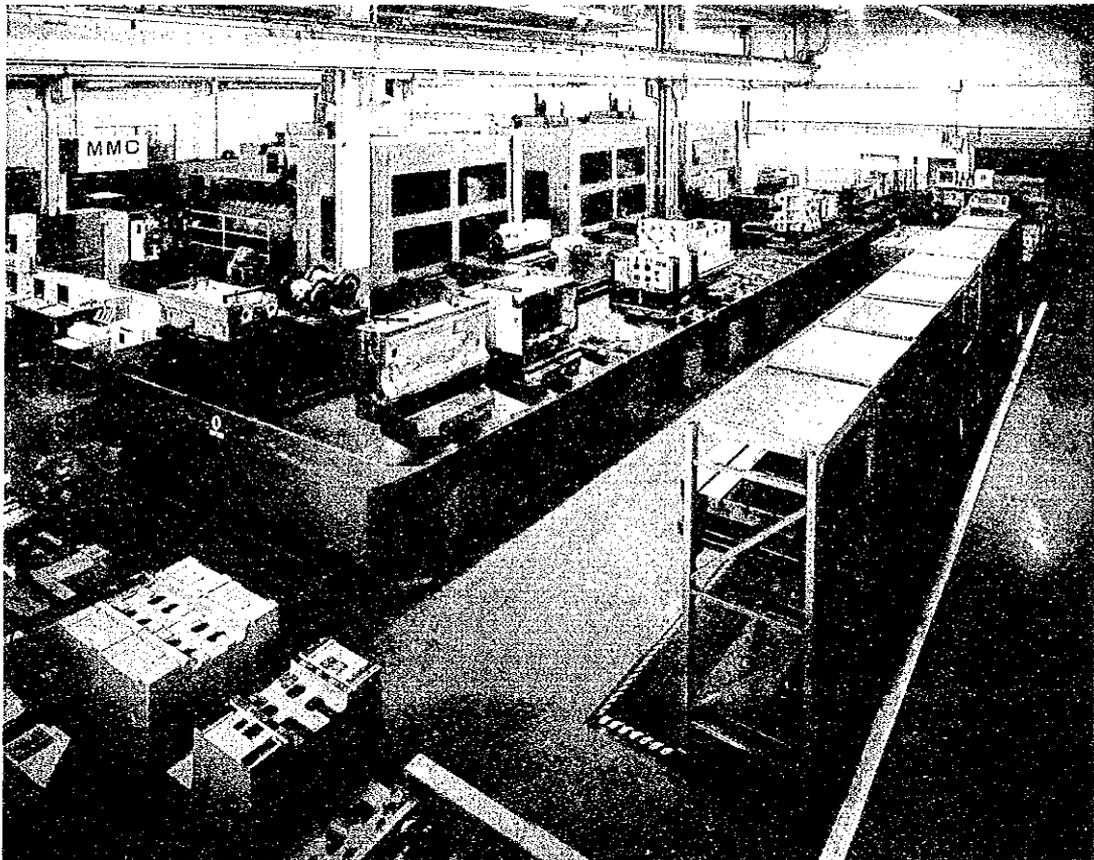


写真 3.7.16 FMCシステムの例

3.7.8 日本における近代的工作機械工場の紹介

添付資料 5に日本に於ける近代的工作機械工場の写真を紹介する。 8.5計画実施の参考にしてみたい。

3.8 組立工程の現状と問題点（組立工程での品質保証）

“組立工程での品質保証”の標題のもとに、生産技術部責任者と、先方提出の質問事項について、質疑応答を行った。また、センターレス研削盤、内面研削盤、軸受研削盤、試作工場、高周波砥石軸の、各工場を調査した結果、下記の問題点を指摘した。また、この改善のための提案を、3.8.4項で説明する。品質保証における、客先クレームの取扱いについては3.8.5項で提案するので改善を希望する。

3.8.1 組立工場の作業管理と組立レイアウトの問題点

組立工場の作業は1人ないし数人の作業者が固定された1台の機械に配置し、部品を集め、作業を消化していく過去の方式に近い手法で行われていた。近年、機械の多様化、複雑化、部品点数の増加等で、作業者の技量の個人差等、多くの問題があるにもかかわらず、習慣化、惰性化して能率向上を妨げているのではなかろうか。

問題は管理上の無駄である。即ち、1)人が移動する無駄、2)物を運搬する無駄、3)部品や工具を探す無駄、4)図面を何度も見る無駄、5)部品待ちの無駄などがあるが、組立工場の調査の結果、これらの改善活動の実態が理解できなかった。

各組立工場とも、組立途中の機械や部品が搬入道路をふさいでいた。写真3.8.1、写真3.8.2のように部品や機械が雑然と並べられており、組立レイアウトの考え方がよく理解できず、組立工程の流れが分からなかった。このような状態で、組立の管理者は、組立の日程計画に対する進行状況や、組立工程での問題点の早期発見等の管理上の問題点を何により状況判断しているのか理解できなかった。おそらく作業任せではあるまいか。

全体として特に、センターレス研削盤、軸受研削盤職場は感心しない。試作工場は台数が少ないため一応組立工場らしい。また、写真3.8.3に示すように、組立途中の機械が非常に汚れている。修理機械ではないかと錯覚をした。最後に、塗装するのだからという作業者のモラルの問題かもしれないが、後工程での塗装作業を、最小限にする配慮が前工程で必要であるのではないか。“後工程に迷惑をかけない”ということは品質管理上の基本問題である。

組立工程における品質保証は人為的な問題を多く含んでいる。すなわち、作業者の技量、作業者のモラルの問題等が大きな要素となる。これらを管理する上で、各工程における標準作業表、組立進度表（一部で使用されていた。）、機械の仕向先仕様等の管理資料があまり見あたらない。これを明示して、管理者は作業者に作業内容を徹底するとともに、これらを活用することにより、組立品質の維持と問題点を早期に発見して、品質、納期の確保と、能率向上を図る管理体制を強化する必要がある。

また、工場内の整理、整頓、清掃、しつけを徹底すべきである。全体の印象は生産が優先して、これを効率よく実施し品質保証に結び付けるための作業管理が不十分である。



写真 3.8.1 無錫工作機械工場の組立工場(1)

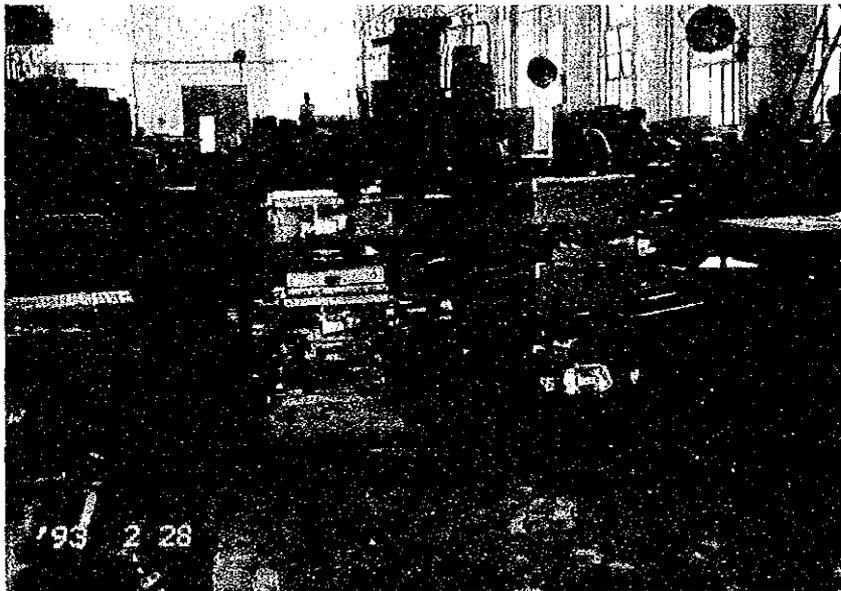


写真 3.8.2 無錫工作機械工場の組立工場(2)

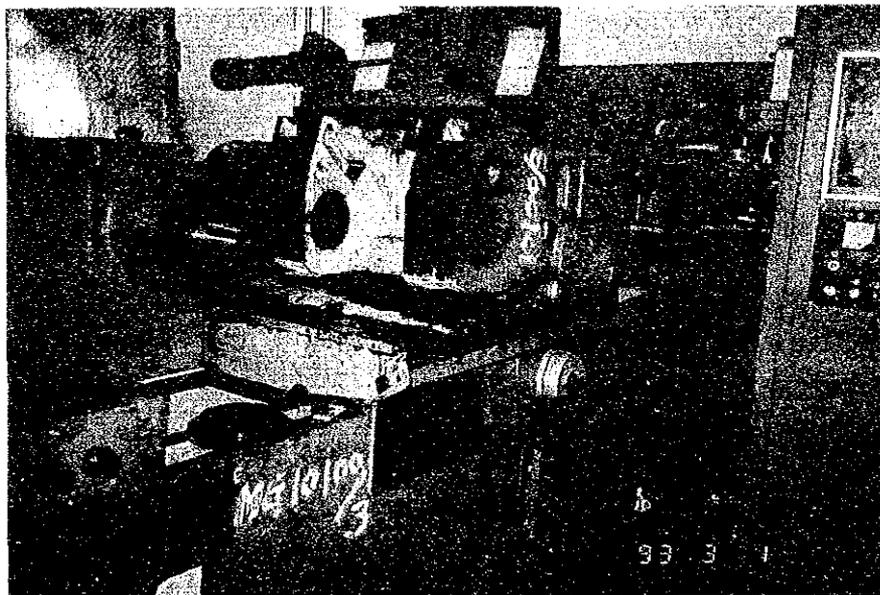


写真 3.8.3 無錫工作機械工場の組立途中のセンターレス研削盤

3.8.2 高周波砥石軸組立職場の問題点

高周波砥石軸組立職場は機械加工を含めた別建家になっており、高精度の組立職場として大変良いレイアウトであるが、品質的に問題がありそうだ。

最大の問題は砥石軸寿命について、かなりバラツキが多いことである。GMNの保証寿命に対し、1/2程度と推定される。管理面、設備面について、下記に個別の問題点を指摘する。なお、設計に関する問題については3.10現有製品の性能に関する現状と問題点で述べているので参照願いたい。

この組立工場での各種スピンドルの試運転時間について、品質保証の面より再検討する必要がある。特にdn値の高い高周波砥石軸に関して、報告によれば、スピンドル室で2時間、実機で8時間が標準であるとのこと。我々の経験からして、この種の高速砥石軸の品質保証は難しい。また、温度の測定は携帯温度計を使用しているだけで、性能に影響する温度特性の把握が不十分である。高速砥石軸の静的精度がいくら良くても、これは単なる目安で、連続運転での品質の安定が重要である。実機で8時間試験するからという安易な考え方でなく、品質保証の原点である、“品質は各工程で作り込み、後工程には不良品を送らない”という観点で、これらの再検討が必要である。

部品の洗浄に関しても、別に設備はなく（超音波洗浄機は性能不良で使用していない）作業者がガソリン(GASOLINE)で洗っている状態では工程での保証につながらない。また、2階のスピンドル室は、空調設備、クリーンルーム(CLEAN ROOM)設備がない。なぜ高性能な砥石軸を組立、管理するスピンドル室に、これらの設備がないのか理解できない。是非設備すべきである。整理、整頓、清掃、しつけを徹底し、ユーザーに対し砥石軸の品質保証の状況を見せることも、本工場の営業政策の一つであろう。

高速砥石軸の品質が、これが組み込まれている機械全体のユーザーにおける評価となる。

3.8.3 組立工場に於ける部品の取扱いと保管の問題点

無錫工作機械工場に於ける、倉庫から各職場へ搬入される箱については、重要な部品、一般の部品の2種類に分かれており、この製造と管理は“生産処”が行うしくみになっている。(15)で現在計画中の自動倉庫の内容に合わせたパレット(PALLET)及び保管箱については、部品の種類、高精度部品、形状等の機能別に層別した保管箱を標準化することが必要である。完成部品の品質を保証するための運搬管理が重要となる。

各組立工場とも倉庫から搬入された部品の保管棚が明かになっていない。写真3.8.4のごとく寸法の異なる鉄板製の箱に入り、組立職場に放置されているのが多く目についた。このことに関して搬入する倉庫側と受取側の組立との業務上の仕組みはどのようになっているであろうか。また、数量の確認はどのようなくみでなされているのか。“必要な数量を必要な時に”、これが部品供給の基本で、守られているのか、疑問である。

自動倉庫の稼働時までにはぜひ、この管理を徹底しなくてはならない。また、搬入の荷姿についても、一例であるが、写真 3.8.4に示すように、全く無関心の状態で搬入されている。内容物は、制御に使用するバルブ類であるが、このような荷姿では、機器の破損、特に故障につながるリード線の損傷等、品質保証以前の問題である。また、部品の数量が組立で、すぐに必要とするのかどうか疑問な点が多い。写真 3.8.5は、サブ組立された制御器が床上に積み重ねられている状況を示す。これらの写真は一部であり、十分注意管理することを要望する。

3.8.4 8.5計画に於ける組立工場設備の重点実施事項

大物機械工場の移転跡に 72m x 75mの建家を改築し、センターレス研削盤、軸受研削盤の組立職場(9)(10)とし、1993/7完成予定の内面研削盤職場(12)を集中配置する計画である。これは建築中の立体自動倉庫及び案内面研削盤職場とも近く、運搬の合理化が期待できる良い案である。しかし、日本における立体自動倉庫は組立工場と直結しているか、内部に設け、倉庫外部の道路を経由しての物流は行っていない。

この配置は組立と倉庫との情報管理が容易となり、運搬時間の短縮、PALLET、BUCKETの回収が容易になる等の利点がある。また、雨天対策の必要もなく、外部搬送の欠点の一つである組立工場への運搬車による泥、ゴミ等の侵入防止が出来ることである。

日本に於ける工作機械工場での最先端の自動倉庫について紹介する。

これは自動倉庫を中心とした物流が基本になっている。組立工場内にある自動倉庫に12,000パレットを有し、標準化されたバケット数、23,000個、1パレット2tの容量で、倉庫と組立工場とはオンライン(ON LINE)化され、この倉庫を中心として、その日の必要部品、すなわち社内加工品、購入品、外注品を組立工場のステーションへ25台の無人搬送車により自動供給されるシステムで運用されている。これは倉庫を基準とした、新しい工程管理方法である。なお、大物重量物は機械工場から専用通路により直接組立工場に送られている。無錫工作機械工場においても、将来は組立工場と一体になった自動倉庫の計画を検討すべきである。

(1) 組立ラインの合理化 (タクト生産方式)

8.5計画で実施する、(9)、(10)及び、1993年 7月完成予定の(12)について、現製品の品質向上、CNC機の増加を考慮して、空調設備を実施することを強く要望する。また、これを維持管理するためにも、整理、整頓、しつけ、について全社的な活動として推進する必要がある。

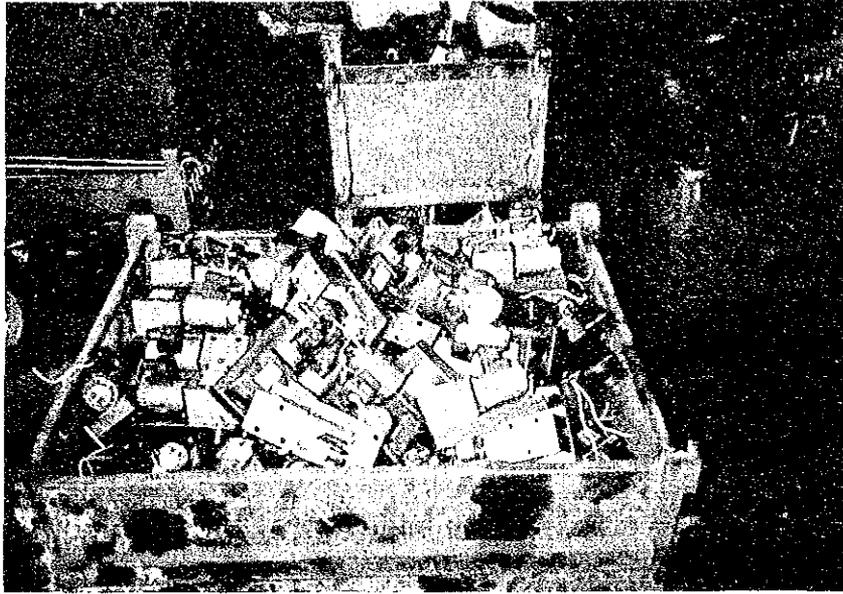


写真 3.8.4 無錫工作機械工場の組立職場における購入部品の保管状況(1)

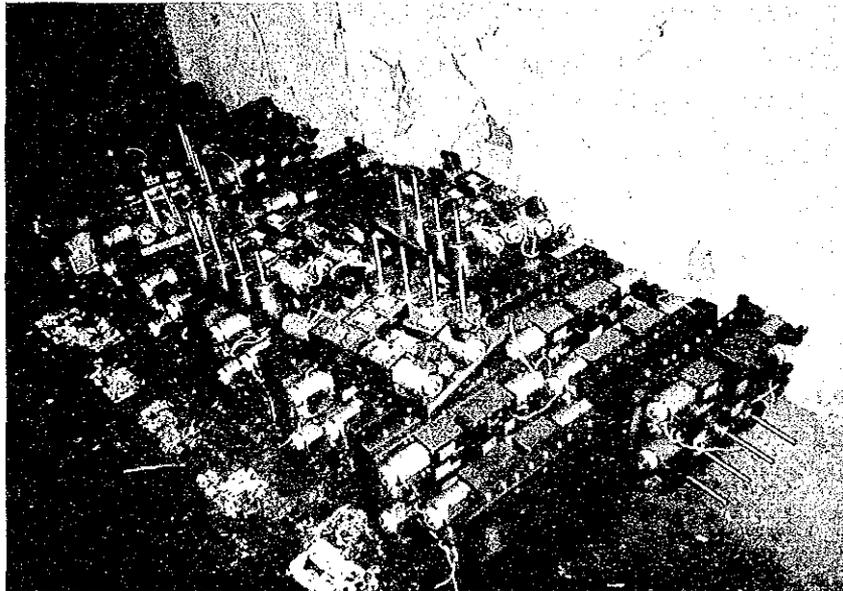


写真 3.8.5 無錫工作機械工場の組立職場における購入部品の保管状況(2)

このことは、新機械工場も同様である。工場が新しくなるから良くなろうという安易な考えを持ったならば、工場の近代化は難しい。工作機械の組立ラインは機械を固定して、工程順に組立を実施するのが一般的であるが、これが習慣化、惰性化して、効率的な組立をする上での問題点、すなわち責任の問題、作業者の質の対応等が問題となり、管理面からみても、組立の進捗が見えにくいなどの原因となる。

これらを解決するためには、一定のリズムで作業を行うことである。これを実行するために、自動車生産工場で実施しているようなタクト（TACT）生産方式が、工作機械にも適用されている。すなわち機械は固定でなく、一定の時間をおいて移動し、各工程を経て組立完了するので、10t以下の小型機械に適用されて効果を上げている。

機械の移動は、機械を台車に乗せ、レール上を牽引する方式であったが、この方式によるとラインが固定化され、レイアウト変更の融通性がなく、設備費が大きくなる欠点がある。これを補い、タクト生産方式のメリットを発揮した組立ラインの内容を報告する。無錫工作機械工場の機械は重量10t以下が大部分で、MG10100、3MZ202、3MZS135、3MZW205、MBD2110、について調査したところ、5機種の大組工程の平均は約8工程で、また小組ユニットの平均は8ユニットであるので、タクト生産方式に適した機械と判断する。写真3.8.6は、機械重量8.5tのマシニングセンターにおけるタクト生産のラインで、図3.8.1は各組立工程のライン構成を示す。このラインの管理上の基本事項は下記の通りである。

1. 機械のタクト時間は1.5日で、ステーション間を移動する。
2. 必要な部品、治工具類、測定器は、各ステーションに配置する。
3. 各ステーションでは作業員1名が役割分担と責任分担が明示された標準作業表に基づき決められた作業を反復実施する。
4. 機械本体の移動は、写真3.8.7に示すΦ500mmのエアスケーター（AIR SKATER）により行われる。工場エアを接続接手により供給し、機械を浮上させ移動させる。当然のことながら床面平坦度と床面塗料の選定は必要である。
5. 各工程での検査には検査員を配置せず、組立作業員の責任による自主検査を実施し、検査表に測定値を記入する。また、写真3.8.8に示すごとく、ラインにはボールネジのピッチ補正のためのレーザー（LASER）測定器や温度測定用の多点式温度計等が配置してある。

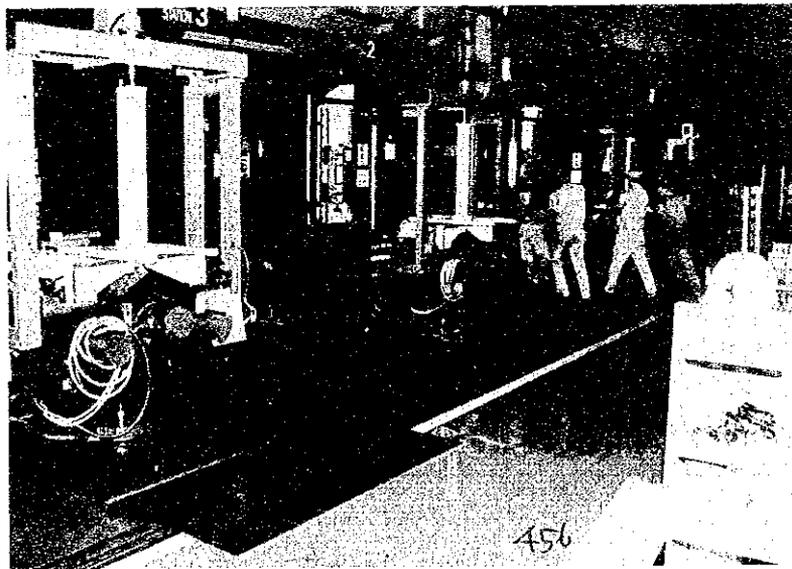
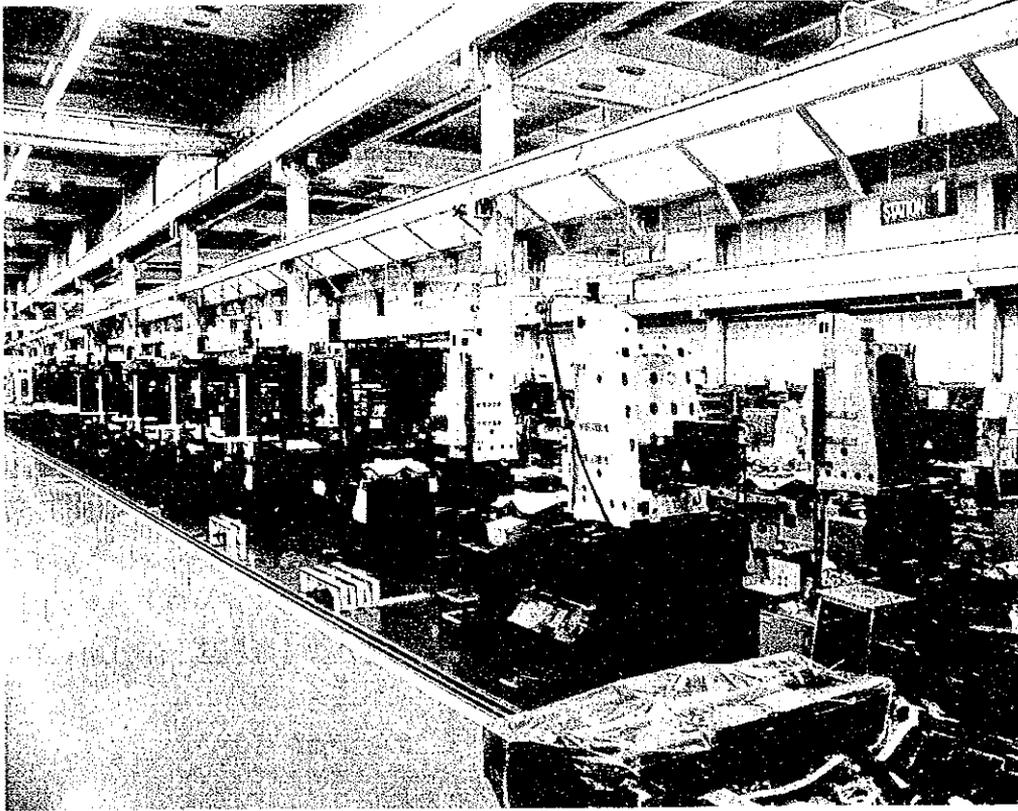


写真 3.8.6 マシニングセンターのタクト生産方式の状況

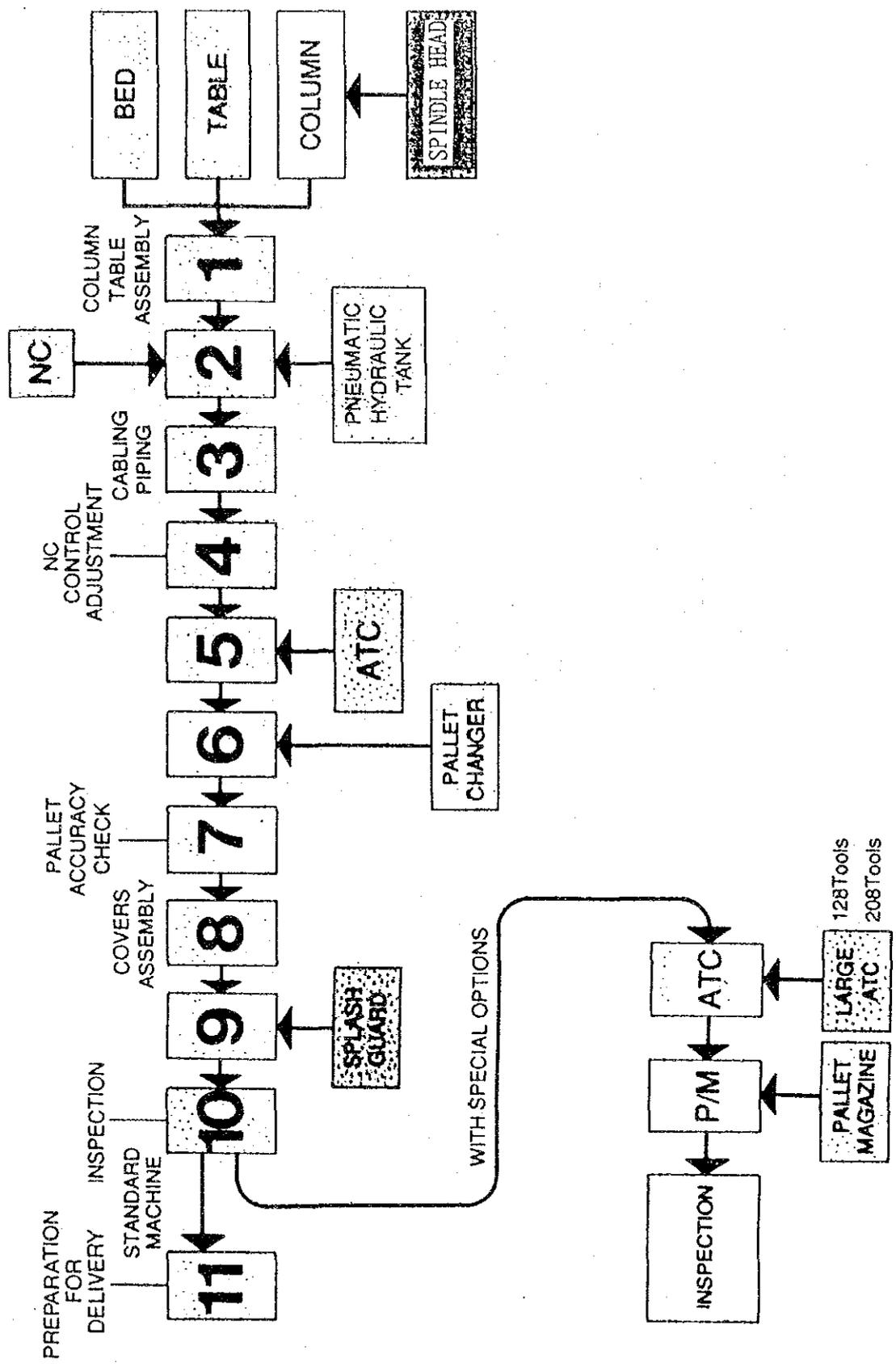


図 3.8.1 組立工程のライン構成

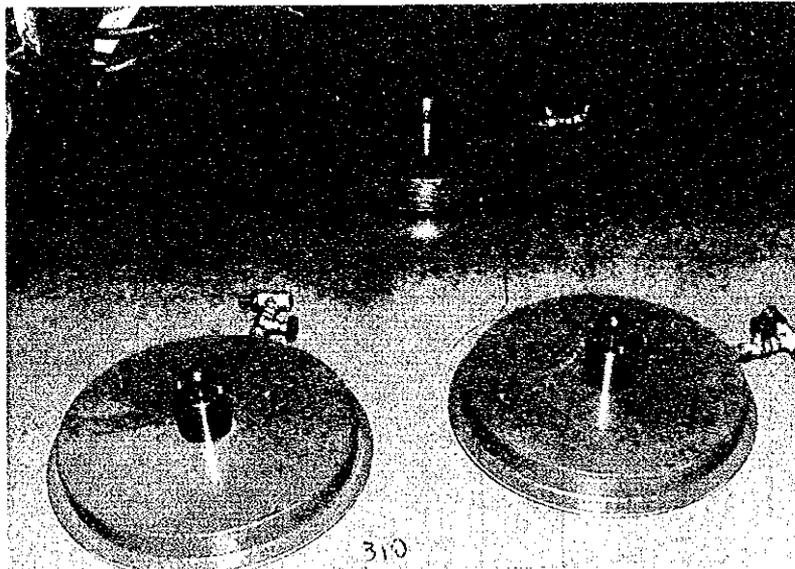
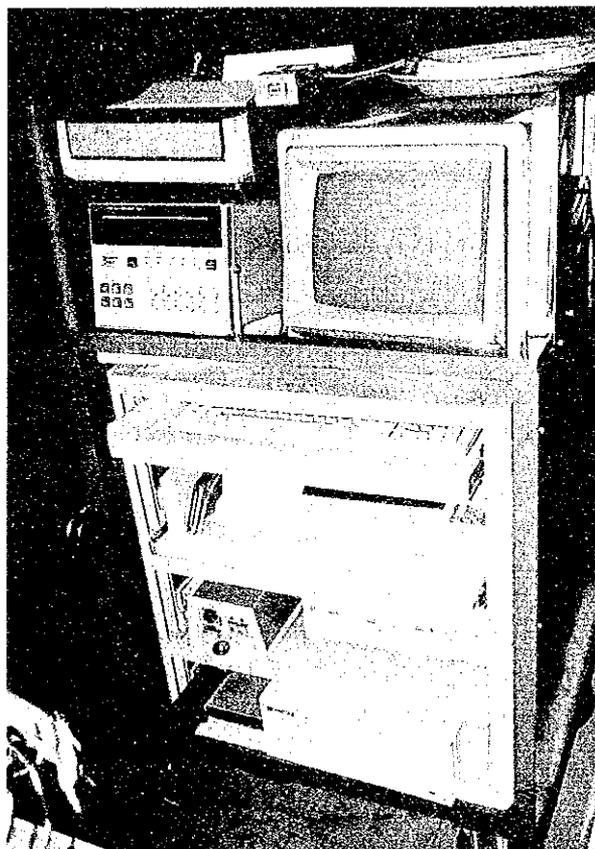


写真 3.8.7 エアースケーター (φ500mm)

レーザー測長器



多点式温度計

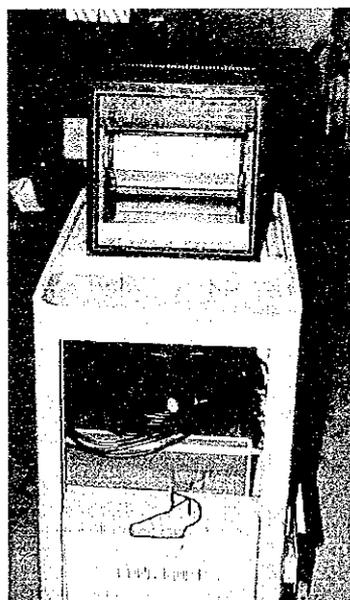


写真3.8.8 測定のための計器類

6. 各個運転を必要とするステーションでは、無人で夜間運転を実施する。最後のステーションでは、全機能運転として、品質保証を図る。これにより、組立完了後の機能運転検査時間の省略となり、このための検査員は必要としない。
7. 電気配線時に組立作業員が一部応援し、配線時間の短縮を図る。組立作業員の有効活用。
8. ライン組立作業員以外に、専任の部品供給係 2人と班長、組長、計 2名を配置し、進捗状況の把握、部品供給の状況、技術指導、問題発生時の対応などのライン全体の管理を行う。写真 3.8.9は進捗管理図の一部である。この写真で傾斜生産の状況が理解できると思うが当然のことながら、類似機種^①の混流生産は可能であり、研削盤やCNC旋盤においては 5機種程度の混流生産を行っている実例もある。

以上がライン構成の内容であるが、実施結果の効果として、生産管理上の利点は、下記の通りである。

1. 品質管理の基本である品質は、各々の工程の作業者が、設定された範囲の作業とチェックに集中でき、各工程の中で品質が作り込まれ、組立における品質保証の基礎ができる。
2. “目で見える管理”ができ、納期の確保と問題点の早期発見、と対策が迅速になる。
3. 組立工程を含めた全体の生産管理上の各工程における責任の明確化ができる。
4. 傾斜生産が確保され、後工程の作業管理を容易になる。
5. 欠品による停滞がなくなり、1点の欠品でもラインは停止するという意識に基づいて、関係部門の協力体制ができる。また、出庫部品の何日、何時に何個必要との、正確な情報を出せるようになる。
6. 客先納期に対する正確な情報を営業部門に提供することができる。

以上の総合効果として、大幅なリードタイムの短縮と組立工数の削減を可能にした。また作業者の能力向上について、次のことが確認される。

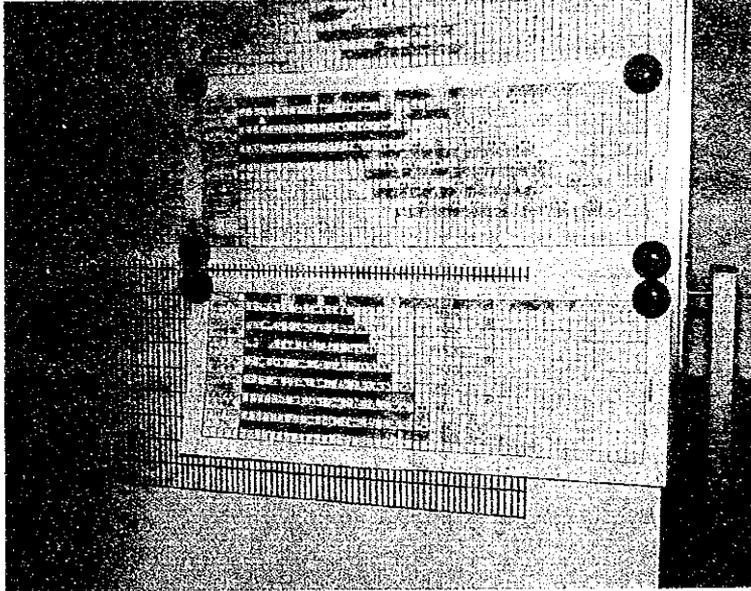


写真 3.8.9 進度管理図

1. 明確化された範囲の反復作業により習熟スピードが早まる。
2. 習熟した反復作業のゆとりの中から、工数の低減等の改善意識と改善能力を高めることができる。
3. 組立の進度は誰にでも確認でき、トラブルの発生に対する対応が早くできるようになる。
4. 組立作業者の電気配線、検査の多能工化が実現される。
5. 工程前後の作業者による、協力体制ができる。

以上述べたタクト生産方式を実施する際に、下記の事前準備が必要となる。

1. 生産技術責任者をリーダーとした、組立、検査、生産技術、電気部門の“職制を中心”とした、プロジェクトチームの編成
2. 上記のチーム員による作業標準と役割分担の明確化、ステーション数決定、タクト時間の決定
3. ライン責任者と部品供給係の決定
4. 資材部門、機械工場等関係部門への説明と協力
5. 組立作業員への内容説明と理解

以上のように、タクト生産方式の導入は、生産を効率化、安定化させ、同時に改善意識と改善能力の高い職場にすることができる。

(2) 高周波砥石軸組立職場の品質保証のための改善

高周波砥石軸組立職場は、本工場で最も精密度の高い組立職場といえる。この職場で品質を安定させる上で最も重要なことは高速砥石軸に関する経験に基づくノウハウの定量化であるので、これにそった設備及び作業の改善でなくてはならない。

設備面での改善は以下の通りとなる。

組立職場の内部を整理、改装して全室に空調設備を実施する。部屋は個々に独立してい

るので、管理上都合がよい。またこの内の1~2室をクリーンルームとして、主軸受組立専門職場とし、本工場で生産されている研削盤に使用する主軸受（動圧軸受も含む。）は、すべてこの職場で組立を実施することを提案する。日本での工作機械工場では、重要部品のサブ組立は空調された部屋、または重要度に応じてクリーンルームでの作業が常識で、実行されている。これが品質保証のための設備として定着している。

クリーンルームの空気清浄度は、U.S. FEDERAL STANDARD 209に決められている規格が一般に使用されている。即ち1ft³中に含まれる0.5μm以上の粒子個数により決められており、表 3.8.1この規格概要を示す。日本の工作機械工場では一般に 10,000、100,000が多く使用される。この詳細については、中国においても半導体関係の設備に利用されているので、この方面を調査されたい。

次の設備として洗浄装置がある。作業によるガソリンでの手洗浄は廃止し、高速軸受に使用する部品全点について、超音波洗浄装置を使用しなければならない。

一般に用いられる超音波洗浄装置は洗浄工程（超音波）→すすぎ（必要に応じ超音波）→熱風乾燥（エア）の3段階に分かれ、一体型となっているものが多く、（あるメーカーの）超音波発振器は、発振器容量40KHz~500Wのものが使用されている。詳細については中国の専門メーカーと打ち合わせされたい。

なお、一般部品の洗浄装置について、本工場で生産技術関係者と打ち合わせの際、質問があり、これに対し、一般的な回答をしたので、更に具体的な内容を報告する。図3.8.2洗浄装置の構造図である。装置前面のバケットに部品を入れ、装置内部で転動させ、前面ドアを閉めて、起動させると、内部の架台が回転すると同時に装置内部にある上方、側面よりのノズルより洗浄液が噴出し洗浄する簡易なものである。洗浄液は約60℃に加熱された水+2~5%の水溶性アルカリ洗剤を使用する。部品を入れるバケットは1,300mm角程度が一般的である。

一方、品質保証のための作業改善方法は以下の通りとする。

この職場より出荷された砥石軸は品質が保証されているという前提の改善でなくてはならない。

1. 試運転時間、2時間程度では品質の保証はできない。この基準を過去の経験等より再検討し、改定しなければならない。
2. 品質に関係すると思われる部品の組立前の寸法再チェック、例えば、ベアリングのハマアイ寸法、軸、スリーブの基本寸法及び、形状公差の確認。これらの測定は“専門化”する必要がある、測定記録を管理する。当然のことながら、これらは出荷されるスピンドル番号に対応するものでなくてはならない。以上の測定を実施するための計測器類の整備が必要となる。

表 3.8.1 クリーンルーム、米国連邦規格の要旨

U.S. FEDERAL STANDARD 209

クリーンルームクラス		100	1,000	10,000	100,000
粒子数 個/cub. ft	$\geq 0.5\mu$	≤ 100	$\leq 1,000$	$\leq 10,000$	$\leq 100,000$
	$\geq 5\mu$	≤ 10	≤ 10	≤ 65	≤ 70
温度 (°C)	範囲	19.4 ~ 25			
	標準	22.2			
	偏差	±2.8 特別 ±0.28			
湿度 (%)	最高	45			
	最低	30			
	偏差	±10 特別 ±5			
照度	LUX.	1080 ~ 1620			

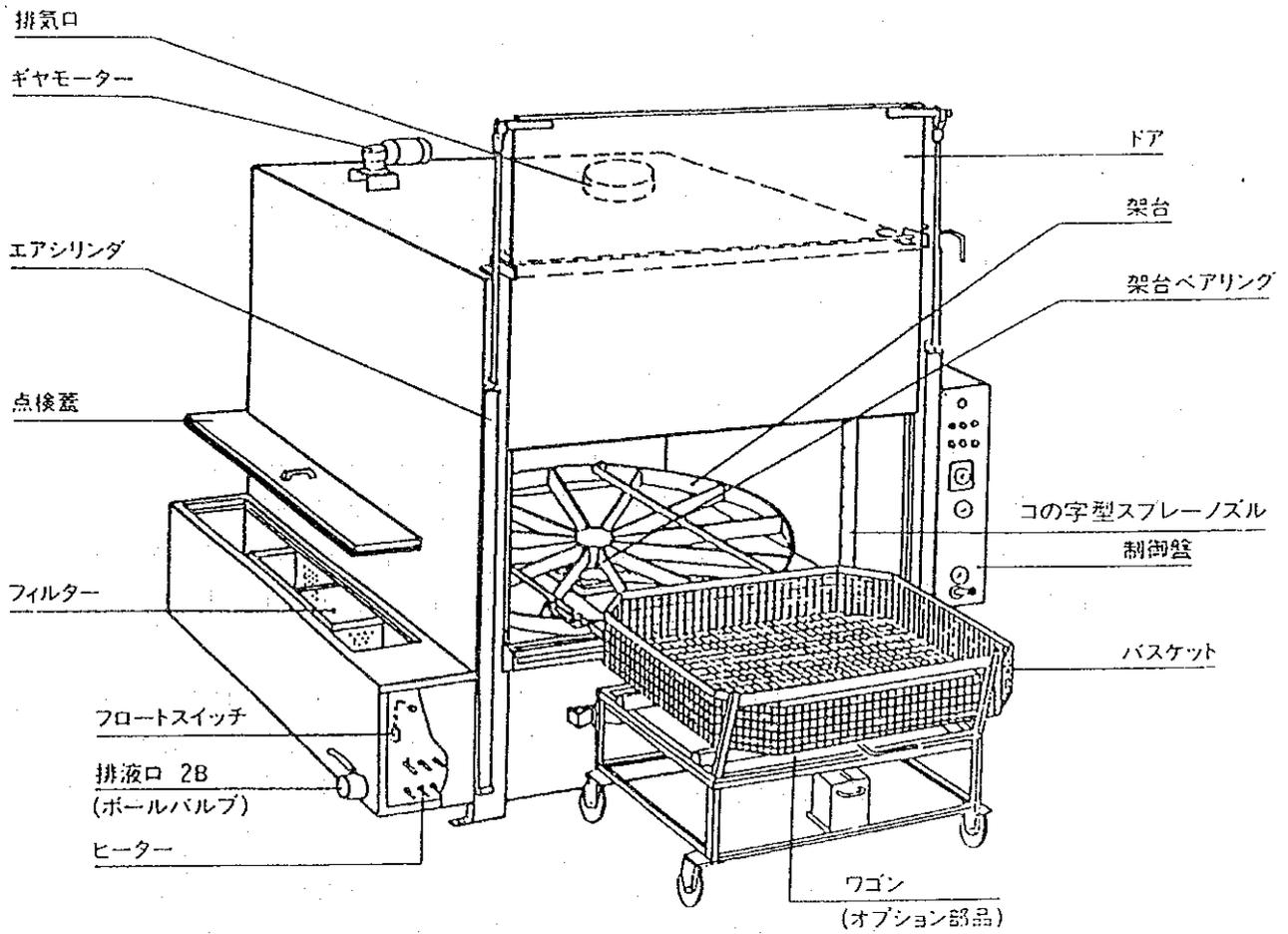


図 3.8.2 一般組立部品の洗浄装置

3. 温度測定に関しては多点式自動温度計を用い、図 3.8.3に示す温度特性グラフによる“目でみる管理”を実施し、2のデータと合わせて、経験の定量化を図る上での最も重要なデータで、これが本工場のノウハウとして製品の信頼性につながるものである。
4. 組立作業者の技術レベルの向上と個人差による影響を少なくするため、組立作業基準書を作成し、技術レベルの向上を図る必要がある。
5. 高周波砥石軸の潤滑は、オイルミスト (OIL MIST) 方式であるが、空調設備、クリーンルーム完成までは、これに供給するエアークリーン用のフィルター (FILTER) を設備する必要がある。

3.8.5 品質保証における客先クレーム (苦情) の取扱い

出荷後の機械の品質保証の状況を調査するために、関係部門に1992年度の客先クレーム (CLAIM) データの提出を求めた。このデータの調査の結果、かなり詳細な内容のもので感心した。しかし、そのデータはアウトプット (OUT PUT) されたままの生データなので、更に、原因別、責任部門別に分類したパレート (PARETO) 図にまとめて、再提出を依頼した。図 3.8.4、図 3.8.5に客先クレーム・パレート図を示す。

図に示すように、パレート図の形式が決定されているにもかかわらず、1992年3月の時点で客先クレーム解析のためのパレート図が作られていなかったことは、1992年度クレーム対策に対してどのようなアクションをとられていたのか、心配である (一方的な解釈かもしれない)。

1992年度の出荷台数は工場提出資料 (工場概況 17P) によれば、2020台であり、これに対して、客先クレーム件数、228件は12%に相当し、決して少ない数字とは言えない。このような現状にありながら、どのような対策がなされたのか、また、客先クレーム内容に対し、関係部門の再発防止対策、すなわち無錫工作機械工場での、D評価時点における品質保証体系図に示してある品質情報のフィードバックと品質改善について、品質改善会議の活動に多くの疑問がもたれる。

客先クレームを集計し、パレート図化するとともに、問題を明確にした再発防止活動は品質保証活動の重要な一部であることを再認識し、“PLAN→DO→CHECK→ACTION”の管理サークルを回すことが重要で、“無錫工作機械工場品質保証体系図”に基づき、現状を再点検して将来に備えての確実な運営を要望する。

最後に一言追加する。品質に関する打ち合わせの過程で電装品、油圧部品等の購入品の質が悪いために故障が多いという発言をしばしば耳にした。事実そうであるのかも知れないが、問題をすり替えているのではなからうか？

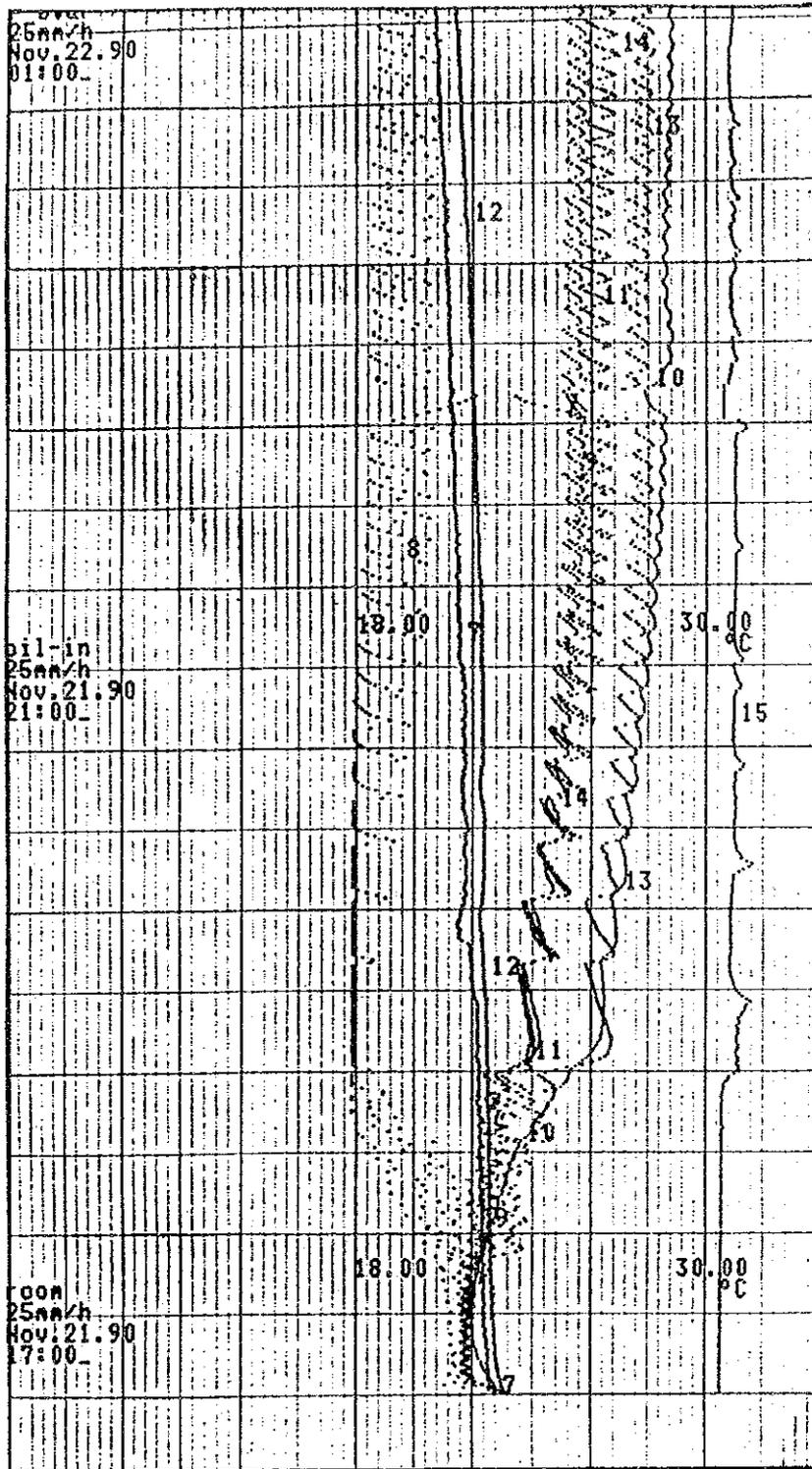
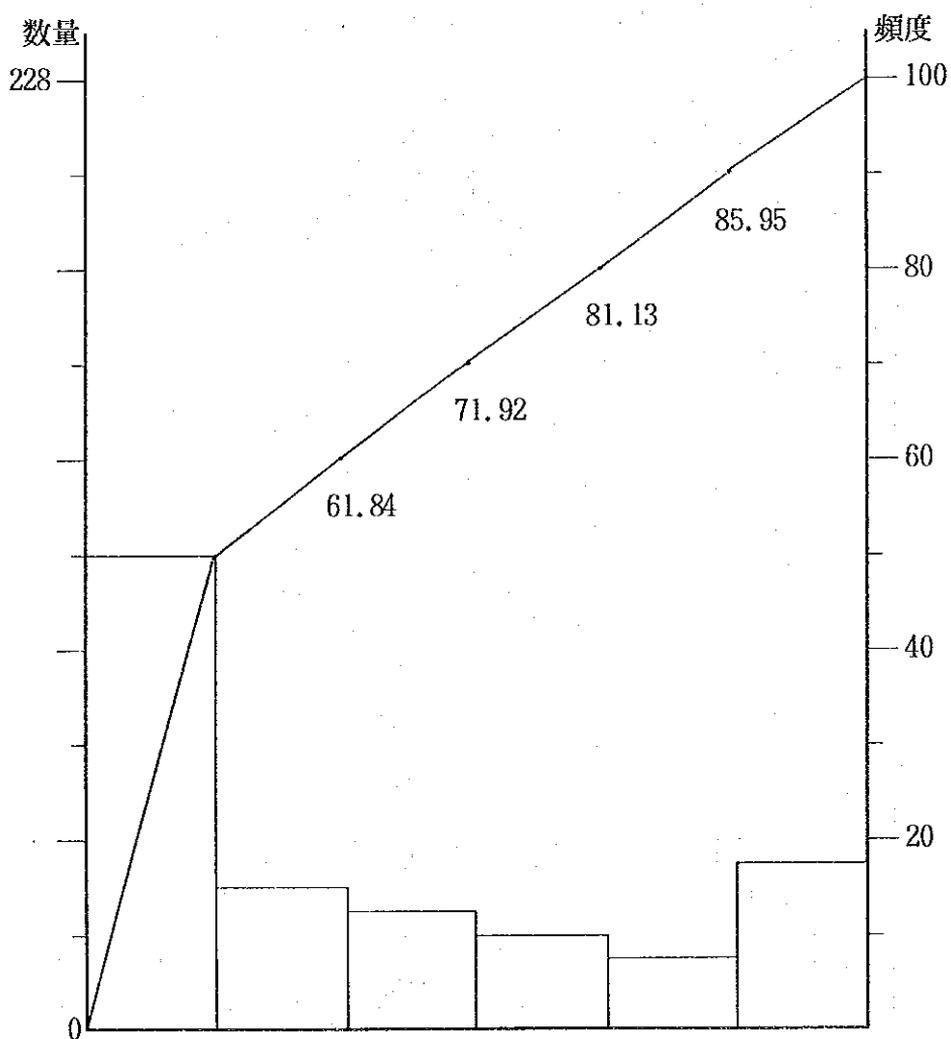


図 3.8.3 多点式自動温度測定器による温度特性グラフの実例

原因	作動不良	部品不良	電装品	研削工具不良	油漏れ	その他
数量(台)	115	26	23	21	11	32
数量累計		141	164	185	196	228
頻度(%)	50.44	11.40	10.08	9.21	4.82	14.05
頻度累計		61.84	71.92	81.13	85.95	100



(原因) 作動不良 部品不良 電装品 研削工具 油漏れ その他
不良

図 3.8.4 原因別客先クレーム (1992年)

部 門	試 運 転	製 造	セ 外 部 品	取 り 付 け	輸 送	そ の 他
数量 (台)	82	54	39	28	11	14
数量累計		136	175	203	214	228
頻度 (%)	35.96	23.68	17.11	12.28	4.82	6.15
頻度累計		59.64	76.75	89.03	93.85	100

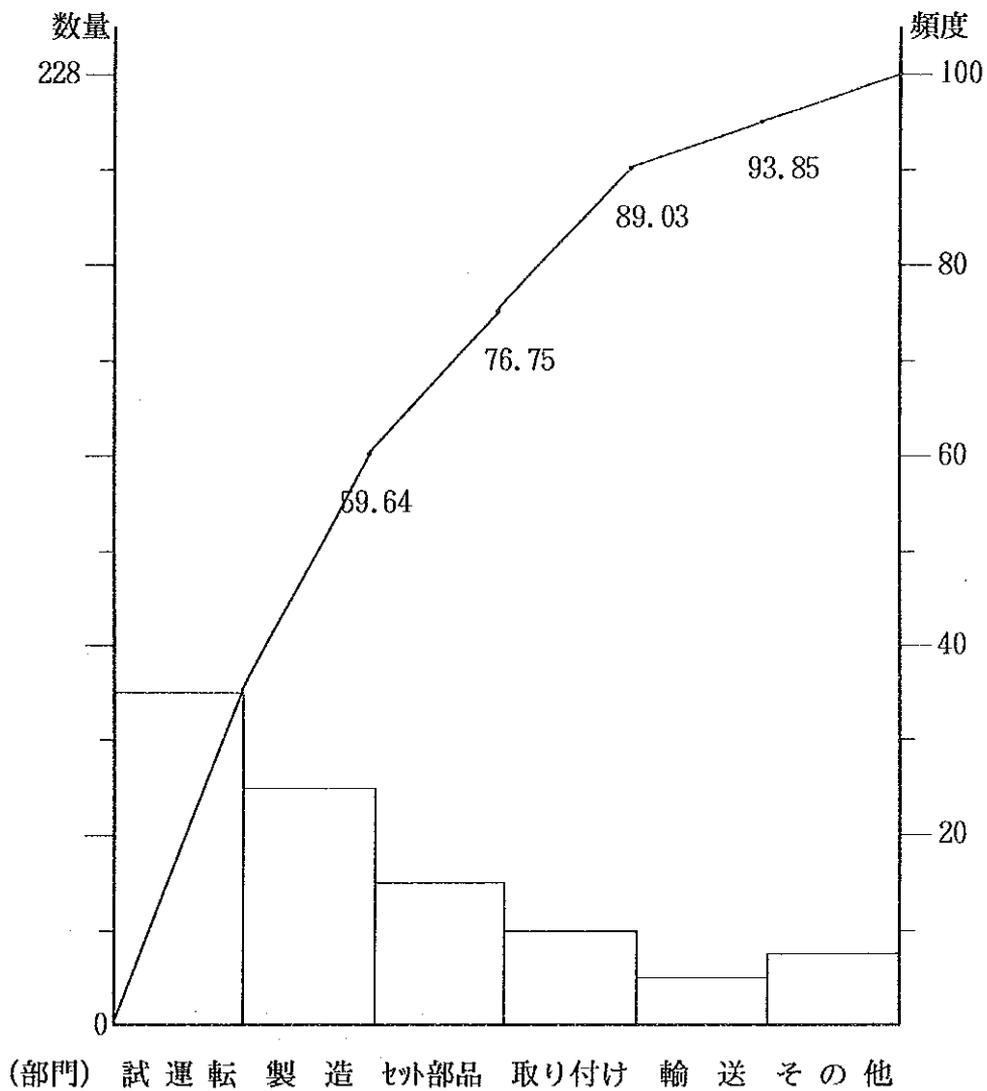


図 3.8.5 責任部門別客先クレーム (1992年)

それらの購入品を採用し、機械に組み込み出荷している、無錫工作機械工場出荷機械の客先に対する品質保証は、当然のことながら、機械全体としての保証であることを、各部門において十分認識すべきである。

購入部品の品質保証の観点から、使用者側より積極的にクレーム内容を連絡協議し、購入部品の質の向上を図る組織的な活動が必要である。

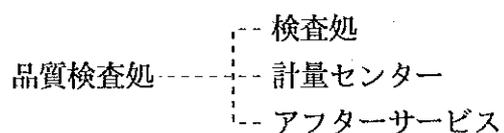
3.9 検査工程の現状と問題点

3.9.1 検査工程の現状

(1) 組織と人員

検査工程は、品質検査処が担当する。他と違って、この部署は工場長直轄の組織である。

品質検査処の業務内容は下記のとおりで、人員配置もあわせて示す。



人員配置（合計：181名）

検査処

木型検査	5名
塗装検査	6名
原材料検査	3名
ユニット品検査	7名
鋳物検査	17名
鍛造品検査	3名
プレス品検査	2名
熱処理検査	3名
機械加工検査	61名
組立検査	19名
製品電気制御検査	5名
梱包	3名
砥石ヘッド	2名
計	125名

計量センター

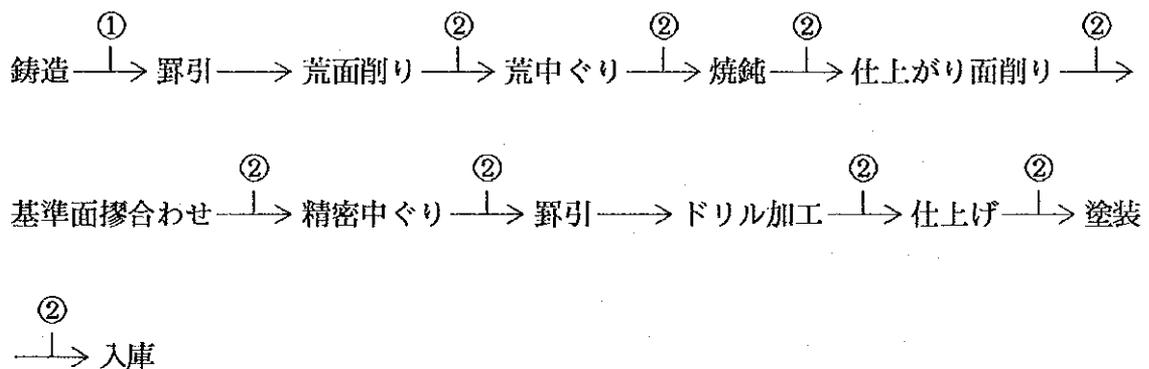
計測室	9名
現場の計測器校正	14名
計測器修正	6名
技術員	16名
	<hr/>
	45名

アフターサービス

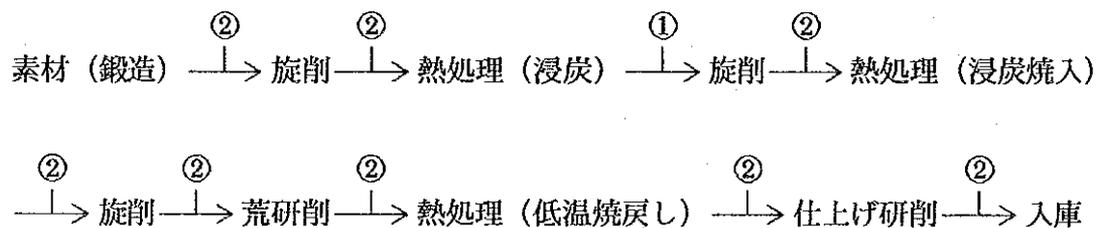
機械関係	8名
電気関係	3名
	<hr/>
	11名

(2) 代表的な部品及び組立の検査工程

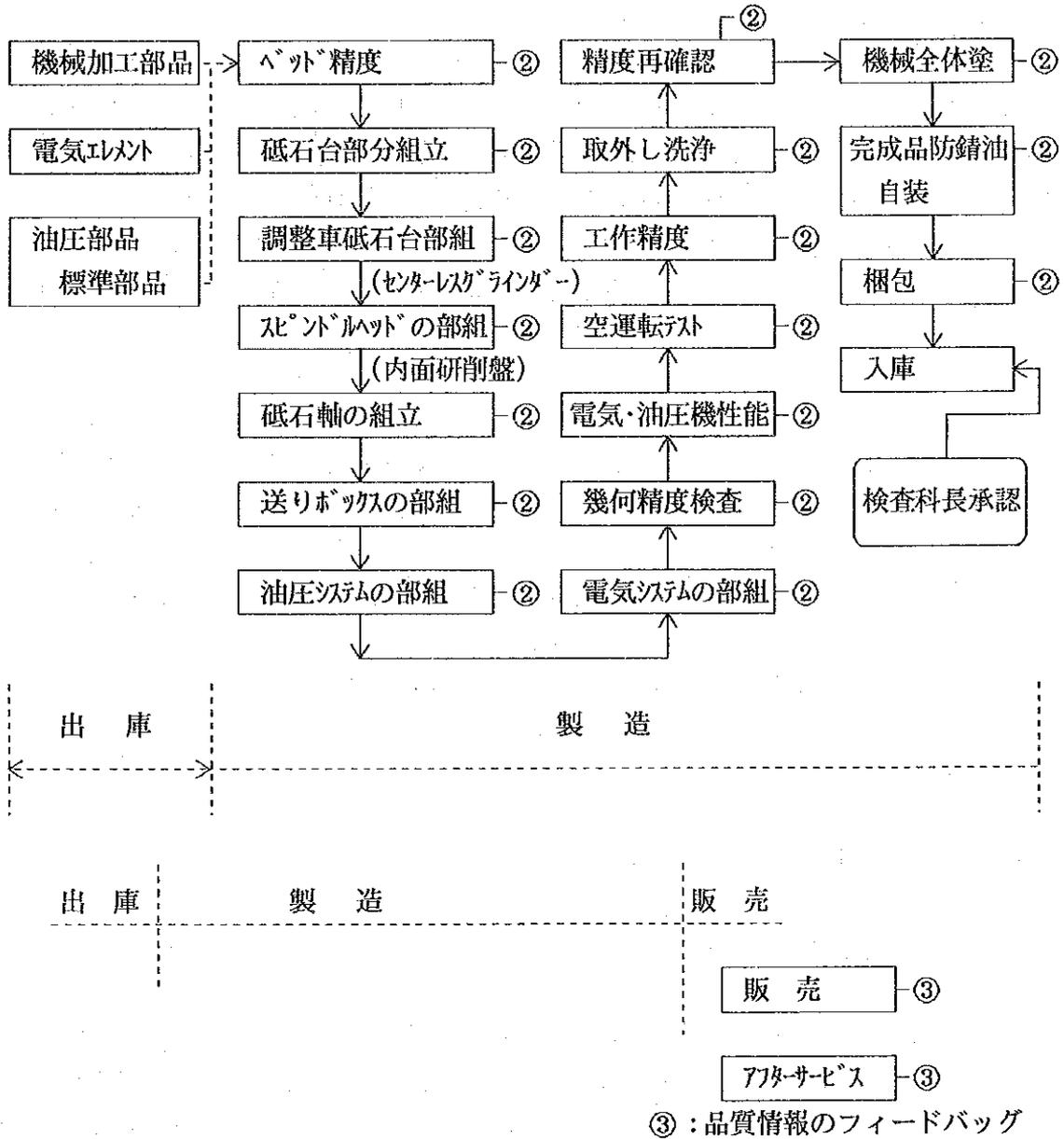
1) ボックス類 ①外観検査 ②検査



2) 軸類



3) 普通研削盤組立工程の検査フローチャート



(3) 検査と品質管理

1) 機械加工

機械加工部品は原則的に全数チェックを行なっている。ただし、品質安定している職場については抜き取りで行う。現在NC化率は2%であるが、増加していく方向であり、NC加工

の場合は、初めと中間の抜き取りとする。

現在の機械加工の不良率は1.5%であり、その一部は特採（特別採用）としている。特採は1.3%で完全な不良は0.2%である。

特採の判定は小さい誤差のものは検査の責任者が行い、大きい誤差のものは設計部門と相談し決めている。また、再発防止対策は重要案件、不良点数多いものについて企業管理処の T.Q.C 専門員 3 名と検査、現場の会議を持ち対策を立てている。T.Q.C は 79 年よりやっているとの事であるが、小集団活動の様な現場からの改善提案は無い様である。

機械加工の検査担当、61 名は大変多い。日本ではセルフチェックし次工程へ流している。中国では検査員数はその製造工程の人員の 3~5%と決められていて、当工場は 4%である。

2) 組立工程

中間検査 : 各職場に 2~3 名常駐し各工場ごと決められた項目を全数チェックする。

完成品検査 : 運転検査は組立が担当（記録は検査保管）工作精度、静的精度を検査が担当する。

NC 機検査 : 工作精度、静的精度は全員出来るが NC 機能、性能については限られた人になり、新製品は技術部より応援依頼している。

完成品の検査時間は NC 機 32 時間、搬用機 16 時間である。

3.9.2 検査工程の問題点

検査工程の問題点は下記のとおりである。

(1) 現在の汎用機の検査方式

機械加工の検査例えば箱物では定盤、ブロックゲージ、スコヤで直通、穴芯間ピッチを測定しているが 6 面について測定するので時間もかかり能率的でない。又、NC 化率を高めていけば加工はマシニングセンターに置き替わっていく。このとき加工始めの 1 ヶについてプログラムの良否、工具寸法の良否を早期に判断しフィードバックしなければならない。

(2) 手直し件数

組立の各工程ごとに於ける手直し件数は、15~20%（摺合せの当たり、直角、平行度などの不良）である。ペナルティ制度があるが、あまり減少しない。

(3) 客先クレーム

125名の検査員を配し品質保証を行なっているが、客先クレームも年間12%あり、この内の半数以上（61%）が作動不良と部品不良によるものである。

厳重な検査を行なって、なお、このような結果になるのか大きな問題である。部品不良の中には外注品が多いとの事であるが工場を出荷した機械は当工場の責任である。外注工場の品質管理も問題がある。

(4) NC化と検査体制

製品のNC機生産台数は1991年53台、1992年110台、1993年200台と高い伸びである。NC化に対応して検査体制をどうするかが問題である。

人の教育、検査道具、検査規格の点より検討する。

3.9.3 検査工程の改善計画

前記の問題点の項目に対応させて、以下に詳しく説明を加えた上、改善策について述べる。

(1) 三次元測定機の採用

検査を効率的に行うため、長期計画の中に三次元測定機の設備が必要である。

(2) 組立工程の手直し件数

作業員1人1人が自分の受け持った仕事を責任を持って次工程へ流す以外、不良個所は減少しない。どうせ検査が見てくれるから測定をしなかった。悪いなら検査が発見してくれるだろう、といった考えがあれば何時までたっても改善しない。

組立職場（精密組立職場は除く）の環境も良くない。床に油圧配管部からの油漏れにより木毛（製材チップ）をまかないと通路が通れない事がある。床に洩れる前に回収用受けを用いるなどの配慮が欠けている。また、アングル製の作業台上の木板、が紛失か損傷により、半分くらい無い。作業は半分しか出来ない。

出庫した部品もコンクリート床に直接置いてあるもの、一つのバケットに油圧ユニット（ソレノイドバルブ組付品）、送りネジのユニットが当て物無しに何段にも重ねて置かれている。声を大きくして自分達の職場が気持ちよく働ける様改善していかなければ手直しもクレームも減少しない。 写真 3.9.1、写真 3.9.2参照。

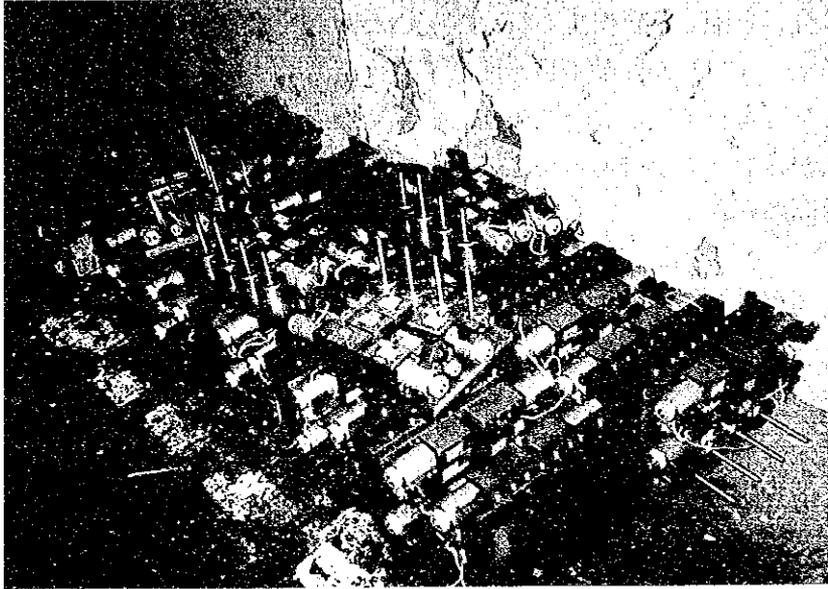


写真3.9.1 無錫工作機械工場の検査ずみ部品

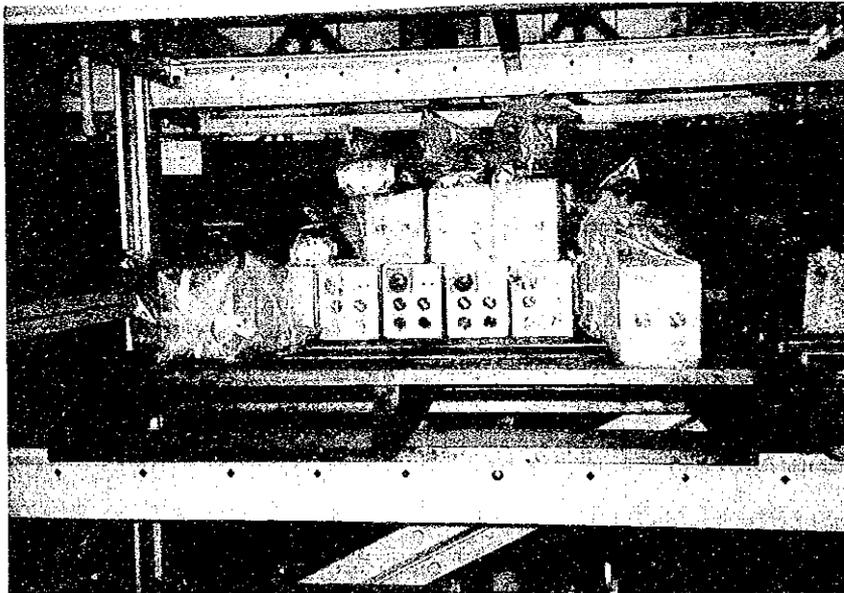


写真3.9.2 部品を部品棚に保管する例

(3) 品質保証について

工場出荷後のクレーム減少対策として、出来得る限り工場内に機械がある間に欠点を出しつくしてしまう方法がある。高周波スピンドルは組立完成時、手動機 4時間、自動機 8時間の運転時間であり完成品の総合運転時間も 8時間である。(昼間のみ)自動温度記録計を設備し夜間無人運転を行い、現在より数倍の運転時間とし問題を工場にある内に出しつくしてしまうべきである。

外注品は、納品されると、使用する各職場に持ち込み検査し、入庫となる。受入体制は問題ないが、検査で発見できない部品もある様で外注先の品質管理も当工場と同一レベルでなければならない。きめ細かな指導、育成が必要である。

(4) 製品のNC化率の伸びに対応するか

1) 人の問題

NC機能、性能について新人を教育していく、又は大学卒業者を現場要員として使うのも一つの方法である。いずれにしても、全員がNC機を完全に検査出来るように教育しておく。

2) 検査道具

NC機の検査としては、繰り返し精度、位置決め精度、ロストモーション試験 1単位送り試験などがある。これ等の検査を正確に行うため、レーザー測長器が必要である。8.5計画に於いて設備は検討されているが生産台数の増加及び研究、開発のための測定などにより台数も増加しなければならない。当初は専任者を決め管理、測定を行うのがよいが複数台となったときは検査員全員が使える様な体制とする。

レーザー測長器は、温度、湿度、気圧の変化により測定値も変化する従って物体温度、空気温度、湿度、気圧を各センサーにて検知し補正している。従って温度変化の大きい環境での測定値は信頼性に欠ける。出来得れば空調した環境での測定が望ましい。空調は $20^{\circ}\text{C} \pm 1$ が理想だが夏 26°C 、中間期 23°C 、冬 20°C それぞれ $\pm 1 \sim 2^{\circ}\text{C}$ 程度で 1日の変化が少ないことが必要である。写真3.9.3、写真3.9.4 参照。

3) 検査規格

NC機の検査項目としては2)項に記したとおりであるが、現状では繰り返し位置決め精度のみの測定しか行われていない。1単位送り試験などはNC研削盤として重要な項目であるので、早急に規格を作成し測定するべきである。



写真3.9.3 レーザー測長器 (収納の例)



写真3.9.4 多点温度記録専用台の例

3.10 現有製品（研削盤）の性能に関する現状と問題点

先方の診断要望事項、“工場現有製品（センターレス(CENTERLESS)研削盤、内面研削盤、軸受研削盤）の構造、制御、測定、効率、性能、信頼性の改善”に基づいて、調査及び打ち合わせを実施した結果を以下に報告する。

近代的なセンターレス研削盤、内面研削盤、軸受研削盤として具備すべき基本項目に対する着眼点は以下のとおりである。

1. 数値制御 (CNC)による機械系の制御
2. 砥石軸、工作主軸の軸受構造の精度、高速化、信頼性
3. 摺動面の構造と送り精度及び、制御方法
4. インプロセスゲージ(INPROCESS GAUGE)、ポストプロセスゲージ (POST PROCESSGAUGE)の活用状況
5. 適応制御(AC)の開発状況
6. CBN砥石への対応状況

以上の着眼点に基づき、無錫工作機械工場における下記の最新型の研削盤について詳細な調査を行なった。

1. センターレス研削盤（高精度）： MG10100
2. 内面研削盤（汎用）： MBD2110
3. 内面研削盤（軸受専用）： 3MZ202, 3MZW205
4. 軸受内輪溝研削盤（軸受専用）： 3MZS135

これらの機種の概略仕様を表3.10.1に示す。

上記の機種につき、先方提出の“製品設計の現状”と、これらの機械の組立図をもとに、調査と質疑応答を行なった。更に、先方提出の現有機の“優先改造項目”についても質疑応答を行い、実機調査を実施した。

以下、細部について報告する。機械の構造上、センターレス研削盤と内面研削盤及び軸受研削盤とに分け、前述の着眼点について述べる。なお、摺動面の構造、CNC化、CBN砥石への対応については、共通点が多いので、まとめて報告する。

表3.10.1 新型研削盤の基本仕様

(1) センターレス研削盤 (高精度) MG10100	(2) 内面研削盤 (汎用) MBD2110	(3) 内面研削盤 (軸受用) 3MZ202
1. 最大研削外径 $\phi 100\text{mm}$	1. 研削内径 $\phi 15\text{mm} \sim \phi 100\text{mm}$	1. 研削内径 $\phi 10\text{mm} \sim \phi 25\text{mm}$
2. 研削砥石寸法 $\phi 600\text{mm} \times \phi 305\text{mm} \times 200\text{mm}$	2. 研削深さ 125mm	2. 工作物の巾 $8 \sim 20\text{mm}$
3. 調整車寸法 $\phi 350\text{mm} \times \phi 203\text{mm} \times 200\text{mm}$	3. 砥石軸回転数 $8,500 \sim \phi 28,000\text{rpm}$	3. 砥石軸回転数 $48,000 \sim 90,000\text{rpm}$
4. 砥石軸電動機 22KW	4. 工作主軸回転数 $140 \sim 800\text{rpm}$	4. 砥石軸出力 $1.5 \sim 4.5\text{KW}$
5. 機械重量 $10,300\text{kg}$	5. 機械重量 4500kg	5. 機械重量 $3,500\text{kg}$
(4) 内面研削盤 (軸受用) 3MZW205	(5) 軸受内輪薄研削盤 (軸受用) 3MZS135	
1. 研削内径 $\phi 20\text{mm} \sim \phi 50\text{mm}$	1. 工作物の内径 $\phi 10\text{mm} \sim \phi 50\text{mm}$	
2. 工作物の巾 $12 \sim 23\text{mm}$	2. 工作物の巾 $8 \sim 27\text{mm}$	
3. 砥石軸回転数 $24,000 \sim 60,000\text{rpm}$	3. 砥石周速 60m/s	
4. 砥石軸出力 $3.5 \sim 9.0\text{KW}$	4. 砥石寸法 $\phi 500\text{mm} \times \phi 203\text{mm} \times 12\text{mm}$	
5. 機械重量 $3,500\text{kg}$	5. 機械重量 $4,000\text{kg}$	

3.10.1 センターレス研削盤 (MG10100)

(1) 砥石軸、調整車軸の構造と軸受

本実機調査をした MG10100/3は、砥石軸は片持方式、調整車軸は両持方式を採用していた。近代的な高精度、高能率な機械はすべて両軸ともに両持方式の採用は絶対条件で、軸の剛性を高める必要がある。(無錫工作機械工場にも、両軸とも両持方式を採用した機械があるとのことであるが、調査できなかった。) 代表的な両持方式を写真3.10.1に示す。

MG10100においては、砥石軸受は 4片一調心式セグメントベアリング(SEGMENT BEARING)の動圧方式、調整車軸軸受は 3片一調心式セグメントベアリングを採用している。無錫工作機械工場においては 3片、4片、5片の調心式セグメントベアリングが標準化されて使用されている。

この種の動圧軸受は軸の直角断面で考えた場合、軸の回転に比例して、強力な楔油膜を形成し、その全圧力は数トンに達し、強力で軸を保持し、荷重に対する特性は、極めて優秀であると言える。

またこれは軸の回転精度として、回転軸中心の移動量(心振れ)を $0.1\mu\text{m}$ 以下に抑えることが可能であり、理想的な軸受と言えるが、セグメントベアリングは調心式であるので、機械加工、組立、調整は容易である長所はあるが、軸断面で考えた場合、軸の撓みに対して抵抗力を生じない。

研削盤の軸受としては、軸直角断面及び軸断面で軸を強力で保持し、軸の撓み、振動を減衰させるように抵抗が働くものでなくてはならない。この観点からみると、調心式セグメントベアリングの欠点と言える。

この欠点を補う一つの方法として、軸の剛性を考慮した両持方式の砥石軸がある(無錫工作機械工場で、現在まで培った、動圧軸受のノウハウ(KNOW HOW)を生かすのも、一つの方法と思う)。

なお潤滑油は約 0.3 kg/cm^2 の圧力で供給して、空気の混入防止、砥石軸起動時のインターロック(INTER LOCK)等の配慮が必要である。また、軸受の構造上、潤滑油回路には 2μ 以上の挟雑物をろ過できる、マイクロフィルター(MICRO FILTER)を取付け、砥石軸受の信頼性をはかる必要がある。

調整車軸受は、3片一調心式セグメントベアリングの動圧形式のものを採用しているが、回転数が低く、また回転数が MG10100では $10\sim 300\text{ r.p.m}$ の範囲で変化する。このような条件での動圧軸受の採用について問題がある。

即ち、楔形油膜の軸受片の単位巾に発生する油膜の全圧力 $P_1\text{ kg/cm}$ は平面軸受の理論式を応用すれば、次の式で示される。

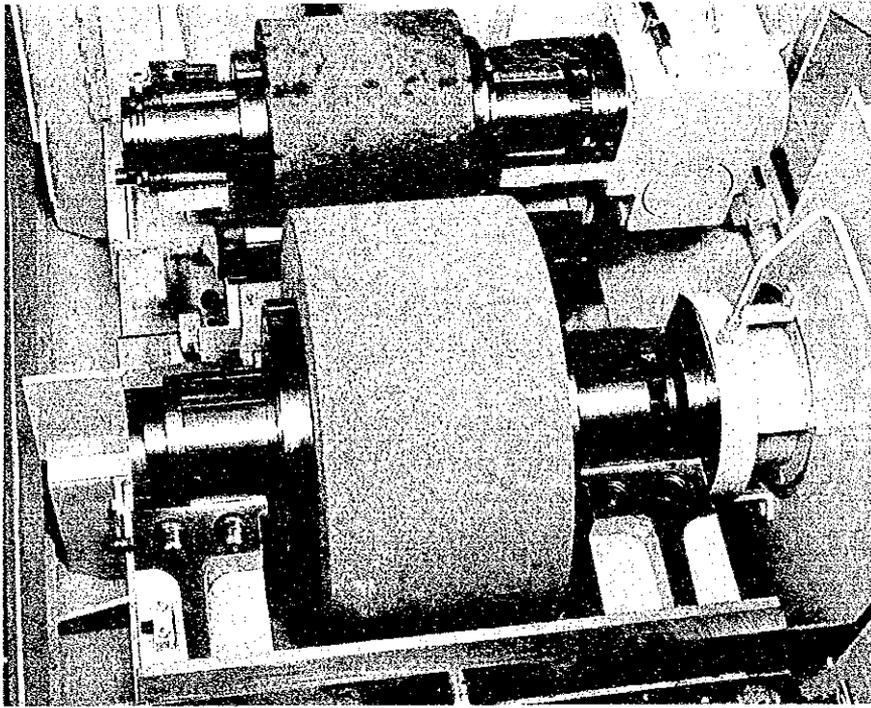


写真 3.10.1 高精度センターレス研削盤の両持式砥石軸、調整車軸を示す

砥石寸法	$\phi 610\text{mm} \times 300$
調整車寸法	$\phi 330\text{mm} \times 300$
砥石周速	$60\text{m}/\text{sec.}$

$$P_1 = C_p \cdot \eta \cdot u \cdot \left(\frac{a}{h_0} \right)^2$$

a : 軸受の円周方向の長さ cm

h₀ : 油膜の最小厚さ cm

η : 油の粘性係数 kg·s/cm²

u : 軸の滑り速度 cm/s

C_p : 定数 (油膜の形状、及び周囲条件により定まる定数)

上式に示す如く、回転数の変化に伴って、軸直角断面での軸受剛性が変化することになる。設計者の意図は、軸受隙間を小さくして、滑り軸受として、採用したものと思われるが、いずれにせよ理論的でない。

センターレス研削盤における加工精度の向上は、砥石と加工物の接点、ブレード(BLADE)と加工物の接点、調整車と加工物の接点の3点が微少な偏位もゆるされない。これが高精度なセンターレス研削を実施する、基本原則である。

上記の点を考慮して調整車軸受には高精度 (JIS 2級以上) な、テーパ (TAPER)、穴付複列円筒ころ軸受の採用を提案する。

なお、これ以外に、静圧軸受の採用も有効であるが、工場側として軸受剛性、工作精度等の問題で、余り積極的な意見はなかった。

近代的なセンターレス研削盤の構造上の問題として次の事項を注意する必要がある。

(2) 砥石の高速化と大型化

近代的なセンターレス研削盤では、砥石周速が45 m/sec→50 m/sec→60 m/secと高速化され、高能率な研削が実施されている。無錫工作機械工場においても、MS10100においては45 m/secが達成されている。

量産用機種について、砥石も大型化の方向にあり、MG10100程度の機械で、砥石巾 510 mm、75 KW程度の機械も実用化されている。今後の動向として砥石周速60 m/secより更に高速化が予想される。一つには、現状砥石の品質向上と、CBN砥石の活用の増加である。

これを実現するための基本は前述のとおり工作物が接する、3点の位置の変位をゼロに近い微少な変位に押え込むことである。このために、機械構造として注意すべき主な点は下記のとおりである。

1) 砥石軸受、調整車軸受の構造

高速、高馬力化に伴って、軸受剛性の高いことが要求される。当然のことながら、両持方式でなければならない。砥石軸の高速化に伴って、発熱による熱偏位による、精度変化

の対策が必要である。

内面研削盤において CBN砥石を使用した場合、ドレッシング(DRESSING)の間隔が長くなるので、研削砥石軸の半径方向の熱変位が工作精度に影響する。砥石軸ブラケット(BRACKET)等の熱安定化対策、例えばクーラント(COOLANT)等による冷却方法が必要となろう。

これと同じことがセンターレス研削盤にも生ずる可能性があることを充分認識すべきであろう。以上のことを総合して、砥石軸受、調整車軸受の構造は高精度なテーパ穴付複列円筒ころ軸受(精度 JIS 2級以上)を半径方向に数 μ の予圧を与え、軸受剛性を高めるものとし、スラスト方向はアンギュラコンタクトボールベアリング(ANGULAR CONTACT BALL BEARING)を採用する方式を提案する。

無錫工作機械工場の、MG10100とほぼ同程の大きさの機械で、日本、西欧では上記の構造を採用した機械が砥石の周速を含めて実用化されている高精度、高能率な機械がある。

当然のことながら、オート balancer (AUTO BALANCER)装置の装着を可能にし、この性能向上対策も重要なことである。

2) ベッド剛性

振動、ねじれ、撓みに対し、砥石軸ブラケット、調整車ブラケットの剛性を含めたベッド(BED)剛性が重要な問題となる。この問題を解決するための手法として、構造解析法の応用が考えられる。工作機械の性能の改善及び、最適設計を行う対象として、

1. 既に完成した機械に対して行う改善設計
2. 新しく設計する機械に対する改善設計及び最適設計

1.の場合には製造後の工作機械に対して各種の測定を行うことができ、切削実験によるびびり振動特性、静剛性、周波数応答、共振点等ベッド剛性に関する基本的な数値を、把握することができる。

無錫工作機械工場においては幸い、MG10100、MS10100等の機械が開発されており、これらの機械の特性を知り、これより、これの方向性を見出すのも、一つの方法であろう。

ベッドの熱変位対策の一つとして、研削液により偏って冷却されるのを防止するため、均等に冷却水が流れるような、構造上の配慮が必要となろう。

(3) ドレッシング装置

機械の CNC化に伴い従来のテンプレート(TEMPLATE)方式より、2軸NCドレッシング装置の方向に移行し、高精度なドレッシングが可能になる。更に前述の砥石の大型化(砥石巾 510 mm)に伴いドレスタイム(DRESS TIME)の削減と、ドレス精度向上のためにロータリー

ダイヤモンドドレサー (ROTARY DIAMOND DRESSER) の装着が可能であることも必要である。

この装置があることにより、マルチフォーム (MULTI FORM) 研削用の研削砥石に複雑な、多数個の形状を与え、インフィード (INFEEED) 研削で、1本の丸棒素材より、複数個の工作物を同時に研削することが可能となる。写真3.10.2 に実例を示す。

また、この装置があることにより、CBN砥石への対応が可能になる。当然のことながら、上記のドレッシング装置は、モジュール (MODULE) 化して、用途に応じて対応できるものでなくてはならない。

ユーザーへの工法提供の一つとして、マルチフォーム研削技術は早急に確立することが必要であろう。

(4) 計測と機械系へのフィードバック (FEED BACK)

無錫工作機械工場ではプロセスゲージ (PROCESS GAUGE) を用いた機械系との、クローズドループ (CLOSED LOOP) 制御方式は実施されていない。センターレス研削盤において長時間安定した精度に加工するためには、プロセスゲージの使用が、不可欠となる。

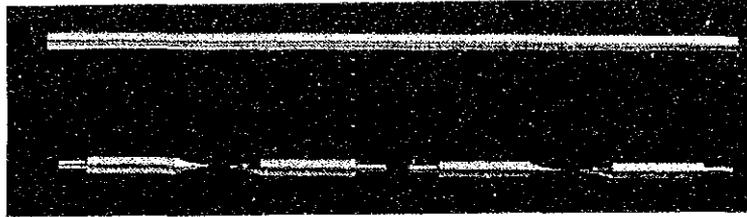
スルーフィード (THROUGH FEED) 研削の場合は加工中の測定が困難であるので、研削直後のワーク (WORK) を測定することになる。またインフィード研削の場合は軸方向より挿入して測定するので、ワークの形状によっては、リトラクト (RETRACT) 機構のものが使用される。

以上は、加工物を直接計測し、制御する方法であるが、砥石外径摩耗を直接エアーマイクロメータ (AIR MICROMETER) で非接触で、砥石表面を検知制御する方法もある。エアーマイクロメータの繰返し精度 $1\mu\text{m}$ は、期待できる。一般にノズル (NOZZLE) 径 $\phi 1.5\sim\phi 2\text{ mm}$ 、空気圧 $1.5\text{ kg/cm}^2\sim 3\text{ kg/cm}^2$ 程度が使用されている。

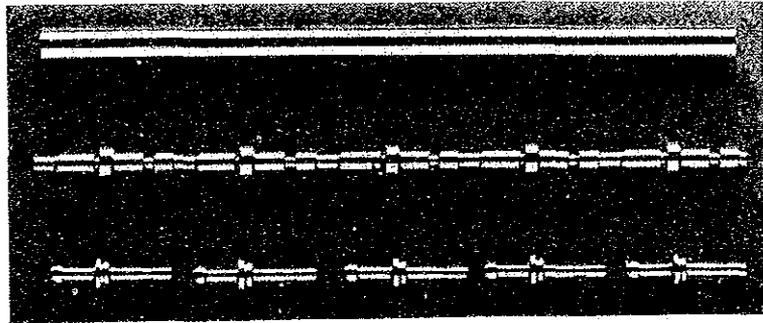
CNC工具研削盤において、工具径を決定する軸、一般に Y 軸方向に、エアノズル (AIR NOZZLE) を設置し、砥石外径を常時監視することにより、砥石の摩耗及び、砥石軸の熱変位を補正して、安定した工具径を研削する技術も開発され実用化されている。

これらの、いずれの制御も移動指令に対する追従性の良い摺動面を持ち、微少の切込が可能な機械でなくてはならない。計測器の分解能は、一般に $0.5\sim 1\mu\text{m}$ であるので、これに充分対応するものでなくてはならない。

なお実機調査時に、MG10100の砥石台に取付けられていた自社開発と思われる振動計について、内容は不明だが、これを応用して異常振動検知センサー (SENSOR) として利用できるのではないか。写真3.10.3 に示す。



φ6.2mm×157素材より 4個取りノズルニードルの実例



φ7.4mm×131素材より 2工程での 5個取りバルブの実例

写真 3.10.2 マルチフォーム研削の実例



写真 3.10.3 センターレス研削盤 MG10100に取付けられた振動計

3.10.2 内面研削盤、軸受内輪溝研削盤

内面研削盤（汎用） : MBD2110
 内面研削盤（軸受用） : 3MZ202, 3MZW205
 軸受内輪溝研削盤（軸受用） : 3MZS135

(1) 砥石軸

3MZS135においては、4片一調心式セグメントベアリングによる動圧方式を採用しており、この軸受の欠点は、前述のとおりであるが、本機について砥石径 $\phi 500$ 、砥石巾12で、砥石軸直径は $\phi 80$ と高剛性の軸を使用しているため、問題はないと思う。

CBN砥石使用の場合、砥石周速を現状の60 m/secから 80~100 m/secに上げた場合の砥石軸の熱変位については、注意する必要がある。現状で多少の熱変位があっても、ドレッシング間隔が短いので余り問題にならないと思う。

熱変位に関して有名なベッドグラインダーメーカー (BED GRINDER MAKER)が、このために砥石軸を設計変更せざるを得なくなった、実績データ(DATA)を参考までに記す。

	旧型	新型
軸受構造	静圧セグメントベアリング (SEGMENT BEARING)	砥石径 $\phi 90$ ローラーベアリング (ROLLER BEARING)
冷却方法	潤滑油をクーリングコイル(COOLING COIL)による間接水冷却	冷却機構なし
連続運転時間	4h	4h
スピンドル(SPINDLE)初期温度	20°C	21.7°C
4h連続運転後のスピンドル(SPINDLE)温度	41°C	27°C
スピンドル(SPINDLE)の熱変位量(mm)	測定個所 1 + 0.11 測定個所 2 + 0.15 測定個所 3 + 0.18	+ 0.003 + 0.012 + 0.042

なお、熱変位に関してはセンターレス研削盤についても同様なことが言える。

(2) 高周波砥石軸

無錫工作機械工場において、汎用内面研削盤の1部の砥石軸を除き、大部分は高周波砥石軸と思われる。この砥石軸は、GMN(GEORG MÜLLER NÜRNBERG)よりの技術導入によるものであるとのことで、GMNは、世界的にみても、技術的に高いメーカーで、技術導入先としては正しかったものと思われる。生産技術関係者と、高周波砥石軸について質疑応答を行なった。砥石軸の仕様は下記のとおりである。

1. 砥石軸回転数 90,000 r.p.m
2. 周波数 1,500 Hz
3. dn値 108×10^4
4. 潤滑方式 オイルミスト(OIL MIST)

試運転の時間は、自動機は8h、手動機は4hが標準とのことであるが、実際に、これが守られているか疑問の点が多かった。

砥石軸寿命については、かなりのバラツキがあるようである。

寿命については、ユーザー側の要因もあり難しい問題であるが、色々と打ち合わせを行なったことを総合すると、200~1,000h程度と思われ、非常に寿命が短い。GMNの保証寿命時間は、推定1,500~2,000hと思われる。

この種の砥石軸を、8.5計画では4000セット（実際には9.5計画にずれこむとのこと）生産するとのことであるが、現状の大きな問題点として、品質の安定が最優先課題ではなからうか、まずこの目途を立てた後、量の問題に取り組むのが、本筋ではなからうか。

解決の一方法として（組立、試運については3.8.4(2)で報告する）下記の提案をする。

1. 図面指示の重要寸法公差、形状公差が指示どおりにできているかどうか、これを遂行するための、工程能力の実状調査。
2. 上記の精度確認は組立時に再確認する必要があるとあり、測定器の整備と測定データの保管（工程能力が安定するまで）これらを実施することにより、経験の定量化を図ることが最も必要で、これが無錫工作機械工場のノウハウとして信頼性につながるものである。
3. 使用しているアンギュラ(ANGULAR)玉軸受は、ABEC-7、ABEC-9、相当の中国製を使用し、一部はGMN、シンシナティより供給を受けているとのことである。日本において、このタイプ(TYPE)に使用する軸受として、超高速精密アンギュラ玉軸受のシリーズをすべて採用している。

これらの軸受の特長は、ボール直径が小さいため遠心力の影響が軽減されることにある。このために生ずる発熱を抑えることができ、軸受剛性については、ボール数を増すことにより、剛性が確保されている。一般に接触用は15°のものが多い。

最近、鋼球の代わりに、セラミックス(CERAMIC)球を用いて、その特長を生かし、オイルエアー(OIL AIR)潤滑による、超高速、精密アングュラ玉軸受を用いた砥石軸が開発され、 $dn=200 \times 10^4$ 程度の実用化のめどが立っている。

なお、使用する軸受精度については JIS 2級 (ISO 2級) 及び、ABEC-9と同程度以上が望ましい。

4. 無錫工作機械工場における高周波砥石軸の潤滑は、オイルミスト方式を採用しているが、より良い潤滑方法として、オイルエアー潤滑方式が、日本では広く利用され、その優れた性能と、信頼性が認められているので、この方法の採用を提案する。またこの方式は、作業雰囲気汚染することはない。図3.10.1 に軸受への給油状態を示す。この方式は本研究所でも研究しているらしい。

以上、設計に関する事項について述べたが、私の経験からすれば、これら高速軸受についての問題は、設計より機械加工、組立、検査に関する、技術的問題のほうが多いことを付記する。

最近、日本において、内面研削盤用として、高精度、高性能な150,000~200,000 r.p.mの高周波砥石軸が実用化されている。

研削能率を向上させるテーブルオシレーション (TABLE OSCILLATION) に関しては、3MZ202と同程の日本の機械でオシレーション (OSCILLATION) 100~1,000回/min、ストローク (STROKE) 0~10mmと高速化され、また CNC汎用内面研削盤で、max 580 回/minにmax 20 回/minの、高速トラバース (TRAVERSE) の複合によるNC制御オシレーティングトラバース (OSCILLATING TRAVERSE) 方式も実用化されている。

(3) 工作主軸

上記4機種 (3MZ202、3MZS135、3MZW205、MBD2110) とともに、ころがり軸受を採用しているので、特に問題はないと思うが、3MZ202、3MZW205、3MZS135等、輪受専用型ではワークの保持がシュータイプ (SHOE TYPE) であるので、工作主軸の回転精度の影響は少ない。

MBD2110等、の汎用型については、ダイヤフラムチャック (DIAPHRAGM CHUCK)、油圧パワーチャック (POWER CHUCK)、フィンガーチャック (FINGER CHUCK) 等を使用する場合が多いので、高精度なアングュラコンタクトベアリング (ANGULAR CONTACT BEARING) を使用した工作主軸が望ましい。日本において、円筒研削盤と同様な静圧軸受を採用したのもあ

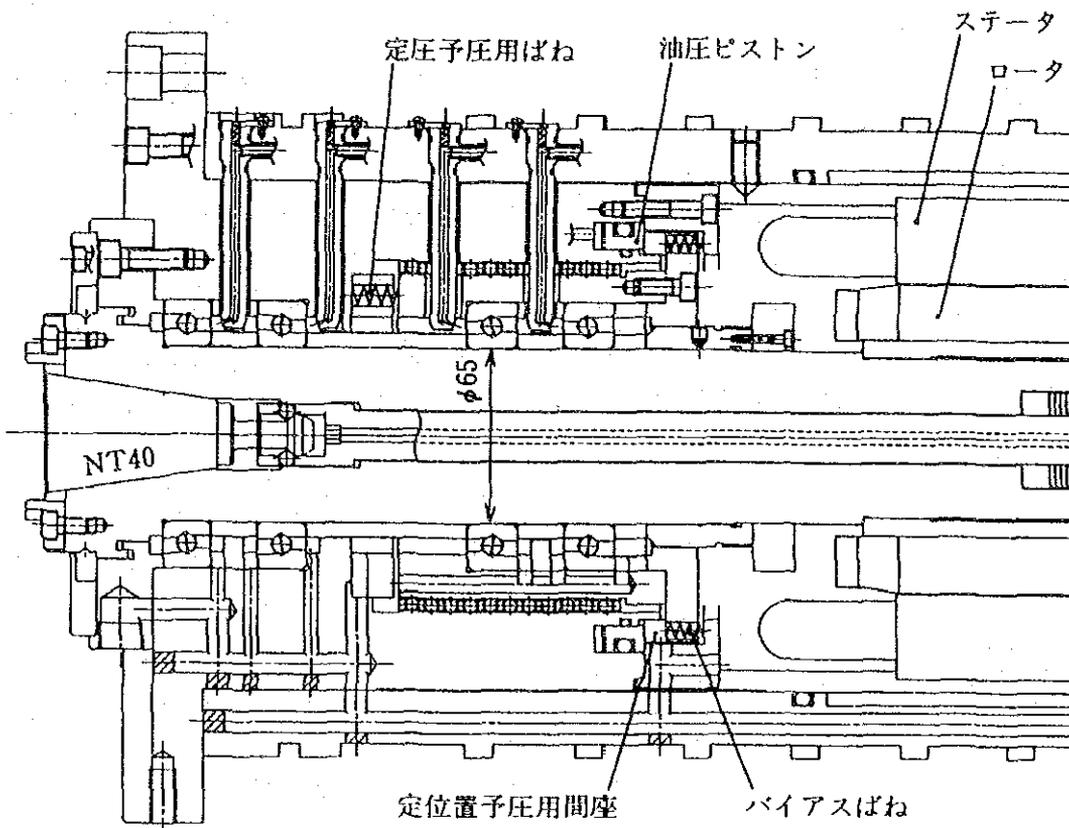


図 3.10.1 高速主軸におけるオイルエア一潤滑法

る。なお、ころがり軸受採用による工作主軸の潤滑は、オイルエア方式にすべきである。

(4) 計測と機械系へのフィードバック

無錫工作機械工場の調査では、インプロセスゲージの使用として、3MZ-201A/1でマルボス製リアフォークゲージ (REAR FORK GAUGE)、ほかの機種でフロントホークゲージ (FRONT FORK GAUGE) の使用の実績はあるようだが、これらを用いた寸法管理の実績データ調査できなかった。これらのゲージ (GAUGE) の使用は初期の段階と思われる。

一般にこれらの機種に使用される計測には、前述のように、インプロセスゲージと、ポストプロセスゲージ (POST PROCESS GAUGE) の、2つに大別できる。一般に多く使用されるインプロセス (INPROCESS) 自動定寸の精度は定寸フィーラー (FEELER) の追従性、フィーラーの摩耗、切りくずの影響、研削による振動等の要因で必ずしも高精度であるとは言えない。長時間の安定した計測を実施するために図3.10.2 に示すようなインプロセスゲージとポストプロセスゲージとを組合わせた、システム (SYSTEM) が、実用化されている。

研削を完了したものを、もう一度ポストプロセス (POST PROCESS) で測定を行う。具体例として、工作物の寸法公差を $10\mu\text{m}$ と仮定し、測定値を $(-)$ $1\mu\text{m}$ から $(+)$ $1\mu\text{m}$ までを OK、 $(-)$ $1\mu\text{m}$ から $(-)$ $3\mu\text{m}$ までを $(-)$ OK1、 $(-)$ $3\mu\text{m}$ から $(-)$ $5\mu\text{m}$ までを $(-)$ OK2、 $(+)$ $1\mu\text{m}$ から $(+)$ $3\mu\text{m}$ までを $(+)$ OK1、 $(+)$ $3\mu\text{m}$ から $(+)$ $5\mu\text{m}$ までを $(+)$ OK2、と分類する。インプロセスで、0に研削された工作物のポストプロセス測定値がOKの場合はよいが、たとえば、 $(+)$ OK1が2回以上連続して発生すると、研削される工作物が $2\mu\text{m}$ 小さくなるようにインプロセスの零点を $2\mu\text{m}(-)$ 側に、電氣的にシフト (SIFT) する。 $(-)$ OK1が、2回連続して生じた場合は、これと逆のこを行う。

OK2の場合は一度でも発生すれば、すぐ、 $2\mu\text{m}$ インプロセスの、0点のシフトを行う。+又は $-5\mu\text{m}$ 以上のNGを生じた場合も、シフトを行うと同時に、不良品の自動選別も行うものである。

以上のような、システムは、作業による寸法のチェック、補正が不要で長時間安定した高精度な加工ができ、工場の自動化をすすめる手段として有効である。これは軸受研削盤としては不可欠な計測手段となろう。

そのほか、ワークの温度と室温を測定して温度補正値を算出して測定ヘッド (HEAD) のデータを補正する測定値の温度補正システムもある。図3.10.3 は定寸寸法測定装置と連動した自動研削サイクル (CYCLE) を示す。

以上で述べた計測と機械系のフィードバックは、次に説明する適応制御の一つの方法とも言えよう。

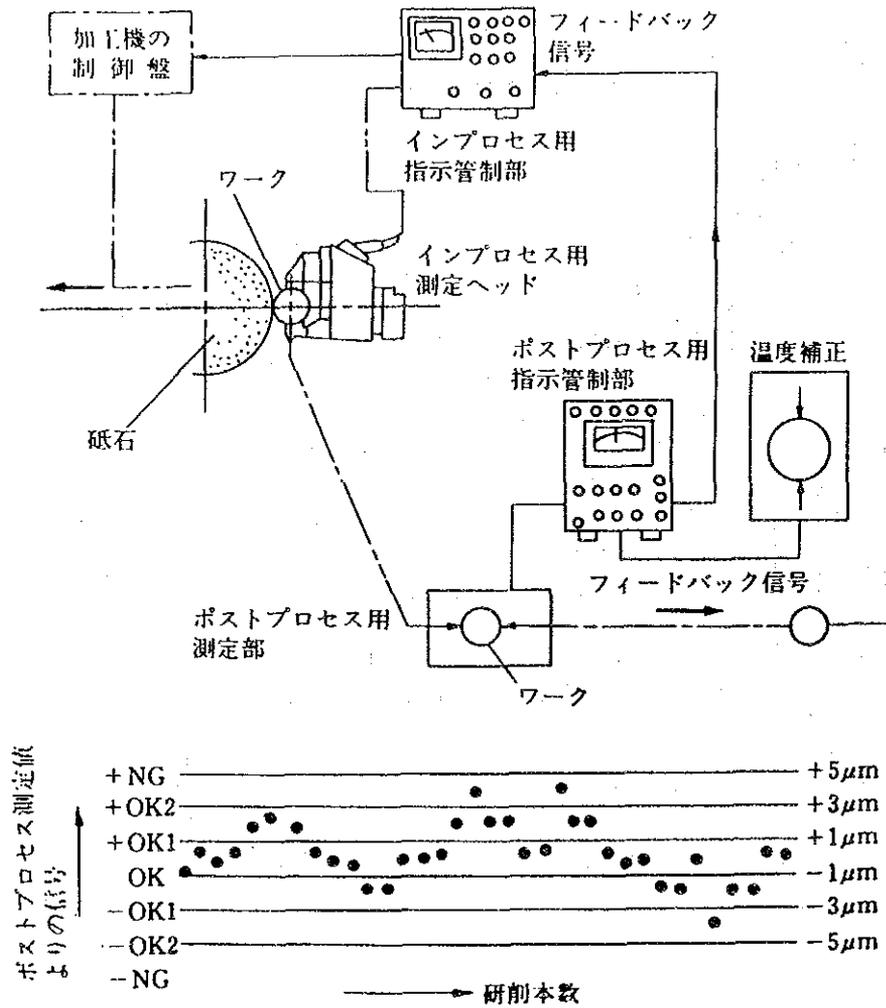


図 3.10.2 インプロセスゲージ、ポストプロセスゲージの組合せによる計測の自動化

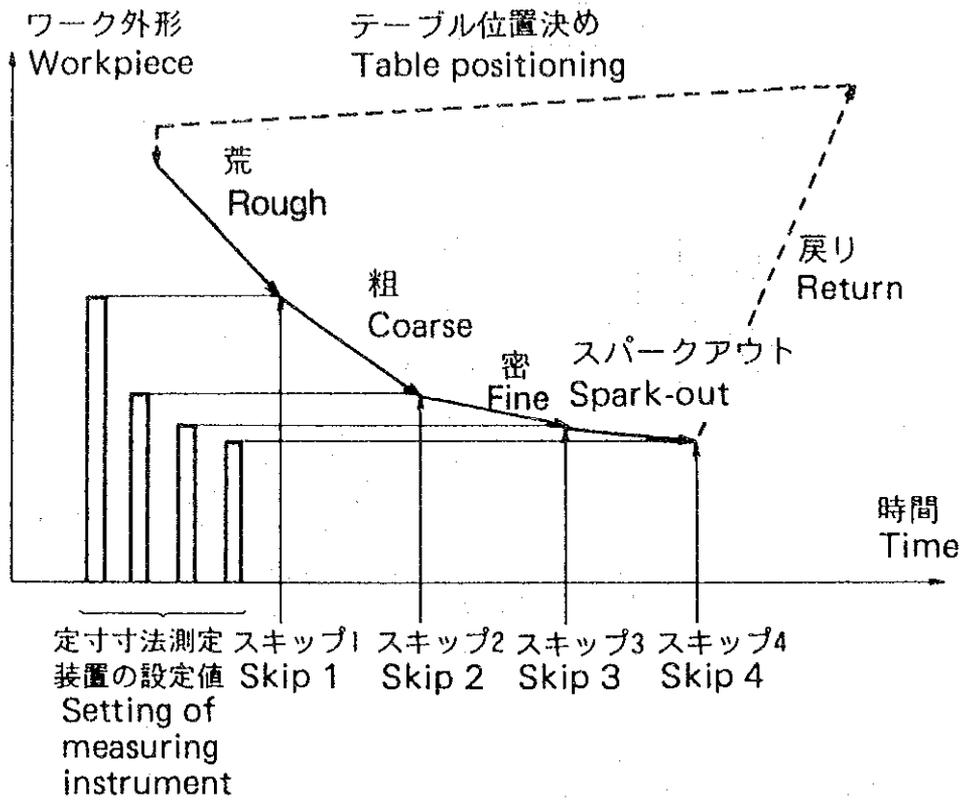


図 3.10.3 寸法測定装置と連動した CNC研削盤の自動研削サイクル

(5) 適応制御 (AC) の開発状況

無錫工作機械工場における、適応制御に関しては、未だ計画の段階である。制御の計画によれば、3MZW205で残り量制御、3MZW147でギャップエリミネーター(GAP ELIMINATOR) (1992に試作したが実験してない。)の2方法が、1993年4~5月頃に、実機による試験を実施するとの報告を受けた。この結果を期待する。現在、日本において実用化されている内面研削盤関係での適応制御について以下に説明する。これは3.7.1(1)で述べた機械系の早送時間 t_3 、工具位置決め時間 t_7 の減少に相当するものである。

1) ギャップエリミネーターによるサイクルタイム(CYCLE TIME)の短縮

砥石を早送りで前進させ、工作物に接触する寸前で停止させて、研削送りに入るのであるが、研削代のバラツキ等でこの間の時間はロスタイムとなる。これを少なくするための、研削時砥石を早送り前進させ、工作物との間に隙間をもたせて止める。この隙間に砥石を早送りし、研削送り、のほぼ中間速度で送り、砥石が工作物に接触した瞬間にこれを感じ、この信号を制御系に送り、研削送りに切換えて送りを制御するものである。

一般にこの計器をギャップエリミネーターという。これには、AEセンサー、振動加速度計等が用いられる。なお、この技術はCBN砥石のドレッサーを行う際にも応用できる。

AE (ACOUSTIC EMISSION)とは、固体材料が塑性変形、クラック (CRACK)の発生などの構造変化を生ずる時に、材料内部のエネルギーの一部が弾性波の形で放出する現象をいう。

2) 研削電力による制御

研削電力を設定した値を保つように、砥石切込速度を制御するもので、荒研削、仕上研削電力の設定を行うことができ、研削状況に合わせた電力を任意に設定することができる。即ちドレッシング後の加工個数に応じて、その設定値を任意に変更することも可能な機能を持っている。定速切込研削方法に比較して、研削電力制御は次の利点がある。

1. 荒研削での電力の立ち上がりが早いので、荒研削時間の短縮ができる。
2. 仕上げ研削時に電力を急速に下げ、電力を一定に保つので安定した加工精度が得られる。
3. ギャップエリミネーターの機能もある。

3) かつぎ量による制御 (中国では“かつぎ量”を“残り量”と翻訳している。)

研削中の砥石軸クイル (QUILL)に発生するかつぎ量を一定に制御するというもので、切

込量と実際の寸法変化との差（かつぎ量）が、常に設定値となるよう、切込系にフィードバックされる。砥石軸負荷は常に最適値を保っているため、サイクルタイムが短縮され、精度が向上する。

工作物と砥石が接触する時、工作物が焼けたり、砥石の破損しない最大干渉速度で送り込む。まず、砥石と工作物との干渉が始まり、かつぎ量が発生しはじめ、あらかじめ設定した粗研削時のかつぎ量になるまで最大干渉速度で前進し、かつぎ量が設定値に達すると、切込台はその設定かつぎ量を保持する速度に制御される。

その状態で、研削が進み工作物寸法は変化し、設定された仕上研削切込寸法になると、定寸装置からの、切込信号がでて、仕上かつぎ量になるよう送り台が制御される。

この時、切込台は粗研削の大きなかつぎ量のためにオーバーフィード (OVER FEED) されているので、切込台を急速に後退し、かつぎ量が仕上かつぎ量になる位置まで後退し、改めて、仕上かつぎ量を保持する速度で切込を続ける。この時の実送込速度は仕上研削に適した小さな値となっている。

そして、定寸装置から最終寸法の信号がでると、切込台は急速に原位置に戻る。サイクル完了となるかつぎ量を粗研削時と仕上研削時と2段に設定するのは、次のような目的のためである。

1. 第1設定値の、粗研削時はかつぎ量を大にして、研削抵抗を大にし、切味のよい研削を行わせ、加工能率の向上と、形状精度の向上をねらう。したがって、研削取代はほとんどこの段階で研削してしまう。
2. 第2設定値は、仕上研削時の形状精度向上にあるので、実切込速度は小さくし、研削性も悪くなるので、表面粗さは向上し、ここで最終寸法を得るのである。

適応制御 (AC) は、機械における検出信号を受けた CNC 装置よりの指令により実行されるもので、NC 指令に対して忠実、かつ、高精度に機械系が制御可能であるという前提に成立することを充分認識する必要がある。

(6) 日本における研削データの一例

- 1) 3MZS135と同程度の軸受内輪溝研削盤の研削精度について下記数値が発表されている。

工作物名称	6206ベアリング (BEARING)内輪外周軌道面
工作物材質	SUJ HRC 60-65
取代	0.3 mm (直径)
工作物周速	145 m/min

砥石寸法	φ510mm×8×φ254
砥石周速	60 m/sec
真円度	1.0μ
面粗さ	1.6μRz
寸法ばらつき	5μ/100 PES
サイクルタイム	6.3 sec (砥石修正含む)
寸法制御方式	定寸研削法

2) 3M2202と同程度の CNC内面研削盤の研削精度について下記数値が発表されている。

工作物名称	ベアリング 内輪穴φ6
工作物材質	SUJ HRC 60-64
取代	0.1mm (直径)
寸法ばらつき	1.0μ
真円度	0.5μ
表面粗さ	1.2μRmax.
円筒度	0.5μ
真直度	0.2μ
サイクルタイム	7.5 sec
研削方式	オシレーション (OSCILLATION)
寸法制御方式	インプ・ロツク・ゲージ
砥石周速	1600 m/min
加工物周速	78 m/min

3) MG10100と同程度のセンターレス研削盤の研削精度について下記数値が発表されている。

	例 1	例 2
加工物寸法	φ50±0.0025×120mm	φ6 ^{-0.002} _{-0.008} ×105mm
研削方式	スルーフィド方式	スルーフィド方式
砥石種類	A150RR	A150RR
材質	SCr2H, HRC58	SUS 440C
研削代	φ0.03mm	φ0.03mm
送り速度	3.5 m/min	6 m/min
真円度	0.6μm	0.2μm
円筒度	1.0μm	0.4μm

表面粗さ	0.2 μ RmRz	0.2 μ RmRz
曲がり		0.5 μ m

(7) 日本における CNC汎用内面研削盤のバリエーション (VARIATION)

1. 多頭の砥石軸ヘッド、2、3、4個の自動割出しを行い、1回のチャッキング (CHUCKING) による多工程の研削加工を行う。
3.7.1(1)の式での工程待ち時間 t_6 に相当する。
2. 同時2軸、CNCによる精密テーパー加工、Z軸、X軸
3. 3軸制御による内面カム (CAM) 研削の高速化、高精度化、CBN砥石使用、Z軸、X軸、C軸
4. 砥石軸自動交換装置付 CNC内面研削盤、8本の砥石軸を有し、量産用と、多工程研削加工の、2通りの使い方もできる。
なお、砥石自動交換装置は CNC工具研削盤、CNC治具研削盤にも使用されている。
5. CNC立形全面研削盤で15KW、5.5KWの2-スピンドル (SPINDLE)、クローズドループ方式で内径、外径のストレート (STRAIGHT) 及びテーパーと、端面を1回のチャッキングで研削ができる。
許容ワーク重量3,000 kg-f、 t_6 に相当する。
6. X、Z軸に、スケールフィードバック (SCALE FEED BACK) 方式を採用し、完全クローズドループによる、0.1 μ m送り、を採用した高精度な、内面研削盤も開発されている。

3.10.3 摺動面の構造と送り精度

無錫工作機械工場の新しい摺動面の型式として、自社製の双Vニードルローラー (NEEDLE ROLLER) 直線軸受が標準化され、主要機械に採用されている。考え方としては、摺動面の摩擦抵抗を少なくし、追従性を向上しNC機に対応するものとして評価できるので、原理的には良いが、製作面で、生産技術部門、検査部門との打合せ結果より多くの問題点があるようだ。これについて下記問題点の報告を受けた。

1. ベッド、テーブル (TABLE) の直線軸受の取付面の平行度及び平面度が規格値に入らず、精度修正のために、キサゲ作業で多くの時間を費やしているようだ。また組立予圧の調整が難しい。
2. 軸受ガイドは 45×45、30×30 の 2種類あるが、軸受鋼を使用し、約10工程もの多くの工程を経て完品にしている。曲の値が、規格値に入らないものが多いとのことである。

いずれにせよ、この双Vニードルローラー直線軸受の製作及び組立調整に相当多くの工数を費やされているものと思われるので、建家(16)の、機械設備、人員、複合工順に要する費用、各工程での工数等を総合的に計算し、これの原価を把握する必要があるだろう。生産技術部門でも、これの改善要求が出されているが、打つ手がないとのこと。しかし双Vニードルローラー直線軸受は無錫工作機械工場の機械精度向上の重要な一要素であるので、原価を含めて、精度向上対策が必要である。西欧では一部使用されているようであるが、日本では直動軸受に変更されている。

この種の CNC 研削盤に、日本で使用されている摺動面形式で、移動指令に対する追従性を向上し、微少な切込を可能にする目的で、メーカーの特長をもたせたものが、大別して、2種類の摺動面形式である。

(1) 静圧摺動面

摺動面の形とし、V-平、角型、丸形があり、メーカーの特長を持った構造を採用している。また静圧摺動面の支持方法により、オープン (OPEN) 方式とクローズド (CLOSED) 方式の、2種類がある。日本において静圧角形摺動面を採用した CNC 内面研削盤で、 $0.1\mu\text{m}$ 制御可能な高精度機も出現している。図3.10.4 は角形静圧摺動面を示す。また、西欧において、MG10100 相当の機械で角形静圧摺動面を用い、切込位置決め精度、 $0.3\mu\text{m}$ を10年前に可能にしている。

(2) 直動型軸受 (ボール (BALL)、又はローラー (ROLLER))

この軸受は日本において1980年代より高度に発達したもので、優秀なメーカーも多く高精度のものが量産されており、日本の CNC 工作機械の摺動面に大きな変化をもたらしたと言える。

機械の高精度、高速化に伴い、マシニングセンター (MACHINING CENTER)、CNC 旋盤、CNC 内面研削盤、CNC 工具研削盤、CNC 治具研削盤、CNC 五面加工機等広い分野で一般化されている。写真3.10.4 は高速マシニングセンター X、Y 軸の取付状況、写真3.10.5 は

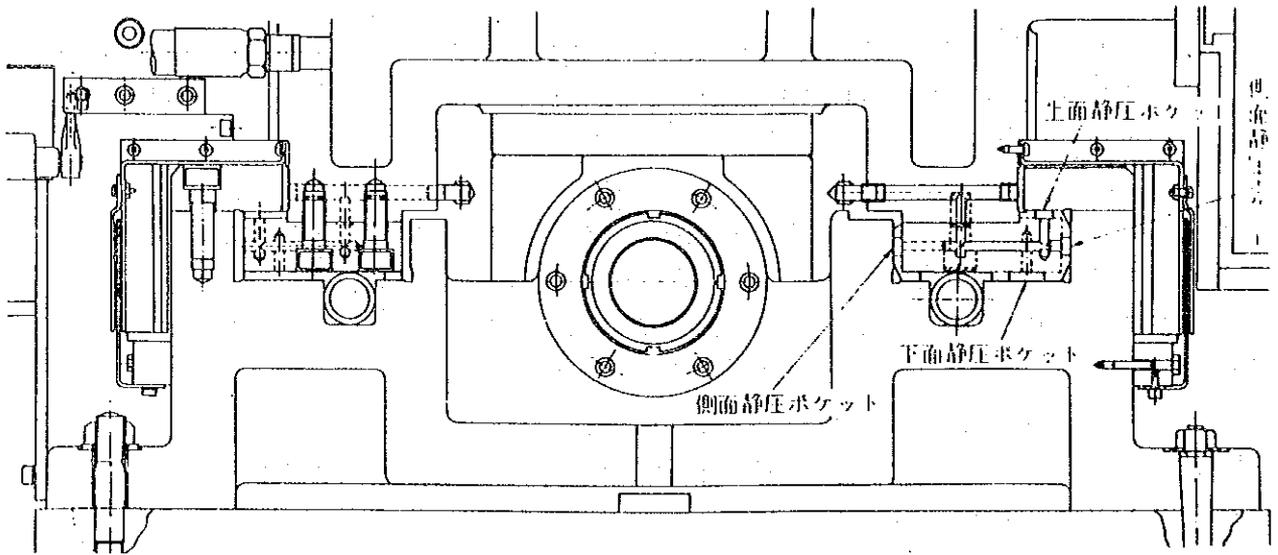


図 3.10.4 円筒研削盤砥石台のクローズドタイプ角型静圧摺動面

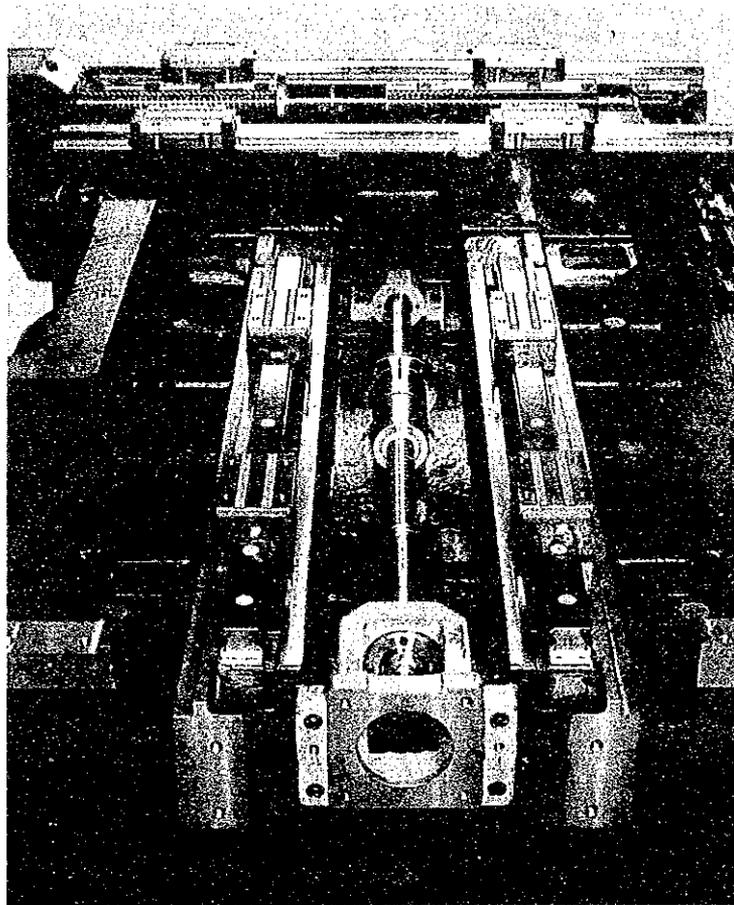


写真3.10.4 高速マシニングセンターの X、Y軸に用いた直動型軸受の実例

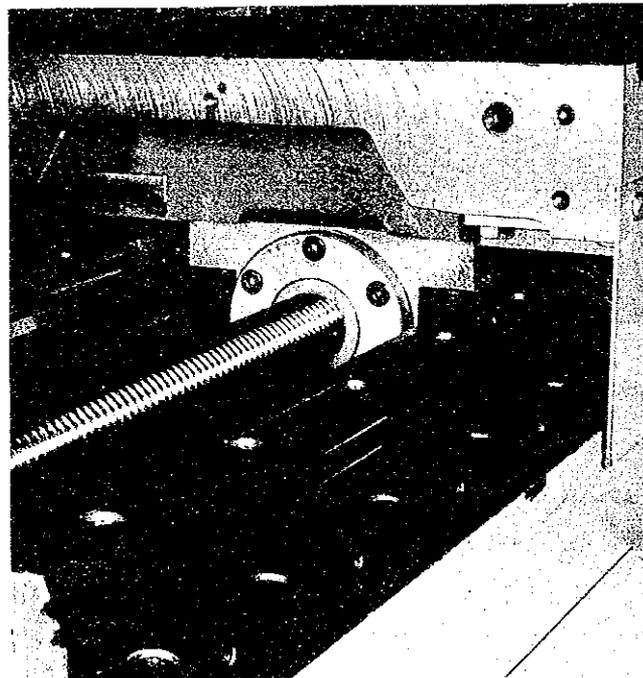
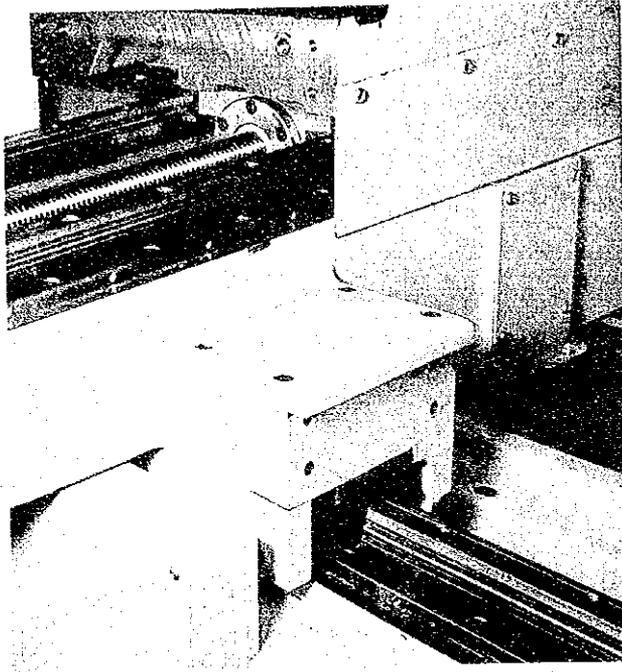


写真3.10.5 治具研削盤 X、Y軸に用いた直動型軸受の実例

CNC治具研削盤での、利用状況を示す。

CNC内面研削盤メーカーでも、数社この直動軸受を採用した、高性能機が実用化されている。無錫工作機械工場でもMK2110でこの直動型軸受を用いた機械を試作中と聞いたが、結果を期待している。

3.10.4 機械の数値制御化

制御方法としては、PC、PC+位置モジュール(MODULE)、簡易NCがコントロール(CONTROL)方式の主力であるように思われる。中国製NC装置として UN281、MNC808、国外のものとして、マルポス (MARPOSS)、シーメンス (SIEMENS)製が計画されており、また、駆動用パルスモーター (PULSE MOTOR)は大連電気工業開発公司 (日本のミネベアの技術導入) 製の使用が見受けられた。また、ステッピングモーター (STEPIING MOTOR)も採用されていた。以上のような状況であり、数値制御化については初期の段階と言える。

(1) 一般論として、研削盤用の数値制御装置の主な機能を、下記に示す。

1. 対話形プログラミング (PROGRAMMING) 入力機能を有すること。
2. 研削パラメーター (PARAMETER) (砥石軸回転、ドレス(DRESS)補正量、ドレススキップ(DRESS SKIP)量、研削電力値、切込速度、主軸回転数等) を、リアルタイム (REAL TIME) で補正し、最適条件を把握可能な機能を有すること。
3. 定寸装置などからの信号を受けて一連の研削動作を自動的に実行できる機能、図3.10.3 はその一例を示す。

以下に一般的な仕様を除き、内面研削盤、軸受研削盤に必要と思われる仕様について記す。

- | | |
|-----------------------|---|
| 1. 制御軸数 | 2~3軸 |
| 2. 同時制御軸数 | 2軸 |
| 3. 最小設定単位 | X軸0.1 μ m、Z軸1 μ m 又は0.1 μ m |
| 4. 絶対位置検出方式 | 電源を切ってもまた、加工中絶等でも、原点復帰不要 |
| 5. 記憶形ピッチ(PITCH)誤差補正 | ボールネジ (BALL SCREW) のピッチ (PITCH) 誤差を記憶する |
| 6. 手動操作機能 (手動パルス発信装置) | X、Z軸の手動送り、砥石軸、主軸の回転数 |
| 7. 計測装置等よりのデータの通信機能 | 研削行程の自動サイクル |

- | | |
|-----------------------------------|--|
| 8. ギャップエリミネーター機能 | エリミネーター(ELIMINATOR)信号で、ギャップ(GAP)行程送り終了 |
| 9. スケールフィードバック(SCALE FEED BACK)制御 | X、Z軸完全クローズドループ |
| 10. 軸オシレーション(OSCILLATION)機能 | 一般にZ軸で行う |
| 11. 定寸補正機能 | 押しボタンスイッチ(BUTTON SWITCH)を、1回押すごとに1 μ の補正可能 |
| 12. 固定サイクル機能 | 研削砥石修正を1シーケンス(SEQUENCE)で指令可能 |
| 13. スキップドレス(SKIP DRESS)機能 | プログラム(PROGRAM)指定 |
| 14. 汎用インバーター(INVERTOR)制御 | ベルト(BELT)駆動砥石軸の回転数 |

以上、主要なものをあげたが、実際には適用機種に合ったものを選定する必要がある。

(2) 機械の送り系

送り精度に直接関係するので、送り系の剛性に充分配慮した設計が必要になる。以下に考慮すべき点をあげる。

1. ボールネジは、大径の剛性の高い、予圧を与えたものでなくてはならない。ネジ精度は現状 D級を使用しているようであるが C級を使用し、レーザー(LASER)測長機による、ピッチ(PITCH)補正を行う必要がある。
2. 駆動モーター(MOTOR)は、高精度パルスコーダーフィードバック(PULSE CODER FEED BACK)による、高精度な回転精度が得られる、ACサーボモーター(SERVO MOTOR)によるボールネジ直結駆動方式が望ましい。
3. ボールネジの保持には接触角60°の専用スラストアンギュラ(THRUST ANGULAR)玉軸受を採用し、精度は JIS 4級以上が望ましい。
4. スラストアンギュラ玉軸受が組込まれるブラケットの剛性及び、ベッドへの取付方法に注意を要する。
5. ボールスクリーナット(BALL SCREW NUT)の取付部分は、テーブルと一体鋳造にすべきである。

以上の事項を注目して、剛性の高い送り系の機械にしたい。

なお、MG10100等の機械の送りをNC化することにより機械構造は簡素化され、インプロ