

大形工作機械

東芝機械(株)* 沢 田 潔

1. はじめに

大形工作機械の現状、動向についてその概要を紹介するに当たって

大形加工物とその動向

大形加工物の工作法とその問題点

集団工作法よりNCを活用した大形マシニングセンターへ

と言った点を中心にしながら、各種の実例をもとにして考察を進めてみたい。

2. 大形加工物とその動向

表1に吾国における、大形工作機械を必要とする加工

表1 大形装置が有する大形の加工部品

大形装置名	主な仕様、寸法
船用ジーゼル機関	SULZER-RND 105/180, 103RPM, シリンダ当り出力3,800HP シリンダ内径1,050mm×ストローク1,800mm, 台板巾4,500mm
船用タービン機関	50万トンタンカーの場合 33,000HP×2基, プロペラ径8,300mm, 減速歯車径約5,000mm
発電機関係	カプラン水車, 径10,000mm×高4,600mm, 427ton カプランケーシング, 径16,500mm×高5,000mm, 486ton原子力圧力反応容器, 110万kw, 径7,150mm×22,600mm 長, 620ton
圧延設備	ミルスタンド, 280ton, 予想350ton, スタンド巾5,000mm
プレス機械	圧力, 米ソ最大30,000ton, 日本10,000ton 圧力3,000ton 位が多数を占める
プラント関係	セメントキルン, ガースギヤ8,000mm, ミル胴径5,000mm

*沼津市大岡2068-3番地 第1技術部

部品、装置の主要なものを示すが、これらの部品は現在でも全般的には除々に大形化する傾向を持続している。しかし、そのテンポはそう急激なものではなく、加工機械の容量、能力と見合いながら装置自身の設計が進められているのが実際である。ただ、原子炉のような全く新しい技術を対象にした装置の場合には、必ずしも現在所有している大形工作機的能力内で工作できるような設計とはならないので、飛躍的な大形の仕事機械が新たに要求されるような場合もある。

この表からもわかるように、大形の仕事が必要とするものの装置の種類は限られたものになるので、そのための工作機械も汎用的なものより、むしろ専用のものを要求される場合が多い。しかし、逆の点からみると、多くの専用機としたのでは、加工物の数量が一種だけでは少ないので、他の種類の工作も可能とするフレキシビリティも同時に要求される。

加工物側よりみた大形工作機への要求を列挙してみると

- 1) 大形装置は、今後も一層大形化する傾向を続ける。
- 2) ユニット方式、ビルディングブロック方式による多目的専用機への構想—大形工作装置の考え方
- 3) 経済的加工の見地より操作性の向上、加工物段取り法の改善

- 4) NC技術の中核とした大形のマシニングセンターの開発

この場合のマシニングセンターには、全く1台の機械である場合、複合されたユニットによって1フロアーを構成する場合、数少ない台数の機械で、ある目的に対するグループを形成する場合、一工場全体が全ての大形工作物を有効的に処理しようとする全てのタレントを集中することによって一つの組織を形成する場合など、4形式が考えられる。

3. 大形加工物工作上の条件、問題点

- 1) 安定した加工品質の獲得
大形、超大形部品の需要は、国内だけでは安定しないので、国外にも市場を求める必要を生じ、逆に国内の市場も海外のメーカの目標になっている。

国内外のユーザ，専門メーカーが共に認めざるをえないような明確な工作法の特徴，加工品質の保証が必要である。

- 2) 専門化による国際競争力の強化
- 3) 国際協力による部品または半完成品の輸出
- 4) 加工納期の短縮
大形機器の納期を左右するものは，その中の大形部品であるので，段取り換え，マテハン，測定に対する時間とコストの低減が必要である。
- 5) 加工費そのものの低減
- 6) 大形部品の自重にもとづく変形と工作誤差の関係
- 7) 青少年労働者の定着性の減少，現場作業におけるノーハウの蓄積がうすれる傾向，さらに賃金の上昇にもとづき，人を主体とした加工法の場合にはそのためのコストの上昇

などがあげられているが，これに対して大形装置のメーカーすなわち大形工作機械のユーザがとっている具体的な方法についてはつぎのようなものがあげられている。

- 1) 工場別の分業強化と稀少設備の共同使用
- 2) 非切削時間の減少，すなわち段取り，マテハン，測定の改善
- 3) 多目的専用機械の採用，即ち注目加工物に対しては最高能率を発揮する専用機であるが，類形部品の工作に対してもフレキシビリティを有するもの
- 4) 高度の治工具の考案，すなわち互換性のある各種ヘッド，エアフロートする加工物定盤，大形のユニバーサルVブロックなど
- 5) 大形工作機械のNC化，集団工作，複合作業よりマシニングセンター化への移行など

4. 大形工作機械の実例とその特徴

1) 超精密大形工作機械

大形工作機械は一般的にはその加工精度として中小形のものより低下することは避けられないものであるが，その低下の度合は必ずしもその大きさには比例しない。

と言うのは，大形部品と言えども，二つの部品がはまりあう個所の精度の要求は中小部品と本質的な差はないからである。

しかし，中には通常の中小形機よりも一段ときびしい加工精度を要求される大形機がある。その1例として写真1にタービン減速歯車歯切盤を示す。この機械のテーブルに取付けられているマスターギヤを加工する親歯切盤は，現在日本では東芝機械に設置されているが，その親歯切盤のマスターギヤは現在までに6回に及ぶ精度向上のための交換を行っており，昭和28年における最大累積ピッチ誤差6秒より，現在では1.2秒（歯車径位

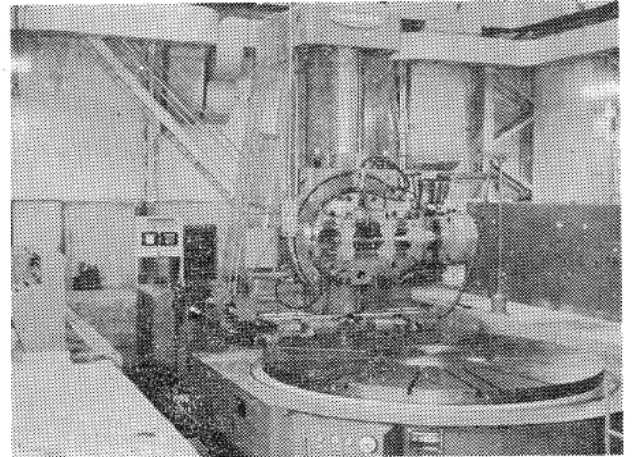


写真1 東芝機械：タービン減速歯車歯切盤 HHR-500B British Standard 適格歯車5,000mm まで切削可能，ピッチ糖度累積0.017mmを保証最大切削可能歯車径7,000mm：宇部興産にて稼動中

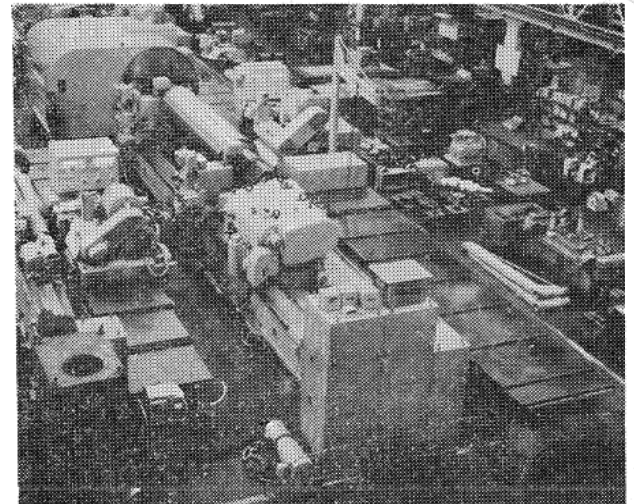


写真2 東芝機械：テーブル制御大形ロール研削盤，KWA-20a5A 210ton，NC：東芝 最大加工ロール150ton 2,000mm 径×9,500mm 長円筒度0.005mm，真円度0.002mm ロールのセッティングは手動リモートコントロールであるが，研削作業は荒，仕上を含め全行程が自動制御：八幡製鉄にて稼動中

置にて約0.012mm)に改善されている。

2) 熟練作業を自動化した大形ロール研削盤

写真2に圧延機用ロールのテーブル制御式ロール研削盤を示す。この機械の自動化の特徴は，今まで，最も熟練を要求された作業の自動化にあった。長年の HUMAN ADAPTIVE CONTROLの作業行程，加工係数を解析し，その作業行程はテーブルに，加工係数は制御盤のダイヤルにインプットすることを基本方式としたもので，研削の神様を数値化した制御方式と言ってよい。自動研削

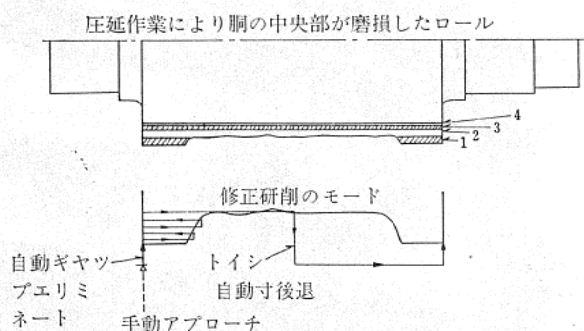


図1 自動研削行程

- | | |
|----------|----------------|
| 1: 修正研削 | 中間切込み
反転研削 |
| 2: 粗研削 | 中間切込み
両端切込み |
| 3: 中仕上研削 | 両端切込み |
| 4: 仕上研削 | ゼロカット |

のモードを図1に示すが、この方式の要点は、ロールの両肩の先行荒加工と、長い胴を粗研削する際のト石の摩耗を途中で補正するための中間切込み方式にある。

3) 大形工作装置としての超大形工作機械

一つの地域における最大級の工作機械は、第1に、その加工容量が大きいことが生命であるので、必然的に、その加工容量の大きさにフレキシビリティがあって、標準の最大容量より以上の加工物に対してもそれを何らかの手段によって受け入れうる必要がある。

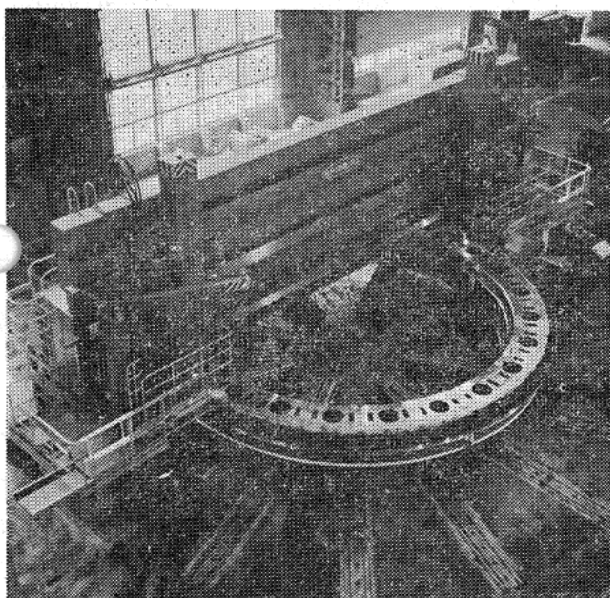


写真3 東芝機械：大形立旋盤、TWI-80/120、360ton カプラン水車 アウター ケーシング11,000mm 径を8,000mm 径テーブル上のカンザンに乗せて加工中：日本製鋼所室蘭にて稼動中

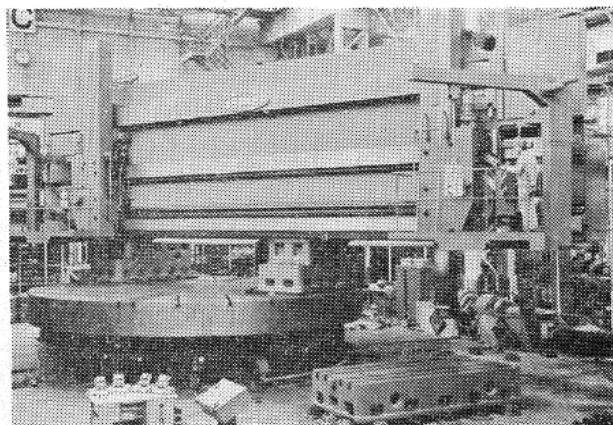


写真4 大形立旋盤を据えぐり盤形式に組換えた所、門形の場合の最大旋削径12,000mmが最大18,000mmまで拡大される。100tonのテーブル上に125tonの突出したクロスレールを乗せて回転することを可能にした技術は静圧スベリ面とクロスレールの吊ビーム方式にある。

写真3, 4に吾が国最大の立旋盤を組み換えて使用する例を示す。加工径の拡大の他、高さ方向については、コラムのブロックを追加することにより標準の4,000mmより更に高くすることも可能になっている。

また、クロスレールの上にもう1本並行して配置してあるビームは、吊りビーム方式と呼ばれ、図3, 4の両形式に対して容易にクロスレールの真直を補正し、15,000mmの全長に対して0.025mmの真直度を確保している。写真5には、極端な偏荷重を受けても全く金属接触を起さない完全静圧スベリ面の模型を示す。

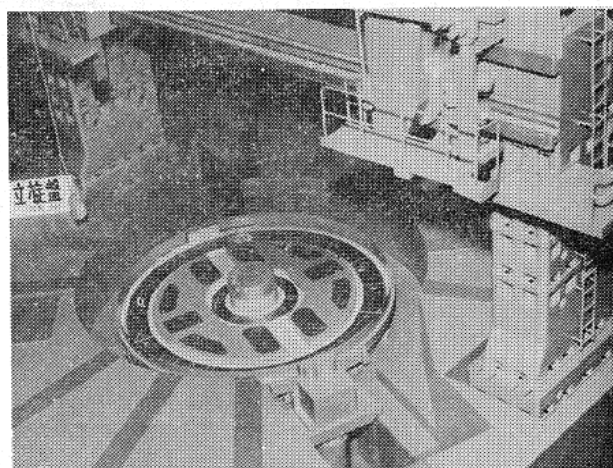


写真5 立旋盤の模形、テーブルをはずした所で、ベッド上面に2条の静圧スベリ面が見られる。テーブル100tonが親指で回わせる滑かさを有し、テーブル上に250tonの荷重を乗せて、85%の動力を切削に消費できる効率を有する。

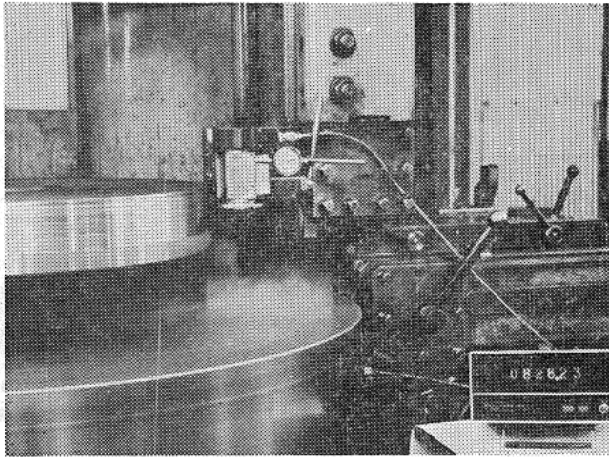


写真6 東花機械：大直径測定器とデジタル直径表示器測定精度0.01mm、ディスクを測定直径に押しつけ、その回転した数を精密に計測する方式、ディスクのスリップは皆無である。

4) 大径の測定の自動化

大形加工物の寸法測定の困難さの一つに、大きな直径の測定があげられている。写真6は、この問題を解決するための一つのアプローチを示すもので、被測定物が5回転する間の表面の転走長さを自動計測し、デジタルカウンタには、被測定物の直径が0.01mm単位で直接に表

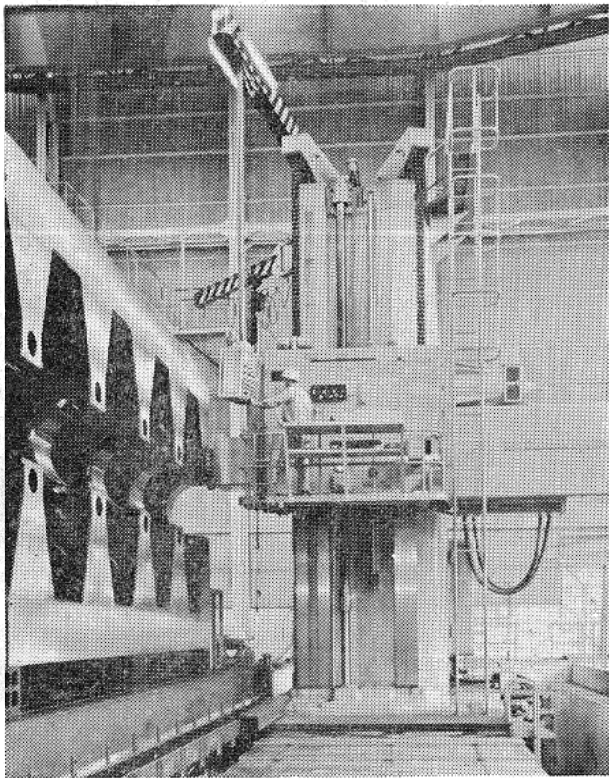


写真7 東芝機械：床上型横中ぐりフライス盤、BSF-32/21、600mm径のフルバックカッターにより船用ディーゼルエンジンの台板を加工中：浦賀重工にて稼動中

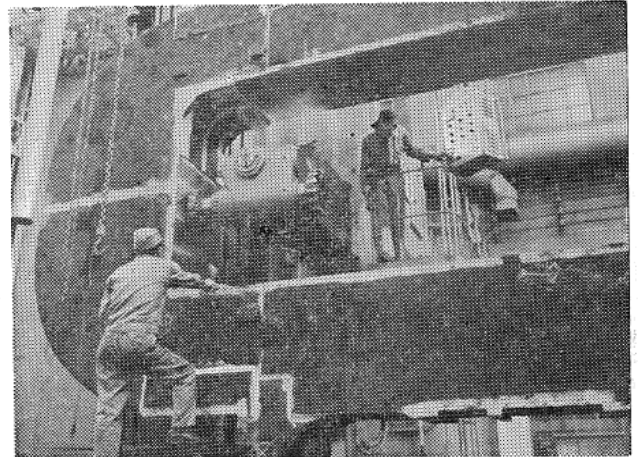


写真8 東芝機械：大形横中ぐりフライス盤にて、双頭のアングルヘッドを活用して圧延機ロールスタンドの内側を加工している所、ヘッドより突出されたラムの強靱性と、合せて接近性のよさが示されている：石川島播磨重工にて稼動中

示されるようになっている。どんなに大きな直径でも、また人が中に入れない深い穴の中の直径でも何らの差別なく測定できる。

5) アタッチメントを最大限に活用した複合作業

写真8に示す機械は、箱形の超大形加工物を多目的に加工できる形式のもので、面割り、穴グリなどを行なうものである。写真Bでは、ヘッドから突出した角形ラムの先端に双頭のアングルヘッドを取付けてミルスタンドの内側面の加工を行なっている。この機械も100ton以上のコラムを精密に移動させるために静圧スベリ面を採用しており、またヘッドを吊り上げている2本のバランス用の吊り上げ装置には、強大な角ラムがヘッドより出入りした際にヘッドが傾かないよう、左右の吊り上げ力を自動的に補正する機構が組込まれている。

6) 2種類以上の機械を組合わせた複合作業

写真9には、床上形の横中ぐりフライス盤と立旋盤・旋回テーブルとを組合わせて大形リングの旋削加工を行なっている。このような旋削加工がたまに行なわれる場合には、この方式は十分ペイするものであろう。

写真10には、この機械のヘッドに、横直角の向きにフェーシングヘッドを取付けて、タービンケーシング内径のミゾ加工を行なっている所で、本来ならば、上下のケーシングを1体に合わせてからミゾ切りを行なうべき所を、半ペラずつ加工している。一般的には、加工物の姿勢などの点より、難かしい加工方式とされているが、とにかく特色のある加工方式である。

写真11は、横中ぐりフライス盤のコラムを、スピンドル方向のベッド上に滑りうるように乗せ、加工物の方はスピンドルと直角方向に滑りうるテーブル上に乗せたも

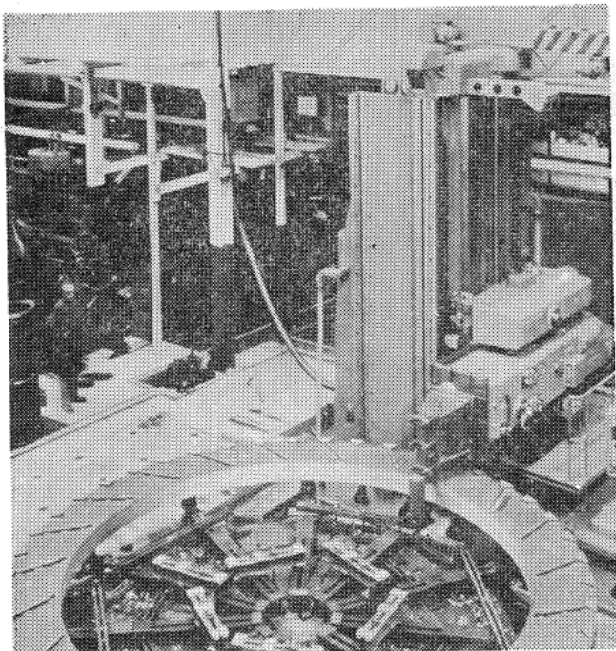


写真9 INNOCENTI：床上形横中ぐりフライス盤とターニングテーブルとの組合せによる複合加工，ヘッドの前面には各種のアタッチメントが取り付け換えされるようになっている。

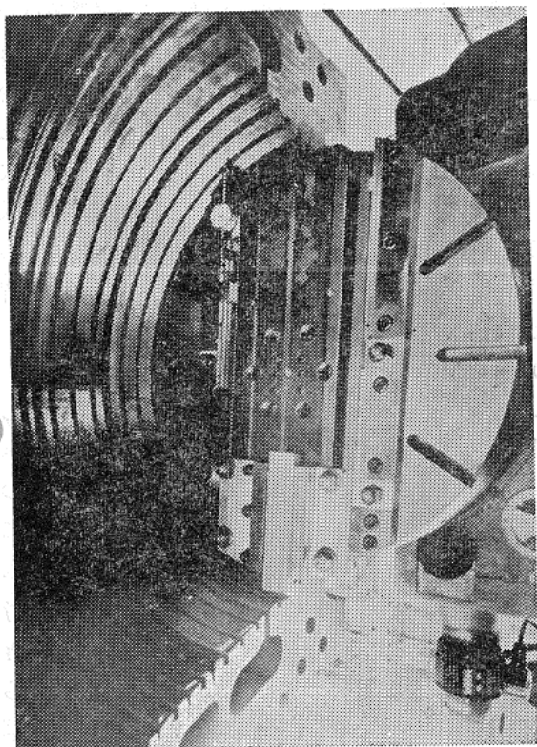


写真10 INNOCENTI 横中ぐりフライス盤のヘッドに，直角フェーシングヘッドを付けて，タービンケーシングのバレルミゾを加工している所，各種のアタッチメントが活用されるようになっている。

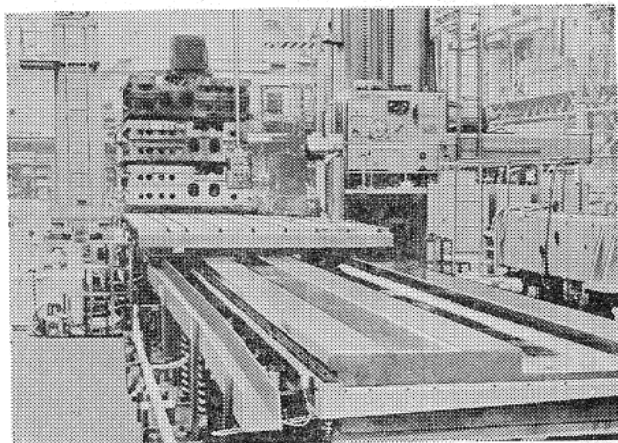


写真11 東芝機械：テーブル形大形横中ぐりフライス盤，静圧スベリ面方式を用いた30tonのテーブル上に103tonの荷重を乗せてテスト中，5.5kwの送りモーターで，十分な切削送り力が得られる：石川島播磨重工へ納入

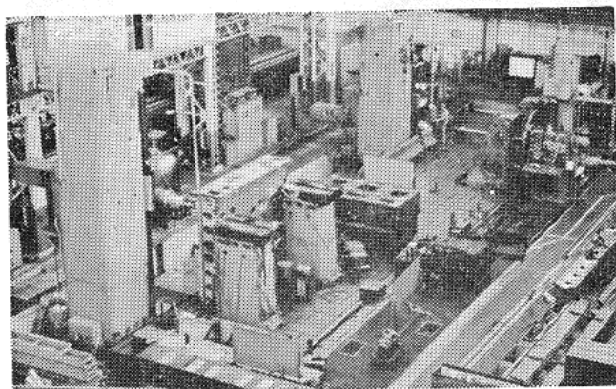


写真12 東芝機械：1本の共通ベッドの上に直列に列べられた2台の横中ぐりフライス盤と，加工定盤をはさんで直角に配置された中形の2台の横中ぐり盤と，計4台による集団工作法：東芝機械大形工場

ので，長手方向の切削精度についてみた場合には，コラムを長手に移動させる方式に比べ，よりよい精度がえられるとされている。反面テーブル上に乗せうる荷重，寸法よりの制約は大きくなってくる。

7) 集団工作法

大形加工物を加工する場合の注意点の一つは，大重量且大形ゆえの段取りの困難さにある。したがって，別の作業中につぎの加工の準備をしておくこと，できるだけ段取り換えをしないで全加工を完了することが要求される。写真12に，この目的のための集団工作の1例を示す。

ただし，この例では，1個の工作物の周囲から，工作物を定置したままで加工を行なうところまでには至ってい

ないが、つぎの工作の準備が機械を休ませることなく行なえることと、各種の工作が、機械に取り囲まれた島の中だけで完了できることで一種のマシニングセンターを形成している。

8) クロスレールで上下送りをかけるNCフライス盤
加工物の大きさには、より制約をうけるけれども、より優れた真直度のフライス加工をえたい場合には、写真13のような門形のテーブル形フライス盤が用いられる。

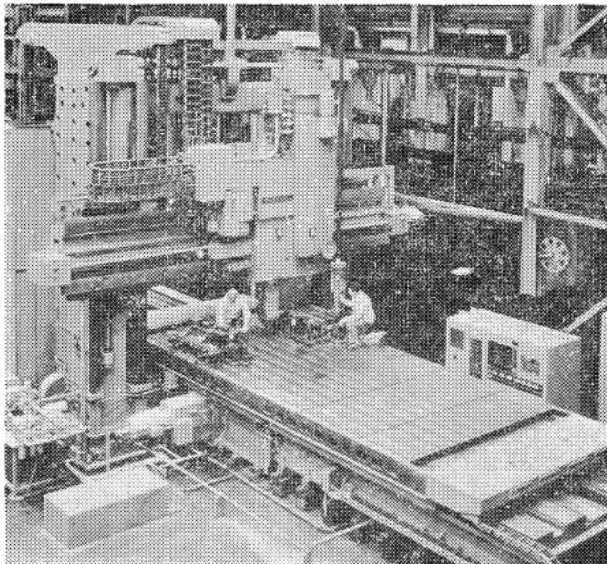


写真13 INGERSOLL : ADJUSTABLE RAIL NC MILLING MACHINE 加工容積3,600 mm 巾×3,000mm×7,800mm 長 カッタの上下送りは、クロスレール自身を上下させることによって精密且剛性のある送りがえられるようになっている。NC:GE

この機械は、写真にも見られるようにヘッドに直接に剛性の高いアングルヘッドなどが取付けられるようになっており、このヘッドの上下運動を剛性をそこなわずに行なうために、クイルなどを上下に出し入れせずにクロスレール共上下に精密送りを行なっている。運動の方式としてはより高度の技術を要求されるが、理論的により優れた工作法を達成するためには、あえてそれを行なうと言う工作機械製造上の真実な姿勢がうかがわれる。

また一方、NCは、このような大形機にも実用されていることを示して興味深い。

9) 大形加工物は、使用姿勢と同じ姿勢で加工されることが最も好ましい。

さきに、写真10において、タービンケーシングを側面を上にして、直角フェーシングヘッドによってパレルミゾを加工している例を示したが、それは工作機械のフレキシビリティを最大に活用する面で特色があったが、写真14に示す工作法は、全く異なった考えに立脚するもの

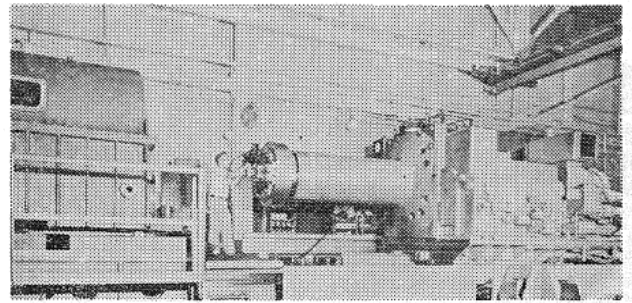


写真14 FARELL BETTS, タービンケーシングの中グリ、端面フェーシング専用機、NC:ダイヤルインプット式、タービンケーシングが、使用される姿勢が加工されることが特徴、ケーシングは、エアフロートする定盤の上で精密に心出し位置決めされる。250ton: GE Medium Steam Turbine and Gear Dept. にて稼動中

である。

すなわち、加工物を中心に考える方式であって、ケーシングを使用状態と同じ水平姿勢に置き、突出し距離が一定の大砲形式の中ぐりバーを台共左右に移動させて、中ぐりバー先端に取付けられた回転工具によって中ぐりを行なう機械である。ケーシングの端面近くの間口を削っても、中の方を削っても、バーの撓みは一定であるので、加工穴の通りが曲がらない点、バー自身を繰出す方式に比較して優れている。また、上下のケーシングを合わせて加工するので、上下の加工差が生じない点も優れているが、難しさもある。それは手がとどかない深い穴の中で数多くのミゾを加工する点であって、在来方式では工具の調整、測定の間より致命的であった。しかしこの問題は、NC方式によって全く人間の手作業より解放されるようになって、始めて実用的となった。

10) 曲面切削の大形NC工作機械

この分野は、今まで工作機械が存在しなかった新しい分野である。船、航空機、水車、タービンなどプロペラの種類、数は大きなものがあるが、今までは、小形のものばかりで、大形のは膨大な工数の手作業によって加工されている。今、大形のものについてのみふれてみることにするが、手作業による工作は、最近の労働情勢により熟練者、未熟練者共に集まらなくなっていること、加工精度の点よりも均一な成品が得られず、運転効率にも大きな改善の余地を残している。写真17は、船用の大形プロペラの翼面のみを削るための専用機であって、翼面の形状は各種のものが、計算機により自動プログラムされるようになっている。

この種の機械は、多種の複雑な曲面を削るためのものであるが、NC機の本来的特質によって、機械の形状は

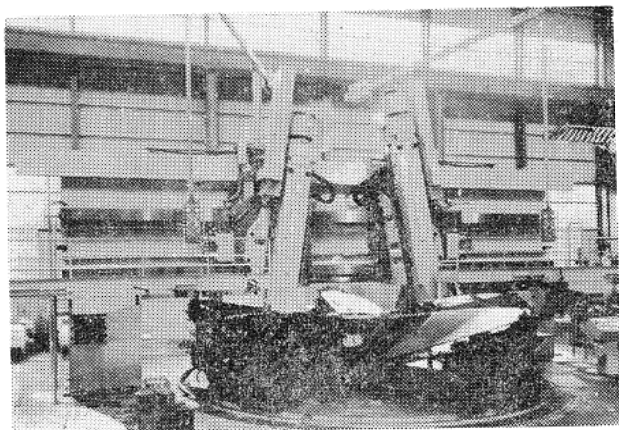


写真15 東芝機械：プロペラ翼面加工専用機，130ton 最大8,000mm 径までのプロペラ翼面を加工できる。NC：富士通：神戸製鋼呉工場，世界一の船用プロペラメーカーにて稼動中

単体となり，精度，剛性と円滑な運動に重点をおいた構造となり，その複雑さ，フレキシビリティはNCテープ，すなわちソフトウェアの方に置き換えられるようになってきた。

この機械自身の特徴としては，この他に，フルバックカッターによって，曲面の高効率の切削を行なっていることであろう。

11) 大形5軸マシニングセンター

NC化にともなって新しく登場した汎用的大形工作機械に5軸マシニングセンタがある。ここで言う5軸と言う呼び方は，単に軸が5本あると言う算数的な呼び方でなくて，特別の物理工学的な意味を有する。3次元の空間の中の任意の1点に与えられた任意の単位ベクトルは x, y, z, i, j, k の6個のディメンションにて表わすことができるが，ダイレクトコサイン i, j, k の値は， x, y, z 軸の各々の軸の回りの回転角 a, b, c の中の任意の2組の値によって代用することができる。すなわち，空間上の任意の点を，任意の角度より加工するための工作機械は，工具は x, y, z の3方向に動きうることに， x, y, z 軸の回りの回転の中のいずれか2個の回転をすることが最低必要条件となるので，そのような能力を有する機械を5軸機と呼ぶわけである。

写真16に代表的なものとして FRORIEP 製の SPHEROMILL を示すが，この機械はミサイルの頭部とか，深海潜水箱の半球とかを完全に削り出すことができる他，図2に示すような BOEING 747 などの巨人機のフレーム枠の削り出しに用いられる。

この形式のものは，今後，どんな形状のものでも切削できる機械として，汎用的大形NC機の一つの分野を作るものと思われる。

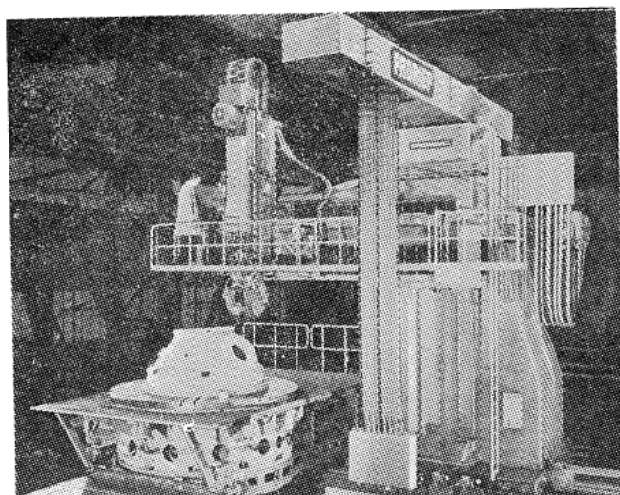


写真16 FRORIEP：SPHEROMILL，大形5軸マシニングセンタ，300 ton，3.6億円 テーブル上振り10,000mm 高さ3,050mm スピンドル25HP，ターニング100HP 位置決め精度 $\pm 0.025 \sim \pm 0.0125$ mm 回転の精度 $\pm 2''$ NC：TWI：BOEING にて41年暮より稼動

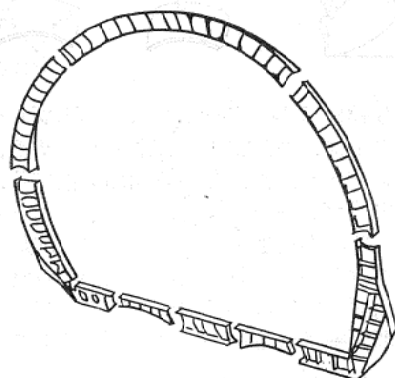


図2 FRORIEP 5軸機によって削り出される大形航空機のフレーム枠の例

図3には，吾が国において始めて製作中の大形5軸マシニングセンタを示す。

これらの加工用の自動プログラムとしては，APT-III，FMILL，GEMESH などを用いるが，これらの自動プログラムを完全に使いこなすことは，今後長期間の実用上の訓練，研究を必要とする非常に大きなテーマであるとされている。

図4に，カッタの姿勢を中心にした3軸，または5軸加工の一つの方向を示すが，これらの詳細についてはここでは述べないことにする。

12) 集団工作法より発展した巨大なマシニングセンタ
特殊な宇宙関係の部品加工用としてではなく，現在多くの会社にて製作されている大形発電機，タービンなどの大形フレームの加工用として，新しくNCの技術を取

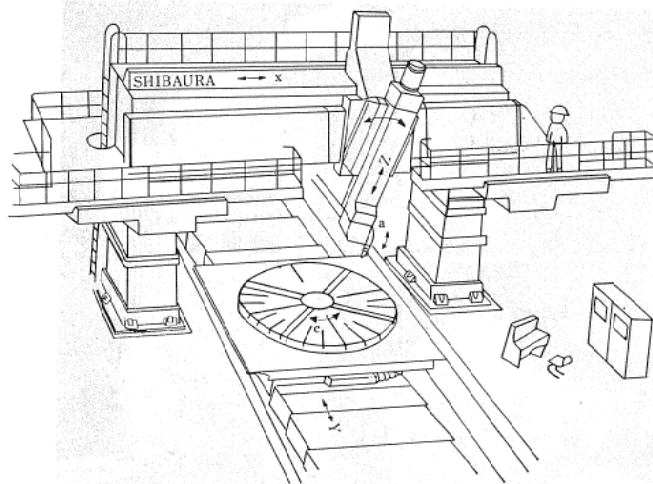


図3 東芝機械：大形5軸マシニングセンタ，水車類加工専用機，テーブル上最大振り8,000mm NC：Bendix Dynapath 25：東京芝浦電気にて43年春より稼動予定



図4 5軸機によって加工される水車ブレードの1例，左図は1体鋳造のランナを，ボールエンドミルを傾けながら曲面切削する。中図は，単体ブレードの場合，直立したボールエンドミルで曲面を加工する，右図は，楕形のカッタを傾けながら，且切削面の法線より常にわずかの前傾を保ちながら曲面切削を行なうもので，切削効率は最も高いがプログラミングは最も難しいものである。

り入れることによって1回の段取りによって，フライス，中ぐり，ドリル，タップなどの全加工を終了しようとする機械が出現している。このような機械では，1週間以内で大形フレームの全加工を終了してしまうので，その加工精度，均質性と合って納期の大巾な短縮のために，その競争力が大巾に増大し，非常な関心がよせられている。

図5は Westinghouse において発電機フレームの全加工用に用いられている機械で，860ton，7億円のマシニングセンタである。エンドユニットは，写真14と同形式の大砲式の中ぐり，フェーシングヘッドで，5コの同一重量の互換ヘッドによって，フレーム端面のドリル加工もできるようになっている。サイドユニットには，床上形横中ぐりフライス盤を用い，合計8軸がNCで駆動される。加工物の段取りにも特別な工夫が試みられており，加工物はユニバーサルVブロックの上で容易に精密なテ

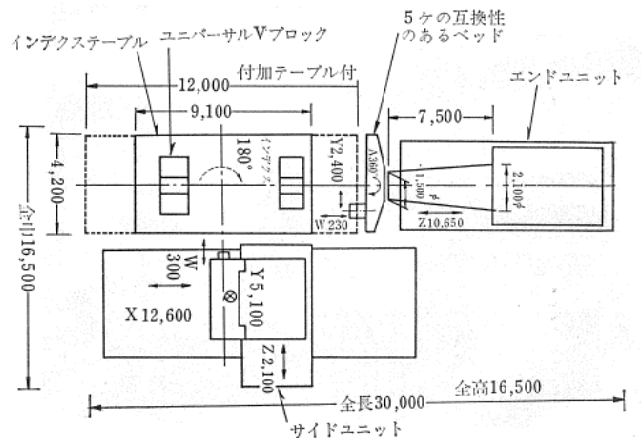


図5 FARREL 8 AXIS MACHINING CENTER インデクステーブル上の加工物を，中ぐりと端面削り用工エンドユニットと，床上形横中ぐり盤形式のサイドユニットとで全加工を完了する：Westinghouse East Pittsburgh.にて稼動中

イルティングが行なわれるようになっており，インデクステーブル自身も，大きな極部荷重をうけて生じる極部変形を静圧方式によって水平に補正する装置が組込まれている。

写真17は，NC工作機械として最大級のもので，写真のようなダブルヘッドのギントリーが2本配置されている。この4ヘッド式1,000tonのNC機は，タービンケー

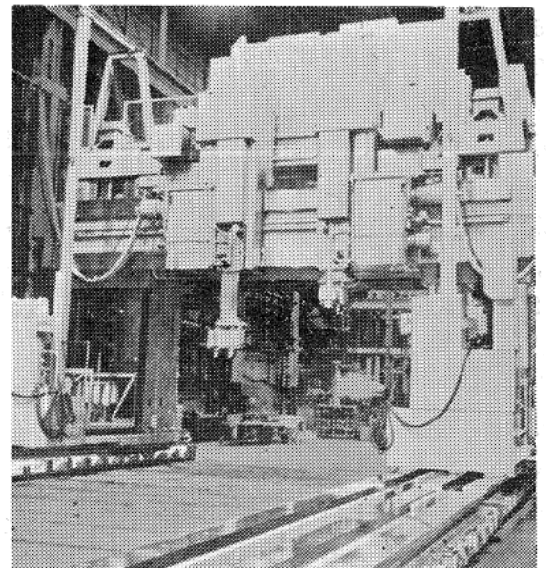


写真17 MORTON：DOUBLE BRIDGE GANTRY TYPE MACHINING CENTER，2本のベッドの間の定盤上に加工物がおかれるが，写真に見えない手前にもう1本の BRIDGEがある：GE, West Lynn Mass. Medium Steam Turbine and Gear Dept.にて稼動中

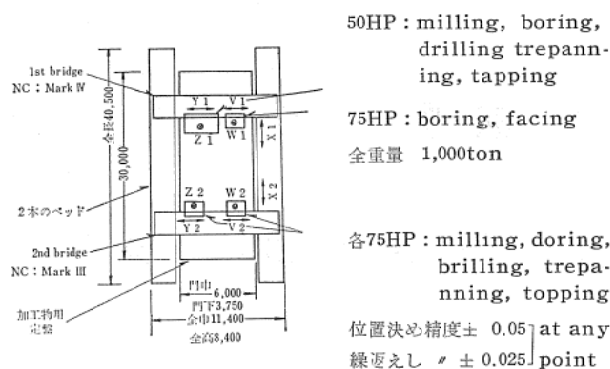


図6 MORTON MACHINE: この機械と、写真14の機械と、他に2台と計4台によって構成される機械群によりタービンケーシングの全加工を終了するもので旧来は11台の機械で加工を行っていた。

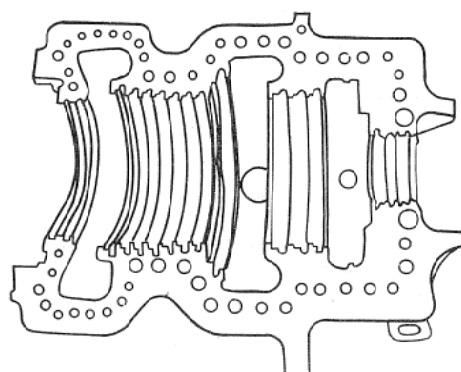


図7 タービンケーシングの見取り図
蒸気圧86kg/cm²、合せ面の平坦度0.05mm、
面粗度3~4S

シングの合わせ面関係の加工を行なうもので、図6にそのレイアウトを示す。

参考のために、GE社の図7のタービンケーシングの新しい工作を示すとつぎのようになっている。

- ①MORTON-第1ブリジ (NC) にて
上下各半分のケーシングの合わせ面のラフミルとボーリング→X線チェック→補修溶接→
- ②MORTON-第2ブリジ (NC) にて
合わせ面上仕上→穴あけ、タップ、スポットフェースなどの全仕上げ→
- ③FARREL BETTS ROTARY SURFACE GRI-

NDE にて

注) 主な仕様、テーブル径7,500mm, トイン径3,000mm, 250HP

合わせ面研削仕上げ→ボルトにて上下ケーシングを合わせる→

④FARREL BETTS, 中ぐり, 端面フェーシング専用機 (NC) にて

使用姿勢にてバレル部仕上げボーリング→

⑤INGERSOLL, 床上形横中ぐりフライス盤 (NC) にて

バルブの仕上げボーリング, ダイヤフラムロックスクリュア穴あけ, タップなど残りを加工→完了

5. 大形NC工作機械の評価とその動向

以上, 大形, 超大形工作機械の本質と開発の動向について, 事例を紹介しながら考えを進めて来たが, ここにまとめとして, 大形NC工作機械の評価と, その動向について, GE社が1,000tonの NC GANTRY MACHINEを設置するについて, そのねらいとして主張していることを紹介する。

- 1) 約17億円にのぼる群NC機によるマシニングセンタは5年で原価償却できる見込みである。
- 2) 加工ステップは $\frac{1}{2}$ に縮小した。大形加工物の移動時間の減少が大きな効果をもたらしている。
- 3) 成品コストは、従前の18億円より12.3億円となった。
- 4) フロアスペースは16%節約した。
- 5) 従前11台の機械が4台となった。
- 6) スクレープによる手仕上げが不要となった。
- 7) 自然または使用姿勢と同一な姿勢にて加工を行なうので, 上下ケーシングの合わせずれがなく, 気密性が良好で安全な成品がえられる。
- 8) 納期が短縮し, 加工ミスが減少した。

これらのねらい, 評価は, そのまま他の大形NC工作機械にもあてはまるものと思われるので, 今後の発展に大きく期待を寄せる次第である。