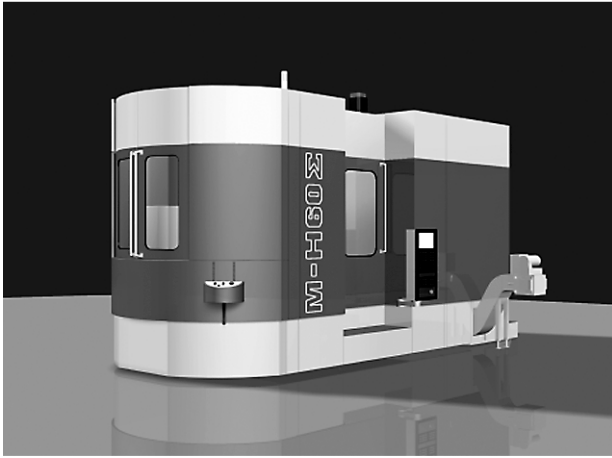


物づくりの原点 マザーマシン / マシセン 昨日・今日・あした

The Starting Point for "CREATION"

- Yesterday, Today, and Tomorrow of "MACHINING CENTER" Called "MOTHER MACHINE" -

春日 井 露 藤原 彰 彦
笹井 浩 昭 梶山 優



1. はじめに

工作機械は、“機械を作る機械”あるいは、“マザーマシン”と呼ばれ、産業製品の製造に不可欠な機械として産業の発展とともに歩んできた。現在、工作機械の中で、NC旋盤と並び広く世の中に普及しているのが、マシニングセンターである。

マシニングセンターの歴史は、昭和33年（1958年）アメリカのカーネイ&トレッカー社が開発した実用化マシニングセンター“ミルウォークマチック”にさかのぼる。この頃から“マシニングセンター”（以下マシセンと称す）という名称が誕生した。

2. マシセンの昨日

当社では、昭和33年（1958年）頃から工作機械のNC化の研究に着手し、昭和40年（1965年）以降、産業界で合理化ニーズが高まる中、昭和43年（1968年）に初の横形マシセン“MPA-10”、“MPA-15”を2機種同時に完成させ、市場に投入した（図1）。

昭和46年（1971年）の“ドルショック”、昭和48年（1973年）

の“石油ショック”で、低成長経済に移行し、この背景の中で昭和49年（1974年）に自動化の先駆けとなる“MPA-50”、“MPA-70”、“MPA-40”、“MPA-100”が完成した。

昭和54年（1979年）には、APCを標準装備し、無人運転、FMS対応が可能な、“MPA-50A”、“MPA-50B”、“MPA-60A”、“MPA-80A”が完成し、このシリーズの発売で従来の4倍の出荷台数を達成した。

昭和58年（1983年）には、金型業界で圧倒的大勢を占めていた立形マシセンにも参入し、業界初の熱変位補正機能と独自の自動プログラミング装置を持つ“MPA-V45”、“MPA-V55”、“MPA-V65”を発表し、市場の好評を得た。

一方、マシセンの無人運転が可能になるにしたがいFMC、FMSの商品化も充実し、本格的なシステム商品へ展開していった。昭和60年（1985年）には、“フリーフロー生産システム（F-FMS）”を開発。複雑な制御コントローラを必要としない本システムは、国内外のユーザの共感を得て多数のラインを納入した（図2）。

その後、マシセンは生産性向上を柱に高速・高精度化のニーズに対応し、送り速度の向上、主軸の高速化をモデルチェ

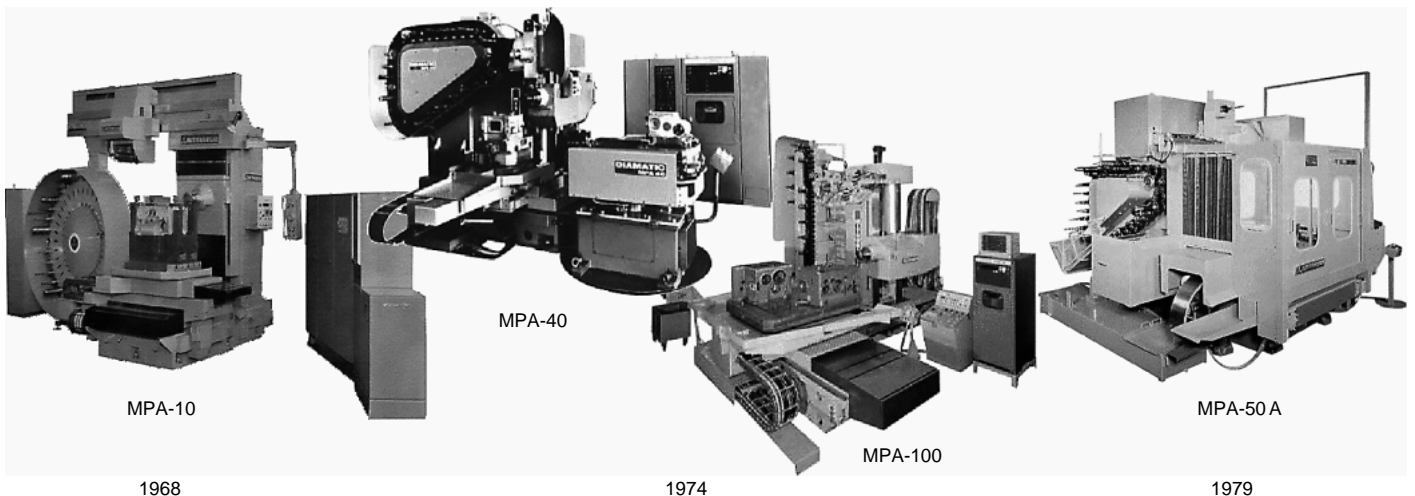


図1 マシセンの沿革 開発初期の横形マシセン機種の変革を示す。

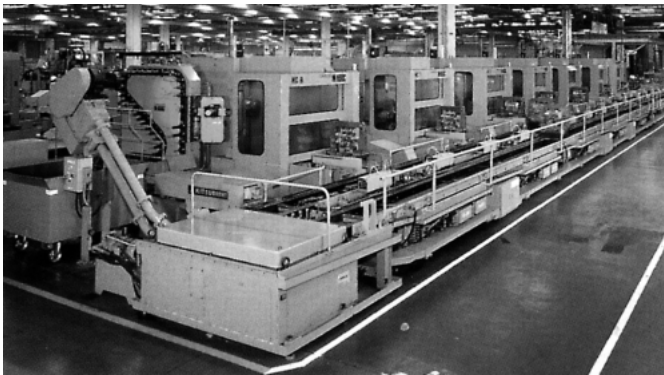


図2 F-FMSライン F-FMS（フリーフロー生産システム）ラインを示す。

ンジに合わせて実施し、市場に送り出してきた。主軸の高速化、高精度化には、ビルトインモータが不可欠となり、平成7年から8年（1995年から96年）にかけて発売した横形マシセンM-HEシリーズ、立形マシセンM-VEシリーズでは、主軸にビルトインモータを全面採用した。また主軸の高速化に合わせて送り系の高速化、運動性能向上にも取り組んだ。当時、パレットサイズ800×800mmクラスの横形マシセンで、送り速度40m/minを実現し、いち早く世に送り出した。

3. マシセンの今日

近年、中国を始めとしたアジア地域に、世界の製造拠点がシフトしつつあるなか、高付加価値マシセンとして商品化したのが、平成13年（2001年）に発売した、シリーズの立形マシセン“M-V50”、“M-V50-FM”である。さらに、平成14年（2002年）には、シリーズの横形マシセン“M-H60”、“M-H80”を発表し、シリーズの立形マシセンには、テーブルサイズの一回り大きい“M-V70”“M-V70-FM”をラインナップした。

このシリーズは、加工対象物の特性から、その性格付けを分類し、金型分野、原動機分野、航空機分野、自動車分野（その他汎用部品含む）の4分野を柱として展開した。

(1) 金型分野

アルミ材金型から高硬度材金型まで、自由曲面形状を高速、高精度、高品位に加工する機械。

(2) 原動機分野

難削材を加工する高剛性機、さらにはブレードなどに代表される5軸加工機などの高機能機。

(3) 航空機分野

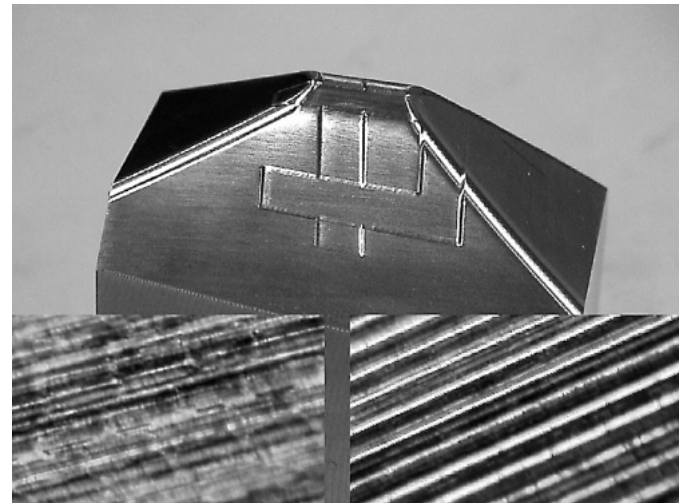
アルミ材から三次元形状を高速に削り出す高速・高機能機（例えば5軸加工機）。また、原動機分野に共通する難削材部品加工用の高剛性機。

(4) 自動車分野

アルミダイキャストを中心とした高速切削送り機 鋳物、スチール材を中心とした高剛性、高速機。

3.1 金型分野を支える技術

立形マシセンのシリーズは、特に金型分野を指向した機種で、高品位の金型加工を実現するために、金型の製造現場を知ることから開発を始めた。ボールエンドミルで1パス毎



従来機

M-V50-FM

図3 ボールエンドミル加工での加工面拡大 従来機とM-V50-FM機での加工面品位の比較を示す。M-V50-FMでの加工面が優れている。

に形状を仕上げてゆく金型加工では、形状精度、加工面品位の向上が課題である。このためには三次元形状の移動指令点群データを高速に処理し、送り軸の移動の追従遅れを正確に補正できる機能が必要であった。

加工品位面向上には、高速回転・低振動主軸の研究を実施した。また、送りの高加減速を頻繁に繰り返す形状加工に対し、高加減速時の機械の姿勢変化を極小に押さえるために、剛性評価基準を見直した。さらに、移動指令点群データの高速処理と送り軸の移動の追従遅れを補正する機能として、新しくFM制御機能（微少点群データでの部品形状加工時の点と点の加速、減速を先読みし、機械の剛性に合った加速、減速の最適値を指令する機能）を開発し、高品位加工に寄与した（図3）。

主軸の低振動化では、回転速度全域に対し、振動を抑制するように設計解析した回転速度30000min⁻¹の主軸を開発した。これにより、主軸の回転体のみならず、主軸を支える基幹部品を含めた機械全体での評価解析技術確立し、機械に反映した。全回転域での振動評価は、業界に先駆けたものであった。さらに、低速域での主軸剛性を高めるために、低速、高速での主軸ベアリングの予圧切替機構を実現し、低速域での重切削から、高速域での切削迄を安定して実現することができた。これらの技術には、原動機を始めとする当社の回転体解析技術が活用された。また、機械の精度維持、安定には、3点支持ベッドの採用、熱変位抑制として、機体内にエアを送風しての機体温度の均一化（図4）、機体への加工熱の影響を押さえる熱遮断カバーの設置、多点温度計測補正機能などで、熱変位を±0.005mm以下に低減した。これらの熱解析技術に関しても三次元CADをベースとした熱解析プログラムが大きな効果を挙げている。

3.2 原動機分野を支える技術

ブレードを始めとする高温環境下で使用される原動機分野の部品は、耐熱合金鋼（チタン、インコネルなど）、ステンレス鋼に代表され、難削材料であると同時に、加工形状も三

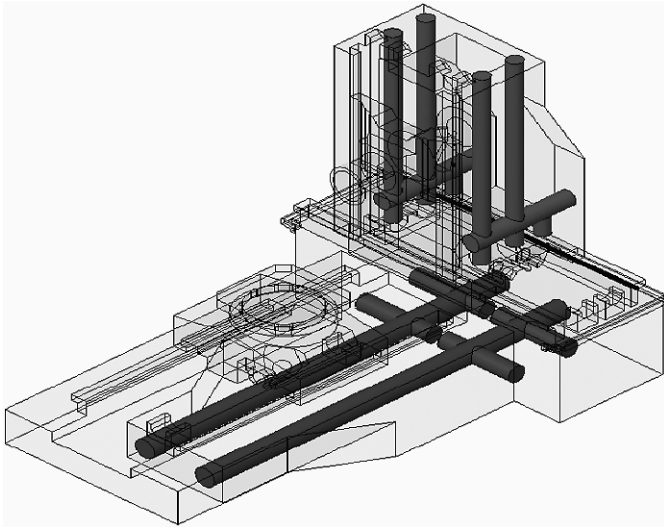


図4 機体内エア送風のモデル マシセンの機体内にエアを送風することにより、機体温度の均一化を計る。

次元形状と複雑であり、高いプロファイル精度も要求される。こういった難削材部品の加工機械としては、機械の静剛性が強いのみでなく、動剛性の高い機械が望まれる。また、長期安定精度も不可欠で、熱変位を含めた機械の精度安定が必要となってくる。

横形マシセン“M-H60”、“M-H80”のシリーズは、この要求にこたえるために次の要素技術に取り組んだ。

(1) 高トルク、高剛性主軸の開発

高トルク、高剛性主軸として、主軸モータトルクのアップに加えて、主軸ベアリングの高予圧化を図った。主軸ベアリングの予圧を上げた場合のベアリングの温度上昇防止技術として、主軸内部からベアリングを冷却する機構を採用した。

(2) 滑り案内の動剛性と転がり案内の運動性能を兼ね備えた送り機構

送り系に関しては、高い動剛性を確保するために、荷重側、反荷重側とも静圧支持を採用した全軸油静圧しゅう動面機構を開発した。

この機構は、従来の樹脂しゅう動面材の送り機構でみられる姿勢変化が解消され、形状精度の厳しい部品加工に適した機構となった。また、摩擦係数も低く、50m/minの送り速度を実現した。

3.3 航空機分野を支える技術

航空機分野にも耐熱合金鋼、ステンレス鋼に代表される難削材部品が使用され、切削性能の向上が原動機分野と共通のテーマであり、静圧しゅう動面機構を採用したM-Hシリーズは、この分野においても高い生産性を上げることができる。

航空機では、アルミ、マグネシウム材の軽量素材からの削り出し部品も主要構成部品上大きなウエイトを占めている。これらの部品では、最終製品の高精度化とあいまって、直線3軸では加工できない形状が増加している。これらの部品は、形状を点群データから生成し、部品を削り出すという点では、金型と共通するところがある。

ただし、相違点としては、金型は型彫り加工で、部品自体に剛性があるのに対し、多くの航空機部品では、形状に薄肉(2mm程度)のリブ形状が多数存在する場合があり、部品の剛性が工具側より弱く、加工上もびびりやすく、規定の形状をいかに早く切削するかといったことが重要となる。

3.4 自動車分野を支える技術

近年、アルミダイキャストを中心とした基幹部品と、軽量化、部品点数削減を背景に部品の樹脂化などが進んでいる。切削代が少ないダイキャスト部品では、高回転・高加減速主軸、高速送り機構など、非生産時間の極小化にますます拍車がかかり、リニアモータを始め高速化に対応する要素技術が進展してゆくことが予想される。

当社では、こういった量産分野対応の機械としては、専用加工ラインから発展したマシニングセル(量産ライン向マシニングセンタ)に移行しており、平成14年(2002年)に“M-CM4A”(主軸12000min⁻¹、加速度1G)を市場に投入し、高能率の加工を支えている。

3.5 お客様の機械の稼働を支える技術

マシセンを利用するお客様が厳しいコスト競争に勝ち抜くためには、マシセン自体の機能、性能に加え高い稼働率を保證する技術が必要である。

シリーズでは開発の初期段階から、MTBF(Mean Time Between Failure)、MTTR(Mean Time To Repair)を評価し、故障しにくい、耐久性を重視した機械としている。またTPM(Total Productive Maintenance)を考慮した設計を行い、定期的な保守を必要とする機器を一箇所にまとめ、視認性、保守性を向上させている。さらには環境問題への対応の一環として、省エネ対応にも配慮した機械に取り組んでいる。

また、最近の通信インフラを活用したりリモート診断システムも実用化した。これは、お客様のマシセンと当事業部のサービス部門をインターネットやPHSで接続し、遠隔地のマシセンの故障を直接診断する機能である。これらのITを活用した機能は、今後ますます広く浸透していくと考えられる。

さらに、万一不具合が発生した場合、当事業部CSセンタがお客様の窓口としてサポートを行う。CSセンタは、サービス部門、技術部門を統括し、問題の解決に至るまでの一連のプロセスをお客様の立場で管理している。

4. マシセンのあした

製造拠点の海外シフトは、今後数年さらに加速、拡大していくことが予想される。しかしながら、研究、開発段階での試作部品、最先端技術を支える高付加価値部品は、各国の自国の産業として存続すると思われる。

このような中、先の4つの分野において、シリーズをベースに、高付加価値部品の生産リードタイム短縮に向けた、高付加価値マシセンの開発に取り組んでいる。

4.1 金型分野のあした

高硬度材、ステンレス材などの型加工のリードタイム短縮に向け、高剛性リニアモータの要素技術研究に取り組み始めた。また、手仕上げレス化に向け更なる主軸の高速化、低振動化へ取り組んでいく。



図5 ヘッド5軸加工機 5軸加工マシセンの一例として、ヘッドチルト形5軸加工マシセンの例を示す。

また金型製作の全工程を効率化するためには、マシニングセンタによる加工工程を効率化するのみではなく、CAD/CAMによる最適加工プログラムの自動生成や検査工程の自動化など設計から検査に至る全工程を視野に入れた効率化の研究にも取り組んでいく。

4.2 原動機、航空機分野のあした

耐熱材などの難削材の高速切削に対しては、工具摩耗と機械の動剛性との関係を、工具と機械をシステム的にとらえて解明し、最適な工具の選定、設計に反映する手法の研究に取り組み始めた。

機械側においては、難削材の高速切削に対応できる機械剛性の評価基準を策定し、機械剛性向上の要素技術に取り組み始めた。

また、アルミ合金の複雑形状加工のリードタイム短縮は、大きな課題である。段取りをミニマムにし高精度の加工を行うには5軸加工技術(複合加工技術)の適用が不可欠であり、加工に最適な5軸加工機の市場投入を計画している(図5)。

4.3 自動車分野のあした

当社では、従来から自動車部品の専用部品加工ラインも手掛けてきた。この分野へは、ライン構成のフレキシビリティを備え、高生産性の超高速のマシニングセルにて中・量産部品加工に対応していく。また専用部品加工ラインにかける部品以外の、変種変量の中・小ロット用部品加工向けに、汎用性のある小型・高精度のマシセン開発に取り組んでいく。

4.4 マシセンを活用する技術のあした

マシセンを活用していただくお客様のあしたを支えていくには、高機能のマシセンを提供するだけでなく、さらにお客様の生産活動全体を支援する取組みが重要である。

(1) 加工技術支援

高速切削が進展するにつれ、最適加工条件の把握はまず

まず難しくなっている。当社のマシセンの能力を最大限にいかせる加工技術ノウハウ(加工法、ツーリング技術、切削条件、計測評価技術)を蓄積し、当事業部加工技術センターからお客様に提案していく体制を築いていく予定である。

(2) 稼働率向上の取組み

TPMを考慮した保守の容易化、周辺装置の非生産稼働時間の削減、センシング機能を強化した自己診断機能の充実、ネットワークインフラを活用した遠隔診断の充実など今後のマシセンの利用技術を高めるには機械の知能化がベースとなる。当社技術本部と連携し、これらの要素技術開発を進めていく。

(3) 海外拠点生産を含めた生産管理システム

現在MES(生産実行システム)として他の製造分野で普及しているシステムが機械加工部門にも広く浸透すると考えられる。グローバル化に対応し全世界の生産拠点における生産データが共用されるようになる。このような将来予想から、従来のFMC、FMSを含むさらに上位レベルの生産管理システムへ取り組んでいく。

5. おわりに

今後の日本の製造業は、高付加価値を追求した高度な製品や産業、また高精度加工や高効率加工を追求した製品や産業に集約されていくことが予想される。今後これらの高度な加工要求を満足するために必要な要素技術を抽出することが必要不可欠である。

当社では、ますます高精度、高耐久性を追求する原動機、航空機・宇宙機器分野の製品の製造を手掛けており、これら製品事業の生産技術の初期段階に参加することによって、問題解決のための要素技術をいち早く抽出することが可能である。

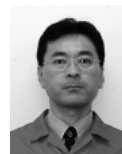
さらに、これらの要求を満足していくために、当社技術本部と連携を取り、要素技術研究に取り組んでいく。この要素技術研究の成果は、当社マシセンに反映し、幅広く全世界のユーザに受け入れられる機械となるよう、今後とも技術開発



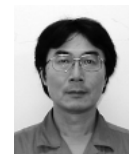
春日井 露
工作機械事業部長



藤原 彰彦
工作機械事業部
技術部長



笹井 浩昭
工作機械事業部
技術部
工作機械設計一課
席



梶山 優
工作機械事業部
技術部
工作機械設計一課