自動切削加工システムの開発

井上久仁子、本多庸悟、関口博、高田孝次（旧・機械試験所)、
佐藤眞（所外共同研究者：(株）牧野フライス製作所）

要旨

この研究は金属加工の主要な一分野である切削加工を対象に、作業の最適化あるいは適応化、および数値制御プログラミングの自動化、さらには人間との共存を目指した、計算機技術のハードウェアおよびソフトウェアの両面からのアプローチである。すなわち、旋削作業について特別研究の小項目を２ないし３回、発展的に継続し、それに民間企業とのマシニングセンタに関する共同研究を１件並行して行い、年代は昭和 42～51 年度(1967～1976)のおおむね 10 年間になされた。適応制御の研究ではプロトタイプ機で工具寿命制御、寸法制御などの機能を開発するとともに、それらを総合した適応制御旋盤 MELAC-L を、また数値制御プログラミングでは加工図面上のデータを MELTS 言語で記述すれば、オペレーションレベル、ツーリングから、工具経路などまで自動決定し、NC プログラムを出力する加工用ソフトウェア MELTS を開発した。さらに共同研究として多種の工具を駆使するマシニングセンタ加工を対象に、広域遠隔のデータ通信制御でかつ現場の人間も介在可能なシステム DAM を開発した。（執筆担当：全員）

1. はじめに

この小文は、昭和 42 年度から昭和 51 年度までに旧・機械試験所／機械技術研究所で行われた旋削加工システムの特別研究とその関連の研究を述べたものである。機械工業界では切削作業標準データの整備が進行しつつあり、数値制御工作機械がようやく普及を始め、一方で、デジタル計算機は一般にはメモリがまだキロワードで呼ばれる時代であった。

当時、メカニカル・オートメーションという概念はアメリカのフォード・システムで広くけん伝されてすでに一般化していたが、ビジネスや、プロセス・オートメーションに比べ、計算機技術の導入という点では、機械産業は大手自動車産業を除いて個々の業態の規模の点で小さく、不利だったため遅れていた。たとえば、プロセスの場合は独自のプロセス計算機制御がすでに試みられていたが、プロセス工場一つに対しての計算機の費用比はおまけ程度のものなどと言われたりもした。機械製品あるいは加工物は対象として形態的にディスクリート（離散的、バラバラ）であり、人間技能の介在の度合いも強く労働集約的であり、自動車など大量生産の場合を除いて流れとい

う形態になりにくかった。

数値制御（Numerical Control,NC）という技術がその救世主として出現したが、そのために必要になるのが、作業標準の一層の整備、作業の安全な遂行、ＮＣプログラムの効率的な作成、そして計算機技術と製造現場との融合である。この研究は、そのような認識のもとに行われた。　（執筆担当：全員）

2.自動切削加工システムに関する技術の発展の推移

まず当該技術以前の時代背景を、**図２．０**にまとめておく。

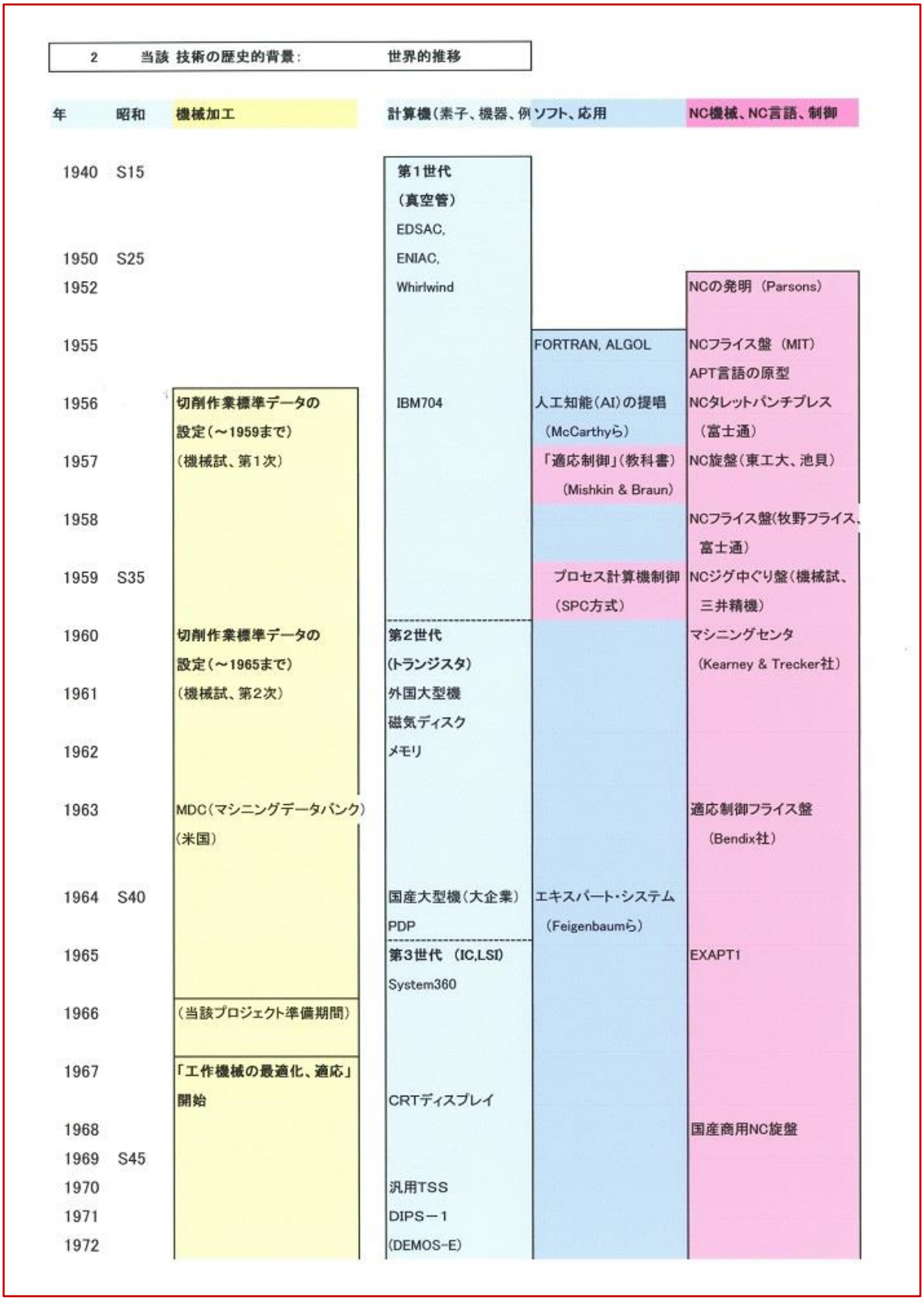


図２．０　当該技術の時代的背景

２．１　切削加工の最適化と適応制御の時代背景

我が国では未だデータバンクという言葉もあまり聞きなれなかった時代に、切削標準データを整える努力が故・竹山秀彦を中心とするグループにより地道になされていた。民間企業が種々の被削材や加工法についてその最適切削条件をすみやかに決められるようにするための、標準的データを設定しようというものだった。 1956-1960 年の生産加工技術に関する研究（第 1 次）において、切削加工および塑性加工の標準データの収集が開始され、引き続き 1961-1965 年、 同・(第 2 次）[機所 61]にかけて、旋削標準[機資 64]、フライス削り標準[機資 64]、ホーニング・データシート[機資 67]、旋削仕上げ面あらさに関する資料[機資 64]がまとめられた。

この間、竹山を中心とするグループは 300ton もの材料を削りまくったとか、機械を回すたび、研究員が切り屑の端を持って数十ｍも走った（データに影響を与えるチップブレーカは使えない）などという逸話が残されている[SME93]。この成果の一つとして切削工具寿命計算尺（スライド式アナログ計算用具）も開発され市販された[機所 68]。

アメリカでも Machinability Data Center(MDC)は切削作業標準の準備を 1960 年から始め、1964 年後半にはデータバンクとして加工時間見積りや数値データのハンドブックの発行などのサービスを開始している[Kahles73],[本多 73]。

ところが、1962 年ころから、アメリカ空軍が Bendix 社に委託して、フライス盤の適応制御を開始した。これは難削材を対象とすることが多い航空機部品の切削において、その材料の特性を実際に削りながら同定し(すなわち､インプロセスないしオンラインで推定し)、最適な加工条件を速やかに決定しようというものであり、そのための試験機の開発であった。これは間接的ながらインプロセスで工具摩耗を検出しつつ、切削能率／コストというような PI(評価関数)を最大にする切削条件を求めようとするものであった。[Centner66]。あるいは、前もって最適な工具寿命を計算しておき、それを実現するような切削条件を求める方式が Cincinnati Milling Machine Co.でも試みられた。[Cincinnati67]

前述の切削標準の実績がある機械試験所では、このニュースを受けたことも一つの契機となって、1966 年頃から予備的な準備を始め、1967 年から生産工学部とシステム部の共同の特別研究として切削条件の最適化ないし適応制御の研究が開始された。

２．２　数値制御の時代背景

工作機械の数値制御技術（NC）は、ヘリコプターのブレードの検査技師であった J.T.パーソンズが、複雑な曲面形状切削を物理モデルに基づく倣い制御ではなく、数学モデルを用

いて各軸をパルス駆動制御する方法を 1948 年に「工作機械の位置取りのための電動機制御装置」という特許を申請したのが発端となったが、MIT も 1952 年 8 月 14 日に「数値制御サーボ機構」の特許を申請し、NC の技術は広まって行く。（その間、二つの特許は係争を経たのち、パーソンズの特許が 1958 年 1 月 14 日に発効した。）

その後、たとえば米国では、Bendix 社、Giddings and Lewis 社が GE と共同で Numericord という制御装置を開発し、Monarch Machine Tool 社は NC 旋盤を、英国では、フェランティ社が NC ジグ孔明け機およびフライス盤を開発した。1956 年に、Burgmaster 社（米）は NC ボール盤を開発する。1958 年には、米国の Kearney & Trecker 社（米）が NC による ATC（自動工具変換装置）を備えた Milwaukee-MaticⅡを開発した。これは１台で複数種の加工ができる複合機であり、ＮＣマシニングセンタの先駆けとなった。

我が国では、NC 機械は 1956 年に富士通のタレットパンチプレス、1957 年東工大・池貝鉄工の NC 旋盤、1958 年牧野フライス・富士通の NC フライス盤、日立精機・日立製作所の NC フライス盤、1959 年機械試験所・三井精機の NC ジグ中ぐり盤や NC フライス盤の試作などがあった。ＮＣの生産台数は 1960 年半ばには米国では 2000 台を越えた一方、日本ではまだ年間 50 台という状況で、とくにその初期投資コストへの懸念があった。しかし機械加工にとって将来は重要な技術になるであろうことは予見された。

２．３　計算機技術の時代背景

1960 年台後半は、国際的に計算機技術が第３世代に入り、集積回路化、メモリ容量の拡大、大型システム化と性能を伸ばし、ソフトウェアもコンパイラが一般化し、一部ではエキスパートシステムのような新たな概念も生まれていた。

しかし、そのころ国内で第２、第３世代の先端の大型化の恩恵に浴していたのは、まだ一部の大企業、外資系大企業、計算機（共同）開発力のあるごく一部の大学、研究所などであった。一般の大学・研究所などは、ＣＰＵはパラメトロンやトランジスタで内部メモリは磁気コアが主流、まだバイトの概念も無く、コアメモリは容量もキロワード（１語は 48 ビットなどあったが)、外部メモリも磁気ドラムでやはり１，２桁のキロワード程度であった。言語もメーカ仕様のコンパイラ様のものを用いるか、緻密なプログラムはアセンブラで書くかという状況であった。大型システムを使いたければ、予算を計上してどこかのセンタを使うのであった。

それでもデジタル計算機の威力は有難く、すでに何ものにも変えがたいものであった。
コンピュータの急速な進展として、1964 年に IBM 360 シリーズが発表された（出荷は 1965-1977 年)。国産計算機も富士通の 230-60、日立の HITAC5020 、電電公社（現 NTT）の

DIPS／DEMOS-E などが続いた[土井 83]。お金はかかるが大型機を端末から使える、あるいはミニコンピュータの出現など、計算機の環境は着々と整いつつあった。EWS はもう少し後で、PC の登場はさらに後である。

２．４　数値制御用ソフトウェアの時代背景

NC 先進国である米国では多軸の曲面加工が前提にあり、NC 技術に伴って生じる NC プログラミング作業にデジタル技術の先駆であるデジタル型の計算機（当初は Whirwind など）を活用することは必然であった。1955 年には、多軸（多次元）で複雑な幾何学的な計算処理が必要な加工向きの言語プロセッサ APT の原型が発表され､1961 年には APT 長期計画(ALRP)が発表された。

我が国でも多軸曲面加工を必要とする大手自動車メーカや航空部品製造会社などでは、次第に APT に関心を持ち始め、外資系計算機企業を通じ導入を図る企業も現れはじめた。機械研でも APT に関心を示す関係者は居たが個人的関心にとどまっていた。欧州では 1966 年に加工技術も考慮にいれた EXAPT が設計され、1970 年直前には EXAPT 協会が発足し、まずは旋削加工を対象にした EXAPT1 が試作され、国際的な活動を開始した。

機械試験所では前述の切削標準の設定を経て、適応制御の研究の開始・進展とともに、国内的に需要の多い旋削加工に焦点を絞っての切削条件の決定法に関心が深まってきた。同時に、大型化とデータ通信端末化に急速な発展と普及を見せるコンピュータ技術との融合を考える必要性が生じてきた。　　（執筆担当：本多、佐藤）

3.自動切削加工システムのキーとなった主要なポイント、そして成果

まず当該技術に関する研究テーマの誕生と継続を、サブテーマ（特別研究小項目や共同研究）別および時系列的に、**図３．０**にまとめて記す。

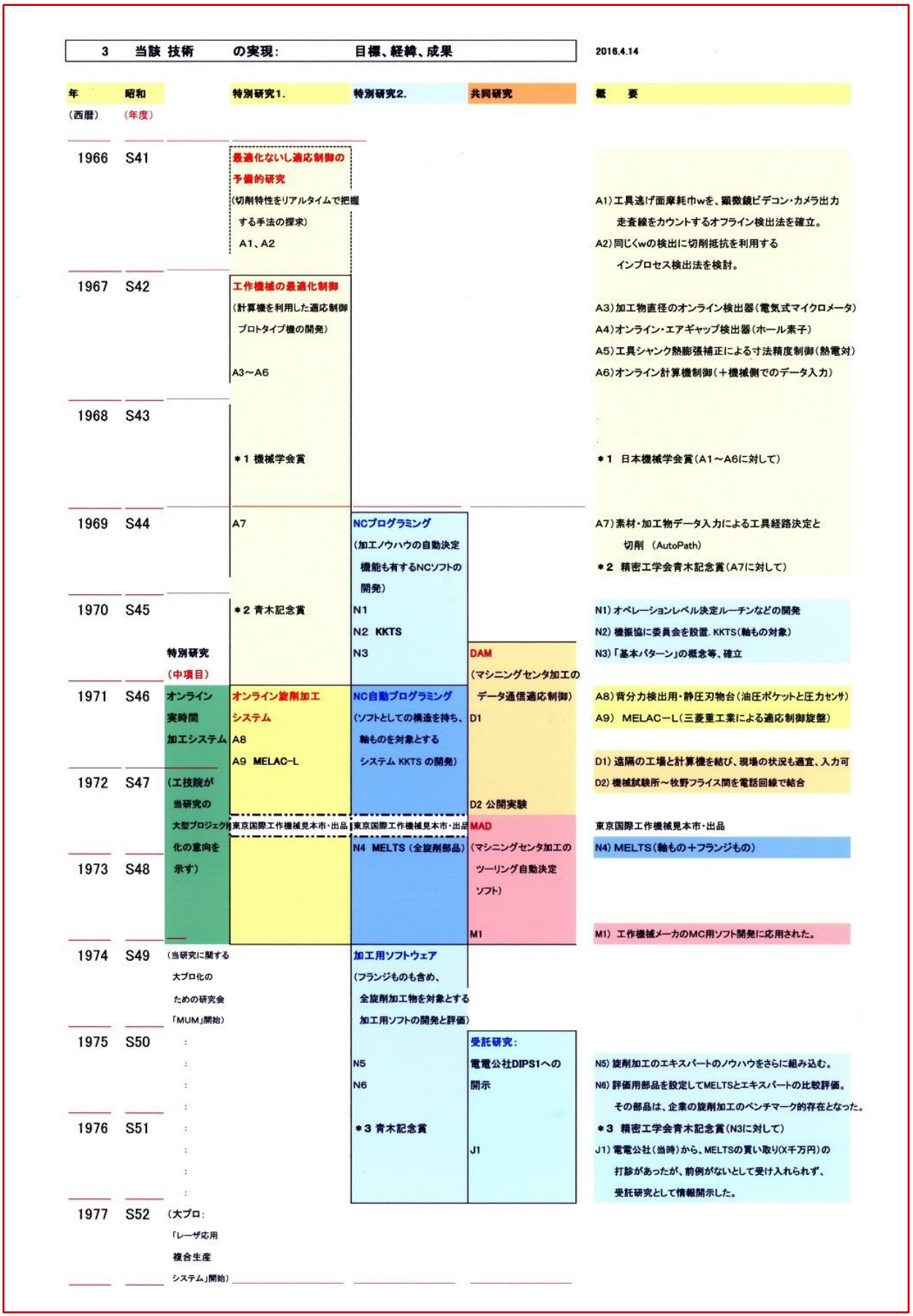


図３．０　当該技術の実現　　（執筆担当：本多、井上）

３．１　工作機械の最適化ないし適応制御の研究

３．１．１　準備段階：　　1966.4～1967.3（昭和 41 年度）

背景：

２．に示されたように、当時の機械試験所には竹山課長（当時）らによる長年の切削加工標準や計算尺などの成果の蓄積があった。その後、我が国における被削材は一般鋼材が対象で難削材はそれほど多くはなかったものの､切削工具材の発達が著しく､セラミックス、ＣＢＮ焼結体、ダイヤモンド焼結体などが開発されてきた。すなわち、被削材と工具材の組合わせについて、

(a) 新たに扱わねばならない被削材・工具材の組合わせに速やかに対処する必要性があること、

(b) さらに同一の被削材でも被削性に有意のばらつきがある場合への対処法、の問題があった。

これらは従来の固定的なデータファイルでは対処しにくい問題であって、さらに竹山が抱いていた問題点とは、今後の数値制御工作機械を用いた自動加工の実現には、(a)加工条件の自動決定と、(b)工具経路の自動処理、の二つが車の両輪であり、特に、(a)には機械研で蓄積してきた前述の“切削加工標準”をベースとして活用する方法を確立できないか、という事だった。

(a)については、　①アメリカの Machining Data Hand Book のような離散データとしてではなく、工具寿命式の形でデータを纏めておき、加工開始時の加工条件（第１段階の最適値）を決めるために使用する。　②加工が開始されると適応制御でさらに適切な加工条件に近づける。　③加工材料や工具の進歩に合わせて工具寿命式を追加・更新する仕組み（体制）を別途作る、などがポイントだった。

さらに新しい飛躍のために計算機技術を取り入れられないか、という構想があったところに、切削加工の適応制御の研究のニュースが米国から入り、生産工学部・竹山課長や小林健志部長とシステム部・土井康弘部長などの間で、早急に両部が協力して研究態勢を作る機運が生じた。

検討と試行：　当時、例えばシステム部では特別研究の自動車の自動操縦の研究が区切りを迎えようとしていて、新たなテーマを探す雰囲気もあった。両方の部の有志が集まって検討を重ねた結果、いろいろな加工物や工具に対する加工条件の最適化について、まず工具摩耗や加工物の寸法精度など諸状態の検知を、

（１）切削加工の前後ないし途中で中断してオフラインで（静的に）行う方法、

（２）インプロセスで検知する方法、
の双方で処理できる問題として捉え､両部の研究学術上の関心も近くなった｡この期間で、工具逃げ面摩耗巾のオフライン検出法として、ズーム顕微鏡レンズ付きＴＶカメラ走査線利用の方式や、工具摩耗成長過程の回帰分析などが試みられた。　（執筆担当：関口）

３．１．２　特別研究「工作機械の最適化制御の研究」―旋削加工―：

1967.4　（昭和 42 年度）～1971.3（昭和 45 年度）

研究の形態：二つの部にまたがる特別研究としてスタートした。

理念、目標：

プロトタイプ機を構築していくために、２軸汎用旋盤を改造し数値制御化（Z 軸と X 軸、同時 1 軸制御。主軸回転数を周速制御可。紙テープ制御。）した切削試験用旋盤を大隈鉄工所に試作・納入して戴いた。多様な加工条件を知るための各種センサを試作、結合し、それをさらに計算機で統括して切削の最適化をリアルタイムで行うシステムを開発する。適応制御、最適化制御のいずれのテーマ名にするか議論があったが、まずは最適化とした（従って便宜的に適応制御でもいい)。

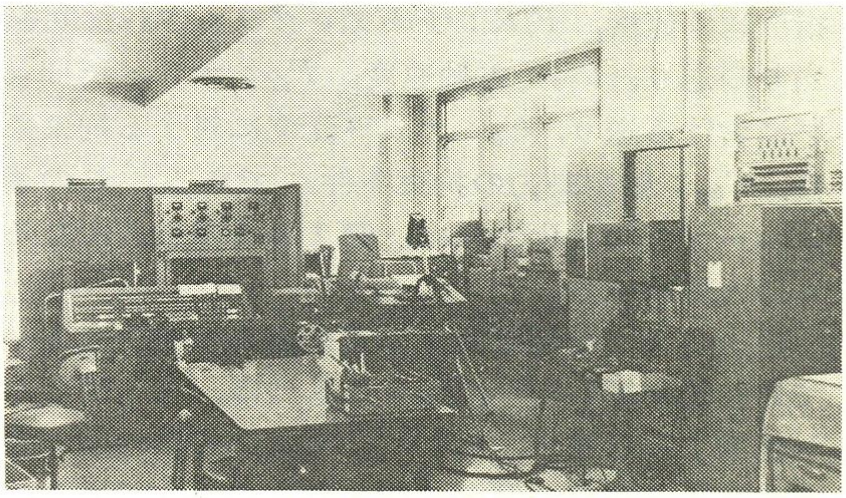
そのために、機械研で蓄積してきた“切削加工標準”をベースとして、まず　(a)加工条件（送り、切削速度、そして切り込み）の自動決定をすすめ、ついで　(b)工具経路の自動処理へとすすむ。

実施と成果：

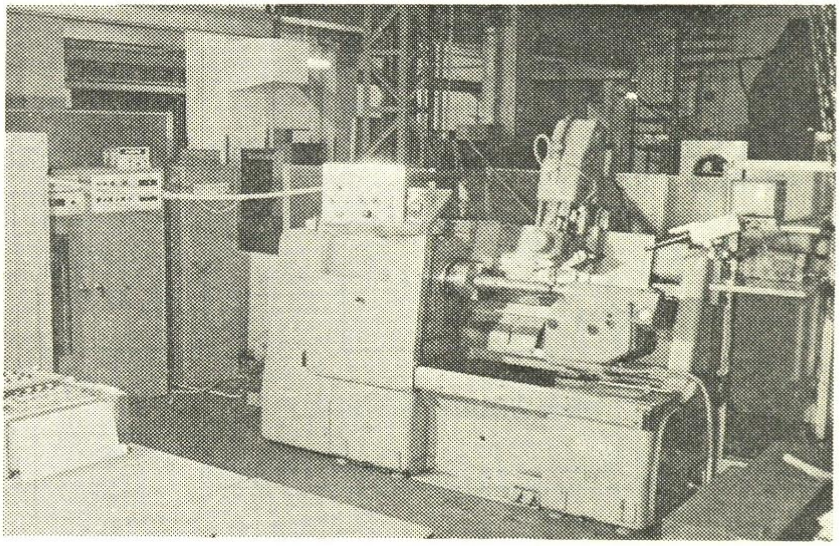
まず、切削試験用ＮＣ旋盤にインタフェースを自作して、次の改造を行った。

（あ）切削速度と送りを外部信号により可変にした。

（い）中庭を挟んで別棟の計算機室にある試験所の共用計算機　HIPAC-103　に結合
（デジタル信号用：CPEV 0.9mmφツイストペアケーブル。
アナログ信号用：5E2V 同軸ケーブル。いずれも 130m 長。)、



（ａ） 電子計算機側



（ｂ） 機 械 側

図 1·3-2 機械技術研究所における旋盤の適応制御・実景

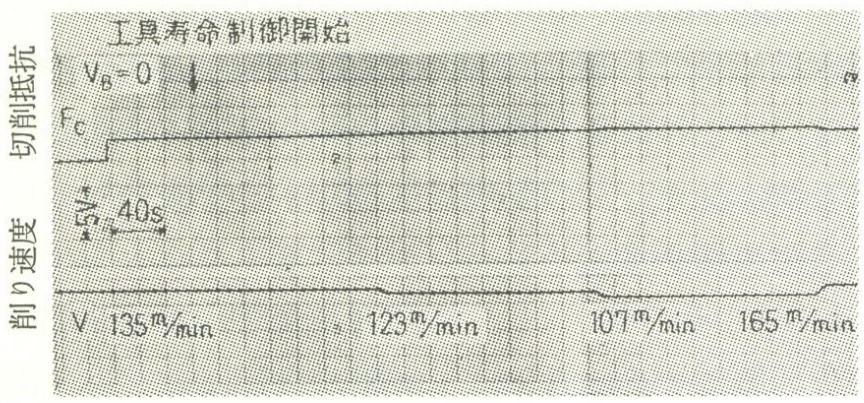
図 3.1.2-1
適応制御旋盤
プロトタイプ機
[本多 75]

次のような各種センサと制御を試みた。

（１）逃げ面摩耗巾検出器：オフライン検出。ズームレンズ付きビデオカメラの走査線。

（２）逃げ面摩耗巾検出器：オンライン検出。切削力が逃げ面摩耗巾と関数関係にあることを利用。

（３）最適化制御、工具寿命制御：最適化の評価関数として経済性、もしくは加工能率を考えると、工具寿命が不可欠の要素として入ってくる。切込みと送りを別の要因から定めておき、あとは Tayler 型の寿命方程式の係数を切削しながら回帰的に同定して、２分以内に最適工具寿命を求め、最適切削速度を定める。下図は、それを Vopt = 165m/min と決定した実験例である。



被削材： S55C（焼入れ焼もどし）
工具：超硬 P20〔−5, −5, 5, 5, 30, 60, 0.4〕
送り：0.2 mm/rev, 切込み：1.0 mm
乾切削

図 20　工具寿命制御過程の一例

図 3.1.2-2
最適工具寿命制御の実験例
[竹山 70-1]

（４）切削力制御：（２）を行いながら、最大切削力をモニタできる。
（５）寸法精度制御：セミ・オフライン。適宜、加工の途中で行う。加工物を挟み込むメカニズムに電気マイクロメータを組み込んだセンサを用いる。
（６）エアギャップ送り制御：オンライン検出。工具近傍に磁界を作り、工具先端に埋め込んだホール素子で磁界の変化を検出し、切削送りと早送りとを自動で切り替える。

ここまでの成果で、1968 年度・日本機械学会賞を受賞した。

この計算機は 1969 年度に新たに設置した専用の TOSBAC-3000 （東芝製・ミニコンピュータ。１語 16 ビット、内部メモリ：16KW, 外部メモリ：16KW、アセンブラのみ。）に更新された。旋盤との結合は前述と同様で、さらに下記の機能を新たに追加した。

（７）寸法精度制御：オンライン検出。工具シャンクの熱膨張を歪センサで検出し、X 軸に補正を加える。たとえば、丸棒削りの誤差を直径で 30μm 以下に出来た。
（８）丸棒ブランク材から、任意の段付き軸物を削り出すソフトウェア、”AutoPath” を開発し、プロトタイプ機を駆動した。これは会話形式で指令すれば、荒・仕上げ削りの工具経路を自動決定し、仕上げ削りの寸法精度制御も行う。

この成果で、1969 年度・精密工学会青木記念賞を受賞した。

（執筆担当：関口、本多、高田）

３．１．３　特別研究「オンライン実時間旋削加工システム」

1971.4　（昭和 46 年度）～1974.3（昭和 49 年度）

目標、実施：

三菱重工業(株)の協力のもと、適応制御旋盤・**MELAC-L (Mechanical Engineering Lab.'s Adaptive Control – Lathe)** の開発を開始した。これには、昭和 45 年度までの適応制御プロトタイプ機の機能の集約のほか、次の機能を設ける。

（１）新たな切削力測定用・静圧工具台：４本の工具を保持する四角刃物台で、各工具の切削力３分力を油圧ポケットで受け、その圧力変化を圧力センサで検出する。

（２）入出力タイプライタ用インタフェース：機械現場での入出力用。

（３）通信制御アダプタ：電話回線も可能。

（４）適応制御用Ｇ機能の設定：GC（工具寿命制御），GD（切削力），GE（工具経路決定）,GP（エア・ギャップ制御），GX（精度制御）　の５グループとする。

東京国際工作機械見本市に、この **MELAC-L と、KKTS**（後述。MELTS の先行システム。機械振興協会の協力による旋削用ＮＣ自動プログラミング・システム）　を参考出品した。

昭和 46 年度からは、この「オンライン実時間旋削加工システム」に、別項の「数値制御自動プログラミング」と、新規の「工程設計の研究」を加えたものを３テーマまとめて、特別研究の中項目・「オンライン実時間加工システム」とした（さらに別項の共同研究の DAM と MAD が加わる)。

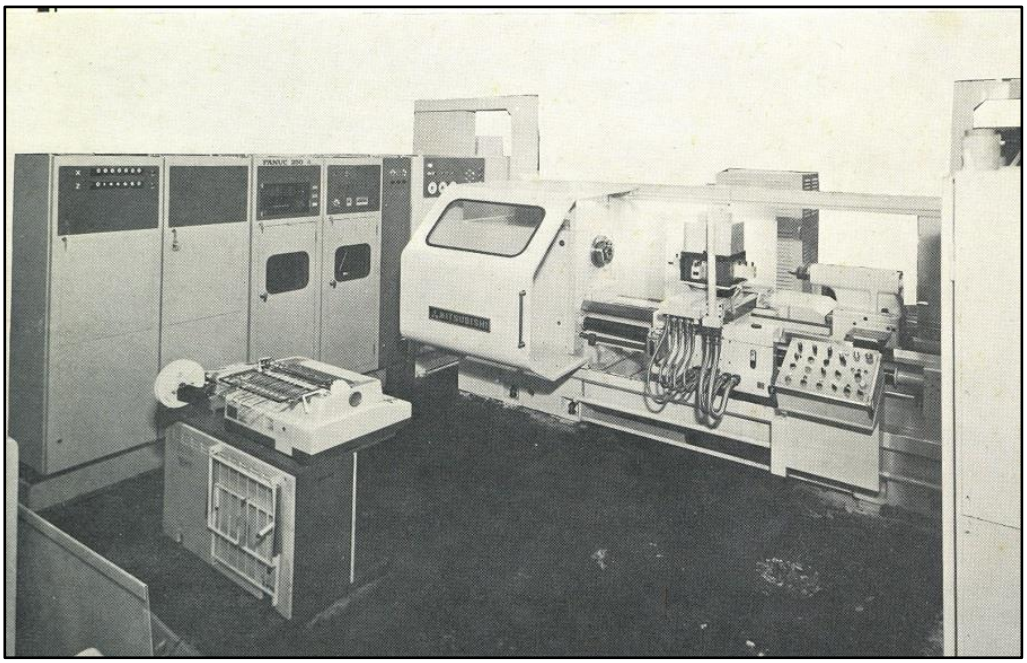


図 3.1.3-1　適応制御旋盤 MELAC-L

この「オンライン実時間加工システム」の予算要求の段階で、通産省・産業機械課から、「これを母体に大型技術開発（いわゆる大プロ）にしないか､」との打診が当時の研究企画官を通じて竹山部長にあり、グループにも伝えられた。

しかし、折角、機械加工へのコンピュータ技術の応用をハード・ソフト両面から考究するプロジェクトが佳境を迎えた折に、大プロとして考え直すには多くの代償も支払わねばならないことを懸念して、チームとしては当面このままこの特別研究を進めたい旨を申し入れた。

（これによって、大型プロジェクトを指向した **MUM** という省庁関係者や内外委員をメンバとする研究会が作られ、研究会は大プロがスタートする 1976 年度まで継続した。1977～1983 年度に大プロ､「超性能レーザー応用複合生産システム」が実施され、総額 120 億円で筑波にモデルプラントが建設されるなどした。

この大プロには、2000 年に経済産業省の追跡成果報告書[経産省 00]が出されている。これによれば、ハード面ではレーザ技術などのいくつかの個別テーマで国際的な成果を挙げ、人材も育った。一方、当初の目標に対してソフトの予算が削られハード指向となった結果、ソフト面では我が国が大きく遅れる原因ともなった。モデルプラントも当初の目標のトータルな稼働には至らなかった、と総括されている。）

（執筆担当：関口、本多）

３．２　数値制御自動プログラミング、加工用ソフトウェア

３．２．１ 特別研究「数値制御プログラミングの研究」

1969.4（昭和 44 年度）～1970.3（昭和 45 年度）

研究の形態：二つの部にまたがる特別研究。

理念、目標：

ＮＣ（数値制御）工作機械が普及し始めるなか、当時、我が国ではもっとも一般的なＮＣ旋削加工のプログラミング作業の効率化が急務となってきた。それを進めるソフトウェアのあり方を考究し、その開発を行う。究極的には、旋削加工部品の図面上の情報を言語により入力するだけで加工技術上の諸決定を自動で行い、工具経路も定めてＮＣプログラムを出力する日本独自のシステムの開発を目標とする。

実施と成果：

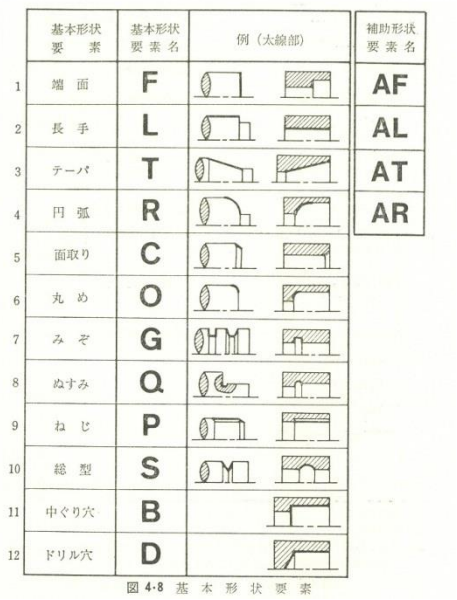
当面は、まずは軸物加工から始めることとした（次の段階として、フランジものも含め、最終的に全旋削加工部品の少なくとも８割を対象とする)。開発は、次のように進んだ。

（１）まず、切削加工条件等の自動決定の可能性を見極めるために、機械試験所時代から蓄積されている旋削作業標準をベースに、それにオペレーションレベル（荒・中間・仕上げ削りの選択)、ツーリング、仕上げ削り、切り屑処理などのサブシステムの充実を図った。

（２）形状を含め、加工図面上の全情報を洩れなく記述できる新しい言語の開発を目指した。全国の百数十事業所（内燃、車両、航空、電気、工作機械など）で扱う旋削加工部品の形状、材質、加工品位（精度、粗さなど)、使用工具（バイト、ドリルほか）などを調べ、11 種の基本形状要素を抽出し、それを言語の基本要素とした。

（３）さらにそれらを組み合わせた、P, V, M, Rp, および Rm の 5 種のパターンを導入した。これらは加工技術上のアルゴリズムの決定やそのデバッグにも有効であるとわかった。

これらの成果により、昭和 51 年度精密工学会青木記念賞を受賞した。



	基本形状要素	基本形状要素名	例（太線部）	補助形状要素名
1	端面	F		AF
2	長手	L		AL
3	テーパ	T		AT
4	円弧	R		AR
5	面取り	C		
6	丸め	O		
7	みぞ	G		
8	ぬすみ	Q		
9	ねじ	P		
10	総型	S		
11	中ぐり穴	B		
12	ドリル穴	D		

図 4·8 基本形状要素

図 3.2.1-1
基本形状要素
[竹山 81]

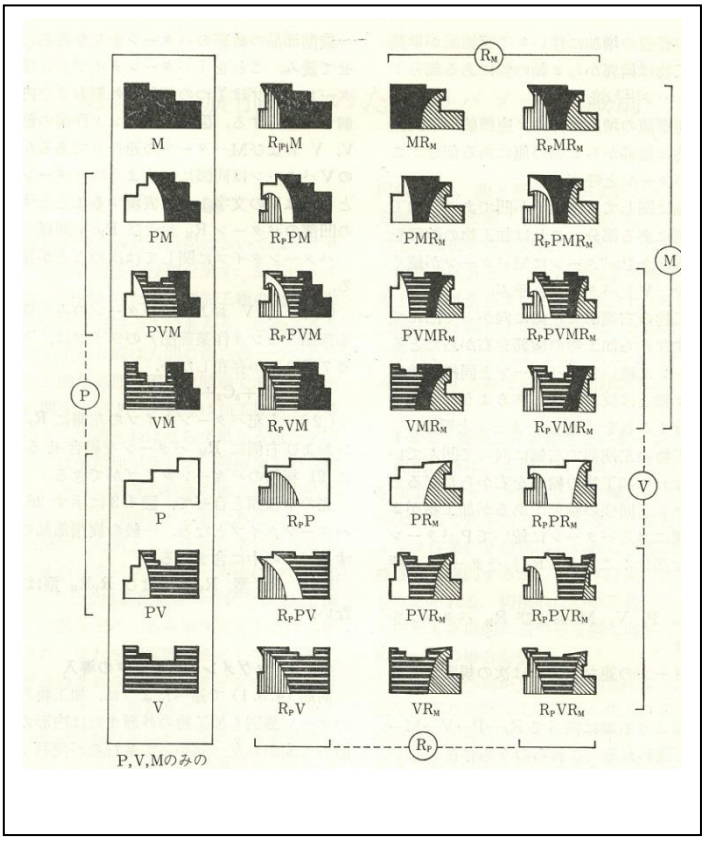


図 3.2.1-2　　基本パターン［竹山 81］

（4）そのようなシステムはサイズ的に大きくなることが想定された。しかし当時は大型の計算機システムも登場し始め、日本もいずれデータ通信の端末装置が当たり前のように利用できる時代になると予想されたので、大型機のリモートバッチ処理を前提としてシステムを開発することとした（機械試には、情報処理開発センター（当時）のリモートバッチ端末を導入）。

（5）そのような環境設定に対応する場として、機械振興協会技術研究所に「旋削自動プログラミングシステムの研究」委員会（土井康弘委員長、中村摂氏以下、両研究所員でメンバを構成）を設置した。昭和 45 年度にはソフトウェアの全体構造を定め、パイロット・システム名を KKTS とした。

３．２．２　ＮＣ自動プログラミングの研究

1971.4（昭和 46 年度）～　1974.3（昭和 48 年度）

理念、目標：

３．２．１と同様であるが、旋削加工の自動化のレベルを更にあげるとともに、中項目名にある「オンライン」化をより意識し、リモートバッチ端末での利用の便をはかる。

実施と成果：

（６）KKTS のテクノロジ部のルーチンの改良や、スーパバイザ、ＣＬデータ、ジェネラル・ポストプロセッサ（独自の提案）など、システムとしての充実をはかった。

（７）企業の協力も得て軸物部品のベンチマーク・テスト用部品を設定し、パートプログラムからＮＣテープ出力まで処理し、機振協技研とともに切削試験を行った。

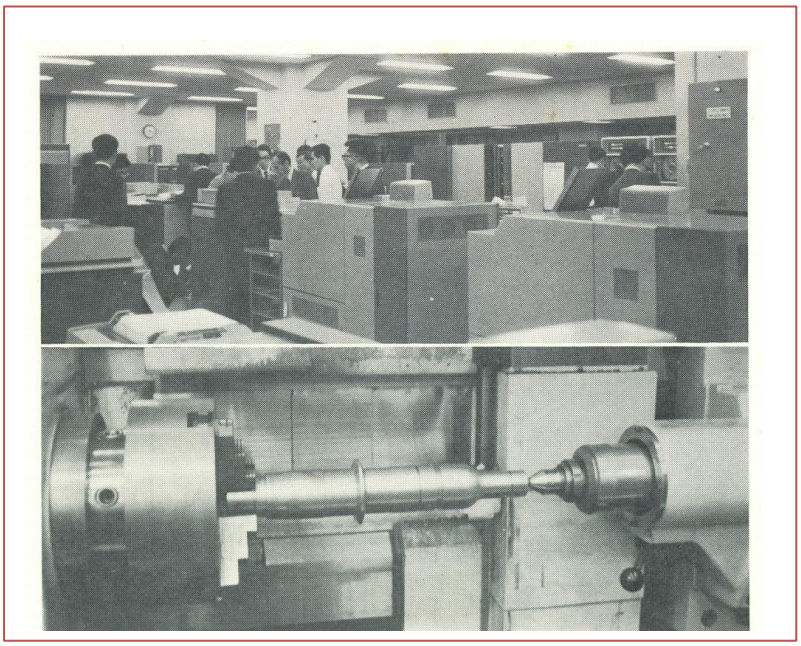


図 3.2.2-1
軸物部品の、KKTS による計算機処理（上）、および切削実験（下）

（８）1972 年 11 月の第 6 回東京国際工作機械見本市（晴海会場）に **KKTS** を参考出品した。処理は日本情報処理開発センタ（芝公園）の FACOM230-60 で、機械試験所に設置していたリモートバッチ端末（ミニコンの FACOM-R）を見本市会場に移設して、パートプログラムの入力とＮＣテープの出力を行い、そのＮＣテープを同時に出品していた適応制御旋盤 **MELAC-L** にかけて、実際に切削を行った。

３．２．３　特別研究「加工用ソフトウェア」の研究

1974.4（昭和 49 年度）～　1976.3（昭和 51 年度）

理念と目標：旋削部品として、軸物だけでなくフランジ形状のものも対象に出来るシステムとする。この全旋削部品用のシステムを、新たに **MELTS (Mechanical Eng. Lab.'s Turning System)** と名付ける。MELTS 言語は、旋削部品図上の静的な全データを記述できる。すなわち、MELTS は、加工のエキスパートの知識を集約したシステムであるということと共に、図面上の「静的」または「宣言的」なデータを加工という「動的」、「時系列的」な過程に自動変換するという意味でエキスパート・システムでもある。

実施と成果：

（９）全旋削部品をカバーできるように、協力を申し出てくれた製造現場のエキスパートから聞き取りや加工現場の調査、さらには MELTS の出力での切削実験なども行い、アルゴリズムの緻密化に努めた。

（１０）同時に、そのような実験に必要なベンチマーク・テスト部品をいくつか設定した。

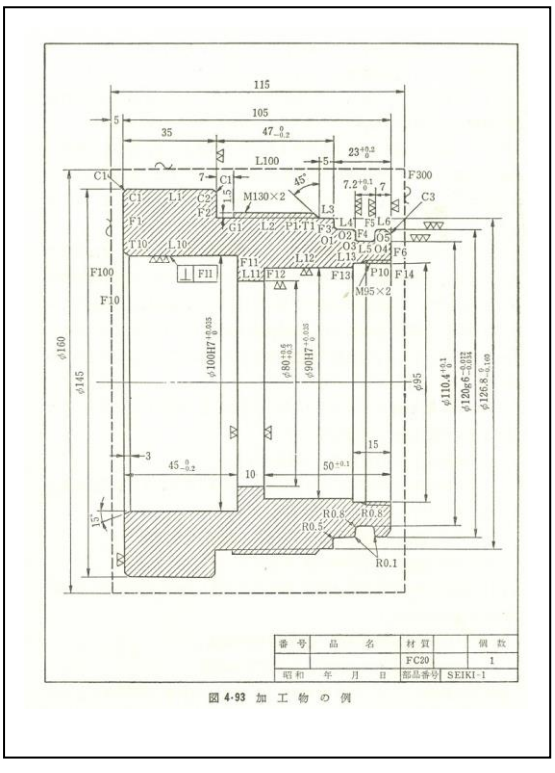


図 4-93 加 工 物 の 例

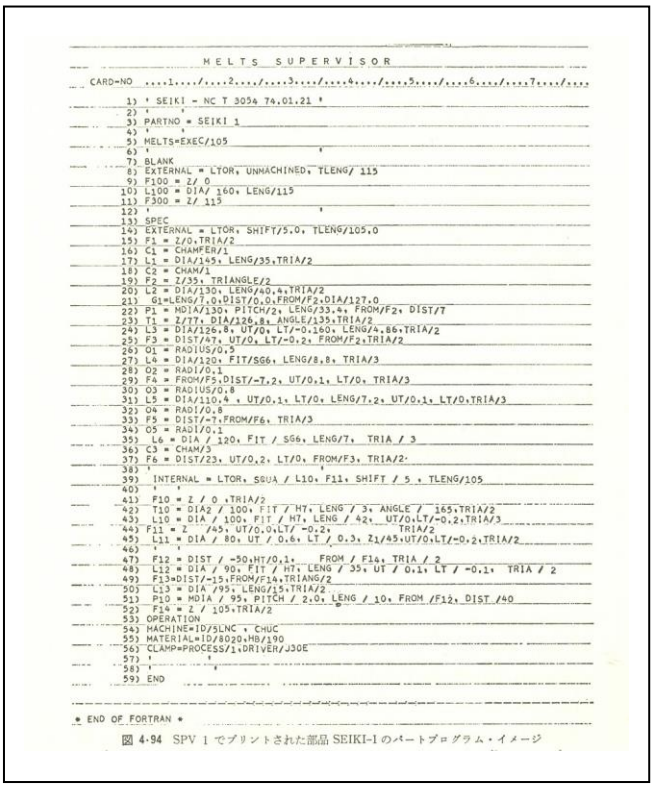


図 4-94 SPV 1 でプリントされた部品 SEIKI-1 のパートプログラム・イメージ

図 3.2.3-1　　切削実験の部品図（Ｓ１）と、そのパートプログラム例
（図面上の寸法、精度、仕上げ面あらさ等の情報は、全て右の MELTS パートプログラムに記述されている。）[竹山 81]

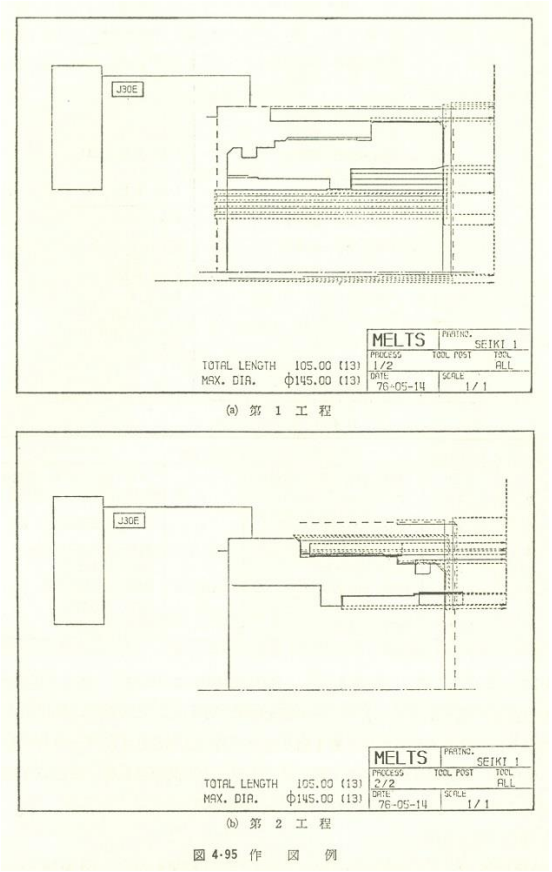


図 3.2.3-2
部品Ｓ１のプロッタ出力
[竹山 81]

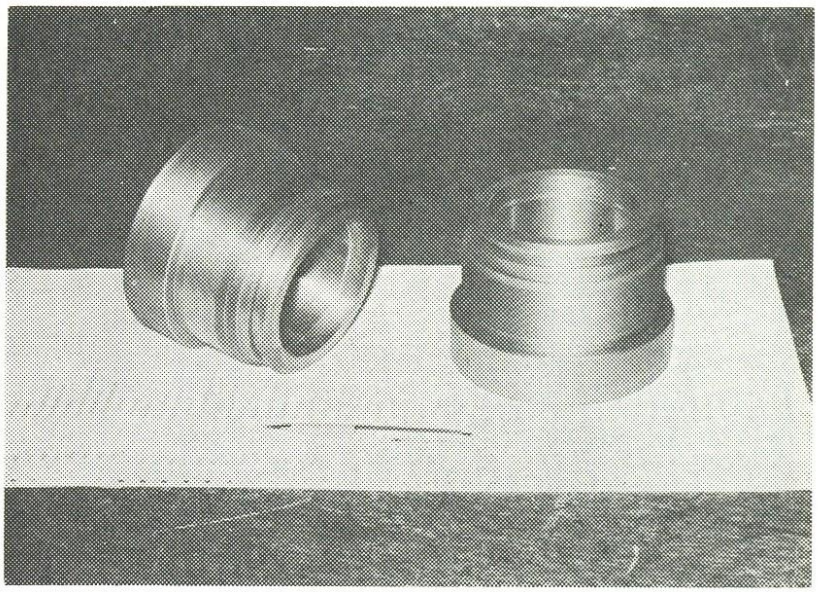


図 3.2.3-3　部品Ｓ１の切削結果
[竹山 81]

（執筆担当：井上、高田）

３．３　ＤＡＭ　および　ＭＡＤ

３．３．１　データ通信適応制御マシニングセンタ加工システム DAM

1969 年～1972 年（昭和 45 年度～47 年度）

研究の形態：（株）牧野フライス製作所および富士通（株）（現・ファナック（株））との共同研究

理念、目標：工作機械と金属加工の分野では数値制御の実用化、マシニングセンタの実用化と著しい進歩が米国主導で行われてきたが、適応制御の開発と実用化で初めてほぼ比肩できる状況となった。一方計算機を利用した生産工場内及び企業内の自動化省力化は既に先進国で挑戦されている。我が国もいち早くこの分野で研究開発と実験を行い我が国なりの経験を蓄積すると共に、さらに次世代の製造システムの展望をもつ必要がある。すなわち**図 3.3.1-1** に示すように、単に一工場の定常的な自動化を考慮するだけでなく、高度な計算機能を持った遠隔の本社のマネジメント部門とも適宜、結合でき、ロット単位での最適化、作業の進行、データのロギングなど、高度な判断を仰ぐというものである。工場側にはいろいろな非定常な状況を察知する機械､すなわち適応制御機能付き工作機械があり、これというときに介在できる工場の技術者がいる。これは適応制御工作機械の企業内運用方法の将来的可能性を実証試験するものでもある。このモデルは **DAM (Data-communication Adaptive control for Machining center)** と名づけられた。

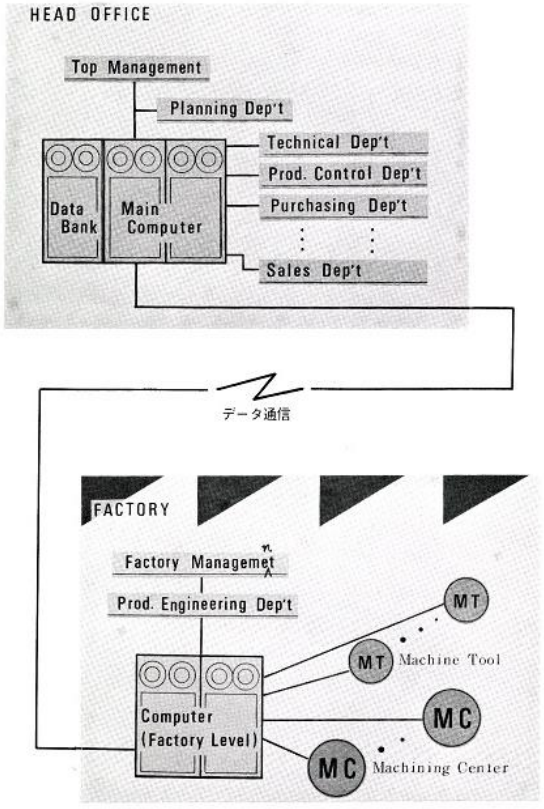


図 3.3.1-1
次代のオンライン自動生産システム

実施と成果：企業内の階層型オンライン生産システムのモデルとして、東京井荻の工業技術院機械技術研究所内の制御用コンピュータ T3000 を中央レベルのコンピュータと想定し、対象機械としてそこから 45ｋｍ隔たった神奈川県愛甲郡の株式会社牧野フライス製作所厚木工場内の適応制御マシニングセンタ MCC１００－A-100-AC を想定し、その制御装置 FANUC２５０A を日本電信電話公社の臨時特定専用回線（1200bit./sec）で接続して本社と遠隔地の工場間のデータ通信による適応制御を用いた実証試験を行った**(図 3.3.1-2)**。**図 3.3.1-3** はその実景で、上が工場側、下が計算機側である。

DAM で用いられた最適化の評価関数は切削速度および送りに関して図 3.3.1-4 のようである。工場の技術者は入出力タイプライタ装置で機械と部品番号を指定し、ロットサイズやコストおよび時間の制限値を入力して、そのときの望みの最適化を選択するとコンピュータが最適化計算を行い、工場側に送信する。

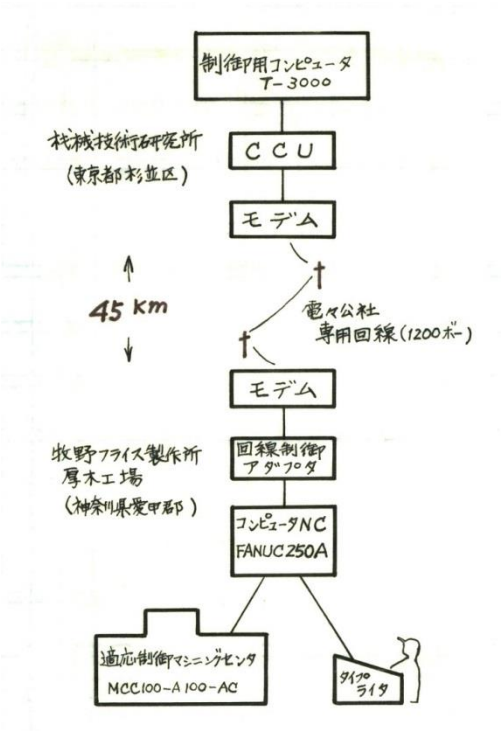


図 3.3.1-2
ＤＡＭの実際の構成
[竹山 72-2]

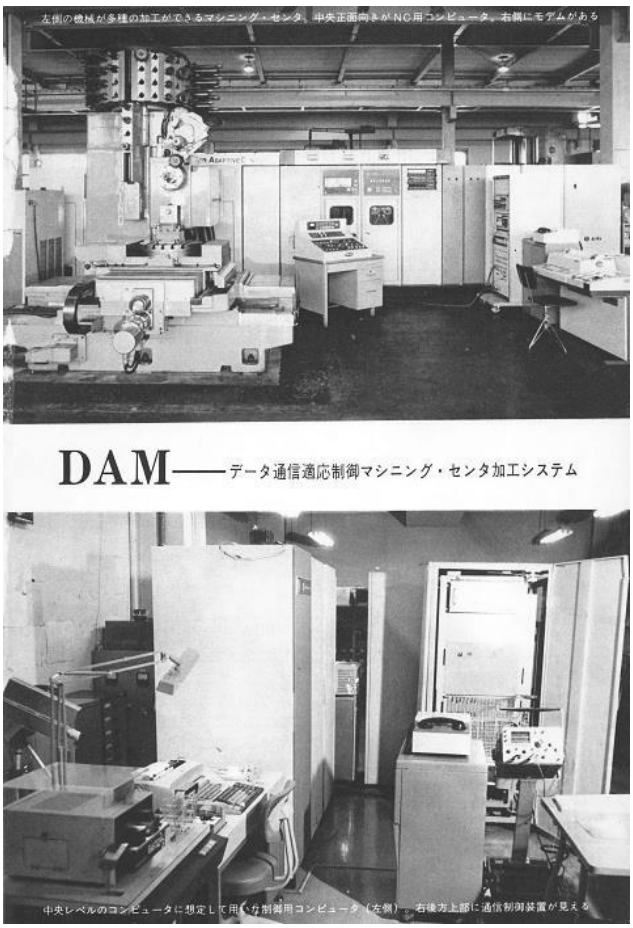


図 3.3.1-3　ＤＡＭの実景：
上：工場側、下：計算機側（ 情報誌「bit」、グラビア、1972.10 ） [bit72]

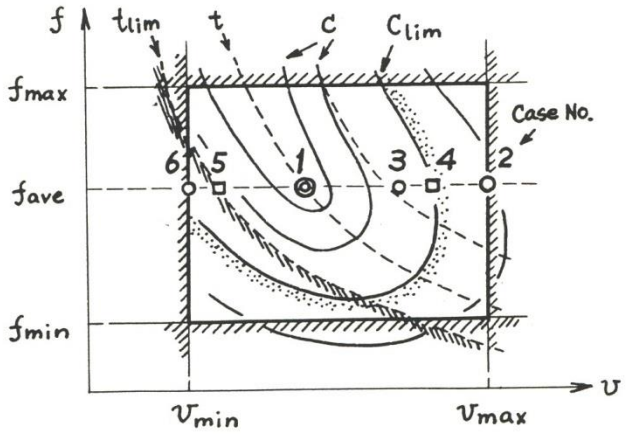


図6 加工コスト及び時間の等高線図と，
最適化プログラムにおける計算点

図 3.3.1-4
DAM の 評価関数
[竹山 72-2]

コンピュータには機械・工具・工場などの償却コストと生産速度と工具寿命などのデータが予め入力されており、コスト最小・生産速度最大・指定加工時間・生産速度最低などを得られる加工条件を生産コストと加工時間の組み合わせで自動的に示される。技術者はその時々の状況に合った加工条件を選択するだけで生産は自動的に行われ、生産結果はコンピュータにより自動的に報告される。又生産が中断された場合にもそれまでの実績とコストが報告される。

図 3.3.1-5 は、加工物と切削実験の様子、そしてそのときに使用された工具である。

遠隔地を結合した工場と管理部門のデータ通信によって適応制御を応用した即応性の高い生産システムの構築が可能な事が立証できた。実用化には加工データバンクやデータ通信網の整備、さらにはセキュリティの確保などが必要であろう。

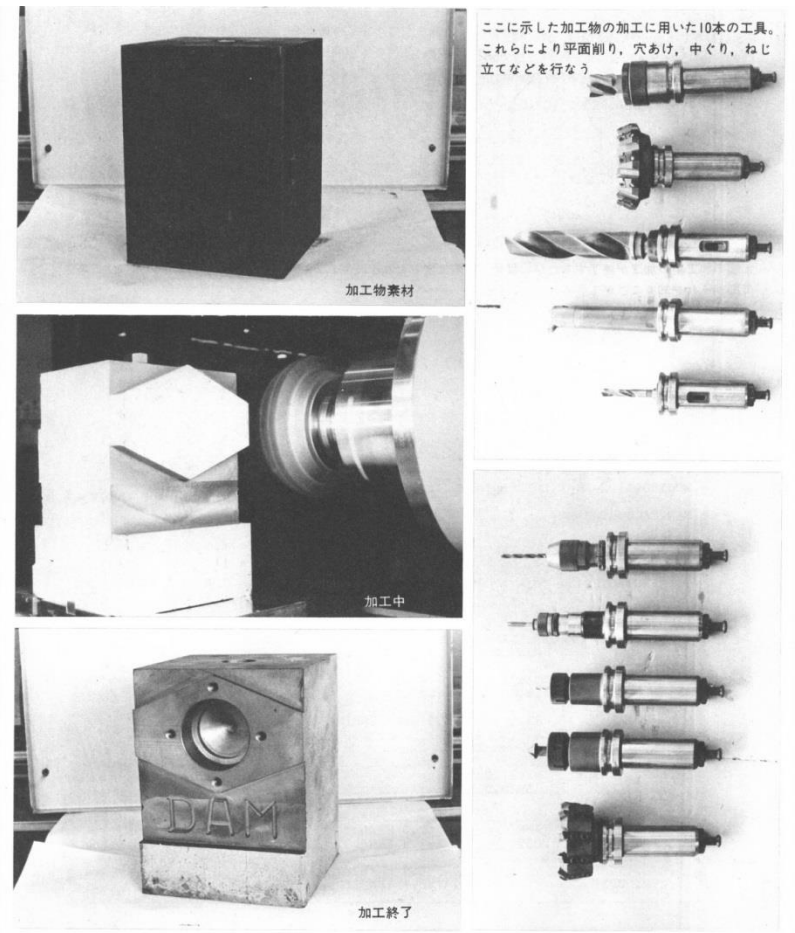


図 3.3.1-5　DAM の切削実験の様子、および使用工具　[bit72]

（執筆担当：佐藤、本多）

３．３．２　マシニングセンタ加工シーケンスの自動決定システム　ＭＡＤ

1972 年～1973 年（昭和 47 年度～昭和 48 年度）

研究の形態：（株）牧野フライス製作所との共同研究

理念、目標：マシニングセンタは著しい発展と普及をしている。マシニングセンタは多種類の工具を使い多種類の加工を効率よく行う工作機械である。実際にマシニングセンタで加工を行うには多種類の加工内容に合致した加工工程設計とツーリングに基づくパートプログラムが必要となる。しかし多種類の加工内容を熟知した技術者は多くない。加工物の精度要求も日々向上する。このように進歩する各種の加工法および加工要求に常に熟知して対処する事は容易ではない。形状や材質のみならず加工精度や仕上げ面粗さまで含めて加工工程を自動決定し、必要な工具群とその設定値をパートプログラマおよび工具室に同時に出力できるシステムの開発が望まれている。今回の開発では最初の試みであるので単純通し穴に対象を限定し、素材穴の寸法や状態と仕上り穴の寸法と加工精度を入力とし、

パートプログラマ用出力は穴ごとの使用工具とその順序および切削条件、工具室用には必要な全工具の工具種別リストとプリセット寸法である。手持ちが無い工具に関しては購入すべき工具リストが出力されるシステムを目標とした。

表 3.3.2-1　入力項目　[井上 75]

表 2　入力データの内容

	項　　目	略　　号
	1. 穴　の　名　前	MN
仕上り穴	2. 仕上り穴段数	N
	3. 穴　の　形　状	TYP, T & B
	4. 仕　上　り　径	DFN
	5. 仕上り長さ	LFN
	6. 穴　径　精　度	GRD 又は { LUP / LLW
	7. 表　面　あ　ら　さ	RD, RF
素材の穴	8. 素材の穴の段数	NO.
	9. 素　材　の　穴　径	DBL
	10. 素材の穴の長さ	LBL
	11. 偏　　肉　　量	SBL

表 3.3.2-2　出力項目　[井上 75]

表 3　出力データの内容

NC パートプログラマ用	工具管理室用
1. 工具シーケンス	1. 工具種類別工具コード番号
2. 仕上工具コード	2. セット工具径
3. 中仕上工具コード	3. セット工具長さ
4. 荒加工工具コード	4. 加工可能長さ
5. セット工具径	5. ホルダ名称
6. 加工可能長さ	6. アダプタ名称
7. 所有状態	7. 工具刃部名称
8. 切削条件（切削速度及び送り速度）	8. 穴径精度
	9. 所有状態
	10. 購入工具リスト

実施と成果：加工対象物の図面と素材の状況を知って技術者が MAD システムへ入力する内容は**表 3.3.2-1** に、MAD が出力する内容は**表 3.3.2-2** に示す。MAD システムは**図 3**.3.2-3 に示すように工具データを必要に応じて検索が可能な状態で収納するサブシステム **TASER** と加工シーケンスを決定しパートプログラマおよび工具管理室へ指示出力するサブシステム **MASEQ** で構成される。

テーブルサービスサブシステム TASER について：

以下の機能を持つ。

（１）各種類の工具データを読み込む

（２）工具種類別に径の大きさの順序に配列する

（３）刃部と適用ホルダーの関連を作る

（４）荒加工用中ぐり加工径チェーンを作る

（５）以上のデータを工具ファイルとして登録する

今回は最も生産比率の高い鋳鉄に特化したデータを収納し、径が 3 ㎜から 300 ㎜までの穴が加工できるように加工系列を整え、更に工場に保有しているか否かの記録が可能である。中ぐり工具に関してはそれぞれ固定された径を登録し、それに基いて荒加工の為の工具シーケンスを TASER で作成しチェーンテーブルとした。一般に中ぐり工具は最大加工径と最少加工径が決まっており、その中の任意の径にセットする事が出来るが、アルゴリズムの単純化の為に各中ぐり工具に固定した荒加工径を与えた。この結果計算処理も短時間で行え、工具のプリセット時間も短縮する事が出来た。

工具シーケンス自動決定サブシステム MAGSEQ について：

MAGSEQ は以下の機能を持つ。最大 40 個の穴のデータをパートプログラムから一度に受け付ける。

（１）入力されたパートプログラム情報はデータ形式や数値上の制限などの基本事項のチェックが行われ、誤りが無いか確認される。

（２）はめあい精度の寸法公差等級は加工径を考慮した MAD の加工グレード分類に変更される。

（３）表面あらさは寸法公差等級を考慮した修正を行う。仕上げ加工の切削条件はファイル上の条件を表面粗さを考慮して修正される。

（４）穴ごとに仕様を満たし、且つ工具本数が最少となる工具シーケンスを TASER で作成した工具ファイルを用いて決定する。

（５）穴ごとに仕様を満たし、且つ工具本数が最少となる工具シーケンスを TASER で作成した工具ファイルを用いて決定する。加工グレードおよび素材穴の寸法などに従って仕上げ工具、中仕上げ工具、荒加工の最終工具を定め、その加工径からチェー

ンを使ってくりひろげの為の荒加工工具を順次決定する。

（６）決定された各工具の加工長および工具長について干渉チェックを行う。

（７）パートプログラマ用と工具管理室用のリストを作成し出力する。

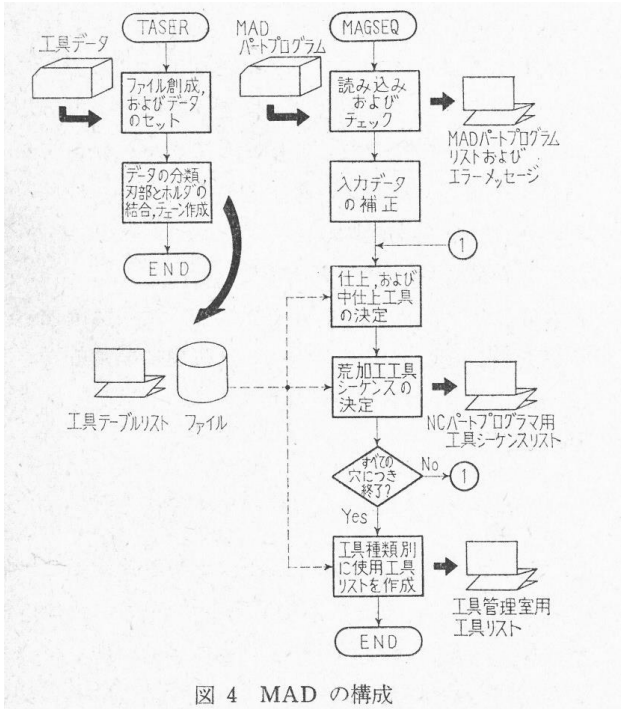


図 4 MAD の構成

図 3.3.2-3
MAD の構成概要 [井上 75]

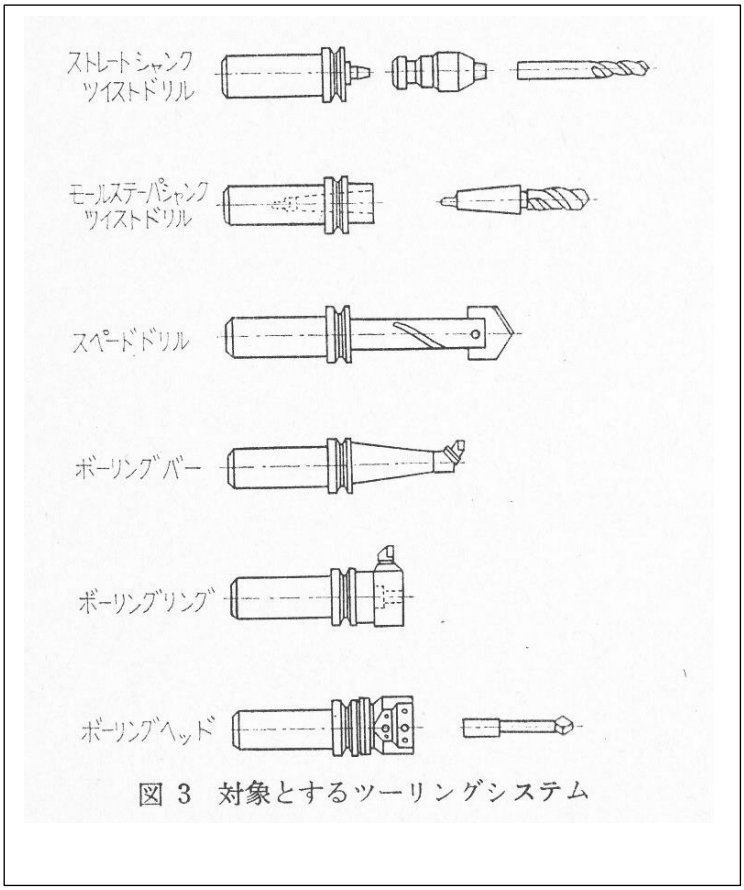


図 3 対象とするツーリングシステム

図 3.3.2-4 対象とするツーリングシステム
[井上 75]

実験の結果:MAD のシステムを実際に計算機プログラムとして作成し TOSBAC3400 上で動作させた。

（１）先ず共同研究者の機械工場で実際に使われている工具データの例を **TASER** で処理しファイルを作成した。実験で扱った工具はツイストドリル 77 本、スペードドリル 6 本、中ぐり工具 197 本。プログラムサイズ約 10K 語、処理時間約 400 秒であった。

（２）次いで種々の穴について、MAG パートプログラムを作成し **MAGSEQ** により工具シーケンスを決定させ、パートプログラマ用および工具管理室用の指示出力を得た。プログラムサイズは約 32K 語、処理時間は総計 90 個の三つのパートプログラムを連続処理して約 410 秒であった。指示出力の一部を図 3-3-8 に示す。

（３）共同研究者の工場で横型マシニングセンタを用いて切削実験も行い MAD の妥当性の確認を行った。実験は鋳鉄材に径φ12.5～φ80、はめあい等級 H7～H10、表面粗さ▽～▽▽▽、素材穴径なし～φ70 の単純通し穴加工を行った。加工後の計測で MAD により定められた工具シーケンスで切削した加工結果は全て所定の交差内に収まった。更に工場の熟練者にも仕様を示し加工を行い、結果を比較したところ、両者とも交差内に収まり加工時間は MAD がわずかに短かったが熟練者は比較される事を知っていたので慎重な加工条件を選んだと思われる。

結果の評価：今回は単純通し穴だけであったが、目標とした機能と出力結果が得られ研究と試験は成功であった。加工実験による結果で加工精度仕上げ面粗さに関しても現場で十分使用に耐えるシステムと確認できた。具体的には下記の結果を得た。

（１）加工仕様として与える寸法・精度・表面あらさ・素材の状態などを整理し、目的にかなう入力形式を設定した。

（２）上記入力データのみから単純穴加工に必要な工具シーケンスを自動決定するアルゴリズムを作成した。

（３）工具ファイルの形式と内容を作成した。

（４）求められた工具シーケンスは NC パートプログラマ用と工具管理室用の 2 種出力させた。

（５）実際に多くの穴加工について処理を行い、その結果に沿って加工試験を重ね、所定の使用が満たされている事を確認できた。

今回は初めての試みであったので単純通し穴に限定して研究したが、本来マシニングセンタは多種多様な加工を目的としているので、最も多い加工である穴加工でも段付き穴やねじ切りや座ぐり加工も含めて行く必要がある。今回の経験を基礎として更に一般的な加工に拡張して行く事が今後の方向と言える。

(a) NCパートプログラマ用出力：処理したパートプログラムの例（部分）

(b) NCパートプログラマ用出力：工具シーケンスの決定例（穴２個分のみ。二重下線はパートプログラムから入力された穴の仕様の主要部，一重下線は決定した工具種類と加工径）

(c) 工具管理室用出力〔(b)で出力されたものがホルダとともにここに編集され下線部のところに示されている〕

図 3.3.2-5　MAD パートプログラム出力例と工具管理室出力例　　[井上 75]

（執筆担当：佐藤）

4.考察

（１）最適化制御、ないし適応制御工作機械

(a) 1967～1970 年度のプロトタイプ機（大隈鉄工所製切削試験用旋盤をベース）により、次のような機能が開発された。

（あ）各種センサ：逃げ面摩耗巾（ＩＴＶ方式)、切削力、切削温度、加工物寸法（光学式)、エア・ギャップなど。

（い）計算機用インタフェース（近距離用)、自動経路生成。

これらのいくつかは米国特許を含め特許を取得したが、使用許諾や譲渡の例はないと思われる。

（う）２件の学会賞を受賞した。

(b) 上記の成果を集約して、三菱重工業により、**MELAC-L** が試作機として製作され、1972 年 11 月の第 6 回東京国際工作機械見本市に出品された。

同機には、上記のほかに次の機能がある。

（え）入出力タイプライタ用インタフェース

（お）通信制御アダプタ

（か）適応制御用Ｇ機能：GC（工具寿命制御），GD（切削力），GE（工具経路決定）,GP（エア・ギャップ制御），GX（精度制御） の５グループがある。

(c) 機械加工は一般に製造業の基礎を支える分野であり、しかも対象は多様で、それぞれの事情に応じたコストや効率意識が強く求められる厳しい環境にある（たとえば、部品１点の加工時間短縮も１分刻みで求められる)。

従って MELACL-L のような総合的な適応制御機能付きの工作機械は、モデル・マシンとしての性格を持ち､コスト／パフォーマンス比の点でそのまま広く現場で採用されたとは言い難い｡特定の事情に偏らない研究開発を指向する我々国立研究所としては､適応制御の研究開発もある程度綜合的な広い範囲の最適化にならざるを得なかったからである。

しかし、切削作業の安全や効率化のための constrained-adaptation（たとえば、切削動力、エア・ギャップ制御、加工精度の確保など）の機能は、具体的な製品名は示せないものの､個々の工作機械の標準機能として定着するのに貢献したと考えられる。

またその後は半導体技術の急速な進歩に伴って様々な便利なセンサ（力、温度、位置、画像など）が開発され、また、制御用コンピュータの機能も飛躍的に向上（大容量化、小型化、低価格化など）したことから、日本の各工作機械

メーカは、世界に先駆けて独自に多様な制御方法の開発と実用化に取組むことになる。当該研究は、これ等の取組みの端緒の一つになったと云える。

（執筆担当：関口、高田）

（2）加工用ソフトウェア

(a)旋削部品を対象に、その図面上のデータから加工のエキスパートが作成するＮＣプログラムおよびテープを、計算機ソフトだけで作り出すシステムを開発した。その結果はいくつかの部品について、加工の質は満たしたものの、加工時間はエキスパートが精魂こめて作り出すマニュアル・プログラミングよりたとえば３割ほど長いという例が得られている。これをどう評価するかは他の多くの要素もあり詰め難い。

(b) 当時の電電公社から、MELTS をｘ千万円で買い取り、開発中の大型ＴＳＳシステムの科学技術ライブラリ DEMOS-E に載せたいとの意向が示されたが、工技院側はそのような前例は無いと否定的だった。当該担当者もメインテナンスの責任のことなどもあり、結局、1974 年からの電電公社・通研との受託研究として共同で研究するという形態をとって、内容を開示した。

その他、MELTS に関心を示す問い合わせは何件かあったが、それへの対応が出来ないまま終わってしまったのは残念である。

(c) MELTS や当時の内外のシステムの様子などを、多くの資料や著書[竹山 87]として残せたのは幸いだった。また、学会賞１件を受賞した。

（執筆担当：井上）

（3）ＤＡＭ

(a)（株）牧野フライス製作所と富士通ファナック（株）との共同研究で、東京と神奈川県下を結んだ遠隔データ通信制御であるとともに、かつ人間も適宜介在できるシステムを実現できた。これは内外で初の試みで国際的にも注目されたが、多忙もあって論文としては国際会議での発表が優先となり、国内での原著論文がないままになったのが残念だった。

(b) 国際会議では時間の制約が厳しいので英語トーキー付８ミリ映写で発表し座長から判りやすかったと好評価された。またイギリスの機械学会誌に相当する Chartered Mechanical Engineers でも紹介された。

(c) 遠隔かつ人間介在という大きな理念を初めて実現できたが、特許は出さなかっ

た。これはあまりに多忙だったことと、ソフトの部分がかなり大きいので難しいのではという思い込みもあったと思う。のちに（1990 年ころだったか)、共同研究企業の一つから、類似の特許を後に出した別の企業があるので公知の事実で異議申し立てをしたい、との相談を受けたが、その結末については不明のままとなった。　　（執筆担当：佐藤、本多）

（４）ＭＡＤ

(a) 多種の工具を自動工具交換装置によって交換しつつ加工を進めるマシニングセンタ用のツーリングソフトである。工作物の品質（加工精度や仕上げ面粗さ）も含めた加工仕様を与えると、備えの工具リストの中からツーリングを決定する。また工具リストは使用状態の記録から、工具余命も管理されている。共同研究企業ではこの後 1980 年台になって、すべての工具を工具室に集約し、そこから取り揃えられた工具を無人搬送車によって送り出す、より大規模なシステムを開発したが、工具セットの記述方式や加工工程の分類方式などをこのＭＡＤを参考に開発した。　　（執筆担当：佐藤）

（５）当該システム全体として：

(a) 当該研究の背景として、計算機事情は外国製大型機は導入されていたものの、国産大型機は国策の支援によって漸く製造にこぎつけた段階であり、工作機械業界の計算機環境も未発達であった。また工作機械もまだ海外技術の依存から脱出しきれておらず､NC 工作機械もようやく NC 旋盤が出現しようとしていた頃であった。しかしその後日本の工作機械業界の奮闘は一段と目覚ましく、工作機械の出荷額は伸びて 1981 年に世界一になり、2008 年までそれを維持した。ソフト、ハード両面にわたるこの研究は、当該業界の研究開発に寄与したものと考えられる。

(b)一方、成果の一般的普及に関しては、当該研究が機械加工の分野でのシーズとして時代(1960 年代後半～1970 年代の初頭)の先頭を走るものでもあったために、ニーズをうまく汲み取ることに不十分であったとも感じる。研究者が概してまだ若かった（20 台～30 台後半）こともあるが、はじめは成果を挙げる事に夢中であり、成果が出始めてもそれらをどうして普及に結び付けるか、その都度生じる世間の関心、例えば研究協力や利用の申し出にどう対応するか、の方法論がよくわかっていなかったと思う。

その時代の研究所や工技院の事務方の幹部は概して、国民の税金を使う国立研究機関は、特定の個人、企業に利してはならないという立場を優先させていたよう

に見えた。毎年、翌年度の予算要求のヒアリングには工技院からも担当官が見えていたが、「中小企業などにそんなサービスはしなくていい」という言葉を聞いたこともあった。

当該研究の成果に対して、複数の企業から関心が寄せられ、その打ち合わせに関係者が来所した場合も、それを知った事務方は監査の前に来訪者名簿からその氏名を深夜作業で抹消させるという、異例の作業を行ったこともある。前述のように成果の買い取りの申し出を打診された際も、一緒に前向きに考えてほしかったと思うがそういう時代であったのだろう。

しかし当該研究の後、1980 年になって、当時の電総研が大型プロジェクト・「パターン情報処理」において開発した画像処理ソフトウェア・パッケージ SPIDER が、国立研究機関のソフトウェア公開資産の第１号に認定された[産総研 04]。当該研究の前例が役立ったかどうかはわからないが良かったと思う。

時代変わって現在は、組織は成果を挙げ、その有効利用をすることが組織の存続理由となっている。いわゆる成果（至上）主義である。しかし、目先だけでない、それを支える理念に基づいた成果主義が必要であり、そうでないと別の意味での弊害も生じよう。

(c)　参考までに、適応制御に関係する話題を二つ記す。

まだ適応制御の初期のころ、特許出願をした。計算機を結合したシステムだったので計算機プログラムの部分があってフローチャート混じりだったが、原理特許はいけないとかで拒絶の通知を受け、何度かの補正をしていると、「○○事件について審判をするから出頭せよ」とのお達しを戴いた。一体何事ならんとおっとり刀で虎の門に出かけると、２，３人の審判長の方（名刺を戴いた）に、まあまあとお茶をすすめられ、私どもも立場がありまして、と仰るので拍子抜けした。のちに某外資系大手企業の、適応制御に関するフローチャート混じりの特許を見て、そんなものなんだと思った。

しかし後に、アルゴリズム特許、ソフトウェア特許の問題は、1985 年に線形計画法の Karmarkar 解法のアルゴリズムの特許が AT&T から出願され、日本にも出願されたことから一気に関心を惹き、情報関係ではシンポジウムなども開かれる騒ぎとなった。いろいろあって、日本特許は 2000 年に放棄され、US 特許は 2006 年に満了となったというが、計算機がらみの特許も当り前になったこんにち、日本に

とって、この問題はちゃんと理念に基づいた決着がなされているのだろうか。

二つ目は、ある日、某大国の大使館員と名乗る外国人男性から電話がかかってきた。適応制御について伺いたいので都内で会いたいという。こういうとき、当時はあまり手続きなどは考えず、内外の新聞雑誌などの取材ならむしろ喜んで受けていたかも知れないが、日頃あまり交渉の無い大国なので、さすがにそのときは周囲の先輩に相談すると、やめた方がいいのではないか、と言うので丁重に断った。　しばらくして、別の試験所の研究者が同じ某大国の大使館員に資料を渡した疑いで逮捕されたとニュースで報じられた。最近もまれに民間企業の社員も取り調べられることのある件に関することだったのかも知れない。

(d)　総じて、当該研究は機械業界の計算機利用を先導する形で開始され、共同研究や受託研究なども行い、学術的実用的にも学会誌や商業専門誌、講習会などでその結果のＰＲにも努め、その端緒となった。しかし終了後、研究担当者がそれぞれ異なるテーマあるいは職場環境に転じたりした事情もあり、40 年以上経ったいま、どのように利用されたかなど細かく追跡できなかったのは、反省点でもある。

（執筆担当：本多、井上）

5. まとめ

残された資料類は別項に記載した。当該研究全体を通じ、直接、開発した機械、機器類およびソフトウェアなどは、研究時から 40 数年を経過した現在、企業など外部機関に残存している場合を除き不明である。　（執筆担当：本多）

6. 謝辞

当該研究は、切削加工とコンピュータという二つの分野にまたがるものであるために、多くの方々のご尽力と支えにより実現されました。研究所においては、故竹山秀彦・元生産工学部長の直接のご貢献と迅速かつ適切なリーダシップによりテーマが生まれ、成果に至ったことに執筆者一同、心からの感謝を捧げるものです。そして故浮田祐吉元所長、故窪田雅男元所長、故土井康弘元システム部長、小林健志元生産工学部長など所の幹部が理解を示して部・課の壁を越える研究態勢を作り、研究員が伸び伸びと活動できる環境を作られ、そして両部や所内の多くの方々のご助力を賜りました。おおもとでは旧工技院はじめ関係省庁の支えのもとで実施出来ました。
さらに、多くの団体、企業とその関係者の方々の直接のご協力を戴くことができました。

（株）大隈鉄工所（現・オークマ（株））、三菱重工業（株）広島精機製作所、（財）機械振興協会技術研究所、旧・日立精機（株）、（社）情報処理開発センター、富士通（株）（電子計算機部門）、（株）ＩＳＳ、（株）牧野フライス製作所、富士通（株）（現・ファナック（株））、（株）東芝（工業用計算機部門）、および旧・電電公社、などです。

これらの方々にあらためて深い感謝の念を表する次第です。お世話になった責任者、関係者個人の方々のお名前も未だ記憶に新しいものがありますが、あまりに多きにのぼることでもありここでは省略させて戴くことでご了承下さい。　　（執筆担当：全員）

7. 文献・資料・特許

文献

[機所 61]生産加工技術に関する研究－特集号－、機械試験所所報、Vol.15,No.4 (1961)

[機資 64]旋削標準（改訂版、1964）,機械試験所資料、第 37 号。

[機資 64]フライス削り標準（改訂版、1964）,機械試験所資料、第 38 号

[機資 67]ホーニング・データシート(1967), 機械試験所資料、第 50 号

[機資 64]旋削仕上げ面あらさに関する資料(1964), 機械試験所資料、第 45 号

[機所 68]竹山、谷戸、富田：工具寿命計算尺の試作、機械試験所所報、Vol.22,No.5 (1968)

[Kahles73]J.F.Kahjes et al. ：Application of Machinability Data Banks in Industries, Proc. 14th MTDR Conf. Paper No.102 (1973).

上記歴史のまとめが、[本多 75] 本多：自動機械工場への系譜（23)、データ・バンク（その１)、機械の研究、第 27 巻第 3 号(1975)にある。

[本多 67] 本多、竹山、光岡、谷戸：工具摩耗成長過程のデータ解析シミュレーション（工作機械の最適化制御に関する研究、第２報)、機講論 No.178、1967.10.

[竹山 70-3]竹山、関口、高田：旋削加工における切りくず処理法―数値制御自動プログラミングの研究（第１報）、精密機械、36.2(1970)150-156.

[竹山 70-4]竹山、関口、高田：旋削加工における最適化の手法―工作機械の最適化制御に関する研究（第２報）、精密機械、36.5(1970)311-317.

[竹山 70-1] 竹山、本多、関口、高田：旋削加工の最適化制御、機学誌、73 巻 619 号、1970.（日本機械学会論文賞）

[竹山 70-2] 竹山、本多、関口、高田、井上：数値制御自動プログラミングの研究―旋削[長手・荒削り]における切削条件の自動決定、日本機械学会論文集、39 巻 292 号、1970.

[Takeyama70] H.Takeyama, T.Honda, H.Sekiguchi und K.Takada: Optimierende Steuerung bei Drehbearbeitungen, WERKSTATT und BETRIEB, 103, Jahrgang

1970, Heft 9.

[竹山 72-1]　竹山、本多、関口、高田、中村摂：旋削仕上げ削りに関する資料、日本機械学会誌、1972.

[竹山 72-2]　竹山、本多、井上、関口、高田（機械研）、鈴木博一、佐藤眞、鈴木宏一（牧野フライス）、小林堅吾、一条弘一（富士通）：データ通信適応制御マシニングセンタ加工システム（DAM），日本機械学会講演論文集、No.720-12、1972-8.

[bit72] 情報誌 'bit' グラビア、p.1～4.、共立出版、1972.10.

[H.Takeyama,T.Honda,K.Inoue,H.Sekiguchi,K.Takada,H.Suzuki,M.Sato,K.Suzuki,K.Kobayashi,N.Yoshitake and K.Ichijo: DAM - DATA COMMUNICATION MANUFACTURING SYSTEM OF ADAPTIVE CONTROLLED MACHINING CENTRE, Selected papers from Proc. of Int. Machine Tool Design and Research Conference, 1974.9.

[本多 74-1] 本多、竹山、安部：計算機・適応制御旋削加工システムの試み（第 1 報）―会話形式指令・加工仕様入力、工具経路決定および直結制御―、精密機械、第 40 巻第 2 号、1974.2.

[本多 74-2] 本多、竹山、安部：計算機・適応制御旋削加工システムの試み（第 2 報）―切削力および寸法制御に関する適応制御―、精密機械、第 40 巻第 3 号、1974.3.
（精密工学会青木記念賞）

[井上 75] 井上、本多、竹山、佐藤眞、友森、鈴木宏一、鈴木博一：マシニングセンタ加工シーケンスの自動決定システム、日本機械学会誌、第 78 巻、第 675 号、pp.130-138,1975.

[本多 75] 本多：切削加工の適応制御、機械技術研究所報告第 83 号、1975.8.

[井上 76] 井上、本多、竹山：旋削加工のためのパターン識別、精密機械、42-10、1976.
(精密工学会青木記念賞)

資料

[50 年史 87] 機械技術研究所五十年史、1987.

[土井 83] 土井、本多、井上：ＮＣシステム事典、朝倉書店、1983.

[竹山 81] 竹山、井上、本多、関口、高田：自動加工ソフトウェア、日刊工業新聞社、1981.

[SME93] SME 東京支部：日本の工作機械を築いた人々・竹山秀彦氏、応用機械工学、1993.10.

[資料 71] 専用プログラムの開発に関する研究報告書（その１）、昭和 46 年 3 月、機械振興協会技術研究所、1971.3 （ツーリングに関するアンケート結果）

[資料 76] 旋削加工用ソフトウェア・MELTS　～パートプログラミング解説書~、機械技術研究所資料第 66 号、1976.3.

[資料 77] 旋削加工用ソフトウェア・MELTS　～データ・ファイル解説書~、機械技術研究所資料第 67 号、1977.3.

[資料 78] 旋削加工用ソフトウェア・MELTS　～技術処理解説書～、機械技術研究所資料第 68 号、1978.3.

[経産省 00]　経済産業省・工業技術院技術評価課：「超高性能レーザ応用複合生産システム」追跡評価報告書、2000.

[産総研 04] 産総研技術情報部門、三菱総合研究所：産総研におけるアウトカム事例調査（１）、p.31, 2004.4.

特許

H.Takeyama; T.Honda: Automatic Adaptive Controller, USA Patent, Filed: May 18,1972, Appl. No.: 254,499.

竹山、本多、関口、高田：旋削加工における工具寿命の制御方式、特許第 775778 号、1975.7.16.

竹山、関口、高田、本多：工具の送り方式、特許第 775790 号、1975.7.16.

光岡、本多：最適機械加工制御方式、特許第 847938 号, 1977.3.9.

竹山、本多：自動切削加工方式：特許第 858203 号、1977.5.16.

竹山、井上、本多、関口、高田：データシート、意匠登録、第 52902 号、1980.2.26.

ほか。　（執筆担当：全員）

著者略歴(2016.5 現在)

井上久仁子

1950.5　文部省統計数理研究所入所、研究補助職。水野部長のもと沖縄で発生中のトラコーマの調査、分析に参加。　1960 司書合格、研究職。

1962.1　工業技術院機械試験所（機械技術研究所）に出向。最初に導入されたコンピュータを対象に、研野課長のもと論理素子の制御モデルの作成など。

1969　旋盤加工を対象に加工用ソフトウェア開発の下準備開始。

1971 主任研究官。　1979　つくば研究学園都市移転。　1980　工学博士（東大）。

1981　システム部情報工学課長。　1987.9　同研究所早期定年退職。　安川情報システム（株）顧問。　1993.6　同社退職。　非常勤講師：早稲田大学工学部(1979～1999)、東京農工大学（1987～1989)。　工業標準委員会（委員、委員長)。

精密工学会大越記念賞、同青木記念論文賞、型技術協会功績賞、通商産業大臣表彰。

本多庸悟

1964.4　機械試験所入所。特別研究「自動車の自動操縦」担当。

1967.3　自動操縦車、谷田部実験場にて無人の 100km/h 走行実験に成功し、研究終了。

1967.4　特別研究「工作機械の最適化制御」開始。

1967.4～1969.3　研究企画官付併任。 1971.4　主任研究官。 1974.6　工学博士(北大)。

1979.10　東京農工大学へ出向（助教授、工学部)。 1983.7　同、昇任（教授)。

2003.3　東京農工大学定年退官。名誉教授。 2007.12　新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）プログラム・マネージャ（ロボット担当、~2008.12)。

日本機械学会賞、精密工学会青木記念賞(2 件)、同学会論文賞、東京都科学技術功労者 等。

関口博

1964 年 4 月 工業技術院機械試験所入所

1976 年 2 月～1977 年 2 月 中央職業訓練審議会専門調査員

1984 年 7 月～1987 年 7 月 栃木県地域フロンティア事業推進会議委員

1990 年 2 月～1992 年 3 月 山梨県システム技術開発推進会議委員

1990 年 8 月～1993 年 3 月 栃木県地域システム技術開発事業推進会議　部会委員

1990 年 9 月～1992 年 3 月 中小企業庁・技術開発研究費補助事業推進協議会推進委員

1992 年 6 月～1994 年 6 月 山口県技術アドバイザー

1999 年 3 月　工業技術院機械技術研究所 定年退職

2006 年 1 月～2011 年 3 月 社団法人機械技術協会理事

高田孝次

1968. 4　工業技術院機械試験所入所。特別研究「工作機械の最適化制御」に参加。

1979. 9　工学博士（東工大)。

1979.10 長岡技術科学大学に出向（助教授、工学部)。1987.10 同左昇任（教授、工学部)。

1996. 4～1997. 3 精密工学会北陸信越支部長。

1997. 7～1998. 8 国際協力事業団専門家としてタイ・タマサート大学工学部に派遣。

2003. 4　国立長岡工業高等専門学校長。

2011. 3　同上退職。

2011. 4～2016. 3　㈱北越銀行（長岡市）（顧問、技術協力室)。

受賞　日本機械学会賞、工作機械技術振興賞、新潟県技術賞、精密工学会論文賞等。

佐藤眞

1963 年　株式会社牧野フライス製作所入社。

1990 年　取締役 R&D センター長。

1999 年　代表取締役常務　技術開発統括。

2006 年　代表取締役専務。

2008 年　顧問。

2009 年　株式会社牧野フライ製作所退職。

現職　公益財団法人工作機械技術振興財団評議委員。

受賞　精密工学会論文賞、機械振興協会賞、機械学会生産加工工作機械部門技術業績賞等。

受理日：２０１６年５月２８日