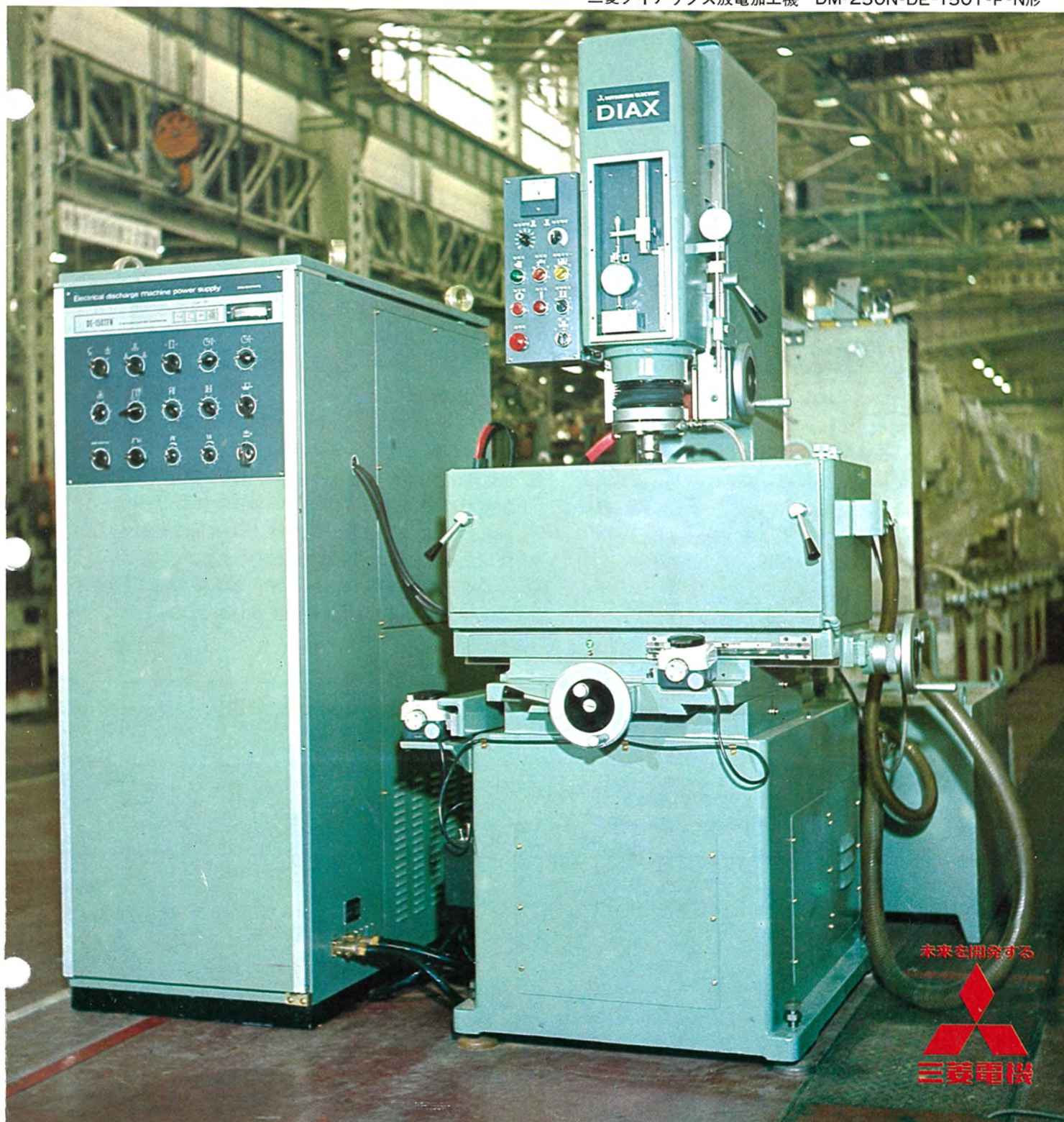


MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

Vol.45 October 1971
電気加工／省力化機器特集

10

三菱ダイアックス放電加工機 DM-250N-DE-150T-F-N形





電気加工特集／省力化機器特集

目次

《電気加工特集論文》

電気加工特集号によせて	鳳 誠三郎	1229
電気加工の現状と将来	齊藤 長男	1230
欧米における電気加工	久慈陽一・古池一成・葉石雄一郎	1233
超大形放電加工機の実用結果	神山欣也・吉本 修	1236
放電加工の応用	久慈陽一・真鍋 明・平松万彦・足尾栄司	1244
ダイアックス放電加工機シリーズ	佐藤国彦・大矢広太郎	1248
放電加工における最近の技術的進歩	小林和彦・高橋義博・石川倫康・高木 茂	1259
ダイヤモンド電解加工機シリーズ	高橋義博	1273
硝酸ソーダ水溶液による電解加工	荒井伸治・葉石雄一郎	1280
レーザ加工	樋口隆一・宮沢生行・吉田寿夫・奥田滝夫	1298
プラズマ電子ビーム溶接機の特性	上山善司・坂元 正・安永政司・田中利夫・奥村 謙・井藤治彦	1304

《省力化機器特集論文》

省力化の投資限界	高田 真蔵	1315
物流における省力化	樽見 忠平	1318
コンピュータによる設計手配の省力化	黒田紀典・酒井亜男・藤田昇三	1322
自動製図	加藤礼二	1327
ディスプレイセンタ	柴田 謹三	1331
加工・組立自動化の動向	藤原 智	1337
大形工作機械の数値制御装置	桑原晴義・玉井 明・是田規之・弘中一光・金子敏夫・佐藤 毅	1342
NC 工作機械群の計算機制御	清水恒夫・長井 孝・佐藤源司・山田 進・坂口恒夫	1347
コンベヤ搬送制御システム	佐竹幸雄・中野宣政・水野 公元	1351
工業用マニピュレータによるハンドリング自動化	津田 栄一	1361
組立自動化の問題点	岩佐辰弥	1366

《技術解説》

三次元レダについて(その1) —原理と実施例の全般的解説—	玉 真 哲 雄	1373
-------------------------------	---------	------

《新製品紹介》

航空機用燃料ブースタポンプ・新形航空機用アクチュエータの開発・連铸スラブ刻印装置	1388
--	------

《ニュースフラッシュ》

空気分離装置用 遠心圧縮機駆動用 14,500 kW 同期電動機完成・線材、銅材ラインの位置制御に好適な MP-133 形 熱材位置検出器・エレベータ集中監視方式 [METAS]・大林組大阪本社ビル向け ダブルデッキエレベータ・大容量 三相誘導 同期電動機完成	1390
--	------

《特許と新案》

ミシンの油回収装置・ポンプの制御装置・車両の天井送風装置・扇風機のふ仰角調節装置・ステレオ電着のキャビネット	1313&1371
--	-----------

《ハイライト》

ダイアックス放電加工機——機械工業デザイン賞の最高賞を受賞——	ダイアックス放電加工機——アメリカへ本格進出——
---------------------------------	--------------------------

《表紙》

表紙 1 三菱ダイアックス放電加工機 DM-250 N-DE-150 T-F-N 形

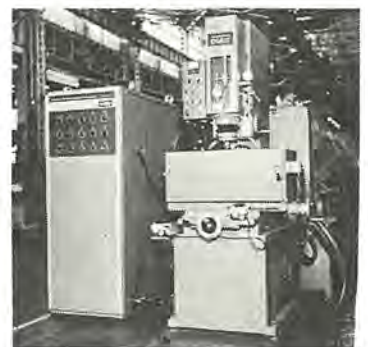
この放電加工機はダイアックスを代表する標準機種で、機械本体 DM-250 N 形は46年7月、日刊工業新聞社主催の第1回機械工業デザインコンテストで、はえある通産大臣賞・日刊工業新聞社賞を受賞した。機能・意匠ともにわが国を代表する放電加工機である。

一方、電源 DE-150 T-F-N 形は従来のトランジスタ電源の回路方式を全面的に改良し、新しいスイッチング回路を採用して、出力の増大、仕上げ速度の向上、貫通加工速度の増加、パルス幅・休止幅・重畳電圧の連続調整回路など新機能を取り入れ、デザインも一新した高性能トランジスタ電源である。

表紙 2 三菱電解加工機ダイヤモンド MC-100 V-100 A 形

表紙 3 大形自動整理ヤード

表紙 4 三菱工作機械 数値制御装置 MELDAS シリーズ





SPECIAL EDITION : (1) ELECTRICAL MACHINING (2) LABOR SAVING SYSTEMS

CONTENTS

SPECIALLY COLLECTED PAPERS (1)

On a Special Number of Electrical Machining.....	S. Hoh.....	1229
Present State and Future of Electrical Machining.....	N. Saito.....	1230
EDM and ECM in Europe and America.....	Y. Kuji • K. Koike • Y. Haishi.....	1233
Results of Applying Giant EDM to Die Making.....	K. Kamiyama • O. Yoshimoto.....	1236
Application of Electrical Discharge Machining.....	Y. Kuji • A. Manabe • K. Hiramatsu • E. Ashio.....	1244
Series of DIAX Electrical Discharge Machine.....	K. Sato • K. Oya.....	1248
Recent Advances in Electrical Discharge Machining.....	K. Kobayashi • Y. Takahashi • N. Ishikawa • S. Takagi.....	1259
Series of DIASINKER Electrochemical Machine.....	I. Kajita • Y. Takahashi.....	1273
Electrochemical Machining with NaNO_3 Solution.....	S. Arai • Y. Haishi.....	1280
Application of Lasers to Drilling and Cutting.....	T. Higuchi • T. Miyazawa • H. Yoshida • T. Okuda.....	1298
Characteristics of the Plasma Electron Beam WelderY. Ueyama • T. Sakamoto • S. Yasunaga • T. Tanaka • Y. Okumura • H. Itô.....		1304

SPECIALLY COLLECTED PAPERS (2)

Limit of Investment for Labor Saving.....	S. Takada.....	1315
Labor Saving Operation in Physical Distribution.....	C. Tarumi.....	1318
Labor Saving in Custom Order Treatment at Designing Section with Computers.....	T. Kuroda • T. Sakai • S. Fujita.....	1322
Autodrafting.....	R. Kato.....	1327
Dispatching Center.....	K. Shibata.....	1331
Recent Trends of Automated Manufacturing.....	S. Hagihara.....	1337
Numerical Controllers for Large Machine ToolsH. Kuwabara • A. Tamai • N. Koreta • K. Hironaka • T. Kaneko • T. Sato.....		1342
Computer Control of Numerically Controlled Machine ToolsT. Shimizu • T. Nagai • M. Sato • S. Yamada • T. Sakaguchi.....		1347
Conveyer Control System.....	Y. Satake • N. Nakano • K. Mizuno.....	1351
Automated Materials Handling with Industrial Robots.....	E. Tsuda.....	1361
Problems for Automatic Assembly.....	T. Iwasa.....	1366

TECHNICAL EXPLANATION

Three-Dimensional Radars (I) —Exhaustive Review of Principle and Application—.....	T. Tamama.....	1373
--	----------------	------

NEW PRODUCTS.....	1388
-------------------	------

NEWS FLASH.....	1390
-----------------	------

PATENT AND UTILITY MODEL.....	1313&1371
-------------------------------	-----------

HIGH LIGHT.....	DIAX Electrical Discharge Machine
	—Awarded with the Highest Prize on Design of the Machine Industry—
	DIAX Electrical Discharge Machine —Full Scale Advance into the American Market—

COVER :

Mitsubishi DIAX Discharging Machine Type DM-250 N-DE-150 T-F-N

An electric discharge machine illustrated is a standard type of apparatus representing DIAX. The main assembly type DM-250 N was accepted as a winner in a contest No. 1 on the design of mechanical industry held by the Nikkan Kogyo Shinbun (Daily Industrial Newspaper) in July, 1971, having the honor of gaining the prize of the Minister of International Trade and Industry as well as the sponsor, the abovementioned newspaper company. Both the function and artistic design are worthy of the name of a representative discharge machine in Japan.

On the other hand, regarding the power supply, the conventional transistor device has been improved fully of its circuit system, a new switching circuit is utilized to enlarge the output, improve the finishing speed, increase the through hall machining rate and employ continuously adjustable circuits for the pulse width, pause time and superimposing voltages. Thus type DE-150 T-F-N power supply has been produced as a newly designed and highly efficient unit.

HIGH-LIGHT

ダイアックス放電加工機 —機械工業デザイン賞の最高賞を受賞—

日刊工業新聞社が創立 25 周年記念事業の一環として、ことしから設定した「機械工業デザイン賞」の第 1 回は、51 社 70 点の応募製品のなかから、当社の DM-250 N 形放電加工機が最高賞である通商産業大臣賞・日刊工業新聞社賞を受賞した。

審査にあたっては機械・電機および工業デザイン界の第一線で活躍する権威者 16 氏が審査委員となり、とくに最終段階では審査委員団が各社におもむき実際の使用状況を審査し、単に外観上のデザインだけでなく、デザインが機能向上にどう役立っているか、機能的デザインの面からも厳重な審査が行なわれ、単純な美的デザインに代わって、機能“とくに人間と機械の結びつき”が重視され、人間工学的に追求した美しさが問われた。

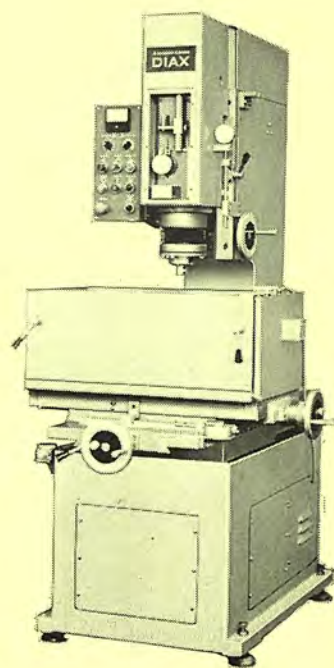
そして DM-250 N 形放電加工機は、従来の工作機械のイメージを破る思いきったデザインと、世界最高水準にある性能が共に高い評価を受けたものである。

ダイアックス放電加工機は、つねに技術独創性で業界のトップの座を占めてきたが、今回の受賞は新しい時代にふさわしい金属加工機械として名実ともに裏付けられたといえよう。

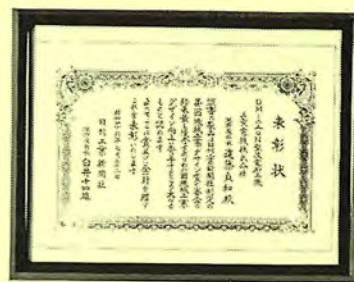
なおこの表彰式は、7 月 23 日 ホテル・オータニで多くの来賓の出席を得て盛大に行なわれたが、当社からは進藤社長、松田常務ほかが出席した。



外山貿易振興局長から通産大臣賞を受ける進藤社長



DM-250 N 形 放電加工機



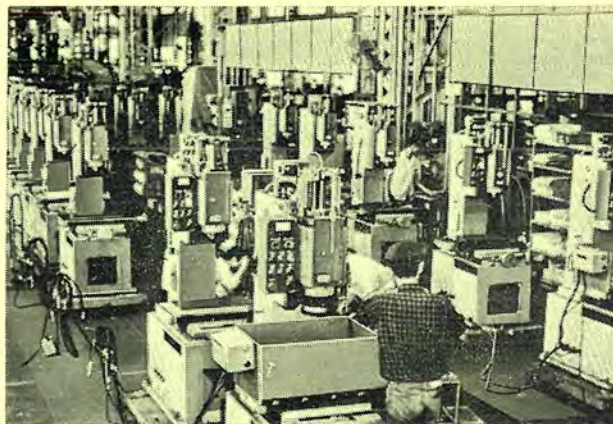
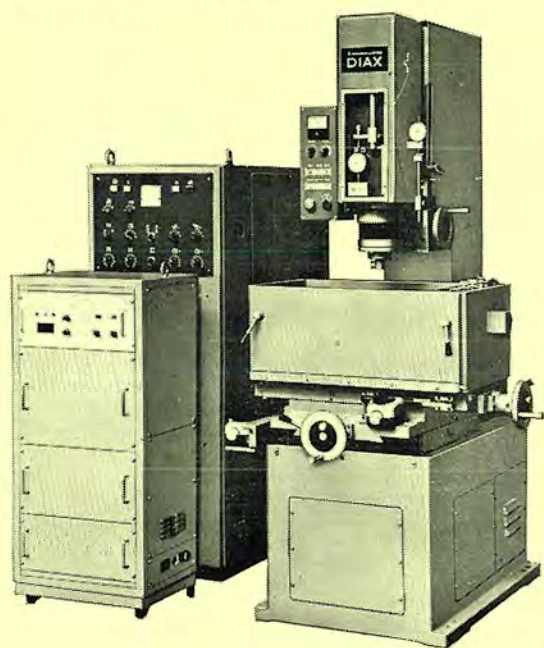
ダイアックス放電加工機 —アメリカへ本格進出—

当社は放電加工機の量産体制確立に伴い、アメリカにおいてミツビシ・インターナショナル社（略称 MIC、三菱商事(株)の現地法人、ニューヨーク市）と契約し、わが国で初めて国産技術による放電加工機をアメリカ市場へ本格輸出することになった。

初年度分として、オプチマイザつき DM-250 N 形放電加工機数十台の輸出契約交渉を進めている。

ダイアックス放電加工機のアメリカ市場進出は、油圧サーボによる電極送り、トランジスタによる電極無消耗化、放電加工の適応制御装置であるオプチマイザ、多電極分割加工など幾多の革新技術の開発に相ついで成功した技術的独創性と、すぐれた量産化体制が高く評価されたことにある。すでにオプチマイザつき DM-250 N 形放電加工機は、4月から月産30台の量産化体制をとっている。

ミツビシ・インターナショナル社は、すでにアメリカにおける放電加工の技術者を結集した放電加工機の大手専門販売商社である EDMR社をはじめ、各地の代理店を通じて精力的な販売活動を展開しており、とくにニューヨーク、シカゴ、ロサンゼルス、サンフランシスコ、シアトルなどで力を入れる計画である。



続々と量産される DM-250 N 形放電加工機

三菱ダイアックス放電加工機
DM-250 N-3 TF-OP 形

UDC 621.9.018.3:621.9.047.7

電気加工の現状と将来

斉藤長男

三菱電機技報Vol.45・No.10・P1230～1232

電気加工は現物合せ特性をもつ加工法であり、それに着目すれば用途はひろがる。

電気加工の過去の問題点は、現在大部分が改善されており、過去の電気加工の常識では信じがたいような進展をしている。

新しい傾向と新しい技術思想として、大形化と電極製作、機械設計の新しい傾向、多能化とシステム化、ワイヤカッティング、変動パルス幅電流による放電加工、加工技術の新しい方式、電解加工機の大形化などの諸問題にふれた。



UDC 621.9.047.7

ダイアックス放電加工機シリーズ

佐藤國彦・大矢広太郎

三菱電機技報Vol.45・No.10・P1248～1258

放電加工機は近年、一般金型加工分野から部品加工分野まで広範囲にわたって省力化の最有力手段として、飛躍的發展をしている。これらの発展は、放電加工技術・機械性能・電源性能といった3要素の向上に負うところが多い。三菱ダイアックス放電加工機の機械系・電源系は多目的用途に応じるため、機械・電源の組合せが自由にできるようにワイドセレクション化されている。

本文では、機械系については放電加工機が具備すべき特質の論説を中心にダイアックス機械シリーズの紹介を行ない、続いて電源系については、制御方式を中心にダイアックス電源



シリーズの紹介を行なう。

UDC 621.9.018.3:621.9.047.7

欧米における電気加工

久慈陽一・古池一成・葉石雄一郎

三菱電機技報Vol.45・No.10・P1233～1235

アメリカおよびヨーロッパにおける最近の放電加工、電解加工の技術動向を概観し、次いで、1971年SMEショーにダイアックス放電加工機を出品するため、渡米して見聞したアメリカにおける電気加工の現状、および東欧に輸出した三菱ダイヤシンカ電解加工機の利用状況を報告している。



UDC 621.9.047.7

放電加工における最近の技術的進歩

小林和彦・高橋義博・石川倫康・高木茂

三菱電機技報Vol.45・No.10・P1259～1272

放電加工は、ソリッドステート化された電源の出現により、加工特性が一段と向上し、ついで適応制御システムを導入することにより、無人運転が実現され、加工能率の大幅な向上がなされた。自動化・省力化ということが、時勢の流れでもあることから、さらにいっそうの高度な制御技術を採用し、今回、NC放電加工機が開発された。一方、放電加工特性そのものを向上させるための技術開発も行われ、安定加工のもとに良好な仕上げ面あらさの得られる高電圧重畳回路や、加工速度を数倍に増加させることのできる分割加工法は、そのよい例である。こゝでは、



前述の放電加工の技術的進歩を紹介するとともに、放電加工現象等の調査結果も合わせて報告する。

UDC 621.9.047.7

超大形放電加工機の実用結果

神山欣也・吉本修

三菱電機技報Vol.45・No.10・P1236～1243

三菱自動車 名古屋自動車製作所では、プレス金型製作に放電加工を適用し、プレス金型 表面形状仕上げ工数の低減、リードタイムの短縮、品質の向上を計るべく放電加工機の導入をはかった。導入以来1年間に約50型に適用し、上記目的を達成しつつある。本加工機は、プレス型を対象とし、ダイスポッティングプレスに代わる本格的省力化機械であると言える。加工機は三菱電機製で、機械系については若干の不具合を残しているが、ほぼ完成している。一方電極製作技術、特に電鍍技術は、放電加工が複雑形状、シャープ エッジ部の加工に適している関係で、電鍍の



均一化、日程短縮の点で、さらに一歩開発を進めていく必要がある。

UDC 621.9.018.3

ダイヤシンカ電解加工機シリーズ

梶田 勲・高橋義博

三菱電機技報Vol.45・No.10・P1273～1279

電解加工は従来難切削材に対する高速加工性の観点から、加工技術の技術革新として認められてきたが、その加工精度は十分でなく不満があった。最近新しい方式により著しい加工精度の向上がみられたがこれには装置として、デジタル加工深さ位置決め装置、極間距離制御装置、高圧気体混入の開発、加工技術として特殊電解液の開発によるところが大きい。本文は最近の電解加工機の設計上の主眼点である剛性・防食・加工液供給装置・ろ過装置・高圧気体混入装置・デジタル加工深さ位置決め装置・極間距離制御装置など、主として、精度向上に関連あるものについて



設計の主旨とMC-100V形電解加工機の機械構造について述べた。

UDC 621.9.047.7

放電加工の応用

久慈陽一・真鍋 明・平松萬彦・足尾栄司

三菱電機技報Vol.45・No.10・P1244～1247

放電加工電極の製作法を概観した後、トランジスタ電源の加工領域を拡大したF回路によるプラスチックモールド型、鉄付鉄の加工、パーティンライン合わせなどの加工例を紹介し、次いで、放電加工プロセスの系統的考察を述べている。

放電加工機を使って工場の生産性を向上させるためには、金型加工の場合に例をとるならば、金型設計の段階から電極設計、放電加工と一連の放電加工機利用技術の確立が必要であることを強調している。



UDC 621.9.018.3

硝酸ソーダ水溶液による電解加工

荒井伸治・葉石雄一郎

三菱電機技報Vol.45・No.10・P1280～1297

高圧気体混入方式で、硝酸ソーダ水溶液を用いる電解加工は、従来の電解加工にみられない精度の向上と、加工手段の簡易化をもたらし、電解加工の応用範囲を広めている。

硝酸ソーダ系水溶液において、極間けきと電流密度の関係を求めると、酸化不動態膜によるとみられる被加工物表面の抵抗Rが概念として導かれ、また電流密度と溶出速度の関係より、電流密度 J_0 以下では溶出がないことが観測される。R、 J_0 の存在が、積分効果を小さくする。

一方高圧気体混入方式による均一な液の流動が、加工の安定性を保証する。この結果、金型加工の分野でも、反転法が使用でき、電解加工の導入の経済的効果を大



きくした。

「三菱電機技報」アブストラクト

UDC 621.375.826: 621.95

レーザ加工

樋口隆一・宮沢生行・吉田寿夫・奥田滝夫

三菱電機技報 Vol. 45・No. 10・P1298～1303

レーザ出力が飛躍的に増大するとともに、レーザ加工の重要性がますます認識されるようになった。簡単にいえば、レーザ加工は非接触で微小な熱加工である。本文では当所で行なったルビーレーザおよび炭酸ガスレーザによる穴あけ・切断のいくつかの結果とレーザ加工一般の特色を述べる。使用したルビーレーザ（最大出力エネルギー：3.5 J）は微小な穴あけに適し、金属に対しては径100～350 μ の穴を0.5msの短時間であける。炭酸ガスレーザは切断に適し、出力80wで厚さ1mmの鋼板を1.3m/minの速度で切断する。



UDC 744: 681.3: 65.011.4

コンピュータによる設計手配の省力化

黒田紀典・酒井亜男・藤田昇三

三菱電機技報 Vol. 45・No. 10・P1322～1326

生産量の急激な増加と人手不足に対処するためには、設計の自動化、省力化は必然的に要求される問題である。これらの問題を解決する手段として、コンピュータが設計のあらゆる段階で利用されている。従来の設計でのコンピュータ利用はおもに機能設計計算が主流であったが、最近では営業・設計・生産を含めて問題をシステムのとりえ、機械化する方向に進みつつある。設計手配業務の自動化は機能設計の自動化とともに今後の重要な課題であろう。本文では設計事務処理、手配業務の機械化の現状を紹介している。



UDC 621.791.72

プラズマ電子ビーム溶接機の特性

上山善司・坂元 正・安永政司・田中利夫・奥村 謙・井藤治彦

三菱電機技報 Vol. 45・No. 10・P1304～1312

自動車の部品などを量産するのに使用される電子ビーム溶接機では、溶接作業室を排気するのに要する時間を可能な限り短縮することが要求される。だから、溶接継手の特性と電子ビーム源の寿命とに悪影響がない限り、溶接作業室を低真空にして使用するのが経済的である。

プラズマ電子ビーム溶接機では、溶接作業室の空気圧を 1×10^{-2} (Torr) にして使用しても、電子ビーム源の寿命は、従来の電子ビーム溶接機にくらべて10倍程度長いから、溶接作業室の排気ポンプは油回転ポンプだけですむ。なお、プラズマ電子ビーム溶接機で溶



接された継手はすぐれた特性を示している。

UDC 744.4: 681.322

自動製図

加藤礼二

三菱電機技報 Vol. 45・No. 10・P1327～1330

コンピュータによる自動製図は、設計製図時間の短縮、製図ミスの防止、省力化などの観点から注目を集め、急速に普及してきた。ここでは当社のすぐれた自動設計製図システムであるプリント配線板の自動設計製図、LSIマスク原図の自動製図の概要を紹介するとともに、自動製図の諸問題や今後の動向について概説し、ご参考に供する。



UDC 657.424: 65.011.4/56: 658.78

省力化の投資限界

高田真蔵

三菱電機技報 Vol. 45・No. 10・P1315～1317

労働力の枯渇と賃金上昇を克服して生産性を高めるためには、適当な投資による機械化・自動化・コンピュータ化が絶対に必要な条件である。では、この投資額と労働力の節約とがどんなパラメータにあるかを考察してみたい。



UDC 658.78.011.56

ディスパッチングセンタ

柴田謹三

三菱電機技報 Vol. 45・No. 10・P1331～1336

物流流通合理化のにない手として、近年自動化倉庫の導入例が注目をあびているが、当社重電機製作所のような個別受注生産工場の生産ラインにおいて、物流と情報システムを一体化して、生産管理の合理化とマテリアルハンドリングの省力化をはかった例として、自動化倉庫と無人運搬車ならびにEDP機器を組合せて導入した、ディスパッチングセンタの概要についてのべたものである。



UDC 65.011.4/56: 658.78

物流における省力化

樽見忠平

三菱電機技報 Vol. 45・No. 10・P1318～1321

近年物流管理が「第三の利潤源」として産業界で大きな話題となっている。特に電機業界では家電品が、十数年来年20%くらいのペースで伸びてきたため、増大する物流量を処理するため、物流問題に積極的にとりくんできた。こゝでは、物流の現業部門に焦点を絞って保管・荷さばき・輸送の省力化の事例をまとめた。



UDC 658.52:011.56

加工・組立自動化の動向

菰原 智

三菱電機技報 Vol. 45・No. 10・P1337～1341

現在の激しい国際競争に打ち勝って優秀な製品を輸出するためには、どうしても合理的な生産を行わなければならない。わが国経済の発展につれて賃金は上昇し、生産コストを下げるためには、自動化・省力化は、目下の急務となってきた。本文は当社のような組立産業における合理化・省力化の現状と将来の動向を検討した。加工・組立といった個々の自動化技術についてしらべ、また生産技術研究所で開発してきた機器を通じて、これらの現状と、計算機により制御される機械に移っていく将来の形を推察した。また個々の自動化技術の集積が多様化した製品の生産を無人工場で行なえるようになる将来の発展を予想して紹介してあ



UDC 621.9-52:681.323

大形工作機械の数値制御装置

桑原晴義・玉井 明・是田規之・弘中一光・金子敏夫

三菱電機技報Vol.45・No.10・P1342～1346

最近の大形工作機械は、標準機としての性能とともに、ニーズの多様化に対応しうるような機能を備えた合理的な機械が要望されている。これらにこたえるため、工作機械側とNC側とが互いに計画当初より協力し合って、大形工作機械に特有なNC機能を付与した数値制御装置の開発をすゝめ、このたび三菱マシニングセンタ・ダイヤモンドシリーズ、MAFシリーズ、プラノマチックシリーズなどの一連の大形工作機械と組合せ、(株)三菱実績を得たので、ここにその大要を紹介している。



UDC 621-52:621-77

組立自動化の問題点

岩佐辰弥

三菱電機技報Vol.45・No.10・P1366～1370

最近、急速に必要な性の高まりつつある組立自動化について、当社生産技術研究所で開発した自動組立機の例などを引用しながら、問題点を抽出し、その内容について報告するものである。組立自動化は、歴史的な後進性と宿命的なテーマの多様性をかかえた新技術分野で、問題点もKnow How的なものから、技術革新の必要と思われるものまでかかえ、問題を山積にしている。これらの個々の問題の解決が、組立自動化の進展の原動力になり、次にくる、無人化システムの重要なステップとして、今日の組立自動化技術が、明日への足掛かりとなる。



UDC 681.323:621.9-52

NC工作機械群の計算機制御

清水恒夫・長井 孝・佐藤源司・山田 進・坂口恒夫

三菱電機技報Vol.45・No.10・P1347～1350

機械加工における省力化の有力な手段として群制御システムが注目を集めている。

群制御システムは、従来、数値制御装置による個別的な自動化に依存してきた機械工場に対して、計算機と工作機械群とをオンライン結合して集中化しようとする試みであり、その背景として数値制御技術の発展と普及、および、計算機の価格低下とその利用技術の進歩に負うところが大きい。

ここでは、群制御システムの動向を展望し、そのアウトラインを説明するとともに、当社における活動状況を紹介している。



UDC 621.396.96.001

三次元レーダについて(その1)

——原理と実施例の全般的解説——

玉真哲雄

三菱電機技報Vol.45・No.10・P1373～1387

三次元レーダについて全般的に解説する。

従来のレーダは二次元的で距離と方位とを測定するものが大多数であったが、これに加えて高度も連続して一度にわかるレーダを三次元レーダという。航空機など飛ぶものを対象とする場合効果が大きい。技術的困難からその発達は比較的近年のことに属し、決定版的方式の確立は今後の課題である。

世界各国で開発中の諸方式を分類・解説し、各方式の実施例を紹介し、総合的所見を述べる。わが国を含む6ヵ国、十余方式約15社40機種にわたり明らかに解説し所見を記した、公開の資料に現われる限りはおおむね説明をつくりだすと思われる。



UDC 621.86.7

コンベヤ搬送制御システム

佐竹幸雄・中野宣政・水野公元

三菱電機技報Vol.45・No.10・P1351～1360

近年、製品コストの低減の“暗黒大陸”とされている物流コストに抜本的なメスが入られる傾向にあり、それに関連するマテ・ハンの自動化が大いに取上げられている。

マテ・ハンの中で最も自動化に関係のあるコンベヤ搬送システムについて、当社のこの分野の経験をもとに制御システムを中心に解説する。コンベヤ搬送システムを構成する場合、機能面・コスト面の両面について最も適合したものを選ばなければならない。当社では種々なレベルのシステムに適合できるハードウェアの開発と、それを応用するソフトウェア技術について積極的に取り組んでいる。



UDC 658.52.011.56:621.86/.87

工業用マニピュレータによるハンドリング自動化

津田栄一

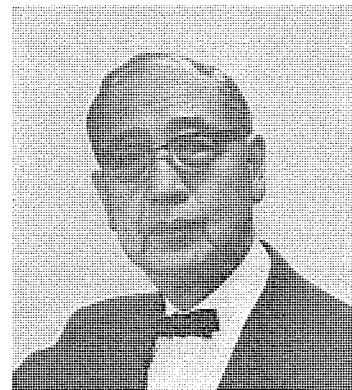
三菱電機技報Vol.45・No.10・P1361～1365

工業用ロボットと呼ばれるマニピュレータが生産ラインに適用されるようになったのは、最近のことである。生産ラインの自動化は、あらゆる分野で進められている。マテリアルズ・ハンドリングは従来から合理化が進められ、各種の機械装置が導入されてきた。しかし完全に自動化するのは困難であった。それは人間の機能の柔軟性を必要とする面が多数あるからであろう。マニピュレータは、機構と制御の柔軟性に従来にはない特長があり、マテリアルズ・ハンドリング自動化の有力な手段のひとつとして脚光を浴びている。このマニピュレータの使用法およびマニピュレータそのものについて、現状と問題点について述べた。



電 気 加 工 特 集 号 に よ せ て

東京大学 工学部 電気工学科 教授 鳳 誠 三 郎



ここに改めていうまでもなく、現在主流として広く用いられている通常の工作機械は、機械力を利用して加工を行なっている。たとえば、被加工体より硬度の高い材料で作られた工具を用いて、被加工体の一部を除去(切削加工)したり、被加工体に弾性限界をこえる変形を与えて、形状を変化させる方法(成形加工)などをあげることができる。しかし、時代の進展に伴って、加工される目的物として、新しい材料または形状の対象が登場する一方、従来と同様な物を生産するとしても、生産方式自体の合理化・省力化が要求される結果、機械的加工法だけにたよっていたのでは、技術的に困難となる場合に遭遇する事例が急激に増加してきた。このような一種の「壁」を突破するためには、旧来の機械的加工法から脱却した、新しい別の原理に基づく加工法が必要となり、いわゆる特殊加工法 (Non-Traditional Machining Process) の発達が進められるようになった。

この特殊加工法のなかには、電気的もしくは電子的現象を直接とり入れて加工を行なうものが、かなり多い。このように、電気・電子的現象を直接利用した加工法を、電気加工法 (Electrical Machining, 略称 EM) と呼ぶのが適切であり便利でもあるので、近年わが国でこの名称が広く使われるようになった。これは新造語であるので、この言葉が現わす具体的な内容について、統一的な見解があるわけではないが、電気加工とよんでさしつかえないと思われる。代表的な加工法としては、表 1 のようなものをあげることができる。

少々極端な言い方であるが、機械加工法の基本原理は、人類が石器時代から利用していたのであって、石を砕き、それを用いて、木片や骨片を削って生活用品を作っていた行為も、機械加工の一種といえよう。このように、機械加工の歴史は人類文化の歴史とともにきわめて長いものであるが、これに比べ、電気加工法の歴史は長いものでも数十年、なかには数年まえから実用されるようになったものもある。したがって、これらの新しい加工法は、まさに発達の前についたばかりであると考えるのが妥当であろう。したがってその内容は文字どおり日進月歩であって、その応用範囲・効果などについて、今日の知識で明日を推し測ることが困難な場合すらある。しかし、きわめて概括的に言えることは、機械的加工法と、電気加工法との関係は図 1 に示されるとおりであると思われる。図の大円は機械加工法、小円は電気加工法分野を示すものであるが、電気加工法によるほうが、機械加工法よりも有利である範囲は、斜線を施した部分で示される。小円の他の部分は、機械的には不可能である

加工が、電気加工法によって初めて可能となった分野を示す。

すなわち、この両者は互いに関連しながら、加工可能な分野を次第に拡大することによって、人類の文化に大きく貢献するであろうことが期待される。工作が困難だからと言う理由で、素材の選択や構造に制限が加えられていた時代はすでに過去のものとなりつつある。目的にもっとも適した素材、構造を選び、それを可能にするような加工法を生み出さなければならない時代が訪れつつある。

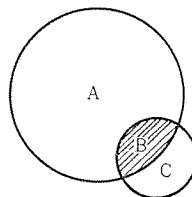
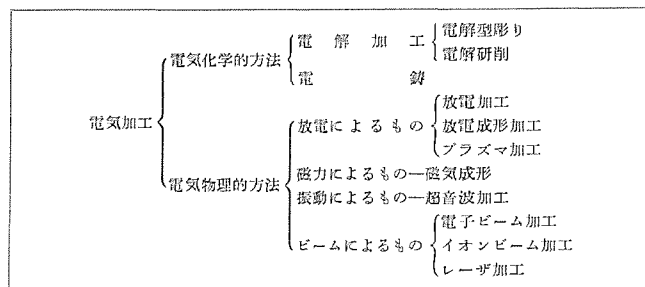
そして、その要求に対し、もっとも大きな可能性をもって答えるものは、電気加工であると言っても過言ではないと思われる。

改めて述べるまでもなく、典型的な総合技術である電気加工法が健全に発達し、正しく利用されるためには、いわゆる加工の専門家だけでなく、機械・電気・電子・物理・化学・や金など多くの分野の技術者の協力が是非とも必要である。多方面の技術者を擁していることでも、人後に落ちない三菱電機(株)が、わが国における電気加工分野における代表的メーカーの一つとして、海外からも注目されているのは、理由のないことではあるまい。

また、社団法人電気加工学会が昭和 42 年に設立されて以来、他の研究団体とともに、わが国電気加工技術界の「シンクタンク」としてその活躍が期待されているのも、このようなバックグラウンドによるものではなからうか。

(昭和 46-5-3)

表 1 代表的な電気加工法の例



- A : 機械加工法が適する分野
- B : 機械加工法でも可能であるが電気加工法のほうが有利である分野
- C : 電気加工法でなければ加工しえない分野

図 1 機械加工法と電気加工法との関係

電 気 加 工 の 現 状 と 将 来

斎 藤 長 男*

Present State and Future of Electrical Machining

Nagoya Works

Nagao SAITO

Electrical machining is a method having a characteristic of making the processed work conform to the actual object. When this point is taken into account its application is considered boundless. Problems encountered with the electrical machining in the past are almost settled. The processes have been developed to such an extent that it is hard to believe from a common sense of the technique in days bygone.

This article describes in reference to the electrical machining a new trend, a new technical concept, large sized machines, innovated electrodes, new design features, capability of meeting versatile operation, systematized work, wire cutting, discharge machining on variable pulse width currents, new types of machining and large sized electrochemical machining devices.

1. 電気加工機発展の背景

第二次大戦後に出現した新しい金属加工法の中で、電気加工ほど広く使われるようになったものはない。これは加工形状・材料の硬さに関係なく加工ができる電気加工本来の特質のほかに、作業合理化・省力化・人件費の高騰・熟練者不足などの対応策として、大企業・中小企業を問わず、広く深くその必要性が認識されるようになったからである。

また、電気加工の技術進歩は、おそらく機械工業の中では最も急速で、6～7年前の技術水準と今日のものとを比較すると、その工業的な価値は雲泥の相異があり、過去の電気加工の常識からは信じられないほどの驚異的な進展がなされている。

機械工業製品は90%以上が非切削加工で製作され、その生産性の向上は金型を母体とした加工法によるところが大きい。金型の生産力の増強は、電気加工機の増強以外にはないと言い切る人が多い。

わが国の電気加工機生産額は、昭和44年47億円、45年53億円と工作機械の2%にも達していない。設備台数もわが国6,000台、アメリカ19,000台で工作機械の一小部分にすぎない。

将来は工作機械分野の5～10%には電気加工が到達すると予測している人もある。金型加工以外の用途も今後は大きな分野となろう。

電気加工の加工特性は、本質的には電極と加工物との現物合わせを特長とするものであるから、これに基づいた用途を機械加工に当てはめてゆけば、工作機械の分野としても大きく成長するであろう。

2. 電気加工の本質的傾向

電気加工の現状と将来を述べる前に、本質的な傾向を明らかにしておく必要がある。

2.1 放電加工の本質的傾向

(1) 放電加工は電極と加工物を数十ミクロンの距離に対向させ、鉋油の中に浸漬して放電を発生させ加工をおこなう。加工された形状は、電極が消耗する場合も消耗しない場合も、電極形状と現物合わせされた関係にある。

(2) 現物合わせ精度は、0.01 mm程度が容易に得られる。

(3) 加工する相手金属がいかに固くとも、いかに複雑な形状であろうとも、電極さえ作ることができれば容易に加工できる。複雑

な形状もセグメントの組合わせ不要であり、直接加工により総合精度を高めることができる。

(4) 電極材料は、加工容易なグラファイト・銅・黄銅、または鋳鉄・銅などを電極として用いることができる。特に、グラファイト・銅は、電極消耗を無視できる程度の低消費条件下で加工することができる。(これ以外に銀なども低消費加工が可能)。

(5) 加工精度(仕上げ面あらさ・クリアランス)・加工速度・電極消耗の3要素について互いに相反する傾向をもち、このうちの二要素を選定すれば、他の一つは自から定まる。すなわち、加工精度と加工速度を高めれば、電極消耗を大きな値に許容せざるを得ず、電極消耗を小さくすれば、加工精度か加工速度のいずれかを犠牲にせざるを得なくなる。

(6) 加工された表面は、一度放電の熱によって溶融し急冷再凝固した状態で、加工物が鋼の場合は表層部(仕上げ面あらさの約2倍程度の厚み)が、焼入れ硬化された状態になっている。金型として用いた場合には、有利な場合も不利な場合もある。プラスチックモールド型などの場合はラッピングを必要とするため、表層部の硬化層除去の問題が起こるが、その他の金型は、耐摩耗性などがよくなり、一般的には有利である。

(7) 加工能率を向上するためには、放電と放電との間隔を短い時間幅にとることが必要である(Duty Factorを高くするという)。しかし極端に間隔を短くすると、放電は同じ個所に集中し、いわゆるアーークこん(痕)を生ずる。適当な間隔は時々刻々変化するので、その選定はある程度の経験が必要とする。時々刻々に変化する最適値を自動的に選定操作を行なうものが、適応制御である。

2.2 電解加工の本質的傾向

電気分解現象を利用して金属材料の加工をする方式であるが、つぎの特色をもつ。

(1) 電解加工は電極と加工物とを0.1 mm前後の極間距離に対向させ、大量の電解液を極間に強制的に流し、数十～百A/cm²程度の電流密度で通電加工をおこなう。加工された形状は電極形状に対し現物合わせされた関係にあるが、その加工精度は0.1 mm程度である。

(2) 電気分解によって可溶性反応物を作るような電解液と加工材質との組合わせであれば、金属の硬さに関係なく加工できる。

表 3.1 放電加工の改善
Improvement on discharge machining.

要 望	改 善 さ れ た 方 式
1. 深穴になり Duty Factor が大きい場合 a. アークオンが発生 b. へび状のカーボンの成長 →火災の原因(無人運転危険) c. 極間の放電状態などにより、パルス幅は適当に変えたほうが、アーク防止、電極消耗減少の効果がある	初期段階 a. アーク防止装置 欠点: 時間の経過とともにアークに取れん b. 異常加工検出装置 欠点: 安全なも経済性不十分 現段階 a, b 適応制御装置 長所: 高効率安全運転(無人運転可能) c. 放電1回ごとの放電開始時の絶縁破壊状態を検出し、パルスを制御
2. 1人の作業者が多くの E. D. M. を操作すると安全側をえらび能率が低下する	現段階 適応制御, N. C. + 適応制御 将来段階 群管理 + 適応制御
3. a. 加工条件の自動切換え b. 電極の自動交換	現段階 a. テープまたはカードに加工条件と工程をプログラム(N. C., E. D. M. の開発) b. プログラムドテープによる自動交換(N. C., E. D. M. の開発) 2電極交換まで可能 将来段階 a. 最短加工時間にプログラムしたテープの供給 b. 数十本の電極を選択使用し、フライス盤のマシニングセンタに相当する加工を行なう
4. 放電加工面には加工硬化層があり、プラスチックモールド型など「みがき」が困難	現段階 (1) E. D. M. により(低消費電) $5 \mu R_{max}$ 程度まで仕上がる (2) 焼鈍してからみがきかける (3) 化学反応で溶出させる (4) 機械的にハンドグラインダなどでみがく (5) 液体ホーニング
5. 金型の上型と下型とのパテングラインの合わせ方	現段階 F 回路利用による加工法の開発が完成
6. 仕上げ面あらさ、電極消耗を固定したまま加工速度を向上させたい	現段階 分割電源方式が有利 2分割~12分割など開発済み
7. 分割電源のサーボ系のパルスの改善	6分割でも90%以上に改善
8. 電極製作の改善 a. 抜き型用 b. 底付け型用 c. 微細加工用	現段階 a. (1) 切削と研削 (2) グラファイト電極によるダイ、パンチ加工法 b. (1) 切削と研削ならぬ加工 N. C. 加工による電極製作 (2) 爆圧成形、放電成形 N. C. 加工による電極製作 (3) 電 鋳 N. C. 加工による電極製作 (4) 溶 射 N. C. 加工による電極製作 c. (1) 組合せ二次電極 N. C. 加工による電極製作 (2) ワイヤカッティングによる電極部分加工 将来段階 (1) 高速電鋳

表 3.2 電解加工の改善
Improvement on electrochemical machining.

要 望	改 善 さ れ た 方 式
1. 加工精度の向上	初期段階 気体混入方式 現段階 酸素酸塩基加工液+気体混入方式
2. 加工液の温度変化・成分変化による比抵抗(ρ)の変化に対する保値と繰返し加工精度の向上	初期段階 電解液の冷却 現段階 極間電圧(E)、電解液比抵抗(ρ)の割算制御による極間距離(g)の一定化 $g = \frac{1}{J} \cdot \left(\frac{E}{\rho} \right); [E/\rho \text{ の一定値制御}]$
3. 電極製作の簡易化	初期段階 仮定にもとづく設計と実物のトライアル 現段階 a. 反転法 b. 溶射法

(3) 電極消耗は、理論上も実際上も生じない。

(4) 加工送り込み速度は毎分数ミリメートルが得られ、きわめて生産性が高い。

(5) 残留応力は零、返りを生じない加工が得られ、加工表面は母材の金属組織そのものが存在する。

(6) 加工精度(仕上げ面あらさ・クリアランス)は、加工速度が高いほど良好となる。この点放電加工の特性とは異なる。

(7) 電解液の流れに割れを生ずる場合や、極間にキャビテーションを生ずる場合など、短絡が発生するおそれがある。

(8) 電解液の温度・濃度の変化によってクリアランスが変動し、精度維持に工夫を要する。

(9) 電極製作は過去にくらべるとかなり容易にはなったが、加工液流通の穴やみぞの加工、形状の修正などややめんどろであり、一度製作した電極をくり返し使用するような反ぶく性の高い加工に応用するのが望ましい。

3. 電気加工機の改善の方向

電気加工機は進歩が早いと言われるが、それは2章に述べたように電気加工には本質的な長所と短所とが併存し、短所が認識され着々と改善されているからであると思う。短所のはっきりしないものは進歩も遅いと考えられる。また周辺技術としてエレクトロニクスおよび制御技術の進歩が著しいことも、電気加工の進歩を促進している大きな原因である。

電気加工に対する要望と改善された様子を表3.1(放電加工)、表3.2(電解加工)に示す。

4 電気加工の新しい傾向と新しい技術思想

表3.1, 3.2に示したものは、多くはこの特集号あるいはすでに^{(1),(2)}発行された文献に述べているが、それらとあまり重複しない範囲で、新しい傾向、新しい技術思想に関して述べる。

4.1 放電加工に関するもの

4.1.1 大型化と電極製作

自動車のプレス型の放電加工は、すでに国内においても実用的に試みられ成功をおさめている。また自動車業界から多くの超大形放電加工機の受注をいただいている。この場合に最大の問題は電極製作の迅速化にある。アメリカにおけるようにグラファイトで大型電極が容易に製作されれば問題はないが、材料の大きさ、切削加工を行なう工作機械、切削後の仕上げ加工の問題もあり、わが国およびヨーロッパでは銅電鋳による電極製作が中心となる。

電鋳の各部の厚みは、電極側から見て突出している部分ほど薄くなる傾向にあり、この部分にも放電加工の荒加工に十分えられる1mm程度の厚みをつけようとすると、複雑な形状の場合は3週間程度を要することになり(他の部分は5~6mmにも達し、薄い部分の数倍の厚みとなる)、迅速性に問題がある。短期間に済ませると薄い部分から破れるおそれがある。この場合、シアン化銅浴のように均一電着性のよいものであれば、むだな電着をしないので、比較的短期間に済むが、その毒性による公害との関連を生じやすい。その中間段階としてピロリン酸銅浴も用いられることがあるが、本質的にはシアン化銅浴が有利であり、この毒性を無害化することが進められている。当社ではオゾンにより、炭酸ガスと窒素ガスに分解し二次公害のない方式を開発し、各分野に使用されはじめています。シアン化銅浴による電鋳電極製作は、均一電着性の特色により、電極製作

の迅速化を実現しつつある。

電極製作の問題の解決によって電気加工の経済性が認識され、今後は型合わせ装置、大形型彫盤なども次第に電気加工機に置きかわっていくようになると思われる。

4. 1. 2 機械設計の新傾向

ひと昔前までは設計は設計者の頭で考えたものが多く、実用上の不便さが思わぬところに出てきたものである。最近、性能の向上はいうまでもないが、使いやすさ、保守のしやすさ、安全性、環境周辺に対する無影響、無公害まで配慮されるようになってきた。

使いやすさについていえば、操作順序に絵文字表示のボタンを並べ、またたとえ誤操作があっても誤動作しないようになっている。メータ類の観察は目の高さあるいは直上から観察でき、ハンドル、押しボタン類の操作は人が移動せずに操作でき、加工物を出し入れするとびらは、アルミ材で軽くするなど人間工学的にも配慮を加えられている。保守のしやすさについていえば、フィルタは日本式のけいそう土の使用も、外国式の紙フィルタの使用も可能としている。使用済みの加工液中の沈殿で除去できるものは、チリ取りに沈殿させて棄却を容易にし、あわせてポンプ、フィルタの寿命を延長するなどである。また万が一の火災発生に対する安全装置を完備し、ポンプの騒音をなくするなどの配慮も払われている。

4. 1. 3 多能化とシステム化

放電加工機は加工状態の最適化制御として、適応制御が行なわれている。その基礎に立って、最終的に目標とする加工結果を得るための、最も経済的な加工条件選定の工程管理のプログラムを、テーブルコントロールすることは、放電加工の効用を高めるうえからもきわめて有効である。当社が開発したDM-500-EC放電加工機は、この機能のほかに、電極の自動交換、テーブルの自動位置ぎめを可能とする。近い将来は、工作機械のマシンングセンタの機能も加え、切削加工による基準面の設定にはじまり、放電加工・電解加工などによる金型製作工程と、電極の自動製作、金型のみがき仕上げまでが、一元的に自動化されるようになってくると考えられる。

4. 1. 4 ワイヤカッティング放電加工

放電加工は電極を必要するのが一つの欠点とも考えられる。したがって、ワイヤ電極によりプロフィールを加工するこの方式は、放電加工の欠点を改善するかに見えるが、加工速度の根本となる電流をわずかしき流せぬため（溶断）加工速度が極度に遅くなり、用途は特殊加工、特に電極製作などに限定されるように思われ、放電加工とは競合しないようである。

4. 1. 5 変動パルス幅電流による放電加工

従来は、同一パルス幅電流による放電加工が、均一な大きさの放電こんを得られるので、加工面がそろい（面がよくることではない）また、電極消耗の点で有利であるといわれてきた。しかし実際にはパルス幅同一でも放電と放電との間の休止時間割合が長い時など、電極消耗が大きくなることや、極間を通る加工液の流速が大き

い場合には電極消耗が大きくなるものであり、また休止時間の割合が小さすぎるときはアークこんを生ずる例が多い。すなわち極間の放電状態により、パルス幅は適当に変えたほうが、アークこん防止、電極消耗を減少する効果のあることがわかった。この理由は、放電によって生ずる極間の金属拡散およびイオン濃度、ならびに加工液分解により生成する炭素質などの濃度の影響によるものと考えられる。当社においては、放電1回ごとの放電開始時の絶縁破壊状態を検出し、パルスを制御している。絶縁破壊が行なわれやすいときはパルス幅を短く、行なわれにくいときはパルス幅を長くとする。そのためパルス幅は常に変動しているが、良い結果が得られている。

4. 1. 6 加工技術の新しい方式

プラスチックモールド型・鍛造型・ダイカスト型などのように底付けの金型は、上型と下型とから成り立っている。金型として使用するには上下の金型が形状的（深さ・位置）に合っている必要がある。当社では、グラファイト・銅などで成形製品と同一形状物を製作し、電極の片面で加工後、電極面を加工面に導電性接着剤などで接着し、これを電極側の極性に切り変えて、相手方となる他方の型を加工し、上下金型が完全に合うまで加工をすることにより、理想的な金型を作る方式を確立した。

なおこのほかに、グラファイト電極によりダイ、ストップ、パンチ加工用電極を一挙に加工し、パンチも放電加工で加工する方式が工業的に成功している。また、ダイセッタにパンチとダイをとりつけたまま抜型加工を行なう方法がわが国で普及しつつある。

4. 2 電解加工に関するもの

電解加工機の精度が向上してきたため、ガラス金型などは、電解加工を行なったまま使用できるようになったが、電解加工の欠点は高電流密度（例、 $30\text{ A/cm}^2 \sim 50\text{ A/cm}^2$ ）を必要とするため、多少大きめの型（例、 $30\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ で $27,000\text{ A} \sim 45,000\text{ A}$ ）の加工では、 $30,000\text{ A}$ 以上を必要とし、 $50,000\text{ A}$ の電源も必要とする状況となっている。今後は大型化にいかに対処するかが重要な課題となってくる。またバリ取りなどに対する応用は今後急速に発展しよう。

5. む す び

電気加工の現在の問題点とその改善されている現状、ならびに近い将来の予想について述べた。電気加工の現物合わせ特性に着目すれば、広大な用途を見つけることができると考えられる。電気加工は、大形化・精密化・直接化・省力化の方向に着々と進みつつある。

（昭和46-8-9受付）

参 考 文 献

- (1) 斎藤、小林：電気加工学会誌 3, No.6 など他20編
- (2) 加藤、片寄：三菱電機技報 43, No. 12
- (3) 斎藤、小林：三菱電機技報 41, No. 10

欧米における電気加工

久慈 陽一*・古池 一成*・葉石雄一郎*

EDM and ECM in Europe and America

Nagoya Works Yoichi KUJI・Kazushige KOIKE・Yuichiro HAISHI

General review is made in this article on the technique of electric discharge machining and electrochemical machining in Europe and America, where, it is not exaggeration to say, the rate of the growth is on the rapid increase with the apparatus in question. Mitsubishi sent an engineer to the United States recently to take care of Diach discharge machining apparatus exhibited in SME show held in 1971. A report is made herein on the information obtained in regard to the present state of the electric machining in that country. He also made a visit to East Europe to find how Mitsubishi Diasinker electrochemical machining devices exported there were operating. Description is also made on his observation of the subject.

1. ま え が き

欧米においても放電加工機・電解加工機は、金属加工の分野で最も高い成長率を示しているといっても過言ではない。

ヨーロッパにおいては切削機械の成長率は年1%以下であるが、放電加工機・電解加工機は合わせて年約10%の割合で増加しているといわれる⁽¹⁾。金型加工(鍛造型・プレス型など)への放電加工機の浸透はヨーロッパにおいて特に著しく、また、電解加工は自動車工業に導入されつつあり、電解バリ取りの進出が目立つと報じられている⁽¹⁾。

一方アメリカにおいても、放電加工・電解加工は最も成長率の高い金属加工機である。アメリカは航空宇宙産業の発展により、Space-age metal と呼ばれる一連の難切削材料が広く工業界に使われるようになり、これらを加工する武器として、放電加工・電解加工に代表される non-traditional machining processes が台頭してきている⁽²⁾⁽³⁾。

放電加工はアメリカにおいても金型加工に広く使われており、ならいフライスにとって代わって発展しつつある。「今後、6年以内に鍛造型の70%が放電加工によって加工されるようになる」と Jay Tool & Die Co. の社長 Jim Compton は語っている⁽⁴⁾。

しかしながら、特に最近の用途の拡大は部品加工の分野にあるようである。これに伴い放電加工のパルス供給方式として、マルチリード方式が普及しており50分割の加工も行なわれている⁽⁵⁾。

アメリカには放電加工機の MIL SPEC⁽⁶⁾があり、軍関係の部品の加工を行なう場合には、この規格に準拠した放電加工機を使うように指示している。MIL SPEC では、電源の出力としては 20 A・30 A・40 A・60 A・80 A・100 A・150 A・200 A・300 A・400 A・500 A が標準として指定されており、1台の電源で出力の50%ずつを2台の機械へ供給でき、100%出力を1台の機械へ供給できるデュアル構成が望ましいとされている。このように放電加工機が MIL SPEC に標準化されているのを見ると、アメリカの工業力の底力といったものを感じさせる。

アメリカの放電加工機では、600 A 以上の大出力の電源も使われており、1,600 A、100 in³ per hour (約 215 g/min) の大出力でダイキャスト形の加工を行なっていることが報じられている⁽⁵⁾。

また、ある自動車関係の会社では、200 A ずつの8分割加工およ

び400 A ずつの4分割加工を試みている。電源構成として400 A のセットが100 A ごとに分割できるようになっており、この400 A セットを4台で16分割加工ができるようなものを製作している電源のメーカーもある。このように電流容量が大きく、分割できる構成をとっているのが最近のアメリカの放電加工電源の傾向といえる。

生産ラインへ放電加工が浸透しつつあるが、放電加工機としての完成したセットを使うことなく、放電加工ヘッドを既存のミーリングマシンに取り付け加工をテーブルの上ののせ、加工液系統を付加し、電源を単独に購入して、種々の部品加工に放電加工を適用する傾向が見られる⁽⁷⁾。

各種金属の組合わせによる放電加工特性、すなわち、オーバーカット・パルスエネルギー・仕上げ面あらさ・加工速度といったデータをコンピュータのメモリーにファイルし、種々の応用に適用しやすい形で整理し、より有効にデータを活用する試みがなされている⁽⁷⁾。

電解型ほり機に関しては操作を容易にし能率を上げるために自動化が試みられており、加工深さ設定にデジタルリードアウトを適用したもの、位置決め・割り出しに数値制御を導入したものなどが開発されている⁽¹⁾。

1970年4月にデトロイトで行なわれた SME ショー の際のコンファレンスには、放電加工よりも電解加工に関する報告が多く、欧米における電解加工の発展性、技術の若さを感じさせた⁽⁸⁾。

国際的な学会活動も活発に行なわれており、1970年10月にウィーンで ISEM (International Symposium for Electromachining) が開催され、世界各国から論文が発表された。論文数は約50編で、Adaptive Control EDM, Wire Cutting EDM に関するものが注目を引いた。当社からも A Method for Adaptive Control in EDM Process⁽⁹⁾と題する論文を発表し、多大な関心を集めた。

以下、筆者の一人がそれぞれアメリカ・東欧に出張して見聞した実状を紹介する。

2. ア メ リ カ

アメリカでは航空機産業および宇宙産業が発達しており、被削性の悪い耐熱合金を加工することが多く、EDM(放電加工機)および ECM(電解加工機)がかなり広く利用されている。もちろん EDM・ECM ほど多くはないが、EDG(放電研削)・ECP(電解研削)・電解バリ取りなども、それぞれその特質をうまく生かしてかなり活用

されている。その一例としてアメリカの最大航空機会社の一つである、United Aircraft Corp. の Pratt & Whitney Aircraft Division では、EDM 98 台、ECM 106 台と日本では想像もつかないほど膨大な数の電気加工機を利用していることを考えると、彼らがいかに電気加工機をうまく使いこなしているかがうかがえる。

2.1 EDM の適用分野

現在アメリカでの EDM 生産台数は年間 800~1,500 台 (2.08~3.90 Million \$) といわれ、また現在アメリカで実動している EDM の台数は約 15,000 台といわれている。

表 2.1 はこれらの EDM がどの分野で多く用いられているかを示すもので、これによると 10 年前にはほとんど金型製作に用いられていたものが、今日では部品加工がその適用分野の主要部分を占めるようになってきている。これは金型製作分野における EDM の使用台数が減少したことを意味するのではなく、部品加工分野における使用台数が急激に上昇してきたことを意味するものである。日本ではまだ EDM のほとんどが金型製作分野に限られており、ちょうど 10 年前のアメリカの状態によく似ている。今後日本においても EDM の特質を再発見し、部品加工分野に多くの EDM が使用されるようになるであろう。

2.2 オプティマイザ

このように多くの EDM が 1 か所に集中され、しかも部品加工用として同じ条件で同じ形状の加工をくり返すという使い方が多くなると、できるだけ自動化された EDM が強く要望されるようになってくる。1971 年 4 月に Philadelphia で開かれた SME 主催の International Conference & Exposition にアダプティブコントロール装置を取りつけた DM 250 N+90 TF+OP 3 形 EDM を出品したところ、非常に好評を博した。これもオプティマイザという自動化および無人化装置が、このようなアメリカ市場のニーズに一致したためであろう。EDM も今後ますますこの自動化傾向が強くなり、プログラムコントロール装置、アダプティブコントロール装置、数値制御による自動位置決め装置、自動電極交換装置、コンピュータを用いた群管理などが広く用いられるようになるものと予想される。

2.3 ヤードポンド法

アメリカではいまだにヤードポンド法が広く採用されている。学校などでメートル法を教えたりして、メートル法に切りかえようとの努力は見られるが、実際に切りかえられるのは 10 年後になるであろうといわれている。したがって現状では機械に取りつけるゲージ類はすべてヤードポンド法を採用しないと、使用しきわめて不便をきたすであろう。このような一般的なディメンジョンばかりでなく、EDM に関する独特な表現も日本とアメリカでは大きく違っている。

表 2.2 は EDM の性能を現わす代表的なものの表現方法が、日本とアメリカでどのように異なっているかを示したものである。これによると加工速度を現わすのに日本では 1 分間当たりの加工された重量 (g) を用いるのに対して、アメリカでは 1 時間当たりの加工された容積 (in³) を用いている。またアメリカでは電極材質としてほとんど (80 % 以上) グラファイトが用いられているため、電極消耗比についても日本のように重量比で示すことができず、(グラファイトは加工液にひたると、加工液を吸着して重量が増えてしまう)、寸法比および体積比で示している。寸法比については測定する場所によって大きく異なるため、図 2.2 に示すように完全消耗比 (End wear)・側面消耗比 (Side wear)・角部消耗比 (Corner wear) とそれぞれの消耗比を分けて示している⁽²⁾。

表 2.1 EDM の応用分野
Application of EDM.

1960 年	
金 型 製 作	80 %
自 動 車 産 業	15 %
部 品 加 工	5 %
1970 年	
部 品 加 工	60 %
金 型 製 作	35 %
自 動 車 産 業	5 %



図 2.1 SME ショー (1971 年) に出品したダイアックス放電加工機
DIAX EDM at SME show, 1971.

表 2.2 EDM に関するディメンジョン
Dimensions used at EDM.

	日 本	ア メ リ カ
面 粗 度	μR_{max}	RMS
加 工 速 度	g/min	in ³ /h
電 極 消 耗 比	重 量 比	寸 法 比 完 全 消 耗 比 側 面 消 耗 比 角 部 消 耗 比 体 積 比
ク リ ア ラ ンス	mm	inch

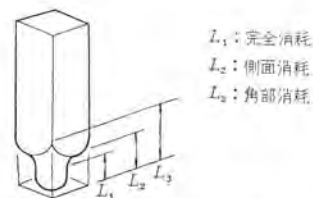


図 2.2 電極消耗の種類
Types of electrode wear.

さらに、この電極消耗比の算出方法にも大きな違いがあり、日本では電極消耗量 (重量) を被加工物の加工量 (重量) で割ってパーセントで示すのに対し、アメリカでは被加工物の加工量 (寸法または容積) を電極消耗量 (寸法または容積) で割った値で示している。

このように基本的な特性の表示方法およびディメンジョンが国によって異なることは、今後、国際的な交流が深まるにつれて非常に大きな支障となってくるであろう。1 日も早くこれらが統一されんことを強く望むところである。

3. 東ヨーロッパにおける三菱電解加工機

東ヨーロッパへの当社放電電解加工機の輸出は、1966 年春の東独ライプツィヒでの工作機械国際見本市に MC-20 V 形電解加工機を出品して以来、着実にその地盤を築きつつある現状である。ことに電解加



図 3.1 電解加工した クランクシャフト 鍛造型 (ブルトーザ 用)
Crank shaft forging die with ECM.

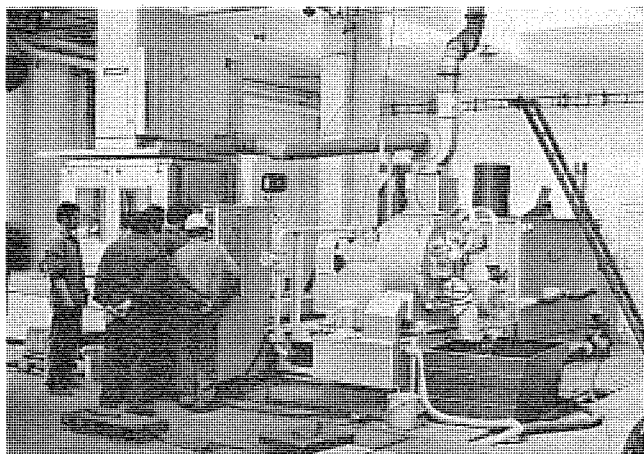


図 3.2 チェコスロバキア クラドノ 製鋼所へ納入した MC-100 VB 形
(10,000 A) 電解加工機
Electrochemical machining device MC-100 VB (10,000 A)
exported to Czechoslovakia.

工機においては前記 ライプチ 見本市において全出品目の中的最優秀と認められる 10 点の一つに選ばれて栄誉ある Gold Medal を受賞し、その後 チェコスロバキア に輸出された MC-20 VB, MC-100 VB 形電解加工機はいずれも当社におけるそれぞれの Type の 1 号機であるにもかかわらず非常に好評裡のうちに現在順調に実動しており、東ヨーロッパにおける三菱電解加工機の評判を非常に高いものとしている。

ここではチェコの 2 工場における実動状況とその評価について簡単に報告する。

3.1 Tona n. p. Pečky

Praha より東約 100 km ほどの Pečky という町にある従業員数約 1,000 名の比較的小じんまりした規模の工具専門メーカーで、モンキーレンチ、スパナ、ペンチなどの生産を行なっている。ここに MC-20 VB 形電解加工機が納入されたのは 1967 年で、納入して約 3 年半を経過したが、現在は非常に順調に上記工具の鍛造型にフル実動している。

ここを電解加工機の見学を目的として訪問する技術者は年間 100 名を越えると言われており、まさに三菱電解加工機の東欧におけるショールーム的な役割を演じており、東欧圏からの電解加工機の引合いの出発点はすべてここに帰するといっても過言ではない。

1970 年の夏に筆者が訪問したときもペンチの鍛造型を約 15 分のサイクルで次々と生産していたが、数百種に及ぶ電極が工具だに整然と整理されており、その使用状況には目を見はらせるものがあった。スパナやペンチの鍛造型に関しては従来のフライス加工に依存していた場合と比べて、3～5 倍の生産能率の向上を得られたとのことで、今後これらの生産を中心に部品加工、タービンブレード加工の分野にも進出したい希望をもっており、現在 2 台めの電解加工機の導入

を計画中である。

Praha にある Motorlet という航空機エンジン工場で英国の Bermax 社製電解加工機を持っており、これを使ってどうしてもうまく加工のできなかったタービンブレードが、上記 Tona の当社電解加工機で実験したところ非常に良好な加工結果を得られたそうで、このことからチェコのブレードメーカーのほとんどがこの結果を非常に重要視し、当社電解加工機の導入を検討しはじめている。

3.2 SONP Kladno

Praha の北西約 25 km の所にあるチェコ最大の製鉄メーカーで、従業員数約 20,000 名、操業以来 100 年をこえる伝統のある工場で、戦前は鉄道用レールを日本に輸出していた。この鍛造工場に当社の MC-100 VB 形電解加工機の 1 号機が 1970 年に納入された。使用目的は図 3.1 に示すようなクランクシャフト鍛造型（ブルトーザ用）を中心とした金型加工で、約 2 か月にわたる現地据付けおよび技術指導の後、このクランクシャフト鍛造型に関しては電解加工だけで十分に ± 0.15 mm の要求精度を満足させて加工できることを確認した。

電解加工導入前はこの金型はならいフライスとグラインダ仕上げによる手作業で製作されていたが、1 型あたり仕上げ時間も含めるとほぼ 250 時間を要していたものであり、電解加工機により実に従来の 1/10 以下の製作時間に短縮され、大きな利益を得ることができるようになった。据付け終了後の MC-100 VB 形電解加工機を図 3.2 に示すが、本機は新しく開発された NC 深さ位置決め装置などを内蔵した最新鋭機であり、今後順調な実動状況にはいれば Tona の MC-20 VB 以上に東欧圏需要家の大きな注目の的となろう。

東欧諸国における工場間の技術交流は、日本では考えられないほどよく浸透しており、これらの工場で高い評価を与えられるとそれが東欧諸国全体の評価とも言えるくらいであり、これらが大きな礎石となって、電解加工機の日本とソ連に次ぐ第 3 の市場として今後の発展が期待できる。

参 考 文 献

- (1) IRON AGE METALWORKING INTERNATIONAL, DEC 1970
- (2) Non-traditional machining processes, published by ASTM (1967)
- (3) Producibility/machinability of space-age and conventional materials, published by ASTM (1968)
- (4) Material Engineering, Dec., 1970, page 15
- (5) Advance in electrical discharge machining, machinery and production engineering, 18, Feb., 1970, p. 242
- (6) MIL-E-80023 B, 22 September, 1970
- (7) Putting EDM into balance, American Machinist, Feb. 8, 1971, p. 47
- (8) SME TECHNICAL PAPER, MR 70-193, 194, 197, 205, 207, 220, 248
- (9) N. Saito and K. Kobayashi: A Method for Adaptive Control in EDM Process, ISEM, PART 1, A 4.6

超大形放電加工機の実用結果

神山 欣也*・吉本 修*

Results of Applying Giant EDM to Die Making

Mitsubishi Motor Vehicle Co. Kinya KAMIYAMA・Osamu YOSHIMOTO

In the Nagoya factory of the Mitsubishi Motor Vehicle Co., EDM have been put in use for reducing the man-days of finishing the surface configuration of the press die, curtailing lead time and improving the quality. During one year after introducing the apparatus, fifty dies have been machined by this process with success in accomplishing the above objective. The EDM may be said full scale labor saving machining to replace the die spotting press. Though the apparatus have still a few weak points regarding the mechanical system, they are nearing the completion. On the other hand, further development is required for equalizing the copper plated shell thickness and reducing the making time of electrode because the discharge machining is suitable for working on complicated shapes and sharp edges.

1. ま え が き

プレス金型製作に、放電加工を適用し、プレス金型表面形状仕上げ工数低減と、リードタイムの短縮を計るため、1967年ころより三菱電機と協力し、プレス金型に適用した場合の仕上がり状況・電極製作技術・コスト計算等を行ない、1970年大形放電加工機を導入し実施に踏み切った。

昭和45年4月より1年間に約50型に、EDMを適用し、上記目的を達成すべく機械および電極製作の完成をはかろうとしている。

最近の労働事情はきびしく、高卒訓練生にしても、従来のように4～5年かかって技術をマスターさせるのではなく、基礎的技術と簡単なボタン操作により、複雑な形状仕上げを行なえるようにする必要がある。また金型製作に占める機械工数と仕上げ工数の比率を、現状の50:50より70:30程度にし、人的ファクタをなくしていく必要がある。

三菱電機製超大形放電加工機は、上記理由よりダイスポッティングプレスに代わる本格的省力化をねらった機械と言えるもので、完成の時点には、型製作技術上不可欠な機械になると判断される。本文では、過去1年間のEDM機使用実績および今後の課題等を述べ、プレス金型へのEDM機の適用完成をはかることを目的としたい。

2. プレス金型の特質

自動車用板金部品製作技術については、種々資料が出版されており、本文で述べるまでもないが、自工にて標準化されていることを記載し、参考としたい。

2.1 プレス金型の種類

1部品(ドアアウトパネル・クォータパネル・フェンダパネル)を製作するのに、型は最低3～4種類必要である。たとえばドアアウトパネルであれば、ドー型・トリム型・第1フォーム型・第2フォーム型が必要であり、複雑な部品となれば、6～8型必要となるものもある。代表的な型のスケッチを図2.1～図2.3に示す。

放電加工面は、手仕上げを必要とする部分に適用すれば、効果があることより、基本形状(パンチ・プランク、下型)に適用するのが1ステップであるが、上型についても板厚を考慮すれば、十分適用可能となる。

2.2 表面粗度

各型各部位ごとに表面粗度を定め、型製作を行なっている。トライを実施してグレードアップを必要とする場合は、プレス製品のでき具合により判断して実施する。

表2.1に示すように表面粗度は、EDM加工能力範囲にあるが、

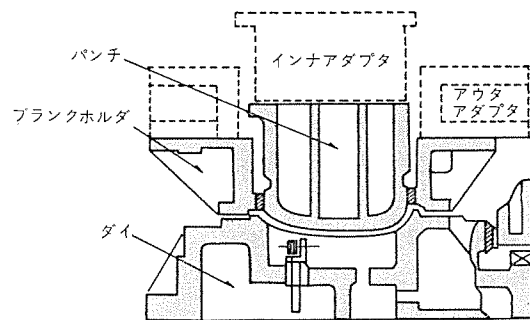


図 2.1 ドー型
Drawing die.

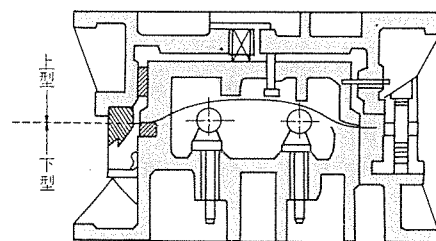


図 2.2 トリム型
Trimming die.

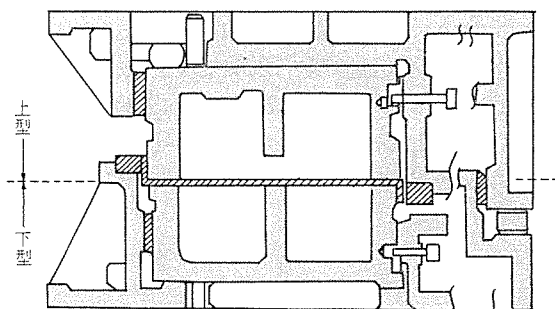


図 2.3 フォーム型
Forming die.

表 2.1 表面粗度仕上げ標準
Standard of surface roughness.

	上 型	下 型	パ ッ ト
ド ロ ー 型	パンチ 1.5~3 S ブラント 1.5~3 S	ダ イ 3~5 S	—
カ ッ ト 型	一 般 5~10 S 刃 部 1.5~3 S	一 般 5~10 S 刃 部 1.5~3 S	5~10 S
フ ォ ー ム 型	一 般 5~10 S 曲 部 1.5~3 S	一 般 5~10 S 刃 部 1.5~3 S	5~10 S

表 2.2 仕上げ作業比率 (1)
Comparison of working time (1).

	型彫後の ツールマーク 取り	モデル合せ 共合せ作業	みがき作業	組付け調整
仕上げ作業 (%)	10	30	30	30
省力化の 方向づけ	EDM	EDM 10% ダイスゴット 20%	EDM 15% 自動みがき 15%	ハンドワーク 25% 省力化 5%

表 2.3 EDM 完成時の機械仕上げ作業比率 (2)
Comparison of working time (2).

	機 械 作 業	仕 上 げ 作 業
金 型 製 作	50 50%×0.1 5 50%×0.1 5 50%×0.15 7.5 50%×0.05 2.5	50 —20
合 計	70	30

加工能率が悪くなるので 5~10 S に加工し、あと表面粗度をアッパする必要がある場合には、手仕上げを追加すれば十分である。要は、プレス金型への放電加工の適用箇所は、ハンドワーク仕上げを行なっている非定型な曲面形状部、すなわち複雑形状部、およびトリム、フォーム部であり、この部分の加工を機械化 (省力化) する価値がある。

2.3 型製作作業内容

型製作作業内容を機械加工と仕上げ加工に区分すると、作業比率は約 50 : 50 である。

仕上げ作業内容は、表 2.2 に示すように、型彫後のツールマーク取り作業、モデル合わせ・共合わせ作業、みがき作業、組立調整作業に区分され、作業比率は概略 10 : 30 : 30 : 30 となる。

放電加工適用作業は、仕上げ作業中、型彫後のツールマーク取り作業・モデル合わせ・共合わせ作業・みがき作業であり、おのおのの作業中、10%・20%・15% EDM 方式に切替えた場合の機械加工 : 仕上げ加工比率は、表 2.3 に示すように約 70 : 30 となり、プレス金型作業の機械化が大幅にはかれることになる。

3. 電極製作技術

3.1 電極材料

電極材料は、従来 4-6 黄銅・銅・グラファイト・Ag-W・Cu-W 等が用いられていたが、低消耗電源の開発に伴い、銅 (電気銅) およびグラファイトに焦点が絞られてきた。

使用サイドよりの電極材料の具備すべき条件は、下記項目となる。

- (1) 放電加工の特性
 - (a) 安定性
 - (b) 電極消耗比
 - (c) 加工速度

表 3.1 銅およびグラファイトの比較
Characteristics of copper and graphite.

	放電加工における 特 性	材 質	機械加工 性 質	ひずみ	コ ス ト
銅	良	電 銅 電 気 銅	あまりない	薄板でひずみ発生	500 千円/100dm ² 1,830 千円/100dm ²
グラファイト	休止時間を長くし なければならぬので、 加工時間が 2~3 倍長くなる	密度 1.6~1.8 例 HK-12 東海電極 HED-11.13 日立化成 EDA-103 東洋カーボン	良ただし欠損あり	薄板でもひずみ小	1,300 千円/100dm ²

表 3.2 電極製作コスト比較
Comparison of electrode manufacturing costs.

方 法	価 格 材 料 費 (千円/100 dm ²)	加工費 (バックアップ) (千円/100 dm ²)	合計金額 (千円)	価 比
電 鋳 法	250	250	500	1
機 械 加 工	※ 1,080	750	1,830	4
グラファイト	※ 800	500	1,300	3

※ 平面形状 100 dm² 厚み 200 mm とした

(d) 仕上げ面あらさ

(2) 電極製作上の特性

(a) 価格と入手性

(b) 機械的強度

(c) 被加工性・成形性

(d) 大きさの制限

特に放電安定性は、放電加工時間およびできばえに影響し、価格は金型製作コストに関係するので、大きな Factor である。

表 3.1 に電極材料として用いられる銅、およびグラファイトの比較を示す。

3.2 電極製作

電極材料は、現在銅およびグラファイトに焦点を絞っているが、コストの点より銅を用いている。銅も切削により電極を製作する方法があるが、放電安定性は変わらないとの判定より、銅電鋳法を用いている。電鋳法は、複雑な形状の細部にわたり精密な型を作れるとともに、経済的にも有利であり、製作コストを減ずることができるが、銅ブロックよりの製作に比べて、機械的に放電安定性がやや劣る。

銅・銅電鋳・グラファイト電極製作コスト比較を表 3.2 に示す。

型製作の場合、2 章で述べたとおり プレス加工方向が同一であれば、製品形状は各型とも同一であり、1 個の電極を 2~3 型に用いて、はじめてコストが Pay できると判断される。

4. 銅電鋳製作要領および考え方

放電加工を始めるにあたり、銅電鋳製作標準を作成し、製作を進めてきた。代表的な銅電鋳電極を図 4.1 に示す。

4.1 銅電鋳製作要領

銅電鋳製作要領を表 4.1 に、銅電鋳加工例を表 4.2 に示す。

4.2 銅電鋳用モデル製作要領

銅電鋳用モデル製作要領を表 4.3 に示す。

4.3 銅電鋳バックアップ要領

銅電鋳バックアップ要領を表 4.4 に示す。

5. 放電加工結果

昭和 45 年 4 月、本加工機を導入して約 1 年間を経過し、その間

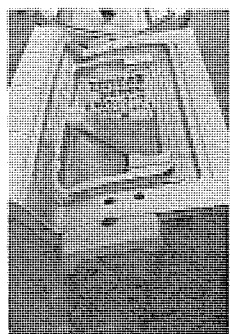


図 4.1 代表的な銅電鍍電極
Typical copper plating electrode.

表 4.1 銅電鍍製作要領
Copper plating process.

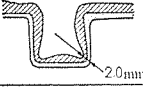
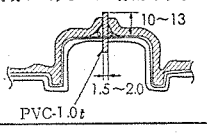
項 目	要 領	備 考
1 表面形状	1) 支給銅電鍍モデル(ED/Mと略称)に対して0.05~0.1までのクリアランス 2) 形状に対して大きなうねり、おうとつなぎこと 3) 端部、分割部ひずみなきこと	ED/M Materials = Resin or Plaster
2 表面粗度	1) 5~10μHmax 2) ケガキ線(約0.2mm幅)が鮮明に写し出されること	
3 銅電鍍厚み (除バックアップ側花)	1) 厚み 平均厚み3.0~6.0mm 最低厚み2.0mm 	
4 表面硬度	銅ストライクで得られる状態	
5 銅電鍍バックアップ部 表面粗度	バックアップおよびリード線取付けのため製品形状側ほどなめらかでなくてよい	
6 分割 	等分に2あるいは4分割とする  PVC-1.0t	分割板固定に 接着材を用い ないこと
7 はく離作業	1) Resin対Resin程度ではなく離可能なこと 2) 複雑形状部Si Wax→ビニールペイント→銀鍍処理 一般形状部 ビニールペイント→銀鍍処理	引張り深さ = 3kg/cm ²

表 4.2 銅電鍍加工例
Data of copper plating.

銅電鍍加工例

1. 脱脂・洗浄・センシタイジング

1) 脱 脂 中性洗剤 (ライオン等)

2) タンニン酸処理 0.5%溶液に常温 5~10分浸漬

3) センシタイジング SnCl_2 : 10 g/l, HCl : 40 cc/l (常温 5分浸漬)

2. 銀鍍処理

銀 液……A 液		還元液……B 液	
AgNO_3	72 g	グリオキザール	100 cc
NH_4OH	62 cc	トリメチルアミン	25 cc
H_2O	4 l	水	4 l

3. 銅ストライクメッキ

浴 組 成	$\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	100 g/l
	H_2SO_4	10 cc/l
液 温	常 温	20~25°C
か く は ん	な し	
電 流 密 度	0.5 A/dm ²	
メッキ時間	約 2.0 H	

4. 電 鍍

浴 組 成	$\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	225 g/l
	H_2SO_4	60 g/l
	UBAC	10 g/l

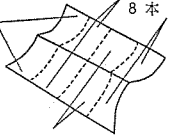
電 流 密 度	3~4 A/dm ²	
液 温	常 温	20~25°C
か く は ん	エアかくはん	

に約50型のプレス金型およびFRP用型にEDMを適用した。初期の時点では、電極を2,4分割にしても、分割効率はアップしなかったが、途中加工テストを三菱電機と協同で行なった。その結果、

表 4.3 銅電鍍モデル製作要領
Modelling process for copper plate.

項 目	作 業 要 領	備 考
1 表面精度	銅電鍍はほぼED/Mとおりでできるの でうねりのなきこと	
2 表面粗度	表面粗度3~5S程度	と石#120 #220 ペーパー#120 #220
3 表面状態	表面に気ほう(フロホール)があると 離型困難となるので穴埋めを要す	
4 ベースホール	ベースホール穴明後、30φ部分は、 腐食されぬようビニールコートする こと	硫酸銅溶液で 腐食される こと
5 ホルダ処理	耐酸処理をほどこすこと	
6 セット部分の処理	セット部分は硫酸銅を吸収するので ビニールコートすること	セット部分崩壊 防止
7 アール部分	アール部分は0°をできる限りさける こと 	正規アールより 1~1.5°小さく すること
8 ホルダ寸法	ワーク寸法より小さいほうが電鍍性 はよい。 銅電鍍必要部より30~50mmモデルを 大きく製作する	銅電鍍端部 ひずみ発生 の おそれあり 電線取付け のため

表 4.4 銅電鍍バックアップ要領
Back up method for copper plate.

項 目	作 業 要 領	備 考
1 ガイド	ED/Mにベースホールピンをそ うしあらかじめ用意したブ ッシュを入れ位置を写し取る	30φベース ホールピン
2 底面決定方法	ワーク寸法およびスライドスト ロックより底面寸法を決める	
3 構 造	従来あるスポッティングモデル 製作方法に準ずる ガラスクロス層 6~7層 ただしケロシンおよび噴出・吸引 用ビニールパイプ穴をあけるこ と	ガラスクロス SW-553 レシンハニカム
4 基 準	X-Y方向 ベースホール Z方向 基準線	
5 電線の取付け	放電電流値は最大50 ampである 使用電流値は20~30 ampである 	
6 分割壁除去	銅電鍍が分割の場合、バックアッ プ完了後「エンピ」を除去する	
7 表面あらさ	ED/Mで凹、銅電鍍凸となるので除去	
8 保 証	スポッティングモデルに準ずる	

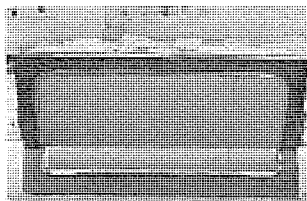


図 5.1 銅電鍍電極

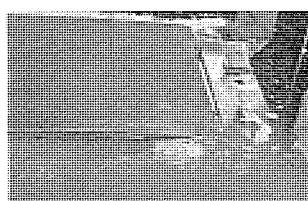


図 5.2 放電加工中のワーク
Copper plating electrode. Work piece on discharge machining.

表 5.1 放電加工条件および加工結果 (1)
Machining condition and result (1).

項目	内 容	比較		計 画		実 施	
		加工条件	加工時間	タ ッ プ	加工時間	タ ッ プ	
型 材 質	FC-30						
電極材質	銅電鍍						
加工液条件	噴出 100×150ピッチ						
電極個数	1						
適用型数	2						
表面積	1,440×770 mm (110 dm ²)						
切削代	0.8~1.5 mm						
		荒 加 工	75	5-10	170	3-10	
		中 加 工	10	3-10	10	3-10	
		仕上げ加工	5	2- 8	5	2- 8	
		合 計	90 h		185 h		

表 5.3 放電加工条件および加工結果 (3)
Machining condition and result (3).

項目	内 容	比較		計 画		実 施	
		加工条件	加工時間	タ ッ プ	加工時間	タ ッ プ	
型 材 質	FC 30						
電極材質	銅電鍍						
加工液条件	噴 出						
電極個数	1						
適用型数	2						
表面積	2,000×1,650 mm (240 dm ²)						
切削代	0.5~0.8 mm						
		荒 加 工	130	6-12- 9	100	6-12- 9	
		中 加 工	10	4-10-10	10.5	4-10-10	
		仕上げ加工	10	2- 7- 7	10	2-10-10	
		合 計	150 h		120.5 h		

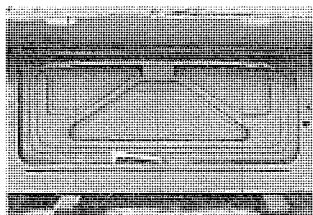


図 5.4 銅電鍍電極
(ドローダイと共用)
Copper plating electrode.

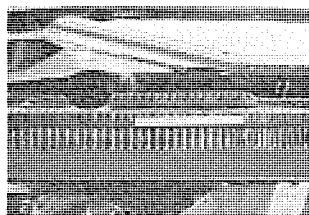
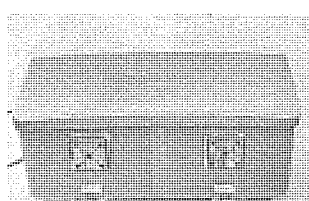
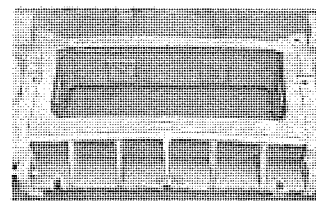


図 5.5 型彫完了ワーク
Work piece before EDM used.



(a)



(b)

図 5.3 EDM 完了金型 Die and punch produced by EDM.

表 5.2 放電加工条件および加工結果 (2)
Machining condition and result (2).

項目	内 容	比較		計 画		実 施	
		加工条件	加工時間	タ ッ プ	加工時間	タ ッ プ	
型 材 質	FC-25+SKS3						
電極材質	銅電鍍						
加工液条件	噴 出						
電極個数	1						
適用型数	2						
表面積	47 dm ²						
切削代	0.8~1.2 mm						
		荒 加 工	40	5-10	41	5-10	
		中 加 工	8	4-10	6.5	4-10	
		仕上げ加工	2	3-10 2- 8	4.5	3-10	
		合 計	50 h		52 h		

表 5.4 放電加工条件および加工結果 (4)
Machining condition and result (4).

項目	内 容	比較		計 画		実 施	
		加工条件	加工時間	タ ッ プ	加工時間	タ ッ プ	
型 材 質	S 50 C						
電極材質	電気銅						
加工液条件	ふりかけ						
電極個数	4						
適用型数	リブ 16カ所						
表面積	3-5 dm ²						
切削代	中央部ボス孔あり						
		荒 加 工	0.5	3-10	1.0	3-10	
		中 加 工	0.5	2-10	0.5	2-10	
		仕上げ加工	0.5	1- 7	0.5	1- 7	
		合 計	1.5 h		2.0 h		

リブは寄せ加工をするので合計 6 h となる。

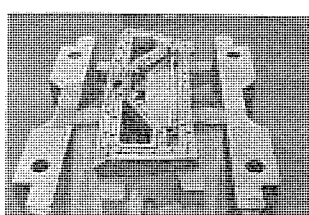


図 5.6 EDM 完了金型
Die produced by EDM.

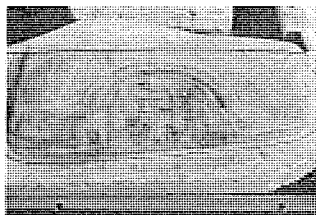


図 5.7 銅電鍍用モデル
(Nコート+石こう)
Model for copper plating.

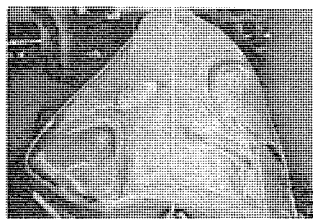


図 5.8 EDM 完了金型
Die produced by EDM.

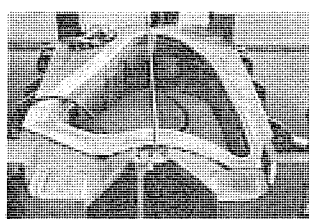


図 5.9 EDM 完了金型
Die produced by EDM.

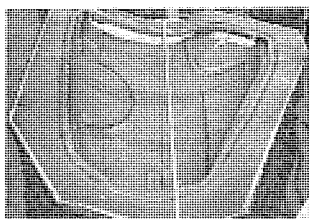


図 5.10 銅電鍍電極
Copper plating electrode.

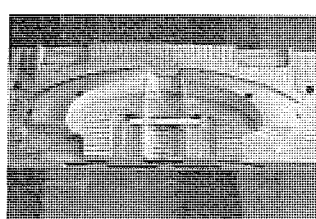


図 5.11 型彫完了FRP型
Work piece before EDM used.

分割効果の悪いことが確認され、サーボアダプティブコントロール装置を追加した。

電極製作条件の満たされているものは、理論加工時間の 1.0~1.2 倍程度で作業が完了するが、電極製作条件を満たしていないものについては、2.0~4.0 倍程度となり、プレス金型製作日程上、リードタイムの短縮でなく延長となり問題を引き起こす。下記に適用型のうち、4 型につき写真を示し参考としたい。

5.1 加工例

例 1 ギャラン GTO リヤリッドパネル

加工条件および加工結果を表 5.1 に示す。

例 2 ギャラン GTO リヤリッドインナパネル

加工条件および加工結果を表 5.2 に示す。

例 3 クォータパネル

加工条件および加工結果を表 5.3 に示す。

例 4 テスト品 リブ加工

加工条件および加工結果を表 5.4 に示す。

5.2 加工面積と加工時間

加工面積に対する加工時間は、電源性能より理論的には簡単な式



図 5.12 EDM 完了FRP 型
Die produced by EDM.

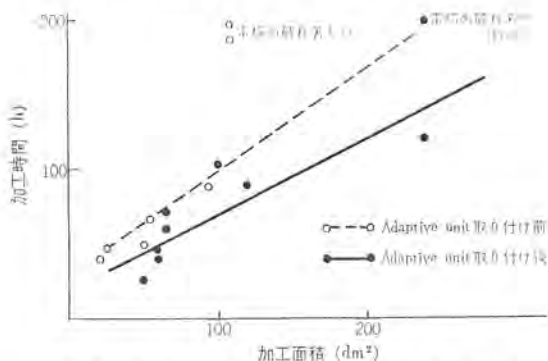


図 5.13 加工面積と加工時間の関係
Characteristics of working area vs. working time.

で表わされるように考えられるが、実作業においては、種々なファクタが異なった状況を示すため、一概には言えない。関係するファクタとしては下記項目がある。

- (1) 被加工物材料
- (2) 加工形状・加工深さ・電極面積・電極形状
- (3) 電極材料
- (4) 電源の諸要因(加工電圧・加工電流)
- (5) 加工液
- (6) 機械装置の諸要因(電極の送り機構方式、精度など)

特に製品形状が複雑、シャープエッジを有する場合は、銅電鋳が極端に薄い部分ができ、加工中、電極が破れるケースがある。電極が破れると加工が進まず、型製作日程に大きな影響を与える。

代表的な型の加工時間実績と加工面積の関係を、図 5.13 に示す。

5.3 か(稼)動状況

本加工機は、加工にはいれば 24 時間 FULL か動を実施し、加工にはいって、放電安定を得るまでのロスタイムを可能なかぎり減少させている。操作者も加工初期の段階では、オペレートするが、加工が安定すれば、1 時間に 5 分程度加工状況をチェックするのみで、事実上無人化機械であると言える。

一例 ワークサイズ 2,500×1,550 mm

加工面積	95 dm ²
機械か動時間	89.5 時間
操作時間	27.0 時間

6. 放電加工後の仕上げ(後加工に対する影響)

6.1 分割部・加工液噴出部および吸引部加工

加工表面積が多くなれば、放電加工時間を短縮するために、2 分割、あるいは 4 分割を行ない、かつ放電安定性をうるために、噴出・吸引口を設ける。

しかし上記部分は、事実上放電を行なわないので、EDM 後ハンドワークにて、グラインダ加工を行なう必要がある。状況を図 6.1、図 6.2 に示す。



図 6.1 分割部、噴出、吸引未加工部研削作業
Hand finishing after EDM.



図 6.2 EDM 完了金型
Die produced by EDM.

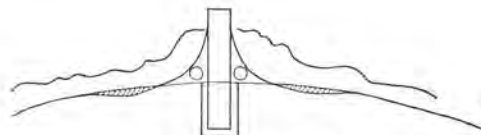


図 6.3 分割部に発生するくぼみ状況
Cutting section at the barrier separating two electrodes.

一般には簡単のように言われているが、加工面が硬化しているので仕上げにくい。

6.2 放電加工面の硬化性

放電加工面は急冷されているので、もちろん焼入れされた状態になっており、ヤスリ等では切削できない。したがって、エアグラインダ等を用いて放電加工されてない部分を切削する。放電加工面は、放電電圧・電流により異なるが、一般に変質層の厚みは、0.07~0.1 程度と判定される。(顕微鏡写真による)。ドーダイのように、表面粗度 1.5 S を必要とする型については、表面硬化層を除去する必要がある。グラインダ #60、DISC ペーパーにて作業を行なう必要を生じる。

6.3 分割部分のくぼみについて

放電加工されない分割部を、グラインダにて研削した後、問題になるのは分割部近辺のくぼみである。

銅電鋳電極としては、銅電鋳モデルに入り込むことになり、考えられない現象であるが、事実数型について見い出されており、分割部分に発生する内部応力的な力により局部的にひずみを発生させるのではないと思われる。

局部的くぼみ部除去作業は、金型仕上げ作業中困難な作業であり、放電加工効果を半減させ、(まったくなくしてしまうほど)型に悪影響を与える。スケッチを図 6.3 に示す。

6.4 放電加工面の機械作業性

ダイによっては、EDM 後機械加工を実施するものがあり、その場合のカッタ異状摩耗に若干問題を生じている。スケッチを図 6.4 に示す。

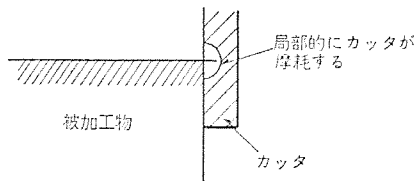


図 6.4 カッタ異状摩耗状況
Abnormal wear of cutting edge.

7. 使用加工機の概要

DM 5000 Type 放電加工機については、斉藤・青島・加藤らがプレス技術 85 8 巻 7 号 (昭 45) に概略説明されているので、使用サイドから見た加工機の条件および 1 年の使用履歴等についてしるしてみたい。

7.1 加工機について

7.1.1 ストレートサイド型 放電加工機

大形放電加工機メーカーとしては、アメリカ CINCINNATI, ヨーロッパでは、イタリア LAMATE, スイス AGIE 等あり、それぞれ独特の機構をもった放電加工機を製作しつつある。今回導入した DM 5000 Type は、ダイスポットングプレスに代わる機械として設計された結果、電極と被加工物との位置合わせは機械的にはできず、被加工物・電極間で考えねばならない。特に FRP 型で大もの型の型になれば、放電加工機でないとできない作業、あるいは放電加工であれば、よりメリットの出る複雑形状、シャープエッジを有している作業で、できればストレートサイド型よりは、X・Y 方向移動式のほうが位置合わせが簡単になり、被加工物・電極の段取り工数の節減に役立つと考えられる。

7.1.2 自動放電加工形式の導入

DM 5000 Type 放電加工機は、自動プログラムコントロール式で、深さに対応したパルス幅—休止幅—TP セッティングを設定すれば、自動的に切換えができるようになっている。

加工面が平面以外の場合は、深さ設定が困難であり、事実上あまり役に立たない。今後の開発方針としては、下記 2 項目を希望したい。

(1) パルス幅—休止幅—TP セッティングの自動制御 (Adaptive Control System の採用)

(2) 曲面形状に対して深さ設定ができないので、放電加工面広さを電氣的に感知し、自動的に作業をストップさせる。特に放電加工機はダイスポットと異なり、加工液中で加工するから、視的にチェックできず、その都度スライドを上昇させ、液をタンクに戻しチェックする必要がある。

加工を始めれば、安定するまでに 0.5~1.0 時間、加工条件の悪いものであると、1.0~3.0 時間かかることも考慮に入れると大きなメリットが考えられる。

7.2 電源について

本加工機には、DE-120 T 電源 4 個が設置されている。電源性能を表 7.1 に示す。

プレス金型表面積は、50~250 dm² 程度ある。今仮に、型表面積 200 dm² で、切削しろが 1.0 mm 均一にある場合の EDM 時間は

$$\frac{A \cdot t \cdot \rho}{60 \cdot n \cdot W \cdot \eta} = \frac{100 \times 200 \times 0.1 \times 7.8}{60 \times 4 \times 2} = 32.5 (\text{h})$$

ただし A: 加工面積 (cm²)

表 7.1 DE-120 T 電源性能表
Specification of DE-120 T.

DE 120 T 性能	DE-120 T	4×DE-120 T
最大平均加工電流 最大加工速度 (電極鋼, グラファイト) 最良仕上げ面あらさ	Amp g/min μH max	約 50 約 2 6-8
電極消耗比 (低消耗条件)	%	1 以下

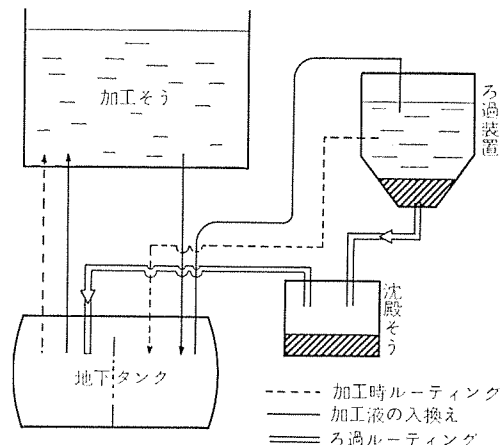


図 7.1 ろ過装置フローシステム
Schematic drawing in plumbing of filter.

t: 切削しろ (cm)

ρ: 被加工物の密度 (g/cm³)

n: 電源台数

W: 電源 1 台当たりの加工速度 (g/min)

η: 分割効率 (η=1 と仮定)

加工初期、仕上げ加工・Duty-Factor・放電安定性・表面あらさおよび電極消耗を考えると、事実上 2 g/l 電源の加工はむずかしく、理論値の 3~4 倍となっている。また型彫加工時間の短縮を計ろうとすれば、切削しろはさらに大きくなり、現有電源では、プレス型製作リードタイム内に放電加工を完了することは不可能と思われる。したがって加工電流をさらにアップさせ (200~400 A), 荒加工は大電流を、仕上げ加工は微小電流を流せるような広範囲な性能を有する電源の開発が急がれる。

7.3 ろ過装置について

現状のろ過装置フローシステムを図 7.1 に示す。ろ過装置は自動化システムになっているので、チェックはあまり実施していないが、装置に付いている連成計は、いつも目づまりを起こしていることを示している。エア逆洗しても 1.0~2.0 時間でその状態となる。また沈殿そうに沈殿したスラッジは、現状では手動的に取り除くようになっているが、マグネット方式か遠心分離方式かにして自動的に除去したほうが効率がよいと判断される。

7.4 塗装について

加工そう内部は、ケロシンが常時触れるので耐油性塗料を用いているが、他の部分が耐油性でないで、ケロシンで触れたりするとすぐケロシンを含みはがれてくる。

今後 EDM 機と名の付く機械は、すべて耐油性塗料を用いるべきだと思う。

8. 安全対策およびその効果

DM 5000 Type 放電加工機は、加工液として第 3 石油類に属するケロシンを 17,000 l 保有しているため、下記安全装置を保有している。

8.1 安全対策

(a) タンク 容量は 15,000 l で地下埋設式である。

(b) 液面制御装置

一定位置より液面が下がった場合には、加工電源が切れる。加工
そう内の液温が一定値 (50°C) 以上に上昇した場合には、加工電源
が切れる。(検出はそう内 4カ所)

(c) 加工液冷却装置

ろ過装置を通った加工液温度が一定温度以上のときは、熱交換器
で冷却する。

(d) 加工粉たい(堆)積検出装置

何らかの原因で加工部周辺に加工粉がたい積すると、これが事故
の原因となる場合があるので、たい積高さが一定高さ以上になった
場合には加工電源が切れる。

(e) 排煙装置

加工によって発生する フューム は、排気ダクトによって工場外に排
出している。フューム は予想より量が少ない。

(f) 炭酸ガス 消火器の設置 (45 kg×3)

万一火災が発生した場合には、ボタン 操作で消火できるよう機械周
辺に CO₂ 消火器を設ける。CO₂ 消火器手動で操作—電源 OFF—ベル
吹き鳴らし

(g) 大形粉まつ(沫)消火器の設置

消防法規定により、BC 消火器 100 kg 入り 1本

8.2 効果および過去 1 年間の実績

上記安全装置の作動状況および不具合時の対策を、表 8.1 に示す。

8.3 その他

機械導入当初、ろ過装置下部に設けられている吸引用 ポンプ 軸受
部より煙が発生した。

この事故の原因は、ポンプ 空転により軸受部に熱を持ち、ケロシン が
燃えなかったもので、煙発生後直ちに ㊦ ボタンを押すことにより、
火を見ないですんだ。処置としては、吸引 ポンプ 部に プレッシュスイッチ
を設け、一定圧以下の場合には吸引 ポンプ 部電源を切ることにした。
以後事故はない。

8.4 結 論

8.3 節のように初期計画時には、考えられないような事故が起こ

表 8.1 安全装置の効果および不具合対策
Effect of safety device.

項 目	作動件数	効 果	対 策
b	2	有	バルブゆるみ締め直し
c	—	未確認	—
d	多 い	特に大物型加工時多い	たい積粉除去
e	常 時	加工時フュームよりケロシン 臭気強い	現状より強力なほうがい
f	2	導入時および 10 月テスト実施	テスト後補充
g	0	—	—

るものであるが、全般的には安全な機械であるとの感じを持っている。

9. 放電加工による経済的メリット

「まえがき」にも記述したとおり、放電加工を型製作に用いるこ
とにより、工数低減・リードタイムの短縮、さらに精度向上をはかる
うとしている。

9.1 工数低減

プレス 金型製作の従来方式と EDM 方式との プロセス 比較を図 9.1
に示す。EDM 作業部のみを比較すれば、表 9.1 のごとく、工数的
には 45 h : 145 h となり、一見低減したように見えるが、電極製作
費を考慮に入れると、ドロー・カットダイ 2 型に 1 電極を併用して、約
15 % の工数低減がはかれる程度である。

したがって電極製作費用のダウンと 4 電源効率率の向上、電
鋳殻厚みの均一化をはかることにより、EDM 加工時間を短縮し、
メリットを出すようにしたい。

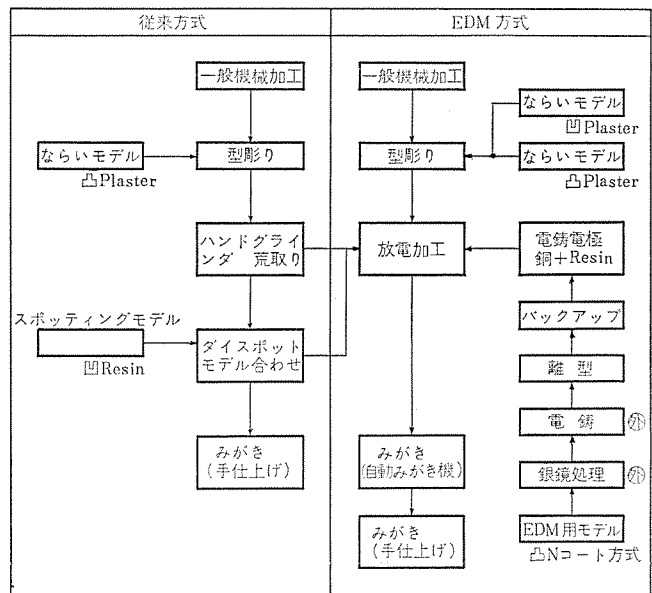


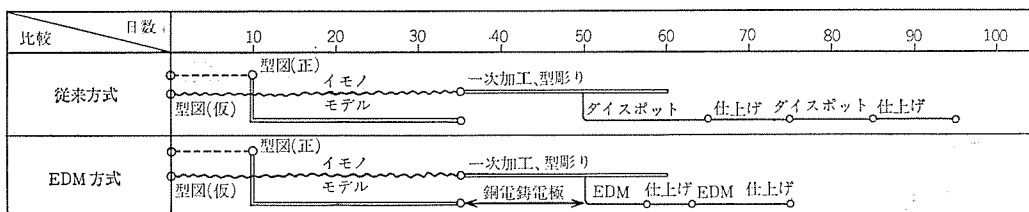
図 9.1 従来方式と EDM 方式との プロセス 比較
Comparison between EDM and conventional system.

表 9.1 従来方式と EDM 方式の工数比較
Machining time of comparison between EDM
and conventional system.

	EDM 方式	従 来 方 式
仕 上 げ 工 数 (h)	27 h (M/C h 89.5 h)	109
み が き 工 数 (h)	18 h	36
合 計 (h)	45 h	145

例 ギャランクーベ クォータパネル カットダイ
型寸法 2,500×1,550 mm
EDM 面積 95 dm²

表 9.2 従来方式と EDM 方式 リードタイム 比較
Total time comparison between EDM and conventional system.



9.2 リードタイムの短縮

従来方式と EDM 方式 リードタイム 比較を表 9.2 に示す。従来方式で铸件完了後、一般機械加工—型彫加工完了までの間に、電極製作ができればよい。

ただし電鋳作業に、15～20 日間もかかれば、スポッティング 合わせ—みがき作業短縮分を吸収してしまうことになり、リードタイム の短縮は事実上不可能となる。

外国文献によれば、電鋳作業は約 10 日間で、厚み 6.0 mm に仕上げるのとこと電鋳製作技術の向上発展が望まれる。

10. 今後の課題

10.1 電極製作

低消耗電極材料については、三電技報あるいは外国文献にも、銅および グラファイト が最適とされるされている。

現在、銅電鋳電極を用いているが、放電加工時の電鋳殻破れの防止、電鋳日数の短縮が大きな課題となっている。

特に電鋳溶液として硫酸銅を用いているので、複雑形状・シャープエッジ 部へのメッキ 性が悪く、破れの大きな原因となっている。電鋳溶液の変更も一つの解決策である。

他の方法だと作業温度が高くなり、電鋳用モデル の変形もテストにより は握する必要がある。

表 10.1 EDM 適用 個 所
Application of giant EDM.

型 種	EDM適用箇所	実 施 状 況
ドローダイ	パンチ—ブランク表面 ダイ 表面	昭45.4より実施
カットダイ	下型 表面 上型 表面 刃合せ	昭45.7より実施 メリット算出後実施
フォームダイ	下型 表面 上型 表面 曲げ開けき	テスト後実施
FRP 型	上型 下型 補強リブ	昭46.3より実施

10.2 適用率の向上

表 10.1 に示すように適用箇所は多岐にわたっており、表面形状のみでなく、カットダイ：刃合わせ、フォームダイ：曲線合わせに適用することにより、適用範囲は スポッティング 作業の 60 % 程度となり、適用率・か動率も飛躍的に向上するものと思われる。

10.3 加工機の完成

導入以来 1 年間 フォロー を実施し、不具合項目は 90 % 近く解消されている。残りの不具合項目については、1 年点検実施時修正予定となっている。

電源・ろ過装置・機械本体については、7 章にて記載済みである。

11. む す び

大形放電加工機を、プレス 型表面仕上げに過去 1 年間用いてきた。機械系については、まだ若干の不具合は残っているが、初期計画に対して、ほぼ 90 % 程度まで目的を達したと判断している。本加工機を有効に活用できるかできないかは、電極製作にかかっており、特に経済性・型彫能力の点より、銅電鋳技術に負うところが大きい。

銅電鋳技術のベター な点は、型製作モデル 系列の利用ができることであり、一歩進んで、複雑形状・シャープエッジ 部に均一に電着でき、放電加工時 破れがなくなれば最適となる。この方面の開発に全力を傾注したい。

最後に、三菱電機担当者(サービ—開発・営業)には、本加工機導入以来いろいろお世話願っており、今後とも大形放電加工機および電極製作に関して共に努力したいと思う。

参 考 文 献

- (1) 倉藤、鳳：放電加工，コロナ社(昭36)
- (2) 三菱電機技報，41, No. 12 (昭42)
- (3) 元木：放電加工，日刊工業(昭41)
- (4) CINCINNATI, Cavity Applications and Electrodes
- (5) Cutting with a spark, American Machinist, July 4 (1966)
- (6) EDM Makes it Big, American Machinist, June 20 (1966)
- (7) LAMATE, EDM Machine R. C. F/6,000

放電加工の応用

久慈 陽一*・真鍋 明*
平松 萬彦*・足尾 栄司*

Application of Electrical Discharge Machining

Nagoya Works Yoichi KUJI・Akira MANABE
Kazuhiko HIRAMATSU・Eiji ASHIO

This article first gives a brief description on the manufacture of electrodes for discharge machining. Then, it introduces examples of work such as on plastic mold, steel to steel machining and parting line matching by using a F circuit which is in the extension of the machining scope of transistor power supplies.

Finally it states a system consideration on the discharge machining processes. It is emphasized that to improve the productivity of factories with discharge machining apparatus necessitates firm establishment of applied technique in relation to the discharge machining involving the design of electrodes.

1. ま え が き

最近の放電加工機の技術的進歩は実に著しいものがある。しかしながら、どのような機械装置であっても、その装置自体(ハードウェア)のみでは広く実用化され普及することは困難であって、利用技術(ソフトウェア)が伴ってこそ工業技術として普遍的なものとなる。

放電加工機は多くの金属加工機の中でも、特に利用技術への依存度が高いものといえよう。ハードウェアの派手な進歩にくらべれば利用技術は地味な存在ではあるが、放電加工法の普及発展には実に重要であり、地道に技術開発が行なわれている。放電加工機を使う立場から見ると、機械は買ったが、さて、電極をどうやって作るかが最初につき当たる問題であり、現在の放電加工機では電極なくして加工はできないのである。

この電気加工特集号では放電加工機を作る立場からの解説が多いが、ここでは放電加工機を活用する側に立って、その利用技術と加工例について紹介し、読者の参考に供したい。

2. 電極製作法

2.1 切削・研削・手仕上げによる方法

グラファイト・銅・銀・タングステン・銅・タングステンといった、機械的加工性が比較的良好で、かつ、放電加工性のよい材料を切削・研削によって加工し放電加工電極とするのが最も基本的な方法である。今後はグラファイトが最も多く放電加工電極として用いられるようになるのは必至である。わが国では放電加工電極用のグラファイトの開発が欧米より遅れたせいもあって、銅に執着する傾向があったが、最近、わが国でも材質のよいグラファイトが製作されるようになってきている。欧米では電極としてはグラファイトが圧倒的に多く用いられている。放電加工の能率向上の最大の問題点は電極製作時間にあるが、グラファイトは切削性・研削性が非常に良く、手仕上げも容易にできるので電極製作時間短縮のうえから最適である。

2.2 鍛造成形による方法

すでに元金型があって、その後、くり返し多数放電加工によって鍛造型を製作する場合に適用できる方法である。元金型で銅材を鍛造して成形し、熱間鍛造の場合は鍛造後、一度冷却してスケールを酸

洗いで除去した後、再加熱 200~500°C で数回 コイニング して収縮を修正するとよい。しかしながら、浅い単純な形状の場合にはよいが、深い複雑形状の場合は精度上不十分である。スパナなどの工具の鍛造型加工に適用されている。

2.3 銅電鍍による方法⁽¹⁾

複雑な細かい模様が多い プラスチックモールド 金型、ガラス 金型、アルミダイカスト 金型、大面積の絞り金型など幅広い用途がある。ただし、現在広く行なわれている硫酸銅方式では電着層の厚さは 2~3 mm 程度であるので、荒加工に適用するのはむりであり、前加工後の放電仕上げ加工に適用する必要がある。深いみぞや穴形状はシャープコーナー部への電鍍が不十分であり、ある程度形状に制約を受ける。

今後は、シアン化銅方式が毒性の解消技術に伴って使用されることにより、前記の欠点が改善され、発展が予想される。

図 2.1 に示す銅電鍍電極製作フローチャートのごとく、石こう、木型、樹脂型などを母型として、これに銅電鍍を施す。この間、切削等の工作は要せず、人手もあまり必要でない。電鍍時間が長いことが欠点ではあるが無人運転であるから経済的である。電極面積が大きいものも軽量ですむという利点がある。

2.4 溶射による方法

以前は銅溶射による電極は消耗が多く、あまり顧みられなかったが、特殊なプロセスを採用することにより電気銅とほとんど変わらない低消耗特性を発揮する銅溶射電極の製作が可能となった。

電鍍法に比較して厚みのコントロールが容易でみぞ部などにも短時

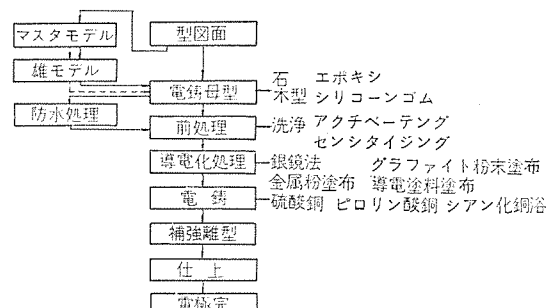


図 2.1 銅電鍍電極製作フローチャート
Copper electroforming process for EDM electrode.

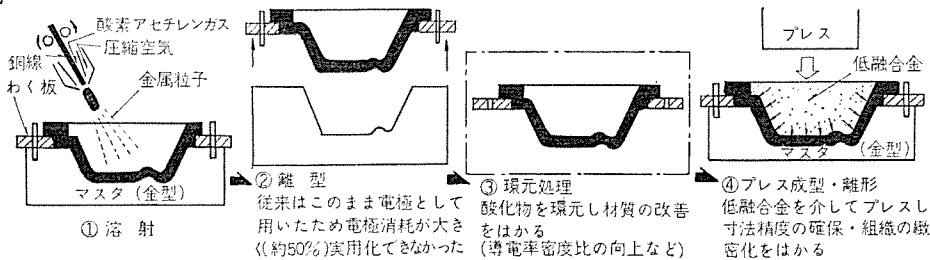


図 2.2 溶射電極製作フローチャート Copper spraying process for EDM electrode.

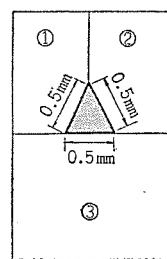


図 2.3 放電加工による電極製作法 Electrode machining method by EDM.

間に必要な厚さに付着させることができる。製作に当たっては金型が必要になるが、電鋳法よりも製作時間も短く放電荒加工も可能である。同じ型を繰り返し加工する鍛造型加工用電極の製作に適切である。図 2.2 に溶射電極製作フローチャートを示す。

2.5 その他の方法

(1) 放電加工による製作法

断面積のきわめて小さい異形状では電極製作そのものが非常に困難である。たとえば 1 辺 0.5 mm の正三角形断面をもった電極を製作する場合は、図 2.3 のごとく 3 枚の電極材 (Ag-W または Cu-W) を組み合わせて、1 辺 0.5 mm の正三角形穴を造り、これをマスタ電極として、本番の電極を放電加工によって製作する方法がとられる。これは一般に、微細異形状の電極製作に有効である。

(2) 市販品を使用する方法

微細丸穴加工には市販の銅パイプ・銅タングステンパイプ・銅線・タングステン線を利用すると便利である。

0.2 mmφ 以下の微細丸穴加工には銅線・タングステン線を使用する。この場合の加工深さは通常、穴径の約 10 倍までである。

0.2 mmφ 以上の丸穴加工には銅パイプ・銅タングステンパイプを使用する。この場合の加工深さは穴径の 50 倍も可能である。銅パイプは 0.2 mmφ 以上のものが市販されている。

3. 放電加工応用例

3.1 F 回路の適用

従来のトランジスタ電源は、単純な方形波電圧を加えるだけであったが、最近では高電圧を重畳する特殊波形を採用することによって、放電加工性能の改善が図られるようになった (三菱ダイアックス F 回路)。

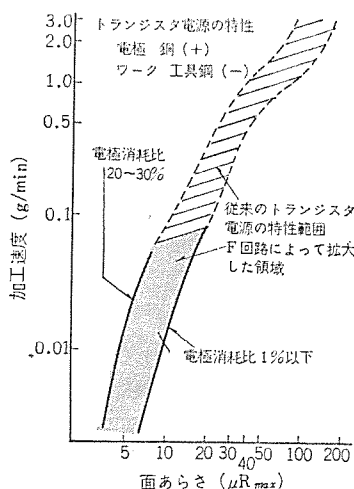


図 3.1 F 回路付き トランジスタ電源の加工速度一面あらし曲線 Removal rate vs. surface roughness by transistor power supply with F circuit.

ここでは、F 回路によって拡大された新しい応用例を紹介する。

(1) 従来、トランジスタ電源では電極消耗比 1 ~ 2 % 程度の低消費条件では仕上げ面あらしは 15 μR max 程度が限度であり、鍛造型のように仕上げ面のあらしをそれほどきびしく要求されない場合には支障はないが、プラスチックモールド金型・ガラス金型のように仕上げ面を鏡面近くまでもってゆく場合には、放電加工後の手仕上げ時間が放電加工時間と同程度の長さを有し、この短縮が強く望まれていた。放電加工された金型表面は、仕上げ面あらしと同程度の硬化層が存在し、これはビッカース硬度で 900 ~ 1,000 にも達し、みがきに困難をきたす。放電加工の仕上げ面が細かければ、それに応じて硬化層の厚さも減少するので、みがき時間を大幅に短縮することができる。

F 回路は図 3.1 の特性曲線に見られるように 1 % 前後の低電極消耗条件においても 5 ~ 6 μR max の細かい仕上げ面が得られ、プラスチックモールド金型の加工に威力を発揮する。F 回路によって放電加工を行えば手仕上げ時間を大幅に短縮できる。

図 3.2, 3.3 にプラスチックモールド金型の加工例を示す。

(2) また、高電圧重畳によって、従来のトランジスタ電源では、不安定傾向が強くて実用化されていなかった鉄対鉄の加工も、安定

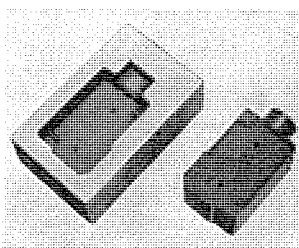


図 3.2 無接点リミットスイッチケースのモールド型(左)と銅電極 (F 回路による加工) Limit switch molding die and copper electrode (Electrical Discharge Machining by F circuit).

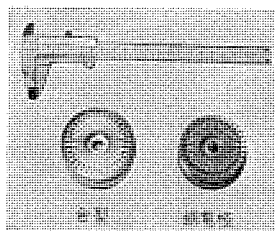


図 3.3 プラスチックモールド型 (ダイモ) (F 回路による加工) Plastic molding machined by means of F circuit.

加工区分	荒加工	中加工	仕上げ加工
条件項目	DE-30 T-F	DE-30 T-F	DE-30 T-F
電源機種	DE-30 T-F	DE-30 T-F	DE-30 T-F
電極	Cu	Cu	Cu
被加工物	SKD-11	SKD-11	SKD-11
電極极性	(+)	(+)	(+)
加工セッティング	2 ノッチ	2 ノッチ	1 ノッチ
電流微調	4 ノッチ	1 ノッチ	4 ノッチ
パルス幅	8 ノッチ	8 ノッチ	7 ~ 1 ノッチ
休止時間	4 ノッチ	5 ノッチ	6 ノッチ
ギャップ調整	1 ノッチ	4 ノッチ	4 ノッチ
加工電圧	40 V	40 V	40 V
加工電流	7 A	4 A	2 A
加工液圧	噴射 0.5 kg/cm ²	噴射 0.5 kg/cm ²	噴射 0.5 kg/cm ²
加工時間	2 時間 40 分	30 分	15 分
面あらし	20 μR max	15 μR max	4 μR max
電極消耗比	1 % 以下	1 % 以下	2 ~ 3 %

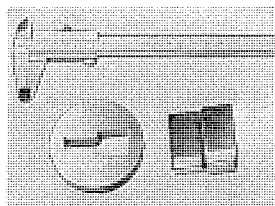


図 3.4 プレス抜型 (F 回路による鉄対鉄の加工 左ダイ、右パンチ)
Punching die, steel to steel machining by means of F circuit.

条件項目	加工区分	透	部
電源機種	DE-30 T-F	DE-30 T-F	
電極	SKD-11	SKD-11	
被加工物	SKD-11	SKD-11	
電極の性質	(+)	(+)	
加工セッティング	4 ノッチ	3 ノッチ	
電流微調	4 ノッチ	4 ノッチ	
パルス幅	6 ノッチ	1 ノッチ	
休止時間	6 ノッチ	4 ノッチ	
ギャップ調整	4 ノッチ	4 ノッチ	
加工電圧	40 V	40 V	
加工電流	7 A	2 A	
加工液圧	噴出 0.05 kg/cm ²	吸引 15 cm/Hg	
加工時間	20 分	40 分	
面あらし	30 μ R max	7 μ R max	
電極消耗比	12 %	18 %	

注) 放電しろ (片側) 1 mm

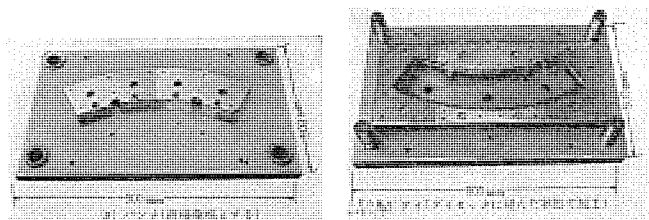


図 3.5 大形抜き型のパンチによる直接加工 (約 70 時間)
(F 回路による鉄対鉄の加工例)

Large blanking die, steel to steel machining by means of F circuit.

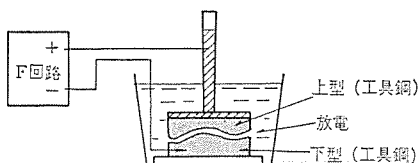


図 3.6 型合わせ加工 (パティンライン 合わせ) 方法
Parting line matching by EDM.

高能率に加工できるというメリットが生まれてきている。これは抜型を加工する場合、パンチで直接ダイを加工することが可能となり、大幅な工程短縮を行なうことができる。グラファイト・銀・タングステン・銅・タングステンなどをパンチ先端に張り付けて電極とする場合に比べれば、鉄電極での加工速度は遅いが、電極材料の経済性、電極製作の手間などを総合して考えると十分効果的な場合がある。

図 3.4, 3.5 に抜型の鋼電極による加工例を示す。図 3.4 の抜型ではダイの裏側から加工し、最初、逃し部分を電流多く、クリアランスの大きい条件で彫り下げ、切刃部分に至ってから、電流少なくクリアランスの小さい条件として切刃部を仕上げている。

図 3.5 は大形電動機の鉄心けい素鋼板の抜き型をダイセッタに組んだ状態でパンチでダイを直接加工したものである。

(3) 鉄対鉄の加工はプラスチックモールド型、ダイカスト型などの型合わせ (パティンライン 合わせ) に活用することができる。パティンラインが複雑な曲線をしている場合には、型合わせは大変やっかいな人手を要する作業である。これに対して上型と下型とをともに放電加工機に取付け、それらの間に放電を行なうことによって精密に型合わせを行なうことができる。図 3.6 に型合わせの方法を示す。図

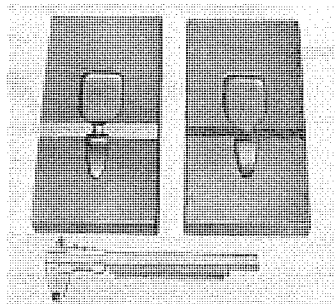


図 3.7 パーティンライン 合わせを行なったヘアラシ柄モールド金型
Parting line matched molding dies by F circuit.

条件項目	加工区分	荒加工	仕上げ加工
電源機種	DE-90 T-F	DE-90 T-F	
電極	SKD-11	SKD-11	
被加工物	SKD-11	SKD-11	
電極の性質	(+)	(+)	
加工セッティング	4 ノッチ	3 ノッチ	
電流微調	4 ノッチ	4 ノッチ	
パルス幅	4 ノッチ	1 ノッチ	
休止時間	5 ノッチ	4 ノッチ	
ギャップ調整	4 ノッチ	4 ノッチ	
加工電圧	40 V	40 V	
加工電流	5 A	2 A	
加工液圧	噴射 0.3 kg/cm ²	噴射 0.3 kg/cm ²	
加工時間	1 時間 30 分		
面あらし	20 μ R max	7 μ R max	
電極消耗比	11 %	18 %	

(パティンライン 合わせの加工条件)

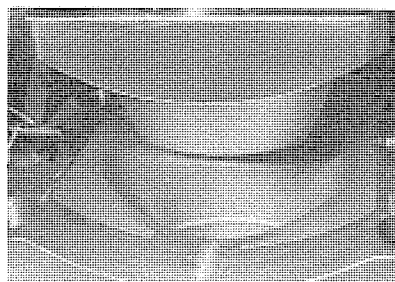


図 3.8 パーティンライン 合わせを行なうための上型と下型のセット状況
Parting line matching.

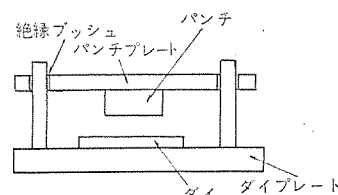


図 3.9 抜き型のダイセッタによる加工説明図
Electrical Discharge Machining in die set.

3.7 にパティンライン 合わせを行なった金型と加工条件を、図 3.8 にパティンライン 合わせを行なうための上型と下型のセット状況を示す。

3.2 放電加工プロセスのシステムの考察

放電加工によって金型を加工する場合、放電加工のメリットをよりいっそう活用するために放電加工前後の工程を考えた合理的な使い方が重要になってくる。

(1) ダイセッタによる加工 (図 3.5・3.9・3.10 参照)

抜き型加工は高精度を要求されるので機械の剛性が問題になるが、機械精度をきびしく要求することは設計・工作上から限度がある。ダイセッタに組んだ状態で放電加工すれば、機械精度に関係なく高精度の抜き型を加工できるとともに大幅な工数低減を行なうことができる。これは電極形状が高精度で転写されるという放電加工の本質的特長を生かしたもので、パンチとダイのクリアランスが全周均一に加工されることに大きなメリットがある。とくに大形のブランクダイ、トリ

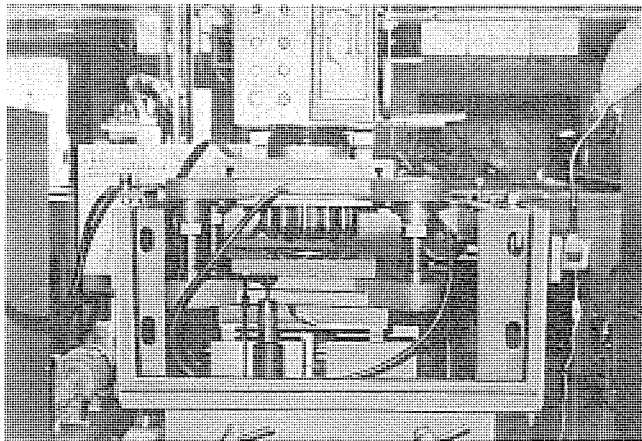


図 3.10 ダイセットに組み込んだ状態での抜型の放電加工状況
Electrical Discharge Machining in the set.

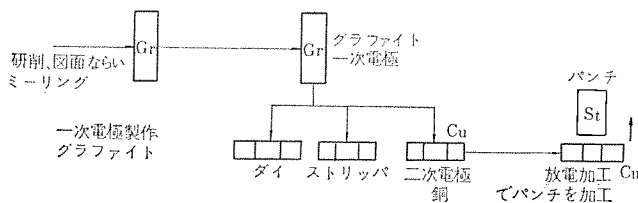


図 3.11 放電加工によるパンチとダイの製作
EDM system for machining punch and die respectively.

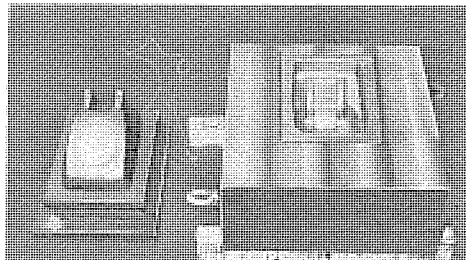


図 3.12 銅電铸電極による電話機のプラスチックモールド
金型加工例
Copper electroforming electrode and telephone plastic
molding die.

μダイなどの組み立てにおいては、従来、ジグボアでミクロンオーダの精度で取付け穴を加工し分割した型を組み合わせ、さらにやっかいなクリアランス調整に長時間を要している。ダイセットに組んで直接加工することは、この調整時間が省けて大幅な工数低減が得られる。

電極材料として、パンチ先端に放電加工性の良好なグラファイト・銀タングステン・銅タングステンなどを張り付けてもよいが、F回路の出現によってパンチの鋼での直接加工も可能となった。

(2) 放電加工によるパンチの製作

上述のように、ダイの加工は放電加工によって省力化、合理化することができるが、残るパンチの加工は抜き型の加工で最も人手のかかる作業となっている。

作業に時間のかかるパンチの直接研削をやめて、研削性良好なグラファイトでパンチと同一形状の一次電極を作り、図 3.11 に説明するように、これでダイおよび二次電極を放電加工し、さらに二次電極でパンチの鋼を放電加工すれば大幅に省力化を進めることが可能である。

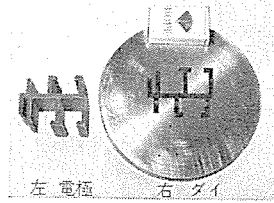


図 3.13 グラファイト電極によるアルミサッシ押出型ア
プローチ部分の放電加工
Aluminum sash extruding
die and graphite electrode.

電 源 機 種	DE-90 T+OP-3
電 極	グラファイト
被 加 工 物	SKD-11
電 極 ヶ 性	(+)
加工セッティング	6 ノッチ
パ ル ス 幅	10 ノッチ
休 止 時 間	4 ノッチ
加 工 電 圧	30 V
加 工 電 流	50 A
加 工 時 間	3 時間 20 分
面 あ ら さ	100 μR max
電 極 消 耗 比	1 % 以下

注) 前加工はなし

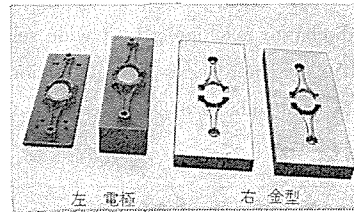


図 3.14 グラファイト電極によるコネクティングロッド
鍛造型の加工
Connecting rod forging dies
and graphite electrodes.

条件項目	加工区分	第 1 条件	第 2 条件	第 3 条件	第 4 条件
使 用 電 源	DE-90 T+OP-1	DE-90 T+OP-1	DE-90 T+OP-1	DE-90 T+OP-1	DE-90 T+OP-1
電 極	グラファイト	グラファイト	グラファイト	グラファイト	グラファイト
被 加 工 物	SKD-11	SKD-11	SKD-11	SKD-11	SKD-11
電 極 ヶ 性	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
加工セッティング	4 ノッチ	3 ノッチ	2 ノッチ	1 ノッチ	
パ ル ス 幅	10 ノッチ	9 ノッチ	9 ノッチ	8 ノッチ	
休 止 時 間	4 ノッチ	4 ノッチ	5 ノッチ	6 ノッチ	
加 工 電 圧	30 V	30 V	30 V	30 V	
加 工 電 流	27 A	16 A	8 A	4 A	
加 工 時 間	3 時間 20 分	1 時間 10 分	40 分	15 分	
面 あ ら さ	60 μR max	40 μR max	25 μR max	18 μR max	
電 極 消 耗 比	1 % 以下	1 % 以下	1 % 以下	1 % 以下	

注) 前加工なし

一次電極としてのグラファイトの加工を行なうにあたっては、研削に数値制御を適用したり、または図面ならいシーリング（たとえばライツマスタ）などを活用すれば、金型設計段階からのシステム化へと発展させることができる。

3.3 その他の加工例

電铸電極による加工例を図 3.12 に、グラファイト電極による加工例を図 3.13, 3.14 に示す。

4. む す び

放電加工を最大限に活用するためには、電極製法、被加工物の前加工、取付け取りはずし治具といったものを総合的に考えていかなければならない。今後、放電加工機自体は自動化・高性能化していくことは必至であるが、いかに高性能なものであっても機械単体の導入のみでは工場の生産性は向上しない。型工場においては型設計の段階から、電極製作・放電加工と一連のソフトウェアを確立すべく努力が必要である。

参 考 文 献

- (1) 加藤, 片寄: 電铸電極による放電加工, 三菱電機技報, 43, No. 12 (昭 44)

ダイアックス放電加工機シリーズ

佐藤 國彦*・大矢 広太郎*

Series of DIAX Electrical Discharge Machine

Nagoya Works

Kunihiko SATO・Kôtarô ÔYA

Electrical discharge machine have made development recently by leaps and bounds as the most powerful tools of labor saving over a wide range of field such as from die making to producing component parts. This progress owes greatly to the improvement of electrical discharge machining technique, mechanical performance and power source performance. The mechanical system and the power supply of Mitsubishi DIAX electrical discharge machine permit wide selection of their combination so as to meet multi purposes.

This article describes a DIAX machine series with discussion on characteristics considered essential in electrical discharge machine as a principle theme. Following this, it introduces a DIAX power source series with the control system as its nucleus of explanation regarding the power supply.

1. ま え が き

放電加工機は近年飛躍的發展をとげ、金型・抜型等を中心に、通常の機械加工部品に至るまで、幅広い省力化の最有力手段として注目されている。放電加工機はもはや特殊加工分野としてでなく、工作機械の一分野を形成している。

これらの発展は、時代の要請にこたえて放電加工の応用技術の開発、機械性能の向上、さらに一番大きなウエイトを占めるのは、半導体素子の利用に始った電源性能の向上といった3要素に負うところが多い。

本文では顧客の広範な用途を考慮し、作業内容に応じて最も適した機械、電源の組合せが可能になるよう、ワイドセレクション化された三菱ダイアックス放電加工機について、放電加工機の特質の論説を中心に、その機械系・電源系の機能と特性を紹介する。

2. ダイアックス放電加工機の機械系

2.1 放電加工機の機械系の特質

放電加工機と他の工作機械、たとえば、旋盤・ミリング等を比較した場合、本質的に相違する点をあげると次のようになる。

(a) 安定な加工を行なうためには、電極と被加工物間の間げきは、つねに微小な適正值(0.004~0.04 mm)に保つ必要がある。そのためには、適正な感度をもつ極間距離制御用サーボ機構が必要である。

(b) 電極の下降速度は通常きわめて遅く、しかも、微小振幅の上下運動を伴いながら下降するので、主軸のガイド部分の構造はスティック、スリップ等の防止に対しては、十分考慮しなければならない。

(c) 放電加工機は精密な加工を行なう場合が多いので、機械の精度は十分高く、しかも剛性が強くなければならない。

(d) 加工液は一般に鉱物性の絶縁油を用い、加工はその中の火花放電にて行なわれるが、この油の引火性に対して特別に考慮を払う必要がある。

(e) 一般の切削加工と異なり、被加工物は加工によって微細な加工粉となり、加工液中に沈殿または懸濁する。これは放置すると加工に悪影響をおよぼす。ろ過装置はこれらの除去を十分に行なうことができるとともに、容易に清掃できるものがのぞましい。

以下、これらの特質を中心に、ダイアックス放電加工機のシリーズを紹介する。

2.2 放電加工機のサーボ機構

放電加工を安定に行なうには極間間げきを常に一定に自動制御する必要がある。一般の放電加工において極間間げきと平均加工電圧の間には図2.1に示すような相関関係が存在する。したがって平均加工電圧が一定になるように極間間げきを制御する方法がとられ

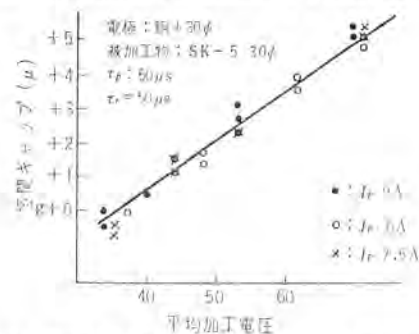


図 2.1 極間間げきと平均加工電圧との関係
Relation between electrode gap and average machining voltage.

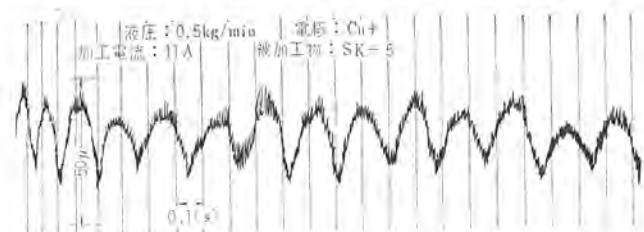


図 2.2 放電加工中の極間間げきの変化
Variance of machining gap during electrical discharge machining.

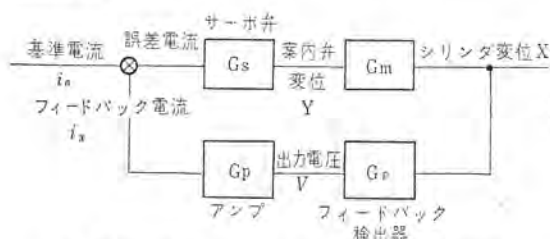


図 2.3 放電加工機のサーボ機構ブロック線図
Block diagram of servo mechanism of discharge.

ている。極間開けきに対する平均電圧の変化分は6~7V/μぐらゐと考えてよい。

DM-250 N 形放電加工機を例にとり、放電加工機のサーボ機構を説明する。図 2.2 には DM-250 N における、実際の安定加工中の極間開けきの変化を求めた測定値である。これによれば、第2高調波まで考えて5~10 Hz ぐらゐの変化が見られ制御系の応答速度としては、この程度の周波数まで追従できることが要求されよう。図 2.3 にサーボ機構のブロック線図を示す。同図において、サーボバルブの伝達関数 G_s 、および案内弁変位よりシリンダ出力変位まで伝達関数 G_a 、一巡伝達関数 G_L はそれぞれ

$$G_s = K_s / T_s S + 1 \dots \dots \dots (2.1)$$

$$G_a = (1/A) / S \{ (W \beta \nu / 2gA^2) S^2 + (W k_2^2 / gA) S + 1 \} \dots \dots (2.2)$$

$$G_L = K_s \cdot K_a \cdot K_D \cdot K_p / S (T_s S + 1) (S^2 / \omega_n^2 + 2\xi S / \omega_n + 1) \dots \dots \dots (2.3)$$

で近似できる。

ただし K_s : サーボバルブゲイン (4 cm³/mmA・s)

T_s : サーボバルブ 時定数 (2.6 × 10⁻³ s)

$$k_2 = \frac{\partial q}{\partial P_l} \bigg|_{P_l=0} \quad (1.6 \text{ cm}^3/\text{kg} \cdot \text{s})$$

A : シリンダ有効面積 (60 cm²)

W : 負荷重量 (20 kg)

β : 作動油の圧縮率 (0.7 × 10⁻⁴ cm³/kg)

$$\nu = \frac{1}{2} \times (\text{シリンダ体積})$$

g : 重力加速度 (980 cm/s²)

K_a : シリンダゲイン (1/60 cm⁻²)

K_D : 検出器ゲイン (27 V/mm)

K_p : アンプゲイン (0.27 mmA/V)

$$\omega_n = \sqrt{\frac{2gA^2}{W \beta \nu}} \quad (2.7 \times 10^3 \text{ rad/s})$$

$$\xi = \sqrt{W k_2^2 / 2gA^2 \beta \nu} \approx 0.1$$

式 (2.3) にそれぞれ諸数値を入れて計算すると、

$$G_L = 5/S (0.0026S + 1) (5 \times 10^{-5} S^2 + \xi \times 10^{-3} S + 1) \dots \dots \dots (2.4)$$

となり、これをボード線図に表わすと図 2.4 となる。

このボード線図によると、 ω_c (120π) 近くで、サーボバルブによる一次遅れが表われ、 ω_n (600π) 近くでシリンダの共振点が表われている。またこの系を閉じたときの系の時定数を実験により求めると、表 2.1 のようになった。

一巡伝達関数 $G_L(S)$ は近似的に

$$G_L(S) = K/S \dots \dots \dots (2.5)$$

$$K = K_s \cdot K_a \cdot K_D \cdot K_p \approx 5 \text{ s}^{-1}$$

で表わしてもさしつかえない。この系を閉じた場合の系の時定数は $T = 1/K = 0.2 \text{ s}$ 、折点周波数 $\omega_n = 1/T = 1.6 \pi \text{ rad}$ となり、上記実験値 0.16 s に近い値を示した。同様に油圧を下げた場合、(10 kg/cm²) の $T = 0.44 \text{ s}$ (実験値 0.32 s) となった。

表 2.1 スチップ応答により求めた系の時定数
Time constants of the loop given by step response.

供給油圧 (kg/cm ²)	時定数 (s)	折点周波数 (sed/s)
10	0.32	3.2
20	0.24	4.6
30	0.16	6.3
40	0.16	6.3

2.3 主軸案内

放電加工機の機械系で、主軸のすべり面は最も重要な部分で、機械性能を左右するといっても過言でない。放電加工状態は、振幅数 0.2 mm 以下周波数 20 Hz 以下の微小な往復運動をくりかえして次第に下降する。このような条件はしゅう(摺)動面にとって非常に過

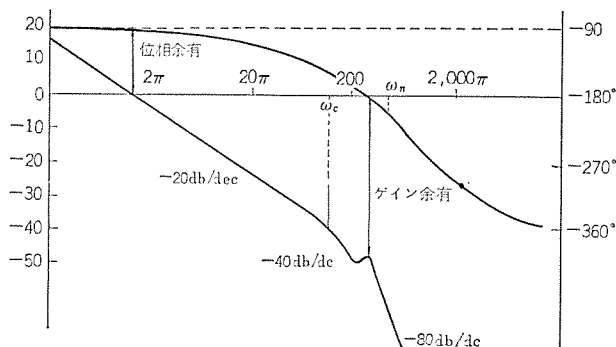


図 2.4 放電加工機サーボ機構のボード線図
Bode diagram of EDM servo-mechanism.

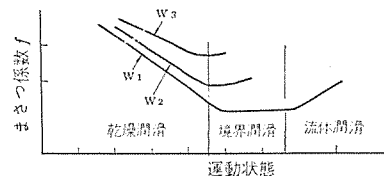


図 2.5 まさつ係数と運動状態の関係
Relation between coefficient of friction and moving-condition coefficient.

表 2.2 DM-250 N 形放電加工機の精度規格(社内規準)の抜粋
Selection of accuracy standards of EDM type DM-250 N.

番号	検査事項	測定方法	測定方法図	許容差	測定値
4	主軸の上下運動とテーブル上面との直角度 (1)	テーブルを動きの中央に置き、テーブルの上に直角定規を立て、主軸に定置したテストインジケータをこれに当て、主軸を上下に移動させたとき上下端におけるテストインジケータの読みの差を測定値とする。	a: 左右方向 b: 前後方向	0.02	
	前後方向			0.02	
5	主軸の上下運動の直角度 (1)	テーブルを動きの中央に置き、テーブルの上面に直角定規を立て、主軸に定置したテストインジケータをこれに当て、主軸を上下に移動させ、全移動距離におけるテストインジケータの読みの最大差を測定値とする。	a: 左右方向 b: 前後方向	0.01	
	前後方向			0.01	
6	主軸頭の上下運動とテーブル上面との直角度	テーブルの上面に直角定規を立て、主軸頭に定置したテストインジケータをこれに当て、主軸頭の下端の位置に固く締めた場合と、上端の位置に固く締めた場合とにおけるテストインジケータの読みの差を測定値とする。	a: 左右方向 b: 前後方向	0.02	
	前後方向			0.02	

(1) 測定に際し主軸頭は締付けするものとする。
(2) 測定に際し上下端におけるテストインジケータの読みは同じとなるよう直角定規を補正するものとする。

酷な状態である。すなわち一般のすべり面において、運動状態を示す無次元数 G (注) とまさつ係数の関係は図 2.5 に示される。放電加工状態はこの図において境界潤滑から乾燥潤滑への遷移点近辺にあると推測される。この場合まさつ係数は不定となりスティックスリップ、最悪の場合は焼付け現象をおこす場合も発生する。一方潤滑油面が破断されるのですべり面が負抵抗特性を示す場合も生じる。そのため大きい荷重が極力かかることを避けねばならない。Schlesingerによれば面圧は $4\sim6\text{ kg/cm}^2$ 以内に荷重をとどめるべきであると報告されている。この荷重では $0.2\sim0.4\text{ mm/min}$ 程度までスティックスリップを生じない。さらに不具合なことには放電加工は縦送であるため、必ず自重によるモーメントにより、すべり面に局部荷重がかかり、すべり面のすみ(隅)部は異常な面圧増加になる。このような過酷な条件の下では数 mm/min 程度でスティックスリップを生じる。

このような状態を避けるには潤滑油の選択、給油方法の改善、偏荷重の防止、すべり面の材質選択によって改善されるが、寿命・保

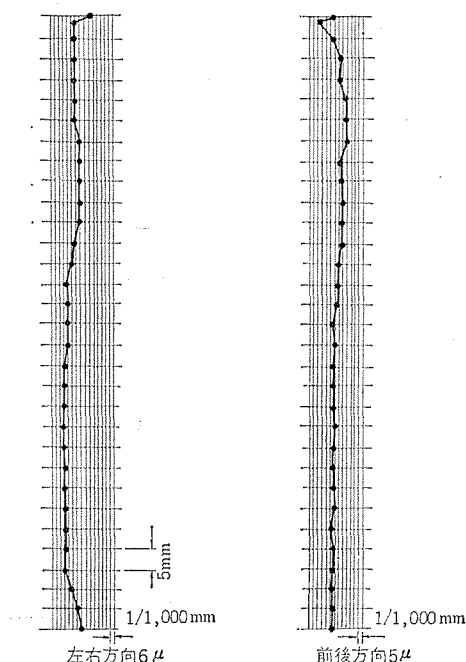


図 2.6 DM-250 N 形放電加工機主軸真直度の一例
Example of straightness of spindle, EDM type DM-250 N

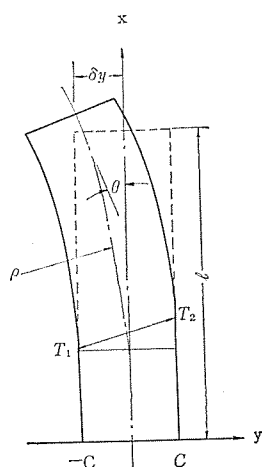


図 2.7 コラムの熱変形
Thermal deflection of column.

(注) $G = ZLSp/P_r$ Z : 油粘度, L : シュウ動面幅, S : ストローク
 v : 振動数, P_r : 面圧

守・精度保持を考えた場合不完全である。

ダイアックス放電加工機は、油圧制御下のころがり案内を全面的に採用した。これはこの分野において初めての試みであろうと考えられる。たとえば DM-250 N の場合は、高硬度の鋼球(硬度 HRC 60~64)と焼入れ案内面(硬度 HRC 55~60)の組合せにより、運動状態にほぼ無関係に、常にまさつ係数を低位に保ち、スティックスリップの発生を皆無に押え、円滑なサーボ送りすなわち安定な放電加工状態を持続することを保証している。

2.4 機械精度

放電加工機の機械精度については現在、電気加工学会にて規格化をすすめているが、当社においては表 2.2 のような社内規準を作成し、それに従って厳格な検査を行なっている。また図 2.6 には DM-250 N の主軸精度の測定例を示す。

2.5 放電加工機の熱変形

他の一般機械と同様、放電加工機においても設置場所の周囲温度の変化に応じ、精度の変化を生じる。温度変化の影響の顕著なのはコラムの倒れである。コラムの倒れは主軸の倒れおよび心ずれとなって表われる。

今、実際の放電加工機においてその影響についてのべる。コラムの模式図を図 2.7 に示す。同図において、コラムの両側面(±C)の温度が T_1 , T_2 でその間の温度分布はコラムの軸方向(x 軸)に一定と考える。これらの仮定条件では y の x 方向のひずみ ϵ_x は、 α をコラム材の線膨張係数 ($1/^\circ\text{C}$) とすると、x のどの位置でも下式のとおり

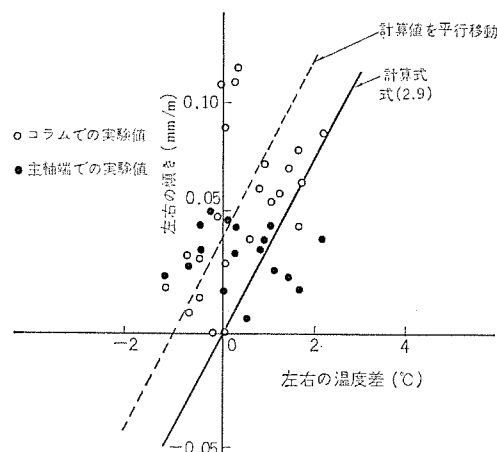


図 2.8 コラム左右方向の傾きと温度差の関係
Relation between deflection of column (left to right) and temperature difference.

表 2.3 DM-300 のコラムの変熱形
Theoretical thermal deflection of column, EDM type DM-300.

	前後方向	左右方向
傾き変化 θ	$3.1 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$	$3.9 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$
たわみ δ_y	$1.5 \times 10^{-2}\text{ mm}/^\circ\text{C}$	$1.9 \times 10^{-2}\text{ mm}/^\circ\text{C}$

表 2.4 DM-300 のコラムの傾き変化測定結果
Actual thermal deflection of column, EDM type DM-300.

単位 mm/m

加熱時間	左右方向		前後方向		コラム傾き平均値 θ	
	前	後	右	左	前	後
93 h 10 m	0	0	0	0	2.85×10^{-5}	2.83×10^{-5}
168 h	0.024	-0.056	0.020	0.044		
312 h 15 m	-0.006	-0.003	0.008	0.023		
404 h 5 m	-0.020	-0.061	0.036	0.040		

となる。

$$\varepsilon_x = \frac{1}{2} \cdot \alpha \cdot (T_2 - T_1) \cdot \frac{y}{C} \dots \dots \dots (2.6)$$

ε_x は x に無関係であるから、コラムの変形曲線は円弧となり、その曲率半径 ρ は

$$\begin{aligned} \rho &= y/\varepsilon_x \\ &= 2C/(T_2 - T_1) \cdot \alpha \dots \dots \dots (2.7) \end{aligned}$$

コラムのたわみ（心ずれ） δ_y は

$$\begin{aligned} \delta_y &= l^2/2\rho \\ &= (T_2 - T_1) \cdot \alpha \cdot l^2/4C \dots \dots \dots (2.8) \end{aligned}$$

となる。 $x=l$ におけるたわみ角 θ は

$$\theta = (T_2 - T_1) \cdot \alpha \cdot l/2C \dots \dots \dots (2.9)$$

となる。

以上の計算式に諸元を代入して、DM-300 の場合の θ 、 δ_y を求めると表 2.3 となる。この計算式と実験値の対比例を図 2.8 に示す。

一方、コラムの前後・左右の温度差を 1°C 以内に押えて、周囲温度を 0°C と 30°C にした場合の検討を、表 2.4 に示す。

これらの結果から明らかなように 30°C の室温変化があってもその変化が恒温的であれば熱変形は生じないと考えてよい。しかし周囲温度が朝昼といったように徐々に変化する場合でも、各壁面の熱容量差、風の流れ、太陽光線、その他熱源等による温度分布の不均一性を避けることはできないため、高精度の加工を行なう場合は、恒温室内での作業が望ましい。

一方、式 (2.6) にても明らかなように、相対する壁面温度差が同じであってもコラム断面の対辺距離が大きい、高さの低いコラムのほうが熱変形が小さいことがわかる。ダイアックスシリーズ中、DM-250 N は従来のものに比べコラムの幅を広くしているのは、この点を勘案している。

2.6 安全装置

(a) 放電加工機の安全性

放電加工機の安全運転は、一般の工作機械同様に操作機能上の安全性が要求されるのはもちろんであるが、そのうえに、放電加工機は可燃性の鉱物油が使われるため、特に火災に対する安全性が具備される必要がある。以下放電加工機の安全性を防火という点から述

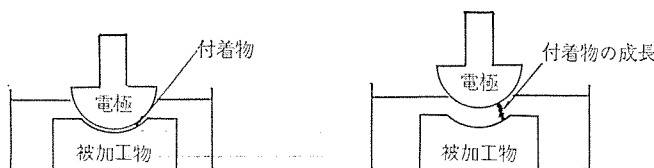


図 2.9 (a) カーボン付着物の発生
Occurrence of carbon adherence. (b) カーボン付着物の成長
Growth of adhered carbon

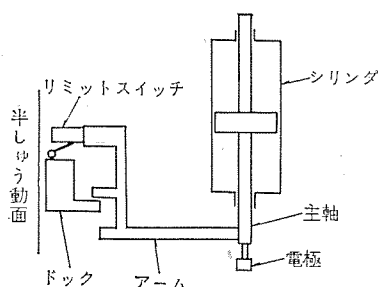


図 2.10 異常加工検出装置
Abnormal machining detector of EDM.

べる。

(b) 火災の3因子

防火を考えるにあたり、火災に関する本質を理解して、その対策を十分に考慮すれば、火災のおそれを少なくすることができる。すなわち、防火にあたってはよく知られている火災の3因子（火気・酸素・燃焼物）の共存を防げば、火災は発生しなくなる。したがって、次項以下に述べる放電加工機の安全装置はすべてこれら3因子の共存の防止を考慮している。

(c) 異常加工検出装置

放電加工中、極間の加工液の循環が悪い場合、極間に加工液の分解によるカーボンの付着物が蓄積し、放電現象がその上端に集中することがある。この付着物はいったん発生すると成長を続けるため、サポ機構により電極が上方に逃げ、ついには電極が液面上に出てしまう。その結果、放電火花が液面上にて行なわれるため加工液の気化成分が液面上に存在する場合、引火・燃焼に至る可能性がある。（図 2.9 参照）。

異常加工検出装置はこのカーボン付着物の成長を検出して、加工を停止し、被加工物の重大な損傷と火災に至ることを防ぐ装置である。この装置の原理図を図 2.10 に示す。

主軸に連結されたアームで、主軸案内面と平行にある別のしゅう動面上に半固定されたドックを押しながら通常の加工状態が移行する。異常加工（カーボン発生）すると主軸の動きは上向きに移動を始めるが、加工電源は正常な状態を示したままである。上向きの量がある程度（約 $15 \sim 20 \text{ mm}$ ）進むと、アーム上のリミットスイッチが off の状態となり加工が停止する。したがって加工面上のカーボンの成長は $15 \sim 20 \text{ mm}$ までで押えられ、最初の加工面を液面下 $30 \sim 50 \text{ mm}$ 以下より始めれば、放電点是最悪の場合でも液面下で行なわれる。

(d) 液面制御装置

放電加工は加工その内に加工液を十分たくわえてその中で行なわれる。加工液内で放電火花が発生しても、酸素の供給がないため火災は絶対に発生しない。一方被加工物の大小によって液面の高さをいろいろ調整するほうが操作上非常に便利である。この調整機構が液面制御装置である。液面が何らかの理由で加工中、低下し放電点が液面上に表われると加工油は燃え上がる。これを防止するため、液面制御装置内にはフロートスイッチが内蔵されており、加工中液面低下があるとただちに加工が停止されるようになっている。

(e) 液温監視

放電加工は加工液内における放電電流による金属の溶解のため、必然的に熱を発生する。この発生熱は加工液の温度を上昇させ、加工液を引火しやすくする。したがってこの温度上昇を監視するため、加工その内には液温検出器が組みこまれており、もし液温が設定値より高くなったら加工を停止する。

2.7 機械構造例

以上述べたように、放電加工機は他の工作機械に比べ特別に考慮しなければならない諸点を有する。実際の放電加工機の構造をダイアックスシリーズ中の代表例として DM-250 N について簡単に説明する。

(a) DM-250 N の概要

DM-250 N 形放電加工機は、1,000 台以上も生産実績（DM-250 を含む）のある中級機で、単一機種では国内最多の生産実績を誇っている。同機の開発にあたっては加工性能面での信頼度を高める一方、操作性の向上に重点をおきテーブルの高さ、ハンドルの位置、間隔、前とびらの重さなどに細やかな配慮をしている。さらに量産機種の

ため、各部分のユニット化、部品の標準化を積極的に行なっている。デザイン の面でも特に考慮されている。たとえば、(1)機械のたて横の線の特長づけ、たて方向に丸味を、横方向にはシャープな角をつけ、それぞれが調和して柔かな感じを与える。(2)機械全体を明るいグリーン色 (マンセル 10 G 5/2)、操作パネルを黒で調和させている。(3)作業の合理化をはかるため機械の右前位置の一か所からすべての操作ができるよう、計測装置・送り装置・電気系装置を配置している。

(b) ヘッドおよびコラム部分の構造

図 2. 11 は DM-250 N のヘッド部分の構造を示す。ヘッド部はコラムのスライド面にそって、手動ハンドルにより、その可動範囲内の任意の位置に固定させることができる。油圧シリンダ⑩はハウジング⑪中央にあり、スピンドル(ピストンロッド兼用)の下端は電極取付具⑧を保持しており、上端部は板⑤が固定され、⑤には 2 個のボールベアリング⑦が取付けられている。ボールベアリング⑦の外周は固定軸⑥をはさみつけられるよう軸⑥はわずかに偏心に加工されている。シリンダ上下のフタ内にはボールラッシュ⑨がローリングコンタクトによってスピンドル⑧をガイドしている。スピンドルの材質は軸受鋼 (SUI-2) を熱処置し表面硬度は HRC 57~64、その真円度は 3μ 以下、ボールの硬度は HRC 60~66 程度である。スピンドルと同じ運動を行なう回り止め軸についても同様に細心の注意が払われている。スピンドル下端にとりつけられた電極は、油圧サーボ弁にて適正な極間距離を維持するよう制御されている。

加工深さの設定はコラム前面に固定されたリミットスイッチ⑫、ダイヤルインジケータ⑬、スピンドルに直結されたスケール⑭、ホルダ、マイクロメータヘッド⑮によって簡単にセッティングできるようになっている。

ヘッド左側面には機械操作に必要なプッシュボタン、切換えスイッチ、加工電圧計等を収めた操作盤が取付けられている。

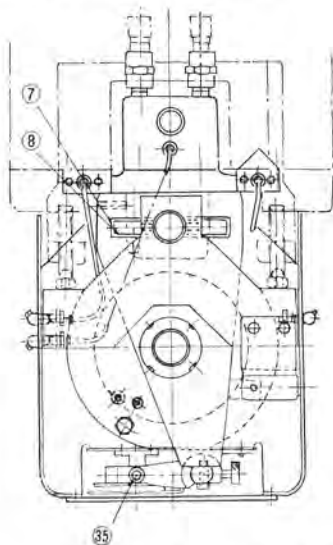


図 2. 11 DM-250 N 形放電加工機のヘッド部分 Head of EDM type DM-250 N.

(c) テーブル、サドルおよび加工そう部分

テーブル、サドル部分は他の一般工作機械と何ら変わるところがない。テーブルの X, Y 軸移動(前後・左右動)は送りネジによって行なう。移動距離はスケールおよびハンドル部のマイクロカラーによって 2/100 mm まで読取ることができる。オプションとして速度計と棒ゲージの併用によって 1/100 mm まで、または光学読取り顕微鏡によって、5/1,000 mm まで読取ることができる。図 2. 12 は加工そう部分の構造を示す。

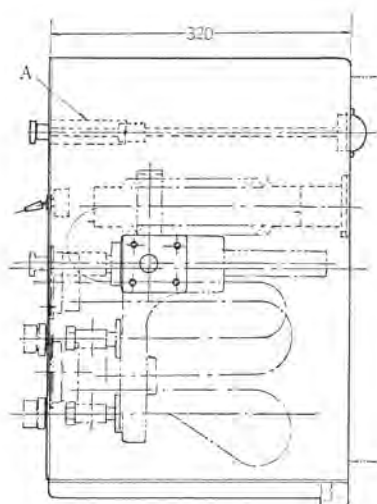
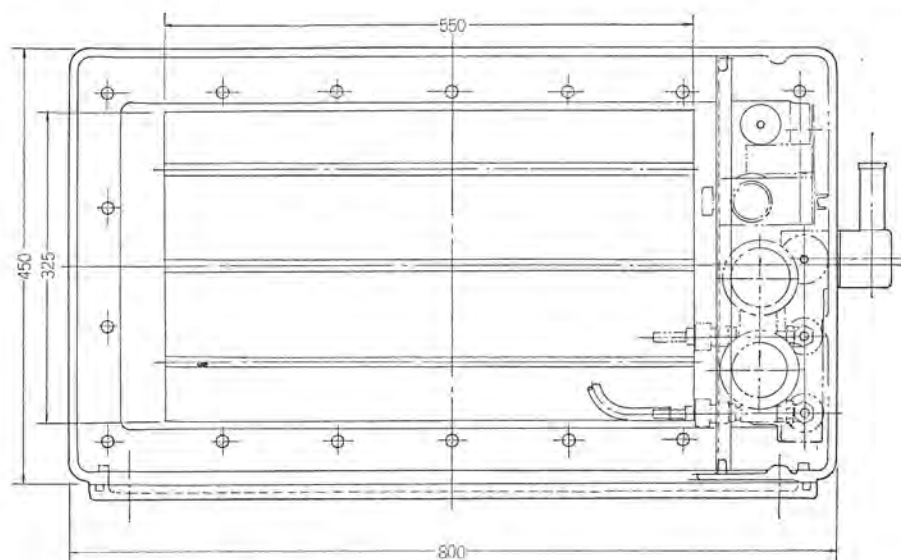
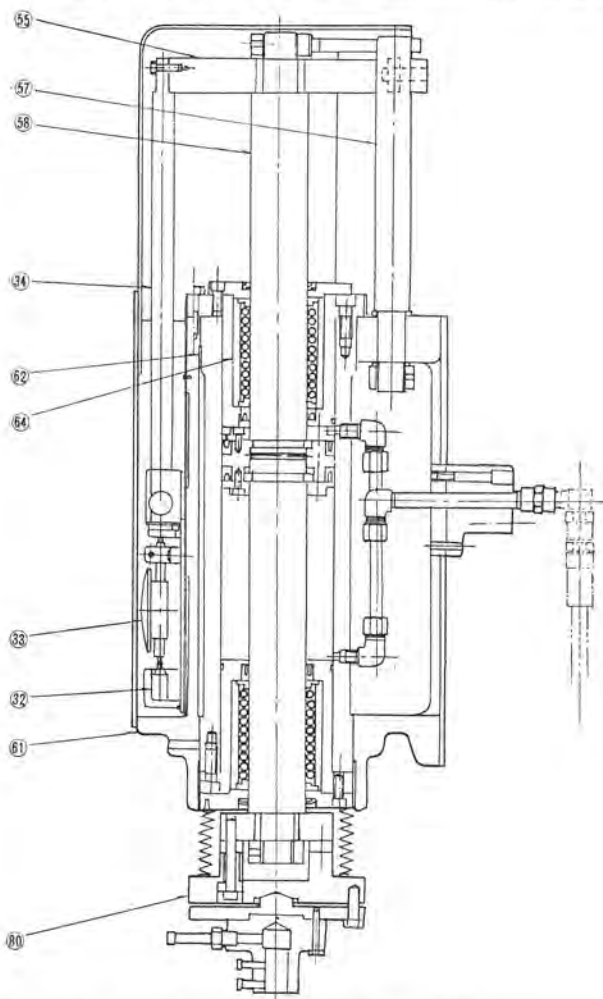


図 2. 12 DM-250 N 形放電加工機の加工そう Working tank of EDM type DM-250 N.

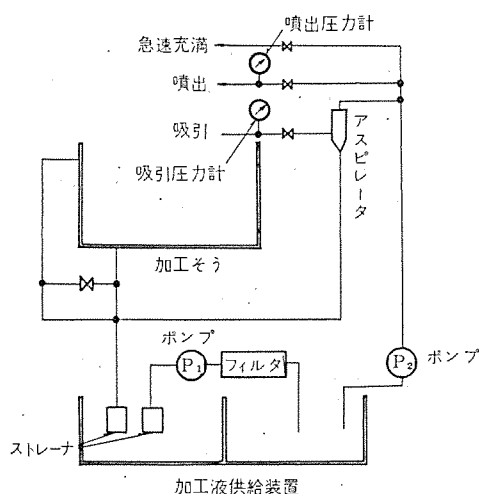


図 2.13 DM-250 N の加工液回路
Circuit diagram of dielectric fluid, EDM type DM-250 N.

す。加工そう全体および前面のフタはアルミ鋳物を採用し、フタとそう全体はカム形式で簡単に着脱できる。加工そうの右上面には加工液の切換えバルブ、フロートスイッチ、排出バルブ、液面制御装置、サーモカップル、加工液圧力計など加工操作に必要なものがコンパクトに取付けである。

(d) 加工液関係

図 2.13 は加工液回路のダイヤグラムである。DM-250 N の場合、加工液供給装置のタンク容量は約 400 l であり、タンク内部は沈殿そうとフィルタによってろ過された油をたくわえる貯蔵そうの二つに分れている。放電加工による加工粉は荒加工の場合は沈殿そうのみでも除去するが、仕上げ加工時の加工粉は油中に懸濁し、適当なる過装置を必要とする。

すなわち加工そうよりタンクへ戻った液は、まず沈殿そうへ導かれ、ここで大きな加工粉を沈殿させる。沈殿した加工粉はタンクの底にあるスラッジ受け皿にたまり、スラッジ受け皿ごと、簡単に取出せる。その上澄みをポンプにてフィルタに送りろ過を行ない、貯蔵そうへたくわえた後、これを加工そうへ送る。したがって加工中には常に清浄な液が極間に供給される。

フィルタには現在、活性白土プリコート式のろ過装置を使用している。そのろ過精度は数 μ の加工粉までろ過可能であり、ろ過容量は DM-250 N の場合 30 l/min である。

(e) 油圧回路について

図 2.14 に油圧回路ダイヤグラムを示す。油圧ポンプは定吐出形ポンプを油中に含浸させて騒音を防ぎ、騒音公害のないように考慮している。油温の上昇は油圧発生装置に組込まれている空冷ラジエタにより一定におさえている。主シリンダは加工停止中、スピンドルが徐々

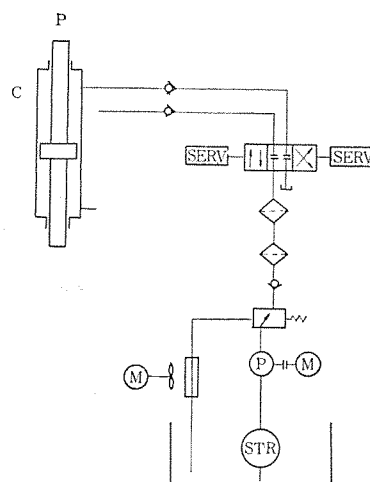


図 2.14 DM-250 N の油圧回路
Hydraulic circuit diagram of EDM type DM-250 N.

に落下しないように特殊のパッキンを使用し内部リークを防ぎ、またシリンダとサーボ弁の間にパイロットチェックバルブを入れてスピンドルの自然落下を防止している。また、サーボバルブはゴミの侵入に対し非常に弱いので、回路中に 2 段のフィルタを設け、ゴミによるサーボバルブの誤動作を防いでいる。

2.8 三菱ダイアックス放電加工機シリーズ

(a) 標準シリーズ

三菱ダイアックス放電加工機は、被加工物の大きさにより小物部品加工用 DM-100 より自動車プレス型加工用 DM-5000 まで、シリーズ化されている。表 2.5 にこれらシリーズ機種の一覧表を示す。また

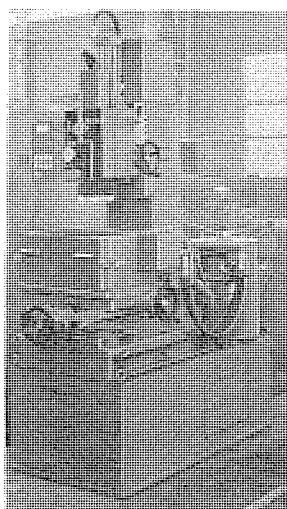


図 2.15 DM-100 N 形
放電加工機
DIAX EDM type DM-100 N.

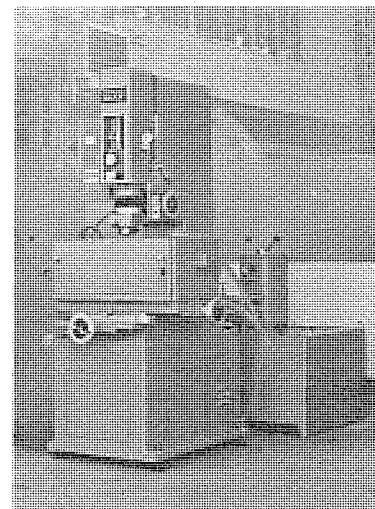


図 2.16 DM-250 N 形
放電加工機
DIAX EDM type DM-250 N.

表 2.5 ダイアックス放電加工機の仕様一覧表

Specification of DIAX EDM series.

諸元	機種	DM-100	DM-250 N	DM-300	DM-500	DM-600	DM-5000
加工そう外形寸法	mm	500×350×220	800×450×320	1,000×650×430	1,400×650×430	2,000×1,500×950	2,900×2,400×1,100
テーブル寸法(幅×奥行)	mm	340×330×200	550×325	650×500	800×600	1,600×1,200	2,500×2,000
テーブル移動行程(左右)	mm	150	280	300	500	2,000	3,000
テーブル移動行程(前後)	mm	100	200	250	400	100	—
ヘッド移動行程	mm	100	150	250	—	—	—
主軸サーボ送り行程	mm	150	150	150	300	400	900
電極取付面寸法	mm	160	160 ϕ	200	400×300	600×700	2,500×1,900
電極取付面とテーブル間との距離	mm	350~100	450~150	600~100	700~400	1,200~800	2,000~1,100
最大電極重量	kg	20	50	100	200	2,000	10,000
機械本体重量	kg	700	1,600	2,200	4,500	10,000	55,000
機械高さ	mm	2,070(1,470)	2,020	2,040	2,800	3,950	6,305

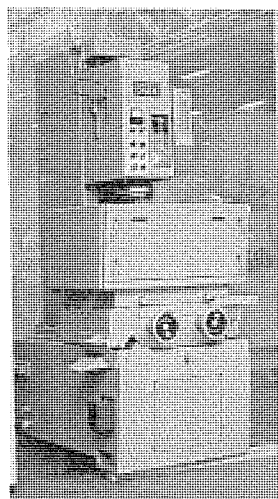


図 2.17 DM-300 形
放電加工機
DIAX EDM type DM-300.

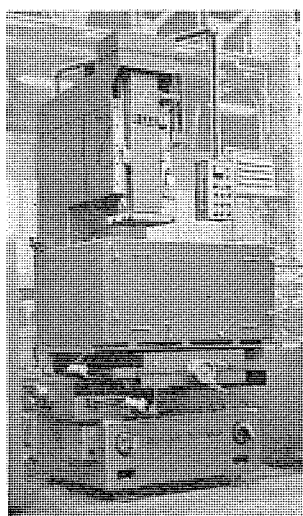


図 2.18 DM-500 形
放電加工機
DIAX EDM type DM-500.

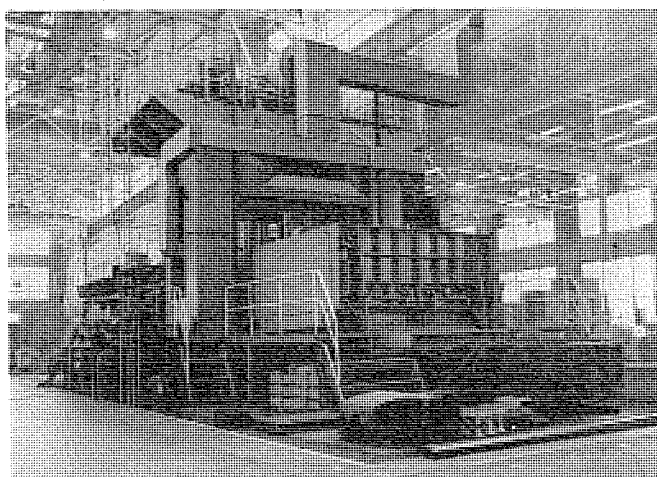


図 2.19 DM-5000 形 放電加工機
DIAX EDM type DM-5000.

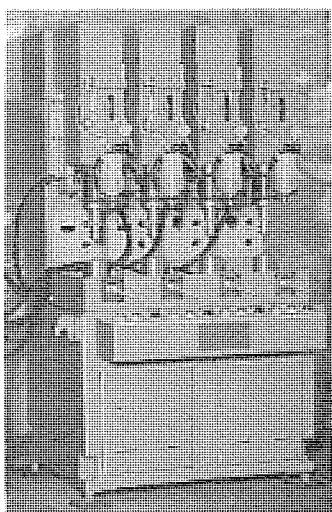


図 2.20 4 軸ヘッド 特殊放電加工機
DIAX special EDM with 4 head.

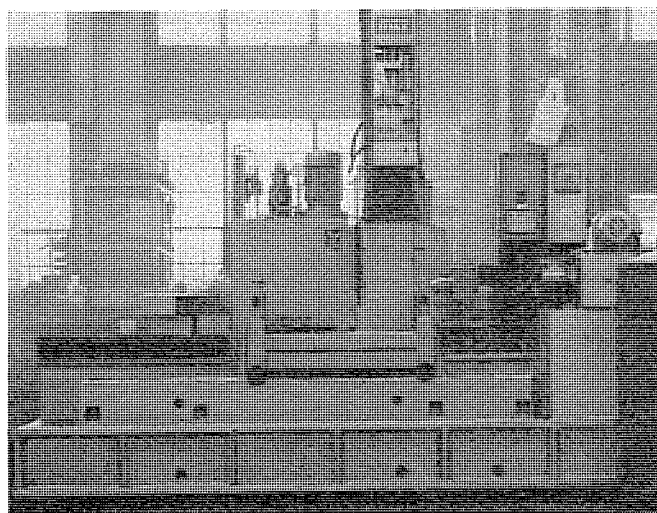


図 2.21 ロール 刻印用 放電加工機
DIAX special EDM for roll die.

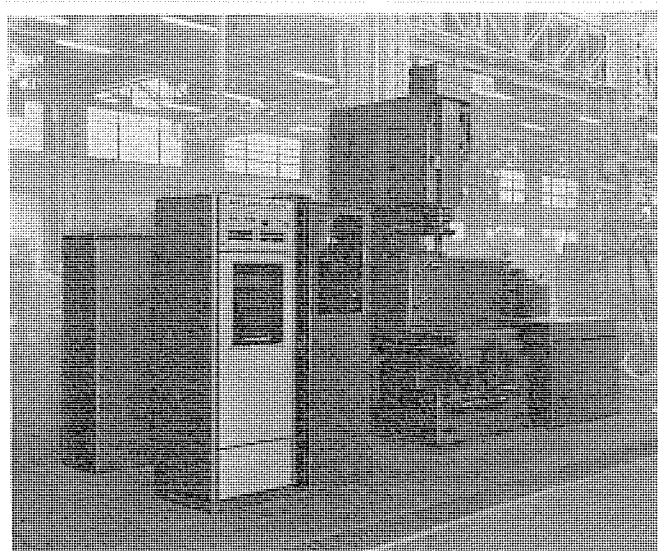


図 2.22 自動工具交換装置付き N/C 放電加工機
N/C EDM with automatic electrode changer.

図 2.15～2.19 にはそれぞれの外形写真を示す。

(b) 特殊放電加工機

放電加工機用電源の進歩および放電加工機の普及化につれ、一般

の金型加工等の分野のみならず機械部品の加工分野に相当数の放電加工機が用いられている。この場合前項の標準機にて十分使用できる場合が大半であるが、使用効率を上げるため種々の特殊機が開発されている。図 2.20～2.21 にはその代表例を示す。図 2.20 には 4 軸の放電加工機で各軸はそれぞれ独立した電源・サーボ系・操作系を有し、加工条件は荒加工から仕上げ加工に自動的に切換えができるようになっており、小物部品のマストロ機である。図 2.21 はロール刻印用放電加工機で、模様付線材の引抜用ローラの加工に用いられている。ロールの各角度割出し、各加工条件の切換えは自動的に切換えられる。図 2.22 は昭和 45 年発表された完全自動機の DM-500 EC である。本機は加工状態の適応制御装置、加工条件のプログラミング装置はもちろん、自動電極交換装置、テーブルの自動位置決め装置を有しており、初めにこれら最初の設定条件をテープに読みこんでおけば、加工中おこりうる変動要素（電流・電圧の変動、極間の炭化物や、加工粉の滞留化等による間げき状態の変化等）の最適制御化が行なわれ、加工当初より最終工程まで、初めの電極およびワークのセッティングを除いて、まったく人手を借りずに加工が進行する。

3. ダイアックス放電加工機の電源系

3.1 放電加工機の電源の特質

放電加工は、一般工作機械の電源のように、電気エネルギーを機械

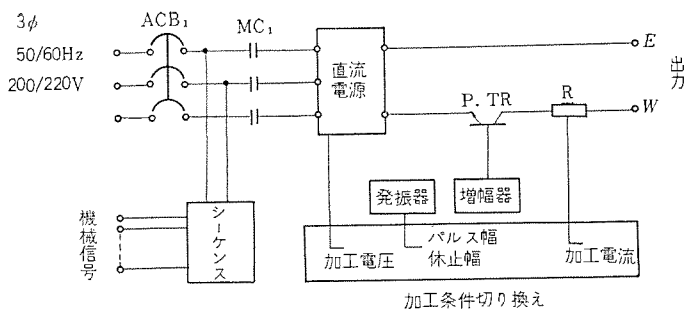


図 3.1 DE-90 T のブロック図
Block diagram of type DE-90 T power supply.

表 3.1 DE-90 T 仕様書
Specification of type DE-90 T power supply unit.

1	電源入力	AC 3φ 50/60 Hz 200/220 V 4.5 kVA
2	回路方式	TP (トランジスタ回路) SF (コンデンサ回路)
3	最大加工電流	52 A
4	加工条件切換え	(a) 電源切換え TP, SF (b) 放電安定入, 切 加工時間 10ノッチ 排出時間 10ノッチ (c) TP 電源 (d) SF 電源 加工セッティング 6ノッチ 加工セッティング 6ノッチ コンデンサ 6ノッチ 電圧切換え 60 V 80 V パルス幅 12ノッチ 休止時間 12ノッチ
5	加工性能	表 3.4 参照
6	電源盤の塗色, 工作仕様は制御装置一覧表による。	

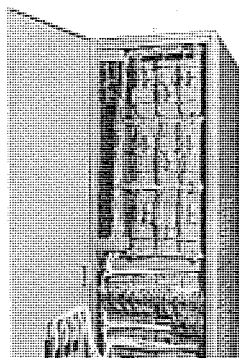


図 3.2 DE-90 TM の内部
Interior view of type DE-90 TM power supply.

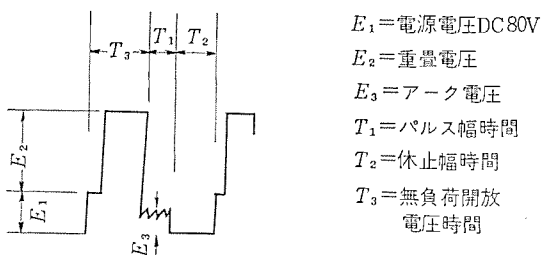


図 3.3 F 回路のギャップ電圧波形
Gap voltage wave form of F circuit.

表 3.2 F 回路の最良面あらさ Roughness of F circuit.

1	電極消耗比 1% 以下の場合 電極: 銅 ワーク: 銅	6~7 μR max
2	電極消耗比 数% の場合 電極: 銅 ワーク: 銅	3~4 μR max
3	鉄対鉄の加工 電極消耗比 10~20 %	約 10 μR max
4	超硬合金の加工 電極: 銅, Ag-W, Cu-W ワーク: 超硬	3~5 μR max

的力に変換して加工するのと違い、電気エネルギーにより直接、被加工物を加工する。したがって電気エネルギーを制御する加工電源は、その放電加工機の加工性能を決める重大な要素となる。また放電加工機の用途が拡大され、今日に至っているのも、加工性能に影響する電源の進歩によるところが大きく、それはひとえに、放電波形の基礎的解析、半導体エレクトロニクスの背景によるところである。

加工電源を分類すると、回路方式としては従属式と独立式パルス電源に分れ、基本的には、パルス性放電を安定に持続して発生できる回路が望ましく、トランジスタのスイッチングの特性を用いた独立式パルス電源が波形制御も容易なため多く用いられる。一方加工特性上からは、貫通穴加工特性とか底付穴加工特性を有しているかにより分類される。

一方、放電加工機は作業合理化、省力化に適した機械として迎えられ、電源もしたがってそのような機能の付加や、重要な加工操作・加工技術をも、オートマチックに制御する方向に向っている。ここに三菱ダイアックス放電加工機電源の制御方式の特長をのべ、電源シリーズの紹介をする。

3.2 ダイアックス放電加工機電源の制御方式

電源は加工特性上から分類して、貫通穴加工特性として高周波重量コンデンサ形電源、底付穴加工特性としてサイリスタ形電源、両特性をもったトランジスタ形電源とに分れる。電源の設計には、(1)加工特性、(2)機能、(3)デザイン、(4)電気回路特性検討等の仕様の下に始まる。保守点検性・信頼性・フロアスペース等の考慮、特に放電加工機の場合、高い周波数、高出力のパルスの発生、主回路制御回路の混合実装によるコンパクト化等の条件があり、実装方法については、高密度化、せまいフロアにおける点検性、さらにはノイズ対策として、回路のユニット化による安定化、母線配線化、配線のシールド化、ツイスト、信号回路と主回路の分離、浮遊容量の影響の減少化等を行なっている。DE-90 T のブロック回路図、仕様を図 3.1、表 3.1 に示す。実装写真を図 3.2 に示す。

3.3 F 回路

従来のトランジスタ電源の特長に F 回路を付加すると、(1)仕上げ加工領域の加工性能が低電極消耗条件で 5~6 μR max の仕上げ面まで得られる。(2)鉄対鉄の加工が安定・高能率に加工でき、従来の電源の数倍の加工速度が得られる。(3)F 回路の場合、加工電流の細分化を行ない、細い加工電流の調整を可能にした。などの特長が付加される。この回路は主回路 (80 V) に高い電圧 (200~300 V) の電圧を同期して重畳し加工の安定をはかる。このときの極間の波形を図 3.3 に示す。表 3.2 に面粗度特性を表す。

3.4 オプティマイザ

オプティマイザの特長は、(1)定常アークの前駆現象を検出して安定加工を行なう。(2)したがって熟練者が注意深く加工するときと同様に、加工条件を選択して加工を進められる。(3)オペレータが加工途中で監視・調整することが不要になり多数の機械を運転できる。(4)加工に個人差がなくなる。(5)夜間でも無人運転ができる。などである。

オプティマイザの機能には、(1)アダプティブコントロール、(2)プログラムコントロールがある。その機能の組合せにより四つの機種がある(表 3.3)。図 3.4 は OP-1、図 3.5 は OP-3 を示す。

(a) アダプティブコントロール⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾

この回路は加工間げきの状態を検出・判断し、間げきの絶縁回復状態に応じて定常アークにならない範囲で最も加工率の高いパルス条

表 3.3 オプティマイザ機種名
Series of optimizer.

OP-1=(アダプティブ+NC式プログラム)
OP-2=(アダプティブ+リミットスイッチ式プログラム)
OP-3=(アダプティブ)
OP-4=(リミットスイッチ式プログラム)



図 3.4 OP-1 制御盤
OP-1 control panel.



図 3.5 OP-3 制御盤
OP-3 control panel.

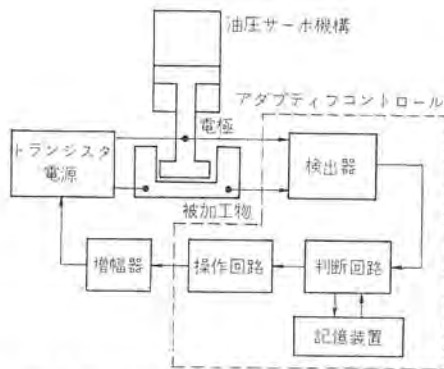


図 3.6 アダプティブコントロール装置動作説明
Block diagram of adaptive control circuit.

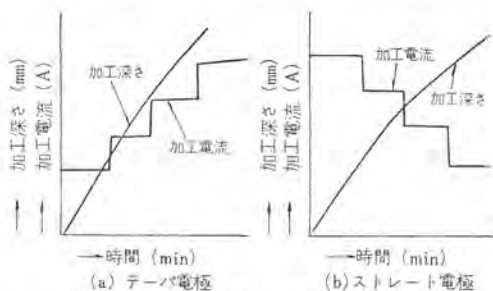


図 3.7 加工深さと電流の関係
Relation between working depth and working current.

件で、平均加工電流（すなわち デューティファクタ）を選び、安定な場合には平均加工電流が増加するように働かし、不安定な場合は加工電流を減少させ、再び安定状態に回復すれば、電流を増加するように働らく。ブロック図を図 3.6, 3.7 に示す。したがってたとえば深穴加工の場合は、深く加工が進むに従い、平均加工電流をしぼる働かしをする。この装置を働かせる場合は、最初に電極消耗、面あらし、クリアランスなどから決められるパルス条件を一度設定すれば、そのプロセスが終わるまで、途中の監視調整が不要となる。

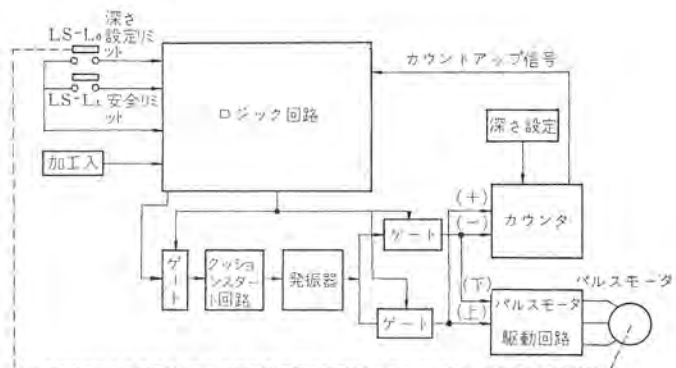


図 3.8 OP-1 ブロック図
Block diagram of OP-1 control circuit.

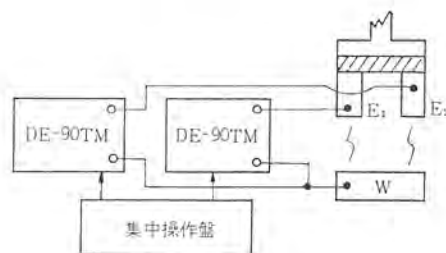


図 3.9 マルチリード接続方式
Multi lead connection.

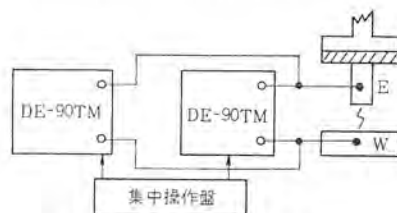


図 3.10 パワーアップ接続方式
Power-up connection.

(b) プログラムコントロール

放電加工は荒・中・仕上げと加工段階に応じて放電パルス条件を切換えていくものである。本装置では各段階を、電流ピーク値・パルス幅・休止幅・放電安定装置の各条件をプリセット（4 段階まで可能）して、加工深さに応じて加工条件を自動的に切換え、加工途中の操作をなくした装置である。この装置は深さ設定の方法により、(1)リミットスイッチ式、(2)デジタル深さ設定式とがある。図 3.8 に(2)のブロック図を示す。

3.5 マルチパワー方式

この方式は一つの特長な電極送りサーボ機構を備えた機械本体に、2 台以上の加工電源を接続して加工を行なう方式である。つまり各電源の出力を電極とワークの間に接続して放電加工を行なうのであるが、電極を絶縁するときと絶縁せずに並列運転する場合とにより分類され、前者をマルチリード方式、後者をパワーアップ方式と呼び、総称してマルチパワー方式と呼ぶ。

(a) マルチリード方式

これは図 3.9 に示されるように面積のほぼ等しい 2 個以上の電極を絶縁して、おのおのの電極に互いに独立した電源の出力を接続して放電加工を行なう方式である。この場合の加工速度は、電源が 2 台のときは 2 倍、3 台のときは 3 倍に近い加工速度が得られることを期待している。用途としては、(1)同一種類の加工を 2 個以上行なう必要のあるもの、(2)一つのワークピース上に 2 個以上の型を彫る必要のあるもの、(3)電極面積が比較的大きく、いくつかに分

割して加工したほうが良いもの、などに用いられる。

(b) パワーアップ方式

これは、主電源のパルス周波数に他の電源のそれを同期させて並列運転を行なう方式で、図 3. 10 に示す。各電源の出力電流が加算されて極間に供給される。1 台の電源の出力は小さくても、比較的大きな加工電流が得られ最大加工速度が増加する。したがって大きな電極で荒加工する場合有効である。

マルチパワー方式の電源にはその他の機能として 2 台の機械のどちらにも接続して加工を行なうことができる。したがって 2 台の機械に複数の電源を接続することにより、いろいろの組合わせで電源を使用できる。その例を図 3. 11 に示す。この図では電源切換盤によって各電源にマルチリード接続か、パワーアップ接続か、シングル接続か、の指示を出し、電源相互のインターロック、出力フィードの切換え、機械本体と電源間の信号ケーブルの切換え等を行なう。

3. 6 アダプティブサーボ

この方式は電極を分割して、それぞれ独立した電源の出力を接続したマルチリード方式の場合に用いられる。従来の方法は複数の電極の中の、平均加工電圧の低いものを常時検出して制御する方法なので、平均加工電圧の高いほうの他の電極の放電が遊ぶ場合があり、分割効率が低下する傾向が一般的に見られる。(図 3. 12 参照) たとえば 2 分割 80 %、4 分割 60 %、6 分割 50 % に低下する。このアダプティブサーボ制御方式では平均して 90 % は得られる。

これはサーボ系の制御パラメータを極間の状態により最適に制御するもので、基本的には、安定加工の場合は、すべての電極の加工が進むように、電極を送りこみ、加工ギャップを縮めるようにする。不安定加工の信号が入った場合は、安全サイドの加工電圧を選択検出して加工電圧を制御する。したがって極間の状態を監視し、常に安全で、一番加工電流が入る方向に加工電圧を制御する回路である。

表 3. 4 ダイアックスシリーズ化電源リスト
Specification and characteristics of Mitsubishi DIAX EDM power supply unit.

	標準形トランジスタ電源				F 回路トランジスタ電源		マルチパワー方式トランジスタ電源										スプリットタイプ	サイリスタ電源		
	DE-30T	DE-90T	DE-180T	DE-300T	DE-30TF	DE-90TF	DE-30TM	DE-60TM	DE-90TM	DE-120TM	DE-180TM	DE-300SM	DE-500SM	DE-120T-SL	DE-150S	DE-300S-9T	DE-500S-9T			
最大加工速度 電極+銅グラファイト g/min	0.7~0.8	2.5~3	4.5~5	9~10	0.7~0.8	2.5~3	0.7~0.8	1.3~1.5	1.8~2	2.5~3	4.5~5	9~10	14~15	2.5~3 (12本リードを合計した場合)	5~5.5	9~10	14~15			
最良面あらさ ()内は低消費条件	μR_{max}	0.8~3	0.8~3	0.8~3	0.8~3	0.8~3 (5~6)	0.8~3	0.8~3	0.8~3	0.8~3	0.8~3	100~120	100~120	6~8	2~3	0.8~3	0.8~3			
	$\mu C, L, A$	0.2~0.8	0.2~0.8	0.2~0.8	0.2~0.8	0.2~0.8 (1.3~1.5)	0.2~0.8	0.2~0.8	0.2~0.8	0.2~0.8	0.2~0.8	25~30	25~30	1.5~2	0.5~0.8	0.2~0.8	0.2~0.8			
電極消耗比 %	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下			
最大平均加工電流	18	52	74	120	18	52	18	27	37	60	74	120	200	60	80	120	200			
電源入力	2	4.5	7	12	2	4.5	2	3	4.5	6	7	20	32	6	15	20	32			
外形寸法 (幅×奥行×高さ) mm	600×725 ×1,600	600×1,025 ×1,600	600×1,200 ×1,600	600×1,300 ×2,010	600×725 ×1,600	550×800 ×1,600	600×850 ×1,675	600×850 ×1,675	600×1,000 ×1,675	685×1,000 ×1,805	600×1,200 ×1,600	電源箱 1,000×1,000 ×2,350 抵抗箱 550×1,000 ×1,450		710×825 ×1,550	電源箱 700×650 ×1,800 抵抗箱 700×400 ×1,325		電源箱 1,100×1,000 ×2,350 抵抗箱 550×1,000 ×1,450			
加工適性	貫通穴加工 底付穴加工	貫通穴加工 底付穴加工	貫通穴加工 底付穴加工	貫通穴加工 底付穴加工 (特に鈍造型などの大物の高速加工)	貫通穴加工 底付穴加工 底消耗仕上げ加工 鉄対鉄の加工	貫通穴加工 底付穴加工 底消耗仕上げ加工 鉄対鉄の加工	マルチパワーまたはシングル使用 貫通穴加工、底付穴加工						マルチパワーシステム 荒加工専用	数貫給最の通電大ス穴可分リ・能割ッ底機数ト付枝12細穴台穴加数加工2工、に特最に適多	底付穴専用 モールド型加工に最適	底付穴加工 貫通穴加工 大物の高速加工に向く				

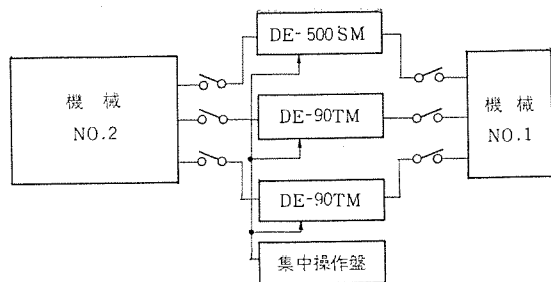


図 3.11 マルチパワー方式切換
Multi power system.

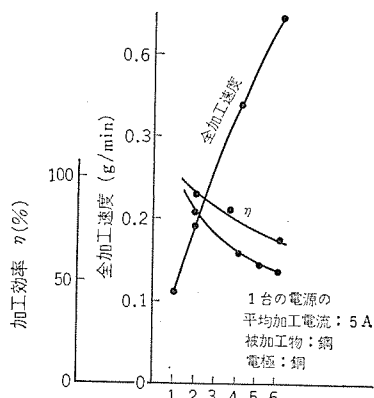


図 3.12 分割数と加工効率 η との関係
Relation between split nos. and machining efficiency.

図 3.13 にブロック図を示す。

3.7 ダイアックス電源シリーズ

ダイアックス電源シリーズの中には、高周波重畳コンデンサ電源 DE-24 H, サイリスタ電源シリーズとして DE-150 S, 300 S, 500 S がある。トランジスタ電源としては、標準形トランジスタ電源タイプとして DE-30 T, 90 T, 180 T, 300 T があり、それに F 回路を付加した電源として DE-30 TF, 90 TF, 180 TF, 300 TF がある。またマルチパワー方式の電源としては DE-30 TM, 60 TM, 90 TM, 120 TM 等がある。またマルチパワー方式に F 回路を付加したものに DF-90 TMF, 120 TMF 等がある。またマルチパワー方式の加工量の多いものに DE-300 SM, 500 SM がある。また、F 回路を従来の DE-30 T, 90 T に付加できるようにアダプタ形式にしたものに F アダプタ等がある。表 3.4 にシリーズ電源の代表的な性能表を示す。

4. む す び

放電加工機は、加工技術の開発、機械性能の向上、さらに電源性能の進歩に伴い、従来の工作機械の分野にまで進出してきた。

本文では、これらの機械・電源について本質的に具備しなければ

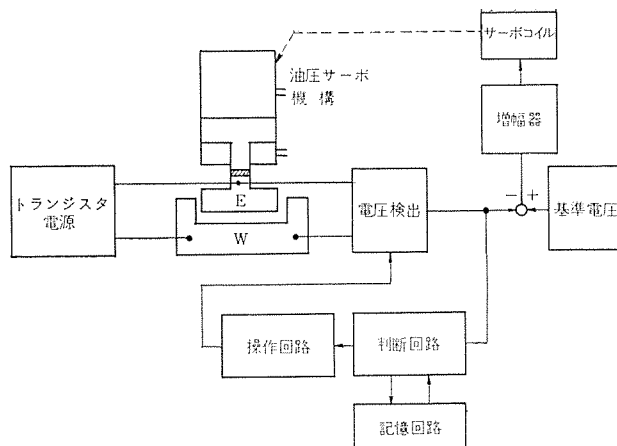


図 3.13 アダプティブサーボコントロール
Block diagram of adaptive servo-control circuit.

ならない種々な条件、ならびに新しい制御方式等について述べた。これらの条件は機械・電源とも、発展度が進むにつれ、さらに高度化、厳密化してきている。たとえば、機械精度の向上・専用機化・群管理システム・NC 化、最終的には完全無人化まで進むものと思われる。これらの発展は、研究者・使用者・製作者一丸となって初めて成し遂げられるもので、今後ますます諸賢のご協力をお願いする次第である。

参 考 文 献

- (1) 斉藤, 小林: 電極分割方式による実験, 精機学会関西地方講演会資料 (昭 43)
- (2) 電気・油圧サーボ機構の簡易設計法, 東京精密測器(株)発行資料
- (3) 完全装置の完備した三菱ダイアックス放電加工機, 三菱電機カタログ
- (4) 青島, 小林: 超大形放電加工機 DM-5000, 三菱電機技報 45, No. 2 (昭 46)
- (5) 斉藤, 小林: 第 52 回電気加工研究会資料
- (6) 吉田: 工作機械の熱による変形(1), (2), 機械の研究 16, No. 2, No. 3
- (7) 斎藤, 久慈, 小林: 電気加工の適応制御, 精機学会シンポジウム (昭 44-7)
- (8) 斎藤, 小林: 放電加工による適応制御の一手法, 電気加工学会誌 3, No. 6
- (9) 斎藤, 小林: 放電加工における適応制御, 三菱電機技報 44, No. 12 (昭 45)

放電加工における最近の技術的進歩

小林 和彦*・高橋 義博*
石川 倫康*・高木 茂*

Recent Advances in Electrical Discharge Machining

Nagoya Works Kazuhiko KOBAYASHI・Yoshihiro TAKAHASHI
Noriyasu ISHIKAWA・Shigeru TAKAGI

Electrical discharge machining has made great improvement in machining characteristics by the advent of electric power supply in solid state. Then introduction of adoptive control system to it has brought about unmanned operation, resulting in sharp improvement of the working efficiency. Since the automatic operation for labor saving is the trend of the time, further improvement has been worked out by much higher technique in the control and NC discharge machining has been developed. On the other hand development has been made to improve the discharge machining characteristic itself. A high voltage superimposed circuit to obtain better finishing surface roughness under stable work and a multilead system to increase the machining rate several times are good examples.

Herein in introduced technical advance in electrical discharge machining and also is reported on the result of study made on the phenomena of this machining.

1. ま え が き

放電加工法は、そのうぶ声をあげて以来すでに二十数年、現在この加工法の工業的重要性は、金属加工においてますます大きくなり、とくに金型加工の分野において確固たる地位を占めるに至っている。このように著しく発展した理由として、絶えまない技術的進歩によるところが大きい、とりわけ放電加工用電源のソリッドステート化によって、加工特性が一段と向上したことは、それ以後の進歩を加速度的に促進させたという点で、その意義は大きい。トランジスタ電源を用いて行なった、放電加工特性についての実験結果の詳細を、すでに本誌 41 No. 10・1967 で報告している。

放電加工法が広く工業界に利用されるようになってくると、複雑な形状のものを能率よく加工するというような要求がでてきて、自動化・省力化が強く望まれるようになった。その結果開発されたのが、時々刻々変化する加工状態に対処して、それに応じた加工条件を自動的に設定することのできる放電加工の適応制御で、これにより無人運転が可能になり、加工能率の大幅な向上が実現されるようになった。さらに、このような自動化をいっそう進めたのが、NC放電加工機で、これは1970年秋の国際工作機械見本市で発表、大きな反響を呼んだ。

一方、その間加工特性そのものを向上させるための開発も行なわれ、きわめて安定な加工のもとに、良好な仕上げ面あらかさの得られる高電圧重畳放電回路や、加工速度を数倍に増加させることのできる分割加工法等は、その良い例である。

以上のような次第で、最近の放電加工の技術的進歩には著しいものがあり、いわば技術革新だと言っても過言ではないかと思う。今後ともさらにいっそうの発展が期待できそうである。

ここでは、前述したような技術的進歩について順を追って紹介するとともに、最近の比較的新しい放電加工の諸現象と加工特性についても報告したいと思う。

2. 放電加工諸現象と加工特性

2.1 放電による気体の発生量と加工特性の関係

放電加工の電極消耗機構として、熱的な因子が支配的であると言われている⁽¹⁾⁽²⁾。すなわち、放電点の電力密度が非常に高く ($10^5 \sim 10^8 \text{ W/cm}^2$)、その結果電極点のきわめて高い温度になるので、電極材料の一部の蒸発・溶融と、さらに加工液の爆発的な気化にともなう衝撃圧力が電極消耗機構の主たる要因であるという説明である。

放電加工に用いられる加工液は、一般に灯油(ケロシン)のような絶縁性液体が主であるから、これが放電熱によって熱分解され、炭化水素系の気体になる。この気化現象が急激であると、上述の衝撃圧力が発生し、電極消耗機構の一要因となる。したがって、気体の発生量は当然、電極の消耗量と密接な関係にあると考えられよう。

ところで、加工液の熱分解に関する調査については、非定常放電(unsteady electrical discharge)を用いた熱分解によるケロシンの気体発生量についての非常に詳しい報告⁽³⁾があり、さらにまた、高速度カメラで写真撮影を行なうことにより、放電時に発生する気泡(泡)(gas bubble)の成長と崩壊を観察した研究⁽³⁾⁽⁴⁾等である。前者は、熱分解により気体を生成することを主目的としたもので、放電加工における気体発生とは少し趣きを異にし、また後者は単発放電による観察が中心なので、実際の連続放電加工における気体発生量の調査についてはまだ明らかにされていない。そのようなわけで、筆者等はその関係を究明するために、種々な実験条件の下で実際に放電加工を行ない、発生する気体量を計測した。その結果より、電気条件と電極材料に対する気体発生量の関係を求め、さらに加工特性との関係をも明らかにした。

2.1.1 実験方法および装置

放電によって発生する気体を計量するための装置を図2.1に示す。この装置の原理は、極間において放電加工により発生した気体をアスピレータで吸引し、収集ビンに送って所定時間で発生した全気体量を計測する。電極および被加工物は、常時加工を安定に保つため、加工深さとともに加工形状が変化しないように、両方とも30

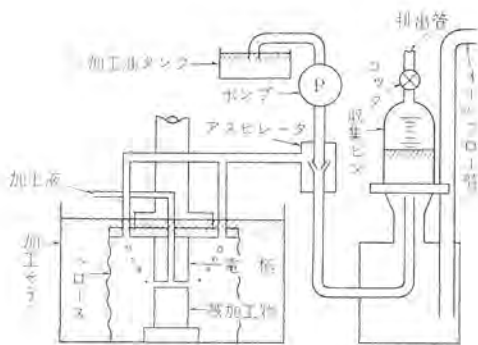


図 2.1 気体計量装置
Measuring apparatus of discharge gas yield.

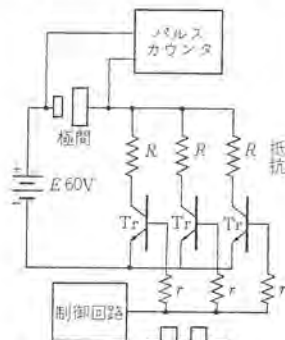


図 2.2 トランジスタパルス発生回路
Transistor power supply.

表 2.1 加工油の性状表
Property of dielectric fluid.

比	重 15/4°C	0.873
分 留 性 状	初 留 °C	205
	終 点 °C	280
引 火 点 °C		81
反 応		中 性
ア ー ク 点		37.2

mm 直径の円柱を用いて加工を行なった。極間間げきの周囲をベローズで囲み、気体が漏れ出ないような配慮がなされている。

放電回路は、図 2.2 で示すようなトランジスタスイッチング式放電回路で、方形波パルスを生じ、そのパルス幅を 20~700 μ s、放電電流ピーク値を 25~50(A) の範囲で数段階に変えて実験を行なった。加工中の放電パルスは、パルスカウンタで計数し、その結果で全気体発生量を除することにより、単一パルス当たりの気体発生量を計算で求めた。

さらに、極間における消費エネルギーと密接な関連をもつアーク電圧については、放電開始後所定時間を経過したときのアーク電圧をいったん電氣的に保持し、その電圧をデジタルボルトメータで測定した。放電開始後の経過時間に対するアーク電圧と、さらにその電圧の電極材料の種類に対する変化を求めた。電極材料は銅、グラファイト、アルミおよび銻鉄、被加工物は鋼 (SK-5) を用いた。なお、加工油は、通常の灯油 (ケロシン) に比べ比較的引火点の高い、第 3 石油類のものを使用したが、その性状を表 2.1 に示す。

2.1.2 実験結果と考察

パルス幅および放電電流を変化させた場合、単一放電パルス当たりの気体発生量がどのように変化するか、それらの関係を求めた実験結果を図 2.3、2.4 に示す。これらの結果より、単一放電パルス当たりの気体発生量は、非常に電氣的条件に影響を受けていることがわかる。たとえば、図 2.3、2.4 の曲線のこう配より、パルス幅

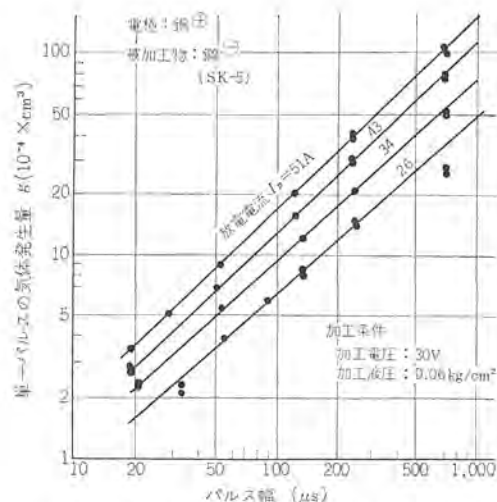


図 2.3 気体発生量とパルス幅の関係
Gas yield per single discharge as a function of discharging period.

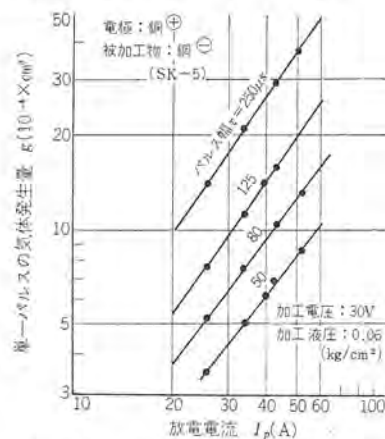


図 2.4 気体発生量と放電電流の関係
Gas yield per single discharge as a function of discharging period.

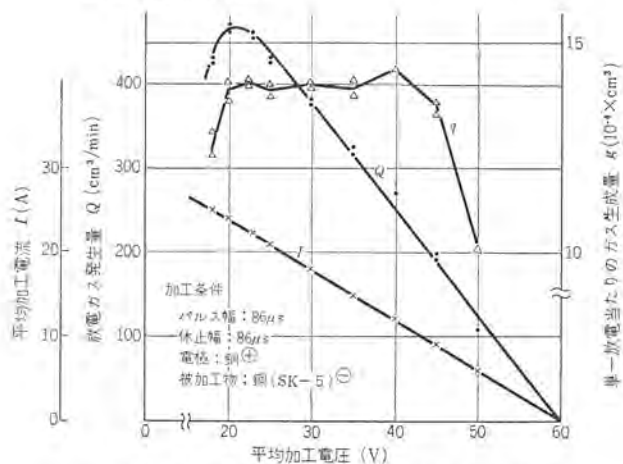
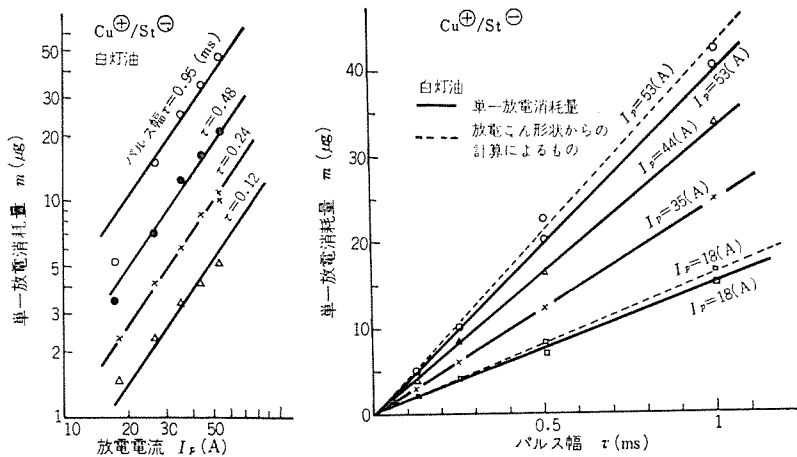


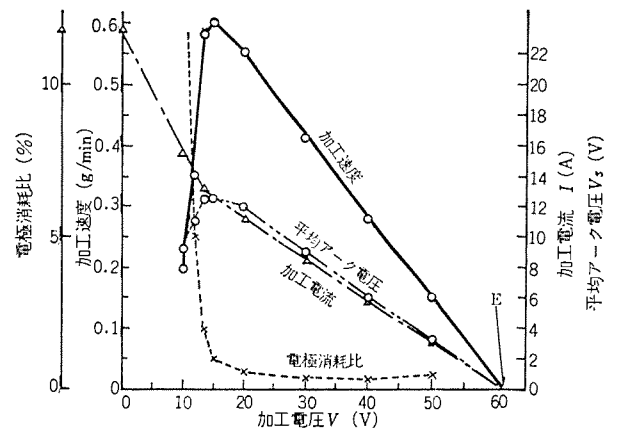
図 2.5 気体発生量と平均加工電圧の関係
Relation between gas yield and average working voltage.

に対しては、放電電流ピーク値 I_p が一定であれば、気体の発生量 (大気圧の下で) はほぼ比例して増加しているが、放電電流ピーク値 I_p に対しては、パルス幅 τ 一定の場合むしろ等比級数的に変化していることがわかる。図 2.5 は、平均加工電圧を変化させた場合の気体発生量を示し、やはり加工条件によって相当大幅に変化していることがわかる。ここで、単一放電当たりの気体発生量が、加工電圧の変化に対して一定でなく、電圧の高いところ (45V 以上) と低い



(a) Cu⁺/St⁻ の場合の銅の単一放電消費量

(b) Cu⁺/St⁻ の場合の銅の単一放電消費量



(c) 加工電圧を変化させた場合

図 2.6 加工特性と電気条件との関係

Relations between machining characteristics and electrical conditions.

表 2.2 電極材料に対する気体発生量 ($10^{-4} \times \text{cm}^3$)
Gas yield for various electrode materials.

パルス幅	材料	Gr ⊖	鋳鉄 ⊕	Gr ⊕	Al ⊕	Cu ⊕
19 μs		4.36	4.04	4.18	2.02	3.54
30 μs		6.98	6.31	6.29	5.65	5.32
52 μs		11.4	10.3	—	9.50	8.81
86 μs		—	16.7	16.5	15.3	14.0
125 μs		23.5	23.5	23.5	21.1	19.9

加工条件 放電電流 51 A, 平均加工電流 17~18 A, 被加工物鋼 (SK-5)

ところ (20 V 以下) で減少しているのは, 加工が若干不安定になり, 短絡等が発生して加工に寄与しない無効パルスが存在しているからであろうと思われる。

いずれにせよ, 気体発生量は電気条件と密接な関係にあることが明らかになったが, これらの関係は, ちょうど筆者等が以前に実験結果として報告した加工特性と電気条件との関係⁽⁵⁾, たとえば図 2.6(a), (b), (c)とときわめて類似したところがあり, このことから気体発生量と加工速度とは, 同じような放電加工のメカニズムに起因していると見たほうがよさそうである。すなわち, 気体の発生は, 当然のことながら, 放電熱の作用によると考えられるから, 比較的パルス幅の長い方形波パルスを用いる場合には, 加工機構も熱的作用によるところが非常に大きいと推察されよう。

ところで極間に与えられる単一パルスの消費電力, $p(\text{joule})$ は, 放電電流ピーク値を $I_p(\text{A})$, パルス幅を $\tau(\text{s})$ とすれば,

$$p = \int_0^\tau e_g \cdot I_p dt$$

で与えられる。ここで e_g は, 極間における放電電圧 (V) (図 2.7(a)) で, 電極材料が同一ならば放電中はほぼ一定電圧を示す。したがって e_g を一定電圧とすれば, 上式は

$$p = (I_p \cdot \tau) e_g$$

となり, I_p と τ の積で消費電力が決定されることになる。前述したごとく, 気体発生量がパルス幅 τ にほぼ比例することから, パルス幅 τ の変化は, 極間におけるある放電状態を単に時間的に増減させることだとみなすことができそうである。しかしながら放電電流ピーク値に対しては, 気体発生量が I_p に対して等比級数的に変化しているの, この値が大きくなるにしたがって, 上記消費電力の極間における放電熱作用に及ぼす効果が増大していくと思われる。

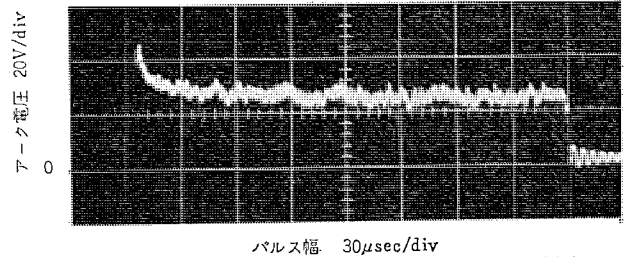


図 2.7(a) 極間における放電電圧波形
Oscillogram of discharge gap voltage.

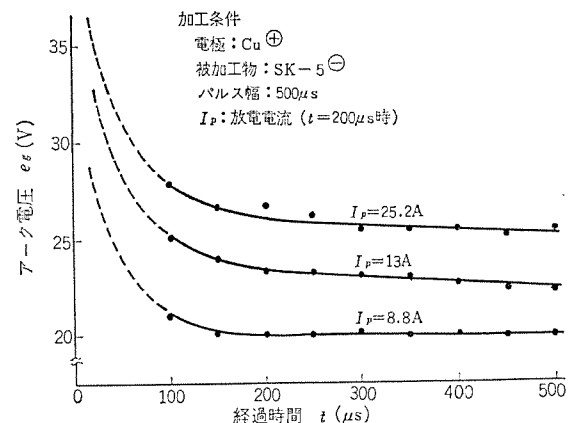


図 2.7(b) アーク電圧の時間的変化
Arc voltage as a function of time.

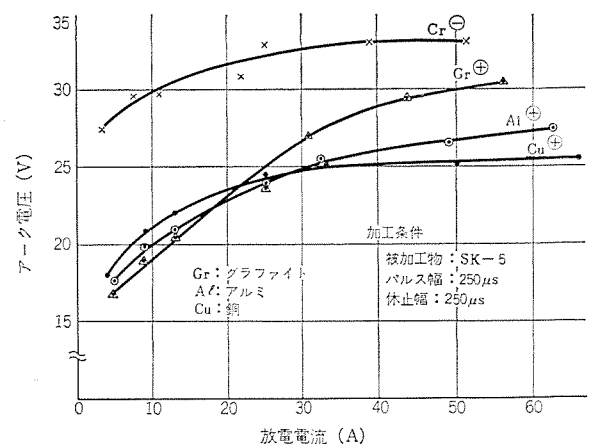


図 2.8 種々な電極材料に対するアーク電圧(放電開始後 200 μs)
Arc voltage for various electrode materials.

気体発生量は、また電極材料によっても変化する。電極材料をいろいろ変えた場合の気体発生量を表 2.2 に示す。パルス幅の比較的短い領域では、 $\text{Gr}^\oplus$ 、 $\text{鋳鉄}^\oplus$ 、 $\text{Gr}^\oplus$ 、 $\text{Al}^\oplus$ 、 $\text{Cu}^\oplus$ の順で、気体発生量が大きくなっている。パルス幅が長い領域では、ときどき安定加工が得られない状態が生ずるので、必ずしも上記順位が成立していない。

電極材料の種類が異なると、気体発生量が増える一要因として、放電中のアーク電圧 e_a の違いが考えられ、その違いによって消費電力 P が異なるという見方ができそうである。そこで、極間におけるアーク電圧を種々な条件のもとで測定してみると、図 2.7(b)、図 2.8 のような結果が得られる。これらの結果よりつぎのようなことが判明した。

- (1) アーク電圧は時間の経過とともに、なだらかに降下している。
- (2) 放電電流ピーク値が増加すると、アーク電圧はわずかに上昇する。
- (3) 電極材料によって、また極性によってアーク電圧は変化する。

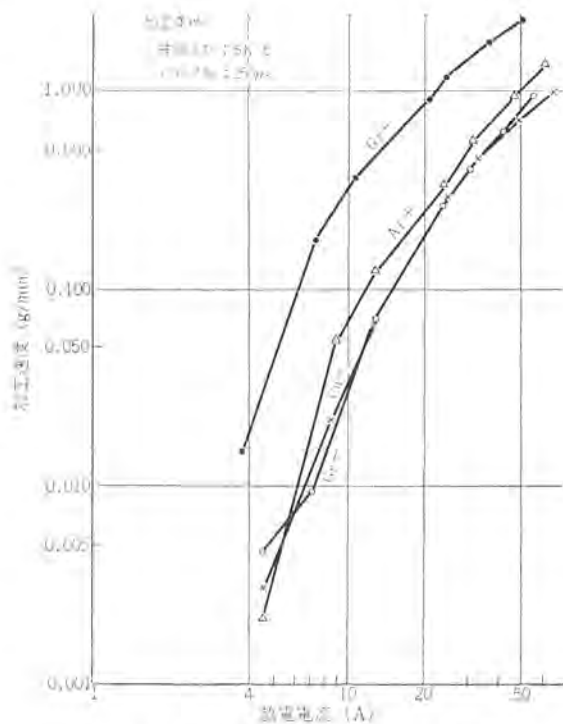


図 2.9 種々な電極材料に対する加工速度
Removal rate for various electrode materials.

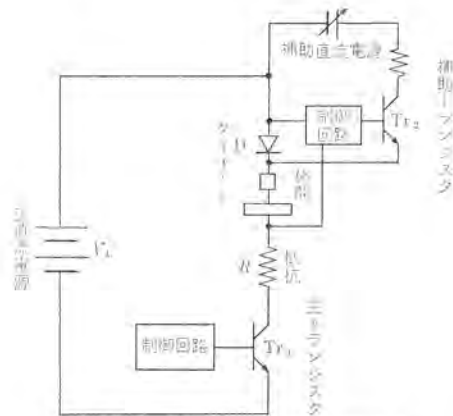


図 2.10 高電圧重畳用放電回路
Electrical discharge circuit for superposing high voltage.

(4) とくに グラファイト(陰極) 対 鋼(陽極) の場合は、アーク電圧が非常に高く、上記組み合わせの逆の場合に比べ約 1.5 倍である。

図 2.8 よりわかるように、アーク電圧の高いほうからの順位が、そのまま、上記気体発生量における順位になっており、このことからアーク電圧 e_a が変化して単一パルスの消費電力が変わることが、気体発生量の電極材料の種類に対する違いとなって現われると見てよさそうである。(ただし両者は厳密な意味での比例関係にあるわけではない)。図 2.9 に、種々な電極材料に対する加工速度の関係を示す。 $\text{Al}^\oplus$ 電極の加工速度が若干大きめに出ているが、気体発生量の場合と同じような特性が得られている。

2.2 放電ギャップと加工特性

放電加工は、あるギャップにおいて電極を対向させ、その間で放電させることにより加工を行なうものであるから、放電ギャップの大きさは、放電加工特性に何らかの影響を及ぼすということが当然考えられる。放電ギャップが異なると、極間に与えられた放電エネルギーの、両電極に対する配分率や、放電こん(痕)を生成するのに作用する爆発力その他の力の大きさが変わってくるはずで、その結果加工速度や電極消耗比等の加工特性が変化してくる。Zingerman and Kaplan⁽⁶⁾⁽⁷⁾ や Hockenberry⁽⁸⁾ 氏は、放電ギャップを変化させた場合、クレータ (Crater) の大きさがどのように変化するかを実験的に求めており、とくに Hockenberry 氏は、グラファイト対鋼の組み合わせにおいて、単一放電当たりの除去量は、放電ギャップの増加とともに急激に減少すると指摘している。

ところで放電加工においては、加工を安定に維持するということが最も重要で、加工の安定度を欠いては、いかなる放電現象も実用には供せないと言えよう。そのために放電ギャップを一定にコントロールするサーボ機構はもちろんのこと、電気条件や、電極材料の選定に種々な工夫が施されてきた。加工の安定度を悪化させる要因としては、極間におけるひん繁な短絡で、これが発生すると極間間隔きを一定にコントロールすることができず、その結果加工特性、とりわけ加工速度を著しく低下させる。そこで、この短絡現象をできる限り少なくするためには、放電ギャップを広く保つこと、すなわち広いギャップからでも極間の絶縁液を絶縁破壊させるような方法を用いることが必要である。

筆者等は、放電ギャップを広く保って放電を行なわせるために、極間への印加電圧を増大させて実験を行なってみた。印加電圧を変化させると、放電開始時のギャップも変化するので、この関係を利用して、放電ギャップに対する加工特性の変化を求めた。さらに印加電圧に対する放電ギャップの関係も明らかにした。

2.2.1 実験方法

極間に放電電流を流すための放電回路は、図 2.10 に示すようなトランジスタ式スイッチング回路で、方形波のパルスが極間に与えられる。図 2.10 において、放電電流は主直流電源 (電圧 V_1) と抵抗 R によって決められ、 V_1/R で求められる。一方、放電開始電圧の制御方法は、主トランジスタ Tr_1 が ON になり、極間にまだ放電が発生していないときには、補助トランジスタ Tr_2 を ON にして、ダイオード D に逆電圧を印加することにより、極間に主直流電源電圧以上の高電圧を印加する方法である。

この回路の特長としては、極間に放電が発生すると、瞬時に高電圧印加を停止するので、放電電流はその高電圧印加によって影響を受けない条件下において、他の条件を一定にして放電開始電圧だけを変えた場合の加工特性を求めることができる。放電開始電圧は、

80 V から 300 V くらいまで変化できるようになっている。電極材として銅、グラファイトおよび銅、被加工材料としては銅 (SK-5) を用いて、放電開始電圧を変えながら実際に放電加工を行ない、その結果より加工速度・電極消耗比、さらにクリアランスを求めた。

その他に放電開始電圧に対する放電ギャップの大きさを、連続放電の場合と単一放電の場合とについて求めた。連続放電の場合の放電ギャップの測定法は、まずある加工条件のもとで加工を行ない、つぎに条件を瞬時に変えてその際に移動する電極の位置の変化分をもって、あるギャップの大きさからの増加分 (あるいは減少分) として求める方法である。変化分は 1/1,000 mm まで測定可能なメータを用いて測定した。一方、単一放電の場合はまずあらかじめ陽極と陰極を接触させることにより、ギャップの零点を求め、つぎに電極をいったん離してからゆっくり近づけながら放電の開始点を求めた。

2.2.2 放電ギャップと加工条件との関係

放電開始電圧を高くすれば、当然のことながら加工液の絶縁破壊を生ずる放電ギャップは大きくなる。その両者の関係を求めた実験結果を図 2.11、2.12 に示す。図 2.11 は連続放電の場合、図 2.12 は単一放電の場合である。連続放電の場合は、パルス幅 50 μ s、休止時間幅 50 μ s、放電電流ピーク値 9 A の電気加工条件の下における放電ギャップ、 $g_0(\mu)$ を基準にして、それからの変化分を表示している。

図 2.11、2.12 より放電ギャップは、放電開始電圧とともに増加していることがわかる。増加率は、連続放電の場合電気条件によ

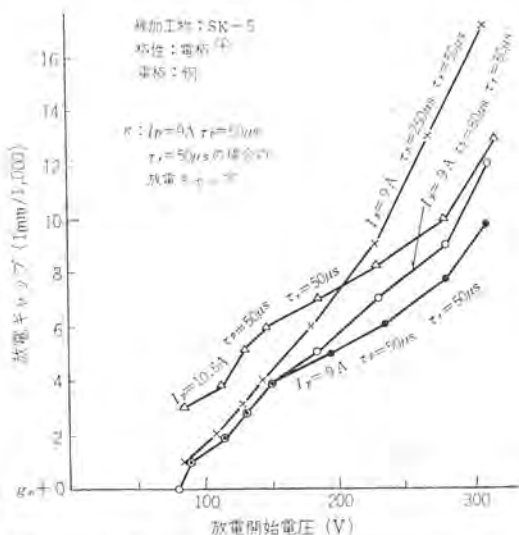


図 2.11 連続放電における放電ギャップと放電開始電圧との関係
Dependence of spark gap on initiation voltage.

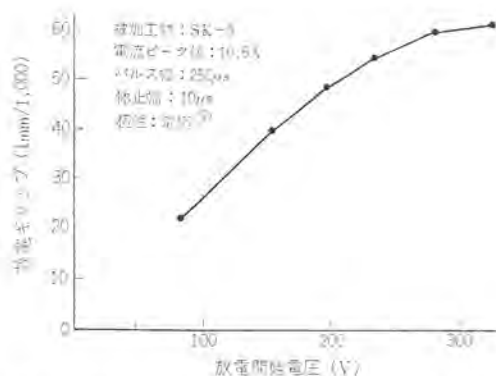


図 2.12 単一放電における放電ギャップと放電開始電圧との関係
Dependence of spark gap on initiation voltage.

て異なるが、ほぼ 0.05 μ /V くらいになっている。放電電流ピーク値が大きく、またパルス幅が長いほど、大きくなる傾向のようである。一方、単一放電の場合は、連続放電の場合に比べ、放電ギャップは数倍大きく、放電開始電圧に対する増加率も 0.17 μ /V くらいに増大している。ところで、電気条件によって放電ギャップが異なる理由の一つとして、つぎのように説明できそうである。この実験のように方形波パルスを用い、平均加工電圧を一定にして連続放電加工を行なう場合、図 2.13 を参考にして、次式が成立する。

$$V_m = \frac{E_0 \cdot \tau_N + e_g(\tau_{0N} - \tau_N)}{T} = \frac{(E_0 - e_g)\tau_N + e_g \cdot \tau_N}{T} \dots \dots \dots (2.1)$$

いま、平均加工電圧を、開放電圧の $\eta\%$ に設定するものとすれば、

$$V_m = \eta \cdot \frac{E_0 \tau_{0N}}{T} \dots \dots \dots (2.2)$$

式 (2.1)、式 (2.2) より

$$V_m = \frac{\eta E_0 (E_0 - e_g)}{\eta E_0 - e_g} \cdot \frac{\tau_N}{T} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$\tau_N = \frac{E_0 - \eta e_g}{\eta (E_0 - e_g)} \tau_{0N} \dots \dots \dots (2.4)$$

式 (2.3) より、平均加工電圧 V_m は、無負荷電圧印加時間 τ_N に比例することがわかる。しかるに、極間における放電ギャップが、平均加工電圧と比例関係にあるということは衆知のとおり⁽¹⁾⁽²⁾なので、放電ギャップは、また無負荷電圧印加時間と比例関係にあると見なすことができそうである。

無負荷電圧印加時間 τ_N は、式 (2.4) よりパルス幅 τ_{0N} に比例しているが、その関係を実際に求めてみると、図 2.14 のようになり、

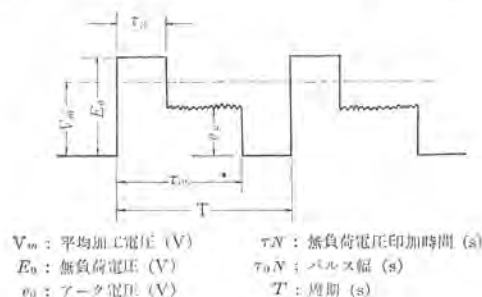


図 2.13 パルス波形の電気条件
Electrical parameters of pulse wave form.

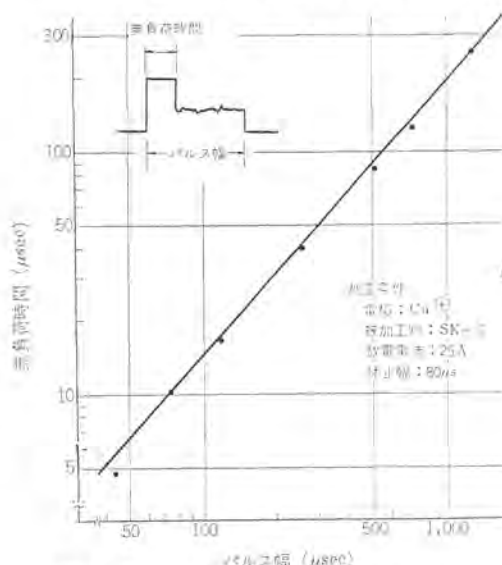


図 2.14 無負荷時間とパルス幅との関係
Dependence of open circuit voltage on ON-time.

ほぼ両者は比例関係にあることがわかる。したがって、通常の連続放電加工のように比較的パルス幅の短い条件を用いる場合は、放電ギャップはかなり狭くなるものと思われる。一方、単一放電の場合は、

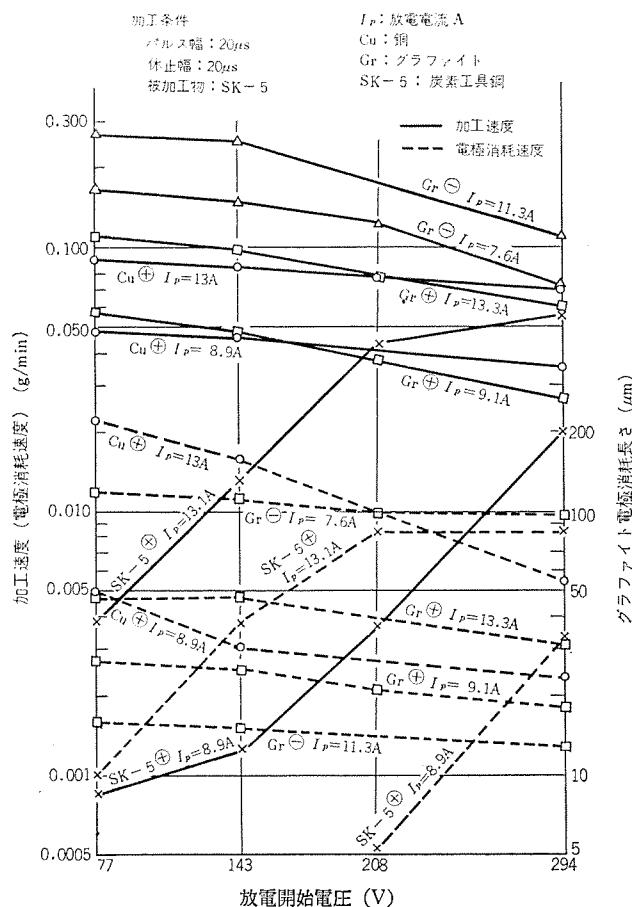


図 2.15 放電開始電圧を変化させた場合の加工速度 (電極消耗速度)

Removal rate as a function of spark initiation voltage for various electrode materials.

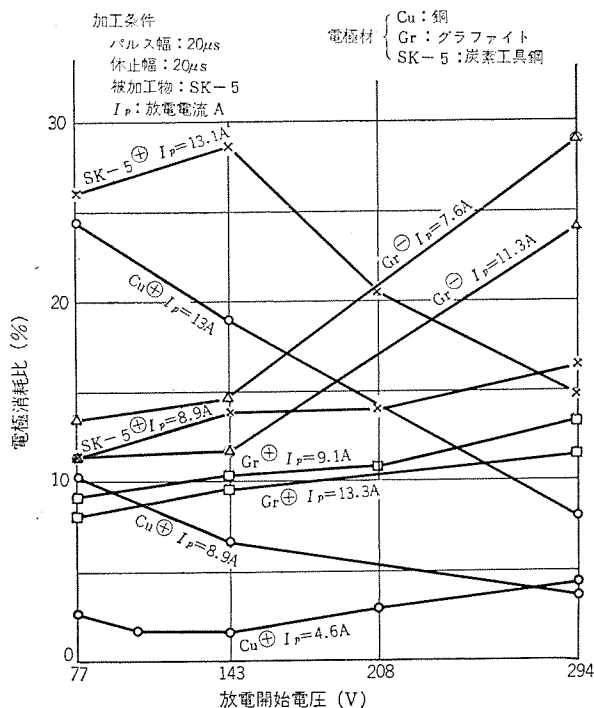


図 2.16 放電開始電圧を変化させた場合の電極消耗比
Electrode wear ratio as a function spark initiation voltage.

放電開始するギャップのうちの最大値を求めるので、無負荷電圧印加時間とは無関係になり、連続放電の場合に比べ相当に大きくなることが予想されよう。

2.2.3 放電開始電圧と加工特性との関係

(1) 加工速度 (電極消耗速度)

放電開始電圧を変化させた場合の、加工速度についての実験結果を図 2.15 に示す。これより、加工速度は、銅対鋼加工の場合を除いて、放電開始電圧の増大とともに減少する傾向にあるようである。その理由配は、放電電流ピーク値が大きくなるにしたがって小さくなっている。この理由としては、放電電流が大きくなると一般に放電ギャップが大きくなる傾向があるので、放電開始電圧によって変化する放電ギャップ値が相対的に小さくなるからであろうと思われる。

一方、銅を電極として加工を行なう場合は、放電開始電圧の増加とともに加工速度が増大している。これは、放電開始電圧が高くなるとともに、加工の安定度が著しく改善されることによって加工速度が増加する効果が非常に大きいので、Cu やグラファイトのように、放電開始電圧の増加とともに加工速度が減少する傾向が消失してしまうためであろうと思われる。加工速度が放電開始電圧とともに減少する理由としては、放電ギャップの増大とともに、単発放電の大きさが小さくなるということがあげられ、これについては、2, 3 の報告⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾がある。筆者等の行った単一放電による実験結果からも、同じような結果が得られている。

(2) 電極消耗比

図 2.12 に示されたデータより、銅 (被加工物) に対する電極消耗比を求めてみると、図 2.16 のようになる。Cu 電極の場合、放電電流ピーク値の比較的大きいときは、放電開始電圧の増加とともに減少する傾向にあるが、放電電流ピーク値が小さいときには、逆に増加する傾向に変わるようである。グラファイト電極の場合も、Cu 電極とほぼ同一傾向にあるが、全体的に見れば、放電開始電圧の増加とともに、電極消耗比はわずかに増加している。したがって、電極消耗比だけを考えるならば、放電電流ピーク値を極端に小さくして、放電開始電圧をあまり高く選定するということは得策ではないようである。

Cu 電極に関しては、放電電流ピーク値が比較的小さい ($I_p=5(A)$ 以下) 場合、電極消耗比が極小点を示すような、適当な放電開始電

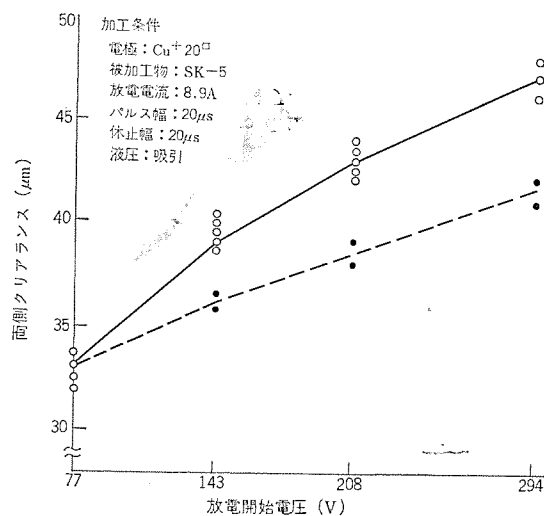


図 2.17 両側クリアランスと放電開始電圧との関係
Clearance on both sides as a function of spark initiation voltage.

圧が存在し、大体 100~150 V の範囲にあるようである。

(3) クリアランス、仕上げ面あらさ

放電開始電圧を変化させて求めたクリアランスを示すと、図 2. 17 の実線のようにになっている。これより、クリアランスは放電開始電圧の増加とともに増加していることがわかる。その増加率は、片側クリアランスで表わして $0.05 \mu\text{m}/\text{V}$ くらいであり、放電ギャップの増加率（図 2. 11 を参照）とほぼ一致している。この値は、加工特性全体から見て、それほど大きな値ではないが、仕上げ加工領域においてある程度の影響はあると思われる。

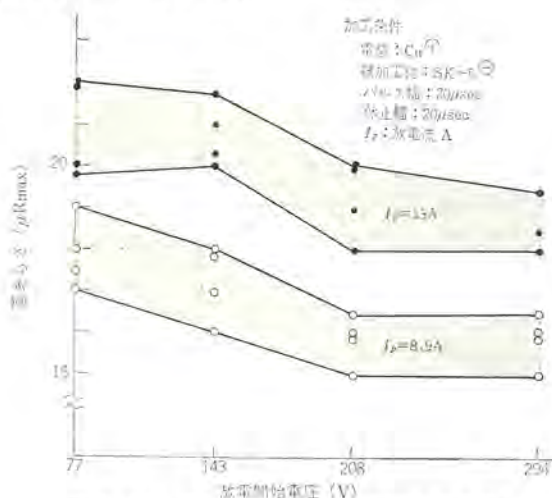


図 2. 18 面あらさと放電開始電圧との関係
Surface roughness as a function of spark initiation voltage.

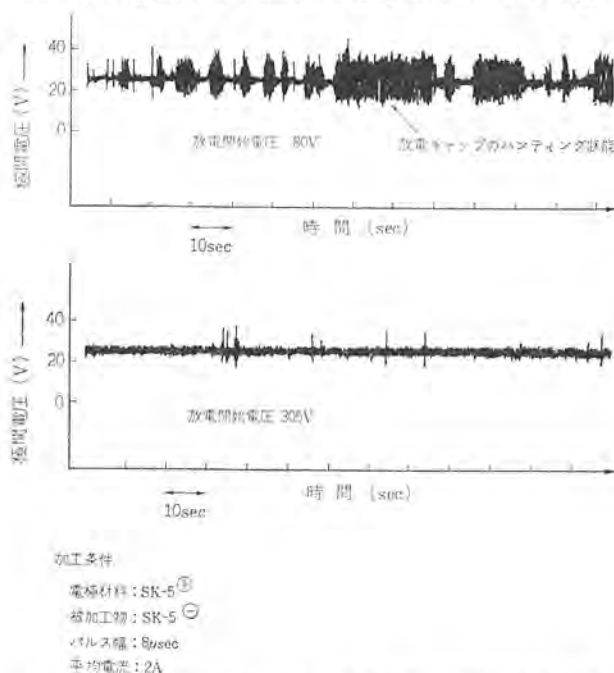


図 2. 19 放電開始電圧の違いによる加工の安定度の比較
Influence of spark initiation voltage on stabilization of machining.



図 2. 20 高電圧重畳した場合としない場合の加工時間の比較
Comparison of machining time in the cases of high voltage and no voltage superpose.

図 2. 17 の破線は、放電開始電圧を最も低く (80 V) して、いったん放電加工による貫通加工を行ない、その後放電開始電圧を高くして、再度すでに加工された側面で放電を行なわせ、それによりどの程度クリアランスが増加するかを調べたものである。これによると、クリアランスの増加率は、実線の場合のほぼ 1/2 になっており、放電開始電圧だけを増大させたために生ずるクリアランスの増加分としてはこの程度の値であろうと推察される。実際の加工では、破線で示されるクリアランスよりも大きい領域でも、加工粉の排出の方法等により側面で二次放電が発生する場合が多く、そのため図 2. 17 で示すような値になるものと思われる。

図 2. 18 は、放電開始電圧を変えた場合の仕上げ面あらさの変化を求めた結果である。仕上げ面あらさは、放電開始電圧の増大とともに、良好になっていくことがわかる。

2. 3 高電圧重畳方式 (F 回路) の応用について

放電パルスに高電圧を重畳させることにより、放電開始電圧を変化させた場合の加工特性についてはすでに述べたが、この方式の特長を実際の加工に応用すると、かなり面白い応用が考えられそうである。すなわち、放電開始電圧を高くすれば、加工の安定度が著しく改善されるので、通常安定加工が得られないような種類の加工にはとくに効果的である。

図 2. 19 は、鋼対鋼の加工において、高電圧を重畳した場合と、そうでなかった場合との加工の安定度を比較したものであるが、高電圧を重畳すると、放電ギャップのハンティングがなくなり、加工が非常に安定になることがわかる。図 2. 20 はそのような状況で実際に加工してみた一例であるが、高電圧を重畳するかしないかによって、加工時間に相当の開きがあることがわかる。

この方式は、また仕上げ加工に用いるとかなり効果的である。一般に仕上げ加工においては、放電ギャップが狭いので、加工粉の排出がむずかしくなると、そのために安定加工が得にくいという問題がある。とくに Cu および グラファイト 電極を用いた低電極消耗加工の場合は、良好な仕上げ面あらさを得るために放電電流ピーク値を非常に小さくするので⁽⁵⁾、ますますギャップが狭くなり加工がかなりむずかしくなるといふ欠点がある。

そこで、これに高電圧重畳方式を応用すれば、上記のような問題が解決されるわけで、この方式の十分な効果が得られる。しかしながら、放電開始電圧を高くすると、前節で述べたデータより、加工速度が若干低下するので、すべての場合に高電圧を重畳することはかえって無意味であろう。なお、この方式の応用については、別章で詳述されているので、参照してもらいたいと思う。

2. 4 結 論

放電加工における気体発生量と電気条件との関係、さらに放電開始電圧を変化させた場合の放電加工特性についての実験結果をひととおり述べた。以上を総括するとつぎのようになる。

まず気体発生量に関する実験では、

(1) 放電加工における気体発生量は、電気的條件と密接な関係があり、パルス幅にほぼ正比例し、放電電流ピーク値に対しては等比級数的に変化しているようである。またこの傾向は、加工速度と電気的條件との関係に非常によく類似している。

(2) 電極材料に対する気体発生量の変化は、極間におけるアーク電圧の変化と同じような傾向を持っている。

(3) アーク電圧は、放電後の時間、放電電流ピーク値、電極材料および極性によって変化する。

つぎに、放電開始電圧と加工特性の関係については、

(4) 放電ギャップは、放電開始電圧とともに増加し、その増加率は連続放電の場合 $0.05 \mu\text{V}/\text{V}$ 、単一放電の場合 $0.17 \mu\text{V}/\text{V}$ のようである。

(5) 放電加工後のクリアランスは、放電開始電圧とともに増加し、その増加率は、 $0.05 \mu\text{V}/\text{V}$ くらいである。

(6) 加工速度および電極消耗速度は、放電開始電圧の増大とともに減少する傾向にある。

(7) 電極消耗比は、放電電流が比較的高い場合、放電開始電圧の増加とともに、減少するが、電流が低い場合は、逆に増加するようになる。

(8) 放電開始電圧を高くすると、加工の安定度が非常に良好になる。したがって鋼対鋼のような比較的難加工性の材料の組み合わせでも、かなり安定した加工が行なわれ、加工速度が増加する。

3. 分割加工による放電加工

単発放電の繰り返しで加工が行なわれる放電加工においては、単発放電のエネルギーを増加させると加工速度は増加するが、それと同時に仕上げ面あらさも増加するという性質があり、良好な仕上げ面あらさを得ようとする目的には必ずしも合わなくなる⁽⁹⁾。

実際の加工では、仕上げ面あらさを良好な状態に保ったままで、加工速度だけを増加するのが望ましく、当社においてすでに数年前に、この目的を達成する分割加工方式が開発されている⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。

ところが、一般に電極の分割数が増加すると加工効率が落ち、所期の結果が得られないことが多く、この欠点を除くために、最近当社は、極間間げきの制御に一種の適応制御を導入する新サーボ方式(アダプティブサーボ方式)を開発し、好結果を得た。とくに、この方式は、自動車ボディの金型製作のための超大形放電加工機 DM-5000 にも採用され、現在非常に好成績を収めている⁽¹¹⁾。

3.1 新サーボ方式の特長

図 3.1 に、一般的な分割加工方式の原理図を示す。一つの電極を複数の小電極(図 3.1 では n 個)に絶縁分割し、そのおののに、互いに独立した電源を接続して加工を行なう。分割された比較的小面積の電極で加工するのとはほぼ同一の時間で、全体の電極面

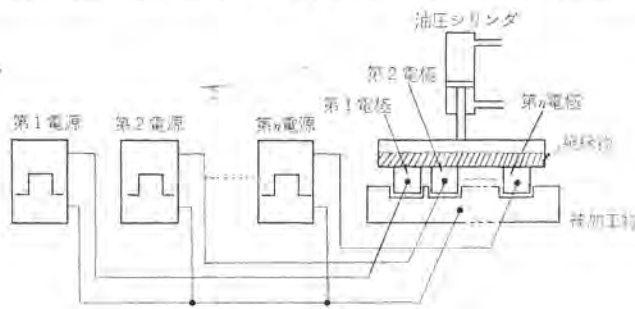


図 3.1 電極分割方式の原理図
Drawing showing principle of split electrode system.

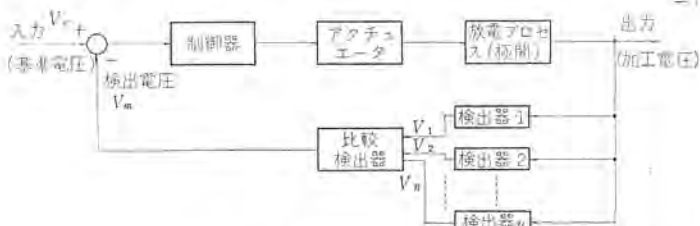


図 3.2 制御回路基本ブロック図
Block diagram of control circuit.

積が加工できるので、加工時間としては、分割しない場合の時間と比較して、おおむね $1/(\text{分割数})$ に短縮される。

図 3.2 は、各電極の極間間げきの制御機構についての基本ブロック線図である。すなわち、 n 個の加工電圧 $V_1, V_2, \dots, V_n$ を比較検出器において比較し、それらの電圧のうちで極間間げきの制御に最も適当な電圧を検出して、その検出電圧 (V_m) が基準電圧 (V_r) と等しくなるように、極間間げきを制御する。

さて、各電極の極間間げきを制御するのに適当な比較検出器の出力としては、 n 個の加工電圧のうち、最も高い電圧(最も広い極間間げきに対応)と、最も低い電圧(最も狭い極間間げきに対応)の2種が考えられる。最も高い電圧で極間間げきを制御する場合には、各電極の極間間げきは、制御された最も広い極間間げきよりも狭くなり、放電はすべての極間において発生し、高効率な加工が可能になる。しかしながら、電極面積が不均一であったりすると、電極面積の大きい電極においては、深さ方向の加工速度は遅くなるので、ついにはその電極で短絡が発生し、加工不能に陥る危険性がある。この最も高い電圧で極間間げきを制御する制御方式では、短絡の現象を回避するのは不可能であり、実用上問題となる。

一方、最も低い電圧で極間間げきを制御する場合には、各電極の極間間げきは、制御された最も狭い極間間げきよりも広くなり、放電を発生しない極間が現われることがある。いったん放電の発生しない状態が現われた極間では、加工液中のチップ等が清浄化され、絶縁耐力が増し、ますます放電が発生しにくくなるという極間の性質から、このようなアンバランスはいよいよ増長し、加工効率を極端に悪くするという欠点がある。しかしながら、この最も低い電圧で極間間げきを制御する制御方式では、短絡が発生して加工ができなくなるというような危険性はまったくなく、というような特長を持っている。

上記のように、2種の制御方式にはそれぞれ長所と短所があり、ただ一方のみを採用したのでは、短絡の発生または加工効率の低下といった問題があり、必ずしも満足のいくものではない。そこで、両者の長所のみを採り入れ、短絡の発生もなく安全に、しかも高効率の加工を可能にするために開発されたのが、適応制御を導入した新サーボ方式(アダプティブサーボ方式)である。すなわち、図 3.2 に示す比較検出器において、 n 個の加工電圧 $V_1, V_2, \dots, V_n$ のうち最も高い加工電圧と最も低い加工電圧を検出し、さらに短絡等の発生も電氣的に検出し、それらの検出信号に基づいて、ある演算を行ない、極間における、時々刻々変化する放電状態に最も適応した信号を得ることにより、極間間げきを制御する方式である。つぎに、新サーボ方式の動作原理を説明する。

3.2 新サーボ方式の構成

まず、分割加工方式を採用した電源(DE-120 T-SL、図 3.3 に示す)の構成を図 3.4 に示し、また、図 3.5 には新サーボ方式の構成図を示す。

まず、放電状態が、各電極ごとに設けられた検出回路によって、極間電圧をもとに検出される。それらの出力の一方は、最低加工電圧検出回路の入力になり、他方は、判別回路を通して最高加工電圧検出回路に接続される。最低加工電圧検出回路では、上記極間電圧のうちから最も低い加工電圧が検出されるようになっている。一方、判別回路においては、放電が行なわれていれば入力に対応した出力が得られ、放電が行なわれていなければ出力が出ないようになっているので、放電が行なわれている極間のうちの最も高い加工電圧が

最高加工電圧検出回路で選別される。

これらの最高加工電圧と最低加工電圧とをもとにして、演算回路において、ある数式に基づいた演算が行なわれ、最適な極間開きに制御する信号が得られる。この信号をもとにして、操作回路によりサーボ回路が駆動されて、最も加工能率が高くなるような極間の制御が行なわれるようになっている。なお、極間における短絡等の不安定な状態も同時に短絡検出回路によって検出され、このような状態が発生した場合には、上記演算回路において、それを防止する



図 3.3 DE-120 T-SL 形電源
DE-120 T-SL type power supply.

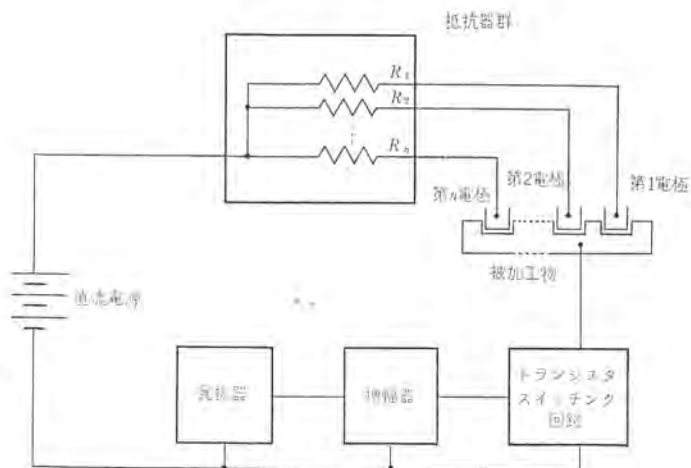


図 3.4 DE-120 T-SL 電源基本構成図
Block diagram of DE-120 T-SL.

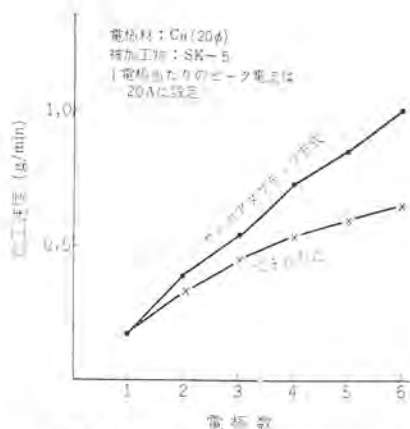


図 3.6 電極数と加工速度の関係
Relation between split electrode number and machining rate.

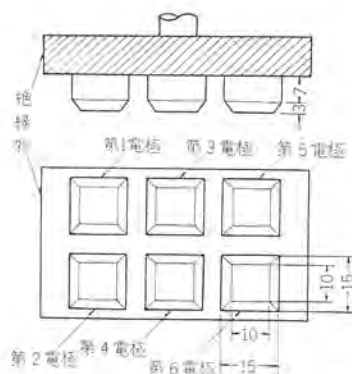


図 3.7 分割数と加工速度の関係
Relation between split electrode number and machining rate.

ような信号も出せるようになっている。

以上のように、極間開きが複数個の電極の中で最も低い加工電圧をもとに制御される従来の方式と異なり、極間開きの状態に応じて、最適な加工電圧が選定されるので、それにより最良の極間開きが決定され、高能率な加工が可能になる。

3.3 応用例

DE-120 T-SL 電源に内蔵されている新サーボ方式を使って行なった加工結果を、図 3.6、3.7 に示す。

図 3.6 における加工結果では、新サーボ方式を用いた場合と、従来の方式で行なった場合とを対比させて示している。従来の方式の場合には、極間開きの制御は、多数個の電極のうちで最も低い加工電圧を基準にして行なっている。この結果より明白なように、従来のサーボ方式においては、加工効率が悪く、6分割の時に1電極の場合の3.5倍程度しか加工速度が増加しないような加工においても、新サーボ方式を用いれば、約5.5倍にもなりその効果は著しい。

つぎに、図 3.7 は押しボタンのプラスチックモールド型の加工結果である。深さ 3mm 加工するのに、分割しない場合には約 300 分かかっているのに対し、3分割のときには約 130 分、6分割のときには約 55 分に短縮されている。分割しないときの加工時間を 1 とすれば、3分割のときには約 1/2.3、6分割時には約 1/5.5 となっており、図 3.6 の結果よりも加工効率は多少低下している。しかしながら、分割しないときに比べれば相当の効果があることがわかる。

従来の方式においては、分割数を増加していくと加工効率が極端に落ちるので、分割した意味のなくなることがあるが、一方、新サーボ方式においては、その欠点が大幅に改良され、分割数が増加しても加工効率はあまり低下しないことがわかった。

なお、分割加工方式を採用した DE-120 T-SL 電源は、2組の独立した直流電源を内蔵しており、1台の電源で2台の機械を動作さ

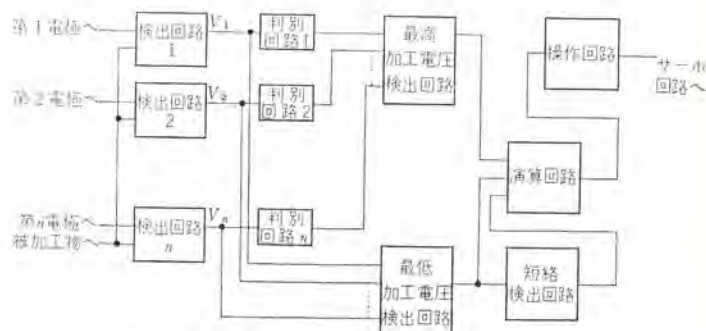


図 3.5 新サーボ回路のブロック図
Block diagram of new servo system.

加工条件

(1) 分割なし

第1～第6電極を接

続し、短絡ピーク電

流 20 A を供給する。

(2) 3分割

第1、第2電極、

第3、第4電極、第5、

第6電極を接続し、そ

れぞれに短絡ピーク電

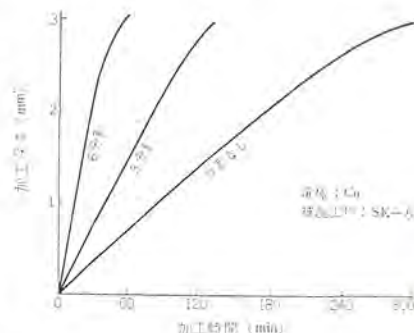
流を供給する。

(3) 6分割

第1～第6電極それ

ぞれに短絡ピーク電

流 20 A を供給する。



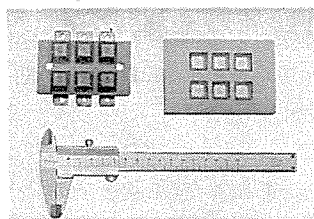


図 3.8 押しボタンのプラスチック
モールド型
Plastic molding die for
push button.

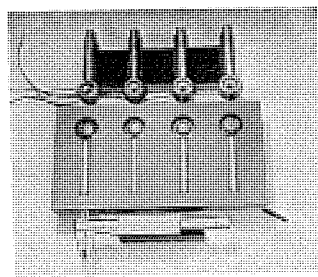


図 3.9 コネクティングロッド鍛造
型
Forging die for connecting
rod.

せる機能も持ち合わせていることを最後に付け加えておきたい。

4. 適応制御放電加工機⁽¹²⁾

半導体の技術的進歩に伴い、制御技術は大幅な進展を見せ、各方面で無人化・省力化のための新製品が続々開発されている。そのうえ人手不足、とりわけ熟練作業者の確保の困難な時代に直面し、その要求はますます多くなってきている。

放電加工機は、元来省力化のための型彫機として注目され、しかも、半導体の技術を導入した電源方式に切り換わった今では、型彫機の主流となって、著しい成長を続けている。

しかしながら、電源の進歩にもかかわらず、複雑な形状の加工の場合には、加工の進行状態に応じて、最適な加工条件にオペレータが調整する必要がある。したがって、無人状態で、安定に、しかも高能率に加工することは不可能であり、また加工能率はオペレータの経験と勘にたよっていたのは、いかなる事実であった。

このような背景のもとにおいては、高能率に、しかも安定に無人運転のできる放電加工機の出現が望まれるのは、当然のことであり、その要求に応えるべく開発されたのが適応制御装置（オートマイザ）である。

この適応制御装置は、無人運転が可能になるのみならず、加工能率の大幅な向上が望めるために、金型工場の合理化・省力化に大いに貢献している。特に、複雑な形状、ならびに大形大面積の加工、とりわけグラファイト電極を用いて底付型の加工を行なう場合には、非常な偉力を発揮するので、今ではなくてはならぬものになっている。

適応制御装置の原理およびチャートを、図 4. 1、4. 2 にそれぞれ示す。

検出回路で放電状態が検出され、判断回路で安定か否かを判断され、その結果をもとに操作回路で、放電状態が安定になるように加工電流を制御する。放電状態が安定な場合に加工電流を増加させる方法は、熟練作業者が行なう試行錯誤法を採用し、最適な値を求めている。また、当社の加工電流を制御する方式は、加工速度を除く他の加工特性にほとんど影響を与えないといわれる⁽⁵⁾休止時間を変化させることにより、加工電流を制御している。

適応制御装置を使用した加工結果を、従来の方式と比較して、図 4. 3、4. 4 に示す。これらのデータから、手動で行なった最適の場合とほとんど違わないことがわかるが、手動の場合には、通常個人差があるが、適応制御装置を用いた場合には、個人差はなく、常に図 4. 3、4. 4 に示されたような結果が得られる。

自動車 ボディー 金型製作用 超大型放電加工機 DM-5000 にも、適応制御装置ならびに分割加工方式を採用し、その効果を大いに発揮し

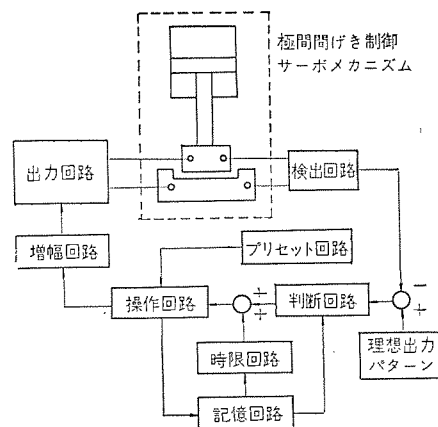


図 4. 1 放電加工の適応制御方式のブロック線図
Block diagram of a method for adaptive control in EDM process.

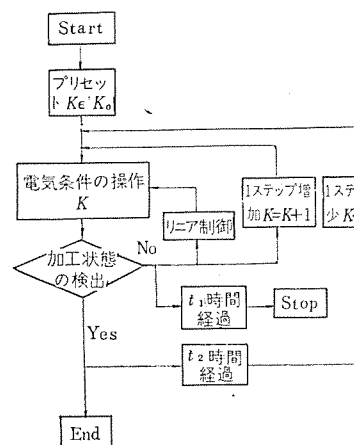


図 4. 2 放電加工適応制御方式のフローチャート
Chart for operation principle of adaptive control.

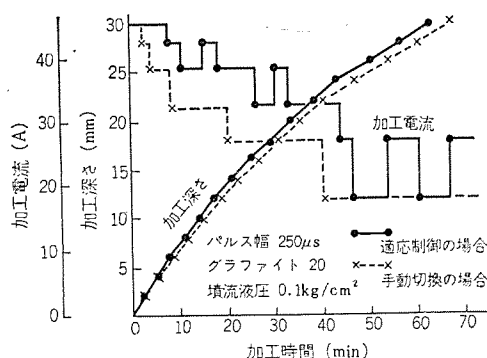


図 4. 3 適応制御を行なった場合の実験結果
Curves showing penetration depth and discharge current vs. machining time, with and without adaptive control device.

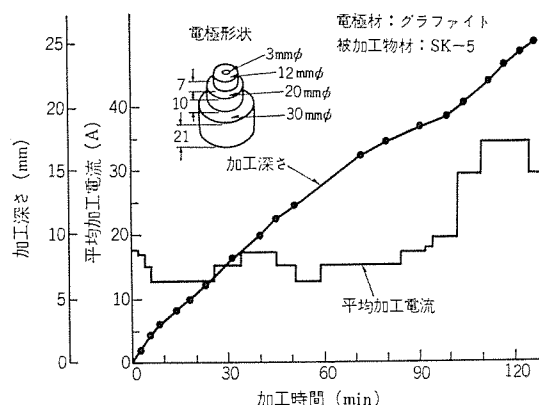


図 4. 4 加工面積が深さで変化する場合の結果
Stepped hole machining with adaptive control device.

ていることを最後に付け加えておく⁽¹⁾。

なお、適応制御装置の詳細な説明については、本誌 44 No. 12 1970 を参照されたい。

5. NC (数値制御) 放電加工機

本放電加工機 DM-500 EC は、加工状態の適応制御装置、加工条件のプログラミング装置、電極自動交換装置、テーブル自動位置決め装置が備えられている。そのため、加工中の電圧・電流の変動、加工粉・加工液の滞留化による加工間引きの変化等の変動要素に対して適応制御できるのみならず、最終目的に達するまでの加工条件（パルス幅・電流ピーク値）、電極選択、ワーク位置決め、加工深さ設定のプログラム制御を行ない、加工開始より、加工終了までまったく人手を借りずに、最適な加工条件で加工を行なうことができる。一方、上記装置の組み合わせにより、従来困難だった寄せ加工、ならい加工、組み合わせ加工などの加工法も可能になった。

5.1 NC 放電加工機 (DM-500 EC) の概要

DM-500 EC 形放電加工機は、機械本体、補機関係（加工液供給装置・油圧発生装置）、NC 装置 (MELDAS-4200) とその指令を受けて実際にリレー、その他を駆動するための強電盤（2 台）、放電加工機用電源盤 (DE-90 T) とで構成されている。そのシーケンスチャートを図 5.2 で示す。

5.1.1 機械本体および補機関係

機械本体および補機関係は、三菱ダイアックス DM-500 形放電加工機を母体とし、電極自動交換装置、テーブル自動位置決め装置、深さ自動位置決め装置を装備させたものである。

5.1.2 強電制御盤

NC 装置からの指令は、論理分析して、機械本体や強電盤を動かす信号に変換し分配する。機械本体では、X、Y、Z 軸の位置決めや、加工液・油圧系を駆動する。一方、電源盤においては、パルス幅・休止幅・放電電流ピーク値等の電気的加工条件を選定する信号を送る。また、これらの完了信号を受けて NC 装置に返す。このように強電盤は、NC 装置と機械本体および電源盤の仲介シーケンス回路を内蔵しているが、このほかに、最適制御装置 (オブチマイザ)、カウンタ (Z 軸の加工深さ設定値をカウントし、表示する装置)、および放電安定装置 (放電加工中に生ずる加工粉を排除するため主軸を定期的に

引上げる装置) を内蔵している。

5.1.3 電極交換装置

電極交換装置は荒・仕上げ電極の交換のように、異種の 2 個の電極を自動交換するシーケンス回路や、現在電極は何を選択しているかを記憶する装置を内蔵している。この記憶装置は、つぎのデータが読み込まれるまでは電源を切っても記憶が保持されるようになっている。また、この電極交換装置は、テープ指令・手動ボタン指令どちらでも駆動可能である。

5.1.4 数値制御装置

プログラムテープにしたがって、演算制御、レジスタ、パルス発振器等を

表 5.1 おもな仕様
Main specifications.

機械本体 加工外形状寸法 加工内形状寸法 被加工体寸法 テーブル寸法 テーブル移動行程 電極取付け面寸法 電極取付け面とテーブル面との距離	1,200(幅)×760(奥行)×530(高) mm 950(幅)×740(奥行)×500(高) mm 850(幅)×640(奥行)×400(高) mm 800(幅)×600(奥行) mm 470(左右)×370(前後) mm 180 φmm 700~400 mm
自動電極交換装置 電極交換数 電極交換方式 電極固定方式 ターレット駆動 電極取付け精度	2 組 水平ターレット式 油圧式 カービック 150φ 使用 油圧式 揺動モータ (クランプシリンダ付き) 平行度 3 秒以下 角度のずれ 3 秒以下 心ずれ 5 μ 以下
加工深さ自動設定およびテーブル自動位置決め 加工深さ設定段数 テーブル送り速度 テーブル駆動電動機 位置検出機構 位置決め繰返し精度	制限なし 1,000 mm/min 5 mm/min 三菱低慣性モータ FKR-13 P 390 W 3,000 rpm レゾルバ 1.5 K ±0.01 mm 以下
数値制御装置 位置決め速度 M コード S コード T コード 位置指令方式 主テーブルリダ 制御軸数 入力設定単位 最大指令値	MELDAS-4200 X 軸 1,000 mm/min (DC モータ) Y 軸 1,000 mm/min (DC モータ) Z 軸 150 mm/min (パルスモータ) 機械操作に使用 加工条件選択に使用 電極選択に使用 増分方式 (インクレメンタル) 光電式 3 軸 (同時一軸) 0.01 mm ±9,999.99 mm

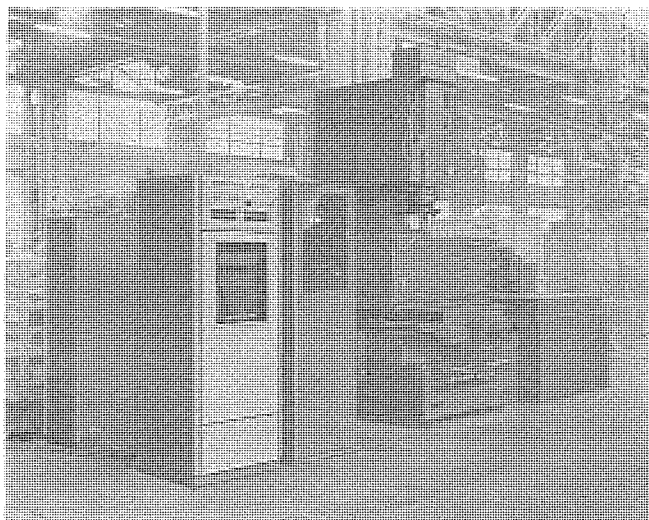


図 5.1 DM-500 EC 形 放電加工機外観図
Exterior view of EDM, type DM-500 EC.

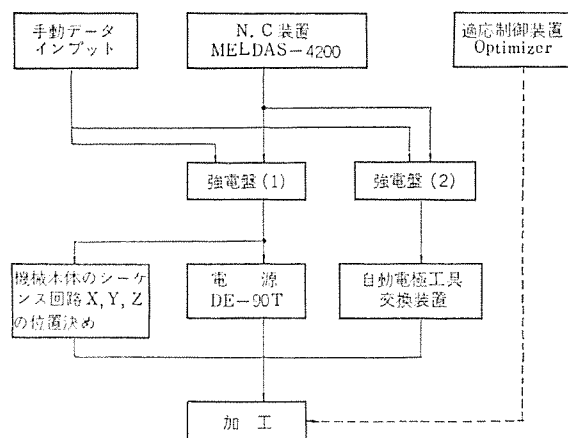


図 5.2 NC 放電加工機のブロック線図
Block diagram of N/C EDM.

経て、機械操作、テーブル位置決め、加工条件切換え、電極交換指令等を出す装置で、当社 MELDAS-4200 を使用している。

5.2 NC 放電加工機の原理と構成

DM-500 EC 形放電加工機は、通常の放電加工機のアイドルタイムを加工状態の適応制御装置、加工条件のプログラミング装置、電極自動交換装置、テーブル自動位置決め装置によって省力化した機械である。つぎに、本機の原理と構成を述べる。

5.2.1 適応制御装置

放電加工に作業者の監視や調整を必要とするのは、加工間げきの状態が、電圧・電流の変動や、加工粉・加工液の滞留化等により、不測の変化をするためである。そこで、これら不測の変化により加工間げきに変化しても安定な加工を行なうよう、機械に最適化機能をもたせて、無人運転を可能にしたものが、適応制御装置である。

独立パルス回路において、1分間当たりの加工量を $W(\text{gr/min})$ 、パルスの電流ピーク値を I_P 、デューティファクタを D 、定数を a, b とすると、加工量 W は、

$$W = 60 \times a \times I_P \times b \times D$$

で与えられる。すなわち、加工速度はデューティファクタ（全加工時間に対する通電時間の比）に比例する。一般に、方形波パルスで加工を行なう場合、面あらし・電極消耗比・クリアランス等の条件より決定したパルス幅・電流ピーク値で加工をし、加工中に安定な範囲内で能率の高い D を選定する操作を作業者は行なうのである。すなわち、間げき状態が悪化すれば D を小さくし、良好な場合には D を大きくして加工能率を上げるようにしている。この作業者の操作する最適な D の選定を行なうのが、適応制御装置である。

5.2.2 加工条件の切換え（プログラムコントロール）装置

放電加工を行なう場合、加工面あらし・電極消耗比・加工速度・クリアランスの所望値をうるため、電流ピーク値・パルス幅等の加工条件を選定するが、作業者は、加工深さの進行にしたがって経験的な判断のもとに、この加工条件の切換えを行なっている。

これにつき、二次元状態と仮定して解析を加えると、つぎのようになる。

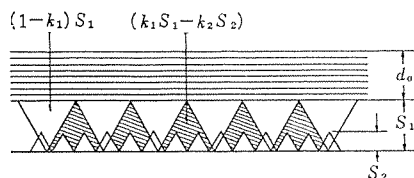


図 5.3 多段加工時の面あらしと除去量
Relation between surface roughness and removal rate in multi-steps machining.

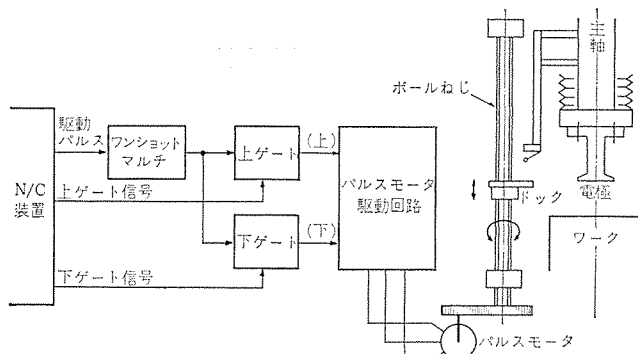


図 5.4 加工条件切換え装置原理図
Drawing showing principle of machining condition changing unit.

加工速度を $W_i(\text{g/min})$ 、面あらし $S_i R_{\text{max}}$ 、面あらし S_i 部分の面積比を K_i 、ワーク加工開始面より面あらし S_1 の上部までの深さを d_0 とすると、各加工条件での加工時間 T_i は、

$$T_1 = d_0 / w_1 + (1 - K_1) S_1 / W_1$$

$$T_2 = (K_1 S_1 - K_2 S_2) / W_2$$

となり、最終加工に至るまでの加工時間 T_n は、

$$T_n = \sum_{i=1}^n T_i = T_1 + \sum_{i=1}^n (K_i S_i - K_{i+1} \cdot S_{i+1}) / W_{i+1}$$

で表わされる。

いま、かりに面あらしを $S_{l-1} = 2S_l = 4S_{l+1}$ のように前工程のあらしを半分にするような条件で、 l 番目の加工をやめ、 $(l+1)$ 番目の加工で補おうとする。すなわち、加工段数を1段減らしたときの総加工時間 T_n' と通常加工時間 T_n との差は、つぎのようになる。

$$T_n - T_n' = (K_{l-1} \cdot S_{l-1} - K_l S_l) / W_l - (K_{l-1} S_{l-1} - K_l S_l) / W_{l+1} \\ = T_l - T_l (W_l / W_{l+1}) \dots \dots \dots (5.1)$$

ここで、加工速度 W_i と面あらし SR_{max} との関係は、

$$W_l = A I_P^B \tau_l \\ = A I_P^B C S_l^{2.6} \\ = a S_l^{2.6}$$

A, B : 定数, I_P : 放電電流

$$(\because S = \frac{1}{C} \tau^{0.38}, C : \text{定数}, \tau : \text{パルス幅})$$

$$(\because a = A I_P^B C \text{ とおく})$$

よって、式 (5.1) は、

$$T_n - T_n' = T_l (1 - W_l / W_{l+1}) \\ = T_l \{1 - a S_l^{2.6} / a (S_{l+1})^{2.6}\} \\ = T_l \{1 - a (2 S_{l+1})^{2.6} / a (S_{l+1})^{2.6}\} \\ = T_l (1 - 2^{2.6}) < 0$$

よって、加工時間は加工段数を減らすと増大する。言い換えれば、加工条件の細分化をできるだけ多くすることが、全加工時間を短縮することになる。この作業を加工深さをパラメータとして、加工条件をテープにより無限段階に切換えを可能にしたのが、加工条件切換え装置である。

加工条件切換え装置の構造は、図 5.4 で示す。動作としては、NC テープにプリセットされた信号をパルスモータが受け、テープの設定値だけドックを下降してリミットスイッチを待つ。一方、リミットスイッチは、テープに設定された加工条件で加工を続ける電極とともに下降し、ドックをたたき、リミットスイッチの信号を NC 装置に返す。NC 装置は、この信号を受けると、次の加工条件と加工深さをテープより読み取り、パルスモータおよび電源盤に指令を送る。このように、加工条件切換え装置は、作業者の加工条件切換え作業を完全に代替することができる。

この装置に類するものは、当社 DIAX 放電加工機の OP-1, OP-4 のように、一部市販されているが、機械的装置や手動式入力方式のため設定段数は 3~4 段が限度で、テープのように無限段とはいかない。実用的にはこの程度で十分な場合も多いが、最適切換え段数を追求して完全な加工条件切換え作業をおこなうには、テープコントロールが必要である。

5.2.3 電極自動交換装置 (Electrode Changer)

放電加工では、荒加工と仕上げ加工のときでは、放電加工間げきが異なるため、電極を 2~3 種類作り、交換する必要がある。また、同一形状で多数個取りする場合や、最終仕上げ面精度がきびしい場合、電極消耗が問題となり、電極を交換する必要がある。電極を交

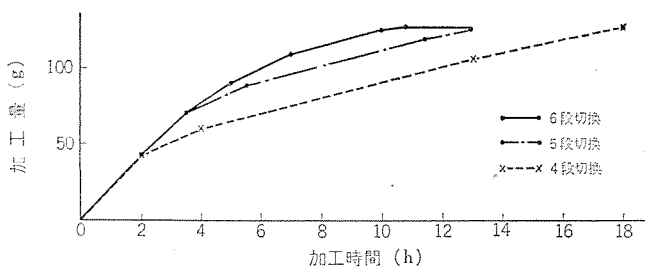


図 5.5 加工段数による加工時間の相違
Machining time as a function of machining step.

図 5.6 電極自動交換装置
Automatic electrode changer.

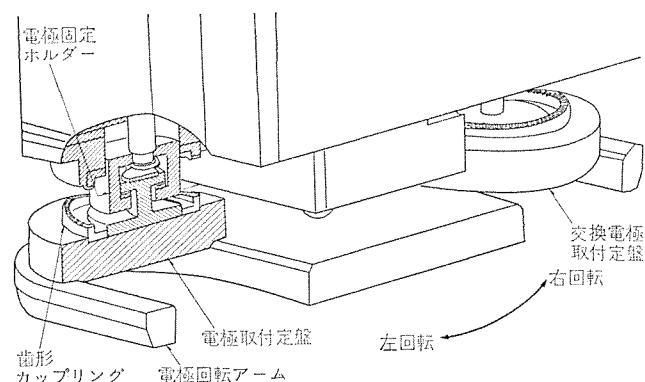
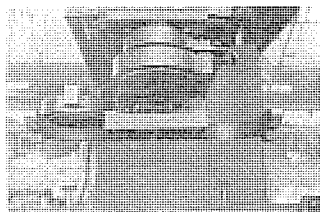


図 5.7 自動電極交換装置の原理図

Drawing showing principle of automatic electrode changer.

換する場合、交換精度は製品の良否につながるため、きびしい精度が要求される。このため放電加工を行なう作業者は、電極交換作業に多大な時間を費やしている。精度良く、迅速に電極を自動交換する装置は、放電加工機の無人化にとっては、必要不可欠の装置である。

電極交換装置は、電極数が2個で、主軸後方の機械本体に回転軸を有し、水平に揺動するアームがあり、その両端に電極取付け板(T_1 および T_2)がそれぞれ載せられている。NC装置からの信号により、アームは回転し、 T_1 (または T_2)を主軸の下に運び、油圧操作により、円周上に精度よく歯形を並べた雌雄1対の特殊カップリングを介し、主軸の中心に装着される。電極取付け板が装着されるとアームは回転し、初めの状態に戻り次の加工指令を待つ。この電極自動交換装置の外観写真を図5.6 構造図を図5.7に示す。電極交換の指令による動作は、電極の固定位置の検出装置が装備されているので、どの位置から指令を送っても誤りなく電極の交換が行なえるようになっている。また、電極装着時の取付け精度は、製品のばらつきや良否に影響があり、非常にきびしいものが要求される。本電極自動交換装置の取付け交換精度の測定結果を図5.8に示す。このように、電極交換精度が良く、自動的にしかも迅速に行なう電極自動交換装置は、放電加工機の省力化には必要不可欠からざるものである。

5.2.4 テーブル自動位置決め装置

多数個取りをおこなうためのテーブル位置決め作業、寄せ加工などには、テーブル座標指示目盛バーガージ(Bar gauge)とインジケータ(Indicator)光学式目盛読取り顕微鏡などを使用し、精度のばらつきは、作業者の熟練度に負うところが多く、作業者は多大の時間を費やしていた。これを自動化したものがこのテーブル自動位置決め装置であ

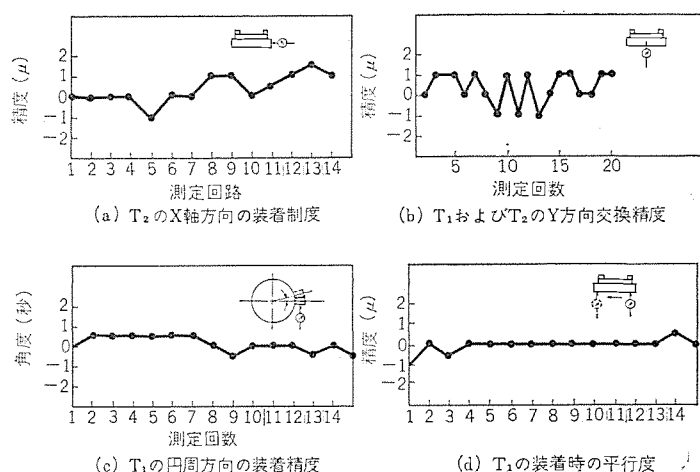


図 5.8 電極取付け板 T_1 、 T_2 の装着および交換精度
Interchanging accuracy of electrode mounting plate.

表 5.2 コード対応表
Comparison table of codes.

機 能	コ ー ド	コ ー ド 内 容
M	0	プログラム停止
	1	オプション停止
	2	プログラム完了
	3	加工開始
	4	加工終了
	5	微小放電
	6	ジェット噴出
	7	加工液入
	8	原点読み取り(Z軸)
T	1	電極選択(T_1)
	2	電極選択(T_2)
	3	電極戻し
S	1	電源選択(TP)
	2	電源選択(SF)
	11 ~ 22	パルス幅ノッチ選択(1~12)
	31 ~ 42	休止幅ノッチ選択(1~12)
	51 ~ 56	加工セッティングノッチ選択(1~6)
	60	放電安定切
	61 ~ 67	放電安定・加工ノッチ選択(1~7)
	70 ~ 76	放電安定・排出ノッチ選択(1~7)
	80 ~ 89	加工調整ノッチ選択(1~10)
	90 ~ 95	SFコンデンサ切換えノッチ選択(1~6)

る。これは市販のNCテーブルと何ら変わるところはないが、放電加工機に使用することにより、多数個取りの自動位置決め作業、寄せ加工が容易になり、これは、製品の安定化や省力化につながる。しかも、電極自動交換装置と組み合わせることにより、簡単な形状の電極で複雑な加工のできる組み合わせ加工も可能となった。

5.2.5 NC装置

加工状態の適応制御装置、加工条件のプログラム装置、電極自動交換装置、さらにテーブル位置決め装置を使用すれば、放電加工は、完全無人化の段階にはいるわけである。つぎの段階として、One-man Multi-machines または、群管理へと進展するであろう。これらの制御手段としてテーブルコントロールが最有力の手段であることは言うまでもない。テーブルコードに関しては、放電加工の加工条件が非常に多く選定がむずかしい。当社の放電加工機の場合を例にとれば、表5.2に見られるようにほぼ100コード(code)近くなり、これに機械系のコードを加えれば、M機能だけでは不足になる。そこで、S機能の工作機械の主軸回転数を、放電加工機の加工条件と考え、S機能をM機能と同様に用いた。表5.2は加工条件とコード番号との対応を示す。表5.3は、表5.2のコードを用い、三菱マークを三角電極二つで組み合わせ加工した加工プログラムの一例を示す。

表 5.3 三菱マーク加工のプログラムシート
Program sheet of three-diamond mark machining.

	N	G	X	Y	Z	F	S	T	M	EB	REMARKS
	101							1		EB	電極 T ₁
1									5	EB	抜き利用 Z軸設定
1							55			EB	加工セッテ ィング 5
1							18			EB	パルス幅 8
									3	EB	加工開始
									0	EB	加工中
									4	EB	加工終了
	102							2		EB	電極 T ₂
		1	-866			999				EB	位置決め B点
		1		-500		999				EB	位置決め B点
									3	EB	加工開始
									0	EB	加工中
									4	EB	加工終了
	103							1		EB	電極 T ₁
		1		-2500		999				EB	位置決め C点
		1	-866			999				EB	位置決め C点
									3	EB	加工開始
									0	EB	加工中
									4	EB	加工終了
	104							2		EB	電極 T ₂
		1		+1000		999				EB	位置決め D点
									3	EB	加工開始
									0	EB	加工中
									4	EB	加工終了
	105							1		EB	電極 T ₁
		1	-1732			999				EB	位置決め E点
		1		+2000		999				EB	位置決め E点
									3	EB	加工開始
									0	EB	加工中
									4	EB	加工終了

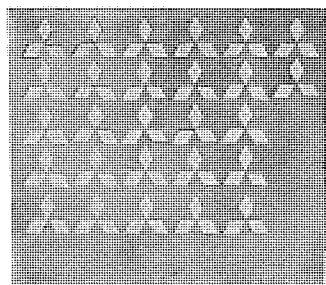


図 5.9 三角電極による三菱
マークの組合せ加工
Sample of three-diamond mark
by two triangular-electrodes.

5.3 特長

DM-500 EC 形放電加工機は、NC テープに加工条件を設定し、最初の電極とワークをセッティングすれば、完全無人のまま最終加工行程まで最適の条件で加工を行なうことができる。この機械の特長をまとめると、つぎのようになる。

(1) 加工および機械操作をテープにプログラムすることによってオペレータの習熟度に関係なく、安定な製品精度の加工ができる。

(2) 加工技術をテープ化することによって、リフトウエアの有効な活用ができる。

(3) NC 化することにより、ほとんど自動運転をすることができるので、相当に省力化が期待できる。

(4) 単純電極による X, Y, Z 3 軸制御による異形穴加工を行

なうことができる。(組み合わせ加工、放電ならい加工)

(5) 電極形状が複雑で、加工途中に加工条件を多段階切換えて加工を行なうものに適する。

(6) 同一種類の加工を多数行なう多数個取りに適する。

(7) 1 本の電極で荒加工を行なったのち、仕上げ加工としてテーブルを NC により非常にゆっくり動かし水平方向に送り込んで加工するか、あるいは X, Y 軸を数 μ ~ 数十 μ 動かして Z 軸方向に加工するいわゆる寄せ加工ができる。

以上のような特長を持った DM-500 EC 形放電加工機は、工業界が、情報のデジタル的な取扱いおよび省力化の方向に前進しつつある背景から生まれたと言える。今後は、本機のように個々の放電加工機がそれぞれ単独に NC 装置が使用されるケースのみならず、それと並行して、放電加工機の群管理ならびに NC に代表される情報のデジタル的な取扱いが増加、普及すると考えられる。

6. む す び

比較的最近の放電加工現象ならびに加工特性、そして最近の放電加工技術について、以上ひととおり述べた。半導体技術と制御技術の進歩により、放電加工技術が著しく進歩しつつあることがわかったと思う。また、新しい電源等が開発されると、それによってさらに新しい放電現象や加工特性が生まれ、用途が一段と拡大するようになる。今後、放電加工も、情報化時代に直面して、その方面にいつそう歩を進めることになるだろう。実用的で信頼度の高い放電加工技術を確立すべく、なおいつそうの努力を惜しまないつもりである。

参 考 文 献

- (1) 鳳, 倉藤: 放電加工, コロナ社 (昭 36)
- (2) 元木: 放電応用装置, 日刊工業 (昭 41)
- (3) B. A. Krasnyuk Ed.: Electrospark Machining of Metals, 3, Consultants Bureau, New York (1965)
- (4) Hockenberry and Williams: Low-Voltage Discharges employed in EDM, IEEE Trans., IGA-3, No. 4 (1967)
- (5) 齊藤, 小林: 放電加工の加工原理と加工特性, 三菱電機技報 41, No. 10 (昭 42)
- (6) Zingerman and Kaplan: Soviet Physics Trans, 3, No. 2 (1958)
- (7) Zingerman and Kaplan: Soviet Physics Trans., 4, No. 7 (1960)
- (8) Hockenberry: The Role of the Dielectric Fluid in Electrical Discharge Machining, Society of Automotive Engineers, Inc.
- (9) 齊藤, 小林: 第 52 回 電気加工研究会資料 (昭 43)
- (10) 齊藤, 小林: 電極分割方式による実験, 精機学会関西地方講演会資料 (昭 43)
- (11) 青島, 小林: 超大形放電加工機 DM-5000, 三菱電機技報 45, No. 2 (昭 46)
- (12) 齊藤, 小林: 放電加工における適応制御, 三菱電機技報 44, No. 12 (昭 45)
- (13) 齊藤, 佐藤: 応用機械工学 128, No. 2 (昭 46)
- (14) 齊藤, 小林, 伊東: 第 62 回 電気加工研究会資料 (昭 46)

ダイヤシンカ電解加工機シリーズ

梶田 勲*・高橋 義博*

Series of DIASINKER Electrochemical Machine

Nagoya Works Isao KAJITA・Yoshihiro TAKAHASHI

Electrochemical machining has been recognized as improvement to the machining technique from the viewpoint of high speed machinability for cutting work considered very difficult in the past. Its accuracy in machining, however, was not satisfactory and much complaint was made to the device. Under the circumstances, a new system is introduced with considerable improvement on the drawback experienced with the old unit. The improvement owes greatly to the development of a depth positioning device of digital machining, control equipment of electrode distance, mixing of high pressure gas and finding of special electrolyte for the operation.

In this article are described principal items of the design on the latest electrochemical machine; i. e. rigidity, anticorrosion, electrolyte feeder, filter, high pressure gas mixer, digital machining depth positioning apparatus and electrode distance control equipment. These are all related to the accuracy improvement and the description covers the main points of the design and the mechanical construction of type MC-100 V electrochemical machine.

1. ま え が き

電気加工機は技術革新にともなう難切削材の出現と、熟練工および人手不足に悩む産業界において、省力化の旗手として最近急速に注目をあびている。

なかでも電解加工機は精度においては放電加工機に一步譲るとしても、その驚異的な加工速度、良好な仕上げ面、消耗しない電極、変質のない加工面については他の追従を許さない。

当社では10年前に、国産電解加工機第1号機を製作して以来70余台を生産した。そのうち20余台は輸出し、海外で好評を博している。

初期の電解加工機は、電解液に食塩水を用いて鍛造型などの荒加工に使用される程度であった。最近極間距離制御装置、デジタル加工深さ位置決め装置の開発、特殊電解液の開発、加工技術の進歩により加工精度が著しく向上し、応用分野も鍛造型・サッシ押出し型、ガラス金型などの型加工から航空機部品・機械部品・タービンブレードなどの部品加工と多岐にわたっている。

以下三菱電解加工機の概要と設計の主眼点、特に精度向上に重点をおいて述べる。

2. 電解加工機の特徴

電解加工は工具と被加工物の間げきを一定に保ち、かなりの流速(約10 m/s)の電解液を流すことにより、高い電流密度(20~100 A/cm²)で金属を溶出するものである。

電解加工機は、電解液の極間における反力に対抗する剛性と高濃度の電解液に対する防食が設計上最も重要な点であり、この機械の設計において考慮すべき諸点を列挙すると次のとおりである。

(1) 高圧の電解液を使用するため、大きな加工反力を生ずる。また極間において液のはくり、キャビテーションなどで振動を発生しやすいので剛性の高い堅ろうな構造であること。

(2) 電解液には高濃度の食塩水、硝酸ソーダ溶液のように腐食性の強い液を使用するので、電解液回路の配管はもちろん、機械本体も耐食構造であること。

(3) 加工の送り速度は一定でなければならない、そのうえ速度は0.3~5 mm/minと低速であるため、低速における主軸の送りが円滑でスティックスリップのない駆動機構であること。

(4) 加工には大電流を使用するため、大容量の直流電源を必要とし、さらにこれを導びく電流通路により、連続かつ安定に電流を供給することを必要とする。

(5) 大電流を流すため、大量の熱を発生するので、熱が機械に伝わらないようにするとともに、機械の構造も熱ひずみの影響を受けにくいようにすること。

(6) 電解液中に溶出した鉄は、水酸化第2鉄として蓄積されてくるので、これの除去機構をもつこと。

(7) 加工において陰極より発生する水素ガスを希釈し、常に水素濃度を爆発範囲以下に保つこと。

(8) 高圧で大容量の電解液を連続かつ安定に供給できること。

(9) 加工中に万一短絡事故が発生しても、電極あるいは被加工物に損傷を生じないようにするとともに、電気回路も保護するように、短絡を検出して瞬時に加工電流をしゃ断する短絡保護装置を持っていること。

(10) 加工部分への被加工物の搬入搬出が容易であるとともに、加工中における電解液の飛まつ(沫)を防止できる構造であること。

(11) 加工開始点および終了点のプログラムができるとともに、現在位置の記憶機構を持っていること。

(12) 電解液の見かけの比抵抗は温度・濃度で変化するが、この比抵抗の変化が加工精度に影響をおよぼさない制御方式を必要とする。

3. 機械、電源シリーズ

電解加工機の応用分野の拡大にともないユーザの要求は多岐にわたるようになる。これに応ずるため、機械系・電源系・加工液供給系の3ブロックに分け、各ブロックを標準化し、これの組合わせでユーザの要求を満足するようにしている。表3.1~3.3に機械、電源加工液供給系の仕様を、図3.1~3.3にMC-20 V、MC-50 V、MC-100 V形電解加工機の外観を示す。

表 3.1 ダイヤシカ電解加工機の機械仕様
Specification of machine units of ECM DIASINKER.

形 名	MC-10 V	MC-20 V	MC-50 V	MC-100 V
仕 様				
電極送りストローク mm	200	200	300	350
電極送り速度 mm/min	0.3~3	0.3~5	0.3~5	0.3~5
電 極 送 り 制 御 方 式	定電流密度方式 (GOC 付属にて定開き送り方式)			
加工そう内寸法 (左右×奥行) mm	850×900	750×550	1,050×850	1,500×940
テーブル寸法 mm	600×400	600×400	850×600	1,400×800
テーブル移動距離 (左右×前後) mm	なし	280×200	※ 300×250(1,200)	※ 500×250(1,700)
電極取付け面寸法 mm	200×200	370×300	500×400	500×400
テーブルと電極取付け面の面間距離(最大) mm	500	470	650	1,150

注) ※印は、重量物の加工そうへのつり入れ可能とするため、左方に加工そうが大きく移動可。テーブル移動距離 () 内に移動距離を示す。

表 3.2 ダイヤシカ電解加工機の電源仕様
Specification of power supply units of ECM DIASINKER.

形 名 仕 様	CE-10 A	CE-20 A	CE-25 A	CE-50 A	CE-100A	CE-200A
最大出力電流 A	1,000	2,000	2,500	5,000	10,000	20,000
出 力 電 圧 V	4～12				4～18	
出力電圧変動 V	±5 % 以 内					
入 力 電 圧 A	220/200 ±10 % 以 内				440/400 ±10 % 以 内	
入力周波数 Hz	60/50					
電源入力 kVA	30	45	55	130	270	530

表 3.3 ダイヤシカ電解加工機の加工液供給装置仕様
Specification of electrolyte supply units of ECM DIASINKER.

形 名		I	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	V
仕 様						
電 解 液 流 量 l/min	15kg/cm²	40	90	260	400	800
	5kg/cm²	60	160	340	500	1,000
電 解 液 そ う 容 量		1	1	2	4	8
標準的な電源との組合せ		CE-10 A	CE-20 A	CE-50 A	CE-100A	CE-200A

注) 電解液そう容量は遠心分離機付きの場合の容量を示す。

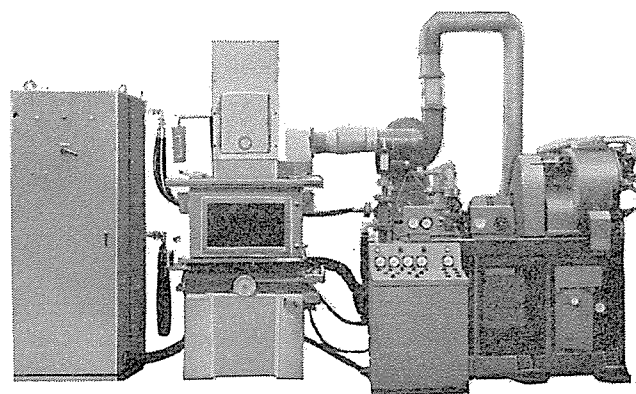


図 3.1 ダイヤシカ電解加工機 MC-20 V
ECM DIASINKER type MC-20 V

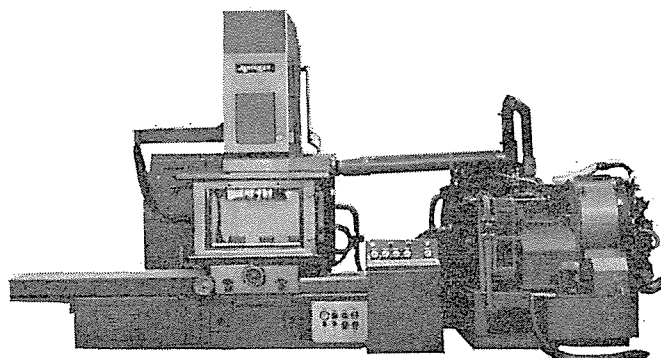


図 3.2 ダイヤシカ電解加工機 MC-50 V
ECM DIASINKER type MC-50 V.

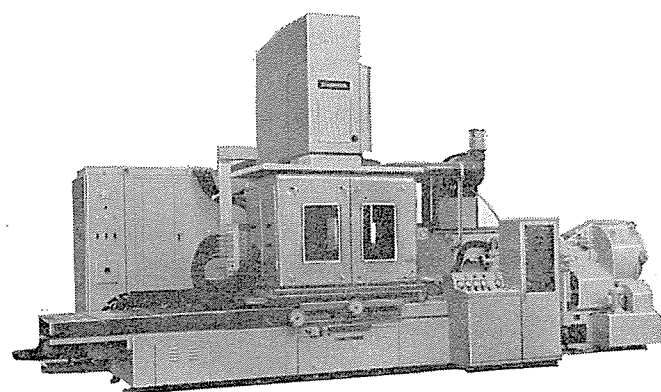


図 3.3 ダイヤシカ電解加工機 MC-100 V
ECM DIASINKER type MC-100 V

4. MC-100 V の機械構造

4.1 機械本体

図 3.3 に MC-100 V 形電解加工機の外観を示す。機械は C コラムタイプのタテ形の機械である。機械本体は電極送り機構を有するヘッド、これをささえるコラム、実際に加工する部分を収納する加工そう、ワークテーブルを X-Y に移動させるベッドサドルで構成される。

(1) ヘッド

ヘッドの側面図を図 4.1、平面図を図 4.2 に示す。主軸②は直接加工反力を受ける部分であり、高い剛性で精度を維持するよう箱形構造にしてある。しゅう動面は当社独得のころがり接触によるナローガイド方式を採用している。主軸駆動は直流電動機を用いた定速送りである。直流電動機の動力はギヤボックスを介しボールねじに伝えられる。ころがり接触の主軸しゅう動面と、高精度のボールねじによ

り、スティックスリップなどの不規則運動のない完全な定速送りを保証している。ギヤボックス内にはトルクリミッタを設け、誤動作などにより、電極が被加工物に衝突しても、機械自体に一定力以上かからないようにするとともに、電極も保護するようになっている。

電極取付け定盤は電極を取りつけるとともに、電極に対して電解液と電流を供給するものである。主軸への取付けはセラミックの絶縁素子を介しており、機械本体とは絶縁し、電流による発熱から生ずる熱ひずみの影響が機械本体におよばぬようにしゃ断し、加工精度を向上させている。

コラムの剛性は加工精度と加工の安定性に最も影響を与える。剛性は 2,500 kg の加工反力に対し、主軸の傾斜角は 1.5×10^{-4} rad である。

(2) 加工そう

加工そうは高級ステンレス鋼を用いて、防食構造としており、換気

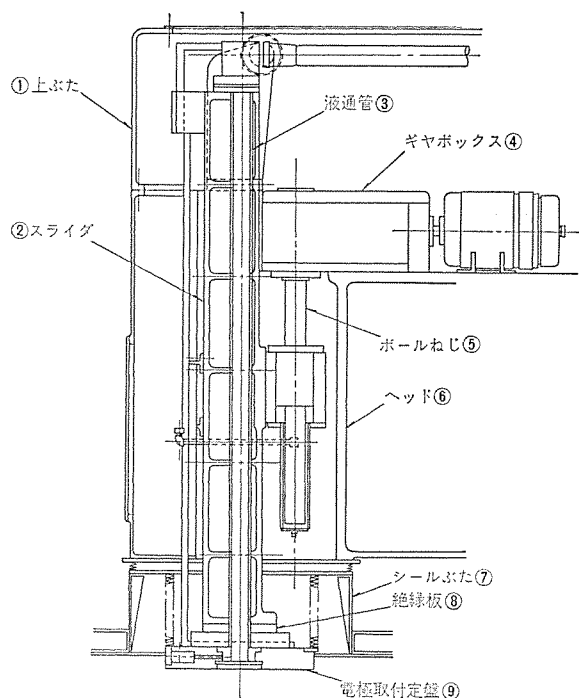


図 4.1 ダイアシッカ 電解加工機 MC-100 V ヘッド 側面図
Side view of head of ECM DIASINKER type MC-100 V.

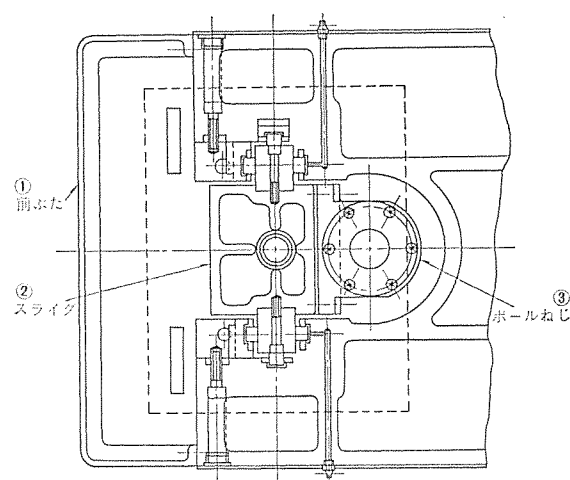


図 4.2 ダイアシッカ 電解加工機 MC-100 V ヘッド 平面図
Plan of head of ECM DIASINKER type MC-100 V.

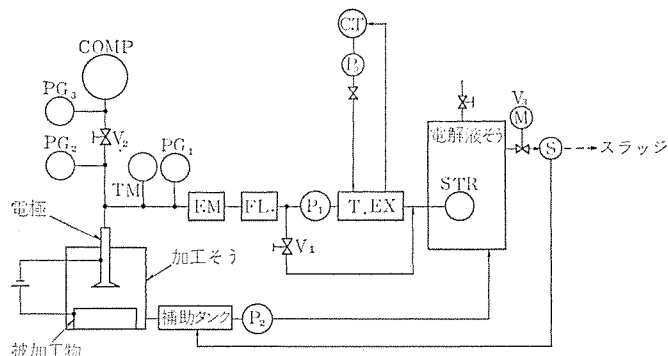


図 4.3 ダイアシッカ 電解加工機 MC-100 V 電解液およびガス回路
Flow chart of electrolyte and gas of ECM DIASINKER type MC-100 V.

符 号	名 称	符 号	名 称
P ₁	主 ポンプ	TM	電解液温度計
P ₂	排 出 ポンプ	V ₁	流量調整バルブ
P ₃	冷 却 水 ポンプ	V ₂	気体圧力調整バルブ
FL	フ ィ ル タ	V ₃	液 供 給 バ ル ブ
FM	流 量 計	STR	ス ト レーナ
PG ₁	電 解 液 圧 力 計	C. T.	クーリングタワー
PG ₂	気 体 二 次 圧 力 計	T. EX	熱 交 換 器
PG ₃	気 体 一 次 圧 力 計	COMP	空 気 圧 縮 機

と液もれ防止という相反する二つの特性を満足させている。

換気は加工によって陰極から発生する水素ガス(7 l/1,000 A)を爆発濃度範囲以下に希釈するため、加工そう下部周囲に設けた吸気口より新鮮な空気を吸入し、加工そう上部に設けた排出口より排気ファンにより外部に排出する、排気ファンは水素ガス濃度を爆発範囲(4~75%)下限の1/10以下にする能力を持たせている。排気の状態は、排気ダクトの途中に設けた羽根で空気の流れを検出し、常に監視している。吸気口には内側にカバーを取り付け液の飛まつ(沫)防止を行なっている。また加工そうには後側にウークポイントを設け、万一爆発した場合、作業者を保護するようにしている。このように水素ガスの安全対策には万全を期している。

(3) サドル部分

サドル部分はテーブルの前後、左右移動を行なう部分である。

駆動機構は前後、左右とも送りねじを用いている、しゅう動面はころがり接触なので軽快な動きをする。操作は前後が手動ハンドル、左右が手動と電動の併用になっている。送りねじ部にはバックラッシュの調整機構を備え、また完全なクランプ機構を持っており、正確な位置決めとクランプが容易である。

テーブルは被加工物を取り付けるとともに、これに電流を供給するもので、セラミックの絶縁素子を介して受けざらに固定し、機械本体とは絶縁して、電流による熱ひずみの影響を機械本体に与えないようにしている。

またテーブルには、スリットを設けて熱応力によるひずみを分散させ、大きなテーブルにおいても機械精度が低下しないようにしている。

テーブルは電動で左に大きく移動するようになっている。これは大きな被加工物をテーブルに取り付ける場合、ヘッド部分の障害をさけるため、これにより重量物の搬入・搬出を容易にし、いっそう操作性をよくしている。

4.2 電解液供給および過装置

(1) 液回路

図 4.3 に電解液およびガスの回路を示す。電解液そうは電解液をたくわえるタンクである。電解液はストレナから熱交換器に入り、主ポンプに入る。主ポンプ出口で2方向に分割された電解液は、一方はフィルタ、流量計を通して電極に入り加工極間に供給される。一方はバイパス弁V₁を通して熱交換器の吸込側に返される。流量調整はこのバイパス弁V₁で行なう。これにより主ポンプにむりな負荷をかけることなく、広範囲の流量調整をスムーズに行なうことができる。

極間を通過し加工反応物を含んだ電解液は、いったん補助タンクにためられ、排出ポンプP₂により電解液そうに戻される。一方ろ過回路は電解液そう底部から落差を利用して遠心分離機に液を送り込む。ろ液は補助タンクにためられ、排出ポンプP₂で液そうに戻される。遠心分離機で除去された加工反応物は、半固体状となって外部に取り出される。

(2) 配管

電解液として腐食性の強い食塩水および硝酸ソーダ溶液を使用している。また電解液は加工により温度が上昇し、さらに一部は高压となるため、ステンレス鋼や通常の合成樹脂の配管は適切でない。

われわれはこれらの対策として鋼材にライニングを施すことを採用し、成功した。

(3) 主ポンプ

主ポンプには多段式うず巻きポンプを用いている。羽根車、ケーシング軸などは各種電解液に対して十分な耐食性を持った材料を用いて

れる心配がない。また電解加工電源としては応答速度は、加工現象からみれば十分満足できるものであり、加工面積の変化に対する電流増減の応答速度は十分追従できるものである。

5.2 定速送り制御回路

図 5.2 に電極・定速送り制御回路のブロック図を示す。速度発電機 PG の出力電圧と設定速度電圧とを比較し、その差電圧を増幅器にて増幅し、これに比例した点弧パルス点を点弧回路にて発生させてサイリスタに加える。サイリスタは点弧パルスにより電機子電圧を位相制御して、直流電動機速度を制御している。このループによって電動機速度が設定速度に一致するよう自動制御されているのである。

5.3 短絡保護回路

電解加工機では微小間けきにて加工を行なうため、極間への異物の混入、電解液のキャビテーションなどの原因で極間が短絡し、短絡個所にジュール熱を発生して電極あるいは被加工物に損傷を起す。現在の短絡保護回路はおもに次の事項を検出している。

- (1) 加工電圧の変化分 (dv/dt) の検出
- (2) 低電圧の検出
- (3) 加工電圧波形の上限ピーク・下限ピーク値の変化の検出

以上のような波形検出をし、より早く主回路をしゃ断して、電極を保護するのであるが、より高速化を計るため半導体リレー回路を用いている。

5.4 過電流保護回路

過電流保護回路は電源が定電圧・定速送りであるため、面積の大きな電極を、早く送った場合、加工電流が定格値以上になることがしばしば起りうるので過電流リレーによって、主回路電流を検出し、限時特性を持たせて電源をしゃ断している。

これらの保護回路により、シリコン整流器、可飽和リアクトル、主変圧器を過負荷から保護している。

6. デジタル加工深さ位置決め装置

この位置決め装置は、5けた可逆カウンタを装備したデジタル自動深さ設定装置で、主軸の送りをデジタルにプログラムし、加工開始点から加工終了点までを、自動制御する装置である。その外観は機械部分を図 6.1 に、制御装置は図 6.2 に示す。

6.1 機能

この装置のおもな機能は次のとおりである。

- (1) 主軸の送り量をデジタルにプログラム制御ができる
- (2) 加工中の位置、つまり現在値表示ができる
- (3) 深さ設定の最少目盛単位は 0.01 mm
- (4) 電極と被加工物の初期ギャップを指定できる
- (5) 短絡現象等により加工が中断した場合、その位置を記憶して再度その位置から再加工開始ができる。(加工側面に段ができない)
- (6) 同一加工物を多数個加工する場合は、繰り返し指令を与えれば、1 工程ごとに加工深さを設定する必要も

なく、また累積誤差は 1 工程ごとに修正される。

6.2 構造および動作

主軸付近のリミットスイッチの配置および構造を図 6.3 に示す。ま

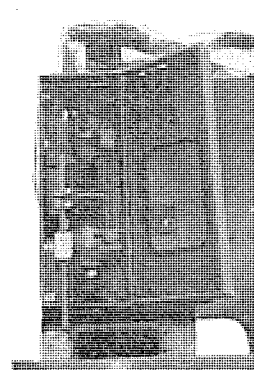


図 6.1 デジタル加工深さ設定装置 (機械系)
Digital working depth setting device.

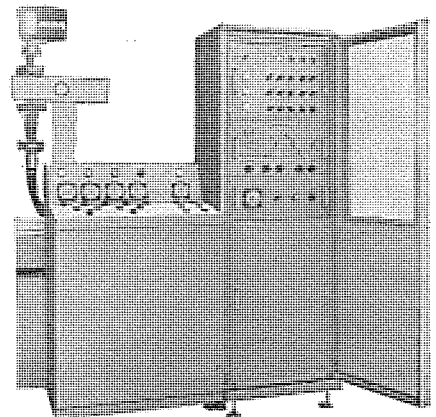
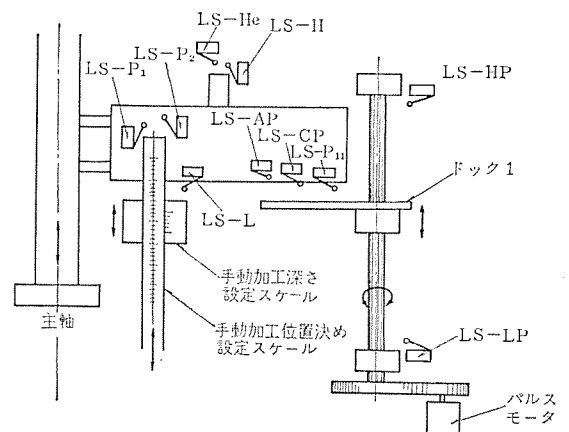


図 6.2 デジタル加工深さ制御盤
Digital working depth setting panel.



各リミットスイッチの説明		
LS-HP	パルスモータ(ドック1)上限	LS-He 主軸上限(非常用)
LS-LP	パルスモータ(ドック1)下限	LS-H 主軸上限(常用)
LP-P11	主軸速度切換え、主ポンプ作動	LS-P1 主軸位置決め時の主軸速度切換え、主ポンプ作動
LS-CP	自動位置決めリミットスイッチ	LS-P2 主軸位置決め時の加工 ON
LS-AP	主軸衝突防止	LS-L 主軸位置決め時の加工終了

図 6.3 主軸付近のリミットスイッチ配置
Disposition of limit switches around main shaft.

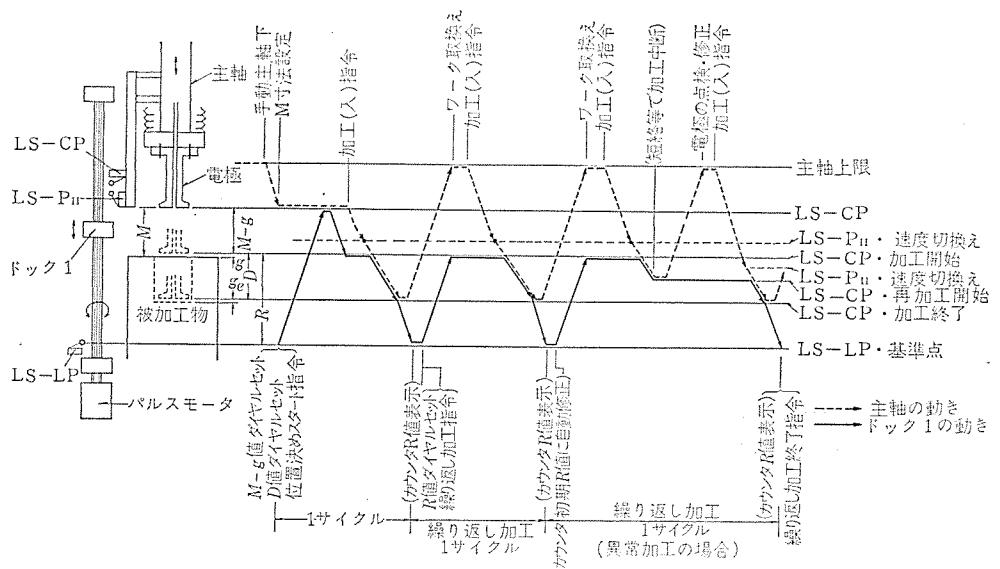


図 6.4 主軸(電極)と位置決めの関連動作図
Chart of operational relationships between main shaft (electrode) and positioning.

た主軸と位置決めに関連動作を図 6.4 に、この装置のブロック回路図を図 6.5 に示す。この装置の操作および動作は次のとおりである。

M 寸法（電極と被加工物間の寸法）を専用ゲージにて決定し、次に g 寸法（初期ギャップ）を決め、 $M-g$ 寸法をダイヤルセットする、また D 寸法（加工深さ）をダイヤルセットする。

位置決めスタートボタンを押すと、電気パルスモータによりリミットスイッチ指令ドック（ドック1）は上昇し、LS-CP を押して停止する。数秒後 $M-g$ ダイヤル値を読み込み、その寸法だけドック1は下降して停止する。この点が加工開始点となる。

加工“入”指令を出すと、主軸は下降し、LS-P₁₁ ON にて加工速度に切り替わり、LS-CP、ON で実際の加工に入る。加工中はドック1により LS-CP を ON、OFF させながら主軸送り速度に比例して下降し、現在位置を表示する。主軸が D ダイヤル値に達すると、加工終了の信号が出て主軸は上限 LS-H まで上昇一次の工程を待機する。またドック1はカウンタとともに下降、加算して下限（LS-LP）点で停止する。このときカウンタは、 R 値（加工開始点からの距離）を表示している。

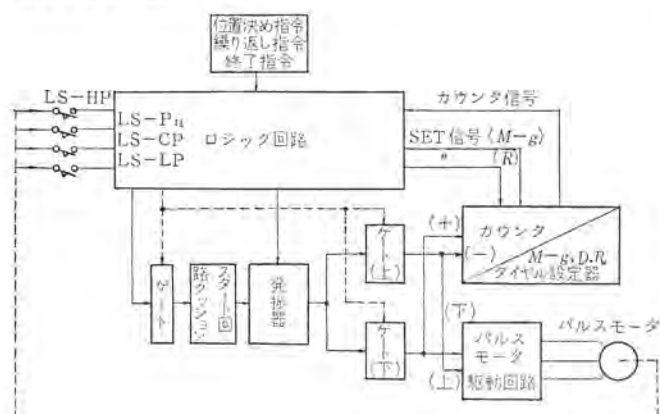


図 6.5 デジタル位置決め制御回路
Digital positioning control circuit.

表 6.1 繰り返し位置決め精度試験結果
Test results of repeated positioning accuracy.

単位 [mm]					
試験回数	D_{SET}	$R-D$	R_{SET}	D_i (誤差)	加工速度 mm/min
1	5.00	145.00	150.00	0	2
2	5.00	145.00	150.00	+0.002	2
3	5.00	145.01	150.00	+0.002	2
4	5.00	145.01	150.00	-0.016	2
5	5.00	145.00	150.00	+0.002	2
6	5.00	145.00	150.00	-0.014	2
7	5.00	145.01	150.00	-0.014	2
8	5.00	145.00	150.00	-0.006	2
9	5.00	145.00	150.00	-0.008	2
10	5.00	144.99	150.00	-0.008	1
11	5.00	145.00	150.00	-0.004	1
12	5.00	144.99	150.00	-0.008	1
13	5.00	145.00	150.00	-0.016	1
14	5.00	145.00	150.00	-0.010	1

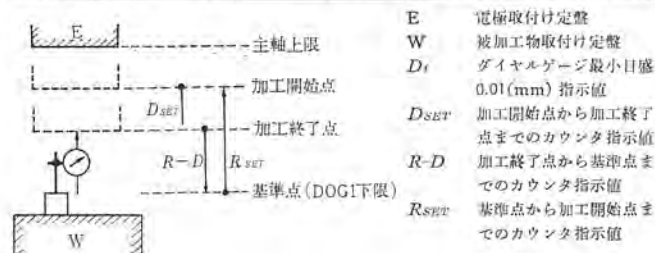


図 7.1 食塩水比抵抗の温度変化
Variation of specific resistance of brine for temperature.

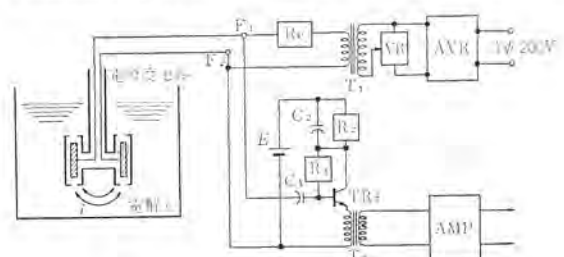


図 7.2 比抵抗検出回路
Detection circuit of specific resistance.

カウンタに R 値をダイヤルセットして、繰り返し加工指令を出す、 R 値を読み込み後、 R 寸法だけドック1は上昇し、000.00 表示になると停止する、この点が繰り返し加工開始点となる。

以後前記の動作を繰り返して下限（LS-LP）点に戻る。下限点では初回セットした R 値にカウンタをリセットする指令を出すので、累積誤差を防止できるわけである。

以上この装置の機能・動作を簡単に説明したが、繰り返し位置決め精度の試験結果を表 6.1 に示す。電解加工機での仕上がり精度は 5/100 mm 程度であるので、この試験結果で十分満足できるものである。

7. 極間距離制御装置 (GOC)

5 章でも述べたように、電解加工では、式 (5.1) より、加工電圧 (V)、電極送り速度 (v_m)、電解液の見かけの比抵抗 (ρ) を一定に制御すれば、極間距離 (g) つまり寸法精度は一定になる。

しかし電解液の温度・濃度を一定にすることは、実際的にはもろもろの困難をともなう。すなわち加工電流による温度上昇、蒸発による濃度変化、不純物の混入による成分変化、電解液の補充による温度・濃度変化など多くの要因によって、その状態は変化し、大量の電解液の状態を長時間にわたって、一定に維持することは困難である。

電解液の見かけの比抵抗 (ρ) は温度によるものだけを見ても図 7.1 に示すごとくに変化する、加工中は普通 25°C~60°C ぐらいの温度変化はありうるから、温度変化によるだけでも (g) は大きく変化することになる。

この制御装置によれば、電解液の見かけの比抵抗を直接検出して V/ρ が、常に一定になるように制御される。一例を示せば加工を始める際に電解液温度が 30°C、濃度 20% であったとすると、その状態で最適な極間開けきになるように、加工電圧・加工速度を設定すれば、その後の電解液の温度変化などによる ρ の変化があっても、

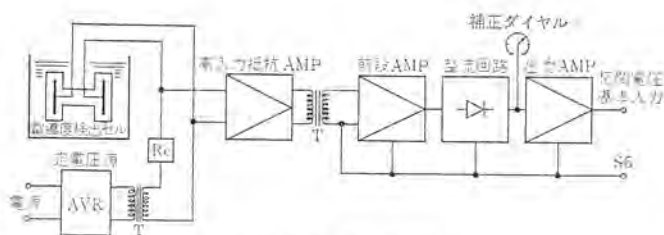


図 7.3 GOC ブロック 回路図
Block diagram of the GOC.

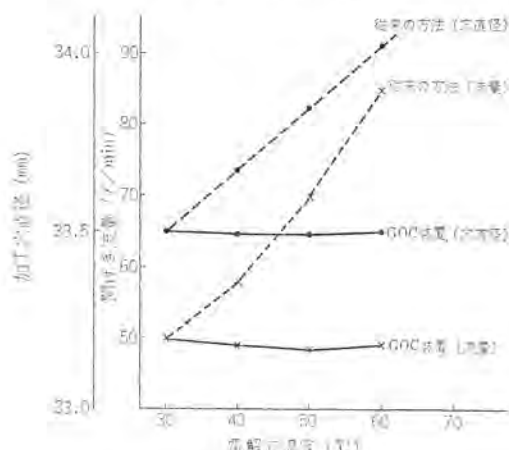


図 7.4 GOC 装置の効果
Effect of the GOC.

最適間けきを与えるように、IC 演算回路によって変数に変化されるので、製品のばらつきは少なくなるわけである。

7.1 検出装置および回路

電解液比抵抗の検出には図 7.2 に示すごとく、ガラスの円筒ケース中に、2 個の円筒状の白金電極が、一定間けきを隔てて取付けてあり、2 電極間のインピーダンスが電解液比抵抗に比例する現象を利用して、比抵抗の測定をするものである。

電極間の電解液抵抗を (r)、電解液比抵抗を (ρ) とすると

$$r = K\rho \quad \dots\dots\dots (7.1)$$

となる。ここで K は電極の形状、電極間距離等で決まる定数で、セルコンスタントと呼ばれる。

2 電極間に定電流電源を接続すれば、電極間電圧 (e) は

$$e = K\rho i \quad \dots\dots\dots (7.2)$$

となり、電解液の見かけの比抵抗に比例する。したがってこの電極間に高入力インピーダンスの増幅器を接続して、電極電圧を検出すれば、式 (7.2) より、電解液の見かけの比抵抗を検出することができる。

この装置のブロック回路図を図 7.3 に示す。電導度セルへの供給電流は、直流であると電気分解をおこして電極の溶出が起こるので、交流電源を AVR を通して定電圧にし、トランスにて降圧した交流を供給している。

電導度セルの極間電圧は、高入力インピーダンス交流増幅器にて増幅

し、トランス結合した後、次段の増幅器へ結合される。

この高入力インピーダンス交流増幅器は、エミッタフォロアにより、電導度検出の極間抵抗に比べて、十分に大きなインピーダンスを持ち、電極間電圧をこの回路に接続しても電圧変動はない。

セル極間電圧は、前段増幅、整流、出力増幅され、その電圧を図 5.1 の極間電圧設定基準に入力として与え、 V/ρ を一定に制御するものである。

なお、補正ダイヤルは、電解液の種類、電極形状によって、ノッチを選定し、それぞれの補正カーブを利用して、 V/ρ 特性を修正するダイヤルである。

7.2 GOC 装置の効果

丸電極を用いて、丸穴を加工した場合について、加工された穴の直径の変化を、GOC 装置を用いたときと従来の方式による場合との比較を図 7.4 に示す。

30℃ で $\rho = 5.6 \Omega \cdot \text{cm}$

60℃ で $\rho = 3.8 \Omega \cdot \text{cm}$

と大きく変化しているのに対し、GOC 装置を用いれば、加工された穴の径は、0.01 mm の変化にとどまっていることがわかる。

8. む す び

以上三菱電解加工機 ダイヤシカ の加工精度の向上を主として、機械構造、電源制御回路について述べた。今後は加工技術の発展に伴って応用分野が広がり、大容量化・自動化が進むであろう。大容量化については通電方法と熱ひずみについて対策を講じなければならない。

自動化については機械の性質上完全無人化はむずかしく、自動割出し装置などが、すでに開発した GOC 装置、デジタル加工深さ位置決め装置のほかに加わり、これらの組合せで半自動化を行なう方向に進む。被加工物の取付け・取りはずしは今のところ人手で行なうので十分であると考ええる。

一方電解加工によって生ずる加工反応物の処理が電解加工機発展の障害となりつつある。当社の電解加工機は遠心分離機の採用により反応物の小容積化を計り、その処置を簡便にはしているが、昨今問題になっている廃棄物処理として加工反応物の資源化について、なお研究を進めているところである。

参 考 文 献

- (1) 前田、斉藤、荒井、伊藤、杉江：三菱電機技報 37, No. 8, 35 (昭 38)
- (2) 前田、斉藤、荒井：三菱電機技報 39, No. 9, 75 (昭 40)
- (3) 前田、斉藤、荒井：精密機械 31, No. 11, 70 (昭 40)
- (4) 荒井、葉石：最近の電解加工の応用、三菱電機技報 45, No. 10 (昭 46)

硝酸ソーダ水溶液による電解加工

荒井 伸治*・葉石 雄一郎*

Electrochemical Machining with NaNO_3 Solution

Nagoya Works Shinji ARAI・Yuichiro HAISHI

Electro-chemical machining with NaNO_3 solution by a high pressure gas mixing method has elevated the accuracy, simplified the process and widened the scope of application to an extent never attained in the past. When the relation between the electrode gap and the current density is sought for with this solution, surface resistance R of the workpiece seemingly caused by oxidized passive state is made known as a concept. Also it is observed, from the relation of the current density with the velocity of dissolution, that the dissolution does not occur at the current density below J_0 . The presence of R and J_0 reduces the integration effect. On the other hand, the flow of uniform liquid due to the compressed gas mixture assures the stability of the machining. As a result, even in the field of die machining the reversal method can be used and economic effect is enlarged by the use of the electro-chemical machining.

1. ま え が き

電解加工機が出現して以来、すでに13年の年月が経過し、その間に、電解加工の応用分野は着々と広まりつつある。とくに、最近工業の発達とともに種々の目的から数多く出現してきた、難切削性の材料を加工する場合には、電解加工は、不可欠の加工法として中心的な役割を占めるに至っている。

現在ではさらに電解加工法の高速度と、電極の無消耗性を最大限に利用すると、部品加工や成形加工として、ミーリング加工やボーリング加工に代換えて用いて、大きな経済的利益が得られることが判明し、電解加工は単に難切削性材料の加工に限らず、広範な応用分野で利用されつつある。

このようにミーリング加工、ボーリング加工に代換えできる電解加工法となり得た大きな理由の一つに、積分効果⁽¹⁾の少ない電解加工が実現されるようになったという技術的な成果があげられる。すなわち、電解液として、これまで一般的に用いられていた食塩水から、硝酸ソーダ液などの酸素酸塩に切換え、これに高圧気体混入方式を併用することによって、電極より微小定間けきだけ大きい相似形状に、加工できるようになった。これによって、電極の形状を、加工深さによって異なる間けきに設計するという、これまでの電解加工にみられた電極形状設計・製作の繁雑さは、いっさい不要となり、きわめて簡易になった。また電極自体を電解加工で製作する反転法の使用も、従来適用が不可能であった一般金型加工にも可能となった。

電解液に、食塩水を用いる電解加工については、すでに報告⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾したので、本論では、酸素酸塩水溶液とくに硝酸ソーダ水溶液による電解加工について、特性・精度・応用例について述べる。

2. 各種電解液による電解加工

電解加工の開発当初、食塩水をはじめとする各種電解液についてその使用の可否が検討⁽²⁾されたが、電流量に対する溶出量が最大で、しかも入手容易な食塩水が選定された。また、他の電解液は、実用的な加工において、電極軸の横方向の振動に起因すると考えられる短絡が多いために、実用できなかった。当社は、近年電極軸の剛性の高い電解加工機が開発され、電極横振動が小となり、また横振動の起因である液流動の不均一を、高圧気体混入方式で解決することにより、他の酸素酸塩による加工の可能性が見出されてきた。

酸素酸塩による加工においては、被加工物表面に生成されるとみられる酸化膜による不動化現象により、積分効果が小になることが期待でき、高精度の電解加工が得られるものと思う。

そこで、各種電解液について、円筒状電極(図2.1)の電極で加工し、その加工形状(断面形状)を測定した結果を述べる。

実験条件

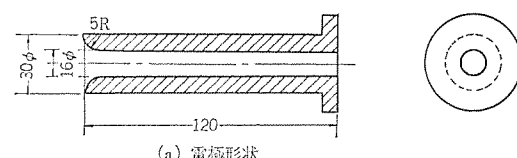
電 極 外径 30 φmm・内径 16 φmm 材料: 黄銅
被加工物 図2.1(b)の構造で、合わせ目が中心となるように加工する。材料: 軟鋼(SS41)
電解液 NaCl , KNO_2 , KNO_3 , NaClO_3 , NaNO_3 , Na_2CO_3
水溶液について、5・10・15・20%の各濃度の液
電解加工条件 電圧 10 V, 液圧力 10 kg/cm², 液温 30~40°C
加工時の観測は次のとおりである。

(1) NaCl 水溶液

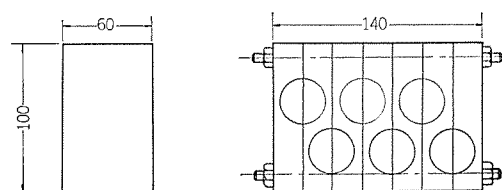
5%濃度でも1.5 mm/(分)以上の加工送りが可能であり、加工深さも30 mm以上短絡させずに加工可能である。加工面は、微光沢を帯びる。

(2) KNO_2 水溶液

短絡がおきやすく、速い加工は濃度を濃くしないとむずかしい。30%溶液で0.8 mm/(分)が、短絡のおきない限界の速さである。加工面は暗緑色となり、被加工物の非加工面の電極近傍に、海綿状かつ色膜が生ずる。

(3) KNO_3 水溶液

(a) 電極形状



(b) 試験片形状

図 2.1 電極および試験片 Electrode and workpiece.

濃度 15% 以上で 1 mm/(分) の加工が可能である。加工面は暗緑色であるが、非加工面のかっ色膜は生じない。

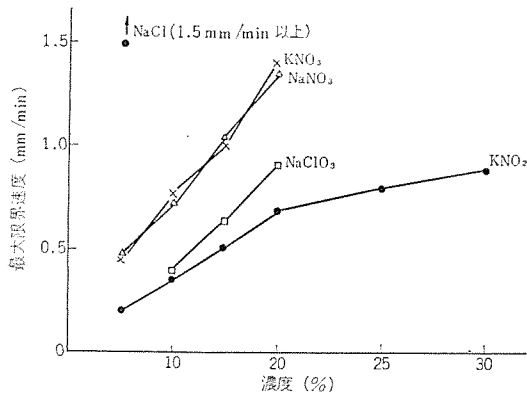


図 2.2 最大限界速度 Maximum feed rate.

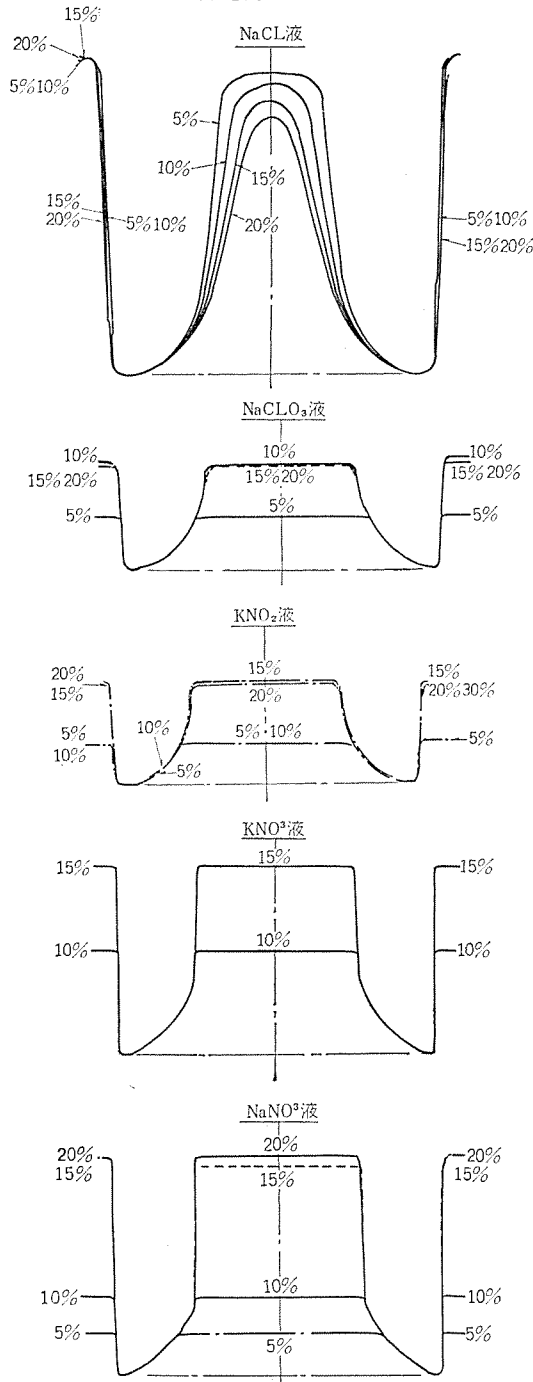


図 2.3 各種電解液による加工断面形状 Cross section of hole made with various electrolytes.

(4) NaClO₃ 水溶液

食塩水ほど速い加工はできない。加工面は、金属光沢面を呈すが側面に糸こん(痕)がつきやすい。

(5) NaNO₃ 水溶液

KNO₃ 液による加工と酷似である。

(6) Na₂CO₃ 液

加工不能であった。

短絡の生じないとみられる最大限界速度を、図 2.2 に示す。

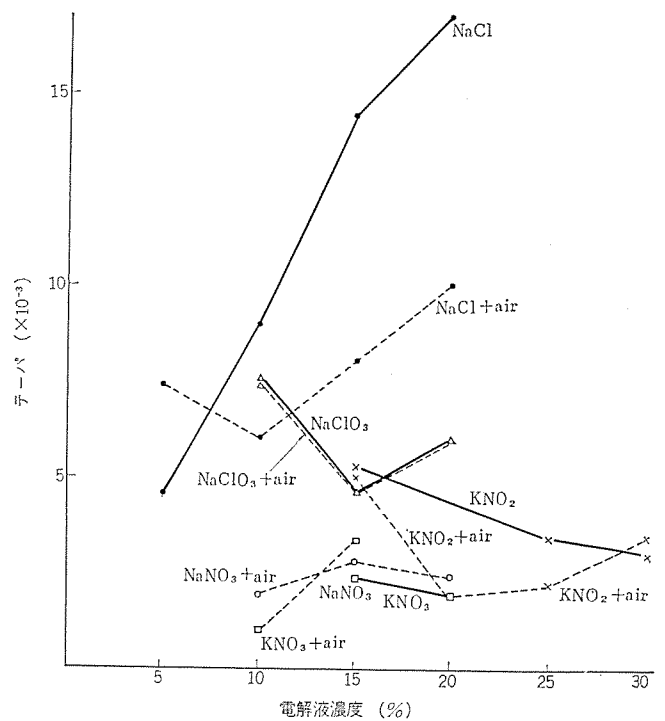
つぎに、被加工物を解体し、加工形状の断面を投影機で観測した断面図を図 2.3 に示す。食塩水では、すりばち状の加工形状となるのに対し、他の酸素酸塩では、垂直に近い側面となっているのが観測される。底面より 4 mm 上の位置と、9 mm 上の位置で計測した加工孔の直径より求めたテーパの値を、図 2.4 に示す。これらより、(大) NaCl, NaClO₃, KNO₂, KNO₃, NaNO₃(小)の順に、積分効果が小さく表われているのがわかる。

なお、食塩水を用いた場合、側面におけるクリアランス g_s は、積分効果の影響で、次式で表わされる⁽³⁾。

$$g_s = g_t \sqrt{1 + 2l/g_t} \quad (2.1)$$

g_s : 側面間げき g_t : 底面間げき

l : 底面からの高さ (図 2.5 参照)



底より高さ 4 mm, 9 mm のところの径より計算

図 2.4 各種電解液による加工のテーパ Taper value of machined hole with various electrolytes.

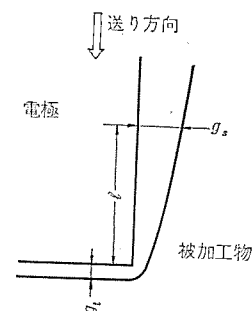


図 2.5 側面間げきの生成 Side gap.

円筒電極で加工する場合、とくに発生水素ガスの影響をうけにくい内側面において、上式がよく一致することが報告されている。

したがって、酸素酸塩水溶液においては、食塩水とは様子の異なった側方間けきの生成が見られるといえる。また、電解液濃度の影響をうけにくい点も注目すべきである。

3. 硝酸ソーダ水溶液による加工特性

3.1 溶解現象

電解加工の溶解は、一般的には次のように理解されている。

(1) 極間けき (g) に対し、印加された電圧に応じて電流が流れる。そのときの電流密度は (J) とする。 (g - J 関係)

(2) 流れた電流密度 (J) に応じ、溶解がおこる。その溶解速度を (f) とする。 (J - f 関係)

(3) 上述の2関係より、間けき (g) に対し、溶解速度 (f) が定まり、加工精度もおのずから決定される。

したがって溶解現象は、 g - J 関係および J - f 関係を求めることが基礎となると考えられる。

g - J 関係は、もっとも簡単には次のオームの法則が成立すると考えられる。

$$g = \frac{E - E_0}{\rho J} \quad (3.1)$$

E : 印加電圧 (V)

E_0 : 分解電圧 ($E - E_0$) はオームの法則に従う電圧を示す。(V)

ρ : 見かけの比抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}$)

J : 電流密度 (A/cm^2)

ここで ρ は、液中に含まれる気体によるボイドなどの影響をうけて、電解液の純比抵抗 ρ_0 とは異なる値となる。これまでの食塩水の電解加工では、 ρ は次式で示される⁽³⁾。

$$\rho = \rho_0 + k \frac{Q_g}{Q_e} \quad (3.2)$$

ρ_0 : 液の純比抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}$)

Q_g : 気体流量 (l/min)

Q_e : 電解液流量 (l/min)

k : 定数 ≈ 18

なお電解液温および濃度の変化は、 ρ_0 に影響を与える。食塩水による加工において、式 (3.1) がよく実験と合致することが報告されている⁽³⁾。しかし硝酸ソーダ水溶液の加工では、酸化性が強いので式 (3.1) と一致しないことが予想される。

J - f の関係は、ファラデーの法則より次式が導かれる⁽³⁾。

$$f = 60 \alpha \cdot \frac{K}{d} \cdot J \quad (\text{cm}/\text{min}) \quad (3.3)$$

α : 電流効率

K : 電解当量 ($\text{g}/\text{A} \cdot \text{s}$)

d : 密度 (g/cm^3)

ここで、 K は、各金属について溶出する原子価数に応じて、表 3.1 の値が理論値として求められている。 α は、電気量のうち金属の溶出反応に用いられる割合を示すものである。食塩水による加工では、鉄加工において2価溶出と考えると、 α は 0.98 以上になっている⁽³⁾。硝酸ソーダ水溶液を使用する場合には、不動態膜の影響によって3価溶出もおこることが予想される。

表 3.1 電気化学当量表
Electrolytic equivalent value.

材 料	溶 出 価 数	$K(\times 10^{-3} \text{g}/\text{A} \cdot \text{s})$
Fe	2	0.289
	3	0.193
Ni	2	0.304
Co	2	0.260
Cr	3	0.180
	6	0.089

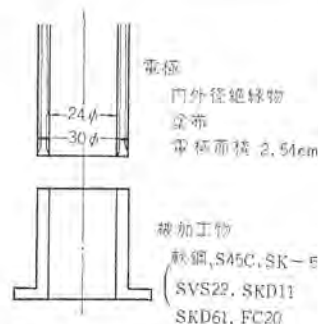


図 3.1 電極および被加工物
Electrode and workpiece.

3.2 極間けき g と電流密度 J の関係

3.2.1 実験

図 3.1 に示す薄肉円筒電極と、同じ形状の被加工物で、中心を合わせて加工を行なう。この形状では、側面の加工がないので、底面だけの電流によって加工できる。また薄肉であるので、加工中に電解液の温度上昇や、加工中に発生する水素ガスによる影響は無視できる。まず、送り速度 $1 \text{ mm}/\text{min}$ 程度で、気体混入法によって加工を行ない、電極面と被加工物面を平行にする。しかるのちに、接触感知装置 (2 V 1 A 程度の電源を極間に接続し、極間が、短絡によって接触したとき電圧が 0 V になるのを検出する) によって、間けき 0 の電極位置を出す。この精度は、 0.01 mm 以内である。次に所要の間けきだけ、電極を被加工物からはなし、電源 ($1,000 \text{ A}$ 容量の三相全波整流直流電源) を投入し、そのときの電流の瞬時値を電磁オシログラムにより計測する。他の実験条件は次のとおりである。

実験条件

被加工物材料 軟鋼、機械構造用炭素鋼 (S 45 C)、炭素工具鋼 (SK-5)、マルテンサイト系ステンレス鋼 (SUS 22)、耐摩変形用工具鋼 (SKD-11)、熱間成形用工具鋼 (SKD-61)、鋳鉄 (FC 20)

電 極 黄銅

電解液 20 % 硝酸ソーダ水溶液、液温 $20^\circ \text{C} \sim 40^\circ \text{C}$

電 圧 10 V、電解液圧 $14 \text{ kg}/\text{cm}^2$

各種材料についての極間けき g と電流密度 J の関係を図 3.2 に示す。それぞれの曲線は、式 (3.1) で示される関係 (20°C の場合を点線で図 3.2 に併記した) と大きく異なっている。

3.2.2 検討

式 (3.1) と実験値との相違を、被加工物表面に生ずるとみられる薄い酸化膜の抵抗 $R (\Omega \cdot \text{cm}^2)$ があるものと仮定し式 (3.1) を変形すると次式になる。

$$E - E_0 = R \left(\frac{1}{S} + \rho \frac{g}{l} \right) I \quad (3.4)$$

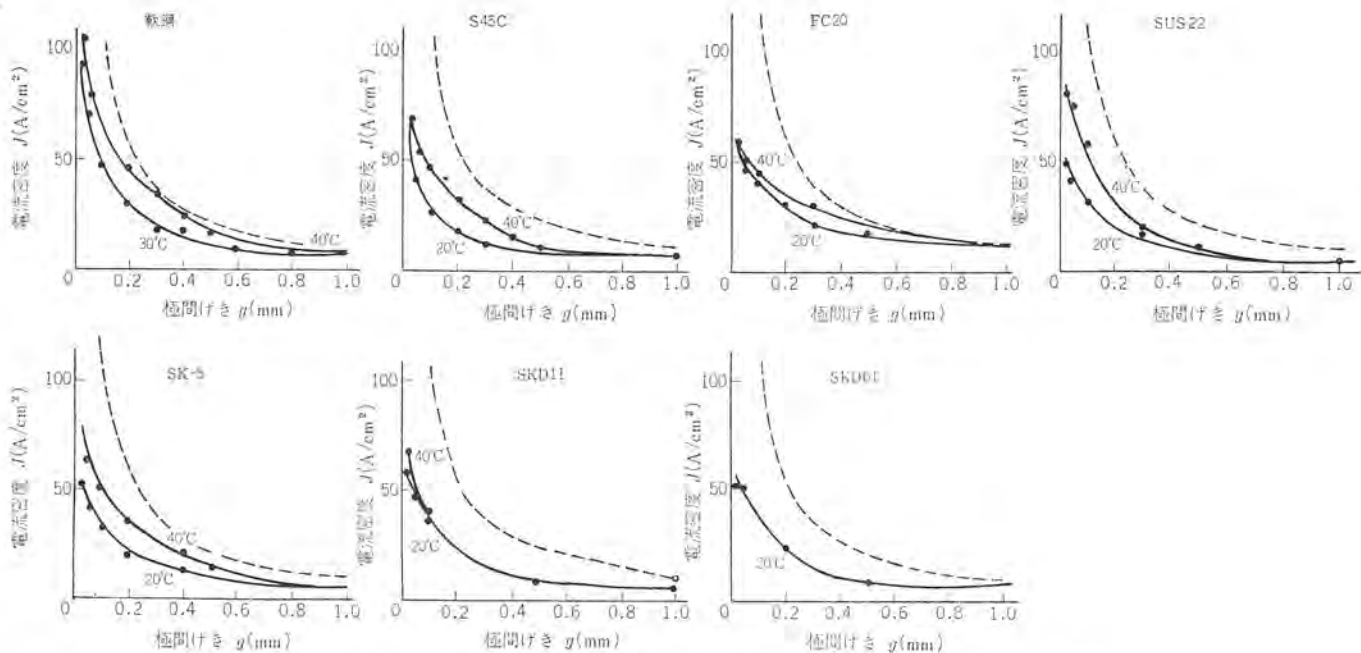


図 3.2 極間げき g と電流密度 J の関係 Relation between gap (g) and current density (J).

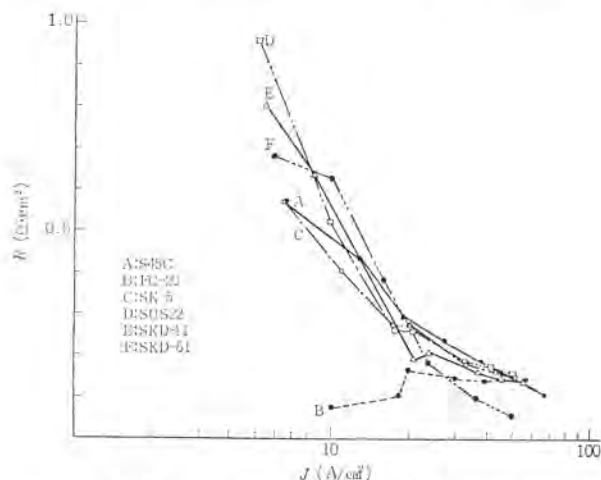


図 3.3 膜抵抗 R と電流密度の関係 Relation between film resistance and current density.

表 3.2 R の近似実験式
Experimental formula of R .

材 料	20°C	40°C
軟 鋼	$R = \frac{1.4}{J^{0.62}} (30^\circ\text{C})$	$R = \frac{0.32}{J^{0.36}}$
S 45 C	$R = \frac{3.0}{J^{0.79}}$	$R = \frac{2.7}{J^{0.79}}$
FC 20	$R = 0.14$	$R = 0.14$
SUS 22	$R = \frac{1.8}{J^{0.97}}$	$R = \frac{1.8}{J^{1.0}}$
SK-5	$R = \frac{1.9}{J^{0.67}}$	$R = \frac{1.5}{J^{0.67}}$
SKD 11	$R = \frac{1.7}{J^{0.87}}$	$R = \frac{3.4}{J^{0.82}}$
SKD 61	$R = \frac{4.4}{J^{0.87}}$	

ど液温が高くなることと考え合わせると、加工穴の外周輪郭精度は、(1)群→(4)群の材料の順に高精度が得られると考えられる。

3.3 電流密度 J と溶解速度 f の関係

3.3.1 実験

定電圧電源による定速送りの加工において、定常状態になったのちの電流値と、送り速度を計測し、 J と f の関係を求める。電極および被加工物は、3.2 節の実験とまったく同じ条件とした。他の実験条件は次のとおりである。

実験条件

加工電圧	10 V 定電圧
加工液	20 % 硝酸ソーダ水溶液、液温 20°C
液圧力	14 kg/cm ²
送り速度	0.3~2 mm/min の間で、それぞれ電流 (間げき) が定常値になるのをまってから測定する。

各種材料についての測定結果を図 3.4 に示す。

なお、加工面積の影響があるか否かを調べるため、電極形状の外径を 30 φmm 一定とし、内径を 10 φmm・16 φmm・24 φmm と変え

$$g = \frac{E - E_0}{\rho J} - \frac{R}{\rho} \quad (3.5)$$

$$R = \frac{E - E_0}{J} - \rho g \quad (3.6)$$

式 (3.6) により、 J および g の実測値をあてはめて R を計算し、その結果を図 3.3 に示す。FC-20 を除いて他の SS 41, S 45 C, SK-5, SUS 22, SKD-11, SKD-61 などの材料については、電流密度が小さくなるほど、膜抵抗 R は大きい。この膜抵抗値 R は、 J に関する次の近似実験式で表わすことができる。

$$R = \frac{A}{J^B} \quad (A, B \text{ 定数}) \quad (3.7)$$

各材料および 20°C, 40°C の各液温における A , B の定数値を表 3.2 に示す。液温の変化に対し、(1) $A \cdot B$ 共に不変のもの (FC-20), (2) B 一定, A 変化 (S 45 C, SK-5), (3) A 一定, B 変化 (SUS 22), (4) $A \cdot B$ 共に変化 (SKD-11, SS 00) の各材料群にわかれる。(1)群→(4)群の順に、温度による R の変化が大きく、この考えを実際の加工にあてはめて考えれば電解液流の下流になるほ

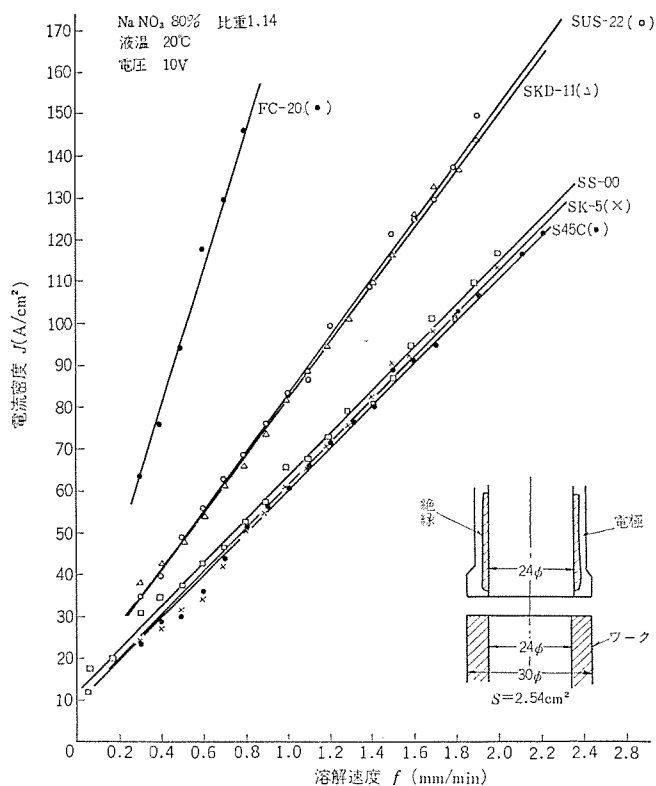
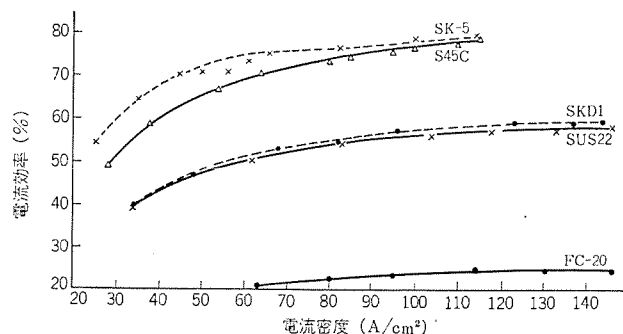
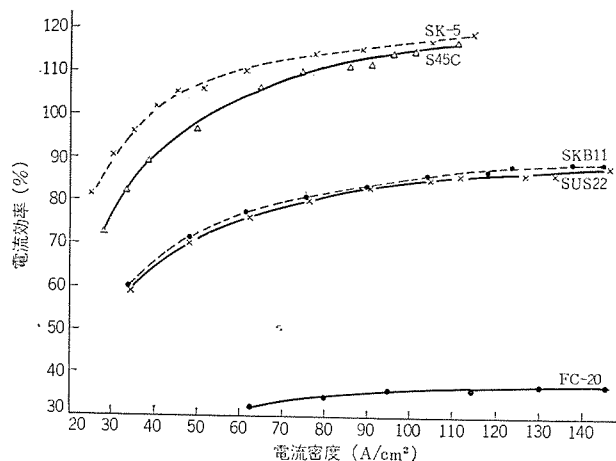


図 3.4 電流密度 J と溶解速度 f の関係
Relation between J and f .



(a) 溶出原子価 2



(b) 溶出原子価 3

図 3.5 電流密度と電流効率の関係
Relation between current density and current efficiency.

て実験したが、 J と f の関係は図 3.4 とまったく同じであった。
また、液圧を $5 \text{ kg/cm}^2 \cdot 10 \text{ kg/cm}^2$ に変化させた場合も、 J と f の関係は同一となり、液圧も、この範囲では影響しないことが確か

表 3.3 β , J_0 および α' の値 Values of β , J_0 and α' .

	$\beta (\times 10^4 \text{ A} \cdot \text{s/cm}^2)$	α'		$J_0 (\text{A/cm}^2)$
		2 価溶出	3 価溶出	
軟 鋼	2.9	0.882	1.328	14
S45C	3.1	0.860	1.290	9
FC-20	9.8	0.272	0.410	13
SUS22	4.1	0.642	0.967	14
SK-5	3.1	0.864	1.300	10
SKD-11	4.1	0.656	0.998	14

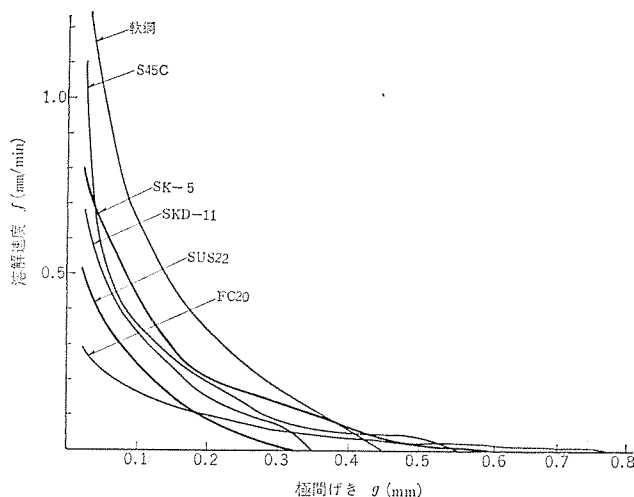


図 3.6 極間げき g と溶解速度 f の関係 (液温 20°C)
Relation between g and f .

められた。

3.3.2 検 討

式 (3.3) をあてはめて、 α の値を計算すると、2 価溶出・3 価溶出の両理論値に対し、 α は図 3.5 に示すようになる。SK-5・S45C などの材料は、2 価溶出と 3 価溶出の中間の値を示す。SKD-11・SUS22・軟鋼・FC-20 などは、3 価溶出と考えても、90% 以下の電流効率である。

いずれの材料も、電流密度の低いほど電流効率は低くなっている。この現象は文献⁽⁶⁾⁽⁷⁾にも報告されている。

一方、電流密度 J と溶解速度 f の関係は、図 3.5 にみるように原点を通らない直線で近似できる。この近似式は次式で表わされる。

$$J = J_0 + \beta f \quad (J_0, \beta \text{ は定数}) \quad (3.8)$$

J_0 , β の値は表 3.3 に示す。

J_0 の存在は、不動態膜の破壊現象と関連のあるものと考えられ、その物理的意味はわからないが、この J_0 が存在するために、 J_0 以下では溶解速度は零となり、積分効果をシャ断する結果をもたらすことになる。

β が高電流密度領域では一定 (J - f 関係が直線) であることは、高電流密度領域では、電流密度によらない一定の電流効率 α' になっていることを示す。

$$f = 60\alpha' \cdot \frac{K}{d} \cdot (J - J_0) \quad (3.9)$$

$$\alpha' = \frac{\alpha \cdot \beta}{60K} \quad (3.10)$$

α' の値を表 3.3 に示す。

3.4 極間げき g と溶出速度 f の関係

3.2 節の極間げき g と電流密度 J 関係、および 3.3 節の電流密度 J と溶出速度 f の関係で、 J をパラメータとして取り扱えば、 g と f の関係をうる。これを図 3.6 に示す。

表 3.4 g_a の値 (液温 20°C) Values of g_a

	g_a (mm)
軟 鋼	0.45 (30°C)
S 45 C	0.60
FC-20	0.80
SUS 22	0.33
SK-5	0.60
SKD-11	0.36

一方、式 (3.5) および式 (3.8) より、 g と J の間に次の関係式をうる。

$$g = \frac{1}{\rho} \left(\frac{E - E_0}{J_0 + \beta f} - \frac{A}{(J_0 + \beta f)^B} \right) \dots \dots \dots (3.11)$$

図 3.6 から明らかなとおり、ある間げき g_a 以上では、溶出速度が零となる。したがって、積分効果は、この間げき g_a でしゃ断されることになる。すなわち、 g_a 以上に間げきは広がらないことを意味する。 g_a の値を表 3.4 に示す。また g_a は、 $J = J_0$ の場合の間げきで、次式で示される。

$$g_a = \frac{1}{\rho} \left(\frac{E - E_0}{J_0} - \frac{A}{J_0^B} \right) \dots \dots \dots (3.12)$$

J_0 , B が大きく、 A の小なる材料および加工条件ほど g_a は小となる。

軟鋼・SUS 22・SKD-11 などが、 g_a の値が小さく、積分効果の小なる加工ができる。一般に液温は高いほうが、積分効果が小である。

底面間げきの過渡現象、側面間げきの形成、斜面での間げき、各種形状での間げきは、極間げき g と溶出速度 f の関係より、積分効果の結果として求められることになる。

被加工物材料によって、 J_0 , A , B の値が異なり、積分効果の少ない材料と、大きい材料がある。材料の選定が自由な場合には、積分効果の少ない材料を選定することが有利であるし、また、材料がきまっている場合には、液温など他の加工条件で、積分効果の小なる条件を使うことが有利である。

4. 硝酸ソーダ水溶液による加工における 高压気体混入方式

硝酸ソーダ水溶液を電解加工に使用することは、以前より試みられてきた⁽⁸⁾。しかし、短絡の危険性が大きく、あまり使用されなかったことが報告されている⁽⁷⁾。また、塩素酸ソーダ水溶液が、とくに形状精度を高くするのに有利なことが、J. P. Haare⁽⁹⁾等によって報告されたが、それを型彫りに使う場合に短絡が多いことが問題であるとも報告されている。

一方、高压気体をあらかじめ液流中に混入することが、電解液噴出口付近のキャビテーションやはく離を防止し、均一な流動状態をうる効果があり、電解加工に有用なことが、判明している⁽²⁾⁽³⁾。このほか、高压気体混入方式の電解加工は、底面精度の向上、側面精度の向上などにも効果がある。

高压気体混入方式を、硝酸ソーダ水溶液の電解加工に適用した結果、短絡の多発の主原因である液流の不均一性がなくなり、安定かつ速い型彫りができることが判明した。それらのいくつかの加工例や加工データは、5 章以下で述べる。

硝酸ソーダ水溶液の電解加工における、高压気体混入方式の有用性を確認するために、図 4.1 に示す長方形の穴あけ加工を、高压気体混入を行なう場合と、混入しない場合に得られる、短絡せずに加工できる最高の送り速度を求めた。

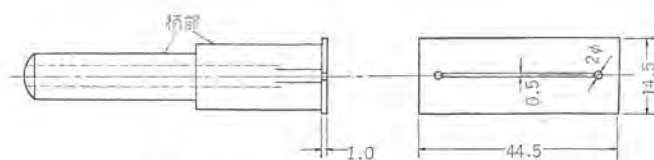
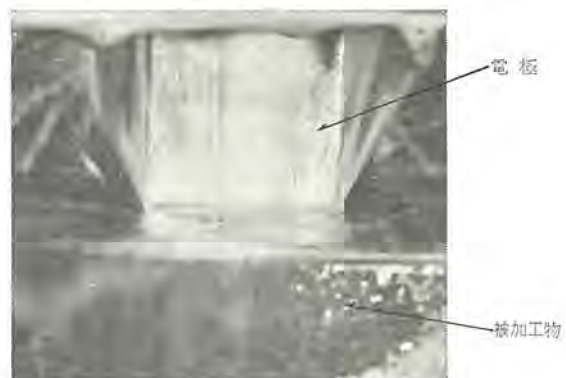
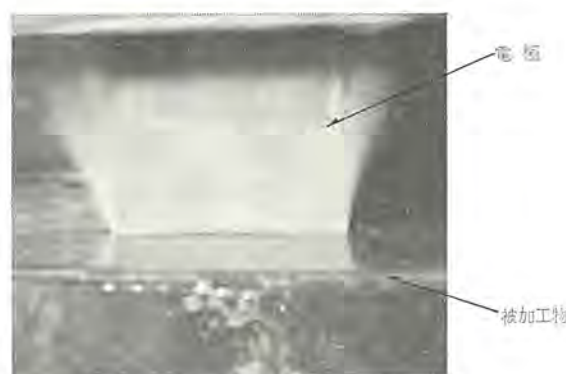


図 4.1 電極形状 Shape of electrode.



(a) 電解液単独



(b) 高压気体混入方式

図 4.2 電解液膜の状況

Flowing film from clearance between electrode and workpiece.

他の実験条件は次のとおりである。

加工方式	定電圧定電流密度方式
電解液	硝酸ソーダ 20% 水溶液、液温 30°C
液圧力	14 kg/cm ² 、気体圧力 16 kg/cm ² および 0
加工電圧	10 V
加工電流	570 A (気体非混入)、940 A (気体混入)

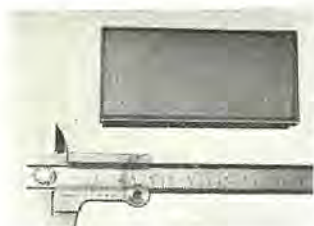
その結果、高压気体混入方式では、2.1 mm/min の加工送り速度で安定に加工できたのに対し、気体非混入の方式では、1.3 mm/min の加工しかできなかった。

また、液の最外周での流動状態を、高压気体混入方式と、非混入の両者について、図 4.2 に示す。電極と被加工物の外周間げきから出る液の膜が、気体非混入の場合には割れており、流れの不均一を示し、高压気体混入の場合には、液膜が連続し、流れの均一なことを示しているのがわかる。

高压気体混入方式の開発当初には、気体に炭酸ガスを用いポンペから供給していたため、消費量ははげしく、ポンペの調達の手間と費用が問題とされたが、現在では圧縮空気によって、十分その効果が得られることが確かめられ、気体の供給源には圧縮機が用いられる。これによって電解加工機のランニングコストは、大幅に引下げられた。

5. 電解加工における加工精度

電解加工における加工精度は、その加工内容により主として次の



加工電圧：10V，加工電流：1,600 A
加工時間：2 min，ワーク材質：SKD-11

図 5.1 タイル 金型加工例
Sample of ceramic tile.

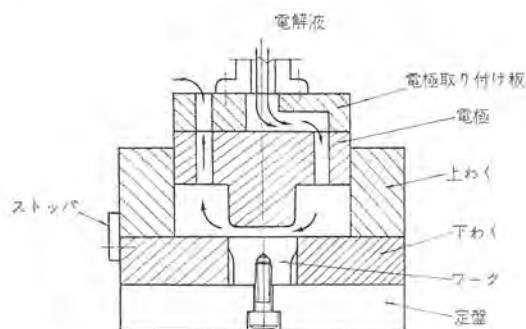


図 5.2 タイル 金型加工用電極および治具
Electrode and jig for ceramic tile die.

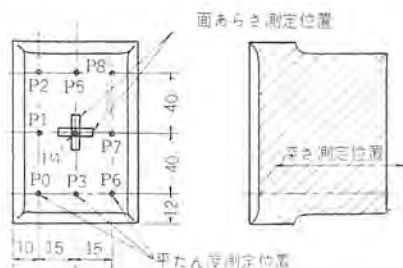


図 5.3 加工精度測定箇所
Measuring point of accuracy.

表 5.1 タイル 金型加工における平たん度
Flatness of ceramic tile die.

ワークNo.	1	2	3	4	5
測定位置					
P ₀	0	0	0	0	0
P ₁	+0.012	+0.008	+0.016	+0.010	+0.010
P ₂	+0.004	+0.002	+0.006	0	+0.004
P ₃	-0.008	-0.010	-0.010	-0.012	-0.014
P ₄	+0.018	+0.014	+0.018	+0.016	+0.016
P ₅	-0.002	-0.004	-0.006	+0.002	-0.008
P ₆	0	+0.002	-0.004	0	+0.002
P ₇	+0.006	+0.006	+0.002	+0.004	+0.010
P ₈	+0.004	0	+0.006	-0.002	+0.006

表 5.2 タイル 金型加工における加工深さ
Depth of ceramic tile die.

ワークNo.	1	2	3	4	5
測定位置					
P ₀	30.42	30.41	30.43	30.41	30.42
P ₂	30.42	30.41	30.42	30.40	30.42
P ₄	30.39	30.39	30.40	30.38	30.39
P ₆	30.42	30.42	30.43	30.41	30.41
P ₈	30.40	30.41	30.41	30.41	30.42

3種類の精度がそれぞれ単独に、またこれらのいくつかが組合わされて取扱われ、問題にされる。

(1) 加工底面の平たん度と深さのばらつき

例：タービンプレードプロファイル，タイル 金型など

(2) 二次元形状（貫通穴加工）のオーパカット，真直度とそのばらつき

例：拔型，部品加工など

(3) 三次元形状のオーパカットとそのばらつき

例：鍛造型，ダイキャスト 金型など

この章では，硝酸ソーダ水溶液と高圧気体（圧縮空気）混入方式を組合わせた新しい電解加工法により，これらの加工精度がどのように改良されたかを，従来の食塩水と比較して説明する。

5.1 加工底面の平たん度と深さのばらつき

ここで述べる平たん度や加工深さのばらつきは，タービンプレードの成形加工やタイル 金型の加工では，これがそのまま製品寸法のばらつきとなって現われ，また鍛造型やダイキャスト 金型など底付け型の加工においても，彫込み深さを左右する最も重要な精度である。

ここではタイル 金型の加工を例にとって，どのような平たん度のもとにどの程度のばらつき精度が得られているかを測定した結果を説明し，食塩水を使用した場合と比較してみる。

5.1.1 タイル金型の加工方式と加工条件

電解加工後のサンプルを図 5.1 に，加工に使用した電極と治具の概略構造を図 5.2 に示す。タービンプレードのプロファイル加工やここに示す例のように，形状が比較的なだらかで同一形状を多数個繰返して加工し，加工後の製品面に電解液噴出穴（またはスリット）の跡を突起として残したくない場合は，この図に示すような電解液を電極の横側から強制流通させる方式をよく用い，これを側流方式と称して，最も一般的に用いられている電極中央部の丸穴またはスリットから電解液を噴出させる噴流方式と区別している。

加工はこの治具を用い図 5.1 に併記した加工条件を適用した。金型に要求される加工深さが 0.6 mm であったので，実際の電極送り込み深さは底面間隔きを 0.15 mm 見込んでワーク上表面より 0.45 mm に定めた。

5.1.2 加工精度

加工精度は図 5.3 に示すように，加工面上の定点 P₀ を基準とした加工面の平たん度と，加工面上の数点における加工深さおよび金型中央部における互いに直角な 2 方向の面あらさを 5 個の金型について計測した。平たん度の測定には最小目盛 2/1,000 mm のダイヤルインジケータを，加工深さの測定には最小目盛 1/100 mm のマイクロメータを，面あらさの測定には万能表面形状測定器（東京精密）を用いた。

平たん度と加工深さの測定結果をまとめて表 5.1，5.2 に示す。

この結果より加工底面の平たん度は ± 0.02 mm 以内に，また加工深さのばらつきは目標値に対して ± 0.03 mm 以内に収まっていることがわかった。

食塩水を電解液として同じようなばらつき精度を調べた結果では，“電解加工技術”⁽¹⁾を引用すれば ± 0.05 mm となっており，硝酸ソーダ水溶液の使用により，一段と加工精度が向上されたことが理解できる。

また加工面あらさは，図 5.4 に示すとおりで電解液の流れの方向に関係なく， $3 \mu R_{\max}$ 以内の良好な加工面を得ることができたが，食塩水では，ここで用いた金型材料とよく類似した組成の SKD-11 に対して，“電解加工の加工原理と加工特性”⁽⁴⁾では $20 \mu R_{\max}$ 以上の面あらさになることを示しており，面あらさの点でも格段の向上が見られる。

以上の結果タイル 金型の加工に関して，食塩水を電解液とした従来の加工法では，面あらさや平たん度が悪いために電解加工後，研

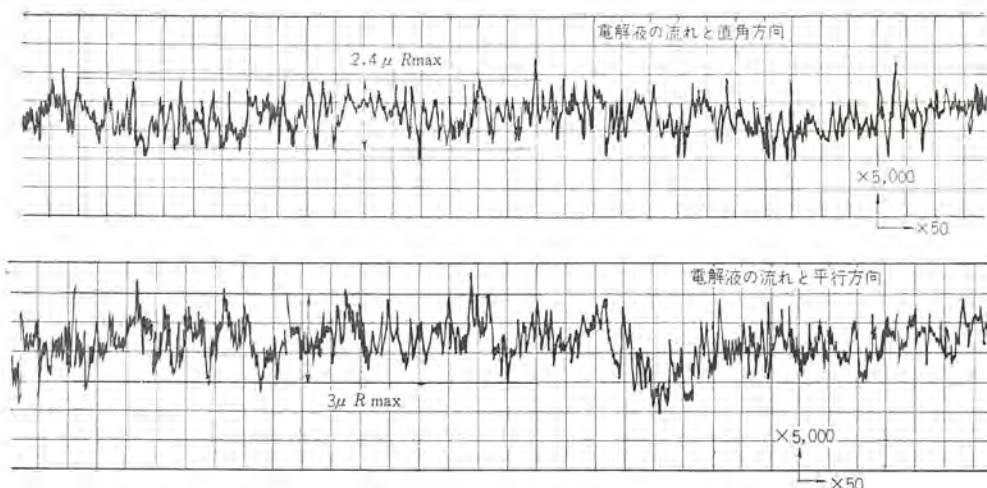
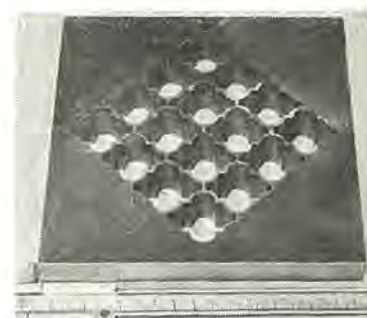


図 5.4 タイル金型の加工面あらさ Surface roughness of die for ceramic tile.



加工電圧: 12.5 V
加工電流: 600 A
加工時間(穴1個あたり): 25 min
ワーク材質: SKD-11

図 5.5 タイル金型用ライナ加工例
Sample of liner for ceramic tile die.

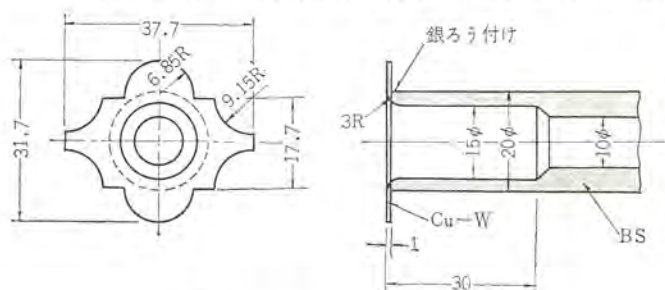


図 5.6 タイル金型ライナ加工用電極
Electrode for the liner.

摩加工などの予備仕上げ工程を経た後 バフ 仕上げを行っていたが、硝酸ソーダ水溶液の適用により、電解加工後直接 バフ 仕上げ加工に移ることが可能となり、大幅な工数低減を実現することができたと同時に、寸法的にもばらつきの少ない高い品質を保証できるようになった。

5.2 二次元形状加工における加工精度とそのばらつき

抜型や部品加工における貫通穴の加工では、上述の低面方向の寸法精度よりも電極側面方向のオーバーカットとそのばらつきが重要な因子となる。ここではタイル金型用ライナと類似の加工を行ない、その精度を測定した結果を食塩水と比較して説明する。

5.2.1 タイル金型用ライナの加工方式と加工条件

電解加工後のサンプルを図 5.5 に、加工に使用した電極を図 5.6 に示す。

ワークに対する電極の位置決めは、最初の1個はワーク上表面のケガキ線と電極を一致させる方法で行ない、他の穴は順次ピッチ間距離寸法だけワークテーブルを移動させて1個ずつ加工を行なった。

この種の加工においては、加工終了直前にワーク中央部に残る突起と電極とが短絡し、電極損傷を起こすので完全な貫通加工を行なうことは実用上むずかしく、したがって貫通前の0.2 mmで加工を終了させ裏面を研削除去して穴を貫通させる方法が一般的に用いられている。

5.2.2 加工精度

図 5.7 に示したように、A～D 4 個所の対辺距離を穴の入口側および出口側についてインサイドマイクロメータを使用して測定した。その結果をまとめて表 5.3 に示す。

このデータから目標とした加工穴寸法に対する誤差を求め、ヒストグラムを作成すると図 5.8 のようになり、0.03 mm をはざれる度数は4で全体の3%であり、二次元形状加工における寸法のばらつき

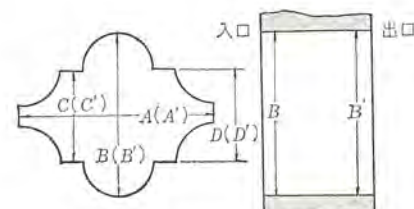


図 5.7 加工穴寸法測定箇所
Measurement of worked hole.

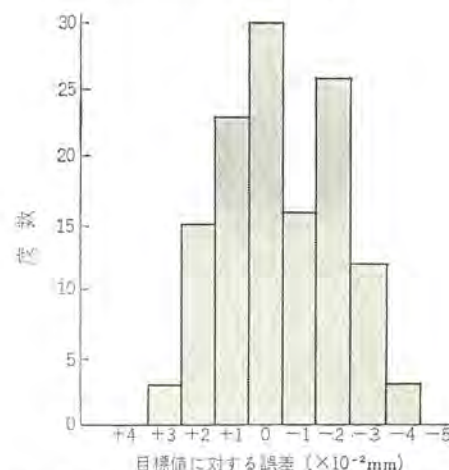


図 5.8 目標寸法に対する誤差のヒストグラム
Histogram of error against the command.

は ± 0.03 mm と考えてよい。また加工穴のテーパはほぼ 2/1,000 以内で入口側が大きくなる傾向をもっていることがわかった。

これと同じような角穴の貫通加工における食塩水を電解液とした場合のばらつきを調べた結果では⁽¹⁾、ばらつきは ± 0.05 mm になることが示されているが、これは加工された穴の同一測定位置におけるばらつきを示したもので、今回のように全測定値に対するばらつきを求めると ± 0.10 mm 程度になり、硝酸ソーダ水溶液を使用することによって非常に高い精度の加工が可能となったことがわかる。

硝酸ソーダ水溶液による加工穴と電極を断面投影機で 10 倍に拡大し、これらを重ね合わせて電極に対するオーバーカットを観察すると図 5.9 のようになる。

重ね合わせによるずれがあるので実際の加工時のオーバーカットの状態を忠実に再現しているとはいえないが、片側オーバーカットの値はだいたい 0.16 ± 0.04 と考えられる。上に引用した食塩水の場合では、片側オーバーカットが大体 0.23 mm 程度になっており、硝酸ソーダ水溶液では

表 5.3 タイル 金型用 ライナ における加工穴寸法測定結果
Measured value of accuracy on tile die liner.

加工穴 No.	A	A'	テ ー バ	B	B'	テ ー バ	C	C'	テ ー バ	D	D'	テ ー バ
1	38.03	37.98	$\frac{2}{1000}$	32.02	31.99	$\frac{1.2}{1000}$	18.02	17.98	$\frac{1.6}{1000}$	18.03	17.98	$\frac{2}{1000}$
2	38.01	37.97	$\frac{1.6}{1000}$	32.02	31.98	$\frac{1.6}{1000}$	18.00	17.97	$\frac{1.2}{1000}$	18.00	17.96	$\frac{1.6}{1000}$
3	38.01	37.99	$\frac{0.8}{1000}$	32.01	32.00	$\frac{0.4}{1000}$	18.02	17.99	$\frac{1.2}{1000}$	18.01	17.99	$\frac{0.8}{1000}$
4	38.00	37.96	$\frac{1.6}{1000}$	32.01	31.97	$\frac{1.6}{1000}$	18.00	17.96	$\frac{1.6}{1000}$	18.00	17.96	$\frac{1.6}{1000}$
5	38.02	37.97	$\frac{2}{1000}$	32.02	31.99	$\frac{1.2}{1000}$	18.03	17.97	$\frac{2.4}{1000}$	18.02	17.98	$\frac{1.6}{1000}$
6	38.01	37.98	$\frac{1.2}{1000}$	32.00	31.99	$\frac{0.4}{1000}$	18.02	17.97	$\frac{2}{1000}$	18.01	17.97	$\frac{1.6}{1000}$
7	38.00	37.97	$\frac{1.2}{1000}$	32.01	31.99	$\frac{0.8}{1000}$	18.01	17.98	$\frac{1.2}{1000}$	18.01	17.98	$\frac{1.2}{1000}$
8	38.00	37.99	$\frac{0.4}{1000}$	32.00	32.00	$\frac{0}{1000}$	18.00	17.98	$\frac{0.8}{1000}$	18.00	17.98	$\frac{0.8}{1000}$
9	37.99	37.98	$\frac{0.4}{1000}$	32.00	31.99	$\frac{0.4}{1000}$	18.01	17.98	$\frac{1.2}{1000}$	18.00	17.98	$\frac{0.8}{1000}$
10	38.00	37.98	$\frac{0.8}{1000}$	32.00	32.00	$\frac{0}{1000}$	18.01	17.98	$\frac{1.2}{1000}$	18.00	17.98	$\frac{0.8}{1000}$
11	38.00	37.97	$\frac{1.2}{1000}$	32.01	32.00	$\frac{0.4}{1000}$	18.01	17.98	$\frac{1.2}{1000}$	18.01	17.99	$\frac{0.8}{1000}$
12	38.01	37.98	$\frac{1.2}{1000}$	32.02	32.00	$\frac{0.8}{1000}$	18.02	17.99	$\frac{1.2}{1000}$	18.02	17.98	$\frac{1.6}{1000}$
13	38.00	37.98	$\frac{0.8}{1000}$	32.02	32.00	$\frac{0.8}{1000}$	18.00	17.98	$\frac{0.8}{1000}$	18.01	17.99	$\frac{0.8}{1000}$
14	38.00	37.97	$\frac{1.2}{1000}$	32.01	32.00	$\frac{0.4}{1000}$	18.00	17.99	$\frac{0.4}{1000}$	18.01	17.99	$\frac{0.8}{1000}$
15	38.00	37.98	$\frac{0.8}{1000}$	32.02	32.00	$\frac{0.8}{1000}$	18.01	17.98	$\frac{1.2}{1000}$	18.02	17.98	$\frac{1.6}{1000}$
16	38.01	37.98	$\frac{1.2}{1000}$	32.01	31.99	$\frac{0.8}{1000}$	18.01	17.97	$\frac{1.6}{1000}$	18.02	17.98	$\frac{1.6}{1000}$
平 均 値	38.006	37.977	$\frac{1.16}{1000}$	32.011	31.992	$\frac{0.76}{1000}$	18.011	17.978	$\frac{1.32}{1000}$	18.011	17.979	$\frac{1.28}{1000}$
目 標 値	38.00			32.00			18.00			18.00		

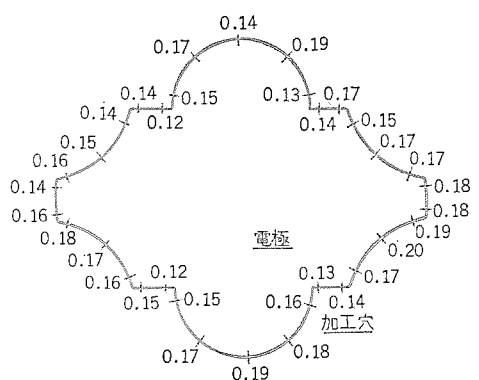


図 5.9 タイル 金型用 ライナ 加工における オーバカット
Overcut in machining on the liner

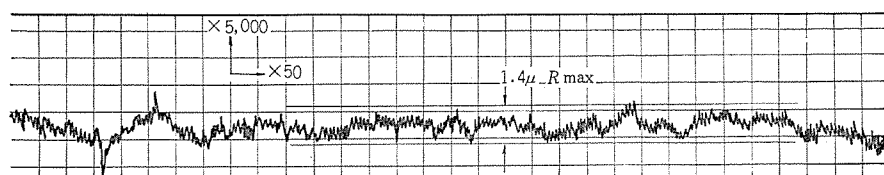


図 5.10 加工穴側面の面あらし
Surface roughness on the side of hole.

オーバーカットの絶対値そのものが食塩水に比べてより小さな値となるため、そのばらつきも同じように少なくなってくるものと理解できる。

また加工穴側面の面あらしは図 5.10 に示したようになり、前項で示した底面における面あらしと同等のものが得られることがわかった。

硝酸ソーダ水溶液を使用した場合の食塩水に対する利点は、上述のように加工精度が大幅に改良されることのほかに、電極製作技術のうえにも次のような見逃がすことのできない利点がある。すなわち図 5.11 (a) に示すように食塩水で貫通穴加工をする場合は、電極側面からの浮遊電流による加工穴側面への余剰オーバーカットを防ぐために、電極側面に必ず絶縁処理を施す必要があったが、硝酸ソーダ水溶液では図 5.11 (b) のようにシャンク部分を電極板の寸法から片側 1 mm 以上逃がしておくだけで、この部分への絶縁処理はま

たく不要であり、電極製作時間が短縮されるとともに加工途中での絶縁のはく(剝)離による加工不良を生じたり、それに伴って絶縁処理をやり直すなどのトラブルがまったく解除されて電極の保守も容易となり、この種の貫通穴加工が高い加工精度のもとに非常に簡単にこなせるようになった。

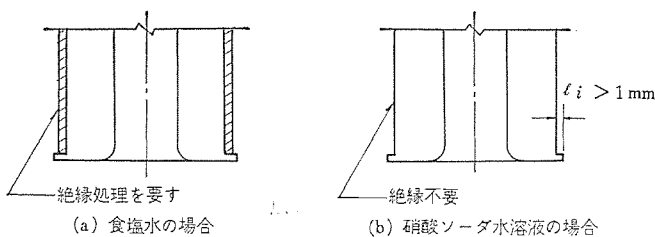


図 5.11 電解液による電極の相違
Difference in the construction of electrode.

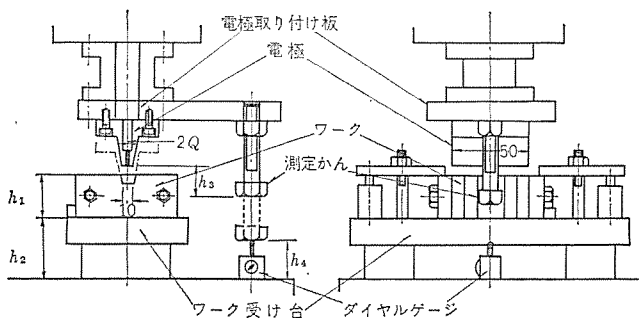


図 5.12 テーパー穴精度測定用電極ジグ
Electrode and jig for experiment on the accuracy in tapered hole.

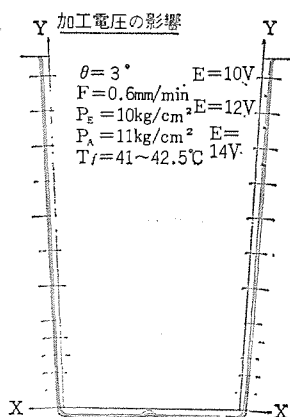


図 5.13 テーパー穴加工におけるオーバカット
Overcut of the tapered hole.

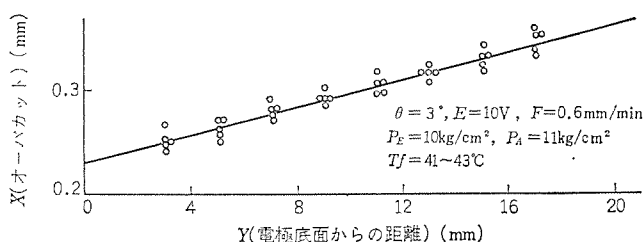


図 5.14 同一加工条件におけるオーバカットのばらつき
Overcut differences in the same machining conditions.

5.3 三次元形状加工におけるオーバカットとそのばらつき

鍛造型やダイキャスト金型など底付きのキャビティ加工においては、前項で述べた二次元形状はほとんどなく、抜きこう(勾)配をもった傾斜面や円柱面(または球面)で代表される曲面の組合わせとなり、加工精度の解析やオーバカット量の究明もかなり複雑でむずかしくなる。したがって、電極設計にあたっては被加工形状をこう配のある傾斜面や円柱面・球面などの比較的単純な形状で局部的に区分けし、それぞれの部分に加工条件から定まるオーバカット量を見込んで電極形状の修正を行ない、それらの合成として必要な電極形状を定めている現状である。

この項では上述のような電極設計の基礎となるこう配をもった傾斜面に対して、加工条件がオーバカット量にどのような影響をもつかを調べた結果を中心に、三次元形状加工におけるオーバカットとそのばらつきを説明する。

5.3.1 傾斜面加工における側方オーバカットとそのばらつき

三次元形状のキャビティ加工は、その用途が鍛造型・ダイキャスト型・プラスチック molds 型・プレス絞り型など非常に広範囲に及ぶため、それらが有する抜きこう配の角度も多岐にわたり一様ではない。したがって以下に述べる実験では、従来から高い加工精度をうることがはなはだむずかしいとされていた比較的小さな角度の傾斜面数種について、加工条件により電極形状に対して加工穴がどのように広がるかを調べてみた。

実験に使用した電極とワークおよびジグの構成を図 5.12 に示す。電極は底面の寸法を 50 mm × 10 mm の長方形に統一し、その中央部にスリットを設けたもので、側面は上方に向かってあらかじめ任意に定めた角度で広がっているものを数種用意した。

ワークの材質には鍛造型に最も広く使用されている SKT-4 種を選び、厚さ 10 mm の平板状のものを数枚重ね合わせた構造とし、加工後分解すれば容易に加工穴の断面を投影機で拡大して測定できるようにした。

加工は電極底面がワーク上表面よりほぼ 20 mm 入り込んだ位置で停止させ、そのつど電極底面と一定距離にある加工深さ測定かん(桿)の先端とワークテーブル面の間の寸法をダイヤルゲージで計測し、実際に電極底面がワーク上表面からどれだけ入った位置で加工が終了したかを算出できるようにくふうした。

オーバカット量は加工後のワークを分解して中央部に位置していたピースを取り出し、その断面を投影機で 10 倍に拡大して、これに別に測定して 10 倍に拡大しておいた電極の断面図を重ね合わせて、これらのすき間をスケールで測定して求めた。測定誤差は 2/100 mm 程度と考えられる。拡大図の一例を図 5.13 に示す。

(1) 同一条件によるばらつき

最初に同一条件で数回の繰返し加工を行ない、オーバカットのばらつきがどの程度になるかを調べた。加工条件は下記に示すとおりで加工終了時における電解液の温度だけは、厳密に一定に押えることはむずかしく 2°C の相違があった。

傾斜角	$\theta = 3^\circ$
電解液	20 Wt % NaNO_3 水溶液 (比重 1.14)
加工電圧	$E = 10 \text{ V}$
加工速度	$F = 0.6 \text{ mm/min}$
電解液圧力	$P_e = 10 \text{ kg/cm}^2$
空気混入圧力	$P_a = 11 \text{ kg/cm}^2$
加工終了時の液温	$T_f = 41 \sim 43^\circ\text{C}$

断面投影図から電極側面を Y 軸、これに垂直な方向を X 軸として、電極側面と底面の交点を零とした X-Y 座標系で、オーバカット量を求めて整理すると図 5.14 のような結果が得られた。

この図より明らかなように、同一条件で繰返し加工を行なった場合のオーバカットのばらつきは、この種のテーパー穴加工に関しては ± 0.02 mm 程度まで得られる。

(2) 加工条件因子の及ぼす影響

次にオーバカットに影響をもつ加工条件因子を個々に取り上げて、それらを変化させた場合オーバカットがどのように変わるかを調べてみた。加工条件をまとめて表 5.4 に示す。またうえと同様に X-Y

表 5.4 テーパー穴加工における加工条件
Machining condition of tapered hole.

加工条件	加工電圧を変化させた場合	加工速度を変化させた場合	空気混入圧力を変化させた場合	液温(最終値)を変化させた場合	傾斜角を変化させた場合
傾斜角 $\theta(^{\circ})$	3	3	3	3	0, 2, 3, 4, 6
加工電圧 $E(V)$	9, 10, 12, 14	10	10	10	10
加工速度 $F(mm/min)$	0.6	0.4, 0.6, 0.8, 1.2	0.6	0.6	0.6
空気混入圧力 $P_A(kg/cm^2)$	11	11	0, 10.5, 11, 11.5, 12	11	11
液温(最終値) $(^{\circ}C)$	41~42.5	41~42.5	41~42.5	35, 42, 50, 60	41~43
電解液圧力 $P_E(kg/cm^2)$	10	10	10	10	10
電解液	20 Wt % $NaNO_3$ 水溶液 (比重 1.14~1.15)				

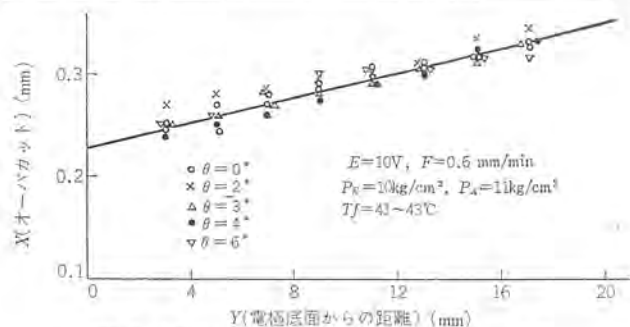


図 5.15 (a) 傾斜角によるオーバーカットの相違
Overcut on the inclined surface.

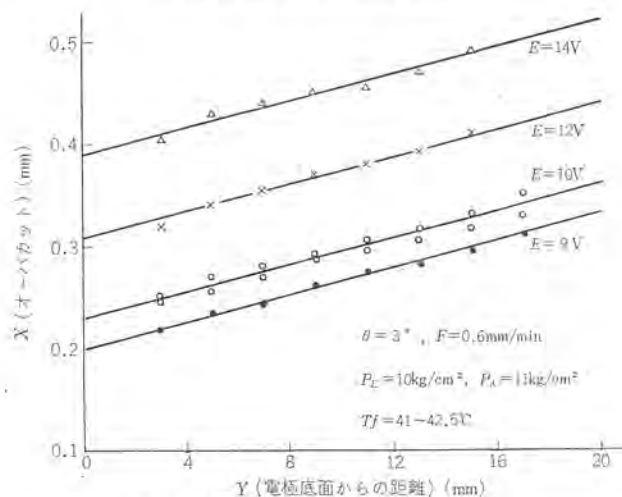


図 5.15 (b) 加工電圧の影響
Influence of work voltage.

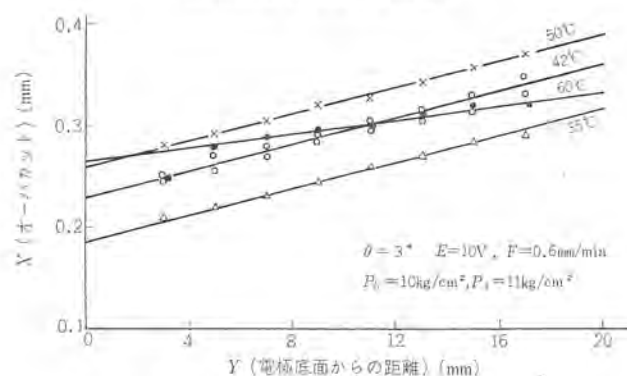


図 5.15 (d) 電解液温度の影響
Effect of temperature of the electrolyte.

座標系でオーバーカット量を求め、各因子ごとの影響を個々に整理すると図 5.15 (a)~(e) のようになる。

これらの図を要約して次のことが確認できる。

(a) 加工穴の傾斜面の形状はすべて直線で近似できる。

(b) オーバカット量は同一加工条件であれば電極の傾斜角 θ が異なってもほとんど変わらず、 $\pm 0.03 mm$ 以内のばらつきで同じ値となる (図 5.15 (a))。

(c) 加工電圧、気体混入差圧 (= 空気混入圧力 P_A - 電解液圧力 P_E) および電解液温度が変化した場合、液温 $50^{\circ}C$ 以下の範囲においては、オーバーカットは電圧と温度に比例し、混入差圧に逆比例して大きくなる。また電極面と加工穴側面のなす角度 (α) は、加工条件の変化にかかわらず一定で次の値をとる (図 5.15 (b)(c)(d))。

$$\tan \alpha = 0.13/20 = 6.5 \times 10^{-3}, \alpha = 0^{\circ}22'$$

(d) しかし液温が $60^{\circ}C$ まで上昇すると上述の傾向とはまったく異なり、電極面と加工穴側面のなす角度 (α) は極端に小さくなり、両者はほとんど平行に近くなる。

$$\tan \alpha = 0.07/20 = 3.5 \times 10^{-3}, \alpha = 0^{\circ}12'$$

したがって温度を変化させていった場合、温度とオーバーカット (または α) の関係は $50^{\circ}C$ と $60^{\circ}C$ の間で不連続になることが推察できる (図 5.15 (d))。

(e) 加工速度を変化させた場合は、オーバーカットは速度の上昇とともに小さくなるが、それと同時に電極面と加工穴側面とのなす角度 (α) も漸減し、速度を大きくするほど電極面と近似した加工穴をうることができる (図 5.15 (e))。また α は速度により次の値となる。

$$F=0.4 mm/min \quad \tan \alpha = 0.16/20 = 9.0 \times 10^{-3}, \alpha = 0^{\circ}31'$$

$$F=0.6 mm/min \quad \tan \alpha = 0.13/20 = 6.5 \times 10^{-3}, \alpha = 0^{\circ}22'$$

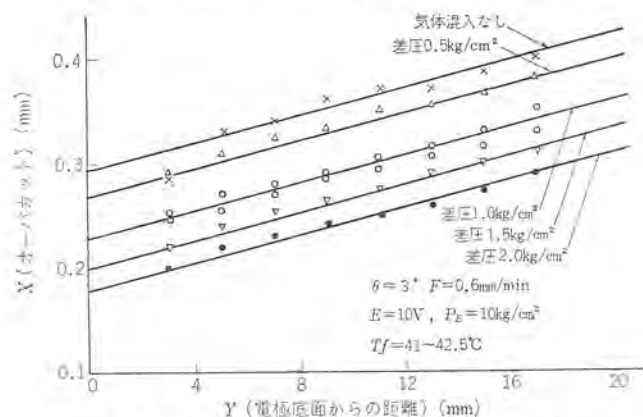


図 5.15 (c) 気体混入差圧の影響
Effect of pressure difference due to mixing of air.

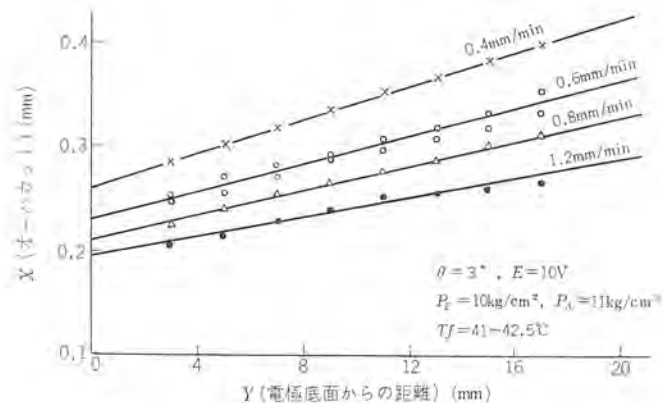


図 5.15 (e) 加工速度の影響
Effect of machining speed.

$$F=0.8 \text{ mm/min} \quad \tan \alpha=0.115/20=5.75 \times 10^{-3}, \alpha=0^{\circ}20'$$

$$F=1.2 \text{ mm/min} \quad \tan \alpha=0.09/20=4.5 \times 10^{-3}, \alpha=0^{\circ}16'$$

(3) 食塩水との比較

電解液に食塩水を使用して傾斜面に対するオーバカットを求めた結果では、次のことが明らかとなっている⁽¹⁾。

- (a) 加工穴側面の形状は二次曲線となり直線で近似できない。
- (b) オーバカット量は同一条件で加工しても、傾斜角が異なれば違った値となる。

これを上述の硝酸ソーダ水溶液を使用した場合と比較すれば、実際の金型加工を考えた場合、硝酸ソーダ水溶液を使用したほうが次の点ではるかに有利であることがわかる。

- (i) 修正された電極の側面形状が平面となり、食塩水のような曲面であることを要求されないで電極製作が非常に容易である。
- (ii) 傾斜角の大小にかかわらずほぼ一定のオーバカットとなるため、修正量を求めるための電極設計の手間を大幅に省略でき、設計ミスを少なくできる。
- (iii) 金型に要求される精度があまりきびしくない場合は(±0.15 mm 程度)、型形状から一定のオーバカット値のみ相似形に縮小した電極を製作し、これで十分に要求精度を満足させることも可能であり、このような場合は、電極の設計・製作がさらに容易となる。

5.3.2 円柱面加工におけるオーバカット

鍛造型加工時に最も多く見受けられるのが円柱面または円錐面で、これと前項の傾斜面の組み合わせでほとんどの鍛造型の形状を決定できるといっても過言ではない。

この項ではカウンタギヤの鍛造型を食塩水と硝酸ソーダ水溶液のふたとおりの電解液で加工し、精度比較を行なった例を述べる。

加工サンプルを図 5.16 (a)(b) に示す。被加工物の材質は前項と同じ SKT-4 種で熱処理後のものである。また加工条件は図に併記したとおりである。

両者のオーバカットを比較するために、加工穴上表面における形状を転写してこれを重ね合わせ、電極と比較すると図 5.17 のようになった。ただし食塩水によるキャビティは入口部での角のだれが大きく、そのままでは転写できなかったため、上表面を約 1 mm 削除したのの影響のない部分で測定した。この結果から次のことがいえる。

(1) 食塩水による加工形状は電極形状から著しくかけ離れたものとなっており、電解液の流れの影響を受けてオーバカットの局所的な相違が非常に大きい。(最大 2.4 mm, 最小 0.6 mm)、また加工条件より電極底面における加工間けきは 0.45 mm 程度と推定できるが、これが上表面に近づくに従って大きくなっていることを示しており、断面形状も完全な円形ではなくて上方にいくに従って円からかけ離れて大きなオーバカットを生じていることになる。このことから、最終的に要求される金型形状を満足させるための電極形状の決定ははなはだむずかしいといえる。

(2) 一方、硝酸ソーダ水溶液では、加工形状は電極形状とほとんど相似形でオーバカットもだいたい 0.3~0.4 mm で一定しており、前述の傾斜面の場合と同様、円柱面の加工においても金型形状とほぼ相似形の電極で、十分高い精度の加工を実現できる。

以上鍛造型用材料を中心にいろいろな角度から硝酸ソーダ水溶液と、高圧気体混入方式を組み合わせた新しい電解加工法の加工精度を説明してきたが、3章で述べたように被加工材料がここに述べた結果も傾向は類似しているが、定量的には異なると考えられ、それぞれの材料に対する精度を定量的には握することは、今後の課題と

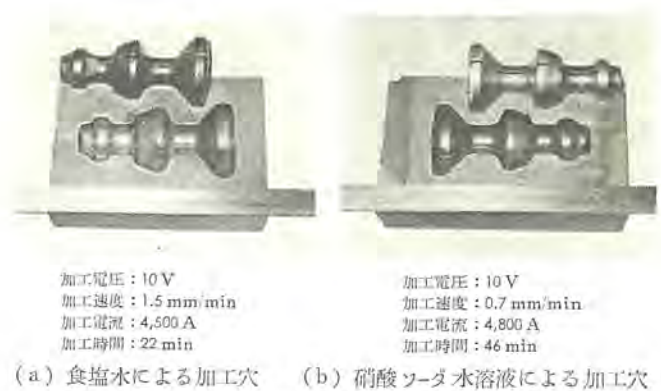


図 5.16 電解液による三次元キャビティの相違
Difference between NaCl and NaNO₃ in ECMed 3-dimensional cavity.

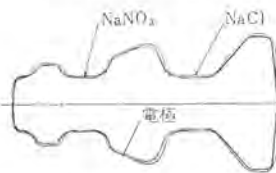


図 5.17 電解液による円柱面オーバカットの相違
Overcut difference depending on the electrolyte.

して残されている。

6. 電解加工を利用した新しい電極製作法

前章で述べたように硝酸ソーダ水溶液と高圧気体混入方式の組み合わせにより、電極の形状は加工対象物とほとんど相似形といってもよいほど近似したものでよいことが明らかになった。しかし実際に鍛造型やダイキャスト金型など複雑な三次元形状を加工するために必要な電極を製作するには、やはりならいフライス加工と手仕上げに頼る必要があり、金型を製作するのとほとんど同程度の製作時間を要する場合もあり、そのために電解加工を導入するメリットが失われてしまう例も少なくない。

しかし硝酸ソーダ水溶液の積分効果小さいという特性を利用し、電極の製作段階にも電解加工を使用することが可能となり、従前の電極製作法に比べてはるかに短時間に高精度の電極を製作できることが明らかとなった。

この章では、この新しい電極製作法と、これにより非常に効果的な加工が可能となった応用例について説明する。

6.1 ロールダイス加工における電極製作法と製品加工精度

6.1.1 加工対象物

加工対象物は図 6.1 に示したような半円柱状のワークの円周上にみぞを成形するもので、継目無パイプを製作するためのロール工具である。みぞの断面形状は半円に近い形状で、この円の曲率が入口側から出口側に向かって徐々に変化して小さくなっている。従来は専用板を使用して荒加工を行ない、その後ならい研削盤で仕上げを行っていたものであるが、非常に長時間を要し、しかも材質が高硬度のためカッタの寿命が短いなど問題が多く、電解加工の導入が検討されるようになったものである。

6.1.2 電極製作法

最初に従来の電極製作とまったく同様にあらかじめ加工条件を設定し、これによるオーバカットを計算して電極寸法の修正を行ない、ならいフライス加工と手仕上げで電極を製作することを試みた。しかしながら次のような理由により、この方法で製作された電極では十分な精度を保って製品加工を行なうことがほとんど不可能であることが判明した。

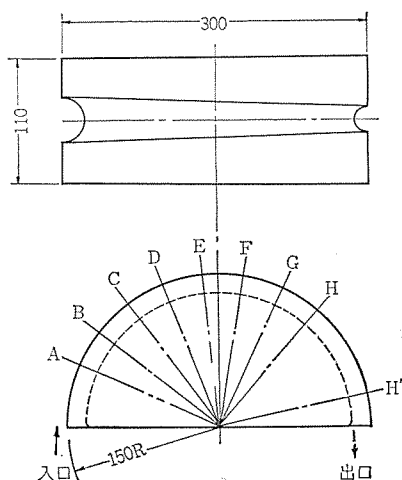


図 6.1 ロールダイス 概略図 Pipe reducing roll.

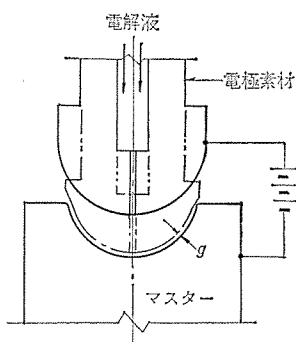


図 6.2 電極製作時の構成
Machining of electrode by ECM.

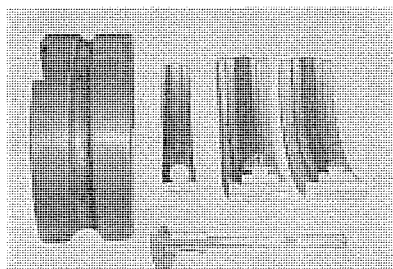


図 6.3 マスタと電極素材および転写後の電極
Master and electrode machined by ECM.

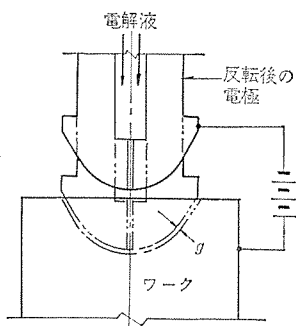


図 6.4 製品加工時の構成
Machining of work piece.

(1) ならいモデル(木型)の製作精度が悪く、その誤差がそのまま電極にも現われ、設計値 ± 0.1 mmの電極製作精度をうる事が非常にむずかしい。

(2) 電極の断面形状を単独で設計寸法に一致させることは可能であるが、これらを連続した場合電極中心の断面間のずれ、曲率中心の断面間のずれが生じて、この誤差が製品にも現われる。

表 6.1 ロールダイス 用電極製作時の加工条件
Machining condition in making electrode for roll die.

加工条件	入 口 側	出 口 側
電 解 液 種 類	NaNO ₃ sol	NaNO ₃ sol
温 度, 比	22°C, 1.14	22°C, 1.14
加 工 電 圧	10.5 V	10.5 V
加 工 電 流	5,100 A	3,100 A
加 工 速 度	0.8 mm/min	0.8 mm/min
電 解 液 流 量	160 l/min	140 l/min
電 解 液 圧 力	14 kg/cm ²	14 kg/cm ²
気 体 混 入 圧 力	15 kg/cm ²	15 kg/cm ²
加 工 深 さ	26.1 mm	15 mm
加 工 時 間	33 min	19 min
被 加 工 物 材 質	SUS 22	SUS 22

表 6.2 ロールダイス 製品加工時の加工条件
Machining condition of roll die.

加工条件	入 口 側	出 口 側
電 解 液 種 類	NaNO ₃ sol	NaNO ₃ sol
温 度, 比	22°C, 1.14	22°C, 1.14
加 工 電 圧	10.5 V	10.5 V
加 工 電 流	4,000 A	3,000 A
加 工 速 度	1.0 mm/min	1.0 mm/min
電 解 液 流 量	140 l/min	140 l/min
電 解 液 圧 力	14 kg/cm ²	14 kg/cm ²
気 体 混 入 圧 力	15 kg/cm ²	15 kg/cm ²
加 工 深 さ	26 mm	15 mm
加 工 時 間	26 min	15 min
被 加 工 物 材 質	SKD-61	SKD-61

したがってこの製品に関しては同一形状の繰返し加工が多く、今までに製作された製品そのものがモデルとして使用できる点に着目し、これから電極を転写することを考えて、次のような電極製作法を試みた。すなわち図 6.2 に示すように既存の製品あるいは、柔らかい材料で作ったモデルをマスタにし、これにあらかじめみぞ寸法の最も大きい部分より約1 mm 大きな半円の断面をもった円環の一部の形状に旋盤加工された電極素材を対向させ、図のようにマスタを陰極、電極素材を陽極として電解加工を行ない、電極素材面にマスタの逆形状を転写させた。

電極素材の材質には、できるだけ積分効果が小さく、かつ耐食性のある13% Cr系ステンレス鋼を使用した。また加工は次の観点から加工部分を入口側と出口側の二つの部分に分割し、2工程で製品1個の加工を完成させる方式を採用した。

- (1) 加工深さを短くでき加工時間を短縮することができる。
- (2) 加工開始時の安定性を向上できる。
- (3) 電流密度を高くとれるので、加工精度を向上できる。

電極製作時の加工条件を表 6.1 に、またマスタと電極素材および転写後の電極を図 6.3 に示す。

6.1.3 製品加工

上述のようにして完成された電極を用いて、次に製品加工を行った。すなわち図 6.4 に示したように電極製作時とは逆に電極を陰極、ワークを陽極とする通常の極性に戻し、表 6.2 に示した加工条件を適用した。なおこのように電極製作時に極性を逆転して電極を陽極として第1段階で製作し、第2段階でさらに極性を通常に戻して製品加工を行なう一連の工程を“反転法”(特許出願中)と称することにした。

電解加工後の製品をマスタと比較して図 6.5 に示す。

6.1.4 加工精度

上述のように加工された製品に対して、加工精度は次の3項目について測定された。



図 6.5 マスタと電解加工後の
ロールダイス
Master and pipe reducing roll
machined by ECM.

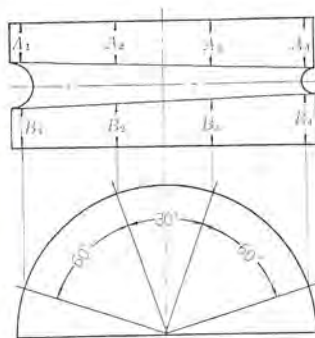


図 6.6 みぞ中心のずれ測定個
所
Deviation of centerline.

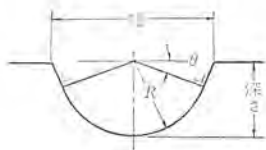


図 6.7 みぞの断面形状
Cross section of the groove.

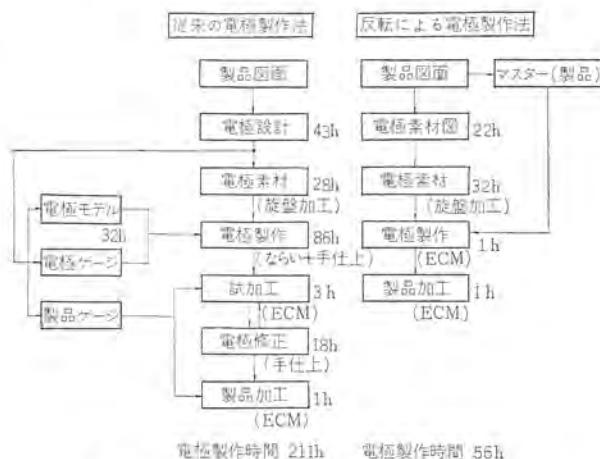


図 6.8 ロールダイス加工工程の比較
Comparison of machining process between ECM and
conventional method.

(1) みぞ中心と製品中心のずれ

この製品において最もきびしく要求されたのはこの精度で、要求公差は $\pm 0.02 \text{ mm}$ であった。

測定は図 6.6 に示した位置について製品端面より みぞ上端部までの寸法 $A_1 \sim A_4$ および $B_1 \sim B_4$ をハイトゲージを用いて測定した。その結果を表 6.3 に示す。

表 6.3 より、製品中心に対する みぞ中心のずれは最大 0.015 mm となっており、十分要求精度を満足させることができた。

(2) みぞの幅寸法と深さ寸法

任意の断面における みぞの形状は図 6.7 のようになっており、上表面における幅寸法を図 6.1 に示した A~H' 断面についてノギスを用いて測定し、マスタとの比較を行なった。測定結果を表 6.4 に示す。同様にみぞの深さ寸法は、各測定断面についてスリットの跡の突起を除去し、デスマイクロを使って測定した。マスタと比較して測定結果を表 6.5 に示す。

要求公差は幅寸法に対しては $+0.20$ -0.10 深さ寸法に対しては $+0.01$ -0.14 であったが、表 6.4, 6.5 から得られた結果では幅 $+0.10$ -0.20 深さ $+0.07$ -0.14 となっており、深さに対しては十分に要求を満たすことができた。幅寸法はやや小であるが、手仕上げしるとして適当である。なおみぞ中央突起もハンドグラインダで手仕上げ除去される。

表 6.3 みぞ中心のずれ測定結果
Measured value of deviation of center line.

測定位置	製品 No. 1	製品 No. 2
A_1	40.65	40.65
B_1	40.62	40.65
A_2	44.05	44.00
B_2	44.05	44.00
A_3	45.08	45.05
B_3	45.05	45.04
A_4	45.91	45.90
B_4	45.92	45.92

表 6.4 みぞ幅寸法測定結果
Measured value of width of the groove.

測定断面	A	B	C	D	E	F	G	H	H'
マスタ	28.00	26.00	24.50	23.20	22.00	20.85	19.90	19.00	19.45
製品 No. 1	27.85 (-0.15)	26.10 (+0.10)	24.50 (± 0)	23.00 (-0.20)	21.80 (-0.20)	20.85 (± 0)	19.90 (± 0)	19.05 (+0.05)	19.25 (-0.20)
製品 No. 2	27.90 (-0.10)	26.05 (+0.05)	24.45 (-0.05)	23.00 (-0.20)	21.85 (-0.15)	20.75 (-0.10)	19.85 (-0.05)	19.00 (± 0)	19.25 (-0.20)

() 内はマスタとの誤差を示す。

表 6.5 みぞの深さ寸法測定結果
Measured value of depth of the groove.

測定断面	A	B	C	D	E	F	G	H	H'
マスタ	12.56	11.77	11.01	10.40	9.88	9.38	8.95	8.56	8.65
製品 No. 1	12.60 (+0.04)	11.72 (-0.05)	10.95 (-0.06)	10.33 (-0.07)	9.85 (-0.03)	9.27 (-0.11)	8.97 (+0.02)	8.62 (+0.06)	8.70 (+0.05)
製品 No. 2	12.63 (+0.07)	11.70 (-0.07)	10.92 (-0.09)	10.33 (-0.07)	9.87 (-0.01)	9.24 (-0.14)	8.96 (+0.01)	8.60 (+0.04)	8.68 (+0.03)

() 内はマスタとの誤差を示す。

6.1.5 反転法による電極製作の特長と欠点

ここで今回の製品加工について反転法で電極を製作した場合と従来のならいフライスによる電極製作法との工程を比較すると図 6.8 のようになり、従来に比べて実質的に約 1/4 に電極製作時間を短縮できた。

この図から反転法の特長は次のように要約できる。

(1) 電極設計段階で加工間げきの計算などを省けるため、設計要図に要する時間を削減できる。

(2) 既存の製品をマスタに使用でき、工程を短縮できると同時に使用者側にとっても従来のような電極製作のむずかしさを感じさせず、手軽に取扱える安心感を持てる。

(3) 電極製作時と製品加工時の間げきの誤差が特殊な場合を除いて少ないため、マスタの精度が十分要求公差内にあれば、電解加工後の製品もマスタと近似したものとなり、容易に要求精度を満足でき、かつ電極修正に要する時間を大幅に削減できる。

(4) 製品加工に際して、マスタとワークを基準面を合わせて交換するだけで位置決めを行なえるので、高い位置決め精度を容易にうることができる。

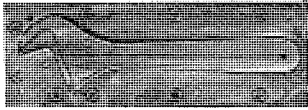
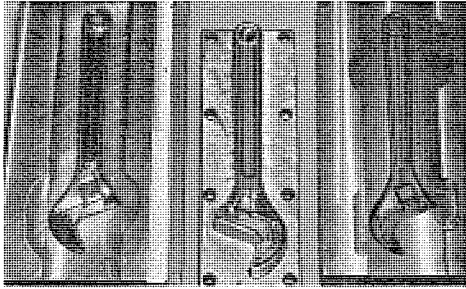


図 6.9 モンキレンチ 鍛造型用電極素材
Electrode material for the spanner.



左：マスタ，中央：電極，右：電解後の型

図 6.10 モンキレンチ 鍛造型加工例
Machining sample of the spanner forging die.

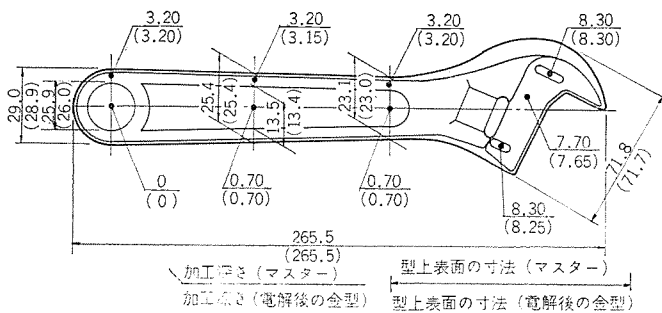


図 6.11 モンキレンチ 鍛造型精度測定結果
Measurement of the accuracy on spanner forging die.

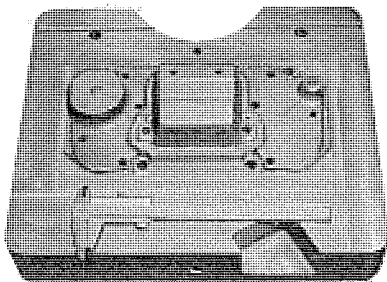


図 6.12 電解加工後の自動車部品 ダイキャスト型
Diecasting die made by ECM.

一方欠点としては

まったく新規の製品を加工する場合はマスタそのものを電鍍法や従来のならい加工などで製作する必要があり，同一形状の製品を繰返し生産する必要のない単一物の金型加工ではメリットが少ないことがあげられ，今後の課題として解決をはかる必要がある。

6.2 反転法による三次元金型の加工

前述のように既存の製品がそのままマスタとして使用でき，これから容易に電極を製作できることが，これまでタービンブレードや部品加工ではいろいろ実証されたが，三次元形状の複雑な底付け型に対して同じようにこの方法を適用できるか否かは次の点で疑問があった。

- (1) 傾斜角の小さい抜きこう配面は最も積分効果の影響を受けやすく，マスタの精度をそのまま製品に再現できないのではないか。
- (2) 同じ理由で背圧を受ける内側部の再現性はどうか。

表 6.6 モンキレンチ 鍛造型の加工条件
Machining condition for spanner forging die.

加工条件	電極製作時	金型加工時
電解液種類	NaNO ₃ sol	NaNO ₃ sol
温度，比	25°C, 1.14	27°C, 1.14
加工電圧	10.5 V	10.5 V
加工電流	2,500 A	2,700 A
加工速度	0.5 mm/min	0.6 mm/min
電解液流量	260 l/min	230 l/min
電解液圧力	14 kg/cm ²	14 kg/cm ²
気体混入圧力	15 kg/cm ²	15 kg/cm ²
加工深さ	9 mm	8.15 mm
加工時間	18 min	14 min
被加工物材質	SS 41	SKT-4

表 6.7 自動車部品 ダイキャスト型の加工条件
Machining condition for diecasting die.

加工条件	電極製作時	金型加工時
電解液種類	NaNO ₃ sol	NaNO ₃ sol
温度，比	27°C, 1.14	30°C, 1.14
加工電圧	10 V	10 V
加工電流	10,000 A	11,000 A
加工速度	0.8~0.5 mm/min	1.0~0.5 mm/min
電解液流量	340 l/min	350 l/min
電解液圧力	14 kg/cm ²	14 kg/cm ²
気体混入圧力	15 kg/cm ²	15 kg/cm ²
加工深さ	35 mm	42 mm
加工時間	80 min	90 min
被加工物材質	SS 41	SKD-61

しかし以下に示す応用例により，十分高い能率のもとに実用的な金型加工を行なうことが確認できた。

6.2.1 モンキーレンチ鍛造型の加工

加工にあたって使用した電極素材を図 6.9 に，マスタと反転後の電極および最終的な電解後の金型を図 6.10 に示す。

電極素材の材質には軟鋼材 SS 41 を用い，形状は図のように二次元的にのみその形状をマスタの投影形状に一致させてフライス加工を行なった。これは電極製作時と最終的な金型加工時の加工面積をほぼ等しくし，両者の電流密度などの加工条件をできるだけ等しくする目的によるものである。

電極製作時は前述のように電極素材を陽極，マスタを陰極とする逆極性で加工を行ない，金型加工時は反転後の電極を陰極，金型素材を陽極とする通常の極性に戻し，電解液はいずれの場合も電極に設けたスリットから噴出させた。それぞれの加工条件をまとめて表 6.6 に示す。

加工後の金型寸法をマスタとの比較で測定した結果を図 6.11 に示す。この図から明らかなようにマスタとこれから転写された電極で加工された金型との誤差は最大で 0.10 mm となっており，実用的に十分使用可能な金型であることが確認された。

従来はこの金型はならい彫刻機で荒加工された後グラインダによる手仕上げで加工が行なわれており，金型 1 個あたり約 9 時間を要していたが，電解加工により位置決めなどの段取り時間を含めても金型 1 個あたり約 30 分に短縮され，電極製作時間を含めても十分経済的に有利であり，さらに金型の消耗が激しいだけに長期的にみると驚異的な工数低減を得られることが認められた。

6.2.2 自動車部品ダイキャスト型の加工

最終的な電解加工後の金型を図 6.12 に示す。電極の製作にはこの図とほとんど同じ形状のマスタ金型を用意し，これから反転法で電解加工により成形されたものを用いた。電極製作時および金型加工時の加工条件を表 6.7 に示す。

金型の精度は図 6.13 に示したように金型とマスタに端面を基準

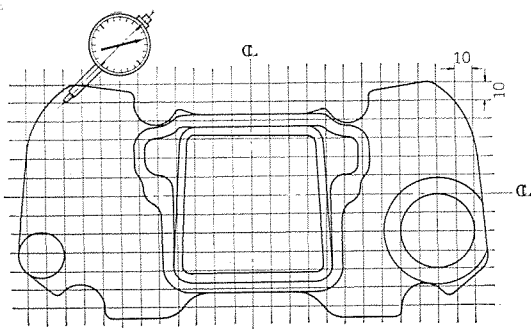


図 6.13 加工精度測定法
Measuring method of machining speed.

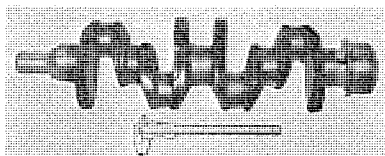
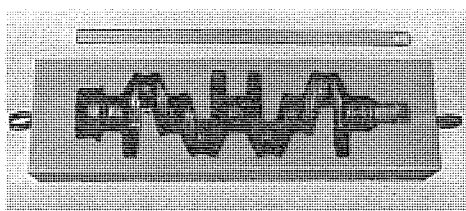
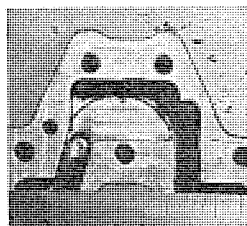


図 6.14 クランクシャフト鍛造型製作用電極
Electrodes for crank shaft forging die.



(a)



(b) 電極をはめこんだ状態

図 6.15 加工された型 Machined die.

にして10 mm 間隔で X-Y-Z 方向にケガキ 線を入れ、その交点のマスターに対する電解加工後の金型の誤差を求める方法により測定した。その結果では加工底面では ± 0.04 mm の精度を得られることが確認できたが、こう配をもった側面ではマスターに対して金型が片側 0.4~0.5 mm 小さくなっていることがわかった。

これは電極製作段階ではこの部分に対し背圧のかかる時間が加工終了前の数 mm の間だけであるのに対し、実際の金型加工時では加工開始時点から終了に至るまで全過程で背圧を受けることになるため、それぞれの場合に生ずるオーバーカットの差がそのまま型の精度に現われたものである。解決の方法としては背圧の影響を受ける部分についてのみ、反転後の電極を修正するのが最も簡便で、本金型に関しても最終的にその部分について前述の誤差の差だけ修正を施し、十分な精度をもった金型加工を完成することができた。

以上2種類の金型加工例から実際の三次元形状のキャビティ加工において反転法は鍛造型などのように型の消耗が激しく、同一の金型を複数個製作する必要がある場合は、既存の金型そのものからこれをマスターとして非常に簡単な手段で複雑な形状の電極を容易に製作でき、電解加工導入のメリットが大きく現われてくることがわかった。

表 6.8 クランクシャフト鍛造型の加工条件
Machining condition for crank shaft forging die.

分割部分	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
加工条件	NaNO ₃ sol					
電解液種類	NaNO ₃ sol					
温度, 比重	46°C, 1.14	43°C, 1.14	43°C, 1.14	34°C, 1.14	37°C, 1.14	34°C, 1.14
加工電圧 V	10	9	9.5	10	10	10
加工電流 A max	3,400	8,000	7,800	7,900	8,000	3,600
加工速度 mm/min	0.7	1.0~0.8	1.0~0.8	1.0~0.8	1.0~0.8	0.7
電解液流量	—	—	—	—	—	—
電解液圧力 kg/cm ²	13	13	13	13	13	13
気体混入圧力 kg/cm ²	14	14	14	14	14	14
加工深さ mm	32	70	70	70	70	49.3
加工時間分	46	73	73	73	73	70
被加工物材質	SKT-4					

一方、まったく新規の金型を製作するには、反転法を適用するにはマスターそのものを製作することから出発せねばならないが、電鍍法などをマスターの製作にとり入れることにより、十分な効果を得られるものと考えられ、今後十分な検討を進めてゆく予定である。

6.3 各種の応用例

6.3.1 クランクシャフト鍛造型の加工

フルーザ用4気筒クランクシャフト(全長約1,100 mm)の鍛造型の加工例を示す。加工は、6カ所に分割して、順次加工する方式をとった。電極は、鍛造品そのものを素材として用い、型寸法より片側 0.7 mm 均一に小になる寸法に、ならいフライス加工によって切削し、仕上げられている。図 6.14 に電極の全容を示す。電極に設けられた液噴出用のスリット穴は、銅板電極を用いて放電加工で製作された。

電解加工は、硝酸ソーダ水溶液を用い、高圧気体混入方式を用いて行なわれ、特別の液流制御用の治具は用いない。加工条件および加工時間は、表 6.8 に、それぞれの分割部分について示す。片面の型加工に要した総加工時間は、電極・被加工物の取付けとりはずしを含めた時間である。図 6.15 に電解加工後の状況を示す。従来のならいフライス加工+手仕上げの方式に比較して、電解加工導入によって、加工時間は約 1/3 になる。

この種の大型鍛造型加工では、電極のスリット部分に対応して残る型のもり上がりや、ハンドグラインダーで削りおとす程度で、後の手仕上げをほとんど必要とせずに、鍛造型として使用できる。加工精度も図面寸法に対し、 ± 0.2 mm 以内には容易に加工できることが確かめられ、チェコスロバキア最大の製鉄所である、クラドノ製鋼所では、MC 100 V-100 A 形電解加工機による実用生産が、行なわれている。

6.3.2 アルミサッシ押出型への応用

アルミサッシ押出型は、数多くの型を必要とするために、電解加工機の導入が、早くから進められ、その経済的な成果が大きいことが認められている。

アルミサッシ押出型の構成は、図 6.16 に示すようになっている。(a)のほうは形状が比較的単純で、一つのダイスで成形できるものであり、(b)は形状が複雑で、ダイスが二つ以上の部分から組み合わされて作られるものの例である。マンドレルは一体に作られる場合と、(b)の左図に示す斜線部のスパイダと外輪より組み合わせて作られる場合の2種がある。

マンドレルの異形穴、パッカーの異形穴、ダイスの裏穴およびダイスのアプローチ部分が、電解加工により加工される。ダイスベアリング部分は、

通常放電加工による。

図 6. 17 にマンドレルの加工例を示す。1本の電極で穴1個ずつを順次加工し、加工時間はマンドレル全体で4時間であった。加工精度は $\pm 0.07\text{ mm}$ で、要求公差を十分満足させるものになっている。従来の機械加工に比べ電極製作時間も含めて、1/2.5に短縮できた。

図 6. 18 にバックの加工例を示す。この場合もマンドレルの加工と同様、従来の機械加工方式よりも大幅に加工時間が短縮される。

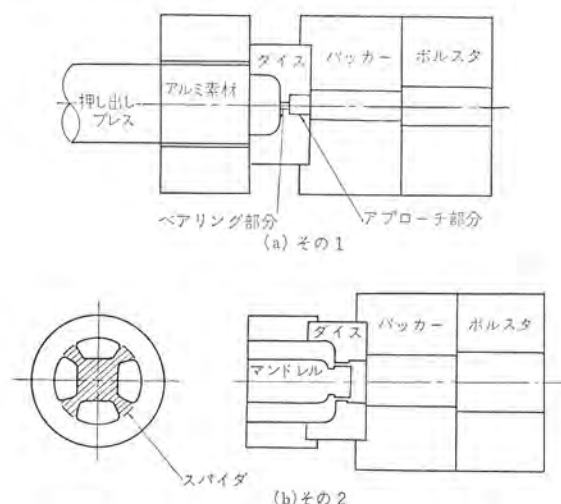
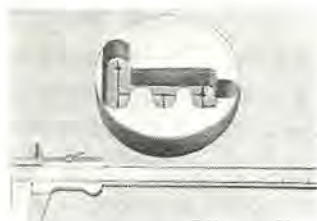


図 6. 16 アルミサッシ 押し出しダイスの構成
Construction of the alminum sash die.



加工時間4時間 加工深さ 110 mm

図 6. 17 マンドレルの加工例
Machining sample of the mandrel.



加工時間45分 加工深さ 105 mm

図 6. 18 バックの加工例
Machining sample of the backer.



(a) 第1電極



(b) 第2電極



(c) 電解加工後の第2電極



(d) 完成した電極(スリット加工は放電加工)

図 6. 21 電極の製作工程
Machining process of electrode.

要求公差は $\pm 0.2\text{ mm}$ であるが、加工物は $\pm 0.1\text{ mm}$ に加工でき十分である。

図 6. 19 にダイスの裏穴加工の例を示す。

ダイスのアプローチ部分の加工は、従来は放電加工によって製作されていたが、電極製作に、電解加工をうまく活用する方式を用いることによって、現在では、電解加工によって加工される。図 6. 20 に加工工程を示す。図 6. 21 に工程それぞれの状況を示す。図 6. 22 に加工例を示す。この加工では、電極製作工程の加工時間がかなり長いので、単一物の加工では放電加工が有利であるが、同じ形状のアプローチを3個以上(通常のアルミサッシダイスは1型に3個以上あり、しかも型を数面同時に加工する例が多い)生産する場合、電解加工が有利である。なお、アプローチに必要なテパ状の逃げは、加工条件を深さによって切換えることによって得られる。

6. 3. 3 タービンロータへのブレードの直接加工

蒸気タービン圧縮機を高速回転とし、小形高能率化を目ざす努力が、各タービンメーカーで行なわれているが、この場合、植込式タービンブレードでは、根本に起こる応力集中に耐えられず、切損を引き起こすため、円板状素材にブレードを直接加工する必要がある。この種の加工は、機械加工では、切削時間と工具消耗の面から不可能に近く、電解加工の適用が大きな成果をもたらす。図 6. 23 に加工要領を示す説明図、表 6. 9 に加工条件を示す。図 6. 24 に加工されたロータの



加工時間50分 加工深さ 25 mm

図 6. 19 ダイス裏穴加工例
Machining sample of the forming of die.



図 6. 20 アプローチ部分の加工工程
Machining process.



加工時間11分 加工深さ 24 mm

図 6. 22 完成されたアプローチ部分の加工例
Machined die.

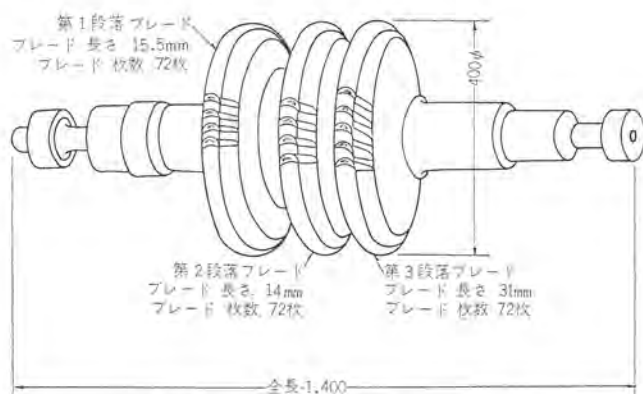


図 6.23 タービンロータ用一休ブレード加工例
Machining sample of turbine rotor.

表 6.9 タービンロータ用ブレード加工条件
Machining condition.

条 件	第1, 第2段落 ブレード	第3段落ブレード	第1~第3段落 ボケット
電 解 液 種 類	NaNO ₃ sol	NaNO ₃ sol	NaNO ₃ sol
温 度 °C, 比 重 g/cm ³	31°C, 1.13	31°C, 1.13	29°C, 1.13
加 工 電 圧 V	10.5	10	10.4
加 工 電 流 A	1,800	800	190
加 工 速 度 mm/min	3.0	2.5	1.55
電 解 液 流 量 l/min	50	55	42
電 解 液 圧 力 kg/cm ²	14	14	14.2
気 体 混 入 圧 力 kg/cm ²	14.2	15	15
加 工 深 さ mm	16	32	3.5
加 工 時 間 / 1 行 程 min	5	13	2.5
加 工 時 間 / total min	360	936	180

総加工時間約 25 h



図 6.24 タービンブレード一休加工例
Machined rotor.

全容を示す。全加工時間は25時間であった。

ブレードプロファイルの精度は±0.1 mm以内で、繰返し精度も高く、電極の消耗はまったくない。

7. む す び

本論文では、次の事項が述べられている。

(1) NaCl, KNO₃, KNO₃, NaClO₃, NaNO₃などの各種電解液について、垂直側面間げきを計測した結果、NaNO₃が、もっとも積分効果が小となることがわかった。

(2) NaNO₃水溶液について、間げきの生成の機構を調べるために、極間げき g と電流密度 J の関係、および電流密度 J と溶出速度 f の関係を別々に求めた。

g - J 関係を整理するために、酸化膜抵抗 R の概念を導入し、その膜抵抗 R が、 $R = \frac{A}{JB}$ (A, B は材料・温度によって定まる定数) の実験近似式で表わされることを求めた。

J - f 関係から、ある電流密度 J_0 以下では、溶出速度が零となっているのが観測された。

(3) g - J , J - f の両関係から、 g - f 関係が求められ、ここから積分効果 γ と断間げき g_a が次式で求められる。

$$g_a = \frac{1}{\rho} \left(\frac{E - E_0}{J_0} - R \right) = \frac{1}{\rho} \left(\frac{E - E_0}{J_0} - \frac{A}{J_0 B} \right)$$

J_0 が大きく、 R の大きくなるほど g_a は小となる。軟鋼・SUS 22・SKD-11 などの材料では、 g_a がとくに小さい。また液温の影響も大きい。

(4) 高圧気体混入方式では、流れの均一性を得やすく、硝酸ソーダ水溶液を用いる間げきの小なる電解加工で、とくに短絡に移行しない安定な加工ができる。

(5) 平たん度、二次元形状のオーバカット、三次元形状のオーバカットを実測し、食塩水に比較して硝酸ソーダ水溶液では、精度が向上することが確かめられた。

(6) 硝酸ソーダ水溶液の採用により、金型加工の分野にも反転法が利用できるようになり、電極製作は容易となった。

参 考 文 献

- (1) 古池：電解加工の加工技術，三菱電機技報 41, No. 10 (昭42)
- (2) 前田，斉藤，荒井：電解加工，三菱電機技報 36, No. 9 (昭37)
- (3) 前田，斉藤，荒井：電解加工の研究第1報，精密機械 31, No. 11 (昭40)
- (4) 前田，斉藤，葉石：電解加工の加工原理と加工特性，三菱電機技報 41, No. 10 (昭42)
- (5) 前田，斉藤，荒井，伊藤，杉江：電解加工機，三菱電機技報 37, No. 8 (昭38)
- (6) 近森，伊東：電解加工における電極現象 第4報，機械研究所報 25, No. 1 (昭46)
- (7) 近森，伊東：電解加工における電極現象 第3報，機械研究所報 24, No. 1 (昭45)
- (8) Electrochemical Machining, American Machinist, October 23 (1967)
- (9) James P. Haare et al. : An Investigation of the Difference between NaCl and NaClO₃ as Electrolytes in Electrochemical Machining, Electrochemical Science, 116, No. 2 (1969)
- (10) James W. Throop et al. : Sodium Chlorate for E. C. M. Caving Sinking, The Tool Manufacturing Engineer, Jan. (1968)

レーザ加工

樋口 隆一*・宮沢 生行*
吉田 寿夫*・奥田 滝夫**

Application of Lasers to Drilling and Cutting

Central Research Laboratory Takaichi HIGUCHI・Takayuki MIYAZAWA・Hisao YOSHIDA
Manufacturing Development Laboratory Takio OKUDA

With recent development of high power lasers, the importance of laser machining has been recognized by leaps and bounds. In a few words, it is a minute thermal process with no mechanical contact of any tools. This article reports a number of results in drilling and cutting by our ruby laser and carbon dioxide laser and also describes general features of laser machining. The ruby laser used has the maximum output energy of 3.5 J and is useful for drilling extremely small holes. In working on metal, a hole of 100~350 μ m in diameter is drilled in such short time as 0.5 ms. The carbon dioxide laser is useful for cutting. For instance, a steel plate of 1 mm thickness can be cut at a speed of 1.3 m/min with laser power of 80 W.

1. ま え が き

レーザの開発当初から、その用途の一つとして加工が注目されていたが、近年レーザの出力が飛躍的に増大するにつれて、レーザ加工の重要性がますます認識されるようになった。レーザ加工は熱加工であるが、従来の熱加工に比べてきわだった特長がある。それはきわめて短時間で微小加工が可能であるということである。

レーザビームはコヒーレントな性質のために、微小体積にエネルギーを集中できるので微小加工が可能である。また、加工するときに機械的な接触が不要であるからドリル、カッターのように摩滅しない。堅くてドリルを使えない物質に対してもレーザ加工は有効である。これらがおもな特長である。

レーザの出力の増加のテンポは著しく、現在世界で得られた最大の出力はパルス発振で数百ジュール、連続発振で数十キロワットである。これらを使えば従来しえなかった加工が可能になる。たとえば紙の高速切断機として用いれば、カッターの摩滅による限界速度を突破して、1分間に数千メートルの速度で切断が可能になる。

当所では、ルビーレーザおよび炭酸ガスレーザ（以下CO₂レーザと呼ぶ）による加工を研究してきた。ルビーレーザはパルス発振であることおよび波長が短いことから微小な穴あけに有効である。CO₂レーザは連続発振であるから切断に有効である。この論文ではそれらのレーザによる加工のいくつかの結果・特色を述べる。レーザ加工の解析は、まだ完全に行なわれていない。ここでは限界温度の概念を導入して、レーザ加工のいくつかの結果を定性的には握できた。なお、レーザ加工という用語はレーザによる穴あけ・切断を意味するものとする。今回はレーザによる溶接は取り扱わない。

2. レーザビームとレーザ加工

レーザビームは広がり角が小さいので、レンズで絞ると小さいスポットになる。広がり角が数 mrad であるから数十~数百 μ m の径のスポットになり、そこに集中するレーザビームの強度は 10⁵~10⁸ W/cm² の大きい値である。金属を例にとると吸収係数が大きいので（約 10⁶/cm）レーザビームは表面のきわめて薄い層で吸収され、層の内部のエネルギー密度は 10¹⁰~10¹³ W/cm³ にもなる。このように微小体積に膨大な

エネルギーを集中できるので瞬時に融解・沸とうが起こり、容易に加工できる。

基本モード¹⁾で発振しているとき、レンズの焦点を原点、光軸を z 軸、光軸からの距離を r とする円柱座標で考えれば、軸対称であるからレーザビームの強度分布 $I(r, z)$ は焦点付近で次のように表わされる⁽¹⁾。

$$I(r, z) = \frac{2P}{\pi w^2} \exp \left[-2 \left(\frac{r}{w} \right)^2 \right] \dots \dots \dots (2.1)$$

$$\text{ここに } P : 2\pi \int_0^\infty I(r, z) r dr$$

$$w^2 : w_0^2 \left\{ 1 + \left(\frac{\lambda z}{\pi w_0^2} \right)^2 \right\}$$

w_0 : 焦点でのスポットサイズ（強度が中心強度の e^{-2} になる半径）

λ : レーザ波長

レンズの焦点距離を f 、レーザビームの広がり角（半頂角）を θ とすれば $w_0 = f\theta$ である。

式 (2.1) より

$$\frac{r}{w_0} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left\{ 1 + \left(\frac{\lambda z}{\pi w_0^2} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \left[\ln \frac{2P}{\pi w_0^2 I \left\{ 1 + \left(\frac{\lambda z}{\pi w_0^2} \right)^2 \right\}} \right]^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (2.2)$$

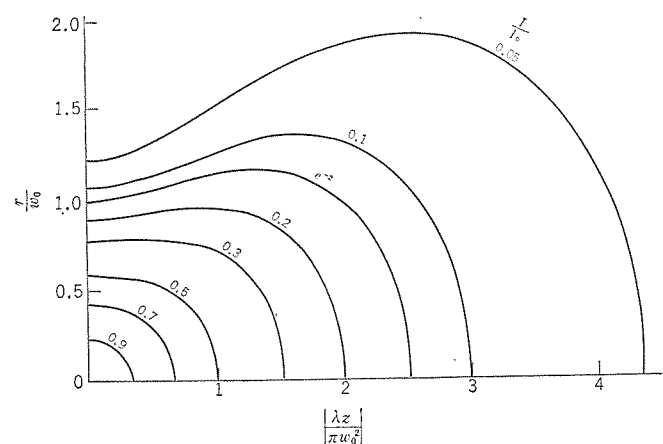


図 2.1 焦点付近のレーザビームの強度分布
Intensity distribution of laser beam in the vicinity of focal point.

$I_0 \equiv \frac{2P}{\pi w_0^2}$ は焦点でのレーザービームの中心の強度である。これより光軸を含む平面内の強度分布を求めると図 2. 1 になる。

物体の表面に様な熱流束を与えたとき表面温度は次のように表わされる⁽²⁾。

$$T = \frac{2F_0}{K} \left(\frac{kt}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.3)$$

ここに T : 表面温度
 F_0 : 熱流束密度
 K : 熱伝導率
 k : 熱拡散率
 t : 時間

表面温度が沸点に達すると物質が沸とうし除去が始まるが、物質の除去は単なる沸とうではなく複雑な過程と考えられ、まだ K , k は温度に無関係ではない。そこで、 $T \propto F_0 t^{\frac{1}{2}}$ の形で表わされる T がある限界温度 T_c を越えたとき除去が始まると考える。 T_c は物質によって異なり、等価的な沸点と考えられる。 F_0 はレーザービームの強度 I に比例するから式 (2.3) を次のように表わせる。 A を定数とすると、

$$T = At^{\frac{1}{2}} \quad (2.4)$$

これより限界温度 T_c に対応する限界強度 I_c が決まる。

図 2. 1 より物体表面を焦点に置いたとき、 $\frac{I_c}{I_0}$ が小さいと（加工しやすい物質を意味する）径が大きい中太りの穴があくことがわかる。また、焦点ずれによる穴径の変化がわかる。しかし、実際の穴は図 2. 1 から予想されるより深い。これは壁での反射をくり返してレーザービームが奥深く進むライトパイプ効果によるものである。このように、不完全ではあるが図 2. 1 はレーザービームとレーザによりあけられた穴の形状との関係を表わしている。

3. ルビーレーザーによる穴あけ

3. 1 ルビーレーザー

使用したルビーレーザーの性能は次のとおりである。

波 長	0.69 μ
出力エネルギー	3.5 J (最大)
ピーク出力	6.5 kW (最大)
パルス継続時間	0.5 ms
発振繰り返し	0.5 pps
広がり角	5 mrad

加工機は本体、冷却系、架台、試料台および電源から成り、本体

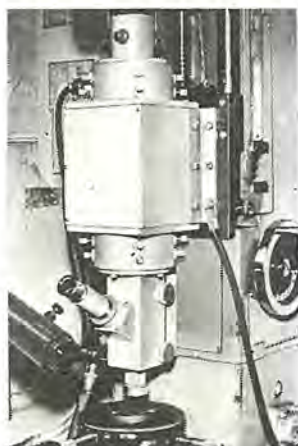


図 3. 1 レーザ加工機本体
Head of laser hole driller.

にはルビーレーザー、集光レンズおよび位置決め・焦点合わせ用の顕微鏡が組み込まれている。電源を除く主要部を図 3. 1 に示す。これにより位置決め $\pm 5 \mu$ 、焦点合わせ $\pm 50 \mu$ の精度で加工できる。金属に照射すると図 3. 2 のように火花を出しながら加工される。

3. 2 穴の径

物体表面を焦点に置いたときの出力エネルギーと穴の径との関係を図 3. 3 に示す。同図の計算値は式 (2.2) で $z=0$ とおき、 I_c の値として Al: $1.2 \times 10^6 \text{ W/cm}^2$, Cu: $3.2 \times 10^6 \text{ W/cm}^2$ をとったものである。実験値とほぼ一致している。

出力エネルギーを一定にして、物体を焦点からずらせたときの穴の径の変化を図 3. 4 に示す。焦点からのずれとともに穴の径は大きくなり、前後のずれにほぼ対称である。



図 3. 2 加工中の金属
Metal under drilling with ruby laser.

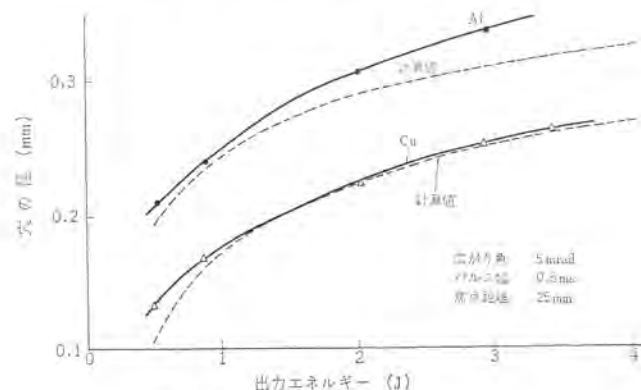


図 3. 3 穴の径と出力エネルギー
Diameter of hole vs. output energy.

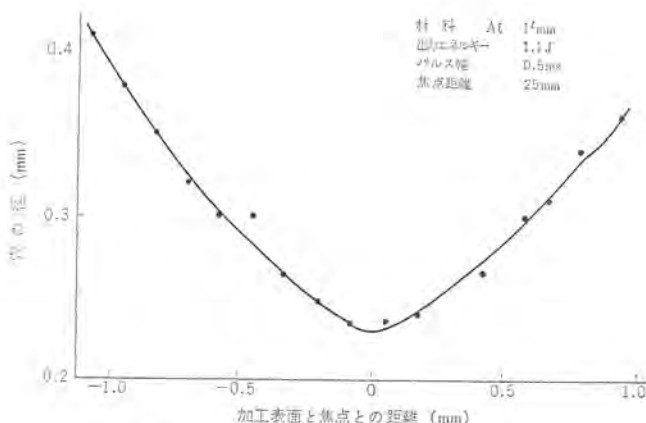


図 3. 4 穴の径と焦点ずれ
Diameter of hole vs. shift of focal point.



図 3.5 穴の断面と焦点ずれ (Al 1.6 J・印は焦点)
Section of hole vs. shift of focal point.

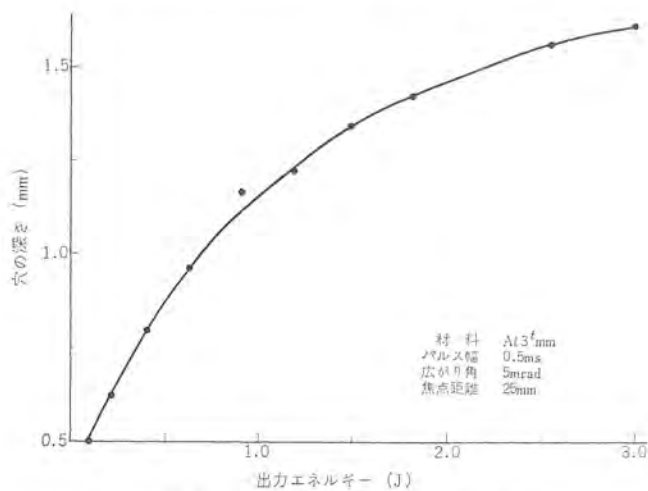


図 3.6 穴の深さと出力エネルギー
Depth of hole vs. output energy.



図 3.7 穴の断面と出力エネルギー (Al 左上から右下へ
3.0, 2.5, 2.1, 1.8, 1.5, 1.2, 0.9, 0.6, 0.4, 0.2 J)
Section of hole vs. output energy.

3.3 穴の深さ

穴の深さはレンズの焦点距離および焦点の位置によって異なる。図 3.5 は焦点位置による穴の深さの変化を示すものである。物体の表面よりやや内部に焦点を合わせたとき最も深い穴があき、そのときの焦点と表面との距離は物質によって異なる。加工しやすい物

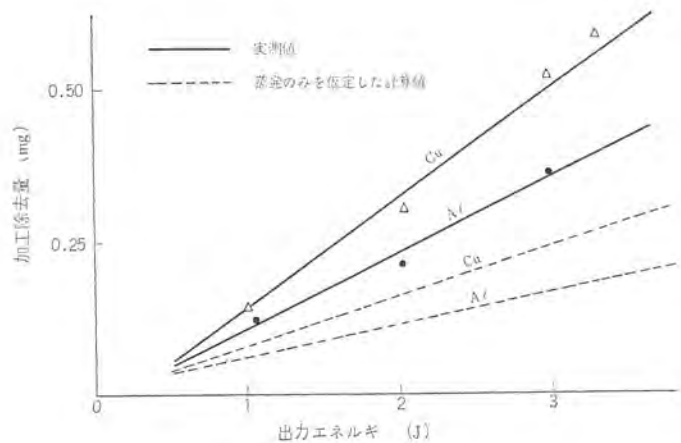


図 3.8 加工除去量と出力エネルギー
Removed mass vs. output energy.

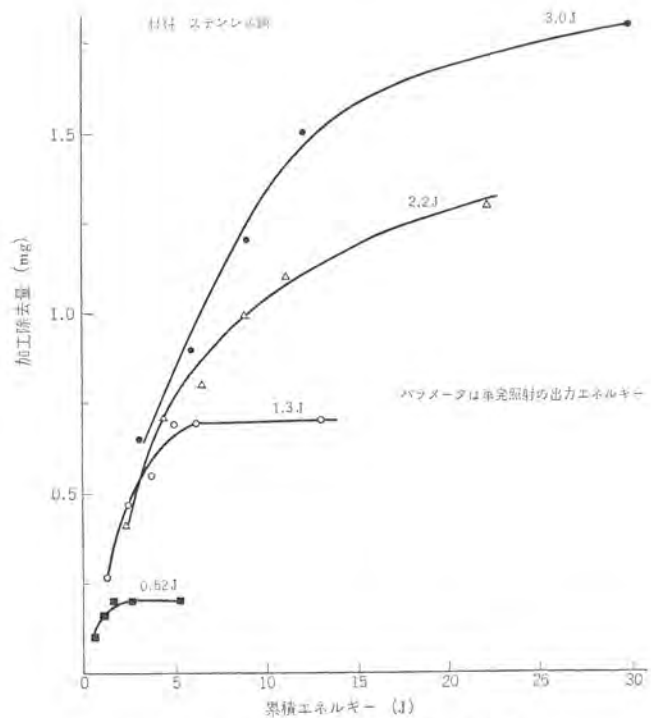


図 3.9 加工除去量と累積エネルギー
Removed mass vs. accumulated energy of many shots.

質ほどその距離は大きくなる。また、同図を詳しく見ると穴の形状は円筒ではなく、くびれ・中太りになっているものがある。加工しやすい物質ほど顕著に現われて、くびれが数個できることがある。これはレーザービームが壁により反射されて進むライトパイプ効果によるもので、レーザーによる穴あけに特長的なものである。

図 3.6 は出力エネルギーと穴の深さの関係を示すものである。出力エネルギーを増すと穴の深さは飽和する。図 3.7 は出力エネルギーを変えたときの穴の断面を示す。

3.4 加工除去量⁽³⁾

穴あけ加工は物体の一部を除去することであり、加工の前後で重量が異なる。この重量差を加工除去量と呼ぶ。出力エネルギーと加工除去量の関係を図 3.8 に示す。点線は物質がすべて蒸発によってのみ除去されると仮定したときの計算値である。実測値のほうがはるかに大きいということは、物質が単に蒸発によって除去されるだけでなく液体の状態のまま飛び出す過程があることを示している。図 3.8 よりこの液体の割合が 50~60 % を占めることがわかる。

図 3.9 には繰り返し照射したときの加工除去量を示す。パラメータは単発照射の出力エネルギーであり、横軸はそれに照射回数をかけて得られる累積エネルギーである。これから小さい出力エネルギーのレーザで照射回数を増して累積エネルギーを大きくしても、それと等しい出力エネルギーのレーザと同等の加工ができないこと、したがって厚い板の穴あけには出力エネルギーのレーザが必要なことがわかる。

4. CO₂ レーザによる切断

4.1 CO₂ レーザ

使用した CO₂ レーザの性能は次のとおりである。

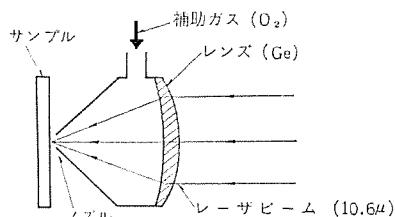


図 4.1 レンズホルダ Lens holder.

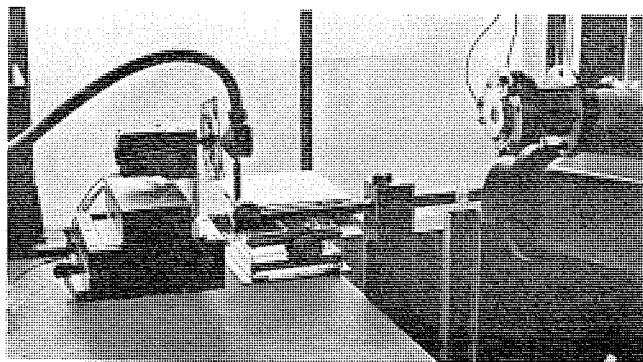


図 4.2 切断中の鋼板
Steel plate under cutting with CO₂ laser.

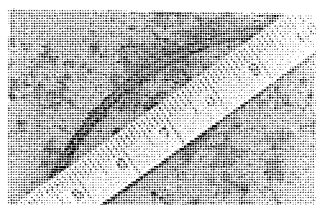


図 4.3 鋼板 (厚さ 1 mm)
Steel plate cut with CO₂ laser.

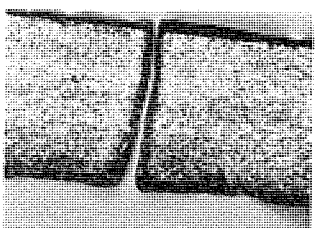


図 4.4 切断みぞの断面 (ステンレス鋼 厚さ 1 mm)
Section of kerf of stainless steel cut with CO₂ laser.

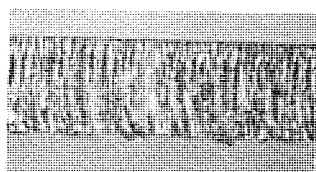


図 4.5 ドラッグライン (鋼板 厚さ 1 mm)
Drag line.

波 長	10.6 μ
出 力	120 W (最大)
効 率	10 %
広がり角	3 mrad

波長が 10.6 μ であるから光学ガラスは使えないので、レンズ材料としてゲルマニウムを使用した。ゲルマニウムは屈折率が大きいため、反射損失を防ぐために両面に反射防止膜をつけた。レンズの性能は次のとおりである。

焦点距離	30 mm
透過率	99 %
最小スポット径	0.18 mm

CO₂ レーザで加工するとき補助ガスを使用するので図 4.1 のようなレンズホルダを使用した。ホルダの先端にノズルがあり、レーザビームとともに補助ガスが噴出する。補助ガスは蒸発物によるレンズ面のよごれの防止、物体の燃焼の防止、レンズの空冷あるいは加工の促進などの目的に用いられる。

4.2 鋼板の切断⁽⁴⁾

金属は熱伝導率が大きいため、ルビレーザと違って連続発振である CO₂ レーザによる加工は不可能に近かった。しかし、酸素を補助ガスにしてその燃焼熱を利用することにより鋼板の切断が可能になった。

レーザビームの照射により物質の温度を沸点まで上げれば沸とうして加工される。ところが連続発振の CO₂ レーザで鉄を沸点 (約 3,000 °C) まで上げるのはその熱伝導率のため困難である。100 W の出力で照射してもこん (痕) 跡すら見られない。いっぽう、ガス切断法では鋼板を酸素アセチレン炎で予熱して酸素をノズルより吹きつけて燃焼熱を利用して切断する。予熱をレーザで行なえばきわめて狭い切りしろで切断可能になる。

図 4.1 のレンズホルダより酸素を噴出して切断する。鋼板は後方に火花を出しながら切断される。切断している様子を図 4.2 に示す。図 4.3 は厚さ 1 mm の冷間圧延鋼板 (SPCC) の切断サンプルで

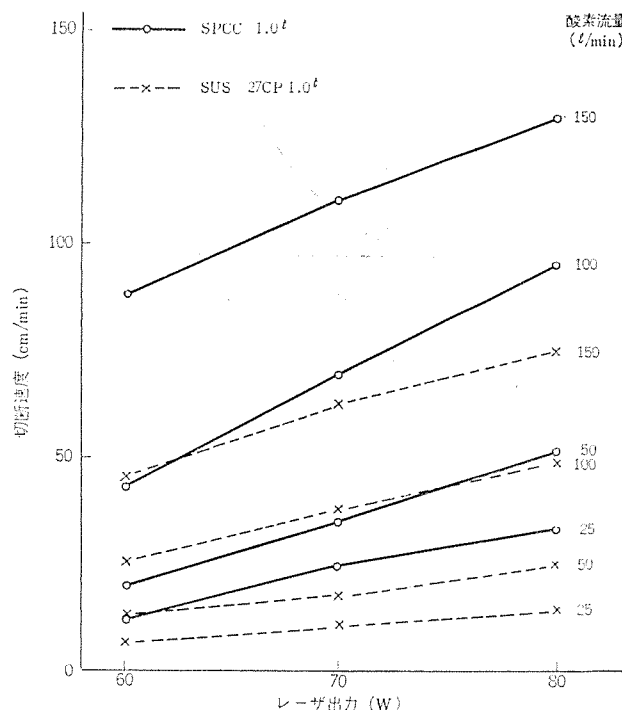


図 4.6 鋼板の切断速度とレーザ出力
Cutting speed of steel plate vs. output power.

あり、図 4.4 は厚さ 1 mm のステンレス鋼板 (SUS 27 CP) の切断みぞの断面である。図 4.5 は切断みぞの表面である。ガス切断に特長的なドラッグラインが現われている。

図 4.6 は酸素流量をパラメータにしたときの切断速度とレーザー出力の関係である。酸素流量とともに切断速度が大きくなり、得られた最大の切断速度はレーザー出力 80 W、酸素流量 150 l/min のとき冷間圧延鋼板で 130 cm/min、ステンレス鋼板で 75 cm/min である。レーザー



図 4.7 石英管
Quartz tube cut with CO₂ laser.

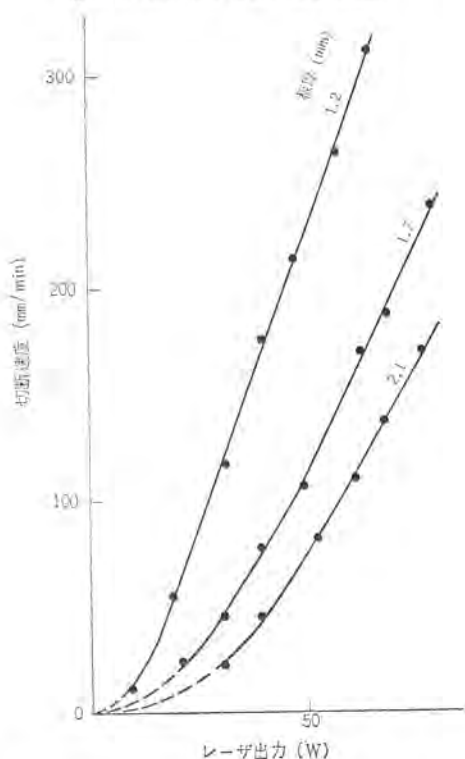


図 4.8 石英板の切断速度とレーザー出力
Cutting speed of quartz plate vs. output power.

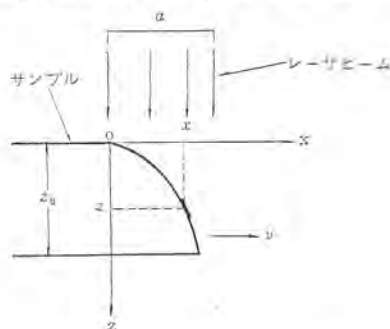
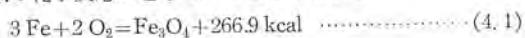


図 4.9 レーザ切断のモデル
Geometry employed in analysis.

出力が 50 W 以下では切断できなかった。これはレーザー出力が小さく、また酸素による冷却効果もあって燃焼温度まで達しないためと思われる。

酸素流量の増加とともに切断みぞ幅は狭くなり最小 0.1 mm になる。切断みぞ幅は切断速度にはほとんど関係しない。酸素流量の増加とともに切断みぞが狭くなるのは酸素の運動エネルギーにより酸化物をはね飛ばすこと、冷却効果によって実質的に照射点の面積が小さくなるからである。赤外放射温度計による温度測定の結果、酸素流量の増加とともに赤外放射が減少し、冷却効果を確かめることができた。

スラッグを X 線回折により分析するとほとんどが Fe₃O₄ であった。これより次の化学反応が起きていることがわかる。



式 (4.1) より冷間圧延鋼板を 130 cm/min で切断するとき 230 W の酸化熱が発生していることになり、これはレーザー出力の 3 倍である。また、式 (4.1) より理論的に必要な酸素量と実際に消費した酸素量の比、すなわち酸素の効率は 0.4 % になる。酸素の効率は酸素流量の増加とともに減少する。

4.3 絶縁物の切断

絶縁物は熱伝導率が小さいので容易に切断され、今後、有望な応用が期待される。しかし、物質によっては切り口の炭化が著しくなるのですべての物質に有効だというわけではない。

4.3.1 石英の切断

石英およびガラスは可視光には透明であるが、波長 10.6 μm では吸収係数が大きい。レーザーで切断すると融点以上になるから切り口はなめらかであり、カッターで切断するのと違って事後の熱処理を必要としない。図 4.7 は切断した石英管のサンプルである。

石英板についてレーザー出力と切断速度の関係を求めると図 4.8 になる。レーザー出力が小さいとき切断速度はレーザー出力の 2 乗に比例し、レーザー出力が大きくなると関係は直線的になり、直線の傾きは板厚に反比例する。2 乗に比例する範囲は板厚とともに広がる。

簡単のため二次元で考え、レーザービームの強さは一様で幅が a であるとする。図 4.9 のように座標をとり微小要素を考えると、光軸と微小要素のなす角を考慮に入れて、式 (2.4) より

$$T_c = AI \frac{dx}{\sqrt{(dz)^2 + (dx)^2}} t^{\frac{1}{2}} \quad (4.2)$$

切断速度を v とすると、 $dx = vdt$ であり、これを式 (4.2) に代入して z について解くことができる。

$$z = \frac{2AIv t^{\frac{3}{2}}}{3T_c} \quad (4.3)$$

板厚を z_0 とすると $t = \frac{a}{v}$ のとき $z = z_0$ となるから、

$$v = \left(\frac{2AI}{3T_c z_0} \right)^{\frac{2}{3}} a^{\frac{2}{3}} \quad (4.4)$$

となり、切断速度はレーザー出力の 2 乗に比例する。

レーザー出力が増し、レーザービームに対する吸収層の厚さが板厚に比べて無視できなくなると、面熱源を仮定した式 (2.3) は適用できない。この場合、熱伝導より短時間に吸収によって温度が上昇するので、除去される重量したがって切断速度はレーザー出力に比例する。図 4.8 で直線の傾きが板厚に反比例すること、およびレーザー出力の 2 乗に比例する範囲が板厚とともに広がるのはこのためである。

ガラスの場合は予熱・徐冷をしなければ熱衝撃に耐えられなくなりひび割れが起こる。しかし、完全に切断するのではなくレーザーで



図 4.10 ABS 樹脂板 (厚さ 2 mm)
ABS resin cut with CO₂ laser.

表 4.1 種々の材料の切断速度 (レーザー出力 100 W に換算)
Summary of cutting speeds of several materials.

材 料	厚 度 mm	切 断 速 度 m/min
新 聞 紙	0.09	140
ノ ー ト 用 紙	0.09	140
ポ リ エ ス テ ル	0.03	340
ナ イ ロ ン	0.1	63
A B S	2.0	1.9
ア ク リ ル	3.0	1.4
冷 間 圧 延 鋼	1.0	1.6
ス テ ン レ ス 鋼	1.0	0.94
石 英	1.2	0.50

表面に浅いみぞをつけて、後で力を加えて割ると簡単に切り離すことができる。従来のガラス切りと同じである。セラミックもひび割れが起こりやすいが、ガラスと同じ要領で切断することができる。

4.3.2 その他の絶縁物

紙はきわめて容易に切断されるが、燃焼を防ぐために図 4.1 に示したノズルから窒素を吹きつけながら切断する。切り口はまったくなめらかであるが、紙の厚さ・組成によっては切り口が炭化するものもある。

繊維では合成繊維に有効である。切り口が溶けて固まるので、刃物で切ると違ってほつれることがない。切り口の炭化は起こらない。

合成樹脂ではアクリル、ABS 系に有効である。図 4.10 は ABS 樹脂の切断サンプルである。塩化ビニル、エポキシ系は炭化が激しく有効でない。これらは切断するとき刺激臭を出す。

いくつかの材料についてレーザー出力 100 W に換算したときの切断速度を表 4.1 に示す。切断幅は 0.1~0.2 mm である。

5. む す び

ルビレーザーおよび CO₂ レーザによる加工について述べてきた。光を使うから微小な加工はできるが深い穴をあけられないなどの欠点はある。しかし、多くの利点を考慮するとレーザー加工は新しい加工法として従来にない応用が期待される。ルビレーザーは微小な穴あけに適しており、最適の条件ではミクロン級の穴あけも可能である。CO₂ レーザは切断に適しており、任意の形に切り抜くことが可能である。また、限界温度の概念により複雑な加工特性のいくつかを説明できた。

現在、20 J のガスレーザーおよび 1 kW の CO₂ レーザを試作中である。これらが完成すると加工の能力が飛躍的に向上し、溶接を始め用途が拡大する。

参 考 文 献

- (1) D. C. Sinclair, W. E. Bell : Gas Laser Technology, 75 (1969)
- (2) H. S. Carslaw, J. C. Jaeger : Conduction of Heat in Solids, 75 (1959)
- (3) 斉藤、宮沢：昭和 45 年度 精機学会春季大会前刷集 283
- (4) 樋口、谷口：昭和 45 年度 精機学会秋季大会前刷集 365

プラズマ電子ビーム溶接機の特性

上山 善司*・坂元 正*・安永 政司*
田中 利夫**・奥村 謙**・井藤 治彦**

Characteristics of the Plasma Electron Beam Welder

Central Research Laboratory Yoshiji UYEYAMA・Tadashi SAKAMOTO・Seiji YASUNAGA
Nagoya Works Toshio TANAKA・Yuzuru OKUMURA・Haruhiko ITO

It is necessary to minimize the time required for evacuating the welding chamber of the electron beam welder to improve the productivity with the apparatus ; particularly in case it is used for mass production of such works as the parts of automobiles. Then in view of economy the operating pressure in the chamber shall be made as low degree of vacuum as possible provided that no undesirable effects result in on the characteristics of the welded joint and on the life of the electron beam source.

The life of the cathode of plasma electron beam gun is ten times longer than that of the conventional gun even if the residual gas pressure in the chamber of the set becomes in the order of 10^{-2} Torr. It makes an oil rotary pump good enough for the evacuation of the chamber. The joints welded with the plasma electron beam welder are found to have excellent characteristics.

1. ま え が き

自動車の部品などを量産するのに使用される電子ビーム溶接機では、生産性を向上するために、溶接結果に悪影響がでない範囲で溶接作業室を低真空にして、溶接作業室を真空中に排気する時間の短縮をはかることと、電子銃の陰極部の寿命を長くすることが必要である。そこで当社では、低真空中で使用できて、陰極部の寿命が長いプラズマ電子銃を開発して、これを電子ビーム源として組込んだプラズマ電子ビーム溶接機を完成させた⁽¹⁾。

この報告は、プラズマ電子ビーム溶接機が、低真空形電子ビーム溶接機として、溶接作業室を油回転ポンプだけで排気して使用できることなど、プラズマ電子ビーム溶接機の特性と、完成したプラズマ電子ビーム溶接機の溶接性能の一端を示すものである。

2. プラズマ電子ビーム溶接機の仕様⁽²⁾

図2.1は、完成したプラズマ電子ビーム溶接機の外観である。このプラズマ電子ビーム溶接機のおもな仕様を示す。

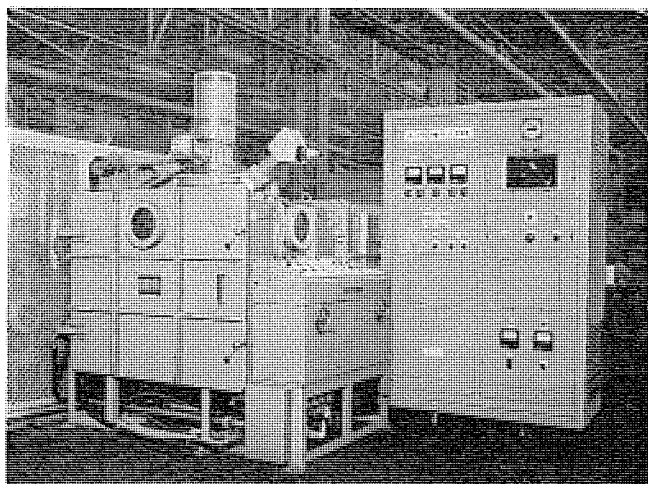


図 2.1 プラズマ電子ビーム溶接機の外観
Exterior view of a plasma electron beam welder.

(1) 電子ビーム系 (プラズマ電子銃)

電子ビーム 加速電圧 25~40 kV
電子ビーム 電流 0~250 mA
使用 ガス ヘリウム

(2) 溶接作業室

溶接室寸法 幅 1 m × 高さ 0.8 m × 奥行 1 m
溶接室真空度 $10^{-3} \sim 10^{-1}$ (Torr)

3. プラズマ電子銃の特性

従来から市販されている電子ビーム溶接機の電子ビーム源である熱陰極電子銃は、 1×10^{-4} (Torr) 程度の高真空中で動作させても、陰極部の寿命が10時間程度であるとされている。しかし、プラズマ電子銃は、動作ガス圧が 10^{-1} (Torr) で、しかも陰極部の寿命は10倍程度長いから、電子ビーム溶接機用の電子ビーム源に適した電子銃である。この章では、プラズマ電子銃の動作ガス圧、電子ビーム電力の制御特性および陰極部の寿命など、熱陰極電子銃と相違する点について

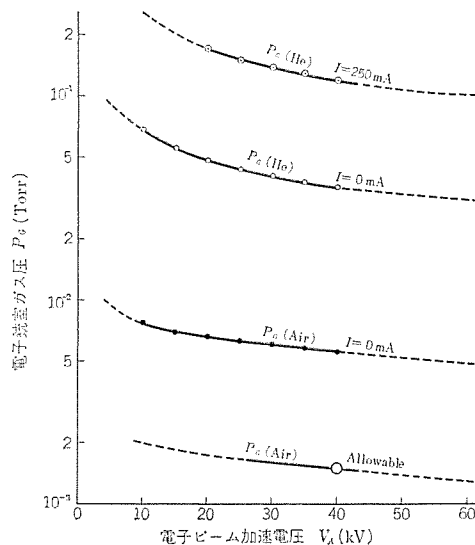


図 3.1 プラズマ電子銃の動作ガス圧
Operating pressure of the plasma electron beam gun.

てその特性を示す。

3.1 動作ガス圧

プラズマ電子銃は、ヘリウムガスによって動作させていて、電子銃室に供給するガスの量を調節すると、出力電子ビーム電流は、0～100%の全域で自由に増減させることができる。図3.1に、プラズマ電子銃の動作ガス圧を示している。ヘリウムガスでプラズマ電子銃を動作させると、電子ビーム加速電圧が40(kV)のとき、電子銃室のガス圧を 1.2×10^{-1} (Torr)にすると、電子ビーム電流が250(mA)になることがわかる。

プラズマ電子銃は、ヘリウムガスのほかに、水素・窒素・アルゴンや空気でも動作する⁽³⁾。したがって、電子銃室に空気が漏れい(洩)すると、電子銃室にヘリウムガスを供給しなくても電子ビームを発生することがある。図3.1に、電子銃室の許容空気圧を示してある。電子ビーム加速電圧が40 kVのとき、電子銃室の空気圧が 5.5×10^{-3} (Torr)以上になると、空気によってプラズマ電子銃が動作することになるので、電子銃室の許容空気圧は 1.5×10^{-3} (Torr)としている。

3.2 電子ビーム電力の制御性

普通の使用状態では、電子ビーム加速電圧を固定して、電子ビーム電流を増減することによって電子ビーム電力を制御する。

プラズマ電子銃の電子ビーム加速電源は、電子ビーム加速電圧と電子ビーム電流とがそれぞれ独立の帰還制御回路で安定化してあって、しかも電子ビーム電流があらかじめ設定された値を越えて流れると電子ビーム加速電圧は自動的にさがるように設計してある。

3.2.1 制御系の周波数応答

プラズマ電子銃の出力電子ビーム電流を制御するシステムの周波数特性を測定した結果、シャ断周波数は1.5 Hzで、このとき電子銃室を排気する系の排気速度 S_{GO} は70 (l/s)であった。

3.2.2 電子ビーム電流の安定度

プラズマ電子銃の出力電子ビーム電流は、電子銃室のガス圧でまゐるから、電子ビーム溶接時に被溶接物から放出される不純ガスや金属蒸気が電子銃室に入ると、電子ビーム電流が変動するおそれがある。図3.2は、電子ビーム電流が一定に保たれるような条件のもとで、SUS 27板上に電子ビームを走らせて電子ビーム溶接をしたとき、プラズマ電子銃の出力電子ビーム電流が変動するようすを記録したものである。溶接開始時と溶接終了時に、電子ビーム電流が±3%程度変動しているが、溶接中は制御系の働きで十分補償されているために、設定値どおりの電子ビーム電流が流れている。

実際の溶接に際しては、電子ビーム電流をプログラム制御して、溶接開始時には電子ビーム電流を徐々に増加し、溶接終了時には電子ビーム電流を徐々に減少させるので、被溶接物から発生する不純ガスや金属蒸気の影響で電子ビーム電流が変動することはほとんどないといつてよい。

3.3 陰極部の寿命

図3.3は、プラズマ電子銃の陰極部の断面図である。この図からもわかるように、プラズマ電子銃の陰極部は、熱陰極電子銃の陰極部に比べて構造が簡単で、部品はすべて旋盤加工によって製作されているから、寸法精度が高く互換性にすぐれている。

3.3.1 ウエネルト電極の形状

プラズマ電子銃が安定に動作し、効率よく電子ビーム電流が得られるのは、ウエネルト電極の形状がつぎの条件を満たしている期間である。表3.1にウエネルト電極の設計例を示してある⁽³⁾⁽⁴⁾。

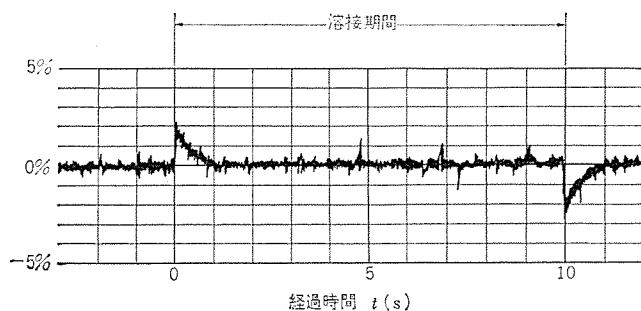


図3.2 電子ビーム溶接時に起こる電子ビーム電流の変動
Fluctuation of the electron beam current during an electron beam welding operation.

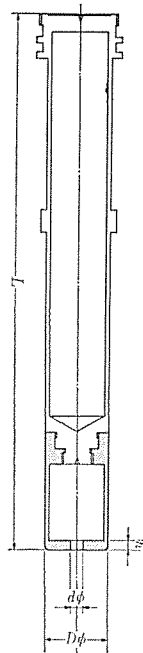


図3.3 プラズマ電子銃の陰極部
Cathode of the plasma electron beam gun.

表3.1 ウエネルト電極の形状(設計例)
Design examples of the Wehnelt electrode.

	$D(\text{mm})$	$d(\text{mm})$	$h(\text{mm})$	d/D	d^3/D^2h
Stauffer によって設計されたウエネルト電極の形状	25	7.1	3.2	0.284	0.179
	38	7.9	2.8	0.208	0.120
著者が設計したウエネルト電極の形状	30	7.0	3.85	0.233	0.100
	40	9.0	4.50	0.225	0.104
	50	11.0	5.00	0.220	0.107

$$0.2 \leq \frac{d}{D} \leq 0.3 \dots \dots \dots (3.1)$$

$$0.1 \leq \frac{d^3}{D^2h} \leq 0.2 \dots \dots \dots (3.2)$$

3.3.2 ウエネルト電極の消耗

プラズマ電子銃のウエネルト電極は、運転中に逆流してくる高速の⊕イオンが衝突するときに生じるスパッタリング(Sputtering)⁽⁵⁾現象のために徐々に消耗し、電子ビーム放出孔の直径 d が大きくなるとともに、面板の厚さ h が減少する。ウエネルト電極各部の消耗速度は、プラズマ電子銃の電子ビーム加速電圧、電子ビーム電流などで変わるが、実際に鋼材の溶接に使用したウエネルト電極の消耗度を実測した結果をつぎに示す。

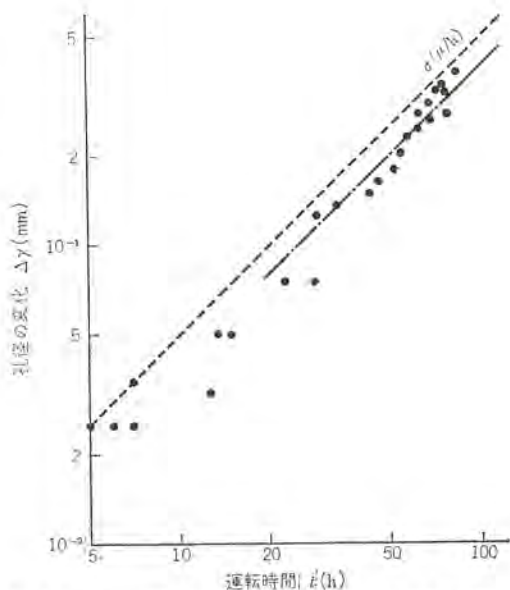


図 3.4 ウエネルト電極の電子ビーム放出孔の半径の経時変化
Variation of the aperture with operation.

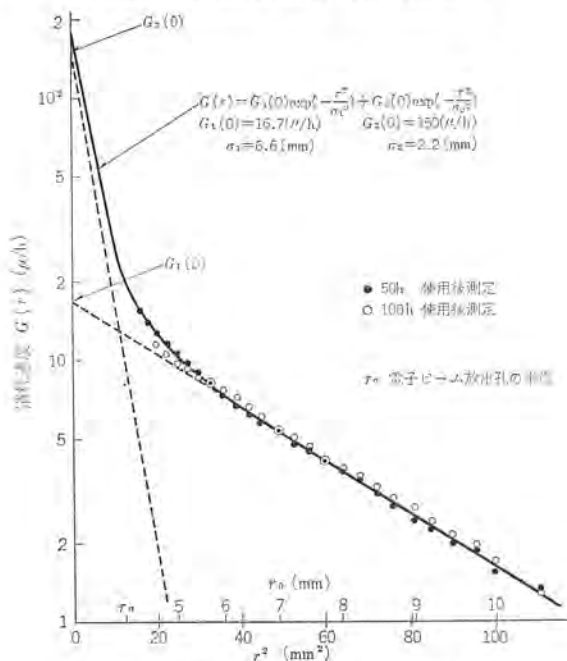


図 3.5 ウエネルト電極面板の消耗速度分布
Distribution of the consumption rate over the face plate of the Wehnelt electrode.

(1) 電子ビーム放出孔の半径の変化

図 3.4 は、ウエネルト電極の電子ビーム放出孔の半径が使用時間とともに大きくなるようすを示している。使用開始直後には消耗速度が若干バラツキを示しているが、使用時間が50時間を越えると消耗速度のバラツキが少なくなり、3.5~5.0(μ/h)になっている。

(2) 面板の厚さの変化

図 3.5 は、ウエネルト電極の面板各部の消耗速度を示している。50時間使用後と100時間使用後に測定した平均消耗速度 $G(r)$ は、まったく同じ値を示し、ウエネルト電極の中心軸から5.0 (mm) の点での消耗速度は10(μ/h)であることがわかる。

(3) ウエネルト電極の取換え

ウエネルト電極の各部が消耗して、その形状が式(3.1)および式(3.2)を満たさなくなれば、ウエネルト電極を取換える必要がある。表 3.1 に*印で示すウエネルト電極は、100時間使用するとその形状

が式(3.2)を満たさなくなる。

ウエネルト電極を取換えるときは、図 3.3 に示す陰極部をユニットにして着脱する。消耗するのはウエネルト電極だけであるが、予備の陰極部ユニットをあらかじめ組立てておけば、ウエネルト電極を交換する作業は、陰極部ユニットの着脱だけでよいので、所要時間は非常に短くて済む。

4. プラズマ電子ビーム溶接機の特性

電子ビーム溶接に関する最近の研究によれば、 10^{-2} (Torr) 程度の低真空中で溶接した継手と 10^{-4} (Torr) 程度の高真空中で溶接した継手の特性は、ほとんど差がないことが明らかになってきた⁽⁶⁾⁽⁷⁾。だから、自動車の部品などを量産するのに使用される電子ビーム溶接機では、溶接作業室の真空度を 10^{-2} (Torr) 程度にして使用すれば、溶接作業室を真空中に排気する時間が短くなり、生産性を高めることができる。

従来から市販されている電子ビーム溶接機では、電子ビーム源が熱陰極電子銃であるために、溶接作業室を 10^{-3} (Torr) 程度にすることが困難であったが、プラズマ電子ビーム溶接機では、これが可能である。この章では、溶接作業室を油回転ポンプだけで排気する場合について、各部の真空度と排気時間を検討する。

4.1 溶接作業室の排気

電子ビーム溶接機では、生産性向上の観点から、溶接作業室を真空中に排気する時間が長くなることは許されない。所定の時間内に、電子ビーム電力の減衰が起こらない程度の真空中に排気する必要がある。

4.1.1 排気時間

溶接作業室の容積と真空配管内の容積の和を V_0 (l)、真空排気ポンプの760(Torr)での排気速度を S_0 (l/s) とすると、溶接作業室の真空度が p_0 (Torr) になるまで排気する時間 t_0 (s) は次式で与えられる⁽⁸⁾。

$$\frac{S_0}{V_0} t_0 = \int_{p_0}^{760} \frac{dp}{s(p) \cdot p} \quad (4.1)$$

$$\text{ただし, } S_0 \leq C_0 \quad (4.2)$$

$$s(p_0) \gg \frac{qA}{S_0 p_0} \quad (4.3)$$

ここで、 $s(p)$: 規格化排気速度 ($=S(p)/S_0$)

$S(p)$: ガス圧 p (Torr) における排気速度 (l/s)

C_0 : 真空配管の分子流に対するコンダクタンス (l/s)

q : 壁面の単位面積当たりのガス放出量
(Torr l/s·cm²)

A : 溶接作業室の壁面の面積 (cm²)

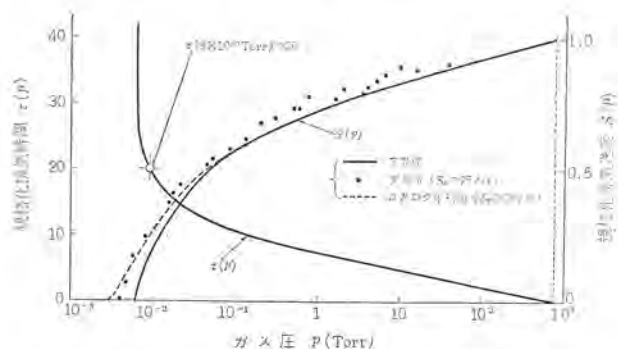


図 4.1 溶接作業室を排気するに要する時間
Time required for evacuating the welding chamber.

図4.1に、油回転ポンプの規格化排気速度 $s(p)$ と、式(4.1)の右辺の積分結果を規格化排気時間 $\tau(p)$ として示してある。溶接作業室を油回転ポンプで排気するとき、溶接作業室の真空度は 1×10^{-3} (Torr)にするのが適当であることがわかる。このとき、規格化排気時間 $\tau(p_0)=20$ であるから、式(4.1)から、溶接作業室の排気時間は次式で計算することができる。

$$t_0 = 20 \times \frac{V_0}{S_0} \quad (4.4)$$

4.1.2 電子ビーム電力の減衰

溶接作業室のガス圧が0(Torr)のとき被溶接物の溶接個所に入る電子ビーム電力を W_0 (kW)とすると、溶接作業室のガス圧が p_W (Torr)のときに被溶接物の溶接個所に入る電力 W (kW)は次式で与えられる⁽⁹⁾。

$$W = W_0 \exp \left[-\frac{l}{V_A} \times \sum \gamma p_W \right] \quad (4.5)$$

ここで、 V_A : 電子ビーム加速電圧 (kV)

l : 電子の走行距離 (cm)

p_W : 溶接作業室のガス圧 (Torr)

γ : ガスの種類で定まる定数

$l/V_A=1.0$ のとき、 $W/W_0 \geq 0.9$ とするためには、 $\sum \gamma p_W \leq 0.154$ にする必要がある。 $\gamma(\text{He}) \div 0.90$ 、 $\gamma(\text{Air})=9.6$ 、 $p_W(\text{Air})=1 \times 10^{-3}$ (Torr)であるから、 $p_W(\text{He}) \leq 5.0 \times 10^{-3}$ (Torr)にすればよい。

4.2 真空排気装置

プラズマ電子ビーム溶接機の電子銃室および溶接作業室の空気圧およびヘリウムガス圧を、それぞれすでに説明した値にするためには、どのような排気ポンプが必要であるかについて検討する。

4.2.1 電子銃室の排気ポンプ

3.2.1項でのべたように、電子ビーム電力を制御する系統の周波数応答を考慮すると、電子銃室を排気する系の排気速度は $S_{G0}=70$ (l/s)にする必要がある。しかも、溶接作業室から流入する空気を排気して、電子銃室の空気圧を 1.5×10^{-3} (Torr)以下にしなければならない。

(1) ヘリウムガスの排気

電子銃の陽極部のヘリウムガスに対するコンダクタンスを $C_A(\text{He})$ (l/s)とすると、電子銃室を排気する真空ポンプは、次式で与えられる排気速度 S_G (l/s)を持つ必要がある。

$$S_G = S_{G0} - \left[1 - \frac{p_W(\text{He})}{p_G(\text{He})} \right] \times C_A(\text{He}) \quad (4.6)$$

$C_A(\text{He})=25$ (l/s)とすると、 $S_G=55$ (l/s)となる。

(2) 空気の排気

電子銃の陽極部の空気に対するコンダクタンスを $C_A(\text{Air})$ (l/s)とすると、電子銃室を排気する真空ポンプは、次式で与えられる排気速度 S_G (l/s)を持つ必要がある。

$$S_G \geq \left[\frac{p_W(\text{Air})}{p_G(\text{Air})} - 1 \right] \times C_A(\text{Air}) \quad (4.7)$$

$C_A(\text{Air})=8$ (l/s)とすると、 $S_G \geq 45$ (l/s)となる。

(3) 真空ポンプの排気速度

(1)および(2)の結果から、電子銃室の排気ポンプは、 $\sum p_G=1.22$ (Torr)において、 $S_G=55$ (l/s)の排気速度を持つ必要がある。

4.2.2 溶接作業室の排気ポンプ

溶接作業室を排気する真空ポンプは、所定時間内に溶接作業室の空気圧を 1×10^{-3} (Torr)にまで排気するとともに、電子銃室から、

表 4.1 プラズマ電子ビーム溶接機の真空系の設計
Design of vacuum system for the plasma electron beam welder.

	$p(\text{Air})$ ($\times 10^{-3}$ Torr)	$p(\text{He})$ ($\times 10^{-3}$ Torr)	S (l/s)	$\sum p$ ($\times 10^{-3}$ Torr)	排気ポンプ	備考
電子銃室	≤ 0.15	12.0	55	≤ 12.2	ルーツポンプ	
溶接作業室	$\leq 1.0^*$	≤ 5.0	$\geq 35^{**}$	≤ 6.0	油回転ポンプ	$W/W_0 \geq 0.9$

* 排気所要時間は、 $t_0 = \frac{V_0}{S_0} \times 20$ で与えられる。

** $S_0=70$ (l/s) に相当する。

溶接作業室に流入するヘリウムガスを排気して、溶接作業室のヘリウムガス圧を 5.0×10^{-3} (Torr)にするだけの排気速度を持たなければならない。

(1) ヘリウムガスの排気

溶接作業室を排気する真空ポンプは、次式で与えられる排気速度 S_W (l/s)を持つ必要がある。

$$S_W \geq \left[\frac{p_G(\text{He})}{p_W(\text{He})} - 1 \right] \times C_A(\text{He}) \quad (4.8)$$

$C_A(\text{He})=25$ (l/s)とすると、 $S_W \geq 35$ (l/s)となる。

(2) 空気の排気

溶接作業室を760(Torr)から排気して、所定時間 t_0 (s)で空気圧を 1×10^{-3} (Torr)にするためには、溶接作業室を排気する真空ポンプは、760(Torr)での排気速度 S_0 (l/s)が次式を満足しなければならない。

$$S_0 \geq 20 \frac{V_0}{t_0} \quad (4.9)$$

(3) 真空ポンプの排気速度

溶接作業室の排気ポンプは、 $\sum p_W=6.0 \times 10^{-3}$ (Torr)において、 $S_W \geq 35$ (l/s)の排気速度を持つ必要がある。図4.1から、 6.0×10^{-3} (Torr)における規格化排気速度が $s(p)=0.52$ であるから、760 (Torr)での排気速度は $S_0 \geq 70$ (l/s)である必要がある。なお、式(4.9)で定まる排気速度が70 (l/s)以上であるときは、溶接作業室を排気する真空ポンプの排気速度は式(4.9)で定まる。

4.2.3 まとめ

表4.1に、電子銃室および溶接作業室の排気について、これまでに検討した結果をまとめてある。この表からもわかるように、プラズマ電子ビーム溶接機では、電子銃室を排気する真空ポンプはルーツ (roots) ポンプ、溶接作業室を排気する真空ポンプは油回転ポンプがそれぞれ適当である。

5. プラズマ電子ビーム溶接機の溶接性能

この章では、完成したプラズマ電子ビーム溶接機の溶接性能として、鉄・鋼・アルミニウム系の合金とチタンについて、溶け込みのようすと、継手性能の試験結果の一端とを示す。

5.1 各種材料における溶け込み性能

図5.1は、厚さ12.5(mm)の板上に得られたビード (bead) の断面写真を示している。溶接条件は、いずれもつぎのとおりで、それぞれ溶け込み深さが12.5(mm)になるときの溶接速度を示してある。

(1) 電子ビーム加速電圧 $V_A=30$ (kV)

(2) 電子ビーム電流 $I_B=250$ (mA)

(3) 溶接作業室真空度 $p_W \leq 1 \times 10^{-3}$ (Torr)

ビーム断面の形状は、わん(碗)部と脚部とからなり、いわゆるツイ

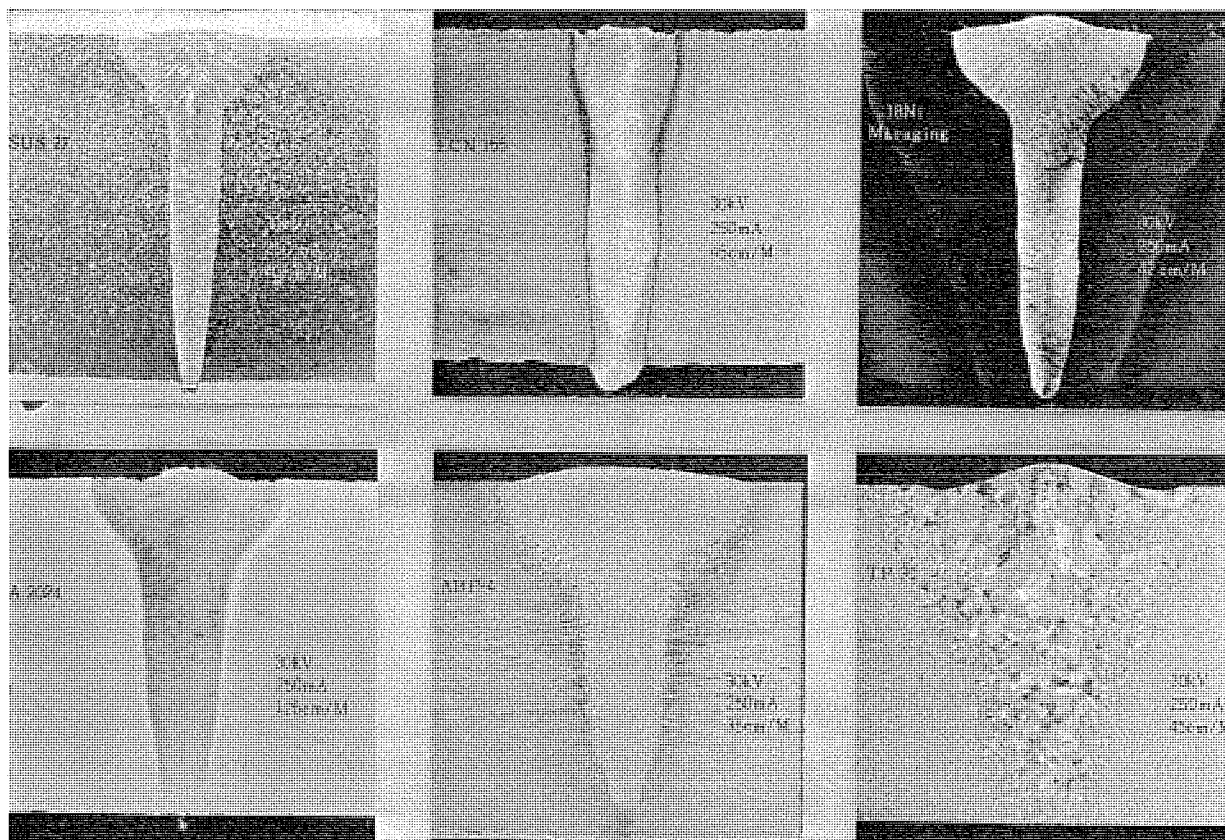


図 5.1 各種材料におけるビードの断面

Cross-section of the bead on plate of various materials.

表 5.1 供試材の化学成分
Chemical composition of tested materials.

材 料	化 学 成 分 %								
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	W	Co	Al
SUS 27	0.07	0.76	1.15	18.24	8.85	—	—	—	—
LCN 155	0.11	0.50	1.53	21.38	19.75	3.06	2.48	19.43	Nb+Ta 1.04
TP 35	0.043	—	—	—	—	—	Fe <0.007	N 0.081	O 0.0039
ABP 4	—	—	0.83	—	4.87	—	Fe 3.27	Cu 81.26	9.57

性質とによるものである。

なお、比較的に清浄度の低い材料または継手に深い溶け込みの溶接を行なうとき、ビード断面の形状がワインカップ状になる条件にすると、スパッタ (Sputter) の発生が抑止されて、ビード表面をきわめて平滑にすることができる。

図 5.2 は、電子ビーム加速電圧が 30(kV) のとき、各種材料の厚板上に得たビードの深さと溶接条件の関係を実験的に求め、その結果を整理したものである。実際の溶接では、被溶接物の形状・寸法などが溶接結果に影響を及ぼすので、実物サンプルを溶接して、溶接条件をきめる必要がある。

5.2 各種材料の継手性能

プラズマ電子ビーム溶接機で溶接された継手の性能を示す。表 5.1 に、試験した材料とその化学成分を示してある。継手性能の試験項目は、引張試験・衝撃試験・疲れ試験・かたさ試験などで、あわせて、溶融部の顕微鏡組織観察をおこなった。

5.2.1 試験片の作製

図 5.3 に、試験片作製の要領を示してある。幅 200(mm)×長さ 350(mm)×厚さ 12.5(mm) の板材において、溶け込み深さが 12.5

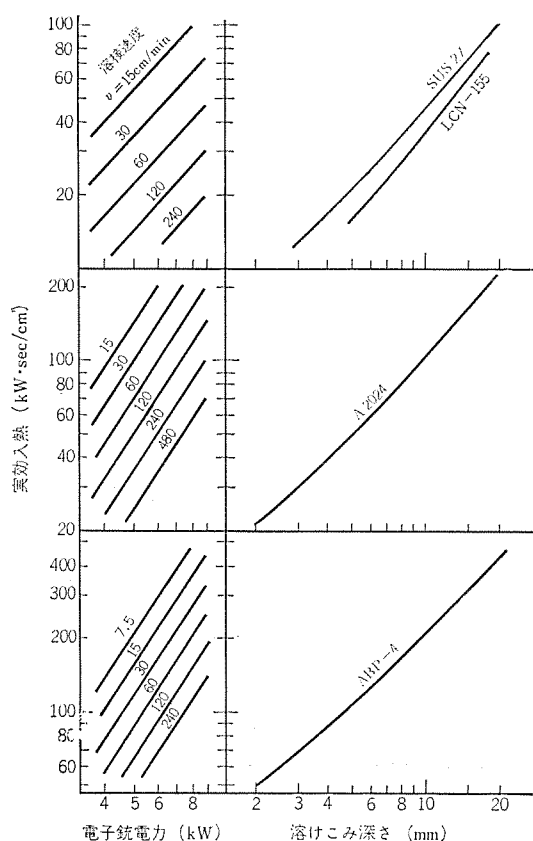


図 5.2 プラズマ電子ビーム溶接機の溶接性能
Performance of the plasma electron beam welder.

ンカップ (wine cup) 状で、従来の電子ビーム溶接機で得られるビードの断面形状とくらべると、わん部が若干大きくくなっている。これは、低真空中溶接であることと、プラズマ電子ビーム溶接機の電子ビームの

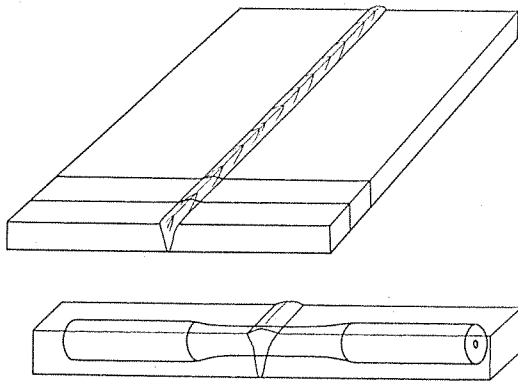


図 5.3 試験片の作製
Preparation of test pieces.

表 5.2 引張試験の結果
Results of tension test.

材 料 (規 格 値) (T.S: 引張強さ E: 伸び)	母 材		プラズマ電子ビーム溶接材			
	引張強さ kg/mm ²	伸び %	溶 接 条 件*	引張強さ kg/mm ²	伸び %	破断位置
SUS 27 T.S≧52 kg/mm ² E≧50 %	66.4	62.2	V=30 kV IB=250 mA v=400 mm/M	63.2	40.4	ビード中心
	66.8	61.8		62.9	40.4	
	66.7	62.0		63.1	42.6	
	66.6	62.0		63.0	40.6	
TP 35 T.S≧35 kg/mm ² E≧23 %	35.7	36.6	30 kV 250 mA 450 mm/M	37.2	26.0	母 材
	35.7	35.4		37.4	24.4	
	35.9	35.4		37.9	24.5	
	35.8	35.8		37.3	23.9	
ABP 4 T.S≧63 kg/mm ² E≧10 %	78.4	28.2	30 kV 250 mA 350 mm/M	77.0	18.3	母 材
	78.1	28.0		77.2	16.7	
	78.6	28.0		77.0	18.4	
	78.4	28.1		76.5	16.2	
LCN 155 T.S≧75 kg/mm ² E(3.540)≧20 %	79.5	36.0	30 kV 250 mA 450 mm/M	80.2	28.5	ビード中心
	79.2	35.2		78.8	30.0	
	79.5	35.4		79.9	26.5	
	79.4	35.5		79.4	28.5	

* V: 電子ビーム加速電圧 IB: 電子ビーム電流 v: 溶接速度

(mm) になる条件で、板幅の中央部に長手方向にビードを走らせ、溶融個所が試験片の中央部になるように加工した。いずれも、後熱処理を加えないで試験に供した。

5.2.2 引張試験

(1) 試験片

試験片は、JIS の引張試験片の規格に基づく 4 号試験片に相当するもので、各部の寸法はつぎのとおりである。

平行部の直径 $D=7.5 \phi$ (mm)

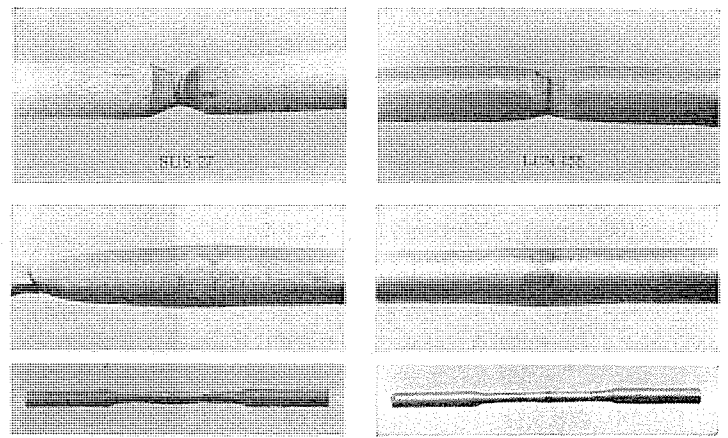
平行部の長さ $P=60 \phi$ (mm)

標点距離 $L=50 \phi$ (mm)

(2) 試験結果

表 5.2 に試験結果をまとめ、図 5.4 に引張試験によって破断した位置と溶融個所が変形したようすを示している。

プラズマ電子ビーム溶接機で溶接された継手と母材の特性を比べると、いずれも継手効率率は 95 % 以上で、伸び率は 60 % 前後を示す。溶融個所の変形の様子と破断位置とは材料によって異なり、図 5.3 によれば、SUS 27 と LCN 155 では溶融個所がくびれて破断し、TP 35 と ABP 4 では溶融個所はほとんど変形せず、母材の部分が破断している。



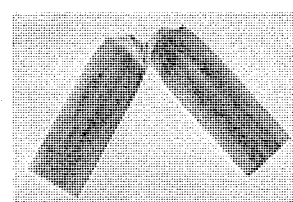
TP 35

ABP 4

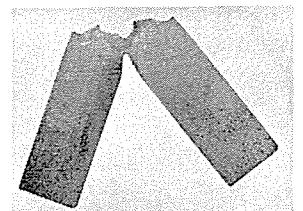
図 5.4 引張試験による破断のようす
Fractured pieces in tension test.

表 5.3 衝撃試験の結果
Results of charpy impact test.

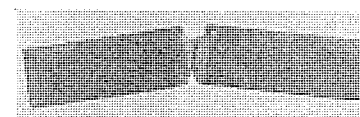
材 料	衝 撃 値 kg·m/cm ²	
	母 材	プラズマ電子ビーム溶接材
SUS 27	36.1	34.9
	35.9	37.4
	33.6	37.4
	36.9	37.4
	36.9	37.4
TP 35	35.1	36.8
	28.7	21.2
	27.8	21.2
	28.7	22.2
	30.1	23.3
ABP 4	29.1	22.1
	28.9	1.5
	5.3	1.5
	5.0	1.5
	4.3	1.5
LCN 155	5.3	1.3
	4.5	1.5
	4.9	11.5
	10.8	11.6
	10.8	10.5
	10.7	10.3
	10.4	11.0
	10.7	



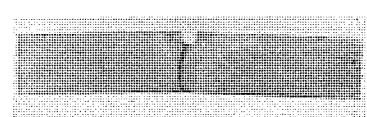
SUS 27



TP 35



LCN 155



ABP 4

図 5.5 衝撃試験による破断のようす
Fractured pieces in charpy impact test.

5.2.3 衝撃試験

(1) 試験片

試験片は、JIS の衝撃試験片の規格に基づく 3 号試験片を用いた。

なお、溶融個所の中央に切欠きをいれている。

(2) 試験結果

表 5.3 に試験結果をまとめ、図 5.5 に衝撃試験による破断のようすを示している。

プラズマ電子ビーム溶接機で溶接された継手を母材の特性とくらべると、SUS 27 と LCN 155 では衝撃抵抗が 100 % を示し、TP 35 で 75 %、ABP 4 で 30 % になっている。なお、SUS 27、LCN 155 および TP 35 では溶融個所の中央で破断しているのに対して、ABP 4 は溶融部と非溶融部の境界で破断している。

5.2.4 疲れ試験

小野式回転曲げ疲れ試験機を使って、SUS 27 および TP 35 について試験した。

(1) 試験片

引張試験片と同様の形状とし、各部の寸法はつぎのとおり。

平行部の直径 $D=7.5 \phi$ (mm)

平行部の長さ $P=35$ (mm)

(2) 試験結果

表 5.4 に試験結果をまとめてある。

プラズマ電子ビーム溶接機で溶接された継手を母材の特性とくらべると、SUS 27 では疲れ強さは 100 % であるのに対し、TP 35 では若干小さくなっている。なお、SUS 27 は母材部で破断したのに対して、TP 35 は溶融個所が破断した。

5.2.5 かたさ試験

ビッカースかたさ試験機を使い、SUS 27 および TP 35 について、500(g) の荷重で試験した。

図 5.6 に試験結果を示す。SUS 27 では、熱影響部（溶融部の周辺で非溶融部分）のかたさが若干高

表 5.4 疲れ試験の結果
Results of fatigue test.

材 料	母 材	プラズマ電子ビーム溶接材	
	疲れ強さ kg/mm ² (10 ⁷ サイクル)	疲れ強さ kg/mm ² (10 ⁷ サイクル)	破断位置
SUS 27	22	24	母 材 部
TP 35	25	22	溶 融 個 所

7.5 ϕ (mm) 小野式 回転曲げ疲れ試験機

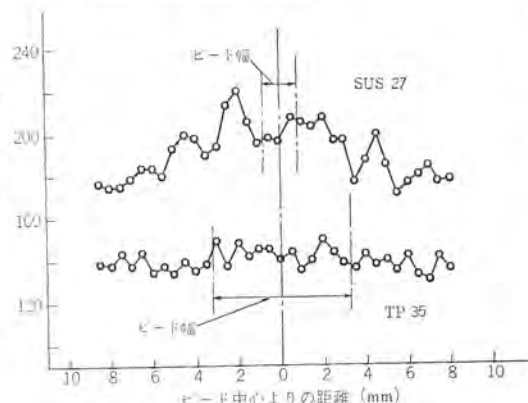


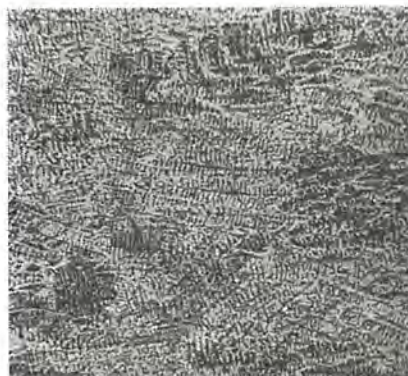
図 5.6 溶接部断面のかたさ分布
Hardness distribution of weldment.



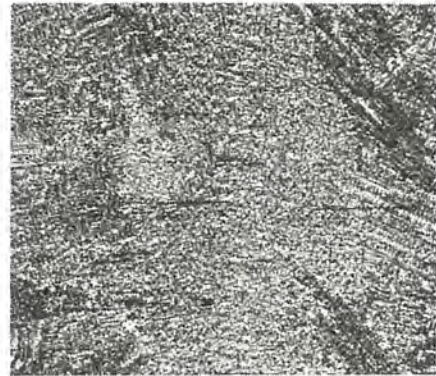
A



A



B



B



C



C



D

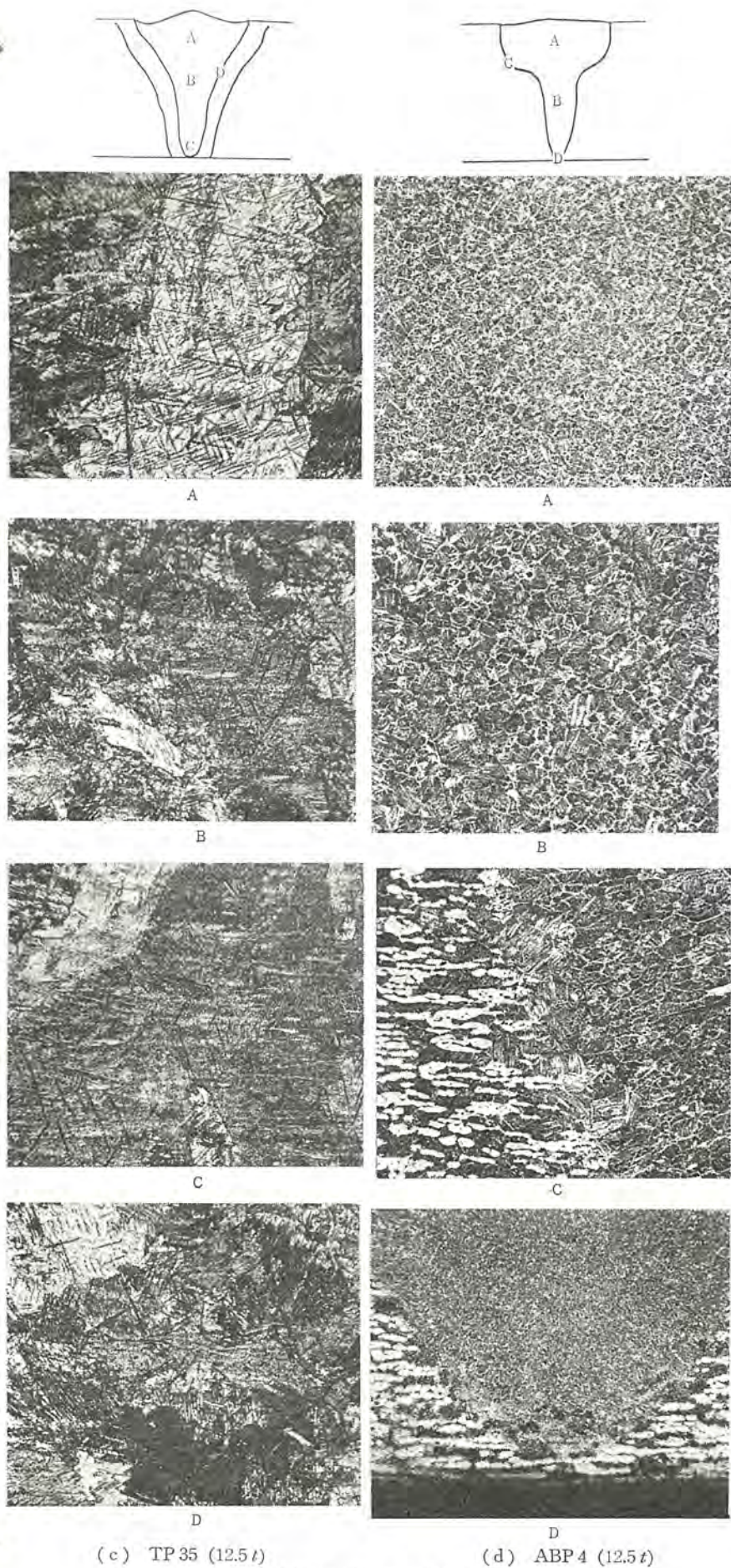


D

(a) SUS 27 (12.5 t)

(b) LCN 155 (12.5 t)

図 5.7 溶接部の顕微鏡組織写真 (×100) その I
Micro-structure of weldments.



(c) TP35 (12.5t) (d) ABP4 (12.5t)
図 5.7 溶接部の顕微鏡組織写真 (×100) そのII
Micro-structure of weldments.

くなり、TP35 ではかたさの変化は認められない。

5. 2. 6 顕微鏡組織

図 5. 7 の (a) ~ (d) に各材料の溶融部の顕微鏡組織写真を示す。SUS 27 と LCN 155 では、熱影響部の範囲が狭く、結晶粒の粗大化の程度がすくないのに対して、TP 35 と ABP 4 では熱影響部の範囲が若干広く、結晶粒もやや大きくなっている。

6. 自動車用歯車の溶接例

自動車の部品は多量生産品の典型的な例であり、それだけに、自動化・省力化・高速化を中心とする生産性向上策がきびしく追求されている。なかでも、駆動機構関係の部品工作には早くから電子ビーム溶接の適用が検討されている。

自動車の部品は、プラズマ電子ビーム溶接機にとって、その特長を十分に発揮することのできる格好の対象と行うことができるので、トランスミッションギヤを例にとって、プラズマ電子ビーム溶接機による溶接例を示す。

図 6. 1 は、トランスミッションギヤの例で、2枚の歯車をそれぞれ別々に切削加工したあと、これらが最終工程で電子ビーム溶接により一体化され、溶接後に浸炭・焼入れされて完成する。

この種の歯車には、SCr、SCM、SMnC 系肌焼鋼または快削肌焼鋼が用いられているが、図 6. 1 の例では、SCM 21 または SCr 21 の場合、溶接径が 38φ (mm)、溶け込み深さ 4 (mm) で 500 (kg・m) のねじりトルクに耐えることができる。

図 6. 2 は、継手部に幅 2.2 (mm)、深さ 0.5 (mm) のみぞをもった歯車の例で、みぞ縁を溶かすことなく 4.0 (mm) の溶け込みを得ている。

プラズマ電子ビーム溶接機で溶接した歯車の内径および歯形の変形・変寸について検討した結果、浸炭・焼入れによる変形・変寸よりも小さい値を示した。なお、内径変化は、2枚の歯車のシメしろや継手厚比など、継手設計によって左右されるので、実際に適用する場合には実物サンプルを溶接して、十分に検討する必要がある。



図 6. 1 自動車用歯車の溶接例
Example of welded gear.

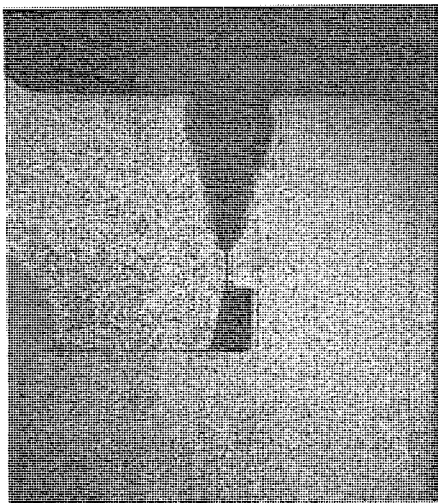
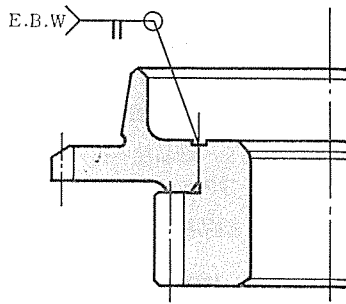


図 6.2 自動車用歯車の断面
Cross-section of welded gear.

まえにのべたような自動車用トランスミッションギヤの溶接では、溶接速度は 1,500 (mm/min) 以上で、タクトタイム (tact time) は 30 秒以下という高速溶接ができる。しかも、2 枚の歯車はそれぞれ別々に切削加工されるので、一体加工のためのにげしろが不要で、生産性向上だけでなく、部品のコンパクト化・軽量化にも役立つ。

なお、プラズマ電子ビーム溶接機によって得られる溶接ビードは、従来の電子ビーム溶接機で得られる溶接ビードにくらべて、スパッタがほとんどなく、ビード表面が平滑であるため、溶接後に加工や清掃する必要はまったくない。

7. む す び

プラズマ電子ビーム溶接機の特長および溶接性能の一端について述べた。

プラズマ電子ビーム溶接機の電子ビーム源であるプラズマ電子銃は、従来の電子ビーム溶接機の電子ビーム源である熱陰極電子銃にくらべて、低真空中で動作させても陰極部の寿命が 10 倍も長いので、プラズマ電子ビーム溶接機では、溶接作業室の空気圧を 1×10^{-2} (Torr) にして使用することができる。したがって、溶接作業室を油回転ポンプだけで排気して、排気時間の短縮をはかることができ、自動車の部品などの多量生産を目的として使用する電子ビーム溶接機として適した特性をもっている。

他方、プラズマ電子ビーム溶接機の電子ビームの直径は、従来の電子ビーム溶接機の電子ビームにくらべて若干太いために、ビード断面の形状はわん部と脚部からなりわん部が若干大きい。その結果、スパッタがすくなく、ビード表面が平滑になるという特長がある。

プラズマ電子ビーム溶接機で溶接した継手の性能は、継手の材料・形状・寸法・などに左右されるが、この報告に載せた例に関する限りでは、95 % 以上の継手効率が得られるなど継手の機械的性質は良好であるといえる。

参 考 文 献

- (1) 上山ほか：三菱電機技報，44，No. 10，1,295 (昭 45)
- (2) 上山：溶接技術，19，No. 3，47 (昭 46)
- (3) Ueyama, T. et. al : Mitsubishi Denki Laboratory Report, 12, No. 2 (1971)
- (4) Morley, J. R. et. al : Proceeding of the Electron Beam Symposium-Sixth Annual Meeting, 66 (1964)
- (5) Kaminsky, M. : Atomic and Ionic Impact Phenomena on Metal Surfaces, Springer, Berlin, (1966).
- (6) Meyer, W. E. et. al : Schweitzen und Schneiden Jahrgang 20, Heft 6, 261 (1968)
- (7) 橋本ほか：溶接学会誌，38，No. 10，1,097 (昭 44)
- (8) 中川ほか：真空装置 (日刊工業新聞社，真空技術講座 5 昭 40)
- (9) Meyer, W. E. et. al : Welding and Metal Fabrication, 38, No. 3, 119 (1970)



特許と新案

ミシンの油回収装置

考案者 森田 稔・山野 稔 夫

この考案は、ミシンアームの底部に設けられた油タンク内の潤滑油に浸漬され、上軸の回転とともにアーム内の各給油部を強制的に潤滑する従来周知の油ポンプを利用して、アーム内の廃油だめの油を油タンクに回収しようとするものである。

図において、(1)は底部に潤滑油(2)を集蔵する油タンク(3)を設けたミシンアーム、(4)はこのミシンアーム(1)の脚部(5)内において、軸受(6)(7)により回転自在に支承された縦軸で、この縦軸(4)はかさ歯車(9)(10)を介して上軸(8)により駆動されるようになされている。(11)は上記縦軸(4)によって駆動される油ポンプで、この油ポンプ(11)は上記縦軸(4)の下垂端に定着されたうず巻羽根車根車(12)と、この羽根車を収納したうず形室(13)を有するケーシング(15)とにより構成されている。そうして、上記うず形室(13)の底部を閉鎖するふた板(16)には主吸入口(17)と、この主吸入口に連通する副吸入口管(18)とを有するプッシュ(19)が定着されている。(20)は一端を上記油ポンプ(11)の吐出口(21)に、また他端をミシンアーム内の給油部、たとえば上記上軸(8)を支承する軸受(22)の給油口(23)にそれぞれ接続された給油管、(24)は上記油ポンプ(11)の吐出口(21)に一端を接続し、他端を他の給油部に接続した給油管、(25)は上記ミシンアーム(1)の自由端部(26)の底部に設けられた廃油だめ、(27)はこの廃油だめ(25)に集蔵された廃油(28)に一端を浸漬し、他端を上記油ポンプ(11)の副吸入口管(18)に接続した廃油回収用の送油管で、この送油管(27)の廃油だめ側にはフィルタ用のフェルト(29)がそう入されている。(30)は上記油ポンプ(11)の底部をおおうフィルタ用の金網である。

この考案は上記のように構成されているので、油ポンプ(11)の回転に伴い負圧になった主吸入口(17)に連通している送油管(27)は、フィルタ用のフェルト(29)を介して廃油だめ(25)の廃油(28)を吸引し、主吸入口(17)から再び給油管(20)(24)に送出されるものである。

この考案は、上述したように、油ポンプ(11)の吸入口(17)の負圧を利用して廃油だめ(25)の油を回収するようにしたから、油ポンプ(11)

の効率を阻害するようなことがない。また、従来のように、廃油だめの油を回収するために、給油用ポンプの他に別個に回収用ポンプを設けたものと比較して著しく安価に提供しうるばかりでなく、この考案の回収装置はきわめて簡単に構成されているので、ミシンへの装着がすこぶる容易である効果もある。

(実用新案第864310号)(上居記)

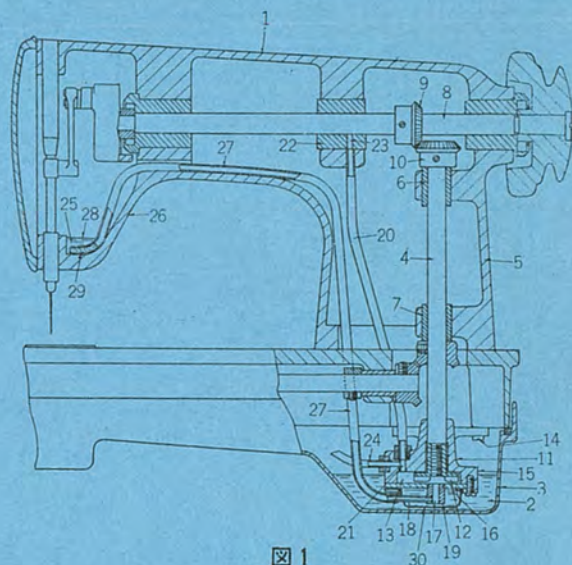


図1

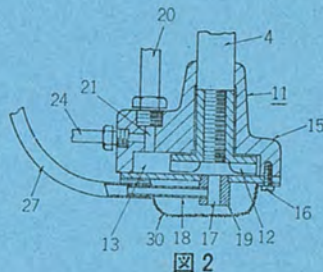


図2

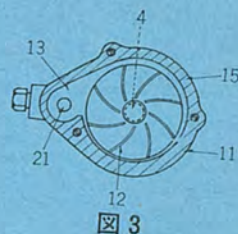


図3

ポンプの制御装置

考案者 加来 政 博

この考案は、送水管路を介し一地点から需要地点へポンプにより送水する場合に、需要端における圧力を需要流量にかかわらず、一定に保持するようにポンプを制御する装置に関するものである。

図1において、送水管路中のオリフィス(5)の前後の差圧を差圧発振器(6)により検出して、流量の2乗に比例した信号を得、変換器

(8)を介して関数発生器(10)に導入する。関数発生器(10)は図3に示すごとく、需要端の液体圧力を一定値とした場合における流量と、ポンプの適正回転数との関係に入力—出力特性が調整されている。上記関数発生器(10)の出力と、ポンプ回転数に比例した信号を導出するパイロット発電機(18)の出力とを、偏差増幅器(19)により比較して差

特許と新案

電圧を求め、この差電圧が零となるよう液体抵抗器(12)の値を調整して、ポンプ駆動用電動機(11)の回転数を制御するものである。

なお、図3における(I)(II)(III)はおの図1における関数発生器(10₁)(10₂)(10₃)の入力-出力特性を示すものであり、おののポンプが1台、2台、3台運転の場合を示すものである。

この考案によれば従来方式に比べ、送水管の水圧を検出する圧力検出機構が不要でポンプの制御系が簡単となり、制御安定度も増す。また関数発生器を適当に調整すれば、ポンプがキャビテーションを起こす

不安定域で運転されることを防止できる。互いに複数のポンプを並列運転する場合に、各ポンプは関数発生器からの同一信号により、この回転数が制御され自動的にせん(揃)速されるので別にせん速装置を要しない等の利点を有するものである。

(実用新案第860806号)(伊藤記)

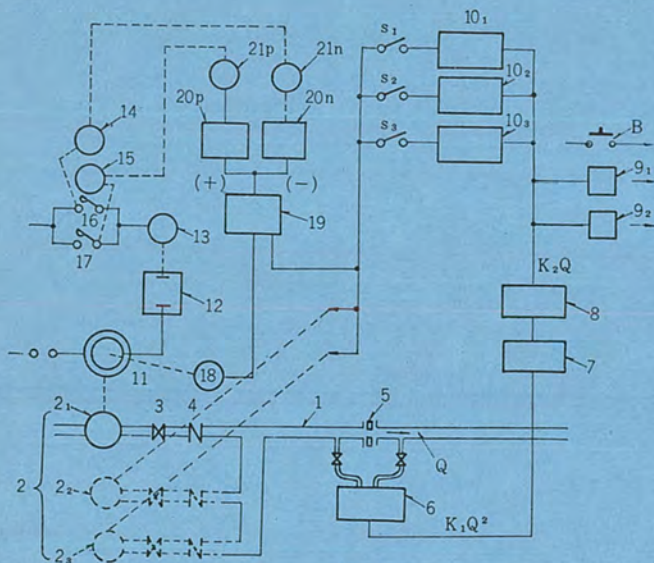


図1

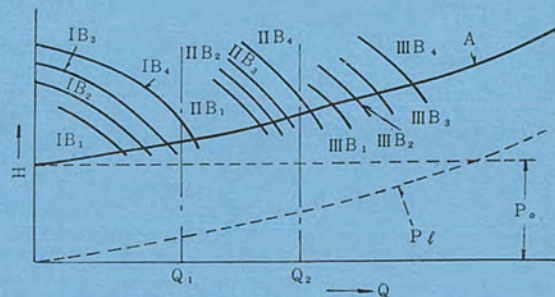


図2

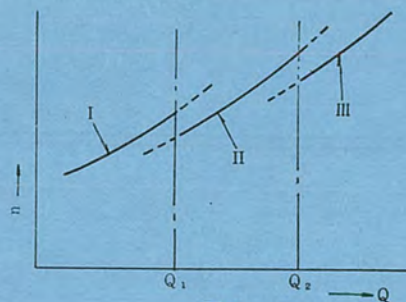


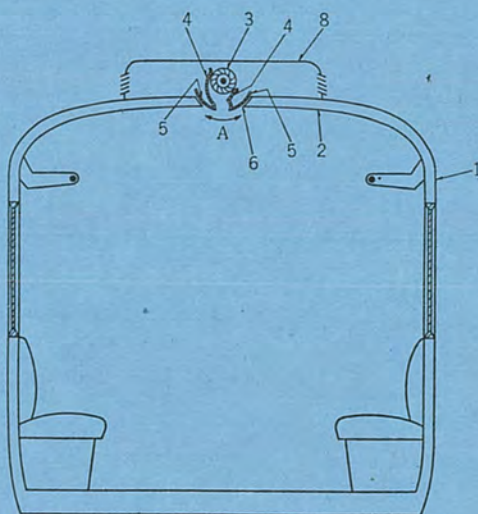
図3

車両の天井送風装置

考案者 安藤武徳・斎藤禎夫・神谷昭美

この考案は、鉄道車両あるいは乗合自動車等の天井に設ける換気用送風装置に関するものである。

図に示す実施例について説明すると、(3)は横断流送風機で、車両(1)の天井面(2)の上部に車両(1)の長手方向に連続的または千鳥状に配置したもの一つである。(6)は送風スリットで、送風機(3)の配設部に対応させて天井面(2)に車両(1)の長手方向に連続または千鳥状に設けてある。そして送風機(3)のケーシング(4)の吐出端部をスリット(6)に臨ませ、さらにこの吐出端部に円弧状のフィン(5)を設けて、このフィン(5)とスリット(6)の両縁との間に、フィン(5)の円弧に沿ったケーシング(4)の弧回動に必要な最小限のすき間を形成してある。このように構成すると、従来の軸流形送風機を使用した場合と比較して、騒音の低減、小形化、送風の均一化、駆動モートル数の削減、送風の静圧の増大、および室内の居住性の向上の点ですぐれた効果が得られる。(実用新案第914393号)(村松記)



省力化の投資限界

高田 眞 蔵*

Limit of Investment for Labor Saving

Head Office Sinzo TAKADA

To overcome the difficulty arising by the rise of wages and shortage of labor and elevate the productivity in industries, mechanization, automatization and full utilization of computer technique in the working processes by the adequate investment are indispensable means. But it causes the increase of proper amount of new investment. There must be a scale to measure the amount of money and deliberate correlation between the effect of improving the productivity and of the increase of the investment. In other words, it is necessary to find out what amount of money is worthwhile to spend to save the labor of how many persons. In this article is discussed what parameters exist in this solution represented by an equation.

1. ま え が き

労働力の枯渇、労働賃金の上昇に対応して、これらを克服して生産性を高め利益を確保するためには、労働力を機械力に置き換えることが効果的である。しかもこれを個々の作業の機械化だけでなく、システムとしてフローに乗るような機械化が最も大きな効果を期待できる。受注—設計製図—工程—部品製作—検査—組立—塗装—試験—包装—発送—倉庫保管—納入等、個々の分野での合理化はもちろん、トータルシステムとしての合理化、すなわち最小の工数で、かつ最小のインベントリーで、所要のときに信頼性の高い製品を供給することが合理化の目的とも言える。これらを満足させる機械化、コンピュータ化には多額の資金が必要である。別の表現をすれば、1人当たりの生産性を高め、少ない人間で大きい生産を上げるためには、適切な投資が必要となってくる。また、近來作業に従事する従業員の人間性の尊重や、公害防止のための直接には利益につながらない資金の回収やコストアップも、合理化投資によって吸収されなければならない。

それなら少ない人間で生産性を上げた効果と、これに伴う投資との関連性を示すスケールができないか、言い換えれば、何人の従業員に見合う投資額はいくらなのか、これを取り上げて述べてみたい。

2. 労働力の動向

2.1 労働力の枯渇

労働力が将来どうなるかを考える場合に、まず第一に日本の労働人口がどう推移するのか、新規労働力の供給源となる、中学卒・高校卒・大学卒の年度別推移がどうなるのか、これらの労働力がどういう分野に流れる傾向があるのか、これら労働力を得るための前提になる傾向と、賃金の上昇とを考えたに入れて、資金に適切な機械化・自動化を進めなくてはならない。

労働人口を15歳から64歳までとした労働人口の将来推計を表2.1で見ると、人口の伸び率は今後は非常に小さくなり、将来1億2,000万余りを頂上として減少時代を迎えるようになる。これは14歳までの労働力予備軍とも言える人口が現在を頂上として、これから減少時代に入ることを示している。

労働人口そのものも、増加の伸び率は小さく、昭和70年を頂上として減少時代にはいる。これに反して65歳以上の高齢者数は、毎

年増加していき、昭和70年には現在の2倍以上にもなる。

2.2 労働力の内容の変化

次に表2.2で中卒・高卒・大卒の推移を見てみると、表2.2のように36年～40年の平均で、約50%であった中卒が、50年では15.7%と非常な勢いで減少してしまい、高卒は41%であったものが、50年で58.9%と大幅な増加をしていく。大卒は9.7%であったものが、50年には25.4%と新規学卒の1/4以上は大学率ということになる。労働力の中心は、高校卒、もしくは大学率ということとは、彼等が従事する知的・肉体的業務の内容も、それなりに高度であることが望ましく、いわゆる単純肉体労働的な分野での求人難は、ますますひどくなることが予測される。このような新規学卒が投入される分野も従来の比率のままではなく、生活程度の向上にとまって労働環境のいかにが選択のための大きな条件の一つとなってくる。

表 2.1 将来推計人口
Estimated population of future.

(単位 千人、カッコ内は総人口100としての%)

昭 和	計	0 ~ 14	15 ~ 64	65 以上
30	89,276 (100)	29,798 (33.4)	54,730 (61.3)	4,748 (5.3)
40	98,403 (100)	24,767 (25.2)	67,453 (68.5)	6,183 (6.3)
45	103,327 (100)	23,810 (23.0)	72,162 (69.8)	7,355 (7.1)
50	108,635 (100)	24,620 (22.7)	75,259 (69.3)	8,756 (8.1)
55	113,265 (100)	25,087 (22.2)	77,882 (68.8)	10,296 (9.1)
60	116,458 (100)	24,335 (20.9)	80,617 (69.2)	11,506 (9.9)
65	118,619 (100)	22,722 (19.2)	82,825 (69.8)	13,072 (11.0)
70	120,225 (100)	21,545 (17.9)	83,357 (69.3)	15,323 (12.9)
75	121,353 (100)	21,362 (17.6)	82,363 (67.9)	17,628 (14.5)
80	121,698 (100)	21,484 (17.7)	80,724 (66.3)	19,493 (16.0)
85	120,817 (100)	21,124 (17.5)	78,291 (64.8)	21,402 (17.7)
90	119,015 (100)	20,226 (17.0)	74,941 (63.0)	23,848 (20.0)

資料：厚生省人口問題研究所（男女年齢別将来推計人口）

表 2. 2 学歴別新規学卒就職者
New employees classified according to educational course.
(単位 万人, カッコ内%)

	計	中 学	高 校	短大・大
31~35 年平均	125(100)	78(62.5)	38(30.4)	9(7.1)
36~40 年平均	132(100)	65(49.2)	54(41.0)	13(9.7)
41 年 3 月 卒	149(100)	52(34.9)	82(55)	15(10.1)
42 年 3 月 卒	146(100)	45(30.5)	84(57.5)	17(11.9)
43 年 3 月 卒	148(100)	40(27.4)	86(58.3)	21(14.3)
44 年 3 月 卒	143(100)	35(24.6)	84(58.4)	24(17)
45 年 3 月 卒	136(100)	31(23)	76(56.1)	28(20.9)
46 年 3 月 卒	135(100)	28(20.7)	77(57.2)	30(22)
47 年 3 月 卒	129(100)	24(18.7)	72(56.1)	32(24.2)
48 年 3 月 卒	125(100)	22(17.2)	71(57.0)	34(25.8)
49 年 3 月 卒	122(100)	21(16.9)	71(58.3)	30(24.8)
50 年 3 月 卒	117(100)	18(15.7)	69(58.9)	30(25.4)

注) 高校は全日制 資料: 文部省学校基本調査
短大、大学は(高専を含む)昼間制 労働省職業安定局推計

3. 投資との関連

3. 1 賃金の上昇

労働力の枯渇や質的労働力の変化と、もう一つの大きな条件は賃金の上昇である。G. N. P. の伸びに比例して、国民所得も毎年増加している。特に賃金所得者の毎年の上昇率はめざましいものがある。これが生産性の上昇に見合う範囲である場合には問題ないが、賃金上昇のほうが生産性の上昇を上回る場合には、いわゆるコストの上昇の源泉となり、コストインフレの現象となってくる。また、これを防ぐための投資が不適当に大きくなると、この投資のための金利や償却が過大となり、逆にコスト上昇の原因ともなるので適正なる投資は非常にたいせつなことであり、特に省力化のための投資には、この経済性の検討が必要かべからざる前提条件である。表 3. 1 に見られるように、G. N. P. は、1969 年に西独をぬいて自由世界第 2 位となったが、人口 1 人当たりの所得で見ると表 3. 2 のように人口千万人以上の自由世界の国の中でまだ第 8 位である。表 3. 3 に主要な国の G. N. P. (国民総生産を言い、個人消費支出・民間設備投資・財政支出・輸出の総計を言う) の伸びを示す数値を示してあるが、1960 年には、英国やドイツの 2/3 もなく、米国の 1/12 しかなかった G. N. P. が 1970 年には英国やドイツを追い抜き、1975 年には英国の 3 倍、ドイツの 2 倍、アメリカの 1/3 という大きな値となることが予測されている。

表 3. 4 に賃金上昇率の伸びを示しているが、上昇率は毎年上昇を続け、45 年度には、平均上昇率 18.5% にもなっている。5 か年の平均上昇率は 14% になっている。この上昇率は、これから先、何年ぐらい続くのか、上昇率は先で低下するのか、これから 5 年先まで、10 年先までの上昇率はいくらく考えたらよいのか、と言うことは、経済計算を行なう場合には、大きな前提条件となってくる。

3. 2 省力化に対応する投資額

省力化、すなわち労働力の節約を機械化によって行なう場合、これに必要な資金は対象とする設備に支払われる。設備は経済耐用年数があらかじめ決められると、毎年の償却費、金利、運転による経費増が節約した労働力の人件費(人件費の毎年の上昇率を加味した年費用)の総額と見合う値でなければならない。労働力の入手は、場所により大きな相異がある。大都市周辺は非常に困難ではあるが、

表 3. 1 G. N. P. の順位
Ranking of G. N. P.

(1969 年経済企画庁調査)

1	米 国	9,314 億ドル
2	日 本	1,659
3	西 独	1,526
4	フ ラ ン ス	1,306
5	英 国	1,096
6	イ タ リ ア	823
7	カ ナ ダ	723

表 3. 2 人口 1,000 万人以上の国の人口 1 人当たり所得
Income per capita of countries having population of more than ten million.

(1969 年経企調査)

	1968	1969
米 国	3,543 ドル	3,787 ドル
カ ナ ダ	2,396	2,606
ド イ ツ	1,745	1,986
フ ラ ン ス	1,928	1,964
豪 州	1,767	1,908
オ ラ ン ダ	1,607	1,744
英 国	1,445	1,509
日 本	1,126	1,285

表 3. 3 各国の G. N. P. の伸び
Growth of G. N. P. in each country.

	1960 年 億ドル	1965 年 億ドル	1970 年 億ドル	1975 年 億ドル	伸率/年	1 人当り G. N. P.
米 国	5,040	6,850	9,910	13,900	7.0	6,245
カ ナ ダ	340	480	720	1,040	7.3	4,397
英 国	720	1,000	1,130	1,480	5.6	2,626
日 本	430	880	1,970	4,400	17.4	3,981
西 独	740	1,130	1,670	2,280	6.4	3,857

表 3. 4 人件費の上昇率
Rise rate of personnel expenses.

	対 前 年 上 昇 率	額
41 年	10.4 %	3,273 円
42 年	12.1	4,214
43 年	13.5	5,213
44 年	15.7	6,768
45 年	18.5	8,983

地方都市の周辺工場の場合には、困難の度合いが少ないが、まれにはあまり困難でない所もある。労働力の入手の困難度を考えに入れずに、画一的に人件費の節約に見合う投資によって機械化を進めるのは考えものである。困難な場所は、機械化に要する資金効率はおもよいが、さほど困難でない場所は資金効率を期待して差をつけたほうがよい。この計算で投資効率 0 の場合と 10% の場合とが表にあるのは、この差を考えてみるためである。もちろん、個々の投資計算は、年費用法によって正確に計算せねばならないが、大体的見当をつけるために、人件費の節約に見合う投資額はいかほどになるかは次の式で示すことができる。

$$A = \frac{TW \times K_2}{K_3 + K_4 + K_5 + Q + CR}$$

A : 投資限界額

TW : 総合人件費 (人件主費 + 人件副費 + 人件雑費)
= 1.2 × 人件主費 (月給 + ボーナス)

K₂ : 定率増加費用の等価係数

K₃ : 処分価格を含む資本回収係数

K₄ : 固定資産税簡易係数

K₅ : 損害保険簡易係数

Q : 機械化による運転増加費用

表 3.5 省力投資の限界表
Table of limitation of investment for labor saving.

(単位 万円)

TW n	CR=0%				CR=10%			
	3 年	5 年	7 年	10 年	3 年	5 年	7 年	10 年
50 万円	118	182	235	302	98	142	177	220
60 万円	142	219	283	363	118	171	213	264
70 万円	165	255	330	423	137	199	248	307
80 万円	189	291	377	484	157	228	284	351
90 万円	213	328	424	544	176	256	319	395
100 万円	236	364	471	605	196	285	355	439
120 万円	283	437	565	726	235	342	426	527
150 万円	354	546	707	907	294	427	532	659
200 万円	472	728	942	1,209	392	570	710	879

表 3.6 定率増加の等価係数
Equivalent factor of increase at fixed rates.

n 年	定率増加	12 %	15 %
3		1.1178	1.1480
5		1.2357	1.3093
7		1.3804	1.4984
10		1.6060	1.8218
15		2.0412	2.4929

表 3.7 処分価格を含む資本回収年数
Number of years to recover capital including depreciation value.

n	残 価	5 %	10 %	15 %	20 %
3		0.387	0.3719	0.35679	1.1993
5		0.2556	0.24742	0.2392	1.4365
7		0.2001	0.19487	0.1896	1.7222
10		0.1596	0.15648	0.1533	2.2595

表 3.8 固定資産税の簡易係数
Simple factor for fixed asset tax.

n	法定償却年	3	5	7	11
1		0.014	0.014	0.014	0.014
3		0.00819	0.00974	0.01066	0.01167
5			0.00739	0.00855	0.01
7				0.00718	0.00877
10					0.00751

表 3.9 損害保険の簡易係数
Simple factor for damage insurance.

N	n	保険料	1,000 円に付き 3 円
法定償却年数 11 年	1		0.003
	3		0.0025
	5		0.00214
	7		0.00188
	10		0.00161

CR : 投資効率 0, 10%, 金利 $i=10\%$

(1) 投資限界額 A

表 3.5 は総合人件費の節約額に見合う投資額で、総合人件費の節約 120 万円に見合う投資額は、この設備が 7 年使えるものとすれ

ば、565 万かけてもよい。ただし、投資効率 10% を考えると 426 万が限界投資額となる。

1,500 万円の人件費の節約が期待され、その設備は 10 年使える場合には、 $CR=0$ のときは、9,070 万の投資が限界であると、1 けたふやして読めばよい。

(2) 総合人件費 TW

月給とボーナスを加えた人件主費 W に、さらに人件副費と雑費を加えたもので、 $TW=W \times 1.2$ この数値は工場により、多少の変動がある。

(3) 定率増加費用の等価係数 K_2

人件費の上昇率の等価係数である。この表の場合、経済耐用年 3 年 5 年の場合には年率 15%、10 年の場合は 12% と仮定してみたこの数値に等価な値は表 3.6 のようになる。

(4) 処分価格を含む資本回収係数 K_3

設備には、いずれも経済耐用年数があり償却をせねばならない。表 3.7 は、経済耐用年数が過ぎた後の残価、すなわち、処分価格を 5%、10%、15%、20% としたとき、償却のためにいくら資本を回収せねばならぬかを示したものである。

(5) 固定資産税の簡易係数 K_4 (表 3.8)

(6) 損害保険率 K_5

損害保険は、0.001~0.009 まで料率はかなり広範囲であるが、1,000 円につき 3 円と考えた場合の簡易係数 K_5 は表 3.9 のようになる。

(7) 機械化による運転増加費用 Q

機械化やコンピュータ化するために、運転費用の増加が起こる。これは正確には握を要する費用で、この計算の場合は、一般機械類と考えて、 $Q=0.1 \times A$ 設備費用の 10% 程度と仮定した。

(8) 投資効率 CR

0% のときと 10% の場合を表にしたのであるが、人手に不足のないときには、 $CR=20\%$ を考えねばならぬ場合もある。

また、労働力の枯渇入手難がますますきつくなれば、 $CR=-10\%$ あるいは、 -20% までは考えてみてもよいという時代になるかもしれない。

4. む す び

この省力化の投資限界表はあくまでだいたいの目安であって、個々の投資条件に対しては正確な経済計算をせねばならない。機械化によって床面積が大幅に増加するような場合には、床面積費用の計算も必要である。人手の余裕のあるような場合には、有利な省力化の投資であっても着工の時期をずらすとか CR (投資利益率) を大きく取るなどの考慮が必要であろう。しかし全般的には労働力の極度の不足と賃金上昇の重圧は、今後ますますはなはだしくなるので、 $CR=0$ だけでなく $CR=-10\%$ あるいは -20% でも省力化を進めなくてはならなくなるかもしれない。

物流における省力化

樽見忠平*

Labor Saving Operation in Physical Distribution

Head Office Chuhei TARUMI

Control of Physical Distribution has become the subject of talk recently as the third source of profit margin in the industrial circles. In the electrical manufacturing industry in particular the outturn of electric home appliances has been growing at the rate of 20 per-cent for these ten years. To cope with the trend of increasing volumes to be handled in the circulation of materials, a positive policy has been adopted by all the parties concerned. Herein is discussed the labor saving in the storage, disposal of goods and transport of products with the field of taking care of Physical Distribution set as the center of topic.

1. ま え が き

物流管理 (Physical Distribution) という言葉が話題になってからまだ日が浅いが、ここ数年の間に産業界では物流がブームのようになっている。電機業界でも十年來成長を遂げた家電品を中心に、各社とも物流問題に取り組んでいる。

このように物流問題が脚光を浴びるようになったのは、産業界における競争が生産性競争・新製品開発競争を経て、収益力競争に突入し、従来顧みられなかった物流面合理化によって大幅なコスト削減が期待されるからである。一方、社会情勢も労働事情の悪化、交通渋滞等の要因により、従来とかく人海戦術に頼りがちであった倉庫・輸送業務も合理化を迫られている。これら倉庫輸送における作業の省力化は欧米でも盛んであるが、欧米では黒人・後進国等の外

国労働者に依存するという逃げ道があり、省力化への要請もあまり急を要さないようである。日本では労働力の絶対量不足にありながら、欧米のように外国労働者が期待できないため、倉庫輸送等の低位技能労働者の省力化は緊急を要する課題として取り組まねばならない。

物流合理化といっても、単なる物流面だけの合理化では、大きな効果は期待できない。生産から販売に至るトータルシステムの一貫として物流を位置づけ、システムの中に物流を組み込むことによって、はじめてシステム利益とサービスアップが期待できるといえよう。

2. 当社の物流システム

当社では物流問題に早くから注目し、プロジェクト活動を通じて物流に取り組んできたが、44年に物流推進本部を設立し本格的な活動を

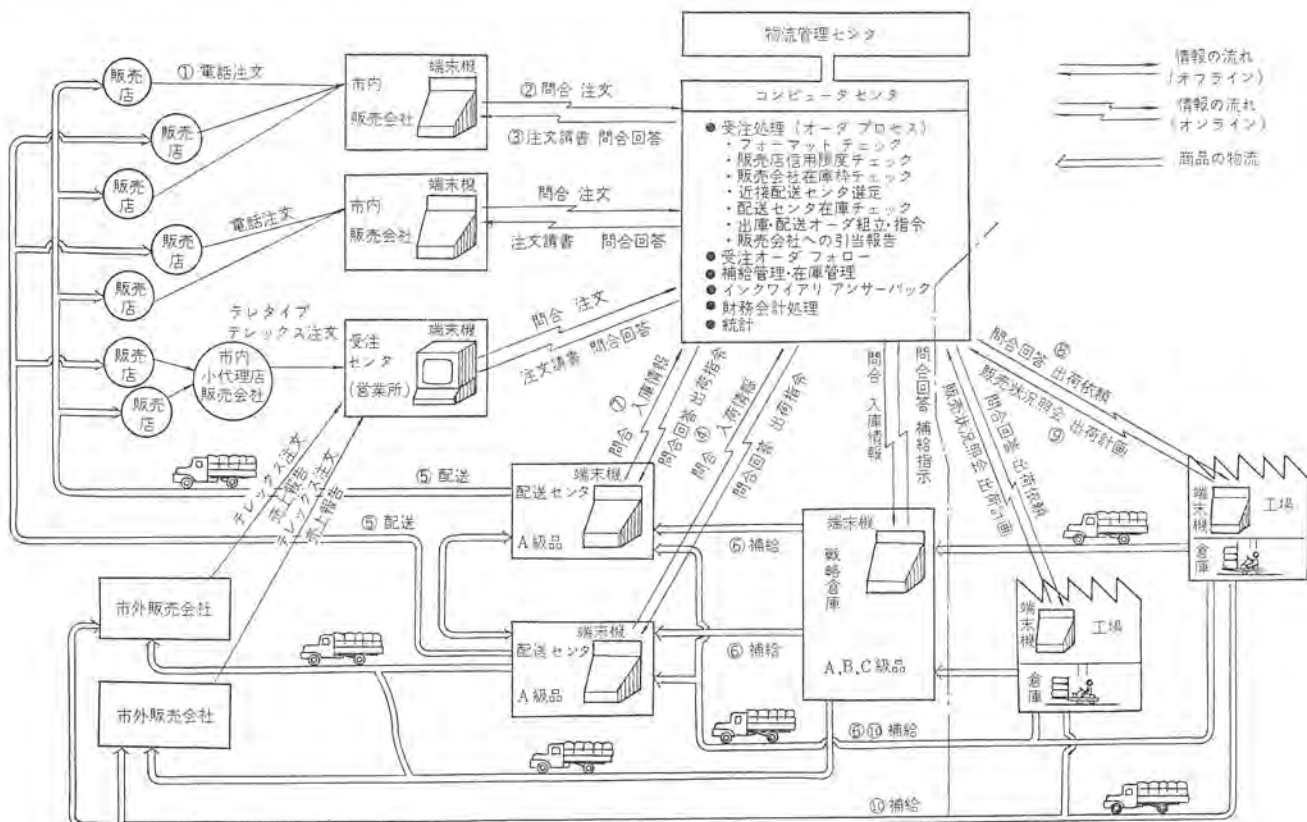


図 2.1 オンラインシステム On-line system.

開始した。当社が現在取り組んでいる物流関係業務は、量産品を中心に一部受注品に及んでいるが、ここでは焦点を家電品の物流に絞って述べることにする。

(1) 情報システム（オンラインコンピュータシステム）

市場での販売動向をいち早くは握し、その情報を工場に伝達するためにコンピュータを中心として販売会社・営業所・配送センタ・製作所間を通信回線で結ぶオンラインリアルタイムコンピュータシステムを47年から実施する。このシステムを導入する目的は、市場での販売動向をいち早くは握して生産を調整し、各地域の在庫を一元的に管理すると同時に販売会社の事務処理をする（図2.1参照）。

このシステムが完成すると販売会社はさん下の販売店の注文を電話で受け、端末装置から注文をインプットすることにより、販売店は3～4時間で配送センタからの配送サービスを受けることができる。

(2) 配送システム

家電品の流通ルートとしてメーカー、販売会社、販売店、顧客の流通段階を経ているが、従来はこのルートを商取り引き情報と物が同じように流れていた。現在実施しているシステムは図2.2に示すように、情報を流す商的ルートと物を流す物的ルートを分離して、物流面からみた最も経済的な配送システムを行なっている。現在の配送システムの特長は営業所と販売会社の倉庫を配送センタとして集約することにあるが、東京・大阪・名古屋の大都市では市内に数個所の配送センタを設置し、少なくとも1日2回の配送サービスができる立地条件をもとに配置している（図2.3）。

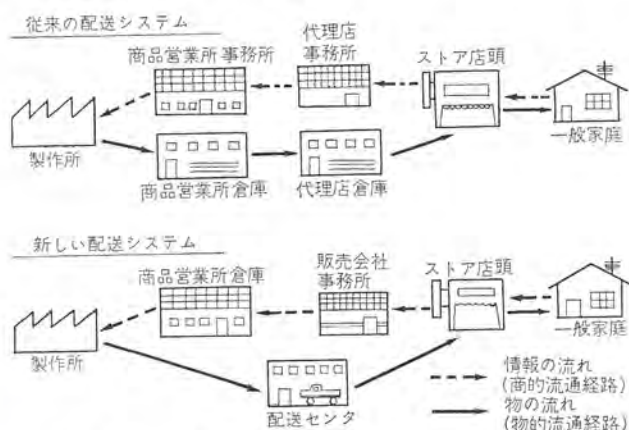


図2.2 商的流通経路と物的流通経路
Commercial circulation route and material circulation route.



図2.3 座間配送センタ
Zama distribution center.

3. 情報システムによる省力化

オンラインコンピュータシステムの導入によって従来の伝票作成、計算機インプット、伝票送達等ばらばらにしていた事務処理作業、中継作成が

すべて不要になる。

(1) 在庫チェック業務

従来は販売会社からの注文を電話で受けて、営業所の機種ごとの担当者が前日末の在庫表をチェックしたうえ受注票を作成し、さらにフレクソライタでテープを作成し、配送センタへデータ伝送装置で倉出し伝票を送達していたが、オンラインシステムの実施によって、在庫チェック業務、データ中継業務の人員が省力となる。

(2) 販売関連事務処理

販売会社では、注文を端末からインプットすると、在庫の引当を始め販売店ごとの売上げ計上・請求書作成業務等の在庫・売上げ・請求関連の事務処理が一元的になされるため、これら業務の事務処理に要していた各販売会社の要員が省力化され、この人員をセールス要員の増強に転用できる。また販売会社の仕入れ担当者は在庫台帳をチェックし、発注点を切ったものを捜し出し発注量を決めて補充を行なっていたが、これらが省かれ簡単な商品では自動的な補給が、重要な商品では補給勧告がオンラインコンピュータから一定ルールのもとで打ち出される。

4. 工場倉庫・配送センタの省力化

倉庫荷さばき業務は目立たない業務としてあまり改善されていない分野であり、ほとんど設備らしいものもなくもっぱら人手による人海戦術に頼っていた。今後はマテハン設備の投入をすれば大幅な省力化が期待できる。

(1) 立体自動倉庫

わが国特有の土地価格の異常な高騰のため、空間の有効利用を目ざして立体倉庫が登場したが、クレーンの自動運転ができる全自動システムの採用によって荷役作業者の省力化がなされる。当社の立体自動倉庫は製品用として、現在3ヵ所で工場倉庫として稼働している。現存の立体倉庫は構造上パレットを使用しているため、製品寸法が大幅に変動するものについては積載効率が低下するおそれがあるので、比較的寸法の変わない製品および小物製品の工場倉庫にしか採用

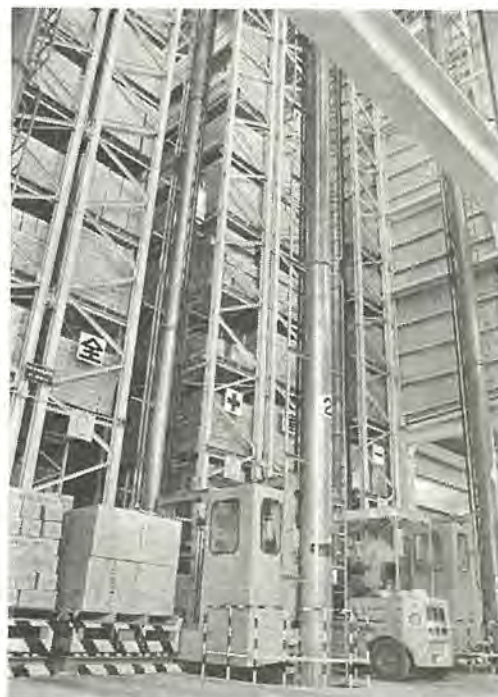


図4.1 立体自動倉庫（大船製作所）
Vertical automatic warehouse.

できない。

配送センタではピーク時の出荷に対応できないこととピックアップ方式でしか利用できない宿命を持つので、採用は当然考えられない。また小形コンピュータ(MELCOM-83)と連動させたオンライン方式の採用によって、倉庫台帳管理業務の合理化・省力化を検討している。さらに生産ラインと立体倉庫を結ぶ運搬に無人索引車の採用と、クレーンのか動率を上げるため入出庫待ちのストックコンベヤの採用も計画中である。こうした周辺装置との手ぎわ良い組み合わせこそ、このシステムの機能を十分に発揮させる要諦である(図4.1)。この方式はさらに事務用コンピュータとの連動まで進むであろう。

(2) 自動コンベヤ

倉庫業務は従来から陽の当たらない業務として老人・女子に依存し、運搬手段も台車か、せいぜい手動ホイール程度の設備しかなかったが、近年の人手不足と配送センタの機動性に対応して、マテハン設備が投入されるようになってきた。小物品の搬送はベルトコンベヤ等の自動コンベヤを採用し、大物品にはフォークリフトの採用が一般化してきた。

当社の配送センタでは近年まではベルトコンベヤとホイールの併用方式を採用してきたが、ここ数年間に新規に着工する配送センタの小物搬送は、自動コンベヤを全面的に採用している。当社で使用しているコンベヤは、搬送しながら任意の場所で自由に荷物をストックできるストックコンベヤ(ラピスラン APC コンベヤ)であり、レイアウトも最大マテハン距離が5m以内におさまるように10m間隔にコンベヤを設置し、流れはすべて一方方向になっている(図4.2, 4.3参照)。また入出庫の激しい配送センタであるから、入出庫作業が同時に処理されるよう配慮している。従来はベルトコンベヤを使っていたためベルトのスピードに合わせた人員が必要で、特にピーク時に多くの人員を必要

とする反面、ピーク時外には人員アイドルが出る状態で、効率の良い人のか動が期待できなかった。ストックコンベヤの採用によって入出庫の暇のときにコンベヤ上に製品をストックしておいて、ピーク時にストックした製品を処理すれば荷さばき人員にアイドルを生じることなく平均的なか動ができ、大幅な省力化となった。

(3) 出庫プラットフォーム

配送サービスを効率よく行なうには配送車の回転効率を上げることであり、そのためには配送センタ内での積込み時間の短縮がどうしても必要である。従来の営業所倉庫や中央倉庫は、保管効率に重点を置いて入出庫の効率にあまり配慮していないため、プラットフォームも短く、入出庫用積置きスペースも少ない状態でトラックの回転を上げるには、人海戦術で積込み時間を短縮するしかなかった。新しい配送センタは多くの車が同時に接車できるように建物外周の70%以上をプラットフォームとしてとり、プラットフォームの内側には広い積置きスペースがあり、入出庫の際の車への積み込み、積み降ろしは運転手と助手の2人で短時間で処理できるようになっている。また、トラックへの積み込みが数分間でできるように、配送製品をあらかじめ積付けできるコンテナ台車も計画中である。

配送センタのプラットフォームは入出庫口の分離はもちろん、床の高さも入庫口は大型車用として1.1~1.3m、出庫口は小型車用として0.8~1.0mの高さに設計されている。また出庫口のプラットフォームは原則として建物内にあり、早期の出庫は建物のシャッターを開ければ、前日の品そろえ品がすぐ積み込みできるようになっている。これら建物設計時からの荷さばきのための配慮が省力化に大いに役立っているといえよう。

(4) パレットレス方式

倉庫内の荷さばきを効率良く行なうには、ユニットロード化することがたいせつであるが、一般にユニットロードの方法としてパレット方式が採用されている。パレット方式は、パレットに荷物を積付けしたあとのユニットロードとしての取り扱いが便利だが、パレットへの荷物の積付け作業、パレットからの荷物の積み降ろし作業、パレット自身の保管運搬等かなりの時間を要する。当社で採用しているパレットレス方式はクランプ式フォークリフトを使って、木わくこん包製品を一度に8台以上も横から押えて持ち上げ運搬する方法である。この方式の採用によって大幅な省力化はもちろん、パレットに起因する積載効率の低下(パレット間のロス、パレットと品物の積載ロス、パレットそのものの重量・容積)がなくなって、積載効率が大幅によくなり、合わせてパレット不要による節約等多くのメリットがある。パレットレス方式はまだ一部の木わく製品しか実施していないが、こん包設計を変更して段ボールこん包の大型製品にはすべて適用できるようにしたいと思っている(図4.4参照)。

(5) エアシュータ

荷さばき業務を効率良く行なうには、荷さばき方法を合理的に行なうことが第1であるが、そのためには業務指示をする情報である伝票をタイミング良く供給するシステムがなければならない。一般に倉庫の現業部門と伝票処理をする事務所とは距離が離れているのが普通である。従来は当社の配送センタでは、事務所にある事務

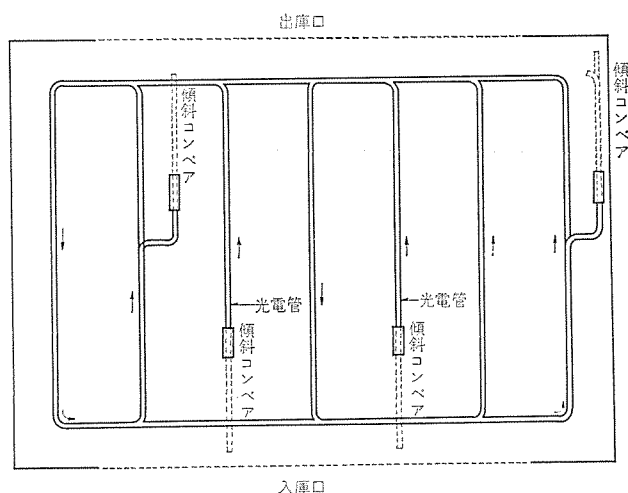


図 4.2 座間配送センタコンベヤレイアウト
Conveyor layout of Zama distribution center.

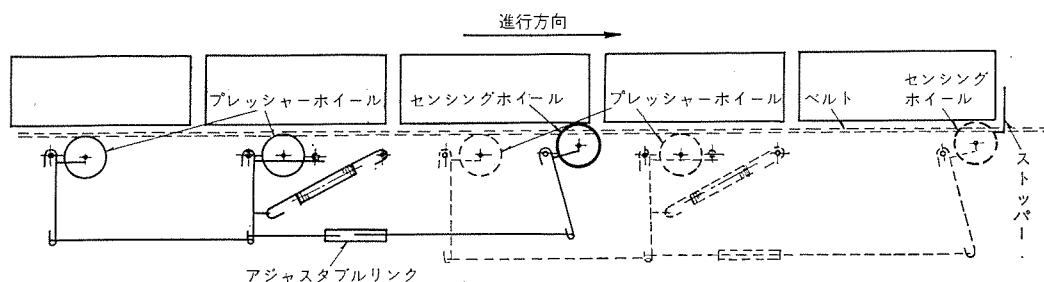


図 4.3 スtockコンベヤ機構 Stock conveyor mechanism.



図 4.4 クラップ式 フォークリフト Forklift.

機械から刻々アウトプットされる出庫伝票が一定量まとまった時点で、現業部門へ人手で運搬していたが、どうしても伝票が間欠的な動きをするため現業部門も間欠的な作業になりがちであり、作業遅れと作業アイドルが発生していた。これらの欠点を解決するため、事務所と現業部門間をエアシュータでつなぎ、伝票送達を随時行なえるようにした。エアシュータ採用の効果は伝票運搬の人手削減はもちろん、荷さばき作業の連続化が可能となり、かなりの合理化をはかれた。

5. 輸送業務の省力化

輸送業務は保管荷さばき業務と並んで物流業務のうち大きなウエイトを占めるもので、昨今の交通事情の悪化、人手不足の情勢からして輸送業務の効率の良い運営いかんが、物流コストへ大きな影響を与えるといえよう。

(1) 共同保管・共同配送

従来当社の物流ルートとしては工場から営業所倉庫へ、営業所倉庫から販売会社倉庫へ、販売会社倉庫から販売店への3段階への輸送を行っていた。現在の配送システムでは営業所倉庫と販売会社倉庫を集約化したため、配送センタによる共同配送によって営業所と販売会社間の輸送がなくなり、また各販売会社が個々に行っていたため発生していた交錯輸送がなくなり、効率の良い販売店配送ができるようになったが、共同配送による輸送人員・管理人員の省力化ははかり知れないものがある。一方、配送センタによる共同保管によって、従来の営業所と販売会社のおおの在庫を合わせたよりも少ない在庫で運営できるため、倉庫現業作業者の削減はもちろん、販売会社での在庫管理人員も不要となった(図5.1)。

(2) 配送車ワンマン運行

トラックの輸送は運転手と助手の2人で行なうのが当然のこととされてきたが、昨今の人手不足と人件費高騰によって助手なしのワンマン運行の実施いかんが輸送費削減の決め手としてクローズアップされてきた。当社でも工場配送センタ間輸送のように、輸送の両端に荷さばき設備・人員の整っているところではワンマン運行を実施しつつあるが、配送センタの配送先である電器販売店のように、設備人員



図 5.1 自動コンベヤ Automatic conveyer.

の整っていないところでは助手の廃止は困難であった。

配送車がワンマン化できないのは、冷蔵庫、ルームクーラ、カラーテレビのような大形製品をトラック荷台から地上におろす作業が1人では困難であるからである。大形製品を機械力でおろすためにはクレーン車を使うとか、種々の方法が考えられるが、当社で試験的に実施しているものにトラックの荷台の1部が油圧で地面に昇降するパワーゲート方式がある。その他階段の重量物を積んでの昇降などを含めて、いろいろと簡便な設備を検討中であり、これらの設備がか動するようになればワンマン運行が可能となるであろう。

(3) 配送専用車

配送車が積んでいく荷物は、小さな乾電池から大きな冷蔵庫に至るまで、種々な大きさの製品があり、配送順序に従ってトラックの後ろから順番に製品が取り出せるような積付け方法をしており、現状で順番を考えながら運転手と助手が積付けしているためかなりの時間を要している。配送順序を考えずに積付けできるためには、トラックの荷台に積んである品物をどこからでも取り出せるような開口部の広いトラックの開発が必要である。当社の配送はほとんどアルミのバン車を使用しており、従来はバン車のどの面も開閉できるような車を採用したいと思っている。

6. 今後の課題

物流管理が話題になってからまだ日も浅いこともあり、一般に倉庫・輸送関係の業務を合理化するための機械化が遅れているが、国内のメーカーによるマテハン関係の設備が、欧米に比べてかなり遅れているのが大きな原因ともいえる。本格的な配送センタとしては、最近になって大形スーパー等が手がけているが、それも納入業者の犠牲をもとにした変則的な配送センタであり、今後は入庫・仕分け・輸送機能を持った本格的な配送センタが少しずつ出現すると思われる。当社のような家電品配送センタでは、現状では大きさの違う、品種の多い製品をピックするのに人手に頼らざるを得ない状態であり、これら少量多品種のピック機能を持った設備の出現を望む次第である。

コンピュータによる設計手配の省力化

黒田 紀典*・酒井 亜男*・藤田 昇三*

Labor Saving in Custom Order Treatment at Designing Section with Computers

Nagasaki Works

Toshinori KURODA・Tsuguo SAKAI・Shozo FUJITA

To cope with the rapid increase of production and the shortage of labor, automatic operation in the designing process is an indispensable requirement for labor saving. Computers are now in full use in every step of the design procedures as a means to solve the problems. The computer has been made use of so far to take care chiefly of calculation in functional design. However, the latest trend is to mechanize the work by treating the matter as a system involving the sales, design and production. To turn the treatment of design processes to automatic operation is an imminent task and as important as automatic operation of the functional design. This article describes the present state of the subject referred to.

1. ま え が き

最近の生産量の急激な増加と人手不足に対処し、確固たる品質を維持向上するためには、生産性の向上と省力化はわれわれメーカーに常に要求される問題である。特に設計について言えば事務処理、手配業務のために、本来の仕事である製品設計・開発設計時間が圧迫されるようなことがあってはならない。製品の開発が完了した時点で顧客の要求を満足させながら、標準化・単一化を推し進め、機能設計・生産設計を可能な限り機械化し、最終的には完全に設計の手を離れるシステムの実現へ努力していく必要がある。このことは量産工場だけでなく、受注生産工場においてもしかりである。

設計省力化の強力な武器の一つにコンピュータがある。従来のコンピュータはどちらかと言えば、計算道具すなわち機能設計計算が中心であったが、最近では営業・設計・生産を含めシステム的に問題をとらえ機械化する方向に進んでいる。特にオーダーメイド生産においては機能設計と生産手配業務は密接なつながりがあり、両者を同一レベルで機械化しないと実際の省力効果は上がらない。最近省力化の要請にもとづいて、コンピュータによるオーダー処理システムが、標準化が進んだ機種でいくつか開発されてきた。これらの中の代表例として船用始動器盤 (Group Starter Panel ; 以下 GSP とよぶ) システムを中心に、コンピュータによる設計手配システムを紹介しよう。

2. 設計手配プログラムの現状

2.1 機械化のレベル

設計のごく一部分の計算、製図計算から、GSPシステムのように工作手配までを含んだものまで、いろいろな段階のプログラムがあるが、オーダー処理面から言えば、次の7段階のレベルに分けて考えることができる。

- (1) 部分設計計算、特性計算
- (2) 機能設計、構造設計計算
- (3) 製図計算、作図機による自動製図
- (4) 摘要表作成
- (5) 部品一覧表、購入品注文書作成
- (6) 作業時間および手順表作成
- (7) 作業日程指示表作成

2.2 オーダー処理プログラム方式

設計段階のオーダー処理プログラム方式として、一定の方式は困難で、各機種の特質に応じて、プログラムおよびファイル設計が行なわれている。プログラム開発時間から見れば不利であるが、処理効率から見ればむだがなく、プログラムもコンパクトにできる利点がある。盤関係では製品・部品の変化がはげしく、その変化に追従できる柔軟性と、いかに短期間の間にシステムを作り上げるかというスピードが強く要求される。これらの機種別の設計システムからのアウトプットには次のようなものがあり、カード類は生産管理システムをはじめ他のシステムへのインプットに用いられている。

- (1) 設計書
- (2) 摘要表
- (3) 図面
- (4) 部品表
- (5) 作業手順表
- (6) 払出しカード： 部品表の内容をパンチしたもの
- (7) 作業カード： 作業手順表の内容をパンチしたもの
- (8) 購入品カード： 注文書作成に用いられる
- (9) MIカード： 繰り返し製作される部品は、それを製作するのに必要な材料、作業情報を部品コードをキーとして磁気テープに

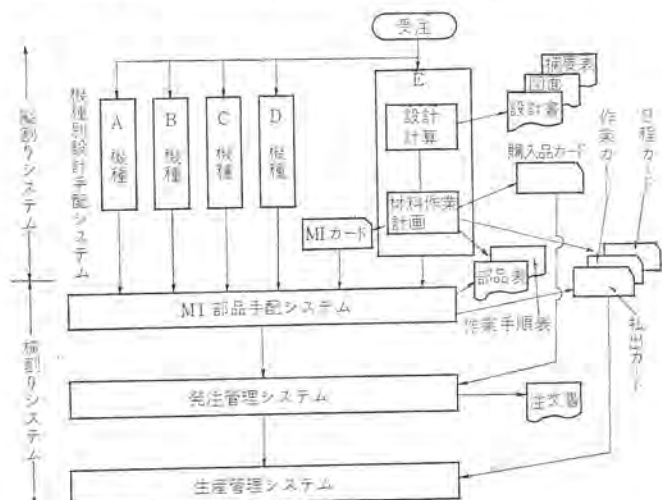


図 2.1 システムフロー System flow.

ファイルしている。これを MI (Manufacturing Information) ファイルといっているが、これらの部品を製作手配する場合は、部品名と製作個数、日程をパラメータとして与え、部品表・手順表に展開している。

(10) 日程カード：各作業の日程を指示したカード

2.3 コンピュータシステムフロー

図 2.1 にコンピュータによる一般的なオーダー処理システムの流れを示す。設計計算や特定オーダーの材料作業計画のように、設計を中心としたシステムは、機種ごとの縦割りシステムにならざるを得ない。GSP システムもその一つであるが、オーダーメイド生産工場ではいくつかの機種別設計手配システムが並列に動いている。これらのシステムは工場全体の生産管理システムの前段階に位置づけられる。これに対して発注在庫管理・生産管理のように各機種共通システムは横割りシステムともいえる。従来技術部門は縦割りシステムを事務部門は横割りシステムを中心とした EDPS 化を別個に推進していた。両方の方式にはそれぞれ長所短所があるが、それらをいかに結びつけるかが問題である。設計手配システムには当然マニュアル展開システムも数多く存在するが、それらと調和したものでなければならない。そこで機種別設計手配システムは生産管理システムのインプットと考え、マニュアルシステムともスムーズに調和させるため、以後のシステムへの連結はすべてカードベースで行なっている。

3. GSP 設計業務とシステム開発の経緯

船用始動器である GSP は、ここ数年の船舶大形化・自動化により、従来の ON-OFF 制御から、多くの電動機のインターロック回路等ますます複雑化してきている。コンピュータ使用を前提として、徹底した標準化を行ない、省力化と短納期化を計った。当初はモータリスト、ユニットリスト (ユニット関係部品一覧表)、部品細目表、摘要表の作成だけの機械化であったが、プロジェクトの進行に伴って、板金作業計画書、プロッタによる外形図、注文書作成とシステムはだんだんと発展してきた。

3.1 GSP オーダー処理フロー

一般的なオーダー処理フローを図 3.1 に示す。

3.2 GSP 標準化

GSP の設計は他の多くの制御盤と同様、まず客先の仕様要求からスタートする。この客先仕様はおもに回路・電動機容量・しゃ断容量が主である、この内の回路決定に非常に手間取っていた。従来は回路の標準も明白でなく、客先との仕様の打合せも一部あいまいな点があったので、設計業務の EDPS 化の最初の仕事として回路図の標準化から始められた。

(1) シーケンスの標準化

従来使用されたあらゆるシーケンスを集録し、それらの中から船用集合始動器盤の標準回路として最もふさわしく、かつはん用性のあるものを約 100 種類選んだ。さらにこれらの標準回路を回路の特性に従ってコード化し、系統的に分類した。このコードの分類法は次のようなものである。このコード化により EDPS の導入が容易になった。

(2) 部品の標準化

シーケンスコード対応に部品登録を行ない標準ユニットリストを作成したので、シーケンスコードとモータ容量により、そのユニットで使用される必要部品をファイルより取り出すことが可能となった。

(3) 板金の標準化

シーケンスコードとモータ容量に対応して板金部品の整理を行ないファ

コンピュータによる設計手配の省力化・黒田・酒井・藤田



図 3.1 GSP オーダー処理フロー
Treatment flow of GSP order.

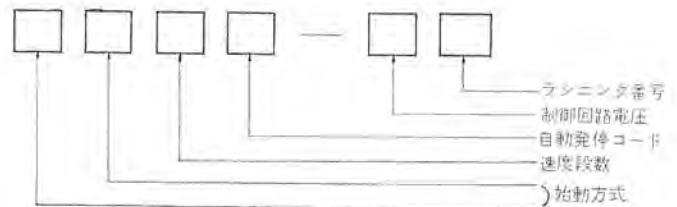


図 3.2 シーケンスコード体系
Sequence code system.

イルを作成した。一方フレーム関係は GSP の型式やフレーム寸法などの仕様に対応して標準化を行ない、一覧表を作成した。この場合も簡単なコードでファイルより抜き出せるようにした。

以上のように従来の図面の集約化を行ない単純なコードにより、すべて選び出せるようにしたことで機械化も可能となった。

4. GSP プログラム概略

GSP システムは最初からトータルシステムを計画したわけではなく、要請に応じて設計の各段階のプログラムが個々に開発された。それらはサブシステムとして十分に使用された後、トータルシステムに編入されて行なった。したがって各サブシステムは単独に使用することもできるし、全体を GSP トータルシステムとして linkage して使用することもできる。全体のプログラム構成を図 4.1 に、システムフローチャートを図 4.2 に示す。以下各サブシステムの概要とおもなアウトプットについて説明する。

4.1 インプット (Initialization Phase)

(1) ファイルエントリーシステム

客先仕様インプットデータをオーダー番号をキーワードとして、コンピュータのディスク装置に記憶しておき、必要に応じて種々のアウトプットを出すファイルエントリー方式を採用している。ディスク上のデータは変更修正が可能であり、データを更新しながら仕様変更に対処していくことができる。

(2) 会話形式

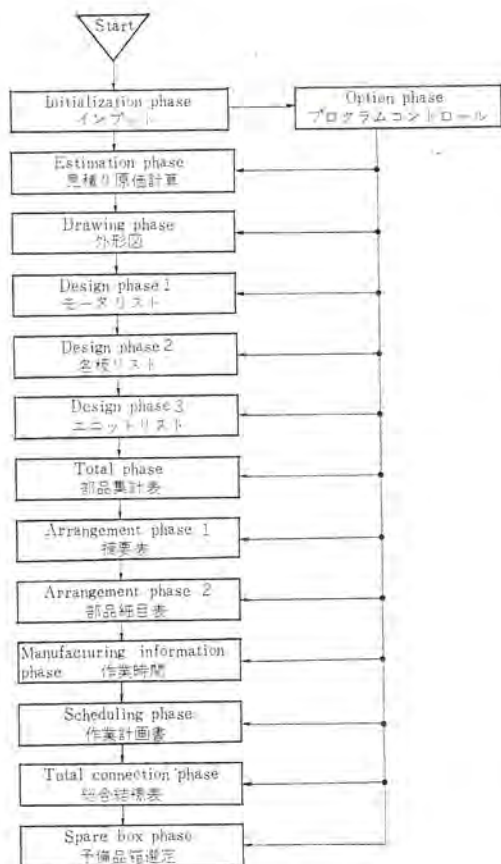


図 4.1 GSP プログラム 構成
GSP program composition.

・インプットデータのチェックはプログラムで可能なかぎり行なっているが、エラーコントロールとして次の三つのレベルを指定できる。

(a) レベル1: エラーがあれば計算を中止する。

(b) レベル2: エラーがあればコンピュータからタイプライタに質問形式のメッセージがタイプされる。オペレータがこれに答えることにより計算は続行される。

(c) レベル3: エラーがあればコンピュータは最も標準的なものとみなして処理する。ただしその旨アウトプットする。

4.2 プログラムコントロール (Option Phase)

計算経路をコントロールするフェイズで、要求されたフェイズのみ計算しアウトプットする。

4.3 見積り原価計算 (Estimation Phase)

各ユニットのスペックをインプットすることにより、ユニットごとの材料費、加工費を算出し、さらに予備品、フレームの原価を計算する。このプログラムにより見積りが正確になったと同時に応答処理も早くなった。

4.4 外形図 (Drawing Phase)

外形図はユニットの組み合わせと、各種のフレームタイプによりその変化が多様で、オーダの都度新図を書いていた。それをプロッタにより自動作図するようになり、相当な省力になった。図 4.3 に外形図のサンプルを示す。

4.5 モータリスト (Design Phase 1)

GSP の各ユニットの一覧表で、基本設計書とも言える。ユニットご

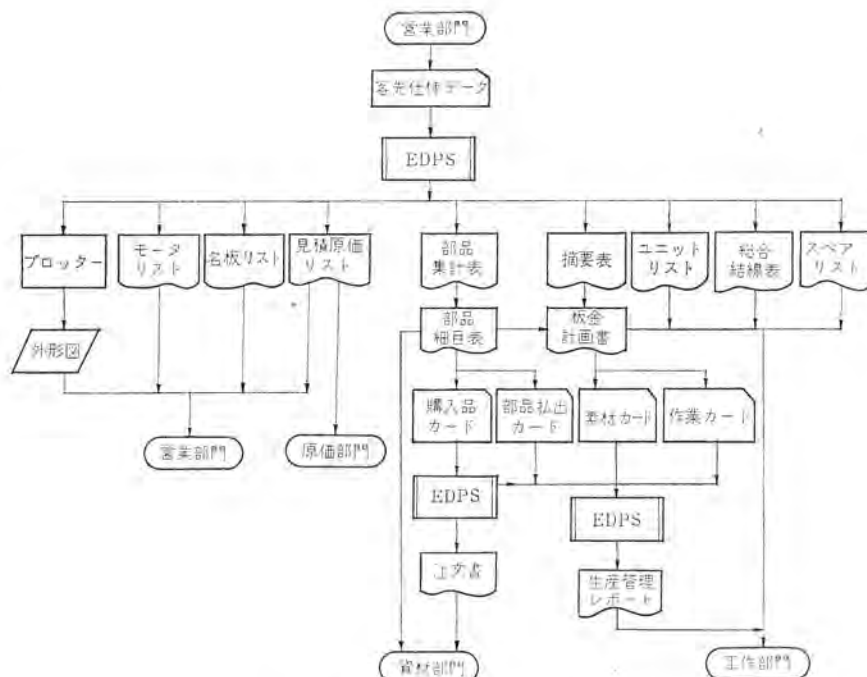


図 4.2 GSP システムフローチャート
GSP system flow chart.

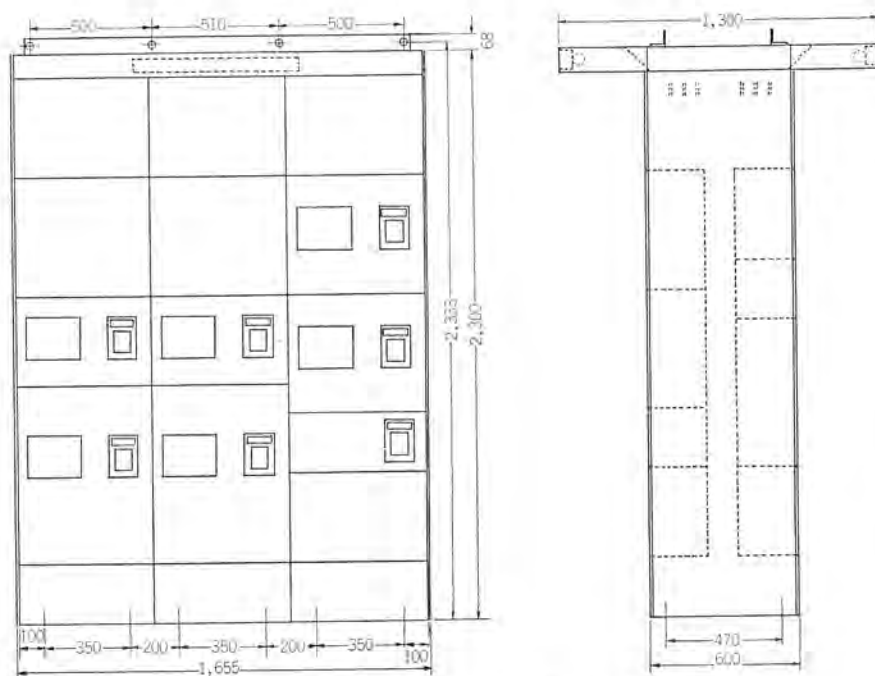


図 4.3 GSP 外形図 Outlines of GSP

とのモータ容量・電流・起動方式・結線図・メータなど主項目の一覧表であり、このリストはこのまま客先に提出され承認を得るのに使用されている。

4.6 名板リスト (Design Phase 2)

GSP ユニットの図面番号・用途名・電流など基本仕様をアウトプットしたもので、客先に提出される。また名板注文の際使用される。

4.7 ユニットリスト (Design Phase 3)

ユニットに関する諸情報をさらに詳しくアウトプットしたものである。ユニットの容量・電圧・電流のほかはそのユニットで使用される部品名・仕様・数量などをユニットごとにアウトプットする。このリストは工作用に使用される。

4.8 部品集計表 (Total Phase)

使用される部品のうち、ノーマル・ブレーカ・コンタクト・制御回路部品を全ユニットについて集計したもので、工作で部品を集めるときに使用する。

4.9 摘要表 (Arrangement Phase 1)

摘要表は従来設計で手書きされていたが、図面の標準化により、各図面はマスタファイルから抜き出せるようになった。摘要表にはすべての図面がリストアップされなければならないが、GSPのようにユニットが多いパネルでは、各ユニットの図面を集計する必要がある。図4.4に摘要表のサンプルを示す。

4.10 部品細目表 (Arrangement Phase 2)

従来は設計に必要な部品を手書きで細目表に記入していた。倉庫品細目表は工程部門へ流れて資材コードが追記され、それをキーパンチして生産管理用インプットデータが作成されていた。また購入部品細目表は購買部門に送られ注文書が作成されていた。GSPシステムでは細目表作成とともにこれらの処理をすべてコンピュータで行なうものである。図4.2のフローチャートにあるように、部品細目表と同時に払出しカード・購入品カードがパンチアウトされ、これらのカードは生産管理用のデータおよび注文書作成用データとして使用される。図4.5に部品細目表のサンプルを示す。

4.11 作業時間 (Manufacturing Information Phase)

板金加工時間を、各作業手順ごとに算出する。これらのデータは作業計画書にアウトプットされる。

4.12 作業計画書 (Scheduling Phase)

板金加工についての、作業名・作業手順・作業グループ・作業標準時間などを作業計画書としてアウトプットする。計画書の内容は別に作業カード・日程カードとしてパンチアウトされ、生産管理システムに連結される。

4.13 総合結線表 (Total Connection Phase)

ユニット内の配線はシーケンスにより行なわれるが、ユニット間の配線については、ユニット数が多いため、その配線ルートを決めるのに時間がかかっていた。このプログラムでは各ユニット間および外部中継端子との総合的な結線表をアウトプットする。

4.14 予備品表作成 (Spare Box Phase)

船用電機品には必ず予備品が必要である。これらの予備品を収納

する箱の大きさは、各予備品の体積を加算することによって選ばれる。このフェイズでは箱の選定と同時に、予備品箱摘要表・予備品細目表をアウトプットする。また従来細目表からマニュアルでタイプされていたエフ（各予備品に添付する名札）も同時に作成する。図4.6にコンピュータで作成したエフの例を示す。

5. 省力効果と今後の展望

以上のようにGSPの一連の設計手配のEDPS化により、設計部門だけでも大幅な省力効果を上げることができた。設計部門以外にも、工程・資材・計算部門に対して波及効果が大きい。しかしGSPシステムはまだ完全でなく、仕様変更や、標準外仕様に対してアウトプットの訂正処理に手間がかかっている。したがって今後の課題は客先との標準シーケンスの設定である。客先との仕様打合せに際しては、GSPシステムのインプット用紙にパラメータを記入していく形式が理想的で、大幅なスピードアップになると同時に仕様変更も減少するだろう。

6. む す び

設計手配の省力化の例としてコンピュータによるオーダー処理システムを紹介したが、GSPシステムも船用始動器盤という特定の機種の設計処理システムにすぎず、工場全体から見れば小さなサブシステムである。もともと設計はサブシステムの集合体とも考えられ、ハイアラキ（階層性）という面から見ても中間的な断片である。しかし最上層の政策決定から最下層のNC工作機械までを含めた、生産のトータルシステムの流れに調和したサブシステムであれば、十分効果を発揮できるであろうし、これらのサブシステムの集合がやがてはトータルシステムとして融合されていくものと確信する。また最近話題になっている自動設計(CAD)は人間の創造性と計算機の超人性を結びつけた、man-machineシステムであるが、今後CAD的な考え方をいかに現実の設計システムに適用していくかが、非常に重要な問題であると思う。最後にGSPシステムの開発に尽力された関係者各位に深く感謝する次第であり、GSPシステムがきっかけとなり他機種の類似システムが次々と開発されているが、やがてこれらがトータルシステムへ発展していくと信ずるものである。

Autodrafting by means of computers is now drawing attention of circles from the viewpoint of reducing the time for providing design drawings, prevention of draft errors and saving labor. It has rapidly come in prevalence.

This article introduces the outline of the autodrafting and of drawing of pattern on printed circuit boards which are in the excellent system of the Mitsubishi Electric Corporation, and also automatic working on the formation of the LSI mask original drawing. In addition, description is made on a variety of problems concerning the autodrafting and outlook on the future trend in this matter.

1. ま え が き

最近コンピュータの周辺機器は、目ざましい発展をしつつある。その中でも自動作図機 (Plotter) や自動製図機 (Drafter) は Graphic Display 装置とともに、図形情報処理機器として注目を集め、各社その活用に熱心である。これらの機器は、コンピュータによる自動設計 (CAD ; Computer Aided Design) システムを実現するにも不可欠なものであり、設計・製図時間の短縮、ミス発生の防止、省力化などの観点から、急速に広く活用されはじめた。

ここに当社のすぐれた自動設計・製図システムを紹介するとともに、自動製図の諸問題と今後の動向について概説する。

なお、ここに紹介する自動設計・製図システムの詳細とその手法についての参考文献を末尾に掲げた。

2. プリント配線板の自動設計・製図システム

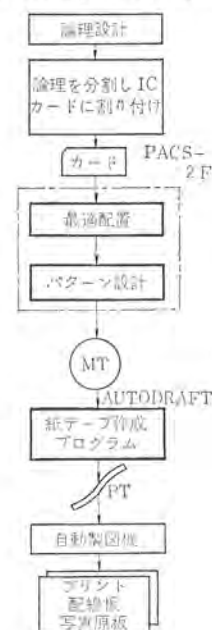
集積回路と積載するカードやカードコネクタ間の接続を与えるボードはコンピュータをはじめ通信機器・制御機器に数多く使用されている。これらのプリント配線板の設計量は年々増大する傾向にあるので、当社ではコンピュータを使った自動設計・製図システムを開発し、数年前より全社的に利用している。この種のことは各社でも、程度の差こそあるが実用されている。しかしながら、当社のシステムは手法の独自性と高速性に特長があり、そのすぐれた性能については、内外から高い評価を受けている。

システムの概略を図 2. 1 に示す。このシステムの利用者は次のデータを入力情報として与えれば、PACS-2F プログラムが積載集積回路の最適配置決定を行なった後、集積回路、その他の積載部品およびカードコネクタ相互間の最適パターンを決定する。

- (1) 表題カード： 名称，設計者名，日付など
- (2) コントロールカード： 最適配置に対する種々のオプションの指示
- (3) 実装情報カード： プリント配線盤上の配置領域，格子座標，パターン領域，集積回路のピン数とピン間隔など
- (4) 入出力端子実装情報カード： カードコネクタの位置，個数など
- (5) 接続情報カード： 集積回路端子，部品（集中定数部品）取付け穴，コネクタ端子などの相互間の接続関係
- (6) 個別部品取付け穴指定カード： 集中定数部品の取付け穴の座標を指定する
- (7) 配線ルート指定カード： 電源・接地線などは電気的性質を考慮して設計者が指定できる

(8) 優先順配線の指定カード： 配線率や電気的性能を高めるために，配線の順序指定を自由に指示できるようにしたもの

PACS-2F の結果はいったん磁気テープにとり，AUTODRAFT と呼ばれる自動製図機の入力紙テープ作成プログラムで紙テープに変換



太ワタは電子計算機による部分を示す。

図 2. 1 プリント配線板の自動設計製図手順
Process of automatic design and drawing of printed wiring base plate.



図 2. 2 自動製図機 (武藤工業社製) と制御装置 (MELDAS)
Automatic drafters and control equipment.

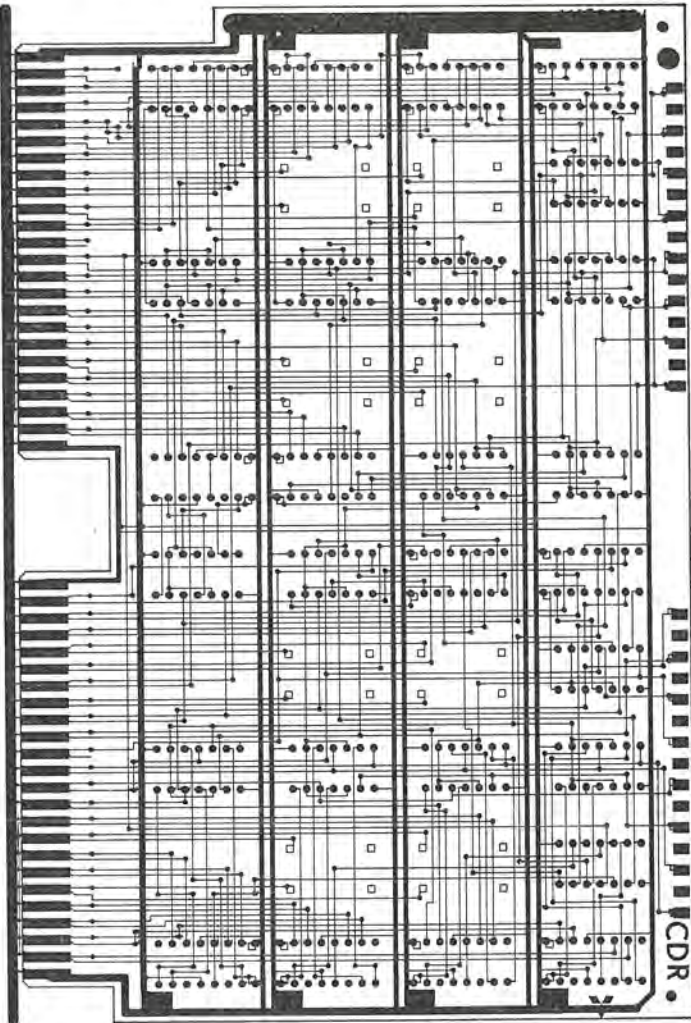


図 2.3 プリント配線板自動作図例

Example of automatic drawing of printed wiring base plate.

する。使用製図機は武藤工業のものを、制御装置には当社の MELDAS-4200 を付けたシステムと MELDAS-5200 を付けたシステムの計 2 台の自動製図機が実動している。(図 2.2 参照)

自動製図された実例を図 2.3 に示す。

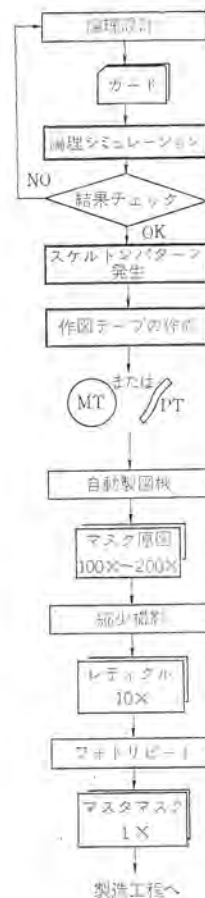
3. LSI マスク原図の自動作図

現在半導体工業において、IC は次第に LSI 化されつつあり、それに伴い設計作業は複雑化する傾向にある。従来の人手による設計作業では、もはや設計の限界を越えるまでになってきた。また半導体工業の生産競争の激化に伴い、納期の短縮、生産性向上(省力化)、品質向上が要求されるとともに、製造技術の向上とあいまって高精度のマスク原図が必要になってきた。

当社ではそれに対処すべく、数年前より CAD の思想を採り入れ電子計算機を用いた自動設計・製図システムを開発してきた。その結果、次のような効果を得ることができた。

- (1) 設計時間の短縮と省力化
- (2) 設計ミス、照査ミスの発生防止
- (3) 設計ミスの発見、修正、結果の確認の最適化、迅速化
- (4) 設計品質の向上

LSI マスク原図の自動設計・製図システムの概略を図 3.1 に示す。



太ワタは電子計算機による部分を示す。

図 3.1 LSI マスク作成手順
Process of forming LSI mask.

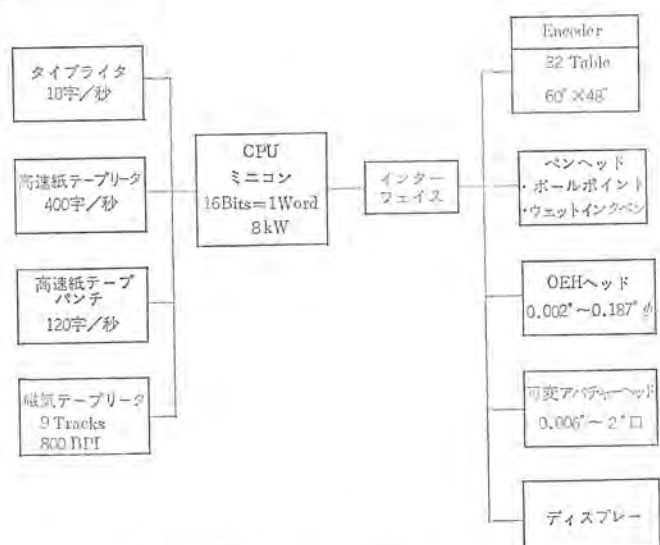


図 3.2 ガーバ自動製図機システム
GERBER automatic drafter system.

論理設計が完了すると論理式をカードにせん(穿)孔し、論理が正しいかどうか計算機でシミュレーションする。シミュレーションのレベルもワード単位、ビット単位などあるが、論理が正しいければ LSI マスクパターンを論理式をもとに計算機に自動発生させるとともに、集積密度を高めるためにパターンの最適化を行なう。そうしてできたパターンは、

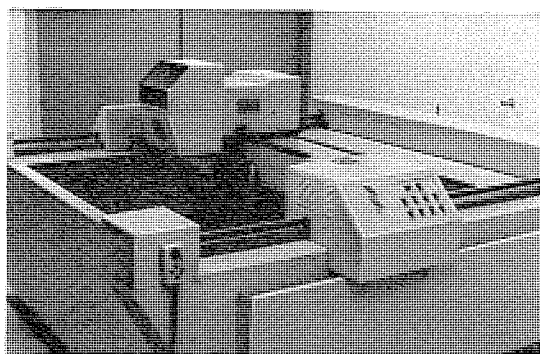


図 3.3 自動製図機 (GERBER 製)
Automatic drafter (made by GERBER).

自動製図機の入力テープに変換する。自動製図機には超精密自動製図機 (米国 GERBER 社製) を使用し、プリントパターン同様、フォトヘッドで写真フィルム上に作図していく。図 3.2 には自動製図機システムを、図 3.3 には自動製図機を示す。また作図例を図 3.4, 3.5 に示す。

4. 自動製図に伴う諸問題

現在、自動製図が行なわれているものは、比較的コンピュータ化の容易なものや、標準化やパターン化、またはそれに類する分類・整理がかなりできているものに限られていて、自動製図の本格的な実現にはまだ数多くの問題点が残されている。

以下に現在におけるおもな問題点を列挙する。

4.1 ソフトウェア上の問題点

(1) 図形判断を必要とする作図は、そのプログラムの作成がかなりむずかしい。そこでコンピュータによる自動製図の成功のポイントを図形判断要素を極力減らすことに求めなければならないが、そのためには作図対象を十分調査分析し、作図手順の確立、作図論理の定式化などはもちろん、さらにそれらの前提となる作図要素のパターン化・標準化、作図方式の標準化など、基本的な問題が解決していることが必要である。

なお、次のことは人間にとってはそうむずかしいと言うほどのことではないが、自動製図のソフトウェア技術としては、むずかしい問題の例である。

(a) 図面の大きさおよび図形の用紙上における作図位置の割付けと、作図倍率の決定

(b) 図・寸法線・文字などの相互の重なりを調べる方法

(c) 図面としての美的評価

(d) 実用できる図面かどうかの判断

(e) 透視図・断面図を作図するはん(汎)用プログラムや、Hidden Line の消去のためのアルゴリズムとプログラム化

(f) 特殊作図たとえば図 4.1 のように、任意の形状の中につけるハッチングなど

(g) 図形情報のコンピュータへのインプットの方法

(2) 文字 (漢字・かたかな・ひらがななど) とパターン作図ルーチンが完備されていない。

必要に応じて作図することは可能であるが、文字数やパターン数が多いと計算機メモリーを占有するので、その作り方の技術の良し悪しが、使い方の便・不便および計算時

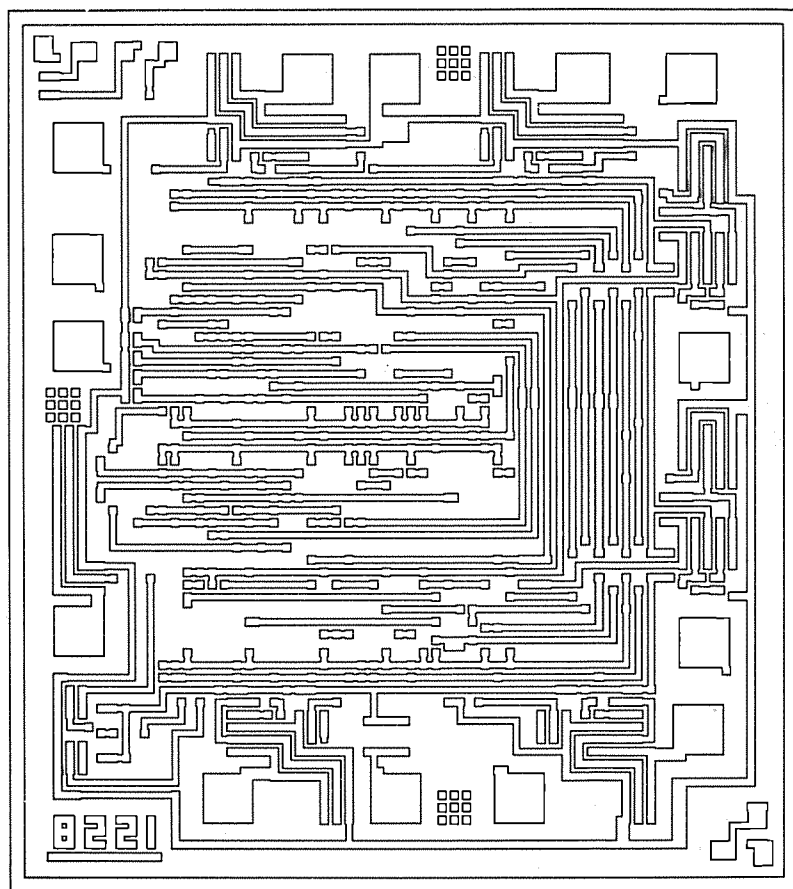


図 3.4 LSI マスク 原図自動製図例 (AI 配線)
Example of automatic working of LSI mask original drawing.

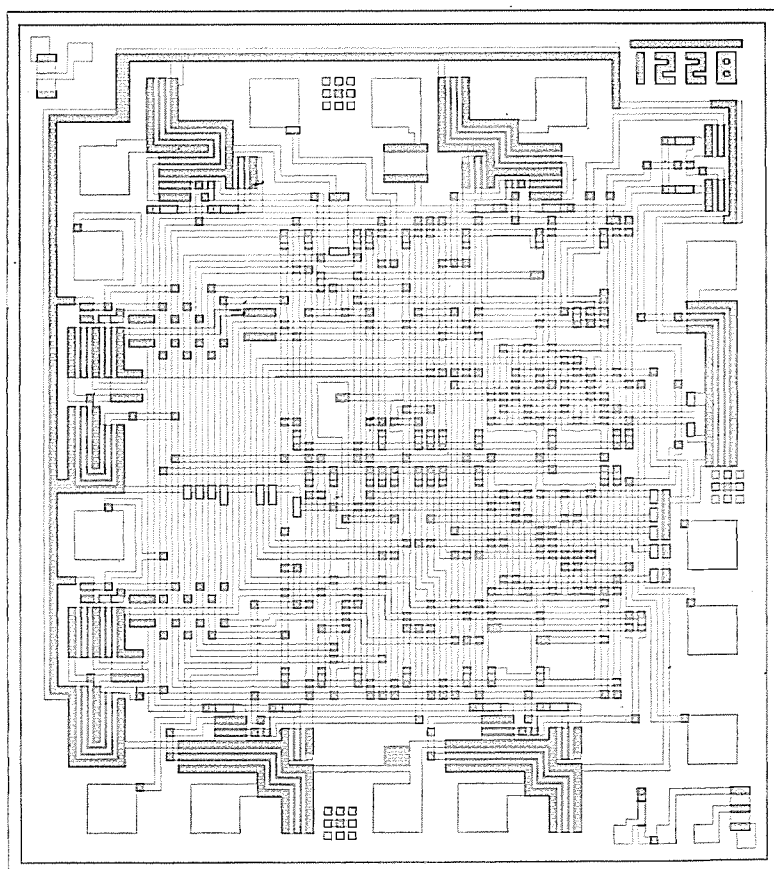


図 3.5 LSI マスクの原図自動製図例 (重ね合わせ図)
Example of automatic working of LSI mask original drawing.

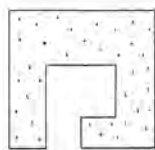
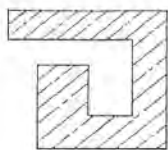


図 4.1 特殊製図例
Example of special
drawing.

間と関係して問題となる。

4.2 ハードウェア上の問題点

(1) 紙テープ入力の製図機では紙テープのパンチミス、リードミスがトラブルのなかでは多い。

磁気テープ入力の製図機は購入時の価格は高いが、磁気テープから紙テープへの変換費用を考えると、長期的にはかえって安くなる。

(2) 作図ヘッドに鉛筆が使用できないために、でき上った図面の手直しをするのに不便である。

わずかな修正にも、インプットデータを直して再度コンピュータにかけるようでは、実際のでないし、経済的でもない。ボールペンとかインクの修正液が使えるものもあるが、はたしてどれほど便利か。また、特殊用紙（たとえば武蔵工業のユニペーパーなど）を使用すれば容易に修正はできるが、用紙の価格が高いなど問題がある。

(3) ウェットペンやボールペンは、長時間使用しないと乾いてインクが出ないことが起こる。したがって、複数のペンを使う製図では各ペンを適当に交互に使用するようにプログラムをする必要がある。

(4) ウェットペン、ボールペンなどのインクの切れ、かすれを防止するためのハードウェア上の対策はない。

ソフトウェアで工夫をすれば根本的解決にはならないが、多少の効果は期待できる。

(5) 作図機 (plotter) は高速化される傾向にあるが、その作図速度に追従して作図可能なペン (インクの質) と紙質の研究が遅れている。

感熱紙を使う方法も考えられている。米国では作図機器の速度的問題から、COM (Computer Output Microfilm) を利用しているところもある。

(6) フォトヘッドでフィルムに精密作図する場合、ラウヤ製図機駆動機構のタイムラグにより、均一線が作図できない場合が起こったりする。ハードウェア、ソフトウェアで対策を講じている。

(7) 文字の作図は比較的時間がかかる。印字ヘッドを持っているものもあるが、字数に限りがあるばかりか文字の大きさが固定されてしまっているなど、満足しうるものとは言いがたい。

5. 自動製図機の新しい傾向

最近までの作図機器は、そのほとんどがデジタル制御による作図機構を使用しているため、直線補間・円弧補間・曲線補間・文字などの作図は

(1) ハードウェアで自動的にこなせるようにしておく。

(2) コンピュータソフトウェアで事前に有効線分の集合に分解しておく。

のいずれかの方法、またはそれらの併用された方法で行なっている。したがって(1)の方式のものは、価格は高いが、入力テープは情報量が少なくすすむために短くてすむが、(2)の方式のものは入力テ

ープが長くなり、コンピュータ経費も高価につくなど一長一短があった。しかし、最近では作図機器にミニコンピュータを内蔵させ、ミニコンピュータのソフトで処理する方式 (ストアードプログラム方式という) が出現してきた。この方式によると文字や作図の補間ルーチンを自由に作り変えることができるほか、ミニコンピュータとしても使えるなど、能力や融通性を飛躍的に向上させることができる。ミニコンピュータは 8kW 程度のメモリーのものを使用されている。このような変化に伴い、入力も紙テープから磁気テープに変わる傾向にある。

6. む す び

作図機器の最大の欠点は、たとえそれが ON-LINE システムであっても、Graphic Display のように対話的に使用できないことである。作図機器によって作図されるものは、ここに紹介したプリント配線パターンや LSI マスクパターンのような一部のものを除いて、美的であるかどうかという評価がたいせつな要素になる。そして、それは多くの場合、図形的判断を伴うものである。しかし現在の Digital Computer のソフトウェア技術は、コンピュータが図形情報の処理に適していないこととも関連して、図形的判断に関しては遅れている。ソフトウェア技術もおこなっているうえ、対話的にも使用できない作図機器による自動作図は、その対象の作図手順・作図論理・作図パターンなどを十分に分析・整理・標準化したものによってのみ、実現が期待されるように思われる。すなわち、図面を構成している線の粗密さや図形が単純か否かということで、自動製図の難易を論ずることはできない。旨の作図機器には、そうしたことはたいした問題ではなく、作図手順の確立、作図論理の定式化、作図パターンの標準化ができることこそが重要な事柄なのである。

なお、図形判断を伴う自動設計・製図システムとしては、Graphic Display を介した対話形システムが望ましい。また、高度な作図精度を要求しないものについては COM も将来利用されるようになるだろう。

以上、当社の自動製図の代表的実例を、概説と自動製図の問題点、動向について述べてきたが、われわれの身近には分析・整理・標準化の努力をすれば、機械化への道が案外に開けるものが多いと思われる。

最後に、資料の提供に協力された鎌倉製作所整備課の野田氏、北伊丹製作所集積回路部の木下氏に謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) 三上, 田淵, 杉本: 三菱電機技報, 43, No. 10, 1406 (昭 44)
- (2) 三上, 田淵, 杉本: IC 計算機用プリント板の自動設計方式, 昭 43 信学全大, S 2-4
- (3) 三上, 田淵, 加藤: 計算機による部品の配置設計, 昭 44 電学全大, 3229
- (4) 三上, 田淵: 計算機によるプリント配線経路の決定, 昭 42 信学全大, 974
- (5) 三上, 田淵: A Computer Program for Optical Routing of Printed Circuit Conductors, Proc. IFIP Congress, 68 (1968)
- (6) 浅川, 土屋, 中山, 加藤, 木下ほか: LSI マスク原図作成 CAD システム, 昭 45 電学全大, 2650

ディスパッチングセンタ

柴田 謹 三*

Dispatching Center

Kobe Works Kinzo SHIBATA

Examples of automatic warehousing introduced as the means of rationalizing physical distribution are now drawing attention. On a production line of a plant such as that in the heavy electric machine works of Mitsubishi Electric where each machine is to be built according to an individual customer's order, physical distribution and an information system are integrated for the purpose of rationalizing the production control and saving the labor of material handling by utilizing automatic warehousing, driverless trailers, EDP apparatus and so on. Introduction of this technique is outlined in this paper.

1. ま え が き

一般に個別受注生産工場における生産方式は、多品種少量生産ということが宿命的にさけられないところであるが、このような工場においては、生産規模の拡大とともに、取り扱う製品・部品の種類は、量産工場と比較にならないほど多様化してきている。

これを生産管理上の情報量という面からみると、取り扱う部品の種類が多くなればなるほど、これに付随する情報量は品種の数に比例して増大してきている。これがために情報管理システムはますます複雑化し、これは同時にこれを運営管理している要員の増員化の傾向に結びついてきている。

こうしたことを前提において、生産ラインにおける物の動きと、これに関する情報の管理に焦点を合わせ、自動倉庫システムとEDP機器を組合わせた、マテリアルハンドリングの機械化による省力と、情報管理の合理化を行なったのがディスパッチングセンタである。

ディスパッチングセンタは、昭和45年5月に実動以来すでに1年有余になるが、個別受注生産工場の生産ラインにおける動流システムの合理化の一例として以下にその概要を述べる。

2. 配電制御盤の生産ライン

当社神戸製作所で製作している電力、工業用各種配電制御盤の生産ラインは、図2.1に示すごとく、配電制御盤の箱体を加工するメインラインと、盤面または盤内取り付け器具、部品を製作する部品工場のサブラインより構成されている。

図2.1でみるように、メインラインは板金(銅板の切断・抜き・曲げ・溶接)、塗装、組立、試験、荷造り(梱包)、発送のラインよりなっているが、組立段階においては、盤面・盤内取り付け・収納機器として、各種開閉制御機器・継電器・計測器のほかに、種々雑多な部品が搬入、取り付けられるが、これらの器具・部品をいかに

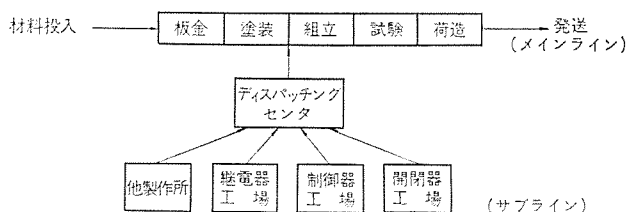


図 2.1 配電制御盤の生産ライン
Manufacturing process of switchboards and switchgear.

にうまく、もれなく取りそろえるかが、組立ラインの最重要点となっている。

ディスパッチングセンタはこのメインラインとサブラインの中間に部品倉庫をおき、両者にまたがる工程管理のセンタとすると同時に、部品の集約、仕分け配分、供給などの問題を、情報面と物流の設備面から機械化して省力化・合理化をはかったものである。

したがって、ディスパッチングセンタの機能は、オーダーメイド部品の前工場からの受入れ・仕分け・運搬・保管・払い出しなどの現品管理機能と同時に、配電制御盤の受注から出荷までの日程計画、手順計画、進捗よく(捗)管理、ストック品の在庫管理など、いわゆる工程管理機能をあわせもっており、組織上は工程管理部門に所属している。

3. ディスパッチングセンタの概要

3.1 建屋と設備

ディスパッチングセンタは配電制御盤組立工場に隣接して建設され、延面積1,600 m²、高さ20 mの高層建屋よりなっている。

部品工場からの器具・部品類の受入れ、荷さばき場は1階にあるが、払い出し側フロアは3層になっており、それぞれ組立工場の1, 2, 3階と同一レベルに合わせて、お互いの工場間を直接連絡できる

表 3.1 ディスパッチングセンタの設備機器の諸元
Specification of various items of dispatching center.

高 層 棚	た な 当 り 積 載 荷 重		500 kg, 1,000 kg
	た	な	数
スタッキング クレーン	500 kg		1,944 マス
	1,000 kg		594 マス
	定 格 荷 重 × 台 数		500 kg × 3 台, 1,000 kg × 1 台
	昇 降 速 度		最高 20 m/min
無人けん引車	走 行 速 度		最高 80 m/min
	操 作 方 式		手動運転 (A 方式) 自動運転 (C1 方式) 遠隔集中自動運転 (C2 方式)
データコレクタ	自 重		580 kg
	速 度		4 km/h
	けん引総重量		2,000 kg
	トウバスワイヤ		VSF 2 mm/mm ²
データコレクタ	80 欄カード 読取り部	カ ー ド	80 欄標準カード
		読取り速度	20 けた/秒
	バジカード 読取り部	カ ー ド	プラスチック積層板
		読取り速度	20 けた/秒
	マニユアル 設定部	カ ー ド	12 けた
		読取り速度	文字盤スライド式 固定/可変選択自由
	マニユアル 設定部	読取り速度	20 けた/秒
		けた数	15 けた

構造とした。これは部品払い出しの際のマテリアルハンドリング面で、同一フロアレベル上でのフローライン化に考慮を払ったためである。

ディスパッチングセンタの設備は、高層だな(棚)とスタッピングクレーン、無人けん引車、データコレクタおよびたな番管理だなどからなるが、そのおもな仕様を表3.1に示す。図3.1はこうした設備・機器がどのように配置されているかの概念図を示し、図3.2はディスパッチングセンタにおける部品の受入れから払い出しに至る一連のマテリアルハンドリングフローを示す。

以下図3.2のマテリアルハンドリングフローにしたがって、各設備・機器の特長を述べる。

3.2 器具・部品の受入れ

ディスパッチングセンタへの器具部品类の搬入は、図3.2に示すように工場間を定期的に巡回しているトレーラによる運搬、重量物・大物部品などを運ぶフォークリフトによる運搬、および社外から搬入される部品のトラックによる運搬の3種類の運搬方式が行なわれている。

ディスパッチングセンタの受入れ担当者は、こうした到着部品を製造番号別に仕分けをして、所定のコンテナに収納する。ディスパッチングセンタは、一般の自動倉庫にみられる品種別保管とはらず、組立工場側に払い出す工事の製造番号単位に保管・管理するシステムをとっている。

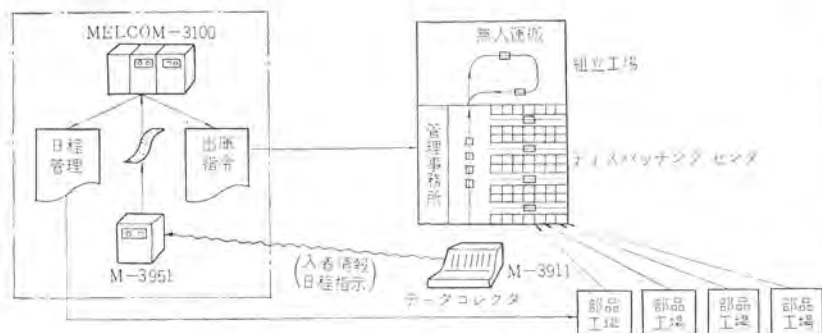


図 3.1 設備配置概念図
Configuration diagram of installation of equipment.

製造番号単位に部品を収納したコンテナは、製造番号とたなのロケーション番号と照合したうえで、ローディングステーションにセットされ、せん(穿)孔したロケーションカードを遠隔集中操作盤のカードリダに入れることにより、指示されたたなにスタッピングクレーンで自動的に格納される。図3.3は遠隔集中操作盤による運転作業を示す。

部品を格納するたなのたな番号管理は本システムの運営上、時間の経過とともに格納する部品の種類・数量がたえず変化するため、あいているたなはいつでも自由に使えるフリーロケーションシステムをとっている。一般にフリーロケーション方式は、フィックスドロケーション方式にくらべ、たなの使用効率はいいが、たな番の管理が複雑・高度になる。

ディスパッチングセンタではこのたな番の管理にふたとりの方法を併用している。

コンテナが高層だなに格納されるとただちに、いつ、どの工事の、どの部品を、何個、どこに格納したかを示す情報を、集中管理室に設置してあるデータコレクタにより、中央の計算機室へ電送する。

データコレクタは、スタッピングクレーン制御用のプラスチック製ロケーションカードをそのまま読みとれるリーダ部をもち、そのほかに部品や材料などの情報を盛込んだ80欄カードを読みとるカードリダと、日付け



図 3.3 遠隔集中操作盤 (C₂ 方式)
Centralized remote control console desk.

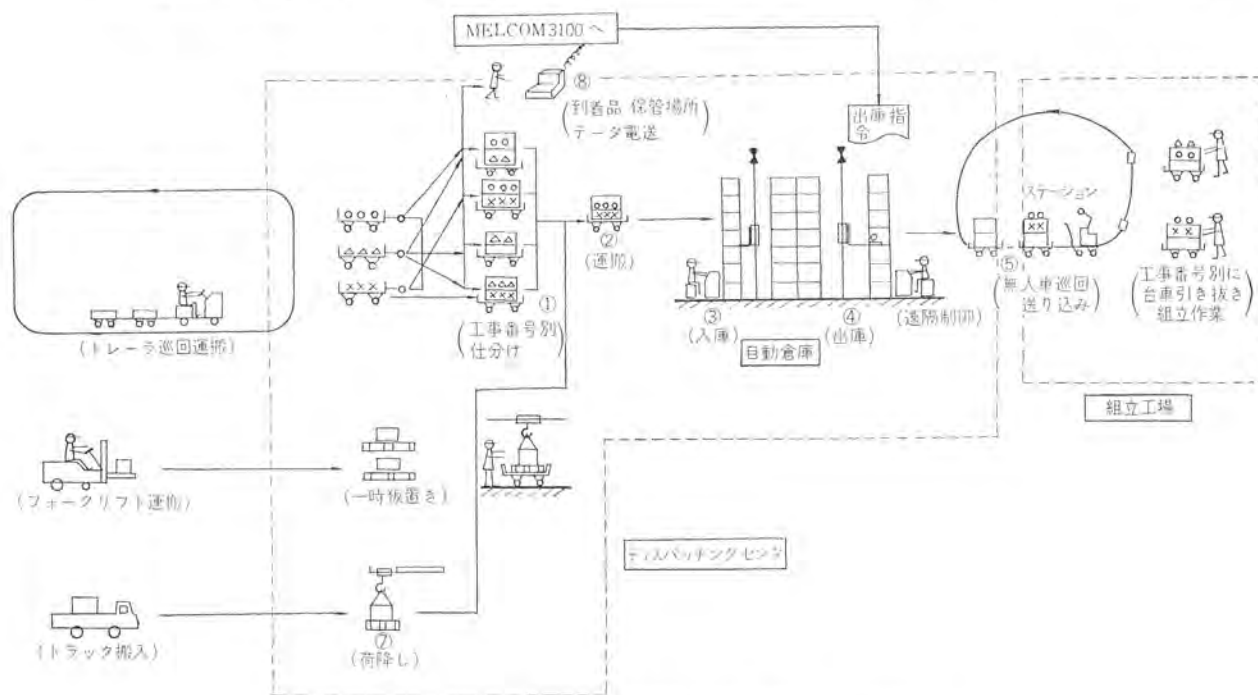


図 3.2 ディスパッチングセンタにおけるマテリアルハンドリングフロー
Material handling flow in dispatching center.

や入着部品数量など、たえず数値の変動する情報は、送信者が任意にセットできる、マニュアルキーより構成されている。図 3.4 はデータ電送作業の例を示す。

こうして電送された情報をもとに、計算機の部品ファイルの中では、製造番号・部品名・保管ロケーションのお互いの関係付けがされて、ファイルメンテナンスされている。これらの部品入着情報は、あとでの日程管理システムのインプット情報として、重要な役割りを果している。

一方ディスパッチングセンタ 集中管理室には、どの工事のどの部品が、どのたなに保管されているかが一目でわかるよう、図 3.5 に示すようなカードベアを設置して、ロケーションカードと部品カードを一諸にして常時保管管理している。これはあきだなの検索を容易に行なうためと、中央の計算機の部品ファイルに記録されている情報がなんらかの原因により誤まった情報として記録されていた場合のチェック、ならびに緊急時の入出庫作業用として用意されている。

3.3 スタッキングクレーンと運転操作方式

一般に自動倉庫のスタッキングクレーンには人間が機上で運転する手動方式と、数台のクレーンを同時に無人運転する遠隔集中自動方式と、この中間をゆく半自動または自動方式がある。また機能別分類により、ピッキング形式とフォーク操作形式があるが、そのいずれを選択するかは、取り扱う品物の特性、荷姿、システム全体としての経済性などから決定される。ディスパッチングセンタの例では、たな番管理方式としてフリーロケーション方式を前提とした、製造番号別部品管理システムをとっていることと、ハンドリングの省力化という見地から、フォーク操作方式のスタッキングクレーンによる、自動運転方式(C₁、C₂方式)を採用した。

ディスパッチングセンタは組立工場の生産ラインに直結しているため、も



図 3.4 データコレクタ
Data collector.



図 3.5 たな番管理用カードベア
Kard-veyer.

しスタッキングクレーンが長時間故障した場合は、生産ラインの工程に重大な支障をきたすおそれがある。

こうした不測の事故を未然に防ぐとともに、万一故障の起きたときには、ただちに即応体制のとれるよう、クレーンの運転操作方式については、遠隔集中自動運転(C₂方式)のほかに、クレーン1台ごとに独立して運転できる自動運転方式(C₁方式)、および人間の機上操作による手動運転方式(A方式)を採用し、3段構えのバックアップシステムをとっている。

図 3.6 は C₁ 方式による自動運転操作を示すが、この方式での運転指令は、入出庫のモード選択とロケーション番号を、クレーン本体に装置されている自動設定盤上にマニュアルでプリセットすることにより行なわれ、起動ボタンを押せばクレーンは自動的に入出庫作業を行なう。

自動設定盤への運転指令はクレーンの運転1サイクルごとにその都度行なう。この運転方式はクレーンへの運転指示と、入出庫の荷さばき作業を同一作業員で実施できるため、緊急時や他のスタッキングクレーンが故障または保守点検しているときの入出庫作業に使用される。

3.4 部品の払い出し

組立工場への部品の払い出し日程が最終的に確認決定されると、ディスパッチングセンタの管理事務所にあるデータコレクタにより、どの工事の部品を、何月何日、どのワークステーションに払い出すかという情報として中央の計算機室へ電送される。



図 3.6 自動設定盤(C₁方式)
Command console for automatic control.



図 3.7 無人けん引車
Driverless trailer.

組立工場への部品の払い出し日の前日になると、計算機室では、部品送り込み指示リストとクレーンオペレータ用のスタッキングクレーン運転指示リストを発行して、ディスパッチングセンタへ送付する。

クレーンのオペレータは運転指示リストにより所定のロケーションカードを選択し、遠隔集中操作盤のカードリダにそう入してクレーンの自動運転を行なう。

出庫されたコンテナは、出庫口にセットされている台車上に自動的にローディングされる。

ディスパッチングセンタの各フロアには無人けん引車が配置されており、各フロアの台車上に在庫されたコンテナは、部品送り込み指示リストに記載されている、送り先のワークステーションコード順に整列させて無人けん引車に接続する。無人けん引車の行き先ボタンを所定の送り先ステーションにセットして起動ボタンを押すと、無人けん引車は指示されたワークステーションまで自走し、目的地点に到着すると自動停止して警笛を鳴らす。組立工場側の各ワークステーションの作業者は該当するコンテナ台車をはずし、同時に無人けん引車の起動ボタンをリセットすると、ふたたび無人けん引車は次の目的地点へ向って自走する。

無人けん引車の進路には、VSF 2mm/mm² のトウパスワイヤが、通路にそって埋設してあり、無人けん引車はこのトウパスワイヤからの発信磁界を検知、追跡しながら自走する構造となっている。

図 3. 7 は無人けん引車によるコンテナ台車の運搬状況を示す。

4. 情報システムと EDP 機器

当社ではすでに昭和 44 年来、SIGMA 計画 (Single Information Systems for General Management Activities) の名のもとに、経営情報システムの確立と、機械化を目指して全社的に推進中であるが、本情報システムも SIGMA 計画の一環として、取り上げられたものである。

配電制御盤の受注から出荷までの生産サイクルは、図 4. 1 のようなパターンで表わされる。SIGMA 計画の中ではこうした仕事の流れを、生産管理面から図 4. 2 に示すように六つの局面にわけ、これを次のようによんでいる。

4. 1 PHASE-1 大日程管理システム

図 4. 2 に示すように、大日程管理システムは、配電制御盤の受注から出荷までの 12 点の主要日程 (チェックポイント) の指示、および変更・訂正を行なうシステムである。12 点のチェックポイントは製造番号ごとに、受注会議の席上決められ、コンピュータの大日程ファイルにイ

ンプットされる。

もしなんらかの理由でチェックポイントの日程が変更された場合には、大日程を管理しているディスパッチングセンタの管理事務所から、データコレクタを利用して計算機室に変更情報が送信される。計算機室では、各端末機から送られてきた情報をもとにして、大日程ファイルのデリーメンテナンス処理を行なっている。

4. 2 PHASE-2 工作情報システム

設計部門から出図された設計情報を、生産準備部門で工作情報に変換するシステムである。

ディスパッチングセンタに送り込まれる予定の部品の情報は、この段階でコンピュータの部品ファイルにインプットされ記憶される。Phase-4 の進ちょく管理は主としてこの部品ファイルの中の情報を中心にして行なわれる。

もし設計部門から器具・部品の追加、訂正、取り消しなどの情報が充合され、緊急の手配を必要とする場合には、生産準備部門の事務所に設置してあるシステムタイプライタにより、即刻製造現場に対して変更指示をするとともに、同時に作成されたせん孔紙テープが計算機室に送られ、部品ファイルのデリーファイルメンテナンス処理が行なわれる。

4. 3 PHASE-3 部品入庫管理システム

部品工場から他製作所から搬入された器具・部品をディスパッチングセンタで受入れ、仕分け・保管・払出しするまでの管理システムが、図 3. 4 は受入れた部品の入着情報をデータコレクタにより、電送している状況を示す。

計算機室ではディスパッチングセンタその他の工場から送られてくる部品の発送、入着情報をもとに部品ファイルの消し込みを行なう。

大日程ファイルの中のある製造番号の工事が、組立着工日になると、部品ファイルとつき合わせて情報検索を行ない、組立工場への部品送り込みリストと、スタッキングクレーン運転指示リストとして印刷されディスパッチングセンタに送られる。ディスパッチングセンタでの処理は 3. 2 節で述べたとおりである。表 4. 1 にスタッキングクレーン運転指示リストの例を示す。

4. 4 PHASE-4 部品進ちょく管理システム

配電制御盤の組立作業の前工程である、部品工場に対する部品の予告・督促を行なうシステムである。

このシステムでは部品工場側がディスパッチングセンタへの部品の送り込みの準備体制をととのえるため、組立着工日が 2、3 週間先までの予定の工事に使用する部品の工期予告を行なうことができるように

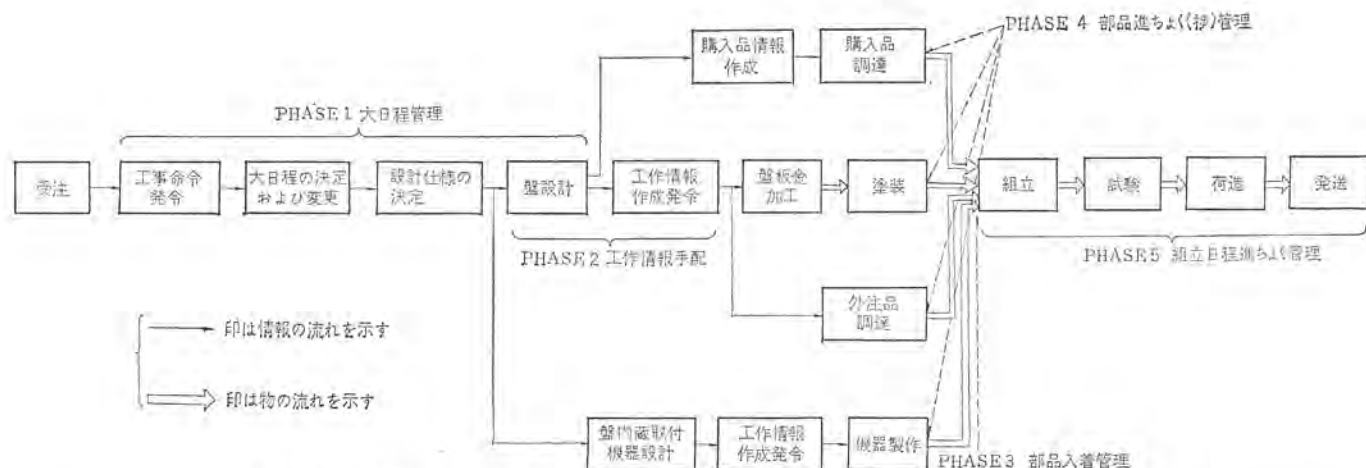


図 4. 1 配電制御盤の生産サイクル Production cycle of switchboard and switchgear.

なっている。また組立作業が開始されているにもかかわらず、未入の部品がある場合は督促リストを定期的に発行して、前工場の進ちょく管理を行なう。

4.5 PHASE-5 組立日程管理システム

このPHASEは組立着工日の決定から、出荷までの日程進ちょく管理システムである。組立着工日は12点のチェックポイントの一つであ

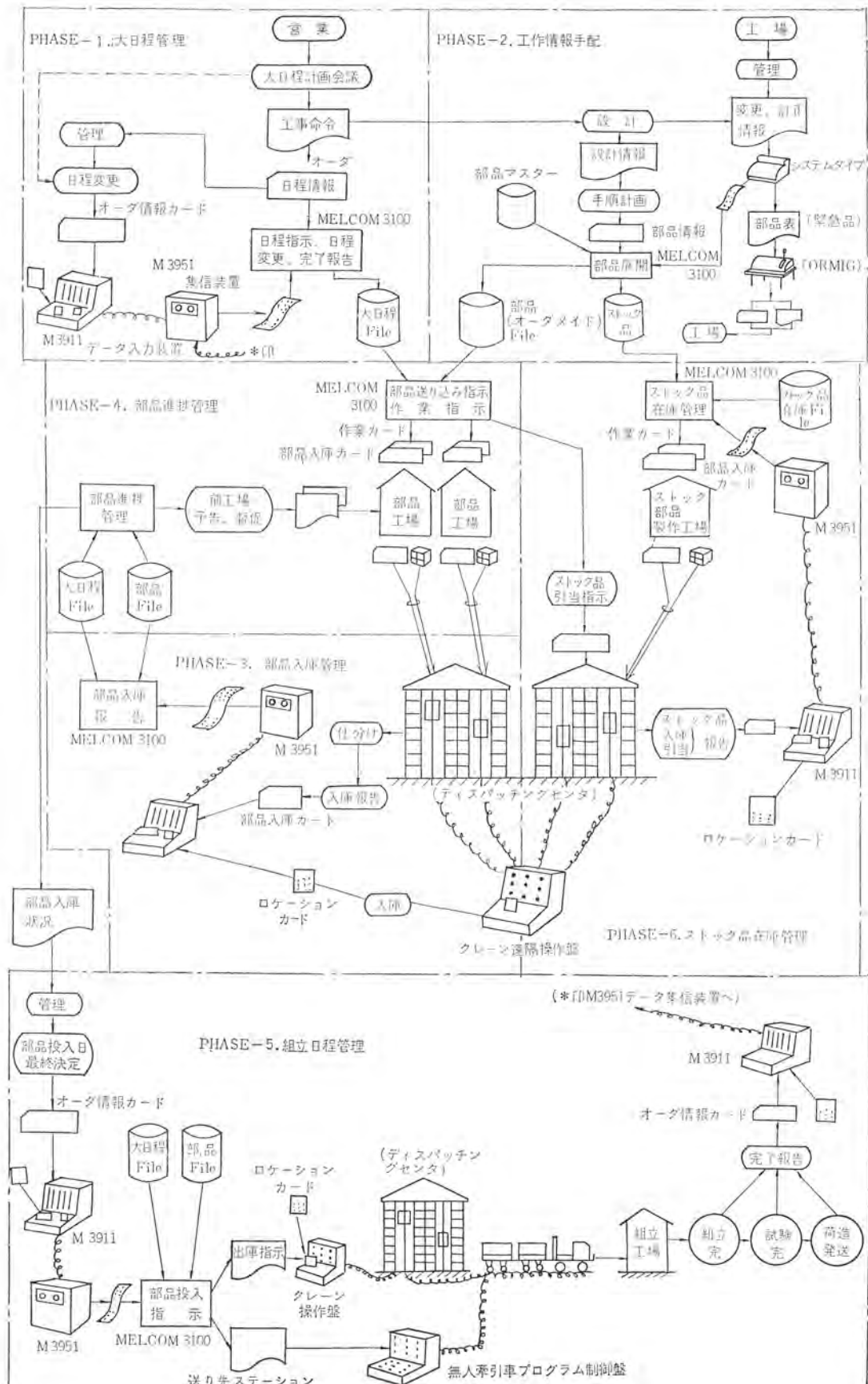


図 4.2 ディスパッチングセンタを中心とした生産管理システムフロー
Information control system of dispatching center.

表 4.1 スタッキングクレーン 運転指示 リスト Stacking crane operation list for operator.

(スタッククレーン 運転指示 リスト)
STACKER-CRANE OPERATION LIST(リスト作成日)
DATE 44-11-17

OPERATION DATE 44-11-18

ORDER	(送り先) ASSY-SHOP FLOOR-STATION	CRANE	LOCATION			
A 12345	1-01	1	10-01-01	10-02-03	10-01-02	10-01-03
			10-14-12	11-27-10		
		2	20-01-01	20-11-05	21-13-01	21-13-02
		3	31-05-12			
B 12345	1-04	4	40-11-03	40-12-03	40-12-04	
		1	11-26-01	11-26-02		
		2	20-04-02	20-04-03	20-04-04	21-01-01
			21-02-01	21-03-01		
C 11111	2-02	3	30-20-12	31-13-01	31-10-10	
		4	40-07-05	40-08-05	40-08-06	41-08-06
		2	21-11-11	21-20-19		
		3	30-01-10	30-01-11	30-01-12	
D 10000	2-05	4	40-03-05	40-03-06	41-25-11	
		1	10-15-09	10-15-10	10-15-11	
		2	20-20-02	21-20-03	21-20-04	
		3	31-11-11			
A 10000	3-03	4	40-01-01	40-01-02	40-01-03	
		1	11-05-11	11-05-12		
		3	30-01-11			
		4	40-17-07	40-18-07	41-18-07	41-18-08
B 10000	3-08	1	10-09-12			
		2	20-19-03	20-19-04		
		3	31-11-01	31-12-01		
		4	40-03-03	40-04-03	40-05-03	44-06-03

るが、これは配電制御盤の組立作業の場合、組立着工日の適否は、組立工場のフロアスペースの回転率と組立作業能率に大きな影響を与えるからである。

組立着工予定日の一定期日前になると自動的にコンピュータにより、該当工事の部品の入着状況を示すリストが作成され、ディスパッチングセンタに送付される。組立作業の責任者と工事進ちょく者両者により、組立スケジュール、および部品入着状況から判断して、予定どおり組立着工するか、あるいは日程変更するか最終取り決めを行なう。この結果をもとにして、部品送り込み日、作業班、送り込み先ワークステーションなどの情報をデータコレクタを使って計算機室へ電送する。着工日がくれば、PHASE-3で述べた方法により、部品は組立工場へ払い出される。

組立以降の大日程のチェックポイントの完了報告は同様にデータコレクタによりデイリーに行なわれる。

なお、データコレクタを利用して部品の入着状況、たなへの保管状況などを任意に問い合わせることのできるトランザクション処理もこのシステムでは可能である。

4.6 ストック品在庫管理システム

ディスパッチングセンタには、オーダーメイド部品のほかに、共通部品として使用可能なストック品が1,000品種あまり保管されているが、PHASE-6は、こうしたストック品の発注・受入れ・引き当て・在庫調整などを行なう在庫管理システムである。

現品ストック品関係については、半固定式の現品だなに品種別に保管して、コンピュータからのストック品の引き当て指示表に従って、人が巡回しながらマニュアルピッキングを行なっている。

以上の六つのPHASEを通じてのEDPシステムの特長を列挙すると、

(1) 個別受注生産工場では、日程・仕様の変更はどうしても避けられないという前提にたって、日程変更・訂正の手続きには弾力性をもたせたシステムとしたこと。

(2) ただしこの処理にタイムラグを生じないように、日程変更にはデータコレクタ、仕様変更にはシステムタイプライタなどを導入し、情報処理の迅速化をはかったこと。

(3) 組立スペースの回転率向上をねらいとして、着工日管理の原則をうち出したこと。

(4) 計算機室にあるデータバンクともいうべき部品ファイルの中の情報を任意に引出し、問合わせができるシステムとしたこと。

(5) 物の動きに関する情報の信頼度を高めるため、データ収集機器を工場現場に配置するとともに、保管部品のロケーション管理を徹底するシステムとしたこと。

などである。

5. む す び

ディスパッチングセンタは実動後すでに1年余になるが、実際にシステムを運営してみて、設備面ではクレーンの運転、たな番管理、仕分けラインなどを総合したトータルシステムとしてみると、まだ省力化の余地は残されている。

エレクトロニクス技術の進歩とともにミニコンピュータによる計算機制御の応用など、今後の課題として取り組んでゆきたい。

最後にディスパッチングセンタの計画・実施にあたりご指導、ご協力をいただいた、社内外の関係各位に深く謝意を表する。

参 考 文 献

(1) 佐竹、中野、伊藤：三菱電機技報 44, 1,327 (昭45)

加工・組立自動化の動向

菰 原 智*

Recent Trends of Automated Manufacturing

Manufacturing Development Laboratory Satoru HAGIHARA

To meet the present keen international competition and to export excellent products, rational production must be worked on by any means. Considerable rise of wages following the economical growth of the country makes it necessary to take up automatic operation and labor saving to cut down the cost. This paper covers various subjects in reference to the above: discussion is made on the present state of rationalization and labor saving and future trend in the manufacturing industry such as Mitsubishi Electric. Introduction is made on the study of individual automated technique involving machining and assembling, and through the machines developed by the Manufacturing Development Laboratory, observation is made on the present conditions and estimated future that all apparatus would be computer controlled. And it is introduced that in the future the unmanned factory which produces divers products would be realized by integrating individual automated technique. Thus estimated goals would be reached by human knowledge.

1. ま え が き

わが国の経済成長のスピードは、世界史に類例をみない高いものであり、過去10年の国民総生産の年間平均成長率は12%という西欧先進国の2~2.5倍の値を示した。一方工業生産は、昭和40年の不況をくぐり抜けて以後増加のピッチを上げ、この5年間にほぼ倍増している。輸出の増加は、昭和39年を転機として、工業生産のスピードを追い越し、最近のスピードの原因を分析した結果はつぎのように言われている⁽¹⁾。まず工業の技術的進歩があり、その生産力が強化され、この生産力の増加につれて海外輸出が工業生産の拡大をリードしている。この間に国民的消費は、はじめ低いペースでのちに着々と増えているが、そのピッチがおそい。このような経済的・社会的環境の中で、当社のような組立産業がいかに生産の合理化を進めるかが多くの問題を含んでいる。この10年間に当社の企業規模は拡大につぐ拡大をつづけ、また企業間競争はし(熾)烈なものとなってきた。単に国内のみならず、わが国経済の高度成長に対する国際的圧力による資本・貿易の自由化が促進されて、国際的なものとなってきた。一方、企業規模の拡大は、若年労働力の需要集中を招いたが、人口構成上これらの供給層は縮小しており、さらに高学歴化が重なって、労働力不足は深刻な問題となった。また、経済規模の拡大と労働力不足は、賃金の上昇となって現れ、企業を取り巻く環境は、まことにきびしいものになった。

このような中で、生産性の向上とコストの低減を図って、企業間競争に打ち勝つには、従来の生産形態では行詰りが生じてくるのは明らかで、生産の自動化・省力化が急務となってきた。これらは従来から進められていたが、大部分は、部品加工の段階までであり、しかも機械化しやすいもの、多量に生産されるものに限られていた。自動化・省力化は、このような範囲を越えて、生産のあらゆる部門にわたって要請されるに至った。

当社においては、昭和41年ごろから各事業部・製作所で生産の自動化・省力化が推進されはじめ、さらに昭和42年に至って、全社的に積極的に取り組まれることになった。

すなわち、受注・生産計画・設計・材料手配・部品加工・組立・マテリアルズハンドリング・試験調整・倉入れ、および出荷といった生産システム全般において、それぞれ個別の自動化はもちろんのこと、生産管理や倉庫の自動化・省力化が計画された。このうち、生産管理

や設計、あるいは倉庫の自動化は、電子計算機を主役として進められ、また部品加工では、自動化プレスラインや数値制御工作機の導入が図られた。しかし、従来、人間の勘や経験、器用さや繊細な感覚、寸法の大小や数量の多少にかかわらず対処できるフレキシビリティなどに頼ってきた作業、すなわち、組立・マテリアルズハンドリングおよび試験調整などの自動化・省力化は、まったく遅れており、独自に新しい装置を開発する必要が生じてきた。

このような全社的な動きに対して、昭和43年8月、中央研究所に自動化機械の開発グループが構成され、昭和44年には、材料加工の技術部門もあわせて生産機器研究部が新設されて、中央研究所に初めて生産技術の研究開発部門が生まれた。さらに翌昭和45年8月、この研究部を中心に生産技術研究所が発足した。新研究所は、本社管理部門および、各事業部・製作所と協力して、自動化・省力化機器の開発・製造、および加工技術の開発・応用を行ない、生産性の向上、コストの低減、利益の増大に寄与することを基本任務としている。

研究所における自動化・省力化機器の開発担当部門は、グループが初めて編成されて以来、組立、マテリアルズハンドリングおよび試験調整の自動化・省力化を中心に新しい装置の開発と製造を進め、各事業部・製作所の生産性の向上、コストの低減に寄与してきた。

本文は生産技術研究所で開発・製造された装置のうち、代表的なものを二、三あげながら、自動化の現状と将来の生産工場の動向について記してみる。

2. 加工の近代化

素材を加工変形して部品を製作する作業を分類すると、下記のように実に多種多様な方法がある。

- 付着加工
 - 溶接加工 (アーク溶接・抵抗溶接・圧接・ロー付け)
 - 盛金加工 (加熱盛金・電着・溶射)
- 変形加工
 - 溶解加工 (鋳造・ダイカスト)
 - 焼結加工
 - 塑性加工 (鍛造・圧延・引抜き・冷間鍛造・プレス・転造)
- 除去加工
 - 切削加工 (旋削・中ぐり・平削り・フライス・ブローチ)
 - と(砥)石・と粒加工 (研削・ホーン・ラップ)
 - 特殊加工 (化学研磨・電解加工・放電加工・レーザ加工・電子ビーム加工)

* 生産技術研究所(工博)

ここでは個々の加工法の技術的研究問題や、今後の合理化の傾向はそれぞれの専門家にまかせて、工場の無人化・省力化への観点からながめてみる。

2.1 溶接加工

アーク溶接機や抵抗溶接機の取り扱い、従来、熟練した作業によって行われてきたが、これらの装置の自動化・半自動化が急速に進んでいる。その自動化率は昭和43年に抵抗溶接機で60%を越え、アーク溶接機で40%近い値を示している⁽²⁾。自動車産業や造船工場におけるこの種の要求が高く、最近では溶接線の自動検出や、溶接部の状態の判別を行ない、溶接条件を制御するという高級なものまでが考えられている。量産品の溶接については、大形の専用機を作ることによって繰返し作業は、プログラムで行なえる機械が多く開発された。しかし自動溶接の場合は溶接部の位置が機械加工部品ほど高い精度でないために、NCの応用ではうまく行かないのが欠点である。したがって上に述べたような検出器や運動制御装置との組み合わせによる方式が考えられており、当研究所でも磁気テープによるプレイバック方式、機械的・光学的な溶接線方向の検出器を用いた自動溶接機の開発を進めている。

2.2 溶解加工

鋳造工場の近代化はすでに実現されつつあり、従来的人力による作業のほとんどが無人化されている⁽³⁾。鍛造工場でもトランスファの鍛造機が並び、むずかしいハンドリングの一部が人力に依存するのが現状である。プラスチック成形加工・ダイカストマシンなどでは、従来手作業を必要とした製品の取り出しなどが、ハンドリング装置につぎつぎとおきかえられ、1人で数台の機械を操作するような状態になっている。

2.3 塑性加工

打抜き、折曲げ等の板材のプレス加工は、トランスファプレスの発達によって著しく高速化された。材料の供給取り出し作業も自動化され、テープ材の供給によってプレスの自動化が実現した。パイプ加工や、電気製品のコイル成形などに見られる線材の折れ曲げ加工も、プログラム制御や、NC装置を応用し自動制御加工⁽⁴⁾機ができています。

2.4 機械加工

切削加工の領域は、急速なNC化が進み、一方では化学加工・放電加工などの特殊加工の分野では、新しい加工技術が進歩している。今後はレーザー・電子ビーム・超音波・マイクロ波などの新しい物理加工法が発達する可能性が秘められている。

2.5 NC工作機械

旋盤・モーリング・ボール盤などの数値制御化、いわゆるNC化はめざましい。米国とわが国のNC機械の売上台数を比べると、米国では、昭和40年に年間2,000台を越えたが、わが国では41年に90台、以後毎年倍増している。台数の点では、米国に接近したが、単体の価額の点ではまだまだ大きく開いている。米国では、5軸制御NC機が実用化されており、マシニングセンタの工具交換を制御して数倍の生産性を上げるような機械がすでにある。これらははん用、工作機の数倍の生産性を持ち、10人、20人という作業者を1人の作業者に置きかえている。

2.6 NCの群管理システム

英国のモーリス社が開発したシステム24は、タバコ製造機や包装機の部品製作のための機械加工ライン⁽⁵⁾で、6台のNCマシンで、1日に2万個の部品の製作が可能である。その省力性能については、作業時間で従来の工作に比べ1/50、1個のコストは1/5、熟練作業者

は320人から16人に減少し、ラインの全人数も363人から48人に減少している。ライン全体はオンライン計算機によって工程計画がたてられ、日程計画のカードが作られると、オンライン制御の計算機によって、NC工作機群が運転されることになる。

このような計算機に直結したNC工作機群は、製品の工場滞留時間を極度に減少させてくれるためにも大いに効果が出る。米国ウエスチングハウス社の会長バーナム氏は、つぎのような例を述べている⁽⁶⁾。W社のCharlotteの新タービン工場では、テープ制御の機械、ラジコンのクレーン、計算機に直結した記録システムなどによって、15年前の機械で同じ製品を作っているLesterの工場に比べて、生産性では25%高い能率を出し、在庫量では35%少ない成果を上げた。このように在庫を減らすためには、製品がもっと早く工場を通過するように、モダンな、巧妙な、高価なシステム、運転、セットアップ、待ち時間やマテハンを減少する設備など、新しい最適な設備に投資する必要がある。

3. 組立自動化の現状と将来

3.1 組立自動化の要求

部品加工の自動化は、NC工作機や自動盤、塑性加工機械の発達によって急速に合理化されたが、組立の自動化は最近その緒についた段階である。部品加工に比べると、組立作業は次のような特長があり、自動化を遅らせてきた原因である⁽⁷⁾。

(1) 取り扱う部品点数が多く、工程のあとのほうにあり、製品設計の変更の影響をうけやすい。

(2) 種類が多く1機種当たりの生産が少ない。

(3) 組立作業に、こまかな感覚や器用さが要求され、人間の視覚や、触覚の助けをかりて組立作業を行ってきた。

(4) 機械のメカニズムが動作手順から考えてかなり複雑になる。

(5) 一般に力が必要としないが、紙やゴム布などの形の定まらない、やわらかな物まで扱うことが多い。

(6) 部品の誤差が集積され、部品精度が自動化の成否を左右する。

以上のごとく組立の自動化は部品加工に比べて困難な点が多く、一面では人手による組立のほうが融通性があり、生産設備の投資効果の点で問題があったが、賃金上昇と生産性の向上の二面から急速な発展を要求されるようになった。

3.2 自動組立機の実例

自動組立機の例としてよく紹介されるものに、アメリカのギルマン社が作った、パーカのボールペンやキャップの組立機や、オランダのフィリップス社が開発したテレビ用プリント基板への部品自動そう入機がある。そのほか、ウエスチングハウス社のサーキットブレーカ消弧装置組立機など、いずれも10年以上前に完成したものである。

当研究所でも過去数年、社内用に多くの自動組立機を開発してきたが、それらの名前を列挙すると下記のようなものがある。

- (a) 変圧器ワッシャへの自動カルタはり付け機
- (b) 電磁接触器の全自動組立機
- (c) テレビ用プリント基板へのピン端子自動そう入機
- (d) テレビ用プリント基板への抵抗自動そう入機
- (e) テレビ用コイルボビン組立機
- (f) テレビ用高周波コイルの巻線処理機
- (g) 斜交布自動はり合わせ機械

これらの機械は、NC制御装置を用いた自動位置決めで、多数

の部品を組付けるものが多いのが特長である。また部品点数の多い組立機としては、電磁接触器の組立があり、4台のインデクスマシンを並べた総組立のラインであるのが特長である。現在計画を進められているものは、積算電力計・ブレーカ・ディストリビュータなど、月産数万台以上のもので、部品点数の多いものはいくつかある。

3.3 組立自動化の条件

自動組立機は、いずれも多量に生産する量産品が、多量の同型品を一つに組立てる作業の場合に自動化がしやすいのであって、組立自動化のための適当な条件は現在ではほぼつぎのようにいわれている⁽⁷⁾。

- (1) 部品として最低4個以上を組立てるもの
- (2) 年間生産台数50万以上のもの
- (3) 現行作業に8人以上の人手を要しているもの

このような作業を完全自動化する前の段階で、シグナリゼーション・動力化・半自動化を試み、人間の手作業による部分を含んだ半自動機でも、生産効率が上がれば設備費用の点を考えると、はるかに有利な場合が多い。

3.4 自動組立機設計上の要点

自動組立機は専用機であるため、生産販売をするメカは少なく、いずれもオーダメイドの形となるため、多くの企業は社内にその開発生産の能力をもっている⁽⁸⁾。しかも自動機のコストはそれを使って製造する製品のコストに直接影響するため自動機の開発製造に使える費用はおのずから制限されており、合理的な設計を計画して行かなければならない。また自動組立機は製品の設計変更に弱いため、早期に陳腐化するリスクがたねにつきまといっている。

したがって専用機でありながらも、モデルチェンジに適応できるフレキシブルなはん用機の特長も要求される。この矛盾する二つの要請を解決する方法の一つとして、自動組立機の標準化が進められている⁽⁹⁾。シチズン時計が、SYNECTONの商品名で出しているのが一例である。これらは自動組立機の主要な構成要素を標準化して、これらの中から適当な種類を選んで組み合わせることによって、自動組立機とするもので、はん用機の組み合わせで専用機を構成する方式である。現在当研究所でもこの点についてはインデクスター、アタチュエータ、センサなどの部品の標準化などを試みているが本質的には、計算機の応用によるフレキシブルな組立機の開発が将来の目標になると考えている。

3.5 自動組立機のための製品設計の改善

自動組立機の標準化をはかり、機械の開発にフレキシビリティをもたせると同時に、一方、製品の設計は自動組立機にかかりやすいものに改良されていく必要がある。その内容は、部品の整列送りをしやすくするための改善、分離をしやすくするための改善、供給組付けをしやすくするための改善、部品供給自由度の統一、部品精度と組立コストの調和などの点からなされている。これは精機学会自動組立専門委員会⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾が各社における事例を集めて公表しており、今後自動組立の設計に多くの示唆を与えるものである。

3.6 自動組立の動向

通産省が技術としての自動組立の重要性を考慮して、行政施策の基礎資料を得るために行なった実態調査の結果⁽¹²⁾をみると、わが国のこの方面の投資が急速に増加することが予想される。過去3年間の実績では45年140億円と、前年度に比べ倍増しており、しかも多ステージの大形組立機への投資が急増している。この種の産業は輸送機器と、電気機械メカがその85%を占めている。今後3年の傾

向としても600億円程度が予想されている。つぎに自動組立機を自社製作か、メカから購入するかについては、自社製作が購入の2倍であり、今後もこの傾向がつづく集計となっている。組立機の性能としては、組立部品数3~6個の機械が50%を占めているが、部品数16個以上の大形機も8%あり、大形化の傾向は見られる。

当社製品の場合、月産10万個を越える機種には今後積極的に完全自動組立ラインの計画が進められるが、1万個程度のモデル数の多い機種の場合にいろいろな方式が考えられる。従来のタクトコンベートの手作業の方式を、フリーサイクル方式に改めたり、作業者の主体性を尊重した管理方式をもったLanco方式、Igeima方式⁽¹³⁾など組立ラインの合理化が考えられる。3.5節に述べた設計の改善によりモデル数の統一をはかり、同形生産量を増して自動化へ進むことも考えられよう。自動組立機については、組立機の標準化を進める一方、計算機による制御の導入により機械のフレキシビリティを増すと同時に故障の判断から予測までも行なえるような方式が今後は開発されることが期待される。これによって組立ラインの実働率の向上と無人化がいつそう促進されると考えられる。

4. 試験調整やハンドリングの自動化

4.1 試験調整の自動化

組立の自動化のつぎにくるものは、調整・試験作業の自動化である。この種の作業は、人間の認識による判断をとまなうため、一般に自動化しにくい。最近では各種の試験機測定器が発達し、これらの測定値を電氣的に読取り、記録・記憶することが容易になってきたため、自動化が急速に進んでいる。従来アナログ量で示された測定値も、容易にデジタル化され、計算機のメモリーへたくわえられるようになり、種々の記憶が行なわれ、あらかじめプログラムが組まれていれば、その場で計算処理し、答を試験成績書へ印字してくれることも可能である。このような能力は、主として計算機の発達によるもので、従来多くの人によって行なわれた調整試験の作業は、設備を投入するだけでほとんどの作業を自動化することができるようになった。

いままでに当研究所で開発した自動調整試験機の例をしるすと、つぎのようなものがある。

- (a) テレビ用高周波コイル自動同調調整機
- (b) テレビ用フライバックトランス自動チェック
- (c) IC、トランジスタの各種自動試験分類機
- (d) 積算電力計の自動減磁装置や自動試験調整機
- (e) ラジオ用プリント回路基板の故障発見機

この種試験機の問題点は、計算機の導入活用が最も重要な点となる。とりあえずは、調整試験ラインにオンラインで小形計算機を導入し測定記録・換算・記録作成という仕事を行なわせていき、さらに高度な作業、フレキシブルな作業へと広げられていくことが予想される。

4.2 ハンドリングの自動化

素材から、荷造りされた完成品まで、工場の生産ラインを流れている品物について、ハンドリングはつねにつきまといっている。当社には鉄鋼業や造船所のような大形なハンドリングは少ないが、家庭電器の工場でもハンドリングのために多くの人手を要している。コンベヤライン・無人カー・ロボットなどの各種のハンドリング機器が多数開発されているが、おのおのその所を得てはじめて能力を発揮するものであり、性能にマッチした使用場所が問題となる。逆にいえば、ある生産ラインの特定個所に適した最良のハンドリング装置は、はん用の機器では

なかなか適当なものが得られない。当研究所でも、古くは原子力用マニピュレータを開発した技術を応用して、大容量は1,000 kgの操作をするパワーマニピュレータから、小は数gの部品を持運ぶマニピュレータまで、各種のハンドリング装置を手がけてきた。これらの実例を示す。

- (a) 機械式原子力用 マスタスレイブ マニピュレータ
- (b) 電動式 パワーマニピュレータ 容量 500 kg
- (c) 双動形電子制御 マスタスレイブ マニピュレータ
- (d) 油圧制御 パワーマニピュレータ 容量 100 kg
- (e) 変圧器鉄心自動積用 マニピュレータ
- (f) ノッチングプレス への ローダアンローダ
- (g) コンベヤライン 乗換え用 ハンドラ
- (h) 空気圧利用 シャフトハンドラ
- (i) 冷蔵庫板金ライン への金具供給用 マニピュレータ
- (j) 自動組立機における各種部品供給用 マニピュレータ

この種のマニピュレータは、いずれも動作を起こす動力源と、これを制御する制御装置からできており、単純な繰返し作業を行なっているが、将来は、種々の検出部をもって、その指令に従って動くか、計算機のような判断力のある指令に従ってフレキシブルに動く形態に移っていくことが考えられる。現在、当所で開発を進めているものには、計算機の指令で従来のプログラム形のマニピュレータを任意に指令変更できる形式のものと、NC旋盤の加工ラインで材料のそう入と、仕上げ成品の取り出し、格納を種々の条件を判断してその指令で動くマニピュレータを開発している。これらは将来の無人工場の一環として重要な役割を演ずるだろう。

5. 工場の自動化・無人化への挑戦

当社のような組立を主体とする生産工場を一つのシステムとして見ると、図5.1のような生産システムが考えられる。この工場を省力化・無人化をしていくためには、個々の構成要素、一つずつの合理化を集めていく必要がある。すでに2, 3, 4章の各章に述べたように個々の構成要素は、計算機の導入によって着々と理想の方向へ進められていることが明らかである。そこで初めに標準品の多量生産をする場合の無人化について考えてみよう。

5.1 加工・組立・試験を含めたラインの自動化

設計の標準化ができてきている多量生産ラインの合理化は、現在すでに各種の機種で試みられている。たとえば標準電動機の製造工場などはその例であろう。一方から素材をそう入すれば、機械加工ラインを通して部品が組立ラインに流れ、自動組立・試験をすませて包

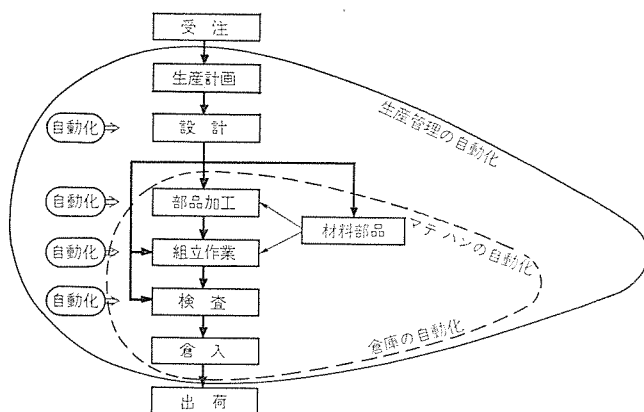


図 5.1 機械製造業の生産システム
Production system of machine manufacturer.

装出荷という形態をとり、おのおののライン間を結ぶハンドリングにも自動化ができ、しかも計算機の制御によって製造機械の運転を監視制御するならばまったく無人の工場も夢ではないことになる。しかし現実はまだまだこれにほど遠く、実際には加工ライン一つにしても社内や社外での生産が混在し、途中でのハンドリングも多くは人手にたよっている状態である。

昨年W社で自動車用ランプの製造機を見ることができたが、この機械の特長は、つぎのような点にあった。従来この種の管球生産は、ガラス球・ガラス管・導入線・タングステンフィラメント・口金などの部品をいくつかの個別の機械で製作して、それを部分組立し、最後に組み合わせて総組立をし、試験をして完成となる。しかるにこの新しい機械は、個別の機能をもつ機械を集めて、一つの複合機の形にまとめあげてあり、おのおのの加工・組立機械は直線形の搬送装置で結ばれ、なおその間に部分的な機械のダウンをバックアップするため、途中工程の製品をストックするストックヤードを持っていた。個別に構成された機械間のハンドリングが皆無であり、素材を入れさえすれば完成品が出るという一つのプラントのような自動機であり、このような型こそ一つの無人工場の形だと考えられた。

5.2 多種少量生産の自動化

同一製品機種の中でも多くの種類をもち、複雑な仕様を要求される多種少量生産の工場は製造の立場からだけ考えれば、標準化を進めて同一形態の機種に集めてもらうことを望むが、顧客の立場にすればもっとも使用に適した性能を要求したくなる。このような要求に対し、モジュールプロダクションの方式や、さらに進んでIntegrated Manufacturing System (IMS) という概念が計算機の応用につれて考えられるに至った。IMSのシステムは図5.1に示すシステムを内部でフィードバックしたクローズドシステムで、入力製品の種類とコンセプトであり、出力が完成品である。このシステムは、多様な機能をプログラムの変更によって容易に実現できるプログラマブルな自動化と、セルフオプティマイジングによって自動化しうるポテンシャルをもつものである。

顧客の要望にあったオーダーメイドの製品をレディメイドで生産するような自動化した工場の例とし、W社の中形変圧器の新しいサウスポート工場がある。この工場はモダンマニファクチャリング⁽¹⁵⁾誌の1970年度、トップテンプラントに選ばれた新鋭工場で、500 kVAから5,000 kVAまでの変圧器を500人の従業員で日に20台以上生産し、計算機によって管理運営されている。顧客の要求に対し、計算機によって変圧器の設計が行なわれる。製造のコントロールは、工場内に設けられた24のターミナルからリアルタイムに情報を中央計算機に戻して工程管理を行ない、あらゆる機種が流れていても材料の供給から製品の完成までが監視されている。一方工場の中には独創的な多くの自動機が開発されて配列されており、その間を結ぶマテリアルハンドリングには、合理化と自動化が行なわれ、工場の南側から材料が入り、北側から完成品が積出されるというすばらしいものである。

計算機の応用が、製品設計の多様化に大きな影響をおよぼしつつあり、今後各種の加工組立の自動機が計算機の応用によって、フレキシビリティのあるものに変われば、いっそう無人化に近づくことが期待される。

6. むすび

今までに述べたことから結論としてつぎのことが言えよう。今後の生産の形態は多量生産にしろ、多種少量生産にしろ計算機を中心

としたシステムになっていくだろう。また、加工・組立・ハンドリング・試験調整など、個々の製造設備、機械装置の運転制御も計算機によって制御されるフレキシブルな機能を持つものになるだろう。これらの製造設備によって、部品の多様化がはかられる多種少量生産の可能なシステムが発達すれば、多様化した顧客の要求に即応する生産工場の実現は可能になる。

現在の時点でこのような機能をもつ無人工場の実現はむずかしいかもしれないが、上述の自動化の機械装置、一つ一つについての開発能力をそろえ、十分な技術的蓄積ができたうえで、新工場建設の機会をとらえて真に近代的な製造工場の完成を試みる事ができよう。このような工場実現のために努力することがわれわれ自動化機器の開発にたずさわる者にとって大きな理想である。

(昭和46-8-19受付)

参 考 文 献

- (1) 大内ほか：日本経済図説，第5版，岩波新書（昭45）
- (2) 吉岡：省力と自動化のための溶接機の動向，機械学誌，73-616, 111（昭45）
- (3) 千々岩：最近の鋳物工場のレイアウト，機械学誌，73-614, 309（昭45）
- (4) 山崎ほか：三菱電機技報，45, No. 4, 534（昭46）
- (5) 研野：省力化の世界の動向，未来研究，4月号，15（昭45）
- (6) D. C. Burnham：Productivity Improvement, PRODUCTION, 81（1970-8）
- (7) 谷口ほか：組立自動化とその体系，機械学誌，70-585, 1,423（昭42）
- (8) J. J. BENS：Automatic Assembly, Machine Design, 193（1969-3）
- (9) 春田：標準化された自動組立機，精密機械，36-6, 432（昭45）
- (10) 加藤：精密機器における自動組立のための製品設計の改善，精密機械，35-10, 678（昭44）
- (11) 谷口：自動組立のための製品設計改善例，精密機械，36-4, 298（昭45）
- (12) 自動組立技術の実績と成長性をさぐる，省力と自動化，99（昭46-8）
- (13) 深沢：ヨーロッパにおける自動組立の動向，精密機械，36-9, 589（昭45）
- (14) デザインオートメーションの技術動向，日本電子工業振興協会，109（昭46）
- (15) A 1970 Top Ten Plant, Modern Manufacturing, 89（1970-5）

大形工作機械の数値制御装置

桑原 晴義*・玉井 明*・是田 規之*
弘中 一光**・金子 敏夫*・佐藤 毅*

Numerical Controllers for Large Machine Tools

Mitsubishi Heavy Ind., Ltd., Hiroshima Machine Tool Works

Haruyoshi KUWABARA・Akira TAMAI

Noriyuki KORETA

Mitsubishi Electric Corp., Manufacturing Development Laboratory

Kazumitsu HIRONAKA

Mitsubishi Electric Corp., Kamakura Works

Toshio KANEKO・Tsuyoshi SATO

Recent large machine tools are demanded to have rational operation combining the function of standard machines and that of responding the needs for multifarious objectives. To meet the requirement, cooperation was made from the very beginning between the side of machine tool manufacturers and that of NC. Thus efforts were kept on to work out large numerical controllers having NC function peculiar to large machine tools. Now information has been obtained on the working result in connection with the group of large machine tools such as Mitsubishi "machining center Diamatic series", "MAF series" and "Planomatic series". The article is a report on this matter.

1. ま え が き

NC 工作機械の普及につれ、NC および工作機械ともに高性能で多様性を備えたものが要求されるようになってきている。とくに、大形工作機械では、あら削りの場合は精度が悪くとも強力切削できるように高剛性、高速が要求され、精密加工には多少能率は悪くとも、精度のよい機械が要求される。また大量生産用としては、価格は高くともむしろ切削性能、すなわち高速、高能率の NC 機械が望まれている。このような要求の多様化に対処するため、標準機としての性能とともに、モジュール構造によって使用目的に沿った機能のみを持たせ、不必要な機能を付与しない合理的な機械を生産するねらいで、三菱重工業広島精機では NC と結合しうる一連の大形工作機械を完成した。

NC と工作機械とが一つの系を構成させるには、NC 側と工作機械側とともに、互いにその系の性能を支配している要素を理解することが肝要である。このたび三菱電機は三菱重工広島精機製作所の計画にそって、大形 NC 工作機械として NC 機能にとくに必要な特殊機能の開発をすすめるとともに、繰返し位置決め精度の向上対策として、大形工作機械特有の問題点を補償する新たな考案によるデュアルフィードバック方式 (DFB 方式) を開発し、高精度で安定確実な作動をさせることに成功した。

これらの特殊機能を付与した大形 NC 工作機械として、三菱マシニングセンタ：ダイヤモンドシリーズ、三菱フライス・中ぐり複合工作機械：MAF シリーズ、三菱ガントリー形プラノミラー：プラノマチックシリーズなどのが(除)働実績を得たので、ここにその概要を紹介する。

2. 三菱マシニングセンタ

三菱マシニングセンタ：ダイヤモンドシリーズは、中・大形ワークを対象として、高精度かつ広範囲の作業をカバーする強力・高能率の本格的マシニングセンタである。

ダイヤモンドシリーズには 10, 12, 15 の各形式があり、それぞれ大きさに最適の構造と機能を持ち、豊富な選択仕様を備えてユーザのワークや加工の内容に対して最も適した仕様を選択できる体制をととの

えている。

自動工具交換装置 (ATC) はテーブル No. 50 シャンクとしては最大重量 30 kg までの工具を迅速、確実に交換する。

各形式とも数値制御装置の選択により、位置決め直線切削加工用の MPA 形と、連続切削加工用の MCA 形の 2 種がある。

2.1 ダイヤマチック MPA および MCA-10

テーブルタイプ 横形主軸で、中形部品の加工に適する。全案内面にローペアリング、送りにボールスクリーンを採用し、すぐれた起動特性と耐切削力を有している。主軸頭は両側にコラムを配したセンタヘッド形式で、テーブルの近寄りによる据り方式のため 7.5 kW の主軸出力に達する強力切削が全回転域にわたって可能である。

テーブルは 1,000 kg のワークを積載することができ、90° ごとまたは 5° ごとの割出しには精度の高いことで定評のあるカーブコップリングを用いている。

2.2 ダイヤマチック MPA および MCA-12

X 軸コラムトラベル形を採用し、モジュール構造によって選択仕様を豊富に備えている。案内面、送りねじは 10 形と同様に全軸ころがり面とし、連続切削を前提として設計しているため、NC 機として要求される動特性や剛性がすぐれている。

主軸頭はマシニングセンタとしては他に例のない中ぐり主軸を有し、工具レイアウトを容易にするとともに、短い工具が使用できることにより、より強力切削を可能にする利点もある。オプションとして中ぐり主軸を持たない高速形主軸頭 (25~2,500 rpm) もあり、いずれも室温追従オイルクーリングを採用して熱変位を僅少に抑えている。なお主軸は回転中の自動変速も可能である。

ロータリテーブルは 0.001° 単位の任意角度位置決めができ、さらに、直角、反転作業における位置決め精度をよりシビアに確保するため、0° および 90° ごとの 4 位置ではロックピン 2 本が併用できる。また連続回転送りによるロータリミリングも可能で、積載荷重は 8,000 kg まで許容される。

自動機としてより重要な切りくず(屑)処理についても十分に配慮し、切りくずを切削箇所から直接コンベヤ上に落とし、直ちに機外に搬出する構造をとっている。

* 三菱重工(株)広島精機製作所 ** 三菱電機(株)生産技術研究所

1342 * 三菱電機(株)鎌倉製作所

2.3 ダイヤマチック MPA および MCA-15

大形フロア形横中ぐり盤を基調にしたもので、ロータリーテーブルを付加することでより威力を発揮する。

各案内面はハイドロベアリングを採用し、しゅう(指)動抵抗の少ない

安定した運動が得られ、コラム送りはウォームラック、主軸頭送りはボールスクリーンを採用して、おのの十分な負荷能力と応答性を有する。

ダイヤマチックシリーズは数値制御装置および自動工具交換装置による全自動機として、マン・マシンの有機的つながりを果たすべく各種表

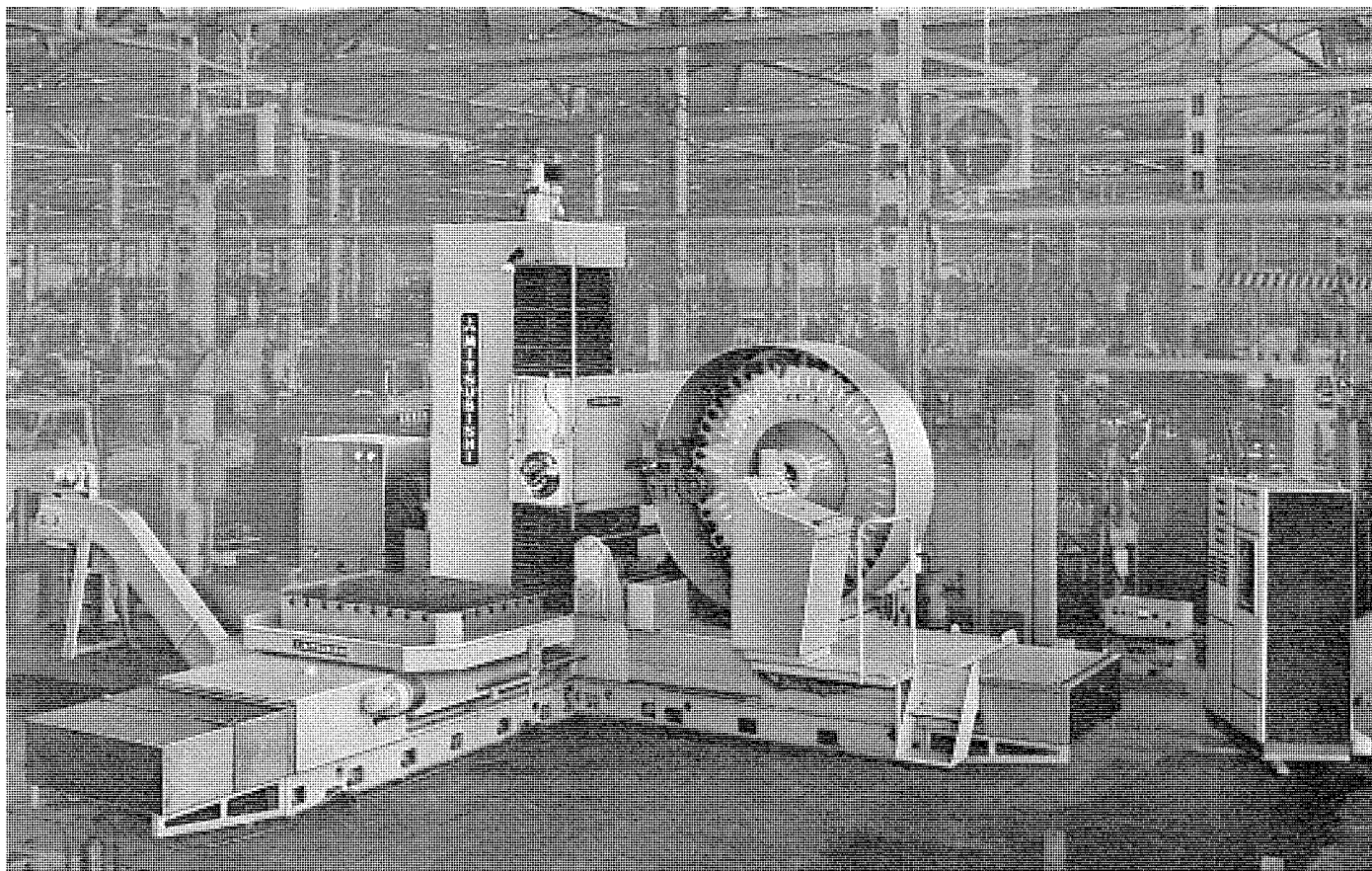


図 2.1 三菱 マシニングセンタダイヤマチック MPA-12 Mitsubishi machining center "Diamatic MPA-12".

表 2.1 三菱 マシニングセンタダイヤマチック シリーズ 仕様一覧表

List of the specification of Mitsubishi machining center Diamatic series.

() は選択仕様を示す

項 目	MPA-10 MCA	MPA-12 MCA	MPA-15 MCA
テーブル作業面積	800×710 (1,000×710)	1,600×1,250 (1,400×1,400) (1,400×1,250) (1,250×1,250)	(2,000×2,000)
各軸移動量			
X 軸	テーブル 840 (1,040)	コラム 1,800	コラム 3,500 (3,500 以上)
Y 軸	主軸頭 800 (1,040)	主軸頭 1,250 (1,600)	主軸頭 2,200 (3,000)
Z 軸	テーブルサドル 630	中ぐり主軸 500	中ぐり主軸 1,000
W 軸	—	テーブル 1,250	(テーブル 1,000)
B 軸	テーブル割出し 90°×4 (5°×72)	テーブル回転 360°	(テーブル回転 360°)
各軸の送り速度	5~999 mm/min	0.1~2,000 mm/min	5~999 mm/min
各軸の早送り速度	4,800 mm/min	4,800 mm/min	4,800 mm/min
主軸径 (フライス主軸)	100	180	200
主軸径 (中ぐり主軸)	—	125	150
主軸端	JIS B-6101 No. 50	JIS B-6101 No. 50	JIS B-6101 No. 50
主軸回転数	36 S 40~2,400 rpm (30~1,800 rpm)	41 S 12~1,250 rpm (41 S 25~2,500 rpm)	21 S 10~1,200 rpm
主軸出力	7.5 kW	18 kW	18/22 kW
テーブル積載重量	1,000 kg	8,000 kg	(7,500 kg)
自動工具交換装置			
工具収納数	24 本 (36 本)	48 本 (36 本)	48 本 (36 本)
工具の大きさ (最大)	200 φ×500 L	250 φ×500 L	300 φ×500 L
工具の重量 (最大)	30 kg	30 kg	30 kg
工具選択方式	ツールボット No. 方式 (コードキー方式)	ツールボット No. 方式 (コードキー方式)	ツールボット No. 方式 (コードキー方式)
機械総重量 (標準仕様 ATC 付き)	15,000 kg	41,000 kg	54,000 kg (テーブル含む)
適用 NC 装置	MELDAS 4200 MELDAS 5220 MELDAS 5240	MELDAS 4200 MELDAS 5220 MELDAS 5240	MELDAS 4200 MELDAS 5220 MELDAS 5240

示装置、警報を完備し、機械の状態を知ってトラブルシューティング、メンテナンスが容易であることも、モジュール構造のメリットとして生きている。

3. 三菱フライスおよび中ぐり複合作業機

三菱フライス・中ぐり複合作業機の MAF シリーズは、剛性の高いヘッドストックの繰り出しと、豊富なアタッチメント、ロータリテーブルの装着によって、大形ワークを高効率、かつ高精度に加工する床上形横フライス・中ぐり複合作業機として、一貫した設計思想のもとに開発されたものである。

本シリーズ機には、MAF 200/135、340/225 の形式があり、それぞれ大きさに最適の構造と機能を持ち、標準機としての威力を発揮しているが、NC 装置、自動工具交換装置を装備することにより、複合作業機としての機能をさらに高め、大形マシニングセンタにもなりうる。

各形式とも、NC 装置の選択により、位置決め、直線切削、連続切削が可能である。

以下、本シリーズ機の代表的特長を紹介する。

(1) 主軸方向に移動可能なヘッドストック移動形構造

クイル、ラム形構造に比較して、断面寸法の大きい箱形構造で、きわめて剛性が高いので、長い繰り出しとともに、高精度、かつ強力重切削が可能である。また、広い前面プレートには、クイル、ラム構造

ではなし得ない大形アタッチメントの装着が可能で、複合作業性を高めている。

(2) 大出力、高トルクによる重切削

主軸用直流電動機は、レオナード制御方式で、主軸を無段変速する

表 3.1 三菱フライス・中ぐり複合作業機 MAF シリーズ 標準機仕様一覧表

List of standard specification of Mitsubishi horizontal boring and milling machine "MAF series".

項 目	形 式	MAF 200/135	MAF 340/225
ミリング主軸径		200 mm	340 mm
ボーリング主軸径		135 mm	225 mm
ボーリング主軸端テーパ		JIS B-6101 No. 50	JIS B-6101 No. 60
主軸回転数 (無段変速)		4~800 rpm	1~450 rpm
主軸出力		DC 30/37 kW	DC 75/90 kW
高速軸回転数		16~3,400 rpm	50~2,300 rpm
サファイア軸回転数		2~170 rpm	0.5~225 rpm
ヘッドストック断面寸法		535×710 mm	1,050×1,260 mm
各軸移動量			
X 軸 (コラム)		6,000 mm	10,000 mm
Y 軸 (サドル)		3,000 mm	5,000 mm
Z 軸 (ヘッドストック)		600 mm	1,300 mm
W 軸 (ボーリングスピンドル)		1,000 mm	1,800 mm
各軸送り速度			
切削送り速度 (無段変速)		1~3,000 mm/min	0.4~4,000 mm/min
早送り速度		4,000 mm/min	4,000 mm/min
機械重量		50 t	210 t
適用 NC 装置		MELDAS 3200 MELDAS 5240	MELDAS 3200 MELDAS 5240

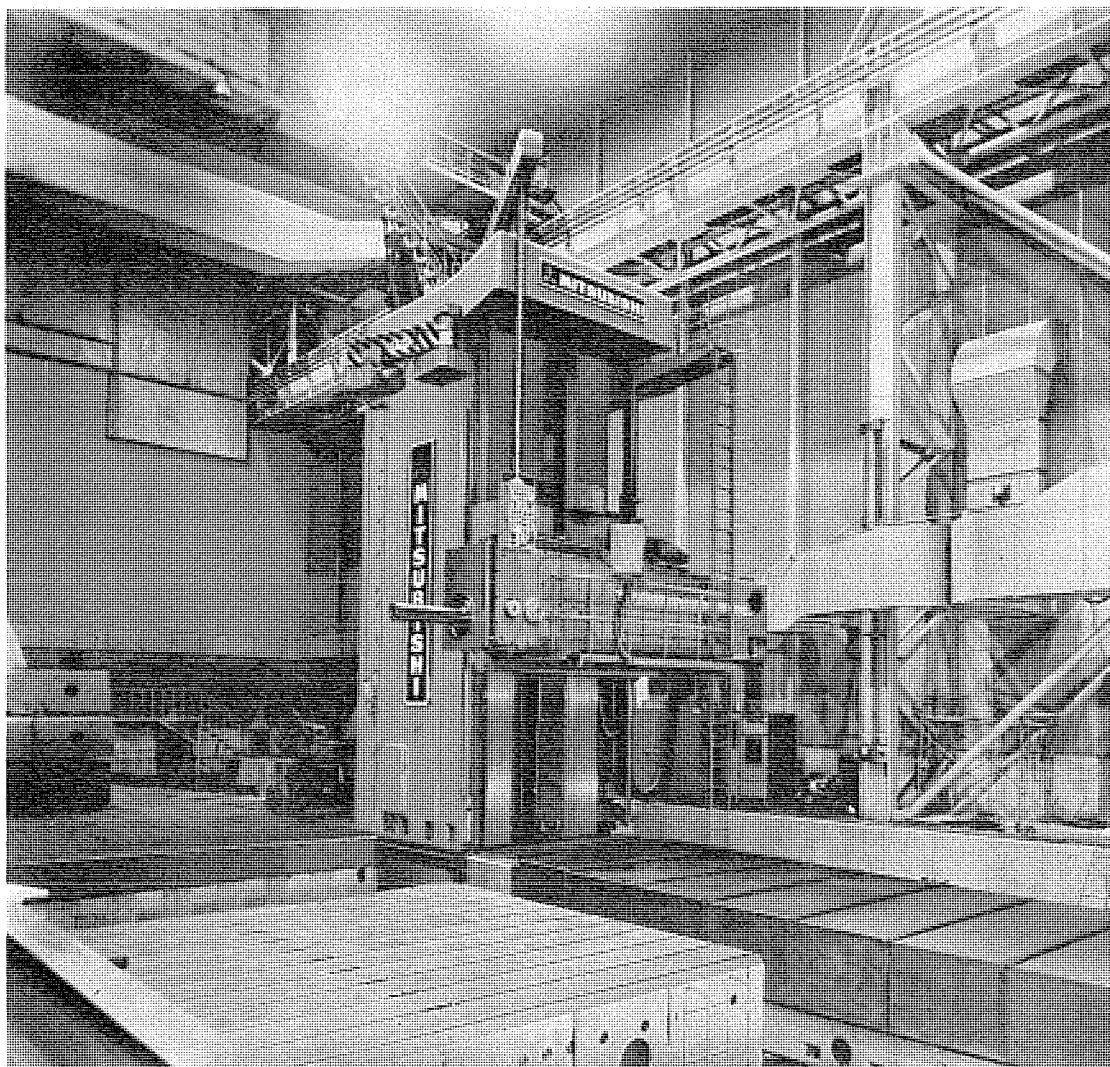


図 3.1 三菱フライス・中ぐり複合作業機 MAF 340/225
Mitsubishi horizontal boring and milling machine tools "MAF 340/225".

とともに、大出力、高トルク特性により高速域・低速域とも、重切削可能である。

(3) 熱変位の少ない主軸構造と潤滑方式の採用

主軸は発熱の少ない高精度な複列ローラベアリング、および複列アンギュラスラストベアリングの組み合わせに、ミスト潤滑を行ない、またヘッドストック内部は、強制潤滑することにより、主軸温度上昇を抑え、熱変位を少なくして高精度を維持している(MAF 340/225は、標準装備として潤滑油冷却装置を備えている)。

(4) 各軸しゅう(摺)動面に静圧軸受の採用

コラムベースとベッド間、サドルとコラム間、およびサドルとヘッドストック間の各しゅう動面に静圧軸受を用いて、一定の油膜の保持を図り、しゅう動抵抗の低減、摩耗防止、スティックスリップ防止、および振動吸収効果により高精度の維持と安定した円滑な運動を得ている。

(5) バックラッシ、ロストモーションの少ない送り駆動系

送り駆動系は、バックラッシ、およびロストモーションを最小限に押え、また最終駆動部にはしん(滲)疏処理して耐摩耗性を高めたウォームラックとダブルウォームを組み合わせて、送り精度と剛性を高めている。

(6) ヘッドストック、サドルの合理的バランス装置の採用

ヘッドストックが移動しても、ヘッドストック、サドル間、およびサドル、コラム間の荷重分布を常に一定にしている。またヘッドストック前面にアタッチメントを装着した場合でも重心位置の変化を適宜調整して、ヘッドストック繰出しによる変位を常に最小限に押え、高精度を確保している。

(7) 操作の集中化

作業者の疲労防止、操作時間の短縮、誤動作防止等のため、主要な操作、読取り装置をペンダントコントロールボックスに集中し、遠隔操作を可能ならしめている。

(8) 豊富な付属品

ヘッドストックの広い前面プレートを使用して、各種のアタッチメントが装着可能で、ロータリーテーブルの使用と相まって、複雑、多彩な複合工作が高効率に行なえる。さらに、NC装置、自動工具交換装置を具備することによって、本シリーズ機の有する機能を十分に発揮することができる。

4. プラノマティックシリーズ

PLANOMATIC(ガントリー形プラノミラー)は図4.1の写真のごとく平行に据付けた、2列のベッド上にブリッジを渡し、ブリッジ上には左右および上下移動を行なうフライスヘッド1基もしくは2基を備えたブリッジ走行形式の複合工作機械である。ワークは両ベッド間の床定盤に固定しNCテープ指令に従って所定の加工を自動的に行なうものである。次に本機の優位点および問題点を述べると、本機は現在大形工作機械の代表機種である横中グリフライス盤、プラノミラーに匹敵する複合工作性を備えることも可能であるが、使用目的に沿った必要な性能のみを持たせ、不必要な機能は付与しないものを作り、ユーザの要求により低価格できわめて合理的な機械を提供できるフレキシビリティに富んでいる。また構造上ベッド延長、ダブルローディングといった多様性を持ち、価格面でもプラノミラーに比較して機械重量が $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ に軽減できるので、イニシャルコストがきわめて低廉である。

本機はワーク固定、工具移動形式である性質上精度維持のためには、だ(蛇)行、熱変形、保守といった大きな問題点があるが研究開発および、独創的な技術開発の成果が実り現在では、これらの問題点は大半が解決されている。とくに問題点の内だ行防止対策をここ

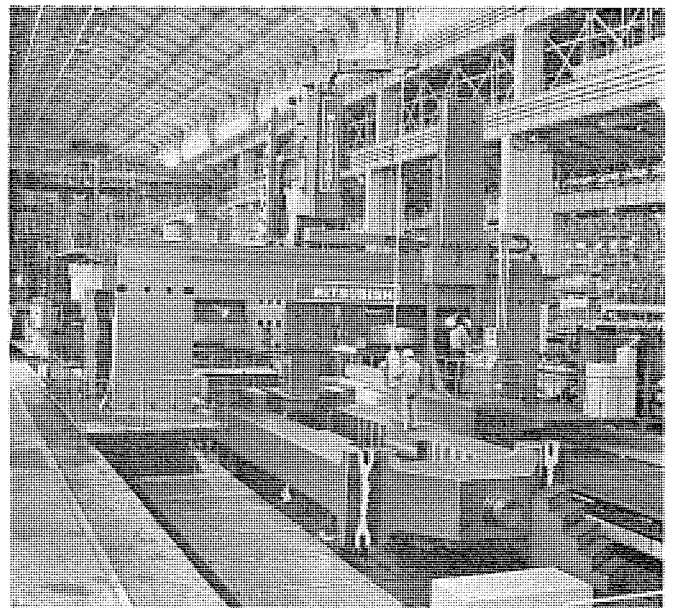


図 4.1 三菱ガントリー形プラノミラー
Mitsubishi gantry type plano miller.

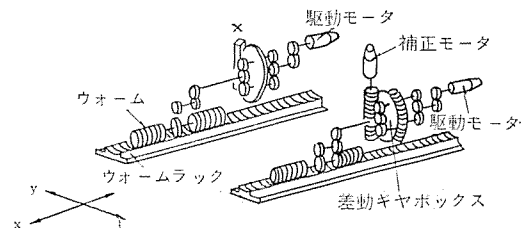


図 4.2 ブリッジフィード伝導図
Bridge feed transmission diagram.

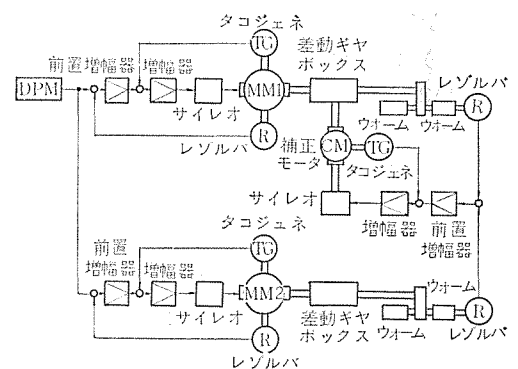


図 4.3 X軸送りブロック線図
Block diagram of X axis feed system.

で触れてみる。図4.2はブリッジフィード伝導図、図4.3はそのブロック線図である。指令により左右のコラムに独立に設置されたDCモータが始動し、ギヤボックスを経由してウォームがベッド上に平行に取付けられたウォームラックとかみ合って回転し、ブリッジが移動する。ウォーム端にはレゾルバが取付けられて回転位相を検出しており、左右の回転位相差が生じると直ちに片側コラムに設置された補正モータが差動ギヤボックスを介して、位相差だけ加減速し同期運転をさせる。両ベッドに取付けられたウォームラックは、特殊専用機でピッチエラー0.03 mm以内に加工されており、ベッドの取付けはレーザ測長器により、測定しながら左右ベッドの位相差max 0.05 mm以内で取付けられている。左右コラムのずれを実測したデータは、送り立上がり時0.07 mm、安定速度域で0.01 mm以内で、だ行を克服することができた。表4.1にこの仕様をあげておく。

表 4.1 三菱ガントリー形 プラノミラー プラノマティックシリーズ仕様一覧表
List of specification of Mitsubishi gantry type plano miller
“Planomatic series”.

項目	形式	3	4	5
門幅 (通過しうるワークの幅) mm		3,000~11,000		
門高さ (ベッド下面より上軸端面まで) mm		1,400	1,350	1,350
ブリッジラベル		任意		
フライスヘッドの形式		ラム	ラム	ラム
ラム寸法 mm		450 [□]	600 [□]	700 [□]
主軸径 mm		160 ϕ	200 ϕ	260 ϕ
主軸ターボ JIS B 6101		No. 50	No. 60	No. 60
主軸回転数 (無段) rpm		5~400	5~400	5~400
ラムトラベル mm		1,200~1,500	1,500~2,000	2,000~2,500
送り速度 (無段) mm/min	ブリッジ	早送り	4,800	4,800
		切削送り	1~2,400	1~2,400
	サドル	早送り	3,600	3,600
		切削送り	1~2,400	1~2,400
	ラム	早送り	3,600	3,600
		切削送り	1~2,400	1~2,400
主軸電動機 kW		37 (50 HP)	75 (100 HP)	110 (150 HP)
送り用 電動機 kW	ブリッジ	ワンモータ ドライブ	50	50
		ツーモータ ドライブ	30 (2台)	20 (2台)
	サドル	セドル	10	30
		ラム	6	30
適用 NC 装置		MELDAS 3200, 4200, 5240, 5220		

5. 大形工作機械向け MELDAS NC の特色

MELDAS 数値制御装置は、上述のような大形工作機械の多様化に応じようよう多数のオプションを付加仕様として備えているとともに、サーボ機構も大形工作機械に対応しうるデュアルフィードバックシステムを付加しうようになっている。

従来 MELDAS 数値制御装置には、機械系を制御ループ内に含めた閉ループサーボ方式と、可動テーブルを制御ループ外におくセミ閉ループサーボ方式のふたつがあった。

セミ閉ループ方式の場合は機械駆動系の固有振動バックラッシュなどの諸要素の影響を受けることが少なく、安定な系を得やすいが、制御量と機械の移動量との差が生ずる。閉ループサーボ方式ではサーボ系の特性が機械系のバックラッシュ、固有振動数などの影響を受けて、安定な制御系を得るのに困難な場合も生ずる。この場合、機械の諸要素の量がわかっていれば、安定の度合を予測することができ、対策もとることができる。しかしながら、工作機械が大形になるに従い、機械系の諸要素の予測が困難となり、またバックラッシュやビッチ誤差などがばらつき、閉ループにした場合でも制御精度と安定性との相反する因子により、要求性能を出し得ないことがある。

上記の2方式の長所を結合して、本質的には完全閉ループシステムであるが、制御ループ内にセミ閉ループを併用した図 5.1 のようなシステムを構成すれば、変動する機械的要素の影響を受けることなく、安定で、高精度の位置決めを行なわせることができる。この新方式をデュアルフィードバックシステムと称し、MELDAS の特殊仕様としてと

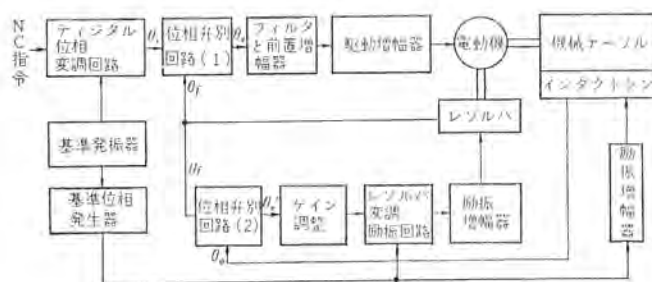


図 5.1 デュアルフィードバックサーボシステムブロック線図
Block diagram of dual field back servo system.

くに大形機械に威力を発揮している (特許申請中)。

図 5.1 において、位相弁別回路(1)、フィルタ、前置増幅器、駆動増幅器、レゾルバからなる系は、入力指令 θ_i とレゾルバの出力 θ_f とを位相弁別回路(1)で比較し、それらの誤差 θ_e を増幅して電動機を回わし、 $\theta_i = \theta_f$ 、すなわち $\theta_e \rightarrow 0$ となるよう制御するセミ閉ループを構成している。

デュアルフィードバックシステムでは、このレゾルバの励振位相をインダクションの出力によって変調し、閉ループにしている点が特長である。すなわち、レゾルバ出力 θ_f とインダクション出力 θ_0 とを位相弁別回路(2)で比較し、その誤差位相 θ_e' だけレゾルバ励振変調回路に与えて、レゾルバの励振位相をずらし、 θ_f と θ_0 との差をレゾルバに含ませて完全閉ループの状態にしている。

このようにして、バックラッシュやビッチ誤差などの機械的誤差をレゾルバに移行し、セミ閉ループ系のみかけ上機械テーブルを含む閉ループ系と等しく取り扱うことができる。

このデュアルフィードバックシステムの制御性能は次のとおりである。

(1) 制御安定時間：セミ閉ループのゲインと、デュアルフィードバックサーボループゲインによって決まり、 $\theta_0 \neq 0$ となる時間が必要。

$$\text{時定数} = \frac{1}{\text{ゲイン}} \quad (\text{ゲインは(4)参照})$$

(2) 機械系許容誤差範囲：この誤差は機械固有の誤差と速度偏差との和で表わし、次の2種類がある。

(a) 指令単位 0.01 mm のとき、機械系誤差 0.8 mm 以下

(b) 指令単位 0.005 mm のとき、機械系誤差 0.4 mm 以下

(3) 機械系誤差修正能力：セミ閉ループ系に生ずるサーボ誤差を除き、 ± 0.005 mm 以内

(4) ゲイン調整範囲：1~25 (機械に合わせて設定する)

6. む す び

MELDAS 4200, 5200 シリーズ TYPE 3 には、上述のように大形工作機械の多様化に応じようよう多数のオプションを特殊仕様として備えているとともに、サーボ系としてもくに大形工作機械に適したデュアルフィードバックサーボシステムを確立し、その特色を遺憾なく発揮している。これら一連の大形工作機械に適した数値制御装置の開発に当たっては、社内関係者はもちろんのこと、三菱重工業広島精機製作所の関係者のかたがたの格別なるご指導とご協力をいただいた。ここに深く感謝の意を表する次第である。

NC 工作機械群の計算機制御

清水 恒夫*・長 井 孝*

佐藤 源司**・山 田 進**・坂口 恒夫**

Computer Control of Numerically Controlled Machine Tools

Head Office Tsuneo SHIMIZU・Takashi NAGAI

Nagoya Works Motoji SATO・Susumu YAMADA・Tsuneo SAKAGUCHI

An integrated machine control system is drawing attention as a powerful means of saving labor in machining processes. This new control system is a trial to have a centralized system in machine shops through connecting machine tools directly with a computer system, whose operation have been relying on individual numerical control equipments. The advent of this system owes a great deal to the development and prevalence of numerical control technique, cost reduction of computer hardwares, and the progress in computer utilizations.

This article gives a view on the trend of the integrated machine control system and describes its outline together with the introduction of the activity of Mitsubishi.

1. ま え が き

最近の労働力不足と、それに伴う飛躍的な NC 工作機械の普及は、機械工場に対して、

(1) 従来、個別分散的に設置・運用されてきた NC 工作機械の組織的な運用

(2) 発生する膨大な量の加工プログラムデータの管理

(3) 省力化の促進

を迫りつつある。

一方、低価格のミニコンピュータの出現、オンラインリアルタイム計算機制御技術の進歩は、従来、比較的困難とされていた機械加工プロセスへの計算機の応用を可能とし、その代表的なシステムの一つとして、群制御システムが注目を集めている。

当社においても、数年前より、生産技術研究所・本社システム技術部・鎌倉製作所・名古屋製作所を中心として検討を進めてきており、昨年10月、大阪において開催された第5回国際工作機械見本市にその試作システムを出品し、引き続き、活発な活動をおこなっている。

本論文では、内外の群制御システムの動向を展望するとともに、当社における活動状況を紹介する。

2. 展 望

2.1 システムの特長

一般に、機械加工の分野における特質として、

(1) 工作機械ユーザの生産規模の差が大きく、その生産形態も多様性に富んでいる。

(2) その大部分が多量少量システムである。

(3) NC 工作機械の機能、および、種類(メーカー・機種)が非常に多い。

等の点があげられ、このために、従来、他の分野に比較して自動化が遅れているといわれてきた。

しかしながら、ミニコンピュータの出現は、特定の専門メーカーに限定されていた“システムコンポーネントとしてのコンピュータ利用”を一般化し、これまでに数多くの群制御システムが発表されてきたが、これらは、

(a) 工作機械ユーザが、自社設備の自動化を主目的として開発した比較的専用化されたシステム。

(b) 自社製工作機械の拡販を主目的として、工作機械メーカーによって開発されたシステム。

(c) 自社製制御装置(もしくは計算機)の拡販を主目的として、制御装置メーカー(もしくは計算機メーカー)によって開発された比較的に汎用的なシステム。

という立場、開発目的、あるいは、得意とする技術分野等の相違のために、システム規模・機能範囲・自動化の水準等の内容が、各システム各様のバラエティに富んでいるのが現状である。

2.2 システム機能

群制御システムは、加工データを作成するための言語処理システムと、機械工場現場における加工プロセスとの中間に位置し、この両者を結合する生産システムであるといえるが、内外の各システムを総合すると、基本的機能として、次の機能があげられる。

(1) 1台のコンピュータに複数台の工作機械がオンライン結合され、コンピュータにより工作機械群を直接集中制御することができる。

(2) NC 加工プログラムデータを、システム内の記憶装置に一時記憶させることができる。したがって、加工時には、現場側で紙テープを取扱う必要がない。

さらに、付加的な機能として、次の機能があげられる。

(3) 加工プログラムのデバック機能

(4) 現場作業指示機能

(5) 運転状況モニタリング機能

(6) 他の関連機器の計算機制御

(7) 管理情報の収集とその報告

(8) 作業日程計画

なお、言語処理システムの出力である加工プログラムの群制御システムに対する入力方法としては

(a) 紙テープ等を媒体とするオフライン方式

(b) 言語処理機能を有するコンピュータと通信回線等を介して結合するオンライン方式

(c) 言語処理機能を群制御システム自身に持たせる方法等の方法が用いられている。

* 本社(鎌倉製作所駐在) ** 名古屋製作所

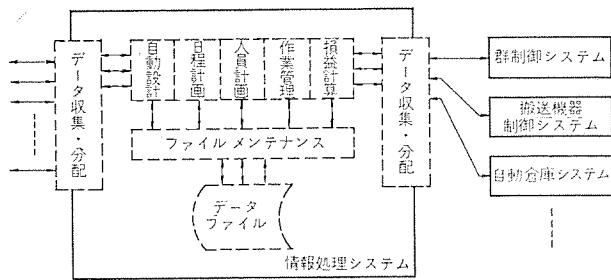


図 2.1 群管理システム構成
Block diagram of integrated manufacturing system.

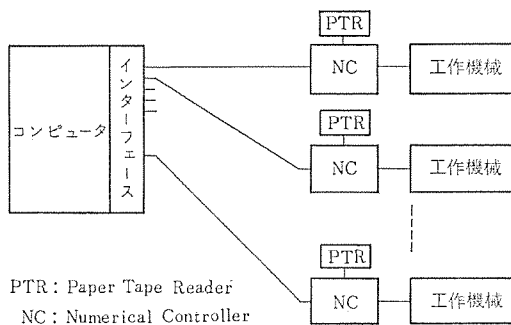


図 2.2 (a) CNC 結合方式
System configuration of CNC-type.

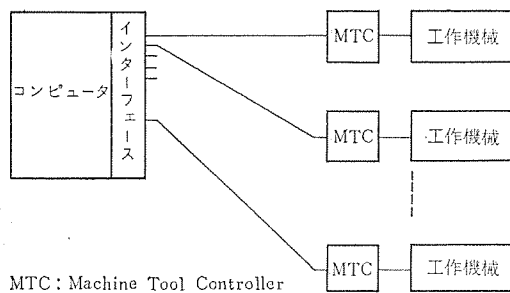


図 2.2 (b) DNC 結合方式
System configuration of DNC-type.

2.3 用語の定義

最初の群制御システムが発表されてからまだ日も浅く、群制御/群管理に関連する用語も、現状においてはきわめてあいまいな意味で用いられている。

ここでは、JIS 等による用語統一があるまでの暫定的な処置として、特に本論文に関連の深い用語の内容を明らかにしておく。

2.3.1 群制御/群管理システム

群制御システムの特長の一つとして、管理機能があげられることから、これを群管理システムと呼ぶこともある。

この2種類の用語を区別するために、次の定義をおこなう。

(1) 群制御システム

複数台の工作機械群を、コンピュータにより直接集中制御することを本来の目的とするシステムを、群制御システムと称する。

ここで、若干の管理機能が含まれる場合にも、本来の目的が、工作機械の制御にある場合には、群制御システムと称する。

(2) 群管理システム

情報処理システムの管理対象の一つとして、群制御システムをサブシステムの形として含むような生産システム全体を群管理システムと称するものとする。

群管理システムの場合には、単に、工作機械の群制御による加工プロセスの自動化のみならず、コンベアライン・表面処理・検査・こん(梱)包・倉庫等のプロセスの計算機制御も含むことがある。

群制御システムと群管理システムとの関係を、図 2.1 に図示しておく。

2.3.2 CNC/DNC 結合方式

群制御システムにおけるコンピュータと工作機械との間の結合の方法として、二つの方法があり、それらに対して、次の定義をおこなう。

(1) CNC (Computer Numerical Control) 結合方式

図 2.2 (a) に示されるように、機械側には従来の NC 装置をそのまま残し、コンピュータと NC 装置をインターフェース装置を介して結合する方式を、CNC 結合方式と称することにする。

この場合、コンピュータから NC 装置に転送されるデータは、従来の紙テープ・イメージ・データであり、NC 装置付属の紙テープ・リーダーを用いて、紙テープにより運転することも可能であることから、BTR 方式 (Behind the Tape Reader) と定義している文献もある。

(2) DNC (Direct Numerical Control) 結合方式

従来の NC 装置は、機能的に、演算制御部分と機械駆動部分に大別することができる。この演算制御部に相当する部分をコンピュータ側に集中化し、機械側には、駆動部を中心とする機械制御ユニット MTC (Machine Tool Controller) のみを残して結合する方式を、DNC 結合方式と称することにする。

DNC 結合方式の場合の構成を、図 2.2 (b) に図示しておく。

二つの結合方式のおもな特長は、次のとおりである。

(1) CNC 結合方式の場合

- (i) 既存生産システムに対する導入が容易
- (ii) システムダウン時のバックアップとして紙テープによるローカル運転が可能

(2) DNC 結合方式の場合

- (i) ハードウェアの多重化によるコストダウン
- (ii) 現場ハードウェアの縮小による信頼性の向上

3. 当社における動向

当社は、計算機および数値制御装置のメーカーという立場にあると同時に、工作機械ユーザという立場にあり、群制御/群管理システムの需要は大きく、昨年の国際工作機械見本市に試作システムを出品し、その後も、実際の生産ラインにおける機械加工の自動化という実用化の段階の検討を進めており、昭和 47 年から昭和 48 年にかけて完成予定で、現在数件の実用化システムの製作に着手しているので、これらのうちの一つの計画内容を以下に紹介する。

3.1 導入工場の特長

群制御システムの導入を予定されている機械工場は、小型電動機を比較的少量の単位でロット生産する典型的な多種少量生産工場であり、そのために、多種少量生産に適した NC 工作機械の導入を早くから手がけており、現在 14 台の機械が実動しており、昭和 50 年度までにこの数倍の工作機械の導入が予定されている。

しかるに、過去 2 年半にわたる NC 工作機械の使用を通じて、機械台数が 5 台をこえると

- (1) 加工テープの作成およびそのチェック
- (2) テープリーダーの故障と紙テープの摩耗・破損
- (3) 機械実動率

等の問題を積極的に解決していかなければならず、これまでも自動プログラミングの開発、マイラテープの 1 部使用等の処置を行ってきたが、今後の機械設置台数の増加に伴い、投資効果を上げるためには抜本的な対策として、単一機械による合理化という段階から、工場全体

の合理化へと拡大して問題解決に当たらねばその効果も小さいという結論に達し、群管理システムの完成を最終目標として、その第一段階として、14台の既設工作機械を対象とする群制御システムが導入されることになった。

3.2 導入体制

3.2.1 加工ラインと対象機械

導入工場における加工ラインを図3.1に図示する。図3.1において機械加工の部分は、シャフト・ブラケット・フレームの各加工ラインである。

本工場では、従来より類似加工部品別に加工ラインが設置されており、いわゆるGT(グループテクノロジー)の手法をあらためて採り入れる必要はなく、群制御システムの導入にあたって工場内の職制等の変更もなく、単に、レイアウトのみ変更すればよい状態にある。

3.2.2 制御対象機械

第一次計画において群制御システムの制御対象となる工作機械を表3.1に示す。これらの機械はいずれも制御装置としてMELDAS 4200が付属しており、現在紙テープにより運転されている。

3.2.3 加工部品

先にのべたように、加工部品は部品別に分類されており、比較的まとめやすくなっているが、大きさ・形状によりその種類はかなりの数になる。

3.3 システム概要説明

3.3.1 構成

第一次計画による群制御システムは、すでに設置されている導入工場全体のデータ処理用計算機MELCOM 3100モデル40Dと紙テープを介してオフライン的に階層結合され、その次のステップとして導入予定の大型計算機MELCOM 7000とのオンライン化するという計画の下に、次の構成を採っている。

- | | |
|----------------------|-------|
| (1) 中央処理装置 | 1式 |
| (2) 主記憶装置(コアメモリー) | 16kW |
| (3) 補助記憶装置(磁気ディスク装置) | 262kW |
| (4) システムタイプライタ | 1台 |
| (5) 紙テープリーダ(200文字/秒) | 1台 |
| (6) 紙テープパンチ(110文字/秒) | 1台 |

ここで、群制御用コンピュータとNC工作機械との結合方式は、既設NC装置をそのまま利用してCNC結合方式が採用されており、バックアップとしての紙テープによるローカル運転も可能となっている。

3.3.2 処理形態

部品加工における総合的な処理フローチャートを図3.2に図示しておく。

3.4 群管理システムへの発展

前節までの説明における群制御システムは、最終的に数十台のNC工作機械の制御を含む群管理システム確立の第一段階として計画されている。

その次のステップとして、以下の計画実施が予定されている。

- (1) 素材・工具の自動着脱
- (2) 自動搬送
- (3) 自動検測
- (4) シャフト、フレーム加工ラインへの拡張

(5) 自動倉庫

(6) 電動機製造管理システムとの結合によるトータルシステム化

図3.3に、最終目標とする群管理システムの構成を図示しておく。

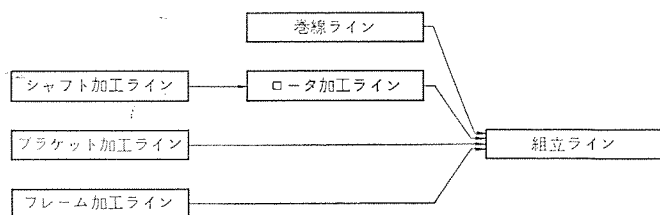


図 3.1 加工ライン流れ図 Flowchart of production.

表 3.1 制御対象機械/台数リスト
Controlled machine list.

加工ライン	機 械 名	第一次設置予定台数
シャフト加工ライン	NC 旋盤/研削盤	3 台
ブラケット加工ライン	NC 旋盤/ボール盤	10 台
フレーム加工ライン	マシニング センタ	1 台
合 計		14 台

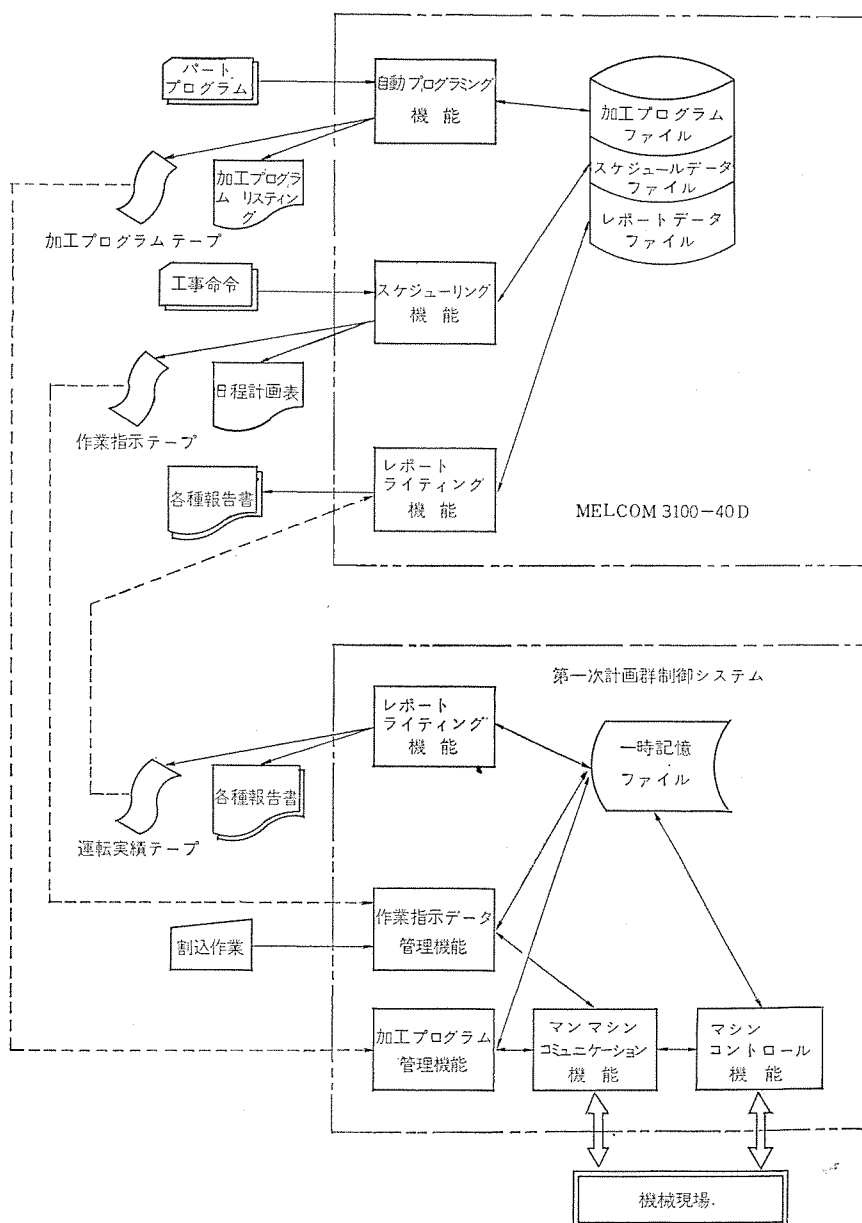


図 3.2 処理流れ図 General Flowchart.

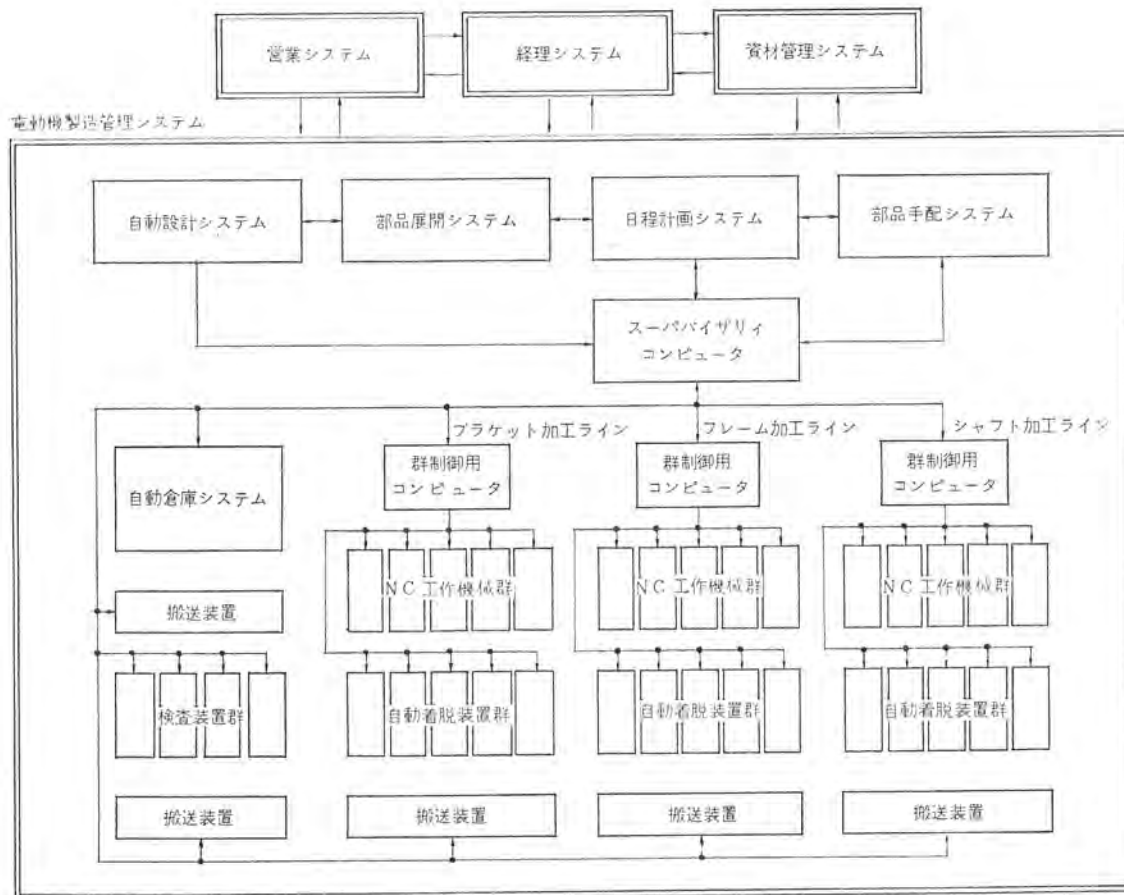


図 3.3 電動機製造管理システム

Integrated motor-manufacturing system.

4. む す び

以上、内外の群制御／群管理システムの動向と当社における活動状況の概略をのべてきたが、実際に運用されているシステムも数少なく、また、これらのシステムについても運用後に多くの問題が発生していると聞いている。

しかしながら群制御／群管理システムは今後の機械加工における主流となることは明らかであり、当社においても、今後関連部門と

密接な連絡をとりつつ、あらゆる角度から詳細な検討を加え、多くのユーザから歓迎されるシステムの完成へ努力したいと考えている。

参 考 文 献

- (1) P. G. Mesniaeff : Control Engng., 18, 3 (1971-3)
- (2) R. L. Hatschek : American Machinist, 114, 16 (1970-8)
- (3) 応用機械工学：'71年版NC工作機械ハンドブック，（昭46）大河出版

コンベヤ搬送制御システム

佐竹 幸雄*・中野 宣政**・水野 公元**

Conveyor Control System

Head Office Yukio SATAKE

Nagoya Works Nobumasa NAKANO・Kimimoto MIZUNO

There has been a trend of making radical search into the unknown on the cost of materials circulation for the purpose of cutting down the expenditure in manufacturing. Consequently automated materials handling is drawing attention. Of various attempts to work out this device, the conveyor carrying system is most closely related to the automatization. In this paper is explained a conveyor control system as a theme of discussion based on the Company's experience on this field. In constructing the conveyor system the most appropriate selection is to be made from the viewpoint of the function and the cost. The Company is now positively wrestling with difficulty in the development of hardware adaptable to a system of various levels and also software technique making use of it.

1. ま え が き

近年、製品コストの低減の“暗黒大陸”といわれる物流コストに対する見直しが、各企業とぞって行なわれ、物流の合理化に成功したものが業界を制するものとされている。

物流システムの中でのマテリアルハンドリングの自動化の必要性は、人件費の高騰と労働力の窮迫によるばかりでなく、大形計算機の導入等による情報処理の高速化がはかられているのに対し、マテリアルフローの渋滞が合理化の推進をはばんでおり、抜本的なメスを入れる必要に迫られているからである。

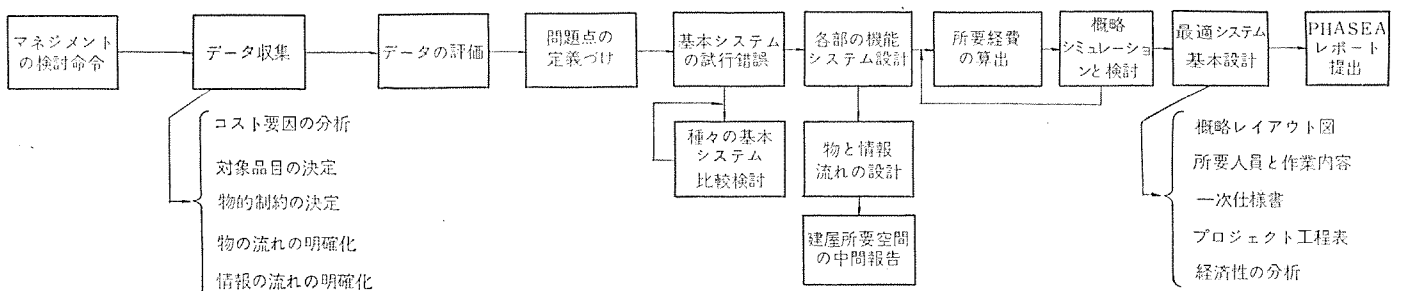
マテハンの合理化の第一次として数年前よりいわゆる自動倉庫といわれる立体倉庫のスタッククレーンを無人化したものが多く建設され、それらは将来トータルシステムの中のサブシステムとしての機能を発揮させることを前提として計画されたものであった。したがってこれまでのものの多くは、局所的な自動化でシステムデザインといってもある基本的なパターンの応用ということにかたづいており、したがって制

御システムも標準化されやすいものであった。

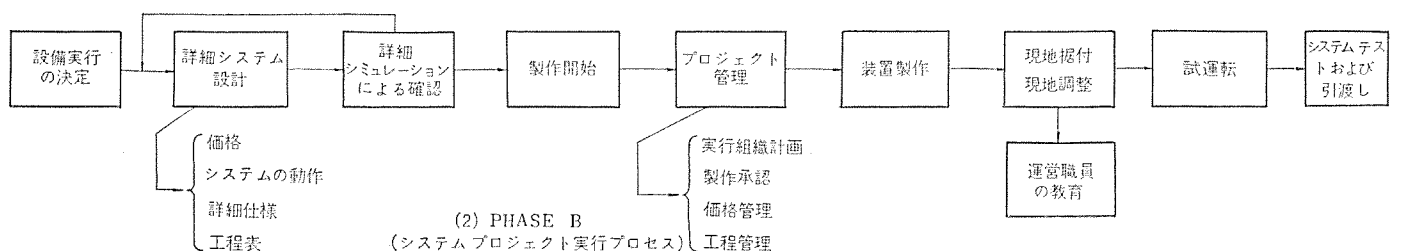
しかしながら最近の傾向としては、合理化の第二次に突入しようとしているように思われる。すなわち立体倉庫の周辺の荷さばきが拠点的なものではなく、より前後の工程に深く入り込み融合されたシステムでなければならなくなってきた。order-orientedの色合が非常に濃いものであるため、そのシステムデザインはstudyしつくされたものでなければならず、ユーザとしてもハードウェア受注獲得のために行なったメーカーのサービスによる‘システムデザイン’を信用するにはあまりにもリスクが大きすぎるものと思われる。

本文では第二次のマテハン合理化の主題であるコンベヤ搬送制御システムについて取上げてみたい。ここで対象としているのは中間製品自動倉庫の前後の工程との接続を行なうコンベヤシステム、および配送センタ、製品自動倉庫の配送仕分けコンベヤ制御システムについてである。

システムアプローチを行なうには、システムコンポーネントとしての搬送機械の現状を把握し、それらを個々にコントロールし、さらに総括的にコ



(1) PHASE A Study (問題点の把握と基本システム設計の作業プロセス)



(2) PHASE B (システムプロジェクト実行プロセス)

図 1.1 システムアプローチのプロセス
System approach procedure of phase A&B process.

ントロールする制御技術の実態に立脚し、いかに情報処理システムと結合させるかを考え、全体としてむだのない実用的なシステムを作り出さなければならない。

図 1.1 はシステムアプローチのプロセスをまとめたものである。以下の本文では当社のこの分野での経験をもとにして、制御システムを中心に、搬送機械の機能も含めて解説したい。

2. 搬送機械の機能

この項では制御する立場から、コンベヤの種々な形式の機能を解説する。

搬送機械は言うまでもなく、(a)扱う品物の荷姿・大きさ・重さ・形状・安定度、(b)要求処理能力、(c)用途—移送・蓄積・仕分・合流、等によってさまざまな機能をもつものが工夫され、将来も様々な新しい形式のものが開発されるであろう。しかしこれらの機能は大略次の種類に分けられる。

2.1 連続搬送

ある場所から他の場所へ向って連続に品物を移送する手段で、コンベヤの形式としては、ベルト・スラット・ローラ・チェーン・パーチカル等がある。これらのコンベヤの形式と仕様を決定する場合つぎの事項について検討しなければならない。

(1) 品物の荷姿

扱う荷の底面の状態と荷の安定度、たとえばカートンボックス・ポリコンテナ・木製パレット等のコンベヤとの接触面の状態と荷くずれの難易について。

(2) 接合部の処理方法

搬送する場合上流からの品物の受取り方、すなわちいくつかのラインからの合流が行なわれ、それらが受継がれて連続搬送し下流のコンベヤに引継がれる。下流では仕分岐・蓄積が行なわれるのが普通である。これらの上下流の接合部で、スムーズに荷の受渡しができるような形式のコンベヤを決定し、それらの能力から必然的に連続搬送スピードが決定される。

2.2 蓄積コンベヤ

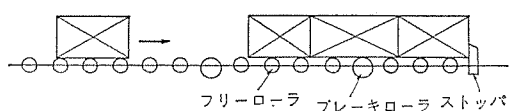
全システムとして、遅滞なく円滑に物が流れるためにはサブシステム

間の接合をどうするかが重要である。言うまでもなく、直接結びつけるよう設計するのが良いが、両者の機械の作業機能が異なるので、当然両者間の処理能力の差、処理タイミングのずれ、多少のアクシデントによる上流ラインへの影響の防止、荷物の情報処理その他の人間作業を介入させる場合のサイネーションの立場等から、接合部には十分に検討された必要にして十分なバッファを設けなければならない。このバッファの手段として蓄積(アキュムレート)コンベヤが用いられる。

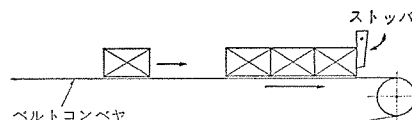
これに類するものは図 2.1 に示すような代表的な形式があるが、

表 2.1 蓄積コンベヤの形式と特長
Characteristics of accumulating type conveyers.

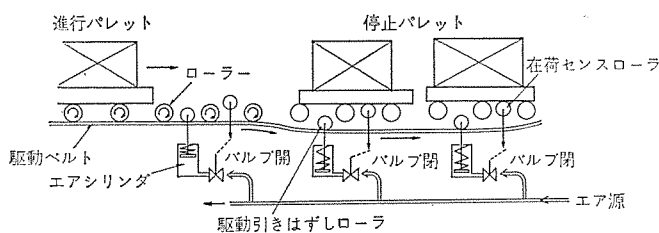
項目	形式	補足説明	特長	適用
1	グラビティフリーローラ	こう配による重力 自走暴走防止のブレーキ取付け。	自走速度のむらができる。ブレーキにて減速するが最終的に荷と荷の衝突とめる。	同一品の比較的活性度が低く、安定なものの大量蓄積。
2	ベルトコンベヤ	先行品との衝突により、底面とベルトはスリップさせる。	機構的には最も簡単であるが、品物の破損のおそれあり、大量の蓄積は不可。	軽量物、品物の底面とコンベヤとの摩擦係数が小さいもの。
3	ベルト駆動ローラコンベヤ	在荷センスローラにより駆動ベルトの結合開放を行なう。	シリンダ作動用エア源を必要とする。フリーローラによる停止が難。	同一品形状、重量のもので慣性を小さくするため、低速になる。
4	エアチェーンコンベヤ	空気圧により荷の衝突を検知し、駆動チェーンを逃がす。	エア源を必要とする。品物を衝突させてから駆動力が減少する。	重量物で重量の均一なもの、搬送スピードは衝突のショックの許容限界までしか上げられない。
5	セクショナル駆動コンベヤ	ローラコンベヤを荷の幅に分割して独立駆動とする。	コストが高い。荷の大小重量の多少に無関係。荷の大小によりつめて蓄積できない。	活性度が非常に高く、荷のバラツキがあるもの。
6	キャリア	キャリアの往復運転により荷を移動させる。	荷の汚損は少ない。キャリアのデューティはきびしいが品物の活性度は高くない。	品物の幅方向は一定なもの、活性度が低いもの。1のグラビティの使用できない品物。



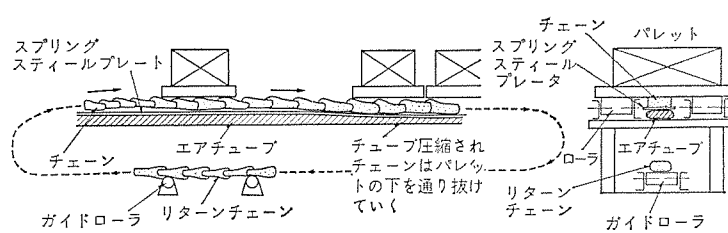
(1) グラビティフリーローラによる方法



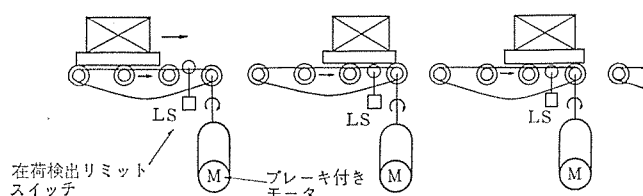
(2) ベルトコンベヤによる方法



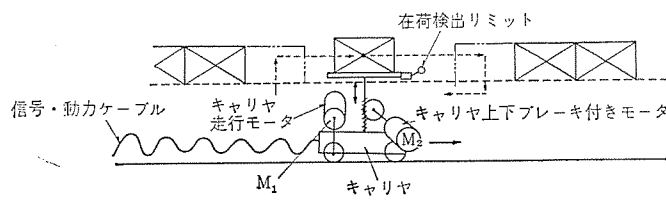
(3) ベルト駆動ローラを用いた機械式アキュムレートコンベヤ



(4) エアチューブを用いたエアチェーンコンベヤ



(5) セクショナル駆動のローラコンベヤ



(6) キャリヤによる方法

図 2.1 蓄積コンベヤの形式

Types of accumulating conveyers.

それぞれ一長一短がある。システム設計では図 1. 1 に示したようにその過程でいろいろな角度から形式を検討し、おのこの能力を踏まえたうえでシミュレーションを行ない、必要十分な形式とサイズを決定しなければならない。表 2. 1 に図 2. 1 で示した形式のそれぞれの特長を掲げた。

2. 3 分岐仕分コンベヤ

コンベヤシステムにおいて、最も重要部分である分岐仕分けシステムに

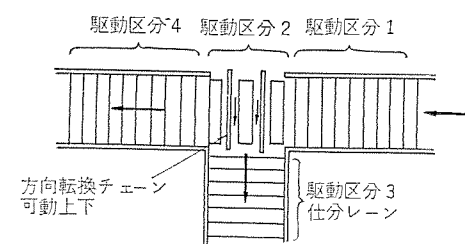
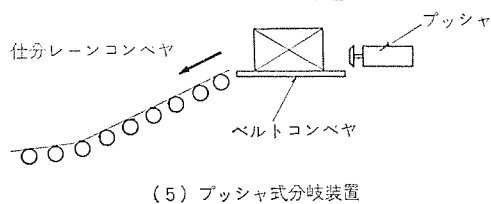
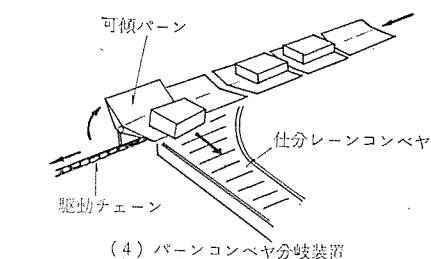
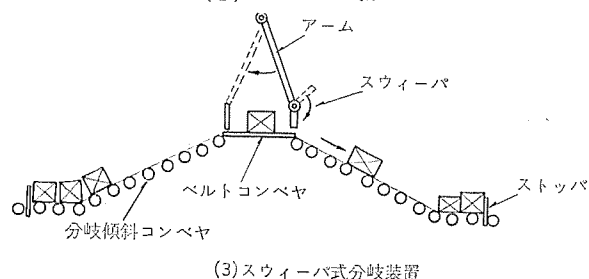
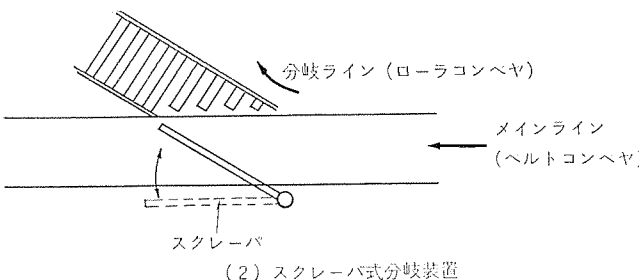
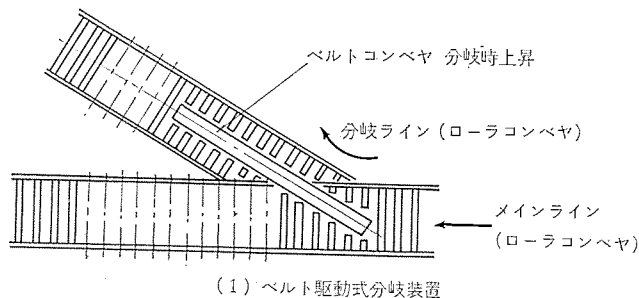


図 2. 2 分岐仕分コンベヤの形式
Types of sorting and diverging conveyers.

おいては、おのこの荷の行先があるので、その機能には二つあり、一つは荷の流れをトラッキングし、それぞれの荷の行先情報を管理し

表 2. 2 分岐仕分コンベヤ形式と特長
Characteristics of sorting and diverging type conveyers.

項目	形式	補足説明	特長	適用
1	ベルト駆動式	分岐時ベルトコンベヤを上昇させて方向変換する。	荷の進行方向が分岐により 90° 転換しない。荷の慣性によりベルトコンベヤに乗せにくい。	ラインスピードは荷の慣性による逸脱を防止するためあまり上げられない。カートンボックスコンテナ。
2	スクレーパ式	図のように荷の進行方向を変えない方法。	スクレーパ面の摩擦によりスムーズに分岐されない。スクレーパ面をモーターで駆動したり、ローラにしたりする方法もある。	軽量カートンボックス。荷の転倒により破損しないもの。
3	スウィーパー式	スクレーパ相当のものが上部に取付けられた方式。	ベルトコンベヤの両側に仕分レーンを設けることができるのでスペースが小さくてよい。	2 と同じ。
4	パンコンベヤ式	これに類するものとしてスラットビースのグループを荷の幅で構成し分岐点で傾斜するもの。傾斜スラットの端のゲートが開閉するものがある。	3 と同様。ただし重量物の仕分けが可能になる。傾斜スラットの場合、荷の送り込みを静止状態から移動させるのでむづかしい。	重量カートンボックス。荷の転倒のおそれがあるので荷姿が不安定なものは好ましくない。
5	プッシャー式	図のように荷の進行方向に対し直角にプッシャーで落とす。	ベルトコンベヤとの摩擦があるので重量物は不可。摩擦を少なくするためプッシャーですくい上げるように押出す方法もある。	軽量カートンボックスベルトコンベヤとの摩擦が小さいもの。荷の転倒可能なもの。
6	転換チェーン式ローラコンベヤ	転換チェーンは上下に動き、一方方向回転する。	駆動区分を小さく分け相互のインターロック制御が必要。往復運転がないのでプッシャーよりサイクルタイムが短い。高価である。	パレットロード、コンテナロード等の荷姿の不安定なもの。

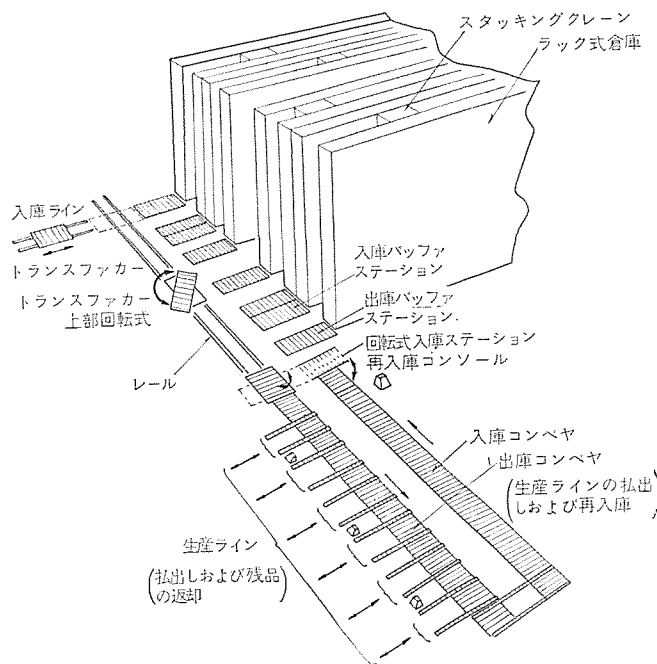


図 2. 3 トランスファカーを利用した入出庫システム例
Example of store and retrieve conveyor system applied with transfer-cars.

適切なタイミングで仕分動作指令を発生する制御部分と、今一つはその仕分指令をもとにして仕分動作を行なう手足となる機械部分に分けられる。前者は次項以降にゆずり、後者の代表例を図 2.2 にそれぞれの特長を表 2.2 に掲げる。

ベルト、コンベヤの仕分機械として図 2.2(6)の方法は非常に高価になる。場合によっては図 2.3 に示すようなトランスファークの利用が有利なことがある。ただしトランスファークは往復運転のため Duty Cycle に制約されるので、事前に十分シミュレーションでその能力の確認を行なっておく必要がある。

3. 制御システムの分類

コンベヤシステムにおける制御の主たる目的は、合流制御と分岐仕分制御である。前者は多くの場合は合流点での衝突を防止するためのインターロック制御のみで情報のトラッキングは不要である。しかし複雑なコンベヤシステムでは前記の制御のほかに情報のマージも行なわなければならない場合がある。たとえば複数レーンをもつ立体倉庫の出庫ステーションから逐時メインラインに合流され、出荷場へ搬送され、そこで各配送先別に自動仕分されるような場合、立体倉庫から出庫される時点で、その荷はどこの出荷レーンに送られるか決定されているはずである。したがって出庫ステーションからメインラインに払出されるとき、その行先情報をすでにメインラインに乗って移動中の荷の行先情報の間にマージさせ情報のトラッキングが必要である。このように合流点で分岐仕分制御が始まっているものもあるが、多くの場合は分岐仕分レーンの前の移送ラインの関門で行先情報が与えられる。分

表 3.1 分岐仕分搬送機械とその制御方式
Sorting and diverging machines and applicable control systems.

○印：通常 △印：特例

項目	分岐仕分搬送機械名	仕分方式		制御方式の具体的方法
		Escort	Mimic	
1	ローテコンベヤ ベルト駆動式仕分 図 2.2 (1)	△	○	(a) Q テーブル方式 (MPM ロジック or コンピュータ) (b) 光学的マークリーダー方式 (カートンボックスにコードマークの印刷またはラベル張付け)
2	ベルトコンベヤ スクレーパー式仕分 スクショア式仕分 ブロッカー式仕分 図 2.2 (2), (3), (5)	△	○	(a) Q テーブル方式 (MPM ロジック or コンピュータ) (b) 移動距離監視方式 (マイクロコントローラ MELMIC-100) (c) 光学的マークリーダーを用いる。(1)-b と同じ
3	バーストコンベヤ 可傾スラットコンベヤ 傾斜スラットコンベヤ 図 2.2 (4)	○	△	(a) Q テーブル方式 (MPM ロジック or コンピュータ) (b) 移動距離監視方式 (マイクロコントローラ MELMIC-100) (c) 磁気エスコート方式 (MAG システム)
4	ローテコンベヤ 転換チェーン式 図 2.2 (6)	△	○	(a) Q テーブル方式 (MPM ロジック or コンピュータ) (b) 光学的マークリーダーを用いる。(1)-b と同じ
5	トランスファーク方式 図 2.3	○	○	(a) コンピュータコントロール マイクロコントローラ (MELMIC-100) ロジックコントロール困難
6	トウカー パワー&フリーコンベヤ トロリーコンベヤ	○	○	(a) ビンセット方式 メカニカルピン、マグネットピン (b) 磁気エスコート方式 (MAG システム)

注) 光学的マークリーダー方式の類似方式として、カラーコード方式、反射テープの張付け位置による方法等がある。

岐仕分制御には仕分情報がつきものであるが、この制御の方法として次の二つがある。

- (a) エスコート方式 (Escort=護送する)
- (b) ミミック方式 (Mimic=模写する)

これは字句の示すとおりであるが、(a) は現物またはそのコピーに先行情報が添付されている方法でいわゆる“名札付”である。

この方法は先行情報が現物に添付されているので、(b) のように間接的な方法に比べて確実である。しかし適用する機械によってその採否が決まるので、必ずしもすべて適用できない。(b) は間接的にシミュレートしながら行なう方法であるが、制御ハードウェアの信頼度の向上とシステムが複雑化すれば、ますます採用される場合がふえる傾向にある。

表 3.1 に仕分機械とそれに適用される仕分制御方式についてまとめしてみた。この表に掲げた具体的方法については次項で詳述する。

4. ミミック方式の制御システム

コンベヤシステムは、その規模は千差万別である。特にミミック方式の場合はシステムモデルを制御装置の中に作らなければならないので、必然的にその規模も異なり標準化しにくいものである。

しかしすべては汎用性のあるプログラマブルコントローラとしてのコンピュータ(MELCOM-350/5, 30), マイクロコントローラ(MELMIC-100)を適用するには、コスト的に引合わない場合もかなりある。そこで当社では MELMIC-100 以下のシステムに対し、IC カードベースで回路を標準化し、ハードウェアでのマイクロプログラマブルモジュール(MPM)を整備した。かくして図 4.1 に示すようなあらゆる規模のシステムをカバーすることができる。ただし複雑なシステムになれば、コンベヤ制御だけを担当するのではないので、一定尺度でシステムの難易度を評価することができないので、図 4.1 は単なる概念図である。以下において制御システムの詳細を紹介する。

4.1 スタックロジックコントローラによるシステム (1) キューレジスタ方式(特許申請中)

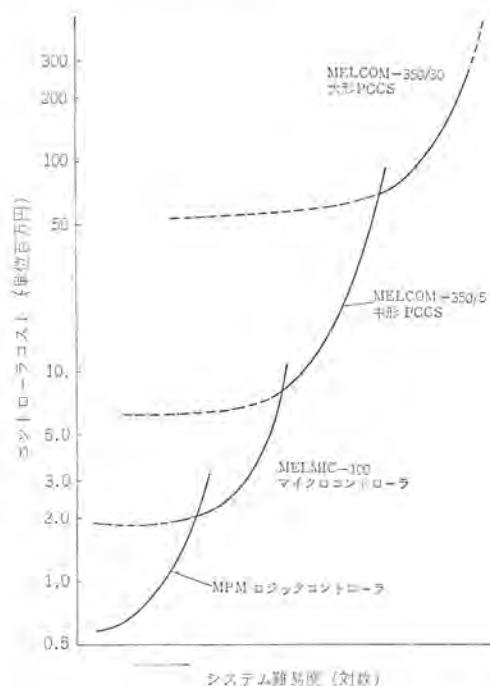


図 4.1 システム難易度対コントローラコスト曲線
System complexity vs. controller cost curves.

いかなるコンベヤの仕分制御にも適応できる方式を当社にて開発し、多くの実績を持つキューレジスタ方式である。この方式の特長は情報の順列と仕分荷物との順列が完全に対一に対応しているため、きわめて複雑なコンベヤラインの仕分けにも、機械的に何らむりな要求をもたせずに純電氣的に処理できる点にある。以下図 4. 2 のコンベヤラインに従って原理を述べる。

図 4. 2 のコンベヤラインの PHA 1～3 は、それぞれ荷物が仕分口にさしかかったことを検出するための光電装置、またはリミットスイッチ類の検出器である。図 4. 3 はコンベヤラインの荷物とレジスタの対応図を時間変化を入れて書いたものである。

図 4. 3 で仕分口は 1～3 の 3 カ所とするとレジスタに要求される 1ワードのビットは、2進に 22ビットあればよい。また投入口より仕分口 1 の分岐点までの最大荷物積載数を 7 個とすると、そこに対応するレジスタの容量は 7ワード、仕分口 2 と 3 の間では 4ワードの対応図を表わしている。

まずはじめ T 1 時間にはコンベヤラインに A (2) なる荷物が投入さ

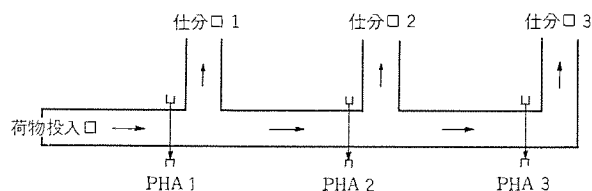


図 4. 2 仕分コンベヤライン例
Example of sorting conveyor.

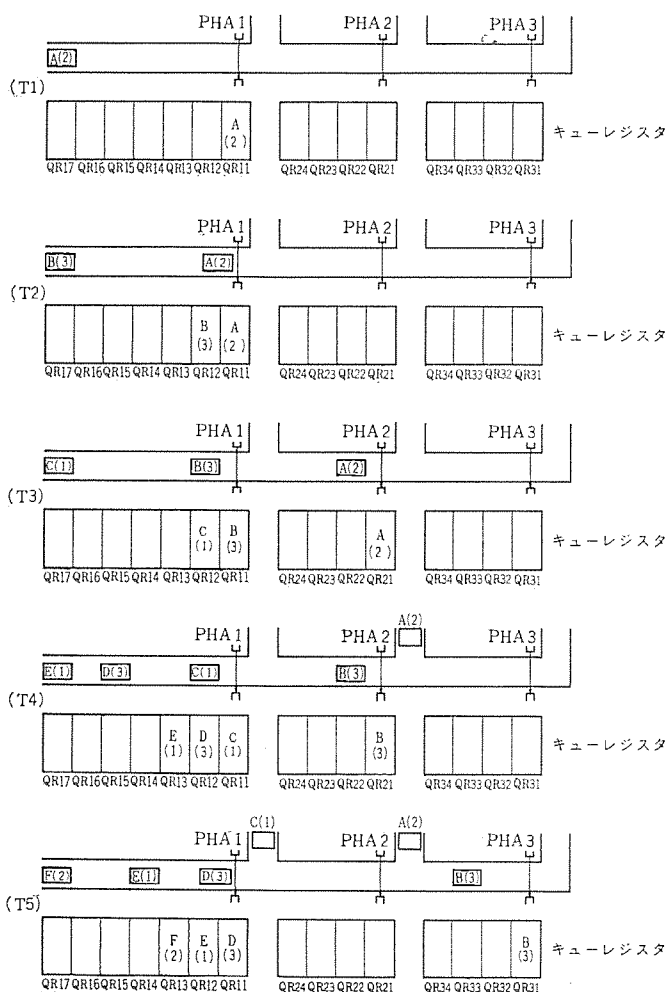


図 4. 3 キューレジスタ、コンベヤライン 対応図
Conveyor line and its tracking register.

れると、ダイヤルまたはカードリーダ等でその荷物の仕分情報がキューレジスタ QR 11 に蓄積される。同様に T 2 時間には B (3) が QR 12 に蓄積される。そして A (2) の荷物が仕分口 1 の検出器 PHA 1 にかかると QR 11 の情報が仕分口 1 の情報であるかどうかを調べる。この場合、情報に冗長度をもたせたパリティチェックとか情報空検出などをおこなって誤動作検出を行なう。A (2) の行き先は仕分口 2 であるので QR 11 の情報は QR 21 に転送され、荷物は T 3 時間に仕分口 1 を通過して進む。以下 T 4 時間では A (2) なる荷物が PHA 2 に検出されると QR 21 の情報を判定し、仕分口 2 のコードと一致するので A (2) は払い出される。さらに、B (3) の荷物は仕分口 1 を通過して仕分口 2 にむかって進む。以下 T 5 時間には図のごとくなる。以上述べたごとく、この方式のポイント はレジスタの奥から情報をつめていくというアイデアによる。

キューレジスタ 読み込み方式

キューレジスタに情報を頭から読み込ませるにはいろいろ方法があるが、当社ではもっとも簡単にそれが制御できる方法として、可逆カウンタによる指定方法を用いている。インシクリヤーされた状態では、可逆カウンタは count 0 に出力が出されている。情報が読み込まれるときは CP 1 により、可逆カウンタにより指定された場所に情報がセットされる。次のタイミングで可逆カウンタに CP 2 を加え、count 1 に出力を出すので次の読み込みパルス CP 1 がきたときは、情報は QR 12 に読み込まれる。そして CP 2 により可逆カウンタを +1 し count 1 に出力を出す。

仕分口の検出器に荷物が到着したとき QR 11 の情報が判定されイエスならば、取込み指令を出し CP 3 により QR 13 の情報を QR 12 へ、QR 12 の情報を QR 11 へ移動し、可逆カウンタを -1 にする。また、ノーならば通過指令を出し、QR 11 の情報を次のレーンに対応

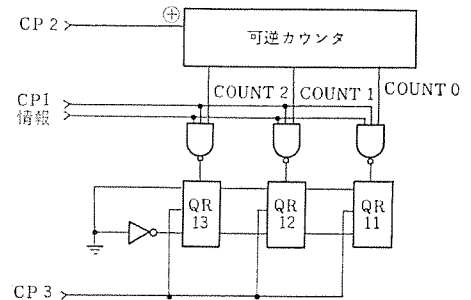


図 4. 4 キューレジスタ 読み込み方式
Method of a data entry to the register.

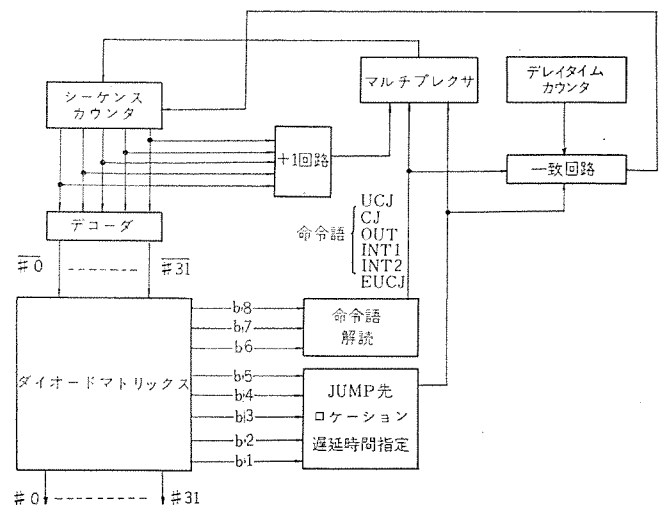


図 4. 5 MPM の構成
MPM system block.

するキューレジスタに転送しCP3によりQR11の情報をクリアする。

(2) MPM (Micro Program Module) システム(特許申請中)

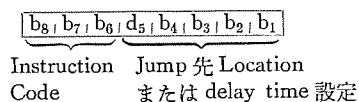
以上述べたとくコンベヤの自動仕分等では仕分口の数的大小によるシーケンスの相違,さらには時分割同時処理の必要性(おのおのの仕分口にランダムに荷物がつっこむ可能性が大)あるいは計算機とのインタフェイス,自動倉庫システム等との連結などいろいろのシーケンスが考えられるので,当社ではダイオードマトリックスによるMPM(マイクロプログラムモジュール)システムを開発し,あらゆる客先の要望に迅速に対応することができるようになった。

MPMの構成

シーケンスカウンタは5Bitから成るフリップフロップにて構成されており,デコーダにて2進から10進に変換され#0~#31までの32ステップダイオードにてプログラムを可能にしている。 $b_1 \sim b_5$ は飛越先のロケーション,または,ステップを進める時間設定に使用され, $b_1 \sim b_5$ は命令語のマシンコードを表わすものである。 $b_6 \sim b_8$ の命令語により以下に説明する命令群を実行するものである。

命令語

$b_1 \sim b_8$ の1語8ビット



命令

(1) UCJ (Unconditional Jump) 無条件飛越

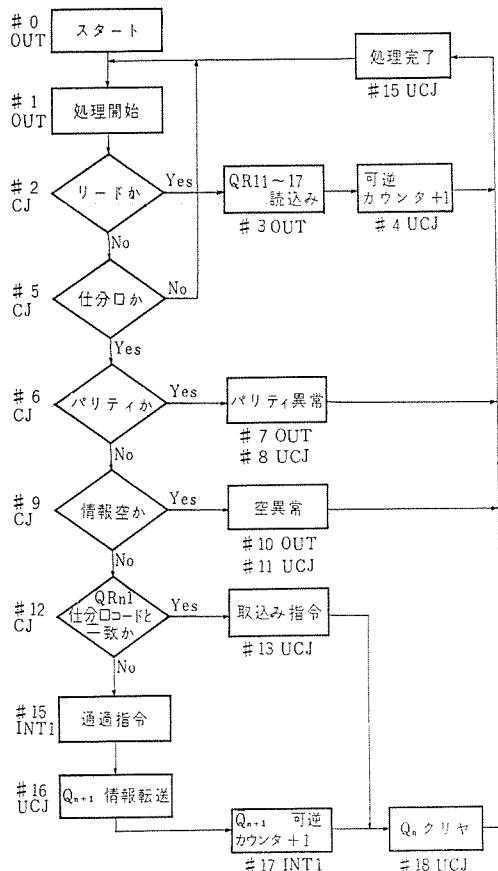
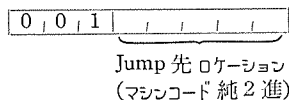
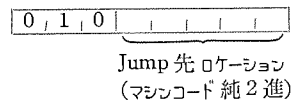


図 4.6 メインフローチャート
Main flow-chart.

動作

その動作ステップにきたならば,指定の飛越先のロケーションに飛越する。

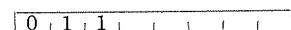
(2) CJ (Conditional Jump) 条件的飛越



動作

その動作ステップのとき条件の有無により,シーケンスカウンタを+1して次ステップに進むか,またはJump先ロケーションに飛越する。条件有のとき+1かJumpかは選択可能。

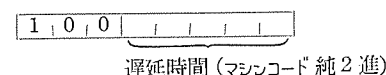
(3) OUT (Out Trigger) 外部トリガー



動作

その動作ステップ時外部条件が構成されておれば,シーケンスカウンタを+1して次ステップに進む。条件が構成されるまでそのステップにて待機。

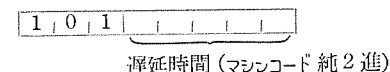
(4) INT 1 (Internal Trigger 1) 内部高速トリガー



動作

その動作ステップにきたとき,プログラムにより指定された時間を x とすれば, $x\tau$ 後ステップにすすむ。 τ はシステムクロックの周期。

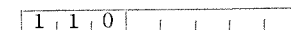
(5) INT 2 (Internal Trigger 2) 内部低速トリガー



動作

その動作ステップがきたならば,プログラムにより指定された時間を y とすれば, yT 後次ステップに進む。 T はシステムクロックとは異なる低速パルス列。

(6) EUCJ (External Unconditional Jump) 外部無条件飛越



動作

その動作ステップがきたならば,外部にて設定されたロケーションに無条件に飛越する。

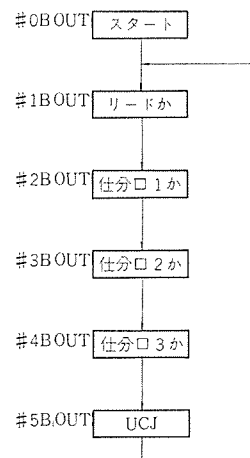


図 4.7 スキャニングフローチャート
Scanning flow chart.

応用例

図 4.2 のコンベヤラインの自動仕分制御を MPM で構成した場合、図 4.6, 4.7 のフローチャートとなる。

図 4.2 のコンベヤラインでは仕分口に荷物がランダムに到着するので、図 4.6 のフローチャートのシーケンスを時分割同時処理をする必要がある。その場合 MPM システムではもう一つの MPM を図 4.7 のごとく OUT にてスキャンをさせておき、たとえば、仕分口 1 の光電装置、または、リミットが荷物を検出したならば、#2B で停止させ、図 4.6 のメインフローチャートを QR 11~QR 17 と QR 21~QR 24 の間で動作させる。#3B でスキャンが停止したならば、その処理は QR 21~QR 24 と QR 31~QR 34 の間で図 4.6 のシーケンスが実行される。図 4.8 にその構成を示す。

以上述べたのは構成例のほんの一例であるが、この種の比較的簡単なシーケンスを構成するには最適である。図 4.9 は MPM で構成したロジック盤の一例の外観である。

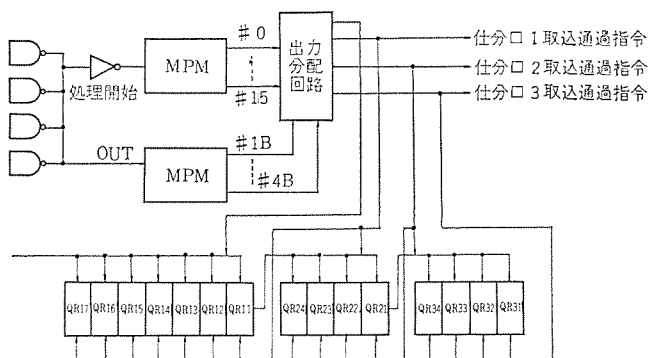


図 4.8 MPM による時間分割処理回路構成例
Time-sharing system block using MPM.

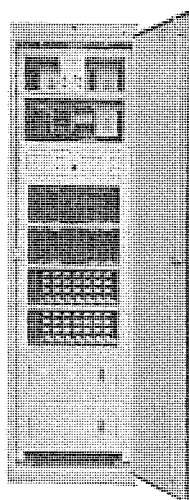
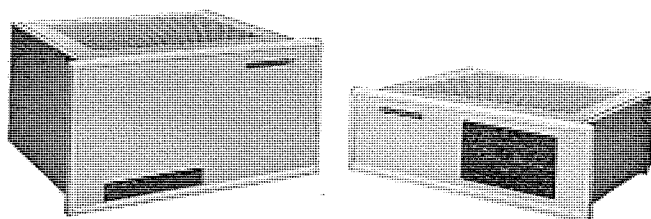


図 4.9 MPM によるロジック盤例
Exterior view of MPM logic system



(a) 演算制御ユニット (b) 入出力ユニット

図 4.10 MELMIC-100 マイクロコントローラ
Type MELMIC-100 Micro controller.

4.2 マイクロコントローラによるシステム

仕分制御は、ワイヤードロジックにより十分最適に行なえるが、対象コンベヤが複雑なものとか、後になって変更・増設したい場合が出てくる。この場合ロジックは大幅改造もしくは作りなおしを余儀なくされる。ここでミニコン制御が考えられるが、コンベヤの自動仕分制御は、荷物のトラッキングと簡単な一致判別機能があれば十分で、高速かつ強力な演算機能をもつミニコンを使用するのはその機能の大半

表 4.1 MELMIC-100 の仕様
Capability specification of MELMIC-100.

回路素子	TTL/DTL 集積回路
制御手順	読出し専用内部プログラム記憶方式
命令種類	27 命令
サイクルタイム	4 μ s
語長	16 ビット
メモリー	制御手順記述：読出し専用メモリー 標準 256 語 (1 語：16 ビット+パリティビット) 最大 512 語まで拡張可能 演算レジスタ：IC レジスタ アキュムレータ：2 語 内部記憶用レジスタ：6 語内蔵可能 状態記憶用レジスタ：1 語 (注) 外部ユニット接続用としてほかに 23 語接続可能
割込み機能	1 レベル (6 原因) 割込み原因はさらに外部追加可能
電源	AC 100 V $\pm$ 10% (1 ϕ)
周囲条件	温度：0~50°C 相対湿度：95% 以下
外形寸法	約 480(W) $\times$ 250(H) $\times$ 370(D)mm (演算制御ユニット) 約 480(W) $\times$ 150(H) $\times$ 370(D)mm (入出力ユニット)

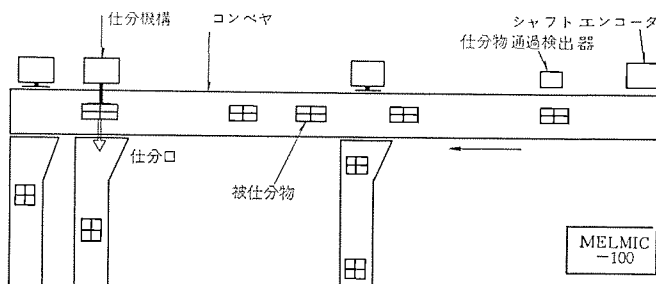


図 4.11 自動仕分コンベヤ概念図 (MELMIC-100 方式)
System concept of automatic sorting conveyor

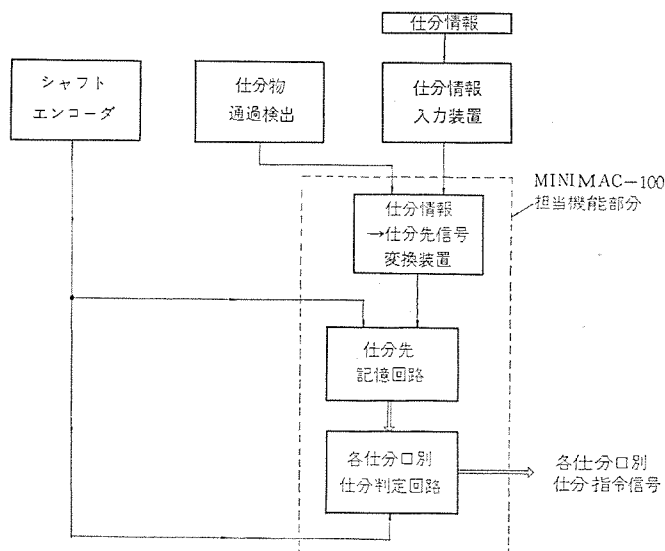


図 4.12 MELMIC-100 を用いた自動仕分システム制御機能図
System configuration of automatic sorting applied with MELMIC-100.

を遊ばせることになり、システム・コスト 両面で問題がある。

当社ではミニコン等の小形計算機も使えない小規模な制御システムで、しかもワイヤードロジックでは複雑になり、オーダーメイドでハードウェアを作るには経済性が成立たないシステムとのギャップをうめるものとして、図 4. 10 に示すマイクロコントローラ MELMIC-100 (M-100 と略称する) を開発した。その仕様は表 4. 1 に示すとおりである。自動仕分制御においても同様で、M-100 を適用して経済的なシステムを作ることができ、さらにコンピュータとのデータ通信も可能であり、コンピュータ制御のローカルコントローラとしても利用できる。

M-100 を応用した制御システムは、4. 1 節で述べた MPM ロジックで行なった Q レジスタ方式と同一内容の制御も可能であるが、今一つの制御方式として移動距離監視方式 (特許申請中) も可能である。この方式の概念を図 4. 11, 4. 12 に示す。

すなわちこの方式は品物の移動を投入口の仕分通過検出を基点として、その移動位置をシャフトエンコーダでとらえる方法である。この方法での特長は、コンベヤの荷の移動検出をシャフトエンコーダでとっているので機械取付けの検出器が最小限で済むことである。一方採用上注意を要するのは、コンベヤ上での荷がスリップしない用途でなければ

ならない、したがって仕分メインラインのコンベヤはベルトとかスラットを使用したものが適する。ローコンベヤはさけるべきで、Q レジスタ方式のほうが良い。

4. 3 制御用コンピュータの利用

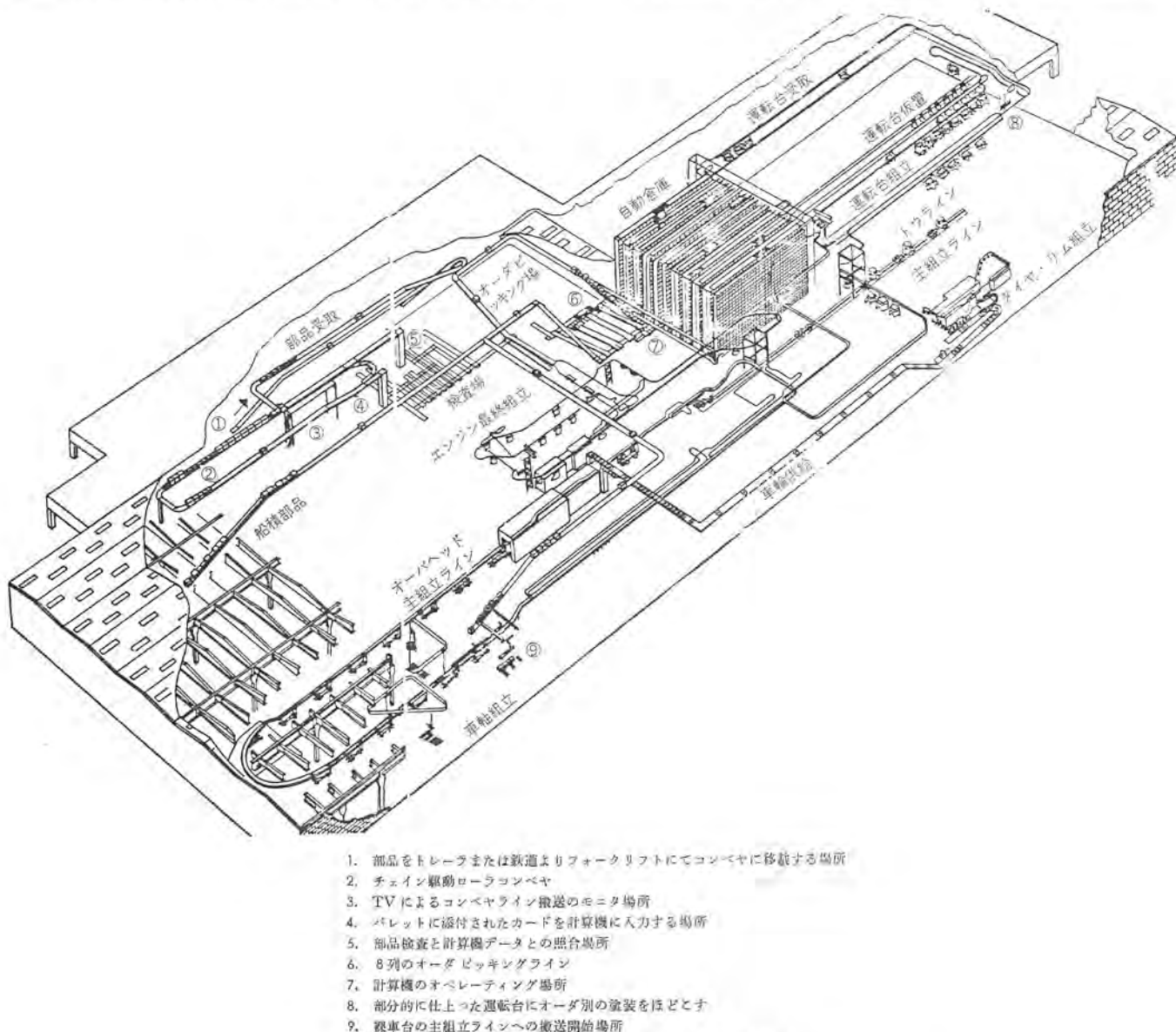
すでに述べたようにマテハンの合理化は第二次の段階に入り、配送センタとか中間自動倉庫の荷さばきコンベヤシステムは高度になり、大量の情報処理を必要とし、人間を有効に働かせるためのオペレーションガイドを逐時リアルタイムに出す必要に迫られてきた。このようなシステムでは、スタティックロジックとかマイクロコントローラでは手に負えなくなり、制御コンピュータの利用が必要欠くことのできない場合が多い。

図 4. 13 は、制御用コンピュータを用いた中間倉庫システムのレイアウトの代表例である。

コンピュータシステムを計画する場合の重要なポイントを列記すると、

(1) Back-up System を十分考えること

大規模なコンベヤシステムでは全システムの機能停止は致命的である。計画の段階でいろいろなレベルの故障を想定し、それぞれについて、その Back-up 運転と故障回復時の手順を考えておく必要がある。危



1. 部品をトレーラまたは鉄道よりフォークリフトにてコンベヤに移載する場所
2. チェイン駆動ローコンベヤ
3. TV によるコンベヤライン搬送のモニタ場所
4. パレットに添付されたカードを計算機に入力する場所
5. 部品検査と計算機データとの照合場所
6. 8 列のオーダーピッキングライン
7. 計算機のオペレーティング場所
8. 部分的に仕上った運搬台にオーダー別の塗装をほどこす
9. 稼働台の主組立ラインへの搬送開始場所

図 4. 13 コンピュータ制御される中間部品倉庫
Layout of computer controlled in-process automatic warehouse system.

危険分散のためにあまりにもローカル制御に負担をかけすぎてもいけないし、またコンピュータに負担をかけすぎてもいけない。システム設計上非常にむずかしい点であるが、システムをシンプルにし信頼度を上げるには危険分散を過大評価しないことである。

(2) センサーの選定と故障チェック

大規模なものではリミットスイッチ、荷のトラッキングセンサー類の数は数千個に達するものがある。

特に荷物のトラッキングに使用するセンサーは直接荷物によって作動させるので、多くの荷物が対象であるから、同じ形式のものでも均一であるとは言えない。メカニカルなもの、光学的なもの、磁気的なもの等いろいろな形式が考えられるが、その使用環境も合わせて十分検討し適用を誤らないよう注意を要する。

また多くのセンサーの定期的なチェックでは、故障の発見が遅れ品物の誤送による混乱をまねがれない。したがってコンピュータのトラッキングシステムにおいて、品物の流れに矛盾するセンサーの動作を監視し、論理的に合わない現象に対し、すみやかに処理できるようなものにしなければならない。

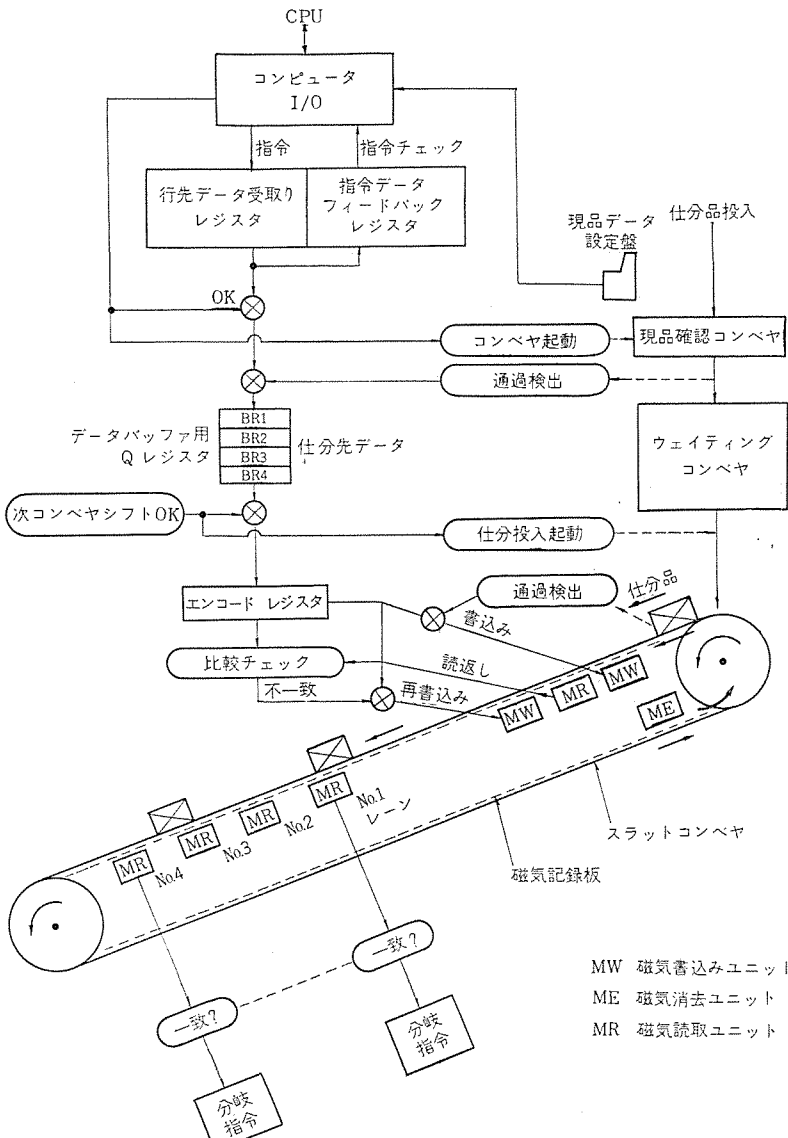
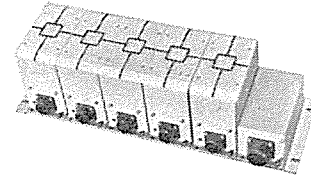


図 5.1 磁気記録式自動仕分システム例

Example of automatic sorting system applied with magnetic memory escort.

5. エスコート方式の制御システム

エスコート方式の適用機械についてはすでに表 3.1 に述べた。当社ではこの方式に属する制御ユニットとして、磁気記録読取りユニットおよび光学的マークリーダの開発を行なった。以下これらについて紹介する。



(1) 磁気読取装置



(2) 磁気書込装置

図 5.2 磁気記録式書込み、読取り装置
Magnetic writing and reading head.

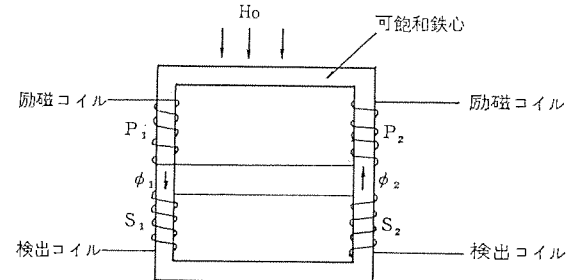


図 5.3 フラックスゲート形磁力検出
Flux sensor of flux-gate type.

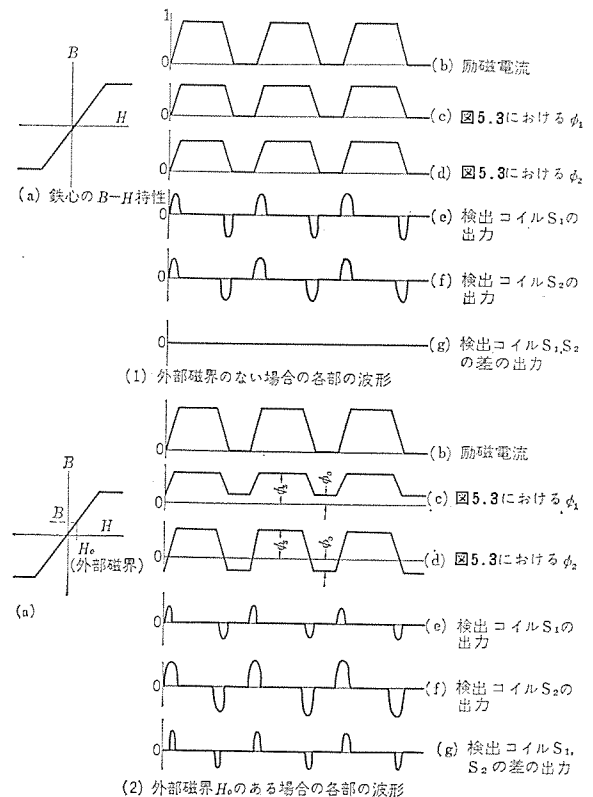


図 5.4 磁気読取り動作原理図
Principle of magnetic sensing

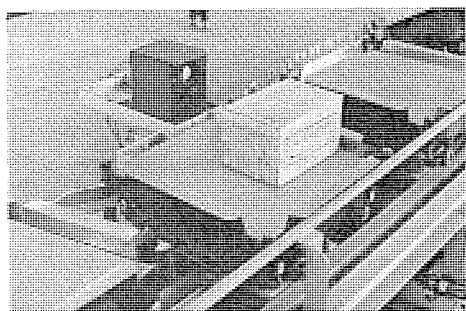
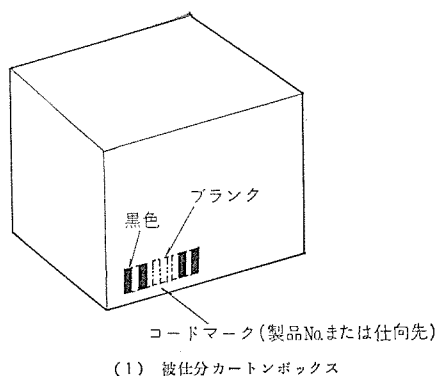


図 5.5 光学式マーク読取りユニット
Optical mark reader.

5.1 磁気記録式読取りユニット

図 5.1 はスラットコンベヤを用いた磁気記録式エスコートシステムの例で、コンピュータから直接仕分先データを受取るシステムである。この場合の特長はコンピュータのシャットダウン、停電等で進行中の品物の行先がなくなる点有利である。また書込んだデータのチェックを行ない、書き込みユニットの故障誤動作を防止することができる。

磁気記録読取装置の動作原理を説明すると、磁気書込みは直流磁界により磁気記録板を磁化する。ある決められたコードに磁化された記録板に対向して読取装置を設置しておき、記録板の磁化方向を検知するのである。この検知方式は図 5.3 に示すフラックスゲート形の磁力計の原理を応用したものである。図 5.4 のように磁気バランスを取っておき、記録板の磁力が外部に現われるとその均衡がくずれる。このようにして磁化方向を検出する方式である。

5.2 光学式マーク読取りユニット

図 5.5 に示すようなカートンボックスに印刷されたり、張り付けられたコードラベルを読み取る装置である。このようなユニットの応用は、生産ラインにさかのぼってコードラベルの付け方を検討する必要がある。図 5.6 は光学式マーク読取りユニットとか磁気記録式読取りユニットを応用した生産ラインと直結した配送センタシステムの一例である。

6. む す び

以上コンベヤ搬送制御システムについてマテハンシステムの一つとして

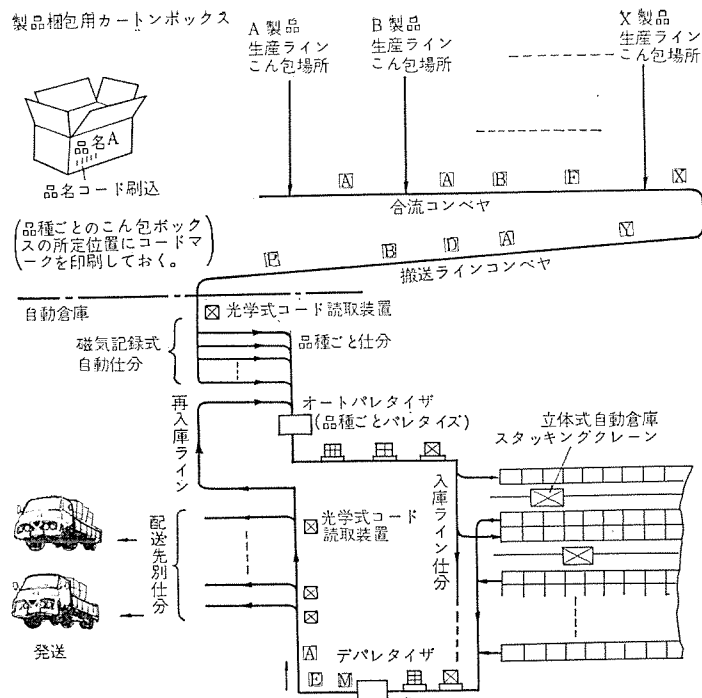


図 5.6 光学式コード読取り・磁気記録式読取り装置を
応用した配送センタシステム例

Example of distribution center system applied with optical
mark reader and magnetic memory reader.

記述した。言うまでもなくすぐれたシステムを構成するには、すぐれた特長あるハードウェアがあつてこそ成立つものである。当社ではシステムから要求されるニーズを速かにキャッチし、今後ともマテハンシステムに適用できる特色あるハードウェアを開発していくつもりである。

一方今後のコンベヤシステムはますます複雑化し、前後の工程に深く立入らなければ、本当の意味での Order-fit したシステムを造り上げることができなくなつてきている。これはユーザ・メーカー一体となつて十分なシステムスタディを行なつたうえでのシステムデザインが必要である。

いずれか一方だけでのシステムデザインでは不十分であり、予期しなかった障害により、基本システムから作りなおさなければならない事態が発生し、非常なロスをまねく場合が起こりうる。わが国のシステムスタディとデザインの実態を考えると、メーカー・ユーザともに大いに反省しなければならないと思われる。

われわれはこの分野にたずさわる 1 人として、顧客のよき相手として成長すべくソフトウェアについても精進していくつもりである。

参 考 文 献

- (1) 佐竹, 中野, 伊藤: 自動倉庫システム, 三菱電機技報 44, No. 10, 1,327 (昭 45)

工業用マニピュレータによるハンドリング自動化

津 田 栄 一*

Automated Materials Handling with Industrial Robots

Manufacturing Development Laboratory Eiichi TSUDA

It was not long ago when a manipulator called an industrial robot came into use on the production line. To automatize the production line has been an attempt in every field of industry. Rationalization of the materials handling has been tried these years and a variety of apparatus have been introduced only to prove none of them are perfect. The reason is that there are too many aspects where versatility in the human function is vital necessity. Under the circumstances, the manipulator has a feature of having the versatility never found with old devices for the same purposes, entering the limelight as a powerful means for automated materials handling. This article describes the present state of the manipulator as well as how to operate it.

1. ま え が き

必要な物体が、必要なときに、必要な場所へ、確実に、しかも安価に到達することは、マテリアルズハンドリングの原則である。従来から、あらゆる生産ラインにおいて、物体の移動・包装・貯蔵といったマテリアルズハンドリングの合理化が進められてきている。これは、マテリアルズハンドリングが本質的に生産において、付加価値を増すものでないからであろう。しかしながら「必要な物体が、必要なときに、必要な場所へ、確実に安価に到達すること」は、生産ラインにおいて省くことのできない作業であることに変わりはない。

このようなマテリアルズハンドリングの合理化のため、プラントレイアウト・各種機械設備・システム運用法が適用され、成果を上げてきた。すなわち、これまでの考え方では、作業者が、これらプラントレイアウト、機械設備、あるいはシステム運用法などによって、どれだけ多くの作業を効率的に行なえるか、という観点で合理化が進められてきた。

しかし、昭和40年以降、わが国経済の急速な発展につれ、

- (1) 若年労働力減少の深刻化と労働年齢の老齢化
- (2) 人件費の高騰
- (3) 資本・貿易自由化に伴う競争の激化

など企業を取巻く環境はきびしさを増し、これを克服するには、従来の生産形態をより高度に合理化することが急務となった。すなわち、うえに述べた悪条件を克服し、生産物の質的向上と付加価値をより高めるため、生産の自動化・無人化が切実に要望されてきた。とくにマテリアルズハンドリングは、その主要目標のひとつとなった。

マテリアルズハンドリング自動化のための方法としては⁽¹⁾、

- (a) 機械的整送装置
- (b) 工業用マニピュレータ(工業用ロボット)
- (c) ネットワークコンベヤ
- (d) 無人けん(牽)引車
- (e) 自動選別装置
- (f) 自動包装装置
- (g) 自動スタッキング装置
- (h) 自動倉庫

などがある。このうち工業用マニピュレータは工業用ロボットとも呼ばれ、機構と制御の柔軟性に富んだ、従来になかった新しい自動ハンドリング装置として一大脚光を浴びている。

種々の生産ラインで、人間にとって危険な作業環境や、不快な作業環境は、いくらかでも現実に存在している。このような環境でのマテリアルズハンドリングは過酷なものである。さらにまた、一般にそのような環境でなくともマテリアルズハンドリングは単純単調な作業である。このような作業は当然機械にやらせるべきものであり、また、先に述べた企業環境からも自動化は必ず(須)となってきた。機械の持っている強靱性・再現性・正確性に加えて、機構と制御の柔軟性を持つ工業用マニピュレータ(工業用ロボット)を人間に代わって、このような作業へ適用することが試みられ、実施されはじめてきた。

マテリアルズハンドリング自動化のひとつの有力な手段である工業用マニピュレータについての現状と問題点について報告する。なお、この報告ではマテリアルズハンドリングのうち、その狭義の意味の「物体の移動」を中心に述べるので、以後、単にハンドリングと呼ぶことにする。

2. ハンドリング自動化の問題点

2.1 作業の多様性

生産ライン、とくにわれわれの企業のようなアッセンブル工業では、資材受入れ・加工・組立て・検査・出荷といった各工程内および工程間でのハンドリングの内容は、移動・保管・取出し・選別・供給・位置決め・整列・方向変換・分離などに分類される⁽²⁾。通常の作業では、これらのうちの単独動作はもちろんのこと、組み合わせられた作業が数多く要求される。これらの作業は同一物体ばかりでなく、たとえば、組立工程のような場合には、多くの種類の物体をハンドリングする必要が生じる。

このように多様性のあるハンドリングをそのまま自動化することは効率が悪くばかりでなく、経済的にも引合合わないことが多い。したがって、従来のハンドリング合理化以上に自動化の場合には、各作業工程の連続化、工程の省略、工程内のハンドリングの削減などを考えねばならない。すなわち基本的には、ハンドリングを必要最小限にとどめた生産様式にするとともに、自動化しやすいハンドリングの作業標準を確立する必要がある。

ハンドリングの作業分類による自動化装置としては、表2.1に示すものがあげられる。これからわかるように工業用マニピュレータは、他の専用装置にくらべ機能の柔軟性が大きく、ハンドリングのはん用装置としての可能性が大きい。しかしながら、実際には任意の場所に、任意の姿勢をした物体をハンドリングするほどの柔軟性を持った装置

* 生産技術研究所

表 2.1 ハンドリング自動化装置の機能
Function of automated handling equipment.

装 置	インデックス装置	ホッパ	エスケープメント	マガジンパレットコンテナ	シュー	コンベア	マニピュレータ
ハンドリング							
保 管		○		○		○	
移 動	○	○			○	○	○
整 送		○		○			○
方 向 転 換		○			○	○	○
分 離			○			○	○
供 給			○		○		○
位 置 決 め	○						○
取 出 し							○
タ ラ ン プ							○
ア ッ ク ラ ン プ							○

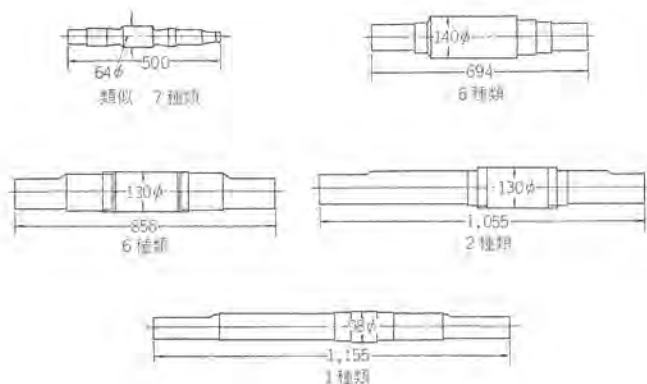


図 2.1 ワークハンドリングの多様性
Variety of work handling.

の実用化は、現在の技術水準では、まだむずかしい。したがって先に述べたように自動化のための作業標準が望まれ、また、自動ハンドリングのための前準備が効率的に行なわれねばならない。

2.2 対象物の多様性

各生産工程内あるいは工程間におけるハンドリング対象物は、その作業の多様性よりも、さらに多種多様になる。材質・形状・寸法などの違いによる種類は膨大な数になる。このように多様な対象物を工業用マニピュレータで自動ハンドリングするには、1) 対象物を連続体にする、2) 対象物の形状の修正、3) 補助具の活用などを適用する必要がある。

(1) 連続体にする

紙・布・線状物体など柔軟な物体は、いうまでもなく、針状の物体などは機関銃の弾帯のように連続体とし、ハンドリングを容易にするとともに、組立て工程の場合などは、必要な作業が行なわれる寸前まで連続体にしておくのが望ましい。

(2) 形状の修正

ハンドリングの中の重要な作業のひとつに、位置決めがある。対象物には、単に加工や組立てのためのつい(衝)立てを設けるだけではなく、工業用マニピュレータがチャックするときの基準位置を設けて、位置決めが容易に行なえるようにする必要がある。

(3) 補助具の活用

マガジン、パレット、コンテナなどを用いてハンドリング自動化の効率を高めることが必要である。この際、形状・寸法の異なった物体を同時にハンドリングする場合、対象物の基準をそろえておくことが必要である。図 2.1 は、同一加工ラインで切削されるシャフトの一例であるが、これを自動ハンドリングするためには、長さ方向の中心あるいは端部を基準として、あらかじめパレットに格納できるようにする必要がある。

2.3 ロットの大きさ

生産物のロットの大きさに対応して、ハンドリングの専用機を用いるか、工業用マニピュレータを用いるかが決まる。アッセンブル工業では、本質的に多品種少量生産であることが多い。たとえば、テレビ受像機は量産品の代表例であるが、46年5月現在、当社で生産されている機種は、カラーおよび白黒と合わせて25機種に及んでいる。このように、たとえ量産の場合であっても、顧客の階層・好み・目的などによって多種類のものとなり、ハンドリング自動化に専用機的なものを導入するのを困難なものとしている。

多機種少量生産にこそ、工業用マニピュレータが、その機能の柔軟性によって、大いに適用しうるものといえる。しかし、より効率化をはかるために、作業と対象物の標準化は重要な課題となる。もちろん標準化にも限度があり、そのためグループテクノロジーをハンドリング作業にも適用することが必要になる。

3. 工業用マニピュレータ(工業用ロボット)の機能

3.1 機能

従来、人間の行なっていたハンドリング作業を機械に行なわせるために機能として、次のような要求目標をあげることができる。

- (1) 人間の手の動きと同じ器用さを持つこと
- (2) 人間の手の機能よりも大きい負荷容量と作動範囲を持つこと
- (3) 操作の確実性と精度を高めるため感覚機能を持つこと
- (4) 人間が指令を与えるだけで、自動的に決められたハンドリングを行なうこと

すなわち、機能的には汎用性と柔軟性を要求するものであり、機構的にも、制御にも柔軟性が必要である。

3.2 機構

機構として要求されるのは、動作の柔軟性と人間と比べた場合の機能の拡大である。そのため従来のハンドリング装置と異なった、自由度の大きい機構が要求される。また、加工・組立てなどの機械装置との協調も必要で、比較的人間の腕や手に近い形状になる。

(1) 運動の自由度

人間の手と同じ器用さを持たせるためには、人間の腕や手の形状に近いものが考えやすい。

人間の手の運動自由度を人間工学的に解析した結果、最小限7自由度あればよいとされ⁽³⁾、放射性物質の遠隔操作のためのマスタスレーブマニピュレータが開発された。この自由度については図 3.1 に示す。

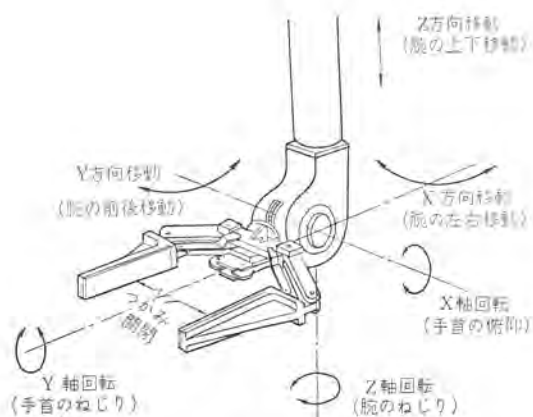


図 3.1 マニピュレータの7自由度
Seven degrees of freedom of manipulator

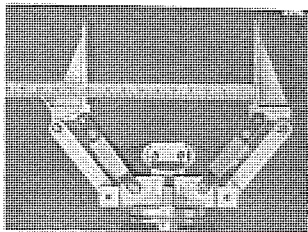


図 3.2 平行移動形トング
Parallel moving tongs of manipulator.

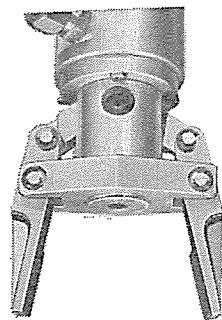


図 3.3 簡易形トング
Tongs with simple mechanism.

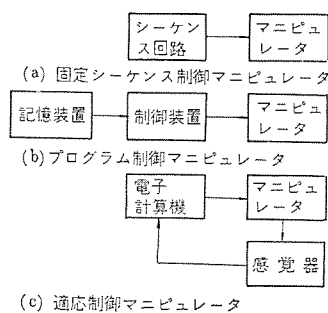


図 3.4 マニピュレータの制御方式
Control system of manipulator.

これは、そのまま工業用マニピュレータにもあてはめることができる。しかし実際に生産ラインに適用するときには作業がかなり限定できるので、もっと少ない自由度でも十分な場合が多い。

(2) チャッキング方法

物体を保持する機構としては、はさむ機構(トング)がもっとも柔軟性がある。人間が物体をつかむときには、指全体と手のひらを対象物にあて、手首をかなり強く働かせている。また、物体が小さいときは指だけでおさえ、いわゆるつまむ動作となる⁽⁴⁾。工業用マニピュレータでは、このはさむ機構を最小の運動の自由度で行なわせ、機構を簡素化している。

多様な物体をはさむ機構としては、物体を保持するときのマニピュレータの位置の変化が少ないので、図 3.2 のように平行に開閉するトングが望ましい。実際の生産ラインでは、対象物がある程度限定されることもあって、図 3.3 のように簡単な機構のトングも多く使用することができる。

ハンドリングする物体が板状のものや、こわれやすいもの場合には、真空吸着チャックを使うことが多い。

(3) 形状

機構の柔軟性を持たせるため、形状的には人間の手と同じく、片持はり(梁)形式が普通である。しかし、人間の腕・手の場合、極座標の構成と考えられるが、マニピュレータの場合は、位置決め指令の容易さも考え、円筒座標の構成が普通であろう。簡単なハンドリングの場合には直交座標の構成で十分な場合もある。いずれにしても形状的には、片持はり形式をとる必要があり、負荷容量に見合った、軽くて剛性のある構造が要求される。したがって駆動機構も重量当たりの出力が大きいものが必要とされる。

(4) 駆動方式

電動・空圧駆動・油圧駆動などが用いられる。これらの使い分けは、運搬容量、速度、位置決め精度とも関連する。比較的運搬容量の小さい場合には、電動や空圧駆動が用いられる。この場合、位置決めが連続可変であれば、普通、電動方式のほうが容易である。油圧駆動は運搬容量が比較的大きく、位置決め精度を要求される場合に多く用いられる。

位置決めが連続可変で、精度を要求されるときには、電動サーボや油圧サーボの駆動方式を用いることが多い。

3.3 制御方式

工業用マニピュレータの制御方式は、図 3.4 のように分類ができる。ハンドリング作業は本来単純単調であるが、実際には状況の変化に対応して、作業にフィードバックし、あるいは予測を行なって作業手順や方法の修正変更を必要とすることも多い。したがって工業用マニピュレータの特性としては、少なくとも視覚や触覚に関する感覚機能を持

ち、自身の動作を修正し、正しい動作を維持する制御機能を持つ必要がある。しかし、このような特性をもつものは、まだ研究途上にあり、当面技術の進歩を待たねばならない。

(1) シーケンス制御

動作順序は固定か半固定であり、もっとも単純な制御形式である。いわゆるオートローダなどがこれに属する。ハンドリング対象物は、あらかじめ決められた場所で、決められた姿勢に待機させておく必要がある。通

常のハンドリングでは、この程度のもので、かなり自動化の効用は大きく、量産ラインによく用いられる。

(2) プログラム制御

ハンドリング対象物や順序の変化に対応して、容易にプログラムを変更して命令を与えることができるものである。命令を随時変更できる点に機能のはん用性があり、多品種少量生産ラインに適合するものといえる。現在、工業用ロボットと称されているものの多くは、この形式に属するものである。

命令の記憶方式としては、ピンボード、スイッチ、磁気記憶装置などが用いられる。これは、位置決め点数、位置決め法とも関連し、運動の経路が点から点への制御であるか、連続経路の制御が必要であるかによっても使い分けられる。

命令の与え方としては、記憶装置にプログラムを直接入力させるものと、プレーバック方式で、位置目標値を作業者がマニピュレータを手にとって記憶させるものがある。複雑な連続経路の命令を与える方法として後者の利点は大きい。

このプログラム制御によるものやシーケンス制御によるマニピュレータを適用する場合には、感覚機能を代行させる補助装置を適切に設けることが必要で、状況の変化に対応した情報を人間に報知させることが重要である。

(3) 適応制御

与えられた基本プログラムに従ってマニピュレータを制御するとき、状況の変化に対応して、基本プログラムを逐次自己修正し、その状況にもっとも適した状態になるよう制御するものである。

このような機能を発揮するためには、状況の変化を感知するための感覚器、感知した情報を認識して判断を下し、マニピュレータをフィードバック制御する電子計算機が必要になる。

機能的にははん用性と柔軟性の大きい装置となり、いわゆるロボットの概念に近づいてくる。情報の取扱ひ量が非常に多く、記憶容量の大きい電子計算機を必要とし、現在開発途上にある。実用化にはいまだしばらく時間がかかりそうである。

3.4 作業性能

作業可能な空間は、原則的には三次元であるが、用途によっては二次元だけで十分な場合もかなり多い。

腕の到達範囲としては、最大 1m ぐらいが普通であり、それより大きい場合はマニピュレータ全体を移動させるのが効率的であろう。このことは、ハンドリングを必要とする機械装置が人間を対象として作られているのが普通であり、したがって人間の機能よりは、わずかに大きいものを使いやすいといえそうである。

同じことは腕の移動速度についていえる。その範囲として 1m/s 近傍が普通に用いられるようである。

運搬容量としては、対象作業に応じて一概には決められない。人間が行なう場合のように、補助装置と協調可能であれば、最大 20 ~ 30 kg の容量で十分であろう。実際には、これはむずかしく、またシステム構成を単純にするため、たとえば 5, 20, 50 kg 用などのように標準系列を決めるほうがよいように思われる。

位置決め精度は、構造と検出器に関連するが、0.1 mm を期待することは可能である。

3.5 感覚器

感覚器は、まだ研究の段階である。たとえば視覚については、比較的単純な形状の立体像をビジコンで検知し、認識して判断を下すのに 32 k 語程度の記憶容量を持った電子計算機が必要といわれている⁽⁵⁾。一方、触覚については、サーボ機構の位置偏差が反力の情報を含むことを利用して、対象物から力のはね返りを感じさせて、判断を下す双動サーボ機構を制御するのに 4 k 語の記憶容量が必要とされている⁽⁶⁾。

このように感覚器についての研究は目ざましいものがあるが、実際の生産ラインに適用するには、機能的にまだ簡単なことしか行なえないことと、経済的にも引合わないというのが現状である。しかし、コンピュータのはん用性と柔軟性を高めるには、このような感覚器の実用化が早急に望まれる。

4. マニピュレータによるハンドリング自動化の実施例

マニピュレータによるハンドリング自動化の例をいくつか紹介する。これらは、すべてシーケンス制御マニピュレータに属するものであり、比較的小ロット数の大きいものに適用されている。したがって、どちらかといえば専用機の性格が強いものである。しかしライン編成の変更や機種の変更に対し柔軟性があることはいうまでもない。

4.1 工程間ハンドリング

工程間ハンドリングの自動化で問題になるのは、工程間搬送装置、たとえばコンベヤに対する物体の取付け、取りはずし、あるいは一時保管のためのハンドリングなどである。このような準備作業的なものには、マニピュレータの使用は効果的である。

(1) コンベヤ間の自動積換え

図 4.1 は、けい光灯じかけ照明器具の反射カバーの溶接コンベヤラインから、塗装ハンギングコンベヤラインへの積換えを行なわせるため開発されたものである。溶接ラインから平面的に搬送されてきた反射カバーを同時に 3 枚吸着し、方向転換・移動してハンギングコンベヤのフックにひっかけて積換えを行なうものである。

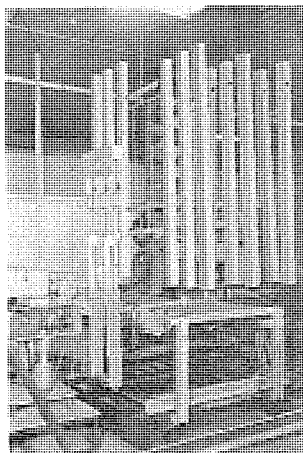


図 4.1 コンベヤ間の積換え装置

Auto-loader between two conveyor lines.

この装置では、ハンギングコンベヤに積換えるには、移動するフックのタイミングに合わせて、チャックした反射カバーをフックとフックの間にそう入し、停止したままフックがひっかけるのを待ちかまえる方法をとっている。この方法は、機能的に単純で実用価値が大きい、コンベヤ速度が上がると適用がむずかしくなる。このような場合、コンベヤに同期追尾する機能が必要になる。コンベヤ速度が 0.5 m/s 程度までであれば、簡単なオンオフ制御で十分同期追尾させることが可能である。

(2) 一時保管

工程間ハンドリングには、一時保管を必要とすることは多い。たとえば、切削加工ラインから研削加工ラインへ物体を移動する場合、両者の加工サイクルタイムが異なるのは普通であり、そのため工程間で一時保管が必要となる。

図 4.2 は換気扇の軸加工ラインに適用したものである。旋盤から自動的に取りはずされた軸をトングでチャックし、移動してパレットに整列格納する。

このコンピュータでは、軸を整列格納するのに順次位置決めをしていくのではなく、パレットを別機構でピッチ送りさせて、コンピュータの制御を簡素化している。機能の柔軟性からいえば不足する面があるが、構成が単純で安価なコンピュータは、気軽に使用できる利点がある。

4.2 工程内ハンドリング

加工工程や組立工程では、加工機械や組立装置への物体の供給、取りはずし、あるいは物体と物体との組み合わせなどがおもな作業内容である。このような工程内ハンドリングでは、位置決め精度がかなり高く要求されることが多い。

(1) 加工機械でのワークハンドリング

加工機械に対するワークのローディング、アンローディング作業のうち、プレス加工の場合は単純単調作業の典型といってもよい。図 4.3 の装置は、タービン発電機など大形回転機のステータやロータに用いられるセグメントコアにスロット加工を施すノッチングプレスのローダ・アンローダである。

セグメントコアを 1 枚ずつ、プレステーブルに位置決めしてローディングし、ノッチング加工が終わるとプレス機械から取りはずし、積上げていく作業を 2 台のマニピュレータで行なわせている。セグメントコアのようなシート材のチャックには真空吸着はすぐれた方法であり、この装置にも適用されている。

シート材を吸着するときの問題は、重なり合ったままのものをチャックする可能性があることで、このため 1 枚ずつ、あらかじめはく(剥)離しておくことが必要である。この装置の場合には磁気的方法

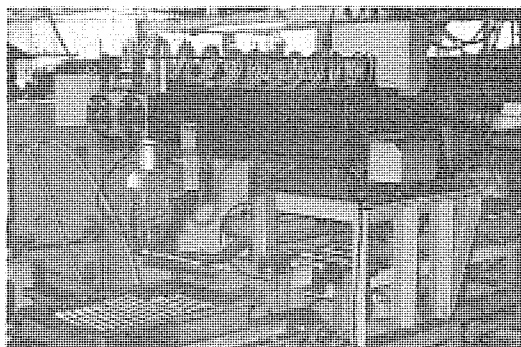


図 4.2 軸加工ラインにおけるマニピュレータ

Manipulator in lathe line.

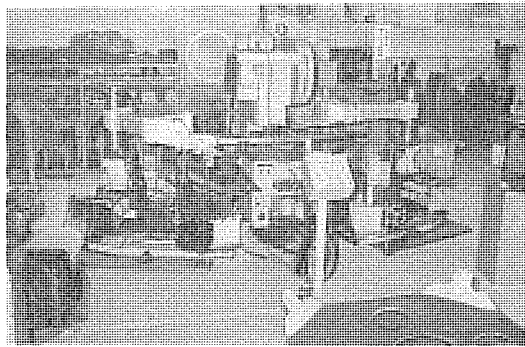


図 4.3 ノッチングプレス用ローダ・アンローダ

Loader and unloader for notching press.

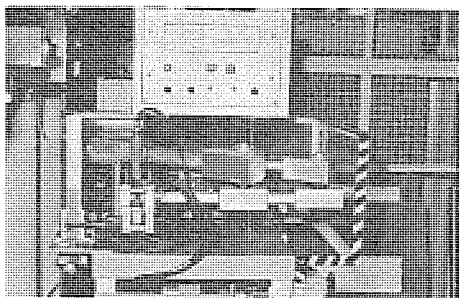


図 4.4 スポット溶接機用オートフィーダ
Auto-feeder for spot welder.

で行なわせている。もうひとつの問題は、積重ねてある素材が次第に減少して積高さが小さくなることと、一方、加工済材の積高さが次第に高くなっていくことである。マニピュレータに、これに対処するような機能を持たせることは、技術的に可能であるが、この場合には、素材や加工済材の保管テーブルに、このような機能を持たせている。

(2) 組立て工程でのワークハンドリング

組立て工程では、とくに位置決め精度がきびしく要求される。図 4.4 は、冷蔵庫のケースにドアヒンジをスポット溶接する際のパーツフィーダとして用いられたものである。マガジンからドアヒンジを 1 個ずつ取出し、溶接電極に取付ける機能を持っている。

この装置の場合、どちらかといえば専用機であるが、その作業内容からいえば、マニピュレータの機能を持つものが適している。とくに、機種変更に対する柔軟性の点ですぐれており、簡単なハンドリングを自動で行なわせる簡単なマニピュレータの用途は、組立て作業の場合でも多いように思われる。

5. 今後の発展

前章の実施例では、シーケンス制御で単純な機能の専用機性格を持つものであった。ハンドリング作業は単純単調であるといっても、このような機能のものだけで自動化は、行なうことができないのは当然である。多品種少量生産ラインでは、より高度な機能を持つことが要求される。ここでは、ロボットを最終目標として、さし当たり実現を要求されている 2, 3 の例について述べてみたい。

5.1 多数の工作機械の自動ワークハンドリング

たとえば、図 2.1 で示したようなシャフトを 3~5 台の旋盤で加工する場合、しかもロットの大きさが 10~20 本のような場合に、加工そのものは、数値制御さらには群制御するのに好都合である。しかし、各旋盤に 1 台ずつのマニピュレータ、あるいはオートローダを設け、素材や加工材を管理するのは、得策とはいえない。シャフトの寸法・重量が大きい場合、素材・加工機の一時的保管を集中するのが得策といえる。

このような場合に、1 台のマニピュレータで、すべての旋盤のワークハンドリングを管理できれば効率的である。もちろん、これは旋盤のみならず、その他の工作機械にも同じ考え方を適用できる場合が多い。このような機能を満たすマニピュレータの実現は、比較的早いのではないかとと思われる。

5.2 アーク溶接施工の自動化

大形構造物の多くは溶接で建造されている。これらのアーク溶接施工を自動化するには、溶接トーチをどのように自動ハンドリングするかが問題になってくる。溶接個所が直線である場合や、溶接対象物を回転させることのできる円周溶接などでは、専用の装置があり実用化されている。しかし溶接個所が複雑なパターンをしているものや、

対象物が巨大で動かすことができない場合には、マニピュレータのように柔軟な機能を持ったものが必要になる。

もちろん、溶接法自体も、あらゆる方向に対して、確実な溶接接手が連続して得られるものが開発されねばならない。それにも劣らず重要なことは、巨大構造物では、マニピュレータ自身を移動させる機能が必要になり、これは、まさしくロボットに溶接トーチを持たせたことになる。そこまでいかなくとも、溶接施工の自動化に工業用マニピュレータを適用することは、ひとつの課題といえそうである。

5.3 組立ての自動化

すべての製品組立てに、マニピュレータを使うことは、効率的ではないであろう。しかし、各種専用機と協調して作動するマニピュレータは、有効と思われる。

組立てのむずかしさは、この特集号で岩佐⁽⁷⁾が述べているが、ハンドリングの観点からは、はめ合わせなどのように、一方の物体からハンドリングしている物体に拘束を受けることである。これに対処するには、視覚や触覚などの機能が要求される。

現在の技術では、このような機能をもつマニピュレータは、まだ実用性に乏しい。このことは、すでに述べたとおりであるが、対象とする製品の設計の改善や補助となる検出器の適用で、工業用マニピュレータを主体とする自動組立てラインの実現の可能性は大きいと考えられる。

6. むすび

工業用マニピュレータ、いわゆる工業用ロボットを生産ラインに適用することは、現在始まったばかりである。しかしながらハンドリング自動化の有力な手段のひとつとして、大きく期待されている。これは、本来、ハンドリングが人間の持っている特性・機能を十分に発揮させる作業ではないためと思われる。

現在の工業用マニピュレータが機能的に、直ちに人間と置換えて、ハンドリングをさせることができるまでには至っていないことは、すでに述べた。しかし現在、実用的に得られる機能を持つマニピュレータを前提とし、単に人間と置換えて使用するというのではなく、生産ラインを考えるべきであろう。

現在、生産システムの中核として、電子計算機は大きな役割りをにないつつある。おそらく、工業用マニピュレータも、工作機械と同じく、電子計算機による群制御が実施されるであろう。このとき、工業用マニピュレータは、生産管理システムと結びついた自動ハンドリングシステムの構成要素として使用されるであろう。また、感覚器の実用も始まるのではないかとと思われる。

(昭和 46-8-19 受付)

参 考 文 献

- (1) 長谷川編：多品種少量生産システム，62 (昭 45) 日刊工業新聞社
- (2) 谷口，牧野：機学誌，70，1,434 (昭 42)
- (3) R. C. Goertz : Nucleonics, 10, No. 11, 36 (1952)
- (4) 坪内：人間工学，(昭 36) 日刊工業新聞社
- (5) 電子技術総合研究所彙報，35，No. 3 (昭 46) ETL ロボット Mk I 特集
- (6) 井上：機学誌，73，946 (昭 45)
- (7) 岩佐：三菱電機技報，45，No. 10, (昭 46)

組立自動化の問題点

岩 佐 辰 弥*

Problems for Automatic Assembly

Manufacturing Development Laboratory Tatsuya IWASA

In connection with the automatic assembly coming into necessity of late, examples of these machines developed by the Manufacturing Development Laboratory are quoted and problems posed by them are reported herein. The automatic assembling technology involves a number of problems. In other words, this technology belongs to the new field with technical backwardness and diversity, and then the problems range from the degree of know how to the innovation of technique.

These problems solved one by one, contribution is to be made to the progress of automatic assembly to pave the way to the forthcoming unmanned operation.

1. ま え が き

過去に、コンベヤ生産ラインは、豊富な労働力を背景に、飛躍的な生産性向上を達成した。特に集約工程にあたる組立工程のコンベヤラインは、企業の花形的存在でコンベヤラインこそ、オートメーションと錯覚されていた。わが国では、昭和40年ごろを境に企業の高度成長に伴い、労働事情が急変し、企業内は、深刻化する人手不足と人件費の高騰に見舞われ、自動化・省力化の要求が増大している。なかでも電機産業界は、労働集約的産業に属し、その要求度は急速に高まっている。各種の未来情報を探索しても、わが国の企業の将来展望は、こと労働力に関しては悲観的であり、昭和50年代には、労働力の相対的不足から、絶対的不足に移行、賃金水準も現行の2倍になると見られ、自動化・省力化の次段階、無人化への進展も重要な課題となっている。

従来、機械化が困難とされていた組立作業も、合理化の対象として、自動化・省力化の推進なくして、企業の高度成長をささえることが困難な時代になりつつあり、手と簡単な道具に頼っていた組立作業に、いきなり機械を持込み、難題を仕掛けているのが現状といえる。

組立自動化のキャリアは、世界的に先進の米国で20年といわれ、わが国では、せいぜい10年程度で、成功例が発表され、注目されはじめたのは、それよりおのおの4～5年後のことであり、技術的に未確立な、比較的、歴史的にも新しい技術分野である。

2. 自動組立の問題点

2.1 対象テーマ

組立自動化の歴史的後進性の理由は、いろいろあると思われるが、組立作業は、従来、人間の仕事という観念があり、フレキシブルに活動する人間の重宝さが、多様性の高い組立作業にマッチしたのも一因といえる。自動組立の対象としては、組立の必要な工業製品全般がその範囲にはいる。米国での自動化実施例は、コネクティングロッド、エンジンブロック、クラッチなどの自動車関係の部品組立、プリント基板・半導体コンポーネントなど電子機器関係の部品組立のほか、時計・ボールベアリング・ワットアワーメータ・真空管・カメラなど各産業の各製品におよんでいる。当社でも、大は重電機器から、小は半導体に至る広範囲な自動組立の要求がある。

これらの機能、形状、重量、材質、精度と、部品数および組立様式の異なる種々のテーマ品に対し、画一的に組立自動化をはかろうとしても無理があり、おのおのの製品の機能と持味を生かした自動化を進める必要がある。そのうえ、テーマの多様性に拍車をかけるのが、製品のモデルチェンジで、工作機械などに比べて問題もさらに多様化する。

2.2 自動組立機の種類

一方、組立自動化の目的、生産量・自動化規模によっても、開発する自動機の種類と内容が大きく変化する。

- | | |
|----------------|--|
| (1) 目的別分類 | { (a) 生産性の向上
(b) 品質の向上 |
| (2) 対象(生産量)別分類 | { (a) 小種多量生産
(b) 中種中量生産
(c) 多種少量生産 |
| (3) 自動化規模別分類 | { (a) 部分自動化
(b) トータル自動化 |

当社生産技術研究所でも、各場所依頼の自動機の開発を担当しているが、持込まれるテーマごとの目的、様式、内容は、多種多様であり、一方、開発する自動機の種類も多岐にわたっている。

生産性向上を目的とした多量生産の組立自動化の一例として、小形電磁接触器の自動組立ラインを紹介する。図2.1は、自動組立ラ

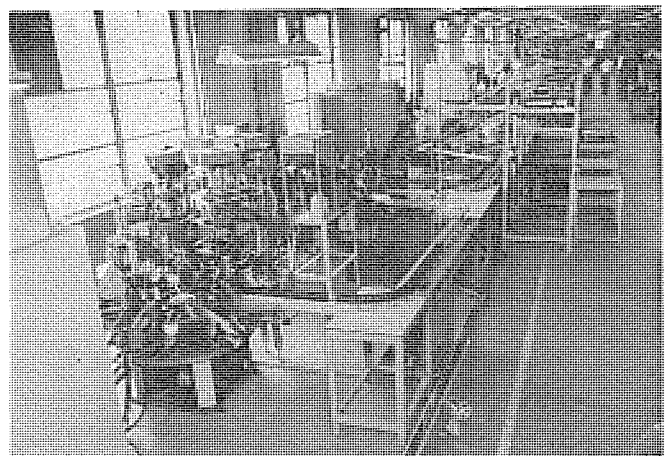


図 2.1 小形電磁接触器自動組立ラインの全景
General view of automatic assembly line for magnetic contactor.

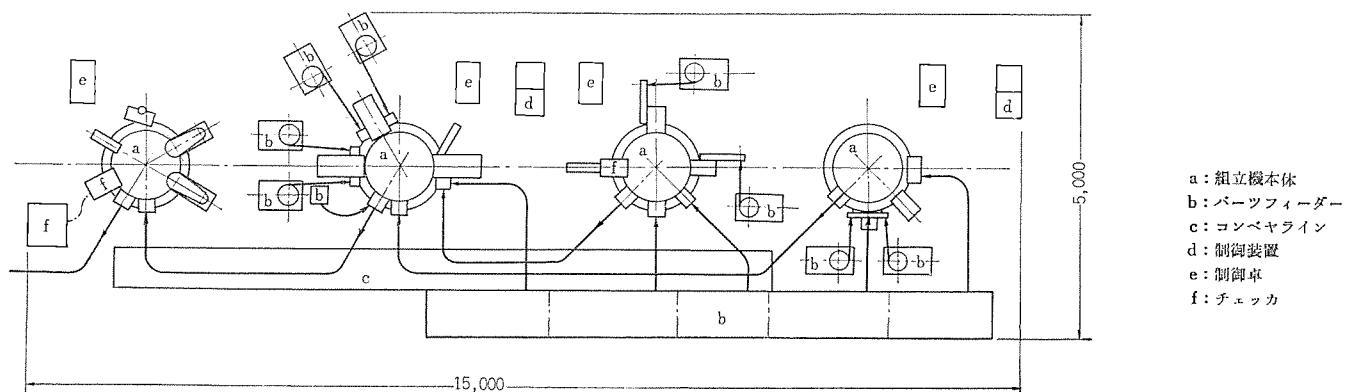


図 2.2 小形電磁接触器自動組立ラインの平面図
Plan of automatic assembly line for magnetic contactor.

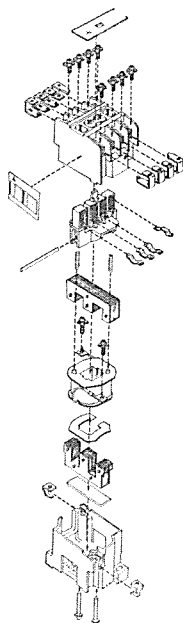


図 2.3 小形電磁接触器の組立手順
Assembling process for magnetic contactor.

インの全景、図 2.2 はその平面図、図 2.3 は小形電磁接触器の部品と組立手順を示す。本自動組立ラインは、部品総点数 39 点の自動組立と 3 項目の自動検査を実施でき、自動組立ステーション 21 台、自動検査ステーション 2 台、パーツフィダ 24 台から構成され、フレキシブルなリード端子をもつコイルのそう入のみ、手作業を採用している。

組立ラインは、おのおの 4～7 台の自動ステーションをもつ、4 台のロータリテーブル式の組立専用機で構成し、おのおのに制御装置を設け、独立運転が可能であり、さらに各専用機間をコンベヤで連結しているが、コンベヤ上の品物の積載量をチェックして信号を出し、前後の専用機を制御している。したがって専用機は、固定サイクルのマシンであるが、ライン全体は、フリーサイクルのライン構成になっている。

本ラインは、若干の段取り換えによって、2 機種を取扱うことが可能で、接点構成の違った接触器も自由に自動組立ができる。また、自動検査ステーションの採用で、接点構成と最低動作電圧および耐電圧のチェックと選別が可能で、最終ステーションから最終製品がアンローディングされるトータル組立自動化ラインである。

次に、多種小量生産に適用した部分自動化の自動組立機の一例として、図 2.4 に大形変圧器の鉄心積み機を紹介する。多種小量生産のトータル組立自動化は、現在および近い将来とも困難といえる。しかし、多種小量生産体系の工程にも、同種部品の点数が多く、単

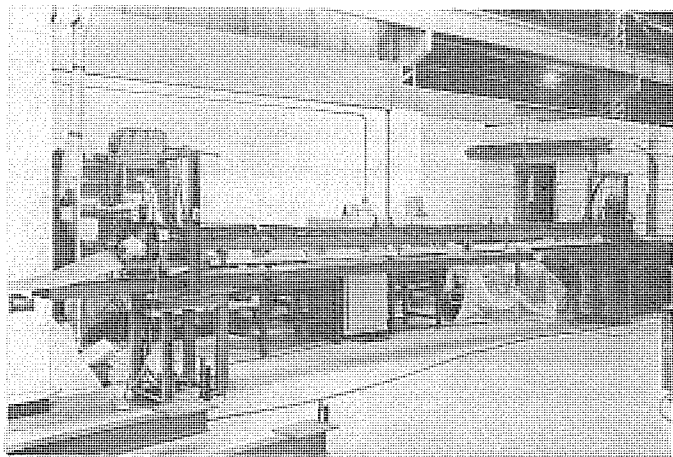


図 2.4 変圧器自動鉄心積み機
Automatic core stacker.

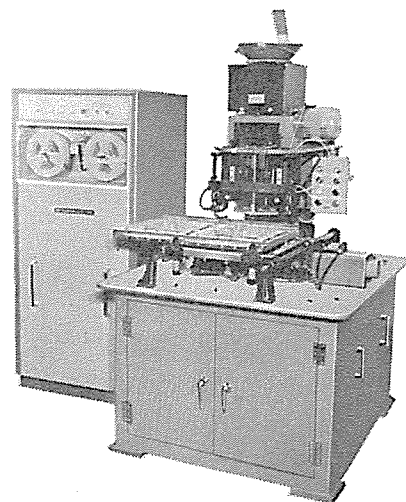


図 2.5 ピン端子そう入機
Pin insert machine.

純繰返し作業が存在する場合は意外に多い。このようなテーマを抽出し、前後工程の結びつきに留意し、自動化すれば十分な省力効果が得られる。本機はガータを変圧機コイル内にセットし、ガータに設けた走行コアクリップに鉄心の端をチャックし、鉄心をコイル内へ引込む作業と押付け作業を繰返す鉄心積みの部分自動組立機である。テーマのもつ持ち味を十分生かした専用機で、開発中のマシンである。

また中種中量生産用に開発した自動組立機の一例として、図 2.5 に NC 付きのプリント基板用ピン端子そう入機を紹介する。本機は、配線中継用のピン端子をプリント基板に自動そう入する単能機である

が、テーブルをNCの指令でXY2軸駆動させ、各種のプリント基板を同時2枚処理、平均20余本/枚を平均1secのサイクルタイムでか動させるはん用性を持つマシンである。プリント基板のピッチが2.5mmに着目し、NCの最小位置決め単位も2.5mmに取り、高価なNC装置を避け、ポテンシオメータを用いた簡易形のNCを開発して、経済性を高める努力をしている。

一般に労働設備率の低い組立ラインに、いきなり高価な専用機を持込んでも、機種によって異なるが、月産1~2万台以下の量産規模の場合は、投資効果も期待薄である。そこではん用性の高い、数機種取扱えるマシンの要求になるが、Basicな部分の交換と、ロボットに近いフレキシブルな機能をもつマシンが必要となり、テーマ品の特色性をうまく生かした例を除き、現状の省力投資限界計算手法では、経済的にかなりの問題がある。

2.3 自動組立の内容

自動組立の構成は、次の各要素からなりたっている。

- (1) 組立作業の自動化 (Automatic assembling)
- (2) 部品供給動作の自動化 (Automatic feeding)
- (3) 搬送動作の自動化 (Automatic transferring)

この要素がそろって、自動組立が完成する。このうち1要素が欠けると半自動組立になる⁽²⁾。その他、この要素を制御する装置や、検査選別機能も必要になる。したがって自動組立機は、機能要素別に組立作業ステーション・部品供給装置・搬送装置・制御装置・検査選別装置から構成されることになる。

組立作業の基本的動作自身は、さし込む・はめ込む・圧入する・かしめる・ねじ込む・圧着する・接着するなど、単純で、むしろ、それらの動作に至る部品・接着剤・ロー材の送り込み動作や、品物やハンドリング装置の幾何学的形状の空間的制約や、供給部品の仮固定などの前後動作・周囲条件・関連構造に難易度が左右される。

たとえば、穴に軸を“さし込む”組立動作の場合、軸のチャック位置の誤差に、ベースになる穴位置の誤差(ズレ)が加わり、位置修正の機能を組立ステーションに設けないと、軸は穴にインサートしない。この修正機能を現物的に合わせる単純な機構で与えるか、自己修正機能をもつ高級な制御にするかは、テーマの条件次第で決まる。前者では、設定誤差範囲外の部品が現われると、マシンダウンを起こす。

部品の標準化が進んでいるネジ・ボルト・リベットを使うねじ込み、かしめ作業は、実績のある専用のネジ締め機・リベッタが市販されているからそれらの使用が望ましい。一般の組立ステーションとして、XYZφの自由度を選択組合せるビルドブロック式のユニット(三協精器)の開発があり⁽³⁾、標準化に努めた好例といえる。

部品供給動作は、ストックにためた部品を必要の都度、送り出し、整列させ、要求する姿勢に変え、必要部品数を分割分離し、組立ステーションに送り込む、一連の動作である。部品供給装置には、ボールホップ・パレルフイダ・エレベーターフイダ・パーツマガジンなど⁽⁴⁾があり、取扱う部品形状・材質・重量・精度によって適切なフイダを選択することが重要な課題となる。選択の基準は、Know How的な色彩が濃く、部品のもつ形状・重心・剛性・摩擦係数・慣性・バリなどの物理的諸性質を十分は握ることが特に重要で、選択の巧拙が大きくマシンの作動率に影響する。部品供給装置の付属品として、フレキシブルシュータ・スパイラルストレージ(F. Jos Lamb社)・エスケープ(Dixon社)⁽⁴⁾など比較的単純な部品形状(おもに円筒形状)のものに使える機器の開発がなされている。

搬送作業は、ベースになる品物または、品物を積載した組立パレツ

トを組立ステーションから次のステーションへ移動させる作業で、比較的単純な動作であること、個々の部品形状に左右されることが少なく、種々の形式の搬送装置が開発されている。

基本的形式は、連続搬送と間欠搬送に分けられ、一般に自動組立の場合、特殊な用途を除き、後者の間欠搬送が採用される。

形状的に分類して、円形搬送と直線搬送があり、前者は、回転軸を中心に回転するメカニズムのため、比較的構造が簡単で、価格も一般に廉価、停止精度も高い。間欠機構は、ゼネパ・パレルカム・ラチェットを採用し、ロックピン位置決めが一般的である。後者は、有限長の直線搬送運動でリターン機構を有し、比較的構造が複雑で一般に高価だが、床面使用率が良く、中間部の連結で装置の減増設が容易なメリットがある。直線搬送装置には、固定サイクル式とフリーサイクル式がある。後者には、フリーフローティングフィクスチャシステム(Cargile社)などがあり、若干のマシンダウンの吸収と手作業介入容易などのメリットがある。搬送装置は、マシンのベース部分に相当し、軽荷重作業とはいえ、設計にあたり、剛性が高く、停止位置精度の高いものを選択基準に置くことが特に肝要である。

このように自動組立構成機器の開発も活発になり、はん用化・標準化の努力がなされているが、組立テーマの多様性と、テーマ品にマッチングさせる部分の残有が、これらの機器を十分活用にとらめず、また価格面でもまだかなりの抵抗がある。

部品が順次動き、順次組立てられる自動組立の動作プロセスは、個個に広義のハンドリングといえる。よって自動組立は、図2.6のような、ハンドリングのフローチャートで書き表わすことができ、自動組立機は、ハンドリング装置が有機的連鎖結合をした一連のマシンである。図2.6は2.2節で紹介した小形電磁接触器自動組立ラインのフローチャートを示す。結論からいえば、安定した組立自動化を実施するには、個々のハンドリング(動作)の安定性を高め、かつバランスさせることと、安定性の目どの少ないハンドリングは、実施に先だち確認したり、部品変更の要請をしたり、また、前後工程を考案して、工程の流れに支障のないように除外し、手作業を併用するなどの適切な処置を取れば、自動化の効率を下げずに安定した組立自動化が得られることになる。

2.4 実際的な問題

実際に組立自動化を実施すると種々の問題に遭遇する。具体的な例を上げると次のような問題がある。

- (1) 柔軟な部品の取扱いかた
- (2) 部品の個有誤差と集積誤差の処理方法
- (3) 確率的に混在する加工ミス、加工ミス部品の取捨の方法
- (4) バリやキズのある部品の発見と処置
- (5) 抜き取り検査による品質管理の是非
- (6) ストックの部品ストック量の選択基準
- (7) 自動組立作業の非定常時のチェックの方法と処理のしかた
- (8) 選択かん(嵌)合や微妙な調整方法
- (9) 自動試験検査の方法と判定基準
- (10) 外観検査の導入と方法
- (11) 複雑なハンドリングのアイデアの抽出
- (12) 非定常状態下のマシンの剛性と復元性
- (13) 信頼性・耐久性向上への努力
- (14) モデルチェンジに対処する構成
- (15) 段取り換え時間の短縮する構造
- (16) 事故、故障の予測技術の導入

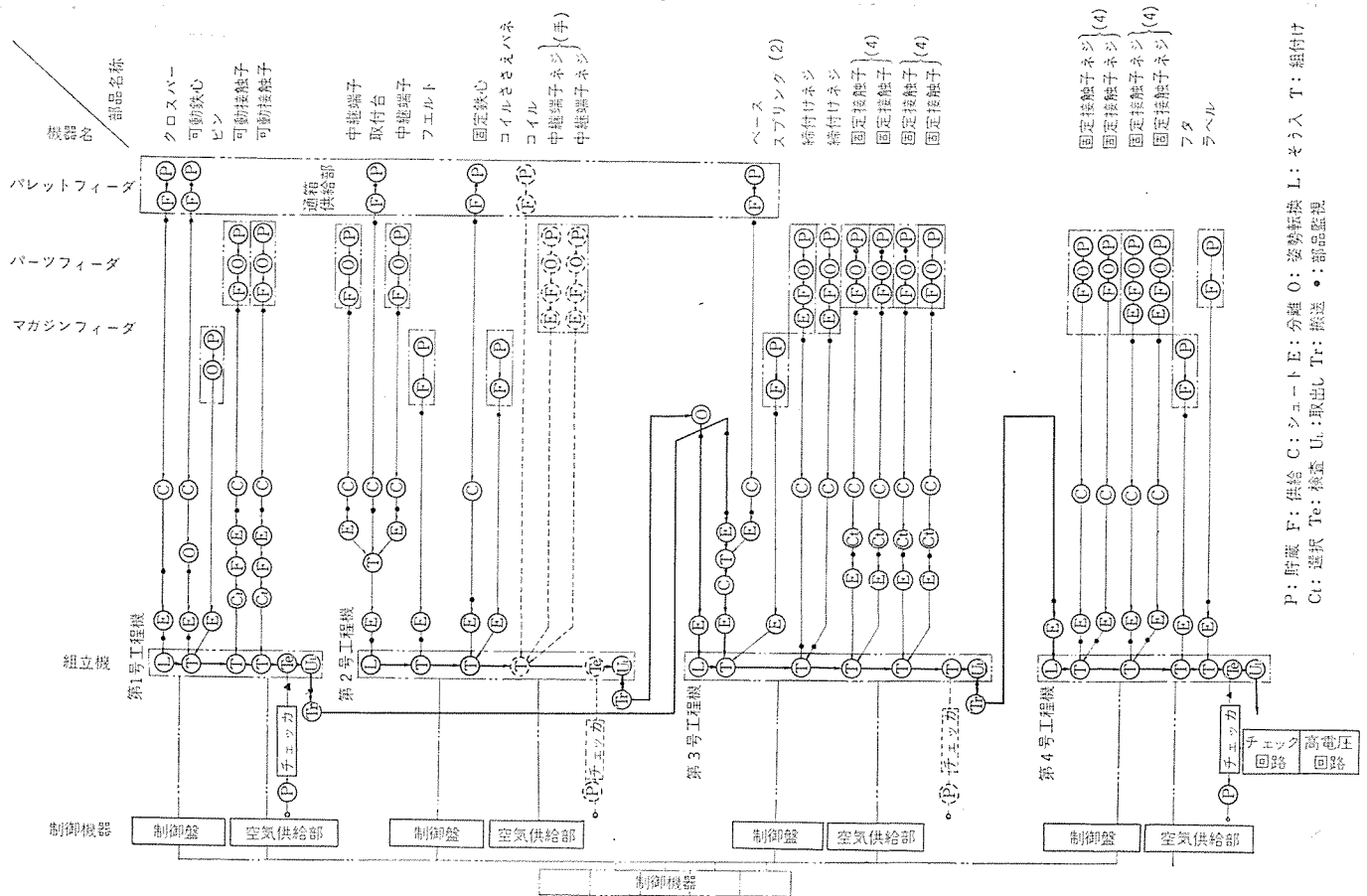


図 2.6 自動組立のハンドリングのフローチャート Flow chart of handling for automatic assembly.

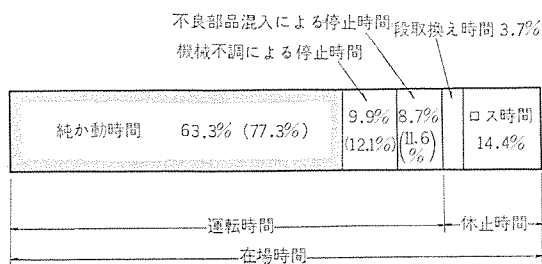


図 2.7 1ヵ月間のか動状況 Operation for a month.

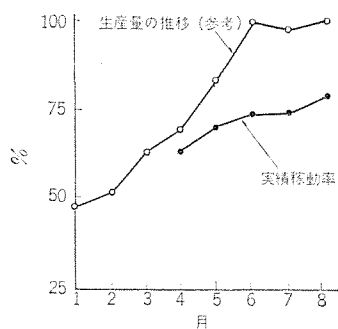


図 2.8 月別稼働率 Rate of operation for each month.

- (17) 生産バランスとラインレイアウトの最適化
- (18) 省力効果と経済性のバランス

などがある。

実績・経験不足からくる問題や技術革新の要する問題、あるいは、宿命的な問題が混在一体となり、解決をせまられている。

しかし関係者を落胆させ、かつ組立自動化の推進のブレーキとなる問題に、マシンの状態が悪ければ、簡単に手作業に戻ってしまう、対マシンの態度、姿勢がある。従来の手作業をマシンに置き換えた自動組立が悪化し、デメリットが増加すれば、考え方により、当然の処置ともいえるが、やはりマシンの改善に努め、メリットを保持する態度・姿勢が、本筋であろう。

次に、よくトラブルを起こす問題にマシンダウンがある。マシン自身、開発要素が高く、やむを得ない面もあるが、マシン以外の原因でダウンする場合も意外に多い。

マシンダウンまたは休止の原因は、ほぼ次の事項があげられる。

- (1) マシンのメンテナンス不良および信頼性
- (2) 部品の加工精度および加工不良
- (3) 部品のストック切れおよび段取り換え

これらが組立自動機の最終目標性能のか動率、特に月産の見掛け上のか動率を低下させる。図 2.7 は、2.2 節で紹介した小形電磁接触器の自動組立ラインの1ヵ月間のマシンの状態を示す時間比の表である。また図 2.8 は、同ラインの月別稼働率を示す。なお、稼働率は、

$$\text{稼働率} = \frac{\text{生産台数} \times \text{平均サイクルタイム}}{\text{平均運転時間}} \times 100$$

で表わし、平均とあるのは、専用機4台の平均を意味する。

自動組立は、現状では、自動化規模が大きくなるに従って、計画当初から十分能力に余裕のあるマシンを設計することが肝要で、特に月産換算の場合は注意を要する。

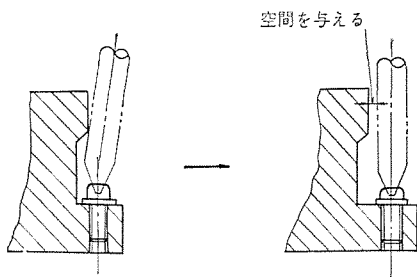


図 3.1 部品変更の改善例
Example of reformed parts for automatic assembly.

3. 今後の指向

これまで述べてきた技術的問題を含めて、問題を整理するとほぼ次の3点に集約できる。

- (1) 組立自動化の分野、周辺、管理技術の未確立
- (2) 組立作業自身が集約工程で多様性に富む
- (3) 組立自動化を前提とした製品設計がなされていない

分野技術の後進性からくる実績不足は否定できず、今後の努力と時間経過で解決するとしても、この分野は、Know How 的な面が多く、一般的表現がかなりむずかしく、テーマごとの具体的な問題の蓄積が肝要である。

周辺技術は、計測・制御・認識・システム技術などの適用と応用を進める必要があるが、特に低廉な各種センサの開発が急務である。管理技術は、部品を含めた品質管理技術を組立自動化にマッチさせる改革が必要で、あわせて部品の検査選別の自動化が重要になる。

組立作業の多様性は、宿命的とはいえ、グループ技術的な手法を応用して、標準化に努めるなど解決策があるといえる。

最後の製品設計については、現行の製品設計の合理化の指向が、材料節減と作業時間短縮による原価低減にあり、手作業に最適な設計となっている結果である。組立自動化の実施に踏み切るならばこの指向を変更して、自動組立に適する製品設計の実行で組立自動化の効果も飛躍的に向上すると思う。その裏付けとして、実際に組立

自動化を実施した場合、最後まで問題として尾を引く直接・間接の原因の多くは製品部品にあり、若干の部品設計の変更で、問題が改善されている事例が多いことであり、設計当初から指向を変更すればさらに改善されるといえる。図 3.1 に、比較的簡単でかつ効果の大きい部品設計変更の改善事例の一つをあげた。

組立自動化は、歴史的な後進性と宿命的な多様性をかかえた新技術分野であり、まだまだいろいろの問題が山積しており、個々に解決していかなければならないが、全般的にいえることは、共通部分は、ハードウェアの開発と標準化の促進を、一方テーマごとにマッチングの必要な部分は、ソフトウェアの開発と設計技術の手法の確立にある。

4. むすび

組立自動化は、時代の要求であるのは事実である。しかし、その導火線の役割を演じたのは、ポールフィダすなわち、シントロン の発明ではなかろうか。最近の電子機器の驚異的な発展の根源がトランジスタの発明である例を引用するまでもなく、技術史をひもとけば似た例が多い。組立作業も従来、名工・熟練工の独壇場だったものが、作業の分業化と部品の品質管理技術に裏付けられ、作業の集約化に成功し、熟練作業は不要となり、コンベヤライン の導入を契機に単純作業の集合で飛躍的に生産性を向上させた。

現在の組立自動化への要求は、さらに歩を進めて、作業から単純作業を追放することで、その裏付け技術の開発が今日の課題である。その課題は製品設計指向の変更によるいっそうの作業の単純化とマシンの持つ特性の利用技術手法ではないだろうか。

次代の要求は、無人化といえる。その1ステップとしても今日の組立自動化技術は重要な足掛かりの一つといえよう。

参考文献

- (1) J. Benes : Machine Design, 41, No. 7, 193 (1969)
- (2) 牧野：機械の研究, 20, No. 8, 1 (昭43)
- (3) 加藤：省力と自動化, 2, No. 2, 37 (昭46)
- (4) 深沢：省力と自動化, 1, No. 9, 58 (昭45)



特許と新案

扇風機の俯仰角調節装置

考案者 林 昭 彦

この考案は、手動操作によりふ(俯)仰角を調節し所望のふ仰角度に保持する扇風機のふ仰角調節装置に関し、特に大形の工業用等の扇風機でも使用できるように考慮したものである。

図はこの考案の一実施例を示し、(1)は板状体を折り曲げて形成され、この両折り曲げ脚で植立するスタンド、(3)はこのスタンドの上面前部に突設した支持脚に前端部を枢着し、頭部に電動機(5)を支承するネックピース、(7)はこのネックピースの後端部に上端部を枢着し、自由下端部を上記スタンド(1)上面の透かし穴(9)にかんそう(嵌挿)し、かつ前側縁部に上記透かし穴(9)の口縁部(10)と選択的に係合する複数の切り欠き部(11)(12)(13)(14)を設けたふ仰角調節板、(16)は上記スタンド(1)の透かし穴(9)後部に突設した支持片(17)に

その後方より進退自在に(螺)合し、先端部(18)を上記調節板(7)の後側縁部(19)と衝合させ、上記切り欠き部(11)(12)(13)(14)の上記口縁部(10)に対する係合を保持するハンドルである。今、扇風機すなわち電動機(5)をふ角の状態にするには、まずハンドル(16)を後退回動し、その先端部(18)を調節板(7)の後側縁部(19)より離間する。次にスタンド(1)内にこの後方開口部(20)より手を入れ、摘まり(15)を握り調節板(7)をピン(8)を中心に後方へ傾動し、その切り欠き部(13)と口縁部(10)との係合をはずす。それから、ネックピース(3)を枢軸(4)を中心に前方に回動し、所望のふ角になったら切り欠き部(11)(12)(13)(14)を口縁部(10)に係合させる。そしてこのとき後退していたハンドル(16)を前進回動させ、先端部(18)を後側縁部(19)と衝合させる。

(実用新案第912866号)(桜本記)

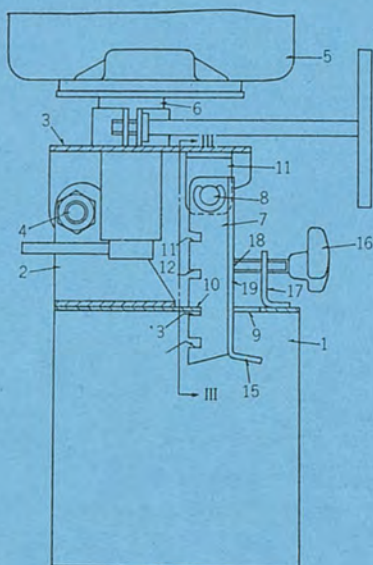


図 1

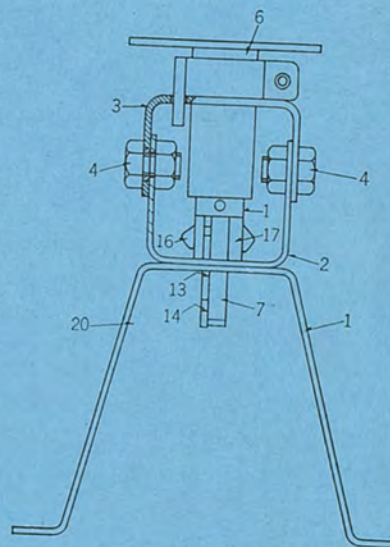


図 2

ステレオ電蓄のキャビネット

考案者 川 名 昇・川 崎 文 雄

この考案は、前面を開放させた収納部(ここにプレーヤ、増幅器等を納める)を中央に、その左右にスピーカーボックスを配した形式のステレオ電蓄のキャビネットに関するものである。

従来、この種のキャビネットにおいては、収納部をふさぐとびらを、その開放時には、スピーカーからの放音にさしつかえないよう、スピーカーボックスの側方へ引き込んだり、あるいは折りたたんだりしてい

た。

この考案は、上記とびらの開放時にとびらをスピーカーボックスの前面に移動させても、放音にさしつかえないようくふうしたものである。

図に示す実施例について説明すると、この考案では、とびら(4)は図1に示す閉合状態から図2に示す開放状態に移動させうるよ

う、キャビネット(1)に設けた上下の案内レール(図示してない)で案内支持されている。そしてこのとびら(4)は、複数枚の横長のとびら素子(5)を、とびらの閉合状態ではこれらがあたかも一枚の板のように一連に整列するよう、方形わく(6)に回動可能に並設して形成され、かつ、前述のように収納部を開放するために、スピーカーボックスの前までとびらを移動させるときには、この移動に伴って各とびら素子(5)がそれぞれ回動し、図2に示すようにに各とびら素子の間に空間が生じ、スピーカーボックスの前にとびらがあっても放音にさしつかえないよう構成されている。

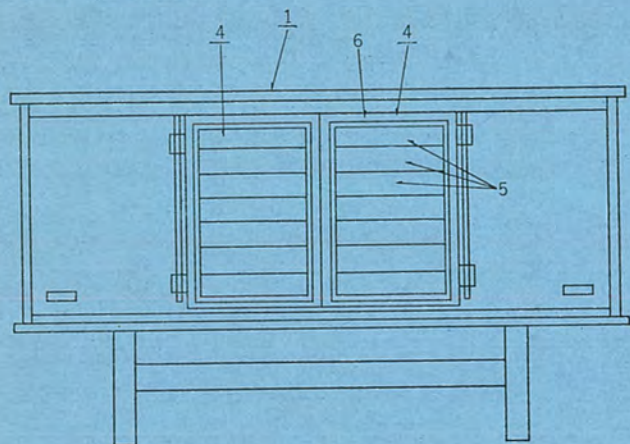


図1

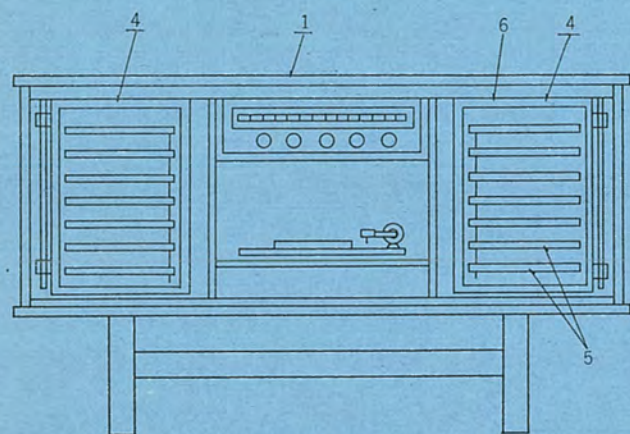


図2

図3は上記のようにとびら(4)の移動に伴い各とびら素子(5)を回動させるための構成の概略を示しており、(14)は方形わく(6)に設けた支持片(16)、(16)に上下動可能に案内された転向かん(杆)、(15)はこの転向かんに形成したラック部、(13)は上記とびら素子(5)の回動ピン(7)の突出端に固着され上記ラック部(15)とかみ合うピニオン、(20)は上記転向かん(16)がしゅう(摺)動自在に係合する転向案内レールで、キャビネット(図3には示してない)に上下方向に傾斜させ、かつ上記とびら(4)の移動方向に沿って延在させて設けられている。

したがって、とびら(4)を移動させるときにはそれに伴い転向かん(14)が転向案内レール(20)によって上下に動かされ、そのラック部(15)にかみ合ったピニオン(13)を介して、図3のイ→ロあるいはロ→イのようにとびら素子(5)が回動させられる。なお、図3中(17)は各とびら素子(5)をいっせいに回動させるための連動かん、(9)、(10)は上記案内レール(図示してない)に係合してとびらの移動を案内するローラとピンである。

以上のようにこの考案によれば、とびらをスピーカーボックスの前に移動させても放音のさまたげになることが少なく、しかもとびらの移動方向(横方向)と異なる方向(縦方向)にとびら素子が回動するから、意匠的にもざん新な感じを使用者へ与えることができる。

(実用新案第911610号)(伊藤記)

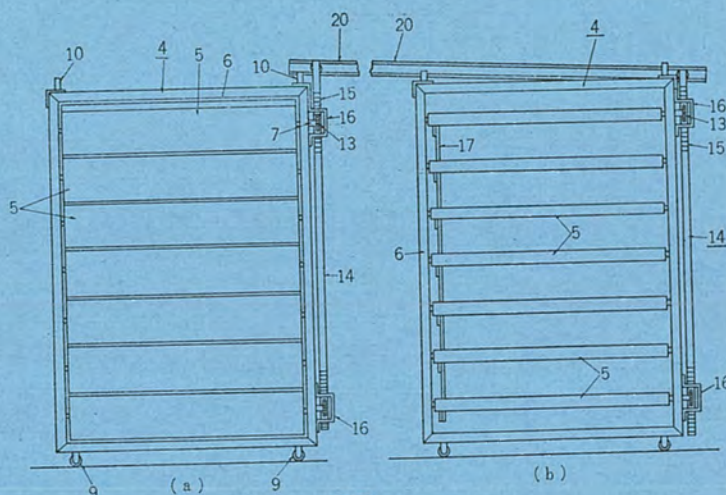
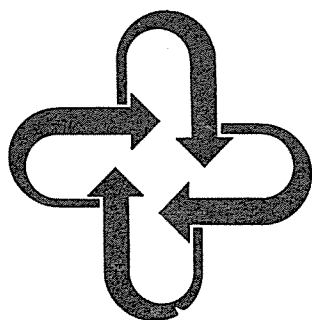


図3



技術解説

UDC 621. 396. 96. 001

三次元レーダについて (その1) ——原理と実施例の全般的解説——

玉 真 哲 雄*

1. ま え が き

1.1 はじめに

三次元レーダについて全般的に解説する。

三次元レーダは、日・米・英・仏・オランダ・ソビエトの6か国で種々の方式が開発されているが、決定版の唯一の方式はまだ現われず、各種方式が分立している。本文では諸方式を分類・解説し、各方式の実施例を紹介し、総合的所見を述べる。こういう見地からの報告は何回か行なわれているが[文献1.2.1~1.2.12]、本文はそれらをすべて参照し、新しい方式の紹介をも加えて集大成的網羅性を意図したものである。

三次元レーダは軍用の関係から公表されない点もあるが、紹介はすべて公開の資料によった。公開でも一般に入手困難のもの(特定会社のカタログ等)は原則として引照しなかった。末尾に全文献179件の内88件を引照してある。今後[]内は文献番号を示す。

1.2 三次元レーダとは

従来のレーダは二次元的であって、空間内の目標物の三つの座標中、2個(ふつう距離 R と方位角 θ)を測定するものが大多数であった。三次元レーダとは、これに加えて第三の次元(ふつう仰角 ϕ 、またはそれから導かれる高度 H)をも連続して一度で測定しようとするものである。Three-Dimensional Radar, 3-D Radar, ときにはVolumetric Radarなどと呼ばれる。本文では今後3Dレーダと略す。なお追尾レーダも R, θ, ϕ を連続して測定するが、特定1目標に関してだけであるから3Dレーダとは見なさない。3Dレーダとは、不特定多数の目標に関して三次元座標を連続して測定できるものである。

3Dレーダの利点は、空中にある不特定多数の目標物を監視する用途を考えれば自明である。航空機・ミサイル・人工衛星等飛ぶものが相手ならどこにでも用途がありうるが、現実の用途を分類すれば表1.1のようになる。

しかしレーダに第三の次元を付加するのは案外の難事で、戦後の比較的新しい技術に属する。「Vビーム」

表 1.1 3Dレーダの用途別分類

用 途	分 類	使 用 者
軍 用	地上用—固定用	空 軍
	地上用—移動用	陸・空 軍
	艦載用	海 軍
	機上用	空 軍
民 間 用	地上用—固定用	航空局など

という一方式だけは前大戦中に存在したが、その後顧みられず、3Dレーダがあらためて開発に着手されたのは1957年前後からである。対空監視用として利点が大きいので、まず米・英・仏で軍用として種々の方式の開発が着手され、近年ソビエト・日本・オランダでも実用の域に達するか、あるいはそれに近づいている。しかし決定版的な方式の確立には各国とも達していないようで、実用面での活躍はいま一つの感がある。

実用面の尺度の一つは民間用航空交通管制(ATC)用への応用であって、二、三の試みはなされたが採用に至っていない。これには測高精度上の問題もあり11章で触れるが、将来民間ATC用に実用可能の高精度高信頼性の3Dレーダが登場すれば、航空安全上・実生活上への寄与も大きいものであると考えられ、今後注目されることである。

1.3 技術的分類

3Dレーダを技術的に分類するには、電波ビームの空間的形狀に着目するのが便利である。

1.3.1 通常レーダ

一般にアンテナが、電波ビームをしぼる能力は開口寸法に比例する、つまり開口の大きいアンテナからは狭いビームが放射される。この結

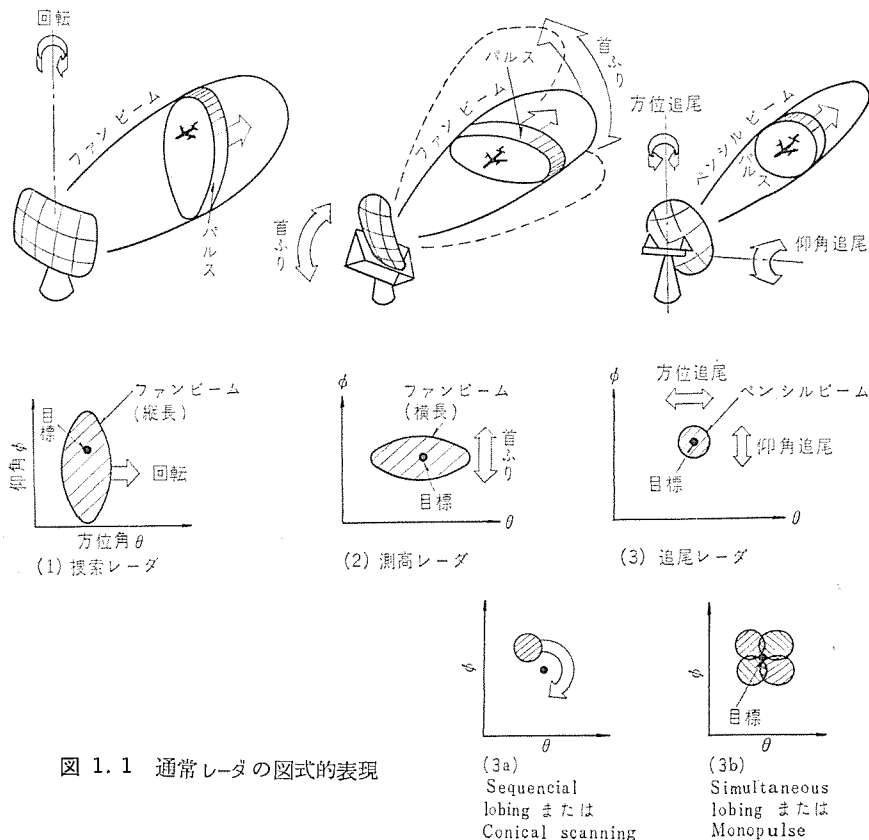


図 1.1 通常レーダの図式的表現

* 通信機製作所

表 1.2 3Dレーダの分類と実施例

[] 内は参考文献番号

仰角方向 方位方向			V ビーム	単ビーム走査			多ビーム走査			(多ビーム)無走査	
				機 械 的	電 子 的		機 械 的	電 子 的		Defocus	受信位相差
					周 波 数	位 相		周 波 数	位 相		
単 ビ ーム 走 査	機 械 的	米, 初期のもの [2.1~2.3] CPS-6B [2.5] 米 Sperry : MPS-21 [1.1.1, 1.1.6, 1.2.3, 1.2.10] TPS-34 [1.1.1, 1.1.6, 1.2.10, 2.4, 2.6~2.8] ソビエト Kingsway [1.1.7, 8.3.1 ~8.3.3, 8.3.6]	米, 初期のもの [3.1, 3.2] 仏 SNEほか : Bruxelles 空港レーダ [3.3] 仏 TH : 艦載用 [1.1.2, 3.4, 3.5] TH, D. 1940 [1.1.6] TRS 2200 [3.6] VOLEX [1.1.3, 1.1.6, 3.7]	米 Hughes : [4.1.1~4.1.4, 4.1.14.4, 1.15] SPS-39 [1.1.1, 1.1.2, 1.1.7, 1.2.10, 4.1.7, 4.1.8, 4.1.16] SPS-42 [1.1.1] SPS-52 [1.1.1, 1.1.7, 4.1.12, 4.1.13, 4.1.17] MPS-23 [1.1.1, 1.1.6, 1.2.3, 4.1.4~ 4.1.6] LW-3D [1.1.1, 4.1.9 ~4.1.11] 米 Gilfillan : [4.2.1] TPS-32 [1.1.6, 1.2.10, 4.2.8, 6.2.10] SPS-48 [1.1.1, 1.1.2, 1.1.7, 1.2.10, 4.2.2, 4.2.3, 4.2.9, 4.2.10, 6.2.10] 蘭 Signaal : [4.3.1~4.3.12]	分類不詳 日, 防衛庁, 日本電気 [9.1] 仏 T-CSF : Antares [1.1.6, 9.5] Matador [1.1.6, 9.6] 名称不明 [1.1.6] 米 AWACS [9.2~9.4] ソ Knightsbridge [1.1.7, 8.3.4, 8.3.5, 8.3.7]	英 Marconi : 984 [1.1.2, 1.1.3, 1.1.7, 5.1.1~ 5.1.7]			米 GE : FPS-7 [1.1.1, 1.1.5, 1.1.6, 1.2.3] SPS-34 [1.1.1] 米 WH : [6.2.2] MPS-20 [1.2.10] TPS-27 [1.1.1, 1.1.6, 1.2.3, 1.2.10, 6.2.1~6.2.3] FPS-27 [1.1.1] TPS-48 [1.1.6, 1.2.10, 6.2.7] TPS-43 [1.1.6, 1.2.10, 6.2.4~6.2.6, 6.2.8~6.2.17] 英 RRE, AEI : [6.3.1, 6.3.2, 6.3.4~6.3.9] 82 [1.1.6] 85 [1.1.6] 4502 [1.1.6] 40 [1.1.3, 1.1.6, 6.3.3] 仏 CSF : AC 12 [1.1.3] DRBI 23 [1.1.4, 1.1.7, 6.4.2~6.4.5] 仏 TH : TH, D. 1955 [1.1.3, 1.1.4, 6.4.1, 6.4.6] ARGOS/ PALMIER [1.1.3, 1.1.4, 1.1.6] 日, 東芝 : [6.5.1, 6.5.2]	米 Sletten 方式 [1.2.10, 7.2.1, 7.2.2] 日, 防衛庁・ 三菱電機 [7.3.1~7.3.9]	
		電 子 的	周 波 数								
		電 子 的	位 相				米 WH : SPG-59 (Typhon) [1.1.7, 1.2.10, 8.2.1~8.2.3]				
	多 ビ ーム 走 査	電 子 的	位 相		米 Hughes : [1.1.1, 1.1.2, 1.1.7, 1.2.10, 8.1.1~8.1.8] SPS-32 SPS-33						
多ビーム無走査										米 Maxson : AHSR-1 [1.2.2, 1.2.4, 1.2.10, 1.3.6, 7.1.1~7.1.7]	

果、おおむね縦長開口のアンテナからはおおむね横長断面のビームが放射され、横長のアンテナからは縦長のビームが出る。これらをファンビームということがある。小さいさら(皿)状のアンテナからは太い円形断面のビームが、大きいさら状のアンテナからは細い円形断面のビームが出る。これをペンシルビームということがある。

これを考慮して、通常レーダーのビーム形状を図式的に表現すると図1.1のようになる。同図(1)はふつうの搜索レーダー、(2)は首ふり式測高レーダー(nodding height-finder)、(3)は追尾レーダーである。追尾レーダーは正確には同図(3a)または(3b)となるが、本題ではないので説明は省略する。

従来のレーダーで不特定多数の目標の三次元座標を求めるには、搜索レーダーで距離 R 、方位角 θ を求めてのち測高レーダーまたは追尾レーダーをその方向へ向け、第三の次元を求めるのであった。しかしこれでは処理できる目標数と処理の速さが制限され、近年ますます多数・高速となる空中の航空機等を監視するには限界があった。3Dレーダーの必要性はここにある。

1.3.2 3Dレーダー

三次元情報を、一度に出すためのビーム形状はどのようなものか。まず一方向にビームを分布させる方法として、つぎの3種が考えられる。

- (1) 単一ビームを放射し、所要区間に時間的に走査する……単ビーム走査
- (2) 多ビームを発生し、分担区間を時間的に走査する……多ビーム走査
- (3) 多ビームで所要区間を埋め、走査しない……多ビーム無走査

これが方位方向、仰角方向の両方に関してありうるから、理論上9種のビーム配置がある。このほか従来のレーダーの組み合わせと見られるが、一度で三次元情報の出せる「Vビーム方式」があるので、これを加えて10種となる。図1.2にこれを図式的に示す。Vビーム方式以外はおおむね左上ほど性能は限定されるが簡単、右下ほど複雑だが高性能と考えるとよい。Vビーム方式は中間程度であろう。

仰角方向 方位方向	Vビーム	単ビーム 走査	多ビーム 走査	多ビーム 無走査
単ビーム 走査				
多ビーム 走査				
多ビーム 無走査				

□内は実例がない

図1.2 3Dレーダーの図式的表現

1.4 ビーム走査法

ビームの走査法には各種あり、専門の文献に詳しいが本文では[1.3.1~1.3.6]だけをあげておく。ここでは簡単に三つに分類する。

(1) 機械的走査……少しでも機械的運動を伴うもの

(2) 電子的走査……
 { 周波数走査
 { 位相走査

1.5 分類表

図1.2にビーム走査法等の分類を加え、知られている実施例を記入すると表1.2が得られる。表中の2重線は図1.2の1重線に対応している。表中には、存在は知られるが方式等詳細不明のもの(多くは開発途上)がわずかにあり、これらを合わせて6か国(日・米・英・仏・オランダ・ソ連)、十余方式、約15社、約40機種を含んでいる。表中の番号は文献番号を示す。

なお、いわゆる phased array レーダーで、静止アレイアンテナからビームを2方向に電子走査可能なものを3Dレーダーにすべて含めるか否かには問題があり、含めるならば、米国の衛星探知用 AN/FPS-85 や ABM 関連で開発中の各種レーダーのような大規模なものも含めることになるが、これらは別の種類と考え、本文では phased array レーダーは艦載用に限ることとする。なお8章および9.2.3項参照。

さて表1.2の各方式・機種につき、2章~9章で個別に解説し、10章で三次元式指示機を簡単に説明し、11章で総合的所見を記す。

2. Vビーム方式

2.1 原理

斜交する2枚のファンビームを一体として空間を走査し、第一のビームと第二のビームとで目標が捕捉される間のアンテナ回転角から目標の仰角を検出するものである。距離と方位とは通常レーダーと同様に検出する。斜交ビームの方向は理論上いろいろありうるが、通常は鉛直面内に長手の断面をもつ鉛直ビーム(vertical beam)と、これに傾斜角(slant angle) α で斜交する傾斜ビーム(slant beam)とを用いる。さらに計算上の便利および精度等の面から、傾斜角 α を 45° に選ぶのが普通で、この結果図2.1のような概念となる。

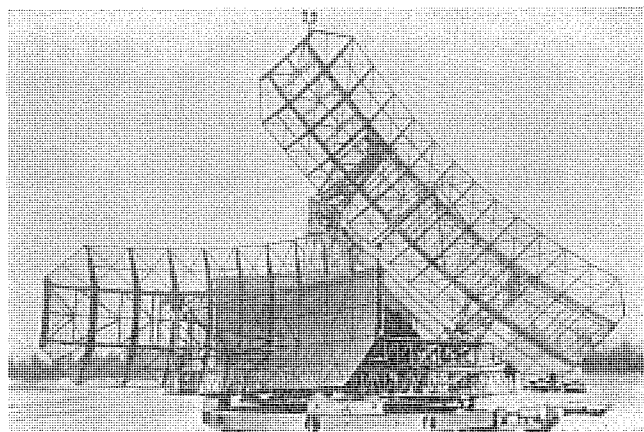
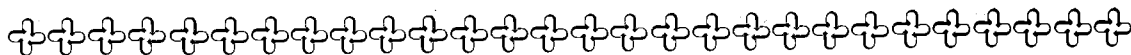
測高は具体的には仰角 ϕ の測定を通して行なわれる。図2.2で距離 R 、仰角 ϕ に目標があり、両ビームで捕捉する間のアンテナ回転角(turn angle)を θ とすると、高度 H は

$$H = R \sin \phi = \frac{R \sin \theta}{\sqrt{\tan^2 \alpha + \sin^2 \theta}} \quad (2.1)$$

と現わされる。現実には $\alpha = 45^\circ$ に選ぶのが普通で、

$$H = \frac{R \sin \theta}{\sqrt{1 + \sin^2 \theta}} \quad (2.2)$$

となる。この H は地球を平面とした場合で、実際には至近距離以外は地球曲率の補正を要し(図2.3)、 R^2 の項が入る。(一般にはさらに上空の電波屈折率を標準大気の状態から予測して、 R^3 までの補正項を加えることもあるが、これらはどんな測高方式にも共通の間



文献 [2.1] から (Ridenour : Radar system engineering)
図 2.1 V ビーム方式のアンテナ

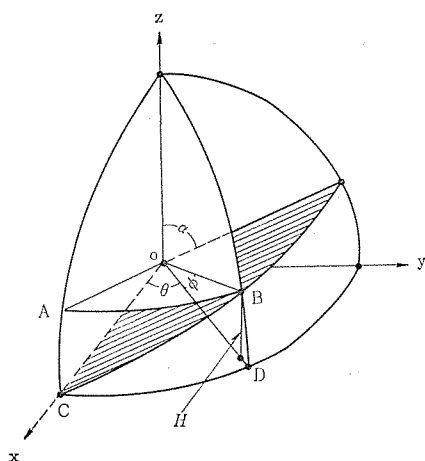


図 2.2 V ビーム方式の測高原理

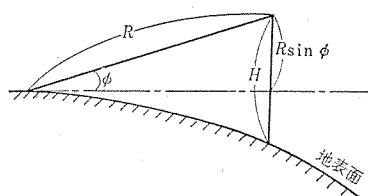
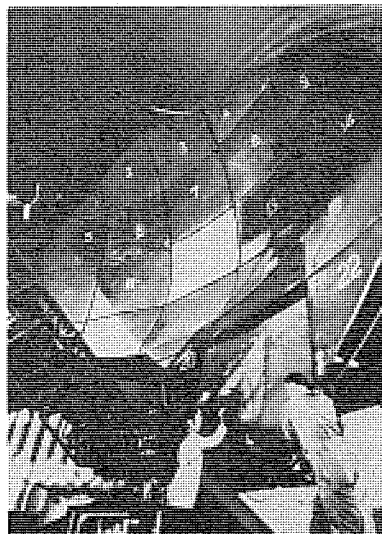


図 2.3 地球曲率の補正

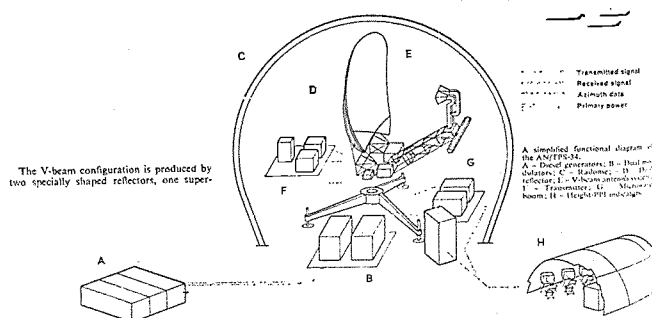
題なので、詳述しない)。Vビーム方式の測高方法と測高誤差の要因等については、[2.6] に詳しい説明があり それによると AN/TPS-34 では

$$\sin \phi = \frac{\sin \theta}{\sqrt{1 + \sin^2 \theta}} \quad (2.3)$$

の関数形を発生するアナログ式関数発生器をもち、これに所要目標の距離 R にあたるアナログ電圧を乗じて $R \sin \phi$ とし、地球曲率の補正として R^2 の項を同じくアナログ的に発生させて加算し、さいごにア



文献 [2.8] から (INTERAVIA 1964 年 8 月号)
図 2.4 AN/TPS-34 のアンテナ



文献 [2.8] から (INTERAVIA 1964 年 8 月号)
図 2.5 AN/TPS-34 の構成

ナログサーボで計数指示機をまわして目標の高度を数字表示しているようである。測高精度は、nodding (首ふり) 式測高レーダと同程度であることが示されている。

2.2 実 例

三次元レーダとしては例外的に古く、戦時中にすでに開発され、戦後すぐの文献にも記載がある(図 2.1) [2.1~2.3]。形名としては AN/CPS-6B というものが知られている [1.1.1, 2.5] その後しばらく顧みられなかったが、近年ふたたび米国 Sperry 社で開発され、AN/MPS-21 [1.1.1, 1.2.3, 1.2.10] および AN/TPS-34 [1.1.1, 1.1.10, 2.4, 2.6~2.8] の 2 機種が知られている(図 2.4, 図 2.5)。どちらも米国海兵隊向けで、従来 2 面必要であったアンテナ反射鏡を 1 面に重畳し、偏波面によって鉛直ビームと斜交ビームとを分離し、1 面のアンテナから 2 枚のビームを放射するようにした点で初期のものとは異なっている。また前記のようなアナログ式測高計算機で所要目標の高度を数字表示する等の機構も、初期のものにはなかったものと思われる。

性能の定量的記述は見出されないが、MPS-21（以下米軍呼称のAN/は原則として省略）は1954年の契約で[1.2.10]、1960年11月に納入され、アンテナ回転数6rpmである[1.2.3]。TPS-34は1963年から生産され[1.2.10]、あるいは1963年春から海兵隊に装備され、台数は20台で3,400万ドル（=122億円）[2.7]、または21台で他に英空軍へ4台[2.8]ともいわれる。TPS-34は可搬性を重視し、全重量25,000ポンド、分解時の重量は1単位400ポンド以内で、8時間で組立・動作できる。ただし組立所要人員は不明である。アンテナ鏡面はハネカムサンドウィッチ中に金属ストリップを埋め込んだもので、22個に分解される[2.6, 2.8]。送信機は2系列あってアンテナ回転部に乗っている。軟質2重壁リードム中に収められ、内圧0.75psiで75ノット（=39m/s）の風（瞬間最大90ノット=46m/s）に支障なく動作したとの記述がある[2.6, 2.8]。その他の性能諸元等はほとんど公表がないが、前記のCPS-6Bの測高精度が $\pm 1,000$ ftとの記述があり[2.5]、各形式ともこの程度のもと思われる。ただし測高精度は遠距離へ行くほど仰角換算精度が高くなるので「何NMで $\pm$ 何ft」と距離を指定しなければ実質の精度とは言えないが、上記の場合どんな距離での精度かは記述がない。

2.3 その他

なおソビエトの艦載レーダに見Vビーム方式かと推測されるものがあることについては、8.3節参照。

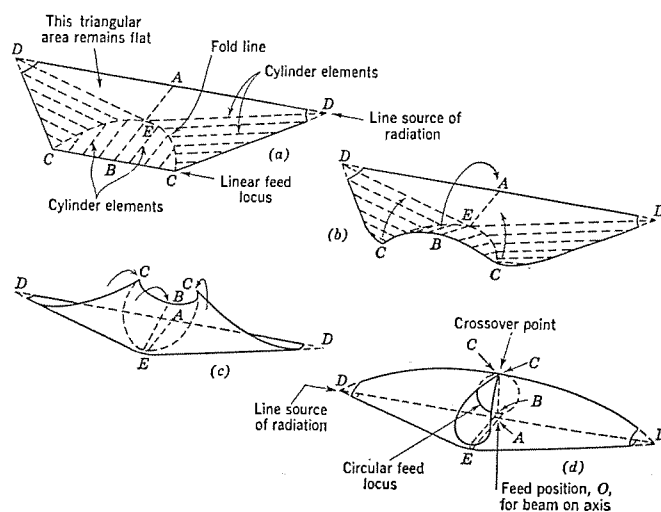
3. 単ビーム機械的走査方式

3.1 原理

単一のペンシルビームを鉛直方向に走査するに際し、ホーンの機械的運動を伴う方式である。反射鏡は通常、鉛直方向に動くことはない。静止した反射鏡に対し電波放射点を鉛直面に直線状に移動させればビームが上下に走査される。実際に放射器を直線状に急速に運動させるのは困難なので、放射器の回転運動につれて電波放射点が直線運動をする方式がいくつか考案されている。3Dレーダとして実用されているのは、いわゆる「ロビンソン スキャナ (Robinson Scanner)」だけと思われるので、これを説明する。

ロビンソン スキャナは円筒の一端を円弧に保ったまま他端を切りひらいて直線状に広げようとする特殊な放射器を用いる。あるいは台形板の長辺を直線状に保ったまま短辺を丸めて円弧状にしたと言ってもよい(図3.1)。円弧状の部分を回転ホーンで照射すれば、電波放射点は長辺上を直線的・連続的に移動する[3.1]。図3.1のような金属曲面を外側・内側の2枚作り、その間に電波を伝ば(播)させるのである。実際の構造は[3.2]に詳しい説明がある。

フランスはこの方式を3Dレーダに応用するのに熱心で、軍用に早くから開発しており、その一端をブリュッセル空港の航空交通管制レーダに応用した早い時期の報告がある。またフランスの軍艦には相当数が積載されている。製造会社はCFTH (Compagnie Française Thomson-Houston、現在は合併して Thomson-CSF)、SNE (Société



文献 [3.1] から (Ridenour : Radar system engineering)
図 3.1 ロビンソン スキャナの構造

Nouvelle d'Electronique), RI (Radio-Industrie) の3社で[3.3]、このうちSNE, RIが主力である[1.1.2]。ただし最近は合併のためか、Thomson-CSF社製と記されている[1.1.6]。

3.2 実 例

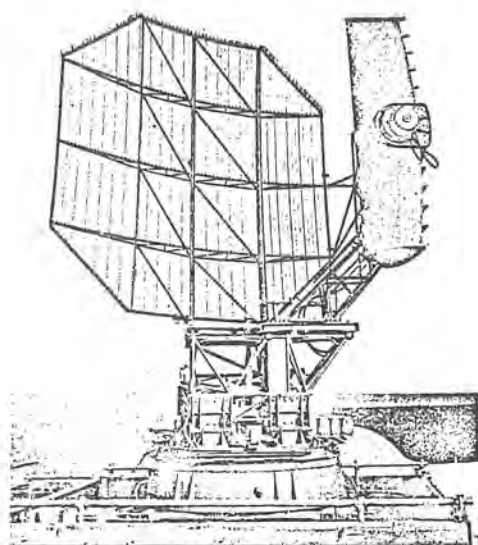
3.2.1 Bruxelles 空港レーダ [3.3] (図3.2, 3.3)

フランス軍向け開発として始まったものをベルギー航空局向けに製作し、ブリュッセル Denderhouten 空港に設置したものである。Sバンドで、探知距離60および100NM、距離精度0.4NM(60NMに対し)、仰角領域 0° — 15° 、探知高度40,000ft、測高精度は50NMで1,000ftである。アンテナ寸法、送信電力、送信パルス幅、パルスくり返し周波数等は記述がない。ビーム幅は $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ のペンシルビームで、回転ホーンの 300° の回転が仰角 15° の走査に対応し、アンテナはこの範囲を毎分700回走査しつつ3rpmで回転する。3D情報は斜めのPPI画面の上に鉛直なRHI画面をのせた形の指示機に表示し、RHI上の航空機のいわゆる“blip”(輝点)は縦長になるので電子計算機で中点を求めて中点だけを光らせる等の工夫がある。高度の数字表示も試みられたようである。18マイル離れたブリュッセル万国博会場へ画像を伝送する装置、画像をテレビスキャンに変換する装置(いわゆるスキャンコンバータ)等を含んでいる。

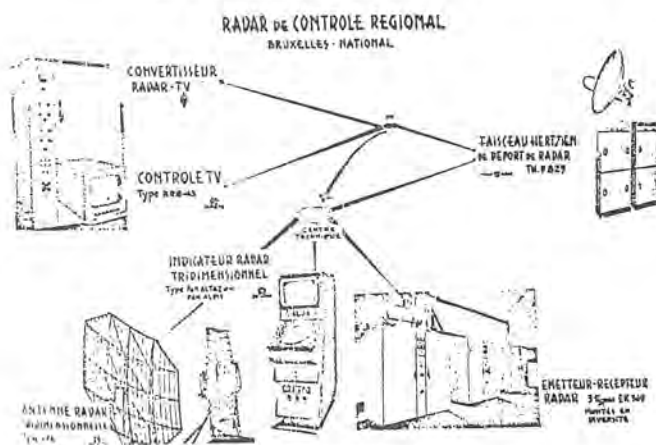
以上の性能は特に高いものではなく、特にこの短距離で3rpmの低速回転はまだるっこいものと思われる(2° のビームの700スキャン毎分で所定空間をおおうにはこの程度が必要となる)。しかし早い時期(1958年7月)にこれだけ完成した報告となっていた点注目値する。これ以前に軍用の開発がなされていたとすれば、米国 Hughes 社(4.2節参照)よりむしろ早かったのではあるまいか。

3.2.2 VOLEX [1.1.3, 1.1.6, 3.7]

VOLEXという同様の3Dレーダが知られており、[1.1.3, 3.7]による諸元はつぎのとおりである(両文献に多少の差がある)。



文献 [3.3] から (INTERAVIA 1958 年 7 月号)
図 3.2 Bruxelles 空港レーダのアンテナ



文献 [3.3] から (INTERAVIA 1958 年 7 月号)
図 3.3 Bruxelles 空港レーダの構成

Sバンド、探知距離 150 NM、パルス幅 4 μ s、送信せん(尖)頭電力 1 MW、平均電力 2 kW の送信機を 2 台持ち、アンテナは 2 枚あって VT 150 というもの 3.4 m $\times$ 3.8 m、VT 359 というもの 6.8 m $\times$ 3.4 m、仰角覆域 22°, 鉛直走査回数毎分 720 回、アンテナ回転数 3 rpm、PRF は 500 Hz である。前項と同類の機材だがアンテナ・送受信機を 2 組おいたものである。1963 年以來 10 台が納入されているという。

3.2.3 TH. D. 1940

[1.1.6] に簡単な記載のある CFTH 社の機種で、これも同類のものと思われる。輸送機・ヘリコプタおよびトラックで運搬可能な低廉形 3Dレーダであるという。

3.2.4 TRS 2200 [3.6]

前項と同類と思われる可搬用簡易形 3Dレーダである。性能諸元が紹介されているので後出の表 11.2 に掲載する。

3.2.5 仏海軍

仏海軍はこの方式の 3Dレーダを相当数採用している。ジェーン海軍年鑑ほかの写真によると、下記の艦に積載していることがわかる [1.1.2, 3.4, 3.5]。なお [3.5] の記述によると周波数は S バンドである。

航空母艦	Clemenceau R 98..... 2 台
航空母艦	Foch R 99..... 2 台
ヘリコプタ母艦	Jeanne d'Arc R 97
対空巡洋艦	Colbert C 611
対空巡洋艦	de Grasse C 610
ミサイル実験艦	Ile d'Oleron A 610
航空機管制駆逐艦 (Duperré 級 5 隻)	
	Duperré A 633
	Forbin D 635
	Jauréguiberry D 637
	La Bourdonnais D 634*
	Tartu D 636*

4. 単ビーム周波数走査方式

4.1 原理

単一のペンシルビームを鉛直方向に電子走査するに際し、送受信周波数を変化させて実現する方式である。一定間隔で配列した複数のアンテナ素子の間に位相差が存在すると、空間中でこの位相差が $2n\pi$ (n は整数または 0) となる方向に指向性が発生することはよく知られている。これは位相差アレイアンテナ (phased array antenna) の基本で、上記の位相差を変えれば当然指向方向も変化するので電子走査に便利であり、周波数走査方式もその一変形である。

図 4.1 でアンテナ素子間隔を d 、隣り合う素子間にあたえる位相差を ψ とすると、アレイ正面 (broadside) から測って ϕ なる角の方向での合成位相は、伝ば波長を λ と書く

$$\psi = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \phi - \psi \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

である。左辺を $2n\pi$ とおき、 n を正負の整数または 0 とすると

$$\psi = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \phi - 2n\pi \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

なる方向 ϕ に指向性が発生する。位相差 ψ を変えれば指向方向 ϕ も変わる。これが電子走査の根本で、そのうち移相器等を用いて直接 ψ を変えるものは位相走査方式であり、送受信周波数を変えて管内波長の変化により等価的に移相量を変化させるものが周波数走査方式である。なお、式 (4.2) からわかるように、 d/λ の値が大きくなると式 (4.2) を満たす ϕ の値が何とおりも存在し、多方向に指向性が存在するようになる。これは位相差アレイの ambiguity (多意性)

* [3.4] から写真で積載が確認できるのは米印の 2 隻だけであるが、艦種 (Destroyers, aircraft direction type) から全艦に積載しているものと考えられる。

と呼ばれる重要な現象で、多意性をなくすため $d/\lambda=1/2$ 程度に選ぶのが普通である。こうすれば $-90^\circ < \phi < 90^\circ$ の間、多意性はない。通常のレーダならば $d/\lambda=1$ 程度も可である。こうすると $0^\circ < \phi < 90^\circ$ の間、多意性がない。

さて図 4.2 で隣り合う素子間の導波管長を l 、管内波長を λ_g とすると、

$$\psi = \frac{2\pi}{\lambda_g} l, \quad \lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - (\lambda/\lambda_c)^2}} \quad (4.3)$$

λ_c は導波管のシャ断周波数

これを式 (4.2) に代入すると、つぎのような周波数走査の基本式が得られる [1.3.5]。

$$\frac{d}{\lambda} \sin \phi = \frac{l}{\lambda_g} + n \quad (4.4)$$

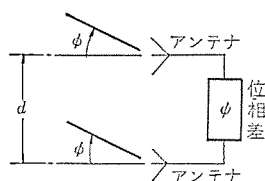


図 4.1 位相差アレイアンテナの基本

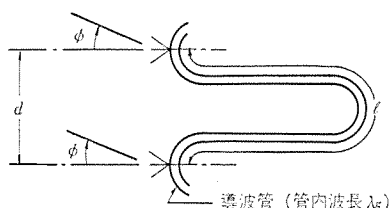
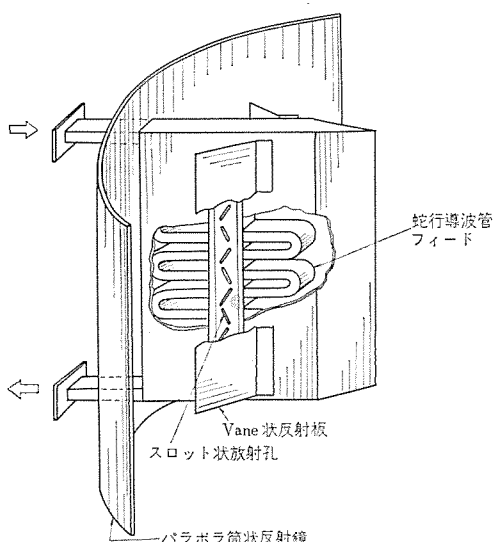


図 4.2 周波数走査の基本



文献 [4.1.1] 参照 (米国特許 3039097 号)
図 4.3 Hughes 社方式 周波数走査 アンテナ の構造

あるいは $\phi=0$ (すなわちアレイ正面に指向性が向くとき) の周波数を λ_0 、その管内波長を λ_{g0} と書けば

$$\frac{d}{\lambda} \sin \phi = l \left(\frac{1}{\lambda_g} - \frac{1}{\lambda_{g0}} \right) \quad (4.5)$$

$$\lambda_{g0} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - (\lambda_0/\lambda_c)^2}}$$

4.2 米国 Hughes 社方式

米国 Hughes Aircraft Co. でかなり早くからこの方式が開発され、FRESCAN または FRESCANAR の名で知られ、実施例も多い。

4.2.1 構成

空中線の構成につき、基本特許と想像される米国特許があるので、それにもとづいて説明する [4.1.1]。これは図 4.3 のようにだ(蛇)行導波管フィードの直線部の中央側面(長方形導波管の短辺上)にスロット状の放射孔を設け、それを Vane 状反射板で偏向させたホーン状放射器を一次放射器とし、これをパラボラ筒状反射鏡に吹きつけてアレイ軸に垂直な面内にビームを成形するものである。アレイ軸面内のビーム成形はアレイ指向性自体で行なう。この結果、1本のペンシルビームが得られ、そのアレイ軸面内(仰角方向)の指向方向が周波数によって変化する。方位方向にはアンテナを機械的に回転させて走査を行なう。前掲図 4.2 のようなだ行フィードの端部に放射器を設ける通常の方法に比べ、フィードの中央部を反射鏡の焦線に置くことができるので、フィードの突出を短くできて反射鏡への隠べい(蔽)が軽減される効果、あるいはフィードの折曲げ回数が少なくてすみ効果があると想像される。このほかスロットのアレイ軸に対する傾きによって放射の強度と指向性を変えること(フィードの入力端から遠ざかるにつれ導波管中の垂力が減少するのを、これで一部補償できる)、スロットインピーダンスのリアクタンス分を消すためスロット長を $\lambda/2$ とする(導波管短辺長より長くする)ためのくふう、スロット前後の導波管外壁に線状のくぼみを設けて指向性を改善するくふう、Vane の形状改善のくふうなどが上記特許に記されている興味深い。くふうの多くは理論上よりも実験的に得られたような印象で、背後にはかなりの開発努力があったものと想像される。[4.1.7] の例では、だ行フィードのアレイ素子数は 4D となっている。

以上は水平方向のビーム成形をパラボラ筒状反射鏡で行なう方法であったが、近年水平方向の成形もアレイで行ない、この結果アンテナが平板状の平面アレイとなったものもある。これは水平方向の多数の導波管を縦に並べてその上に多くのスロット状放射孔を開け、一端から前記同様のだ行フィードで水平導波管に給電するものと考えられる。

アンテナ以外の構成の記述は少ないが、文献 [4.1.7] の例から判明する範囲を紹介すると、周波数の走査は 18 個の原発振周波数を組み合わせて 200 周波以上の波を発生して行なう。すなわち周波数は連続変化ではなく段階的切換であり、この結果ビーム走査も連続的ではなく、段階的に“step-scan”するわけである。これらの波を TWT および終段クライストロンで増幅して送信電力とするが、一般に

レーダの鉛直面内所要覆域は水平距離に比べて上下方向は短く、著しい横長形を呈するので(図4.4)、本方式では終段クライストロン(7空洞)の周波数特性を故意に非対称に成形し、低仰角にあたる周波数では大出力、高仰角では比較的小出力となるようにしてある。また送信パルスくり返し(Pulse Repetition Frequency, PRF)も高仰角ほど速くなるようくふうしてあり、約5:1の変化幅をもつ。方式上RF帯域が広く必要であるが、[4.1.7]によると周波数帯域10%以下で100°以上の仰角走査ができるという。基本式(4.5)から試算するとこれには $l/d \approx 33$ 、すなわちアレイ素子間隔の約33倍長のだ行導波管を要する(ただし $\lambda_0/\lambda_c = 1/1.6$ と仮定した)。 l/d 比を大きくとれば、所要仰角走査幅に対する所要周波数帯域幅は小さくできるが、構造上・損失上の限度があると思われる(比帯域10%は、クライストロンでは容易に実現できる値ではない)。

3次元情報の表示は、PPIスコップとRHIスコップとを並用して行なっている[4.1.5~4.1.7](図4.5)。

4.2.2 実例

艦載用として米海軍向けに開発されたのが起こりで、1957年から使用されている[4.1.7]。試作機と思われるアンテナの写真が1958年当時の広告にあり[4.1.2, 4.1.3]、後者では前述のVaneらしいものがよく見える。その後米陸軍でも採用し、ミサイル組織“Missile Monitor”用探知レーダとして1958年10月14日に一般に発表したことが広告から知られる[4.1.4]。艦載用としては1960年12月から装備されはじめたという[1.2.10]。

(1) 米陸軍

“Missile Monitor”用探知レーダはMPS-23の名を持ち[1.1.1, 1.2.3]、目標を発見してNike, Hawk等のミサイル隊へこれを割り当てる(“assign”)ことが用途である。4台のトレーラから成り、1台にアンテナが畳んで格納され、展開時はこのトレーラを開設しアンテナを直立させて軟質レドームでおおう。他の1台はレーダ機材と指示機2台(PPI+RHI)を収め、残る2台は電源車である。アンテナ重量15tの記述があるが重すぎて信じがたい[以上おもに4.1.5, 一部4.1.6による]。アンテナ重量は1.5tの誤まりではあるまいか(後述の海軍用参照)。

(2) 米海軍(図4.6)

艦載三次元レーダとして最も広く用いられているようである。形名としてSPS-39, 39A, 39B, 42, 52等が知られ[1.1.1, 1.1.2, 1.2.10], Terrier, Talos, Tartar等のミサイル組織と関連して目標捕捉および追尾に用いられる[1.1.2, 4.1.7]。アンテナのデッキ上重量は2,800lb(=1.27t)との記述がある[4.1.7]。ビーム仰角を定める周波数の選択は電算機が制御するが、これは艦の動揺を補正するため、アンテナの機械的安定化でなく電子的にビーム方向を変じて補正する[1.2.10, 4.1.8]。ただしこの方法ではビーム走査面自体の傾きは補正できないと思われる。アンテナを平板アレイ化したものはSPS-39B[? 1.1.2], 52[4.1.12, 4.1.13]がある。

米国海軍ではSPS-39系統、SPS-52系統ともミサイル巡洋艦・ミサイル駆逐艦を中心に相当数の艦に積載されていることが写真等からわかる(ジェーン海軍年鑑ほか)。ただし近年は4.3節で後述のITT-Gilfillan社製SPS-48に取って換えられる方向にある[1.2.10]。

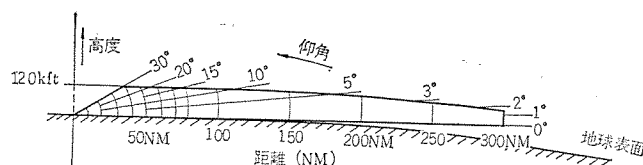
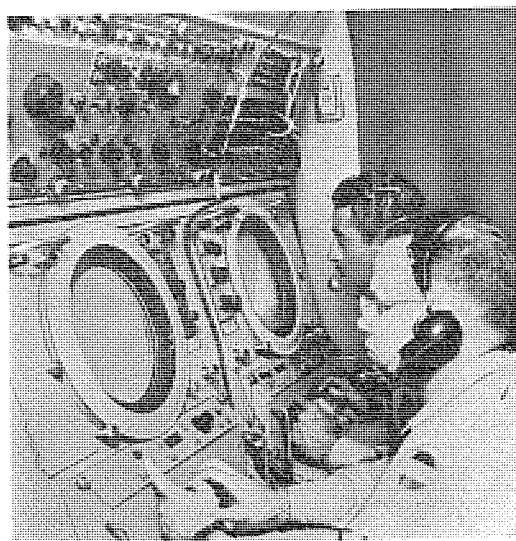


図4.4 レーダの鉛直面内覆域の概念(比例尺)



文献[4.1.5]から(Aviation Week, October 20, 1958)

図4.5 PPIスコップとRHIスコップによる三次元表示



文献[4.1.8]から(Skolnik: Introduction to radar system)

図4.6 Hughes社方式周波数走査アンテナ

(3) 他国の艦

米国からの供給で、SPS-39 系統、SPS-52 系統とも数か国の他国艦に積載されており、ジェーン海軍年鑑の艦影写真から判明するところでは、フランス・イタリア・オランダ・オーストラリア・日本（自衛艦あまつかぜ DD 163）がある。あまつかぜのミサイルは Tartar である（ジェーン海軍年鑑）。また SPS-52 は 1969 年約 700 万ドル（=25.2 億円）でスペイン海軍へ 5 台、フランス海軍へ 4 台、日本海上自衛隊へ 1 台供給されることとなった由である。ただしフランスと日本は、SPA-72 と呼ばれるアンテナ部分だけの換装である [4. 1. 13]。

(4) その他

平板アンテナを用いて陸上移動用に構成した LW-3 D (Lightweight 3-D) と呼ばれるものがあり、6. 3 節で後述するように米空軍の移動用三次元レーダ TPS-43 計画で Westinghouse 社と争って破れたものである。可搬性を重視し、総重量 5,800 lb (=2.63 t) で、ヘリコプタで輸送可能な 2 台のシェルトから成り、うち 1 台は横 9 ft (=2.74 m) × 縦 12 ft (=3.66 m) の平板アンテナが中央の水平線に向かって二つに折り畳んだ形で収められている。6 人の人員が 30 分で全系を開設できる。アンテナはレードームを持たず、75 mph または 120 km/h (≈ 33 m/s) の風速時に運用でき、120 mph または 190 km/h (≈ 53 m/s) でも破損しない [以上 1. 1. 1, 4. 1. 9~4. 1. 11]。採用先の有無はつまびらかではない。

また、同じく平板アンテナによる Hughes 社の 3D レーダがスイスの防空組織 “Florida” に採用されており [4. 1. 14, 4. 1. 15]、前記 LW-3 D と少しちがうようであるが同類のものと思われる。

4. 3 米国 ITT-Gilfillan 社方式

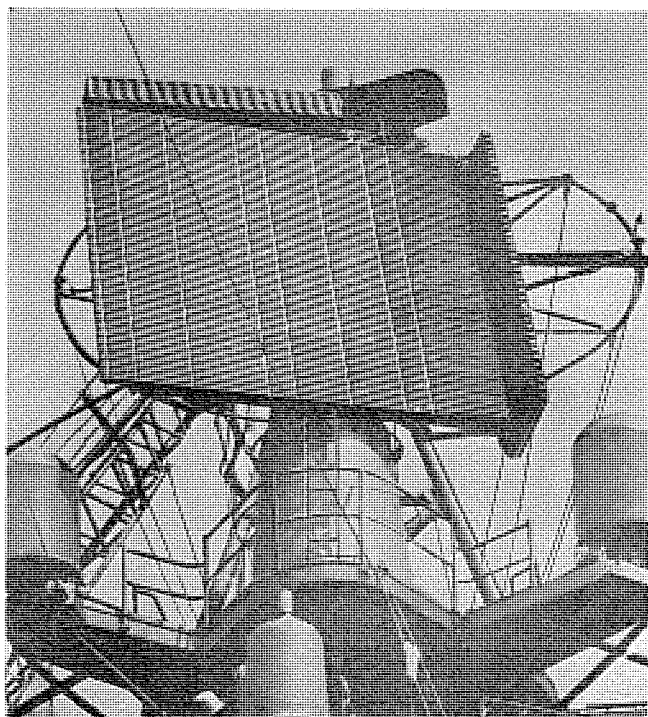
前節 Hughes 社方式のうち、アンテナが平面アレイとなったものと基本的には同一原理と考えられるが、単ビームでなく多ビームを放射できるという。周波数の異なるパルスを送りつぎばに放射して、実質上同時に多ビームが存在する効果を得るものである。その場合単ビーム方式との差はパルス変調方式の差となり、送受信機まわりは変わってくるがアンテナの構成は特に異ならないから、便宜上単ビーム方式の分類で記述する。Hughes 社方式の後継として米海軍が近年力を入れており、ほかに米海兵隊向けの地上用もある。

4. 3. 1 実例

地上用の TPS-32 という機種が艦載用より早く 1959 年に着手されたといわれるが [1. 2. 10]、実用になったのは艦載用の SPS-48 という機種が先のである。1961 年 1 月の広告に艦載用の記載があるが [4. 2. 1] 写真でなく絵であって、のちの SPS-48 と異なり、おそらく初期の想像図であろう。

(1) 米海軍

艦載用 SPS-48 は 1963 年にミサイルフリゲート艦 Preble DLG 15 に積載試験したとの記事があり、1962 年 DLG 建艦計画および在来ミサイル艦の換装用として当時 13 台発注されていた。用途は Terrier ミサイルのための搜索と航空機の一撃管制で、NTDS (Naval Tactical



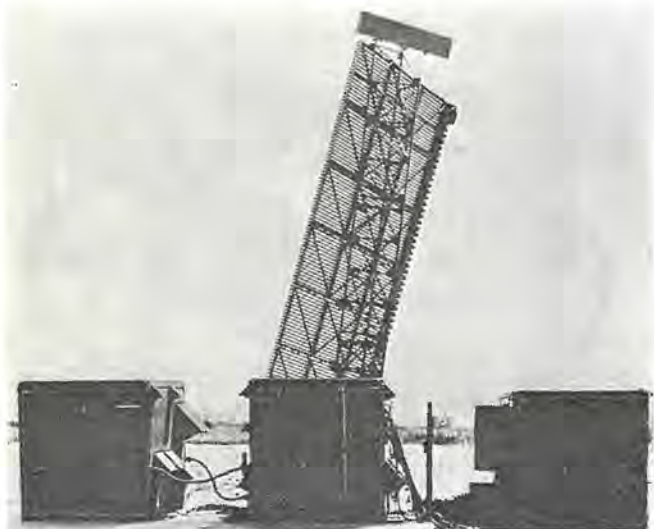
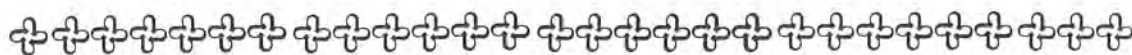
文献 [4. 2. 3] から (Electronics, June 27, 1966)

図 4. 7 ITT-Gilfillan 社方式 AN/SPS-48 の周波数走査アンテナ

Data System) と結合して用いられる。一次電源は 400 Hz である [4. 2. 2, 1. 1. 1]。[4. 2. 3] にはアンテナの非常に鮮明な写真があり、(図 4. 7)、むかって右側に縦に 38 曲りのだ行フィードがあり (背面共でその 2 倍)、それから横に 76 条の導波管が走っていることがわかる。周囲と比較してアンテナは縦 4 m × 横 5 m 程度と思われ、これから導波管間隔は約 5 cm と想像されるが、4. 1 節で述べたことから導波管間隔は $\lambda/2 \sim \lambda$ 程度であろうから、周波数は S バンド 3,000 MHz 帯あるいは C バンド 6,000 MHz 帯であろう。だ行フィードの横幅 (10 cm?) からは前者のほうが有力と思われる。なお他の記事 [4. 2. 2, 4. 2. 9, 4. 2. 10] ではだ行フィードがむかって左側にあるのが本場で、図 4. 7 [4. 2. 3] の写真は裏焼きと見られる。

[1. 2. 10] によると SPS-48 は Terrier または Tartar のミサイル割当ておよび対空管制用であり、データはミサイル用追尾レーダへ送るほかデータリンクを介して航空機へも伝送できる。Hughes 社の SPS-39, 52 の後継者であって、多ビームを送出できるためデータ率が高い反面、より高価で重量も大きい。ミサイル用追尾レーダへ引き渡すための搜索レーダとしてだけでなく、航空機の一撃管制にも用いる旨しされていることは注目される。SPS-39, 52 系統にはこの記述は見られない。

本機の積載艦は [1. 2. 10] に 3 隻しるされているが (Fox DLG 33, Wainwright DLG 28, Worden DLG 18)、ジェーン海軍年鑑 1969~70 年版の艦影写真からはつぎの艦に積載が認められる [4. 2. 4]。同



文献 [4.2.7] から (SIGNAL, February, 1971)
図 4.8 ITT-Gilfillan 社方式 AN/TPS-32

級でも必ずしも同機種を積載とは限らず、写真で確認した範囲だけをしるすので、他にもあると思われる。これらのうち 1968~69 年版では積載が認められないものがあり、装備が最近進んでいることがわかる。

原子力ミサイルフリゲート艦	Truxton DLGN 35
ミサイルフリゲート艦 (Belknap 級)	Horne DLG 30
	(Fox, Wainwright と同級)
ミサイルフリゲート艦 (Leahy 級)	Leahy DLG 16
	(Worden と同級)
ミサイル駆逐艦 (Mitscher 級)	Mitscher DDG 35
ミサイル駆逐艦 (Forrest Sherman 級)	Decatur DDG 31
	Parsons DDG 33

また原子力航空母艦の 2・3 番艦 Nimitz, Eisenhower (建造中) は Enterprise の SPS-32, 33 (8.1 節で後述) でなく、本機 SPS-48 を積載予定という [8.1.1, 8.1.6]。

(2) 米海兵隊 (図 4.8)

米海兵隊向け地上用 TPS-32 は、前記のように SPS-48 より早く 1959 年に着手されたが、その後の進ちょく (抄) は断続的で、1966 年 6 月の記事で試作機が約 1 年後に完成とあり [以上 1.2.10], 1967 年 10 月の記事で ITT-Gilfillan 社西海岸の工場で傾収試験中 [6.2.14] とあるのに符合する。[6.2.14, 4.2.8] の写真つきの解説で見ると、TPS の名のとおり (T: transportable) 可動形でアンテナのほかにヘリコプタ輸送可能の 3 個のシェルタからなり、アンテナは高さ 9.7 m × 幅 3.6 m (32 ft × 12 ft) とかなり大きい。片側の だ行フィードから横に走る 108 条の導波管を持つ。このアンテナが鉛直軸と写真で約 15°

傾けて取り付けられているのは注目され、あるいは 4.4 節の Signaal 社方式と似たねらいがあるものか、つまびらかでない。周波数走査方式として初の全自動システムであるとされ、レーダ情報・IFF 情報 (Identification Friend or Foe, 敵味方識別装置) の双方を自動処理して、相関済みの情報 (correlated message) が出力に得られる。MTDS (Marines' Tactical data system) の主探知機材となる予定である。送信電力、PRF 等はデジタルプログラムで制御され、数千個のデジタル IC を用いている。送信パルス幅は 30 ms でこの間に 9 個の異なる周波数のパルスが続けて発射し、重なり合う 9 本のビームを実質上同時に発生する。次のパルスでは別の周波数で別の仰角へ同様のビームを発射する。これをくりかえして覆域中から平均 6 ヒットのエコーが得られるという。探知距離は 300 NM, 距離分解能は 500 ft と言われる [4.2.8]。

4.4 オランダ Signaal 社方式

ペンシルビームの周波数走査を基本とし、これと通常の搜索レーダを結合し、さらにペンシルビームの走査面を鉛直から故意に傾けて、2 章の V ビーム方式とねらいは異なるが似かよった点もある興味ある方式が、オランダ Signaal 社で艦載用として開発されている。すでに完成しているようであるが、実際に積載には至っていないものと思われる。

4.4.1 原理

本方式の基本特許と想像される米国特許があるのでこれにもとづいて紹介する [4.3.1]。図 4.9 で通常の搜索用回転アンテナ 5 を持つ第 1 のレーダ装置 1 と、周波数走査アンテナ 15 を持つ第 2 のレーダ装置 11 とがあり、両アンテナは一体となって回転する。第 1 のレーダ装置は通常の搜索レーダとして目標物の距離 R , 方位 A_z を検出し方位比較装置 19 へ送る。この装置は目標の存在する方位に第 2 のアンテナ 15 が向いたとき第 2 のレーダ装置を起動してビームを周波数走査させ、目標の距離 R , 仰角 E を検出して三次元的位置を知る。ここまでは通常の搜索レーダと測高レーダの組み合わせに多少の自動性を持たせたにすぎないが、この先にいくつかの考案がある。

(1) 第 2 のアンテナ 15 のビーム走査面は、回転軸から k なる角度だけ傾いている。

(2) アンテナ 15 の回転速度とビーム走査速度とを連動させ、両者が打ち消し合ってペンシルビームが鉛直面内を走査する。

(3) 送信パルスを 2 分割し、送信周波数を変えて矢つぎばやに 2 ビームを出し、ヒット数を 2 倍する。

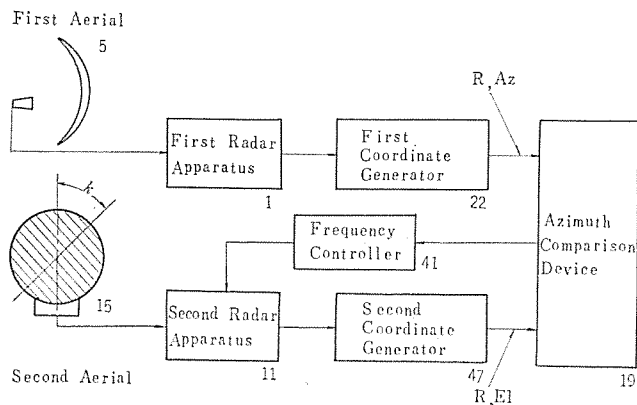
(4) 仰角既知の目標に対しては、2 ビームの方向を適当に選び、目標を「十字走査」で捕捉する。

図 4.10 で方位角を b , 仰角を E , 前記の傾斜角を k とすると、

$$\tan E = \sin b / \tan k,$$

$k=45^\circ$ とし両辺を微分すると

$$\frac{db}{dt} = \frac{1}{\cos^2 E \sqrt{1 - \tan^2 E}} \frac{dE}{dt}$$



文献 [4. 3. 1] 参照 (米国特許 3,328,797 号)
図 4. 9 Signal 社方式の基本構成

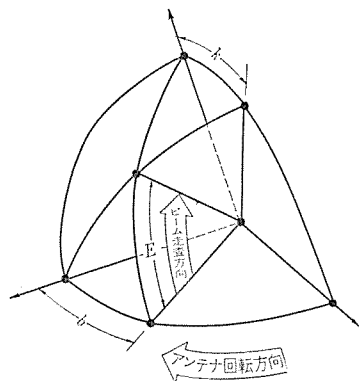


図 4. 10 Signal 社方式の測高原理

の関係が成り立つ。左辺はアンテナ回転速度である。アンテナ回転は時計方向、ビーム走査は下から上、傾斜 θ は図示の方向とし、上式の関係を保つように dE/dt (すなわちビームの走査速度) を選べば、ビーム走査面の傾きがアンテナ回転を打ち消して鉛直面内で走査が行なわれる。また、図 4. 11 のように送信パルスを 2 分割し送信周波数のわずかに異なる二つのパルス P, Q を発射すれば、実効的にヒット数は 2 倍となる。また仰角既知の目標に対しては図 4. 12 のように P, Q の周波数差をパルスごとに变じて、結果として目標予測位置を交点とする十字走査で目標を捕捉する。すなわちいったん仰角既知となった目標は、以後十字走査によって第 2 のレーダ装置単独で 3 次元座標を定めることができる。なお 2 分割パルス動作では、本特許に記載はないが P パルスのエコーは受信のちそのパルス幅だけ遅延させて、Q パルスのエコーと同時に生起させる必要があろう。以上の検知・制御はデジタル電子計算機で行なっている。このほか高仰角で実効的にヒット数が増大して自動検知に支障をきたすことを防ぐため、高仰角では 2 ビームを 1 ビームとし、あるいは十字走査の交差を(走査面となす角は一定で)変える等のくふうがある。

これは電子計算機を用いて 2 系統のレーダを有機的に結合し、目

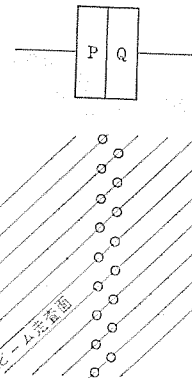


図 4. 11 2 分割パルスによるヒット数の増大

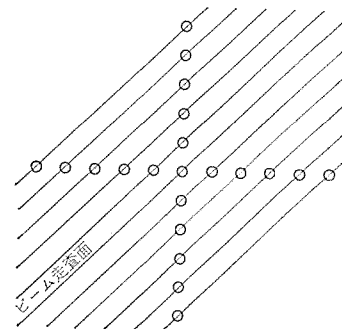
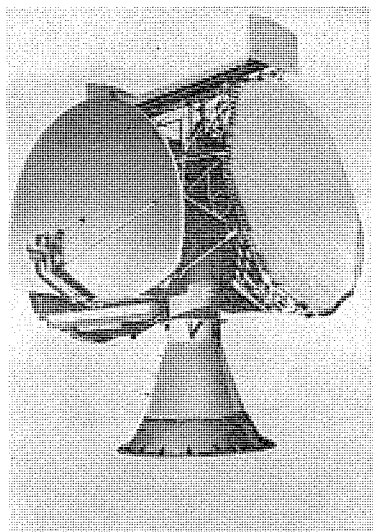


図 4. 12 2 分割パルスによる十字走査

標の所在に応じて走査パターンを制御するなど、いわば判断力を持ったレーダのはしりとして非常に興味ある方式であり、広告では「最初のデジタル 3D レーダである」と言っている [4. 3. 5]。しかしビーム走査速度かアンテナ回転数で限定されるので、最適な走査パターンが可能であるが、特に多目標が密集しているような場合の動作はどうか等の点が不明である。

4. 4. 2 実 例

英海軍の新計画「82 形」ミサイルフリゲート艦を紹介した 1966 年 3 月、6 月の雑誌記事に、同艦に積載予定のイギリス・オランダ共同開発になる 3D レーダが簡単に言及されており、このための巨大な同筒形のレーダーを艦橋上に持つ同艦の予想図が掲載された [4. 3. 2, 4. 3. 3]。ジェーン海軍年鑑 1966~67 年版にも模型写真とともに掲載がある [4. 3. 4]。イギリス・オランダ両海軍の緊密な協力下に開発されているもので、開発はオランダで行なわれているがイギリス・フランス・イタリア製の部分を含むという。[4. 3. 2] には Signal 社の名があがっており、その後の広告 [4. 3. 5] 等からこれが本方式のものであることがわかる。1968 年ころからアンテナの写真が見られはじめ [4. 3. 5, 4. 3. 8] (図 4. 13)、それによるとほぼ円形のアンテナ 4 面を四方に向けて持ち、そのうち捜索用パラボラが 2 面、測高用導波管アレイ(向かって右側で裏へ折り返して背面中央のだ行フィードへ導いてある) 2 面から成り、おのおのを背中合わせにした形の相当大きなもので、1



文献 [4. 3. 8] から (INTERAVIA 1969 年 10 月号)
図 4. 13 Signaal 社方式のアンテナ

面の直径は 4 m 程度ありそうである (図 4. 13)。4 面を 1 個のペデスタル上にのせ、スタビライザで安定化しているもようである [4. 3. 5, 鮮明な写真 4. 3. 12]。導波管アレイは写真では 73 条の導波管から成り、寸法から見て前節の SPS-48 と同程度の 5 cm 前後の導波管間隔と思われ、周波数は S バンドではないかと想像される。1969 年 8 月になってわが国の専門新聞紙上に、何か紹介されたことからみてほぼ完成したものと思われる [4. 3. 6, 4. 3. 7]。それによると 1960 年 (他の記事では 1964 年) 以来イギリス・オランダ協力で開発され、英国はその後緊縮政策のため、一時放棄したが、現在再び関心を示しており、他方オランダは 73 年に進水するミサイルフリゲート艦に装備を考えているという。

英国側の計画放棄の報道を裏書きするのはジェーン海軍年鑑 1969 ~70 年版であって、「82 形」の記述では文章には前年版までとほぼ同文で 3D レーダに言及しているが、模型・予想図とも前年版までであった大形レードームがなくなり、かわって在来の駆逐艦と同様の「965 形」と見られるレーダアンテナが見られる [4. 3. 11]。なお 1 番艦 Bristol は 1967 年 11 月竣工された。

他方オランダ海軍が建造中のミサイルフリゲート艦の想像図 (1975 年就役) には、以前の「82 形」に似た大形レードームが見え [4. 3. 10]、さきの新聞記事に照らして本機を積載するものと想像される。西独海軍で計画のミサイルフリゲート艦 (未竣工か) の線画にもよく似た大形レードームがあり [4. 3. 9]、本機を積載するものかもしれない。

5. 多ビーム走査方式

5. 1 原理

複数のペンシルビームを鉛直面内に配置し、鉛直面内の分担範囲を各ビームが走査する方式である。方位方向は通常の機械的回転によ

る。単ビーム走査方式にくらべ、ビームが n 本あれば同確率で一周の目標を検出する所要時間は、おおむね $1/n$ になるはずである。これを「データ率が n 倍である」ともいう。反面、各ビームごとに 1 個の送受信チャンネルを要するので単ビーム方式よりも複雑となる。

実用化されているのは英国 Marconi 社方式だけと思われる。(Marconi 社は近年後述の AEI 社と合併したが、一応別に記す。)

5. 2 英国 Marconi 社方式

英国の航空母艦に積載されている機材である。

5. 2. 1 構成

3 章の単ビーム機械的走査方式、4. 2 節の単ビーム周波数走査方式 (米国 Hughes 社) と並んで時期的に早く、1958 年にすでに艦上で実用化された模様なので三者中でもっとも早いのではないかとと思われる。しかし原理上・性能上の公表がもっとも少ない機種に属し、詳細は不明である。

諸記事を総合すると、形名を 984 形といい周波数は S バンド [5. 1. 7]、ビーム形成は多数のフィードホーンとレンズアンテナとの組み合わせによるもので、レンズアンテナは直径 14 ft (≈ 4.25 m)、焦点距離も 14 ft で明るさ $f/1$ にあたる。複数のビームを放射し、うち 1 本は他と異なる周波数で鉛直面内に不動の搜索ビーム、他のビーム (複数) は鉛直面内に束ねられたものが各自の分担角度を同期走査して目標の仰角を検出する。方位方向にはアンテナの回転による通常の走査を行なう。複数のマグネトロンを持ち、うち 1 個は固定の搜索ビームに、他は走査ビーム給電する。ビーム数は不明であるが 2 ダースくらいとの想像があり、仰角領域は 50° といわれる [5. 1. 2]。事実とすればどちらも大きな数字である。ビーム走査方法も不明であるが、ホーンの切り換えによるものとの想像があるので [5. 1. 6] 表 1. 2 では機械的走査方式に分類した。レンズアンテナは種々の口径と長さのアルミ導波管を溶接した巧妙なもので、通常のパラボラアンテナのような走査機構による放射面の隠ぺいがないといわれる [5. 1. 1]。このあたりの説明は詳細不明な点が多い。送信機および受信機の前段はアンテナ上にのせられ、回転部分は全重 27 t で [5. 1. 1, 5. 1. 2]、ジャイロで安定化されている [5. 1. 2, 5. 1. 3]。写真で見える外観は前面の円板状レンズアンテナの感じから一見探照灯の親玉のような大きなもので、外観からは原理・動作を察知できない。スリップリングが 275 点あり、うち 24 点以外は新規な “differential slip ring” である [5. 1. 1, 5. 1. 6]。指示機は多数あって、目標周囲にリザージュ方式で 8 個の文字を表示することができ、要撃管制のためのアナログ計算機を持っている [5. 1. 1, 5. 1. 2]。デジタル計算機は最初の装備ではなかったが、のちのものは英海軍の ADA (Action Data Automation) システムのデジタル計算機をもつ艦にも装備されている [5. 1. 6]。

以上の諸記事は不明確な点が多いが、記述どおりとすればかなり進んだもので、1958 年にすでに装備実用化されていた点からも注目に値し、現実の性能が不明なのは残念である。

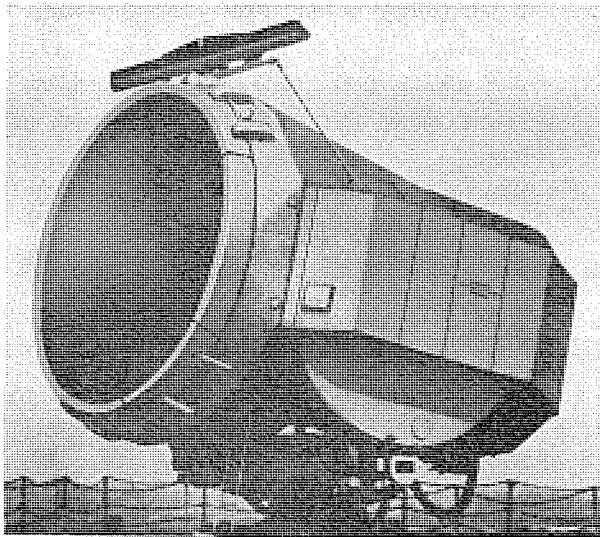


図 5.1 Marconi 社方式のアンテナ
文献 [5.1.1] から (British communications and electronics 1958 年 7 月号)

5.2.2 実 例 (図 5.1)

英国の航空母艦 Victorious の大改装に際してはじめて積載され、1958 年 7 月の記事では現役復帰前の試験中であった [5.1.1]。1959 年 7 月の NATO 合同 “Riptide” 演習に参加し、本機のおかげで米空母に 3 倍する要撃率をあげたという。ただし「英海軍非公式筋」によるもので、平均要撃数で 90 対 30 とも言い、要撃率で 90% 対 30% とも言い、明確でない [5.1.2, 5.1.3]。艦橋上前部に大形の探照灯状のアンテナセルが積載され顕著な艦影である。その後航空母艦 Eagle R05, Hermes R12 にも積載され [1.1.2, 1.1.3, 5.1.4]、現在までこの 3 隻以外にはない。ただし Victorious は 1968 年 3 月に廃棄され、目下は 2 隻のみである [5.1.5]。

製造元は The Marconi Co. Ltd. と英国海軍との共同開発で、計算法・指示機は Pye 社である。着手は 1950 年ころとされ、世界最初の艦載 3D レーダと称しているのもゆえなしとしない [1.1.2, 5.1.2, 5.1.6]。

(以下次号)

参 考 文 献

1. 三次元レーダ一般

1.1 総 覧

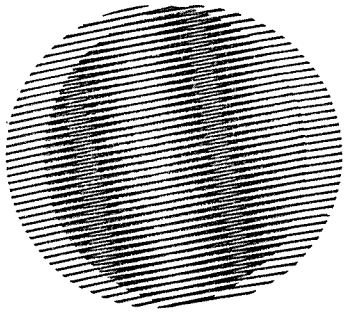
- 1.1.1 US Radar Catalogue, INTERAVIA 20 (1) 59~62 (January, 1965)
- 1.1.2 Shapes of Naval Radar, INTERAVIA 20 (12) 1,820~1,823 (December, 1965)
- 1.1.3 European Radar Catalogue, INTERAVIA 21 (8) 1,209~1,212 (August, 1966)
- 1.1.4 G. Lander (Staff) : The French Electronics Industry,

INTERAVIA 22 (5) 665~669 (May, 1967)

- 1.1.5 (広告) Technical Systems Corp., Electronics Buyers' Guide 1969, 820~821
- 1.1.6 Land Based Surface Radars, Jane's Weapon Systems 1969~70 (578~582)
- 1.1.7 Naval Radars, Jane's Weapon Systems 1970~71 (594, 595)
- 1.2 解 説
- 1.2.1 Günther Ulbricht : Die Technischen Grenzen des 3-D-Rundsuch-Radargerätes, E 434 Z. für Flugwissenschaften 7 (11) 314~321
- 1.2.2 Karl Röhrich : Prinzipien der Dreidimensionalen Radarortung (3D-Radar), E 349 VDE Fachberichte 21 II/15 ~II/23 (1960)
- 1.2.3 Hal Gettings (Staff) : 3-D Radar Grows in Importance, Missiles and Rockets 6 (9) 65~66, 68~69 (February 29, 1960)
- 1.2.4 Murray Simpson (Maxson) : New Techniques in Three-Dimensional Radar, IRE Trans. MIL-5 (2) 146~153 (April, 1961)
- 1.2.5 榎本, 渡部, 玉真 (三菱電機) : 三次元レーダ, 電子機械工業会関西支部 電子技術特別研究委員会 資料 1.5 (昭 37-11)
- 1.2.6 大賀 (防衛庁) : 三次元レーダ(その 1), 兵器と技術 (212) 74~80 (1965-1)
- 1.2.7 玉真 (三菱電機) : 三次元レーダについて, 電気通信学会 航行エレクトロニクス研究会 資料 65.9-9 (1965-9-27)
- 1.2.8 牧野, 佐藤 (東芝) : 最近の三次元レーダ, エレクトロニクス 11 (2) 139~145 (昭 41-2)
- 1.2.9 岡田 (東大) : 航空電子装置, 工業電子装置シリーズ 8, 日刊工業新聞社 (昭 41-6-25 初版), 9.3 三次元レーダ (306~314)
- 1.2.10 W. J. Evanzia (Staff) : Faster, Lighter 3-D Radars in Sight for Tactical Warfare, Electronics 39 (13) 80~88 (June 27, 1966)
- 1.2.11 大越, 久郷, 黒川, 国分, 竹内, 西岡, 吉田 (東芝) : レーダ技術 [その 2], 電子通信学会 (昭 43-4-30 初版), 12.8 三次元レーダ (135~138)
- 1.2.12 玉真 (三菱電機) : 三次元レーダについて (2), 電子通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会 資料 SANE 69~20 (1969-12)
- 1.3 共通技術
- 1.3.1 J. L. Spradley (Hughes) : A Volumetric Electrically Scanned Two-Dimensional Microwave Antenna Array,

- 1958 IRE Nat'l Conv. Rec. (Pt. 1) 204~212
- 1.3.2 F. E. Goodwin, H. R. Senf (Hughes) : Volumetric Scanning of a Radar with Ferrite Phase Shifters, Proc. IRE 47 (3) 453~454 (March, 1959)
- 1.3.3 F. E. Goodwin, T. A. Nussmeier (Hughes) : New Ferrite Phase Shifter paves Way for Inertialess Scanning Radar, Space/Aeronautics 32 (6) 131~136 (December, 1959)
- 1.3.4 F. E. Goodwin, T. A. Nussmeier (Hughes) : New Ferrite Phase Shifter paves Way for Inertialess Scanning Radar-II, Space/Aeronautics 33 (1) 150~155 (January, 1960)
- 1.3.5 Harold Shnitkin (Maxson) : Survey of Electronically Scanned Antennas, First of Two Parts, The Microwave Journal 3 (12) 67~72 (December, 1960)
- 1.3.6 Harold Shnitkin (Maxson) : Survey of Electronically Scanned Antennas, Last of Two Parts, The Microwave Journal 4 (1) 57~64 (January, 1961)
- 1.3.7 E. C. Watters, P. R. Dax (Westinghouse) : Improvements in Search Radar Systems, Westinghouse Engineer 21 (3) 77~81 (May, 1961)
- 1.3.8 P. R. Dax (Westinghouse) : The Exploration of a Given Volume with a High Accuracy Radar ; Considerations of Power, Data Rate, and Accuracy, 1961 IRE Int'l Conv. Rec. (Pt. 5) 250~258
2. Vレーダ
 - 2.1 R. N. Ridenour (Ed.) : Radar System Engineering, McGraw-Hill (1947), Sections 4.1 (120~121), 6.12 (193~196), 13.19 (547~548)
 - 2.2 S. Silver (Ed.) : Microwave Antenna Theory and Design, McGraw-Hill (1949), Section 13.3 (479, 482, 483)
 - 2.3 W. M. Cady et al (Ed.) : Radar Scanners and Radomes, McGraw-Hill (1948), Section 3.5 (88~97)
 - 2.4 (ニュース) INTERAVIA 17 (4) 462 (April, 1962)
 - 2.5 M. I. Skolnik : Introduction to Radar Systems, McGraw-Hill (1962), Section 10.3 (459, 460)
 - 2.6 Joseph R. Vadus (Sperry) : TPS-34, A Modern Tactical Radar, Sperry Engineering Review 16 (1) 2~9 (Spring, 1963)
 - 2.7 Marines to Get 3-D Radar, Electronics 36 (18) 24~25 (May 3, 1963)
 - 2.8 The Sperry AN/TPS-34, INTERAVIA 19 (8) 1,156~1,157 (August, 1964)
3. 単ビーム機械的走査
 - 3.1 R. N. Ridenour (Ed.) : Op. cit. Sections 9.14, 9.15 (295~304)
 - 3.2 W. M. Cady et al (Ed.) : Op. cit. Sections 2.15, 2.16 (45~61)
 - 3.3 V. A. Altovsky (RI) : Three-Dimensional Radar for Air Traffic Control, INTERAVIA 13 (7) 744~745 (July, 1958)
 - 3.4 Jane's Fighting Ships 1968~69 (86, 88, 91, 92, 93)
 - 3.5 Jane's Fighting Ships 1970~71 (109)
 - 3.6 Mobile 3-D Radar, Jane's Weapon Systems 1970~71 (408, 409)
 - 3.7 Volex III 3-D Radar, TH. D. 1945, Jane's Weapon Systems 1970~71 (412, 413)
4. 単ビーム周波数走査
 - 4.1 米 Hughes
 - 4.1.1 E. Strumwasser, L. C. Van Atta (Hughes) : Frequency-Sensitive Rapid-Scanning Antenna, U. S. Patent 3,039,097 (June 12, 1962 ; 出願 August 17, 1953)
 - 4.1.2 (広告) Aviation Week 68 (9) (March 3, 1958) 24~25
 - 4.1.3 (広告) Aviation Week 68 (19) (May 12, 1958) 56~57
 - 4.1.4 (広告) Aviation Week 70 (24) (June 15, 1959) 104
 - 4.1.5 Three-Dimensional Radar Demonstrated, Aviation Week 69 (16) 34 (October 20, 1958)
 - 4.1.6 Frequency Scanning Radar, Electronic Industries 17 (11) 68 (November, 1958)
 - 4.1.7 Navy Discloses Details of Shipboard 3-D Radar, Electronic Design 9 (2) 4 (January 18, 1961)
 - 4.1.8 Merrill I. Skolnik : Introduction to Radar Systems, McGraw-Hill (1962), Section 1.6 (17~18)
 - 4.1.9 (広告) INTERAVIA 18 (10) 1,528 (October, 1963)
 - 4.1.10 Lightweight 3-D Radar System, British Comm. and Elec. 11 (1) 33 (January, 1964) 46,021
 - 4.1.11 新形軽量 LW-30 レーダ アンテナ, エレクトロニクス 9 (4) 425 (1964-4)
 - 4.1.12 軍艦用の新形監視レーダ, 電波新聞 (昭 44-7-16)
 - 4.1.13 Naval Radar Orders for over \$ 7 m, Electronics Weekly (460) 9 (July 25, 1969)
 - 4.1.14 (写真) Armed Forces Management 16 (9) 53 (June, 1970)
 - 4.1.15 Florida Air Defence Command and Control System, Jane's Weapon Systems 1970~71 (173, 174)
 - 4.1.16 SPS-39 (Frescan) Radar, Jane's Weapon Systems 1970~71 (440)
 - 4.1.17 SPS-52 Radar, Jane's Weapon Systems 1970~71 (440)
 - 4.2 米 Gilfillan
 - 4.2.1 (広告) INTERAVIA 16 (1) 58 (January, 1961)

- 4.2.2 Air Surveillance Radar Undergoes Evaluation Tests, Aviation Week and Space Technology, 79 (9) 89 (August 26, 1963)
- 4.2.3 (表紙写真) Electronics 39 (13) (June 27, 1966)
- 4.2.4 Jane's Fighting Ships 1969~70 (410~411, 413, 418~419)
- 4.2.5 (広告) Announcing the world's best deal on the world's most advanced 3-D radar, Aviation Week and Space Technology 92 (18) 48 (May 4, 1970)
- 4.2.6 (表紙写真) SIGNAL 25 (6) (February, 1971)
- 4.2.7 Ray E. Meyers : A New Three Dimensional Surveillance Radar, SIGNAL 25 (6) 15, 16 (February, 1971)
- 4.2.8 (ニュース) INTERAVIA 36 (2) 160, 161 (February, 1971)
- 4.2.9 (写真) Jane's Weapon Systems 1970~71 (88)
- 4.2.10 SPS-48 Air Surveillance Radar, Jane's Weapon Systems 1970~71 (440)
- 4.3 オランダ Signaal
- 4.3.1 Y. Jorna, C. A. van Staaden, W. Stoorvogel and E. Ferwerda (Signaal) : Radar System, U. S. Patent 3,328,797 (June 27, 1967 ; オランダ 出願 May 21, 1964)
- 4.3.2 (写真) FLIGHT International 89 (2,973) 363 (March 3, 1966)
- 4.3.3 The Royal Navy's New Guided Missile Destroyer, INTERAVIA 21 (5) Int'l Defence Review Supplement 596, 601 (May. 1966)
- 4.3.4 Jane's Fighting Ships 1966~67 (286)
- 4.3.5 (広告) Jane's Fighting Ships 1968~69 (36 adv.)
- 4.3.6 新しいレーダ開発, 三種の測定できる, 日本工業新聞 (昭 44-8-5)
- 4.3.7 世界的な新技術, オランダが三方面に働くレーダを開発, 電 波新聞 (昭 44-8-5)
- 4.3.8 NV Hollandse Signaalapparaten, INTERAVIA 24 (10) 1,634~1,635 (October, 1969)
- 4.3.9 Jane's Fighting Ships 1969~70 (118)
- 4.3.10 Jane's Fighting Ships 1969~70 (216, 219)
- 4.3.11 Jane's Fighting Ships 1969~70 (326, 327, 331)
- 4.3.12 (広告) Newsweek, October 26, 1970, PX 8, 9
- 5. 多ビーム走査
- 5.1 英 Marconi
- 5.1.1 3-D Tactical Air-Position Radar in H. M. S. Victorious, British Comm. and Electronics 5 (7) 510~511 (July, 1958)
- 5.1.2 Victorious Shows 3-D Radar, Electronics 32 (34) 19 (August 21, 1959)
- 5.1.3 HMS Victorious Equipped with 3-D Aircraft Control and Warning Radar, Aviation week 71 (2) 74 (September, 21, 1959)
- 5.1.4 Jane's Fighting Ships 1966~67 (272, 275, 276)
- 5.1.5 Jane's Fighting Ships 1968~69 (283~286)
- 5.1.6 Type 984 Naval Air Surveillance Radar, Jane's Weapon Systems 1969~70 (464)
- 5.1.7 Jane's Fighting Ships 1970~71 (326, 328)



新製品紹介

新形航空機用アクチュエータの開発

当社では、新形航空機のフラップおよびトリム操作用として、電動式アクチュエータ6機種を開発中であったが、このほど MIL 規格に準拠した技術試験を順調に完了し、量産品の納入を開始した。

これらのアクチュエータの仕様は、表 1 に示すとおりであるが、いずれも航空機の操縦性を左右するため、とくに高い信頼性と性能を要求され、当社の最新の技術を駆使して、設計製作されている。なかでも、AA-10-1 形および AA-11-1 形は、主翼の前縁および後縁フラップの操作用として、大きい出力トルクを要求されたため、特殊圧力角の遊星歯車機構、高強度材料および窒化処理などを採用して、小形軽量化を図っている。

また、これらのアクチュエータは、緊急時の特殊条件のもとでも、性能を十分発揮できるように随所に新機構を採り入れ、信頼性をいっそう向上させている。(特許 6 件出願中)

■ 特 長

- (1) 出力トルクに比べ、非常に小形軽量である。(同一トルクの民需品とのスペース比約 1/10)。
- (2) アクチュエータのストロークは、外部から簡単に調整できる。
- (3) 一方のアクチュエータが、故障した場合でも、フレキシブルシャフトを介して、他方のアクチュエータによりフラップを操作できる (AA-10-1 形, AA-11-1 形)。
- (4) 両方のアクチュエータの回転角が、一定値以上ずれた場合には、非対称舵角検出器により自動的にアクチュエータを停止させることができる (AA-11-1 形)。
- (5) 耐水・耐油構造となっているので、あらゆる環境条件のもとでも、性能を十分発揮できる。

■ 仕 様

形 式	AA-10-1	AA-11-1	AA-12 A	AA-13 A	AA-14	AA-16
種 類	回転式	回転式	直線式	直線式	直線式	直線式
荷 重	41 kg・m	128 kg・m	10 kg	20 kg	45 kg	30 kg
ストローク	118°	117°	36 mm	63 mm	72.5 mm	26 mm
作 動 時 間	10 s	10 s	9.0 s	4.5 s	12 s	2.0 s
電 圧	200 V AC	200 V AC	26 V DC	26 V DC	26 V DC	26 V DC
周 波 数	400 Hz	100 Hz	—	—	—	—
電 流	0.9 A	1.9 A	0.5 A	1.6 A	1.0 A	2.2 A
重 量	5.6 kg	8.2 kg	1.7 kg	1.9 kg	1.7 kg	1.2 kg

[名古屋製作所]

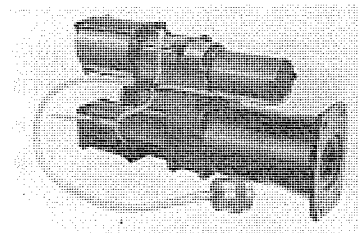


図 1 AA-11-1 形 アクチュエータ

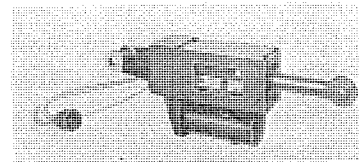


図 2 AA-14 形 アクチュエータ

航空機用燃料ブースタポンプ

当社では交流電動機駆動の燃料ブースタポンプとして、AP-27, AP-28, AP-29, AP-30 の 4 種類を国産開発した。これらのポンプは新形航空機の燃料タンク底部に燃料に浸漬して取付けられ、エンジンへの燃料の供給およびタンク間の燃料の移送などに使用される。

いずれのポンプも最新の MIL 規格に従って製作されており、航空機の遭遇するあらゆる環境条件に耐えうる事が、技術試験により確認されている。

また各機体により異なる特殊な要求条件 (高度性能、プラグイン構造、リプライミング性能など) も十分満たし、ユーザーの好評を得ている。

■ 特 長

- (1) 最新の MIL 規格 (MIL-P-5238 B) に適合している。
- (2) 電動機内部に燃料を循環させ冷却しているので、小形軽量化が促進されている。

- (3) 電動機は防爆構造になっており、安全性が高い。
- (4) 軸受は特殊 グラファイト 製の分割形を使用しており、広範囲の温度変化に対応でき、空運転性能も良い。
- (5) 仕様に マッチ した特殊 インペラの採用により、高度性能が良好である。
- (6) プラグイン 構造の採用により整備性が良い (AP-27, AP-30)
- (7) リブライミングインペラ 内臓により、ポンプ 取付位置が自由に選択でき、航空機の姿勢変動により インレットマウス が一時的に液面より出ても、すぐに再自吸できる (AP-27)。
- (8) ポンプ の上下に吸込口を有しており、背面飛行時にも常に所要の燃料を供給することができる (AP-28)。
- (9) 非リセット 形 リーマルプロテクタ 内臓により、過熱を防止している (AP-27, AP-29, AP-30)。

■ 仕 様

部 品 番 号	AP-27	AP-28	AP-29	AP-30
電 圧 V AC	200	200	200	200
周 波 数 Hz	400	400	400	400
相数および結線	三相4 線式	三相4 線式	三相4 線式	三相4 線式
定格流量 PPH	20,000	20,000	4,000	8,000
吐出圧力 psig	10 min	17 min	15 min	10 min
電 流 A	—	6.2 max	1.6 max	2.75 max
入 力 W	1,350 max	—	—	750 max
力 率 %	60 min	—	—	—
定 格	連 続	連 続	連 続	連 続
重 量 kg	4.65 max	4.2 max	1.7 max	3.5 max
燃 料	MIL-T-5624 Grade JP-4	MIL-T-5624 Grade JP-4	MIL-T-5624 Grade JP-4	MIL-T-5624 Grade JP-4
燃料温度 °F	-65~+135	-65~+135	-65~+135	-65~+135
周囲温度 °F	-65~+160	-65~+160	-65~+250	-65~+160
特 殊 構 造	プラグ イン形 リブライミングインペ ラ内臓	上・下吸込形		プラグ イン形
適 用 規 格	MIL-P-5238 B MDK-1079 ほか	MIL-P-5238 B MDK-1072 ほか	MIL-P-5238 B MDK-1073 ほか	MIL-P-5238 B MDK-1064 ほか

[名古屋製作所]

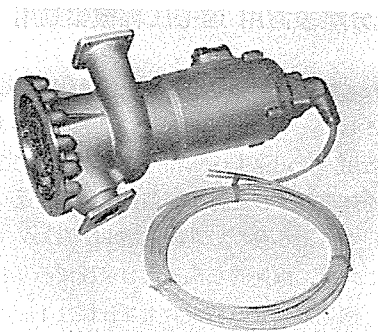


図 1 P/N AP-27

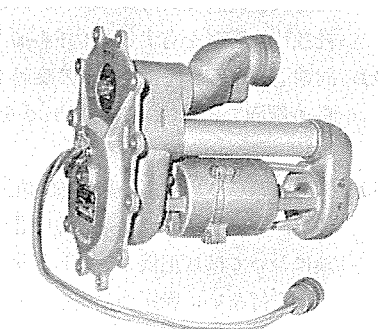


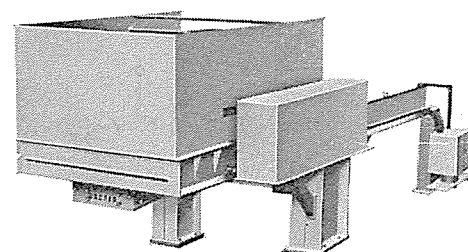
図 2 P/N AP-28

連 鋳スラブ刻印装置

製鉄ライン 省力化の一環として、連続鋳造機より抽出される スラブ を、一時ストックする際の識別のため、スラブ の側面に ナンバー を打刻する装置を開発し、某製鉄所に納入した。きびしい温度条件と、ひん繁でかつ衝撃を伴う作業条件を考慮して、冷却には十分の考慮を払い、また構造はできるだけ単純化して、可動部はすべて空圧で駆動できるようにした。打刻機構は空気銃式 エアハンマー で、刻印の頭をたたいて打刻する方式を採用している。

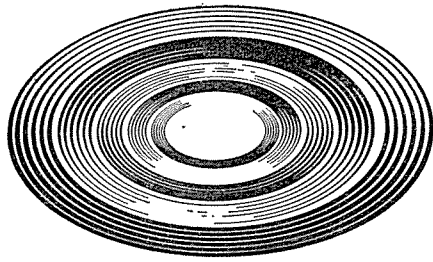
■ おもな特長

- | | |
|--------------------|-----------------|
| (1) 印字けた数 | 6 けた |
| (2) 印字体寸法 | 縦 20 mm×横 10 mm |
| (3) 印字こん(痕)深さ | 1 mm |
| (4) 打刻作業 1 回に要する時間 | 15 秒 |
| (5) 対象 スラブ 温度 | 800°C~1,000°C |



連 鋳スラブ 刻印装置

[神戸製作所]



NEWS FLASH

空気分離装置用 遠心圧縮機駆動用 14,500 kW 同期電動機完成

かねて神戸製鋼(株)から、新日鉄(株)君津製鉄所および堺製鉄所向けとして、長崎製作所にて受注製作中であった酸素工場 空気分離装置用 遠心圧縮機駆動用 同期電動機が完成し、このほど現地試運転を無事終了した。本同期電動機は最近の遠心圧縮機大形化の要望に、こたえるもので連続定格 14,500 kW で、ソリッドポール 同期電動機としては、画期的な高速大容量機でありわが国における記録品である。同期電動機の特長および仕様は下記のとおりである。

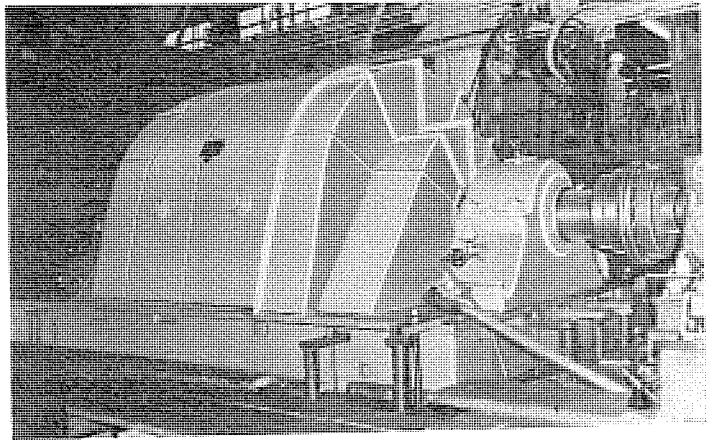
■ 特 長

- (1) 高速大容量機で負荷の GD^2 が大きいので、回転子には当社独特の構造を有するソリッドポールを採用した。
- (2) 同期電動機起動時に発生する変動トルクを減少させるため、ポール端面に特殊構造のエンドリングを設けた。(実用新案申請中)
- (3) 軸系のねじり固有振動数と同期電動機加速途中の変動トルクが、共振するので軸系の強度計算を十分検討し、また現地においては圧縮機と結合した状態で、共振時の軸応力の実測を行ない、軸系の強度を再確認した。

■ 仕 様

- | | |
|---|-----|
| (1) 14,500 kW 11,000 V 50 Hz 6 P 1,000 rpm 0.8 pF | 1 台 |
| 全閉内冷形 空気冷却器付き (君津製鉄所) | |
| (2) 14,500 kW 11,000 V 60 Hz 6 P 1,200 rpm 0.8 pF | 1 台 |
| 全閉内冷形 空気冷却器付き (堺製鉄所) | |

[長崎製作所]



新日鉄(君津製作所)納め 14,500 kW 同期電動機

線材、鋼材ラインの位置制御に好適な

MP-133 形 熱材位置検出器

一般に線材や鋼材工場においては製品の均一化をはかるため、製造工程のある部分にループ(一種のたわみ)をもたせ、このループは常に一定になるよう制御される。本装置は受光器と増幅器からなり、被制御物体(熱材)から放射される赤外線を検知し、ループ位置に対応した信号を出すものでループ制御の入力信号として利用される。従来品にくらべ性能が大幅にアップした。特に小リップル、ハイレスポンスになったためラインの高速制御に寄与するものは大である。

■ 特 長

- (1) 構造が堅固で、過酷な環境条件にも耐えうるように水冷、エアパージ方式になっている。
- (2) 出力リップルが小さい。
- (3) 応答が早い。
- (4) 直線性がよい。

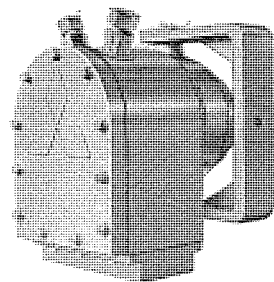


図 1 MP-133 形 受光器

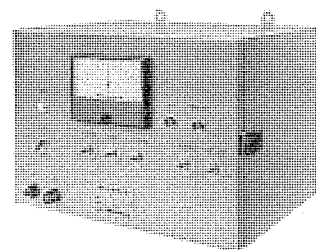


図 2 MP-133 形 増幅器

(5) 論理回路はすべて IC 化され、信頼性をあげている。

■ おもな仕様

- | | |
|-------------|--------------------|
| (1) 視 野 | 基準位置 (0°) ~ ±25° |
| (2) 出力電圧 | 基準位置 (0 V) ~ ±10 V |
| (3) 出力 リップル | フルスケールの 2 % 以下 |
| (4) レスポンス | 30 ms 以下 |
| (5) 直線性 | フルスケールの ±1.5 % 以下 |
| (6) 熱材温度 | 400°C ~ 1,300°C |
| (7) 熱材の大きさ | 線材径にして 5.5 mmφ 以上 |
| (8) 設置距離 | 1 ~ 2 m |

[神戸製作所]

大林組 大阪本社ビル向け ダブルデッキエレベータ

ダブルデッキエレベータは一般のエレベータのかご室を2階建にして、上下二つの階より同時に乗客が乗り降りできるようにしたエレベータである。ダブルデッキエレベータの特長は、1回の乗込人数が一般エレベータの2倍、停止数は1/2になるので輸送能力が著しく向上することである。このダブルデッキエレベータの構想は戦前からあったが、1970年にシカゴのタイムライフビル(30F)で成功してから超高層ビル向けとして注目を集めている。

当社では大林組より発注を受け、昭和48年春しゅん(竣)工予定の同本社ビル(大阪32階建て、延床面積50,293m²)に8台のダブルデッキエレベータの製作を開始した。これはわが国最初のダブルデッキエレベータになる予定である。

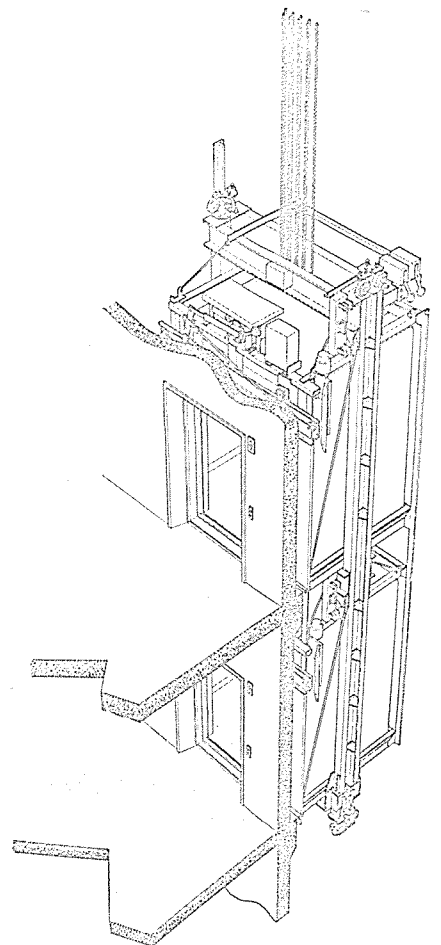
■ 大林組本社ビル向けエレベータ仕様

- | | | | | |
|-----|----|--------|-----------|----------------------------|
| 低層用 | 4台 | 20名×2室 | 150 m/min | B ₁ , 1~14階 |
| 高層用 | 4台 | 20名×2室 | 240 m/min | B ₁ , 1, 17~30階 |
- 操作方式は、いずれもオートセレクトボタンオート MARK-II 方式

[本社 昇降機業務部]

エレベータ集中監視方式(METAS)

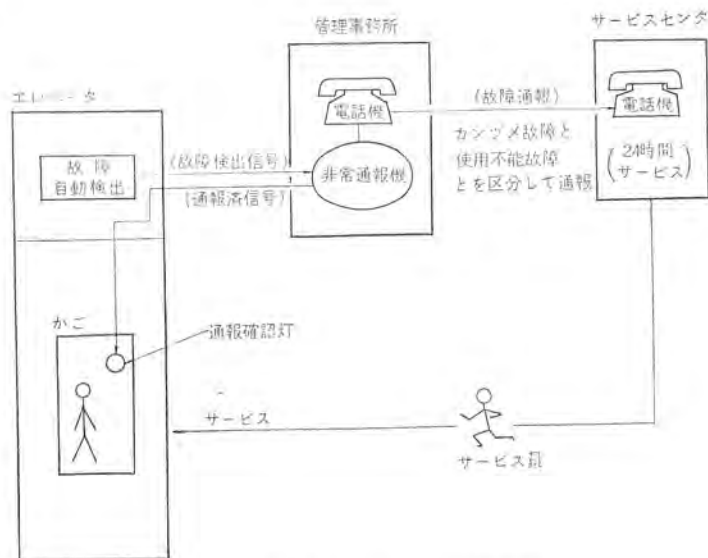
当社では、日本住宅公団がわが国で本格的に高層住宅建設を開始した当初から、住宅用エレベータを納入してきたが、最近住宅用エレベータの管理面に新機軸を開く新しいエレベータの集中監視方式 METAS (Mitsubishi Elevator Total Attend System) を開発した。



METAS は大規模高層住宅団地の数十台のエレベータを効果的に集中監視するために、従来インターホンによる利用者からの通報に頼っていたエレベータの故障通報を自動化したものである。METASではエレベータの故障を、かご内に乗客を閉じ込めた故障（カンヅメ故障）と単なる使用不能故障とに区別して自動的に検出し、電話回線を利用して、菱電サービス（株）が全国的に組織しているエレベータの24時間サービス体制に、個々のエレベータを直結して監視するシステムである。したがって団地ごとに24時間常駐のサービス員を配置したのと同様の効果が少ない人手で期待できる。

■ METAS の特長

- (1) エレベータの故障を自動的にサービスセンタに通報
故障通報の迅速化
エレベータ管理の省力化
- (2) 菱電サービス（株）のサービスセンタによるエレベータの24時間監視
- (3) カンヅメ故障と使用不能故障を区別して通報できる。
救出作業の迅速化と不急作業処理の合理化
- (4) エレベータ管理費の節約



METAS によるエレベータの故障管理

[本社 昇降機業務部]

大容量 三相 誘導同期 電動機完成

このたび 8,000 kW 4極三相誘導同期電動機を完成した。本機は繰返し起動および過速度運転をおこなうため、その機械的応力は 30,000 kW 4極巻線形誘導電動機に匹敵し、これらの条件を十分考慮した設計をしている。

■ 仕様

形式	開放防滴他力通風形（サイレンサーつき）
出力	8,000 kW
一次電圧	6,600 V/3,300 V
一次電流	825 A/1,650 A
二次電圧	4,275 V
二次電流	1,105 A
周波数	60 Hz
極数	4 P
回転数	1,800 rpm (*1,790 rpm)
励磁電圧	42 V
励磁電流	1,120 A

* 印は誘導物として運転したときの回転数をあらわす。

[長崎製作所]



8,000 kW 三相誘導同期電動機

本社・営業所・研究所・製作所・工場所在地

本 社 東京都千代田区丸の内2丁目2番3号(三菱電機ビル) (電) 100 (電) 東京 (03) 218局2111番

大阪営業所	大阪市北区梅田町8番地(西阪神ビル)(電)530	(電) 大阪 (06) 343局1231番
名古屋営業所	名古屋市中村区広井町3丁目88番地(大名古屋ビル)(電)450	(電) 名古屋 (052) 561局5311番
静岡出張所	静岡市伝馬町16の3番地(明治生命静岡支社)(電)420	(電) 静岡 (0542) 54局4681番
福岡営業所	福岡市天神2丁目12番1号(天神ビル)(電)810	(電) 福岡 (092) 72局2111番
長崎出張所	長崎市丸尾町7番8号(長崎底曳会館)(電)852	(電) 長崎 (0958) 23局6101番
札幌営業所	札幌市北2条西4丁目1番地(北海道ビル)(電)060-91	(電) 札幌 (011) 261局9111番
仙台営業所	仙台市大町1丁目1番30号(新仙台ビル)(電)980	(電) 仙台 (0222) 21局1211番
富山営業所	富山市桜木町1番29号(電)930	(電) 富山 (0764) 31局8211番
広島営業所	広島市中町7番32号(日本生命ビル)(電)730	(電) 広島 (0822) 47局5111番
岡山出張所	岡山市駅前町1丁目9番地(明治生命館)(電)700	(電) 岡山 (0862) 25局5171番
高松営業所	高松市鶴屋町2番1号(電)760	(電) 高松 (0878) 51局0001番
新潟営業所	新潟市東大通1丁目2番地23号(北陸ビル)(電)950	(電) 新潟 (0252) 45局2151番
東京商品営業所	東京都千代田区丸の内2丁目2番3号(三菱電機ビル)(電)100	(電) 東京 (03) 218局2111番
関東商品営業所	与野市上落合後原842番地(電)338	(電) 与野 (0488) 33局3181番
大阪商品営業所	大阪市北区堂島北町8番地の1(電)530	(電) 大阪 (06) 344局1231番
名古屋商品営業所	名古屋市中村区広井町3丁目88番地(大名古屋ビル)(電)450	(電) 名古屋 (052) 561局5311番
機器静岡営業所	静岡市小島2丁目1番22号(電)420	(電) 静岡 (0542) 82局2061番
機器浜松営業所	浜松市上西町42の5(電)430	(電) 浜松 (0534) 63局6121番
福岡商品営業所	福岡市天神2丁目12番1号(天神ビル)(電)810	(電) 福岡 (092) 72局2111番
札幌商品営業所	札幌市北2条西4丁目1番地(北海道ビル)(電)060-91	(電) 札幌 (011) 261局9111番
仙台商品営業所	仙台市大町1丁目1番30号(新仙台ビル)(電)980	(電) 仙台 (0222) 21局1211番
北陸商品営業所	金沢市小坂町西97番地(電)920	(電) 金沢 (0762) 52局1151番
広島商品営業所	広島市中町7番32号(日本生命ビル)(電)730	(電) 広島 (0822) 47局5111番
高松商品営業所	高松市鶴屋町2番1号(電)760	(電) 高松 (0878) 51局0001番
東京機器営業所	東京都千代田区丸の内2丁目2番3号(三菱電機ビル)(電)100	(電) 東京 (03) 218局2111番
大阪機器営業所	大阪市北区堂島北町8番地の1(電)530	(電) 大阪 (06) 344局1231番
中央研究所	尼崎市南清水字中野80番地(電)661	(電) 大阪 (06) 491局8021番
生産技術研究所	尼崎市南清水字中野80番地(電)661	(電) 大阪 (06) 491局8021番
商品研究所	鎌倉市大船2丁目14番40号(電)247	(電) 鎌倉 (0467) 46局6111番
神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町3丁目10番地の1(電)652	(電) 神戸 (078) 67局5041番
伊丹製作所	尼崎市南清水字中野80番地(電)661	(電) 大阪 (06) 491局8021番
三田工場	三田市三輪町父々部85番地(電)669-13	(電) 三田 (07956) 4371番
長崎製作所	長崎市丸尾町6番14号(電)850-91	(電) 長崎 (0958) 23局6211番
稲沢製作所	稲沢市菱町1番地(電)492	(電) 稲沢 (0587) 32局8111番
和歌山製作所	和歌山市岡町91番地(電)640-91	(電) 和歌山 (0734) 23局7231番
鎌倉製作所	鎌倉市上町屋325番地(電)247	(電) 鎌倉 (0467) 46局1111番
通信機製作所	尼崎市南清水字中野80番地(電)661	(電) 大阪 (06) 491局8021番
北伊丹製作所	伊丹市瑞原4丁目1番地(電)664	(電) 伊丹 (0727) 82局5131番
熊本第一工場	熊本市竜田町弓削720番地(電)862	(電) 熊本 (0963) 62局7211番
熊本第二工場	熊本県菊池郡西合志町御代志997(電)861-11	(電) 熊本 (0963) 43局0951番
名古屋製作所	名古屋市中区矢田町18丁目1番地(電)461	(電) 名古屋 (052) 721局2111番
旭工場	尾張旭市下井町下井(電)488	(電) 尾張旭 (05615) 3局5101番
福岡製作所	福岡市今宿青木690番地(電)819-01	(電) 福岡今宿 (09295) 6局0431番
福山製作所	福山市緑町1番8号(電)720	(電) 福山 (0849) 21局3211番
相模製作所	相模原市宮下1丁目1番57号(電)229	(電) 相模原 (0427) 72局5131番
姫路製作所	姫路市千代田町840番地(電)670	(電) 姫路 (0792) 23局1251番
静岡製作所	静岡市小島3丁目18番1号(電)420	(電) 静岡 (0542) 85局1111番
中津川製作所	中津川市駒場町1番3号(電)508	(電) 中津川 (05736) 6局2111番
大船製作所	鎌倉市大船5丁目1番1号(電)247	(電) 鎌倉 (0467) 46局6111番
郡山製作所	郡山市栄町2番25号(電)963	(電) 郡山 (0249) 32局1220番
群馬製作所	群馬県新田郡尾島町大字岩松800番地(電)370-04	(電) 尾島 (02765) 2局1111番
藤岡工場	藤岡市本郷字別所1173番地(電)375	(電) 藤岡 (02742) 2局1185番
京都製作所	京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字図所1番地(電)617	(電) 京都 (075) 921局4111番
長野工場	長野市大字南長池字村前(電)380	(電) 長野 (0262) 27局1101番
札幌営業所	札幌市北2条東12丁目98番地(電)060	(電) 札幌 (011) 231局5544番

次 号 予 定

三菱電機技報 Vol. 45 No. 11

ITV とその応用機器特集／サイリスタ技術特集

《ITV とその応用機器特集論文》

- ITV の展望
- IT-11 形 ITV カメラ
- XT-800 シリーズ X 線テレビジョン
- CV-902 形カービジョン
- 有線 ITV 伝送
- 800 MHz 帯 狭帯域 ITV 無線伝送装置
- 準ミリ波全固体化 画像伝送装置
- 光通信による ITV 伝送
- 最近の ITV 応用

《サイリスタ技術》

- サイリスタ応用技術の最近の動向
- 電力用サイリスタの最近の進歩
- 静止レオナード用 大容量サイリスタ装置
- 普及形サイリスタレオナード装置
- 発電機用 サイリスタ励磁装置

- 電気化学用サイリスタ装置
- 三菱表面処理用変換装置
- 無停電 電源システムの計画
- 最近のオンライン計算機用 無停電電源装置
- 可変周波インバータによる交流電動機の制御
- サイクロコンバータによる誘導電動機の世界速度制御

《普通論文》

- 小形電子計算機 MELCOM-84 磁気元帳処理装置
- 関西電力(株)宇治発電所納め 自動応水装置
- 最近の母線保護継電器

《技術解説》

- 三次元レーダについて(その2)
—原理と実施例の全般的解説—

三 菱 電 機 技 報 編 集 委 員 会

委員長	正 木 茂 雄	常任委員	湊 武 雄
副委員長	神 崎 遼	"	武 藤 正
常任委員	石 川 理 一	"	福 家 章
"	上 田 重 夫	委 員	待 鳥 正
"	宇 佐 見 重 夫	"	北 垣 成 一
"	北 川 和 人	"	田 附 和 夫
"	古 賀 亨	"	南 日 達 郎
"	小 堀 富 次 雄	"	秦 卓 也
"	鈴 木 正 材	"	林 昇 寿
"	牧 野 六 彦	"	松 元 雄 蔵

(以上50音順)

昭和46年10月22日印刷 昭和46年10月25日発行「禁無断転載」定価1部 金100円(送料別)

編集兼発行人

東京都千代田区丸の内2丁目2番3号

正 木 茂 雄

印刷所

東京都新宿区市谷加賀町1丁目12番地
(郵便番号 162)

大日本印刷株式会社

印刷者

東京都新宿区市谷加賀町1丁目12番地

高 橋 武 夫

発行所

東京都千代田区丸の内2丁目2番3号 (郵便番号 100)

三菱電機株式会社内 「三菱電機技報社」

(電) (03) 218局2323番

発売元

東京都千代田区神田錦町3の1 (郵便番号 151)

株式会社 オーム社書店

(電) (03) 291局0912番 振替東京 20018