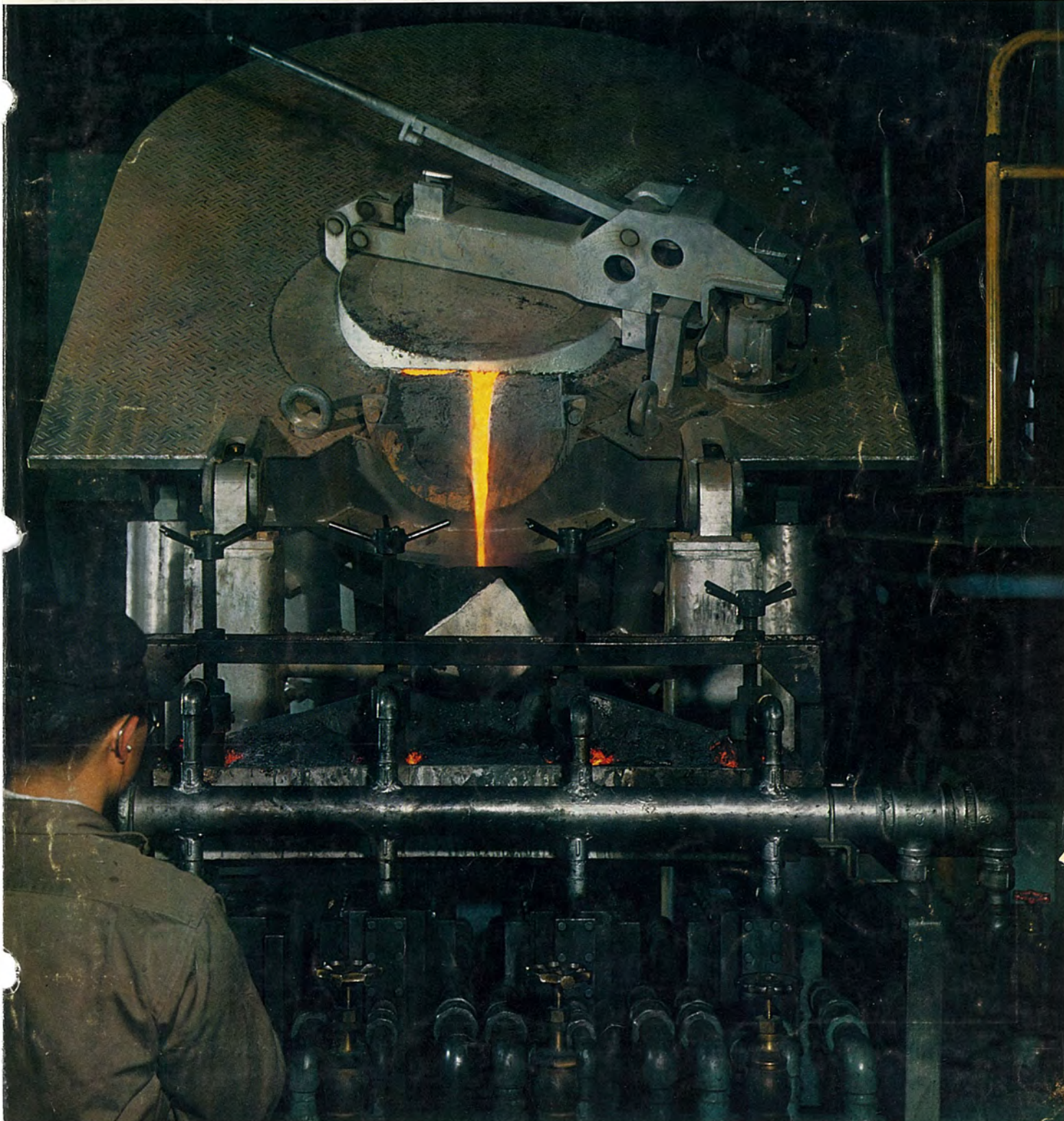


# MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

Vol.40 July 1966  
電気材料特集・計測器特集

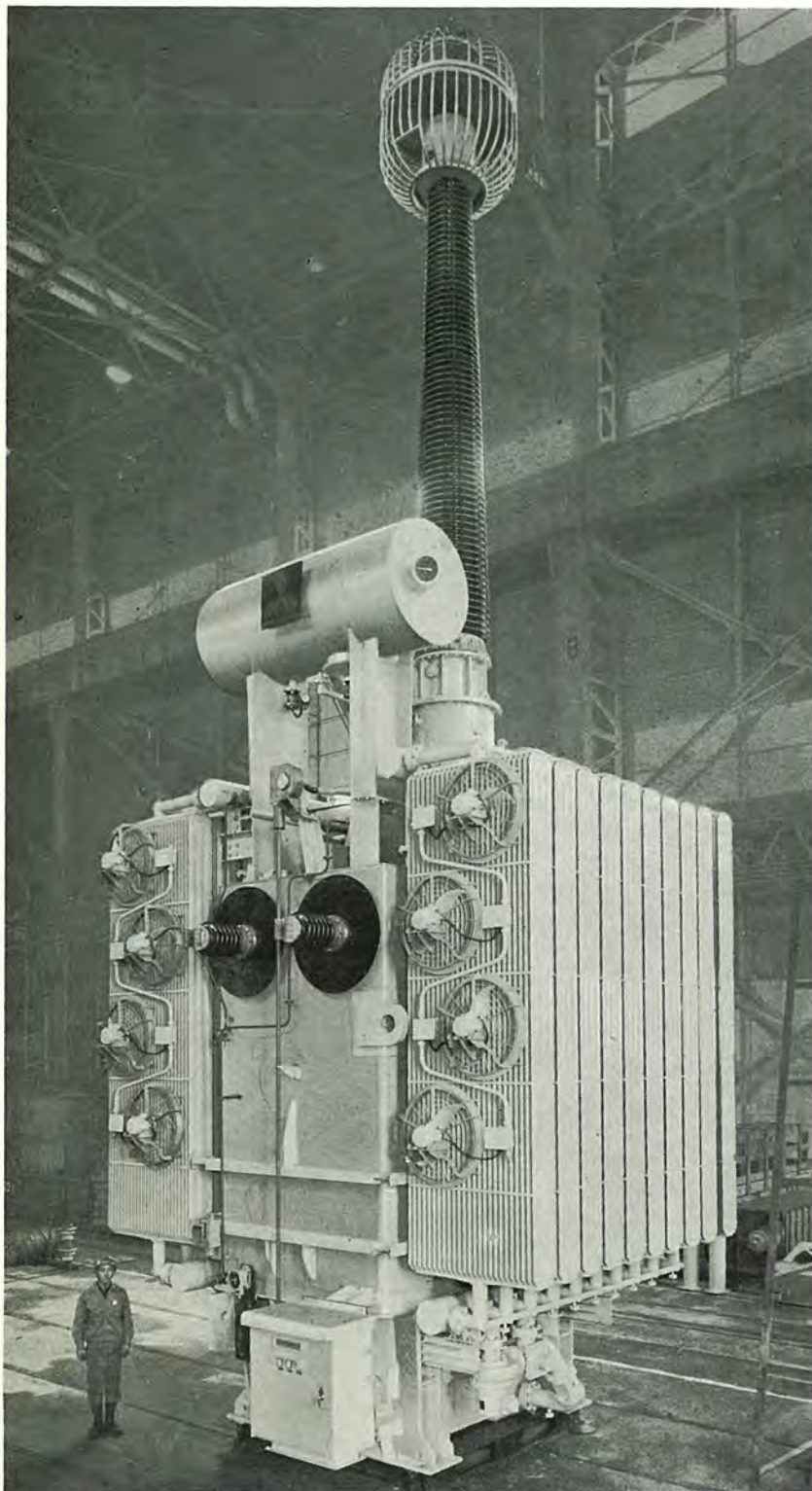
7

油圧式縦形水冷連続鑄造機による鑄込作業





# メキシコ向け 400kV超々高压変圧器完成



マルバソ向け400kV 75MVA超々高压変圧器

わが国の送電最高電圧は現在275kVであるが、欧州にはすでに400kVが運転されている。当社はオーストラリアに330kV変圧器を納入して、輸出において超々高压変圧器の実績を積んでいるが、さらにそれを上回る超々高压変圧器を今回、わが国では最初の製品としてメキシコ、マルバソ発電所向けに完成し、誇るべき成果を収めた。

わが国の500kV超々高压送電も近い将来に実現が確実であり、超高压電力研究所向けとして、500kV変圧器も近く当社で完成し、この実績によって、わが国の500kV計画に当社の有力な技術力が認められるであろう。

この変圧器製作にあたっては、基礎的な絶縁のモデル実験、実物試作による最終的絶縁強度の確認を行なって万全を期するとともに、各部設計の合理化を強力に進めた。またこれによって改良形絶縁の標準を確立し、超々高压絶縁のみならず絶縁全般の信頼性向上に寄与することになった。

400kVの超々高压変圧器であるから、高さは14m以上に及ぶ。今後の超々高压変圧器の生産に備えて、組立工場を延長し、高さ33mの超々高压変圧器専用の世界屈指の新鋭工場を作り、試験設備など充実して、将来の生産態勢をととのえた。

なお引続いてマルバソ400kV 2次計画の変圧器を当社が全部受注し、輸出市場における当社の強力な地盤をここに確立することになった。

## ■仕様（7台完成）

- 13台 単相 45,000/60,000/75,000kVA  
自冷 送油風冷 送油風冷
- 外鉄形 フォーム フィット式 60%
- 一次、 15kV
- 二次  $420/\sqrt{3} - 410/\sqrt{3} - 390/\sqrt{3} - 380/\sqrt{3}$  kV 引続いて 次の連係用変圧器の2台が近く完成する
- 三相 50,000kVA
- 送油風冷式 外鉄形 フォーム フィット式 60%
- 一次 400kV入
- 二次 124-121-117-114R-111kV入





## 電気材料特集・計測器特集

## 目次

## 《特集論文》 電気材料特集

Cu-Be 合金の粒界反応に及ぼす微量 Mg の影響	実 博司・我妻 隆・橋爪 公男	1075
半硬磁性合金 4% V-Fe-Co の試作	中島 陽三・大谷 昌平	1080
水平出力トランス用フェライトコア	友森 正信・当金 彦宏	1085
ドリルワニスおよび積層品の諸性質	西崎俊一郎・江藤 昌平・小山 二郎・坂井 竜吉	1091
絶縁材料としての合成繊維紙	白井万次郎・石井 敏次	1097
ダイヤモンドエポキシ絶縁の機能評価試験	坂田 桂三・倉屋 茂	1102
防食絶縁	伊藤 公男・寺谷 宏・岡橋 和郎・福島 二郎・村上 貞利	1106

## 《特集論文》 設 測 器 特 集

プロセス計装の動向と三菱工業計測器	八島 英之	1111
AR-100 形シリーズハン用計録計	田井 昌輝・庄司 忠一	1116
細管式粘度計	明石 克寛・荻野 治・尾原 昭徳	1120
単軸送受同時切換え方式超音波流量計	吉山 裕二・江沢 孝吉・高野 博夫	1124
マスフィルタ形真空分析計	藤 永 敦・花坂 孝雄	1129
電解ソウ電圧監視装置	田井 昌輝・吉沢 忠男	1135
MR-1 D 形, MR-1 BD 特別精密交流積算電力計	牧野 節夫・織田 利之	1139
レーダスピードメータの応用	田村 祥夫・阿部 寿夫・中村 泰而・佐藤 一成	1143
三菱産業用テレメータ	室田 慎・藤原 謙一	1149
高速データ収集システム MELDAP-2000	浜岡 文夫・石井 哲爾・祖父江 幸男・高崎 紀良・繁沢 実・白井 良武	1158
水晶時計の計測器・制御器への応用	武田 克巳・佐藤 安俊	1162
HM シリーズサーボモータ	杉山 昌司・堀口 重昭	1166

## 《普通論文》

徳山曹達納め 120 kV レクチフォーマ	小林 凱・佐野善之助・鶴田 敬二・坂本 征夫・石村 竜夫	1173
パワマニピュレータ	津田 栄一・四方 三二・池田 和郎・大野 義隆	1182
CdS 蒸着膜	伊吹 順章・吉沢 達夫・大西 勝	1188

## 《電子計算機利用シリーズ》

電気車のサイリスタ整流回路解析	上村 勝彦・竹内 元彦・芦谷 正裕・向田 弘	1197
-----------------	------------------------	------

## 《技術講座》

車両用多素子ヒューズ	長井 成吉	1205
------------	-------	------

## 《新製品紹介》

三菱デミセンタ・TH 形サイリスタレオナード制御装置・C パネルコントロールセンタ・業界最初の三菱暗室用ケイ光ランプ・三菱トランジスタラジオ FX-440 形〈コンパニカ FM〉新発売・三菱 FM ステレオ DSS-578, DSS-578 M 形〈ライン〉新発売・三菱ステレオテープレコーダ T-560 形新発売	1211
---	------

## 《ニュースフラッシュ》

北海道電力新北見変電所納め 60 MVA 変圧器用 MRF 形負荷時タップ切換器・ED 75 S (試作) 形交流機関車用電機品工場組合わせ試験完了・オンラインリアルタイム計算機 MELCOM 1600 システムシリーズ完成・国立国際会館へエレベータを納入・大線量 X 線およびガンマ線用線量計の完成	1217
--	------

## 《特許と新案》

伝送線路切換装置・電気車のブレーキ制御装置・電動機制御装置・携帯用兼自動車ラジオ・リード線保持装置・静電フィルタ装置・電動機保護装置・静電フィルタ装置・エスカレータ	1109 1171
--	--------------

## 《表紙》

## 1. 油圧式縦形水冷連続鋳造機による鋳込作業

当社、相模製作所では、洋白およびリン青銅の鋳造に水冷式連続鋳造法を実施しており、板および棒材の鋳造には縦形の連続鋳造機を、線材の鋳造には横形の連続鋳造機を採用している。写真は当社伊丹製作所製の無心形 1,000 kg 低周波保温炉から、油圧式縦形鋳造機への鋳込み状況を示すものであり、保温炉から出た溶湯はディストリビュータによって4個の水冷却型に分配され、毎分 800 mm 以下の鋳造速度で長さ 3~5 m のインゴットを同時に鋳造することができる。

## 2. メキシコ向け 400 kV 超々高圧変圧器完成

## 3. 三菱トランジスタ式アナログ計算機 MELCOM EA-7410 シリーズ

## 4. MELDAP-2000 高速データ収集システム







## SPECIAL COLLECTION OF ELECTRIC MATERIALS SPECIAL COLLECTION OF INSTRUMENTS

### CONTENTS

#### SPECIALLY COLLECTED PAPERS—SPECIAL COLLECTION OF ELECTRIC MATERIALS—

Control of Grain Boundary Reaction in Beryllium Bronze by The Addition of Magnesium.....	1075
Hiroshi Jitsu • Takashi Agatsuma • Kimio Hashizume	
Preparation of Semi-hard Magnetic Material 4 % V-Fe-Co Alloy.....	1080
Yōzō Nakajima • Shōhei Ohtani	
Ferrite Cores for Horizontal Output Transformers.....	1085
Masanobu Tomomori • Hikohiro Tōgane	
Properties of Doryl Varnish and Doryl Laminate.....	1091
Shunichiro Nishizaki • Shōhei Eto • Ryukichi Sakai • Jiro Koyama	
Synthetic Fiber Paper as Insulating Materials.....	1097
Manjiro Shirai • Toshitsugu Ishii	
Functional Evaluation Tests of Dia Epoxy Insulation.....	1102
Keizo Sakata • Shigeru Kuraya	
Anticorrosive Insulation .....	1106
Kimio Itō • Hiroshi Teratani • Kazuo Okahashi • Jirō Fukushima • Sadatoshi Murakami	

#### SPECIALLY COLLECTED PAPERS—SPECIAL COLLECTION OF INSTRUMENTS—

Tendency of Process Instrumentation and Mitsubishi Industrial Instruments.....	1111
Hideyuki Yashima	
Type AR-100 Series Electronic Recorders.....	1116
Masateru Tai • Chūichi Shōji	
Capillary Viscometers.....	1120
Katsuhiro Akashi • Osame Ogino • Akinori Ohara	
Ultrasonic Flowmeters (Phase Difference Method).....	1124
Yūji Yoshiyama • Takeyoshi Ezawa • Hiroo Takano	
A Quadruple Mass Filter as a Vacuum Analyser.....	1129
Atsushi Fujinaga • Takao Hanasaka	
Electrolytic Cell Monitor.....	1135
Masateru Tai • Tadao Toshizawa	
Type MR-1D and MR-1BD Special AC Watthour Meters.....	1139
Setsuo Makino • Toshiyuki Oda	
Radar Speed Meters and Their Applications.....	1143
Shōichi Tamura • Toshio Abe • Taiji Nakamura • Kazunari Satō	
Mitsubishi Industrial Telemeters.....	1149
Shin Murotani • Kenichi Fujiwara	
High Speed Data Gathering System MELDAP-2000.....	1158
Fumio Hamaoka • Tetsuzi Ishida • Yukio Sobue • Noriyoshi Takasaki • Minoru Hanzawa • Yoshitake Shirai	
Crystal Clocks Applied to Measuring Instruments and Control Equipment.....	1162
Katsumi Takeda • Sato Yasutoshi	
HM Series Servomotors.....	1166
Masashi Sugiyama • Shigeki Horiguchi	

#### TECHNICAL PAPERS

120 kA Rectifier Installation at the Tokuyama Soda Company.....	1173
Gai Kobayashi • Zennosuke Sano • Keiji Tsuruta • Masao Sakamoto • Tatsuo Ishimura	
Power Manipulator.....	1182
Eiichi Tsuda • Sanji Shikata • Kazuo Ikeda • Toshitaka Ohno	
Vacuum Deposited CdS Thin Films.....	1188
Sumiaki Ibuki • Michio Yoshizawa • Masaru Ohnishi	

#### APPLICATION OF COMPUTERS FOR USER-SERIES

Thyristor Rectification Circuit of Electric Cars.....	1197
Katsuhiko Kamimura • Motohiko Takeuchi • Masahiro Ashiya • Hiroshi Mukaida	

#### TECHNICAL LECTURE

Multi-element Fuses for Rolling Stock.....	1205
Seikichi Nagai	

#### NEW PRODUCTS

NEWS FLASH	1217
------------	------

PATENT AND UTILITY MODEL	1109
	1171

#### COVER EXPLANATION

1. Casting Work with an Oil Pressure Type Water Cooled Continuous Machine.  
In the Mitsubishi Sagami Works is carried on casting of nickel silver and phosphor bronze by a water cooled continuous process. Plates and bars are cast by means of a vertical continuous machine, while wires are cast through a horizontal continuous process.  
The picture shows a state of casting of molten metal from a 1,000 kg coreless low frequency heat preserving furnace built in the Company's Itami Works into an oil pressure type vertical continuous casting machine. The melt left the furnace is distributed to four sets of water-cooled molds, where ingots of 3~5 m long are simultaneously produced at the working speed of below 800 mm per minute.
2. Completion of A 400 kV Super • super High-Voltage Transformer for Mexico.
3. Mitsubishi Transistor Type Analog Computer MELCOM E 4-7410 Series.
4. MELDAP-2000 High Speed Data Collection System.



UDC 669.35'725]:541:669.018:620.17/18

**Cu-Be合金の粒界反応に及ぼす微量Mgの影響**

実 博司・我妻 隆・橋爪公男

三菱電機技報 Vol.40・No.7・P1075~1079

2% Be-0.3% Co-Cu実用合金に微量のMgを添加して、合金の粒界反応感受性、機械的・物理的特性などに与える影響をしらべた。Mgの添加がない場合には多量の粒界反応が発生するような比較的低い温度で溶体化処理を行っても、Mgを適量添加することによって完全に粒界反応の発生を抑制することができる。その結果、非常に微細な結晶粒から成る、粒界反応感受性のきわめて低い材料を作ることが可能になった。粒界反応が減少する結果、時効材の硬度、抗張力、耐力が増大し、とくにバネ限界値(Kb値)の向上が著しい。上記の効果をもたらすMgの有 〇 効添加量は0.025~0.1 wt%であり、0.5%を越えて添加すると比較的 〇 低い温度で粒界が溶融しはじめる。

UDC 621.318:669.018.

**半硬磁性合金4%V-Fe-Coの試作**

中島陽三・大谷昌平

三菱電機技報 Vol.40・No.7・P1080~1084

半硬磁石4%V-48Fe-48Co合金の製造条件について、溶解フニイ気、冷間加工性を与えるための熱処理、冷間圧延率、あるいは焼き戻し処理と磁気特性の関係を検討した。その結果 真空および大気中溶解の差は添加V量の歩留り入以外には明らかな影響がないこと、800°Cおよび1,050°Cのいずれの焼入れ処理でも冷間加工が可能になるが、低温焼入れ試料のほうが高い磁束密度が得られること、圧延率の影響はBrあるいはHeよりもBmおよびHmに明らかであることなどが認められた。代表的な特性としては、800°C焼入れ、95%圧延、600°C・4時間焼戻 〇 しにより、Bm;15kG、Hm;36Oe、HC;410e; Bri;17kGという値が得ら 〇 れた。

UDC 621.314/317/318.762

**水平出力トランス用フェライトコア**

友森正信・当金彦宏

三菱電機技報 Vol.40・No.7・P1085~1090

水平出力トランスの小形化高性能化の要求を満足させるために、L-N E材を開発した。

この機会に実働状態に近い大振幅での交流磁気特性を測定し、設計の資料を提供するとともに、さらに実際のTV Setでの試験および損失の分析を行ない従来の材質により改良された点、今後改良されるべき点を明らかにすることができた。

UDC 621.35.616.678.01

**ドリルワニスおよび積層品の諸性質**

西崎俊一郎・江藤昌平・小山二郎・坂井竜吉

三菱電機技報 Vol.40・No.7・P1091~1096

新しい耐熱絶縁ワニス、ドリル樹脂(ジフェニルオキシド樹脂)の性質について、ワニスV-505-50および積層品の実験結果とその芳香族高分子としての特性の関係について述べ、従来のHクラスワニスと比較してドリル樹脂の特長を明らかにした。ドリルはジフェニルオキシドを原料とする点で工業的に有利で、すぐれた熱安定性、耐溶剤性、耐薬品性、耐水性、電気的性質、機械的強度をもっているが、伸びは小さい。とくに積層品としてはすぐれた特性をもつことを明らかにし、またほかのHクラス絶縁材料として応用範囲の広いことを示した。

UDC 621.315.614.6:676.49

**絶縁材料としての合成繊維紙**

白井万次郎・石井敏次

三菱電機技報 Vol.40・No.7・P1097~1101

各種の市販合成繊維紙の絶縁材料としての性質を検討した。試験した合繊紙はナイロン紙・ビニロン紙・テトロン紙・アクリル繊維紙・芳香族ナイロン紙である。一般的に合繊紙はセルローズ質絶縁紙より吸湿が少ない。したがって吸湿による電気的性質の変化が少ない。しかしこれまでわが国で市販されている合繊紙では密な紙が得られず、破壊電圧がセルローズ紙より低い。耐熱性はしだいによいものが現われてきたが、現状では価格が高く広範囲に紙を代換するのは困難である。最近米国で開発された芳香族ナイロン紙はH級絶縁に使用しうる耐熱性をも 〇 ち密な紙をほかの合繊紙に比べて破壊電圧が高く、吸湿状態でも電気 〇 的性質が良好である。

UDC 621.315

**ダイヤエポキシ絶縁の機能評価試験**

坂田桂三・倉屋 茂

三菱電機技報 Vol.40・No.7・P1102~1105

ダイヤエポキシ絶縁コイルの機能評価試験をAIEE No. 511に準拠しておこなった。比較のために、従来の一般B種絶縁コイルも加え160, 180, 200°C、4日/サイクル、高温中電圧印加、振動および吸湿と4個の老化要因をあたえ、絶縁破壊電圧の低下を測定し、また老化中、tanδ、絶縁抵抗なども測定した。その結果 ダイヤエポキシ絶縁コイルは耐湿性、tanδ、の電圧特性などがすぐれ、耐熱性ではF種に、一般B種コイルはB種以上にあることを確認した。

UDC 621.197:621.315.61

**防食絶縁**

伊藤公男・寺谷 宏・岡橋和郎・福島二郎・村上貞利

三菱電機技報 Vol.40・No.7・P1106~1108

電気機器を腐食性フニイ気中使用する場合、密閉形方式を採用すれば一応安全であるが、問題も残されている。また開放形方式の場合はそれに使用する絶縁材料と処理法を検討する必要がある。これに適するものとして、防食ワニス、挿変性レジンおよびモールド方式が考えられる。ワニスとしてはダイヤエポキシ絶縁がすぐれている。また、変性エポキシレジンもどうようである。防食性を論ずる場合絶縁材料の厚さが関係する。一定厚さ以上付着させる必要があり厚くするためにはモールド方式にする必要がある。これらの実際例について各種写真を示し説明した。

UDC 621.52

**プロセス計装の動向と三菱工業計測器**

八島英之

三菱電機技報 Vol.40・No.7・P1111~1115

プロセス制御計装の本質的考え方について述べ、ついで最近の電子式プロセス計測器の技術的傾向を2, 3の例について説明する。次に、基本的プロセス計測器以外でとくに重要な役割をもっている各種の検出器の問題点について考え、将来のプロセス計装において、とくにこれら機器の発達が望まれていることを述べてある。最後に三菱電機の工業計測器の概観と、2, 3の特殊な計測に使われた応用例をあげてある。



UDC 621.317.74

## AR-100形シリーズハン用記録計

田中昌輝・庄司忠一

三菱電機技報 Vol.40・No.7・P1116～1119

AR 100形記録計は、180mm幅の折たみ式記録紙を用いた自動平衡方式の記録計で、プロセス計装用のみならず実験室用まであらゆるところで使用可能である。AR 100形記録計には、打点式とペン書き式があり、打点式は12点、ペン書き式は3ペンを有する。付加機構として再発信スライド、警報接点、設定機構などを取付けることができる。記録紙送り速度は、9段変速(25mm/時～1200mm/時)が可能であり、打点間隔5秒、平衡速度2.5秒、精度±0.5%、入力0～10mVDCである。この稿では各部の機構について詳述し、応用例をあわせて述べている。

UDC 532.137.621.533

## 細管式粘度計

明石克寛・荻野 治・尾原昭徳

三菱電機技報 Vol.40・No.7・P1120～1123

三菱MF形粘度計は毛細管方式に基づく工業用粘度計測器で5 centi-poise から3000 centi-poiseにわたる各種流体の粘度を4～20mAの直流電気信号に高精度で変換することができる。この方式による粘度計は本来、構造的に堅ろうで連続測定に便利であるが、粘度検出器の改良と目盛の自動選別方式の採用とによって粘度の可測範囲を大幅に広げ、高精度高感度の実用プロセス計器にまとめることができた。こゝでは原理、構成、動作および特性について述べ、特長ならびに問題点に解説を加える。

UDC 621.317.39

## 単軸送受同時切換え方式 超音波流量計

吉山裕二・江沢孝吉・高野博夫

三菱電機技報 Vol.40・No.7・P1124～1128

超音波流量計は流体内に超音波を透過させるだけで測定できるので、流れを妨げず、圧力損失がなく、流体の導電性、非導電性の制限を受けず、大口徑に対しても構造簡単容易に測定出来るとともに方式、構成の選択により低流速から高精度かつ速い応答速度で遠方指示、記録が可能である。位相差法で単軸送受同時切換え方式の超音波流量計を開発し、良好な直線性と速い応答速度の性能を得、油流量測定等に実用化した。この流量計の概要を述べ、合わせて不均一流速分布に対する解析と実験結果が一致し、高精度流量測定が可能なることを示す。

UDC 531.788:621.384.8.001.5

## マスフィルタ形真空分析計

藤永 敦・花坂孝雄

三菱電機技報 Vol.40・No.7・P1129～1134

マスフィルタ形の質量分析計を真空分析計としてわが国ではじめて開発した。磁石を使用していないため真空装置への取り付け、取りはずしが簡単であり、しかも感度、分解能ともにすぐれているので将来、ガス分析に関連した分野で広く利用されることが期待されている。操作はきわめて簡単で、始動ボタンによって質量数1～300の任意の区間を任意の同期で繰り返し走査することができppm オーダの検出が可能である。すでに加速器の動作時のガス分析や一般真空装置のガス分析に使用して好結果が得られている。工業的な使用にも最適である。

UDC 621.317.74

## 電解ソウ電圧監視装置

田井昌輝・吉沢忠男

三菱電機技報 Vol.40・No.7・P1135～1138

化学工場でよく用いられる塩水やアルミニウムの電解ソウは、その構造上から電極間の短絡あるいは開放がしばしば起こり、それを放置しておくと電解ソウを流れる電流により電極などが損傷され大事故に至る。このような事故を防止するために製作されたのがこの電圧監視装置で、走査器を用いて多数の電解ソウの電極間電圧を順次監視するものである。またこの装置を使用される場所は腐食性ガスが多量に存在するため、耐腐食性にはとくに注意して作られている。測定点数は100点、走査速度は2点/秒で上下限監視を行なっている。検出感度1mV、精度は○ 測定範囲0～5Vに対し設定誤差も含めて0.08Vの結果が得られた。

UDC 621.317.785

## MR-1D形 MR-1BD形特別精密交流積算電力計

牧野節夫・織田利之

三菱電機技報 Vol.40・No.7・P1139～1142

近時 諸工業の発達に伴って、電力需要が増大し、取り引きされる電力の大規模化にしたがい、その電力量の計量誤差が電力取り引きに大きく影響するので精密積算電力計よりさらに精度の高い、特性の安定した計器が要望され、特別精密積算電力計が規格化(JEC 163-1965)されるに至った。

この規格に適合する計器として、当社で開発したのがMR-1D形およびMR-1BD形特別精密積算電力計である。この計器は、とくに、長寿命を特長としており、安定した特性を持っていて、また、最大需要電力計、記録積算電力計、そのほかテレメータと○ 組み合わせて使用することができる。

UDC 621.396.96:531.768

## レーダスピードメータの応用

田村祥一・阿部寿夫・中村泰而・佐藤一成

三菱電機技報 Vol.40・No.7・P1143～1148

レーダスピードメータは最近各方面で応用されているが、この装置は、従来の測定法に比べて速度の瞬時測定および連続測定などが可能であること、さらに付属装置を付加することによって、動的状態を容易につかめる点にメリットを有している。

本文では、各応用機に用いられているこの方式の技術上の共通事項と、製品の応用例について述べる。

UDC 621.52:621.317.39

## 三菱産業用テレメータ

室田 慎・藤原謙一

三菱電機技報 Vol.40・No.7・P1149～1157

電気事業用として発足した当社のテレメータは、その後の研究開発の成果と各企業のオートメーション化、企業の合理化の要求と相まって、水道、防災、気象、医用、人工衛星用などの各分野に進出できるようになった。ここでは電力、水道、ダム河川、気象、海象などの測定観測などに使用されている当社産業用テレメータの最近の成果について報告する。報告内容は、基本構成機器と代表製品の紹介とにわけ、付表には昭和40年度の受注納入機械一覧表を掲げた。



UDC 681.142.004

## 高速データ収集システムMELDAP-2000

浜田文夫・石田哲爾・祖父江幸男・高崎紀良・繁沢実・白井良武

三菱電機技報 Vol.40・No.7・P1158~1161

高い周波数成分まで含む 変化の激しい現象の試験データの解析には、従来、手計算やせいぜいアナログ計算機に頼っていた。たとえ高性能なデジタル計算機が使用できるとしても、データの量子化と、パンチすることにはばくだいな時間と労力を必要とする。このようなデータをON-LINEで直接デジタル磁気テープ上に記録し、そのまま計算機の入力データとして処理させる目的で開発されたのが、高速データ収集装置MELDAP-2000である。

データを記録したテープは、大部分のデジタル計算機に直接読み込み可能であることが実測により裏 ○ 付けされた。なお、1本の磁気テープに記録できるデータ数は約 550万 ○ である。

UDC 681.119:621.522:621.317.7

## 水晶トケイの計測器・制御器への応用

武田克己・佐藤安俊

三菱電機技報 Vol.40・No.7・P1162~1165

計測・制御の自動化には時間要素も大きな比重をしめており、計測器・制御器の精度向上に、またシステムの複雑化に伴い時間精度向上が望まれている。時間精度向上に水晶トケイを利用すれば目的が達せられるが、実際にどのように使用されているかを応用例をもって紹介する。

UDC 621.313:621-5

## HMシリーズ サーボモータ

杉山昌司・堀口重昭

三菱電機技報 Vol.40・No.7・P1166~1169

HMシリーズ サーボモータは、自動平衡形記録計をはじめとするサーボ機構の小形高精度化に伴い、その駆動源の小形高精度化への要求に応じて開発したものである。本文では、HMシリーズのサーボモータおよび付属速度発電機を中心としてその構造、仕様、特性について述べた。とくに小形軽量化とともに、出力に対し起動トルクが大きく慣性モーメントが小さいため速応性が非常にすぐれておりトルク対慣性比、トルク対重量比を大きくすることができた。

UDC 621.314.212:621.314.63:621.316.721-523

## 徳山曹達納め120kAレクチフォーマ

小林凱・佐野善之助・鶴田敬二・坂本征夫・石村龍夫

三菱電機技報 Vol.40・No.7・P1173~1181

徳山曹達第5電解工場に納入された24MW、120kAレクチフォーマはこの用途における最大級の設備である。この装置の計画に際して整流器方式、主回路構成、電圧調整方式などについて行なわれた検討内容を述べ、ついでレクチフォーマを構成するシリコン整流器、変圧器とその冷却方式を中心に各機器を紹介する。

この整流装置とともに塩水電解工場の新しい運転方式である塩素流量制御が導入され、既設の電解工場もあわせて総括的な制御を行なう装置が納入された。これは多くの需要端におけ ○ る塩素流量により、必要な電流量を各電解工場へ計算配分する制御方式 ○ でその原理と制御装置の概要が示されている。

UDC 621.039

## パワ・マニピュレータ

津田栄一・池田和郎・大野義隆・四方三二

三菱電機技報 Vol.40・No.7・P1182~1187

パワ・マニピュレータは、放射性物質を扱うための電動遠隔操作装置で、大形のホットケープ内を自由に走行して大容量の操作をする目的のために製作された。インドのトロンベイにある原子力研究所から昭和39年4月受注し、昭和40年7月船積み発送された。

このパワ・マニピュレータの特長とするところは、パワ・マニピュレータとホイストを同じガントリに組込んであり、従来のものに比べ、ケーブルの処置も簡単で、行動範囲が広い。また、周波数選択呼出装置を用いて1本のケーブルで多数の制御信号を送り ○ 操作する方式で、世界でも新しい試みである。

UDC 621.382:539.234:537.312.5

## CDS蒸着膜

伊吹順章・吉沢達夫・大西 勝

三菱電機技報 Vol.40・No.7・P1188~1196

CdS真空蒸着膜の分光透過率、比抵抗、温度特性、X線回折などの特性に対する下地温度および蒸発源温度の効果についての検討を行なった。その結果、われわれは低温蒸着膜の低比抵抗、着色の原因などを構造不完全性という見地から系統的に説明することを試みた。またここで蒸着膜の再現性が悪い原因を追求するために、真空蒸着膜を製作する場合にはいつてくる蒸着factor間の相互関係についての考察を行なった。

UDC 621.337.1.012.025:621.382:681.142

## 電気車のサイリスタ整流回路解析

上村勝彦・竹内元彦・芦谷正裕・向田 弘

三菱電機技報 Vol.40・No.7・P1197~1204

サイリスタの位相制御によって、直流電圧の制御を行なった場合、ダイオード整流回路よりいっそう複雑な回路現象となる。とくに主変圧器二次巻線を多分割した場合、巻線間結合度の影響もあって、各部電圧電流波形、主電動機電流脈動率、電源力率、架線電流の高調波含有率および直流電圧制御特性などの定量的な把握がむづかしい。この整流回路を電子計算機によって、誘導性断続回路の初期値問題として、直流電流を与えて、収束させる方法により、デジタルシミュレーションを行なった。これによって、回生制動形車両の分割なし、および非回生制動形車両の ○ 多分割の場合の回路の解析計算が可能となり国鉄向けED-75S形交流 ○ 機関車を例として、データを得た。

UDC 621.316.923.2.024:621.337

## 車両用多素子ヒューズ

長井成吉

三菱電機技報 Vol.40・No.7・P1205~1210

直流1500V、300A~1500A定格をもつ多素子ヒューズにつき、構造、特性、保守方法など述べる。直流大電流用ヒューズは、従来磁気吹き消し方式の開放形が用いられてきたが、近年密閉形の長所が認められ多素子ヒューズがこれによって代わってきた。このヒューズの特長は、(1)密閉筒形ヒューズである。(2)シャ断時にアークを露出せず爆発音がない。(3)小形軽量である。(4)取り付け場所の制限がなく車輻屋上に取り付け可能である。などあげられる。多素子ヒューズは、当社で開発され、すでに直流電車の主回路ヒューズとして約15年間の使用実績をもつ。



## Cu-Be 合金の粒界反応に及ぼす微量 Mg の影響

実 博 司\*・我 妻 隆\*\*・橋 爪 公 男\*\*

## Control of Grain Boundary Reaction in Beryllium Bronze by The Addition of Magnesium

Sagami Works Hiroshi JITSU・Takashi AGATSUMA・Kimio HASHIZUME

Influence of small amounts of magnesium added to 2 % Be-0.3 % Co-Cu alloy has been studied on the sensibility to its grain boundary reaction, mechanical and physical properties. It is possible to suppress this reaction through proper addition of Mg even though the alloy is given a solution heat treatment at relatively low temperatures in which much grain boundary reaction occurs. Now the material of refined grain sizes and having lower sensibility to the reaction are easily available. As a result of the suppression thus made, tensile and yield strength, Vicker's hardness, particularly Kb value of age hardened alloy, have been improved. The effective amount of added Mg for the purpose ranges from 0.025 to 0.1 wt %. With the amount exceeding 0.5 % the grain boundary begins to melt at relatively low temperatures.

## 1. ま え が き

Cu-Be 25 合金は耐疲労性、耐摩・耐食性、非磁性などのすぐれた特性をかね備え、電気伝導度も比較的良好であるため、おもに高性能 ばね 材料として電子部品、自動制御、計測関係に広く用いられており、当社相模製作所の主要製品の一つでもある。

この合金は時効処理によってすぐれた特性がえられるが、その析出過程すなわち過飽和固溶体  $\alpha$  から溶質原子が析出する過程において、安定析出相  $\gamma$  と溶質原子の枯渇した  $\alpha$ -matrix からなる pearlite 状の組織が粒界から粒内に向かって発達してゆく、いわゆる粒界反応という現象がしばしば起こり、諸特性を劣化させるのが一つの問題点とされていた。(1),(2)

粒界反応発生の機構に関しては、析出ヒズミが粒界に集中することが原因となって局部的な再結晶が起こるためである(3)~(5)と説明されているが、一方、析出ヒズミの集中、溶質原子の拡散の促進、各種欠陥の存在など、粒界のもつ特異性にもとづく多くの要因が複合して働く結果であるとする考えもあって、いまだ定説はないようである。

さて、Cu-Be 合金の粒界反応に及ぼす不純物あるいは添加元素の影響については多くの報告(1),(6)~(9)があり、その抑制効果をもたらす添加元素としては Cd, Co, In, Mg, Ni, Sn などがあげられている。このうち Mg 添加の影響については、Cu-1.6 % Be 2 元合金に対する 0.4~0.5 % の Mg の添加が粒界反応を抑制して過時効を防ぎ、機械的特性を改良することが報告(9)されている。著者らは、従来から粒界反応の抑制に関する一連の研究(10),(11)をおこなってきたが、その中で 0.1 wt % 以上の Mg を添加した合金については、表 1.1 に示す Mg 添加量と粒界の溶融開始温度との関係からわかるように、比較的低い温度で粒界がとけはじめると考えた。したがって粒界反応抑制元素として Mg の添加を考えるならば、実用に則した適当な Mg 添加量などに関してさらに検討

表 1.1 Mg 添加量と粒界の溶融開始温度(各温度に 1.25h 保持)

Mg 添 加 量 (wt. %)	0.1	0.5	1.0
粒界溶融開始温度 (°C)	870	780	700

討すべき点が残されているようであった。

一方われわれは、Mg O ルツボを使用して溶解した Cu-Be 合金に粒界反応が発生しないことから、きわめて微量の Mg の添加によっても著しい粒界反応抑制作用のあることをみとめたので、とくに Cu-Be 25 合金に対する微量の Mg の添加を中心として、粒界反応感受性の変化を系統的にしらべた。この報告では、これらの結果とさらに Mg 添加による合金の諸特性の変化について検討した結果をのべる。

## 2. 試料および実験方法

2 % Be-0.3 % Co-Cu を標準組成として、これに Mg をそれぞれ 0, 0.005, 0.01, 0.025, 0.05, 0.10 wt % 添加した 6 種類の試料を作った。原料としては電気銅、4 % Be-Cu (市販品)、10 % Co-Cu, 20 % Mg-Cu 母合金を用い、純黒鉛 ルツボを用いた真空高周波炉によって溶解温度 1,250°C で溶解し、1,150°C の鋳込み温度で 180×90×65mm の冷金形中へ鋳造して約 10kg の鋳塊を作った。Mg 母合金は鋳込みの 5 分前に添加した。試料の化学分析値を表 2.1 に示す。Mg の分析は EBT 法による吸光光度分析法によったが、添加量の少ないところで分析精度が低下するのを補うために分光分析を併用して、添加量の順に Mg が含有されたことを確認した。分析の結果 Mg の歩どまりは約 50 % と推定される。鋳塊は 750°C で 6 時間の均質化処理を行なったのち、冷間圧延と中間焼鈍・焼入れを数回繰り返して、最終的に 70 % の冷間圧延をほどこし、厚さ 0.64mm の板を作って実験用の素材とした。

これらの Mg 含有量の異なる各素材を、30° おきに 690~870°C までの各温度で 1.25 時間溶体化処理後、標準処理とされている

表 2.1 試料の化学分析値 ( ) 内 Mg は添加量

成分元素 (%) 試料	Be	Co	Mg		Si	Fe	Al	Cu
M-0	1.96	0.30	—	( 0)	0.02			
M-1	1.95	0.29	—	(0.005)	0.03			
M-2	1.95	0.30	—	(0.010)	0.03			
M-3	1.90	0.28	0.012	(0.025)	0.04	0.02	<0.005	残部
M-4	1.94	0.29	0.023	(0.050)	0.03			
M-5	1.94	0.29	0.043	(0.100)	0.04			



315°C で3時間の時効をほどこした各試片について粒界反応の発生状態をしらべた。粒界反応の定量は480倍の顕微鏡と組み合わせた Hurlbert Counter を用い、linear analysis の手法によって行なった。この方法は顕微鏡下で試料を微動させ、任意の線分上で matrix と粒界反応発生部との線積分比を求めるものであり、われわれは1試片について異なる場所を10回測定し、その平均値をもって各試料の粒界反応発生量とした。1線分の測定長は約2.5mm で、試料の移動速度は0.2~0.5mm/min である。結晶粒度の測定は、同じく Hurlbert Counter を用いて試片上にとった約2.5mm の線分上で横断法によって行ない、5回測定した平均値をとって示した。

次に780°C で1.25時間の溶体化処理を行なったのち、21%の冷間圧延をほどこして( $\frac{1}{2}$  H 相当) 0.5mm の板にした試料を用いて、機械的諸性質、その他の特性をしらべた。引っぱり試験にはJIS 5号試験片を用い、耐力は応力-ひずみ曲線から0.2%オフセット法によって求めた。バネ限界値(Kb値)の測定は比抵抗および縦弾性係数を求めた幅10mmの試片を共用して、JISに定められている片持ち式の繰返しバネ試験機によって $P=2,500$ tの関係で行なった。

機械的諸性質をしらべた試料は真空炉を用いて溶体化処理をほどこしたが、それ以外の試料はすべてN<sub>2</sub>フイ気中で同様の処理を行ない、時効処理はすべて大気中フイ気で行なった。

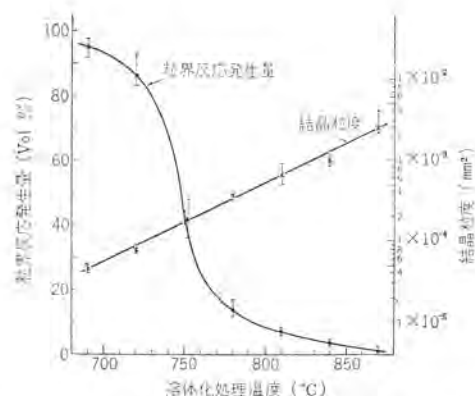


図 3.1 粒界反応発生量および結晶粒度に及ぼす溶体化温度の影響 (試料 M-0: 70% 冷間圧延→各温度で1.25h 溶体化処理→315°C×3h 時効処理)

Fig. 3.1 Effect of the solution-treatment temperature on the amounts of grain boundary reaction and grain size of Mg-free alloy (specimen M-0) aged at 315°C for 3 hr after solution-treated at each temperature for 1.25 hr.

### 3. 実験結果ならびに考察

#### 3.1 溶体化温度および時間と粒界反応発生量の関係

Cu-Be 合金の時効過程で発生する粒界反応の量が溶体化処理温度によって大きく左右されることはすでに知られているが<sup>(6)</sup>、定量的な測定結果は明らかにされていない。ここでは、まず粒界反応発生量に及ぼす Mg の影響をしらべるのに先立って、Mg を含有しない合金における粒界反応発生量と溶体化温度との関係を定量的にしらべるために、試料 M-0 を用いて690~870°C の範囲で溶体化温度を種々変えた場合について検討した。また、この合金が実用合金であることも考慮に入れて、結晶粒度についてもあわせしらべた。その結果を図3.1に、顕微鏡組織の一例を図3.2に示す。

これらの図から明らかなように、溶体化温度が750°C 以下になると粒界反応の発生量が急激に増大するが、溶体化温度が高くなるにつれて著しく減少して、840°C 以上の処理を経たものではほとんど検出されない。一方 結晶粒は溶体化温度の上昇にともなって指数関数的に粗大化する。

次に同じ試料を用いて、一定の溶体化温度のもとで粒界反応発生量に与える溶体化時間の影響を検討した。すなわち溶体化温度に比較的粒界反応発生量の多い750°C をえらび、1.25~56時間までの各時間溶体化した場合の粒界反応発生量および結晶粒度の変化をしらべた。その結果を図3.3に示したが、溶体化時間を長くするにしたがって粒界反応発生量は漸減し、結晶粒度は漸増

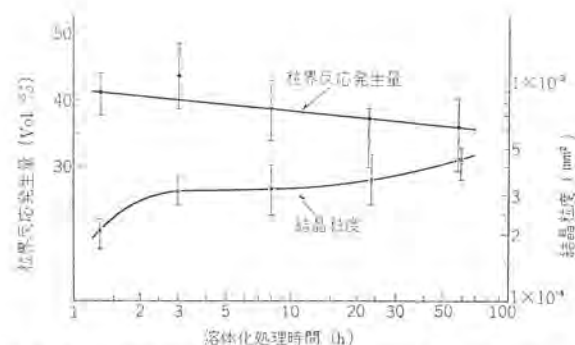


図 3.3 粒界反応発生量および結晶粒度に及ぼす溶体化時間の影響 (試料 M-0: 70% 冷間圧延→750°C で各時間溶体化処理→315°C×3h 時効処理)

Fig. 3.3 Effect of the solution-treatment time at 750°C on the amounts of grain boundary reaction and grain size of Mg-free alloy (specimen M-0) aged at 315°C for 3 hr after solution-treated at 750°C.

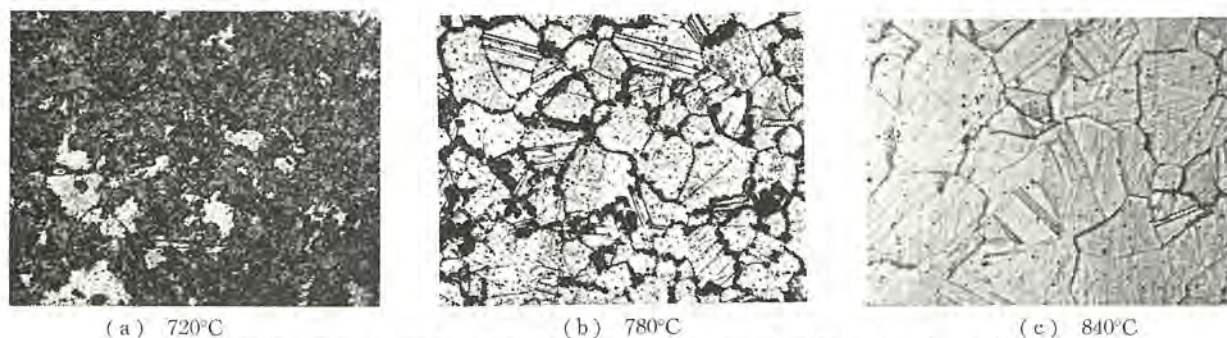


図 3.2 溶体化温度の異なる試片の粒界反応発生状況 (×300) (試料 M-0: 70% 冷間圧延→各温度で1.25h 溶体化処理→315°C×3h 時効処理)

Fig. 3.2 Photomicrographs showing the amounts of grain boundary reaction of Mg-free alloy (specimen M-0) aged at 315°C for 3 hr after solution-treated at each temperature for 1.25 hr. (×300)



した。しかし溶体化時間は温度によるほど著しい影響を及ぼさないことがわかる。

高温あるいは長時間にわたる溶体化処理が粒界反応発生量を減少させる理由としては、第1に結晶粒の粗大化、すなわち粒界反応の発生個所である粒界の占める割合が相対的に減少するため、単位体積あたりの粒界反応発生量が少なくなることが考えられる。第2に粒界における未溶解物質の溶解、欠陥あるいは不斉度の減少、粒界エネルギーの低下などによって粒界析出を促進する因子が除去されることが考えられる。この点を検討するために結晶粒度を等しく調整した試料について溶体化温度の影響をしらべた。

すなわち、ほとんど粒界反応の発生がみとめられない温度である、840°Cで溶体化した試片I(図3.2(c))と840°Cで溶体化後あらためて780°Cで溶体化した試片II(図3.4)とを作り、時効後の粒界反応発生状態をしらべてみると、両者は同一結晶粒度であるにもかかわらず、試片IIには粒界反応が発生しており、粒界から粒内への広がり具合は、最初から780°Cで溶体化処理した結晶粒度の小さい試片III(図3.2(b))と同程度であった。

したがって粒界反応の発生は、本質的にはある溶体化温度によって定まる粒界の熱力学的状態に依存すると考えるのが妥当のようである。しかし試片IIとIIIとを比較すると、単位体積あたりの粒界反応発生量に明らかに微細晶からなる試片IIIのほうが多く、実用的な見地から粒界反応発生量をいう場合には、上記の第2の考え方のほかに第1にあげた幾何学的要因も考えられる。

これまで述べてきた結果から、粒界反応を抑制するために溶体化温度を高めることが有効であることがわかったが、この場合同時に結晶粒も著しく粗大化するために、両者をともに満足させることは困難である。たとえば最近のバネ用薄板材として平均粒度が $2.2 \times 10^{-4} \text{ mm}^2$  ( $\approx 15 \mu$ )以下の微細粒が要求されることがあるが、この条件を満たすためには、前段階での加工度をより高くとったとしても、溶体化温度をかなり低くにする必要があり、粒界反応の多量の発生はまぬがれない。

### 3.2 粒界反応発生量に及ぼすMg添加の影響

Mg添加量と粒界反応発生量との関係を詳細にしらべるために、70%の冷間圧延をほどこしたM-0からM-5までの各試料を用いて、種々の温度で溶体化処理をほどこしたのち315°C×3hの標準時効処理を行なった試片について、発生した粒界反応を定量した。その結果を図3.5に、また顕微鏡組織の一例を図3.6に示す

図3.5から明らかなように、Mgを添加することによって、



図3.4 試料“M-0”に生じた粒界反応の顕微鏡写真(×300)  
(70%冷間圧延→840°C×1h溶体化処理→780°C×1.25h→315°C×3h時効処理)

Fig. 3.4 Photomicrograph of the Mg-free alloy (specimen M-0), heat-treated at 780°C for 1.25 hr after solution-treated at 840°C for 1 hr and finally aged at 315°C for 3 hr. (×300)

すべての溶体化温度において粒界反応の発生量は減少するが、減少の度合いは溶体化温度の低いほど著しい、すなわち結晶粒の粗大化を起こさないような低い温度、たとえば750°Cで処理したMgを含まない試料では40%以上の粒界反応の発生が認められるのに対して、0.1%のMgを添加した合金では5%以下に低下した。

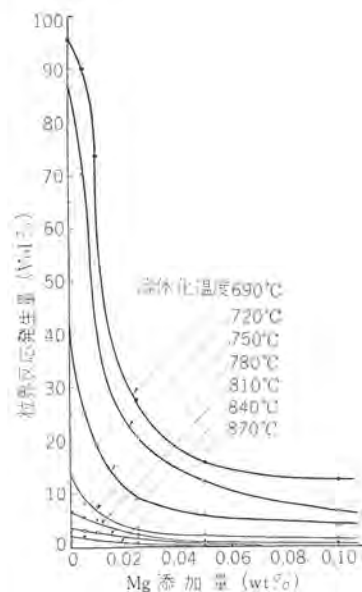
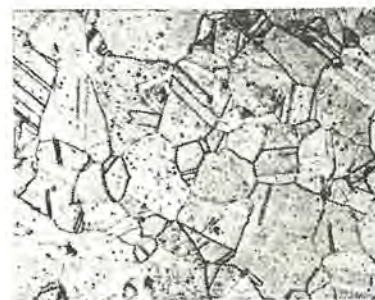


図3.5 粒界反応発生量に及ぼすMg添加の影響(70%冷間圧延→各温度で1.25h溶体化処理→315°C×3h時効処理)

Fig. 3.5 Effect of Mg-additions on the amounts of grain boundary reaction in the specimens aged at 315°C for 3 hr after solution-treatment at each temperature for 1.25 hr.



(a) 試料 M-0 (Mg=0)



(b) 試料 M-5 (Mg=0.1%)

図3.6 Mgの粒界反応抑制作用を示す顕微鏡写真(×300)  
(70%冷間圧延→780°C×1.25h溶体化処理→315°C×3h時効処理)

Fig. 3.6 Photomicrographs the effect of Mg-addition on the suppression of the grain boundary reaction. Specimens are aged at 315°C for 3 hr after solution-treated at 780°C for 1.25 hr. (×300)



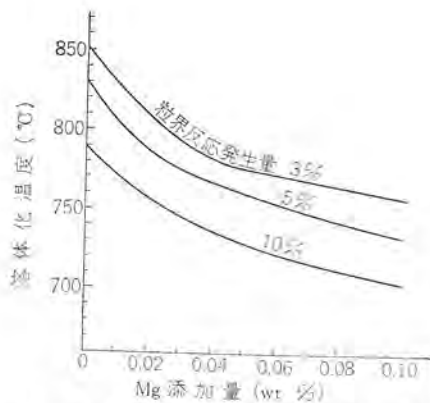


図 3.7 等粒界反応曲線 (Mg 添加量対溶体化温度)  
Fig. 3.7 Curves showing the equivalent amounts of grain boundary reaction. (Amounts of Mg-addition vs. solution-treatment temperature)

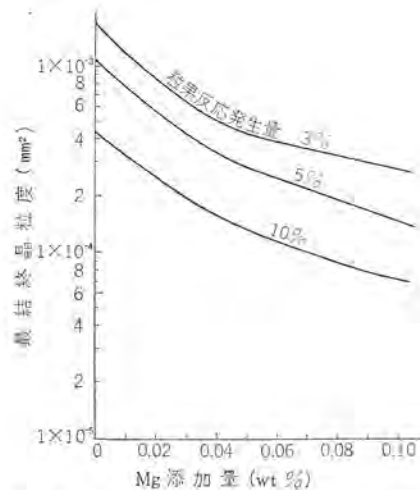


図 3.8 等粒界反応曲線 (Mg 添加量 最終結晶粒度)  
Fig. 3.8 Curves showing the equivalent amounts of grain boundary reaction. (Amounts of Mg-addition vs. final grain size)

うに述べたことから、連続焼入法のように、均熱帯から急冷されるまでに多少の温度降下が避けられないような方法を探る場合に、なおいっそう Mg 添加材の特長が發揮されることが期待される。一方、溶体化温度の高い場合は、Mg を添加しない合金でも元来粒界反応の発生が少ないので、Mg 添加の効果は小さい、總体的にみて Mg 添加の効果は添加量 0.05 % までは急激であり、それ以上の添加では飽和する傾向にある。

なお、ここで用いた測定法によると、粒界反応発生部分では結晶粒界そのものも微小な幅として測定に含まれるので、粒界反応発生量が少なくなるほど誤差として大きくあらわれる。しかし顕微鏡組織と対比させてみると、粒界反応発生量が 3 % 以下の場合には、ほぼ完全に粒界反応は抑制されているとみなして良いことがわかる。したがって 780°C で 1.25 時間溶体化処理を行なう場合には、0.05 % の Mg 添加で完全に満足すべき結果が得られる。図 3.7 は図 3.5 をもとに作図した等粒界反応曲線であり、粒界反応発生量を一定に規定する場合に必要な溶体化温度が Mg の添加によって下げうることを示している。また図 3.7 を、粒度と溶体化温度の関係を示した図 3.1 と関係づけたものが図 3.8 であって、この図により粒界反応発生量を一定の値に制限しながら、特定の結晶粒度をうるための Mg 添加量を求めることができる。たとえば粒界反応発生量を 3 % 以下に規定した場合、Mg を添加しない合金では溶体化温度を高くする必要があるので、結晶粒度

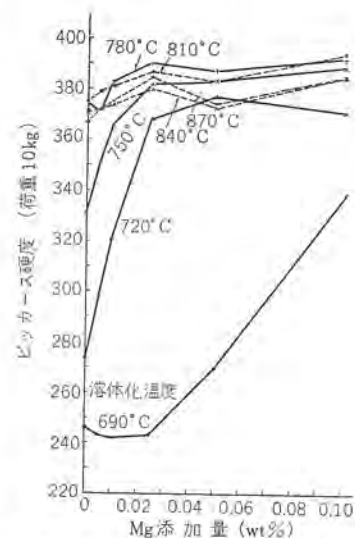


図 3.9 Mg 添加量と時効後硬度の関係 (各温度で 1.25 h 溶体化処理→315°C×3 h 時効処理)  
Fig. 3.9 Effect of the amounts of Mg-additions on Vicker's hardness. Specimens are aged at 315°C for 3 hr after solution-treated at each temperature for 1.25 hr.

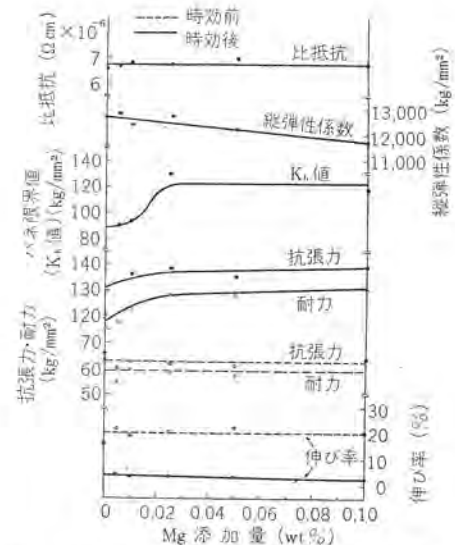


図 3.10 2% Be-0.3% Co-Cu 合金の機械的諸特性に及ぼす Mg 添加量の影響 (780°C×1.25 h 溶体化処理→21%冷間圧延→315°C×2 h 時効処理)  
Fig. 3.10 Effect of Mg-additions on the mechanical properties of 2% Be-0.3% Co-Cu alloy aged at 315°C for 2 hr after solution-treated at 780°C for 1.25 hr and cold-rolled to 20%. (Dotted lines show as rolled condition)

は  $1.7 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$  ( $\approx 40 \mu$ ) になるが、0.05 % の Mg を添加すれば  $4.4 \times 10^{-4} \text{ mm}^2$  ( $\approx 20 \mu$ )、0.1 % を添加すれば  $2.8 \times 10^{-4} \text{ mm}^2$  ( $\approx 17 \mu$ ) の微細晶を得ることができるわけである。なお、この図は溶体化処理前の試料の冷間圧延圧下率を 70 % とした場合の結果であり、加工度が変われば別の結果となることを注意されたい。

### 3.3 Mg 添加による合金の諸特性の変化

Mg 含有量の異なる 6 種類の試料を 690~870°C の各温度で溶体化処理後、315°C で 3 時間時効した場合の硬度変化を図 3.9 に示した。いずれの溶体化温度の場合にも Mg の添加による硬度の上昇がみられるが、溶体化温度の低い場合にとくに著しい。また Mg 添加の効果は添加量 0.025 % 以上では飽和する傾向がある。時効後の最高到達硬度は溶体化温度が高くなるにつれて上昇し



て 780°C の場合にもっとも高くなり、それ以上の温度ではわずかに低下する。Mg 添加によって時効後の硬度が上昇する理由は、matrix にくらべて硬度の低い粒界反応発生部分が Mg 添加によって相対的に減少するために、全体として硬度の上昇となって現われるためと理解される。これは図 3. 9 に示した Mg 量と硬度の関係が、図 3. 4 に示した Mg 添加量と粒界反応発生量との関係とよく対応していることから明らかである。

次に、780°C で 1.25 時間溶体化処理後、21 % の冷間圧延をほどこした試料 ( $1/2$  H 相当) の時効前・後の試片の Mg 添加量による諸性質の変化を図 3. 10 に示した。まず時効後の試片について述べると、抗張力、耐力は Mg の添加によっておよそ 10 % 増加し、とくにバネ限界値は 30 % 以上も向上するが、これら機械的性質の増加の傾向は硬度の場合と同様に Mg 0.025 % 以上では飽和する。縦弾性係数は Mg 添加量の増加とともにやや減少するが、比抵抗はほとんど変化しない。この合金の時効後の伸び率はもとより小さいが、Mg の添加によって多少低下する。次に時効前の試料の機械的諸性質は Mg 添加量に無関係にほぼ一定値を示す。

なお溶体化温度が 800°C 以上の場合、バネ限界値が多少改善されるほかは Mg 添加による諸特性の向上はほとんど認められなくなるが、これは図 3. 9 の結果とも対応している。したがって溶体化温度が低い場合ほど Mg 添加による機械的諸性質の向上に著しいようである。

#### 4. む す び

Cu-Be 25 合金の粒界反応発生量に対する微量 Mg 添加の影響を溶体化温度と関連させて検討し、あわせて機械的性質との関係をしらべた結果を要約すると次のようになる。

(1) 粒界反応発生量は溶体化温度によって大きく左右され、温度を高くするほど減少するが、反面結晶粒が著しく粗大化する。また粒界反応発生量は、溶体化時間を延長することによっても漸減するが、溶体化温度に比べて影響度は少ない。

(2) 微量の Mg を添加することによって粒界反応感受性のきわめて低い材料を作ることができる。Be-Cu 合金における通常の溶体化温度 (760~840°C) を採る場合、粒界反応抑制のための

Mg の有効添加量は 0.025~0.1wt % の範囲である。Mg 添加量が 0.5 wt % を越えると、比較的低い温度 (780°C) で粒界の一部が溶融しはじめる。

(3) 微量の Mg を添加すると、かなり低い溶体化温度においても粒界反応を抑制しうるので、結晶粒が微細でかつ粒界反応発生量の少ないすぐれた実用合金を製造しうる。

(4) 微量の Mg 添加によって、合金の時効後の抗張力、耐力、硬度、とくにバネ限界値が改善される。時効前の機械的諸性質はほとんど変化しない。

(5) Mg 添加による諸性質の変化は、主として Mg 添加によって粒界反応発生量が減少したための 2 次的影響によるものと考えられる。

この報告では Cu-Be 25 合金に対する結果を述べたが、Be 含有量の異なる合金に対する Mg 添加の効果、あるいは Mg 添加量と合金の耐疲労性の関係なども興味ある問題であり、これらについては現在実験中である。

この実験を遂行するにあたり、試料の分析、加工などに多くの方のご協力を得た、関係者各位に厚く感謝の意を表します。

#### 参 考 文 献

- (1) 森永、後藤、高橋：日本金属学会誌，24，777 (昭 35)
- (2) 園部、石田：伸銅技術研究会誌，1 [1]，9 (昭 37)
- (3) A. H. Geisler：Phase Transformation in Solids, p. 387, John Wiley & Sons, New York (1951)
- (4) H. K. Hardy：J. Inst. Met., 75，707 (1948—49)
- (5) A. G. Guy, C. S. Barrett and R. F. Mehl：Trans. AI ME, 175, 216 (1948)
- (6) P. A. Beck：J. Appl. Phys., 20, 666 (1949)
- (7) H. Thomas und Wilke-Dörfurt：Z. Metallk., 50, 466 (1959)
- (8) 村川、三島、後藤：航空研究所集報，2 [7]，397 (昭 36)
- (9) 梶山、古川：日本金属学会誌，28，530 (昭 39)
- (10) 実、我妻、橋爪：未発表論文 (昭 39)
- (11) 実、我妻、橋爪：未発表論文 (昭 39)



## 半硬磁性合金 4% V-Fe-Co の試作

中島 陽三\*・大谷 昌平\*

Preparation of Semi-hard Magnetic Material  
4% V-Fe-Co Alloy

Sagami Works Yōzō NAKAJIMA・Shōhei OHTANI

About the preparation of semi-hard magnetic material 4% V-48 Fe-48 Co alloy, investigation has been made on the information covering melting processes, quenching temperatures, cold reduction rates and annealing temperatures. The alloy can be melted in air as well as in vacuum. Ductility is given to it through the quenching from a temperature 800°C or 1,050°C, but a higher magnetic flux density is available in the heat treatment at the lower temperature. The effect of cold reduction rate is found more distinctively in the values of  $B_m$  or  $H_m$  than in those of  $B_r$  or  $H_c$ . Typical magnetic properties of  $B_m$ ; 15 kG,  $H_m$ ; 36 Oe,  $H_c$ ; 41 Oe,  $B_r$ ; 17 kG are obtained in the alloy quenched from a temperature 800°C, cold-rolled to 95% reduction in thickness and annealed for 4 hours at 600°C.

## 1. ま え が き

従来の磁性合金は保持力が非常に小さいか、あるいは大きいかの両極端、すなわち軟磁性鉄心材料および永久磁石材料に大別できた。しかし最近小形ヒステリシス電動機、残留磁気保持形継電器のほか電子機器において、比較的低い保磁力(30~60 Oe)と高い残留磁束密度(>14 kG)を持ち、角形性のよい薄板材料が要求されるようになった。半硬磁性合金と呼ばれるこの種の合金は、すでに数種開発されているが、その基本的な考え方はみな共通である。すなわち、Fe-Co合金系の飽和磁束密度の高さを利用し、これに冷間加工性を与え、また適当な保磁力を与えるために、VあるいはCrなどの合金元素を適量加えるのである。

軟磁性材料として知られている Supermendur (2% V, 49% Fe, 49% Co) および展延性永久磁石 Vicalloy (6~16% V, 30~52% Fe, 36~62% Co) から予想されるように、この系の合金ではV量が増加するにしたがい、保持力が増加し磁束密度は減少する<sup>(1)</sup>。このほかに原料費を引き下げるためにCoを使用しない、特殊鋼に類する合金を利用することもあるが、その場合は一般に磁束密度が低いのが欠点である。

われわれは、半硬磁性合金のなかでもっとも基本的な成分と考えられる、4% V-48% Fe-48% Co合金(Remendur)をとりあげ、この合金の製造方法および磁気特性について検討を加えることとした。

## 2. 溶解および熱間加工

溶解フイ気の影響をみるために、真空中および大気中において、マグネシウムを用い高周波誘導加熱により、約12 kgの原料を溶解し、直径80 mmの丸形鋳塊を作成した。使用した原料は電解鉄(あるいは未脱酸純鉄)、粒状コバルトおよびフェロバナジウム(57% V)であり、配合比はV 4%、Fe 48%およびCo 48%としたが、鋳塊の分析値は表2.1のとおりであった。なおV自身を脱酸剤とし、ほかの脱酸剤を使用しなかった。

鋳塊は1,050°Cに均熱加熱後、850°C以上の鍛造温度で厚さ13 mm、幅50 mmのピレットに加工した。ついでピレットは1,000°Cに加熱し、熱間圧延により厚さ4 mmの板に加工した。熱間加工

表 2.1 溶解条件および鋳塊分析値

試料 No.	溶解フイ気	使用原料	分析値 重量(%)		
			V	Co	Fe
V	真空中	電解鉄 粒状コバルト フェロバナジウム	4.2	49.0	bal.
A	大気中	未脱酸純鉄 粒状コバルト フェロバナジウム	3.8	49.5	bal.

性はきわめて良好であった。

## 3. 焼入れ条件と冷間加工性

この系の合金は普通の状態では常温において延性に乏しく、高温からの急冷処理をほどこすことにより、冷間加工が可能になることが知られている<sup>(2)</sup>。焼入れ温度としては、合金の規則-不規則変化温度以上であればよいとする説、体心立方形-面心立方形の変態温度以上から焼入れ、マルテンサイト状の組織とする必要があるとする説などがある<sup>(2)(3)</sup>。われわれは熱間圧延板について、600~1,050°Cの範囲でそれぞれ30分間加熱後、水中に焼入れた。

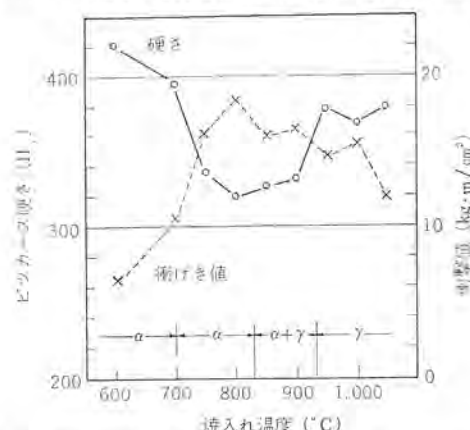


図 3.1 熱間圧延した真空溶解試料(厚さ4 mm)の焼入れ温度と硬さおよび衝撃値の関係(各温度で30分大気中加熱後水中焼入れ)

Fig. 3.1 Hardness and impact strength of the vacuum melted and hot worked specimens (4 mm), which were heated for half an hour in the air and quenched in cold water.



試料について、硬さ 顕微鏡組織および衝撃値について検討した。なお、衝撃試験は厚さが 4 mm という変則な点をのぞいては、シャルピー試験に準ずる方法によった。

図 3.1 には、大気中で 30 分加熱したのち、焼入れした試料についての試験結果を示したが、焼入れ温度が規則変化点以上になると、衝撃値は増大し、硬さは低下するのが認められた。焼入れ温度が結晶形態変態温度以上になると、硬さはふたたび増加し、衝撃値はやや低下した。また、試験温度の範囲では加熱ツィエが大气中とアルゴン中の場合には差が認められなかったが、水素中で加熱した場合は 1,000°C 以上から焼入れた試料の衝撃値が低下するのが認められた。

磁気特性測定用試料としては、変態温度の上下、すなわち 800°C および 1,050°C から焼入れた厚さ 4 mm の板を、厚さ減少率 80, 90 および 95 % の冷間圧延により薄板とし、焼入れ温度および加工率の影響をしらべることにした。なお、冷間圧延中の加工硬化は、1,050°C 焼入れ試料においては比較的少なく、800°C 焼入れ試料は初期の 20 % 程度の加工で硬化した後は変化が少なく、いずれの試料も最終状態の硬さはピッカース硬さ 400 前後であった。

#### 4. 磁気特性

焼入れ温度および圧延率を変えた、表 4.1 に示した 12 種類の試料を、それぞれ幅 10 mm、長さ 100 mm の形状に加工し、500, 550, 600, 650, および 700°C の各温度において、1, 2 および 4 時間の焼戻し処理を行なったのちに圧延方向の磁気特性を測定した。なお、焼戻しは抵抗線を逆平行に巻いて誘導磁場を少なくした管状炉に、酸化をふせぐために水素ガスを流通させた中で行なった。また、磁気特性の測定には均一磁場部分約 300 mm のソレノイドと自動記録直流磁気測定装置とを利用し、作図法により反磁界補正を行なって、磁場の強さ 200 Oe のときの磁束密度（飽和磁束密度、 $B_{200}$ ）、200 Oe から減磁した場合の残留磁束密度（ $B_r$ ）、保磁力（ $H_c$ ）、あるいは最大エネルギー積を与える磁束密度（ $B_m$ ）および磁場の強さ（ $H_m$ ）を求めた。

##### 4.1 焼戻し処理による $B_{200}$ , $B_r$ および $H_c$ の変化

図 4.1~4.4 には各試料について、それぞれの温度での焼戻し時間とともに  $B_{200}$ ,  $B_r$  および  $H_c$  の変化を示した。いずれの試料も 550°C 以上の温度では焼戻し時間とともに  $B_{200}$  および  $B_r$  は減少し、 $H_c$  は増加した。ただし、650 および 700°C では焼戻し時間が長くなると  $H_c$  が低下する例が認められた。この傾向は圧延率の高い試料であきらかであった。こうした磁気特性値の変

表 4.1 磁気測定試料の記号および加工条件

試料 No.	溶解ふい気	焼入れ温度 (°C)	冷間加工率 (%)	厚 (mm)
VH 80	真 空 中	1,050	80	0.8
VH 90			90	0.4
VH 95			95	0.2
VL 80		800	80	0.8
VL 90			90	0.4
VL 95			95	0.2
AH 80	大 気 中	1,050	80	0.8
AH 90			90	0.4
AH 95			95	0.2
AL 80		800	80	0.8
AL 90			90	0.4
AL 95			95	0.2

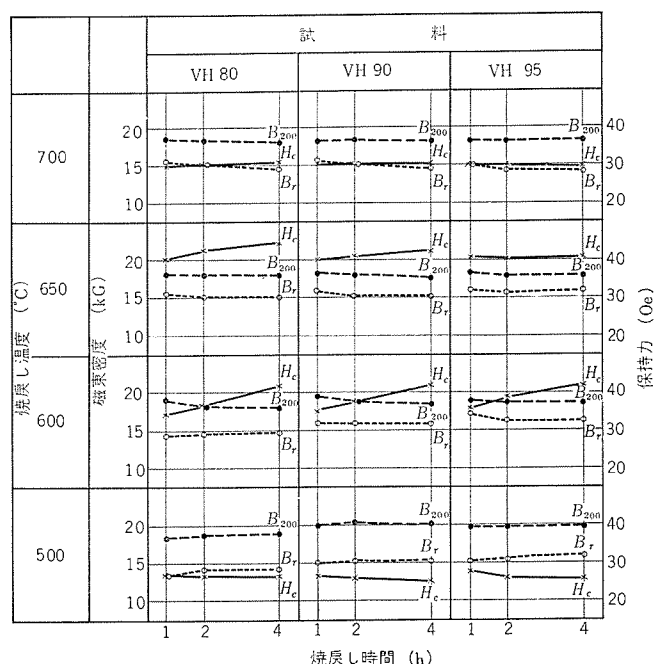


図 4.1 試料 VH の圧延率、焼戻し温度および時間と  $B_{200}$ ,  $B_r$  および  $H_c$  の関係

Fig. 4.1 Effects of cold reduction rate, annealing temperature and time on  $B_{200}$ ,  $B_r$  and  $H_c$  of the specimen VH.

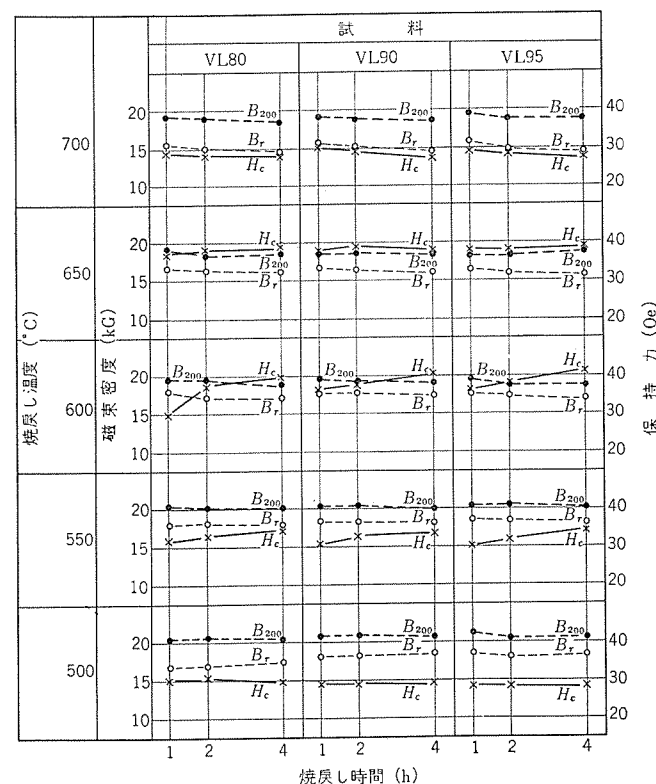


図 4.2 試料 VL の圧延率、焼戻し温度および時間と  $B_{200}$ ,  $B_r$  および  $H_c$  の関係

Fig. 4.2 Effects of cold reduction rate, annealing temperature and time on  $B_{200}$ ,  $B_r$  and  $H_c$  of the specimen VL.

化は、すでに多くの研究者達によって指摘されているように、この系の合金が強加工を受けたのちに加熱されると、平衡状態図に示されている変態温度以下の範囲で、非磁性の面心立方形の高温相を析出するという現象に対応する。

また、一般に強加工を加えるほど磁気特性が向上するといわれているが、この実験の範囲では  $B_r$  および  $H_c$  に対しては、80~95 % の圧延率の変化はあきらかな影響を示さなかった。



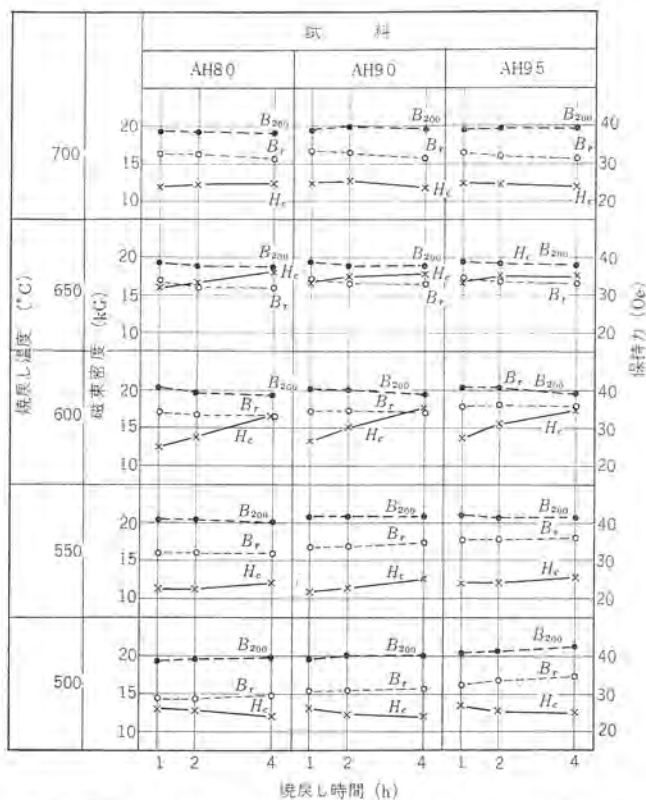


図 4.3 試料 AH の圧延率、焼戻し温度および時間と  $B_{200}$ ,  $B_r$  および  $H_c$  の関係

Fig. 4.3 Effects of cold reduction rate, annealing temperature and time on  $B_{200}$ ,  $B_r$  and  $H_c$  of the specimen AH.

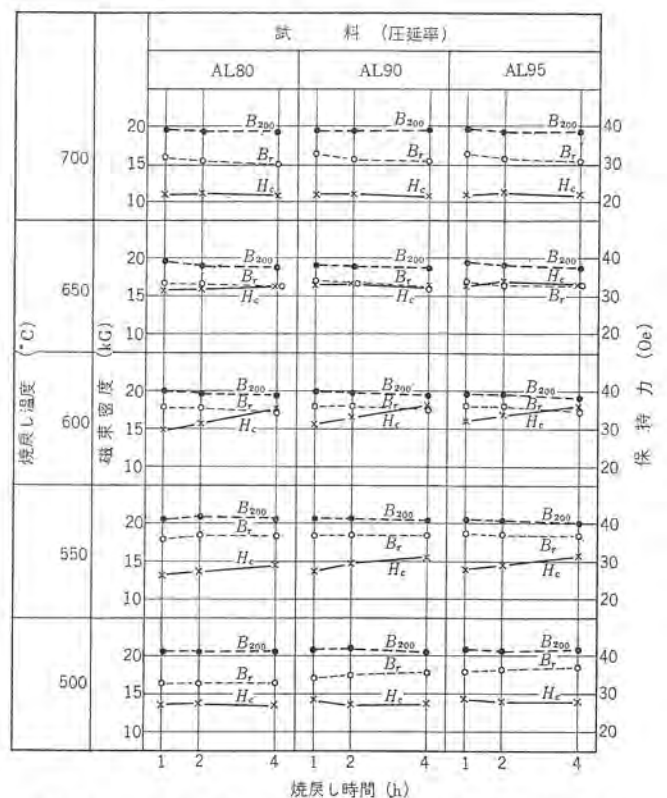


図 4.4 試料 AL の圧延率、焼戻し温度および時間と  $B_{200}$ ,  $B_r$  および  $H_c$  の関係

Fig. 4.4 Effects of cold reduction rate, annealing temperature and time on  $B_{200}$ ,  $B_r$  and  $H_c$  of the specimen AL.

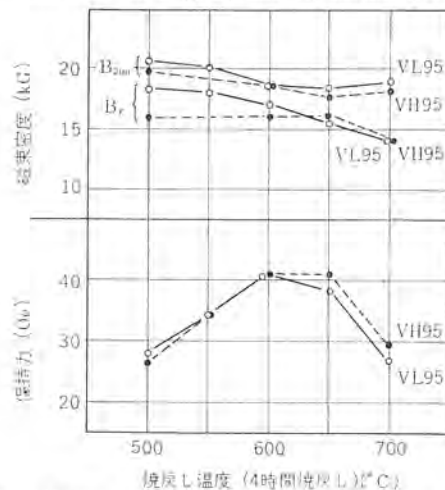


図 4.5 試料 VH 95 および VL 95 の焼戻し温度と  $B_{200}$ ,  $B_r$  および  $H_c$  の関係

Fig. 4.5 Relation of annealing temperatures with the values of  $B_{200}$ ,  $B_r$  and  $H_c$  in specimen VH 95 and VL 95, after annealing for 4 hours.

つぎに各試料間の差および焼戻し温度の影響を比較しやすくするために、95% 圧延後、4 時間焼戻した試料についての  $B_{200}$ ,  $B_r$  および  $H_c$  を焼戻し温度と対応させて図 4.5~4.6 に示す。最大の  $H_c$  および  $B_r$  を与える焼戻し温度は、冷間加工前の焼入れ温度によって相違があり、1,050°C から焼入れた試料では 650°C の焼戻しにより  $H_c$  は最大となったのに対し、800°C から焼入れた試料では、最大の  $H_c$  は 600°C の焼戻しにより得られた。また、 $B_r$  の最大は  $H_c$  の最大値が得られる温度よりも 50~100°C 低い焼戻し温度によって得られた。なお、 $H_c$  の最大値は焼入れ温度によってほとんど差がなかったが、 $B_r$  は 800°C 焼入れ試料の 500~550°C 焼戻しにより高い値が得られた。

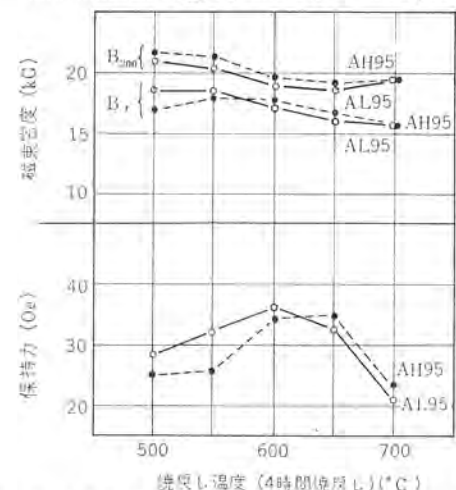


図 4.6 試料 AH 95 および AL 95 の焼戻し温度と  $B_{200}$ ,  $B_r$  および  $H_c$  の関係

Fig. 4.6 Relation of annealing temperatures with the values of  $B_{200}$ ,  $B_r$  and  $H_c$  in specimen AH 95 and AL 95, after annealing for 4 hours.

一方、どの試料でも  $B_{200}$  は焼戻し温度の上昇にともない減少したが 700°C にいたり逆にやや増加した。この温度では準安定な非磁性相の析出が減少し、平衡状態に近づく傾向が示されているものと思われる。ただし 700°C での  $H_c$  の急激な低下は、非磁性相の量的な変化よりも、形状あるいは分布状態と関係するものであろう。

また、真空溶解試料は大気中溶解試料にくらべて  $H_c$  が高く、 $B_r$  および  $B_{200}$  が低いという結果が示されたが、これは溶解法の影響というよりは、添加 V の歩留りの差のために表 2.1 に示したように、真空溶解試料にくらべて大気中溶解試料の V% が 0.4% ほど低くなった結果であらう。



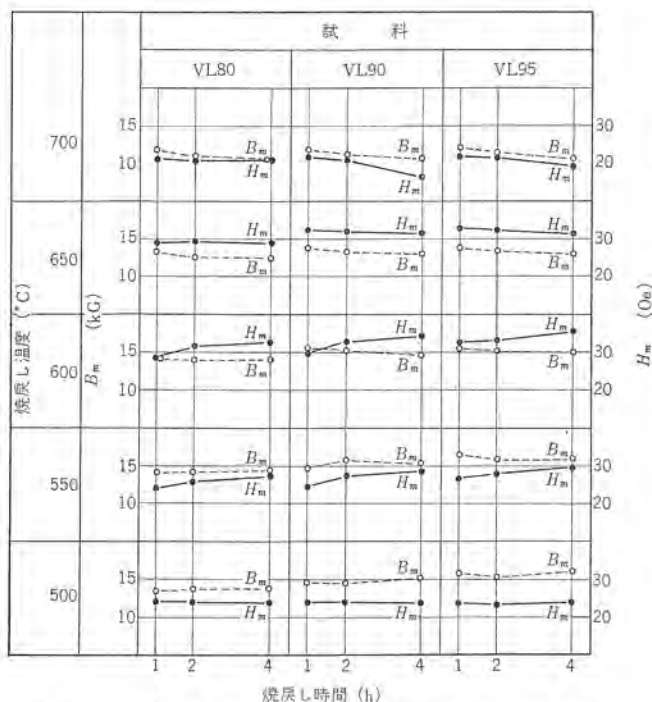


図 4.7 試料 VL の圧延率、焼戻し温度および時間と  $B_m$  および  $H_m$  の関係

Fig. 4.7 Effects of cold reduction rate, annealing temperature and time on  $B_m$  and  $H_m$  of the specimen VL.

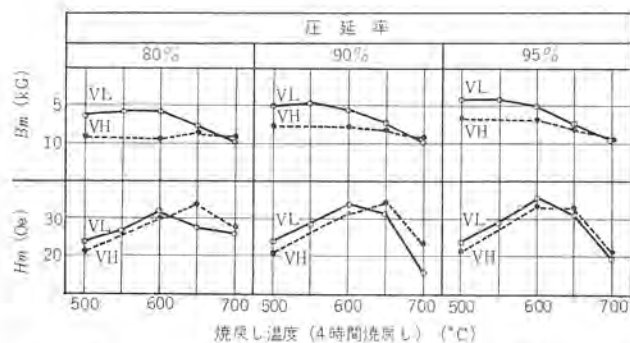


図 4.9 真空管溶解試料の焼戻し温度と  $B_m$  および  $H_m$  の関係  
Fig. 4.9 Relation of annealing temperature with the values of  $B_m$  and  $H_m$  in the vacuum melted specimens, after annealing for 4 hours.

#### 4.2 焼戻し処理による $B_m$ および $H_m$ の変化

半硬磁性合金は磁化反転が比較的容易である必要はあるが、あくまでも永久磁石として使用されるのであるから、使用上重要な特性は  $B_r$  ではなく、減磁曲線上の最大エネルギー積を与える  $B_m$  および  $H_m$ 、あるいは  $H_c$  である。図 4.7 および図 4.8 には、800°C から焼入れたあとに冷間加工を与えた真空溶解試料と、大気中溶解試料の焼戻しにともなう  $B_m$  および  $H_m$  の変化を示す。図 4.1~4.4 に示した  $B_r$  および  $H_c$  の変化と同様な変化であるが、 $B_m$  および  $H_m$  に対しては圧延率の影響がきらかであり、加工度の大きい試料ほど  $B_m$  および  $H_m$  は高くなっている。

また、各温度で 4 時間焼戻したのちの  $B_m$  および  $H_m$  を図 4.9、4.10 に示した。  $H_c$  の場合と同様に、 $H_m$  も焼入れ温度によって最大値を与える焼戻し温度が異なり、800°C 焼入れ試料では 600°C において焼戻した場合、1,050°C 試料では 650°C において焼戻した場合に  $H_m$  は最大になる。ただし、圧延率が高くなるにしたがい、800°C から焼入れた試料の  $H_m$  の値のほうが、1,050°C から焼入れた試料の値よりも大きくなっていく。

半硬磁性合金 4% V-Fe-Co の試作・中島・太谷

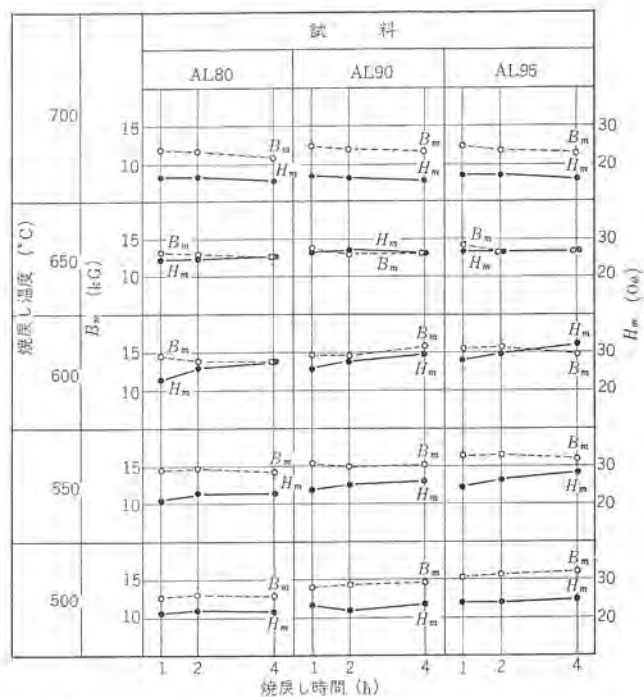


図 4.8 試料 AL の圧延率、焼戻し温度および時間と  $B_m$  および  $H_m$  の関係

Fig. 4.8 Effects of cold reduction rate, annealing temperature and time on  $B_m$  and  $H_m$  of the specimen AL.

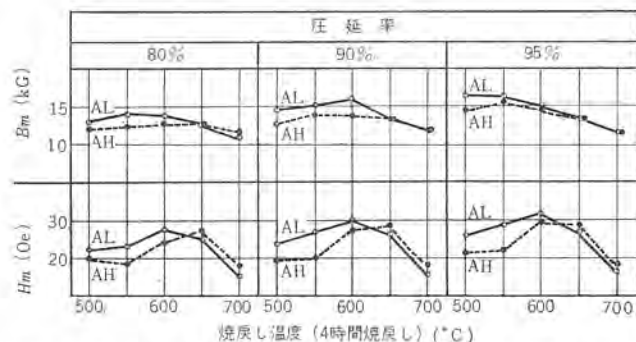


図 4.10 大気中溶解試料の焼戻し温度と  $B_m$  および  $H_m$  の関係  
Fig. 4.10 Relation of annealing temperature with the values of  $B_m$  and  $H_m$  in the vacuum melted specimens, after annealing for 4 hours.

表 4.2 試作合金の代表的磁気特性

試料	V%	加工条件	磁気特性			
			$B_m$ (kG)	$H_m$ (Oe)	$H_c$ (Oe)	$B_r$ (kG)
VL 95	4.2	熱間加工後、800°C より焼入れ処理を行ない、95%冷間圧延後、600°C において 4 時間加熱	15	36	41	17
AL 95	3.8		15	32	36	17

$B_m$  の値は、 $B_r$  の場合と同様に  $H_c$  および  $H_m$  の最大値を与える温度よりも 50°C 低い焼戻し温度付近で、最も良い結果が得られる例が多い。ただし、1,050°C から焼入れた試料は、焼戻し温度の影響が少なく、800°C から焼入れた試料のように 500~600°C の焼戻しで  $B_m$  が高くなるということがない。

総合的にいえば、800°C 焼入れ後、95% 圧延を加え、600°C において 2~4 時間の焼戻しを行なった試料が、この実験の範囲では最も良い磁気特性を示した。その値は表 4.2 のとおりであり、角形性はかなりすぐれている。



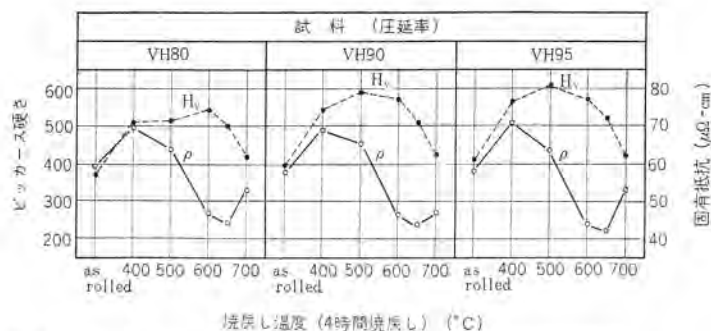


図 4.11 VH 試料の焼戻し温度と硬さおよび電気抵抗の関係  
Fig. 4.11 Effects of annealing temperature on hardness and electrical resistance in the specimens VH 80, VH 90, and VH 95, after annealing of 4 hours.

#### 4.3 焼戻しによる硬さおよび電気抵抗の変化

焼戻し中における合金内部の変化を知るたすけとして、硬さおよび電気抵抗について測定した。その一例として、試料 VH を 400~700°C においてそれぞれ 4 時間焼戻したあとの硬さおよび固有電気抵抗を、図 4.11 に示す。硬さの増加は 500°C における焼戻しの場合に最も大きく、それ以上の焼戻し温度では硬化の程度は減少した。電気抵抗値は 400 および 500°C の焼戻しでは増加したが、それ以上の温度では焼戻しにより圧延状態の値よりも減少した。ただし、700°C の焼戻しでは 650°C の場合よりも大きな抵抗値を示した。

焼戻し処理中に合金内部における変化としては、

- (1) 加工ヒズミの焼なまし除去
- (2) 面心立方相の析出
- (3) 規則度の変化

などがあげられる。図 4.11 に示された硬さおよび電気抵抗の変化は、これらの内部変化があらわされた結果であろう。600°C 以上では過時効と一般に呼ばれる状態となり、硬さあるいは保持力が下降するものと思われる。また、700°C での電気抵抗の再上昇はこの温度は規則変化温度を越しているために、規則度が減少したためと考えられる。一方、不規則状態の飽和磁束密度は規則状態にくらべて減少するといわれているので<sup>(3)</sup>、この温度では  $B_{200}$  が再上昇することを考慮に入れると、たんなる過時効以外に非磁

性相の析出量自体が、この温度では減少するものと推定される。

#### 5. む す び

溶解 フニイ 気、冷間加工性を与えるための熱処理、冷間加工率、あるいは焼戻し処理などについて、半硬磁石 4% V-Fe-Co 合金の製造条件と磁気特性について検討を加えた結果、以下のことがあきらかになった。

1. 真空中溶解試料のほうが大気中溶解試料にくらべて、高い  $H_c$  および  $H_m$  を得ることができたが、これは脱酸剤を用いずに添加 V 量を一定としたための歩留りの相違による V% の差によるものと思われる。
2. 焼入れ温度は 800°C および 1,050°C のいずれでも冷間圧延が可能になる。
3. 冷間圧延率の差は  $B_r$  あるいは  $H_c$  よりも  $B_m$  および  $H_m$  にあきらかな影響を示し、80~95% の範囲では高圧延率ほど良い結果を与える。
4. 最大の  $H_c$  および  $H_m$  を与える焼戻し温度は、圧延前の焼入れ温度によって異なり、800°C 焼入れ試料は 600°C、1,050°C 焼入れ試料は 650°C の焼戻しが適当である。
5.  $B_r$  および  $B_m$  は  $H_c$  および  $H_m$  が最大になる温度より 50°C 程度低温で焼戻した場合に最大となる。
6. 800°C 焼入れ試料のほうが、1,050°C 焼入れ試料よりも  $B_r$  および  $B_m$  の高い値を得ることができる。
7. 総合的には、この実験の範囲では 800°C から焼入れたあとに 95% の圧延率の冷間加工を加え、600°C において 2~4 時間の焼戻し処理をほどこした試料が、半硬磁石として最もすぐれた磁気特性を示した。

#### 参 考 文 献

- (1) R. W. Fountain and J. F. Libsch : Journal of Metals, 1953, p. 349.
- (2) 中島 : 「三菱電機技報」 37, No. 3, p. 443 (昭 38)
- (3) C. W. Chen : J. of Appl. Phys., 32, 384 S (1961)



# 水平出力トランス用フェライトコア

友森 正信\*・当金 彦宏\*

## Ferrite Cores for Horizontal Output Transformers

Ofuna Works Masanobu TOMOMORI・Hikohiro TÔGANE

Cores to be used for horizontal output transformers of TV sets must be provided with characteristics of high magnetic flux density and small losses at flyback frequencies. New ferrite core material L-NE has been developed to meet the demands and enables the transformers to be built compact and highly efficient. Then measurements of AC magnetic properties of the cores have been made with large amplitudes close to actual operating conditions so as to provide information for the design of these transformers. In addition tests have been made on the core built in a TV receiver and the core loss has been analysed at a high level to verify a number of improvements made on the old material as well as to find points which need further betterment.

### 1. ま え が き

TV 受像機の水平出力トランスは、一般にフライバックトランスと呼ばれており、このトランスは偏向コイルのインダクタンスと出力管とを整合させるとともに、帰線期間に生ずる5〜6kVのパルスを昇圧し、ブラウン管の陽極電圧をうるのを目的としている。

この水平出力トランスは大きな電力をあつかうため、ここに使用されているコアには大きな振幅の交流磁界(700〜1500 gauss)が加わり、さらに出力管の平均プレート電流による直流が重畳する。

また、水平偏向周波数は15.75 kcのノコギリ波であるからその高調波を考えると100 kc以上となる。したがって水平出力トランス用コアとして具備しなければならない特性は、磁束密度の大きいこと、60〜70 kcのフライバック周波数付近での損失の少ないことが必要である。

近年受像機の小形化、高性能化およびカラーTVがこのコアに対して高性能化を強く要求してきた。このため約1年にわたる材料および製造法の検討を行ない、従来の製造法とは相当異なる製造法を開発し、これらの要求を満足するL-NE材を製造できるようになった。この機会に、L-NE材の開発の経緯について簡単にふれ従来比較的測定データが少なく、またトランスの設計上問題があった大振幅での交流磁気特性を測定した結果を報告する。また現用のセットでの動作試験および損失の分析の結果、従来のL-NB材に比べて材質上改良された点、今後改良すべき点についても検討を行なうことにした。

### 2. 開発の経緯

水平出力トランス用コアの材質を改良することによりトランスの能率は改良され、またコアの小形化とこれによるトランスの関連部品の節約が可能となる。当社では、フェライトの開発実用化当初より一貫して、材質の改良に努めTV用コアとしてMn-Zn系のL-M材、L-NB材をすでに完成し数多くの需要を満たしてきた。

しかし最近のフェライト製造技術の進歩は著しく、いままで一部の限られた高性能の通信機用コアにしか応用されていなかったフェライト焼成法が、この分野でも応用されるようになってきた。すなわち、アメリカにおいては数年前からフェライト焼成炉を使用した高性能の水平出力トランス用コアが生産されはじめ、国内においても当

社を含めて2〜3のフェライトメーカーが、この種のコア市販を開始した。これらは従来の空気中で焼成されたものと比較し、高性能であるということと、品質が安定していることから次第にこの種のコアが主流となりつつあるのが現状である。

このコアに要求される特性は前述のように、磁束密度の大きいこと、高磁場での透磁率の大きいこと、損失の小さいことなどであるが、これらの特性はフェライトの製造法に密接な関係がある。

現在このトランスのコアとして使用されているフェライトは一般にMn-Zn系であるが、大きな透磁率をうるため組成的には過剰なFeを含んでいる。このFe・Mnのイオン価は変化しやすく、焼成フェライト気とくに酸素濃度によって生成物も変化し、そのため磁気特性も著しく影響をうける。空中焼成および冷却においてはこれらが酸化を受け磁気特性の劣化の原因となっている。したがって焼成および冷却におけるフェライト気を制御する必要が生ずる。

フェライトは一般式  $MO \cdot Fe_2O_3$  で示されるイオン結晶を有するので、平衡酸素圧  $P$  と温度との関係は下記の式が適用される。

$$l_n P = -\frac{\Delta H}{RT} + C \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

$\Delta H$ : 蒸発の潜発  $T$ : 絶対温度  
 $R$ : 気体定数  $C$ : 定数

この式は平衡酸素圧が温度の逆数に対し、指数関数的に減少することを示している。そのため冷却過程では、温度の下降とともにそれに対応して酸素濃度を減少させることが必要になる。

この関係を連続かつ大量に処理することを要求される量産方式に応用するため、種々の試作実験を行なった結果から連続式フェライト焼成炉を設計し設置した。この焼成炉は冷却部を機密にし、

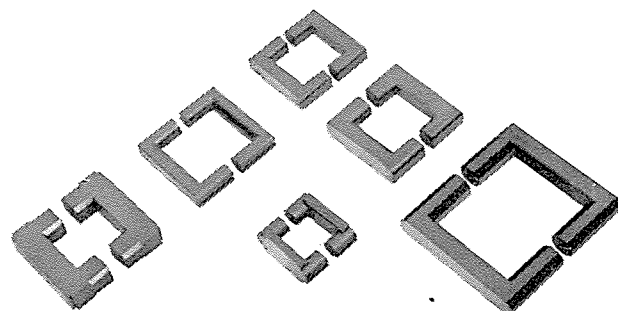


図 2.1 フライバックトランス用コア  
 Fig. 2.1 Ferrite cores for flyback transformer.



そのある部分から適当量の窒素ガスを流すことにより、目的とする酸素濃度の分布曲線を作ってやり、それに合わせて冷却部の温度を設定する形式のものである。さらに材料的検討を加え、水平出力トランス用コアの材質として L-NE 材を開発し、本格的生産を開始した。図 2.1 に開発されたトランス用のコアの形状を示す。

### 3. L-NE 材の諸特性

#### 3.1 静特性

新しく開発した L-NE 材、従来からの L-NB 材と同時に、最近入手した外国 A 社および国内 A 社の製品について比較検討した。この結果を表 3.1 に示す。これらはいずれもフライバック用コアの形状での値で、初透磁率は 1 kc/s においてヒステリシス特性は弾動式検流計法による測定値である。

L-NE 材は L-NB 材に比較し、初透磁率・磁束密度・保磁力・比抵抗などの特性が著しく改良されており、とくに、比抵抗の増大はあとに述べるように高周波での損失の減少となって現われる。L-NE 材と外国 A 社の性能はほぼ同一と考えてよい。

#### 3.2 高磁場における $\mu_e$ および Q 特性

水平出力トランスの巻線の一部に直流が流れ、コアには直流磁化  $B_0$  に交流磁束密度  $\Delta B$  が重畳されており、この関係は図 3.1 に示すとおりである。

したがって磁束密度のピーク値  $\hat{B}$  は下記の式で示されるように増大する。

$$\hat{B} = B_0 + \Delta B \quad (3.1)$$

磁束密度のピーク値が増大するとコアは飽和しやすくなり、その結果透磁率が減少する。この直流磁化  $B_0$  による透磁率の減少を防ぐとともに、安定させるため磁路に適当な大きさのギャップを入れている。L-NE 材のギャップによる起磁力と磁束密度の関係を図 3.2 に示す。

このギャップをしだいに大きくすると B-H 曲線はしだいに直線的になる。したがって磁界の強さと磁束密度とは比例関係をもつようになるから透磁率は安定し、直流磁化  $B_0$  も小さくなるので

表 3.1 各材質の静特性

材 質	L-NE 材	L-NB 材	外国 A 社	国内 A 社
初 透 磁 率 $\mu_0$	1,700	1,000	1,750	1,550
磁 束 密 度 $B_{10}$ (G)	4,800	4,200	4,800	4,700
残留磁束密度 $B_r$ (G)	1,300	1,300	1,100	1,300
保 磁 力 $H_c$ (Oe)	0.16	0.18	0.20	0.21
比 抵 抗 $\rho$ ( $\Omega$ cm)	70	5~10	60	150
キュリー温度 $T_c$ ( $^{\circ}$ C)	210	190	220	230

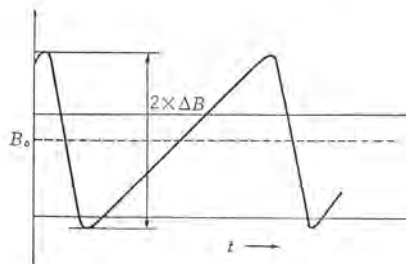


図 3.1 直流磁化の重畳した交流磁束密度  
Fig. 3.1 AC flux density in the core with premagnetization by direct current.

飽和する危険が少なくなる。しかし、必要以上にギャップを入れることは透磁率を減少させるので好ましくない。

トランスの設計には上記の関係を定量的に知る必要があるので、L-NE 材についてギャップ、直流励磁および交流磁束密度をパラメータとして  $\mu_e \cdot Q$  を測定した。この測定には大きな励磁電流を必要とするため共振ブリッジ<sup>(1)</sup>を用い、磁束密度は試料の二次巻線に誘起される電圧を積分して求めた。測定に用いたコアの寸法および測定コイルをおのおの図 3.3, 3.4 に示す。測定結果は図 3.5 に示す。測定は 16 kc 以外の 50 kc, 70 kc でも行なったがここでは割愛した。測定結果から明らかになった点は

- (1)  $\mu_e$  および  $Q$  は交流磁束密度によって大きく異なる。
- (2) 直流励磁により  $\mu_e$  は減少し  $Q$  は大きくなる。ただし磁束密度のピーク値が飽和すると急激に減少する。
- (3) 直流励磁のある場合、適当なギャップはギャップゼロの場合より  $\mu_e$  を増大させることができる。直流励磁をパラメータとし

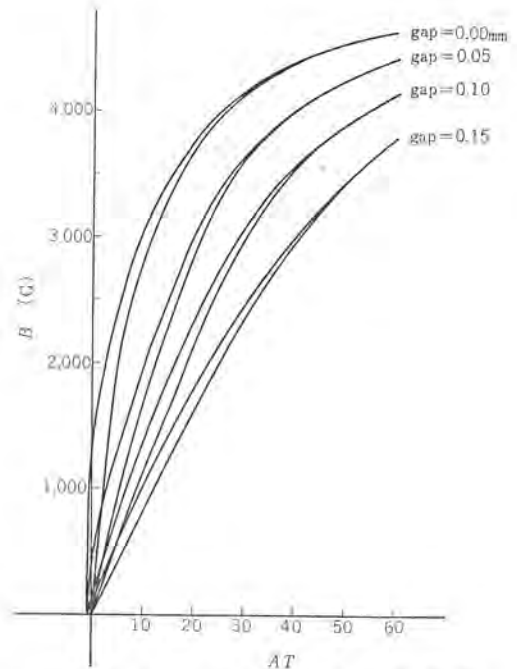


図 3.2 ギャップと B-H 曲線の関係  
Fig. 3.2 Hysteresis curves of the core (L-NE) with air gap.

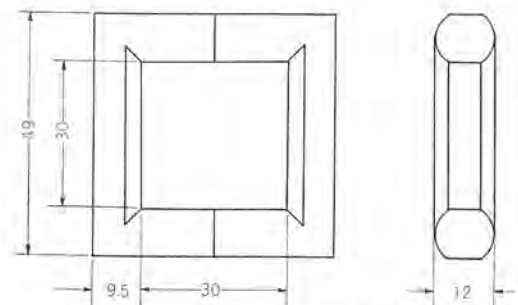


図 3.3 コア寸法 (mm)  
Fig. 3.3 Core dimensions of LU 12-NE 11.

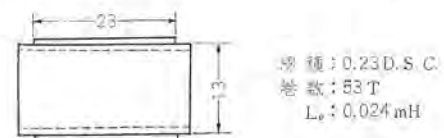


図 3.4 測定用コイル  
Fig. 3.4 Coil for measurement.



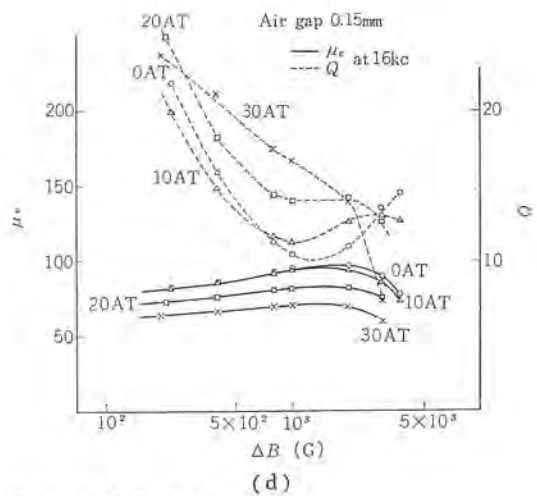
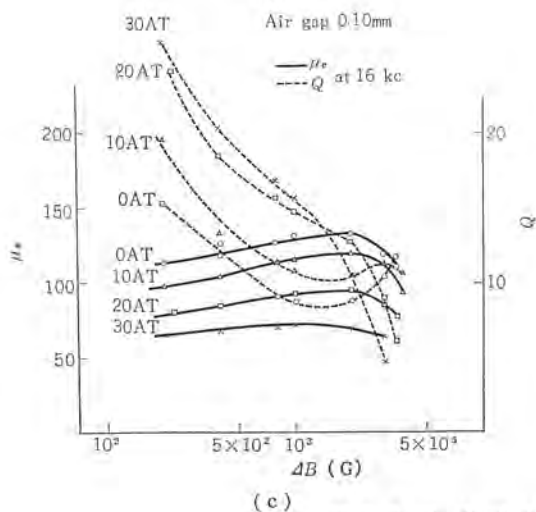
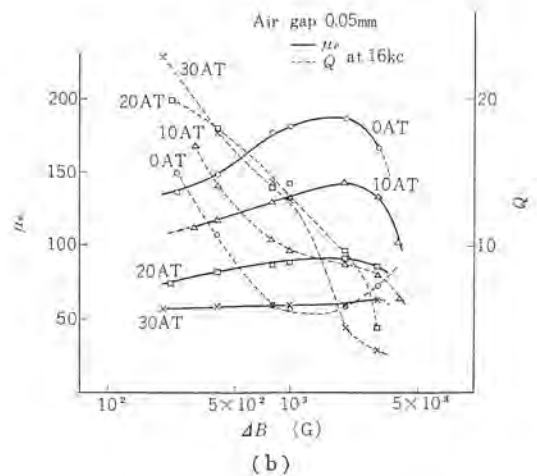
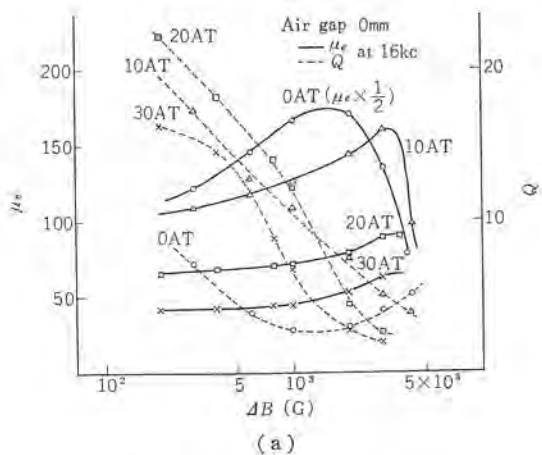


図 3.5 交流磁束密度と  $\mu_e$  および  $Q$  の関係  
Fig. 3.5  $\mu_e$  and  $Q$  as functions of AC flux density.

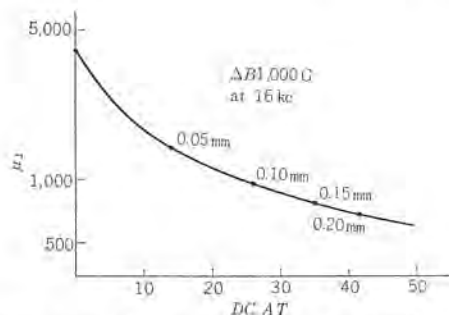


図 3.6 増分透磁率と直流励磁の関係  
Fig. 3.6 Incremental permeability as a function of premagnetization in ampere-turns.

て増分透磁率  $\mu_d$  が最高の値を示す  $\Phi_{max}$  との関係を図 3.6 に示す。この値は  $\Delta B=1,000$  gauss における  $\mu_d$  の値であるが、 $\Delta B=2,000$  gauss における値も  $\Phi_{max}$  を少し大きくすればほぼ同じ値となる。

(4) 50 kc, 70 kc における  $\mu_e$  の値は 16 kc の値とほぼ同じであるが、 $Q$  は 50 kc, 70 kc と小さくなる。(図 3.6 参照)

### 3.3 損失および温度上昇

$\mu_e$ ,  $Q$  および  $B_{max}$  などの磁気特性は温度により変化し、コア損および周囲温度による温度上昇をどの程度まで考えるかは、トランスの設計上非常に重要なことであり、コアの使用磁束密度  $\Delta B$  は、温度上昇の原因の大部分をしめるコア損を考慮して決定されるのが普通である。コア損を求める方法は種々あるが、ここでは前述のフリッジにより実効抵抗  $R$  とコイルに流れる実効電流  $I$  を測

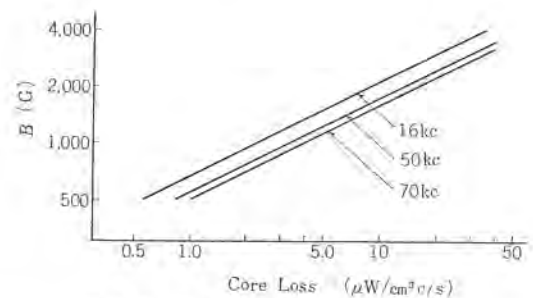


図 3.7 Core loss の周波数特性  
Fig. 3.7 Change of core loss depending of frequency.

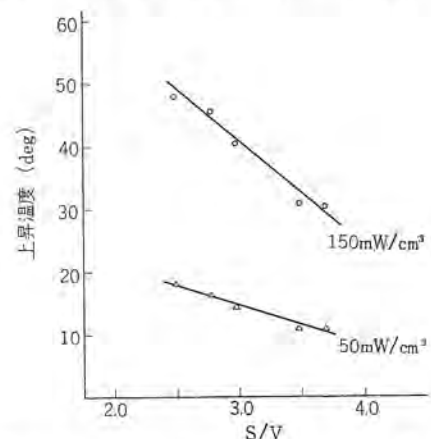


図 3.8 コア寸法と温度上昇の関係  
Fig. 3.8 Rising temperature as a function of core dimensions.



定して損失  $W=I^2R$  の関係から求めた、ここで明らかなことは周波数が高くなるにしたがって損失は増大しており、この増加分は後述のごとくウズ流損に相当する。測定結果を図 3.7 に示す。

トランスの温度上昇はコア損のほか、その構造によることはもちろんであるが、コア損自身の発熱による温度上昇の関係をすることは有益なことと考える。ここでは単位体積あたり一定の損失を与えた場合のコア形状と温度上昇の関係について検討した。この結果コアの表面積と関係がありそうなので、コアの単位体積あたりの表面積と温度上昇の関係を示したのが図 3.8 である。この図の温度上昇値は、損失を与えはじめてから 1 時間後のコア表面温度から室温を引いた値でほぼ飽和した値である。

これから明らかな点は、コアの形状が同じならば損失と温度上昇は比例関係にあり、すなわち損失が 3 倍になれば温度上昇もほぼ 3 倍となっている。また損失が一定ならばコア体積に対する表面積の比  $S/V$  と温度上昇の関係は、図に示すような直線関係である。

### 3.4 温度特性

一般にフェライトのキュリー点は金属の磁性材料に比べて低く、とくに水平出力トランスに使用される Mn-Zn 系フェライトのキュリー点は低く、あらゆる磁気特性が温度の影響を大きく受ける。これはコアの温度変化による B-H 曲線の変化に起因するもので、こ

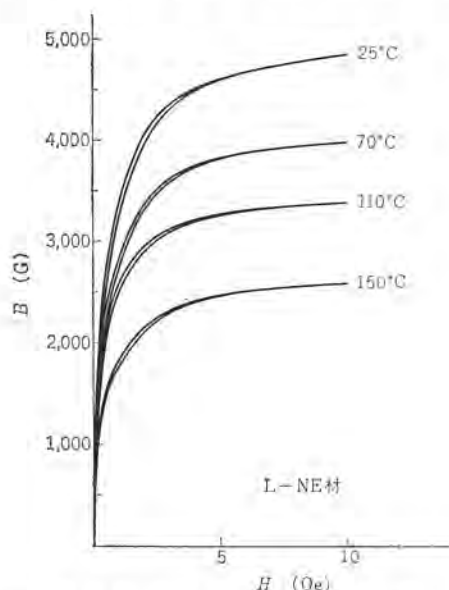


図 3.9 B-H 曲線の温度特性  
Fig. 3.9 Change of hysteresis curves depending on temperatures.

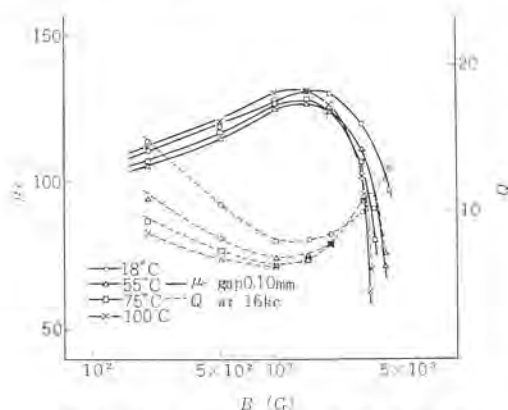


図 3.10  $\mu$  および  $Q$  の温度特性  
Fig. 3.10 Change of  $\mu$  and  $Q$  depending on temperatures.

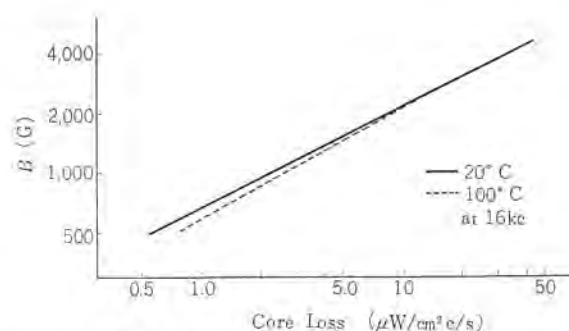


図 3.11 Core loss の温度特性  
Fig. 3.11 Change of core loss depending on temperatures.

の関係を L-NE 材について示したのが図 3.9 である。

また  $\mu_d$  および  $Q$  の測定値を図 3.10 に示す。この図から使用温度を 100°C まで考え、この温度での  $\mu_e$  の低下を常温の 20% まで許容すると、使用可能な磁束密度のピーク値としては 3,000 gauss であることがわかる。L-NB 材は同様の測定からこの値は 2,400 gauss である。この値は B-H 曲線のほぼ変曲点の磁束密度に相当する。また損失の温度特性を図 3.11 に示す。

### 4. コアの小型化

小型化の問題に関しては、偏向コイルのインダクタンス  $L_y$ 、これに結合されるトランスの二次インダクタンス  $L_s$  および、使用磁束密度とコアの磁気特性との関係を検討する必要がある。

トランスの二次インダクタンス  $L_s$  は下記の式で表わされる。

$$L_s = \frac{0.4\pi n_s^2 A \mu_d}{l} \times 10^9 H \dots\dots\dots (4.1)$$

$n_s$  : 二次巻数  $l$  : コアの磁路長  
 $A$  : コアの断面積  $\mu_d$  : 増分透磁率

また、使用磁束密度と  $L_y$  および  $n_s$  の関係は下記のとおりである。

$$n_s = \frac{L_y \cdot i_y}{2 \cdot \Delta B \cdot A} \times 10^8 \dots\dots\dots (4.2)$$

$i_y$  : 偏向コイルに流れるピーク電流値  
 $\Delta B$  : 使用磁束密度

これらの関係からコアを小型化する場合二つの方法が考えられる。

#### (1) 使用磁束密度は同じで $n_s$ を大きくする方法

この場合断面積を小さくすると、式 (4.2) から巻数を多くする必要があり、巻数を多くすれば直流励磁も大きくなるからギャップを大きくする必要がある。この結果  $\mu_d$  は減少するが  $L_s$  は少し増加する。たとえば、断面積を  $1/2$  にした場合、図 3.6 から  $L_s$  はもとの断面積を有するコアの 30% 増となる。このこと自身はトランスにとって好ましいことである。

これに反して、結合係数  $k$  は断面積が小さくなることに加えて、ギャップが大きくなることから大きく減少し、これはトランスの効率を低下させるので好ましくない。したがって上記の関係からのみ小型化の可能性を論ずることは、偏向コイルのインダクタンス  $L_y$  とも関連があてできない。しかし、出力トランスの巻線比  $n_s/n_p$  ( $n_p$  は出力トランスの一次巻数) が大きい場合は、ギャップが大きくなっても  $k$  の値は比較的大きい。すなわち、 $n_s/n_p$  が小さい場合に比べてギャップが大きくなることによる  $k$  の変化が小さいことがわかっている<sup>(2)</sup>。このことは、負荷が高いインピーダンスを有する場合小型が可能であることを示す。



材 質 \ 特 性	$\mu_e$	$Q$	損失 (W)
L-NB 材	73	9.2	2.5
L-NE 材	89	13.8	1.6

表 4.2 実働回路におけるコアの比較

材 質 特 性	L-NB	L-NE	試料 1	試料 2	試料 3
高 圧 (kV)	12.8	13.6	13.2	13.0	13.2
振 幅 (mm)	285	298	295	281	287
EBB (V)	480	500	492	482	488
I <sub>k</sub> (mA)	116	114	115	116	116
コア表面温度 (°C)	29	22	26	31	29
使用磁束密度 ΔB (G)	1,550	1,620	1,860	2,000	2,000

## (2) 使用磁束密度を大きくする方法

ここでは(2)の方法について、従来使用されていた L-NB 材を L-NE 材におきかえることにより、小形化がどの程度可能であるかを、高磁場での測定結果から現用の 16 インチ 114° 偏向の TV 受像機を用い コア だけを取りかえてランニングテストを行ない、高圧・水平振幅・コア表面温度・出力管のカソード電流などの関係を検討した。この受像機の水平出力トランスに使用されているコアの材質は L-NB 材、その寸法は図 3.3 に示したものである。このトランスの直流励磁は 22 AT、ギャップは 0.075 mm、交流磁束密度  $\Delta B$  は、1550 gauss で動作している。この状態での L-NB と L-NE 材の  $\mu_n$ 、 $Q$  および損失の測定結果を表 4.1 に示す。

この結果から、コアが同一形状の場合、L-NE 材は L-NB 材に比べて各特性ともすぐれており、能率が著しく改善されていることがわかる。試料 1 についても高磁場での測定値から予想されるように各特性ともすぐれており、試料 2 についても損失から予想されたように温度上昇は少し大きい。この場合  $\mu_c$  が少し小さいにもかかわらず、他の特性がほぼ同じであるのは  $Q$  が大きいためと考えられる。しかし試料 2 についてはスイッチン してからの各特性の変動は L-NB 材に比べて大きく問題がある。これは L-NE

## 5. 損失の分離

損失がトランスの設計に重要であることは前述のとおりであり、この損失を小さくするためには 損失を形成しているヒステリシス 損、ウズ 電流損および残留損の割合、 またそのおのおのの損失と保磁力  $H_c$ 、比抵抗  $\rho$  などがいかなる関係にあるかを知る必要がある。水平出力 トランス のような高い磁束密度で、フェライト としては比較的低い周波数で使用される場合、 残留損は ヒステリシス 損およびウズ 電流損に比べて無視できると考えられる。 この場合損失  $P_T$  は下記のように表わされる<sup>(3)</sup>。

$$P_T = \frac{f}{4\pi} \phi_{\text{loop}} H \cdot dB + \frac{\pi^2 \tau^2 B_{\text{max}}^2 f^2}{6\rho} \dots\dots\dots (5.1)$$

 $\tau$  : 寸法に関する項       $\rho$  : 比抵抗

この式から 1 サイクルあたりの損失  $P_T/f$  のヒステリシス成分は周波数に無関係で、ウズ流成分は周波数の一次関数である。したがって一定の最大磁束密度で周波数を変化して損失を測定すれば、1 サイクルあたりの損失を周波数の関数として表わしたものは、もしそれが

$$P_T/f = K_1 + K_2 f \dots\dots\dots (5.2)$$

という理論的關係に従うならば直線となるはずである。この直線がゼロ周波数で  $P_{\text{eff}}/f$  軸を切る点の縦座標は1サイクルあたりのヒステリシス損  $K_1$  を与え、ウツ電流損と分離することが可能である。

L-NE 材の開発途中に、 $\mu_e$ ,  $H_c$  および  $\rho$  などの異なる試料ができたので、これらを一定の最大磁束密度 2000 gauss で 70 kc までの周波数で測定した。その結果、式 (5.2) を満足するほぼ直線的関係がえられたので上記の関係から損失の分離を行なった。この結果  $\rho$  とウズ電流損の関係を図 5.1 に示す。

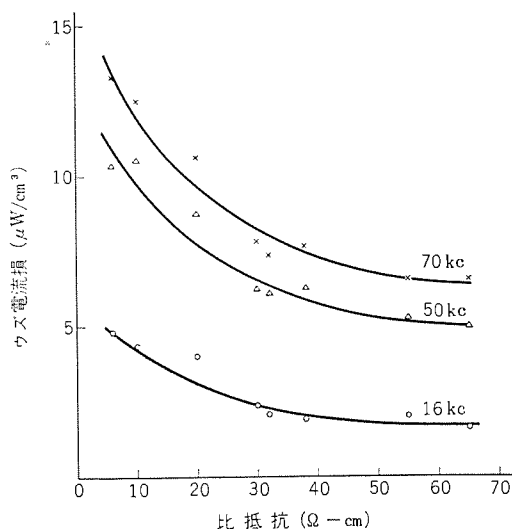


図 5.1 比抵抗とウズ電流損の関係  
Fig. 5.1 Eddy current loss as a function of  $\rho$ .



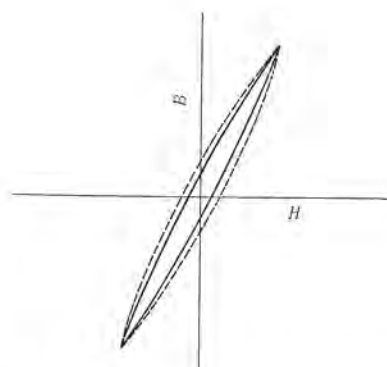


図 5.2 ヒステリシス損と  $H_c$  の関係  
Fig 5.2 Relation between hysteresis loss and  $H_c$ .

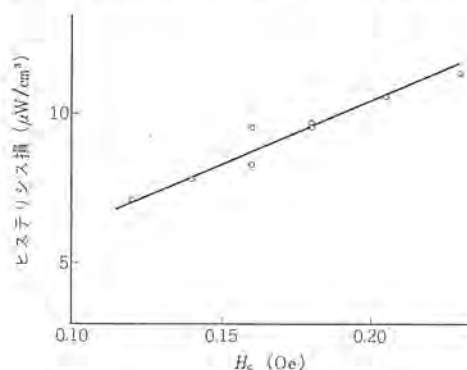


図 5.3 保磁力  $H_c$  と ヒステリシス 損の関係  
Fig. 5.3 Hysteresis loss as a function of  $H_c$ .

ヒステリシス損は B-H 曲線のかこむ面積で表わされ、このヒステリシス損と  $H_c$  との関係は一般的に  $H_c$  が小さければ、この損失も小さいことになる。しかしこの損失と  $H_c$  との関係を直接求めることは困難である。この関係を求めるため、 $H_c$  の異なる試料の磁路に比較的大きいギャップを入れ、起磁力と磁束密度が比例関

係にあり、かつ、最大磁束密度が一定の場合  $\mu_e$  が同じならば図 5.2 に示すような状態にある。したがってこの場合はそれぞれの面積を実験的に  $H_c$  で表わすことができると考え、最大磁束密度 2,000 gauss における  $\mu_e$  がほぼ同じで  $H_c$  の異なる試料を選び、磁路にギャップ 0.2 mm を入れ、ウズ電流損の分離を行ないヒステリシス損と  $H_c$  の関係を求めた。

その結果を図 5.3 に示す。

この  $H_c$  を小さくするためには、見かけ密度と結晶粒子を大きくすればよいのであるが、これは  $\rho$  を大きくすることと一般的には相反することになる。しかし上述の結果から  $\rho$  は 50  $\Omega$ -cm 以上あればよく、 $H_c$  をできるだけ小さくすれば損失は改善されることになる。また  $\mu_e$  を大きくすればよいことはもちろんである。

## 6. む す び

水平出力トランス用コアの材質として新しく開発された L-NE 材の高磁場での特性を明らかにし、この結果をもとにして実際の回路で試験した結果、従来使用されていた L-NB 材に比べて能率は著しく改善され、コアの小形化は約 20 % 可能であることがわかった。

磁束密度は理論値にほぼ近い値になってきたので今後材質の改良すべき点は、損失を小さくすることで、とくに  $H_c$  を小さくすることが望ましい。

L-NE 材を開発するにあたり協力下さった無線機製作所 TV 技術課および大船製作所の関係各位に厚く感謝する。

## 参 考 文 献

- (1) 織田ほか 2 名：磁性材料研究専門委員会資料  
(1961 年 2 月 24 日) 電気通信学会
- (2) 城見ほか 5 名：テレビジョン (上) 日本放送協会
- (3) 尾本・宮本訳：磁気回路と変圧器 (上) 日本放送協会



## ドリルワニスおよび積層品の諸性質

西崎 俊一郎\*・江 藤 昌 平\*  
小 山 二 郎\*\*・坂 井 竜 吉\*\*

## Properties of Doryl Varnish and Doryl Laminate

Central Research Laboratory  
Itami WorksShunichirō NISHIZAKI・Shōhei ETŌ  
Jirō KOYAMA・Ryūichi SAKAI

“Doryl” (Diphenyl oxide resin) is a new high temperature resin developed by the Westinghouse Electric Corporation. Properties of Doryl varnish V-505 and Doryl laminate have been looked into in comparison with class H varnishes in the past and have been found characteristics of aromatic polymer, crosslinked poly(methylene diphenyl oxide). Doryl varnish V-505 is lower in cost than silicone and has a long shelf life, being available diluted with common solvent. Doryl resin has high thermal stability with mechanical and bond strength at high temperature as a class H material. It is impervious to chemicals and solvent attack and has good humidity resistance and excellent dielectric properties with no problem of brush wear unlike silicone.

## 1. ま え が き

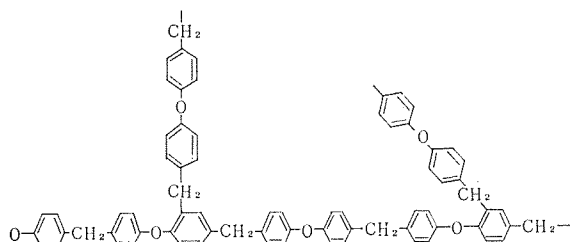
電気機器の絶縁材料として合成樹脂を用いる場合、耐熱性の点においてのみ無機材料にくらべて劣り、用いいる合成樹脂の種類によって機器の耐熱区分が支配され、つねに熱安定性の大きい高分子材料が要望されている。近時アメリカなどではロケット、宇宙船の発展にともない耐熱性高分子の合成の研究が盛んである。

このような熱安定性高分子の一分野として芳香族高分子があげられるが、これは主鎖に導入したベンゼン環が熱的に安定であるという見地にもとづいている。Du Pont社の開発したポリイミドもこれに属し、そのすぐれた耐熱性、フィルム強じん性から、エナメル電線やフィルムとして絶縁材料として応用されているが、ワニスとしては問題があり使用されにくい。

ドリル樹脂はやはり芳香族系高分子に属するもので、Westinghouse社により電気絶縁用として開発された独特な性質をもつ新しい耐熱性合成樹脂であり、安定なワニスとして得られる点で応用範囲が広い。当社でもすでにドリル樹脂の国産量産化に移り、ドリルワニス、ドリル積層品の特性を明らかにしたので、その応用とともに述べる。

## 2. ドリル樹脂

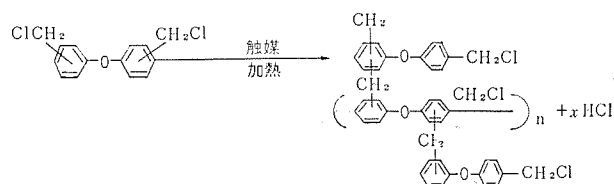
ドリル樹脂の主鎖骨格はジフェニルオキシド(あるいはジフェニルエーテル)をメチレン架橋した芳香族系高分子で、別名ジフェニルオキシド樹脂あるいはジフェニルエーテル樹脂ともいう。



ドリルの名称は Diphenyl Oxide と芳香族の Aryl からとって“Doryl”としたもので、ジフェニルオキシド誘導体を出発原料としたものである。ジフェニルオキシドそれ自身では、ダウサムの名で知られているように熱媒体の主成分で、熱安定性の大きい有機化合物で

あり、また加水分解も受けにくい。

ジフェニルオキシド誘導体を出発物質とする高分子には、すでに Dow Chem 社の Doedens らによって耐熱耐溶性樹脂が発表されているが<sup>(1)(2)</sup>、これはクロルメチル化ジフェニルオキシド (CMDPO) にフリーダルクラフト形触媒を加えて加熱重合を行なったものである。この重合中に発生する塩化水素ガスは、泡状物質の形成として役立ち、この熱硬化性フォーム樹脂は耐熱性、不燃性の点では特異ではあるが、塩化水素ガス発生による金属などの腐食の問題などがあって、とくに電気機器用としては適さない。



ドリル樹脂はかかるガスの発生もなく、ワニスとして安定な形でえられるように独特の合成法によって、電気機器用として研究開発されたものである。したがって、腐食性もなく、いろいろな用途への成形も可能で、耐熱性はもちろん後述のように H クラス (IEEE 180°C クラス) に属するものである。H クラス絶縁ワニスとしては従来シリコン樹脂がほとんどを占めていたが、ドリルはシリコンよりかなり低価格で供給される。これはシリコンが高価なメチルクロルシランを原料とするのに対し、ドリルの原料は前述のようにジフェニルオキシドで、これはフェノール製造の工程 (Dow 法) で工業的に安価に入手しうることによる。

## 3. ドリルワニスの特性

## 3.1 ワニスの一般的性状

ドリルワニス V-505-50 の一般的性状を表 3.1 に示す。

ドリルワニスの不揮発分と粘度の関係は、含浸処理などの作業性に影響がある。図 3.1 に V-505 ワニスの不揮発分と粘度の関係を示した。ワニスはふつうの芳香族溶剤によって希釈でき、含浸用、塗装用に良好な粘度であり、肉付も適当である。ワニス中には不均一触媒を少量含んでいるが、硬化焼付にはほとんど影響しない。ワニスは室温で貯蔵して長期間安定であり、ポリイミドワニスのように低温で貯蔵する必要はない。

硬化の条件は、処理されるものの大きさや所望の特性によって変わるが、硬化時間を長くし、高温で処理したほうが高温特性がよい。一般的には 220°C 6 時間あるいは 250°C 2 時間が必要であるが、急激に焼付の最高温度 200~250°C の炉に入れると発泡などがみられるから、130~150°C で数時間予備硬化したほうがよい。

表 3.1 ドリルワニス V-505-50 の性質

項 目	特 性
樹脂固形分 (130°C 3h)	50±2%
溶 剤	トルエン
粘 度 25°C	100~250 c. p.
比 重 25°C	1.010~1.070
指 触 乾 燥 135°C	10 分以内
ゲル化セットタイム 155°C	3~15 分

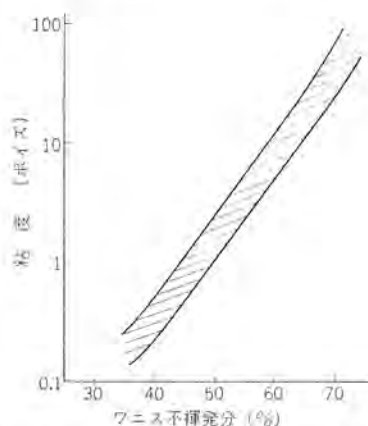


図 3.1 ドリル、ワニス、V-505 の不揮発分と粘度の関係  
Fig. 3.1 Relation between the viscosity and the solid content in Doryl varnish V-505.

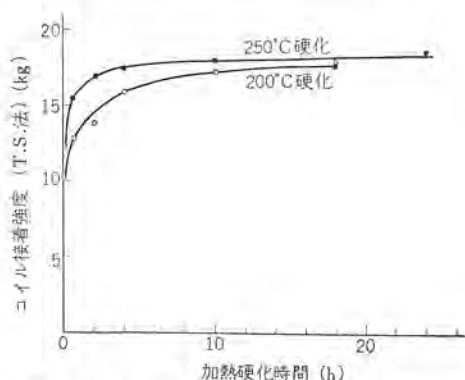


図 3.2 加熱硬化による コイル 接着強度の増加  
Fig. 3.2 Increment of coil bond strength (T. S method) by curing.

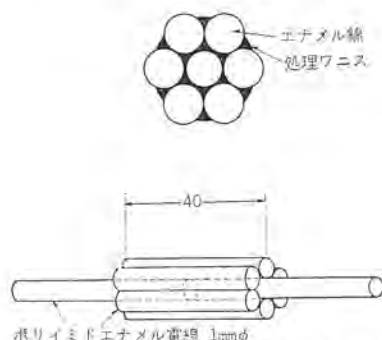


図 3.3 コイル 接着強度測定 試料  
Fig. 3.3 Test specimen of coil bond strength. (Tensile shear method)

200°C および 250°C で硬化したときの、硬化時間と コイル 接着強度の関係を 図 3.2 に示す。コイル 接着強度の測定は、せん断引張り法 (Tensile Shear Method) で、図 3.3 のような、径 1.0 mm のポリイミドエナメル線 (Du Pont ML) の組み合わせにワニスを処理、硬化して、引張り破壊強さを求めた。

また、ゲル化セットタイムの測定により、塩基性汚染では硬化速度は低下するから、ワニス 被処理体は、アミン やアルカリ 性について注意する必要がある。

### 3.2 ドリル樹脂の熱安定性

ドリル樹脂の耐熱性は、後述のように諸性質の熱劣化後の値を比較しても行なえるが、加熱による重量減少の測定は熱安定性の目安としては重要である。これらには二つの方法をとった。一つは熱天びん法で、空気あるいは窒素雰囲気中で樹脂試料を一定昇温速度で加熱していくときの試料の重量を温度に対して自動記録する方法であり、おもな熱分解の行なわれている温度が判明する。

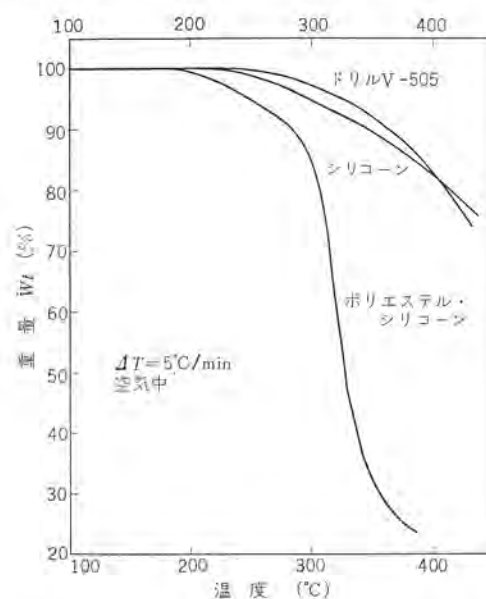


図 3.4 H クラス 樹脂の熱天びん曲線 (空气中)  
Fig. 3.4 Thermogravimetric analysis of class H resins (in air).

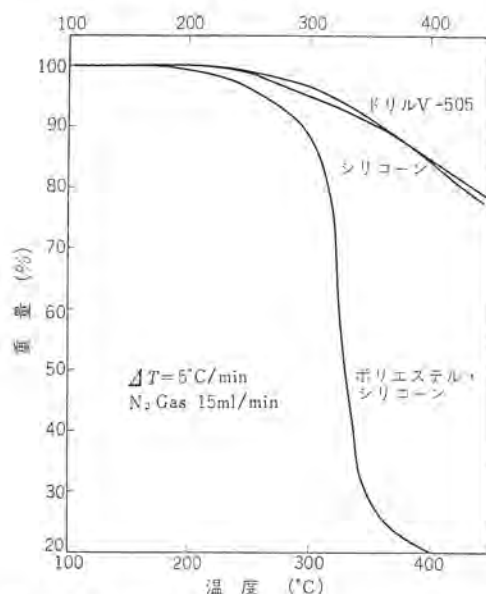


図 3.5 H クラス 樹脂の熱天びん曲線 (窒素ガス中)  
Fig. 3.5 Thermogravimetric analysis of class H resins (in nitrogen atmosphere).



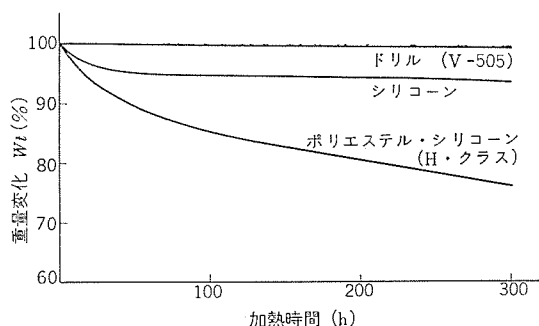


図 3.6 Hクラス樹脂の加熱重量減少 (250°C 空气中)  
Fig. 3.6 Weight decrease curves of class H resins.

表 3.2 直流機のブラシ 損耗率におよぼすワニスの影響<sup>(3)</sup>

ワニス	ブラシ損耗率 (Mil/h)
なし	0.06~0.09
ドリル	0.06
シリコーン	0.15~0.77

ドリル樹脂とシリコーン樹脂(メチル・フェニルシリコーン、代表的な含浸用ワニス)、ポリエステル変性シリコーン(Hクラス、D社)の熱天びん曲線を比較したものが図3.4(空气中)、図3.5(窒素中)である。空气中の熱天びん曲線より、ドリルでは10%の加熱減量に達するのは360°Cで、シリコーンでは340°C、ポリエステル・シリコーンは280°Cであり、とくにポリエステル・シリコーンは300°C付近から急激な熱分解を起こすのに対して、ドリル、シリコーンともにはげしい熱分解は400°C以上で起こる。

さらにほかの一つの方法として、250°C定温における加熱減量を比較したものを図3.6に示す。試料はいずれも250°C4時間処理したものである。これらは熱天びんの結果とも平行してドリル、シリコーンの熱安定性のすぐれていることを示すが、とくにドリルにはシリコーンの場合のような初期加熱減量が存在せず、250°C300時間後でもわずか0.7%の減少しか見られない。シリコーン樹脂絶縁の直流機モータではブラシ、整流子の異常摩耗がみとめられるが、ブラシ損耗率が小さいという結果<sup>(3)</sup>(表3.2)は、これらの加熱時生成揮発物に関連していると考えられる。すなわち、熱安定性の点のみならず、ブラシ寿命が大きく、Hクラス直流モータに用いるときの利点になる。

### 3.3 ドリルワニスのコイル接着強度

含浸ワニスの機能のおもなものの一つはコイル間の接着である。とくにHクラスの電気機器のように高温で作動するものはコイル接着強度の高温特性のよいことが望ましい。図3.7に完全に硬化した(250°C10時間)コイルで、室温および150°Cにおける強度法(T.S)を比較した。ドリルはシリコーンにくらべて高温特性がよい。また250°C、300時間空气中で加熱劣化したあとのコイル接着強度を比較したものは図3.8に示すように、ドリルではその低下が小さい。ドリル樹脂は耐熱性のほかに、すぐれたほかの性質も持っている。すなわち、耐溶剤性(沸とうトルエンに1時間浸セキ後)、耐油性(トランス2号油に室温で浸セキ後)、耐不燃油性(塩化ジフェニル油中、100°C、24時間浸セキ後)、耐水性(100°C、8時間浸セキ後)、耐フロン性(R-22中、室温72時間浸セキ後)、耐アルカリ性(10%NaOH水溶、室温24時間浸セキ)について、コイル接着強度をドリル・シリコーン処理のものについて比較したものが図3.9である。コイルは前と同じくポリイミド線を用いた。

ドリルで硬化したものは、トルエンその他のほとんどの溶剤にお  
ドリルワニスおよび積層品の諸性質・西崎・江藤・小山・坂井

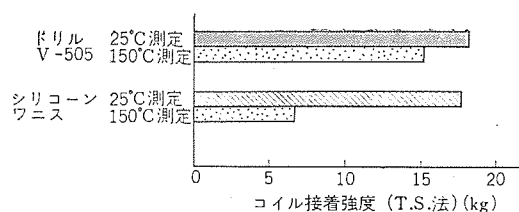


図 3.7 ドリルとシリコーンのコイル接着強度(ポリイミド ML 線)の比較  
Fig. 3.7 Comparison of coil bond strength (ML wire, T. S. method) between Doryl and silicone.

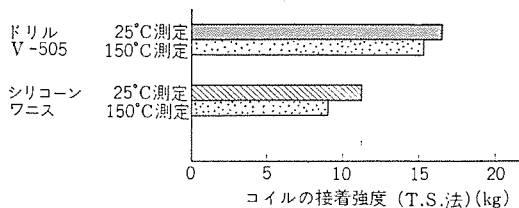


図 3.8 熱劣化 (250°C 300 hrs) 後のコイル接着強度 (ポリイミド ML 線) の比較  
Fig. 3.8 Coil bond strength after heat aging. (250°C 300 h)

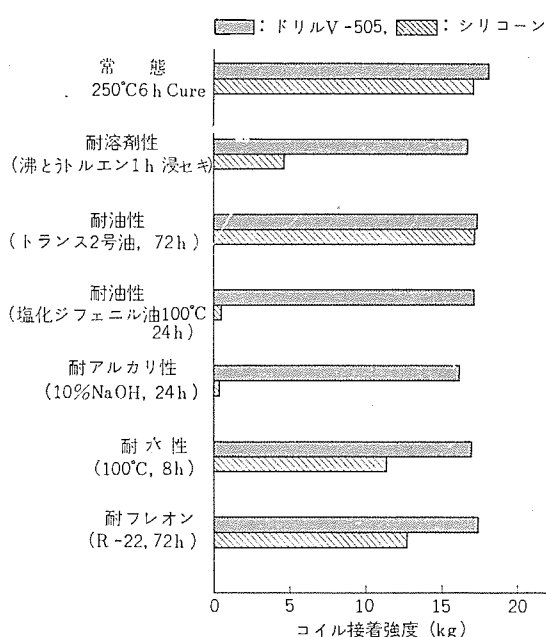


図 3.9 耐化学薬品性の比較 (ML 線接着強度)  
Fig. 3.9 Comparison between chemical and solvent resistance. (by bond strength of ML wire cured by Doryl and silicone varnish)

かされないが、シリコーンではトルエンや塩化ジフェニルのような溶剤、不燃性油ではげしくおかされる。コイルに用いたエナメル線のポリイミドはアルカリに対して、きわめて弱いことはよく知られているが、ドリルワニスで処理すればアルカリ浸セキ後のコイル接着強度は常態の値と変わらないが、シリコーンワニスではこの効果はなかった。ドリルはフロン R-22 に対しても抵抗が大きいことを示し、熱水処理でも接着強度はほとんど低下しない。

シリコーンは従来、耐溶剤性の低いことがもっとも大きな欠点として知られているが、ドリルは耐溶剤性のみならず、耐薬品性でもすぐれ、長所となる。耐溶剤性の問題は、ワニス含浸のくりかえしのときの問題のみでなく、電車モータなど溶剤洗浄の条件にも適する。

ドリルワニスによるコイル接着強度の大きいことは示されたが、その伸張率は従来の含浸ワニスに比較すると小さく約3%でいである。このようなドリル樹脂の特性は、ジフェニルオキシドをメチレン架

表 3.3 ドリル樹脂<sup>(a)</sup>の電気的性質

条 件	体積固有抵抗 $\rho$ ( $\Omega$ -cm)	絶縁破壊電圧 (kV/0.1 mm)	$\tan \delta$ (b) $\epsilon$ (b)
常 態	$3.2 \times 10^{13}$	11.4	0.61 1.81
熱水劣化 100°C, 6 h	$1.4 \times 10^{14}$	9.6	1.85 1.84
浸 水 25°C, 24 h	$1.3 \times 10^{14}$	10.6	1.45 1.86
加熱劣化 250°C, 300 h	$2.6 \times 10^{13}$	12.4	0.4 2.1

注) : (a) 200°C 4h 硬化のもの  
(b) 60 c. s.

橋した芳香族高分子の主鎖剛直性、網目構造などの特性が寄与しているものであり、また耐薬品性のすぐれているのも、アルカリ、酸などのイオン反応により加水分解切断されやすい構造をもっていないからである。これに対し、シリコンのシロキサン主鎖構造は、その分子凝集力、シロキサン結合の高温における加水分解性などで対照的な性質をもっている。

#### 3.4 ドリルの電気的性質

ドリルの樹脂塗膜のみの電気的性質は JIS の方法で測定した。結果を表 3.3 に示す。

250°C 300 時間までの加熱では電気的性質は実質的にはほとんど変化がないといえるし、また熱水、浸水試験の結果からわかるように耐水性もきわめてよい。これはドリルの化学構造とも関連して、加水分解に対して安定なこと、フェノール樹脂にみられる吸湿時の電気的特性の低下原因であるフェノリック 水酸基の存在しないことなどでよく説明できる。

表 4.1 ドリル樹脂積層板の一般的性質

(JIS K 6921 による)

試 験 項 目	単 位	処 理	ドリル積層板	シリコン積層板
比重 (水中置換法による)		常 態	1.75	1.74
吸 水 率	%	50°C で 24 時間前処理 30°C で 24 時間浸水後	0.03	0.11
絶 縁 耐 力	kV/mm	常 態	20.7	10.2
		吸水後(a)	18.4	2.7
		常 態	6.5	3.7
		吸水後(a)	4.6	1.8
絶 縁 抵 抗	$\Omega$	常 態	$2.0 \times 10^{13} <$	$3.0 \times 10^{11}$
		煮沸後(b)	$1.6 \times 10^9$	$7.3 \times 10^7$
		吸水後(a)	$2.8 \times 10^9$	$2.8 \times 10^6$
		吸水後(a)	$2.8 \times 10^{14} <$	$2.8 \times 10^{14} <$
抵 抗 率	$\Omega$ -cm	常 態	$8.4 \times 10^{13}$	$4.2 \times 10^{11}$
		吸水後(a)	$1.5 \times 10^{14} <$	$2.0 \times 10^{13}$
		常 態	$4.6 \times 10^{13}$	$1.1 \times 10^{11}$
		吸水後(a)	$1.1 \times 10^{11}$	
誘 電 体 損 失 (imc)	%	常 態	0.15	0.34
誘 電 率 (1Mc)		吸水後(a)	0.38	4.73
		常 態	3.81	4.39
耐 ア ー ク 性	sec	吸水後(a)	3.83	4.73
		常 態	10~120	180<
曲 げ 強 さ (Flatwise)	L 方向	常 態	32.5	20.0
	C 方向		30.5	18.6
	L 方向		16.4	19.5
引 張 力 強 さ	L 方向	常 態		19.1
	C 方向			
圧 縮 強 さ	Flatwise	常 態	39.7	38.3
	Edgewise		37.4	11.7
衝 撃 強 さ (Flatwise)	L 方向	常 態	91.3	94.3
	シャルピー		59.1 折れず	45.9
アイゾット	kg-cm/cm <sup>2</sup>	常 態		
へ き 開 値	kg	常 態	649	254
熱 変 形 温 度 (66 psi)	°C	常 態	220<	220<
燃 焼 性		常 態	不燃性	不燃性
硬 度 HB 10/500		常 態	46.7	40.8

注) : (a) 30°C 24 h  
(b) 100°C 2 h

## 4. ドリルワニスの応用

上述のようにドリルワニス は含浸用として用いるほかに、積層品への応用も重要であり、板、チューブ、ウェッジなどの形で H クラス絶縁材料として有用である。これらは、ガラスクロス を基材としたものであり、板については現在 1,000×2,000(mm) ていどの大きさのものまで生産可能である。これらの特性を従来の H クラス 積層品シリコンと比較してみた。また、ドリルはガラス 巻電線の処理ワニスとしても用いることができる。

### 4.1 ドリル積層板の一般的性質

ドリルワニス V-505-50 でつくった積層板の特性 (試験法は JIS K 6911) の結果は表 4.1 に示した。全般的に良い結果がえられているが、とくに吸水率や絶縁耐力、絶縁抵抗などの電気的性質およびその吸湿による低下の少ないこと、曲げ強さ、圧縮強さ、へき開値などの機械的強度においてシリコン 積層板よりすぐれているのは、ドリル樹脂の特長というべきであろう。耐アーク性はシリコンのほうがすぐれている。ドリル 積層品は写真(図 4.1)に示すように、ポストキュアの終わったものは表面が黒ないし黒かっ色を呈しているが、これは電気的特性にまったく影響がない。

### 4.2 ドリル積層品の熱的性質

ドリル樹脂のみの熱安定性については 3.2 節で述べたが、ガラス基材の積層品の場合の加熱による重量変化を図 4.2 に示した。ドリル 積層板は空気中で 200°C で約 600 時間でもまったく減少せず、250°C では約 0.5 %の減少である。比較に用いたシリコン 積層板では、220°C 加熱でもこれらより大きい加熱減量を示した。また加熱劣化による寸法変化は図 4.3 に示すように小さい。曲げ強さの 200, 250°C 空気中加熱による変化も、シリコン (250°C) と比較して図 4.4 に示した。ドリルの曲げ強さは約 600 時間まで、この温度の加熱では低下よりむしろ増加気味である。また、曲げ強さの温度特性でも、図 4.5 に示すように、250°C, 30 日加熱し



図 4.1 ドリル積層板、積層管、ウェッジ  
Fig. 4.1 Doryl laminate plates, tubes and wedge.

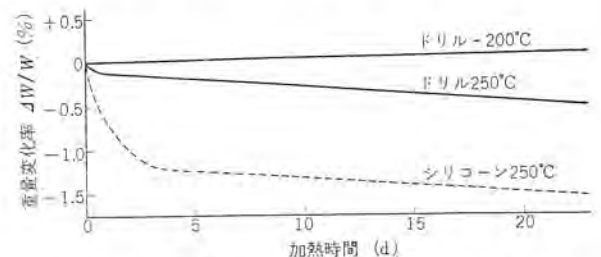


図 4.2 ドリル積層板の加熱による重量変化  
Fig. 4.2 Weight-decrease curve of Doryl laminate at high temperature.



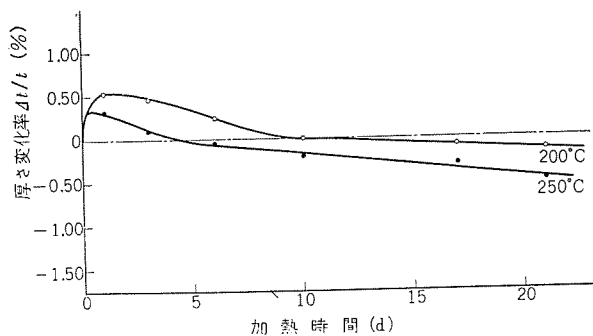


図 4.3 ドリル積層板の加熱劣化による厚さの変化  
Fig. 4.3 Change of thickness of Doryl laminate during heat aging at 200°C & 250°C.

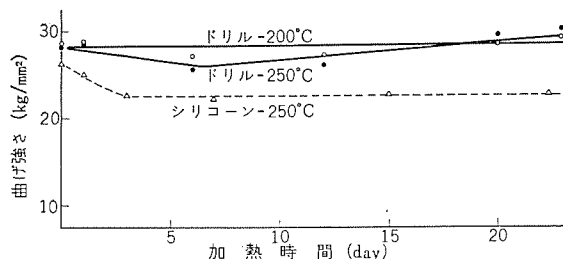


図 4.4 ドリル積層板の曲げ強さの加熱による変化  
Fig. 4.4 Change of flexural strength of Doryl laminate during heat aging.

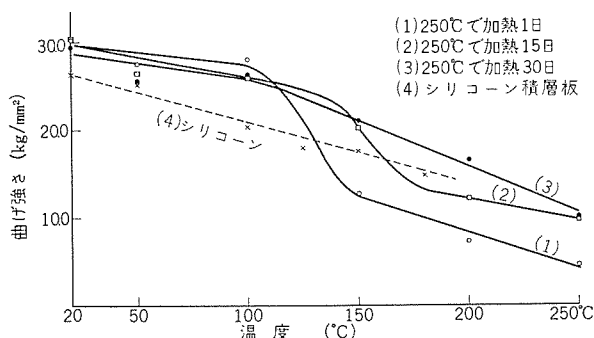


図 4.5 ドリル積層板の曲げ強さの温度特性  
Fig. 4.5 Temperature dependence of flexural strength of Doryl laminate.

たもののほうがよい特性を示すことから、ドリル積層品の熱安定性も十分大きいことがわかる。

ドリル積層品は乾式トランスなどへの応用で、高温で絶縁耐力の大きいことを必要とされる場合がある。ドリル積層板の絶縁耐力の温度特性を図 4.6 に示した。瞬時破壊法と段階破壊法による差は比較的小さく、温度上昇にしたがいわずに破壊電圧は増大する傾向がある。ドリルの絶縁破壊電圧はシリコンよりいずれの温度でも大きい値を示し、H クラス積層板として用いることができる。

#### 4.3 ドリル積層板の耐薬品性、耐溶剤性

すでに述べたようにドリル積層品では、シリコンの耐溶剤性などの欠点がないことが長所となっているが、積層品についても同様の傾向が顕著にみとめられた。各種溶剤、薬品に室温で浸せしめたときの重量変化を図 4.7 に示した。実線はドリル、点線はシリコンをあらわす。シリコン積層板はトルエン、酢酸エチル、メチルエチルケトンに室温で浸せしめると、短時間に膨潤し、ついで層はがれしてしまうが、ドリル積層板では約 50 日後に 3～5 % の重量増加（試片は 10t×20×20）がみられるのみである。

#### 4.4 ドリル積層管の性質

積層管は乾式変圧器のバリヤーとして用いられる。ドリル積層管ドリル積層品および積層品の諸性質・西崎・江藤・小山・坂井

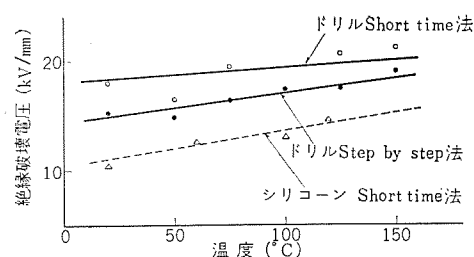


図 4.6 ドリル積層板の絶縁破壊電圧の温度特性  
Fig. 4.6 Temperature dependence of dielectric strength of Doryl laminate.

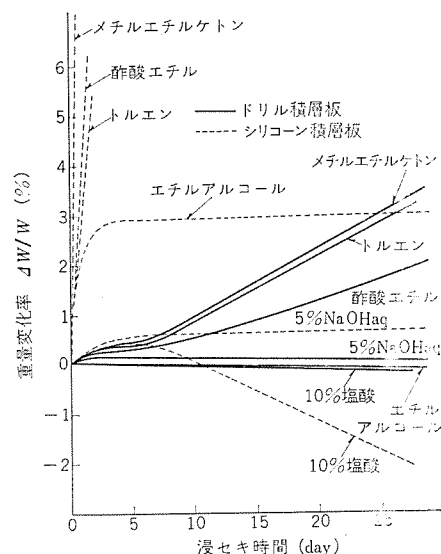


図 4.7 ドリル積層板の耐化学薬品性、耐溶剤性  
Fig. 4.7 Chemical resistance and solvent resistance of Doryl laminate.

表 4.2 ドリル樹脂積層管の一般的性質

試験項目	単位	処 理	ドリル積層管	シリコン積層管
比重(水中置換法による)		常 態	1.76	1.65
貫 層 絶 縁 耐 力	kV/mm	常 態	20.9	5.2
絶 縁 抵 抗	Ω	常 態	$2.0 \times 10^{13}$	$1.4 \times 10^{13}$
		煮沸後	$1.1 \times 10^9$	$4.4 \times 10^5$
		吸水後	$2.0 \times 10^{10}$	$3.7 \times 10^5$
曲 げ 強 さ	kg/mm <sup>2</sup>	常 態	24.7	9.1
圧 縮 強 さ	kg/mm <sup>2</sup>	常 態	6.4	8.0

の性質をシリコンと比較して表 4.2 に示した。一般的性質、とくに電氣的性質においてすぐれていることは、4.1 節で述べた積層管の場合とまったく同様である。

#### 4.5 そのほかの積層品

ドリル・ガラス積層品の切削などの機械加工は比較的容易で、種々の形状のスロットウェッジなども板から作られるが、ドリル・ガラスクロス・プレプレグより直接成形もできる。このウェッジの曲げ破壊強さの加熱劣化 (180°C) による変化は、図 4.8 に示すようにまったく見らず、耐熱性のよいことがわかる。

また、ドリル積層品は、マイカのボンドとしても使用でき、マイカのすぐれた耐熱性、電気絶縁性と合わせて H クラス絶縁材料として有用である。従来のシリコンマイカ板とドリルマイカ板との比較を表 4.3 に示す。

#### 4.6 ドリル・ガラス巻電線の性質

ドリル積層品 V-505-50 によって H クラス 2 重ガラス巻平角線 (H-

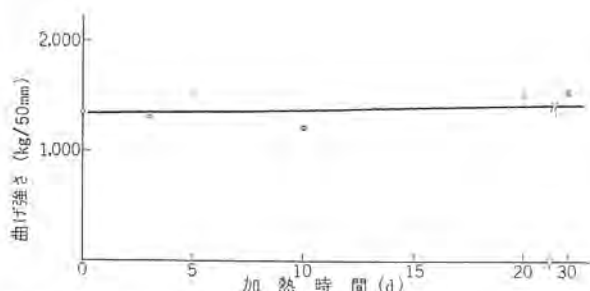


図 4.8 ドリル、ウェッジの曲げ強さの加熱による変化(180°C)  
Fig. 4.8 Change of flexural strength of Dorylglass laminated wedge during heat aging at 180°C.

表 4.3 ドリルガラス、マイカシートの絶縁耐力 (kV/mm)

試験法	試験状態	マイカラップ板		シリコン・ガラス・マイカシート	
		常態	35°C, RH 95% で 96 時間吸湿後	常態	35°C, RH 95% で 96 時間吸湿後
瞬時破壊		36.1	31.0	35.5	31.1
段階破壊		30.8	25.8	31.9	25.1

表 4.4 ドリル・ガラス二重巻銅線の性質

項	目	ドリル H-DGC	規格
仕上外径	厚サ mm	1.395	
	幅 mm	2.980	
絶縁層	厚サ mm	0.145~0.150	0.12 以上
絶縁破壊電圧			
直線部	V	900, 900, 825	400 以上
6 倍径巻付後水銀中	V	600, 600, 600	200 以上
210°C 6 時間加熱後 8 倍径巻付, 水銀中	V	600, 600, 525	200 以上

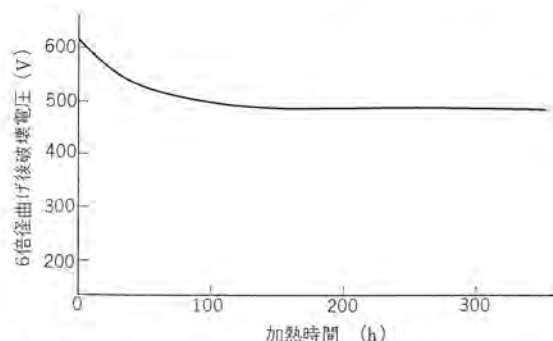


図 4.9 ドリル H-DGC の 250°C 加熱劣化後の絶縁破壊電圧  
Fig. 4.9 Dielectric strength of Doryl H-DGC after heat aging at 250°C.

DGC) を製造することもできる。この H-DGC の特性は表 4.4 に示すようなものである。この H-DGC を 250°C に加熱劣化させたのち、曲げ後水銀中破壊電圧を測定したものは、図 4.9 のような結果になり耐熱性のすぐれていることを示している。シリコンの硬化塗膜の上にほかの樹脂ワニス进行处理するときは、じく性質が強いが、ドリル H-DGC の含浸ワニスとしては、ドリルはもちろんエポキシ、フェノリック、アルキッド、シリコンなどの使用が可能である。

## 5. む す び

新らしく開発された芳香族高分子、ドリル樹脂の耐熱絶縁材料としての特性およびその応用製品、とくに積層品に中心をおいて述べた。これらをまとめると、ドリル樹脂は、

- (1) 耐熱性は H クラスとしてすぐれている。
- (2) 耐溶剤性、耐油性はきわめて優秀である。



図 5.1 乾式トランス用ドリル積層板ワッシャ  
Fig. 5.1 Doryl laminate for class H dry type transformer.

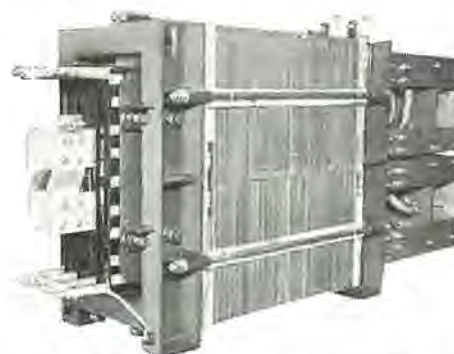


図 5.2 ドリル積層板を用いた H クラス 乾式変圧器 (900 kVA)  
Fig. 5.2 Class H dry type transformer (900 kVA) made of Doryl laminates.

- (3) 耐薬品性、耐水性、酸・アルカリ いずれにも強い抵抗。
- (4) 機械的強度、接着強度とくに高温特性がよい、伸びは小。
- (5) 電気的性質、常態はもちろん熱劣化、吸湿に対して優秀。
- (6) ワニスとして、適当な粘度、肉付け、安定性、安価な溶剤。
- (7) ブラッシュ寿命 シリコン絶縁に対してすぐれている。
- (8) 耐放射線、芳香族系であるのでよく耐える。

などの特性を有して、含浸ワニスとしてのほかに、とくに積層品においてその特性を十分に発揮し、また B-stage の長時間安定である点を利用して、ガラステープ、ガラスクロス、ガラススリーブ、アスベストクロスなどに含浸してラメラレを作ること、マイカ接着ワニスとして用いること、ガラス巻電線処理ワニスとして用いること、などいづれも H クラス電気絶縁材料として広い応用範囲をもっている。

このような材料も上述の特性をあらわし、当社神戸製作所、伊丹製作所のほかで写真 (図 5.1, 5.2) に示すような乾式変圧器、電動機など実用機器へ適用して好結果をえている。今後、H クラス配電用、電力用乾式変圧器、直流電動機などや機器の小形軽量化、電動工具のモータ、油中や燃料ガソリン中で作動するモータ、きびしいなフイ気にさらされる化学工場用機器の絶縁材料として期待される。

ドリル樹脂は原料面で、ジフェニルオキシドを用いるのでシリコンより価格的にも有利であることは述べたが、これらの誘導体の多様性によって、フレキシブルなものや、均一触媒形のものや、硬化温度の改善などに重点をおいた新しいドリルも開発されるものと考えている。

## 参 考 文 献

- (1) J. D. Doedens, H. P. Cordts : I. E. C., 53, 59 (1961).
- (2) J. D. Doedns : 特許公告, 昭 36-4249.
- (3) Westinghouse, "Fact sheet on Doryl" Sep. 20, 1962.



## 絶縁材料としての合成繊維紙

白井 万次郎\*・石井 敏次\*\*

## Synthetic Fiber Paper as Insulating Materials

Itami Works    Manjirō SHIRAI・Toshitsugu ISHII

Study has been made on the properties of synthetic fiber paper on the market used for insulation materials. Test specimens cover several kinds of paper made from Nylon, Vinyon, Tetron, acrylic fiber and aromatic Nylon. Generally speaking, the synthetic fiber paper, absorbing moisture less than cellulose one, makes little in electric properties, but the one on the market is not dense enough and breaks down at lower voltage than cellulose products. As for heat resistance, greatly improved one is coming out gradually. However, it is a little too expensive to permit extensive use for the replacement of cellulose paper. Aromatic Nylon paper of the latest development in America is used for class H insulation with high heat resistance, dense structure and higher breakdown voltage than other synthetic fiber paper and better electric properties even in moisture absorbing state.

## 1. ま え が き

絶縁紙は絶縁油とともに電機工業の初期から使用されている材料であるが、今日においても最も大量に使用される重要な絶縁材料の一つである。これは油含浸絶縁紙が高電圧絶縁材料としてきわめてすぐれた性質の組み合わせをもっており、かつ価格が安いので、その代替品が見だしにくかったからである。しかし紙の材料であるセルローズ繊維には本質的に二つの欠点がある。耐熱性に乏しいことと吸湿性の大きいことである。

絶縁紙は吸湿によりそのすぐれた電気的性質を急激に失なう。使用中の機器に事故がおきればまず絶縁紙の吸湿が問題にされ、機器の製造中は、紙の乾燥、防湿に細心の注意が払われている。吸湿による紙の寸法変化も機器の工作上大きな問題となる。また現在の油入機器では紙の耐熱性が乏しいことが機器の最高使用温度を制限している。ある意味では油入機器はこのような紙の欠点を巧みにさける方向に発展してきたと言える。

最近各種の特殊な繊維を用いて紙を作り、これらの紙の欠点を改良しようという試みが現われてきた<sup>(1)</sup>。これらの新しい紙はアミン添加耐熱紙、改質セルローズ紙および合成繊維紙の三つにわけられる。

アミン添加耐熱紙は製紙の段階において紙に添加剤を加え、紙に耐熱性を与えたもので、これを使用すると機器の使用温度を上げることができる。これは Westinghouse 社で開発され Insuldur 絶縁としてアメリカでは広く使用されており、わが国でも当社がこの方式の絶縁紙を工業的に生産することに成功し、H i L紙と称して数年前より各種の変圧器に使用している<sup>(2)(3)</sup>。

改質セルローズ紙はセルローズ分子中の多数の親水性の OH 基をほかの基と置換してセルローズを改質したものである。現在実用されているのはシアノエチル化紙とアセチル化紙である。シアノエチル化紙は耐熱紙の一種として使用されており<sup>(4)</sup>。アセチル化紙は紙の吸湿性を減じることにより、吸湿による紙の電気的性質の低下を改良している<sup>(5)</sup>。

以上は天然のセルローズ繊維を原料として作った紙であるが、戦後は各種の合成繊維が市場に現われ、これらの繊維を用いて紙を作ることが当然考えられ、各種の繊維を用いた紙が試作された。これらの合成繊維は一般に OH 基のような親水性の基を持たな

いから、紙の吸湿性を減じることができる。また合成繊維のあるものは耐熱性がよいから、耐熱性のよい紙を作ることが期待できる。

合成繊維からシートを作るには乾式と湿式がある。乾式法は繊維と接着剤を混合後シートを形成させ、シート形成後加熱プレスで結合される。作られたものは布のような手ざわりを持ち、布の代用をねらうもので普通不織布といわれている。

湿式法は繊維を水に分散させ、ペーパーマシンを用いて普通の紙と同様な方法で作るもので、作られたものは紙のような手ざわりを持つ。この際ビータでゴウ解されたセルローズはその親水性のため容易に密なシートを作るが、合成繊維は親水基を持たないために繊維の結合がわるく、繊維だけでは紙にならず、結合剤が必要となる。

この結合剤を適当にえらぶことにより、無機繊維を含んだあらゆる繊維から使用目的に応じた多様な紙を作ることができ、ファイバロイと称するところもある<sup>(6)</sup>。しかし一方において紙は本質的に量産されるものであって、かなりの量の需要の見通しが立たなければ工業的に生産することができず、経済性のある工業材料とはならない。

筆者らはこれらの合成繊維紙を絶縁材料として使用することに関心をもち、新しい合成繊維紙が市場に現われるごとに、その電気的性質や耐熱性、耐湿性を検討してきた。この報告はそれらの試験結果をまとめたものであるが、試料は筆者が入手し得たものに限定されている。また入手した時期や試験を行なった時期が異なっていたため、試験項目や試験条件が統一されていないことをあらかじめおことわりしておく。試験方法はとくに断わらない限り、JISC 2111 にしたがって行なわれた。

## 2. ナイロン紙、ビニロン紙

わが国では岡村教授が十年ほど前に合成繊維紙の製法を発明されている。これは湿式法によるもので繊維の結合剤として PVA の短繊維を用いている。この方法により数年前からナイロン紙とビニロン紙が工業的に生産され市販されている<sup>(7)(8)</sup>。このナイロン紙およびビニロン紙の吸湿性をほかの紙とともに飽和吸湿量と相対湿度の関係として図 2. 1 に示した。セルローズ繊維紙に比べるとこれらの紙の吸湿量がかなり小さいことがわかる。ビニロン紙は



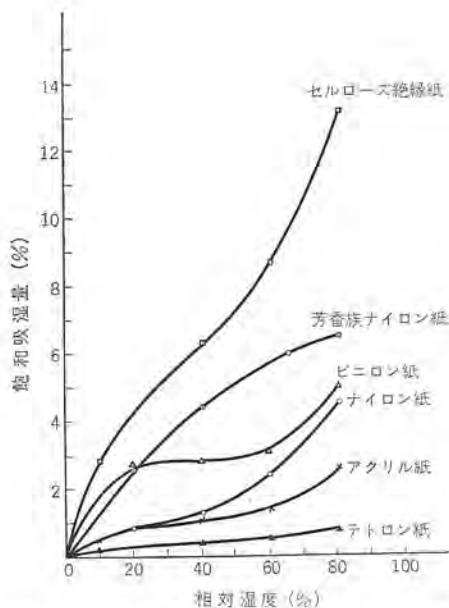


図 2.1 各種合成繊維紙の吸湿量  
Fig. 2.1 Moisture absorption of various kinds of synthetic fiber paper.

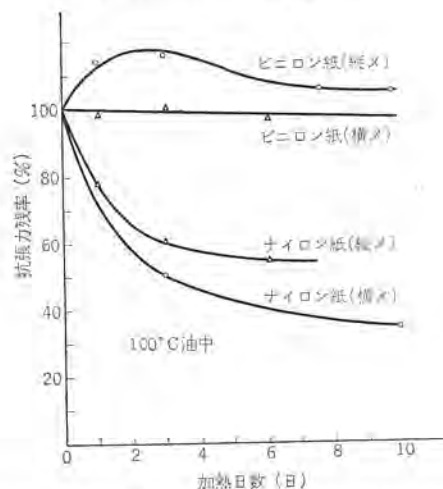


図 2.2 ナイロン紙およびビニロン紙の油中における熱劣化  
Fig. 2.2 Thermal deterioration of Nylon paper and PVA fiber paper in oil.

ナイロン紙より吸湿量が多い。

ナイロン紙・ビニロン紙の油中における耐熱性を比較したのが図 2.2 である。耐熱性の尺度としては普通行なわれているように抗張力残率をとっている。温度 100°C で 10 日間まで加熱を行なった。図に示すようにナイロン紙はビニロン紙よりはるかに耐熱性が劣る。普通の絶縁紙もこの条件ではほとんど劣化しないから、ナイロン紙はセルローズ紙より耐熱性がなく、これだけでもナイロン紙は熱度の上がる機器には使用できないであろう。

これらの紙の油中における AC 破壊電圧（以下破壊電圧の測定はすべて 60c/s AC 破壊電圧である）を示したのが図 2.3 である。試料はあらかじめ各種相対湿度の恒湿装置中に吸湿平衡に達するまで放置し、その後油中で破壊電圧を測定した。ナイロン紙、ビニロン紙の破壊電圧は差がなく、図 3.2 に示したように普通のセルローズ紙に比べればはるかに低い値である。これはこれらの合成繊維紙がセルローズ紙のような密な紙になっていないためと思われる。しかしセルローズ紙の破壊電圧は相対湿度 40% ぐらいから急激に低下するが、ナイロン紙、ビニロン紙の破壊電圧の相対湿度の増加による低下はわずかである。

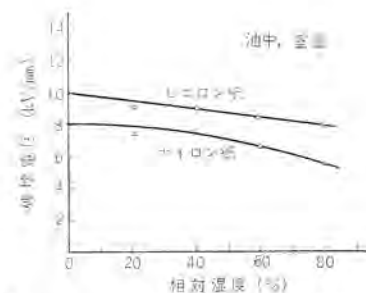


図 2.3 ナイロン紙およびビニロン紙の AC 破壊電圧  
Fig. 2.3 AC breakdown voltage of Nylon paper and PVA fiber paper in oil vs relative humidity.

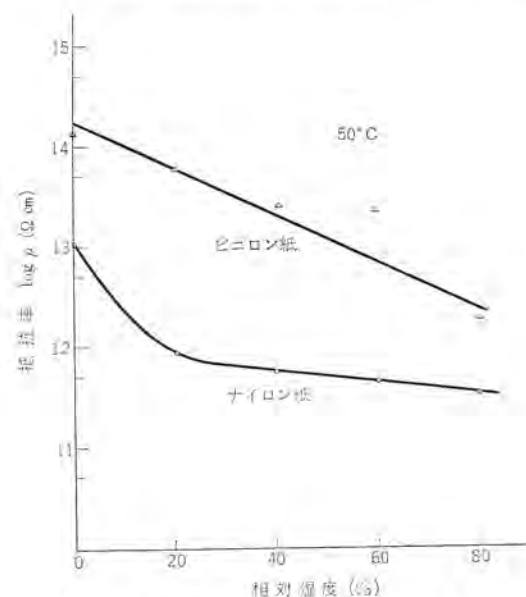


図 2.4 ナイロン紙およびビニロン紙の抵抗率  
Fig. 2.4 Resistivity of Nylon paper and PVA fiber paper vs relative humidity.

ナイロン紙、ビニロン紙の抵抗率は図 2.4 に示すとおりで、セルローズ紙に比べて低い。しかし相対湿度の増加による抵抗率の低下は少ない。ビニロン紙の抵抗率はナイロン紙より高い。一般に合成繊維紙は価格がセルローズ紙より高いのであるが、ビニロン紙の中では安い方で、この点ではビニロン紙は有利である。

### 3. テトロン紙、アクリル繊維紙

テトロンやアクリル繊維もナイロン、ビニロンにならんで衣料用として最も大量に使用されている繊維である。これらの繊維を用いて紙を作るとは当然考えられるが、まだわが国で市販されているものは少ない。入手したテトロン紙は工業的に生産されているもので、これは乾式法により作られている。アクリル繊維紙は製紙会社で試作されたものであるが工業化されているかどうかは明らかでない。アクリル繊維はピータで分解することができ、結合剤を使用しないで抄紙し得るという<sup>(9)</sup>。

これらの紙の吸湿量は図 2.1 に示してある。テトロン紙の吸湿量は筆者らが試験した合成繊維紙の中では最も小さい。相対湿度が増加してもほとんど吸湿量を増加しない。これは防湿されていない状態で使用する場合は大きな利益となる。アクリル紙もテトロン紙に次いで吸湿量が少ない。

またこれらの繊維紙が耐熱性にすぐれていることも知られており<sup>(10)(11)</sup>、その耐熱性を抗張力残率で比較したのが図 3.1 である。これらの合紙紙を 150°C で 7 日間油中および気中で加熱し、



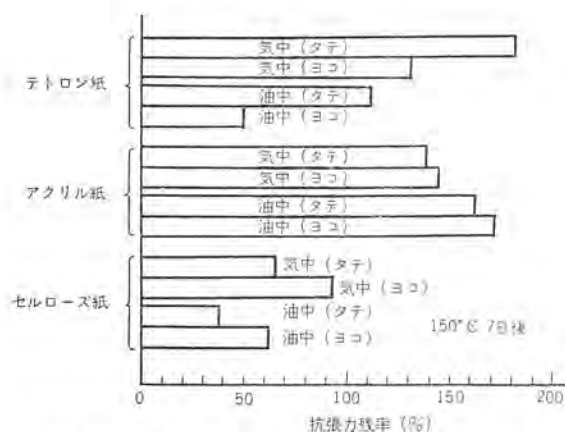


図 3.1 テトロン紙およびアクリル紙の熱劣化  
Fig. 3.1 Thermal deterioration of polyester fiber paper and acryl fiber paper.

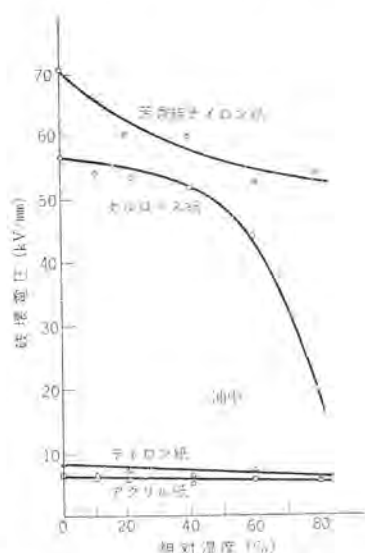


図 3.2 テトロン紙、アクリル紙および芳香族ナイロン紙の AC 破壊電圧  
Fig. 3.2 AC breakdown voltage of polyester fiber paper, acryl fiber paper and aromatic Nylon paper in oil vs. relative humidity.

セルローズ紙と比較している。これらの条件ではアクリル紙は抗張力が増加し、テトロン紙も油中、横メ以外は抗張力が増加している。これらの紙はセルローズ紙より耐熱性がすぐれていることがわかる。

これらの合繊紙の油中の破壊電圧は図 3.2 に示すが、両紙ともナイロン紙、ビニロン紙と大差なく、セルローズ紙の破壊電圧に比べるとはるかに低い。やはりち密な紙となっていないのである。相対湿度の増加による破壊電圧の低下はほとんどない。

図 3.3 はこれらの紙の抵抗率を相対湿度に対して示したもので、セルローズ紙よりも抵抗率は高く、相対湿度の増加による抵抗率の低下はきわめて少ない。

これらの紙の抵抗率の温度特性は図 3.4 に示してある。温度は絶対温度の逆数で示す。乾燥状態にある紙はテトロン紙・アクリル紙・セルローズ紙ともに大差ないが、吸湿状態では3紙の間に差が生じテトロン紙が最もすぐれている。吸湿セルローズ紙は著しく抵抗率を低下する。

図 3.5 はこれらの紙の誘電正接の温度変化を示す。テトロン紙の誘電正接はきわめて小で、相対湿度 60 % で吸湿させた紙でも低い値を示す。セルローズ紙の誘電正接は吸湿状態できわめて大きく、アクリル紙はテトロン紙とセルローズ紙の中間にくる。

絶縁材料としての合成繊維紙・白井・石井

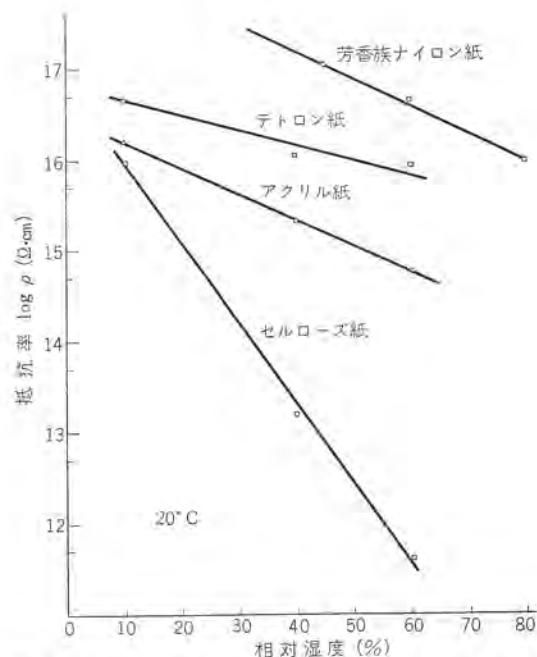


図 3.3 テトロン紙、アクリル紙および芳香族ナイロン紙の抵抗率の湿度特性  
Fig. 3.3 Resistivity of polyester fiber paper, acryl fiber paper and aromatic Nylon paper vs relative humidity.

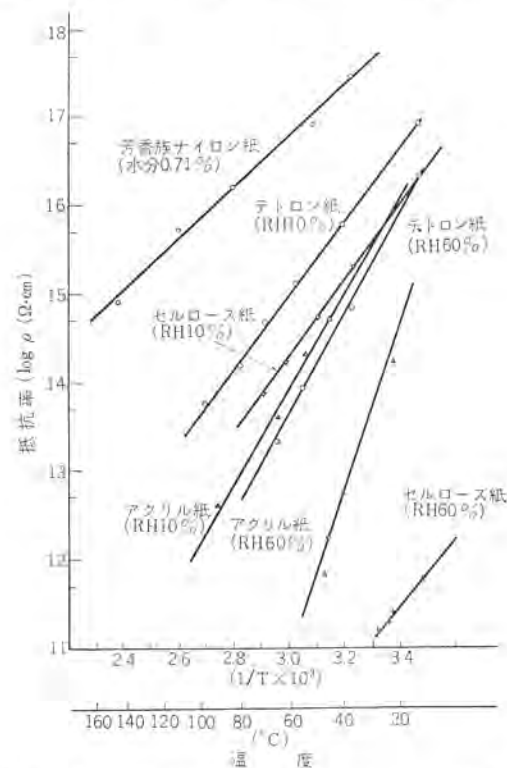


図 3.4 テトロン紙、アクリル紙および芳香族ナイロン紙の抵抗率の温度特性  
Fig. 3.4 Resistivity of polyester fiber paper, acryl fiber paper and aromatic Nylon paper vs temperature.

これらの紙の誘電率を示したのが図 3.6 である。テトロン紙・アクリル紙の誘電率は相対湿度によってほとんど変わらないが、セルローズ紙は相対湿度 40 % より急増する。

テトロン紙およびアクリル紙は吸湿量がきわめて少ないので、セルローズ紙が吸湿によって変化する諸性質がこれらの紙では安定している。このため防湿されてない大気中で使用される絶縁材料として、若干の用途に現在使用されている。絶縁紙としてはもうす

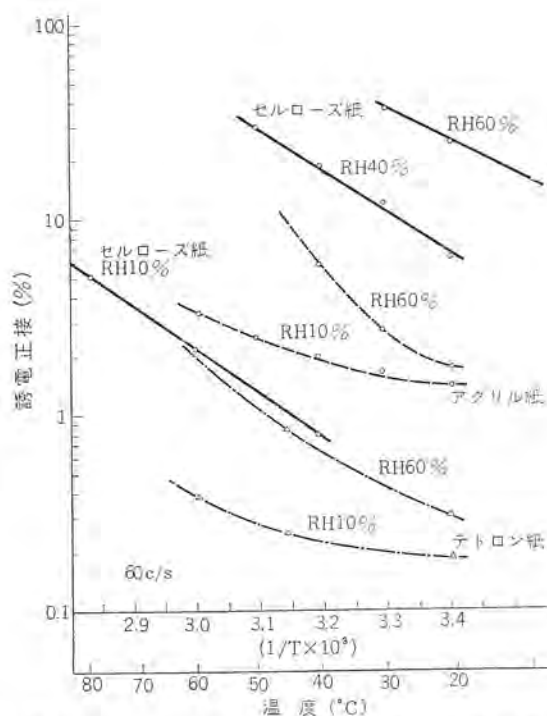


図 3.5 テトロン紙およびアクリル紙の誘電正接  
Fig. 3.5 Tan  $\delta$ (%) of polyester fiber paper and acryl fiber vs temperature.

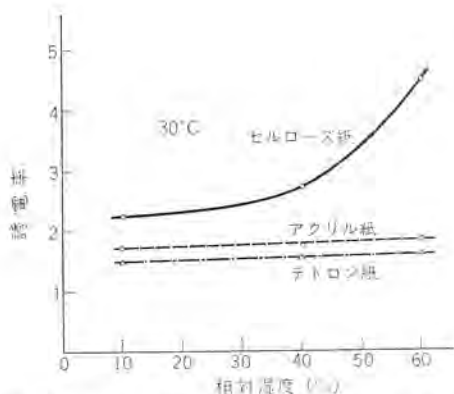


図 3.6 テトロン紙およびアクリル紙の誘電率  
Fig. 3.6 Permittivity of polyester fiber paper and acryl fiber paper vs relative humidity.

こし密な紙ができ、破壊電圧が上昇することが望まれる。価格も現在のところかなり高く、これを用いて積層板を作ってみるとガラス布積層板とあまり変わらないコストとなった。

#### 4. 芳香族ナイロン紙

これまで述べた合成繊維紙を検討してみると、合繊紙は耐湿性や耐熱性にすぐれているとしても価格が高く、セルローズ質の絶縁紙に広く代わることは困難なことがわかった。合繊紙が絶縁材料としての用途を確立するには、さらに耐熱性のすぐれた紙が作られてガラス布に代わる用途が見いだされれば経済的に引き合うのではないかと考えられた。しかし最近H級絶縁の使用に耐える合成繊維紙がアメリカの市場に現われてきた。Du Pont 社からはじめ HT-1 紙として発表され、商品名 Nomex といわれる合成繊維紙がこれである。

最近宇宙開発の進展にともない耐熱性合成樹脂が活発に研究され、どういふ分子構造をもつ樹脂が耐熱性をもつかが明らかになってきた。その一つは高分子の主鎖中に芳香族環をもつ構造で

ある。Nomex の原料繊維はナイロン分子中の鎖状のメチレン基の代わりにベンゼン環がはいったもので、そのため耐熱性が向上し芳香族ポリアミドとも芳香族ナイロンとも呼ばれている。

芳香族ナイロン紙は完全にこれらの芳香族ナイロン繊維から構成され、異なる成分の結合剤とか希釈剤を使用していないと言われる。普通の抄紙機を使用して作られ、広い範囲の厚さと通気性のものが作られている。

アメリカではすでに市販され絶縁材料として使用され始めており、その性質もすでに報告されている<sup>(2)</sup>。わが国にはまだ正式に輸入されていないが、筆者らが入手した試料について若干試験したところを報告する。

芳香族ナイロン紙の吸湿性は図 2.1 に示す。合成繊維紙としては吸湿性がかなり大きいほうである。

この紙の耐熱性をチェックするため 200°C における加熱減量を 300 時間まで測定した。図 4.1 にアミン添加耐熱紙と比較してこれを示す。芳香族ナイロン紙は初めに約 5% の重量減があったあとは重量はまったく変わらず、耐熱性のよいことが期待できる。示差熱分析を行なってみると 350°C 付近に小さな吸熱が見られるから、これが融点であると思われる。このような耐熱性は脂肪族のポリアミドでは期待できないところである。またこの紙は自己消火性である。

この紙の抗張力は普通の絶縁紙よりややすぐれ、自働巻線作業のストレスに耐えることができ、また 250°C で 300 時間まで加熱してみたが抗張力の低下は見られなかった。

芳香族ナイロン紙の油中における破壊電圧は図 3.2 に示す。その破壊電圧は相対湿度の増加とともにいくぶん低下しているが、これまでの合成繊維紙と比べてはるかに高く、セルローズ紙より高い値を示している。この紙は合繊紙としては非常に密な紙となっている。吸湿量はかなり大きいのであるが、高湿度に吸湿平衡させても破壊電圧が急激に低下するということがない。これはこの紙の吸湿量は大きいけれど、その吸湿曲線の形から見てセルローズのように多分子層吸着とならず大部分単分子層吸着となっているため、吸湿しても破壊電圧が急激に低下しないのであろう。

この紙の抵抗率を相対湿度に対して図 3.3 にほかの紙と比較して示してある。芳香族ナイロン紙はきわめて高い抵抗値を示し、そのかなり大きい吸湿量にもかかわらず吸湿量が増加しても抵抗

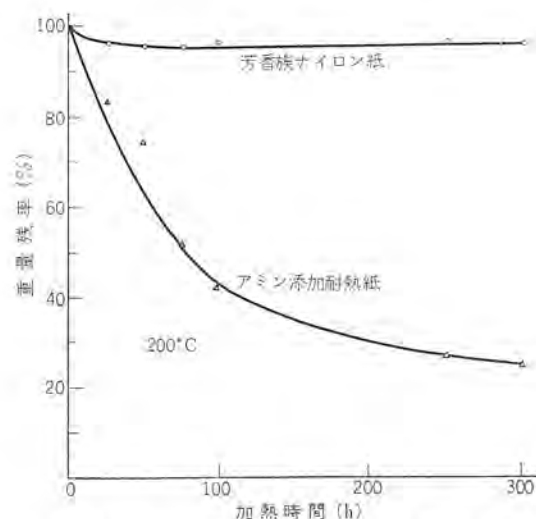


図 4.1 芳香族ナイロン紙の熱劣化  
Fig. 4.1 Thermal deterioration of aromatic Nylon paper



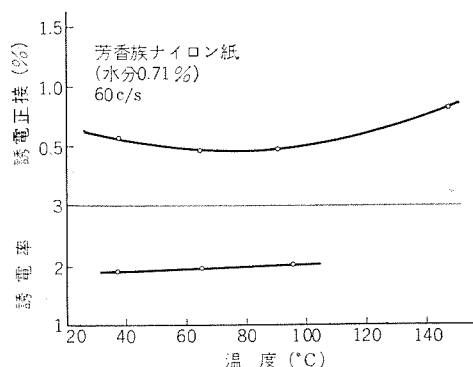


図 4.2 芳香族ナイロン紙の誘電正接および誘電率の温度特性  
Fig. 4.2 Tan  $\delta$ (%) and permittivity of aromatic Nylon paper vs temperature.

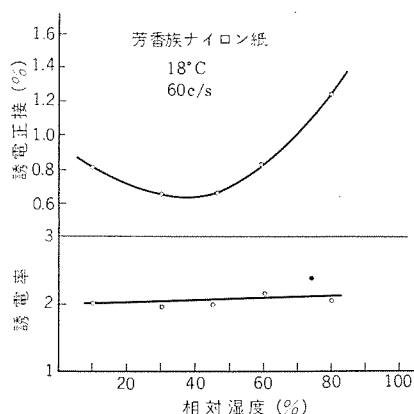


図 4.3 芳香族ナイロン紙の誘電正接および誘電率の湿度特性  
Fig. 4.3 Tan  $\delta$ (%) and permittivity of aromatic Nylon paper vs relative humidity.

があまり下っていないことは注目すべきである。図 3.4 にこの紙の抵抗率の温度特性を示す。温度 150°C においても高い抵抗率を示している。乾燥したこの紙の誘電正接と誘電率を図 4.2 に示す。乾燥状態では 150°C でも誘電正接はかなり低い。誘電率もあまり変化しない。室温における誘電正接と誘電率の相対湿度による変化は図 4.3 に示す。誘電正接はやや増加するが、誘電率は吸湿状態でもあまり変化しない。これはセルローズ紙と吸湿状態が異なることを示している。

以上述べたところにより芳香族ナイロン紙はその吸湿量が比較的大きいにもかかわらずこれまでの合繊紙に比べて電気的性質がすぐれており、そのすぐれた耐熱性から H 級絶縁の絶縁材料と

して適しているから、将来重要な耐熱絶縁材料となることは間違いないところである。近い将来にわが国にも輸入されると言う。

## 5. む す び

以上述べたところにより現在わが国の市場にある合成繊維紙は絶縁材料として次のことが一般的に言えよう。

合成繊維紙はセルローズ質絶縁紙より吸湿性が少ない。したがって吸湿による電気的性質の変化が少ない。しかしこれまでの合繊紙は密な紙が得られず破壊電圧がセルローズ紙より低い。耐熱性は次第にすぐれたものが作られてきた。しかし現状では合繊紙の価格は高く、布の代用としてはよいが広い範囲にわたり紙に代替するのは無理である。耐熱性をもっと向上してガラス繊維製品に代替し得れば絶縁材料として有望である。海外における研究もこの方向に進められてきたが、最近アメリカで開発され使用された芳香族ナイロン紙は H 級絶縁に使用しうる耐熱性をもつ。この紙は密な紙でほかの合繊紙に比べて破壊電圧が高くセルローズ紙に匹敵する。吸湿性が大きいにもかかわらず吸湿状態でも電気的性質が良好である。

合成繊維紙は現在のところセルローズ質絶縁紙に広い範囲にわたって代替するとは思われないが、耐熱処理紙や改質セルローズ紙とともに絶縁紙の選択範囲をいちじるしく拡大したものといえる。合成高分子は進歩の早い分野であるから今後の改良と価格の低下や新製品の出現も期待できる。絶縁材料の使用者としては合成繊維紙は今後も注目すべき分野の一つであろう。

終わりにこの実験に協力された方々に感謝の意を表する。

## 参 考 文 献

- (1) 武：電学誌 465 (1963)
- (2) J. G. Ford : Insulation Aug, 25 (1960)
- (3) 白井, 神谷：「三菱電機技報」36, 516 (1962)
- (4) M. F. Bearvers : AIEE Power & Sys 64 (1960)
- (5) W. Dieterle : Bull, Swiss Elec Chem Inst. No. 22 (1955)
- (6) 林：工業材料 116 (1963)
- (7) 岡村, 稲垣：樹脂加工 509 (1957)
- (8) 三田, 佐伯：紙パ協会誌 44 (1963)
- (9) H. F. Arledter : Tappi 177 A (1959)
- (10) R. C. Berry : Mat Des Eng, Dec. 10 (1960)
- (11) G. R. Traut : Mat Des Eng, Mar. 12 (1962)
- (12) Mat Des Eng, Feb. 12 (1962)

# ダイエポキシ絶縁の機能評価試験

坂田 桂三\*・倉屋 茂\*

## Functional Evaluation Tests of Dia Epoxy Insulation

Central Research Laboratory

Keizō SAKATA・Shigeru KURAYA

Functional evaluation tests have been conducted of Dia epoxy insulated coils in accordance with the AIEE No. 511. For the sake of comparison conventional class B insulated coils for general purpose were added to the testing lot. In the operation four aging factors of heating, voltage application during high temperature, vibration and moisture absorption were applied to the test specimens. As for heating condition, three temperatures such as 160, 180 and 200 deg C were used and 4 days were spent for each cycle of the tests. Measurements were made on the lowering of insulation breakdown voltages,  $\tan \delta$  and insulation resistance during the aging. The test results have proved that the Dia epoxy coils have excellent moisture resistance and electric characteristics. As for heat resistance the Dia epoxy coils are as good as class F.

### 1. ま え が き

機器の運転停止などによる熱的要因が材料の熱膨張係数の差に影響をおよぼし、絶縁材料と導体間などに機械的ヒズミをあたえて層ばなれ、Voidの生成などの電気的劣化を生ずる原因となる。このような現象に、絶縁材料がよく追随し、導体などの接着強度が大であるような絶縁方式を当社ではダイヤラスチック絶縁と称して、約10年の実績がある<sup>(1)</sup>。このダイヤラスチック絶縁の改良については、不断の研究を重ね、絶縁材料、絶縁処理法および絶縁特性などについて、多くの特長を有するダイエポキシ絶縁を開発したことはすでに述べた<sup>(1)(2)</sup>。

この絶縁の特長は、対地絶縁として大きな信頼性を有するはがしマイカを主体として使用しているのは従来と同じであるが、マイカボードおよび含浸レジンは従来のものとまったく異なった材料を使用し、絶縁処理法も独特の方法を用いている。完成後の機器はサーマラスチック特性を十分具備していることはもちろんであるが、さらに耐湿、耐水、耐薬品性がとくにすぐれているものである。

このダイエポキシ絶縁を施した多くのモデルコイルを用い、AIEE No. 511<sup>(4)</sup>に準じた機能評価試験をおこなって性能をしらべた。比較のために従来の溶剤形ワックスを用いた一般B種絶縁を施したコイルを加えて評価をおこない、一部を報告したが<sup>(5)</sup>、今回はそれらの結果を総合して報告する。

### 2. 初 期 性 能

3.3kVの絶縁を施した図2.1の多くのモデルコイルを用い、機能評価試験にはいる前の初期特性を測定した。その一例として、 $\tan \delta$ の電圧特性を示すと図2.2のようになる。絶縁処理法の相



図 2.1 モデルコイルの外観  
Fig. 2.1 Exterior view of model coils.

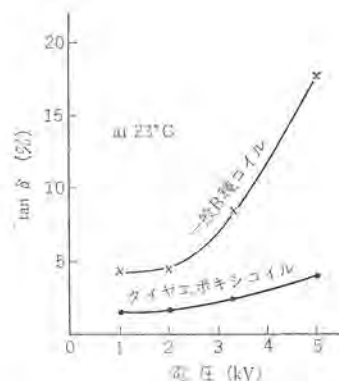


図 2.2  $\tan \delta$  の電圧特性  
Fig. 2.2 Voltage characteristics of  $\tan \delta$  for model coils.

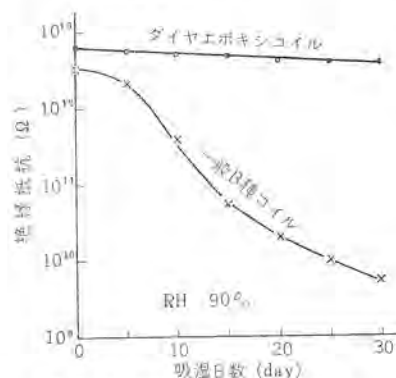


図 2.3 絶縁抵抗の吸湿特性  
Fig. 2.3 Variation of insulation resistance by moisture absorption for model coils before aging test.

違、無溶剤樹脂の特長などにより、ダイエポキシ絶縁が良好であることがわかる。

つぎに、ダイエポキシ絶縁の特長の一つである耐湿性について示したのが図2.3であり、常温相対湿度90%のソウ中に1箇月放置しても、まったく絶縁抵抗の低下が認められない。

### 3. 機能評価試験方法

Formed Coilを用いる機器の機能評価試験法では、AIEE No. 511 がもっとも代表的な方法として内外に認められているが、そ



の詳細な試験項目の個々については多くの問題点が<sup>(6)</sup>含まれており、現在まだ改訂の域にある。

われわれは、AIEE No. 511 の一部を変更した方法を用い、機器の実用状態により近接された条件を加味した機能的な評価試験法を用いた。

3.3kV 級の絶縁を施したモデルコイルを多く用い、加熱、電圧印加、振動および吸湿の四つの老化因子をあてて、予定した老化サイクルにおいて破壊電圧を測定するという方法を用いた。

### 3.1 加熱

絶縁物の老化にあたる最大要因である高温加熱は、AIEE No. 511 では、その組織が属すると考えられる絶縁種別により、加熱温度と加熱日数が設定されており、平均寿命が10サイクルになるように考慮されている。

また寿命評価にはチェック電圧を用いているが、ここでは前述したように絶縁破壊電圧を用いたために非常に多くの試験片を用い、200, 180, 160°C の3点温度でおこない、加熱日数はいずれも4日/サイクルとした。200°C、4日/サイクルはAIEE No. 511 のF種に対する試験条件に一致し、180°C、4日/サイクルはB種の試験条件にそれぞれ相当するので、B、F種いずれの区分も可能となる利点を含んでいる。

### 3.2 電圧印加

No. 511 には老化因子として電圧は考慮されていないが、機器に電圧は欠くべからざるものであるので機能的に試験をおこなうため、高温加熱中、定格電圧たる AC 3.3kV をコイルの導体とスロット（対地）間に印加した。ただし一部の試験片には電圧印加を行わず、その影響を調べることも試みた。

### 3.3 振動

機器に振動は必ず生ずるものであるが、その程度は用途によって異なり、運転中は非常に微弱なものになるよう設計施行されている。加速老化の意味をかねてきびしい振動条件をあてゐることは本来の機能をいつ脱することにもなりかねないので、ここではAIEE No. 511 通り、60c/s、200 $\mu$ p-p、1hの振動を試験片を加熱放冷後加えた。また一部の試験片にはこの加振を除外し、その影響を調べることも試みた。

### 3.4 吸湿

各老化サイクルの最終に40°C、相対湿度100%の湿度つう中に試験片を1日放置し、湿気の浸透をはかって老化の判定を容易ならしめた。

### 3.5 試験片グループ

以上に述べた四つの老化因子を加えたグループをおもに考え、そのほかに電圧印加および振動の影響を分離できるよう、つぎの三つのグループにわけて試験をおこなった。

- (a) グループ……加熱+電圧印加+振動+吸湿
- (b) グループ……加熱+電圧印加+吸湿
- (c) グループ……加熱+吸湿

ただし(a)グループには多くの試験片を用いたが、(b)(c)グループはそれに比べて少ない。

### 3.6 試験項目

老化試験中、予定した時間サイクルにおいて、非破壊特性として  $\tan \delta$  の電圧特性、絶縁抵抗をそれぞれ乾燥状態で測定し、その後40°C、相対湿度100%、1日吸湿後の絶縁抵抗などを測定した。また特定時間サイクルにおいて、吸湿後の絶縁破壊電圧を段階上昇法によって測定し、老化の直接的な尺度とした。

## 4. 試験結果と考察

まず加熱温度200°Cの結果を述べ、160°C、180°Cの結果は200°Cとの相違点を中心に述べることにする。また今後ことわりのない限り、加熱、電圧、振動および吸湿と4個の老化要因をあてた試験片の結果を述べる。

老化中における  $\tan \delta$  の電圧特性の変化を示すと図4.1のようになる。パラメータは老化サイクル数を示してある。図2.1と同

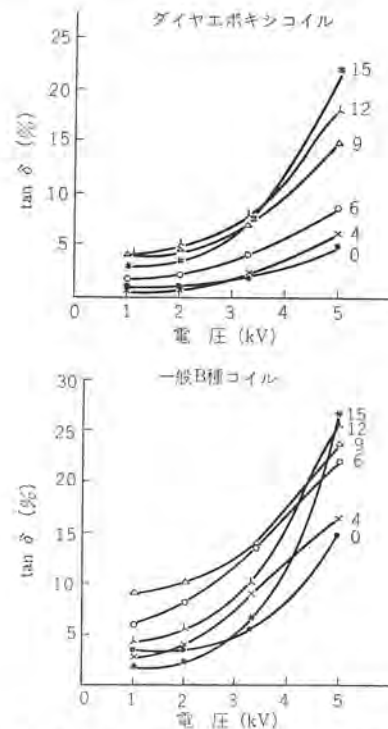


図 4.1 200°C 老化中の  $\tan \delta$  電圧特性  
(パラメータはサイクルの数)  
Fig. 4.1 Voltage characteristic of  $\tan \delta$  for model coil in 200°C heat aging.

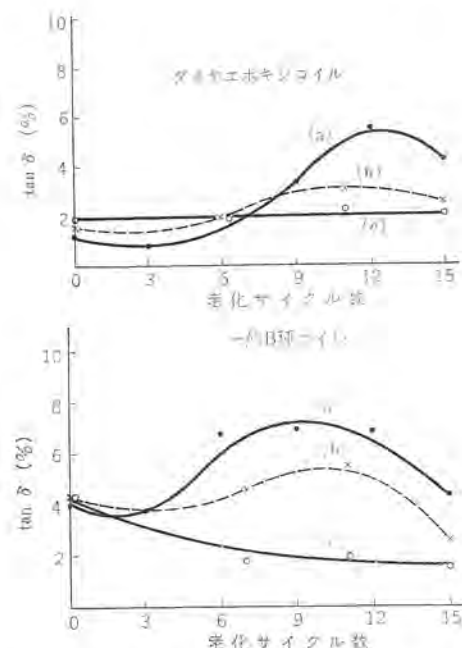


図 4.2 老化因子の相違による老化中の  $\tan \delta$   
Fig. 4.2  $\tan \delta$  characteristics in 200°C heat aging by various aging factor.

様B種 コイルの  $\tan \delta$  電圧特性は老化中において、いずれの サイクルでも大きな変化を示すが、ダイアエポキシコイルは6サイクルまで顕著な変化はない。

160°C, 180°C の場合もこの傾向は同様で、ダイアエポキシコイルと一般B種 コイルの  $\tan \delta$  絶対値の差はさらに顕著であった。

つぎに老化因子の相違によって、非破壊の特性がどのように変わるかは興味のある問題である。いろいろの特性を調べたが、もっとも顕著に相違していたのは  $\tan \delta$  であり、その様相を図 4. 2 に示す。ここで

(a) は4個の老化因子(熱, 湿気, 電圧および振動)をすべて加えたもの

(b) は振動因子を省いたもの、すなわち熱, 湿気および電圧を加えたもの

(c) は電圧, 振動の両因子を省いたものである。これらはすべて測定電圧 1 kV でおこなった値を示してある。この結果から

(1) (a), (b) の差, すなわち振動の影響は比較的少ない。

(2) (b), (c) の差, すなわち電圧の影響は、一般B種 コイルにおいて顕著にあらわれており、ダイアエポキシコイルでは比較的少ない。

(3) (c) に示した加熱と吸湿の繰り返しだけによる老化においては  $\tan \delta$  の変化がもっとも少ない。

絶縁材料の老化にあたえる種々の因子のうち、熱要因はもっとも大であると思われるにもかかわらず、コナ開始電圧以下の測定電圧における  $\tan \delta$  は材料の性質をあらわしていると考えれば、加熱老化のみによる材料の変質程度は  $\tan \delta$  では検知できないことになる。なお 加熱と吸湿の老化のみでは、コナ開始電圧以上の電圧でも  $\tan \delta$  が初期値とあまり変わらないデータも得ている。

つぎに 200°C 老化中の絶縁抵抗の変化を示すと図 4. 3 のようになる。すなわち乾燥状態においては、ダイアエポシ、一般B種 コイルとも初期値をそのまま維持して変化がないが、相対湿度 100 % に1日保ったあとでは、後者の試験片はかなり低下を示すようになるが、前者のダイアエポキシコイルはそのようなことがなくその特長をいかに発揮していることがわかる。

160°C, 180°C の場合は、この絶縁抵抗の低下が それぞれの試料中でもかなりばらついており、明確な差は生じなかった。

この原因として考えられるのは、相対湿度 100 % の調湿中、露を結ぶ可能性が大で、試験片個々の吸湿状況が相違することに基

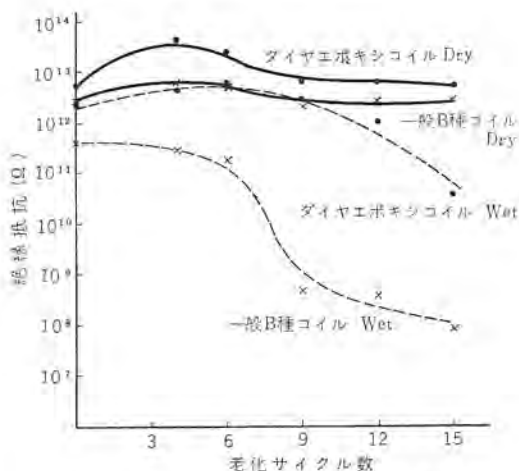


図 4. 3 200°C 老化中の絶縁抵抗の変化  
Fig. 4.3 Variation of insulation resistance for model coil in 200°C heat aging.

因するものと考え、相対湿度 90 % ぐらいが調湿に最適と考えられるが湿気の浸透にかなりの時間を要することになる。AIEE No. 511 の最近の改訂経緯でも、吸湿状態に検討の余地が報ぜられているというのも、このような理由が一原因と考えられる。また絶縁抵抗の低下は、老化に対する明確な尺度となり得ないと報じているのも興味を引く問題である。

そこで 200°C, 15 サイクル 老化後の試験片を用い、常温、相対湿度 90 % のフイ気中に放置した場合の絶縁抵抗の変化を追跡すると図 4. 4 のようになり、明らかにダイアエポキシコイルの特長がつかめる。図 2. 3 に示した老化前の吸湿特性と対比すればなお明確である。考化サイクル途中においては、このようにやや長期の吸湿

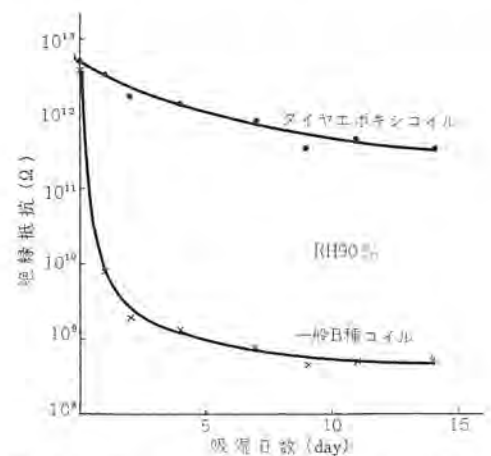


図 4. 4 200°C, 15 サイクル 老化後の吸湿絶縁抵抗  
Fig. 4.4 Variation of insulation resistance by moisture absorption for model coils after 15 cycle heat aging at 200°C.

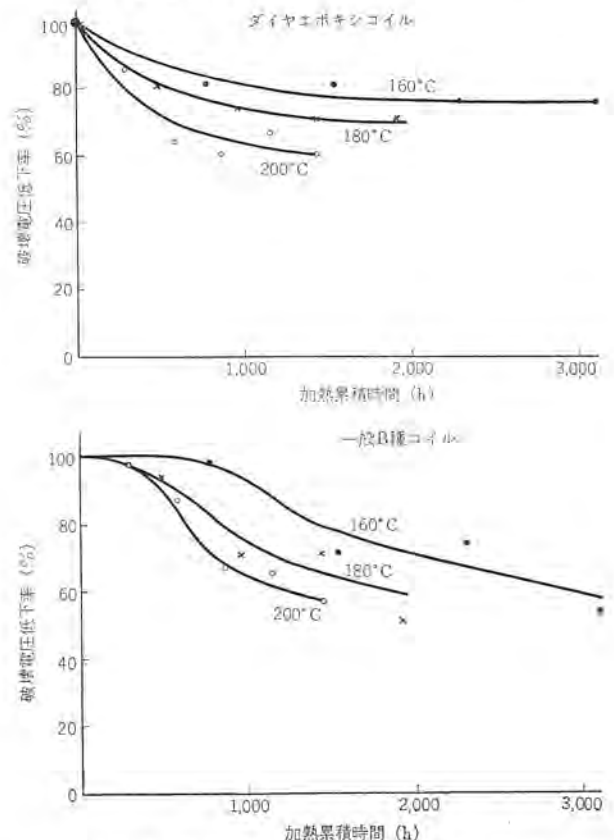


図 4. 5 老化による破壊電圧の変化  
Fig. 4.5 Variation of break down voltage of model coils by aging test.



特性をとることは不可能に近いのが難点である。

つぎに老化による絶縁破壊電圧の低下を段階上昇法で測定し、初期値に対する低下率で示したのが図 4.5 である。ヨコ軸は、各加熱温度における加熱累積時間をとってある。

ダイエポキシコイルの破壊電圧は、一般 B 種 コイル のそれにくらべ良好な結果を示していることがわかる。AIEE No. 511 では、このような破壊電圧を測定するのではなく、チェック電圧を印加して、破壊時間を求めるので、試験片数が少なくすみ、かなり容易に寿命時間が求まるけれども寿命に達するまでの破壊電圧の経緯がわからない難点がある。しかしここで用いた方法では、予定した時間サイクルで破壊してしまうので、かなりたくさんの試験片数が必要であるが、老化途中の破壊電圧低下の経緯がわかる利点がある。

しかし図 4.5 に示すように試験した老化時間内では破壊電圧値がまったく高く、温度と寿命時間の関係曲線の設定が困難であった。ここに用いたモデルコイルは 3.3 kV 級であるので、AIEE No. 511 のチェック電圧は 4.5 kV である。AIEE では、この電圧で平均寿命サイクルが 10 サイクルにはいるように加熱温度や加熱時間が設定されてある。

われわれが用いた 180°C、4 日/サイクル は B 種に、また 200°C、4 日/サイクル は F 種にあてはまることは先にのべたが、これをダイエポキシコイル、一般 B 種 コイル にあてはめてみてもはるかに破壊電圧値は高く、一般 B 種 コイル ですら B 種 よりもかなり高い程度の耐熱寿命を持っているといえる。なかでもこの試験においては、AIEE No. 511 にはない高温老化中 3.3kV の電圧を印加しているにもかかわらず、耐熱性が高いということから考えて No. 511 のチェック電圧は低く過ぎるといえよう。またダイエポキシコイルは F 種に軽くはいることが容易に推察される。

なお データ は示さなかったが、振動要因および電圧要因を省いた試験片の破壊電圧は 4 個の要因を荷した試験片のそれにくらべほとんど相違がなかったことを付記しておく。

## 5. む す び

当社で開発したダイエポキシコイルの機能評価試験を、加熱 160°C、180°C、200°C それぞれ 4 日/サイクル、高温加熱中 AC 3.3kV 印加、振動 60 c/s、200 $\mu$ p-p、1 h および 40°C、相対湿度 100 % 1 日吸湿というかなりきびしい試験条件で遂行した結果、その優秀性を立証できた。すなわち

(1) 老化前後の  $\tan \delta$  の電圧特性、耐湿性ともにダイエポキシコイルは良好であった。

(2) 老化後の  $\tan \delta$  値には、電圧要因の影響が一般 B 種 コイルにおいてあらわれているが、ダイエポキシコイルは比較的すくない。

(3) 老化の尺度として、相対湿度 100 % の吸湿を試験片にあえたあと絶縁抵抗を採用することは困難である。

(4) 絶縁破壊電圧の低下から耐熱寿命を評価すると、ダイエポキシコイルに F 種以上に、一般 B 種 コイル は B 種 以上の耐熱性がある。また AIEE のチェック電圧値は改訂する必要がある。

終わりに研究を遂行するにあたり、当社長崎製作所、中央研究所の関係者各位に絶大なご指導、ご援助をいただいたことに関し深く謝意を表わす次第である。

(昭 41-5-12 受付)

## 参 考 文 献

- (1) 石黒、伊佐山：「三菱電機」30, 329 (昭 31)  
伊藤：「三菱電機」32, 1521 (昭 33)
- (2) 穴山、伊藤、岡橋、伊藤：電学四連大、(昭 40-277)
- (3) 穴山、伊藤、岡橋、伊藤：「三菱電機技報」39, 9, 1965
- (4) AIEE No. 511 : Proposed Test Procedure for Evaluation of Systems of Insulating Materials for Electric Machinery Employing Form-Wound Pre-Insulated Coils. (Oct. 1956.)
- (5) 坂田、倉屋：電学四連大、昭 41-327.
- (6) AIEE CP 65-227 : Presentation of Revised AIEE No. 511 for Discussion.

## 防食絶縁

伊藤 公男\*・寺谷 宏\*・岡橋 和郎\*  
福島 二郎\*・村上 貞利\*

## Anticorrosive Insulation

Central Research Laboratory Kimio ITÔ・Hiroshi TERATANI・Kazuo OKAHASHI  
Jirô FUKUSHIMA・Sadatoshi MURAKAMI

When electric apparatus are operated in a corrosive atmosphere, it is regarded as safe measures to build them enclosed units, but there still remain some problems unsolved. If open type machines are placed in the same atmosphere, insulation materials used for them and treatment on them need careful consideration. To treat them with anticorrosive varnish or thixotropic resin is considered appropriate as well as a mold method. Of various varnishes Dia-epoxy insulation is excellent and so is the thixotropic resin. If anticorrosiveness is made much of, the thickness of the insulation plays a part and must be made above a certain value, while to provide a necessary thickness it can only be attained by employing the mold method. This article describes actual examples with illustrations.

## 1. ま え が き

電気機器の応用範囲は広い。そのために機器のさらされるフンイ気、使用条件は多種多様である。このような使用個所についてすべて同一に取り扱うことはむずかしい。電気機器の故障の最大原因は絶縁部の損傷といわれているが、実際の使用フンイ気に対してとくに適する絶縁材料の検討が必要となる。絶縁材料の劣化現象は複雑であり、かつ劣化条件によってその損傷度合いの異なるのは当然である。すなわち化学工業などの腐食性フンイ気の場合、最近の問題となっている空気汚染ジエーの多い場合などその例は多い。もちろん金属材料部分も腐食の対象となるわけであるが、ここでは絶縁材料について検討する。

## 2. フンイ気と材料

## 2.1 腐食性フンイ気

電気機器がどのような腐食性フンイ気（溶剤の場合は腐食といくぶん異なるが以下同一表現を用いる）、条件で使用されているかなどについては電気学会の調査報告<sup>(1)</sup>に詳細発表されている。

化学工業におけるフンイ気の種類・濃度・温度・湿度などについて示されているが、大別してアルカリ性・酸性・酸化性・還元性・各種有機溶剤などのガス・飛まつフンイ気となり、特殊な場合には浸せきして使用されることもある。腐食の度合いは濃度、温度はもちろん水分、酸素の共存が大きく影響することが考えられる。

すなわち防食の対策としてはこれらの要因をまず確かめることが重要である。しかし操業後ある期間を経た産業分野においては経験的に腐食の実態がわかり対策も考えられているが、これらの実状をはっきりとはあくすることはなかなかたいへんである。そこでこれらの試験方法としては、最もカ酷な条件として直接浸せき法が一般的に行なわれている。この結果が実際の条件の何倍のカ酷さであるかという点については今後の研究に待つところが多い。

## 2.2 防食絶縁材料

一般の絶縁材料として具備すべき条件をそなえて、かつ腐食条件に耐える材料を絶縁部に使用すればよいのは当然で、まず有機材料の耐食性を検討する必要がある。現在のところこれらの試験法としてはつぎのような方法が考えられている。

## (1) 浸せき法

## (2) フンイ気暴露法

## (3) 電気特性追跡法

すなわち最も一般的に行なわれているのが、浸せき法とフンイ気暴露法であり、ASTM<sup>(2)</sup>では酸、アルカリなどの11種類の標準液と8種類の補助液を規定しており、浸せき温度は23°Cを標準としているが、50°C、70°Cの高温条件の試験も必要であるとしている。

フンイ気暴露法においては使用されるガス濃度あるいは促進するために濃度の高い状態に放置することは実際の使用条件と近い方法であるが、塩水噴霧試験<sup>(3)</sup>のように各種の腐食性霧状態の中で腐食劣化させることも考えられている。もちろんこのような腐食を行なったのちに重量、寸度、抗張力、伸び、外観など各種物性の経時変化をしらべることによって変化がわかる。表2.1に外観変化の代表例を示したが、電気絶縁材料として絶縁処理の可能な点および使用耐熱温度区分を考えると非常に限定されてくる。さらに電気特性の変化が大いに影響するので、この変化を追跡することが考えられる。

絶縁材料自体または絶縁組織として電気特性とくに絶縁抵抗の変化を試験することによって劣化の程度がわかる。溶剤系の場合は水銀留を適時絶縁材料上において、経時変化を連続測定するこ

表 2.1 各種樹脂の耐薬品性

薬品	ポリエス テル	エポキシ	シリコン	アルキ ド	ポリエチレン
弱酸	○	○	○	○	○
強酸	△	×	×	△	△(酸化性酸×)
弱アルカリ	△	○	△	△	○
強アルカリ	×	△	○	×	○
有機溶剤					
アセトン	×	×	△	×	○
エチルアルコール	○	○	○	○	○
トリクレン	×	△	×	×	△(60°以上×)
トルエン	△	○	×	△	△(「」)
ベンゼン	△	○	×	△	△(「」)

注：○ 良好、△ やや良好、× 弱



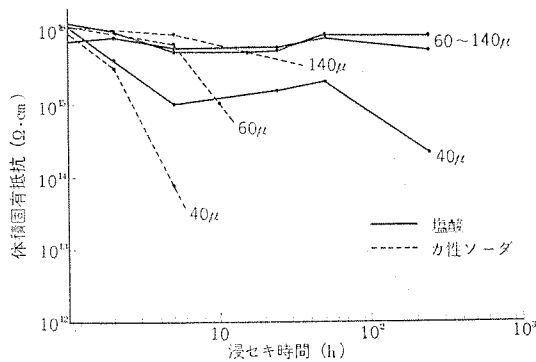


図 2.1 絶縁材料の膜厚と耐薬品性  
Fig. 2.1 Relation between the insulation thickness and chemical proof properties.

とができる<sup>(4)</sup>。しかし酸、アルカリなどの場合は、電解質の付着による表面漏れの問題があり一定条件で水洗してただちに測定する方法が考えられる。また絶縁材料のトラッキングについては、たえず電界が加わっており表面が汚染された状態として考えると、IEC などの電解液の滴下法による電解液を変化させることや、腐食後の試料について試験することなどによる比較法も考えられる。つぎに膜厚の影響も相当大きく図 2.1 に示したように、ある一定厚さ以上でないとピンホールの除去が困難であり、耐食性を比較することができないのは当然である。

### 3. 防食絶縁

静止器と回転機を対象として考えると静止器の場合は絶縁部分が露出してないところは防食塗料の塗布ということになり、露出している場合でも回転機の材料と同じように考えればよい。

#### 3.1 密閉形方式

絶縁部分を防食性をもったケース中に密閉する方法で、普通の密閉形とキャンド方式があり、絶縁材料としては従来からの品種を用いることも可能であるが、機器の運転-停止時の加熱冷却にもなるシール部リード線部分からの呼吸作用などを考慮して、腐食原因に対応した防食性のある材料を使用する。構造が複雑となり価格も高くなるのをまぬがれないが、開放形に比しより完全な性能を期待できる。この方式の特殊タイプとして、爆発性のガス雰囲気中에서도安全に使用できるように設計された防爆形機器があり、金属の腐食などの問題を除けば防食絶縁としても完全な性能を発揮しうる。

#### 3.2 開放形方式の絶縁処理

絶縁材料として防食性のすぐれた材料を使用することが第一の条件となる。エナメル電線が非常に耐食性であれば防食処理の必要はなく理想的ではあるが、そのような材料がないこととエナメル膜厚を厚くすることには占積率の問題があり、空気に腐食性の液体が残留すること電圧の高い場合はコロナの発生などが起こり、やはり絶縁処理をして被覆する必要がある。この被覆絶縁処理にはつぎのような方法が考えられる。

- (1) 防食性ワニス処理
- (2) 揺変性レジン処理
- (3) モールド方式

もちろんこれらの組み合わせ処理方法も考えられる。たとえば揺変性レジンでコイル外周を塗布しワニス含浸処理を行なう方法、またはその反対の処理方法などであるが、これらの適用はいずれも機器の容量、使用条件などによって決められる。

防食絶縁・伊藤・寺谷・岡橋・福島・村上

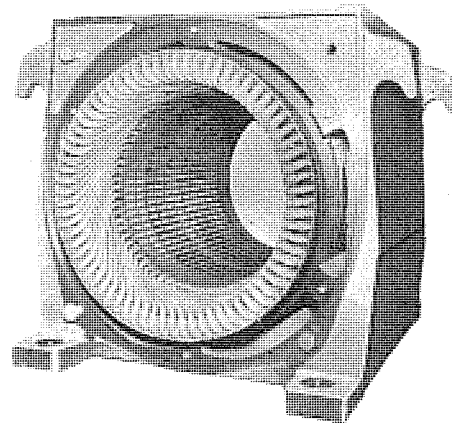


図 3.1 ダイアエポキシ絶縁 (600 kW)  
Fig. 3.1 Dia epoxy insulation (600 kW).

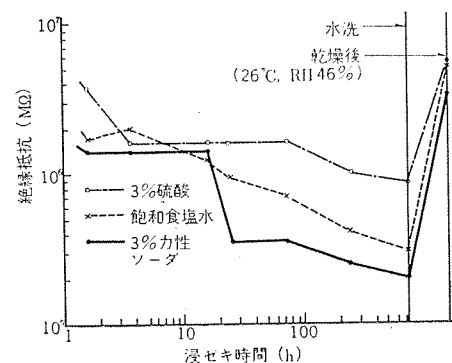


図 3.2 ダイアエポキシ絶縁の耐薬品性  
Fig. 3.2 Chemical-proof properties of Dia epoxy insulation system.

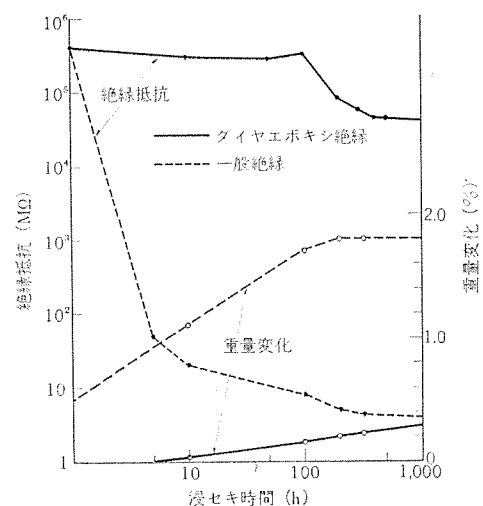


図 3.3 ダイアエポキシ絶縁および一般絶縁 モデルコイルの耐溶剤性 (溶剤 MEK)  
Fig. 3.3 Solvent-proof properties of model coils of Dia epoxy insulation and general insulation systems.

防食性ワニス処理の例として図 3.1 に 600 kW-4 P の固定子を示した。これはダイアエポキシ絶縁<sup>(6)</sup>と称しすぐれた特性をもっている。図 3.2 にモデルコイルを使用して各種薬品に浸せしめたときの絶縁抵抗の変化を示した。1 個月浸せし後においても水洗すれば完全に復元するということは、適当な補修時期に水洗処理を行えば付着した腐食物、ジンアイなどの除去が容易に行なうことを示している。また図 3.3 に有機溶剤中に浸せしめたときの結果を示したが、いずれもすぐれた特性を有することがわかる。



図 3.4 揺変性エポキシ処理固定子 (0.4 kW 4 P)  
Fig. 3.4 Thixotropic epoxy treated stator (0.4 kW, 4 P).



図 3.5 揺変性エポキシ処理固定子の切断面  
Fig. 3.5 Section of thixotropic epoxy treated stator.

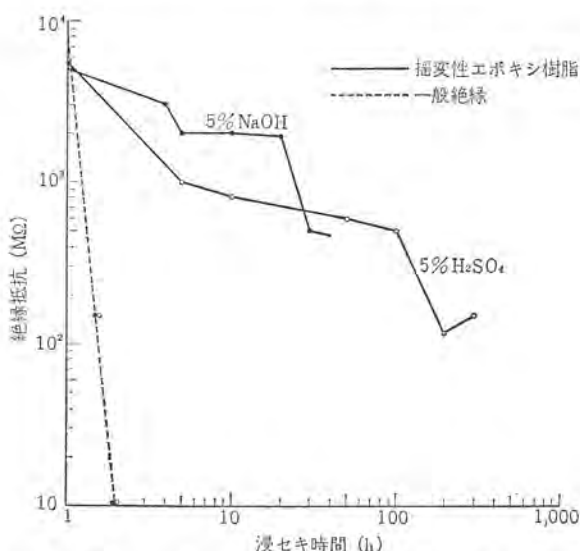


図 3.6 揺変性エポキシ絶縁処理および一般絶縁処理コイルの耐薬品性  
Fig. 3.6 Chemical-proof properties of thixotropic epoxy and general insulation systems.

容量の小さい数 kW 程度の場合は溶剤型ワニス処理ということが一般に行なわれているが、前記図 2.1 に示したようにワニス被覆厚さをある程度以上厚くする必要があり処理回数の増加が必要となる。そこで揺変性レジンを処理が考えられる。

これは含浸操作などの機械的スリ応力が加わることによってレジンの粘度が低下しスロット内部の微細空隙まで容易に含浸できるようになっており、さらに静止状態にもどせば滴下することなく肉厚にそのまま付着している。すなわち揺変性の度合によって付着厚さ、含浸性を変化させるように考えられている。図 3.4 に 1.5 kW 4 P の固定子を処理した状態を示した。この場合スロット内部に含浸された状態を図 3.5 に切断面として示したが、完全に含浸されていることがわかる。もちろん使用条件によっては内部まで完全に含浸させる必要のない場合もあるわけで、そのときはこの揺変性レジンをコイル外周にのみ付着させるとか、前記の含浸ワニスとの併用処理方法も適用される。

このレジンの主成分はポリエステル・エポキシ系で使用フイ気条件により使いわけられる。図 3.6 にこの方法で処理したコイルの耐酸、耐アルカリ性を示した。普通一般用の絶縁処理より非常にすぐれて



図 3.7 モールド絶縁固定子 (200 W)  
Fig. 3.7 Molded stator (200 W).

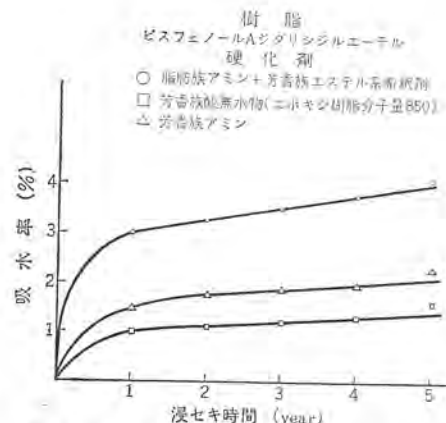


図 3.8 エポキシ樹脂の吸水性 (22°C 浸漬)  
Fig. 3.8 Water absorption of epoxy resin (tap water at 22°C).

いることがわかる。

もっともフイ気条件が悪く常時浸せき状態に近い条件で使用する場合はモールド方式を採用する必要がある。モールドに使用する絶縁材料としてのレジンはモールド方法・使用されるフイ気・温度などによって決める必要がある。ゴム・ポリエチン・フッ素系・ポリエステル・エポキシ系が使用材料として考えられる。

代表例として図 3.7 にエポキシ系レジンを使用した 200 W のモールド固定子を示した。これはとくに水中モータ<sup>(7)</sup>として常時水中に浸せきして使用できる。もちろん腐食性フイ気中でも十分使用できるわけであるが、フイ気条件によっては使用絶縁材料を変化させる必要がある。水中モータの場合は H. Lee<sup>(8)</sup>が示しているような長時間水中浸せきによる変化を見る必要がある。これを図 3.8 に示した。どのようにほかのフイ気条件に対しても、あらゆる角度から検討を加える必要がある。

#### 4. む す び

防食絶縁についていえることは使用条件、フイ気によって絶縁材料とその処理法とに検討を加える必要があることである。これらに適する絶縁処理法と応用例について少し論じたが、さらによりよい方法について絶えず検討を加えている。またこれに適した材料の開発と防食性の試験方法についても研究を続けていくつもりである。

(昭 41-5-12 受付)

#### 参 考 文 献

- (1) 電気学会電気設備防食専門委員会：「電気学会技術報告」第 65 号 (昭 39)
- (2) ASTM D 543-60 T, D 618-61, D 790-63.
- (3) JIS Z 2371-55.
- (4) 伊藤・寺谷：「第 15 回高分子学会年次大会予稿」
- (5) IEC Pub. 112, DIN 53480 (July 1964) ASTM D 2132-62 T.
- (6) 穴山・伊藤・岡崎・伊藤：「三菱電機技報」39, No. 9 p. 1129 (昭 40)
- (7) 和田・佐藤：「三菱電機技報」38, No. 6 p. 891 (昭 39)
- (8) H. Lee : Attaining Equilibrium in Water Absorption Tests of Epoxy Casting Resins, Materials Research and Standards, 3, No. 11 p. 910 (1963)





# 特許と新案

## リード線保持装置

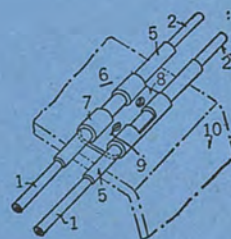
考案者 西野 広

この考案はリード線、とくにリード線相互間の接続部を容易かつ確実に固定保持しうるようにしたリード線の保持装置に関するものである。

図において、(1)は一对の第1のリード線、(2)はこの第1のリード線(1)に半田付け等によって、おのおの接続された一对の第2のリード線、(5)は上記両リード線(1)(2)の接続部をおおうように、両リード線(1)(2)間にわたって装着された絶縁スリーブ、(6)はこの考案の特長とする保持金具で、上記絶縁スリーブ(5)に係合した複数個の爪(7)を備えている。

そして、この保持金具(6)は、その中央部(8)がネジ(9)によって、フレーム(10)に適当に固定されることによって、上記両リード線(1)(2)を固定保持するものである。したがってこの考案によるリード線保持装置によれば、従来のようにリード線接続用の端子

板を設ける必要がなく、きわめて少ないスペースでリード線を確実に保持しうる。さらにリード線接続部を電気的および機械的に保護することができ、またリード線の着脱も容易であるので、配線点検などの作業を迅速に行なうことができるなど数々の効果をもっている。  
(実用新案登録第756218号) (松岡記)



## 静電フィルタ装置

考案者 上田 時芳

この考案は、たとえば放電加工装置における加工液の口過に用いられる静電フィルタ装置の改良に関するもので、とくに正電極の極面に微粒子が接触しても、この微粒子の電位が電極間の電位と等しくなって集じん効率が低下するようなことのない静電フィルタ装置を提供しようとするものである。

すなわち、図1および図2に示すように、一例に液体流入口(2)を、また他側に液体流出口(3)を有する容器(1)内に所定間隔をあけてそれぞれほぼ平行、集電極(4)を重ね積したものにおいて、上記集電極(4)のうち、正電極(4')の極面を絶縁被膜(6) (たとえば塗料の塗装)によって被覆したもので、微粒子が正電極(4')に吸引されてこれに接触しても、この正電極(4')は絶縁被膜(6)により電気的に絶縁されているため、微粒子の電位が電極

間の電位と等しくなってクローカが働かなくなるようなことがなく、集じん効率を著しく向上することができる効果を有するものである。  
(登録実用新案766718号) (土居記)

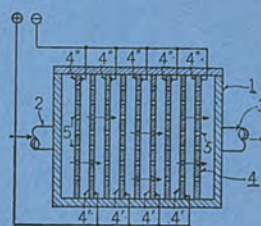


図 1

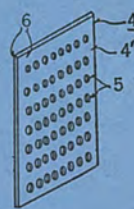


図 2

## 電動機保護装置

発明者 中野 久夫・衛藤 護

この発明は、電動機が拘束された場合あるいは定格速度以下の途中速度に停滞した場合、電動機を保護する装置に関する。

図はその実施例で、(1)は電動機回転軸、(2)は(1)に適當数設けた磁性材料からなる突出部、(3)は磁気誘導形検出器で、(2)および(3)により電動機速度に応じたパルスが発生する。(4)は抵抗、(5)は整流器、(6)~(9)はトランジスタ NOR 要素で、(8)、(9)は記憶回路を構成する。(15)、(22)、(23)もトランジスタ NOR 要素で、(22)、(23)は記憶回路を構成する。(25)は直流増幅器、(26)は補助リレーである。

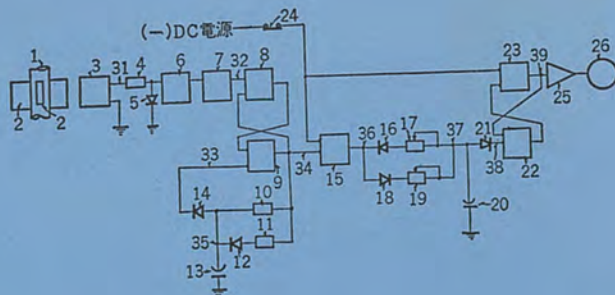
この装置で、電動機速度に応ずるパルスは正の半波が整流器(5)でバイパスされ、負の半波が NOR 要素(6)に加わる。要素(6)の出力は要素(7)に加わり、出力(32)を生ずる。出力(32)は上記パルスの負の半波時 ON となりしかも長方形波状に成形される。このパルスの電圧幅は電動機速度が低いときは広く、高速になると狭くなる。このパルスが要素(8)に加わると、要素(9)は ON となり、コンデンサ(13)を充電する。コンデンサの電圧が定電圧ダイオード(14)のゼナー電圧以上になると、(9)の端子(33)に ON 信号はいり、(9)は OFF となる。したがってコンデンサ(13)は整流器(12)、抵



抗(11)を介してすみやかに放電する。こうして端子(34)には電動機速度に逆比例したパルス周期で一定時間幅 ON となるパルス電圧が得られる。このパルス電圧は要素(15)に加わり、コンデンサ(20)を放電させる。このパルス電圧が加わらない間は、電動機が起動すれば接点(24)が開くから要素(15)が ON となり、コンデンサ(20)は充電される。

したがって電動機が起動したにもかかわらず長く低速状態が続けると、コンデンサ(20)の電圧は高くなり、やがて定電圧ダイオード(21)は導通して補助リレー(26)を付勢し、保護動作をさせる。

(特許第 450849 号) (古沢記)



## 静電フィルタ装置

考案者 上田 時 芳

この考案は、たとえば放電加工装置における加工液の口過に用いられる静電フィルタ装置の改良に関するものである。

従来のこの種静電フィルタ装置は、図1に示すように、集電極(4)の間をタ行状に液体を流すようにしているのので、この液体は電極面に沿ってこれと並行に流れることになる。したがって、電極面に吸着された微粒子は液体の流速によって洗い落とされ液体とともに容器外部に流出するから、集じん能率がきわめて悪い欠点がある。

しかるに、この考案の集電極(4)は、図2および図(3)に示すように、容器(1)の液体流入口(2)から流入した液体を電極(4)(4')面と直角方向にこれを通過させるように、多数の流通孔(5)を有する金属板、あるいは金属網を用いるようにしたので、電極

面に吸着された微粒子が上述した従来のもののよう流体の流速によって洗い落とされるようなことがなく、きわめて能率よく集じんされる効果を有するものである。

(登録実用新案第 769467 号) (土居記)

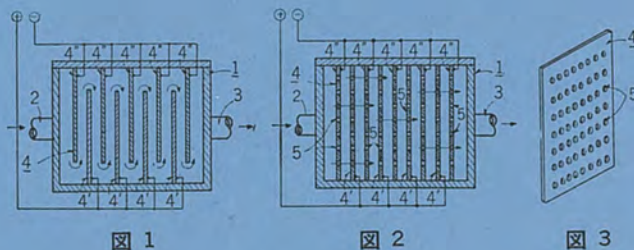


図 1

図 2

図 3

## エスカレータ

考案者 外野 範 吾

この考案はエスカレータのとくに踏板の両側に位置して移動手すりを案内する側壁の改良に関するものであり、従来のエスカレータに用いられていた 2 重壁の欠点、すなわち側壁の厚みが幅広のものとなり設置面積を増すとともに、高度の明かるさが要求される建造物内に設置される場合、エスカレータの側壁が必然的に暗い谷間を作り、近代建築様式に合致しえないなどの欠点をすべて除去する最も近代的なエスカレータを提供するものである。

図において(1)はエンドレスのゴム製手すりで、踏板(2)の両側に沿い設けられた欄干(3)の上端に定着された案内(4)上をシュウ動する。(5)および(6)は下階と上階に位置し、それぞれ上記ゴム手すりを懸架する車輪で、車輪(6)を駆動車とし車輪(5)は逆転車となされている。上記欄干(3)はトラス(7)上にほぼ等間隔に植立された複数本の支カ(杆)(8)と、この支カ(杆)の各上端を連れ、かつ上記案内(4)を定着する一連のささえ金(9)により構成され、ささえ金(9)上に上記案内(4)が取り付けられている。(12)は上記支カ(8)の内側で欄干の上端と、トラスの内側端間にまたがり張られた透明な側板であり、ゴム手すり(1)は案内(4)

上をシュウ動し案内車(10)(11)により上記透明側板(12)の下方向導かれ、透明側板(12)の下方向を通して循環するようになっている。

したがってこの考案によれば、側壁はきわめて肉薄のものとすることができるからエスカレータの設置面積は少なくすることができ、また側壁は単一の透明板で、しかも欄干の上端とトラス間にまたがり張架されているため、踏板面に対する照明は側板を通して室内の照明が自由に取入れられ、その美観上もきわめて近代建築様式に調和した最も近代的なエスカレータをうることができる。

(実用新案登録第 590227 号) (伊藤記)

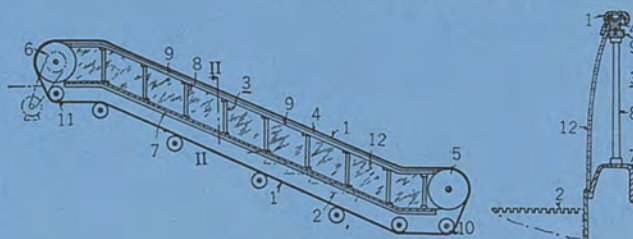


図 1

図 2



## プロセス計装の動向と三菱工業計測器

八島英之\*

## Tendency of Process Instrumentation and Mitsubishi Instruments

Kōbe Works Hideyuki YASHIMA

Automation of process industries aims at the safest and the most efficient operation to turn out products of high quality at low cost. To set up various measuring and controlling devices to the process plant for the purposes of operation above mentioned termed instrumentation of process. The components of instrumentation are consisted from elementary process instruments—recorder, controller actuator and conventional transducers—and some special detectors—such as analyzer, feed weigher, calorimeter, viscometer and others. In the past, pneumatic instruments were widely used, because of its less cost and versatility than the electronic device. The latter, however, are generally overcoming their handicaps and now expected to predominate over the former. The special detectors include many questionable problems regarding to their characteristics and applicability. In this paper, the tendency and problems of process instruments and the some application of Mitsubishi instrument are described.

## 1. ま え が き

プロセスのオートメーションの目的はプロセスプラントを最も安全に、かつ能率よく運転し、良質の製品をできるだけ安いコストで生産することにある。このためプラントの自動的操業、あるいは管理が行なわれなければならないが、この目的に沿って各種の計測制御機器を組み込むことをプロセスに計装を施すという。

プロセス計装設計の基本原則は“できるだけ少ない種類の計測制御機器を組み合わせて、できるだけ多くのプロセスに適用すること”といえよう。もちろんプロセスが複雑になるとこのような原則では押し得なくなり、特殊な計測器がどうしても必要になるが、その場合でも機能上の要求と経済上の要求とを満たすことが、設計の基本であることにはまちがいない。したがってプロセス計測器の設計の基本的な考え方としては、機器間の信号形式や入出力特性を統一し、機器および部品は広い互換性があるように作られなければならない。一般に市販されているプロセス計測器には、いくつかの基本機種がこのような考えのもとに設計され、体系作られている。ここに最近のプロセス制御で使われる計測器や検出器の諸問題とその動向について述べることにしたい。

## 2. 電子式プロセス計測器の発達

一般の記録計や特殊の計測器に電子回路が採用されたのはかなり古い。プロセス計測器の基本的機種のシリーズに適用されたのは比較的新しく、1952年ころアメリカのManning-Maxwell-Moore社が、いわゆるMicrosenと称する力平衡形変換器を使った、一連のプロセス計器を開発したのがその草分けであろう。その後各社で電子管式のシリーズを作り市場に出したが、やがてトランジスタの発達とともに真空管はトランジスタに置き換えられてきている。

トランジスタは真空管に比べると周囲温度の影響を受けて特性が変化するという欠点をもっているが、今日では種々の補償法や負帰還回路方式が考案され、大幅に改良されている。さらにトランジスタは寿命が長く、小形で消費電力が少ないなど、真空管の及ばない特長をもっており、工業計装の要請に合致しているので半導体素子を使うことが主流になっている。

次に現在までプロセス計装に広く使われている空気圧式計器と

電子式計器を比べてみると、計器の単位は空気式のほうがいくらか安い。最近では電子式計器の価格も下がり、さらに計装全設備についてみれば、空気式では空気源と配管の設備費がかさんでくること、大きなプラントでは信号の遅れが大きくなるなどの欠点をもっている。電子式のメリットが認められてきている。したがって、今後プラントの建設費と運転上の要求を考え合わせて、電子式計装が空気式計装に代わって、相当採用されるようになることは期待してよいであろう。以下電子式プロセス計測器に関連した最近の2、3の動きについて述べよう。

## 2.1 統一信号

空気式計器では $0.2\sim 1\text{ kg/cm}^2$ の信号が広く採用されているので互換性に富み、広く使われている原因の一つになっている。これに反し、電子式計器は信号の形がまちまちで交流あり、直流あり、直流にも電流あり電圧あり、さらにそのレベルも種々雑多で統一がなく、これらを統一しようとする動きはあるが、なかなか実現していない。各方式にはそれぞれの特長があってにわかに優劣はつけがたいが、最近では直流電流の伝送方式が主流をなしつつある。このような理由として、

(a) 伝送の途中で外部からの誘導をうけにくく雑音が少ないこと。

(b) 交流方式にみられるような伝送線の容量やインダクタンスによる伝相のずれがないこと。

(c) 定電流方式であるので、途中の伝送線の外気温による抵抗変化、接続部の接触抵抗などの影響をうけないこと。

(d) 受信器に簡単な可動コイル形電流計を利用できること。などであり、さらにそのレベルも $4\sim 20\text{ mA}$ 、 $5\sim 25\text{ mA}$ 付近に落ち着く傾向をみせている。その理由としては $1\sim 5\text{ mA}$ 級の小電流の信号は、伝送の際の信号対雑音比(S/N比)が悪くなること、その反対に $10\sim 50\text{ mA}$ 以上の大電流になると受信器側の設計は容易になるが、発信器に大電力を必要とするので、結局トランジスタを使って最も作りやすい $4\sim 20\text{ mA DC}$ 付近の信号レベルが選ばれることになったものといえよう。

以上のようにプロセス計装で、現場の測定器から中央制御室までの信号の伝送には、直流電流方式が適していることがわかった。しかし計装のうちで演算や調節の機能を有する要素は、中央制



御室内のパネルにとりつけられているものが多い。これら要素間の信号は いちいち電流信号に変える必要はなく、直流電圧信号を採用するほうが便利である。このため 受信器、調節計、演算器などの入力インピーダンスを十分高くしておけばパネル内の並列接続ができる。このように 伝送は直流電流信号、演算や調節のように制御室内の操作には直流電圧信号という、両者の長所を兼ねた方式を採用している場合がある。

## 2.2 本質安全防爆形計測器

空気式計器が電子式計器に比べてすぐれている点は、爆発性ガスのフイ気の中でいつでも使えることである。これに反し電子式計器は電気火花を発することがあるので、どうしても防爆構造にする必要がある。しかし 実際にはここで発生する火花のエネルギーを十分に小さくしてやれば、周囲の爆発性ガスを点火する確率は非常に小さく、実質的には点火しないことになる。このように正常時、故障時を問わず、どんなときに発生する火花でも点火能力がないように回路および構造設計を行なったものを本質安全防爆 (Intrinsic Safety) 構造という。

この方式では機器の構造や外観は普通のものと同じでよく、経済的にも有利になる。本質安全防爆構造機器の設計製作にあたっては 動作電圧、電流をできるだけ小さくすること、インダクタンスやコンデンサにたくわえられるエネルギーを小さくするため、その大きさを小にして抵抗回路に近いものにすること、電源はその電圧を下げるとともに、電流制限抵抗を入れるなどの考慮が必要である。

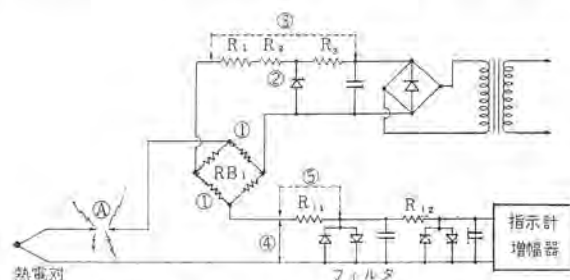
(図 2.1 参照)

当社では船舶用 (油そう船) 温度計測装置として、本質安全防爆構造機器を開発し、ロイド協会の承認を得て数隻の実船に装備して実動中である<sup>(1)</sup>。

## 2.3 調節計の動向

普通 プロセス制御には、三項動作 (PID) 調節計が多く使用されている。電子式調節計の主要部は RC 回路で構成される演算要素と高利得の増幅器からなり、アナコンと同じ原理で P (比例)、I (積分)、D (微分) の演算を行なう。このほか 制御の目標値を与える設定部や、自動制御を行なわずに遠方にある操作を手動で働かすときに必要な自動—手動切換スイッチ、手動操作要素なども取り付けられているのが普通である。

最近の新しい形の PID 調節計 (指示調節計) では、設定部の目盛板が動いて固定指標に設定値を合わせ、目盛板に付随した計器の指針が制御値の偏差を指示する。偏差がないときには指針が固定指標 (すなわち設定値) に一致するので、多数の調節計を隣合わせに並べると調節動作の監視が非常に容易になった。数十のルーをを含む複雑なプラントでもパネル面積が大幅に小さくなり、操



上記において⑤点での回路切断時に爆発が起こるためには①②において回路が切断され (3 箇所) ③と④または⑤のいずれか一方の短絡が起こることが必要である。

図 2.1 防爆回路効果の説明

Fig. 2.1 Effect of explosion preventing circuit.



図 2.2 指示調節計 AC-391  
Fig. 2.2 Indicating controller AC-391.

作、設定部 (Control Station) は調節計の前面についているので操作は簡単である。記録もわずかに Trend Recorder を切り換えて現在の傾向を監視するにとどまり、在来のプロセス計装のパネルが、記録計を重点としたグラフィックパネルであったのと対称的である。回路動作においても、リミッタを設けて起動時のオープンシュートを防止し、自動—手動の切り換えをジョウ乱なしに行なう Bumpless Transfer などの機能も考案されている。図 2.2 に示す当社製の調節計 AC-39 形もこの方式に基づいて設計された PID 調節計である。

## 3. 検出器の問題

検出器は大わけすると次の二つのグループになるであろう。

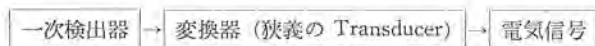
(a) プラントの状態量を測る検出器—温度、圧力、流量、液位、回転数、重量など。

(b) プラントで扱う物質の品質を測る検出器—成分、水質、硬度、粘度、比重、熱量など。

これらの検出器の動向や問題点について簡単に検討してみよう。

### 3.1 プラント状態量検出器 (計測器) の動向

これらの検出器は相当段階まで発達しており、今日のプラント計装に使われる検出器のうち 70~80 % はこれらで占められている。その代表的な構成様式には次のようなものが多い。



測定量→変位 (力) 変位 (力)→  
 { 電圧、電流  
 インピーダンス、周波数など

変換器は変位または力を統一信号に変換して伝送するので、これをどの方式に選ぶかが プロセス計測器の特質を左右することになる。

変換器 { 電圧信号: Hall 素子、光電池、差動電圧器など  
 電流信号: 力平衡形変換器など  
 インピーダンス: 抵抗線ヒズミ計、可変インピーダンス素子  
 周波数: 容量変化—RC 回路、LC 回路変換器

この変換器に適切な一次検出器を組み合わせると プロセス検出器を構成することができる。たとえば 圧力検出器にはブルドン管またはダイヤフラム 流量検出器にはオリフィスと差圧セル、温度には気体バルブとベローズなどである。最近では力平衡形変換器のような繊細な可動部分を、できるだけ少なくした半導体素子や磁気素子を利用した変換器が開発されている。

しかし今日の傾向としては、これらの検出器を いっそうコンパクトでかつ、じょうぶなことが要求されている。この傾向に対し、アメリカなどでは航空機やミサイル用の計測技術が導入され、小形軽量で振動に強く、しかも特性のすぐれたものが作られている。た



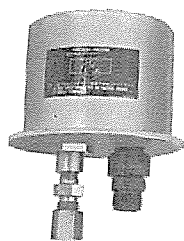


図 3.1 ポテンショメータ形圧力発信器  
Fig. 3.1 Pressure transducer, potentiometer type.

例えば圧力検出器では抵抗線ヒズミ計式、半導体ヒズミ計式、差動変圧器式などがある。これらの検出器の性能はきわめて優秀で、力平衡形変換器を使ったものに比べてソッ色のないものが多いが、ただ一つの欠点は一般に価格が高いことである。もし製造技術の進歩と量産によって価格の問題が解決すれば、この種の検出器は一般のプロセス工業にひろく使われるようになるであろう。

当社でもこの種類に属する検出器を開発した。図 3.1 に示す圧力発信器がそれであって、圧力を検出するカプセルと、これに直結したポテンショメータを主要構成要素とし、圧力測定値を抵抗変化に変えて取り出している。しかもポテンショメータは十分長寿命であり、かつ精度も高いことが実証されているうえ、価格も在来の圧力発信器に比べて大幅に低くなっているの、各方面に应用されることが期待される。

### 3.2 品質計測器の問題点

プロセスプラントで扱われている原料、半製品および製品の品質や特性など計測器には未解決の問題をもっているものが多いが、とくに需要が多く、しかも性能の改善が望まれているものに成分計がある。

成分計にはガス分析計、液体分析計などがあるが、万能というものは見当たらない。ガス分析計は比較的進歩しており、ハン用性のあるものにはガスクロマトグラフ、赤外線分析計などがあり、これらは最近プロセス工業のみならず、大気汚染の測定、監視などに使われはじめている。しかしこのように広く使われはじめたガス分析計でも取り扱いの容易さ、保守の問題、価格の点でいっそうの改善を望む声強い。

成分計の一種とみられるものに水分計がある。これも問題の多い計測器で、とくに固体や粒体の含水率を測る必要のある場合が多く。このような目的の一つに中性子水分計がある。これは中性子線から発生した高速の中性子が含有水分の水素原子によって減速されることを利用したもので、放射線計測の一つの応用である。むろん、この計器でも万能の分野があるわけではなく、土壌や鉱石中の水分のように適用範囲が限定されている。

検出器の中で、最も発達が遅れ問題点をもっているものの一つは固体、あるいは粉粒体に関する検出器であろう。粉粒体の品質の測定だけでなく、流量とかレベルのような量でも測定が困難である。たとえば、気送管によって送られている粉体の流量やホッパにはいつているレベルの計測がこれである。

これらの目的には、在来から種々の機械的方法や超音波あるいは光学系の利用など種々の方式のものが作られているが、過酷なプラントの環境に対しては必ずしも満足されていない。最近では放射線を応用した検出器が作られ、在来のものの欠点を補うものとして実際のプラントで使われはじめているが、なおこれら品質計測器に伴う困難なものとしてサンプリングの問題がある。たとえばガス分析計の場合、固形成分や水分の除去、採取ガス流量の調整、採取ガス温度の制御などがサンプリング装置の役目であるが、配管

やフィルタの閉ソク、部品の腐食などが伴い、保守面で種々注意を払わなければならない。品質計測器に発生する故障のうち、サンプリング装置の改良によって解決する部分がかなり多いが、いずれにせよ上記のように品質の計器には今後解決すべき問題点が多く含まれている。これに対し放射線、マイクロ波電子ビーム技術、レーザ、超音波、半導体に伴う諸現象など、最近の科学上の新研究の成果の応用も採り上げられるべきであろう。

## 4. 三菱工業計測器とその応用

当社の計測器をプロセス計装に適用する場合、基本的構成をなすものとして“Aシリーズ”ハン用プロセス計測器があり、これに各種の機械量計測器、科学計測器および特殊の計測器群を加えて、計装設計を行なっている。ここにAシリーズ計測器の概観と2、3の簡単な応用計装の例について説明しよう。

### 4.1 三菱プロセス計測器Aシリーズ

Aシリーズ(1)はハン用のプロセス計測器の基本機種として、2章で述べたような基本的な考え方に沿って設計開発されたものであって、その特長とするところを述べれば、

(1) 系全体の伝送の信号レベルを4~20 mA DCに統一してある。さらに、各機器の入力側はDC電圧信号が受け入れられるようになっているので、演算や調節のための相互接続が容易である。

(2) 以上の信号レベルだけでなく、変換器や調節計では入力回路と出力回路が絶縁されているので、機器の相互接続が任意にできる。各種信号変換器には電空、空電変換器、あるいは電流-電圧変換器などが用意されているので、空気圧式操作端を動かし、テレメータ装置、データーガー、電子計算機などの結合も容易である。

(3) 記録計、指示計などのDC電圧入力には10 mVはあるいは2.5 mVのレベルの信号を加えることができるので、熱電対や光電池のような低レベル出力の検出器を接続することが可能である。

表 4.1 Aシリーズ プロセス計測器

形 名	機 器 名	仕 様
AR-100 シリーズ	自動平衡形記録計	紙幅 180 mm/m 1, 2, 3 ペン書き 12 打点警報装置、設定装置、再発信装置取付可能 最小入力 10 mV DC
AR-300 シリーズ	小形記録計	紙幅 100 mm/m ペン書き 警報装置、設定装置、再発信装置取付可能 最小入力 10 mV DC
AR-600 シリーズ	自動平衡形指示計	警報装置、設定装置、再発信装置取付可能、最小入力 10 mV DC
K-11-K	計装用指示計	可動コイル形 4~20 mA
AS-111 AS-211 AS-212	積 算 計	入力 DC 10 mV 入力 DC 10 mV 標準サイズ 入力 DC 10 mV ハーフサイズ
AC-391	調 節 計	PID 動作
AE-241 AE-242	起 電 流 変 換 器	入力 DC 10 mV 入力 DC 2.5 mV
AP-112	圧 力 発 信 器	入力 -760 mm Hg ~ 0 ~ 2 ..... 100 kg/cm <sup>2</sup> 出力 4~20 mA DC
AP-612	差 圧 発 信 器	入力最低 0~500 mm H <sub>2</sub> O 出力 4~20 mA DC
AV-111	空 電 変 換 器	入力 0.2~1 kg/cm <sup>2</sup> 出力 4~20 mA DC
AV-602	電 空 変 換 器	入力 1~9 V DC または 4~20 mA DC 出力 0.2~1 kg/cm <sup>2</sup>
AE-114	電流電圧変換器	入力 4~20 mA 出力 0~10 mV, 0.1 V, 1 V, 10 V

(4) 調節計は三項動作 (PID) 調節計で、垂直目盛の指示調節計方式をとっているので、多数のルーラを有するプロセスプラントの管理に便利である。またこの調節計は内部の切換スイッチにより LOCAL/CASCADE が切り換えられるので取扱いが簡単である。

(5) 機器の外形寸法を統一すると同時に構成要素、たとえば増幅回路検出素子などでもできるだけ標準化し、互換性をもたせてあるので、保守サービスが容易になっている。表 4.1 には A シリーズ各機種種の形名および機能を、図 4.1 には A シリーズ小形記録計を示す。

#### 4.2 科学測器のプロセス計装への応用

実際のプラントが複雑になると、プロセス計測器の基本機種だけでは完全な自動制御ができない。そのため、3章に述べた品質計測器との組み合わせが考えられる。ここでは、われわれの実施した科学測器一とくに放射線計測器—を含んだ特殊なプラントの計装の例について述べよう。

##### (1) 高炉原料装入用検出装置



図 4.1 A シリーズ小形記録計  
Fig. 4.1 Miniature recorder, A-series.

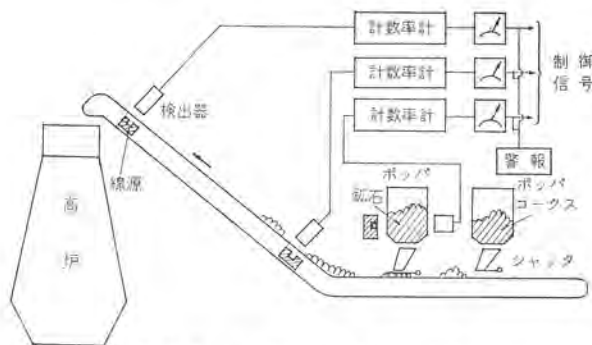


図 4.2 高炉の装入系  
Fig. 4.2 Feeding system of blast furnace.

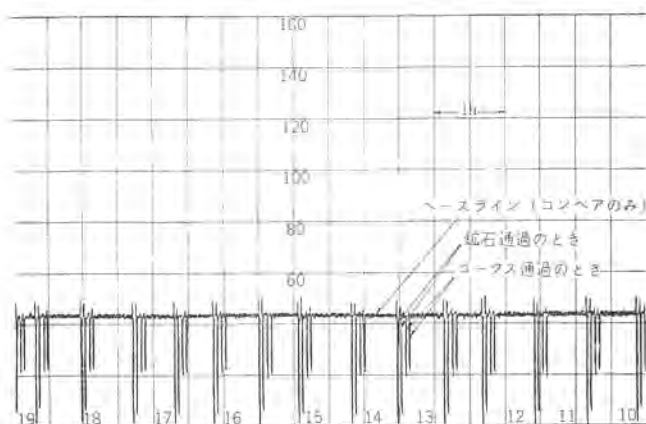


図 4.3 放射線による鉱石検知器の記録  
Fig. 4.3 Performance of radiation ore detector.

鉱石やコークスをコンベアによって製鉄用高炉に装入する場合、これを検出して、操業のシーケンスをコントロールする信号を作り出す必要がある。この目的に対し、図 4.2 に示すようにコンベアをばさんで上と下とに放射線源と検出器を設置し、 $\gamma$  線の透過度によって鉱石やコークスの有無を検知するが、その記録結果を図 4.3 に示す。これを見ると、鉱石やコークスの判別が可能であり、在来の機械式のものや光電リレー式のものに比べ、無接触で可動部分がないので、メンテナンスの多い、環境の悪い場所に設置されて非常に順調な実動実績をあげている。

##### (2) 重油発熱量の測定

重油の発熱量は構成分子の炭素と水素の成分比に関係のあることがわかっている。水素の含有率がわかれば発熱量の測定ができることになる。水素の含有率を測るのに、試料中に中性子源（たとえば、 $^{252}\text{Cf}$  の  $\alpha$  線をベリウムに当てると高速の中性子を発生する）を置き、ここから出る中性子が水素原子に衝突して減速し、低速の熱中性子になったものを BF<sub>3</sub> 計数管で検出し計数すればよい。この方法によると在来の燃焼法で熱量を測るのに比べ、連続的に高精度で熱量の測定ができることがわかった。この測定は対象がある程度限定されているのが欠点であるが、測定の簡便さと精度の点でプロセスルーラの中に組み込まれて、制御系に應用されることが可能である。

##### (3) 放射線応用の液面制御

在来の液面計では取り付けが困難であった高圧、高温のタンク内の液面の検出には、放射性同位元素を使うとぐあいのよいことがある。放射性同位元素をどのように配置するかについては種々の方法があるが、われわれは図 4.4 に示すように、タンク内にと

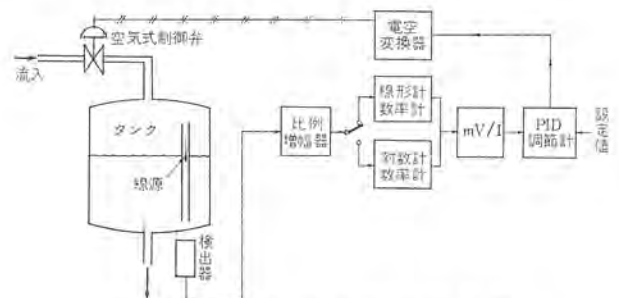


図 4.4 放射線式液位制御装置  
Fig. 4.4 Radiation type level controller.



図 4.5 放射線形液位制御装置 パネル  
Fig. 4.5 Level controller panel.



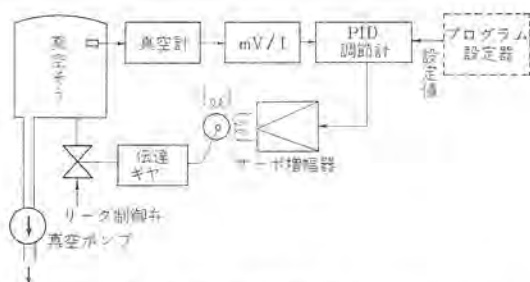


図 4.6 真空调節装置フローシート  
Fig. 4.6 Flow sheet of vacuum controller.

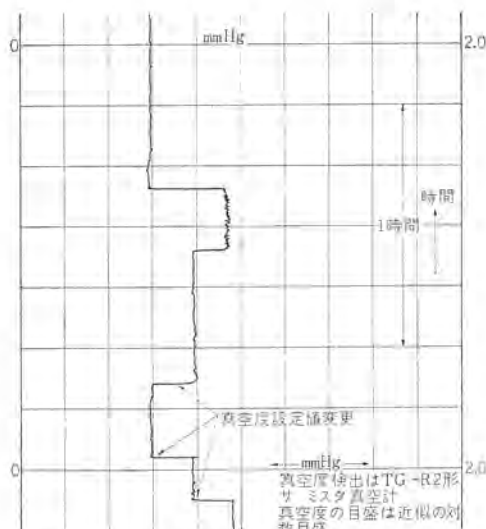


図 4.7 真空调節装置による調節結果の記録  
Fig. 4.7 Performance of vacuum controller.

りつけられた導管内に線源をもった カサセルを浮かばせ、その下方にシンチレーション 検出器を配置した。図 4.4 のフローシートに示すとおり、検出器の出力を増幅し計数率計（制御範囲の幅により線形あるいは対数形に切り換え）に加え、これを電圧電流変換器で標準信号に変換し、PID 調節計に加える。制御信号は空気圧信号に変え制御弁を操作する。この方式を用いて実施した例では、タンク内の液面変動を  $\pm 1 \text{ mm}$  以内に制御することができ、十分高性能の制御特性が得られることがわかった。図 4.5 はこの制御パネルの外観である。

#### (4) 真空调節装置

特殊な化学反応装置や真空機器で、系の真空度を一定値に保つ必要がある場合があるが、このため図 4.6 のフローシートに示すような真空调節装置を開発した。真空度の測定にはその範囲に応じ電離真空計、あるいはサーミスタ真空計などが使われる。その出力は例のように  $\text{mV/I}$  変換器を通して PID 調節計に導き、制

御出力でサーモータを動かし、これで真空のリーク制御弁を操作する。この装置による真空度の記録結果を図 4.7 に示す。もし真空度の調節をあらかじめ定められたプログラムによって行なう場合には、制御計の設定信号にプログラム設定器の信号を加えればよい。

## 6. む す び

技術革新の進歩に伴い、プロセス工業製品の生産量の増大と品質の向上がはかられ、このためプロセスは複雑になり、プラントの規模は次第に大きくなってきた。このように大形化し、複雑になったプラントを効率よく、かつ安全に運転するために、在来よりいっそう高度の運転監視および制御機構が必要である。このため今日導入されつつある手法にデューログがあり、またデューログから作表の機能をのぞいて単純化し、監視機能を主としたものに多点監視装置 (Scanning Monitor) がある。これらの機器はすでに各種のプラントをはじめ、船舶、建築物その他の分野に広く使用されているが、さらにデューログの次の段階として導入されつつあるのが計算機制御である。計算機制御の機能には

(a) シーケンス制御の機能をもたせてプラントの起動停止と、緊急時の処置を行なうもの、

(b) 高度の計算と制御指令をもつ計算機によって、プラントの起動停止から正常運転を全自動的に遂行する。このプラントの操業をつねに最高の能率で行なう最適値制御が含まれていることもある。

(c) 多くのルーチを含むプラントで、在来の計装のように各ルーチごとに設けられるアナログ式の調節計の機能を、1台のデジタル計算機で置き換え、操業の能率化と設備費の節減をはかる (Direct Digital Control-DDC) などがある。

しかし計算機制御が完成すれば、すべての制御機能はデジタル計算機で置き換えられるものではなく、経済性と信頼度の観点から在来の調節計や受信器が使われなくなることは考えられず、計算機と在来機器との有機的結合が必要になる。もちろんプラントからの入力データを求めるための検出器の役割はいっそう重要になり、現在のものよりいっそうの発達が望まれている。当社の工業計測器製造部門も、このような工業技術の動向に対処して新製品の開発に、またその応用技術の開拓に日々努力を続けている。

## 参 考 文 献

- (1) 渡辺、杉本：本質安全防爆多点温度指示装置、  
「三菱電機技報」39, No. 5, 36 (昭40)
- (2) 岡本、板倉、渡辺、田井、金田、吉島、八島、平山、坂本、  
杉本：三菱プロセス計測器-Aシリーズ (I), (II)  
「三菱電機技報」38, No. 2, 1 (昭39)

## AR-100 形 シ リ ーズ ハ ン 用 記 録 計

田 井 昌 輝\*・庄 司 忠 一\*

## Type AR-100 Series Electronic Recorders

Kōbe Works Masateru TAI・Chūichi SHŌJI

Type AR-100 recorders are of an automatic nullbalancing type and provided with strip charts of 180 mm wide. They are applicable not only to the process instrumentation, but also to almost all kinds of research in laboratories. The recorders are available in two types, multi-point type and curve-drawing type. The former is provided with 12 points, while the latter is equipped with up to 3 pens. As accessory mechanisms they can be attached with a retransmitting slidewires, alarm contacts, and setting mechanisms. The chart speed is changeable in 9 steps (25 mm/h~1200 mm/1 h). The time per point is 5 sec, the response time 2.5 sec, accuracy  $\pm 0.5\%$  and the input 0~10 mV DC. This article describes fully the mechanism on each section of the device together with examples of applications.

## 1. ま え が き

AR-100 形記録計は、180 mm 幅の折れたみ式記録紙を使用した自動平衡方式の記録計で、プロセス計装用に、また一般の測定記録にあらゆるところに用いられるものである。AR-100 形記録計には、打点式のものとペン書き式のものとがある。打点式は、12 測定点まで記録可能であり、ペン書き式は3ペンまでとりつけられ、同時に3現象まで測定記録することが可能である。また打点式記録計において、ある任意の一点を連続監視することも可能であり、付加機構として再発信スライド、警報接点、設定機構などを取付けることができ、調節計と組み合わせて記録調節計として使用できる等、万能形の記録計である。

## 2. 測 定 原 理

測定回路には、電位差計式とブリッジ式の二つの方式がある。図 2.1 に電位差計式の原理を、図 2.2 にブリッジ式の原理を示す。いずれも良く知られた零位法の測定方式で増幅器の入力電圧が

ゼロになるように、サーボモータに直結したポテンシオメータのシユウ動子が移動する。

図 2.1 電位差計式では、入力電圧  $E_x$  = 基準電圧  $E_s$  となる位置で、また図 2.2 のブリッジ式では、ブリッジが平衡する位置で、指針が止まるいわゆる自動平衡方式である。したがって増幅器の特性変化や電源電圧の変動等の影響をうけず、安定で精度の高い測定記録が得られる。

## 3. 構 成

AR-100 形記録計には、打点式とペン書き式とがあるが、各部はユニット化されており、打点部とペン部の機構が異なるほかは共通のユニットを使用し、それぞれ互換性をもたせてあるため組み立ておよび保守に便利である。

## 3.1 ケース

図 3.1 に外観を、図 3.2 に外形寸法を示しているが、図からも明らかなように、近代的なキュービックタイプの意匠を採用している。全体の塗装色はマンセル N 3 ッツ 消しの黒色を基調とし、前面カバー

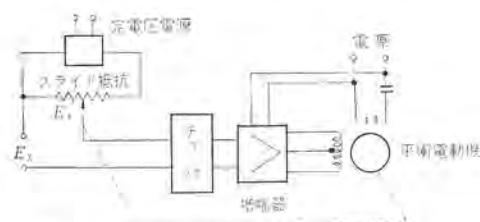


図 2.1 電位差計式の原理  
Fig. 2.1 Block diagram of potentiometer type recorder.

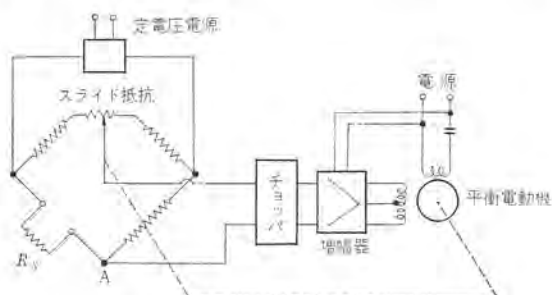


図 2.2 ブリッジ式の原理  
Fig. 2.2 Block diagram of bridge type recorder.



図 3.1 AR-100 形 シ リ ーズ ハ ン 用 記 録 計  
Fig. 3.1 Type AR-100 series electronic recorder.

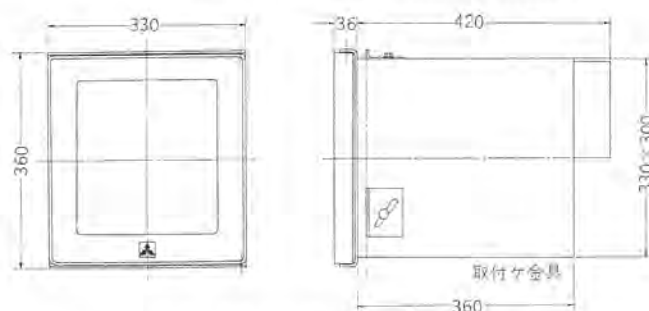


図 3.2 AR-100 形 記 録 計 外 形 寸 法  
Fig. 3.2 Dimensions of type AR-100 electronic recorder.



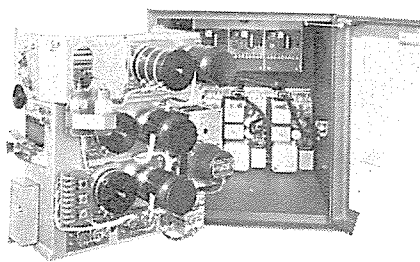


図 3.3 3 ペン 記 録 計 の 内 部  
Fig. 3.3 Interior view of AR-100 3-pen recorder.

には白色のヘリ取りが施され、アクセントになっている。全面カバーはアルミ鋳物、ケース本体は薄鋼板製で、カバーを開くと、内部機構を組み込んだフレーム（鋳物製）が、ヒンジにより回転式に引き出すことができる。また増幅器は、ケース本体の奥に取付けられている。図 3.3 は内部機構のフレームを、引き出したときの写真で 3 ペン用のものである。

### 3.2 平衡機構

平衡機構は平衡電動機、スライド抵抗、これらを連結する歯車列等が一枚の基板に取付けられたユニットになっている。平衡電動機は小形で起動電圧が 0.25 V 以下でトルクの大きなものを使用しており、スライド抵抗は密封形としてホコリやフイ気の影響による抵抗線の劣化をなくすように考慮するとともに分解度 0.1 % 以上の精密巻線形を使用して感度を高めている。

このスライド抵抗軸にラuerを取り付け、張り糸を介して記録機構、警報機構等を連動する。歯車列は慣性が小さく騒音を発することがないように、また耐摩耗性を考慮して金属歯車と非金属歯車との組み合わせを用いているので歯面への注油の必要もない。スケールアウトした場合、機構を保護するためのスリッパ機構を有し糸の断線、伸びを防いでいる。このスリッパトルクは自由に調整可能である。

### 3.3 ペン書き機構

平衡機構により連動されるペン書き機構はペン軸が異なるほかは各ペンとも同一部品よりなり、ペン数の増加とともに赤・緑・青色のインクを使用した連続色別記録を行なっている。ペン軸にはステンレス鋼、ペン先には人工宝石を使用し、インクあるいはフイ気による腐食をさけ、インクは別置きタンクからピニールチューブにより供給する。記録紙交換のときなどにペンを記録紙から離すために押しボタン式のペンリフタがあり、白ボタンを押せば全部のペンが記録紙からはなれ記録インクの色と同色のボタンを押せばペンが降りて記録することができる。

したがって、記録不要のペンのみを記録紙から浮かせて使うことができるから不要の記録が残らず、またインクの消耗もないから有利である。図 3.4 に 3 ペン記録計のペン書き機構を示す。

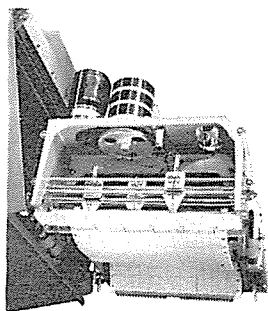


図 3.4 3 ペン 記 録 計  
Fig. 3.4 Top view of AR-100 3-pen recorder.

AR-100 形 シリーズハン用記録計・田井・庄司

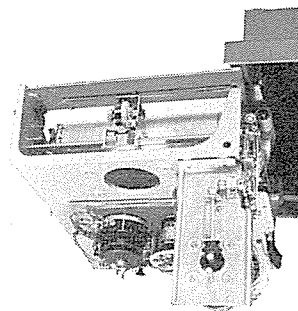


図 3.5 内部を後面からみた打点式記録計  
Fig. 3.5 Rear view of AR-100 multi-point recorder.

### 3.4 打点機構

多点式のときは 12 点・4 点・6 点および 3 点の各種が可能であり、測定回路の区別は最大 6 色のインクと打点ピンの形状との組み合わせにより行なう。打点機構は同期電動機によりゼネバ歯車および歯車列を介して駆動されるが、まずインクのしみ込ませてあるインクパッドと打点ピンとが接触しピン先端にインクがつけられる。次にカムおよびリンクを介して打点アームが落下して打点し再び打点アームが上昇復帰するとともに測定回路表示板が回転する。打点間隔は 5 秒である。測定点数の変更は打点ピン車およびインクパッド等を取換えることにより容易に行なうことができるので使用に便利であり、また打点式機構と主軸、あるいは支軸との間はスライドベアリング、あるいはボールベアリングを使用しているので摩擦抵抗が少なく高精度の記録ができる。打点ピンの X 軸方向への駆動はペン書き式と全く同じ平衡機構および方式をとっており、ペン部の代わりに打点部が置きかわっただけである。

図 3.5 に打点機構およびその駆動機構を示す。

### 3.5 回路切換え機構

回路切換え機構は打点式記録計の測定入力回路、あるいは警報回路を切り換えるためのもので同期電動機によりゼネバ歯車および歯車列を介して打点機構と連動して駆動され、打点機構が打点動作を終えたときに測定回路、あるいは警報回路が同時に次の測定箇所切换到えられる。したがって打点動作と同様に 5 秒周期で間欠的に行なわれる。切換接点は微小信号を切換えるために接触抵抗、熱起電力等を小さくおさえることが要求されフイ気等による接点面の劣化がなく摩耗が少なく寿命の長い、Pt, Au, Pd 等数多の貴金属からなる特殊合金を使用している。また、切換え機構は着脱の容易なカバーでおおわれており保守に便利である。

### 3.6 記録紙送り機構

記録紙送り機構は記録紙を正確な速度で送り出すために同期電動機駆動とし、3 段変速式、9 段変速式および一定速度の 3 種類ある。いずれの場合も同期電動機の回転を歯車列を介して記録紙送りドラムに伝達し記録紙を送るが、3 段変速式の場合は、4 枚の換え歯車のうちの二対を使用しこれらの組み合わせにより 25, 50, 100 mm/h の速度変化が得られ、あるいはこれらの換え歯車を付属せず一定送り速度とする。また、上記 25 mm/h 送り系列のほかに 30・60・120 mm/h 送り系列とすることも可能である。

9 段変速式のものは 25・50・100・150・200・300・450・600・1200 mm/h の非常に広い範囲の送り速度が得られ、これら送り速度の切換は前面カバーを開いただけの状態で回転式速度設定ダイヤルを回すことにより行なわれ速度切換えが非常に容易である。

記録紙は全幅 200 mm、有効幅 180 mm の折りたたみ式で送り速度 25 mm/h で 1 か月の長さを有する。



図 3.6 前面よりみた3ペン記録計  
Fig. 3.6 Front view of AR-100 3-pen recorder.



図 3.8 サーボ増幅器 Fig. 3.8 Servo-amplifier.

図 3.6 に3ペン記録計の前面カバーをあげて正面よりみた図を示す。

### 3.7 警報機構

警報機構はペン書き式のものと打点式用のものとがあり、前者は1ペンにつき上下限等3位警報まで取り付けることが可能でありマイクロスイッチを使用しているため、大容量の負荷を直接開閉することができる。また打点式用は上限用、下限用組み合わせて最大12回路分までの警報接点が装着可能である。

これらはいずれも平衡用スライド抵抗に連動しているため精度が高く、単なる警報用としてのみならず広範なON-OFF制御に利用することができる。

### 3.8 再発信スライド抵抗および設定機構

記録計への入力信号に対応した信号を再発信しデータログの入力源としてあるいはテレメータリング等に利用するためのもので平衡用スライド抵抗と同種の抵抗が同軸上に配置されており発信精度が高い。抵抗特性は直線特性のほかに開平方あるいは自乗形等関数形のものまで合計2本取り付け可能である。

設定機構は電子式調節計と組み合わせてプロセスの自動制御を行なうためのもので、再発信スライド抵抗と同種の抵抗を使用し計器前面より設定つまみを回すことにより設定ができ、設定値は目盛板上に設定指針で表示される。

### 3.9 サーボ増幅器

サーボ増幅器は、微小入力電圧を増幅して平衡用電動機を駆動するためのものである。その回路図を図3.7に示し、外観を図3.8に示す。

回路はトランジスタを用いた4段C-R結合増幅器とプッシュプル電力増幅および基準定電圧回路から成っており、直交変換器は小型のメカニカル式のチョップを標準として使用している。用途によっては、メカニカルチョップの代わりに、半導体チョップを用い、シリコントランジスタ、タンタルコンデンサ等を用いた耐高温、無接点式の増幅器も使用可能である。

基準定電圧電源は、ツェナーダイオードを用いたDC安定化電源を使用している。ツェナーダイオードには温度補償形のものを用い、出力

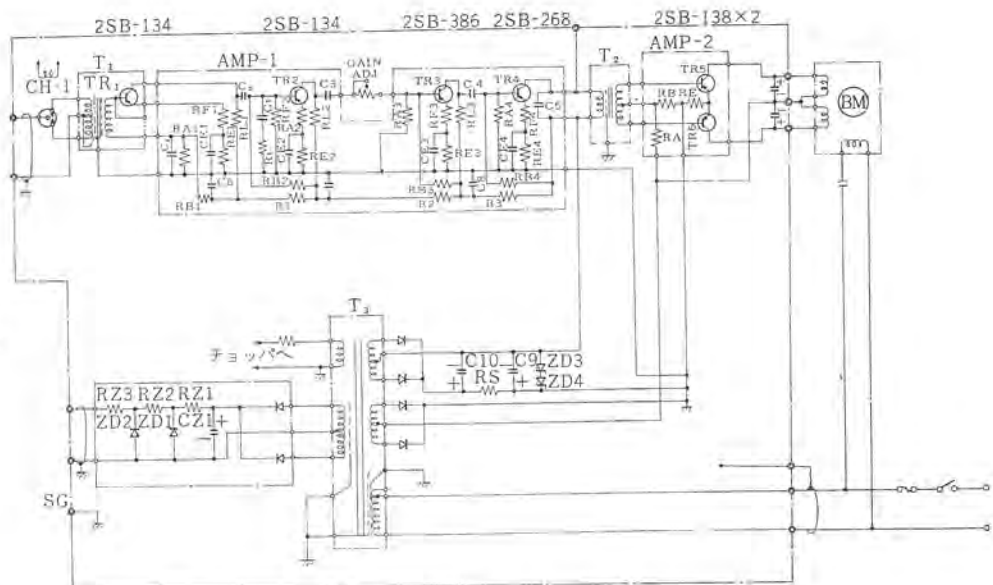


図 3.7 サーボ増幅器回路  
Fig. 3.7 Schematic diagram of servo amplifier.

電圧の温度係数は  $\pm 0.006\%/^{\circ}\text{C}$  以下である。

入力回路はフローティングになっているから測定点のとり方に融通性がある。耐アース間雑音に対しても特別の考慮を払っており、AC 100 V の商用周波数の雑音に対しても指示誤差は1%以内と影響をうけることが少ない。

サーボ増幅器の詳細なデータは、三菱電機技報38巻第2号に記載されているのでここでは省略する。なお、シリコントランジスタ化した半導体チョップ式の増幅器については稿を改めて報告される予定である。

サーボモータは当社製の小型、強力で性能のよいHM-54形を使い、平衡速度の高速用のものに対してはタコジェネレータ付きのHM-54形を使用して、速度帰還をかけ記録の性能向上をはかっている。(サーボモータに関しては別項HMシリーズサーボモータを参照)

## 4. 応 用

記録計は種々の物理量が10 mV以上の直流電圧、または抵抗値変化に変換器で変換できれば、温度・圧力・流量・液位・PH・濃度・粘度・湿度・ガス成分・回転数・電力・電圧・電流などいかなるものでも計測可能である。次に、応用例について二、三述べる。

### 4.1 3ペン記録計の応用

3ペン記録計は同時に3現象まで記録可能であるからデータの解析、現象の相関関係を知るのに非常に便利である。また、記録紙の送り速度も9段変速と広範囲に選定可能で、ダイヤル式で変速できるため取扱いが簡単であり現場用から実験室用まで用途が非常に広い。

#### (1) 演算ができる

3ペンのうちNo. 1, No. 2のペンでそれぞれの現象を記録し、No. 3のペンで、No. 1とNo. 2の入力の加減乗除の各演算結果を記録させることができる。

図4.1(a)に加算、減算の方法を、図4.1(b)に2入力積を求める方法、図4.1(c)に2入力の除算結果を記録する方法、図4.1(d)に微分値の記録を行なう場合の接続法を示している。

応用例としては回転差、回転比、巻縮糸の伸長率、トルク・回転



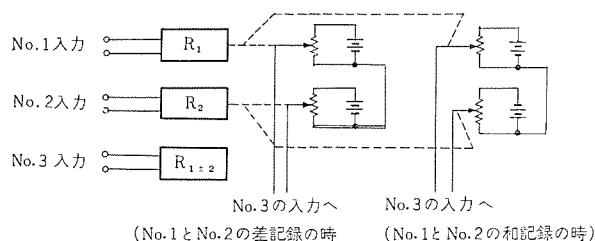


図 4.1 (a) 2 入力の和または差の記録  
Fig. 4.1 (a) Recording of addition or subtraction of two inputs.

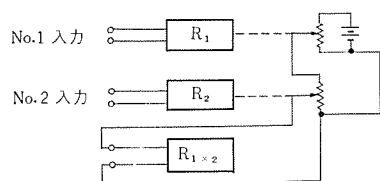


図 4.1 (b) 2 入力の積の記録  
Fig. 4.1 (b) Recording of two input multiplication.

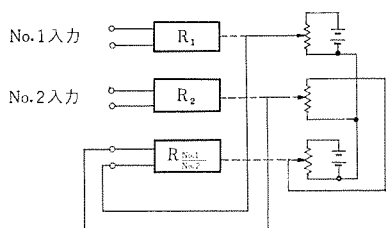


図 4.1 (c) 2 入力の除算の記録  
Fig. 4.1 (c) Recording of division between two inputs.

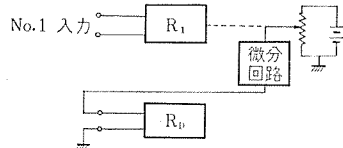


図 4.1 (d) No. 1 の微分値の記録  
Fig. 4.1 (d) Differential record of No. 1 input.

数一馬力の記録などがある。

(2) タイマースを入れることができる。

タイマースが必要なときタイマを付属させ、その出力信号を一つのペンに加えると、簡単にタイマースがはいる。タイマをはずせばもちろん通常の入力の測定記録が可能である。

(3) 再発信スライド抵抗の付加

各ペンに再発信スライド抵抗を取付けることができるから、信号の再伝送に用いることができる。また、微小電圧の直流増幅器としても簡便に使用でき、大きな出力で信号を伝送して遠隔の、あるいは数個の計器を動作させることが可能である。再発信スライド抵抗は直線特性のものほか、関数抵抗のものも取付け可能で差圧信号から流量信号への変換（開平）、熱電対出力の直線化など測定値の変換ができる。また数個のタップも取り付けられるから折線関数電圧の発生、位相弁別、測定値を数個のバンドに弁別するなど多様な用途がある。

前記(1)の演算の可能性もこの再発信スライド抵抗の一つの利用法である。

(4) 設定機構の付加

調節計用設定機構を取り付けると PID 調節計と組み合わせて、連続制御を行なうことができる。警報設定機構を取り付ければ警報の発信のほか、制御リレーによって ON-OFF 制御三位制御が、

AR-100 形 シリーズハン 用記録計・田井・庄司

可能である。

(5) A-D 変換器の付加

シフトエンコーダをつけることによって測定値をデジタル量に変換して、伝達、指示させることができる。

4.2 打点式記録計の応用

打点式記録計は最大 12 点までの入力の記録が可能であるから種々の記録を同時記録することができる。

(1) 任意点の選択記録機構の付加

打点式記録計ではある入力点  $n$  の記録は打点間隔  $\times$  記録計の入力点数の時間間隔でなされるから、打点間隔を 5 秒、点数を 12 点とすると 1 分ごとになされる。通常はこれでも何等差支えない場合でも、プラントの操業開始時あるいは負荷の変動時装置の調整時などはもっと早いサンプリング周期が必要となる測定点がある。このような時入力点数に余裕があればその特定測定点を並列に接続したりするのが普通であるが本記録計ではこのようなき一点記録の切換えスイッチを入力  $n$  のところへセットすれば、その入力のみを選択的に記録させることができ、非常に便利である。

(2) 警報機構

12 個までの独立した警報接点の付加により、警報発信あるいは ON-OFF 調節を行なうことができる。

## 5. 仕様

AR-100 形 シリーズの標準仕様を表 5.1 に示す。

表 5.1 AR-100 シリーズハン 用記録計標準仕様

入 力 信 号	電 位 差 計 式 0~10 mV DC または 4~20 mA DC
記 録 方 式	ブリッジ式 抵抗入力 ペン書き式 1ペン (赤) 2ペン (第1ペン赤、第2ペン緑) 3ペン (第1ペン赤、第2ペン緑、第3ペン青)
色 別 打 点 式	12点、6点、4点、3点 打点間隔 5秒
目 盛 長	180 mm
感 度	目盛幅の 0.15 %
精 度	目盛幅の $\pm 0.5$ %
平 衡 時 間	全目盛幅 2.5 秒
記 録 紙	帯状折りたたみ式 全幅 200 mm、記録幅 180 mm 全長 20 m (25 mm/h 送りにて 1 カ月分)
記 録 紙 駆 動	同期電動機
記 録 紙 速 度	定 速 25 mm/h 3 段切換え 25, 50, 100 mm/h または 30, 60, 120 mm/h 9 段切換え 25, 50, 100, 150, 200, 300, 450, 600, 1200 mm/h
付 加 機 構	再発信スライド 2本 警 報 接 点 ペン書き式 各ペンごとに上下限用各 1 色別打点式 上下限合わせて 12
電 源	設定機構 AC 100 V、50/60 c/s
消 費 電 力	打点式、1 ペン式 約 20 W 2 ペン式 約 30 W 3 ペン式 約 40 W
周 囲 温 度	0~45°C

## 6. む す び

AR-100 形自動平衡形記録計についてその構造などについて述べたがさらに多くの付加機能や専用機能の多様化、整備を行ない、万能記録計として使用の便宜をはかりたい。

## 細管式粘度計

明石克寛\*・荻野 治\*\*・尾原 昭徳\*\*

## Capillary Viscometers

Central Research Laboratory Katsuhiro AKASHI・Osamu OGINO・Akinori OHARA

Measurement and control of fluid viscosity have long been put into practice in the oil industry and other operations for the quality control of products. Much importance is attached to it recently as the viscosity is found to have great effects in chemical processes such as mixing transportation, atomizing, painting and sizing.

Mitsubishi type MF viscometers are fluid viscosity measuring devices developed based on the capillary tube principle and suited for industrial use. They can be used for the measurement or control of fluid viscosities ranging from 5 to 3000 centipoise by converting them DC outputs with high accuracy. With mechanical solidity, they are basically adaptable to continuous run. Further improvement of the detectors themselves and employment of an automatic selection method of the measuring range have made them fitting to practical use as the process instruments of high accuracy and high resistivity.

## 1. ま え が き

流体粘度の計測と制御は、かなり古くから石油工業における製品管理や、エンジン用あるいはボイラ用燃料油の流量制御に実施されてきたが、最近では混合、輸送、霧化、塗装、サイジングなどの種々の化学プロセスにおいて、使用液体の粘度が品質に多大の影響を及ぼすため、流体粘度の計測と制御が次第に重視されるようになり、プロセス計器として粘度プロセス計測器の応用分野がますます広がる傾向を見せはじめた。

すでに実用されている工業用粘度計を測定原理によって大別すると細管式、振動式、回転式および落体式となり、各形式にはそれぞれ一長一短があって測定目的、流体の種類、所要精度、連続測定の要否、および測定箇所などによってそれぞれ使いわけが行なわれている。また粘度制御を必要とする場合にも、実際にはサンプリングによる間接的な測定や温度、流量、あるいは圧力などで代用する間接的な手段に訴えることが多い。このように不満足な実状の原因は、的確な粘度測定制御計器が入手できないためであって、信頼度の高い実用粘度計の出現に対する希求はかなり強いものがあつた。

細管式差圧検出方式粘度計は、ほかの方式のように複雑な機構やせん断素子の使用を要しないので本質的にじょうぶであり、機械的な振動、衝撃および取り付け状況などの外部条件に対しても安定な動作が得られる。しかしながら単一細管検出器の可測領域は比較的狭く、広い粘度範囲をカバーさせると感度が低下し、また定流量源や差圧発信器の精度の変化が結果に影響を及ぼす。これが細管式の最大の欠点であつた。MF形三菱細管式粘度計は、構成要素の機構改良と測定領域の自動選択化とによって、この欠点を取り除き広い粘度範囲の測定を可能ならしめたもので、あわせて感度の切り換えおよび自己温度補償性を付与し、実用プロセス計器として開発したものである。

## 2. 測 定 原 理

## 2.1 流体の粘度と粘度特性

層流をなして流れる流体中に速度コウ配があると、流速の異なる二つの層の接する面にスベリに抵抗する粘性力が現われる。この粘性力は一般に速度コウ配とともに増大するので

$$F = \eta \cdot A \cdot \frac{du}{dy} \dots\dots\dots (2.1)$$

ここに  $F$  : 粘性力 $A$  : 接面積 $du/dy$  : 速度コウ配

で表わし(ニュートンの粘性法則)、 $\eta$ を粘度(または粘性係数)と呼ぶ。CGS系での $\eta$ の単位は  $\text{g/cm} \cdot \text{sec}$  で poise で表わす。

また接面の単位面積に働らく粘性力、すなわちせん断応力を  $\tau$  とすれば

$$\eta = \frac{F}{A} \left( \frac{du}{dy} \right)^{-1} = \tau \left( \frac{du}{dy} \right)^{-1} \dots\dots\dots (2.2)$$

となり、流体の粘度特性を  $\tau - (du/dy)$  平面で表示することができる。図2.1のように同平面上、原点を通る直線で表示される流

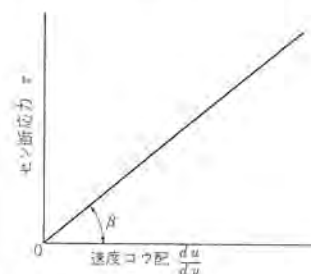


図 2.1 ニュートン流体の流動曲線  
Fig. 2.1 Flow curve for the Newtonian fluid.

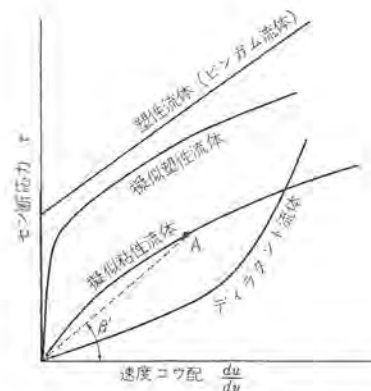


図 2.2 種々の非ニュートン流体の流動曲線  
Fig. 2.2 Flow curves for various non-Newtonian fluids.



体、つまりせん断応力が速度に比例する流体をニュートン流体という。この場合には粘度  $\eta$  は一定となる。これに対して  $\tau$  と  $du/dy$  の関係が直線的でない流体は非ニュートン流体と呼ばれ、高分子樹脂溶液、デンプン液、バター、ペイントなどの高粘度流体はほとんどこれに属する。図 2.2 は非ニュートン流体の代表的な粘度特性を示す。これらの非ニュートン流体では、単一粘度で特性を表示できず、特性曲線そのものによって示さなければならない。(任意点の  $\tau/(du/dy)$  を見かけの粘度と呼び、 $\tan \rho'$  で表わす。)

## 2.2 細管法による粘度検出

一般に内径が一様な細管内をニュートン流体が層流状態で流れるとき、細管の出入口に生ずる圧力差は Hagen-Poiseuille の関係に、管端および運動エネルギーの補正を施すことによって求められる<sup>(1)</sup>。

すなわち

$$P_D = \frac{8(L+nR)Q}{\pi R^4 g} \eta + \frac{m \cdot \gamma \cdot Q^3}{\pi^2 R^4 g} \dots\dots\dots (2.3)$$

ただし、 $P_D$  : 細管前後の圧力差 (g/cm<sup>2</sup>)

$\eta$  : 粘度 (g/cm<sup>2</sup>・s)

$L$  : 細管の長さ (cm)

$Q$  : 流量 (cm<sup>3</sup>/s)

$\gamma$  : 流体の密度 (g/cm<sup>3</sup>)

$R$  : 細管の内側半径 (cm)

$g$  : 重力による加速度 (cm/s<sup>2</sup>)

$n$  : 管端の補正係数

$m$  : 運動エネルギーの補正係数

である。

$n$  は細管の入口における縮流および出口における広がり流れにともなう補正係数で、細管内径に比例し、また細管の入口および出口の形状によって変化する<sup>(2)</sup>。

細管内に流入した流体は、助走区間を経て完全層流形速度分布の流れに発達し、運動のエネルギーが一定となる。一般の粘度検出器の細管は比較的短かく、かつ細管入口の静圧測定箇所が入口の縮流部の近くにあるので、運動エネルギーの増加を伴う層流助走区間がほとんどの長さを占めている。式 (2.3) の第 2 項は、この運動のエネルギーに関する補正項で、補正係数  $m$  は細管の形状寸法、静圧測定位置およびレイノルズ数によって変化する<sup>(2)</sup>。

われわれは図 2.3 のように、検出器の有効長さ  $L$  の前後に流入長  $l_1$  と流出長  $l_2$  の部分を設け、 $Q$ ,  $R$ ,  $l_1$ ,  $l_2$  および  $L$  の間の関係を適当に選び、所要粘度範囲にわたって上述の  $n$  および  $m$  の影響を取り除きうるようにした。したがって検出器の圧力差  $P_D$  は単に Hagen-Poiseuille の法則

$$P_D = \frac{8LQ}{\pi R^4 g} \eta = C\eta \dots\dots\dots (2.4)$$

にしたがい、比例定数  $C=8LQ/\pi R^4 g$  は流量と検出部の寸法によって一義的に定まることになる。



図 2.3 細管粘度検出器の静圧測定部  
Fig. 2.3 Pressure tap arrangement of the capillary tube viscometer.

## 3. 構成および動作

### 3.1 粘度計の動作

粘度計のフローシートを図 3.1 に示す。主流管からの手動弁 1 によって分岐された試料流体は、ストレーナで浄化され、粘度検出器の外部流路を経て同期電動機で駆動される定流量ギヤポンプで加速される。ポンプから出た流体は粘度検出器の細管を通過し手動弁 2 を経て主流管にもどる。このとき試料流体の粘度は細管前後の圧力差として検出され、差圧発信器によって 4~20mA の直流出力となり、記録計または調節計に伝送される。粘度が規定以上に高くなると、自動的に電磁弁 MV-1 が開いて流量の一部を主流管にバイパスし、高粘度測定範囲に切り換えられるようになっている。

### 3.2 定流量ポンプ

一般に粘性流体の輸送にギヤポンプを用いることが多いが、高精度ギヤポンプは一定回転数において定流量性が保たれるのでいまの目的に対して最も適当である。ただ低粘度範囲においてギヤとケーシング間の漏れによって定流量性がやぶれ、式 (2.4) からわかるように  $P_D$  が  $\eta$  に比例しなくなる。しかしこれの結果は、流量  $Q$  が減ると粘度  $\eta$  が差圧  $P_D$  に比例しなくなり、粘度目盛が等間隔でなくなるだけであって、測定上の原理的な困難は伴わない。

図 3.2 はギヤポンプの特性の例であって、流体の粘度が低下すると管路抵抗が減少するので、曲線 A で示すように実際にはギヤポンプ

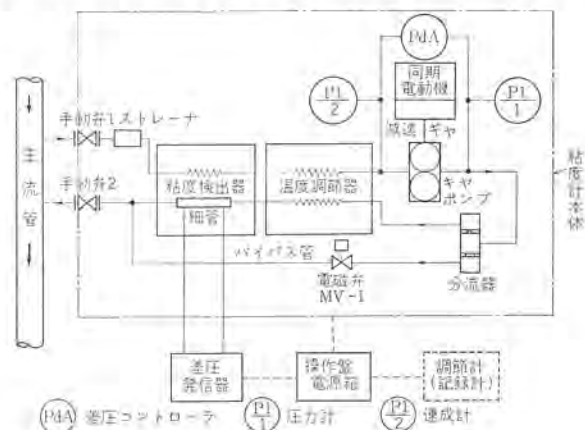


図 3.1 粘度計のフローシート  
Fig. 3.1 Flow diagram of the viscometer.

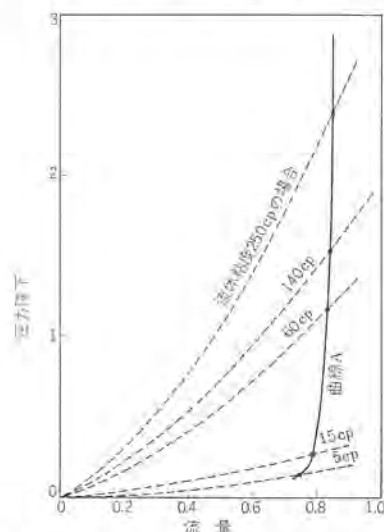


図 3.2 流体粘度によるギヤポンプの流量変化と管路抵抗  
Fig. 3.2 Performance curves of the gear pump and the channel flow resistances.



の吐出流量が著しく低下するようなことはない。

### 3.3 粘度検出器

粘度検出器の構造は図2.3のとおりで、管端の効果および助走区間における運動のエネルギーの増加の影響を取り除くために、静圧測定孔の設け方について前述の改良がなされている。また、細管部分を流入流体でとりかこみ、一種の再生向流熱交換器を形成させ、測定流体の温度を主流温度に接近させ、放熱に伴う誤差を避けている。同時に同じ理由から粘度計の主要部分にも断熱が施されている。

### 3.4 粘度測定範囲の切換方式

単一細管の粘度検出器に広い粘度測定範囲を付与するには、流量を制御するのが最も簡単である。図3.1のフローシートにおいて差圧発信器から出る粘度切換信号により、電磁弁 MV-1 を自動的に開閉させ流量を制御する方法を採用した。すなわち低粘度の場合には MV-1 が閉じて細管に流量  $Q_1$  を流し、高粘度の場合には MV-1 が開いて  $Q_2$  をバイパス管に分流し、細管には流量  $Q_1 - Q_2$  を流すのである。所要粘度目盛の全幅値に対する必要流量は、式(2.4)の関係からつぎのように求めることができる。

$$\text{低粘度の場合 } Q_1 = \frac{\pi R^4 g}{8L\eta_L} P_D \quad (\eta_L: \text{低粘度目盛の全幅値})$$

$$\text{高粘度の場合 } Q_1 - Q_2 = \frac{\pi R^4 g}{8L\eta_H} P_D \quad (\eta_H: \text{高粘度目盛の全幅値})$$

最初の流量設定はポンプ駆動部の減速比変更による粗調整と、分流器の絞り板変更による微調整とによって行なう。

### 3.5 高粘度保護機能

#### 3.5.1 ポンプの過負荷防止

ギヤポンプの吐出側と吸込み側の間に差圧コントローラ Pd A を設けてポンプの過負荷を防止した。すなわち、粘度の急激な変化あるいは管路の閉ソクなどによって、吐出側の圧力が異状に上昇すると上限圧力スイッチによってポンプが停止し、電磁弁が開いて流れがバイパスされる。つぎに圧力が正常値に戻ると下限圧力スイッチが働いて、ギヤポンプは再起動する。しかし電磁弁は開いたままでポンプの過負荷状態は防止される。

#### 3.5.2 高粘度自動停止

流体の粘度が高粘度測定範囲をさらに越える場合には、差圧発信器からの信号によってギヤポンプが停止し、警報を出す。

## 4. 特 性 例

### 4.1 仕様

表4.1はMF形粘度計の代表的な仕様であるが、粘度測定領域を5~3,000 cPの範囲で任意に選択でき、粘度目盛切換点を適

表4.1 MF形粘度計の仕様

粘度測定範囲	10~1600センチポアーズ (cP)
粘度目盛切換範囲	低粘度目盛 10~200 cP 高粘度目盛 150~1600 cP
流体温度	120°C以下
設計圧力	10 kg/cm <sup>2</sup>
電流出力	4~20 mA DC
精度	±3%
感度	80 μA/cP (低粘度目盛の場合)
電源	100 V AC 50/60 c/s
接続管フランジ	3/8 B



図4.1 細管式粘度計の外観

Fig. 4.1 Arrangement of the capillary tube viscometer.

表4.2 試験流体の特性

試験流体 No.	試験流体の主成分	粘度 $\eta$ (cP)	温度 $T$ (°C)	比重 ( $T^\circ\text{C}/4^\circ\text{C}$ )
1	エポキシ樹脂 201	970	29	1.11
2	モービル油 DTE 103	230	26.2	0.905
3	圧縮機 SUNVIS 951	163	24.1	0.874
4	作動油 4号	93	24.5	0.867
5	スピンドル油	25.5	24.5	0.858
6	軽油	4.6	25.2	0.836

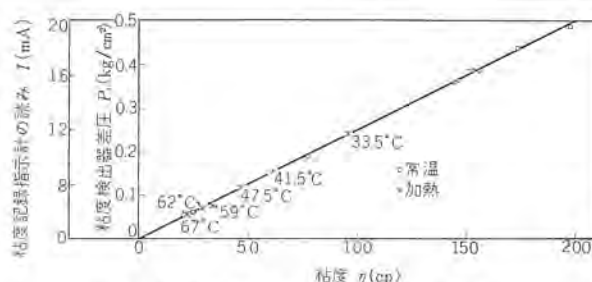


図4.2 低粘度目盛の特性試験結果

Fig. 4.2 Test results on the low viscosity range of the viscometer.

宜変更し、あるいは材質なども適宜に選択できるので種々の仕様のものを製作することができる。図4.1はユニット機器にまとめた粘度計の外観を示す。おもな構成要素は、定流量ポンプ、温度補償器、細管粘度検出器、漏過器、過負荷保護装置、差圧発信器、制御パネルおよび電源などである。

### 4.2 試験流体の特性

MF形粘度計の正確な更正に使用する試験流体の特性を表4.2に示す。これらの粘度は更正用粘度標準液で、精密に検定した回転式粘度計を用いて測定されている。

### 4.3 低粘度目盛の特性

低粘度目盛の特性例を図4.2に示す。横軸は粘度  $\eta$  (cP)、縦軸は記録指示計の読み  $I$  (mA) と粘度検出器の差圧  $P_D$  (kg/cm<sup>2</sup>) で粘度 200 cP において約 20 mA の出力が得られる。これから粘度目盛の実験式を求めると、

$$I = 0.0805\eta + 3.9 \quad (\text{ただし } \eta \text{ は } 10 \sim 200 \text{ cP})$$

となる。10 cP 以下では定流量ポンプの流量低下のために目盛の直線性が失われる。また×印は試験流体 No.3 を加熱して粘度を低下させた場合の測定値で、温度変化によるバラツキもほとんど認められない。

### 4.4 高粘度目盛の特性

図4.3は上と同様にして求めた高粘度目盛の試験結果を示す。粘度  $\eta$  (cP) に対して  $I$  (mA) および  $P_D$  (kg/cm<sup>2</sup>) は低粘度目盛と同様直線状に変化する。これから粘度目盛の実験式を求めると、

$$I = 0.00928\eta + 4 \quad (\text{ただし } \eta \text{ は } 100 \sim 1600 \text{ cP})$$



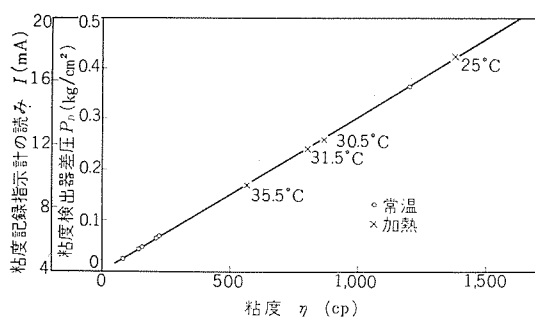


図 4.3 高粘度目盛の特性試験結果  
Fig. 4.3 Test results on the high viscosity range of the viscometer.

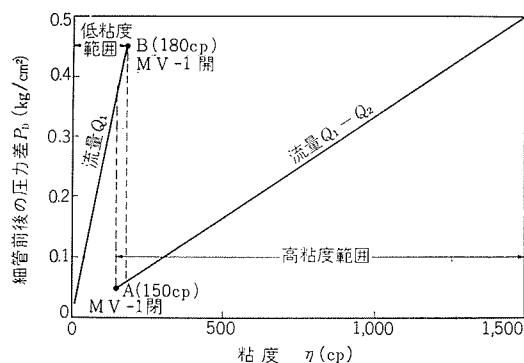


図 4.4 粘度目盛の切換特性  
Fig. 4.4 Change over characteristics of two viscosity ranges.

表 4.3 粘度検出器の差圧出力

粘 度 (CP)		差 圧 (kg/cm²)		計算値-測定値 (kg/cm²)
		計 算 値	測 定 値	
低 粘 度 範 囲	5	0.0102	0.0101	+0.0001
	15	0.0353	0.0354	-0.0001
	30	0.0740	0.0733	+0.0007
	50	0.125	0.124	+0.001
	100	0.253	0.250	+0.003
	200	0.511	0.503	+0.008
高 粘 度 範 囲	200	0.0626	0.061	+0.001
	500	0.156	0.154	+0.002
	1000	0.313	0.307	+0.004
	1500	0.467	0.462	+0.005

となる。また×印は試験流体 No. 1 を加熱して粘度を変化させた場合の測定値であるが、温度変化による誤差はほとんど認められ

ない。

#### 4.5 粘度検出器の特性

この粘度検出器の特性が式(2.4)の関係を満足するかどうかを調べるために、細管の寸法および流量の実測値を用いて差圧出力  $P_D$  を計算した。表 4.3 はその結果と図 4.2 および図 4.3 から求めた測定値とを比較したものである。差圧測定器の誤差は  $\pm 0.003 \text{ kg/cm}^2$  であるから、計算と実測との一致はきわめてよい。したがってこの粘度検出器においては、管端補正およびエネルギー補正の必要がないことは明らかである。

このことはこの検出器を非ニュートン流体の見かけ粘度、あるいは粘度特性の測定に拡張使用する契機を与える。すなわち適当な流量計を組み合わせればそのまま  $\tan \beta'$  の測定が可能になり、また図 3.1 のバイパス管を主流管に接続し、弁 2 を連続調整させれば広範囲の粘度特性を求めうることとなる。

#### 4.6 粘度目盛の切換特性

図 4.4 は、粘度目盛の自動切換試験を試験流体 No. 2 によりおこなった結果である。試験流体 No. 2 を加熱して粘度を 150 cP (A 点) に低下させると、自動的に電磁弁 MV-1 が閉じて低粘度目盛に切換えられる。また低粘度から冷却によって粘度を高めていくと、180 cP (B 点) において自動的に MV-1 が開き、高粘度目盛に切り換えられるがその動作はともにきわめて確実である。繰り返し操作にもならぬ支障はなかった。

### 5. む す び

以上、細管式粘度計の測定原理、構成および特性例について述べた。粘度検出器の静圧測定方法を改善し、粘度範囲を自動選択化することによって、広範囲の粘度を高精度で測定できることが明らかになり、適用範囲の広い粘度プロセス計器を開発できた。

またこの粘度計による非ニュートン流体の流動特性の測定については別の意味で応用分野も広く、おもしろい問題であるが別の機会に譲り、ここでは触れなかった。終わりにこの粘度計の開発にあたり、終始ご援助をいただいた当社神戸製作所計測器製造部の関係各位に謝意を表する次第である。

(昭 41-5-24 受付)

#### 参 考 文 献

- (1) J. R. Van Wazer, J. W. Lyons, K. Y. Kim and R. E. Colwell : Viscosity and Flow Measurement (1963)
- (2) 川田 : 粘度「計量管理技術双書」(昭 35)

# 単軸送受同時切換え方式超音波流量計

吉山 裕二\*・江沢 孝吉\*・高野 博夫\*\*

## Ultrasonic Flowmeters (Phase Difference Method)

Central Research Laboratory

Yūji YOSHIYAMA・Takayoshi EZAWA

Ware Research Laboratory

Hiroo TAKANO

Ultrasonic flowmeters are able to perform the measurement of fluid by simply transmitting ultrasonic waves through it. Without disturbing the flow, with no loss in pressure and making no difference whether conductive or nonconductive of the fluid, the meters can measure with simple construction even if a pipe has a large diameter in flowing it. In addition, through proper selection of types and compositions remote indication and recording are practicable with high accuracy and quick response even the flow in the region of low speed. The devices are of a single beam and simultaneous change over between transmission and reception, operating on a phase difference method.

### 1. ま え が き

流体の流速および流量を知ることは多くの分野できわめて重要であるが、その測定方法の大部分は流れを妨げて圧力損失を伴う構造であり、とくに低流速および少流量の測定において誤差が大きい。また管内での圧力損失がない電磁流量計は非導電性流体での測定ができず、管の口径が大きくなるほど測定が困難となり、かつ高価となる。

超音波流量計は流体内に超音波を透過させるだけで測定できるので、流れを妨げず圧力損失がなく、流体の導電性、非導電性の制限を受けず、大口径に対しても構造が簡単で容易に測定できるとともに方式と構成の選択いかんによって低流速領域から高精度と速い応答速度で遠方指示および記録ができる。

ただしつぎのような欠点もある。超音波伝搬状態を乱す要因たとえばキャビテーション、不純物含有度、にごりの程度、流れの乱れなどの状態によっては誤差が大きくなり測定不能になることもあり、また流速分布は一般に測定し得ず、不均一流速分布による補正が必要であり、かつ電子回路を使用するので機械的流量計よりは一般に高価となる。

超音波流量計の利点を生かす工業計測分野はとくに流れを妨げない要求がある水道用や大口径鉄管を用いる水力発電所用、非導電流体を扱う石油工業用、腐食の激しい化学工業用などに適当と考えられ、また特殊用途として海流流速や船舶速度を対象とする船舶用や洪水予測のための河川流速測定にも使用できる。

超音波流量計の測定方式として伝搬時間差法、周波数差法、位相差法、ビーム偏キ(倚)法など各種あり、筆者らも種々研究中有るが、ここに位相差方式の超音波流量計を開発し、すぐれた直線性、速い応答速度などの良好な性能を得て油流量測定などにも実用化したので、この装置の概要について報告する。

### 2. 装置の概要

開発した超音波流量計の測定原理、装置の構成、応用例について以下に述べる。

#### 2.1 測定原理

超音波を流体の流れに対して放射するとき、流れの方向と流れと逆の方向に対する伝搬時間が異なり、下流方向では静止流体中

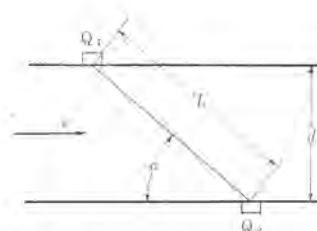


図 2.1 超音波流量計の原理説明  
Fig. 2.1 Diagram showing the principle of ultrasonic flowmeter.

の音波の伝搬速度と流体の速度成分の和となり、上流方向では差となるので、その伝搬時間の差を位相差として検出する原理を用いる。

図 2.1 で送受信間の距離を  $L$ 、超音波ビームの流れの軸に対する傾斜角を  $\alpha$ 、静止流体中の音波伝搬速度を  $c$ 、流体流速を  $v$ 、発信から受信子への音波到達時間の下流方向の場合を  $t_d$ 、上流方向の場合を  $t_u$  とすれば、各伝搬時間は次式で示される。

$$t_d = \frac{L}{c + v \cos \alpha}, \quad t_u = \frac{L}{c - v \cos \alpha} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

一般に  $c \gg v$  であるから、二つの伝搬時間の差  $\Delta t$  によって、両受信子の受信波間の位相差  $\Delta \phi$  は、放射超音波の角周波数を  $\omega$  とすれば次式で与えられる。

$$\Delta \phi = \omega \Delta t = \omega (t_u - t_d) = \frac{2\omega L \cos \alpha}{c^2} v \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

式 (2.2) 右辺第一項目は振動子取付位置により決定されるから、位相差  $\Delta \phi$  により流体流速  $v$  を求めうる。

この方式は連続波を使用するので、回路方式の選択によりきわめて速い応答速度で遠隔表示させ得、かつ傾斜角  $\alpha$  を任意に選択しうる特長がある。

#### 2.2 装置の構成

図 2.2 は位相差方式超音波流量計のブロック線図である。振動子  $Q_1, Q_2$  を同時に送受信子として動作させ、振動子の送受信動作の切り換えを同期信号発生器で行ない、超音波伝搬経路は単軸である。同期信号発生器から二つの同期信号を発生し、一方の同期信号で発振器を断続的に発振させて増幅し、振動子  $Q_1, Q_2$  に印加励振して、両振動子から同時に音波を放射する。一方の振動



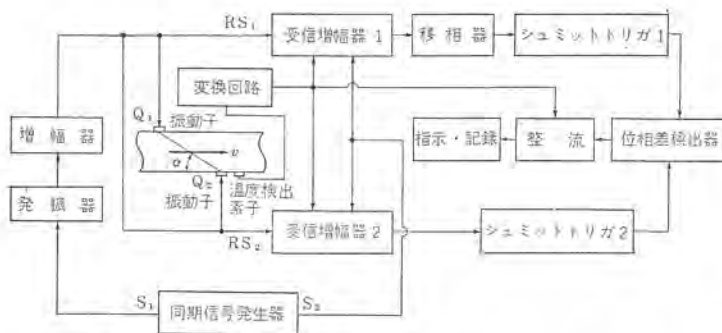


図 2.2 単軸送受同時切換え方式超音波流量計のブロック線図  
Fig. 2.2 Block diagram of one beam phase difference type ultrasonic flowmeter.

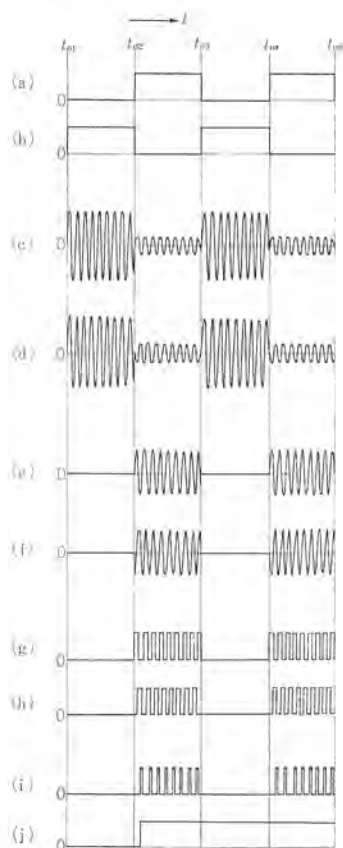


図 2.3 電子回路各部の出力波形  
Fig. 2.3 Output wave forms on various points of electronic circuits.

子の音波が他方の振動子へ到達すると同時に発振器の発振動作を停止させて、超音波放射を停止し、同期信号発生器の他方の信号によって二つの振動子を受信状態へ切り換える。各受信子の受信信号を2系列の受信増幅器で増幅し、各シュミットトリガ回路で長方形波に成形し、両長方形波を位相差検出器へ供給して、位相差に比例した幅の長方形波を得、整流して直流電圧として取り出し、流速信号として指示記録させる。流体温度の検出はセミスタで行ない、各受信増幅器および整流回路へ導入し、温度変化による流体中の音速  $c$  への影響を補償してある。

図 2.3 は電子回路各部の出力波形の関係を示したもので、 $t_{01} \sim t_{05}$  は各波形の時間関係である。 $t_{01} \sim t_{03}$  は超音波送波時、 $t_{02} \sim t_{03}$  は受信時、 $t_{03} \sim t_{04}$  は送信時、 $t_{04} \sim t_{05}$  は受信時の各周期である。波形 (a) は同期信号発生器から発生する一方の同期信号  $S_1$  の波形で、発振器の発振動作を断続させる信号、(b) は同期信号発生器からの別の同期信号  $S_2$  で (a) の波形と逆相である。

波形 (c), (d) は振動子  $Q_1, Q_2$  が周期  $t_{01} \sim t_{03}$  および  $t_{03} \sim t_{04}$  間で同期信号  $S_1$  と同期して超音波を放射する送信子として動作する送波状態と、周期  $t_{02} \sim t_{03}$ ,  $t_{04} \sim t_{05}$  間で受信子として動作する受信状態を示す波形である。(c) は受信波信号  $RS_1$  を受信増幅器 1 で増幅し、移相器を通過した出力波形、(f) は受信波信号  $RS_2$  を受信増幅器 2 で増幅した出力波形で、(e), (f) の波形は各式 (2.1) で示した流体流速の関数時間だけ、送信より遅延している。(g), (h) は各受信波 (e), (f) を図 2.2 のシュミットトリガ回路 1, 2 で長方形波に成形した出力波形である。(i) は位相差検出回路の出力で、二つの長方形波 (g), (h) の位相差に比例した幅を有する長方形波である。すなわち (i) の長方形波の幅は超音波伝  $P$  時間差  $\Delta t$  に比例する。(j) の波形は (i) の長方形波を整流した波形で、長方形波の幅に比例した振幅の直流電圧である。この (j) の波形の振幅が流速に比例することになるので、この直流電圧を指示計または記録計に指示させている。

一般に同期信号周波数は  $kc$  のオーダーで、超音波周波数は数  $Mc$  の程度であるので、受信周期  $t_{02} \sim t_{03}$ ,  $t_{04} \sim t_{05}$  の間では受信長方形波のパルス数として  $10^3$  程度となり、これらの数の長方形波について位相検出されていることになる。

### 2.3 性能と応用例

当流量計の性能の一例として、ダクトの内径 100 mmφ、振動子にジルコチタン 酸鉛磁器を使用し、超音波周波数 4.2 Mc、送受切

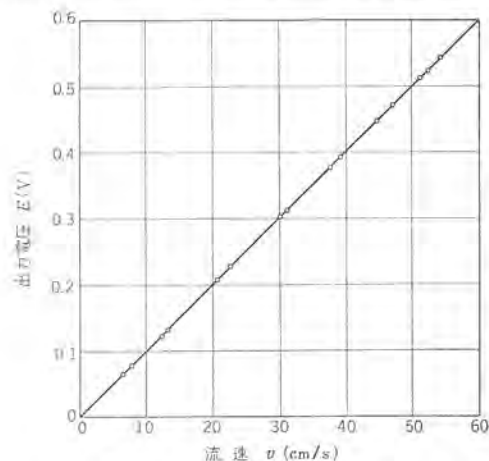


図 2.4 出力対流速特性の例  
(流体：鉱物油、管径：100 mmφ)  
Fig. 2.4 Output versus fluid velocity characteristics  
(Fluid : mineral oil, Dia of duct : 100 mmφ).



図 2.5 単軸送受同時切換え方式超音波流量計の外観  
Fig. 2.5 Exterior of ultrasonic flowmeter.



図 2.6 超音波流量計の試験状況の例  
Fig. 2.6 Testing of ultrasonic flowmeter.

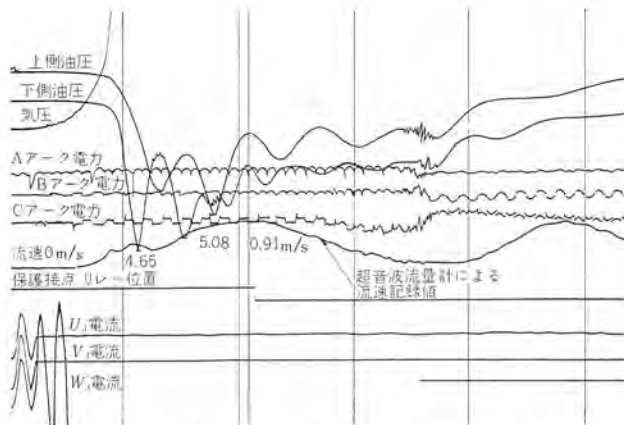


図 2.7 超音波流量計を油冷却電気機器へ適用した動作  
オシログラムの例  
Fig. 2.7 Oscillograms of oil flow in electrical machine  
utilizing ultrasonic flowmeter.

り換え周波数 3.13 kc、音波傾斜角 30° に選択し、流体として鉱物油を対象とし流速測定範囲を 0~60 cm/sec とした場合の出力対流速特性の一例を図 2.4 に示す。直線精度 1% 内、応答速度 0.3 ms 内の良好な直線性と速い応答速度を有し、1 cm/sec のような低流速から測定しうる。これらの性能は流体に清水を使い 0~5 m/sec の広い流速範囲に対しても同様の性能を示す。流速の基準値の修正は低流速に対しては単位容積当たりの蓄積時間から、また速い流速に対してはオリフイス式差圧流速計を用いて行なった。

図 2.5 はこの装置の外観で、左端はラレーを付したダクト、中央が電子測定装置で回路素子はすべてシリコン半導体素子を用いている。右端はとくに当方式で 3 軸方向の流速成分を測定できるようにした検出ヘッドである。図 2.6 はこの装置による流量試験の一例であり、図 2.7 は鉱物油を冷却用に用いた電気機器の動作試験時の油流量変化状態を示すオシログラムの一例で、圧力損失はなく、速い応答速度で、非導電流体も測定することを示している。

### 3. 超音波流量計の諸問題

超音波流量計を構成し、また使用する観点から考慮すべき種々の問題について概説する。

#### 3.1 不均一流速分布の流量指示に及ぼす影響

超音波流量計が超音波ビームを流体内に透過させ、流体内部伝搬時間の流速によって変化する原理を使用する以上、伝相差法、周波数差法の方式いかににかかわらず、管内不均一流速分布の指示

に及ぼす影響を考慮し、流量を真に求めうるか、いなかを検討しておく必要がある。

管内流速分布は一般に乱流領域で、とくに低流速の場合は層流領域の不均一分布を示す。

軸対称の乱流領域において、速度分布が指数法則に従う場合、超音波伝搬時間への影響を解析し、この位相差方式超音波流量計による実験結果とも 1% 以内で合致することを確かめた。

すなわち、太さ一様かつ管壁がなめらかな円形断面の管内を流れる流体の速度分布が軸対称で、管軸方向に変化しない二次元問題と仮定すると、レイノルズ数  $Re$  ( $Re = d v_a / \nu$ ,  $v_a$  は平均流速,  $d$  は管内径,  $\nu$  は流体動粘性係数) が 2,320 以下のとき層流となり、 $v_m$  を最大流速,  $R$  を管内半径とすれば、管軸から  $r$  の距離にある点の流速  $v(r)$  は

$$v(r) = v_m (1 - r^2/R^2) \quad (3.1)$$

となり、 $Re$  が 2,320 より大きくなると乱流となって

$$v(r) = v_m (1 - |r|/R)^{1/n} \quad (3.2)$$

$$n = 3.36 Re^{0.085} \quad (3.3)$$

の指数法則で知られる式となる。平均流速と最大流速の比すなわち管係数  $P_f$  は次式で与えられる。

$$P_f = v_a / v_m = 2n^2 / (n+1)(2n+1) \quad (3.4)$$

層流と乱流の流速分布の状態はそれぞれ、図 3.1 右側の (a)、(b) のようになる。

図 3.1 で超音波伝搬軸と管軸との交点を原点ととり、超音波伝搬軸に座標  $x$  を取ると、超音波伝搬軸上の任の点  $P$  における見かけの超音波速度は次式で与えられる。

$$\frac{dx}{dt} = c \pm v(r) \cos \alpha \quad (3.5)$$

ただし右辺符号の+は下流向、-は上流向発信に対応する。任意の点  $P$  における  $x$  と  $y$  の間には  $x \sin \alpha = r$  なる関係が存在するので、この関係を式 (3.5) に代入し、変数分離すると次式をうる。

$$dt = \frac{dr}{\{c \pm v(r) \cos \alpha\} \sin \alpha} \quad (3.6)$$

層流の場合、式 (3.6) に式 (3.1) を代入し積分すれば、下流向超音波伝搬時間  $t_1$ 、上流向超音波伝搬時間  $t_2$  が求まり、それぞれ次式をうる。

$$t_1 = \frac{tc}{2D} \sqrt{\frac{D}{1+D}} \log \frac{1 + \sqrt{\frac{D}{1+D}}}{1 - \sqrt{\frac{D}{1+D}}} \quad (3.7)$$

$$t_2 = \frac{tc}{D} \sqrt{\frac{D}{1-D}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{D}{1-D}} \quad (3.8)$$

ただし

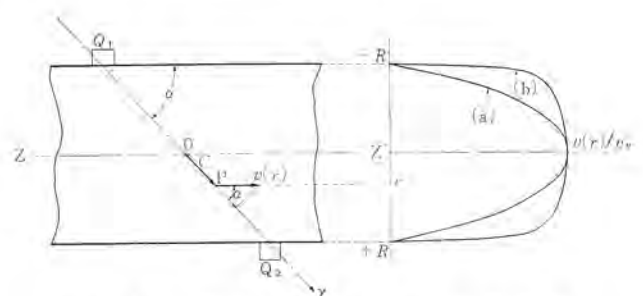


図 3.1 不均一流速分布の影響説明図  
Fig. 3.1 Diagram showing the effect of non-uniform flow velocity distribution



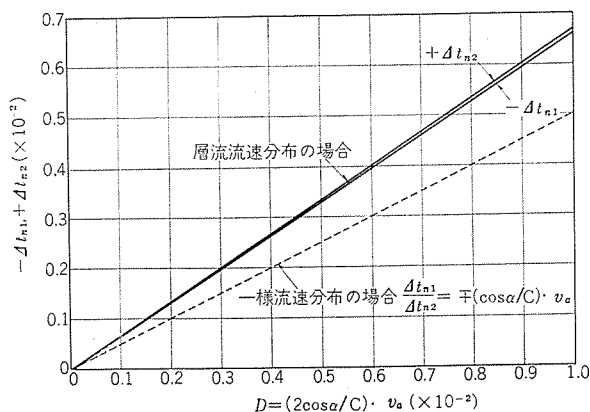


図 3.2 層流流速分布の場合の平均流速  $v_a$  対超音波伝搬時間増分  $\Delta t_{n1}$ ,  $\Delta t_{n2}$  の関係  
Fig. 3.2 Relation between  $v_a$  and  $\Delta t_{n1}$ ,  $\Delta t_{n2}$  in case of a Laminar velocity distribution.

$$t_c = \frac{2R}{c \sin \alpha} \dots\dots\dots (3.9)$$

$$D = \frac{v_m \cos \alpha}{c} = \frac{2v_a}{c} \cos \alpha = \frac{1}{P_f} \left( \frac{\cos \alpha}{c} \right) v_a \dots\dots\dots (3.10)$$

で、 $t_c$  は流体静止時の超音波伝搬時間である。

下流向および上流向超音波伝搬時間  $t_1$ ,  $t_2$  を流速ゼロのときの超音波伝搬時間  $t_c$  に対する増分  $\Delta t_1$ ,  $\Delta t_2$  と  $t_c$  の和で表わせば次式のようになる。

$$t_1 = t_c + \Delta t_1 = t_c (1 + \Delta t_{n1}) \dots\dots\dots (3.11)$$

$$t_2 = t_c + \Delta t_2 = t_c (1 + \Delta t_{n2}) \dots\dots\dots (3.12)$$

式 (3.7) に式 (3.10) を、式 (3.8) に式 (3.12) を代入し、 $D$  と  $\Delta t_{n1}$ ,  $\Delta t_{n2}$  との関係を計算した結果を図 3.2 に示す。この図から層流の場合の平均流速に対し流量指示は直線性で、一様な流速分布を仮定した場合の流量指示値の 33 % 増の値となる。

乱流の場合、式 (3.6) に式 (3.2) を代入し、積分すると下流および上流向伝搬時間  $t_1$ ,  $t_2$  はそれぞれ次式のようになる。

$$t_1 = t_c \int_0^1 \frac{dx}{1 \pm Dx^{1/n}} \dots\dots\dots (3.13)$$

式 (3.13) の分母を Maclaurin 展開し、項別積分をして、層流の場合と同様、式 (3.11), (3.12) に代入すると、 $\Delta t_{n1}$ ,  $\Delta t_{n2}$  は次式で示される。

$$\Delta t_{n1} = \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k \frac{D^k}{\frac{k}{n} + 1} \dots\dots\dots (3.14)$$

$$\Delta t_{n2} = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{D^k}{\frac{k}{n} + 1} \dots\dots\dots (3.15)$$

たとえば管内径  $d=70 \text{ mm}\phi$ 、超音波傾斜角  $\alpha=30^\circ$  のときの乱流流速分布に対し、数種の流体媒質を対象として平均流速  $v_a$  対  $\Delta t_{n1}$ ,  $\Delta t_{n2}$  特性の数値計算した結果を図 3.3 に示す。図のように乱流においても平均流速に対し流量指示に直線性が得られ、流量指示値は一様流速分布とみなした場合の 4.7~7.0 % 増(下流向)、および 5.0~8.8 % 増(上流向)となる。

乱流の場合の一様流速分布に対する補正係数は次の解析過程より求める。

式 (3.10) に式 (3.4) を代入し次式をうる。

$$D = \frac{(n+1)(2n+1)}{2n^2} \left( \frac{\cos \alpha}{c} \right) v_a \dots\dots\dots (3.16)$$

式 (3.14) および式 (3.15) で、流体静止時の超音波伝搬速度 900

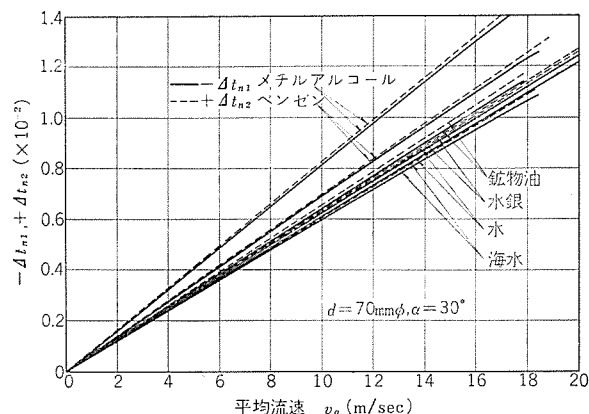


図 3.3 乱流流速分布の場合の各種流体に対する平均流速対超音波伝搬時間増分特性  
Fig. 3.3 Relation between  $\Delta t_{n1}$ ,  $\Delta t_{n2}$  and  $v_a$  in case of turbulent velocity distribution.

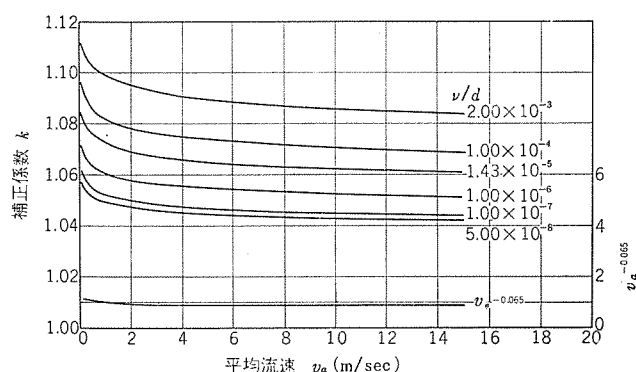


図 3.4 流量補正係数対平均流速の関係 (乱流の場合、 $\nu/d$  パラメータ)  
Fig. 3.4 Relation between  $k$  and  $v_a$ .

~2,000 m/sec 流速測定範囲 0~10 m/sec 程度の実用範囲において、右辺第 2 項以下を省略して近似しても、誤差はきわめて小になるので、式 (3.16) を式 (3.14), (3.15) の近似式へ代入整理すれば次式をうる。

$$\frac{\Delta t_{n1}}{\Delta t_{n2}} = \mp \left( 1 + \frac{1}{2n} \right) \left( \frac{\cos \alpha}{c} \right) v_a \dots\dots\dots (3.17)$$

いま

$$\frac{\Delta t_{n1}}{\Delta t_{n2}} = \mp k \left( \frac{\cos \alpha}{c} \right) v_a \dots\dots\dots (3.18)$$

とおけば、 $k$  が流量補正係数となり、式 (3.3) を式 (3.4) に代入し、式 (3.17) と組み合わせ  $k$  は次式のようになり

$$k = 1 + \frac{1}{2n} = 1 + 0.149 (\gamma/d)^{0.065} v_a^{-0.065} \dots\dots\dots (3.19)$$

乱流の場合の流速指示値は、式 (3.19) により求めた流量補正係数  $k$  を一様流速分布の場合の指示値に乗じて得られる。

図 3.4 に乱流の場合の流量補正係数と平均流速との関係を動粘性係数対管径比をパラメータとして計算した結果を示す。

上記解析結果を当超音波流量計に適用する場合、位相差  $\Delta\Phi$  は次式で示される。

$$\Delta\Phi = 2 \frac{\omega 2L \cos \alpha}{c^2} \cdot v_a k \dots\dots\dots (3.20)$$

ただしここで、 $v_a$  は平均流速、 $k$  は流量補正係数である。

流体には浄水を用い、管内径 70 mm $\phi$ 、傾斜角  $30^\circ$ 、流速測定範囲 0~1 m/s の条件で得られた  $v_a$  と  $\Delta\Phi$  との関係を図 3.5

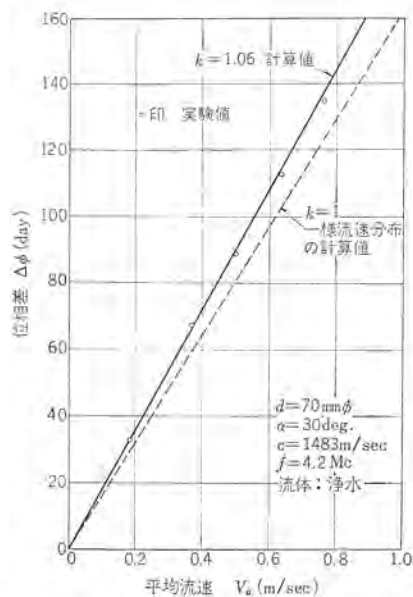


図 3.5 乱流の場合の不均一流速分布の影響の位相差法  
超音波流量計による実験結果と解析結果の比較  
Fig. 3.5 Relation between analysis and experimental results of indication in ultrasonic flowmeter for turbulent flow.

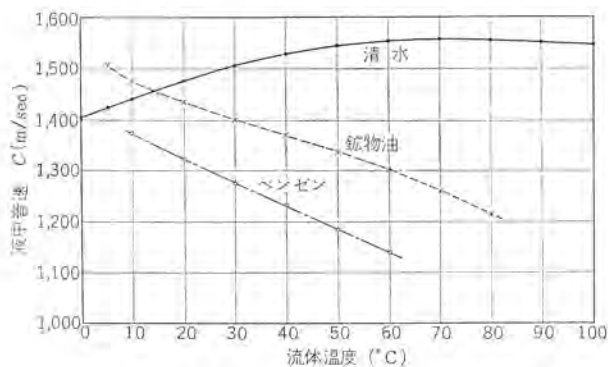


図 3.6 流体内超音波伝搬速度の温度による影響  
Fig. 3.6 Effect of fluid temperature on acoustic velocity in fluid.

に○印で示す。解析結果から図 3.4 を用いて下流向では  $k=1.05$ 、上流向では  $k=1.07$  となり、平均をとれば  $k=1.06$  になる。図 3.5 の実線が  $k=1.06$  の計算値、点線が  $k=1$  の一様流速分布の計算値である。実測と計算値がよく一致していることがわかる。

### 3.2 流体内超音波伝搬速度と流体温度との関係

流体内超音波伝搬速度は流体温度により変化し、この現象はとくに位相差法の場合考慮する必要がある。

図 3.6 は 3 種の流体媒質の超音波速度の温度による影響の実測例で、流体媒質の種類により変化し、またたとえば水では  $60^{\circ}\text{C}$  を境として温度に対する  $c$  の配が変化する。これらの特性をよく検討して使用温度範囲に対する補償法を考慮する必要がある。

### 3.3 指向性

一般に超音波振動子の全面が一様な速度でピストン状に振動す

る振動面によって超音波の送受信を行なうことが多く、この場合送受信波の指向性の鋭さは振動面の寸法と媒質中の波長の比で決まり、寸法が波長に比べて大きいほど鋭くなる。円形振動面を有する振動子では、周波数が一定の場合直径が大きいほど指向性は鋭く、また直径が一定の場合周波数が高いほど指向性は鋭くなる。

指向性の鋭さを簡潔に表わすのに、音圧が  $1/2$  に減少する角  $\gamma_{1/2}$ 、または最初にゼロに落ちる角  $\gamma_{01}$  をもって表わし、振動子の直径を  $d$ 、音波の波長を  $\lambda$  とするとそれぞれ次式で表わされる。

$$\gamma_{1/2} = \sin^{-1}(0.71\lambda/d) \quad (3.21)$$

$$\gamma_{01} = \sin^{-1}(1.22\lambda/d) \quad (3.22)$$

この測定装置に使用した振動子の仕様は、振動数  $4.2\text{ Mc}$ 、直径  $10\text{ mm}\phi$  で、指向性は  $\gamma_{1/2} \approx 1^{\circ}.4$ 、 $\gamma_{01} \approx 2^{\circ}.4$  である。

## 4. む す び

以上、当所で開発した超音波流量計の概要、不均一流速分布の影響などについて述べた。筆者らはさらに別の方式の超音波流量計についても研究中である。超音波流量計は圧力損失なく、水、油などの導電、非導電の区別なく、小口径、大口径にかかわらず、低流速から高流速に至るまで高精度、良好な直線性、速い応答速度で計測しうるなどの多くの独特の特長を有するので、種々の問題点を留意することによって今後とも、大口径用、水道用、石油工業用、化学工業用等の各種工業分野へ独自の発展が期待されると考える。関係の方々のご指導ご協力を切望する次第である。

(昭 41-5-13 受付)

## 参 考 文 献

- (1) 吉山, 高野: 不均一流速分布の超音波流量計指示に及ぼす影響, 第 4 回計測自動制御学会, 116 (昭 40)
- (2) 吉山: 計測と制御, 超音波流量計による流量計測, 5, No. 8, (昭 41), (未刊行)
- (3) H. Dalke, W. Welkowitz: Ultrasonic Flowmeter, IRE International Convention Record, 8, Part 6, p. 255~260 (1960)
- (4) Harold F. Messias: Ultrasonic Measures Flow Velocity of Rivers, Electronics, p. 56~59 (Oct. 13, 1961)
- (5) Henry, P. Kalmust: Ultrasonic Flowmeter System, Rev. Sic. Instrum., 25, p. 201~205 (1954)
- (6) Keeper S. Stull, JR: Ultrasonic Phase Meter Measures Water Velocity, Electronics, p. 128~131 (Sept., 1955)
- (7) Robert L. Forgacs: Precision Ultrasonic Velocity Measurements, Electronics, p. 98~100 (Nov. 18, 1960)
- (8) G. E. Miller, W. F. Richardson, N. Serotta: The Measurement of River Flow by the use of Underwater Sound, IRE International Convention Record, 8, Part 6, p. 246~254 (March 21-24, 1960)
- (9) Г. И. Биргер: Некоторые вопросы Градуировки Ультразвуковых Расходомеров, Измерительная Техника, No. 10, p. 53 (1962)



## マ ス イ フ ィ ル タ 形 真 空 分 析 計

藤 永 敦\*・花 坂 孝 雄\*

## A Quadrupole Mass Filter as a Vacuum Analyser

Central Research Laboratory    Atsushi FUJINAGA・Takao HANASAKA

A quadrupole mass filter has been developed for the first time in this country. In this device mass separation is performed by a high frequency field of 2 Mc without using a deflecting magnet. A positive potential is applied to the field-forming rods so as to reduce the transmission velocity of ions and to improve the resolution. This potential helps obtain the maximum resolution  $m/\Delta m$  of 150; the rod is only 10 cm long. The mass range of the filter can be set optionally between 1 and 300. The pressure range is from  $10^{-4}$  Torr to ultra high vacuum. This apparatus has many attractive performances such as, high resolution, high sensitivity, light weight of the analysing tube, easy adjustment, etc. all these features making the set applicable to many fields of science connected with gas analysis.

## 1. ま え が き

真空装置内部の気体の状態を知るための簡易形の質量分析計は真空分析計 (Vacuum analyser), 残留ガス分析計 (Residual gas analyser), 分圧計 (Partial pressure indicator) などと呼ばれており, その歴史は, 今から十余年前, Alpert らがオメガトロン形の分析計によって超高真空装置内に大気中のヘリウムが透過することを指摘してその有用性を実証した<sup>(1)</sup>のにはじまるが, 以来真空工業, 超高真空技術の発達に伴って, この種分析計の応用は急速に普及し, 現在では表 1. 1 のような多くの分野で利用が進められるに至った。わが国においても 5 年前に当社のオメガトロン<sup>(2)</sup>が製品化されてから, 大学や官庁関係の研究室において真空分析が行なわれ, 各分野で相当の成果が得られている。また最近では真空工業に関連するメーカーの間でもしだいに関心が高まっており, 積極的に応用が進められている<sup>(3)</sup>。

真空分析計には通常の質量分析計に比較して, 小形・高感度・操作の簡易性などが強く要求され, 価格の面でも使いやすいものが要望されている。しかし分解能や安定性の面での要求はそれほど厳重ではない。通常の質量分析計の分解能が 150~500, 再現性が 0.1% を要求されるに対し, 真空分析計のそれは 30~100, 10% 程度が一つのめやすになっている<sup>(3)</sup>。真空装置内の気体の

状態が変動する際には, 数倍以上の変化が問題となることが多いので, ある程度の特性変動はそれほど支障がなく, この面で過度の考慮をすると, ほかの特長が犠牲になるためもある。この程度の数値が受け入れられている。当社の製品はすでにこの数値を満足しているが, なお不断の改良研究をつづけている。

現在, 精密分析に使用されている質量分析計のほとんどは, 扇形磁場によるイオンの偏向を利用したものであり, 磁場の調整その他に多くの時間を要するが, 寸法精度のみで性能のほとんどが決定されるため, 一度調整が完了すれば以後の特性はきわめて安定している。真空分析計としては上記のものを小形化<sup>(5)</sup>してもよく, 安定なものが作りやすいが, 一般的に感度はやや低い。

真空分析計には今一つ, 磁場を使わずに電界のみで質量分離を行なうものがあり<sup>(6),(7)</sup>, この場合は電子回路が複雑化して安定性をそこないやすいために, 再現性が問題になるが, 小形で高感度のものが作りやすい。磁場がないことは装置の取り付け, とりはずし, 調整などの面で大きな利点になるので, 真空分析計の安定性への要求がゆるやかなためもある。製品化が活発である。マスフィルタもこの形に属し, 分解能や感度の点で他の形にはみられない優秀な性質をもっている。このため最近では真空分析計としてより, むしろ質量分析計としての使用を考慮する向きも多く, 安定性についても要求が高まりつつある。われわれは動作原理に基づいて各部につき独自の設計を行ない, 実際に各種の真空分析に使用して好結果をえているが, さらに検討を進めて将来質量分析計としても十分な性能のものにしたいと考えている。

最後に電場と磁場を併用する形<sup>(8)</sup>について述べよう。この形は

表 1. 1 真空分析計の応用分野  
(○印はわが国ですでに実績あるもの)

研究装置	宇宙開発	○宇宙室(space chamber)のガス分析
		○上層大気成分分析
		○宇宙空間(他の惑星)のガス分析
	一般真空装置の改良研究	○超高真空系の残留ガス分析
		○加速器の動作時のガス分析
		○(その他)
	基礎研究	○表面物性(触媒反応その他)の研究
		○気体の透過, 拡散の研究
		○微量不純物の検出
		○分子線の研究
工業装置	品質改良研究	○電子管の残留ガス分析
		○真空冶金反応の研究
		○蒸着装置のガス分析
	プロセスモニター	○ガスクロマトグラフと併用した定性分析
		○特定の気体による蒸着反応過程の自動制御

表 1. 2 真空分析計一覽

分類	形名	性能例			備考
		感度(A/Torr)	分解能	分析管容積(cc)	
磁界偏向形	扇形磁場形	$1 \sim 20 \times 10^{-6}$	50~150	150~300	文献(5)(9)ほか
電場形	マスフィルタ	$5 \sim 20(100) \times 10^{-6}$	100~300	500	三菱MF-1形
	トバトロン	$(\sim 1 \times 10^{-6})$	20~25	350	文献(6)ほか
	ファビトロン	$(\sim 5 \times 10^{-6})$	20	45	文献(7)ほか
磁場・電場併用形	オメガトロン	$1 \sim 50 \times 10^{-6}$	40~80	65	三菱OG-250形
	トロコイド形	$\sim 5 \times 10^{-6}$	150	~600	文献(8)

大きさのわりに感度または分解能が高いのが特長で、当社のオメガトロンはわずか 65 cc の容積であるが、感度は非常に大きい。またオメガトロンについては連続的に実動させた 10 日余りの定量性測定実験により、 $\pm 10\%$  の定量実験ができることが確かめられている<sup>(3)</sup>。これら各種の形式のものを表 1. 2 に示しておく。

## 2. マスフィルタの沿革と特長

マスフィルタ (mass filter または quadrupole gas analyser などと呼ばれる) は Paul<sup>(10)</sup> らによって提案された分析計で、4 本の分析ロッドに高周波と直流の重ジョウ電場を加えることによって分離が行なわれる。Paul らが試作<sup>(18)</sup>した分析管は、分析空間の半径  $r_0$  が 1.5 cm (分析管の直径になおすと約 15 cm)、ロッド長さ  $L$  が 1 m の大きなもので、1,500 に達する分解能が得られた。その後 Günther らはその特長をいかして小形化をはかり、 $r_0=0.3 \sim 0.4$  cm,  $L=12 \sim 18$  cm のもの数種の特性をしらべ、分解能  $\rho=50 \sim 100$ 、感度  $K=6 \sim 30 \times 10^{-6}$  A/Torr の結果を得た<sup>(11), (12)</sup>。

われわれはこれらの報告から、マスフィルタのもつがん丈さ、高い分解能などに着目し、数年前から独自の開発を続けた結果、 $r_0=0.34$  cm,  $L=10$  cm の小形の分析管球によって、 $\rho \approx 150$ 、 $K=5 \sim 20 \times 10^{-6}$  A/Torr の結果をうることができた。性能を左右する因子は管球の組み立て精度と高周波発振器を含む電子回路の安定性で、前者は 1/100 mm、後者は  $1 \times 10^{-4}$  が要求されている。この要求は、一般的な計測器としてかなりきびしいものではあるが、適当な設計によって、十分実現可能な値である。

マスフィルタの特長はいろいろあるが、われわれが実際に使用してみて、従来の形より とくにすぐれていると思われる点をあげるとつぎのとおりである。

- (1)  $10^{-4}$  Torr の悪い真空中でも使用可能であること
- (2) 質量スペクトルにおいて、ピーク間の距離ならびに相互の分離のようすが全範囲ほとんど一定であること (式であらわすと  $dm/dt = \text{const.}$  ならびに  $\rho \propto m$ )
- (3) 走査が純電氣的に行ない得るため、走査範囲、走査時間などがきわめて自由に設定でき、任意の範囲をくり返し走査できること
- (4) 調整がきわめて簡単で、一度調整のすんだ装置を解体して貨車またはトラックで長距離移動し、現地でふたたび配線すればそのまま無調整で一応動作する。これはやはり磁石を使用しない良さであろう。

これらの特長はマスフィルタが工業的な使用に適していることを示している。

## 3. 動作原理

図 3. 1 のような 4 本の放物状電極 (実際の装置では製作上の問題から円筒のロッドが使用される) に、 $\pm \varphi_0$  なる電位を与えると空間の電位  $\varphi$  は

$$\varphi = \varphi_0 \cdot \frac{(x^2 - y^2)}{r_0^2} \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

ここに  $r_0$  は図に示すように、軸と電極の距離である。この空間内の荷電粒子 (質量  $m$ 、電荷  $e$ ) に働く力は

$$m\ddot{x} = eE_x = -\varphi_0 \frac{2ex}{r_0^2} \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

$$m\ddot{y} = eE_y = \varphi_0 \frac{2ey}{r_0^2} \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

$$m\ddot{z} = 0 \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

ここで  $\varphi_0 = (U = V \cos \omega t)$ 、すなわち定常電圧  $U$  と高周波電圧  $V$  を重ねて加えることとし、また

$$a = 8eU/mr_0^2\omega^2 \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

$$q = 4eV/mr_0^2\omega^2 \quad \dots\dots\dots (3.6)$$

$$\omega t = 2\xi \quad \dots\dots\dots (3.7)$$

( $\omega$ .....角周波数)

なる置換を行なうと、式 (3.2), (3.3) はそれぞれ

$$\ddot{x} + (a + 2q \cos 2\xi)x = 0 \quad \dots\dots\dots (3.8)$$

$$\ddot{y} - (a + 2q \cos 2\xi)y = 0 \quad \dots\dots\dots (3.9)$$

となる。式 (3.5), (3.6) から明らかなように

$$a/q = 2U/V \quad \dots\dots\dots (3.10)$$

である。

式 (3.8), (3.9) は、いわゆる Mathieu の微分方程式であって、その解は、 $a$  と  $q$  の値によって不安定解と安定解にわけられる。この領域を  $a-q$  座標の上にあらわすと、図 3. 2 のようになり、斜線の部分が安定領域であって、もし荷電粒子がこの領域にあれば、運動は安定なもの (周期的なもの) となる。この図を Stability diagram と称している。

式 (3.10) から判明するように、定常電圧  $U$  と高周波電圧  $V$  の比率は任意に定めることができ、これは  $a/q$  を定めたことに等しい。それゆえこれを  $a-q$  座標の上に重ねて書くと、図のように直線としてあらわされ、実際の動作はこの線上に限定される。

この直線が安定領域とわずかに交わるように設定されれば、図中の  $\Delta q$  の部分のみが安定になる。式 (3.6) から  $q$  は  $m/e$  と関連しているから、上述の操作である範囲  $\Delta(m/e)$  の粒子のみが安定になりうるということがわかる。これがマスフィルタの基本原理解である。

実際の装置では、測定気体は電子ビーム (50~150 eV) によってイオン化され、集束されて  $z$  方向に分析空間に入射する。個々のイオンの運動の様子は入射時のイオンの位置、横方向の速度、高周波の位相などによって異なってくる。式 (3.8) (3.9) を正確に解くのは一般的にめんどろな仕事であるが、特別な場合については計

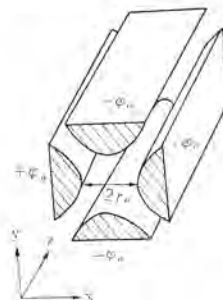


図 3. 1 マスフィルタ分析電極  
Fig. 3.1 Schema of analysing electrodes of the mass filter.

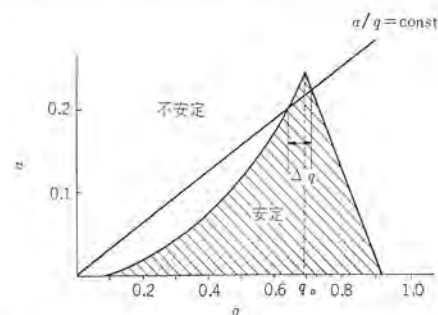


図 3. 2 マスフィルタの安定線図  
Fig. 3.2 Stability diagram of the mass filter.



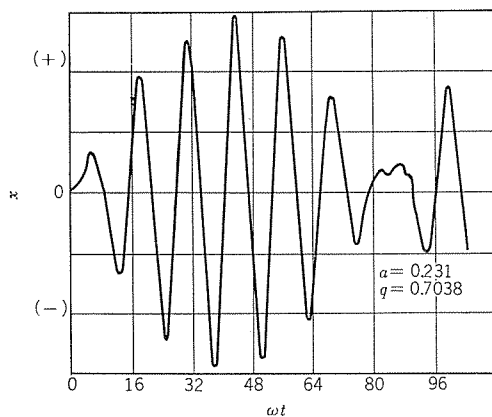


図 3.3  $x$  方向のイオン軌道例  
Fig. 3.3 Ion trajectory in the  $x$ - $z$  plane.

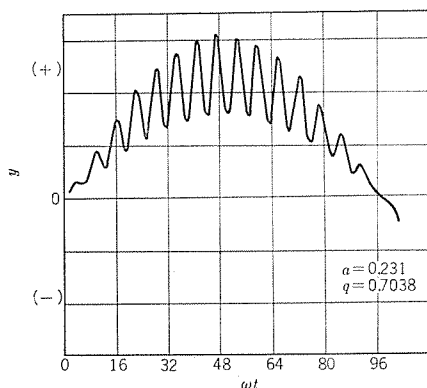


図 3.4  $y$  方向のイオン軌道例  
Fig. 3.4 Ion trajectory in the  $y$ - $z$  plane.

算機の助けを借りて軌道解析が行なわれている<sup>(14), (15)</sup>。一例を図 3.3, 3.4 に示した<sup>(14)</sup>。これらを見ると、イオンの振動周期には高周波の角周波数  $\omega$  で定まるもののほかに、もっと長い成分が含まれ、ちょうど振幅変調を受けた波の様相を呈していることがわかる。また  $x$  方向と  $y$  方向では運動のようすが異なっていることもわかる。

安定領域にあるイオンでも、実際の装置ではイオンの最大振幅  $J$  が  $r_0$  より小さくなければイオンは電極にぶつかってしまうから役に立たない。また分析ロッドの長さは有限であるから、イオンの  $z$  方向の速度があまり大きいと、十分な分離が行なわれないうちにすべてのイオンが空間を通り抜けてしまう。さらにイオンが分析空間に入射し、他方から引き出される際の過渡的な力も考慮する必要がある。しかし、これらについての十分な理論的説明はまだなされておらず、近似式についてもまちまちなので文献<sup>(10)~(18)</sup>にゆずる。

$a/q$  の値を大きくして、ちょうど安定領域の頂点に接するように設定 ( $a/q=0.336$ ) すると、ただ一つの  $q$ 、すなわち

$$q_0=0.70600 \dots\dots\dots (3.11)$$

のみが安定になるが、実際はこのとき、最大振幅  $J$  も増大し、感度は完全に失なわれるので、前述したように  $a/q$  をやや小さく選んで分析を行なう。

通過できる  $m/e$  は、式 (3.6) と (3.11) から

$$\frac{m}{e} \approx \frac{4V}{q_0 r_0^2 \omega^2} \dots\dots\dots (3.12)$$

で示される。これを実用式になおすと

$$\frac{M(\text{質量数})}{n(\text{電荷数})} = \frac{13.8 \times V(\text{ボルト})}{r_0^2(\text{mm}) f^2(\text{Mc})} \dots\dots\dots (3.13)$$

となる。すなわち、高周波の振幅  $V$  または周波数  $f$  を走査すれば質量スペクトルが得られる。通常  $V$  の走査が行なわれるが、 $V$  と  $M$  の関係は linear であるから、 $V$  を直線的に変えることにより  $M$  の尺度も直線的になり好つごうである。この際式 (3.10) から、 $U/V$  を一定に保つ必要があるので、 $U$  も  $V$  とともに走査しなければならない。これは発振器の設計を困難にする。たとえば  $M=50$  において  $\pm 5\%$  の再現性を得るための  $U$  の安定度は  $1 \times 10^{-3}$ 、 $V$  と  $f$  の安定度は  $5 \times 10^{-4}$  が必要である。われわれは発振器の設計にあたってこの点に十分検討を加えたので動作は安定している半面、回路的にはかなり複雑になった。

マスマイラの理論的な特性は、前述のように限られた部分しか明らかにになっていないが、物理的な考察と実験から、特性の傾向についてはつぎのようなことが知られている。

(1) 分解能は、 $U/V$  を増加するにつれて増大する。またイオンが分析空間で、ある程度以上の高周波のサイクル数を経験しないと十分な分離がされない。それゆえ、イオンの  $z$  方向の速度を小さくするか、ロッドを長くするか、 $f$  を高くするかによって分解能が増大する。

(2) 感度は分解能とまったく逆の傾向を持つ。(ただし  $f$  を高くするのはすべての点で好結果を得る。)

(3)  $U/V$  を減少して感度をあげていくと、ついにイオンの透過率が 1 になる。この場合は、ピークの形は flat top を持った長方形になる。この点における分解能の値は、一般的に装置が大きいほど高い。

(4) 装置を小形化すると、固有感度が減ることと、同じ分解能をうるためのイオンの透過率が減ることが重なって、総合感度が大幅に減少する。

(5)  $U/V$  を一定に保つことにより、質量数に伴って、分解能が増大し、全質量範囲で相互の分離の力をほぼ一定に保つことができる。

(6) イオンのエネルギーに関してある最大値が決まっていれば、それより低い方向の広がりには性能に悪影響がないので、イオン源の設計が簡単になる。

#### 4. 装 置

マスマイラ装置は図 4.1 に示すように、真空装置に取り付ける分析管球、管球のイオン源に電力を供給する電源、分析ロッドに分析用の電圧を供給する高周波発振器、出力イオン電流を増幅する検出器、質量スペクトルの記録装置からなっている。

分析管球は図 4.2 のような構造で、イオン源 A・分析部 B・イオンコレクタ C からなっている。A の中では、フィラメント F からの電子

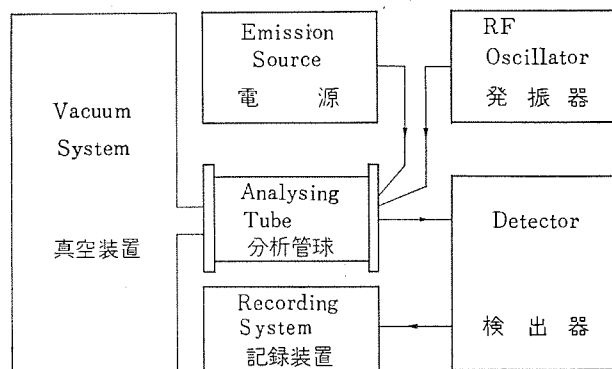


図 4.1 装置のブロック線図  
Fig. 4.1 Block diagram of the analysing apparatus.

流により、イオン化室 I で系内気体分子のイオンが作られ、EX, L で集束されて分析部に導かれる。イオンは分析部で前章で述べた分析力を受け、特定の質量のもの以外は横方向に散逸する。目的のイオンはこの空間を通り抜けて C に達する。図 4. 3 に管球の外観を示した。電極はすべて SUS 27 を使用して放出ガスの減少をはかり、絶縁はアルミナスパークによる。真空装置への取り付けを容易にするため、管球の端子類はすべて一方のフランジにまとめた。分析ロッドは  $8\text{ mm}\phi \times 100\text{ mm}$  で、 $r_0=3.4\text{ mm}$  である。

分析管球用の電源は、各種の電極電圧を供給する定電圧回路と電子電流安定回路からできている。図 4. 4 の二つのメータは、フィラメント電流と電子電流を表示する。電子電流は  $10\text{ }\mu\text{A} \sim 1\text{ mA}$  間に 7 段階に切り換えて設定され、設定値に保たれる。電極電圧は電子電流が変化しても一定値を保つように、cathode follower を使用して低インピーダンス化をはかっており、変化は無視できる。

高周波発振器は  $2\text{ Mc}$ ,  $800\text{ V (P-O)}$  のものである。発振器の設計はマスキングの動作に最も影響するところであって、各部に  $10^{-4}$  のオーダの安定度が要求される。この装置の回路は高周波発振ユニット・走査ユニット・電源ユニットからなりたっている。発振ユニットのブロック図を図 4. 5 に示す。出力電圧を整流して参照電圧と比較することによって出力制御を行っており、参照電圧を  $0 \rightarrow 100\text{ V}$  に変えて、 $0 \rightarrow 800\text{ V}$  の高周波を得ている。高周波とともに走査する定常電圧  $U$  は、出力端子の高周波を整流してふたたび加えあわせる方式をとっている。これによって分析管球を含

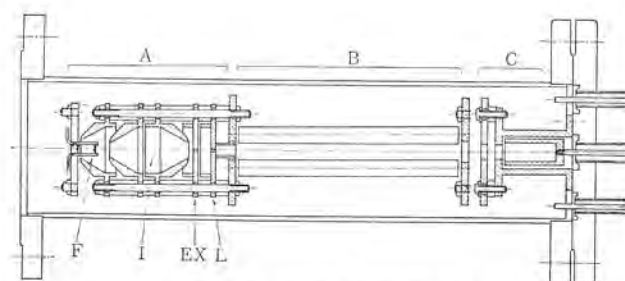


図 4. 2 分析管球断面  
Fig. 4.2 Cut view of analysing tube.



図 4. 3 分析管球  
Fig. 4.3 Analysing tube.



図 4. 4 分析管球電源  
Fig. 4.4 Emission source for the analysing tube.

めて状態が変化しても、 $U/V$  の比率を一定に保つことができる(特許申請中)。

質量の走査は参照電圧を走査することによって、高周波出力を変えて行なわれる。発振ユニットに走査用の参照電圧を供給する走査ユニットのブロック図を図 4. 6 に示す。基本的には CR の積分回路であるが、走査時間を  $20\text{ m sec} \sim 6,000\text{ sec}$  (約 1 時間半) の広い範囲に設定し、また任意の帯域をくり返して直線性よく走査できるように設計したため、パルス技術を含んだかなり複雑なものとなった。しかし設定が自由にできるので使用上は非常に便利である。

上記二つのユニットの電源は、電源ユニットとして別パネルにまとめられている。電源は  $750\text{ V}$ ,  $375\text{ V}$ ,  $-150\text{ V}$  の 3 種の安定直流電力と、ヒータ電力を供給する。これら三つのユニットの外観を図 4. 7, 4. 8, 4. 9 に示した。

検出器としては、 $10^{-13} \sim 10^{-15}\text{ A}$  の微小電流を検知できるものが必要であり、通常は振動容量形電位電流計を使用する。この形はドリフト、雑音が少なく安定な計測ができるがレスポンスは遅く、 $1 \sim 30\text{ sec}$  を要する。それゆえ速いレスポンスを得たいときは、直結形の直流増幅器を使用することもある。直結形は振動容量形にくらべて最高感度は 1 ケタ悪く、ドリフトも大きいがレスポンスは 10 倍以上早い。

記録装置は検出器と関連して適当な形を選択する必要がある。ふつうは振動容量形の検出器と組み合わせて、ペンレコーダが使用される。この組み合わせは最も安定で、長時間の記録やデータの保存に適している。しかしながら最近、各方面で速い分析に興味がある。

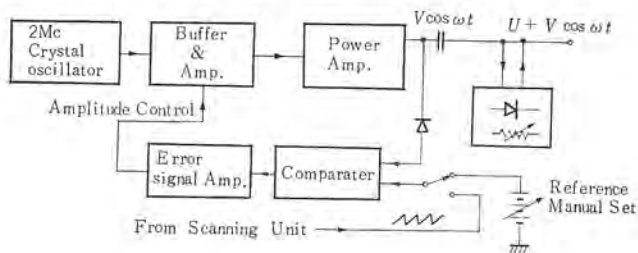


図 4. 5 発振ユニットブロック線図  
Fig. 4.5 Block diagram of osc. (rf) unit

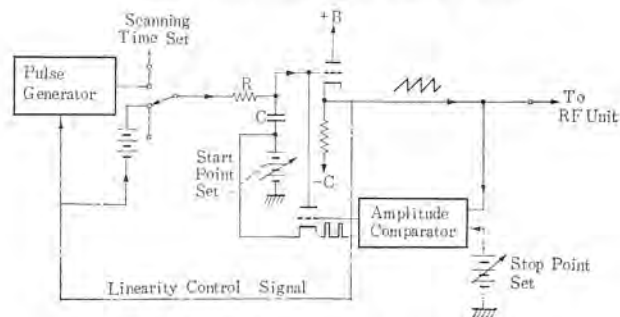


図 4. 6 走査ユニットブロック線図  
Fig. 4.6 Block diagram of rf osc. (scanning unit)



図 4. 7 発振ユニット  
Fig. 4.7 Front of rf osc. (rf unit)



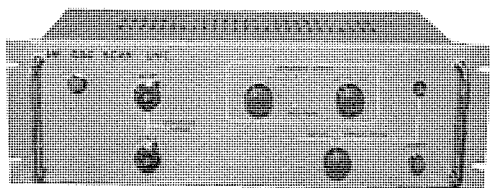


図 4.8 走査ユニット  
Fig. 4.8 Front view of rf osc. (scanning unit)

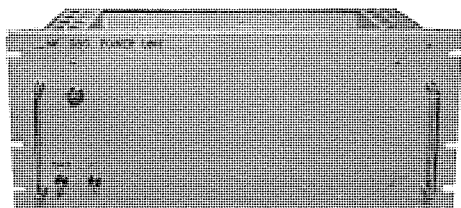


図 4.9 電源ユニット  
Fig. 4.9 Front view of rf osc. (power unit)

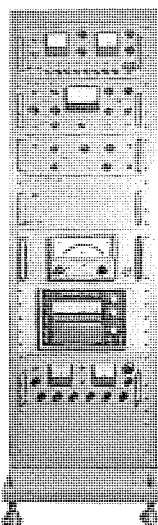


図 4.10 マスフィルタ装置 MF-1 形測定ラック  
Fig. 4.10 Full view of measuring circuits of Mitsubishi mass filter type MF-1 (with a vacuum gauge and a pen recorder)

持たれるようになり、オシログラフやブラウン管と写真の組み合わせなどが検討されるようになってきた。速い分析を行なうためには、二次電子増倍管を使用して感度をたかめ、検出器の利得を押えてレスポンスを改善する方法がとられる<sup>(17)</sup>。当社ではすでに二次電子増倍管には実績があるので、近い将来マスフィルタにも増倍管を装着して速い分析を行なう予定である。

測定装置は図 4.10 ような、一面ラックに収納される。記録計と真空計を含んでもこのように小さくまとめるので、移動が簡単で手軽に測定ができる。装置の仕様を下に記す。

分析圧力範囲	$1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-8}$ Torr
検出感度	$10^{-10}$ Torr
分析質量範囲	$M=1 \sim 300$ (AMU)
分解能	150
走査方式	単一走査・繰り返し走査・手動
走査時間	$20 \text{ sec} \sim 4 \times 10^{-3} \text{ sec/AMU}$ を 12 段切換え
消費電力	AC 100 V 9 A

## 5. 測定例

図 5.1 は油拡散ポンプを使った真空装置の分析例で、 $1 \times 10^{-5}$  マスフィルタ形真空分析計・藤永・花坂

Torr の空気をリークさせている。主成分は窒素 ( $N_2$ ) で、 $M=28$  に  $N_2^+$ 、 $M=14$  に  $N_2^{++}$  と  $N^+$  のピークを作る。つぎに大きいのは水蒸気 ( $H_2O$ ) で、 $M=18, 17$  に  $H_2O^+$ 、 $OH^+$  のピークを作っている。ほかには酸素 ( $O_2$ ,  $M=32$ )・水素 ( $H_2$ ,  $M=2$ )・アルゴン (Ar,  $M=40$ ) などが認められる。また  $M=39 \sim 45$ ,  $M=55 \sim 57$  には有機物蒸気の一連のピーク群が存在する。リークを止めると図 5.2 のように、リークによる  $N_2$ ,  $O_2$ , A などのピークは消え、 $H_2O$ ,  $H_2$  なども減少する。

感度を 30 倍に上昇すると図 5.3 のように、ほとんどすべての質量にピークが現われる。最も小さなピークたとえば  $M=24$  は、大体  $2 \times 10^{-9}$  Torr の分圧に対応する。したがってこのときの全圧  $8 \times 10^{-6}$  Torr に対して、 $M=24$  は 250 ppm になり検出器の感度にはまだ 100 倍の余裕があることを考慮すると、2.5 ppm の検出が可能になることがわかる。これらのスペクトルは、マスフィルタの走査質量範囲を、 $M=0 \sim 60$  にセッティングされたものである。

マスフィルタの走査の自由さを活用して、狭い質量範囲をくり返し走査する使い方は、その特長を生かしたものと見える。この場合、

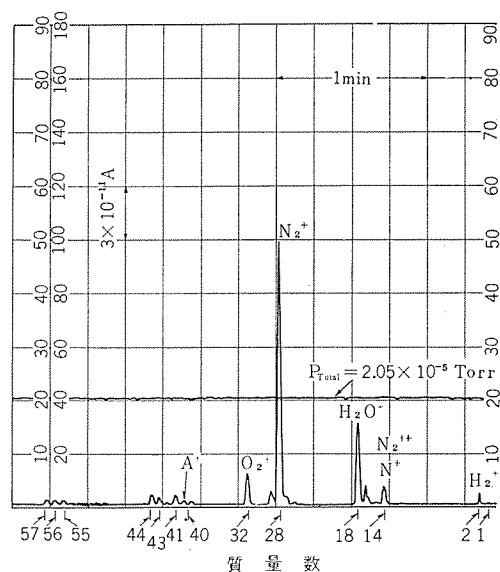


図 5.1 油拡散ポンプ系(空気を導入中)の分析  
Fig. 5.1 Oil diffusion pump system with air leak.

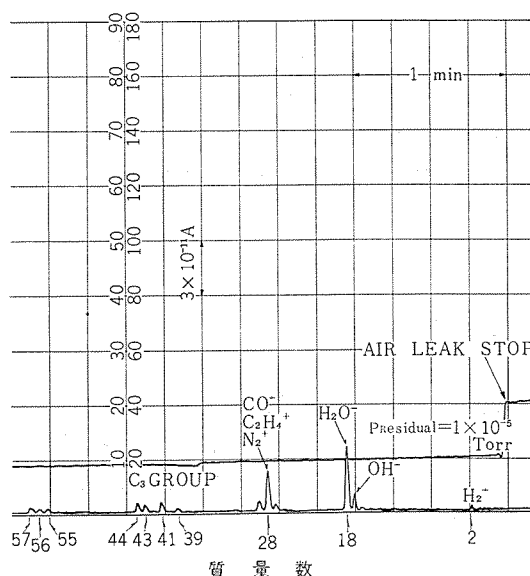


図 5.2 油拡散ポンプ系残留ガス  
Fig. 5.2 Residual masses when air leak was stopped.

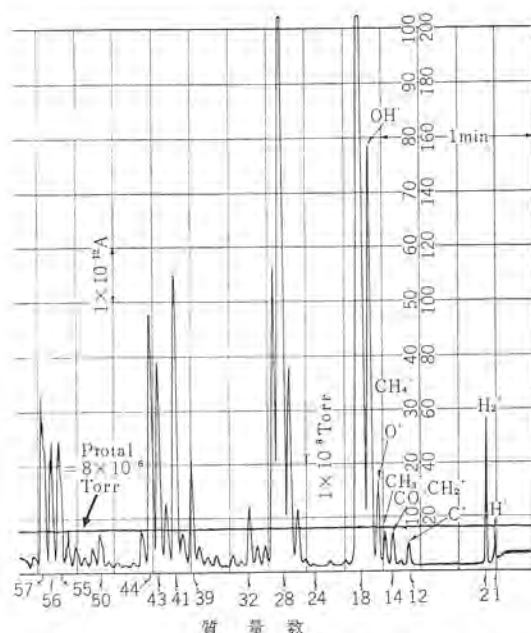


図 5.3 感度増大による微量成分の検出  
Fig. 5.3 Minor components of residual masses.

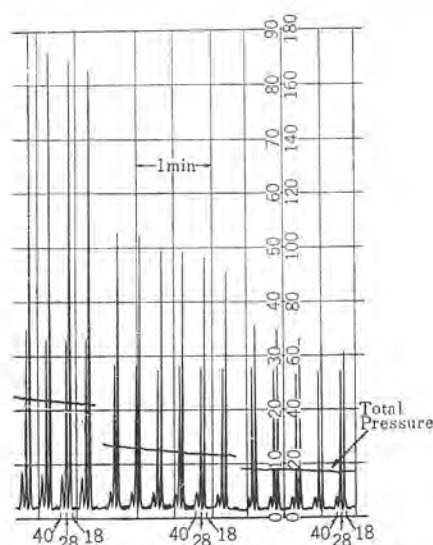


図 5.4 繰り返し走査による経時変化の追跡  
Fig. 5.4 Increase of residual water vapour by the warming of a metal wall.

U/V の比率をできるだけ下げて（これは発振ユニットのポテンショメータで簡単にこなえる）、必要最少限の分解能で使用するにより、走査スピードを速めることができる。（これはピークが広がるためと、感度が上昇して検出器のレスポンスを高めるための二つの理由による。）たとえば図 5.4 は、加速器の外壁を加熱したときの放出ガスの模様で、M=18, 28, 40 (H<sub>2</sub>O, CO, A) に着目したものである。加熱の際に増加するのは水蒸気がほとんどであることがわかる。1回の走査は12秒でいである。

最後に分解能をあげた例として、油拡散ポンプの有機物蒸気の領域のスペクトルを図 5.5 に示す。この例では分解能は150であって、従来の真空分析計ではとうてい得られなかった値である。われわれの管球の分析空間は一般のマスフィルタに比較してかなり短かく (3/4~1/2)、高周波発振器の発振周波数も低いので、そのままでは十分な性能が得られない。われわれは分析空間に直流的なバイアスを与え、イオンのエネルギーを抑制することによって、性能を向上するのに成功（特許申請中）した。

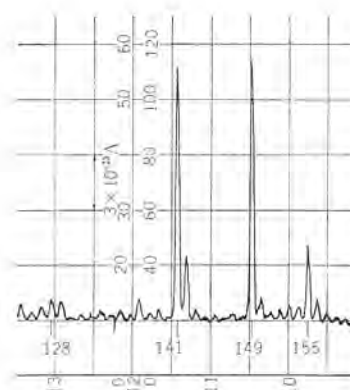


図 5.5 拡散ポンプ油の有機物蒸気  
Fig. 5.5 Organic vapours originated in pump fluid.

## 6. む す び

磁界不要の小形の質量分析計 マスフィルタにつき、その概要を報告した。現在の製品は MF-1 形1種であるが、将来は再現性に重点をおいた形と、より小形化に重点をおいた形を加えて、非常に広範囲な分野をカバーしたいと考えている。マスフィルタは使用方法が簡単で手軽に真空系の内成分が測定でき、価格も従来の質量分析計の1/5以下で工業的な使用にも適しているの、今後ますます需要が増大すると思われる。在来当社は真空分析の分野でとくに力を入れており、今後とも経験を生かして研究をすすめ、より良い製品を開発していくつもりである。終わりにあたり、日ごろご指導を賜わっている各大学、官庁、メカのかたがた、ならびに所内の各位にあつくお礼申しあげる。

(昭41-5-24受付)

## 参 考 文 献

- (1) D. Alpert, R. S. Buritz : J. App. Phys., 25, 202 (1954)
- (2) 藤永, 花坂, 鳥取 : 真空, 5, 323 (昭37)  
藤永, 花坂, 山下 : 真空, 6, 220 (昭38)  
藤永, 花坂, 山下 : 「三菱電機技報」, 37, 896 (昭38)
- (3) 花坂, 藤永, 草道, 福原, 森本 : 応物学会超高真空物理研究会 昭和41年度第1回例会予稿
- (4) 道島正美 : 真空, 6, 9 (昭38)
- (5) W. D. Davis, T. A. Vanderslice : 1960 Vacuum Symp. Transac., 417 Pergamon Press. (1961)
- (6) H. W. Ehlbeck, K.-H. Loecherer, J. RUF, H. J. Schuetze : ibid., 407
- (7) G. Reich : ibid., 396
- (8) W. K. Huber, E. A. Trendelenberg : 1961 Vacuum Symp. Transac., 592, Pergamon Press. (1962)
- (9) 山本進一郎 : 第6回真空に関する連合講演会予稿 (昭40)
- (10) W. Paul, M. Raether : Z. Physik, 140, 262 (1955)
- (11) K. G. Günther : Vacuum, 10, 293 (1960)  
VAKUUM-TECHNIK, 9, 232 (1960)
- (12) K. G. Günther, W. Hänlein : 1961 Vacuum Symp. Transac., 573, Pergamon Press. (1962)
- (13) C. E. Woodward, C. K. Crawford : M. I. T. Lab. Insulation Research Technical Report No. 176 (1963)
- (14) W. M. Brubaker : A research report supported by the U. S. Air Force No. AF 19(604)-5911 (1960)
- (15) R. F. Lever : IBM Journal, p. 26, January (1966)
- (16) Von C. Brunnée, L. Delgmann, K. Kronenberger : VAKUUM-TECHNIK, 13, 35 (1964)
- (17) H.-J. Bültemann L. Delgmann : Vacuum, 15, 301 (1965)
- (18) W. Paul, H. P. Reinhard, U. von Zahn : Z. Physik, 152, 143 (1958)



## 電解ソウ電圧監視装置

田井 昌輝\*・吉沢 忠男\*

## Electrolytic Cell Monitor

Kōbe Works

Masateru TAI・Tadao YOSHIZAWA

Salt water or aluminium electrolytic cells operated chemical plants are liable to bring about short circuit or opening of electrodes from the viewpoint of structure. If left unattended, they often come to sustain damage of the electrodes by heavy current flowing in the cells. To prevent such accidents electrolytic cell monitors have been marked out. In the devices scanners being used, voltage across the electrodes of a number of cells are monitored one after another. Because the sites are infected with corrosive gases, special care is taken in the construction to be freed from the bad effects. They are provided with 100 measuring points and have scanning speed of 2 pt/sec to accomplish the monitoring.

## 1. ま え が き

化学工場において、塩素、塩酸、ソーダ、さらし粉、塩化ビニルなどを生産し、あるいはこれらを原料とした製品を製造する場合、電解ソウが必要である。塩水を電気分解する電解ソウは、その構造上から電極間の短絡あるいは開放がしばしば起こり、また長時間使用すると電極間電圧が高くなっていくが放置しておくと数万Aないし数十万Aの大電流のため、異常発熱などを起こし、電解ソウが損傷され大事故に至る。

このような事故を防止するために製作されたのがこの電解ソウ電圧監視装置で、走査器を用い、多数の電解ソウの電極間電圧を順次監視し、上限の設定電圧を越えると警報を発する。

この装置の場合、使用される場所がガスの発生個所であるためふんい気が悪く、そのため走査器の切換素子やリレーにはガラス封入形のリードスイッチやリードリレーを用い、ポテンショメータは油づけにするなど耐腐食性はとくに留意されている。

## 2. 構成および動作原理

電解ソウ電圧監視装置は図2.2のブロック線図に示すように、走査盤、設定盤、警報盤の部分から構成されており、図2.1の

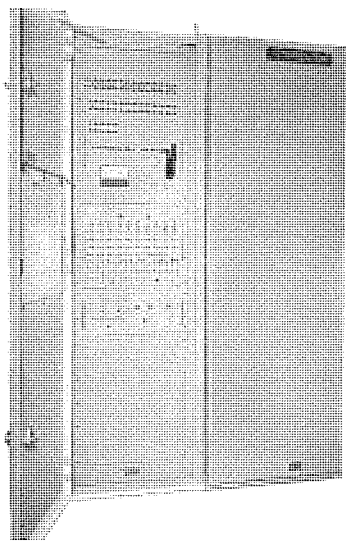


図 2.1 電解ソウ電圧監視装置  
Fig. 2.1 Electrolytic cell monitor.

ような閉鎖形制御盤に収容されている。

## 2.1 動作原理

図2.2にブロック線図を示す。イグナイトロンあるいはシリコン整流素子で整流された数万Aないし数十万Aの直流大電流は、母線によって多数の電解ソウに直列に通電される。

電解ソウ端子電圧( $e_1, e_2, e_3, \dots, e_n$ )は走査盤に導かれ、走査器(1)、(2)および手動選択回路に加えられる。この手動選択回路は任意の電解ソウの端子電圧を測定したり、あるいは警報レベルの設定値を読む際、電圧指示計の入力を手動によって切り換えるためのものである。

走査器(1)、(2)は多数の電解ソウのうちの一つを順次選出、その電解ソウ電圧を設定盤へ伝達するためのスキャナである。

スキャナによって選ばれた端子電圧は設定盤で上、下限用比較器によって設定信号と比較され、設定値範囲を越えると異常信号が警報盤へ送られる。警報盤ではこの信号を電力増幅して判別リレーを動作させ、各測定点に対応した警報ランプを点灯させて異常個所を知らせるとともに、警報ラザーを鳴らして監視員に警告するようになっている。走査器(3)は測定点に対応した警報ランプを選択するための分配器で、走査器(1)、(2)と連動して動作する。

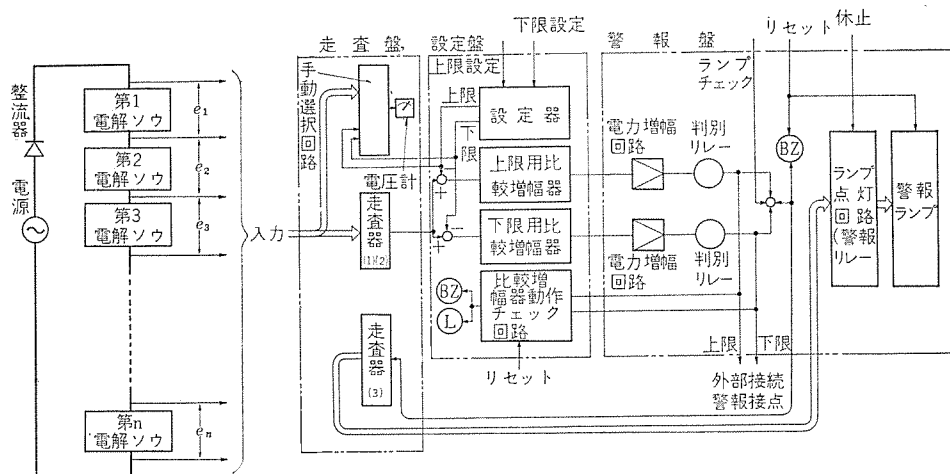


図 2.2 電解ソウ電圧監視装置ブロック線図  
Fig. 2.2 Block diagram of electrolytic cell monitor.

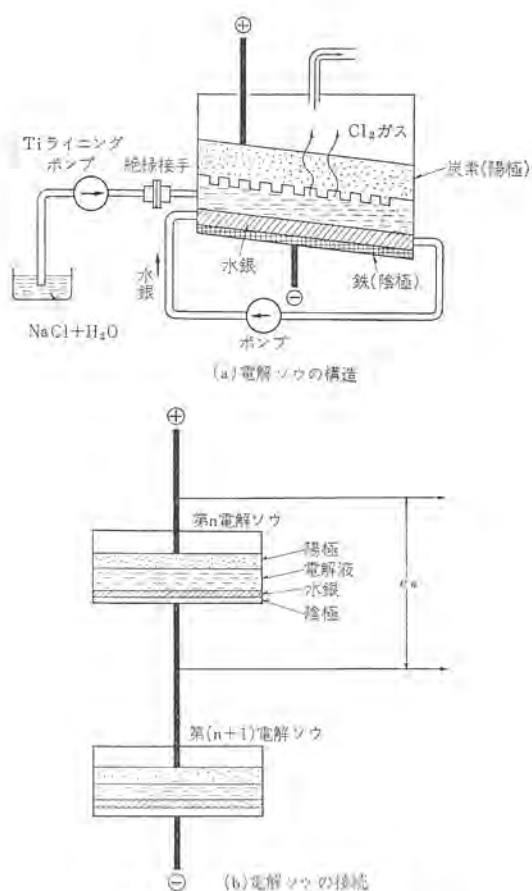


図 2.3 電解の原理  
Fig. 2.3 Principle of electrolytic cell.

次に、各部の構成機器について内容を説明しよう。

## 2.2 電解ソウ

電解槽の原理を図 2.3 に示す。陽極は炭素ブロックでできており、陰極には水銀電極が用いられる。陽極と陰極間には電気分解されるべき液体すなわち、塩水 ( $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ ) がポンプにより常に送り込まれ充滿している。電解槽 容器の底はやや傾斜して水銀が流動するようになっており、これをポンプによって強制循環している。図では水銀は一つの槽の出口から出て、ポンプによりその入口に圧送されるように示されているが、実際には数個～数十個の槽を直列に循環するようになっている。

このような電解槽が数十個～数百個直列となり、数万A～十数万Aの直流電流が通電され電気分解を行なう。

電気分解によって陽極部に生じた塩素ガスは、ソウ上部から外部へ取り出される。

このような構造であるため陽極の位置調整や水銀の波立ち脈動などによって、電極間が短絡したり、あるいは、水銀が切れてツウ電圧が異常に高くなったりすることがしばしば起こり得る。これをそのまま放置しておくと、電流値によって異なるが数十秒～1分程度で電極が焼損するおそれがあるので、これを常時監視する必要があるわけである。

また、電解ツウは図のような構造であると同時に導電性の良い塩水を使用しているため絶縁抵抗が低くなりやすく、地絡がよく起こる。電解ツウ電圧は、1ツウあたり約数V程度であるが、全ツウを直列につなぐと両端の電位差は数百Vに達し、このうちの点（電解ツウ）が地絡するかわからないため、監視装置としては耐アース間電圧の高いこと、サージ電圧に対する保護対策、お

よび走査器がなんらかの故障で2点同時に接続された場合の保護対策が要求される。

### 2.3 走查器

走査器は各電解ツウの端子電圧を順次走査し、切り換えて比較増幅器へ接続するための切換機構である。また警報信号を入力に対応した各ランプに供給するための分配器でもある。

行走器には通常 リレー が用いられ、とくに高速用には トランジスタ スイッチ が用いられることがあるが、リレー はふいひに 気ガス のために 接触不良 を起こして 電解 容量 電圧 の 監視装置 としては 使用 できない。水銀接点 リレー は接点が 密封 されているためよいが、はなはだ 高価 となる。トランジスタ スイッチ 式は 2.2 節 でも述べたように、対アース間電圧および大きな サージ 電圧 のためその 保護対策 がむづかしく、かつ、高価なものとなるので、適切な方法とは考えられない。

そこでこの装置には特別な機構を考案し採用した。すなわち、測定点の切換素子にはガラス封入のリードスイッチを用い、磁石によって外部からリードスイッチを磁氣的に開閉する構造としている。ほかにも接点開放形のリレーは用いず、すべてリードリレーなどの密閉構造タイプのリレーを使用し、腐食性ガスの影響を防いでいる。

走査器は、図 2.4 に示すような構造で回路切換素子のリードスイッチは回転軸のまわりに、同心円状に入力点の数だけ配列されている。リードスイッチはガラス管中に磁性体（リード）を封じ込んだもので、磁石が近づくとその磁力によって磁性体が相互に吸引され回路が閉じられる。図 2.4 (b) において、同期電動機によって一定回転数で駆動される磁石 (B) はそれに対向したリードスイッチ (B) を動作させる。一方伝達軸の連続的な回転運動はゼネラル車機構によって間欠運動となり、さらに減速歯車によって磁石 (A) が、一つの間欠動作によって、リードスイッチ (A) の配列の 1 ピッチ分だけ移動するようにしてある。

したがって、伝達軸が1回転すると、リードスイッチ(B)が、磁石が対向している時間だけ動作し、磁石(A)は入力切換素子リードスイッチ(A)の $n$ 番目から、 $(n+1)$ 番目へ移動し入力を切り換える。

リードスイッチ (B) は、ゲート動作の働きをするもので、入力が切り換えられて増幅器に接続されたのち、増幅器が十分安定状態になったときにその出力を取り出すためのタイミングをとっている。

このように、同期電動機の回転につれて磁石(A)は、歩進的に移動し、動作するリードスイッチも順次移り変わって回路の切り換えが行なわれる。

この装置では、回転数は毎秒2回すなわち、1点あたり0.5秒の走査速度で100点の回路切り換えが行なわれ、入力回路2回路、分配回路1回路合計3回路の切り換えを同時に行なっている。

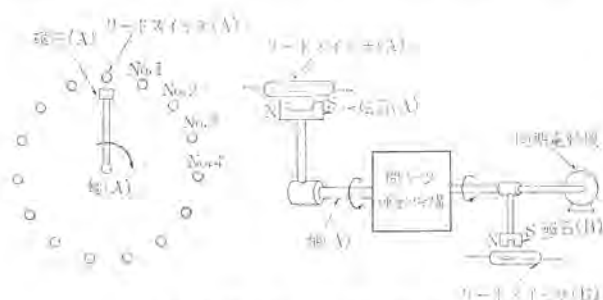


图 2.4 走查器原理  
Fig. 2.4 Principle of scanner.



手動選択回路は、電圧指示計に入力があるいは、警報設定レベルを接続するためのもので、やはり接触不良のおそれを避けるため、手動電話変換機のような、プラグイン式を採用している。

#### 2.4 設定盤

設定盤は次の三つの部分からなっている。

- (1) 警報レベルを設定するための警報電圧設定回路
- (2) 走査器で選択された入力信号（電解ソウ電圧）を警報電圧設定値と比較して、その大小を判別する比較増幅器
- (3) 1定周期ごとに比較増幅器の動作をチェックし、異常があれば警報を発する自己チェック回路

なお(1)と(2)の比較増幅器および警報電圧設定回路は上限監視用と下限監視用に おおの1回路ずつ設けられている。

警報レベルの設定は前面パネルに取付けられた多回転ポテンシオメータによって行なわれる。このポテンシオメータで安定化電源から供給される電圧を分割し、警報レベルに比例した電圧を得てその電圧を入力電圧（電解ソウ電圧）に極性を逆にして加える、したがって、そこにはこれらの電圧の差が得られ、その差電圧を次に述べる比較増幅器の入力として与える。警報電圧の設定値はポテンシオメータに取付けられた目盛板により簡単に知ることができる。さらに先に述べた走査盤に取付けられている電圧計でも警報電圧設定値を確認することができる。この装置は腐食性ガスの多い所で使用されるため、動作ヒューズの高いリレーにはガラス封入形のリードリレーを使用して耐腐食性をもたせているが、上記ポテンシオメータの場合は シュウ 動子部分を油の中に入れて外気と遮断した状態で用いている。この場合に用いられた油は「ポテンシオメータ・オイル」と称せられるもので、とくに粘度を低くして シュウ 動子部分での接触不良を起こさないように留意されたものである。

比較増幅器は電解ソウ電圧と警報電圧の設定値との大小を比較する動作をもつ増幅器で、上限用比較増幅器では電解ソウ電圧が（上限）警報電圧よりも高くなる（比較増幅器の入力の極性が正になる）と、出力にリレー警報を動作させるための電圧信号が得られ そのほかの場合は出力は 0 V になる。下限用比較増幅器では上限用のものとは逆に電解ソウ電圧が（下限）警報電圧よりも低くなった場合（比較増幅器の入力が負になった場合）に警報信号がでる。比較増幅器には、

- (1) 直結形直流増幅器を用いたもの
- (2) チョップ増幅器を用いたもの
- (3) 磁気増幅器を用いたもの

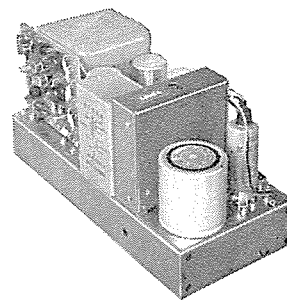
などがあるが、それぞれ一長一短があり、使用目的によって選ばなければならない。

電圧監視装置の場合、比較増幅器に要求される事柄のおもなものは、

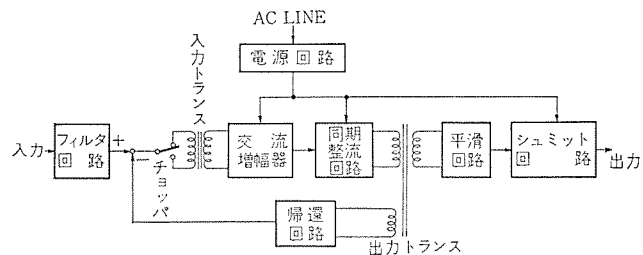
- (1) 感度が少なくとも 25 mV 以上あること。
  - (2) 入力回路がアースより完全に絶縁されており、アースとの間に数百 V 以上の耐電圧を有すること。
  - (3) 入力回路は出力回路と絶縁されていること。
- などがあげられる。

これらの点からこの装置には チョップ増幅器を用いたものか磁気増幅器を用いたものが、適していると考えられたが、感度の点でまさる チョップ増幅器を採用した。

図 2.5 にこの装置で使った比較増幅器の外観とブロック線図を示す。この比較増幅器の特性は次のとおりである。



(a) 比較増幅器外観



(b) 比較増幅器ブロック線図

図 2.5 比較増幅器 Fig. 2.5 Comparator.

感 度	1 mV
入力インピーダンス	400 kΩ 以上
応答速度	250 m sec

自己チェックは全測定点 100 点のうち、99 番めと 100 番めの測定点で行なっており、電解ソウ電圧の代わりに模擬入力を加えておき、その値を 99 番めの測定点では警報電圧設定値よりも高く、100 番めの測定点では警報電圧設定値よりも低くしておく、したがって 99 番めの測定点では 上限用比較増幅器のみが警報信号を出し、100 番めの測定点では 下限用比較増幅器のみが警報信号を出せば比較増幅器の動作は正常であることになる。

自己チェック回路は上で述べた測定点で模擬入力を加えるとともに 上限用および下限用比較増幅器の出力を監視して、比較増幅器の動作が異常であればラングとブザーで警報を発するものである。

#### 2.5 警報盤

警報盤の回路を機能別にわけると、

- (1) 設定盤から送られてくる警報信号により、異常点を示す警報ラングを点灯するとともにブザーで異常を知らせる警報回路
- (2) 監視動作をやめさせる休止回路
- (3) ラングチェック回路

にわけられる。

警報回路は比較増幅器からの信号をトランジスタで電力増幅し、リレーを動作させ、接点信号に変換してからゲートスイッチを経て走査盤の分配器により各測定点に対応して設けられた警報ラング回路に加えられ、警報ラングを点灯するとともにブザーを鳴らし異常を知らせる。また上限異常か下限異常かを区別するため、2 個の代表警報灯が取付けられており、異常点を表示するラングと同時に点灯する。ゲートは走査器がある測定点から次の測定点に切り変わっても比較増幅器の出力がすぐに出ないので、出力が安定してからその信号を警報ラング回路に伝達するために設けられたものである。警報ラング点灯回路は、7 回路分を 1 枚のプリント基板として作られており、故障のときは基板をさしかえて修理できるため保守が非常に簡単になっている。また警報ラングには高輝度のネオンラングを用いることにより、長寿命でしかもはっきりした異常表示が得られている。

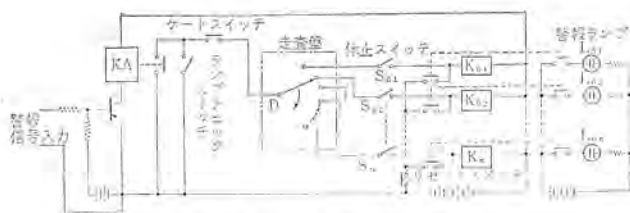


図 2.6 警 報 回 路  
Fig. 2.6 Schematic diagram of alarm circuit.

休止回路は、1 部分の電解 ソウ を用いないときなどにその測定点の監視をやめさせるためのもので、警報盤の前面パネルに警報ランプとともに各測定点に対応して設けられた休止スイッチにより警報ランプ点灯回路の入力信号線を切断して、たとえその測定点に異常信号がはいっても警報が出ないようにしている。

また警報ランプ点灯回路は常に異常のないことを点検する必要がある（もし故障していると、警報が出てもどこが異常なのかわからなくなる）、ランプチェックのスイッチが前面パネルに取付けられている。このスイッチをランプチェックに切り換えると、比較増幅器の出力に関係なく警報信号がランプ点灯回路に加えられ、走査器が進むにつれて順次警報ランプが点灯していくようになっている。したがってこのときにランプが点灯しない場合はランプ不良であるか、あるいはランプ点灯回路が故障しているので早急に処置する必要がある。もちろんこの場合は警報ラザー回路を切り

離し、警報を出さないようにしている。

図 2.6 に警報回路の 1 部分を示す。

### 3. 仕 様

入力点数	100 点（ただし自己チェック回路 2 点を含む）
走査速度	2 点/秒
警報レベル	全点共通、ただし上下限は各々独立して設定可能
上限	3~5 V 可変
下限	3~5 V 可変
警報レベル設定誤差	±0.075 V 以下
異常電圧検出感度	1 mV
耐電圧	入力端子〜アース間 AC 300 V 1 分間 電源回路〜アース間 AC 600 V 1 分間
電 源	AC 110 V ± 10 V

### 4. む す び

以上述べたように、この電解ソウ監視装置では耐腐食性および入力回路とアース間の耐電圧に留意して製作を行なったため、そのきびしい使用条件にもかかわらず良好な動作を続けている。なおこの装置の走査器および警報回路に関しては特許ならびに実用新案を申請中である。



## MR-1D 形, MR-1BD 形 特別精密交流積算電力計

牧野 節夫\*・織田 利之\*

## Type MR-1 D and MR-1 BD Special Precision AC Watthour Meters

Fukuyama Works      Setsuo MAKINO・Toshiyuki ODA

With the recent progress of various industries power demands increase so much that measurement errors in dealing with it reach too large an amount to disregard. As a countermeasures to avoid it precision watthour meters of higher accuracy and more stable characteristics have been demanded by all the parties concerned. To cope with the situation special precision watthour meters have been standardized by the JEC 163-1965. In line with it Mitsubishi has developed type MR-1 D and type MR-1 BD special precision watthour meters having features of particularly long life and steady performance. They can be operated in combination with maximum demand watthour meters, recording watthour meters and other instruments such as telemeters.

## 1. ま え が き

近時 諸工業の発達により電力需要が増大し、取引きされる電力の規模も大きくなってきた。従来から大口の電力取引には精密交流積算電力計(1, 0 級相当)が使用されていたが、電力取引の規模が大口化してくると、ごくわずかの誤差でも大きく取引に影響するため、精密交流積算電力計よりさらに精度が高く特性の安定した積算電力計が要望され、0, 5 級相当の特別精密交流積算電力計が規格化(JEC 163-1965)されるに至った。

この規格に適合する計器として図 1. 1 および図 1. 2 に示す MR-1 D 形および MR-1 BD 形特別精密交流積算電力計を開発したので報告する。

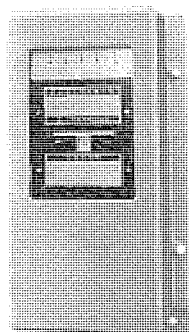


図 1. 1 MR-1D 形特別精密交流積算電力計  
Fig. 1. 1 Type MR-1D precision AC watthour meter.

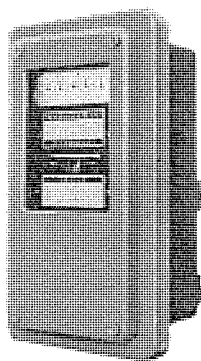


図 1. 2 MR-1 BD 形特別精密交流積算電力計  
Fig. 1. 2 Type MR-1 BD precision AC watthour meter.

## 2. 特別精密交流積算電力計の特長

## 2. 1 安定した特性

電圧、電流鉄心間の空ゲキやその他の関係位置が狂わない一体構造の電磁石 4 個と磁石間の空ゲキの磁束分布が均一な制動磁石 4 個をそれぞれ回転円板に対して対称に配置してあるから、軸受に横推力が加わらず、円板が安定して回転するため誤差の変動、経年変化が少なく、特性が安定している。

## 2. 2 高精度

諸特性の誤差変化はいずれも 0.3 % 以下で、電磁石の鉄量と銅量とを増して、各種補償装置の補償程度も少なく、特性のバラツキは小さい。

## 2. 3 長寿命

十分な駆動トルクを有しているうえに回転子の上下部軸受、計量器など機械的に動く部分にはすべて軸受宝石またはグラファイト軸受を使用しているため、可動部の摩擦力が少なくなっている。また制動磁石には抗磁力の大きいアルニコ磁石を用いており、また誤差の経年変化の原因になりやすい各種の調整装置を極力制限しているから、長寿命が期待できる。

## 3. 標準仕様

特別精密交流積算電力計の標準仕様は、表 3. 1 のとおりである。

表 3. 1 標準仕様

形 名	MR-1 D 形 (表面接続用) MR-1 BD 形 (配電盤取付裏面接続用) (円板逆転阻止装置をつけた場合は形名末尾に r をつける)
形 式 番 号	第 333 号
相 線 式	交流三相 3 線式
定 格 電 圧	110 V 変成器付用
定 格 電 流	5 A      "
定 格 周 波 数	50 c/s または 60 c/s
二次側計器定数	1,000 rev/kWh
計量装置の乗率	10 n 倍
外 面 塗 装 色	マンセル 7.5 BG 4/1.5

## 4. 構 造

MR-1 D 形の構造を図 4. 1 に示す。

## 4. 1 電磁石と制動磁石の構成

一般に三相 3 線式交流積算電力計は、2 個の電磁石で構成されている。当社の MWS 形精密交流積算電力計はその代表的なもので、2 枚の回転円板から構成されており、円板に対する電磁石と制動磁石の配置は、図 4. 2 に示すようになっている。円板軸に加わる横推力は計器に定格電圧、定格電流、力率 1 が印加されたときが最大で、その値はほぼ 10 gr である。

しかし MR-1 D 形特別精密積算電力計は、MWS 形と同様 2 枚円板の回転円板から構成されているが、電磁石および制動磁石は各 4 個使用し、図 4. 3 に示すように対称に配置している。図 4. 3 において、前後の電磁石は電圧コイルを並列に、電流コイル





#### 4.4.3 第1種温度補償装置

制動磁石の各磁石の側面に取り付けた整磁鋼の各温度における導磁率の変化を利用して、高力率における温度特性を補償している。

#### 4.4.4 第2種温度補償装置

電圧コイルと直列に負の温度係数をもったサーミスタと、温度係数がほとんどゼロの抵抗とを並列にしたものを接続して、周囲温度の変化により、電圧回路の抵抗がほとんど変化しないようにして低力率における温度特性を補償している。

#### 4.5 調整装置

積算電力計の調整装置は一般に重負荷、軽負荷、位相、トルク調整の4種類があるが、特別精密交流積算電力計においては誤差の経年変化を少なくするために、重負荷調整装置のみを設け、ほかの調整は工場内で行ない、とくに調整装置は設けていない。

##### 4.5.1 重負荷調整装置

重負荷調整は各制動磁石に2本の重負荷調整ネジを装置している。このネジを回すことにより重負荷における円板速度を微細にわたって調整することができ、また調整後は調整ネジを確実に固定できる。

##### 4.5.2 軽負荷調整

電圧コイルの外側脚の右または左に短絡銅線を巻き、その線径および巻数を加減して軽負荷における円板速度を調整する。

##### 4.5.3 位相調整

電流コイルの下部、および電流コイルの外側に短絡銅線を巻き、その線径および巻数を加減して電圧および電流両有効磁束間の位相差を調整する。

##### 4.5.4 トルク調整

フレームと電磁石の間に座金を入れ、電磁石と円板軸との距離を変更して固定し、駆動トルクを調整するとともに各電磁石間のトルクを平衡させている。

#### 4.6 回転子および軸受

回転子は図4.8および図4.9のように2枚のアルミニウム円板とアルミ合金の円板軸とからなっており、2枚の円板の中間にパルス発生用のアルミ製羽根車を取り付けてある。

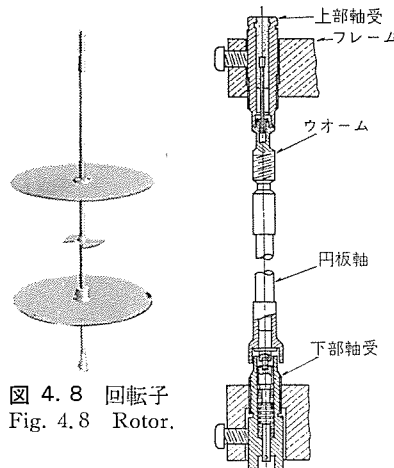


図 4.8 回転子  
Fig. 4.8 Rotor.

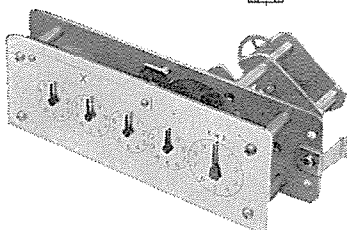


図 4.10 計量装置  
Fig. 4.10 Register.

順序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1
回路	端子	羽根車回転角度												
		0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
		ON	ON	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	ON	ON
O <sub>s1</sub>	C <sub>0</sub> C <sub>1</sub>													
O <sub>s2</sub>	C <sub>0</sub> C <sub>2</sub>	OFF	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF
O <sub>s3</sub>	C <sub>0</sub> C <sub>3</sub>	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	OFF

図 4.9 MR-1D 形上部および下部軸受  
Fig. 4.9 Pivot of MR-1D.

回転子上部に取り付けたウォームに潤滑油を必要としないグラファイト軸受を取り付け、グラファイトの穴にフレームに固定された上部軸受ピンがはいて、上部軸受を構成している。

下部軸受は、2重宝石軸受である。

#### 4.7 計量装置

計量装置は、図4.10に示すように指針形5ヶで、計量値を精度よく読み取りできるように末位ダイヤルを大きくして100等分目盛をつけている。

回転軸と計量装置の連結は、ウォームとウォームホイールによって行ない、ウォームホイール軸の軸受には4個の宝石（平石2個、穴石2個）を、ほかの歯車軸6本の軸受にもすべて軸受石を使用し、合計16個の宝石を使用している。このため計量装置の摩擦トルクは歯車比のいかんにかかわらず少なく経年的にも安定している。計器定数は標準定格110V・5Aにおいて1,000 rev/kWhで、組み合わせられる計器用変成器のすべての一次定格に対して、計量装置の総歯車比が変わるだけで計器定数は一定である。

#### 4.8 試験用パルス発生装置

この計器には精密な誤差試験をするため、円板の回転数を正確に検出する試験用パルス発生装置を取り付けている。回転円板の回転により、発信回路内ボックスにおさめられた発信回路を回転軸に取り付けられた羽根車が通過して図4.11に示すようにON・OFFをくりかえす。このうち1組の回転パルスを増幅して、リレーをON・OFFさせる。リレー回路に外部電源を接続して、1回転2個の電気パルスを出し、このパルスによりカウンタを動作させて回転標準器のパルス数を計数すると回転円板の回転をとめることなしに計器自身の誤差を精密に測定できる。

このように、回転軸に取り付けられた羽根車が、発信回路を電磁的にON・OFFさせる方式であるから、回転部の摩擦に全然影響を与えない。また3個の発信回路を同時に使用すれば、最大需要積算電力計、記録積算電力計などを動作させることができる。

この計器を試験する場合には図4.12の接続において、端子V<sub>1</sub> V<sub>2</sub>に交流電圧110Vを印加して端子T<sub>0</sub>とC<sub>1</sub>を短絡すると、端子T<sub>1</sub>T<sub>2</sub>によりパルスを取り出せる。

また最大需要積算電力計を使用する場合には端子T<sub>0</sub>、T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、

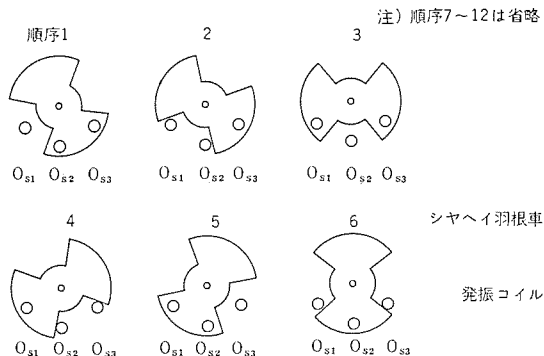


図 4.11 発振回路の動作順序  
Fig. 4.11 Operation sequence of oscillator circuit.

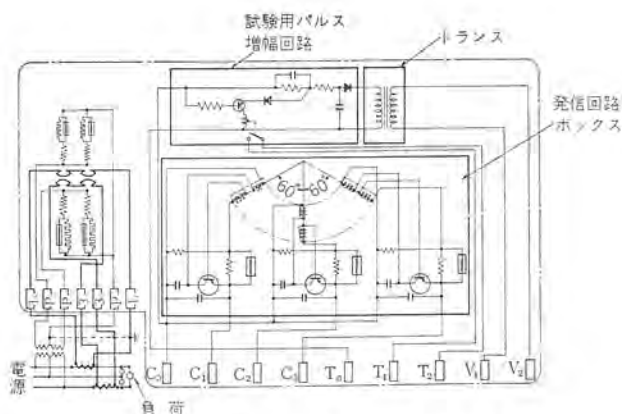


図 4.12 MR-1D 形内部接続  
Fig. 4.12 Circuit diagram of MR-1D.

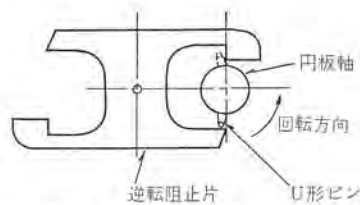


図 4.13 逆転阻止装置  
Fig. 4.13 Non-return mechanism.

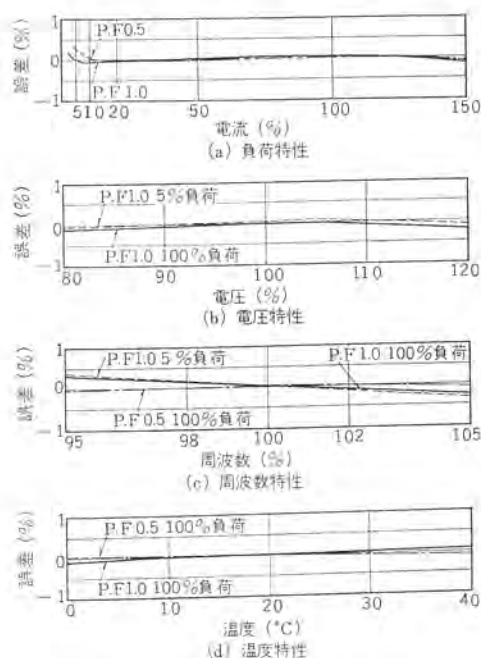


図 5.1 特性曲線 (110 V 5 A 50 c/s)  
Fig. 5.1 Characteristic curves.

$V_1$ ,  $V_2$  は使用せず,  $C_0$ ,  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  を使用する。

#### 4.9 逆転阻止装置

電力潮流回路のように、同一回路で送電方向が変わる回路に計器を使用し、計器に負の電力が印加された場合、円板は逆転し逆計量するのでこれを阻止するために、指定があれば円板逆転阻止装置を取り付けている。

逆転阻止装置は 回転軸上部にある U 形ピン とフレームに取り付けられ、3 個の宝石を使用した軸受で支えられた逆転阻止片とでできており、図 4.13 に示すように、正転の場合は逆転阻止片が左右に動くだけで円板の回転に支障はない。逆転の場合には、U 形ピンの鎖線に示す位置で逆転阻止片にかかり回転しない。このように動作は確実である。

表 5.1 特性定数表

(定格: 110 V, 5 A, 50 または 60 c/s 1000 rev/kWh)

回転部定数	全負荷回転速度 rps (S)	全負荷回転力 g・cm (T)	回転子重量 g (W)	回転力 回転子重量 (T/W)	機械的良度 $(T/S \cdot W^{\frac{4}{3}})$
	0.265	37	65.7	0.563	0.533
電気回路定数 (各回路ごと)				50 c/s	60 c/s
	電圧回路	皮相電力 (VA)		13.9	12.8
		励磁電流 (mA)		126	116
		電力損失 (W)		1.8	1.7
	電流回路	皮相電力 (VA)		2	2
		電圧降下 (V)		0.4	0.4
		電力損失 (W)		0.85	0.75
始動電流	定格電圧、力率1のもとで定格電流の0.25%で円板は始動し回転を継続する。				
電圧潜動	定格電圧の110%のもとで無負荷の場合、円板は1回転以上の回転をしない。				
絶縁抵抗	直流電圧500Vで測定し、電気回路相互間およびベース間で20MΩ以上ある。				
絶縁耐力	電気回路とベース間に50c/sまたは60c/sの交流電圧2,000Vを1分間加えて異常がない。				
計器重量	MR-1D形 21kg		MR-1BD 23kg		

表 5.2 計量装置定数表

計器用変成器と組み合わせた場合の計量装置の定数

乗率の区別	定 格		計器定数 (rev/kWh)		計量盤読	総 歯 車 比
	電圧 (V)	電流 (A)	2 次 側	1 次 側		
変 成 比 倍	/110	/5	1,000	1,000/変成比	0000.0	1,000
変成比の 1/10 倍	/110	/5	1,000	1,000/変成比	0000.0	100
10 の整数倍×倍	/110	/5	1,000	1,000/変成比	00000	1,000 × 乗率 × 10/変成比

乗率が 10 の整数倍×倍の場合は全負荷電力の範囲に応じ次の乗率を用いる

合 成 変 成 比	乗 率
125 以下	—
125 超過	10
1,250 超過	100
12,500 超過	1,000
125,000 超過	10,000

## 5. 特 性

特性定数表、計量装置定数表および代表的な特性曲線をそれぞれ表 5.1, 5.2, 図 5.1 に示す。

## 6. む す び

以上が MR-1D 形, MR-1BD 形の概要であるが、この計器はすでに型式も認可されているから、取引用計器として使用できる。また 発信装置を利用すれば最大需要積算電力計、記録積算電力計、電力量遠隔測定装置などを使用できるようになっている。



## レーダスピードメータの応用

田村 祥一\*・阿部 寿夫\*・中村 泰而\*・佐藤 一成\*

## Radar Speed Meters and Their Applications

Kamakura Works

Shōichi TAMURA・Toshio ABE  
Taiji NAKAMURA・Kazunari SATŌ

Radar speedmeters are for detecting Doppler deviation frequencies proportional to the speed of moving substances (relative speed with an observing point). They can be applied to making instantaneous measurements of the speed of moving bodies in a region of electric wave radiation, and continuous measurement of momentarily changing speed. The meters have merits different from those of conventional methods of survey mean velocity in passing a distance between two fixed points. Recently they are employed for not only finding speed but also grasping the dynamic state of moving bodies and based on information thus obtained automatic control and other applications are made practicable.

## 1. ま え が き

レーダスピードメータは、移動物体の速度（測定観測点と移動物体との相対速度）に比例したドップラ 偏移周波数を検出するので、電波放射領域内における移動物体の速度の瞬時測定および時々刻々に変化する速度の連続測定が可能である。

そこで従来の決まった2点間の通過時間による平均速度の測定とは、おのずから異なるメリットを有し、最近では、速度をはじめとしてさらに動的状態のはあくおよびそれらの情報にもとづく自動制御など各方面に広く使用されている。

当社においては、昭和33年2月日本国有鉄道技術研究所に、カーリターダ 通過貨車速度連続測定装置を納入して以来、各種の移動物体の交通量観測調査用、交通流解析用、速度取締用および速度変化連続測定用などを開発製作し、各方面の用途に供している。

以下にレーダスピードメータに採用している方式および技術上の共通事項と、製品への応用例について述べる。

## 2. レーダスピードメータ方式

## 2.1 原 理

音波とか電波とか、一般に波が移動物体から反射する場合（発信源が移動しても同じことがいえる）送信波に対して反射波は、その速度に比例した周波数偏移をうける。これがドップラ 効果で、この送信波と反射波の差の周波数（ドップラ 偏移周波数）を検出すれば、移動物体の速度を測定しうる。

いま、送信電波の周波数  $f_t$   
 反射波の周波数  $f_r$   
 ドップラ 偏移周波数  $f_d$   
 移動物体の速度  $v$   
 電波伝バ(播)速度  $c$   
 移動物体の進行方向と  
 電波の方向とのなす角度  $\phi$

とすると

$$f_r = f_t(1 \pm 2v \cos \phi / c) \quad (2.1)$$

$$f_d = \pm 2v f_t \cos \phi / c \quad (2.2)$$

+符号は近づく場合 -符号は遠ざかる場合

で表わされる。

## 2.2 検波方式

方式として、ホモダイ ン 検波、ヘテロダイ ン 検波の両検波方式があり、それぞれの総合雑音指数を検討する。

総合雑音指数  $F$  は

$$F = F_{MX} + L_0(F_{i-f} - 1) \quad (2.3)$$

$F_{MX}$  : クリスタルの雑音指数

$L_0$  : 混合器の変換損失

$F_{i-f}$  : ドップラ 偏移周波数増幅器の雑音指数

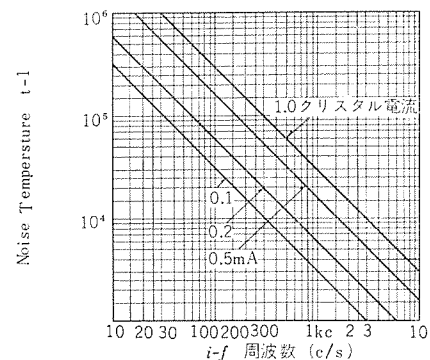


図 2.1  $i-f$  と 雑 音 温 度 特 性

Fig. 2.1  $i-f$  and noise temperature characteristic.

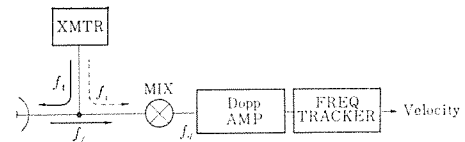


図 2.2 ホモダイ ン 検 波 方 式

Fig. 2.2 Homodyne detect system.

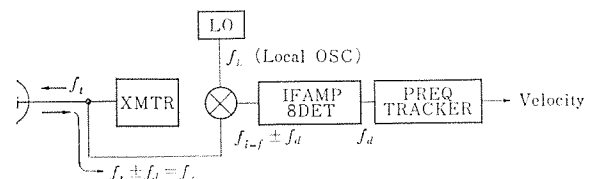


図 2.3 ヘテロダイ ン 検 波 方 式

Fig. 2.3 Heterodyne detecting system.

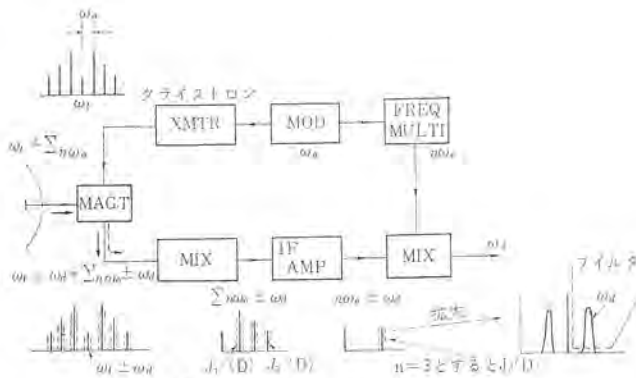


図 2.4 FM-CW 方式ブロック線図  
Fig. 2.4 Block diagram of FM-CW system.

混合器のクリスタルの Noise Temperature,  $t$  について,  $(t-1)$  の値は, ドップラ周波数に逆比例することは明らかにされている。(図 2.1 参照)

$$F_{MIR} = L_0 t \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

$$F = L_0 (t + F_{1-f} - 1) \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

図 2.2 に ホモダイン 検波の ブロック 線図を示す。

図 2.3 に ヘテロダイン 検波の ブロック 線図を示す。

ヘテロダイン 検波では局部発振で中間周波数を用いるので, Noise Temperature は低減される。(図 2.1 参照) たゞ中間周波数として 30 Mc を採用すると  $t=1$  となる。

### 2.3 FM-CW 方式

一般にヘテロダイン 検波は, 総合雑音指数の低減により最少受信感度が上がるため, 反射有効断面積の小さい移動物体の速度測定, 長距離区間にわたる速度測定に適している。

軽量化, 取扱容易, 保守容易, 経済性などを考慮して採用した FM-CW 方式について述べる。

#### (1) 特 長

a. 送信電波に微少な周波数変調をかけることにより局発なしでも, 受信部で中間周波増幅が可能で, 総合雑音指数の低減をなす。

b. 小形軽量である。

#### (2) 原 理

a. ドップラ 周波数の計算

ブロックを図 2.4 に示す。送信波  $e_1$  は

$$e_1 = E \sin (\omega t + M \sin \omega_0 t) \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

$\omega$ : 搬送波角周波数

$\omega_0$ : 変調角周波数

$M$ : 変調指数(周波数偏移/変調周波数)

$E, E'$ : 定数

$t$ : 時間

受信波は

$$e_2 = E' \sin [\omega(t-T) + M \sin \omega_0(t-T)] \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

$T$ : 遅延時間

$$T = T_0 + \frac{2vt}{c}$$

$e_2$  の ドップラ 偏移は, 遅延時間の項で与えられる。

ミキサで,  $e_1, e_2$  を混合すると

$$e_1 \times e_2 = EE' \sin [\omega t + M \sin \omega_0 t] \sin \omega(t-T) + M \sin \omega_0(t-T) \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

ミキサの出力  $e$  は

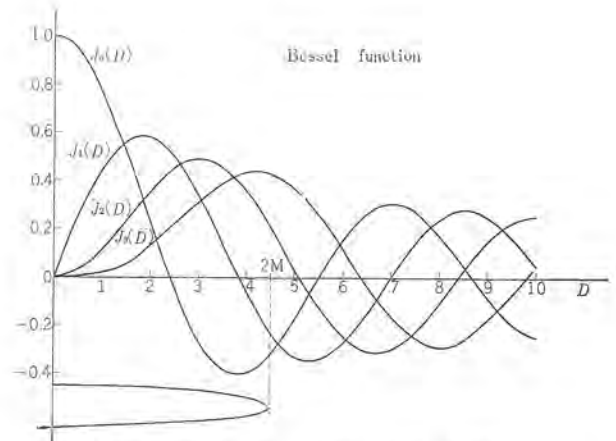


図 2.5  $J_n(D)$  偏移 Fig. 2.5  $J_n(D)$  curve.

$$e = \frac{EE'}{2} \cos [\omega T + M \{ \sin \omega_0 t - \sin \omega_0(t-T) \}]$$

$$= \frac{EE'}{2} \cos \left[ \omega T + \left( 2M \sin \frac{\omega_0 T}{2} \right) \cos \left( \omega_0 t - \frac{\omega_0 T}{2} \right) \right] \quad \dots\dots (2.9)$$

となる,  $D = 2M \sin \frac{\omega_0 T}{2}$  とおき, Bessel 関数を用いて展開すると

$$e = \frac{EE'}{2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(D) \cos \left[ \omega T + n \omega_0 \left( t - \frac{T}{2} \right) \right] \quad \dots\dots (2.10)$$

$T = T_0 + \frac{2vt}{c}$  なので

$$e = \frac{EE'}{2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(D) \cos \left[ \left( n \omega_0 + \frac{2v \omega}{c} \right) t + \left( \omega - \frac{n \omega_0}{2} \right) T_0 \right] \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

この式からミキサ出力は, 変調周波数  $\omega_0$  の整数倍がドップラ 偏移をうけた周波数成分からなる。そこで,  $\omega_0$  の  $n$  倍の周波数を中間周波数とし, 増幅後変調周波数を  $n$  テイ 倍した出力と混合し, ドップラ 偏移周波数を取り出すことが可能である。

FM-CW 方式は, 受信方式としては比較的簡単なホモダイン 検波方式と同様であるが, 送信波に微少な FM をかけることにより, 受信部で中間周波数増幅ができ, マイクロミキサから直接ドップラ 周波数を取り出すホモダイン 検波に比べ, 低雑音でヘテロダイン 検波と同様な感度がえられる。

#### (b) 変調指数

ミキサ出力は, 変調周波数の  $n$  倍がドップラ 偏移したもので, この  $n$  番目を取り中間周波数とする。

$J_n(D)$  は図 2.5 に示すように,  $-2M \sim 2M$  の間を振動するので, その範囲で感度が極端に低くならないように変調指数をえらぶ必要がある。

$$T = \frac{2r}{c} \quad \text{とすると}$$

$$J_n(D) = J_n \left( 2M \sin \frac{\omega_0 r}{c} \right) \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

つまり  $J_n(D)$  は距離  $r$  の関数である。

### 2.4 反射波波形

反射波波形は, 不規則な振幅変調波形となる。(図 2.6 参照)。これは, 移動物体の反射有効断面積(反射係数)の変動, グラウンド プラッタ, 固定反射体による多重反射, 位相相殺などにより生ずるものと思われる。

振幅変調波形のレベル変化が, ある程度をこすと, 大振幅入力によって信号抑圧効果が生じ, 速度情報に断絶現象を生じ, 測定に誤差を生じる。



この現象の増幅器系に原因する部分は、ダイナミック特性のよいリミッタを付加することによって解決することができる。(図2.6参照)

## 2.5 測定精度

測定精度について、送信周波数の変動も誤差の原因になるが、最も大きな要素は投射角の設定とビーム幅によるものである。

式(2.1)は、ビーム幅 $\theta$ を無視しているが、実際は $\cos(\varphi + \frac{\theta}{2})$ 、 $\cos(\varphi - \frac{\theta}{2})$ の値によって、 $f_d$ は周波数分布をもつわけで、その差を $\Delta f_d$ とすると、

$$\begin{aligned}\Delta f_d &= \frac{2f_L v}{c} \left[ \cos\left(\varphi - \frac{\theta}{2}\right) - \cos\left(\varphi + \frac{\theta}{2}\right) \right] \\ &= \frac{2f_L v}{c} \left[ 2 \sin \varphi \sin \frac{\theta}{2} \right] \\ &\approx \frac{2f_L v}{c} \theta \sin \varphi \quad (\theta \text{ は小さいとする}) \dots\dots\dots (2.13)\end{aligned}$$

式(2.13)から、 $\varphi$ が大きくなると、 $\Delta f_d$ は大きくなり周波数分布は広がる。また投射角の設定誤差による $f_d$ の変化も大きくなる。速度誤差の原因としては、これに前述の増幅器系ではされないパルスの間引きが加わる。

投射角に原因する部分はビーム幅をせまくし、角度設定誤差を少なくするような方法をとれば避けられるが、実際には、ビーム内の出力の平均値をとるか、デジタル表示の場合は、計数開始ゲートに遅延をあたえることによって、ある程度さけることができる。

## 2.6 クライストロンの寿命

スピードメータの信頼度向上にあたって最も問題となるのが、10525 Mc 送信用のクライストロン VA-218 である。

一般にマイクロ波管の寿命は、その使用条件(環境、使用方法、使用回路保守方式)によって著しく異なるので、いちがいに過去のデータに頼って類推することは危険であるが、使用実績の少な

い VA-218 については、十分なデータはないので、比較的周波数の近い 11 Gc 帯および 7.5 Gc 帯の各通信用クライストロンについて検討すると、クライストロンの有効寿命は、現状で少なくとも 20,000 時間以上と考えてよいと思われる。

またクライストロンは“Earles”の“λ”表によっても数値は年々改善されており、さらに軽負荷によって寿命は著しく増大する。

応用機については、特別に長寿命を必要とするものには軽負荷(Derating)にして使用している。

## 3. 応 用 例

### 3.1 ヤード自動制御用

操車場において、ハンナ頂上から散転された貨車が4段のポイントを通り、仕分線内で適正速度で連結されるまでの操作を自動化するためには、貨車の速度制御、ポイントの制御、押上機関車の速度制御、情報処理の自動化などが必要となる。このうち貨車の速度制御について貨車速度の検出、監視を行なうためにレーダスピードメータが使用される。この出力は制御用計算機にはいり、ほかの情報とともに処理されリターダの動作を貨車の脱出速度が最適になるよう制御する。

この場合、レーダスピードメータはアンテナに電磁ホーンを使用したホモダイン検波方式で、高周波部は軌条間に設置される。その出力はケーブルによりコントロール室に伝送され、パルス化して計算機に接続される。

装置は信号機器として、高度の信頼性を要求され、しかも環境条件は非常にきびしいので設計にあたっては、下記の点をとくに考慮している。

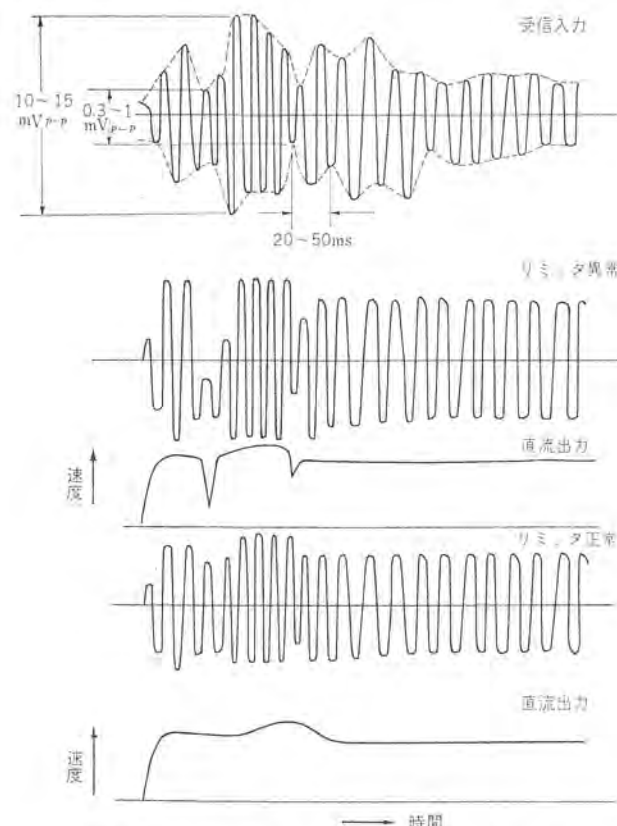


図2.6 増幅器の入出力特性  
Fig. 2.6 Input-output characteristics of amplifier.



図 3.1 ヤード自動制御用レーダスピードメータ本体架  
Fig. 3.1 YAC radar speedmeter (main bay).



図 3.2 ヤード自動制御用レーダスピードメータ高周波部  
Fig. 3.2 YAC radar speedmeter (H. F. part).

### (1) 環境条件

高周波部は軌条間に設置され、連続的に貨車の通過があるため耐震、耐熱、耐寒、防水などの構造とする。

さらに降雨、降雪による防害、寒冷地では積雪の対策なども考慮する必要がある。

### (2) 交流電化による誘導雑音

操車場が交流電化区間の場合、高周波部からの伝送線が1 km以上になる場合もあり、トリー線からの誘導が考えられ、誘導周波数がドッラー周波数の範囲内にはいるため、電磁誘導、静電誘導の除去対策が必要である。

### (3) 隣接線の影響

仕分線内に数10台並列に設置されるため、隣接線を走る貨車の反射波が防害を与えないための対策。

これにはレーダスピードメータ相互の干渉も含まれる。

### (4) ほかの機器の影響

仕分線内にはトレッドル、フルネスなどほかの機器もありそれらのケーブルが同じトラフ内にはいるため、相互干渉を検討しておく必要がある。

### (5) 保守上の問題

一つのヤードで約100台のレーダスピードメータを使用し、しかも連続運転であり、故障時の交換もできるだけ短い時間を要求される。

装置の外観を図3.1、3.2に示す。

#### 主要性能

(a) 空中線	電磁ホーン(E約10度, H約7度)
(b) 送信周波数	10525 Mc
(c) アンテナ出力	12 dBm 以上
(d) 受信方式	CW, ホモダイク 検波
(e) 最少受信入力	-62 dBm 以下
(f) 最大測定可能距離	35 m 以上
(g) 速度測定範囲	0.5~10 m/s
(h) 測定精度	1% 以下

#### 構成

高周波部

本体架

警報表示部

計数部

更正信号発生部

電源部 A, B,

予備電源架

電源部 A, B.

## 3.2 交通量調査用および解析用

最近の自動車の激増による交通の混雑、渋滞は、いたるところで見られる現象で、とくに大都市ではつねに交通まひ寸前の状況である。

この装置は、トラフィックコントロールおよび道路建設にあたって、交通の動態をつかむために、調査用あるいは解析用として開発されたものである。

交通の動態をつかむ要素としては、台数、平均速度および密度が考えられ、さらに個々の速度、車種、車頭間隔なども考えられる。これらは長時間にわたり測定、記録する必要がある。検出には RS-3 形レーダスピードメータを使用するが目的により、種々の付属装置を使用することができる。

### 3.2.1 手動分類調査用

調査目的によっては、車種を細分してトラック、バス、乗用車、單車、自転車などの分類が必要となる場合もある。これを自動的に行なうには車体長による分類のみでは満足されない。この方式では、精度を上げるために分類については手動でキーボードを押し合わせる方法をとっている。

この場合、キーボードは車線別にペン書記録計のチャンネルに対応させる。記録計の1チャンネルにはレーダスピードメータによる速度記録を自動的に行なわせる。キーボードは自動車が電波ビーム内にはいったときに同期しておす必要がある。

この記録紙から各車線ごとの台数、車種、平均速度および車頭間隔などのデータを解析することができる。この装置は1回の測定により、各種の詳細なデータは得られるが解析には相当の時間がかかる。

### 3.2.2 自動調査用

この場合は調査目的により種々の組み合わせが考えられる。

#### (1) 車種別分類装置

手動分類の方法を原則として、自動化したのがこの方法で、出力はペン書記録計または装置の電磁カウンタに自動的に記録されるが、車種は性能上車体長による大、中、小の3種類に制限される。

#### (2) デジタル記録装置

この装置はデータの整理を簡単にするために、1台通過ごとに通過時刻、速度、車種および方向別をプリンタに印字するもので、データ処理装置を付加すれば平均速度および密度の印字も可能である。さらにテラパンチャーを連動させ、計算機で処理することもできる。

#### (3) 交通流解析装置

この装置は交通量を流れとして解析するため、単位時間ごとの通過台数、平均速度および密度をそれぞれ連続アナログ量としてペン書記録計に記録するものである。

この装置は調査はもちろん、研究用さらにはトラフィックコントロールなど広い応用範囲がある。

以上レーダスピードメータの使用により、すべてのデータは1地点での測定で十分であり、トラフィック関係ではこれらの測定結果を応用した種々の装置が考えられる。

## 3.3 車両走行試験用

一つの移動体の速度を連続測定して、その速度変化の状態(加速減速特性)の解析を行なうためには、長い距離にわたって速度を測る必要がある。この場合は前述の FM-CW 方式をとっている。

装置は1.2 mφ のパラボラアンテナを使用し、送信波は水晶発振器により100 kc で周波数変調している。反射波は同一アンテナで受信され、その300 kc- $f_d$ 成分を検出し、第1、および第2中間周波増幅器で増幅したのち、出力の30 kc+ $f_d$ からドッラー偏移成分 $f_d$ を検出して計数部に送る。この出力はデジタルプリンタまたは X-Y レコーダにより記録する。

この装置は設置場所により固定形、移動形がある。

#### 主要性能

(a) 空中線	1.2 mφ パラボラ (H面2度)
(b) 送信周波数	10,525 Mc
(c) アンテナ出力	30 mW
(d) 中間周波増幅器	

利 得 80 dB 以上



帯域幅	3.2 kc
第1中間周波数	298 kc (中心)
第2中間周波数	32 kc ( "
最小入力感度	2 $\mu$ V
(e) 計数部増幅器利得	60 dB 以上
(f) 速度測定範囲	10 km/h $\sim$ 160 km/h
(g) 測定距離	100 m $\sim$ 1 km
(h) 精 度	$\pm 2 \%$
構 成	
高周波部	
計数部	
電源部	

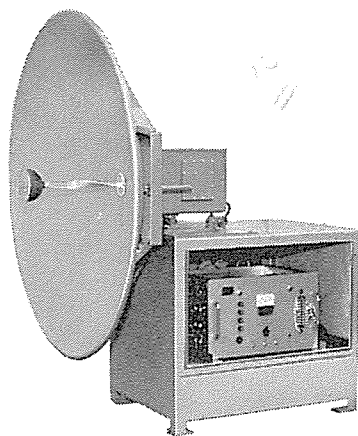


図 3.3 車両走行試験用 レーダスピードメータ  
Fig. 3.3 Radar speedometer for car testing.

外観を図 3.3 に示す。

### 3.4 超過速度検出用

この装置はおもに警察関係で、速度違反取締りにあたって、速度の測定、違反速度の検出、停車、記録の作成など自動的に、しかも確実に処理することを目的として開発されたもので、レーダスピードメータはホモダイン検波方式の RS-3 形を使用し、付属装置として速度表示装置、プリンタ、2 現象撮影装置などを備えたものである。

測定点で速度検出を行ない、それが設定速度をこえていれば自動的にカメラのシャッターがきられる。このカメラは違反車と同時にその速度、時刻、および測定点データなどが撮影される特殊光学系を使用しており、カメラはモータドライブまたはボロイドカメラが使用される。

この速度情報はケーブルにより約 300 m はなれた停止点に伝送されデジタルプリンタを動作させ、違反取締カードに速度を印字する。さらに測定点から連絡装置により停車させるべき車の種類が連絡される。

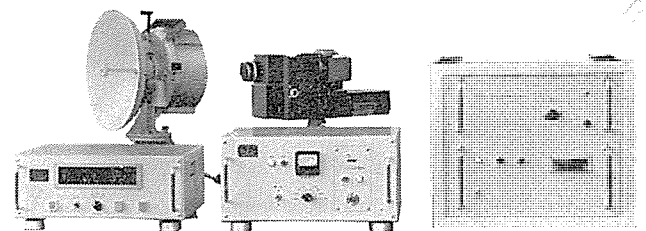


図 3.4 速度違反取締り用 レーダスピードメータ  
Fig. 3.4 Radar speedometer for police use.

表 3.1 レーダスピードメータ用途別分類

用 途	使用本体	付 属 装 置	測 定 内 容
自動車走行試験用	固定形パラボラ 1.2 m $\phi$ 半固定形パラボラ 1.2 m $\phi$	デジタル・プリンタ X-Y レコーダ	自動車加減速特性測定 約 1 km
交 通 量 調 査 用	RS-3 形パラボラ 0.36 m $\phi$	車種別計数装置+(4 ch ベン書記録計)	スピードおよび車種 (大, 中, 小) を自動記録
		キー・ボード(3 個)+4 ch ベン書記録計	スピード自動記録および車種 (1 キー・ボード 8 種) 手動記録
		プリンタ用付属装置+プリンタ	スピード, 車種 (大, 小) および時間を自動タイプライアウト
		1 ch ベン書記録計 (振れ 2 km/h/mm max 40 mm)	スピードを自動記録 (記録紙により通過ひん度をみる)
高 速 道 路 用	架橋固定形 防水電磁ホーン	信号機, 警報装置	警報装置制御用
		車種別計数装置+(4 ch ベン書記録計)	スピードおよび車種 (大, 中, 小) を自動記録
		プリンタ用付属装置+プリンタ	スピードおよび車種 (大, 小) を自動タイプライアウト
		1 ch ベン書記録計 (振れ 2 km/h/mm max 150 mm)	スピードを自動記録
超 過 速 度 検 出 用	RS-3 形パラボラ 0.36 m $\phi$	1 ch 高感度記録計 (振れ 1 km/h/mm max 150 mm)	スピードを自動記録, 手動カメラ取付も可
		カメラ制御装置+カメラ (ニコン・モータ・ドライブ, ボロイド)	速度超過車撮影
		カメラ制御装置+2 現象撮影装置+カメラ+プリンタ	速度超過車および超過速度の同時撮影, 速度プリントアウト
		速度表示装置+プリンタ	スピードをデジタル表示およびプリントアウト
貨 車 速 度 測 定 用	軌条間固定形 防水電磁ホーン	(制御算計機)	操車場自動制御用
交 通 流 解 析 機	RS-3 形パラボラ 0.36 m $\phi$	交通流解析装置+4 ch ベン書記録計	記録時前 1 分間の平均速度, 台数および密度の連続アナログ自動記録
そ の 他	仕様により選択	仕様による	船舶速度, 陸上短距離選手速度, その他

違反者の処理にはプリンタの記録カード、証拠用としては写真、しかもこれらは自動的に動作しているので人為的な誤りのはいる余地はない。さらにプリンタ、カメラおよびビーム電波の分解能などを総合しても1秒以下の連続動作が可能である。

#### 主要性能

(a) 空中線	360 cmφ パラボラ
(b) 送信周波数	10525 Mc
(c) アンテナ出力	20 mW
(d) 測定可能速度範囲	20 km/h~140 km/h
(e) 速度設定値	40, 50, 60, 70, 80, 100 km/h
(f) 設定角度	30, 45, 60 度
(g) 分解能	0.8 秒以内
(h) 精 度	± 2 % 以内

#### 構 成

本 体 (三脚を含む)

電源部

速度表示装置

2 現象撮影装置

プリンタ 制御装置、プリンタ

連絡装置

装置外観を図 3. 4 に示す。

#### 3. 5 その他

特殊用途としては、陸上短距離選手の速度測定に使用して解析を行ない、記録の向上をはかるもの、船舶に使用して対水速度を指示させるもの、あるいは貨車に積んで走行抵抗を測定するものなどが試作されている。

さらに高速道路でカーブの直前で速度を検出して運転者に警報するとか、トンネル内の車の台数を計数して排気ガスの量の予測を行なうとか、高速飛翔体、たとえば弾丸などの速度測定用とか、開発研究中のものもある。

#### 4. む す び

以上現在すでに実用されているもの、または近い将来使用を考えられるものなどを紹介したが、とくに速度範囲に制限はなく、ある程度のクロスセクションをもつものであれば精度の高い速度測定が可能で、今後その応用面はますます拡大するものと思われる。個々の装置の詳細については、すでに発表されているものもあるが、引き続き投稿の予定であり、それをご参照願いたい。

(昭 41-5-13 受付)

#### 参 考 文 献

- (1) Stanley H. Logue : Rate-of-Climb Meter Uses Doppler Radar, Electronics, June 1, (1957)
- (2) G. W. G. Court : Microwave Vehicle-Speed Indicator, Wireless Engineer, March (1956)
- (3) 山下, 田村, 若田 : レーダスピードメータ, 「三菱電機」33, No. 2 (昭 34)
- (4) 田村, 阿部, 佐藤 : 交通量自動測定装置, 「三菱電機技報」38, Dec. (昭 39)
- (5) 東, 遊佐, 丸浜, 田村, 阿部, 中村 : ヤード用レーダスピードメータ, 第3回鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム March (昭 41)



## 三菱産業用テレメータ

室田 慎\*・藤原 謙一\*

## Mitsubishi Industrial Telemeters

Communication Equipment Works

Shin MUROTA・Kenichi FUJIWARA

A recent trend in all industries is the earnest trial of making rationalization of the enterprises in their respective fields through automation. As representative courses of this principle unattended running and central control of installations arranged in a wide area are to be cited. Telemeters are regarded as indispensable elements for the measures. Those built by Mitsubishi were first for use in electric industry, but as a result of subsequent study and development they have come to find their ways in the spheres of water works, countermeasures against calamities, meteorological survey, therapeutic research and satellites. In this paper are reported the latest achievements made by Mitsubishi industrial telemetry systems in the above-mentioned scopes. The contents cover the basic composition of the meters and lists of applications.

## 1. ま え が き

電気事業用として発足した当社のテレメータ装置は、研究開発の成果と各企業のオートメーション化の要求と相まって水道・防災・気象・医用・自動車・人工衛星用などの各分野において使用されるようになり、重要な位置を占めるようになってきた。この報告は、電力・水道・防災・気象等に使用される当社産業用テレメータ装置について述べたものである。

2章に基本機器を説明 3章に各企業体に納入した代表製品と最近の動向 付表に40年度におけるテレメータ受注、納入機器一覧表を掲げた。

## 2. 基 本 機 器

テレメータは遠隔地のデータを監視、記録、処理するのに必要な場所へ伝送するのが目的で、

- (1) 物理量の電流量への変換(検出器)
- (2) 周波数信号への変換または符号化
- (3) 伝送
- (4) 復調、復号

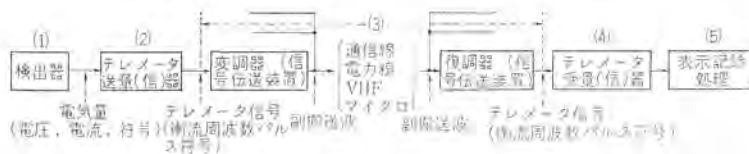


図 2.1 テレメータ系統図  
Fig. 2.1 Block diagram of the telemeter system.

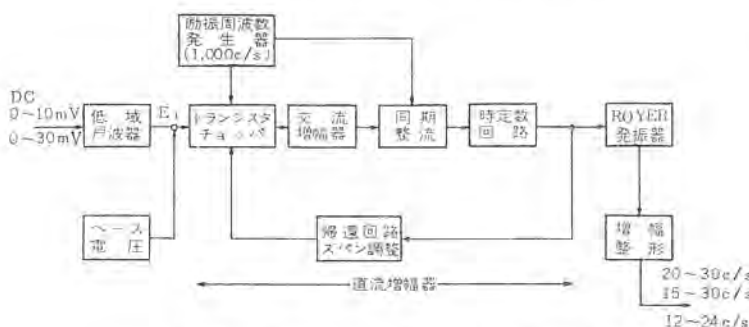


図 2.2 TM-T4 形送量器回路構成図  
Fig. 2.2 Block diagram of type TM-T4 transmitter.

## (5) 表示、記録、処理

のプロセスで行なわれる。(図 2.1 参照)

各ステップの基本機器のうち(1)は計測器として別項に、(3)、(5)は3章で各応用例で示すこととし、ここでは(2)(4)について述べる。

(2)(4)の方法には、情報を連続的な量として伝送するアナログテレメータ方式と、量子的な量として伝送するデジタルテレメータ方式がある。

## 2.1 アナログテレメータ

検出器からの出力(0~10 mV, 0~5 mV, 4~20 mV など)を 20~30 c/s, (12~24 c/s, 15~30 c/s) の衝流周波数(FM)信号に変換し安定な伝送を行なう方式である。当社標準品は送量器、受量器で形番をとり、その送受組み合わせで形名としている。昭和35年全 Tr 化実施<sup>(1)</sup>後各種改良を重ね、現在送量器には TM-T3, T4, T5, 受量器には TM-R4, R5, R6 の各種類あり、用途により組み合わせ使用する。(2.1.3 項仕様参照)

## 2.1.1 送量器

構成は図 2.2 に示す。直流増幅器はトランジスタチョップを使用し、チョップ周波数は 1 kc である。AC 増幅部は 85 dB の増幅度があり、その出力は同期整流回路により直流変換して出力を得ている。直流増幅度は約 100 dB 負帰還は 45~50 dB かけられており、電圧変動、温度変動に対する増幅度誤差は 0.2% 以下におさえられている。

直流一周波数の変換は、飽和トランスを用いたロイ発振器により直流一周波数の変換を行なっている。(特許所有) 入力電圧に対する出力周波数は下式で表わされる。

$$f = \frac{E}{4 \phi_s N_1} \dots \dots \dots (2.1)$$

$f$ : 出力周波数  $E$ : 入力電圧  
 $\phi_s$ : 飽和磁束密度  $N_1$ : 一次巻線数  
 $A$ : コア断面積

$\phi_s$  が温度により  $-0.07\%/^{\circ}\text{C}$  変化するため、リモスタにより温度補償を行なっている。(図 2.3, c 参照)

## 2.1.2 受量器

衝流周波数信号を直流に変換する。構成は図 2.4 に示す。入力信号は増幅整形飽和磁気鉄心を用いた。

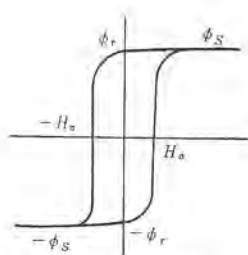


図 2.3 (a) コア特性  
Fig. 2.3 (a) Characteristics of core.

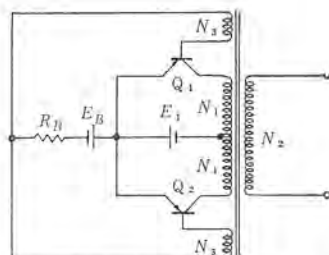


図 2.3 (b) Royer's 発振回路  
Fig. 2.3 (b) Royer's oscillator.

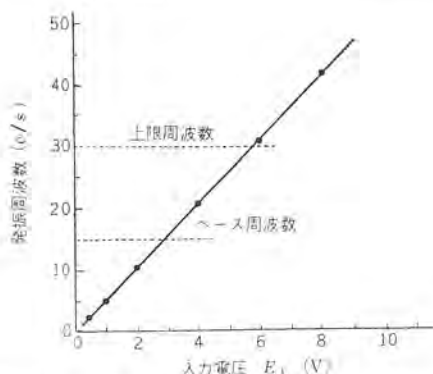


図 2.3 (c) 直流一周波数変換特性 (15~30c/s 形)  
Fig. 2.3 (c) D-F Characteristics of Royer's oscillator.



図 2.4 TM-R5 形受量器回路構成  
Fig. 2.4 Block diagram of type TM-R5 receiver.

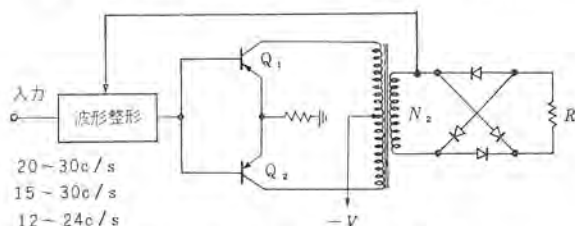


図 2.5 周波数—直流変換回路  
Fig. 2.5 F-D converter.

周波数検出回路によって直流に変換する。

$$I = \frac{4 N_2 \phi_s f}{R} \dots \dots \dots (2.2)$$

$N_2$ : 出力巻線数

$\phi_s$ : 飽和磁束密度

$R$ : 負荷抵抗

飽和トランスの欠点として、入力信号ヒズミが 30% 以上になると誤差を生ずることはよく知られている。この伝送ヒズミによる誤差を防止するため負帰還波形整形回路を考案し、入力ヒズミ 90% まで使用できるようにした。

### 2.1.3 三菱アナログテレメータの特長と仕様

#### (1) 特長

- 送受量器共全部固体化しており、可動部がなく小形長寿命。
- 入力変換回路にトランジスタチョップ回路を採用。
- 直流一周波数変換回路に高能率で安定なロイヤル発振器を採用。



図 2.6 TM-45 形アナログテレメータ パネル  
Fig. 2.6 Panels of type TM-45 telemeter.

表 2.1 送量器仕様

仕様	形名	T3 形	T4 形	T5 形
入力電圧 (mV)		0~10	0~10, 0~30 その他	4~20mA 0~5V
出力周波数 (c/s)		15~30	20~30 15~30 12~24	T4 形に同じ
精度 (%)		0.5	0.5	0.5
温度 0~40°C (%)		±1	±1	±1
応答速度		1 秒以内	1 秒以内	1 秒以内

表 2.2 受量器仕様

仕様	形名	R4 形	R5 形	R6 形
入力周波数 (c/s)		15~30	20~30 15~30 12~24	R5 に同じ
入力インピーダンス		600 Ω ± 20%	600 Ω ± 20%	R5 に同じ
出力		1 kΩ 1 mA, 0~10 mV	500 Ω 1 mA, 0~10 mV	抵抗出力 (5 量)
精度 (%)		0.5	0.5	1~5
温度 0~40°C (%)		±1	±1	±1
応答速度		指示計を含む 2 秒以内	R4 に同じ	3 秒

用。

- 周波数—直流変換に安定、長寿命の飽和トランスを採用。
- 波形ヒズミ 90% まで誤差のない受信回路。
- 指示計振動の誤差をうち消すリップルキャンセル回路。
- プラグイン方式。

#### (2) 仕様

- 総合電源 AC 100/200 V, DC-24 V, ±10%  
温度 0~40°C  
湿度 40~85%  
総合精度 定常状態で 1%

b. 送量器 (表 2.1 参照)

c. 受量器 (表 2.2 参照)

### 2.2 デジタルテレメータ<sup>(3)</sup>

検出器の出力を AD 変換器によりデジタル化してパルス符号として伝送する方式で、AD 変換器・並直列変換送信部・直並列変換受信部・表示・記録部から構成される。

#### 2.2.1 AD 変換器

回転角を利用した符号板形 AD 変換器および全電子式 AD 変換器を使用している。

##### (1) 符号板形 AD 変換器

図 2.7 に示すのは回転角を 3 ケタの 2 進符号に変換できる符号板形 AD 変換器である。符号形式は、1, 2, 4, 8 符号・1, 2, 4, 8,



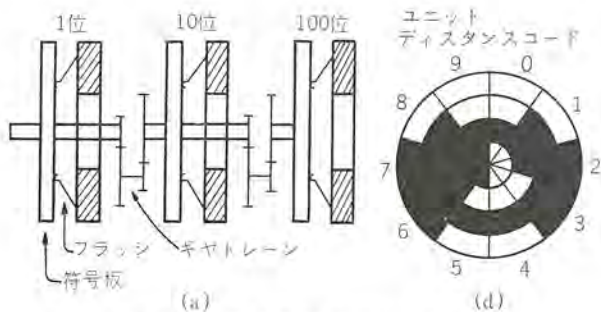


図 2.7 符号板形 A-D コンバータ  
Fig. 2.7 Dish type A-D converter.

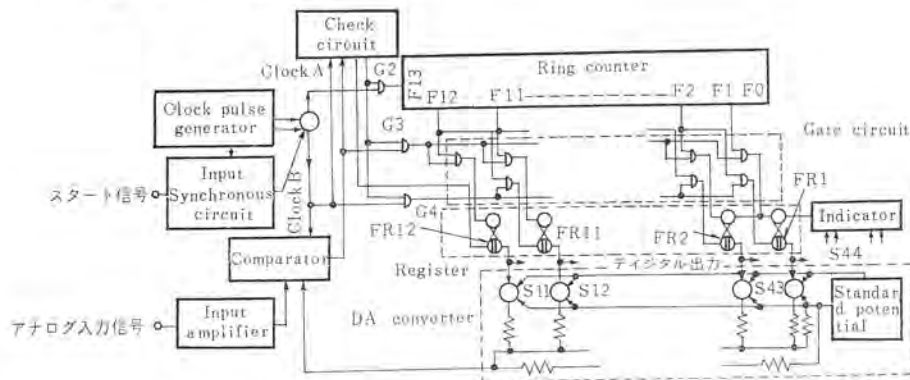


図 2.8 Tr 化 AD 変換器ブロック線図  
Fig. 2.8 Block diagram of AD converter.

P 符号・ユニットディスタンス 符号などを用いている。

図 2.7 (b) はユニットディスタンス 符号板の例である。一般的には 1, 2, 4, 8, P 符号に統一される傾向にある。

処理、伝送の点から純 2 進の符号板も使用している。後述の港湾向けテレメータは純 2 進 8 ケタの符号に変換している。

符号板形のは回転角に変換しやすい水位・開度・雨量などに、また自動平衡計器のモータ軸に取り付けたりして広く使用している。(後者については、3.4 節(2) 参照)

## (2) 全トランジスタ式逐次比較形 AD 変換器

静止形としては全トランジスタ式逐次比較形 AD 変換器を使用している。形名としては、データロガなどと共用できる AD-501 D と、テレメータ用として開発した TM-AD-200 とがある。前者は精度  $\pm 0.1\%$ 、後者は用途により  $\pm 0.1\%$ 、 $\pm 0.3\%$  の 2 種ある。回路図の例を図 2.8 に示す。

送信側のデータが多い場合には符号板形のものに比して変換速度が速いので適している。

### 2.2.2 DA 変換器

純 2 進または 2 進 10 進のデジタル信号をアナログ量に変換する場合には図 2.9 のごとき抵抗回路網を使用する。S の素子には、低速度形るときにはリレー、高速度形るときにはトランジスタを使用する。

### 2.2.3 並直列変換送信部

AD 変換した信号はキャスナにより走査し、直列パルス符号に変換し、これに誤字チェック符号を付加して伝送回路を通して伝送する。パルス符号方式には図 2.10 に示す 5 種がある。伝送方式と使用目的に最適な符号形式を採用している。最近では低速度伝送では (c) と (e) を使用、高速度伝送では (a) を使用し群チェック式を採用している。(e) は制御を併用する場合有効な符号方式で

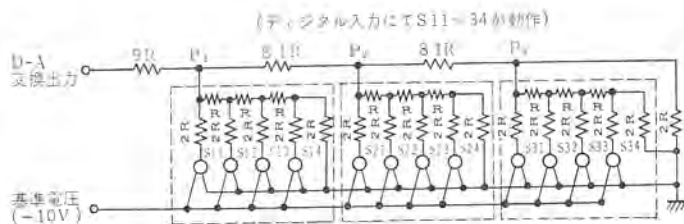


図 2.9 D-A 変換回路  
Fig. 2.9 D-A converter circuit.

ST 1 1 0 0 0 1 P SP ST  
(a) スタートストップ調歩式 (NRZ)

ST 1 1 0 0 0 1 P ST  
(b) 幅広同期式 (RZ)

ST 1 1 0 0 0 1 P ST  
(c) 長短パルス式 (RZ)

ST 1 1 0 0 0 1 P ST  
(d) 両極性長短パルス式 (NRZ)

ST 1 1 0 0 0 1 P ST  
(e) NRZ パルス 2 回照合符号式

図 2.10 パルス符号形式  
Fig. 2.10 Pulse code systems.

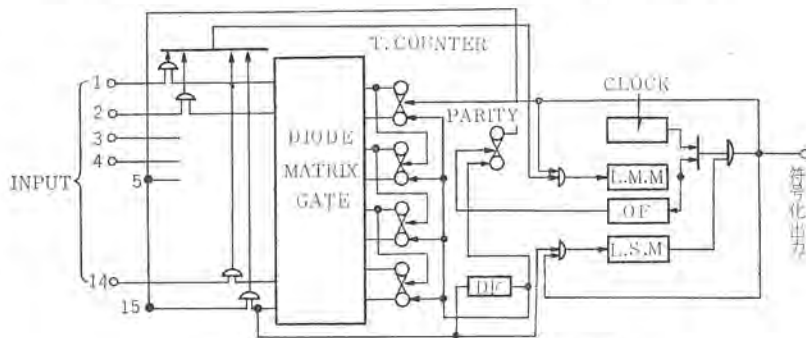


図 2.11 (a) 長短パルス式送信部  
Fig. 2.11 (a) Long-short pulse transmitting circuits.

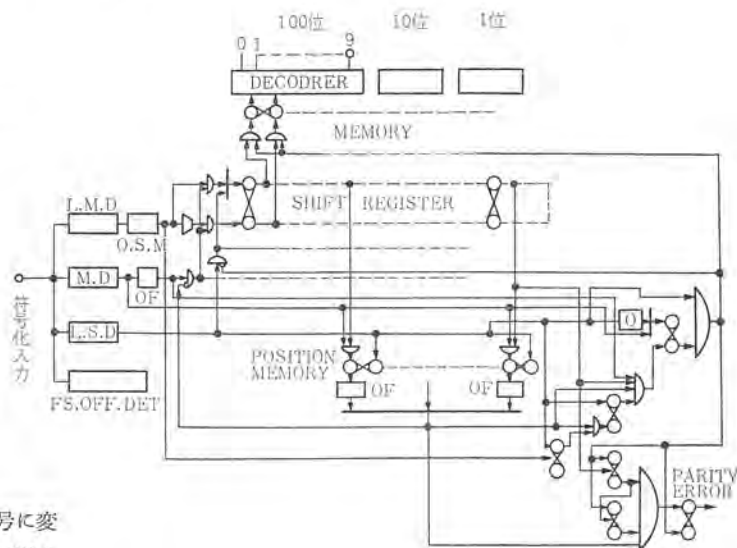


図 2.11 (b) 長短パルス式受信部  
Fig. 2.11 (b) Long-short pulse receiving circuit.

ある。

並直列変換入力には、AD 変換器出力のみでなく ON・OFF 信

号であれば入力として時分割で走査して伝送することは容易である。したがって無人化した設備では、データのみでなく機器の動作状況、たとえば入電状況、ミナ断器入り切れ動作、ポンプ動作なども同時に伝送することができる。図 2.11 に長短パルス式送受信部の回路例を示す。伝送データの確実を期するため伝送路と使用目的に最適な誤字チェック符号方式を採用しているがここでは省略する。

## 2.2.4 三菱デジタルテレメータの特長と仕様

### (1) 特長

- 機能別に論理基板を作成し保守が容易である。
- 環境条件の変化にも安定した動作をする。
- 信頼性のある部品を選択使用している。
- 伝送路と使用目的に応じて最適

なシステムを組んでいる。

- 検出器から処理まで各種回路、

機器が完備している。

### (2) 仕様

- 総合電源 AC100/200V,  
DC-24V,  
-12V,  $\pm 10\%$

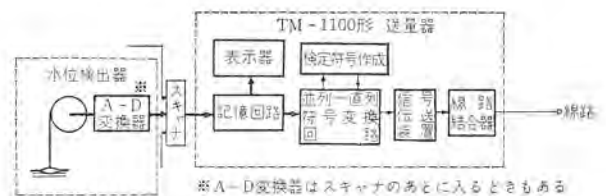


図 2.12 TM-1100 形テレメータ系統

Fig. 2.12 Block diagram of type TM-1100 telemeter.

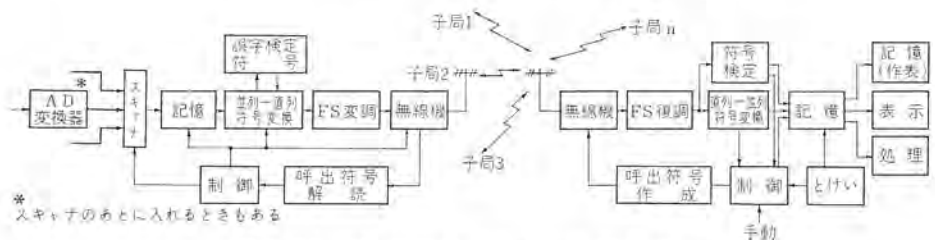


図 2.13 TM-1200 形テレメータ系統図

Fig. 2.13 Block diagram of type TM-1200 telemeter system.

表 2.3 デジタルテレメータ機種一覧

項目	伝送方式	用途	備考
機種			
TM-1000 形	直送並列 常時伝送	符号板形 AD 変換器の出力を並列に直送する。(水位、開度などの測定)	
TM-1031 形	直送並列 常時伝送	同上の出力を、送信側にてリレー接点に変換して並列直送する。遠距離に使用。	文献 (3) 参照
TM-1100 形	搬送直列 常時伝送	並直列変換によるパルス符号伝送、スキャナ回路により伝送量自由、対向性に使用	図 2.12 参照 文献 (3) 参照
TM-1200 形	搬送直列 呼出し伝送	親 1、子 n の構成のとき使用。基本形は 1100 形に同じ。親局でデータ処理	図 2.13 参照 3.2 項ダムテレメータの項参照
TM-1300 形	搬送直列 定時伝送	送信側でデータ処理が必要な場合。	図 2.14 参照 文献 (4) 参照
TM-2100 形	1100 形に 制御併用	テレメータと制御表示を併用させるシステム	図 3.9 参照 3.3 項水道テレメータの項参照
TM-5000 形	直送データ 処理	直送収集データを観測所だけで処理する場合。	気象、港湾テレメータ参照

各形式の納入例は 3 章および付表納入実績表参照



図 2.14 TM-1300 形テレメータ系統図

Fig. 2.14 Block diagram of type TM-1300 telemeter system.

温度 0~40°C, -10~50°C

湿度 40~85%, 40~95%

総合精度 定常状態にて最少ビット

- 形式 (表 2.3 参照)

## 2.3 アナログ式とデジタル式の比較 (表 2.4 参照)

表 2.4 テレメータの比較

	アナログテレメータ	デジタルテレメータ	備考
(1) 精度 (%)	1	0.1~0.5	
(2) 応答速度 (秒)	1	方式による (0.1~10)	
(3) 装置	簡単	やや複雑	
(4) コスト	伝送量に比例 (伝送量が少ないと低価格)	共通部が多い (伝送量が多いと低価格)	AD 方式でも異なるが 6~10 量が増える
(4) 処理記録	アナログ、アナログ表示、日報データ印字は複雑になる	デジタル表示、処理記録に自由度あり、日報データ作成は容易	
(6) 外乱 (雑音)	冗長度が大きいため受けにくい	誤字検定、訂正機能が必要	
(7) 表示警報の伝送	別に装置が必要	スキャナの増加のみで伝送可能	

## 3. テレメータ装置の実用例

最近のテレメータ装置はデジタル技術の進歩によりデータの処理、データの集中管理、日報データの作成などが自動的に行なえるようになったため、各企業の合理化ならびに自動化の要求と相まってテレメータの設置分野は急速に増大してきた。

三菱テレメータも各分野で使用されており、40 年度の納入ならびに受注台数は約 60 セットである (付表 1, 2 参照)。各企業別に代表例を簡単に報告する。

### 3.1 電気事業用

#### 3.1.1 アナログテレメータ

電力会社、公共企業体の電気事業用としては従来アナログテレメータが中心であった。当社でも東京電力 (生坂一平各 P/S)・関西電力 (奈良支店)・四国電力 (長沢 P/S)・愛媛県 (道前道後 P/S) など多数実績がある。使用方法は、電圧・電流・電力・水位・開度な



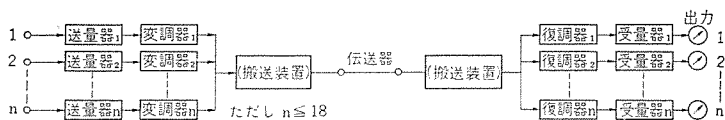


図 3.1 (a) TM-45 形並列使用系統図  
Fig. (a) Multiplex system of the analogue telemeter.

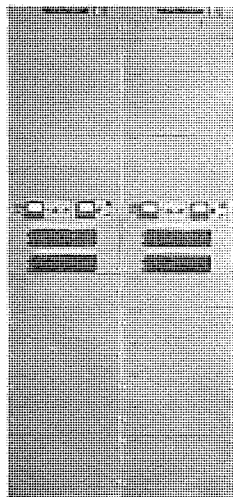


図 3.2 TM-45 形アナログ  
テレメータ装置  
Fig. 3.2 Type TM-45 tele-  
meter equipment.

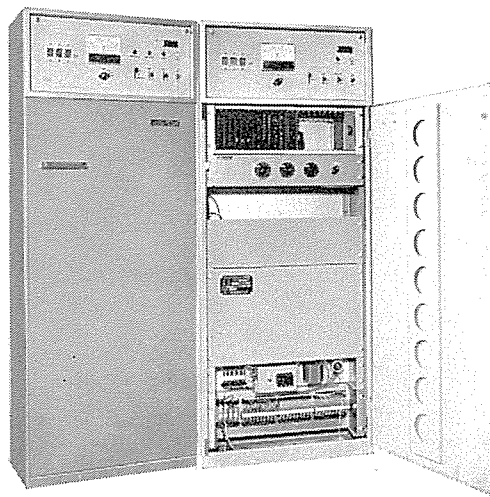


図 3.3 TM-1100 形デジタルテレメータ装置  
Fig. 3.3 Type TM-1100 telemeter equipment.

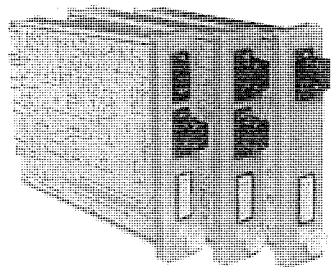


図 3.1 (b) TG-5 M 形信号伝送装置  
Fig. 3.1 (b) Type TG-5 M Modem.

### 3.1.2 デジタルテレメータ

電気事業ではダム水位などアナログテレメータで精度が得られないものについてデジタルテレメータが使用されてきた。最近の例では電発幌加 P/S・七色 P/S・徳山 P/S のダムえん堤に使用されている 1000 形、1100 形である。(図 3.3 参照) 金沢市犀川系はダム周辺の水位、雨量、ゲート開度などを 1000 形で収集し、TM-1100 形を用いて上寺津 P/S へ伝送する。そのデータはオンラインで MELDAP-6000 のコンピューティングローグにソウ入して発電機の自動運転に使用されている。図 3.4 に犀川テレメータ系統図を示す。今後 AD コンバータの低コスト化に伴ない、電気事業におけるテレメータ伝送はデジタル化に進むと考えられる。伝送速度も多量のデータを時分割伝送する必要から、50 ボーから 200 ボーが使用されるであろう。当社の 1100 形 1200 形シリーズはその中心機種として活躍が期待される。

### 3.2 ダム、河川管理用テレメータ

急流河川の多いわが国において、治水・利水の必要から多目的ダムが各所に設置されつつある。治水・利水を効果的に行なうためには水情報の集中管理が不可欠であり、この目的のために当社テレメータも各所に設置されている。

ダムの水位・開度には 1000 形、1100 形、ダム周辺・河川の水位・山岳部の雨量などの収集には 1200 形無線テレメータシステムを使用する。最近の計算機も含めたトータルシステムの採用である。

総合システムの例として、石川県犀川ダム系(昭和 40 年 10 月納入)神奈川県相模川系(昭和 41 年 10 月納入予定)について述べよう。

#### (1) 犀川ダムテレメータシステム

防災用テレメータと発電用コンピューティングローグへのデータ伝送を含めた総合的なテレメータシステムである。

##### a. 無線テレメータ放流警報装置 (TN-1200 形、TM-500 形)

建設省統一仕様書に準拠した装置で、無線観測 2 局(容量 5 局)、有線観測 5 項目、放流警報 3 局(容量 5 局)から構成されている。収集データは自動的に作表印字するとともに上寺津発電所へ自動転送する。(外形は図 3.5, 3.6, 3.7 参照)

##### b. 有線搬送デジタルテレメータ (TM-1100 形)

犀川ダムの水位・開度・雨量などのデータを上寺津発電所に伝送する装置で、a の装置と有機的に結合されている。このデータは、発電所に設置されたコンピューティングローグ MELDAP 6000 にソウ入され発電機自動制御に使用する。

#### (2) 神奈川県相模水系計算制御用データ通信システム

神奈川県では相模水系高度利用を目的として水系一環計算制

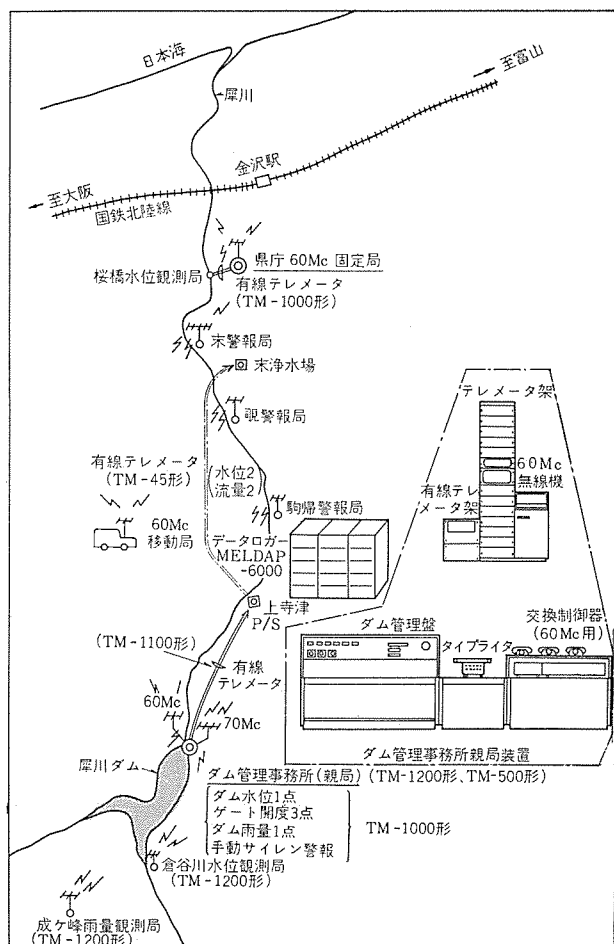


図 3.4 犀川ダムテレメータ放流警報システム系統図  
Fig. 3.4 System diagram of the river Sai telemetering.

を直流に変換、TM-45 形を使用する。その多重化には変調器として 50 ボーの信号伝送装置を使用する。(図 3.1 (b) 参照) ブロック図を図 3.1 (a) に、実装架を図 3.2 に示す。

御システムが計画され、当社 MELCOM-1630 計算システムが採用された。このデータ収集、分配を行なうためのデータ通信システムも同時に製作納入を予定している。

相模川流域および城山ダム周辺の水位・雨量と寒川ダム周辺の水位・開度などをデータ通信システムを通じて収集し、タイプライターさん孔を行なうとともにデータを電子計算機にそう入する。計算出力は制御に使用される。さらに電子計算機からの計算データ

は横浜へ伝送、タイプライターに印字させる。このシステムは、自動化の進展とともに、データの収集分配が従来のテレメータの概念から計算機を中心としたプロセスデータ通信システムへと拡張されるべき今後の方向を示唆するものと思われる。

### 3.3 水道事業用テレメータ

都市人口の急増と生活文化の向上から、水資源の有効利用は重要な問題となってきた。この手段としてテレメータが各府県市で採



図 3.5 TM-1200 形無線テレメータ監視制御装置  
Fig. 3.5 Type TM-1200 radio telemeter equipment.



図 3.6 無線雨量観測装置  
Fig. 3.6 Radio telemetering equipment of rain fall.



図 3.7 無線水位観測装置  
Fig. 3.7 Radio telemetering equipment of water level.

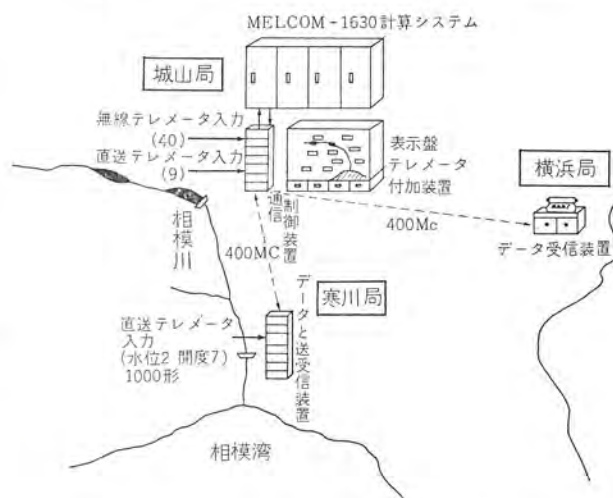


図 3.8 相模水系データ通信システム  
Fig. 3.8 Data transmission system of Sagami river.

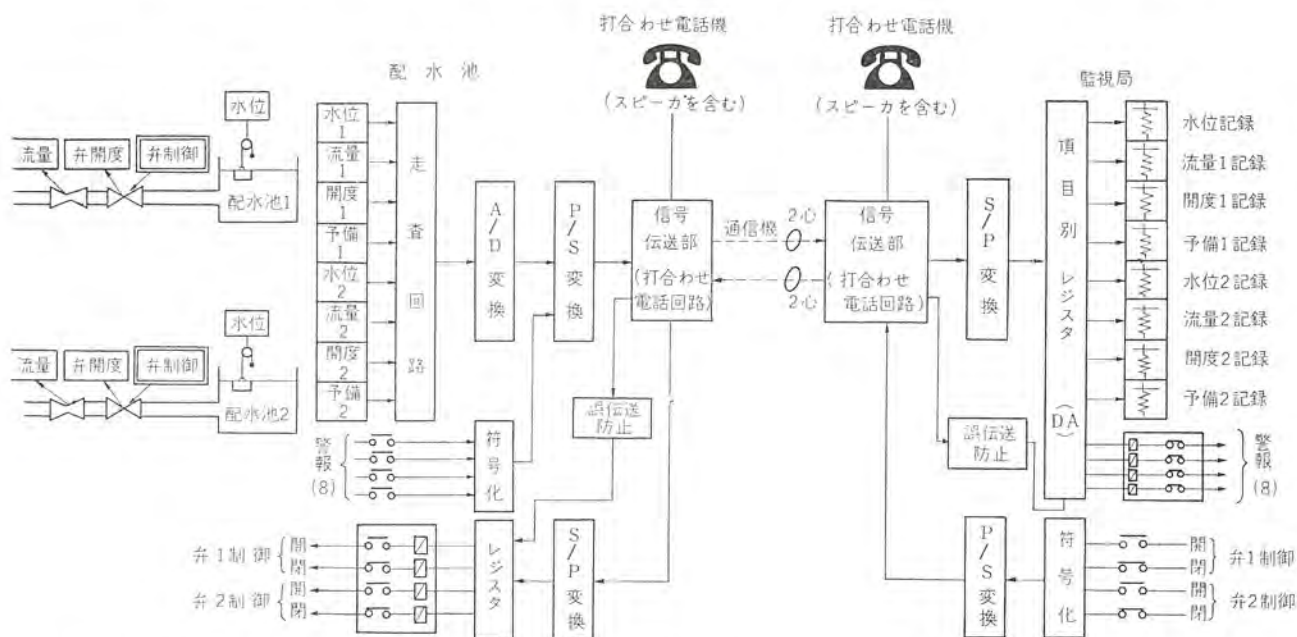


図 3.9 水道用遠方監視制御装置 (TM-2100 形) ブロック線図

Fig. 3.9 Type TM-2100 telemeter & telecontrol.



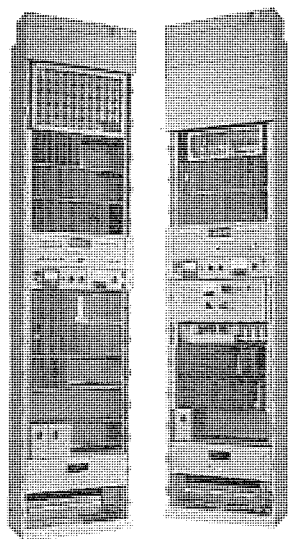


図 3.10 水道用遠方監視制御装置 (TM-2100 形)  
Fig. 3.10 Bay assembly of type TM-2100.

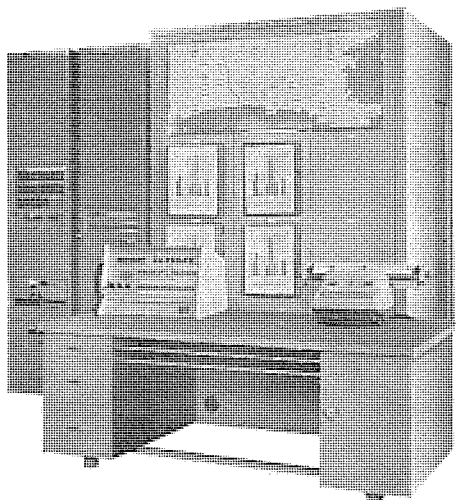


図 3.11 水道用無線集中監視記録装置 (TM-34 S 形)  
Fig. 3.11 Radio telemetering equipment for water supply.

り上げられ、当社製品はすでに 10 府県市で活躍している。

方式は TM-45 形を用いたアナログ並列伝送システム（北九州市、大阪市など）と、TM-2100 形を用いたデジタルテレメータ方式（広島市）があり、また構成上から 1:1 構成（新潟県、愛知県など）と、集中監視形 1:n 構成（神奈川県、北九州市など）がある。最近の動向としては、伝送量の増大からデジタル化と、配水施設の集中監視制御システムの採用であろう。

#### （1）広島市水道局納めテレメータ (TM-2100 形)

仁保配水池の水位・流量・弁開度・電流各 2 量を AD 変換後パルス符号化し、公社線を通じて牛田浄水場へ伝送する。このシステムの特長は、機器の動作状態警報など 8 量を符号化してテレメータ信号に追加して伝送することと、牛田浄水場から仁保配水池の弁 2 量を調整制御することができることである。また連絡用通話回線は、同一線路を周波数分割方式にて使用し、スピーカ呼出し方式を採用している。系統図を図 3.9、外観写真を図 3.10 に示す。

#### （2）大阪市水道局納めテレメータ (TM-45 形)

真田山ポンプ場を完全無人化するために計画されたもので、テレメータ常時 19 量（水位、水圧、流量、電圧など）、制御 20 量、プログラム制御 1 量を伝送する。テレメータは、TM-45 形を並列使用する。41 年 6 月納入予定である。

三菱産業用テレメータ・室田・藤原

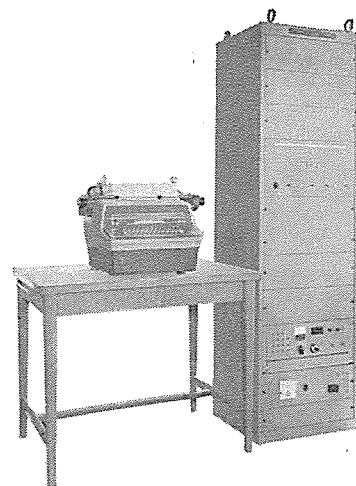


図 3.12 自動気象印字装置  
Fig. 3.12 Multiple automatic meteorological printer.

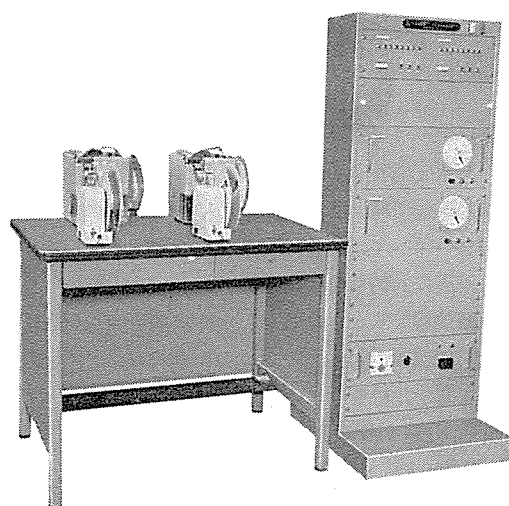


図 3.13 海象デジタル記録装置  
Fig. 3.13 Digital recording equipment of marine weather condition.

（3）神奈川県企業庁水道局納めテレメータ (TM-34 S 形)<sup>(6),(7)</sup>  
神奈川県寒川浄水場を中心として、30 箇所に散在する配水池、ポンプ場の水位、流量を VHF 無線回線を用いて集中管理するテレメータシステムである。テレメータ伝送は、TM-34 形アナログテレメータを並列に使用し、寒川中央監視局では収集データをアナログ多点表示と、タイプライタによる作表印字、グラフィック盤上に水位上下限警報を表示できる。ポンプ動作表示信号も並列伝送し、表示盤にてポンプ場の監視ができる。

#### 3.4 気象、海象観測用テレメータ

気象、海象観測業務の自動化も近年急速に実施されるようになってきた。当社は昭和 39 年、富士山頂の気象データを自動測定、東京に伝送する TM-1300 形気象デジタルテレメータを完成、注目を集めた<sup>(4)</sup>。さらに、昭和 40 年南極観測再開には、自動気象印字装置を納入現在活躍中である。

海象観測用として、港湾技研ご指導のもとに海象観測デジタル記録装置を完成、41 年 4 月から鹿島で実動にはいる。また八千代エンジニアリング K.K. と共同で、千葉県京葉港内に海象観測用無線テレメータを 41 年 7 月納入予定である。これは海上観測塔から、波高・波浪・潮位・風向・風速などのデータを無線テレメータで地上観測所に伝送、アナログ記録、磁気テープ記録をさせる。

表 3.1 自動気象印字装置データ処理一覧

観測要素	観測範囲	測定値	検出器出力 (V)	表示, 印字値 (演算)
日 時	GMT 00 日 00 時 ~ LCT 28~31 日 23 時	同 左		00.00~28~31, 23 "
風 向	16 方位	00~24	0~-1.2	0~16~8
	36 方位	00~54	0~-2.7	0~36~18
風 速	00~75 m/s	同 左	0~-7.5/2	00~75
	00.0~99.9 ノット	同 左	0~-5	000~999
気 圧	現地気圧 920.0~1020.0 mb	"	0~-5	920.0~1020.0
	海面気圧	"	"	(9)20.0~(10)10.0
気 温	-50.0~+10.0 °C	"	0~-3	50.0~(1)10.0 (気温 +100)
		"	"	(1)00~51(氷点下は飽) ~00~10(対値 +50)
露 点	-50.0~+10.0 °C	"	0~-3	50.0~(1)10.0 (露点 +100)
		"	"	(1)00~51(氷点下は飽) ~00~10(対値 +50)
蒸 気 圧	0.0~9.9 mb	"	0~-5	00~99
湿 度	00~99 %	"	"	00~99
日 射	00.0~99.9 ly/h	"	"	000~999

(1) 気象庁納め南極向け自動気象印字装置 (表 3.1 参照)  
各種気象観測用検出器からの直流入力を読み取り後, AD 変換, 演算を行ない印字作表する。図 3.12 に外観写真を示す。

#### (2) 港湾技研納め波浪観測用デジタル記録装置

波高, 波浪検出器からの出力を AD 変換器により符号化し, さん孔テーラに自動記録させる。このさん孔テーラの出力を電子計算機にかけて海象分析を行ない 防災研究に使用する。AD コンバータは, 自動平衡サーボ形の回転軸に 純 2 進 250 段階の符号板形 AD

をとりつけたものを開発した。テーラさん孔機の符号をアナログ記録再生と, 電気計算機符号への変換を行なうコードコンバータも同時に製作納入した。図 3.13 にデジタル記録装置の写真を示す。

## 4. む す び

当社産業用テレメータの基本機器と, 各分野で使用されている製品の代表的なものについて報告した。テレメータの性質上, 信号伝送用変復調器・テレメータ用無線機・搬送装置などが重要になる。当社はこれらの製品についても各分野で採用され, 好評を得ているが, 稿を改めてご報告することにした。

末尾ながら, 当社テレメータの製作に種々指導いただいた使用者各位に厚く謝意を表する。

## 参 考 文 献

- (1) 北垣, 上田, 室田, 今泉: トランジスタ化遠隔測定装置, 「三菱電機」35, No. 12 (昭 36)
- (2) 藤原: テレメータ, テレコントロール, 電気 3 学会関西支部, デジタル通信技術専門講習会 (昭 40-2)
- (3) 室田, 藤原, 今泉, 小村: 水位 デジタルテレメータ「三菱電機技報」39, No. 5 (昭 40)
- (4) 丸浜, 室田, 藤原, 今泉: 富士山気象テレメータ装置, 「三菱電機技報」39, No. 4 (昭 40)
- (5) 三菱水道用電機設備, 三菱電機編 (昭 40)
- (6) 丸浜, 室田, 藤原, 柳沢: 水道用無線テレメータ方式, 電気四学会連大会 440 (昭 40-4)
- (7) 室田, 藤原, 柳沢, 小村: 水道用集中監視記録装置, 「三菱電機技報」40, (昭 41)

付表 1 40 年度アナログテレメータ受注納入実績

納 入 先	納入年月	形 式	測定伝送項目	伝送方式	データ処理方式
1 神奈川県企業庁	昭和40年	TM-34 形	水 流 量	無線 (VHF) 搬送方式	アナログ表示 デジタル記録 水位警報
2 赤羽根配水池	送信1局	"	水 流 量	"	"
3 藤沢配水池	送信1局	"	水 流 量	有 線	"
4 日本電子産業	送信1局 受信1局	"	3 量	有線搬送方式	"
5 関西電力奈良支店	送信1局	TM-45 形	電 力	2	"
6 金沢市上寺津 P/S	送信1局 受信1局	"	水 流 量	2	アナログ表示
7 谷ヶ原浄水場	送信1局 傍受8局	TM-34 形	水 流 量	1 3	無線 (VHF) 搬送方式 デジタル記録 水位警報
8 山の内配水池	送信1局	"	水 流 量	1 2	"
9 腰越配水池	"	"	水 流 量	1 2	"
10 北鎌倉配水池	"	"	水 流 量	1 1	"
11 二の宮配水池	"	"	水 流 量	1 1	"
12 淵の辺配水池	"	"	水 流 量	1 1	"
13 中津配水池	"	"	水 流 量	1 1	"
14 長 沢 P/S	送信1局 受信1局	41年 TM-45 形	水 電 力	有線搬送方式	アナログ表示 " 記録

納 入 先	納入年月	形 式	測定伝送項目	伝送方式	データ処理方式
17 四国電力	昭和41年	TM-45 形	水 電 力	"	"
18 吉野川エン堤	送信1局	"	水 位	有 線 搬 送 式	"
19 水曾発電所	送信1局 受信1局	"	水位 WH 被制御	有線搬送方式	アナログ表示
20 須原発電所	送信1局 受信1局	"	制 御	"	"
21 真田山ポンプ場	送信1局 受信1局	"	水圧流量 開度電圧	有線搬送方式	アナログ記録 アナログ表示
22 高地区ポンプ場	送信1局 受信1局	"	制 御	"	"
23 瀬戸配水池	送信1局	"	水 位	無線搬送方式	アナログ記録
24 旭 浄 水 場	受信1局	"	"	"	"
25 夏瀬発電所	受信1局 受信1局	"	電 流 2 電 流 2 電 流 2 電 流 2	有線搬送方式	アナログ指示
26 神代発電所	送信1局 受信1局	"	制 御	"	"
27 滝原エン堤	送信1局	"	水 位 1 水 位 3	"	"
28 長 発 電 所	送信1局 受信1局	"	水位電圧 電力流量	9	"
29 三瀬谷発電所	送信1局 受信1局	"	制 御	"	"
30 千葉港観測塔	送信1局	"	潮位波高 風向風速	2	"
31 船橋受信所	受信1局	"	"	無線搬送方式	アナログ記録 磁気テープ記録



付表 2 40年度 デジタルテレメータ受注納入実績

納入先	納入年月	形 式	測定伝送項目	伝送方式	データ処理方式
1 電源開発七色発電所	昭和40年 送信1局 受信3局	TM-1000	ダム水位	デジタル直送式	デジタル表示
2 山口県徳山発電所	送信1局 受信1局	"	"	"	"
3 気象庁	テレメータ集信用	TM-1300	気象データ	パルス直伝送	デジタル記録
4 気象庁 南極昭和基地	"	TM-1500	風向風速 気圧気温 露点日時 湿度	"	デジタル表示 記録 各種演算
5 犀川ダム	送信1局 受信1局	TM-1000	ダム水位	デジタル直送式	デジタル表示 記録
6 "	"	"	テンターゲート開度	"	"
7 金沢	"	"	"	"	"
8 "	"	"	非常放流度	"	"
9 "	"	"	雨 量	"	"
10 成ヶ峰-犀川ダム	"	TM-1200	"	無線(VHF)搬送式	"
11 長谷川-犀川ダム	"	"	水 位	"	"
12 犀川ダム-上寺津発電所	"	TM-1100	水開度 雨 量 3	有線搬送式	"
13	"	"	"	"	"

納入先	納入年月	形 式	測定伝送項目	伝送方式	データ処理方式
14 桜橋-庁	送信1局 受信1局	40年 TM-1000	水 位	デジタル直送式	デジタル表示 記録
15 科学技術庁 (人工衛星用)	送信1局 受信1局	" PCM	16/120 量	無線搬送式	"
16 仁保配水池	送信1局 受信1局	41年 TM-2100	水位2 流量2 開度2 水圧2 被制御4	有線搬送式	デジタル表示 パルプ被制御
17 牛田浄水場	"	"	"	"	デジタル表示 アナログ記録 パルプ制御
18 寒川ダム	送信1局	" DC-50 S	水位2 開度7	無線搬送式	デジタル表示 記録
19 城山ダム	送信1局 受信1局	"	各種40量	"	テープさん孔
20 県庁(横浜)	受信1局	"	"	"	デジタル記録
21 鹿島観測所	送信1局 受信1局	TM-5000	波 高 1 潮 位 1	"	テープさん孔 アナログ記録
22 九里浜センター	送信1局 受信1局	"	"	"	"
23 長 発 電 所	送信1局 受信1局	TM-1100	水 位 2 開 度 2	有線搬送式	デジタル表示
24 三谷谷発電所	送信1局 受信1局	"	"	"	"
25 逆調ダム	送信1局 受信1局	TM-1000	水 位 1	"	"
26 長 発 電 所	送信1局 受信1局	"	"	"	"
27	"	"	"	"	"

# 高速データ収集システム MELDAP-2000

浜岡 文夫\*・石田 哲爾\*\*・祖父江幸男\*\*  
高崎 紀良\*\*・繁沢 実\*\*・白井 良武\*\*

## High Speed Data Gathering System MELDAP-2000

Kamakura Works Fumio HAMAOKA・Tetsuzi ISHIDA・Yukio SOBUE・Noriyoshi TAKASAKI  
Minoru HANZAWA・Yoshitake SHIRAI

Analysis of experimental data on phenomena including high components of frequency and changing intensively has been so far feasible by manual calculation or with analog computers at the best. Even with digital computers of high effectiveness, it needs tremendous time and labor to digitalize and punch the data. Under the circumstances a high speed data gathering system MELDAP-2000 has been developed to convert multi-channel analog input voltages to digital data (sign and 10 bit binary code) at such a high speed of 12,000 data per sec and to write them on magnetic tapes at a density of 556 bits per inch. The data on the tape can be read with the MELCOM-1530, IBM-7044 and many other digital computers. This article deals with the system construction, specifications, circuits of scanners, AD-converters and other related information.

### 1. ま え が き

最近のデジタル計算機の普及はめざましく、これに伴って、従来は電磁オシログラフなどを用いて行なわれていた物理現象のデータ処理にもデジタル計算機が使用されるようになった。このために、検出器から得られるアナログ電圧信号をデジタル計算機入力に与える手段が要求される。MELDAP-2000 高速データ収集システムは磁気テープを伸介手段としてこれを行なう装置で、某自動車メカに納入されて走行試験のデータ処理に使われている。入力データは直接アナログ電圧で与えられるほか、走行試験では車載のテープレコーダを用いて FM 多重信号で磁気テープに記録し、この磁気テープを入力とすることも可能である。

高速データ収集システム MELDAP-2000 の特長は

- (1) 最大 12,000 点/秒の高速計測能力をもち、出力は符号および 2 進 10 ケタで構成され、オシログラフなどに比べ高精度である。
  - (2) 磁気テープ上の記録密度は 556 ビット/インチで MELCOM-1530, IBM-7044 などデジタル計算機に広く適合する。
  - (3) アナログ磁気テープ (FM) の再生、復調から処理まで一貫して行なわれる。
- などである。

### 2. 構 成

高速データ収集システムの外観を図 2. 1、ブロック線図を図 2. 2 に示す。復調器は FM 磁気テープを再生、復調してアナログ電圧にする。高速データ収集システムは多チャンネルのアナログ電圧信号をデジタル化する走査変換部 (図 2. 2 で入力増幅器、入力スキャナ、アナロ

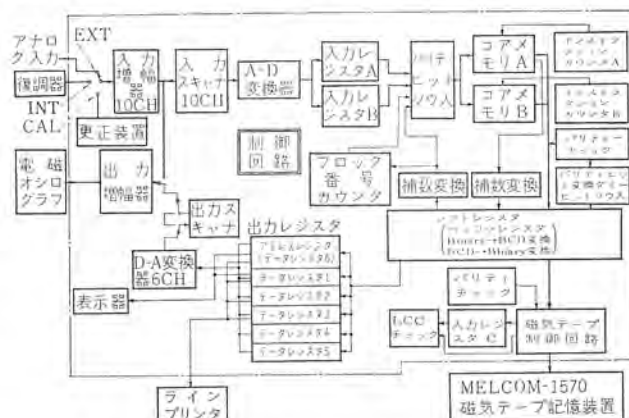


図 2. 2 MELDAP-2000 システムブロック線図  
Fig. 2. 2 Block diagram of MELDAP-2000 system.



図 2. 1 高速データ収集システム MELDAP-2000  
Fig. 2.1 High speed data gathering system MELDAP-2000.

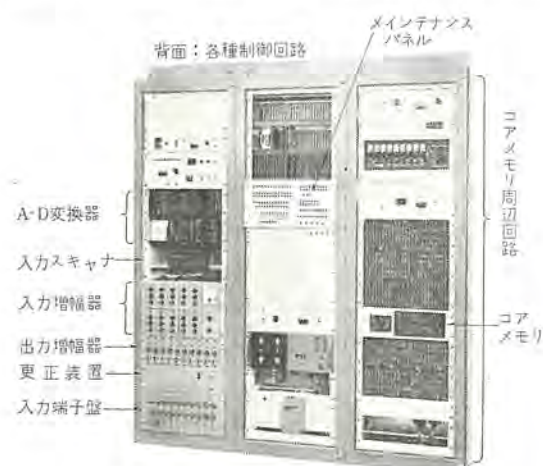
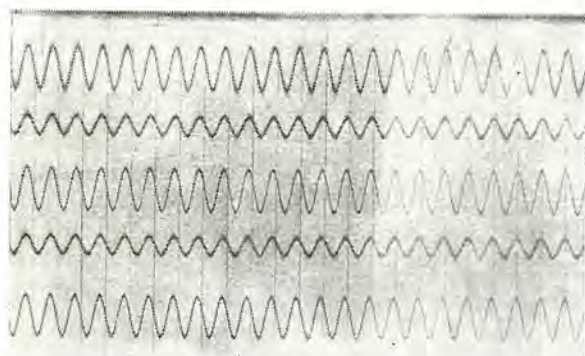


図 2. 3 MELDAP-2000 本体の内部 (前面)  
Fig. 2.3 MELDAP-2000 main cabinet (front door removed)

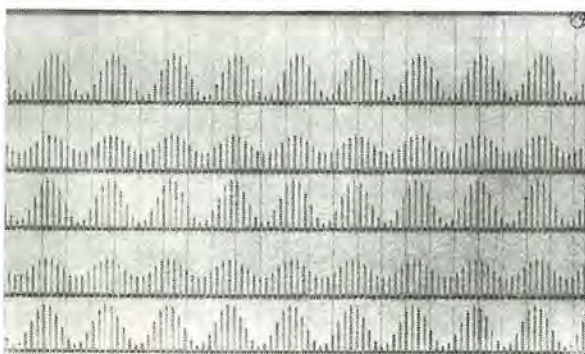




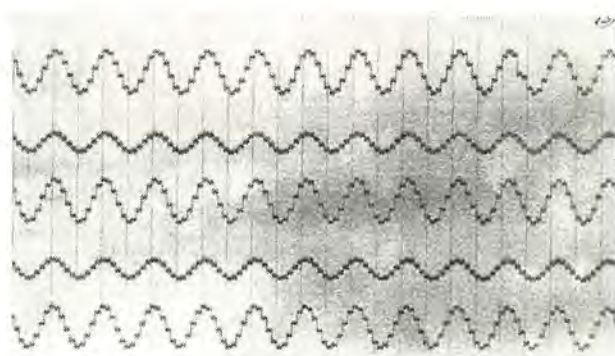




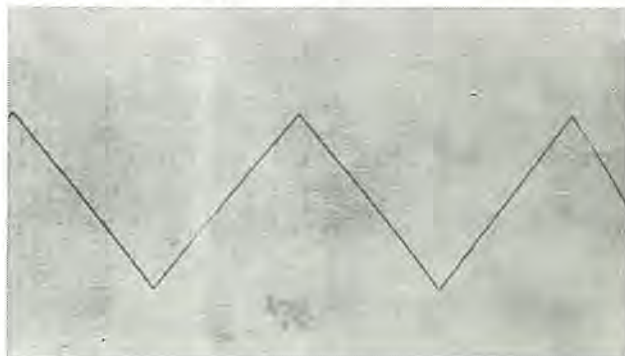
(a) 入力波形 (10 c/s 正弦波約 16 Vp-p, または 8 Vp-p)  
データ収集, 走査周期 100 SCAN/sec



(c) パルス再生波形 走査周期=200 data/sec (=40 SCAN/sec..... 5 h のとき)



(b) アナログ再生波形 走査周期=50 SCAN/sec



(d) 直線性 (10 c/s 三角波 16 Vp-p)  
走査周期: データ収集のとき 1,000 SCAN/sec  
アナログ再生のとき 100 SCAN/sec

図 4.4 測定波形例

である。1ブロックのデータを記憶し終わると、コアメモリ B に切り換えられると同時に磁気テープ装置に、WRITE 命令を出す。約 7.5 ms 経過すると正常の書き込み速度に達し、コアメモリ A から順に読み出して磁気テープに書き込む。このときの速度は 20,850 データ/秒であり、1ブロックのデータを書き込み終わると停止して、コアメモリ B がいっぱい記憶されるまで待機する。

2個のコアメモリを用いることによって、図 4.3 の入力波形例に示されるような連続な入力波形が、一定の IRG (Inter Record Gap) をもつブロックの列として磁気テープ上に記録され、デジタル計算機で読み取り可能となる。

STOP の命令がはいると、計測中のブロックのデータをテープに書き込んだあと、End of File の記号をテープに書いて停止する。

## 4.2 データ再生

### 4.2.1 アナログ電圧の再生

デジタル磁気テープから計測時のアナログ電圧を再生する操作で、2個のコアメモリを交互に切り換え使用する。一方のコアメモリに磁気テープからデータを転送している間に、他方のコアメモリから、転送を完了したデータを読み出し、チャンネル別に分離して D-A (デジタル-アナログ) 変換回路に送る。この出力のアナログ電圧は出力増幅器で増幅され、直接にオシログラフ接続可能である。

この方法では計測時のスキャナ入力点の電圧を走査周期でサンプリング・ホールディングした階段状の電圧が再生される。(図 4.4b) データ収集の走査周期を速くすれば同図 d のように連続に近づく。

### 4.2.2 パルス状電圧の再生

コアメモリ A のみを使用する。磁気テープからコアメモリに 1 ブロックのデータを転送するとテープを停止して、転送されたデータを一定の周期で読み出し D-A 変換回路に送る。この出力電圧を出力スキャナでチャンネル別に分離し、出力増幅器で増幅して電磁オシログラフ

を駆動する。各チャンネル出力は出力スキャナが選択されているときのみ生じ、ほかのチャンネル出力が出ているときは無出力となり、パルス状の出力となる。(図 4.4c)

### 4.2.3 印字・表示

印字・表示を行なう場合は先に磁気テープのデータをコアメモリ A に移しておく。操作卓から呼び出された番地のデータはシフトレジスタを利用した 2 進→10 進変換回路<sup>(2)</sup>で BCD 信号に変換したのち、チャンネル別に分離して出力レジスタに送り表示器で表示、またはライブラリプリンタで印字される。

### 4.3 誤りの検出・データの訂正

データ収集中にコアメモリから読み出されたデータにパリティエラーが検出されるとダミーを 1 にしてデータの誤りを記録する。再生中に磁気テープからのデータにパリティまたは LCC エラーが検出されると再生は停止する。このときには、誤りのあるブロックのデータをコアメモリに移して、操作卓の押しボタンスイッチによってコアメモリの誤りの番地を訂正したあと、ふたたび磁気テープに転送することによって磁気テープを修正できる。

## 5. アナログ機器

### 5.1 入力増幅器

直流入力信号 0~±10 mV, 0~±10 V を 0~±10 V に増幅するための、平衡入力用のトランジスタ直結差動増幅器であり、帰還比、分圧比を変えることにより増幅率を決定する。

図 5.1 がブロック線図であり、大略の性能は次のとおりである。

増幅率 1000, 100, 10, 1

入力インピーダンス 100 kΩ 以上

直線性 0.2% 以下

ドリフト 常温で入力換算 ±100 μV/30 分以下 (1,000 倍)



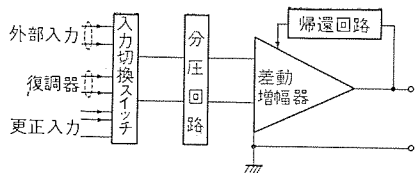


図 5.1 入力増幅器ブロック線図  
Fig. 5.1 Block diagram of input amplifier.

図 5.2 (a) 出力増幅器

(b) 入力増幅器  
Fig. 5.2(a) Output amplifier.  
(b) Input amplifier.

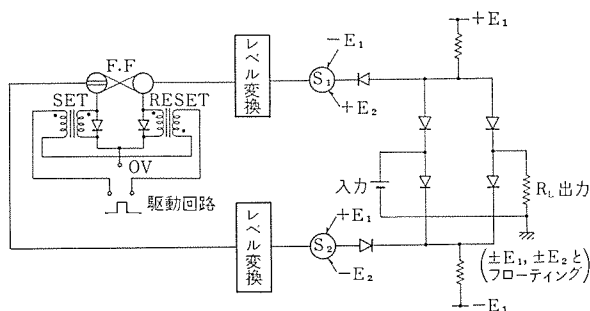
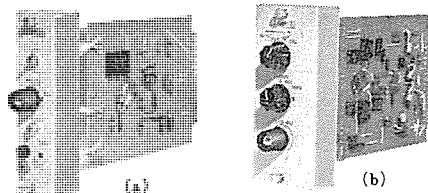


図 5.3 高速スキャナブロック線図  
Fig. 5.3 High speed scanner block diagram.

入力増幅器，出力増幅器は図 5.2 のようにユニット化されている。

## 5.2 出力増幅器

ピコアンプなどを駆動するための緩衝増幅器であり，帰還抵抗を切り換えることにより，入出力モードが切り換えられる。

大略の性能は次のとおりである。

入力電圧  $0 \sim -10 \text{ V}$ ， $-10 \sim +10 \text{ V}$

出力電圧  $-5 \sim +5 \text{ V}$

直線性  $0.5\%$  以下

出力電流  $10 \text{ mA}$  最大

## 5.3 スキャナ

スキャナは多数の入力信号を 1 点ずつ順次切換走査して変換器に送る。

図 5.3 のブロック線図に示されるように，開閉素子にダイオードブリッジを用い，これを  $S_1$ ， $S_2$  のトランジスタ電圧スイッチによって，導通またはシャ断状態とする。導通状態では，ダイオード順方向特性のそろったものを用いることにより数  $\text{mV}$  以下のオフセット電圧で入出力が接続されるとともに，駆動電源と信号アースとを別にすることにより高入力抵抗となっている。

性能は次のとおりである。

最大入力数  $150 \text{ ch}$

入力レベル  $0 \sim \pm 10 \text{ V}$

精度および直線性 フルスケールの  $\pm 0.1\%$   
(負荷抵抗  $100 \text{ k}\Omega$  のとき)

最大切換時間  $5 \mu\text{s}$

入力インピーダンス 導通時 約  $20 \Omega$  + 負荷抵抗  
シャ断時  $10 \text{ M}\Omega$  以上

## 5.4 A-D 変換器 (AD 401)

A-D 変換器 AD 401 は入力  $0 \sim \pm 10.23 \text{ V}$  を符号 + 純 2 進 10 ケタに変換する。

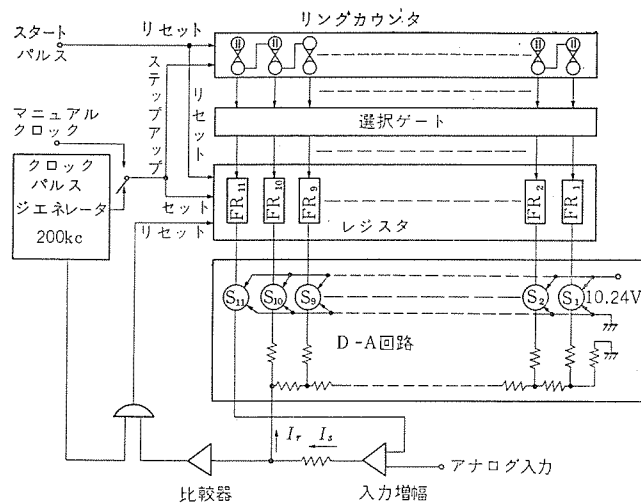


図 5.4 A-D 変換器 AD 401 ブロック線図  
Fig. 5.4 A-D converter AD 401 block diagram.

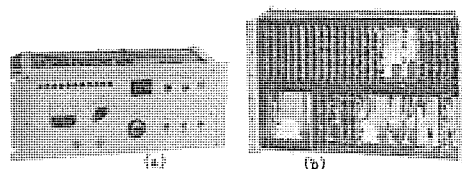


図 5.5 (a) A-D 変換器用電源 (b) A-D 変換器  
Fig. 5.5(a) Power unit for A-D converter.  
(b) A-D converter.

性能は次のとおりである。

方式 逐次比較方式

入力電圧  $0 \sim \pm 10.23 \text{ V}$  極性自動変換

出力信号 符号 + 純 2 進 10 ケタ (負数は補数)，並列

正確さ  $0.1\%$

変換速度  $65 \mu\text{s}$

図 5.4 に A-D 変換器 AD-401 のブロック線図を示す。スタートパルスがはいるとレジスタを全部リセットし，符号比較を行なう。符号は入力増幅器にバイアスを与えて切り換える。続いて最大ケタから最小ケタまで 1 ビットずつレジスタをセットし  $I_r$  と  $I_s$  を比較して決定する。高速化のために入力増幅器，比較回路，A-D 変換用電圧スイッチを高速化し，この性能を最大に発揮できるタイミングを用いている。AD-401 は図 5.5 の標準パネルに収容され，データ処理の高速化などに広く使用されるものと期待される。

## 6. む す び

以上高速データ収集システムの一例を述べた。このシステムは自動車のみならず航空機，機械，建築，プロセスなどの動特性解析，振動解析 (相関関数，パワースペクトルなど) あるいは医学にも適用してデータ処理のじん速化に有用である。また現在デジタル化されたデータを ON LINE で処理する方式についても検討中である。

終わりに，この装置の製作についていろいろご協力いただいた鎌倉製作所の関係者各位に厚く謝意を表する。

## 参 考 文 献

- (1) 小島，黒田，八杉：高速ダイオード・トランジスタ NOR システム「三菱電機技報」39，No. 3 (昭 40)
- (2) John F. Couleaur：IRE Trans on EC 7，No. 4 (Dec. '58)

# 水晶時計の計測器・制御器への応用

武田 克己\*・佐藤 安俊\*

## Crystal Clocks Applied to Measuring Instruments and Control Equipment

Fukuyama Works      Katsumi TAKETA・Yasutoshi SATO

As the concept of automation develops of late the systems in use are becoming complicated. Along with it improvement of measuring instruments and control equipment in accuracy comes in crucial need. However, no matter how the accuracy is improved with them, if the timing systems combined with them are poor in functioning, the automatic operation may result in unsuccessful. Then improvement of the precision of time measuring devices is an indispensable factor to the successful operation. To attain the purpose there are several method, but the use of crystal clocks is regarded as the most effective. Their peculiar steady frequency of the crystal oscillators is the most dependable. Herein are introduced the crystal clocks applied to practical devices.

### 1. ま え が き

近來の計測および制御は次第に自動化の傾向にあり、その様相も複雑化の傾向をたどっている。自動化には、三次元のこの世界においては必ず時間の関数がはいてくる。ゆえに計測および制御の精度向上がいかに行なわれても、これを自動化した場合の精度が悪くてはオートメーションが十分行なわれているとはいえないことになる。

時間の精度を向上させるためには種々の方法があるが、最近の半導体の発達に伴い、水晶振動子の安定した固有振動を利用することが容易に、また比較的安価に行なわれるようになったので、水晶時計を利用して時間精度の向上をはかることが多くなってきている。そこで水晶時計による計測器および制御器の自動制御機器についてその応用の数例をまとめてみた。

### 2. 水晶時計の方式

水晶振動子は周知のごとく音叉振動子らと異なり、その固有振動数は一般的に高く、計測器および制御器の時間関数の自動化として応用するためには、周波数をたとえば 50 c/s の低周波にテイ降させ最後には機械的出力として取り出す必要がある。この周波数のテイ降にトランジスタ、ダイオードなどの半導体を使用されて水晶時計の利用価値を高めることはもちろんであるが、最後の機械的出力として取り出す場合に種々の問題が生じてくる。従来一般に行なわれている方式は、テイ降されたたとえば 50 c/s の周波数を電力増幅してワレンモータなどの同期電動機を回転させて機械的出力として取り出すとか、50 c/s をさらに 1 c/s にテイ降して電磁石による吸引力を利用して回転になおし、機械的出力として取り出すとかが行なわれている。

計測器および制御器を水晶時計によって自動化するのはラント化、無人化の目的が多いためその性質上、長寿命、高信頼度が必要である。この場合、前記同期電動機式の場合は機械的出力として取り出す回転子が高速回転であるため、寿命的に問題があること、および電力増幅のため、トランジスタの温度、特性の変化のため増幅波形の影響を受け、回転速度が不安定になりやすいことなどのおそれがあり、電磁石式であるとその吸引時の衝撃力により寿命的な問題がある。

これらの問題を解決するには機械的出力を取り出す回転子の回

転数が少なくでき、しかも機械的に無接触で回転する ステップモータを使用する方式を用いればよい。しかも回転方向を規正するため、三相でステップ運動させればさらに動作は確実となる。

三相にパルスを分配するためには、フリップフロップ回路と NOR 回路を利用すれば容易に行なわれ、また ON と OFF の信号のみを利用するので動作が確実となり、また動作周囲温度も広くなる。このことは水晶振動子の固有振動数をテイ降させる場合でも同様なことがいえるので、周波数テイ降部分もフリップフロップ回路を利用している。すなわちすべての回路をフリップフロップと NOR 回路とし、機械的出力には三相ステップモータを使用する方式とすれば、次の特長を持つ水晶時計装置となる。

- (1) ON か OFF の動作のみ行なうため動作が確実である。
- (2) ON か OFF の動作のみ行なうため、動作周囲温度範囲が広い。
- (3) 25/12 回/秒と低速回転出力のため、宝石軸受とあいまって長寿命である。
- (4) 0.1W という小電力ステップモータが使用されるため消費電力が少なく、したがって停電補償用の蓄電池が内蔵できる。
- (5) 蓄電池はニッケル・カドミウム・アルカリ蓄電池を内蔵しており、浮動充電方式を採用しているので長時間保守不用である。
- (6) 周波数テイ降パルス数を変化させることにより、出力回転数に比例して大幅に変化できるので、遠隔更正が容易である。また、接続変更によって逆回転させて更正することもできるので、大幅更正にも便利である。
- (7) 電子的に三相に分配して出力トランスなしで直接モータを回転させるので機器が小形、軽量となる。

その構成を示すブロック線図が図 2.1 である。

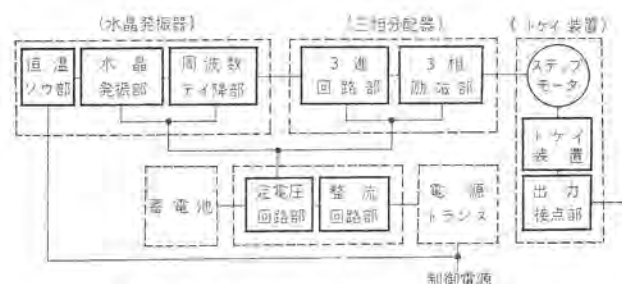


図 2.1 水晶時計のブロック線図  
Fig. 2.1 Block diagram of crystal clock.





図 3.1 TV-509 形水晶時計外観  
Fig. 3.1 Type-TV509 crystal clock.



図 3.2 TV-72, TV-72 A, TV-72 C,  
TV-72 D 形水晶時計外観  
Fig. 3.2 Type-TV-72, TV-72 A,  
TV-72 C, TV-72 D crystal clock.



図 3.3 TV-201 形水晶時計外観  
Fig. 3.3 Type TV-201 crystal clock

### 3. 水晶時計の計測器、制御器への応用

次に述べる応用例は代表的な一例を示している。この応用例に使用している水晶時計式親時計の仕様の一覧表を、表 3.1 に示す。図 3.1 は TV-509 形的水晶時計の外観写真・図 3.2 は TV-72・TV-72 A・TV-72 C・TV-72 D 形の外観写真・図 3.3 は TV-201 形の外観写真である。

#### 3.1 印字式記録積算計および直動式記録計への時刻信号とする場合

積算電力量や積算無効電力量などを、一定時間ごとに自動的に印字記録する印字式記録積算計を複数個いっせいに動作させる場合とか、瞬時の電圧、電流、電力などを記録する直動式の記録計などを同一時刻精度で多数動作させる場合には、精度の高い 1 個の時計により各計器の要求する信号を送って、同一時刻記録する方法が望ましい。図 3.4 は印字式記録積算計と直動式記録計を複数個動作させている例をブロック線図で示す。

印字式記録積算計の印字時限は現在のところ 60 分・30 分・15 分の 3 種類が使用されているが、60 分が最も一般的である。表 3.1 中の水晶時計の標準品の発信パルスは、60 分または 30 分（スイッチにより切り換え可能）の印字信号を与える方法としており、60 分印字時限のときは毎正時のみ、30 分印字時限のときは毎正時と 30 分に親時計より短絡パルスが約 0.5 sec の幅で発信され、印字式記録積算計に内蔵している印字用電磁石を動作させ、その時刻までに積算計に積算していた積算量を印字記録する。この計測に使用される記録積算計は、印字用電磁石を内蔵させた親時計式のものを利用する必要がある。

表 3.1 水晶とけい仕様一覧表

形名	TV-509	TV-72	TV-72A	TV-72C	TV-72D	TV-201
基本周波数	3.2 K c/s					
精 度	日差 0.2 秒以内					
回路方式	全トランジスタ式（シリコントランジスタ式またはゲルマニウムトランジスタ式）					
動作する周囲温度	シリコントランジスタ式 -20°C~+60°C ゲルマニウムトランジスタ式 -10°C~+40°C					
入力電源	AC 100 V または DC 12 V					
出力信号	30分・60分 信号(切換) 5分信号 1分信号 30秒信号 1秒信号 ステップ モータ駆 動用信号	30分・60分 信号(切換) 5分信号 1分信号 30秒信号 1秒信号 ステップ モータ駆 動用信号	30分・60分 信号(切換) 5分信号 1分信号 30秒信号 1秒信号 ステップ モータ駆 動用信号	30分・60分 信号(切換) 5分信号 1分信号 30秒信号 1秒信号 ステップ モータ駆 動用信号	30分・60分 信号(切換) 5分信号 1分信号 30秒信号 1秒信号 ステップ モータ駆 動用信号	1分信号
停電補償時間	24 時間以上（ただし出力回路の負荷を除く）					
標準取付方式	据置形	埋込形	埋込形	埋込形	埋込形	盤組込み形
標準塗装色	マンセル記号 7.5 BG 4/1.5					
	銀 梨 色					

親時計式の直動式記録計の記録紙送り駆動源としては、同期電動機やパルスモータを内蔵させる方法も考えられるが、三菱親時計式記録計は小形三相ステップモータを内蔵しており、親時計を駆動しているステップモータ駆動信号を増幅して、各記録計の記録紙送りモータを駆動する。

以下記録紙送りスピードに見合う速度にまで減速して、各計器の記録紙を同一速度で移動していくので、累積誤差が生ぜず電圧、電流、電力などの記録が同一時刻精度で記録されることになり、前記の積算電力量、積算無効電力量の記録と合わせて各計測値が時刻に対して同一精度で記録することができる。図 3.5 はこの応用例に使用している MZ-61 E 形印字式記録積算電力計の外観写真、図 3.6 は G-2 E 形直動式記録計の外観写真を示す。

#### 3.2 時刻信号発生器と組み合わせてデジタルプリンタを動作させる場合

計測方法が自動化するにつれてデータをデジタル化してプリントアウトすることが望まれる。時刻に対応するデータをプリント化するときには、時刻をデジタル信号化し、デジタルプリンタを動作させるための直流信号に変換する必要がある。

この時刻の時・分・秒別の分配も時・分単位程度までであると、有接点リレーの組み合わせなどで容易に行ないうが、秒単位まで要求されると無接点方式によらずには寿命的に困難である。

1 秒単位までの時刻信号発生器として TV-901 形がある。TV-901 形は親時計の信号を時刻信号電圧化するもので、図 3.7 に親時計・デジタルプリンタとともに TV-901 形の外観写真を示し、図 3.8 にブロック線図を示す。図 3.9 はその回路構成中より 10 進回路図のみを示したものである。

図 3.8 からわかるように 10 進・6 進または 3 進回路は、サイリスタによるリングカウンタ方式で導通したサイリスタのアノード電位が低下したことを検出してトランジスタにより、正の時刻信号電圧を得ているものである。



図 3.4 印字式記録積算計と直動式記録計を複数個使用の場合のブロック線図  
Fig. 3.4 Block diagram of using a number of printing watt-hour and recording meter.





図 3.5 MZ-61 E 形印字式  
記録積算電力計外観  
Fig. 3.5 Type MZ-61 E  
printing watt-hour meter.



図 3.6 G-2 E 形直動式  
記録計外観  
Fig. 3.6 Type G-2 E  
recording meter.



図 3.7 親時計、デジタルプリンタと TV-901 形時刻信号発生器  
Fig. 3.7 Type TV-901 time signal oscillator with  
crystal clock and digital printer.

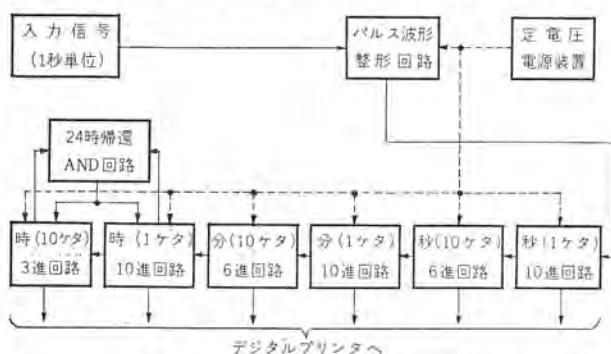


図 3.8 TV-901 形ブロック線図  
Fig. 3.8 Block diagram of type TV-901 time  
signal oscillator.

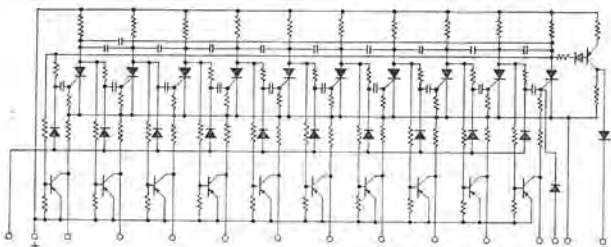


図 3.9 10 進回路図  
Fig. 3.9 The decimal ring counter circuit with  
independent output per stage.

入力パルスにより導通したサイリスタが歩進動作をし、時(1ケタ・10ケタ)、分(1ケタ・10ケタ)、秒(1ケタ・10ケタ)の0回路が導通したときに次のケタをケタ上げる回路構成で、時刻につれて出力回路が移行していく。

出力回路は現在時刻の端子に所定電圧が出るようになっているので、常に6個の端子に電圧が出ていることになる。デジタルプリンタに計測回路の計測量を電気信号化したものといっしょにプリントすることができる。

### 3.3 タイムプログラム装置を動作させる場合

時刻による各種の制御は、家庭用のタイムスイッチによって炊飯することから学校、工場などのサイレン制御、工程管理などの複雑なプロセスのプログラム制御に至るまで各種の方法があるが、標準的

なものではなく、被制御量に適した色々なプログラム装置が使用されている。従来のタイムスイッチのように、時刻表示部分とプログラム設定部分とが一体のものと、プログラムする部分と時計部分とを分割し、回転動作をする時計装置に手をふれることなく静止するプログラム装置によって、プログラム操作を行なう方式が考えられる。

前者は取り付けスペースや価格の点などで有利な点もあるが、プログラムしやすく、取り扱う部分に回転する部分がないことによる故障が少ない利点を考えて、後者の親時計駆動方式のタイムプログラム制御装置のほうが、複雑なプログラム装置には有利な点が多い。

TV-633 形タイムプログラム装置は、この親時計駆動方式のもので別個の親とけいからの5分パルスでプログラム装置を動作させ、ピンボード上にピンの着脱によって設定されるプログラム時刻に出力回路を制御するものである。

親時計からの5分ごとのパルスにより、タイムプログラム装置に内蔵している回転スイッチが歩進動作をする。この回転スイッチは0~55分までの分回路選択用と、55分から0分に帰るときに時単位が繰り上げられる0~23時までの時回路選択用とがある。

分回路選択用の回転スイッチの出力接点がX軸方向に、時回路選択用の回転スイッチの出力接点がY軸方向に導かれている。したがってこれらの交点の位置のコンタクトに時刻設定ピンをそう入することによって、その時刻に各回転スイッチが歩進してきたときに、外部に出力信号が出ることになり各種の時刻制御ができる。

制御される負荷の種類の例としては、希望時刻に短絡パルスを発信する出力を利用して積算量の任意時刻リリット、時限出力(タイムによって1~30秒のパルス幅に可変可)を利用してサイレン・オルゴール制御・ON-OFF出力を利用して電気炉、照明灯の時刻制御などが考えられ、その他組み合わせによっていろいろな用途も考えられる。図3.10はTV-633形のブロック線図を示し、図3.11は外観である。図3.12は配電盤取付け用の一例を示す。

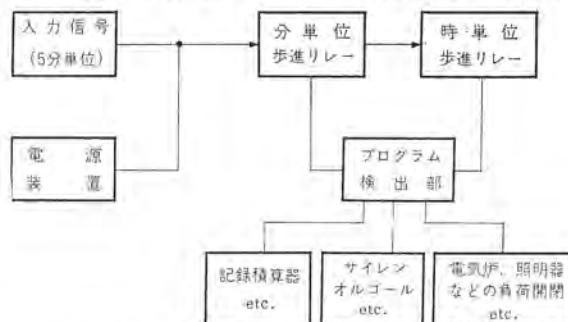


図 3.10 TV-633 形タイムプログラム装置ブロック線図  
Fig. 3.10 Block diagram of type TV-633 time  
program equipment.



図 3.11 TV-633 形タイムプログラム装置  
Fig. 3.11 Type TV-633  
time program unit.



図 3.12 TV-633 0B 形タイムプログラム装置  
Fig. 3.12 Type TV-633 0B  
time program unit.



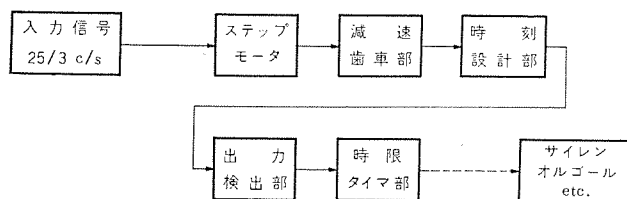


図 3.13 TV-632 形 タイムスイッチブロック線図  
Fig. 3.13 Block diagram of type TV-632 time switch.

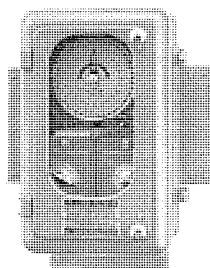


図 3.14 TV-632 形 タイムスイッチ  
Fig. 3.14 Type TV-632 time switch.

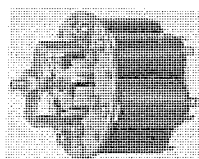


図 3.15 小形 ステップモータ  
Fig. 3.15 Small size step motor.

### 3.4 タイムスイッチを働かせる場合

時刻による各種の制御を考えると、希望する時刻に希望するパルス幅の出力がえられれば大変便利である。希望する時刻と希望するパルス幅は制御される負荷の種類や用途によって異なるので、標準仕様として決めることはむずかしい。さらに工業用タイムスイッチは家庭用と異なり、切り換え時刻精度が正確であることが望ましい。この種の親時計式タイムスイッチとして TV-632 形タイムスイッチを利用すれば、切り換え時刻精度の高いパルス幅を自由に選択できるタイムスイッチとして利用できる。

TV-632 形タイムスイッチは、親時計のステップモータ駆動用パルスを利用して 24 時間 1 回転まで減速したダイヤル上に 30 分単位（正時または 30 分）にピンを着脱することによって、任意時刻に出力接点を閉合するタイムスイッチとして動作するもので、出力接点はさらにタイマ回路を経ることによって出力パルス幅を 1~30 秒の範囲で可変することができる。したがってサイレンとかオルゴールなどの時限出力の負荷制御が、容易に行ないうるものである。

図 3.13 は TV-632 形タイムスイッチのブロック構成図、図 3.14 は外観写真である。

### 3.5 親子時計

親子時計の例は古くから利用されており、いまさら説明するまでもないが、従来親子時計といえ、1 分パルスまたは 30 秒パルスによる間欠駆動子時計が一般的であり時・分針だけの子時計が多かったが、最近になって秒針付き子時計が望まれるようになった。

子時計を秒針付きとするときは、1 秒反転信号などによってパルスモータを動作させる方式や、長寿命有接点リレーによる間欠駆動方式が考えられるが、無接点方式により 1 秒よりさらにパルス数多く子時計にパルスを与えて、秒針の動きが、ほぼ連続回転に見えるような親子時計のほうが好ましい。

三菱親子時計方式は、図 3.15 に示すような小形小容量の三相ステップモータを利用した中 3 針付きの子時計による親子時計で、子時計の駆動源はステップモータで親時計の 25 c/s の出力周波数を三相分配したのち増幅して、子時計へ伝送している。伝送線は 4 本必要であるが、パルス数が多いので秒針の動きは連続動作と見なしうし、時刻更正も親時計によって進み・遅れいずれの更正も

水晶時計の計測器・制御器への応用・武田・佐藤

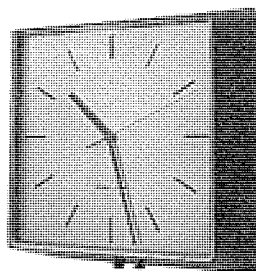


図 3.16 TV-731 形子時計  
Fig. 3.16 Type TV-731 secondary clock.

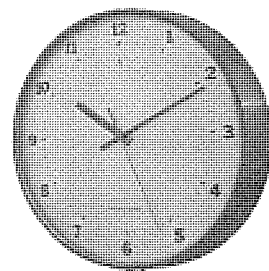


図 3.17 TV-851 形子時計  
Fig. 3.17 Type TV-851 secondary clock.

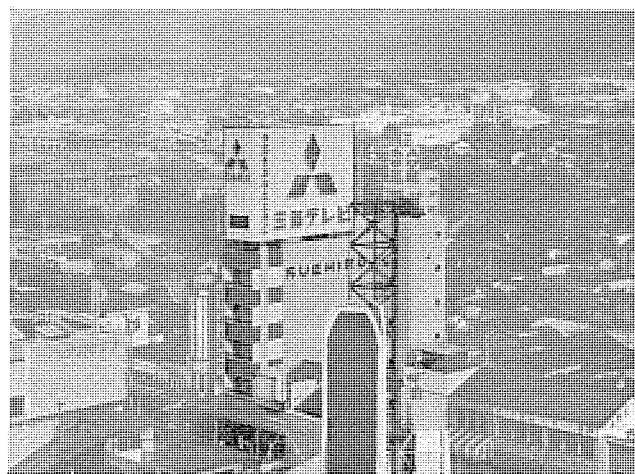


図 3.18 電光時計の設置例  
Fig. 3.18 Exterior view of electric light clock installed on a advertisement tower.

できるもので時刻更正は便利である。

動作原理については親時計とまったく同一であり、三相に分配された励磁電流がステップモータの固定子励磁コイルを励磁するとき、回転子の対応極が回転動作をするもので追従確実なもので、ステップモータの軸受けには宝石を使用しているので長寿命である。

なおステップモータの消費電力は約 0.1 W とわずかである。

図 3.16, 3.17 は子時計の一例を示す。

### 3.6 電光時計を動作させる場合

電光時計は、広告トウと組み合わせて時刻のデジタル表示時計としてよく見かけるが、これを動作させる時計としては、1 分単位の短絡パルスがとり出せればよい。制御装置部はリレーを組み合わせて時刻を数字化して、電球を点灯させる方式が一般的である。図 3.18 は電光時計の設置例を示す。

## 4. む す び

以上のように水晶時計は、比較的高度の計測器・制御器と組み合わせられ使用される場合が多いが、さらにシステムが複雑化していく現状においては、次々と他の使用例がでてくると思われる。なお水晶時計をタイムスイッチ、記録計などに内蔵し、単独用途として使用されているものについては、すでに技報で発表されているので下記文献を参照していただきたい。

今後は水晶時計に薄膜回路を応用し、さらに信頼度の向上、小形化をはかってゆくべく計画している。

### 参 考 文 献

- (1) 武田, 神本:「三菱電機技報」37, 387 (昭 38)
- (2) 武田, 林:「三菱電機技報」37, 395 (昭 38)
- (3) 武田, 新川:「三菱電機技報」39, 1016 (昭 40)

## HM シリーズ サーボモータ

杉山 昌司\*・堀口 重昭\*

## HM Series Servomotors

Nagoya Works Masashi SUGIYAMA・Shigeaki HORIGUCHI

Two phase servomotors have taken a long stride since the great war II. They are mainly used for aircraft apparatus with excellent performance and accuracy, special care being taken to build them compact and light yet long life. Generally speaking servomotors are used for a driving source of servo mechanism such as automatic ballance type recorder servo operators and the like. With recent rapid progress of automatic control systems, much weight has come to be given to the small size and lightweight. HM series servomotors are the development made by Mitsubishi to meet the requirement. They have a large starting torque and a small moment of inertia for the output, resulting in good response, a large ratio of inertia to torque and also a large ratio of torque to weight.

## 1. ま え が き

二相サーボモータは、交流サーボモータの最も代表的なもので第二次大戦以降急速に発達し、主として航空機のトウ載装置に使用される。すぐれた特性と精度を有し、かつ小形軽量化することに専念してきたが、材料および構造もますますきびしくなる環境での動作、寿命の延長を目的として改善されてきた。

一般には、自動平衡形記録計・サーボ演算器をはじめとするサーボ機構の駆動源として使用されるが、近年の自動制御系の急速な発展につれ、小形軽量化がとくに問題となり、いっそうサーボモータの小形軽量化が要求されるようになった。

当社における HM 系列サーボモータは、この要求を満足しうるものとすることができたので、この機会に HM 形サーボモータを中心として、その仕様、条件、構造、特性について述べてみたい。

## 2. サーボモータの具備すべき条件

一般にサーボモータの具備すべき条件として

- (1) 始動、停止、逆転などのきわめてきびしい動作に耐えること。
- (2) トルク対重量比、トルク対慣性比が大であること。
- (3) 速応性に富むこと。
- (4) トルク対回転速度の関係が直線的であること。
- (5) 内部制動作用があること。
- (6) 使用温度範囲が広いこと。
- (7) 構造的に信頼性があり、小形軽量であること。

などが要求される。当社においては、航空機のレーダ装置用として 400 c/s 用のサーボモータも数種生産しているが、とくに速応性出力などの点で高精度を要求される場合は、ハム用のものでも 400 c/s 用を使用することがある。しかしこれにはとくに 400 c/s 電源を必要とするため、使いやすさの面からほとんど商用周波数のものが使われる。

HM 系列サーボモータは航空機用サーボモータの技術を応用し、上記要求条件はもとよりとくに小形軽量化を目的として開発したもので、速応性、直線性などきわめて大幅に改良されている。二相サーボモータは、レイト用あるいはダンパ用として誘導速度発電機（タコジェネレータ）と直結して使用することも多く、

- (1) 出力電圧の直線性がすぐれていること。
- (2) 残留電圧が低いこと。
- (3) 位相角は  $0^\circ$  または  $180^\circ$  であること。

などが要求される。とくに残留電圧は、静止時に変圧器作用などによって発生する電圧で異常に大きな電圧が発生して使用不可能となることがあり、注意して特別な調整機構を設ける必要がある。また二相サーボモータは負荷に直結せず、減速機構を介して負荷を駆動することも多く、減速装置をモータ軸端に取り付け減速機構付サーボモータとすることができるようになっている。サーボモータはその使用状態からみても、速度調整は制御電圧によって自由に制御できるため、一般の減速電動機のように負荷に合わせて減速比をげん密に決定する必要はなく、標準減速比の中から適当に選択するようにしている。減速機構は標準のもので  $1/10$ ,  $1/30$ ,  $1/60$ ,  $1/120$  の 4 種類である。

減速機構に必要な条件としては次のようなものがある。

- (1) バックラッシュ（歯車ガタ）が少ないこと。
- (2) 騒音が少ないこと。
- (3) コンパクトな外形とし、サーボモータの外径とほぼ同じ外形とすること。

## 3. HM シリーズサーボモータの仕様および特長

当社における代表的な二相サーボモータおよびサーボモータジェネレータの仕様を表 3.1 に、外観写真を図 3.1 に示す。

なお参考のために 400 c/s 系のサーボモータの仕様も記入した。HM シリーズサーボモータの特長は次のようなものである。

- (1) 小形、軽量である。

加工精度の向上と合理的な設計により、外径寸法は従来品の約 60 % で重量は約  $1/2$  である。

- (2) 起動トルクが大きい。

起動トルクは、同一出力の従来品に比べて 130 % 以上である。



図 3.1 サーボモータ

Fig. 3.1 Servomotors.



表 3.1 二相サーボモータ、サーボモータジェネレータの仕様

形 名	HM-54	HMT-55	HM-102	HMT-302	HM-502	MR-110	MR-111	MR-112	MR-0112-4B
仕 様									
周 波 数 (c/s)	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	400	400	400	400
電 圧	100	100	100	100	100	115	115	115	115
励磁相 (V)	12.5/6.3+6.3	12.5/6.3+6.3	12.5/6.3+6.3	100/50+50	100/50+50	115/57.5+57.5	115/57.5+57.5	115/57.5+57.5	26/13+13
制御相 (V)	4	4	2	2	2	8	8	4	4
種 数	1,200/1,400	1,150/1,350	2,750/3,250	2,750/3,250	2,750/3,250	4,400	4,800	10,000	9,000
無負荷回転数 (rpm)	180/165	180/165	170/160	400/350	600/550	120	170	400	85
起動トルク (g・cm)	4.0	6.5	4.0	15.0	14.7	3.5	4.0	6.8	4.8
回転子慣性モーメント (g・cm <sup>2</sup> )	0.5	0.5	1.0	3	5	1.5	2.3	12.5	2.5
最大出力 (W)	650/750	650/750	1,400/1,800	1,600/1,800	1,700/1,850	2,500	2,700	6,200	5,500
最大出力時回転数 (rpm)	90/75	90/75	75/65	190/170	290/265	60	85	210	46
最大出力時トルク (g・cm)	44,200/40,500	27,100/24,900	41,600/39,200	27,000/23,900	39,800/36,500	43,000	43,400	60,000	18,100
起動時加速度 (rad/sec <sup>2</sup> )	6.5	6.0	6.5	20	20	9.5	15.3	30	14
効 率 (%)	0.23	0.58	0.48	0.65	0.7	0.2	0.35	0.55	0.6
重 量 (kg)	36.5φ×50	51φ×89	44.5φ×54	51φ×60	51φ×84	36.5φ×43	44.5φ×52	44.5φ×62	51φ×96.5
寸 法 (mm)									
タコジェネレータ	—	50 60	—	50	—	—	—	—	400
周 波 数 (c/s)	—	100 100	—	64	—	—	—	—	21
励磁電圧 (V)	—	2.7 3.0	—	2.73	—	—	—	—	1.98±0.05
出力電圧 (V/1,000rpm)	—	—36° -25°	—	36°	—	—	—	—	36°30'±3°30'
出力電圧の位相	—	36 45	—	32	—	—	—	—	5
残留電圧 (mV)	—	±1.5 ±1.5	—	±2.5	—	—	—	—	1
直 線 性 (%)									

(3) 慣性が小さい。

小形化に伴い、回転子の構造を径を小さくし、細長くしたため慣性モーメントは従来品の約60%である。

(4) 直線性がすぐれている。

従来品に比べ回転子抵抗を大きくしてあるため、トルク・回転数の関係が直線的である。

(5) 単相運転が起こらない。

直線性の改良に伴って回転子抵抗が高く内部制動効果が高く、力率改善用コンデンサを制御相に並列に入れても単相運転を起こさない。

(6) トルク対重量比、トルク対慣性比が大で速応性がすぐれている。

起動トルクが大で重量および慣性が小さいため、トルク対重量、慣性比が大で時定数が小さく、速応性が非常に良好である。

## 4. 構 造

### 4.1 サーボモータ

図4.1にHM-54形サーボモータの構造略図を示した。

#### 4.1.1 固定子

固定子鉄心は磁気回路の不均衡をさけるため素材の圧延方向に注意して組み立ててあり、この鉄心に互いに電気角90°の位置にある2組の巻線を備え、一方を励磁巻線 他方を制御巻線と呼称する。制御巻線の配置方法により図4.2に示すように単に1本

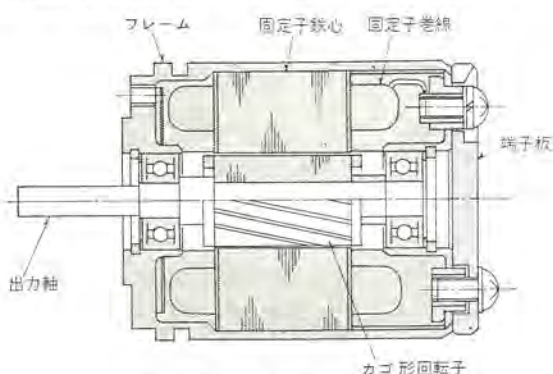


図 4.1 二相サーボモータ  
Fig. 4.1 Two phase servomotor.

の巻線のみのも、センタータップ付きのもの、分割巻きのものなどがあるがHM系列のサーボモータは、直列または並列に接続することにより定格制御電圧を2種類に選択できるほか センタータップ付きのものとしても使用できるため、すべて分割巻線をほどこしている。

#### 4.1.2 回転子

回転子はカゴ形構造を採用しているが、これは慣性モーメントを小さくするため とくに細長い構造にしてあるが、普通の誘導機の回転子と同じで 空ゲキ磁束のスロットリップルに起因するコグギングをなくし 円滑な起動特性をもたせるため、一次、二次の鉄心のヨリ数を適当に選定するとともに、回転子にスキューを与えている。回転子は、高精度の制御を必要とするとき（とくに無負荷起動電圧を小さくする必要があるとき）はドラッグアップ構造とし、回転子の慣性を小さくしコグギング作用のない円滑な起動性をもたせる。しかしながらドラッグアップ構造は必然的に空ゲキが大きくなるため、出力が小さくなり、生産コストが高くなる欠点がある。

#### 4.1.3 軸 受

軸受は使用温度の高い潤滑剤を使用しているため、絶縁物の耐熱性とあわせてサーボモータの使用温度範囲も -40°~60°C と広範囲である。

### 4.2 タコジェネレータ

図4.3はタコジェネレータ付きHMT-54形サーボモータの構造略図である。前記のとおり、当社のものはモータ部とジェネレータ部とを同一フレーム内で直結した方式としたため、モータ単体とジェネレータ単体を外部で連結した方式に比べて軸受が2個ですみ、摩擦損が少なく慣性を最小限におさえることができるなどの利点がある。

#### 4.2.1 固定子および回転子

固定子はサーボモータの固定子とほとんど同じで、電気角90°の

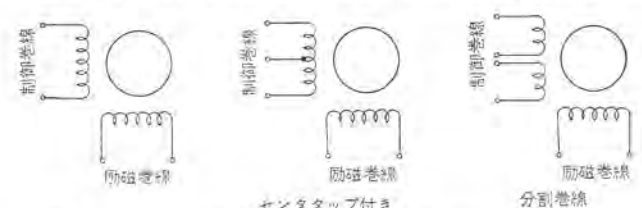


図 4.2 固定子巻線 Fig. 4.2 Stator winding.

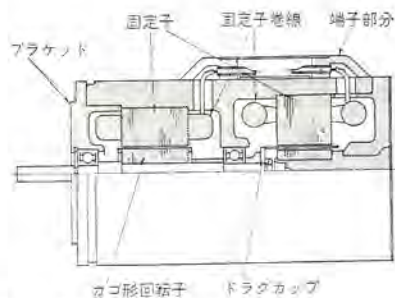


図 4.3 二相サーボモータジェネレータ  
Fig. 4.3 Two phase servomotor with tachometer generator.

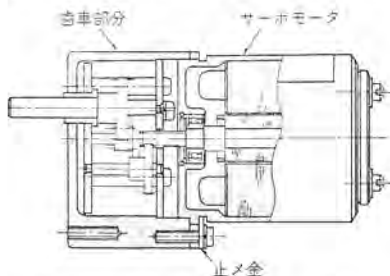


図 4.4 減速機構付きサーボモータ  
Fig. 4.4 Geared servo motor.

位置に2組の巻線を備え、一方を励磁巻線、他方を出力巻線と呼称する。回転子はモータ部分の構造と同じくカゴ形ドラグカップ形スリープ形などがあるが、カゴ形の場合は出力電圧に波形ヒズミ、スロット高調波を含み直線性が悪くなり残留電圧も大きくなるため、ドラグカップ回転子を使用している。

#### 4.2.2 残留電圧調整機構

ドラグカップ回転子を使用しても残留電圧を低くするために調整機構を設ける必要がある。またモータ側からの磁気影響を防ぐため磁気シールド板を設けている。

このほか端子部分は着脱容易な端子カバーを採用し、外部に端子が露出することなく確実にリード線と接続することができコンパクトな構造となっている。

#### 4.3 減速機構付きサーボモータ

減速機構付き HMG-102 形サーボモータの構造略図を図 4.4 に示す。

### 5. 特 性

二相サーボモータの原理は、多相誘導電動機の原理をそのまま応用でき、誘導電動機の二次抵抗を高くし、比例推移の原理によってトルク-速度特性に直線性をもたせたもので、一定負荷に対して回転速度を広範囲に変化できるようにしたものである。

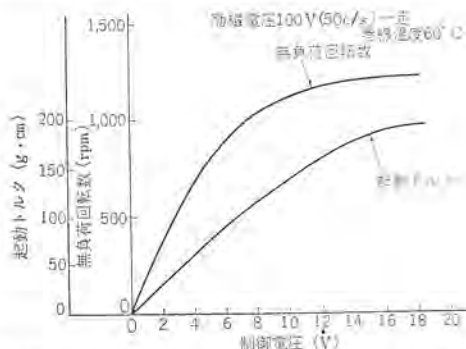


図 5.1 制御電圧—無負荷回転数、起動トルク特性  
Fig. 5.1 Control voltage—no load speed, starting torque.

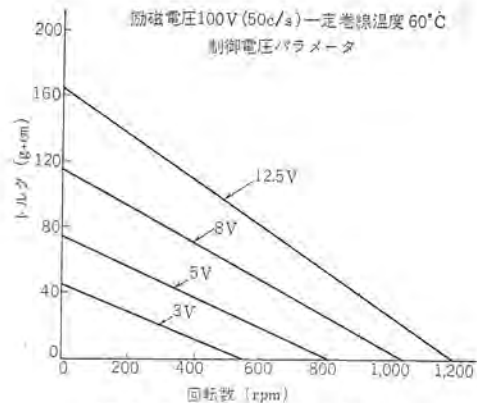


図 5.2 速度—トルク特性  
Fig. 5.2 Speed—torque characteristics.

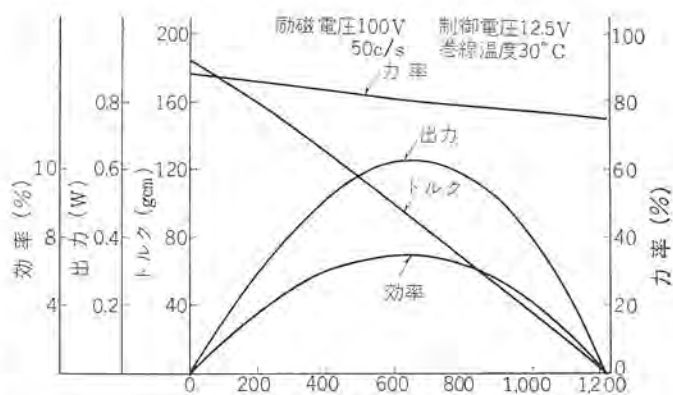


図 5.3 負荷特性  
Fig. 5.3 Load characteristics.

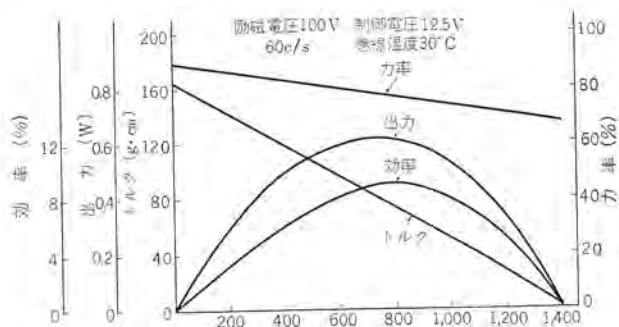


図 5.4 負荷特性  
Fig. 5.4 Load characteristics.

当社の HM-54 形サーボモータ、HMT-5 形サーボモータジェネレータの主要特性に基づいて以下説明する。

#### 5.1 サーボモータの特性

図 5.1 に制御電圧—無負荷回転数、起動トルク特性、図 5.2 に速度—トルク特性、図 5.3、5.4 に負荷特性を示した。サーボモータのこのほかの重要な特性には、単相運転、無負荷起動電圧、温度上昇などがある。

##### 5.1.1 単相運転

サーボ機構の安定度は、サーボモータの内部制動効果の影響を受け、モータの制御電圧が開放されたときモータが回転を持続することは、系全体が不安定となってダンパ回路などを必要とする。したがって系全体からみるとモータの内部制動効果を大きくすることが望ましい。しかしながら内部制動作用を大きくするためにはモータの二次抵抗を高くする必要があり、モータの有効トルクが減少しモータ側からみるとあまり望ましいことではない。

また単相運転は制御相の電源インピーダンスが高いほど起こりや



すく、伝達効率を高めるために制御巻線に並列に力率改善用コンデンサを入れるとさらに単相運転を起こしやすい。当社のサーボモータは、使いやすさの観点からこのような状態でも単相運転を起こさないようにしている。したがって 2 次抵抗を高くしてあるため出力に対して起動トルクが大きく、トルク対慣性比、トルク対重量比が大で、速応性が非常にすぐれている。

### 5.1.2 無負荷起動電圧

無負荷起動電圧は駆動回路の増幅度に直接関係するものでモータ内部の摩擦のほか、コップング作用などある場合は相当大的な値となるが、普通制御相の定格電圧の 2% 以内にしておき、実用上はこのくらいであれば問題はない。

### 5.1.3 温度上昇

温度上昇値はモータの使用温度範囲とともに系のほかの部品の寿命などにも影響するため、一般には 50~60°C 以下に規定している。また巻線温度によってモータの特性が変わるため、モータの仕様を決定する場合、ある程度の裕度をもたせる必要がある。温度による特性変化の一例として巻線温度と起動トルクの関係を図 5.5 に示した。

### 5.2 タコジェネレータの特性

図 5.6 に回転速度—出力電圧、位相特性、図 5.7 に負荷抵抗—出力電圧、位相特性を示した。タコジェネレータの特性上要求される事項のうち、直線性、出力位相などは巻線とかドラッグカッの材料、抵抗などを適当に選ぶことによって比較的容易に解決できるが、残留電圧を低くすることはかなりむずかしい。

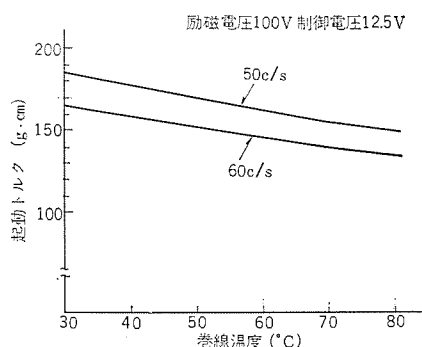


図 5.5 巻線温度—起動トルク特性  
Fig. 5.5 Temperature—starting torque.

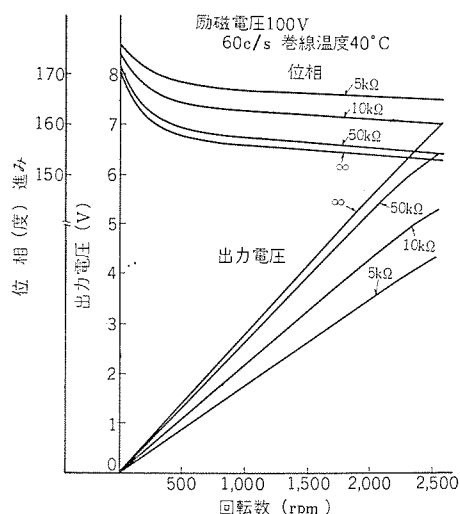


図 5.6 回転速度—出力電圧、位相特性  
Fig. 5.6 Speed—output voltage, phase angle.

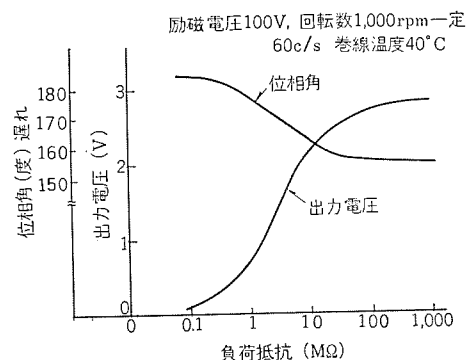


図 5.7 負荷抵抗—出力電圧、位相角特性  
Fig. 5.7 Load—output voltage, phase angle.

### 5.2.1 残留電圧

残留電圧は、磁気的な不平衡部分がある場合静止時に出力巻線に誘起する電圧で、ドラッグカッの材料、加工精度、巻線の分布および成形、磁気材料の均一性などに影響される。残留電圧は回転子位置によって変化する成分と、そうでない成分に分けることができる。回転子位置によって変化するものは、主としてドラッグカッのタ円変形、偏心、偏肉および加工ヒズミによる抵抗値の部分的な変化によるものであり、加工精度がよくないと相当大的な値となるが、当社では丸棒から削り出しの方法により回転子位置による残留電圧の変化をほとんどなくすることができた。回転子位置によって変化しないものは、固定子などの磁気的不平衡に起因するもので、十分注意して組み立ててもある程度の大きさ以下にすることは不可能で、なんらかの方法によって組み立て、調整しなければならない。当社では内部鉄心の一部に極数と同数のスロットを設けてこの鉄心全体を回転させるとともに、特殊形状の残留電圧低減機構をドラッグカッ付近に取り付けてこれを調整して、残留電圧の最小位置に固定している。

## 6. む す び

以上当社の HM 形 サーボモータおよびサーボモータジェネレータを中心にしてその構造、特性などについて一例をあげて記述したが、サーボモータについては出力に対して起動トルクを大きくすることができ、しかも小形軽量であるため、トルク対慣性比、トルク対重量比が大きくなり速応性のすぐれたモータとすることができた。また単相運転は制御相に力率改善用コンデンサを入れても回転を持続しないため、使いやすいものとなっている。今後の課題としては、さらに研究を重ね、タコジェネレータの高精度化はもちろん、実際に使用する立場にたって使いやすく、しかも価格の安いものとするよう努力している。

## 参 考 文 献

- (1) 小島：二相サーボモータおよび付属速度発電機「三菱電機技報」38, No. 6 (昭39)
- (2) 茂木：シンクロとサーボモータ 159 (昭36)
- (3) 西村、林：自動制御用電気機器 I 200 (昭39)
- (4) 須藤：二相誘導発電機の非直線誤差におよぼす直列インピーダンスの影響「電学誌」80, 862 (昭35)
- (5) 伊藤：二相サーボモータおよび二相速度計用発電機「電学誌」80, 858 (昭35)

名 称	登 録 日	登 録 番 号	考 案 者	関 係 場 所
風速計の自動温度補償装置	40-10-30	590325	明石克寛・荻野 治	中央研究所
積算記録装置	40-11- 1	784162	林 正之	福 山
積算記録装置	40-11- 1	784163	林 正之	福 山
積算記録装置	40-11- 1	784164	林 正之	福 山
マルチバイブレータの時定数回路	40-11- 1	784165	小川 睦	北 伊 丹
テレビ通信機器等の電源 トランス	40-11- 4	784166	杉多重雄・柳川 滋	無 線 機
電磁弁	40-11- 4	784167	白庄司 昭・土井昭二	伊 丹
車両用 アンテナ	40-11- 4	784168	柳川 滋・佐藤隆晴	無 線 機
周波数変調波復調回路	40-11- 4	784169	横山保憲・嶋田寿一	無 線 機
ホーリフレクタ 形空中線装置	40-11- 4	784170	福島幾蔵	鎌 倉
タンク 形回路 シャ 断器	40-11- 4	784171	勝田久登・竹内孝治	神 戸
点火用断続器 レバー	40-11- 4	784172	藤田隆徳	姫 路
内燃機関用真空式着火自動進角装置	40-11- 4	784173	浅山嘉明	姫 路
タンク 形油入 シャ 断器	40-11- 4	784174	勝田久登・竹内孝治	神 戸
内燃機関用遠心式自動着火進角装置	40-11- 4	784175	浅山嘉明	姫 路
端 子	40-11- 4	784176	森 健・長見光雄	神 戸
配電子	40-11- 4	784177	荒川利弘	姫 路
日出・日没を利用する時刻装置	40-11- 4	784178	神本明輝	福 山
ベータ管の電子銃	40-11- 4	784179	後藤正之・田中 修	中央研究所
端子装置	40-11- 4	784180	長見光雄	神 戸
交流発電機の強制同期投入装置	40-11- 4	784181	富永隆弘・元木知春	長 崎
クーリングタワーの散水板層装置	40-11- 8	784829	垣見太郎・安藤 孝	名 古 屋
テレビ 受像機	40-11- 8	784834	植竹勝人・西谷芳久	無 線 機
分割形 モールド 変成器	40-11- 8	784835	吉倉健一	伊 丹
方向調整装置	40-11- 8	784837	森川 洋・山内秀男	無 線 機
フライホイールマグネット	40-11- 8	784841	市川 和	姫 路
開閉装置	40-11- 8	784844	長見光雄・下迫賀生	神 戸
誘導口板形継電器	40-11- 8	784846	天野 恒・井村利晴	神 戸
胸囲形呼吸数測定装置	40-11- 8	784847	小林督智	鎌 倉
継電器装置	40-11- 8	784849	天野 恒	神 戸
衝撃電圧の截断装置	40-11- 8	784850	新田東平・川根 清 山田直也	中央研究所
保護継電装置	40-11- 8	590418	森 健	神 戸
噴霧器	40-11- 8	784830	武井久夫・加藤 悟	商品研究所
水冷却加熱機	40-11- 8	784832	武藤 正・祖父江晴秋 大場健司	静 岡
液体冷却装置	40-11- 8	784833	勝本長五郎	群 馬
挿込 プラグ の抜け止め装置	40-11- 8	784836	穴倉周作	群 馬
ヘッドライヤ 付鏡台	40-11- 8	784838	加藤義明	群 馬
スプレー 付電気 アイロン	40-11- 8	784839	奥田文一・野畑昭夫	中 津 川
箱体の蓋取付装置	40-11- 8	784840	吉村 宏	群 馬
蒸気 アイロン	40-11- 8	784842	野畑昭夫・荒木 勲	群 馬
電気かみそり	40-11- 8	784843	小川 昇・福田興司	和 歌 山
熱交換器	40-11- 8	784845	西本嘉尹	群 馬
発熱体の接続端子	40-11- 8	784848	中村富家・慶野長治	群 馬
電気掃除機用すまき ノズル	40-10-26	783352	穴倉周作・鶴谷嘉正	群 馬
電気掃除機用すまき ノズル	40-10-26	783352	武井久夫	群 馬
電気電気掃除機用集塵袋	40-10-26	783354	武井久夫	群 馬
真空掃除機	40-10-26	783355	武藤 正・浜野 修	商品研究所
電気掃除機用集塵袋	40-10-26	783356	武井久夫・加藤 悟	群 馬
電気掃除機の床用吸込 ブラシ	40-10-28	783591	武井久夫・加藤 悟 磯川正吾	群 馬
時限回路確認装置	40-11-16	785657	神本明輝	福 山
回転電機の固定子	40-11-16	785658	酒井嘉夫・忍 正寿	伊 丹
表示装置	40-11-16	785659	立石俊夫	神 戸
電気器具の動作表示装置	40-11-16	785660	入沢淳三	中 津 川
強制排水装置付電気洗濯機	40-11-18	590419	東 邦弘・武井久夫 服部信道	群 馬





# 特許と新案

## 伝送線路切換装置

発明者 尾形 陸 奥 男

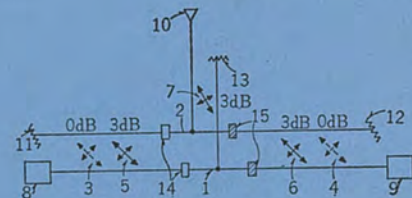
この発明は、空中線および無反射終端等を含む伝送路を、3 dB 結合器と 0 dB 結合器との縦続によって結合されて1対をなす二つの伝送路の中間に接続し、0 dB 結合器を動作あるいは不動作に切り換えることにより、上記二つの伝送路のうちどちらか一方から空中線を含む伝送路に電力を供給しうるようにした伝送線路切換装置に関するものである。

この発明の実施例を図で説明すると、(1)(2)はE面T分岐の導波管、(3)(4)は両導波管を結合する 0 dB 結合器、(5)(6)(7)は同じく両導波管(1)(2)を結合する 3 dB 結合器、(8)は現用機、(9)は予備機、(10)は空中線、(11)(12)(13)は無反射終端、(14)は現用機側の導波管を、(15)は予備機側の導波管を、それぞれ短絡する短絡板である。

短絡板(15)によって予備機側の導波管を短絡しておき、現用機を働かせると 0 dB 結合器(3)が動作しないようにしておけば現用機(8)からの電波は、すべて空中線(10)側に送られ有効に送出される。この場合予備機(9)をも動作させておくが、もし 0 dB

結合器(4)が動作しないように閉じておれば短絡板(15)を漏れた電波も空中線(10)に加わって干渉を生じる。したがってこの場合予備機側の 0 dB 結合器(4)の結合孔を開いて動作するようにしておけば、予備機(9)からの電波はすべて無反射終端(13)に吸収されるから現用機、予備機両方を動作させておいても何の支障も生じない。したがって短絡板(14)(15)と連動して 0 dB 結合器(3)(4)の結合孔を開き、開放するようにしておけば現用機、予備機の切り換えをきわめて簡単確実に行なうことができる。

(特許第 449529 号) (宮本記)



## 電気車のブレーキ制御装置

発明者 三橋 英一・前田 泰男

この発明は、電気ブレーキと空気ブレーキを併用する電気車のブレーキ制御装置に関するものである。一般にこの種のブレーキ制御装置では、低速状態でブレーキ操作を開始した場合、ブレーキ電流の立ち上がりが遅れ、空気ブレーキと電気ブレーキが同時に作用して過大のブレーキ力を生ずる欠点があった。

この発明はこの点を改善し、限時継電器を用いて空気ブレーキ力が所定値以下に衰弱するまでの間、電気ブレーキ力を小さくして合成ブレーキ力が過大にならないようにしたものである。

図について説明すると、今第2図の時点  $t_1$  でブレーキ操作を開始すると、電気ブレーキ回路が形成されるがブレーキ電流  $I_b$  は第2図(a)のように立ち上がりが遅れ電流継電器は不動作状態を続ける。このため第2図(b)で示すようにまず空気ブレーキが作用しはじ

め、そのうち限時継電器  $DR$  も上記電流継電器の接点  $CR_b$  を介して付勢され、その接点  $DR_a$  を閉じる。限流継電器  $CLR$  の補助コイルは直列抵抗  $R$  が短絡され、継電器  $CLR$  の限流値を正規の値より低く設定する。限流継電器  $CLR$  の制御の下に電気ブレーキ回路の抵抗は順次短絡され、ブレーキ電流も逐次立ち上がり電流継電器の作動により空気ブレーキの作用を止める。同時に接点  $CR_b$  を開放して限時継電器  $DR$  を消勢する。限時継電器は消勢されても一定時間は接点  $DR_a$  を閉成状態に保ち、この間電気ブレーキ力は低い値に保たれる。その後接点  $DR_a$  は開放され、限流継電器の限流値は正規の値に上がり、電気ブレーキは所定のブレーキ力を発生する。この結果総合ブレーキ力は第2図(c)に示すようになり、過大になることが防止される。(特許第 441022 号) (古沢記)

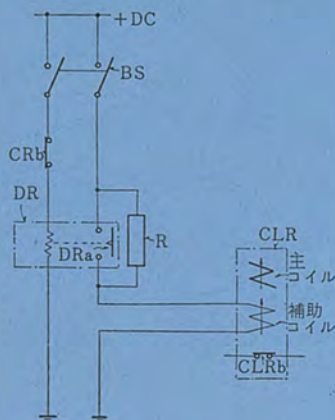


図 1

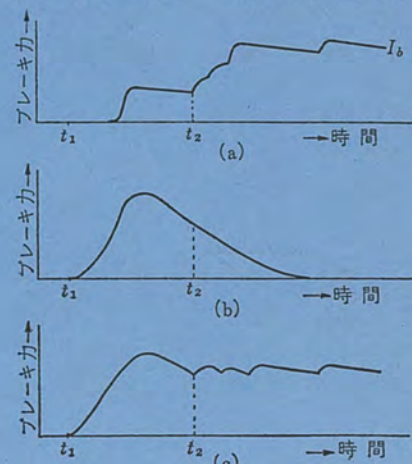


図 2



# 電動機制御装置

・発明者 武田 英夫・渡辺 克己

この発明は、電動機制御装置、とくに誘導電動機の二次電圧を整流して直流電動機の電機子に加えこの直流電動機の励磁を変えることによって広範囲な速度制御と高効率運転が可能、いわゆるレクチフロードライブ方式を採用した駆動装置の並行運転を制御する装置の改良に関するものである。

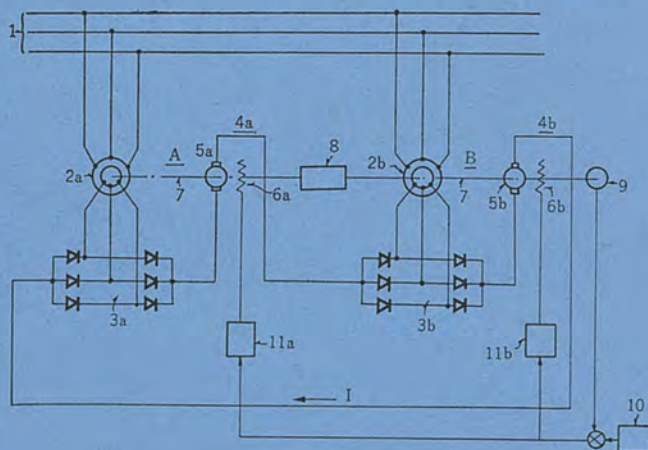
図はその実施例で、(1)は交流母線、(2a)、(2b)はほぼ同一特性を持つ第1および第2の誘導電動機、(3a)、(3b)は整流装置、(5a)、(5b)はほぼ同一特性をもつ第1および第2の直流電動機(4a)、(4b)の電機子、(6a)、(6b)は界磁巻線、(8)は負荷、(9)は運転速度信号発生装置、(11a)、(11b)は界磁用増幅装置、(10)は基準速度信号発生装置であり、これらは図示されるように接続される。すなわち、誘導電動機(2a)、(2b)、直流電動機(4a)、(4b)は共通の回転軸(7)で連結されて負荷(8)および装置(9)を駆動し、また整流器(3a)、(3b)、直流電動機の電機子(5a)、(5b)はすべて直列に接続される。

従来この種の装置は、整流器(3a)と直流電動機の電機子(5a)とが直列接続され、これと別個に整流器(3b)と直流電動機の電機子(5b)とが直列接続されていた。したがって負荷を平衡させるため、両回路の電流を調整する装置を設けなければならず、回路構成が複雑になった。この発明では両回路は直列に接続され、同一回路電流が流れるので、どんな運転状態でも安定な並行運転を

行なうことができる。

装置(9)および界磁用増幅装置などは速度制御用であるが、この発明の場合両駆動装置間には同一の回路電流が流れるので、増幅装置(11a)、(11b)はとくにその特性が一致する必要はなく、その製作および試験が容易となる。さらに負荷平衡制御系がなくなるので、従来のように負荷平衡制御系との相互干渉はなくなるという利点を有する。

(特許第441041号) (古沢記)



# 携帯用自動車ラジオ

考案者 岡本 春樹

自動車運転台の計器盤に取付けられる自動車ラジオを、携帯用ラジオとして兼用させるようにしたものにおいては、自動車に取付けた場合は自動車に積まれた電池を、また携帯用ラジオとして用いる場合はラジオ自体に内蔵した電池を用いるように、そのつど電源回路をラジオの盗難防止用鍵装置とは別個に操作して切り換えるようにしている。

この考案は、鍵装置の施錠および解錠操作と連動して上記電源回路を所定の電源に自動的に切り換えるようにしたもので、図1～3に示すように、自動車運転台の計器盤に設けられた機枠(1)に自由に出したり入れたりできるラジオキャビネット(2)と、このキャビネットの面板(4)に対応するシャーシ垂直部(7)に装着され鍵穴(8)を有する操作軸(9)の軸端面を上記面板(4)を貫通して外部に露出させた鍵装置(6)と、上記操作軸(9)に設けられ鍵装置

(6)の施錠操作時に上記機枠(1)に設けられたミツ(13)にかん(嵌)合して機枠からキャビネット(2)が脱出しないようにする舌片(11)と、上記シャーシ垂直部(7)にシユ動自在に支持され上記操作軸(9)のカム部(12)に切欠き(19)に係合して操作軸の回転により往復動される作動板(16)をそれぞれ備えており、しかもこの作動板(16)には、上記鍵装置(6)の施錠時に自動車の電源電池に、また鍵装置の解錠時にはラジオの内蔵電池にそれぞれ連動して電源回路を切り換える切換スイッチ(20)に係合さしたものである。

したがって、この考案の自動車ラジオは、従来のように鍵装置と電源切換スイッチの操作を個々に行なうわずらわしさがなく、かつその構成もすこぶる簡単であるから安価に提供できる実用的効果がある。

(登録実用新案第772932号) (土居記)

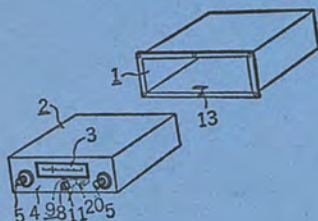


図 1

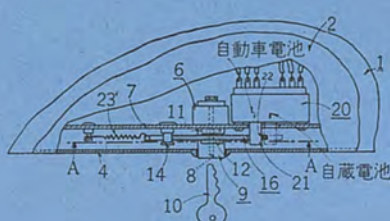


図 2

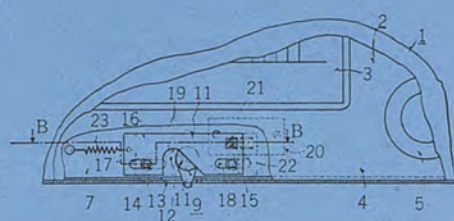


図 3



## 徳山曹達納め 120 kA レクチフォーマ

小林 凱\*・佐野善之助\*・鶴田 敬二\*

坂本 征夫\*・石村 竜夫\*

## 120 kA Rectifier Installation at the Tokuyama Soda Company

Itami Works Gai KOBAYASHI・Zennosuke SANO・Keiji TSURUTA  
Masao SAKAMOTO・Tatsuo ISHIMURA

The 24 MW 200 V 120 kA Rectifier installation, operating at the Tokuyama Soda co's brine electrolysis plant No. 5, has many outstanding features. The world-largest rectifier-transformers of integral construction were assembled at the factory and shipped to the customers site as complete power conversion equipment. This installation, with a unique circuit arrangement and a voltage regulating system, has changed the concept of the high current rectifier facilities for the electrochemical service.

Also a new control system substituting the conventional constant current regulator has been applied to the Rectifier. This automatic control system senses the demand of the chlorine gas, and, through its computer function, regulates the dc output of the Rectifier to the optimum condition of plant operation.

## 1. ま え が き

レクチフォーマは、電気化学用を中心に急速な発展を示し、その概要はすでに本誌にも紹介されているが、多数の製作例中徳山曹達納め 24 MW, 200 V, 120 kA 装置はレクチフォーマが新鋭大電流電解設備に適用された典形例である。

この 24 MW 整流設備はソーダ電解用としてわが国最大の容量を有するとともに、一体構造整流装置では世界最大の単器容量をもつ記録品である。しかも工場で完成したレクチフォーマは組立鉄道輸送され、きわめてわずかのスペースに設置された結果これまでの整流器変電所に対する概念を大きく変えるものとなった。この設備にはレクチフォーマ以外にも多くの新しい技術が総合されている。

それは主回路構成機器だけでなく、整流装置の出力制御にはソーダ電解工場を最も効率よく運転するため塩素流量制御が導入され、従来の単なる自動定電流運転に比べ画期的なものとなっている。

以下にレクチフォーマを用いた大容量電解設備と新しい制御方式の 2 点を中心として紹介したいと思う。

## 2. 設備の概要

## 2.1 新電解設備の計画

徳山曹達ではすでに 2 組の 120 kA シリコン整流装置が運転している。一つは昭和 34 年に完成した 9.84 MW, 82 V, 120 kA 設備で大容量電解設備へのシリコン整流器の優秀性を決定づけたものである。次は昭和 37 年完成の 18 MW, 150 V, 120 kA 設備で前者において新しく選んだ大電流シリコン整流装置の技術が集約されている。ここに用いられた多くの技術、たとえば放熱片と導体のみで構成された大電流トレイユニット、2 組の二次巻線をもちきわめてコンパクトな整流器用変圧器、また 1 台の変圧器と 2 台の整流器を組み合わせた立体配置は、今日に至るものも多くの実施例が

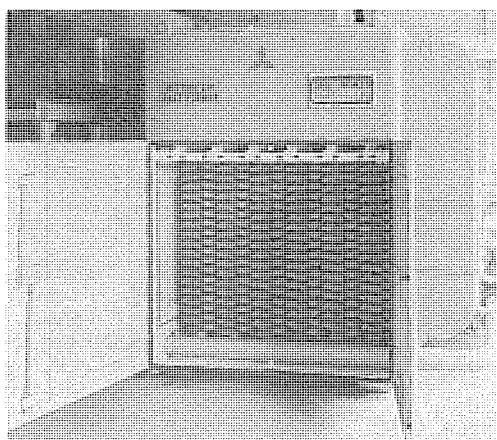
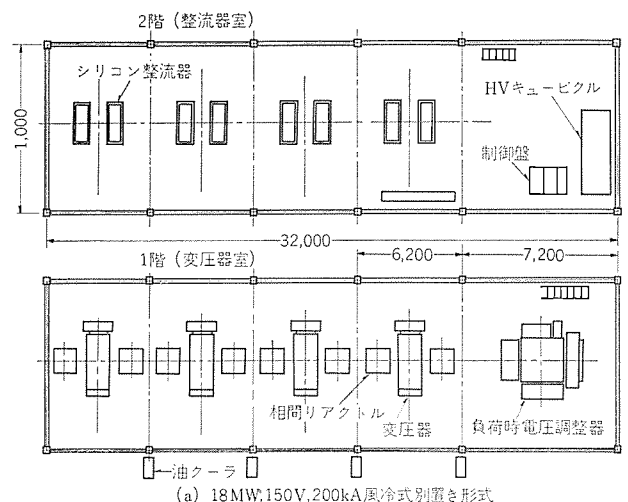
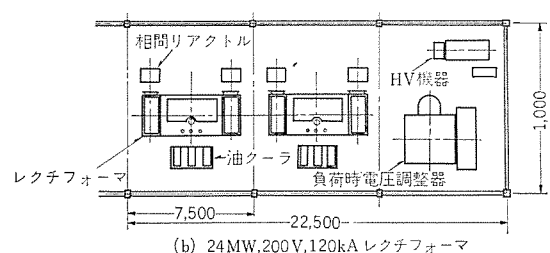


図 1.1 120 kA レクチフォーマ 変電所  
Fig. 1.1 120 kA Rectifier substation.



(a) 18 MW, 150 V, 200 kA 風冷式別置き形式



(b) 24 MW, 200 V, 120 kA レクチフォーマ

図 2.1 整流器方式と変電所レイアウト  
Fig. 2.1 Type of rectifiers and substation layout.

あることにも この装置がシリコン整流器の発展に寄与した価値が知られる。

昭和39年に3台目の120 kA整流装置が計画されたときは、レクチフォーマが急速に発展しているときで、従来形式との比較から当然ながらレクチフォーマにより大きな合理化が得られることが判明した。これは一般にあげられる利点は省略しても図2.1(a)、(b)からも明らかである。同時にシリコン整流器の単位電流量はここ数年に著しく増大し以前の30 kA 4ユニットに代わり、60 kA 2ユニットの構成が変電所の簡略化に貢献している。徳山曹達納入品も大電流レクチフォーマの標準系列の一環をなし、さらに160 kAに至る電流が同じく2組のレクチフォーマユニットから得られて、電解設備計画上の自由度を大きく拡大している。

このように3年ごとに完成した120 kAシリコン整流装置は同時に電解用シリコン整流器の発展の歴史であり、またこれと同じ設計系列の整流装置が多数製作され、好調な実績を収めている。今回納入された整流装置の仕様は次のとおりである。

屋内用、送油水冷式、SO-SUW形レクチフォーマ

交流入力三相、60 c/s、13.2 kV $\pm$ 400 V

直流出力、24 MW、200 V、120 kA、① A<sub>0</sub>種定格

直流電圧調整範囲、第1期48~160 V、第2期97~214 V、各33段負荷時タップ切換えおよび電圧調整リアクトル併用完全自動調整

結線、二重星形六相一組合24相

## 2.2 主回路構成

大容量レクチフォーマの完成により大容量整流装置の回路構成は非常に簡単となった。図2.2はその単線結線である。13.2 kV交流電源はシャ断器を通してCUB-MRD形負荷時電圧調整器にはいる。このように大電流の設備ではおのこの整流器用変圧器に負荷時タップ切換え器を付けるより、一括して別置した形が全体

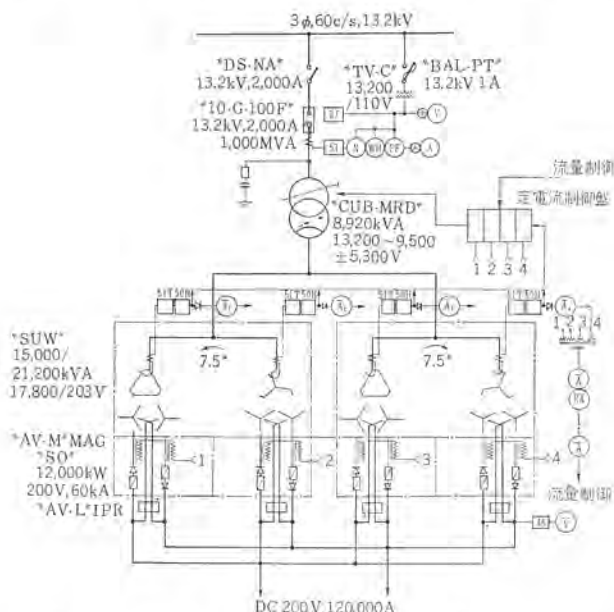


図 2.2 単線結線図 Fig. 2.2 Single line diagram.

表 2.1 電圧調整方式の比較

	整流器用変圧器	電圧調整変圧器	タップ切換器	整流相数	輸 送
各個方式	(主変圧器+直立変圧器)×2	—	2	最大12相分	個別輸送
一括方式	主変圧器	×2	調整変圧器×1	1	24相可能 組立輸送可能

としてのまとまりもよい。

今回のケースについての比較を表2.1に示す。

負荷時タップ切換器を1台にまとめることに対し大きな調整容量と高い信頼度をもつタップ切換器を有することが必須の条件となるが、MRD形負荷時タップ切換器はURA形とともに最適のもので、この形の主回路構成は多数の整流装置に用いられている。

次に考慮すべき問題は整流回路相数である。同社の電源は60 kV受電とタービン発電機並列の13.2 kV系統から各ブランドへ給電しているが、そのいずれにも支障をもたらさぬということから組み合わせ24相整流を採用した。このため全電流120 kAに対し60 kAレクチフォーマ2組を用いているが、おのこの2組の30 kA回路にそれぞれ一次巻線を別個に三角—星形 $\pm 7.5^\circ$ 移相により実現した。これはレクチフォーマ用変圧器が外鉄形で、2組の鉄心が密接一体としてタンクに納められるので外形、重量ともに1台の変圧器と大差なく製作できている。整流装置の容量と相数については水銀整流器以来いくつかの検討結果が発表されているが、半導体整流器ではタップ切換器と電圧調整リアクトルの併用により比較的少ない位相制御率で使用されるほか、電源系統の拡充に伴って改訂さるべきものが多い。

この意味で1962年AIEE Conferenceに提出された資料は、一つの参考基準を与えていると思われる表2.2に示しておく。また各種の組み合わせ相数をうるための結線方式を参考までに表2.3に示すが、今回は、24相(a)を採用した。4組の30 kA整流回路は変形二重星形結線で、おのこの独立して制御される電圧調整リアクトルがそう入されている。中性点は整流器端子に並んで出され、貫通形相間リアクトルを通してから正負の母線にまとめられる。この端子配列は大電流相間リアクトルそう入に適しており、かつ直流母線は引き回すことなく電ソウの高さになっている。直流母線はアルミ溶接組み立てである。

## 2.3 電圧調整方式

直流電圧変化範囲は頭初に第1期50 V(0 A)~100 V(120 kA)

表 2.2 整流電力と相数

電 流 相 数	相 対 IT 積	直 流 電 力 定 格 (MW)		
		$\alpha=0^\circ$	$\alpha=35^\circ$	$\alpha=60^\circ$
6	100	18	8	5
12	75	25	12	8
18	50	36	15	10
24	37	50	25	15
30	26	70	35	24
36	23	80	40	30
42	20	95	50	35
48	15	120	75	50

表 2.3 整流相数と回路組合せ

六相整流回路数	全整流相数	変 圧 器 一 次 結 線	
		(Star)	(Delta)
1	6	Star	または Delta
2	12	Star	Delta
3	18	Star	Delta $+10^\circ, -10^\circ$
4	24	(a) Star $+7.5^\circ, -7.5^\circ$	Delta $+7.5^\circ, -7.5^\circ$
		(b) Star	Delta, Delta $+15^\circ, -15^\circ$
5	30	Star $+6^\circ, -6^\circ$	Delta, Delta $+12^\circ, -12^\circ$
6	36	Star, Star $+10^\circ, -10^\circ$	Delta, Delta $+10^\circ, -10^\circ$
7	42	Star, Star $+8.57^\circ, -8.57^\circ$	Delta, $+12.86^\circ, -12.86^\circ$
			Delta, $+4.29^\circ, -4.29^\circ$
8	48	Star, Star $+7.5^\circ, -7.5^\circ$	Delta
			Delta $+7.5^\circ, -7.5^\circ$
			Delta $+15^\circ, -15^\circ$



表 2.4 電圧レンジ切替方式の比較

切 換 方 式	第 1 期			第 2 期	設置面積	建屋配置	接 続 導 体 量	切換工事	電 圧 変 化 値	そ の ほ か
	整流器	電圧調整器	整 流 器 用 変 圧 器							
(1) 変圧器一次△人切 換	4 面 100%	1 台, 100% (100%)	2 台, 100% (100%)	2 台, 100% (100%)	100%	1 階平面 (屋外可)	直流のみ 100%	な し	√3に固 定	組合せ相数困難
(2) 変 圧 器 一 次 直 並 列 切 換	4 面 100%	1 台, 92% (95%)	2 台, 100% (103%)	2 台, 100% (103%)	100%	1 階平面 (屋外可)	直流のみ 100%	な し	2 に 固 定	変圧器若干複雑
(3) ブースタ変圧器追加	4 面 100%	1 台, 92% (95%)	2 台, 53% (75%)	6 台, 105% (160%)	170%	2 階 建 屋 必 要	機器間有 170%	大	任 意	損失大一体困難
(4) 電圧調整器無負荷タップ	4 面 100%	1 台, 93% (100%)	2 台, 100% (100%)	2 台, 100% (100%)	100%	1 階平面 (屋外可)	直流のみ 100%	な し	任 意	第1期も広レンジ有

注) %: 容量, (%) : コスト概略比を示す。

第2期 100 V (0 A) ~ 200 V (120 kA) のほかに電圧数の漸増にも対処するように両者間に大幅な重複範囲をもつのが望ましいとされた。この電圧調整範囲は電解設備の計画に際しつねに問題となるもので、簡単に経済的な方法が選択されなければならない。電圧レンジを変化する方法について比較したのが表 2.4 である。

(1) は△/人切換えは簡単だが2期で一次が△となり組み合わせ相数が得られずかつレンジ変化が決っている面をカバーするため調整範囲を広げる必要がある。

(2) は今回の電圧比には適当であるが、ほかのレンジ比が必要なきにはどのように調整範囲を拡大しなければならない。ただ今回のように移相巻線を付したいく組もの一次巻線があるときは設計が複雑になる。それは切換えの前後で巻線間のインピーダンスを均等に保って電流もバランスさせようとするとき、とくに低圧大電流の変圧器では多くの制約条件が課せられることによる。

(3) のブースタ変圧器方式は興味がある。それは主変圧器容量が第1期では少なくかつレンジの変化値も任意に選びうるから、比較的高圧小電流で遠い将来に大きな電圧変化を与えるのに適する。しかし低圧大電流の装置では大きく異なる。まず変圧器の二次巻回数は1~2ターンであるから、二次電圧 ( $E_s$ ) が低下して電流は変わらない、第1期用変圧器は kVA が少ない割に寸法、重量したがってコストも低下しにくい。

ほかの構成機器はみな、1期より100%容量が必要であるから、変圧器のわずかの低下分が電気機器の第1期に対する節約となる。反面、将来ブースタ変圧器を置くためのスペースをむだにあけること、これにより接続導体量が著しく増加すること、変電所建屋を2階建とし、1階に変圧器その上に2面の整流器キューピクルを置き、変圧器の両横に2台のブースタ変圧器を置く形が適用されるので建屋費用が倍増し、(レクチフォーマなら屋外設置もできる。) かつ別置形式のため機器間導体が余分に追加される。このため第1期においても全体のコストではかならずしも減少せず、最終段階では6台の変圧器により大幅なコストと保守の増加を招く。また総合効率も変圧器の細分化と機器接続導体のためさらに低下する。

以上の検討からこの方式は関心を引く割に総合的に経済的ではなく、かつレクチフォーマが出現したことでそのように複雑な方式を用いるより少ないコストでいっさいがまかなえるため低圧大電流設備における選定基準を大幅に変えたとも考えられる。

(4) は簡単な方式ではあるが今回の要求事項をすべて満たしているため採用した。すなわち

- (a) 1個の無負荷切換で済む
- (b) 組み合わせ相数に制限がない
- (c) 電圧レンジの変化値が任意である
- (d) 低いレンジでも調整幅は変わりなく

大幅な電圧レンジの変化が得られるとともに自然に第1期と第2期の間にオーパラップが得られる。この負荷時電圧調整器の詳細は3.3節に説明されるが励磁変圧器一次側に無負荷タップを一組おくだけで目的が達せられる。またこのタップは複数組設けることも可能である。

いま交流入力  $E_1$ 、変化範囲比  $E_1 \max / E_1 \min = K$ 、整流器用変圧器の一次容量  $P_T$  (kVA) 一次電圧  $E_P$ 、所要二次電圧範囲  $E_s \sim E_s \min$ 、第1期における二次電圧範囲  $E_s' \sim E_s \min'$  として要求される電圧調整器の調整電圧 ( $E_R$ ) と容量 ( $P_R$ ) を検討してみよう。

#### (1) 変圧器一次△-人切換方式

$E_s / E_s' > \sqrt{3} > E_s \min / E_s' \min$  のとき

$$E_R = (K \cdot E_s - E_s \min) E_1 / (K \cdot E_s + E_s \min) \quad \dots\dots (2.1)$$

$E_s / E_s' > \sqrt{3} < E_s \min / E_s' \min$  のとき

$$E_R = (K \cdot E_s - \sqrt{3} E_s' \min) E_1 / (K \cdot E_s + \sqrt{3} E_s' \min) \quad \dots\dots (2.2)$$

$E_s / E_s' < \sqrt{3} < E_s \min / E_s' \min$  のとき

$$E_R = (K \cdot E_s' - E_s' \min) E_1 / (K \cdot E_s' + E_s' \min) \quad \dots\dots (2.3)$$

いずれに対しても

$$E_P = (E_1 + E_R) \frac{E_1 \min}{E_1} \quad \dots\dots (2.4)$$

$$P_R = \frac{E_R}{E_P} P_T \quad \dots\dots (2.5)$$

(2) 変圧器一次直並列切り換えも同じで  $\sqrt{3}$  の代わりに2を用いる。

#### (3) ブースタ変圧器そう入方式

$E_s / E_s' > E_s \min / E_s' \min$  のとき

$$E_R = (K \cdot E_s - E_s \min) E_1 / (K \cdot E_s + E_s \min) \quad \dots\dots (2.6)$$

$E_s / E_s' < E_s \min / E_s' \min$  のとき

$$E_R = \left( K \cdot E_s - E_s' \min \frac{E_s}{E_s'} \right) E_1 / \left( K \cdot E_s + E_s' \min \frac{E_s}{E_s'} \right) \quad \dots\dots (2.7)$$

$$\text{また} \quad E_P = (E_1 + E_R) \frac{E_1 \min}{E_1} \quad \dots\dots (2.8)$$

$$P_R = \frac{E_R}{E_P} (P_{T_1} + P_{T_2}) \quad \dots\dots (2.9)$$

$$P_{T_1} = P_T \frac{E_s'}{E_s} \quad \dots\dots (2.10)$$

$$P_{T_2} = P_T - P_{T_1} \quad \dots\dots (2.11)$$

#### (4) 電圧調整器無負荷タップ方式

$$E_R = (K \cdot E_s - E_s \min) E_1 / (K \cdot E_s + E_s \min) \quad \dots\dots (2.12)$$

$$E_P = (E_1 + E_R) \frac{E_1 \min}{E_1} \quad \dots\dots (2.13)$$

$$P_R = \frac{E_R}{E_P} P_T \dots\dots\dots (2.14)$$

$$\text{無負荷タツプ位置 } E_T = \frac{E_1}{E_1 \max} \cdot \frac{E_S' \min}{E_S} + E_R \dots\dots\dots (2.15)$$

ここで  $E_S=200\text{ V}$ ,  $E_S \min=95\text{ V}$ ,  $E_S'=105\text{ V}$ ,  $E_S' \min=50\text{ V}$  の最低条件から  $P_R$  を比較すると

(1) 100%, (2) 92.2%, (3) 92.2%, (4) 92.5% となるが、このうち (4) のみが大きなオーバーラップを与える。

ただしこの場合  $E_1 \sim E_T$  間の調整変圧器一次巻線は、若干大きいものを必要とする。タツプ間の電圧調整は磁気増幅器形電圧調整リアクトル(VCR)による。今回は AV-M 25 形 2 個直列で調整直流電圧  $\Delta E=9.4\text{ V}$  を得ている。この調整電圧として極端に大きな値を用いることはソーダ電解用では、損失、力率低下を増大するから得策でない。これは負荷時タツプ切換器が手動操作の半自動調整方式のとき多くの変動要素をカバーするため必要であるが完全自動調整では次の 3 点に注意して設計すればよい。

- a. タツプ間のカバー。これには 2~2.5 タツプ分くらいあれば十分である
- b. 電源系でひん繁に生じる微細変動のカバー
- c. 電圧短絡時の過電流に対する考慮

最後の要求事項に対して  $\Delta E$  を大きくとり、つねに 1 セル分を余して運転するよりほかの特性ともあわせて考慮したほうがよい。いま定格直流電圧  $E_N$  に対応する電圧数  $N$  と電圧変動率  $\varepsilon$  が与えられたとき、部分電圧数  $n$ 、定格電流  $I_N$  で運転中に電圧短絡を行なったときの電流  $I_d$  は  $\Delta E$  の残留分をゼロとしておおよそ次のようになる。

$$\frac{I_d}{I_N} = \frac{n - 0.65(n-1) + N\varepsilon}{0.35(n-1) + N\varepsilon} \dots\dots\dots (2.16)$$

ここではソーダ電解電圧の分解電圧を 65% としているがほかの値には上式の係数を変化する。たとえば  $N=45$ ,  $n=18$ ,  $\varepsilon=10\%$  のとき  $I_d=1.096 I_N$  で予想以上に低い値となるので一般には  $\Delta E$  の残留分を要することは少なく、かつ  $I_d$  は数秒程度であるから連続定格の整流器が自然にもつ過負荷耐量と過電流リレーの特性選択により十分カバーできることが多い。したがって今回は  $\Delta E$  の残留分としてリアクトルの特性上自然に生じるヒステリシス曲線の非直線端部による  $0.2 \Delta E$  くらいの値のみを用いさらに余分にはとっていない。

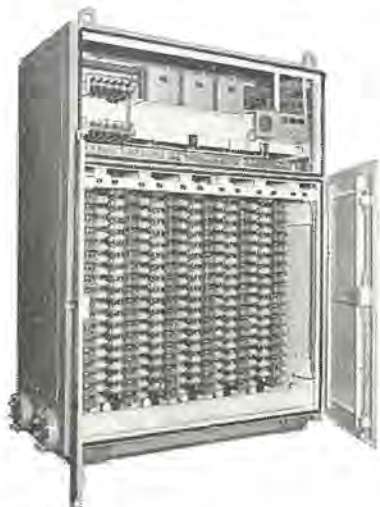


図 3.1 レクチフォーマ (整流器部)  
Fig. 3.1 Rectifier (silicon rectifier section).

### 3. 主回路構成機器

#### 3.1 レクチフォーマ

このレクチフォーマは 12 MW, 200 V, 60 kA 2 台で当社の標準系列に属するものである。

(1) 整流器部分は SO-1 W 36 C 2 X 形で 1 台の変圧器の両側に整流器が組み合わされる。各 30 kA キューピクルには 216 個の SR 200 H-20 形整流素子と FL-50 X 600 A 形保護ヒューズが用いられており、素子は変圧器から送られてくる油で冷却される。

これらの回路構成要素は FT-2 形表示ヒューズとともにキューピクル前面に配列され、すべてがとびらを開くとすぐ手のとどく範囲にあって保守も容易である。その上部に CR およびセレンアスタからなる異常電圧吸収装置と、FT 表示ヒューズに組み合わされた故障検出ユニットがある。また電圧調整リアクトルも同じ上部セクションに収容され、ここで直流出力回路は中性点側とともにキューピクル側面の肩位置から取り出される。この直流端子配列も大電流レクチフォーマの特長で上側の中性点 OP, ON への接続バスに貫通形相間リアクトルを入れた先の点で下側の P, N とそれぞれ接続すれば自然に直流回路が形成されるので導体のむだがなく、かつ電圧への接続にも好都合な高さに直流バスが置かれる。大電流磁界を消去する設計、u-x, v-y, w-z の相群を共通にできわめて簡単に電流平衡をとる方式なども標準として用いられているもので、同一設計のレクチフォーマはほかにも旭硝子(千葉)、住友化学(大分)納めの装置にもあってその性能は定評あるものとなっている。

(2) 変圧器部は外鉄形フォームフィット構造を採用しているが、大容量でも特性をそこなうことなく輸送に適した形に設計が可能で整流器、変圧器、電圧調整用リアクトルなどを一体に組み上げた形での輸送を可能とした。

変圧器部は 2.2 節のように全体で 24 相整流とするため、次の回路により構成されている。

- 1-a 交流側結線  $\Delta+7.5^\circ$  移相巻線付 (角変位  $337.5^\circ$ ) 1 台
- 1-b "  $\Delta+7.5^\circ$  " ( "  $7.5^\circ$ ) 1 台
- 2-a "  $\Delta-7.5^\circ$  " ( "  $352.5^\circ$ ) 1 台

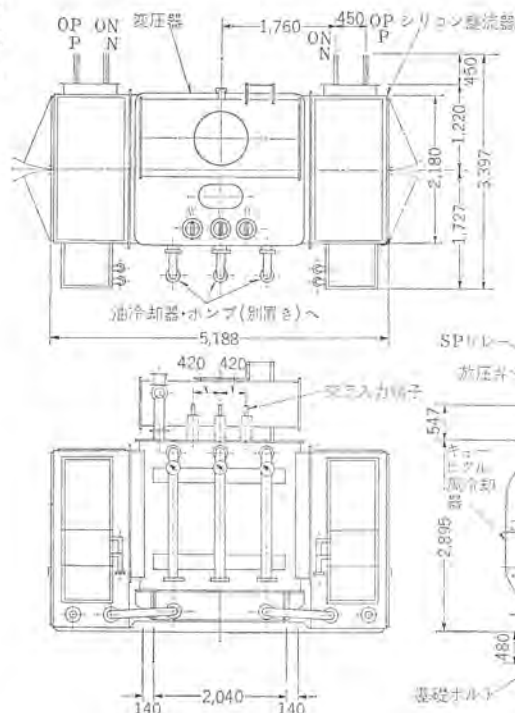


図 3.2 15 MVA/12 MW  
60 kA レクチフォーマ外形図  
Fig. 3.2 Outline of  
15 MVA/12 MW,  
60 kA rectifier.

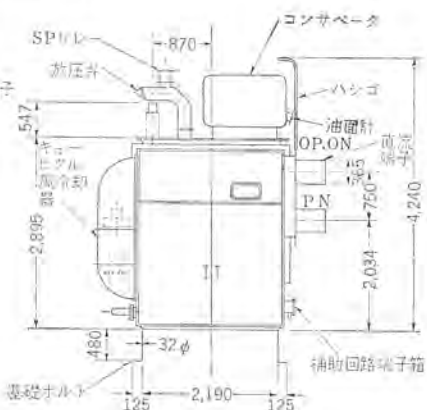




表 3.1 レクチフォーマ変圧器部仕様

	60 c/s, 15,000 kVA 連続定格, 送油水冷式外鉄 (SUW) 形
交 流 側	17,800 V, 20 号, 三相, 結線 $\Delta$ または $\Delta$ 7.5° 移相巻線付
直 流 側	203 V, 0.2 号, 4 × 三相, 結線 4 × $\Delta$
重 量	35,000 kg, 油量 9,200 l, 総重量 43,400 kg

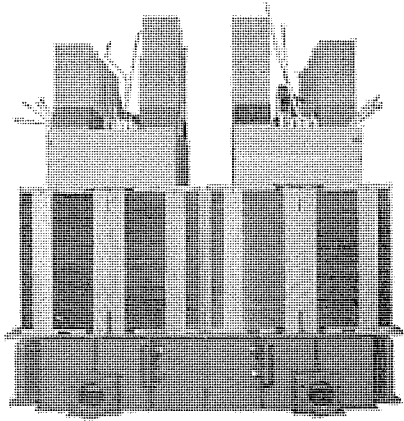


図 3.3 レクチフォーマ変圧器中身

Fig. 3.3 Core and coil of transformer used for rectifier.

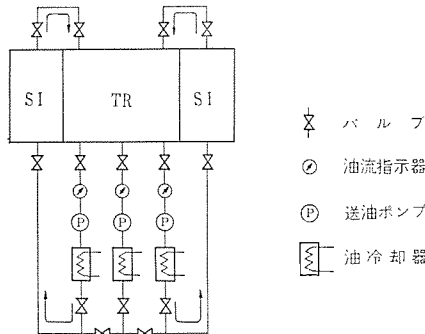


図 3.4 レクチフォーマ冷却系統図

Fig. 3.4 Cooling system of rectifier.

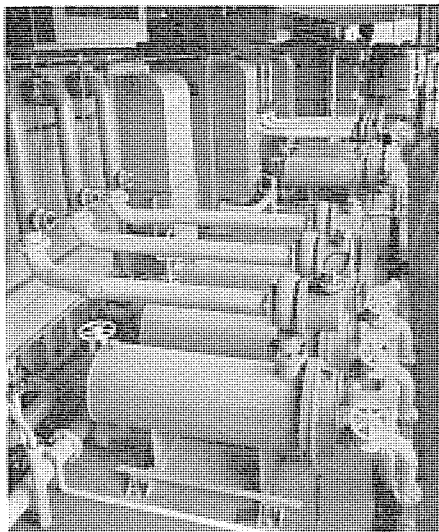


図 3.5 レクチフォーマ冷却装置

Fig. 3.5 Cooling system of rectifier.

2-b 交流側結線  $\Delta$  7.5° 移相巻線付 (角変位 352.5°) 1 台

この組み合わせにより 1 台停止時も 12 相が得られる。次に変圧器の共通仕様は表 3.1 に示されるが、図 3.3 のように 2 組を同一タンクに納め全体を 2 台としている。この構造により後述の利点を得られる。各変圧器直流巻線の抵抗および交流側に対するリアクタンスが等しいことが必要であるが、この組み合わせにおいて

その条件は比較的容易に満足される。ほかに表 2.3 の 24 相 (b) では移相巻線の有無からこの特性が相当異なってくる。ほかの移相方法として、直流側巻線で行なうことも考えられるが低圧大電流のため困難である。2 種の中身を同一タンクに納め 1 台の変圧器とする方式は輸送が可能な範囲で次の利点がある。

- 装置全体の簡略化と据付面積の縮小。
- 交流側 プッシング, 温度計など付属品の半減。
- タンク など外箱関係の製作費の低下。
- 冷却装置の単位容量が大きいとき予備器が経済的に設置できる。

この変圧器の高さはきわめて低いが、これは組立て輸送上必要であるとともに屋内設置の建屋費用を低下した。絶縁油の劣化防止は ポンプ 式窒素封入装置を使用し絶縁油の空気との接触による酸化, 吸湿などの劣化がなく, つねに製作当初と同じ信頼度で運転できた保守も容易である。

(3) 冷却系統は整流器と変圧器を共通の油により循環冷却する方式でその利点はすでに本誌に紹介されている。すなわち,

- 系統集中化によりスペース, 部品の節約と冷却器の経済的使用。
- 系統集中化は予備冷却系統の設置を容易にする。
- 系統の熱時定数が 2 ~ 3 時間と大きく, 油が循環している限り短時間の過負荷や外部冷却水の停止にも耐える。
- 冷却系統の単純化により保守が簡単である。

今回の冷却系統は 60 kA の単位装置あたり 1 台の予備器を含む 3 台の水冷式冷却器と送油ポンプ, 油流指示器で構成し切り換え, 保守の便などから別置とした。系統中に設けた油流指示器はポンプ故障時に警報を出し一定時間後回路をシャ断し, また予備系統によりポンプ故障あるいは冷却器手入時でも, 運転が継続できる。

水冷式油冷却器は多数の U 字形銅管を鏡板にエキスパンド加工で固定した構造で, 鏡板は水系と油系に独立した 2 枚があって万

表 3.2 負荷時電圧調整器仕様

	60 c/s, 三相 送油冷式内鉄 (CUB-MRD) 形
入 力 側	13,200 V, 20 号, 結線単巻, 最大線路容量 31,100 kVA
負 荷 側	13,200—9,500 V, 20 号, 結線 $\Delta$ , 調整容量 8,920 kVA
調 整 電 圧	$\pm 5,800$ V, タップ数 35 点 $\pm 17$ 段
重 量	26,000 kg, 油量 20,500 l, 総重量 44,500 kg

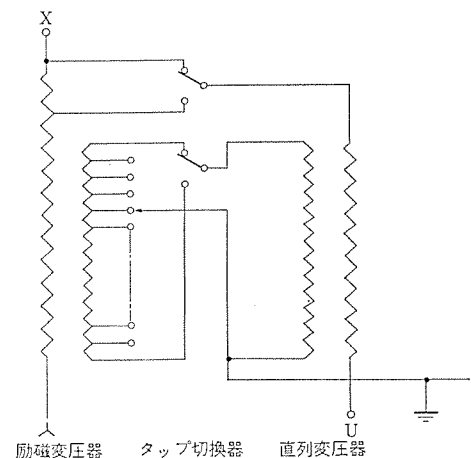


図 3.6 負荷時電圧調整器結線図

Fig. 3.6 Connection diagram of on-load-voltage regulator.





い制御系が得られる。この負荷分担演算盤の演算要素に デジタル 計算機の採用も考えられるが、用途からみてきほど早い応答速度も 必要なく精度も余りげん密さを要求されないため、今回は アナログ 計算機を採用した。

#### 4.2 最適負荷分担の原理

発生塩素量  $Q_S$ 、電解工場の電 ン 数  $N_i$ 、その電流値を  $I_i$  と して  $Q_S$  と  $I_i$  との間には次の関係がある。ただし  $K$  は常数である。

$$Q_S = K \sum_{i=1}^n N_i I_i \quad (4.1)$$

次に  $I_i$  と所要電力量  $P$  との間には電 ン 逆起電圧  $E_0$ 、電 ン 抵抗  $R_i$ 、直流電源効率を  $\eta_{R_i}$  とし、

$$P = \sum_{i=1}^n N_i \frac{(E_0 + R_i I_i) I_i}{\eta_{R_i}} \quad (4.2)$$

ここで  $Q_S$  に対し使用電力量  $P$  の最低値をうる条件は、

$$\frac{E_0 + 2R_1 I_1}{\eta_{R_1}} = \frac{E_0 + 2R_2 I_2}{\eta_{R_2}} = \dots = \frac{E_0 + 2R_n I_n}{\eta_{R_n}} \quad (4.3)$$

さらに  $I_i = E_{I_i}$  (4.4)

また式 (4.3) を  $\frac{E_0 + 2R_i E_{I_i}}{\eta_{R_i}} = E_k$  (4.5)

と置くと式 (4.4) を変換して

$$E_{I_i} = \frac{\eta_{R_i}}{2R_i} E_k - \frac{E_0}{2R_i} \quad (4.6)$$

また  $Q_S = E_{Q_S}$  (4.7)

と置き式 (4.6) を式 (4.1) に代入して、 $E_k$  を求めれば

$$E_k = \frac{E_{Q_S}}{K \sum_{i=1}^n \frac{\eta_{R_i}}{R_i} N_i} + \frac{E_0 \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{R_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{\eta_{R_i}}{R_i} N_i} \quad (4.8)$$

ここで各電 ンの  $R_i$ 、 $N_i$ 、 $E_0$ 、 $\eta_{R_i}$  が与えられていると考えれば  $E_k$  と発生塩素量電圧  $E_{Q_S}$  とは一次関数関係にあり、発生塩素量  $Q_S$  と需要塩素  $Q_R$  が同一ならば、需要塩素量電圧  $E_{Q_R}$  に対し  $E_k$  は一義的に求まる。この  $E_k$  を式 (4.6) に代入し、 $E_{I_i}$  を求めれば、これが  $Q_R$  に対し各電 ン が分担すべき電流でまた、各電 ンの分担電流  $I_i$  は式 (4.3) を満足するがゆえに  $Q_R$  に対し  $P$  は最低となる。

#### 4.3 演算回路

##### (1) 負荷分担回路

前節で求めた式 (4.6) および式 (4.8) を演算増幅器で構成すれば、需要塩素量電圧  $E_{Q_R}$  に対し、各電 ン 分担電流が自動的に求まる。まず 式 (4.6) では右辺第 1 項と第 2 項の引き算を行えばよいので、加算器を用いて図 4.2(a)、また式 (4.8) もどううに図 4.2(b) となる。

##### (2) 流量検出回路

需要塩素量  $Q_R$  の検出点は一箇所だけでなく、数箇所にもなることが考えられる。

$$E_{Q_R} = \sum_{j=1}^m E_{Q_{R_j}} \quad (4.9)$$

これを演算回路で示せば図 4.2(c) となる。また、塩素流量制御時、電 ン などのつごうから、一部の電 ン は定電流制御しなければならぬこともあり、この場合、流量制御されている電 ンの全発生塩素量  $Q_S'$  は  $Q_R$  より、定電流制御中の発生塩素量  $Q_C$  を引いたものである。

$$E_{Q_S'} = E_{Q_R} - E_{Q_C} \quad (4.10)$$

また、各電 ン 電流と発生塩素量との間には、式 (4.1) の関係

徳山曹達納め 120 kA レクチフォ-マ・小林・佐野・鶴田・坂本・石村

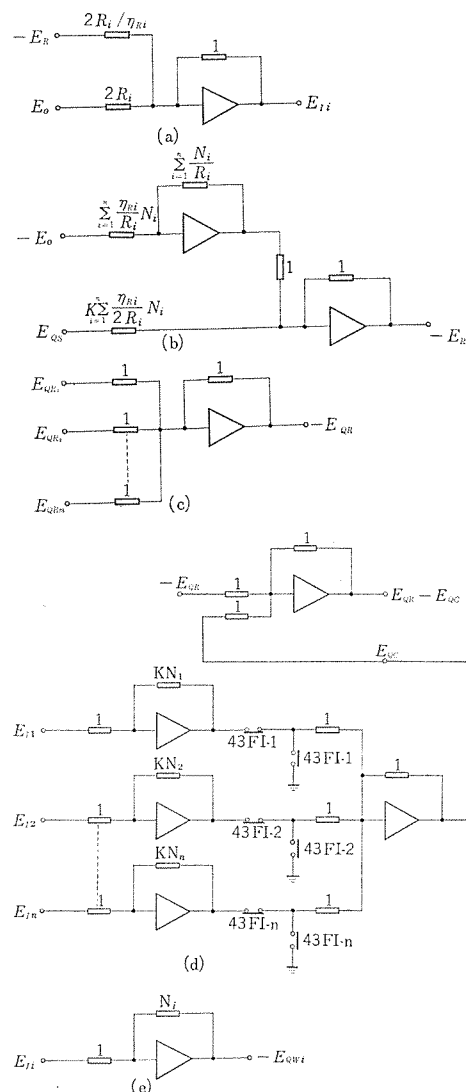


図 4.2 演算増幅回路の動作  
Fig. 4.2 Function of operational amplifier circuits.

があるゆえこれを演算回路で示せば図 4.2(d) となる。ここで 43 FI-1~43 FI-n の接点は定電流と流量制御の切換継電器接点でこれは定電流制御時の状態を示している。

##### (3) 注加水回路

電 ン からできた水銀 アマルガム を解 コウ する注加水は、電 ン 電流、電 ン 数に比例した水量が必要である。したがって、注加水の基準信号電圧  $E_{Q_{W_i}}$  は

$$E_{Q_{W_i}} = E_{I_i} \cdot N_i \quad (4.11)$$

これを演算回路で示せば図 4.2(e) となる。

##### (4) 流量制御

流量制御中直流電源装置が定格負荷に達した場合の回路、式 (4.4) を満足する流量制御運転中に需要塩素量  $Q_R$  が増加し、流量制御されている直流電源中その定格負荷に達するものが出たときは、式 (4.3) を無視しても、定格負荷以内に電流を押さえる必要がある。この場合、その電源装置が定格負荷に達したことを自動的に検出して、定格負荷での定電流制御に切り換え、残り式 (4.3) を満足する流量制御を行なう。

すなわち図 4.2(a) の演算増幅器に上限リミッタをかけ、定格電流以上の指示をせぬよう出力を押さえ、かつ定格電流に達したことを検出して図 4.3 の定電流制御—流量制御の切換継電器 43 FI-i を自動的に定電流に切り換える。ただし、このとき 43

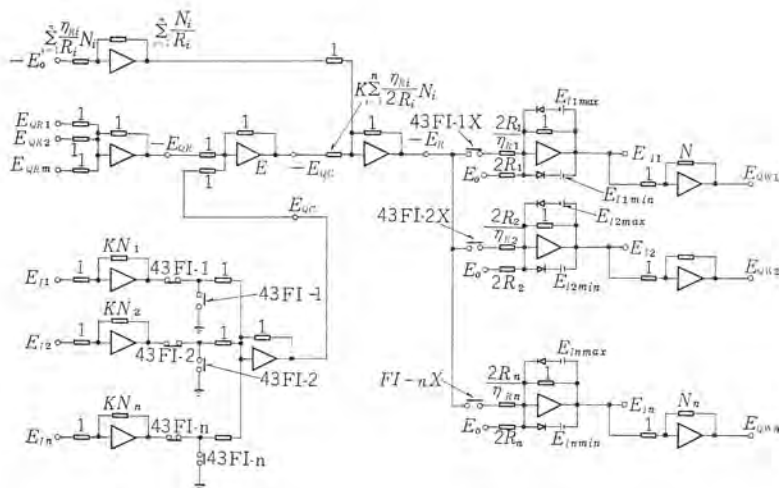


図 4.3 負荷分担演算回路  
Fig. 4.3 Operational amplifier circuit for load-allotment.

FI-i 43 FI-iX の接点は定電流制御—流量制御の切換開閉器により制御されるが、前述のように 43 FI-i の接点は定格電流に達したとき自動的に切り換えられ、43 FI-iX の接点は切換開閉器の制御によってのみ切り換えられる。したがって、43 FI-i が定電流制御に自動的に切り換えられても定格電流に達した直流電源装置は計算機出力によりそのまま運転を継続する。このとき電源装置の内、定格電流に達したものの継電器接点 43 FI-i を定電流制御に切り換えるため、そのとき式 (4.8) の  $E_k$  に変動が生じないかとの懸念は理論的になら変動ないことが次のように証明される。

いま  $n$  番目の直流電源装置が定格電流に達した瞬間、いまだ 43 FI-n の継電器接点が流量制御にあるときは、 $E_k$  の値は、式 (4.8) で示される。次に 43 FI-n の継電器接点が定電流制御に切り換えられたあとの  $E_k$  の値は  $E_k'$  とすると式 (4.8) を参照して

$$E_k' = \frac{E_{QS} - E_{QC}}{K \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\eta_{R_i} N_i}{2R_i}} + \frac{E_0 \sum_{i=1}^{n-1} \frac{N_i}{R_i}}{\sum_{i=1}^{n-1} \frac{\eta_{R_i} N_i}{R_i}} \quad \dots\dots\dots (4.12)$$

$E_{QC}$  は  $n$  番目の直流電源装置の塩素発生量なるため式 (4.1), (4.4) を参照して

$$E_{QC} = KN_n E_{I_n} \quad \dots\dots\dots (4.13)$$

この電流信号電圧  $E_{I_n}$  はいまだ 43 FI-n の継電器接点が流量制御にあり、定格電流に達したときの値に保たれているので式 (4.6) から

$$E_{I_n} = \frac{\eta_{R_n} E_k}{2R_n} - \frac{E_0}{2R_n} \quad \dots\dots\dots (4.14)$$

式 (4.8), (4.14) から式 (4.15) は

$$E_{QC} = \frac{KN_n \frac{\eta_{R_n} E_{QS}}{2R_n} + KN_n \frac{1}{2R_n} \left\{ \eta_{R_n} \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{R_i} - \sum_{i=1}^n \frac{\eta_{R_i} N_i}{R_i} \right\} E_0}{K \sum_{i=1}^n \frac{\eta_{R_i} N_i}{2R_i}} + \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\eta_{R_i} N_i}{R_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{\eta_{R_i} N_i}{R_i}} E_0 \quad \dots\dots\dots (4.15)$$

となる。式 (4.12), (4.15) より

$$E_k' = \frac{E_{QS}}{K \sum_{i=1}^n \frac{\eta_{R_i} N_i}{2R_i}} + \frac{E_0 \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{R_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{\eta_{R_i} N_i}{R_i}} \quad \dots\dots\dots (4.16)$$

これは式 (4.8)  $E_k$  と同一値を示している。



図 4.4 負荷分担演算盤  
Fig. 4.4 Load allotment control cubicle



(a) 磁気増幅器式 (mag-amp type)



(b) トランジスタ式 (Transistor type)



(c) サイリスタ式 (Thyristor type power-amp)

図 4.5 各種演算増幅器  
Fig. 4.5 Various operational amplifiers.

#### (5) 総 合

以上をまとめると図 4.3 の総合負荷分担回路となる。すなわち各塩素消費工場の流量を検出し  $E_{QN1}, \dots, E_{QNn}$  を与えれば式 (4.3) は自動的に計算されて、各電解工場の必要電流値を  $E_{I1}, \dots, E_{In}$ 、その解コウ水の必要量を  $E_{QW1}, \dots, E_{QWn}$  として示すので、これを図 4.1 の直流定電流電源の基準電流として与えればよい。

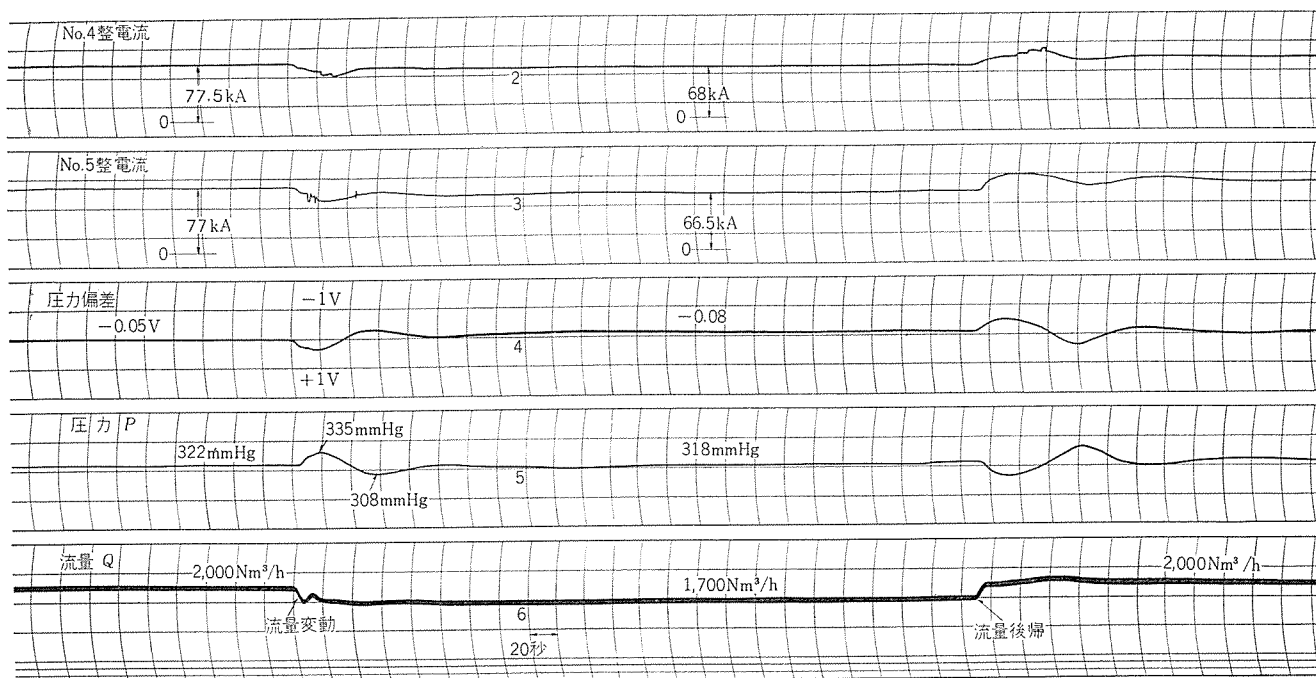
#### 4.4 負荷分担演算盤

本盤に収納されている機器は図 4.3 を構成しているがその主要機器はトランジスタ式および磁気増幅器式制御用演算増幅器、サイリスタ式電力増幅器とその電源などである。

##### (1) 磁気増幅器式制御用演算増幅器 (図 4.5 (a))

これはパルス幅変調方式の磁気増幅器で電源周波数 1 kc を採用しているのでその応答速度は十分早く、絶縁入力の取扱も簡単である。ここでは定電流制御中の電解コウから発生される塩素量演算素子として使用し、主回路と負荷分担演算回路の絶縁にも利用している。





第2 整—12 ソウ 22.5 kA, 第3 整—16 ソウ 64 kA  
 第4 整—32 ソウ 77.5 kA, 第5 整—17 ソウ 77 kA  
 圧力 322 mmHg における動作 (第2, 第3 整電流  
 はオシロ素子の関係で省略).

図 5.1 流量変動時のオシログラム

Fig. 5.1 Oscillograms of chlorine flow control.

## (2) トランジスタ式制御用演算増幅器 (図 4.5 (b))

これは Differential Amplifier 形の高利得直流増幅器で、各種演算用として最適で大多数の要素はこの増幅器を採用している。

## (3) サイリスタ式電力増幅器 (図 4.5 (c))

上記演算増幅器の電ソウ電流および解コウ水量指令を電力増幅する。半サイクル応答レーミイ形磁気増幅器式ゲイト回路をもったサイリスタ式増幅器で、この種の電源でとくに困難とされている入出力特性の直線性も 0.5% 以下となっている。

## 5. 特性および運転状況

整流装置の特性は規約効率 97.5% で調整器損失も含み、接続導体損失がないからそのまま実際運転時の効率となる。また第1期の低い電圧での現地総合効率は 77 V, 120 kA にて 94.8% であった。共通油冷却は素子に余裕ある冷却を与え冷却水 23°C で油温 34°C, 素子ベース温度 50~53°C である。運転電圧の低い状態ではほとんどの変動要素は VCR でカバーされタップ切換器はあまり動作しない。この動作設定幅を狭くして ΔE 残留分をとることはソウ短絡過電流は問題ないので低下を避けるため行なっていない。塩素流量制御は既設電解工場も含めて行なわれている。各整流装

置の電流調整にはいろいろ異なる形が用いられているが、全制御系はいずれの系に対しても安定に選定されている。

図 5.1 は第2~第5電解工場で全  $Q_s$  が 2,000 Nm³/h のとき、ある消費端で絞って 1,700 Nm³/h に減少した際のオシログラムである。電ソウ電流、母管圧力ともに 1 分半後には新しい平衡状態に達し、その圧力偏差も水柱数 mm と満足すべき結果を得ている。

## 6. むすび

このレクチフォーマと塩素流量制御装置は納入以来好調な運転を続けており今後のソーダ電解設備の計画に貢献するとともに、レクチフォーマの地位を確立したといえる。新しい制御方式は生産時の電力原単位を最少としかつ需給の自動平衡をはかったもので、このように食塩電解工場でのオンラインコンピュータ装置としてはわが国初の試みで、いくつかの問題点にも遭遇したが無事目的を達成し得た。

最後にこれらの装置の完成に、終始ご指導ならびにご協力いただいた徳山曹達松野課長、守田、国広技師ほか関係各位によるところが大で本文発表のご快諾とあわせて厚くお礼申し上げたい。

# パワ・マニピュレータ

津田 栄一\*・四方 三二\*・池田 和郎\*・大野 義隆\*

## Power Manipulator

Central Research Laboratory Eiichi TSUDA・Sanji SHIKATA・Kazuo IKEDA・Yoshitaka OHNO

A power manipulator is an electrically remote control equipment for handling radioactive materials and built for the purpose of running with freedom inside a large hot cave to manipulate heavy articles. One introduced here was manufactured to the order of the Atomic Energy Establishment in Trombey, India and shipped out to the destination in July, 1965.

The feature of this set is that a power manipulator and an electric hoist are set up in the same gantry with easy handling of control cables and a large operating space as compared with the old set. It has a selective call device with which a number of control signals are sent over one cable in operation. This is a new attempt even in the world.

### 1. ま え が き

ホットケージ内の放射性物質を遠隔で取り扱うための装置として、マニピュレータはよく知られている。このうち、5kg 程度までのものを扱う機械式または双動サーボ電気式マスタ・スレイブ・マニピュレータは、当社で開発して以来ほぼ10年になり、製作台数も20台をこえ、イタリアへも輸出した。

パワ・マニピュレータは10~50kgの重量物を対象とし、また、ガントリと組み合わせて広い行動範囲をもった電動遠隔操作装置として、

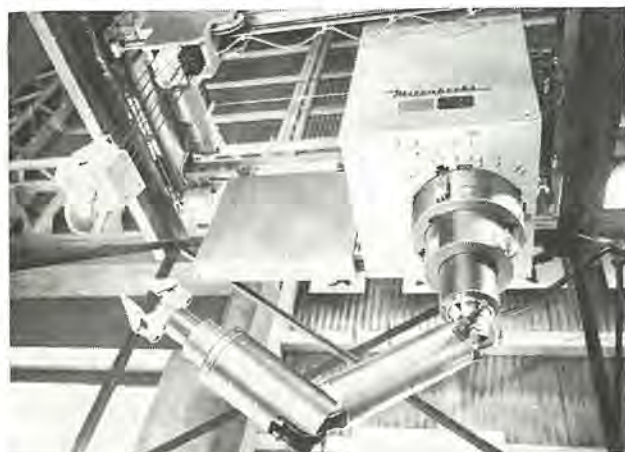


図 1.1 MA-H20 形 パワ・マニピュレータ  
Fig. 1.1 Type MA-H20 power manipulator.



図 1.2 パワ・マニピュレータ 制御盤  
Fig. 1.2 Control board for power manipulator.

本体をホットケージ内に設置しホットケージ外部から制御する。

機械式または双動サーボ電気式マスタ・スレイブ・マニピュレータは、比較的微細な操作に適しているが操作容量は小さい。また、機械式マスタ・スレイブ・マニピュレータでは、行動範囲を大きくとれない。そこで、操作容量が大でしかも行動範囲の大きいマニピュレータとして、パワ・マニピュレータが大形ホットケージの建設とともに広く要求されるようになった。これら各種のマニピュレータは、それぞれの特長をいかして併用されている。

昭和39年4月、インドのトロンプイにある原子力研究所から受注したパワ・マニピュレータを完成し、昭和40年7月、工場試験を終えて船積み発送した。図1.1は工場組み立て時のパワ・マニピュレータ、図1.2は制御盤である。このパワ・マニピュレータの特長は、マニピュレータ本体とホイストを同じガントリに取り付けコンパクトにしたこと、制御に周波数選択呼出装置を用い、制御ケーブルの心数を少なくしたこと、耐熱性に考慮が払われたことなどがあげられる。

### 2. 装置の概要

このパワ・マニピュレータを据え付けるケージは、幅約2.3m、長さ約18m、天井高さ約3.7mであり、マニピュレータ用のレール面の高さは床面から約3.3mである。また、ケージは床面から約2.3mの高さの隔壁で5室にわけられ、マニピュレータの通過時以外は、昇降壁で、レール部だけを除き完全に仕切られるようになっている。

パワ・マニピュレータには、マニピュレータの操作容量以上の重量物をも取り扱えるよう遠隔操作のホイストと組み合わせて用いることが普通である。従来の形式では、マニピュレータとホイストとは別個のガントリに取り付けられて、それぞれ別個に操作しているものが多い。しかし、この場合には、2台のガントリのため、必然的にガントリの行動範囲が小さくなり、多くのデッドエリアを生じる。そのほか2台のガントリの運転上の安全も考慮する必要がある。ここではマニピュレータとホイストを同じガントリに設置し、装置全体をコンパクトにしたので行動範囲が広くなり、また、制御ケーブルの処置も簡単なものとなった。

パワ・マニピュレータの構成は、マニピュレータ本体（ホイストを含む）および制御盤からなり立っている。本体はケージの長手方向に移動するガントリと、それにマニピュレータキャリッジとホイストキャリッジを取り付けたものからなり、これらのキャリッジは、ガントリの移動方向と直角な方向に移動する。マニピュレータキャリッジには、上下に伸縮



するテレスコピックチューブが格納される。このテレスコピックチューブの先端は回転と屈曲ができ、腕が取り付けられており、これは人間の肩に相当する。腕の先端には手首があり、屈曲運動をし、ひじに相当する。手首は、ハンドあるいはフックの開閉操作を行なわせ、また、連続回転運動を行なわせることができる。このマニピュレータは、約25kgのものをあらゆる方向に操作することができ、フックを用いれば最大500kgの荷重をささえることができる。一方、ホイストの最大容量は2トンである。

制御盤は、ケーブの外に置かれ、選択呼出装置を用いてマニピュレータの各部の運動を制御する方式を採用した。制御盤には16種の異なる操作をさせるハンドルスイッチ、各種制御スイッチ、ノーヒューズブレーカ、表示灯、速度調節ハンドル、握力調節ハンドル、手首の回転トルク指示計、握力指示計、位置指示計、各動作が監視できるようにしたグラフィックパネル、選択呼出装置、トランスおよびリレーを収容している。電源および制御は、ケーブ壁面のマルチピンソケットと制御盤の間を制御ケーブルで結ぶことにより、操作に必要な電力と信号を送っている。ケーブ壁面から移動するガントリへの制御ケーブルは、つるべ式の巻き込み滑車を通じて連結してある。ガントリに取り付けたリレー箱には、選択呼出装置、リレー、トランスおよび整流器を収容し、各部電動機へ電力を供給している。

安全装置は、つぎのようなものがある。テレスコピックチューブおよびホイストのワイローのゆるみを検出する装置をつけてワイローの損傷による事故や無理に巻き下げたときにおこる支障をなくするようにしている。リミットスイッチを用いて各行動範囲を限界に達すると制限し、また、キャリッジの傾きを検出して、その傾きを増加させる方向の動作を停止すること、および各ケーブの通過条件を検出するなどしている。そのほか、機械を保護するために機械式クラッチおよび電磁クラッチを用いている。

使用時の周囲温度40～80℃に耐える電気絶縁物が要求され、温度上昇を考慮して電動機類はB種またはF種を用いた。また、トランジスタも温度と耐放射線性を考慮してシリコンを用いた。配線材料や制御ケーブルも耐熱・耐放射線性を考慮し、ポリプロピレン絶縁電線を用い、ケーブルはそれをハイパロンで被覆したものを用いた。

設計方針としては前述した耐熱耐放射線の考慮に加えて、標準品の利用、保守の簡単化および機械要素部品の重量をできるだけ軽量にすることなどにつとめ、運転・保守が容易に行なえるよう考慮をはらった。

### 3. マニピュレータの機械装置

#### 3.1 マニピュレータの性能

マニピュレータは、人間の片腕と同じような八つの働きをもっている。これらは制御盤に取り付けた2個のハンドルスイッチで16種の異なる動作として制御される。重量物の運搬にはホイストを用いる。これは、制御盤の押しボタンスイッチまたはケーブ内では、ペンダントスイッチボックスで扱えるようにしている。(図3.1)

表3.1で示したように、手首回転、ひじ屈曲、肩の回転および屈曲、テレスコピックチューブ駆動、キャリッジの走行には直流直巻電動機を使用している。この電動機は、航空機の各種アクチュエータに使用されているもので、重量が軽く、比較的短時間に大出力を出せるもので、その構造は、普通の直流直巻電動機に電磁クラッチと減速歯車を組み込んで一体構造としたものである。電磁クラッチを組み込んでいるため、停止もすばやく行なわれ、オーバーランはほとんど起こらない。この電動機の特性曲線の一例を図3.2に示す。

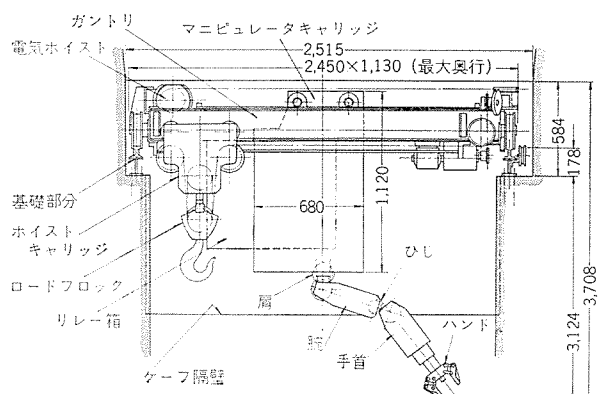


図 3.1 パワ・マニピュレータの全体配置  
Fig. 3.1 Outline of power manipulator, type MA-H20.

表 3.1 MA-H20 形パワ・マニピュレータの性能

動作部分	性 能	動作部分	性 能
◇ ハ ン ド	開き幅 最大 120mm 握 力 最大 80kg 閉速度 500mm/min	※ 肩	屈 曲 トルク 最大 3,100kg・cm 屈曲速度 1.5rpm 屈曲角 ±90° 回 転 トルク 最大 1,600kg・cm 回転速度 3rpm 回転角 ±180°
◇ フ ッ ク	開き幅 最大 72mm 閉速度 300mm/min 容 量 最大 500kg	※マニピュレータキャリッジ	走行速度 最大 4m/min 移動距離 1.25m
※手 首	回 転 トルク 最大 1,100kg・cm 回転速度 5.5rpm 回 転 連 続	ガントリ	走行速度 4m/min 移動距離 17m
※ひ じ	屈 曲 トルク 最大 3,100kg・cm 屈曲速度 1.5rpm 屈曲角 ±90°	ホイスト	容 量 2,000kg 引上げ速度 平均 3.1m/min 揚 程 4m
※テレスコピックチューブ	容 量 500kg 引上げ速度 1.2m/min 揚 程 2,165mm	ホイストキャリッジ	走行速度 4m/min 移動距離 1.36m

◇印は、直流分巻電動機を使用。※印は、直流直巻電動機を使用。  
各駆動速度は、最大負荷の場合の値である。また、駆動速度は、制御装置によって連続変化することができる。

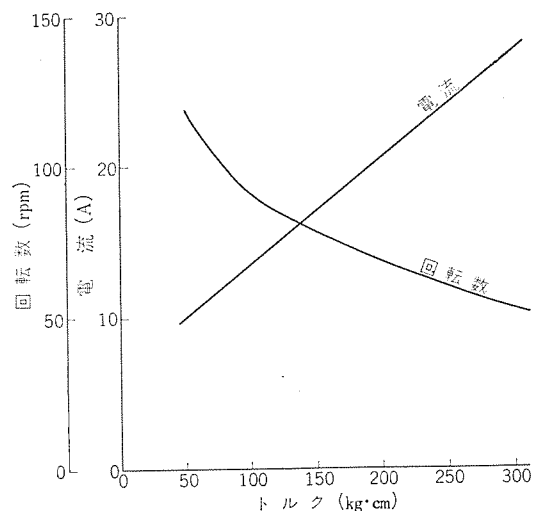


図 3.2 直流直巻電動機の負荷特性曲線  
Fig. 3.2 Typical load characteristic curves of DC series motor.

ハンドあるいはフックの開閉操作には、直流分巻電動機を使用している。この回転力を平衡車で減速してから電磁クラッチに伝え、さらに減速装置で減速している。電動機のトルクとクラッチ伝達トルクの関係が電圧にほぼ比例しており、設定電圧ですべる電磁クラッチを選定している。この電圧計は握力で目盛っているが、握力を設定するとその値で電磁クラッチは常にすべるので、クラッチ板

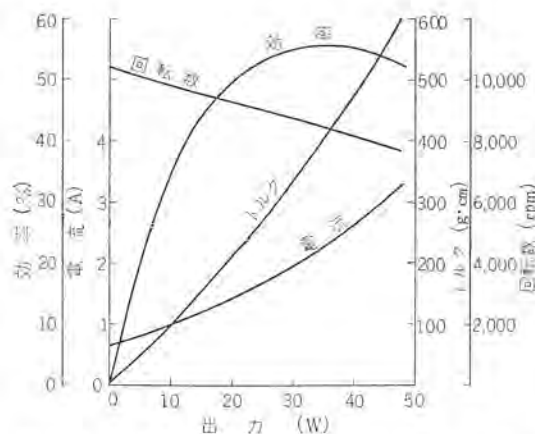


図 3.3 直流分巻電動機の負荷特性曲線  
Fig. 3.3 Typical load characteristic curves of DC shunt motor.

の選定にはとくに注意した。この電動機の実特性曲線の一例を図 3.3 に示す。

### 3.2 ガントリとその駆動部

ガントリは I 形鋼およびミジ形鋼を溶接した長方形枠組で、4 個の車輪で荷重を受け、ケーブの長手方向に走行する台車である。ガントリの駆動は、1 軸 2 輪駆動方式とした。駆動機構は三相誘導電動機、減速歯車列、電磁クラッチおよびローラチェンからなる。非常の場合とかマニピュレータが故障した場合に、マニピュレータを移動させることができるように、電源の供給をたてば電動機車軸の結合が切れるので、制御ケーブルを引張ればガントリが容易に動くようになっている。ガントリの位置指示のため、駆動軸の歯車から減速してシンクロ発信機を回転し、制御盤へ回転角の信号が伝達される。

### 3.3 マニピュレータキャリッジとその駆動部

マニピュレータキャリッジは、テレスコピックチューブを収容する箱で、ガントリの I 形鋼上部のレール上を走行する。駆動方式は、1 軸 2 輪駆動をとった。駆動車輪 2 個と従車輪 2 個で荷重を受けて走行する。軸間距離を大きくとれないうに、腕を水平にして取り扱うとき大きな転倒モーメントを生ずるので、転倒防止用車輪 2 個を設けている。駆動軸に取り付けられた鎖車には機械式クラッチを入れて障害物に当たったとき機構に損傷がおこらないようにしている。マニピュレータキャリッジの位置指示のため、駆動軸の回転を歯車で伝えてシンクロ発信機をまわし、制御盤へ回転角の信号が伝達される。

### 3.4 テレスコピックチューブの構成および駆動部

テレスコピックチューブは三つのチューブから構成され、インナチューブには肩回転および肩屈曲の両駆動機構が収められている。腕はインナチューブの先端にピンで取り付けられている。テレスコピックチューブは各チューブとも 2 本のワイヤロープでつり下げられ、1 本が切れてもなお十分安全であるように設計した。また逆向きの引下げロープもつけてあるので、ある程度の押し込み動作ができる。各チューブはロープ支持で、同じ位置を保ち、キーで回転止めをしている。テレスコピックチューブの駆動機構の減速歯車列には機械式クラッチを組み込んでオーバロードに備えている。遊びフリーリミットスイッチを組み合わせたスラックロープ検出器は、ワイヤロープの損傷や押し込み操作などによって生ずるワイヤロープのゆるみを検出して、テレスコピックチューブがそれ以上伸びないように停止させるものである。

### 3.5 肩の構成およびその駆動部

肩の回転および屈曲機構は、テレスコピックチューブのインナチューブに

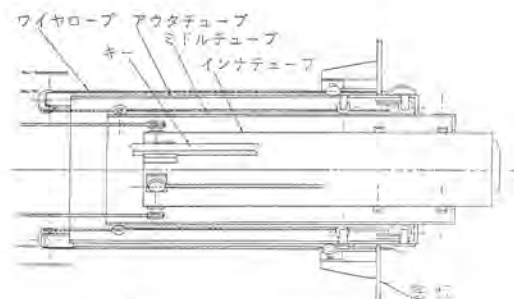


図 3.4 テレスコピックチューブ  
Fig. 3.4 Telescopic tubes assembly.

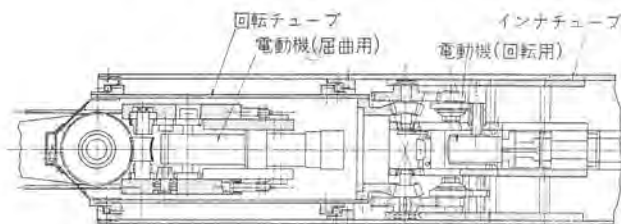


図 3.5 肩 Fig. 3.5 Shoulder assembly.

組み込まれている。肩の回転駆動部は、インナチューブに固定され、実際の回転は、インナチューブと相対的に回転できる回転チューブで行なうようにしている。スリッパリングを使わない方式としているため、リード線がねじられる。そのことを考慮し、回転角の制限は  $\pm 180^\circ$  としている。駆動には直流直巻電動機を使用し、オーバトルクによる損傷をなくすため、機械式クラッチを組み込んでいる。

肩の屈曲は、回転チューブの中に組み込まれている。駆動には直流直巻電動機を使用している。減速歯車列の最終段の平歯車は、腕に固定された平歯車とかみ合っており、最終段平歯車の回転によって、腕がその歯車の中心のまわりを回転するので、肩の屈曲動作が得られる。減速歯車列には機械式クラッチが組み入れてあり、オーバトルクに対処している。

### 3.6 腕の構成およびその駆動部

腕は手首と肩の間にあるもので、内部にひじ屈曲の駆動機構が取り付けられている。腕の構成およびひじの駆動方法は、3.5 項で述べたものと同じである。回転チューブが腕のカバーに相当している。

### 3.7 手首の構成およびその駆動部

手首は腕の先端に取り付けられ、ハンドやフックの開閉操作とねじり操作を行なわせる部分である。

ハンドとフックの開閉操作は、ラックの直線往復運動で行なうようにしている。この駆動には直流分巻電動機を使用している。これは、電動機のトルクとつぎに述べる電磁クラッチの伝達トルクの関係が電圧と直線関係にあるようにするためである。この電動機は高速でトルクが小さいため、平歯車で減速してこのトルクに適合する電磁クラッチを入れている。クラッチからでた回転力はさらに減速歯車をとおり、手首の中心部のネジ棒を回転させ、スリーブのキーで回り止めして上下にシユウ動するナットとかみあってラックを動かす方式をとっている。

握力の調節は、電圧を変えて行なっている。規定の握力以上をかけないよう電磁クラッチを用いて機械の損傷を防ぐとともに、握力の調節を行なわせている。

手首の回転の駆動には直流直巻電動機を使用し、減速歯車列で回転をおとして手首を回転させている。上に述べた開閉操作用ラ



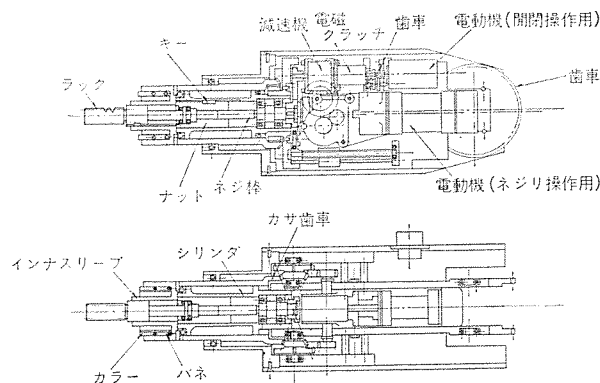


図 3.6 手首 Fig. 3.6 Wrist assembly.

ック機構はカサ歯車のスリーブの中に組み込まれており、自由に回転しうようになっている。これらの開閉と回転運動とはたがいに無関係（たとえば、物をつかんだ状態でねじること）に行なうことができ、スリップリングなしの機構で連続回転できる。回転トルクの制限には機械式クラッチを用いている。

### 3.8 ハンド、フックおよびそれらの着脱

ハンドは人間の指の働きをするものである。握力は、操作物の重量とつかみ面の摩擦係数から、80kg までさせるように設計した。ラックの運動をセクタギヤの回転に変え、リンク機構で指が平行に開閉するようにしている。フックは、重量 500kg までのものを垂直につり上げられるようにしたもので、ハンド、フックは、それぞれの目的に応じ、交換ジグを用いて遠隔操作で着脱できるようにした。ラックは特殊な形状のものとし、回転してかみ合わせることも、また逆のことも容易なラックとした。

### 3.9 2 トン電気ホイス

このパワ・マニピュレータは、さきに述べたように、マニピュレータ本体と電気ホイスを同じガントリにとう載していることが特長の一つであるが、ホイスの形状の大きなものを選ぶとマニピュレータキャリッジの行程が小さくなって長所がなくなる。そこで、形状の小さい  $\frac{1}{4}$  トンホイスを用い、動滑車をつけて容量 2 トンとした。ホイスキャリッジは、ガントリの I 形鋼をレールとしてロードブロックを送りネジで移動する。

ホイスの操作は、制御盤からの信号で操作できるほか、ケーブル内でもペンダントスイッチボックスで扱えるようにしている。

ホイスは、揚程 4m で、8 本つりの形式をとっているため、巻き込み量は約 35m に達する。そこで、フリート角をできるだけ小さくするため、段巻きとしている。遠隔操作されるため、このホイスには特別に巻き下げリミットスイッチを本体内に組み込んである。

ホイスのワイヤロープのゆるみを検出するため、テレスコピックチューブのスラックロープ検出器とほぼ同じものを取り付けて、ロープの異状をすぐに検出して巻き下げ動作を止めるように考慮してある。

### 3.10 ハンドルスイッチ

ハンドルスイッチは、マニピュレータの各動作を制御するためのものである。このマニピュレータの制御には、2 組の選択呼出装置を用いてあり、一組の選択呼出装置では同時に 1 個の動作信号だけが伝達される。ハンドルスイッチは、これに対応するため、ハンドルの前後・左右・回転・上下の各終端で計 8 個のスイッチがはいようになっており、一つのスイッチを入れた状態では他のスイッチははいらないよう機械的にロックさせる形式のものを開発した。このハンドルスイッチ二組によって、マニピュレータの 16 動作が制御される。

パワ・マニピュレータ・津田・四方・池田・大野

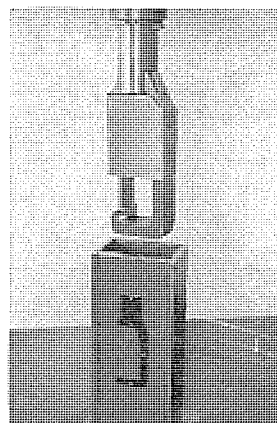


図 3.7 フックおよび着脱ジグ  
Fig. 3.7 Hook and changing jig.

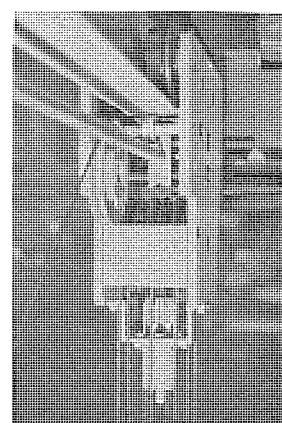


図 3.8 ホイスキャリッジ  
Fig. 3.8 Hoist carriage.

表 3.2 ハンドルスイッチの動きとマニピュレータの動作との関係

ハンドルスイッチ	ハンドルスイッチの動き	マニピュレータの動作
左 手	左右に動かす	ガントリが左右に移動する。
	上下に動かす	テレスコピックチューブが上昇下降する。
	前後に動かす	肩が前後に屈曲する。
	左右にねじる	ハンドあるいはフックが左右に回転する。
右 手	左右に動かす	ひじが左右に屈曲する。
	上下に動かす	ハンドあるいはフックが開閉する。
	前後に動かす	マニピュレータキャリッジが出進、後退する。
	左右にねじる	肩が左右に回転する。

## 4. マニピュレータの電気制御

### 4.1 性能

このマニピュレータは、オン・オフ制御によって所要の動作をうるものである。パワ・マニピュレータを遠隔制御するにあたっては、同時に得られる動作数は 2 個で十分で、それ以上であると、かえって誤操作を生じやすいと考えられる。また、制御盤とマニピュレータとを結び制御ケーブルはできるだけ心数を少なくしてその取り扱いを容易なものにすることが望ましい。これらの点を考慮して、マニピュレータの制御には、二組の選択呼出装置を用いることにした。すなわち、制御スイッチを入れると、制御盤の選択呼出装置の発振器の特定周波数の信号が、制御ケーブルを経てガントリの受信器に伝えられ、これによってリレーを作動させて、マニピュレータ各部の電動機を制御するようにした。

制御ケーブルの構成は、動力供給系と制御信号伝達系、表示信号伝達系からなるが、制御信号伝達系は 2 本の線だけでよく、また、表示信号伝達系は、制御スイッチの動作と組み合わせることによって、各動作が限定位置に達したことを表示するための伝達線も 2 本となり、制御ケーブルの心数を大幅に減らすことができた。

マニピュレータ本体およびガントリの制御スイッチとして二組のハンドルスイッチを用い、ホイスの操作用としては押しボタンスイッチを用いた。ホイス操作はケーブル内で直接行なえるよう、ペンダントスイッチボックスがリレー箱に取り付けられるようになっており、このときは選択呼出装置を通さないようになっている。

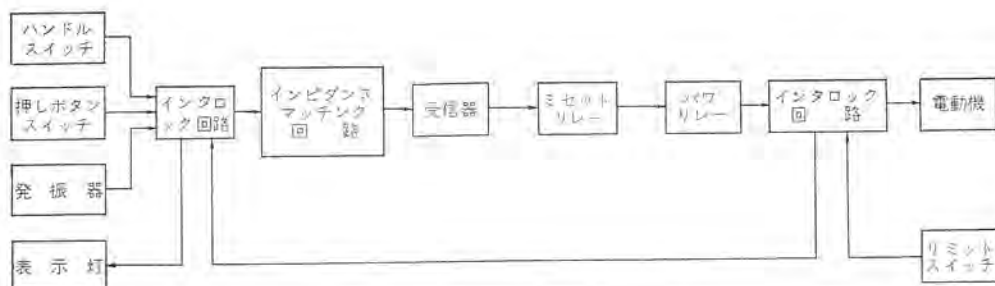


図 4.1 制御系のブロック線図  
Fig. 4.1 Block diagram of control system.

マニピュレータ本体はすべて直流電動機を用いてあり、その供給電圧を変えることによって連続可変に速度制御できる。ホイストおよびガントリの駆動は、いずれも定速とし、交流電動機を用いた。

位置表示としてはさきにも述べた各動作が限定位置にあることの表示以外に、ガントリ、マニピュレータキャリッジおよびテレスコピックチューブの位置表示を全ストロークにわたって行なっている。そのほか、握力および手首の回転トルクの表示も行なっている。

安全装置としては、テレスコピックチューブ・ロープおよびホイスト・ロープのゆるみを検出、マニピュレータキャリッジの傾き検出およびケーブル間の隔壁通過のための条件検出などのため、種々のリミットスイッチを用いて安全操作が行なえるようにしてある。

制御盤とマニピュレータ本体とを接続する制御ケーブルとして、30心複合同軸ケーブルを使用し、使用時の周囲温度が40～80℃であることから絶縁体にポリプロピレンを用い、外部被覆にはハイロンが用いられている。この制御ケーブルは、非常の場合にガントリを移動するため引っぱることができるよう、内部にステンレス鋼索を入れてある。

#### 4.2 制御回路

ホイストを含め、マニピュレータの制御回路は、基本的にはすべて同じものである。図4.1は、制御回路のブロック線図である。さきにも述べたように、このパワ・マニピュレータの全動作数は20あり、このうち16動作はマニピュレータ本体に属し、2台のハンドルスイッチによって制御され、残り4動作はホイストに属し、4個の押しボタンスイッチによって制御される。また、全動作の半分の10動作ずつがそれぞれ別個の選択呼出装置を用いており、ハンドルスイッチ1個と押しボタンスイッチ2個が一組の選択呼出装置に組み合わせてある。制御はつぎのようにして行なわれる。

- (1) ハンドルスイッチの一つの接点が投入されると選択呼出装置の発振器とインピーダンスマッチング回路が接続される。
- (2) ハンドルスイッチが1動作を制御しているとき、残りの7動作は機械的にロックされ、同時に投入されない。また、2個の押しボタンスイッチは電気的にインタロックされる。
- (3) 発振器の特定周波数の信号は、インピーダンスマッチング回路から制御ケーブルを経て、受信器に伝えられる。
- (4) 発振器の周波数に合致した受信器が共振し、ミゼットリレーのコイルを励磁する。
- (5) ミゼットリレーの接点により、ワイヤリレーを働かせ、所要の電動機が駆動される。
- (6) 所要の動作が限定位置に達するとリミットスイッチが作動し、電動機は停止する。同時にリミットスイッチの常開接点が閉じ、リミットスイッチが作動したことが制御ケーブルを経て制御盤に伝達され、表示灯が点灯する。

制御の基本動作は以上のとおりであるが、同じ組の選択呼出装置に属する各電動機のリミットスイッチの常開接点は、すべて並列に

接続され、リミットスイッチが作動した信号は、1本の線で伝達するようにしてある。これには誤動作が生じないようにハンドルスイッチや押しボタンスイッチなどの制御スイッチと保持継電器を組み合わせである。このように、制御信号伝達系および位置表示信号伝達系に要する線の数は、選択呼出装置を用いることによって、大幅に少なくすることができた。

#### 4.3 選択呼出装置

この装置は、1本のケーブルで多数の信号を送るためのもので、送信側には異なった10種の周波数を発生する音叉発振器、受信側には送信側に対応する周波数の10種のリード共振器からなる。スイッチ操作により、一つの音叉発振器からの信号は増幅され、1本の制御ケーブルを経て、受信器に伝えられる。受信器の10種のリード共振器のうち、発振器の周波数に適合したものが共振し、これによってミゼットリレーを励磁させている。この装置では、すでに述べたように、同時に二つ以上の信号を送ることはできないが、多数の信号をアランダムに順次送る場合には信号伝達のケーブルが1本で済み、被制御側と制御盤とを結ぶケーブルの構成を単純なものにできる。また、発振器、共振器とも構造が簡単であり、室温から100℃くらいまでの温度変化に対して周波数の安定性も良好であるので、このマニピュレータの制御には好適な方式である。

#### 4.4 握力と手首回転トルクの指示

握力の調節は、直流分巻電動機への供給電圧を変えることにより行なっている。オーバトルクラッチとして電磁クラッチを入れているが、これは電動機と並列に結線してある。電動機の出力トルクと電磁クラッチの伝達トルクはほぼ電圧に比例していることを利用して、握力の表示に電圧計を用いている。

手首回転トルクの表示には直流直巻電動機の特長を利用し、電流計を用いて負荷時のトルクを読み取ることができる。

#### 4.5 位置指示

ガントリ、マニピュレータキャリッジおよびテレスコピックチューブの位置をシンクロ発信機とシンクロ受信機を用いて指示させている。

#### 4.6 安全装置

各動作にはリミットスイッチで行動範囲を制限し、運動の限界をこして生ずる支障を防止している。

マニピュレータがケーブル間の隔壁を通過するとき、隔壁や側壁に当たって損傷しないようマニピュレータ各部を一定の位置に設定する必要がある。マニピュレータがこれらの位置に達すると制御盤の表示灯が点灯し、全条件がみたされないと通過できないようにインタロックされる。

キャリッジが障害物に当たったり、また、テレスコピックチューブ以下の部分が障害物に当たってキャリッジが傾斜しようとするとき、その傾きをリミットスイッチで検出して、その方向の動作を停止させるようにしている。

テレスコピックチューブをつっているワイローがゆるんだりあるいは



は切断のためにゆるみ、スラックロープ検出器が働いたときは表示灯で知らせるほか、全動作を停止して装置を保護するように働く。このとき操作者は、スラックロープエマージェンシ押しボタンスイッチを押せば、ロープの切断や特別に異状のないかぎり、テレスコピックチューブは上昇できる。安全を確保するため、制御回路を働かせたくないときは、キースイッチでロックアウトできるようにしている。

#### 4.7 ホイストの電気制御

ホイストの制御は、マニピュレータ本体と同じであるが、ハンドルスイッチではなく、押しボタンスイッチで制御される。また、ケーブル内でもペンダントスイッチボックスで扱えるようにしている。このときは、選択呼出装置のリレー回路を経ず、バイパス回路で制御している。この制御で、ガントリ、ホイストキャリッジ、巻き上げおよび巻き下げの操作ができ、通常のホイストの操作と同じである。

安全装置としては、過巻き防止、巻き下げ制限、ホイストキャリッジの行動範囲制限、ケーブル隔壁通過条件検出用リミットスイッチおよびワイヤロープのゆるみを検出するリミットスイッチを設けている。過巻き防止用リミットスイッチはロードブロックでまた巻き下げ制限は、ホイストの電動機軸からカム板でリミットスイッチを作動させて行なう。マニピュレータがケーブル隔壁を通過するための条件として、ホイストキャリッジがガントリの中央にあることおよびロードブロックが上限にきていることの二つである。ワイヤロープがゆるむとゆるみを検出して巻き上げ、巻き下げを停止させるようにしている。

#### 4.8 電気部品の耐熱・耐放射線性

使用時の周囲温度 40～80℃ に耐えることとあった。そこで、温度上昇も考えて、電動機類はすべてB種またはF種の絶縁物を使用した。リレーなどの絶縁物および配線用線の被覆にもとくに耐熱性のある絶縁材料を用いた。

選択呼出装置に使用しているトランジスタやダイオードも耐熱性と耐放射線の面から考えてシリコンを用いた。

### 5. 総合検査

各種安全装置の作動は、十分満足できるものであった。また、

マニピュレータのロープゆるみ検出機構は、押し込み力 80kg において作動するように調節された。機械式クラッチは、25% オーバードトルクですべるように調節された。

ケーブルの外径は、約 25mm (約 1 インチ) であるが、使用側で設置した滑車の外径は 18 インチであった。そこで、15 インチ滑車の耐久試験製図を作り、繰り返し曲げ試験を行なった結果 10 万回繰り返しにも異状はなかった。

### 6. むすび

以上のとおり、インド原子力研究所へ納入したパワ・マニピュレータの概要を述べたが、要点をまとめるとつぎのようになる。

(1) マニピュレータとホイストを同一ガントリに取り付けた。これにより、行動範囲も広く、ケーブルの処理も簡単で、非常にコンパクトな形状とすることができた。

(2) マニピュレータの制御に、選択呼出装置を用いたことにより、制御ケーブルの構成を簡素にすることができた。

(3) 各駆動部には、機械式クラッチまたは電磁クラッチを入れ、機械の損傷をなくすようにした。安全装置としては、クラッチのほか、マニピュレータおよびホイストのスラックロープ検出、マニピュレータキャリッジの傾きを検出できるようにし、機械を安全な方向に作動するようにした。

(4) 周囲条件 40～80℃ というきびしい要求のため、電機品の絶縁材料を厳選した。そのほか、耐放射線性の面からも考えて、特殊仕様の電機品を多く関係各製作所で開発した。

(5) 性能試験および安全装置の試験結果は良好で目的を達成した。このパワ・マニピュレータが、インドで好調な運転にはいる日を期待してこの文をむすぶこととする。

終わりに、パワ・マニピュレータの輸出 1 号機の開発にあたり、小形特殊電動機の製作を担当された当社名古屋製作所および電気ホイストの製作を担当された福岡製作所、工作・試験・調整に従事された当所工作部の関係者および直接間接にご援助ご指導下さった関係諸氏に深謝するしだいである。

## CdS 蒸着膜

伊吹 順章\*・吉沢 達夫\*\*・大西 勝\*\*

## Vacuum Deposited CdS Thin Films

Central Research Laboratory Sumiaki IBUKI・Michio YOSHIZAWA・Masaru OHNISHI

Optical, electrical and X-ray diffraction properties of vacuum deposited CdS thin films were investigated on their relationship with substrate temperature or source temperature. These properties are sensitively affected by the evaporation condition and heat treatments after deposition. The CdS films deposited on substrate at low temperature were found having low resistivity and dark brown colour. The low resistivity produced is believed to be due largely to the imperfections of CdS lattice structure. Correlation among various factors in producing the films was discussed.

## 1. ま え が き

電子回路の小型化の要請から蒸着薄膜を回路素子として使おうと言う試みが近來数多くなされており、小型回路の電極、抵抗体、キャパシタンス等の用途ではすでに実用化されている。一方薄膜能動素子に関しても1962年RCAからgate電極が絶縁されている電界効果型のトランジスタ(TFT)<sup>(1)</sup>が発表され実用化の第一歩を踏み出した。その他薄膜のもつ特長を生かし回路素子への応用的見地から各方面で種々の研究を広範囲に行なっているのが現状である。ここで述べる硫化カドミウムに対しても例外でなく、光導電セル、光起電力セル、薄膜トランジスタ、および薄膜ダイオードとしての応用的研究が活発に行なわれている。とくに光起電力セルとしては、いまのところまだ効率はせいぜい5%とシリコン太陽電池に比べ低いが、シリコン太陽電池に比べ高温での動作が可能である。放射線に対して強い。単位重量当たりのpowerが大きくなる。大面積のものが得られるなどの点からすでに実用の段階にあるのは注目される。

そこでわれわれの研究室でも数年前よりphotoconductiveおよびphotovoltaicなCdS蒸着膜の製作の一環として、pure CdS蒸着膜の特性とその蒸着条件の関係の研究を継続してきたが、蒸着源温度および下地温度の効果に関して一応の結論が得られたのでここに報告する。

## 2. 薄膜に関する一般的考察

蒸着膜を実用化しようとする場合、常に問題となるのがその再現性である。まずここで蒸着膜における再現性の悪さがいったい何に原因するのかを考えてみる。

図2.1は真空蒸着膜を作成する場合に問題となる蒸着factor間の相互関係を示したものである。同図の詳しい説明は別の機会にゆずるが、結局良い結晶性を有する膜をうるには上記の諸factorをいかに調和させるかであり、それらのfactor間の調和が乱れた膜は種々の結晶構造不完全性(vacancy, interstitial atom, impurity, grain boundary, amorphous, strain, pinhole)を含むものとなるだろう。通常真空蒸着法により膜を成長させる場合はこれらの諸factor間の調和が破れているのが普通であり、不平衡状態での結晶成長という問題になる。その場合、膜中には必然的に多くの欠陥を含むこととなり、これが特性の経時変化、種々の処理を加えることにより特性が大きく変るなどの不安定性や、

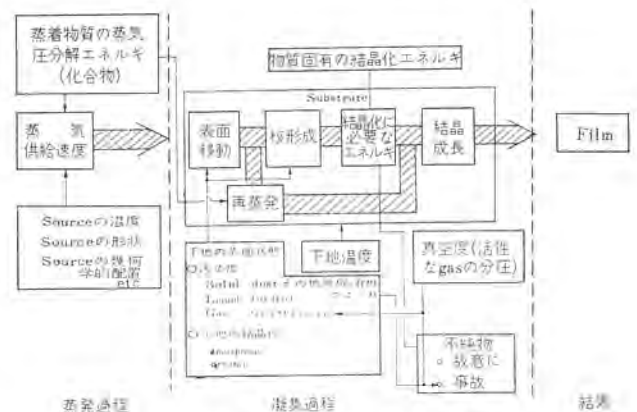


図 2.1 蒸着 factor 間の相互関係  
Fig. 2.1 Correlation among the factors connected with evaporation.

再現性の悪さの主原因となっている。結晶性の良い膜は一般に良い特性を示すのが普通であり、このためにも上記諸factor間の調和をはかることが重要となる。

以上 CdS 薄膜の蒸着 factor の変化による特性(光学的、電気的、X 線的)の変化を述べるに先だて、薄膜一般に関する蒸着 factor 間の相互関係を述べた訳であるが、以下に CdS の蒸着時の下地温度効果と蒸着源温度効果という2点に限って記述する。

## 3. 試料の製作

## 3.1 蒸着装置

図3.1にこの実験に使用した蒸着装置の構成図を示す。装置の到達真空度は液体窒素トラップを使用して  $8 \times 10^{-7}$  Torr 程度で

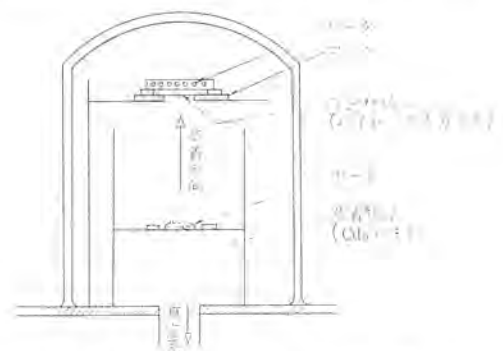


図 3.1 蒸着装置略図  
Fig. 3.1 A sketch of evaporation apparatus used.



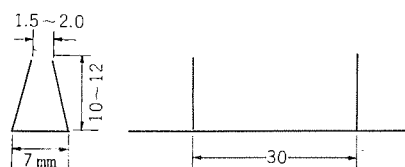


図 3.2 ポートの形状  
Fig. 3.2 The shape of boat used.

表 3.1 下地温度効果実験用試料

Sample No.	処 理	Source 温度 (°C)	下地温度 (°C)	膜 厚 (μ)	蒸着速度 (Å/sec)
No. 1	A な し	700	110	1.8	13.7
	B Ar 中 450°C, 1 h				
No. 2	A な し	700	205	1.5	11.9
	B Ar 中 450°C, 1 h				
No. 3	A な し	700	300	1.1	9.2
	B Ar 中 450°C, 1 h				
No. 4	A な し	700	383	0.9	5.5
	B Ar 中 450°C, 1 h				

下地-蒸着源距離: 13 (cm) 一定  
蒸着時真空度:  $3 \times 10^{-6}$  Torr 以上

表 3.2 作成試料一覧

Sample No.	処 理	蒸着源温度 (°C)	下地温度 (°C)	真空度 (Torr)	膜 厚 (μ)	蒸着速度 (Å/sec)
S1-	A な し	600	室温	$3 \times 10^{-6}$ 以上	2.6	6.78
	B in Ar, 450°C, 1 h					
S2-	A な し	700	室温	同上	4.5	32.8
	B in Ar, 450°C, 1 h					
S3-	A な し	800	室温	同上	5.5	175
	B in Ar, 450°C, 1 h					
S4-	A な し	900	室温	同上	4.5	500
	B in Ar, 450°C, 1 h					
S5-	A な し	600	室温	同上	1.1	2.62
	B in Ar, 450°C, 1 h					
S6-	A な し	700	室温	同上	2.0	13.3
	B in Ar, 450°C, 1 h					
S7-	A な し	800	室温	同上	2.1	35
	B in Ar, 450°C, 1 h					

あり、蒸着時真空度はイオンゲージで  $3 \times 10^{-6}$  Torr 以上に保って蒸着した。

### 3.2 蒸着用下地ガラス

本実験には下地としてパイレックスガラスを使った。パイレックスガラスは光学研磨仕上げされた  $50 \times 50 \times 0.5$  mm の大きさのものであり、測定用試料はそれを適当な大きさに切断して用いた。

### 3.3 蒸着源

蒸着源として用いたモリブデン製ボートの形状を図 3.2 に示す。厚さ 0.13 mm のモリブデン板を加工したもので、ボート内に三菱金属製 pure CdS (99.999 % up) 粉末を充填し、一方の熱電対をモリブデン板に接触せぬよう CdS 粉末中に埋め込み、別の熱電対を直接モリブデンボート内の底部に接触させた状態で両熱電対の指示を比較すると、モリブデンボート底部に接触させた熱電対の指示が 700°C のとき、粉末中に埋め込まれた熱電対の指示は約 30°C 程度低くなる。以下本文中蒸着源温度とは熱電対をボート底部に接触させた場合の温度を意味する。

### 3.4 作成試料

この実験中の同一番号の試料で一連の実験（透過率、比抵抗、X線回折、温度特性 etc.）はすべて  $50 \times 50 \times 0.5$  mm の一枚の下

地ガラスに蒸着したものを適当に切り出して使っており、すべての data はガラス下地上での部分による特性のパラッキの範囲内でそのまま対応させることができる。その特性のパラッキを比抵抗測定法でチェックした結果では、下地温度および蒸着源温度による変化に比べると小さいが、数十%に達するものもあり data 相互の互換性もその程度の余裕をみる必要がある。

#### 3.4.1 下地温度効果測定用試料

下地温度効果は表 3.1 に示した四種の試料を中心に実験しており、X線回折に使った特別の試料に対しては本文中に各々蒸着条件を指示した。

#### 3.4.2 蒸着源温度効果用試料

表 3.2 に作成試料の一覧表を示す。その他の実験目的で別個に作成した試料については本文中に各々指示してある。

## 4. 実験結果

### 4.1 下地温度効果

#### 4.1.1 分光透過率からみた下地温度効果

図 4.1 は蒸着源温度を 700°C 一定に保ち、下地温度を変えた場合の CdS 蒸着膜の分光透過率曲線を示したもので、下地温度が 110°C の試料 No. 1-A では吸収端がめいりょうになっており、吸収端より長波長側での透過率も減少している。下地を加熱せず蒸着した場合はそれがいっそう顕著となり、吸収端は見かけ上 5,400 Å (hexagonal CdS の吸収端は室温で 5,150 Å 程度である) と大きく長波長側へ移動するだけでなく、だらだらした吸収がずっと長波長側まで続く。この場合の膜の色は少し透明度を有するかつ色を呈し、下地温度が高くなるにしたがって CdS 本来の黄だいたい色の色調に変化してゆく。そして下地温度が 205°C 以上の試料では、多少吸収端が短波長側に移動しているがそれほど明確な変化はみられない。また同図の曲線にみられる周期的な振動は単なる interference の効果である。

図 4.2 は図 4.1 で示された試料の分光透過率が熱処理によりどう変るかを示したものである。No. 1-A は下地温度 110°C で蒸着したもので、No. 1-B はそれをアルゴン雰囲気中で 450°C 1 時間、同様に No. 4-B は No. 4-A にアルゴン雰囲気中で

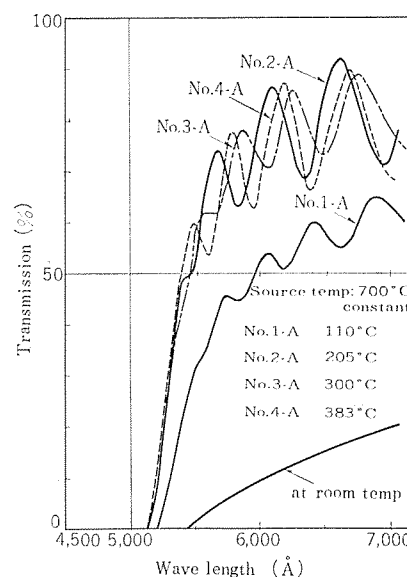


図 4.1 分光透過率曲線の下地温度による変化  
Fig. 4.1 Substrate temperature dependence of spectral transmission.

450°C 1時間の熱処理を施したものである。比較的低温 (110°C) で蒸着した試料 No. 1-A では熱処理をすれば吸収端はきわめてめいりょうになり、短波長側へ移動し、吸収端以長での吸収も著しく減少していることがわかる。No. 1-A と No. 1-B の色を比較すると、No. 1-A は少し茶色みを帯びただいだい色を呈しているが、No. 1-B では黄だいだい色へ変化し透明度もよくなる。下地温度を 383°C に保って蒸着した試料 No. 4-A とその処理後の膜 No. 4-B を比べれば、やはり吸収端は処理後にいっそう鋭くなっている。

以上透過率からみた下地温度効果を要約すれば次のようになる。吸収端は下地温度が高いほど Sharp になり吸収端より長波長側での吸収も減少する。また熱処理を施せば処理前に比べて吸収端は Sharp になり吸収端より長波長側での吸収も減少する。その変化の度合は蒸着時の下地温度が低い膜ほど大きい。

#### 4. 1. 2 比抵抗からみた下地温度効果

図 4. 3 は下地温度対比抵抗の関係を示したものである。同図の●印で示された data は下地温度を 110°C から 383°C の範囲で変化させた場合の様子であり、下地温度が高くなるほど得られた CdS 蒸着膜の比抵抗は増大している。また図 4. 3 で○印で示されている data はそれぞれの下地温度で蒸着された膜に、アルゴン雰囲気中 450°C 1時間の熱処理を加えた後の変化を示したものである。ここで注目すべきことはたとえば下地温度 110°C で蒸着した膜では熱処理を施すだけで五ヶタ以上も比抵抗が増加し、しかも熱処理後には、図からわかるようにだいたい同じオーダに比抵抗がそろっているということである。アルゴン ふんい 気中で熱処理する場合その最適温度は 550°C 前後であることがわかっており、以上の膜に 550°C 1時間の熱処理を加えれば比抵抗はさらに増加する。たとえば No. 4-A の試料にアルゴン 雰囲気中で 550°C 1時間の熱処理を加えると、その比抵抗は  $10^7$  ( $\Omega \cdot \text{cm}$ ) 程度にもなる。

以上比抵抗の下地温度依存性の実験結果を概略述べたが、このように CdS の場合、下地温度が低いほど蒸着膜の比抵抗が低く

なる原因として、従来は蒸着膜中に存在する excess Cd により説明されていた<sup>(2)~(4)</sup>。また藤原等<sup>(5)</sup>は CdS の蒸着膜を真空中で加熱してゆき、この際 CdS 蒸着膜から放出されるガスをオメガトロンを使って分析した。その結果 Cd が比較的低温 (140~150°C) から放出されるなどのことから Cd excess 論を裏付けている。また Boesman 等<sup>(6)</sup>により

(1) Svacancy から予想されるような Sharp な吸収が現われない。

(2) X線回折で free な Cd のピークが検出されないなどから低温下地上へ蒸着した CdS 蒸着膜の低抵抗の原因は interstitial Cd イオン によるという可能性が提案されており、Cd excess 論をいっそう有望視させるものとなっている。

しかし詳しくは考察のところで述べるが、

(a) Cd excess なる黒っぽい単結晶を使って薄膜と同様 (Ar 中、450°C、1時間) あるいはそれ以上の Ar 中、700°C、3時間の熱処理を行なっても薄膜におけるような色の変化はみられない。このように薄膜がとくに熱処理に敏感であること、

(b) 少なくとも従来実験されている下地温度の全領域 (室温から 500°C 程度) で Cd より S 蒸気圧が高いために、Cd excess 論で低抵抗になることを説明するには、下地が低温になるほど Cd excess の度合が大きくなると考える必要がある。

しかし下地温度が高くなると抵抗が増大するという実験事実に対する説明が従来の Cd excess 論では明確にされていない。極端な場合下地温度を液体窒素温度に保って得られるいっそう比抵抗の低い黒色膜では、下地に到来した Cd および S 蒸気はほとんどすべて下地上に捕獲され膜の Cd 対 S の成分比は蒸発源から飛び出した蒸気成分比と大差なくなると考えられ、Cd excess 論だけでは説明できない。以上の諸点から低温蒸着膜の場合の低抵抗および着色の原因と考える場合には、蒸着膜中に含まれる結晶構造不完全性ということを常に考慮する必要がある。以下この観点から議論を進めてゆく。

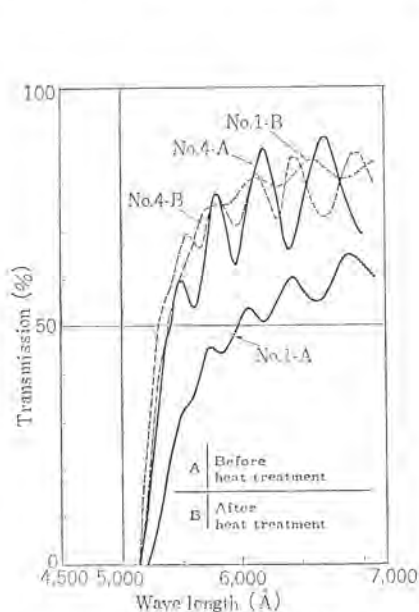


図 4. 2 熱処理の効果  
Fig. 4. 2 Effect of heat treatment for spectral transmission.

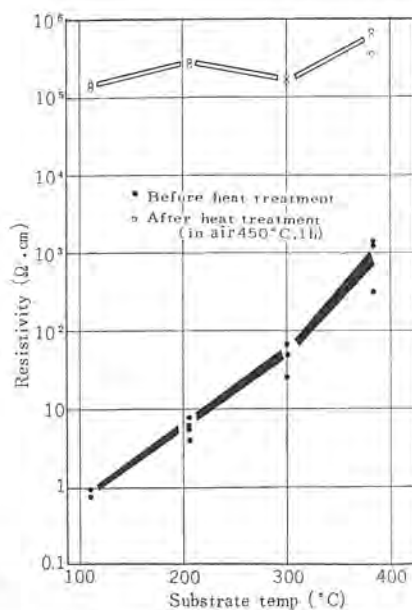


図 4. 3 比抵抗の下地温度による変化 (処理前後)  
Fig. 4. 3 Substrate temperature dependence of resistivity (before and after heat-treatment.)

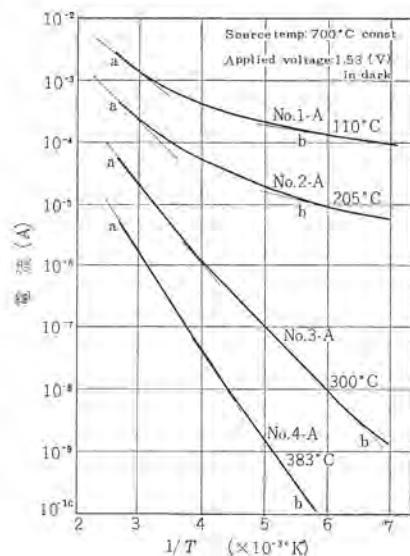


図 4. 4 温度特性曲線 (パラメータ: 下地温度、熱処理なし)  
Fig. 4. 4 Temperature dependence of electric current. (Parameter: substrate temperature, non heat-treatment.)



表 4.1 トラップレベル

Sample No.	活性化エネルギー (eV)	備 考
No. 1-A	a. 0.175 ~ b. 0.0275	連続分布ぎみ
No. 1-B	0.371	飽和領域あり No. 1-A にアルゴン中 450°C 1 h の処理を加えたもの
No. 2-A	a. 0.195 ~ b. 0.0457	連続分布ぎみ
No. 3-A	a. 0.248 b. 0.202	二つのレベルに分離
No. 4-A	a. 0.312 b. 0.280	二つのレベルに分離
No. 4-B	0.44	No. 4-A にアルゴン中 450°C 1 h の処理を加えたもの

## 4.1.3 温度特性

図 4.4 は下地温度をパラメータとして蒸着した試料の温度特性を示したものである。(横軸は絶対温度の逆数, 縦軸は試料に 1.53 V の電圧を印加したときの電流をそれぞれプロットしたものである。) 電極は CdS とよいオーミック接触を形成するインジウムメタルを 1 mm の間隔に真空蒸着して用いた。

図 4.4 からわかることは, 下地温度が低くなるにしたがって蒸着膜の温度に対する抵抗値の変化率が小さくなっている。たとえば試料 No. 1-A では, 試料温度が室温から -140°C に変わっても約 1 ケタ抵抗値が変化しているだけである。図 4.4 からトラップレベルを求めると表 4.1 のようになる。

この表から, 下地温度が低いほど活性化エネルギーが小さくなることわかる。また下地の温度が低い場合は図からもわかるように伝導体へ電子供給しているレベルが比較的浅いところに連続的に, しかも高密度に分布していると思われる。一方下地温度が 300°C 以上で蒸着された膜では二つの直線部分からなる。それらは下地温度が高くなると活性化エネルギーの小さいトラップの密度が減少し伝導を支配するトラップの深さが次第に大きくなっていることを示す。表 4.1 に示されているように試料 No. 1-A にアルゴン雰囲気中 450°C 1 時間の処理を施せば活性化エネルギーは 0.175 ~ 0.028 (eV) と大幅に増加していることがわかる。

注目すべき点としては低温下地への CdS 蒸着膜での低活性化エネルギーと熱処理による活性化エネルギーの増加である。

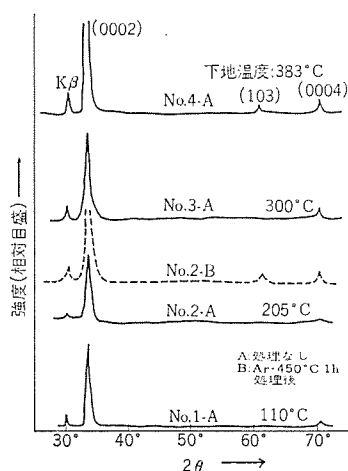


図 4.5 下地温度と X 線回折図形。蒸着源温度: 700°C 一定  
Fig. 4.5 X-ray diffractometer traces of evaporated CdS layers. (Parameter: substrate temperature.)

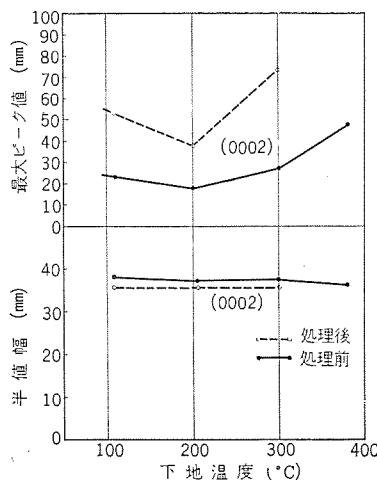


図 4.6 下地温度に対する (0002) 面の X 線回折強度の変化。蒸着温度: 700°C 一定  
Fig. 4.6 Substrate temperature dependence of X-ray diffraction intensity for (0002) face (Source temperature: 700°C.)

## 4.1.4 X 線回折からみた下地温度効果

図 4.5 は下地温度を 110°C, 205°C, 300°C, 383°C に保ったときに得られた膜に対する X 線回折図形を示したものである。その結果, 下地温度が 383°C で蒸着した膜ではわずかながら (103) 面の存在がみられるが, 下地温度が 110°C から 300°C の試料では (00l) 面以外の方位配列がみられず, 一般的に (00l) 面が優先的に方位すると考えられる。また又蒸着膜の結晶形はすべて  $\alpha$ -CdS (hexagonal) であり,  $\beta$ -CdS (cubic) の存在は認められなかった。以上のことから CdS 蒸着膜は下地に垂直に C 軸が方位化され, 下地温度が高くなると少し C 軸が垂直方向からずれてくるようである。また図 4.5 に破線で示したグラフは試料 No. 2-A をアルゴン雰囲気中で熱処理した No. 2-B に対する回折図形であり, 処理前には存在しなかった (103) 面が出現する。

図 4.6 は図 4.5 の (002) 面の最大ピーク値と半値幅を下地温度に対しプロットしたグラフである。ここでは便宜上その二つの値とも mm 単位で表示している。処理前は下地温度が高くなるほど, (00l) 面の最大ピーク値が大きくなる傾向がある。この data は試料の面積は同一であるがその厚みはおおの異なる (表 3.1) ので相対的なピーク強度は多少変化するだろう。またその半値幅は下地温度が 100→383°C の間では明確な変化がみられない。

次に熱処理後の値を比較すると, 最大ピーク値は熱処理により 2~3 倍増加している。一方半値幅は処理後数%程度減少しており, 熱処理により膜中のヒズミが減少したと考えられる。またシェアの式から処理前の (002) 方向の単位微結晶粒子の大きさを求めると約 3,000 Å の値が得られ, 処理後には多少大きくなっている。蒸着に使用した CdS 原粉の X 線回折をとると, 原粉には  $\alpha$ -CdS と  $\beta$ -CdS が混在しており, その 90% 程度が  $\beta$ -CdS (Cubic) であった。しかし蒸着膜で検出される結晶形は単に  $\alpha$ -CdS のみであった。

## 4.2 蒸着源温度効果

下地を加熱せず CdS 蒸着膜の特性の変化ポット温度の関数としてチェックした結果を以下に述べる。しかしわれわれの実験に使用したポットは蒸気の出口が比較的大きく, クラウドセルの条件を満足するにはほど遠く, ポット内で発生したガスは熱平衡状態

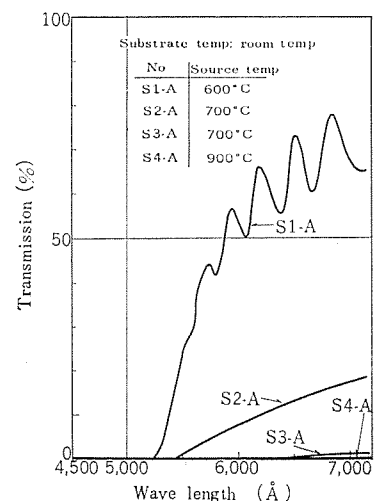


図 4.7 分光透過率曲線の蒸着源温度による変化  
Fig. 4.7 Source temperature dependence of spectral transmission.

(ボートの温度と同一温度)に達する以前に飛び出すと考えられる。また表 3.2 で示したように蒸着速度が各試料で大きく変わっており、純粋に蒸発源温度効果を示すものでなくむしろ蒸着速度の変化による効果の方が大きくなっていると考えられる。そこで以下蒸発源温度効果という場合には入射供給速度効果も含めたものとする。しかし一応ここでは蒸発源温度効果と入射蒸気供給速度の効果をわけて考えてみよう。前者は CdS 蒸着時の Cd と S の分解の程度を左右する factor となるだろう。ただし CdS が分解せずに CdS 分子の形で蒸発することができるかは疑問である<sup>(9)</sup>。もし CdS が完全に Cd および S に分解して蒸発するならば、蒸発源温度による効果は単に蒸気供給速度を変えるだけとなるだろう。一方 後者は図 2.1 に示したように蒸着膜の構造性のすべてに影響することがわかる。今蒸気供給速度が余りに大きくなれば、下地上に到達した原子が安定な点(結晶格子点)に落ち着く前に次の原子がやってくるので結晶構造上の乱れが大きくなる。また逆に余り小さいと安定な Cd-S pair を形成するに十分な Cd および S の密度を保てず再発の確率がふえる。また  $10^{-6}$  Torr 程度の真空度で蒸着した場合には、酸化などの残留ガスによる影響は蒸着速度に逆比例して現われる。すなわち下地上に到来する残留ガス分子と下地に捕えられた蒸着原子の反応と飛行過程での残留ガス分子と蒸着原子の衝突による反応がある。 $10^{-6}$  Torr 程度の真空度では前者が後者の確率に比べ十分大きいと考えられるが、いずれにしても余り蒸着速度が小さいと、酸化などの影響が次第に大きくなることは当然予想される。

#### 4.2.1 透過率からみた蒸発源温度効果

図 4.7 は蒸発源の温度により、CdS 蒸着膜の分光透過率がどう変わるかを示したものである。蒸発源温度が高くなるほど吸収端以長での吸収が著しく増加し、吸収端は次第に不めいりようになってくる。とくに蒸発源温度を  $900^{\circ}\text{C}$  で蒸着した試料 S4-A では  $5,000\text{Å}$  から  $7,000\text{Å}$  の波長範囲では完全に不透明になってしまう。図 4.8 は蒸発源温度  $600^{\circ}\text{C}$ 、および  $700^{\circ}\text{C}$  で蒸着した試料 S5-A のそれぞれに熱処理を施した試料 S5-B、S6-B にたいする分光透過率の変化の様子を示したものである(表 3.2

参照)。以上の結果を要約すれば、蒸発源温度が高くなるほど、吸収は著しく増加し吸収端はきわめて不明りょうになってくる。それらの膜に熱処理を施すと、吸収端以長の波長の光吸収は減少し、吸収端も明りょうになり CdS 単結晶と同じく室温で  $5150\text{Å}$  に sharp な吸収端を示すようになる。肉眼による観察では蒸発源温度が  $600^{\circ}\text{C}$  のときの CdS 蒸着膜は赤味を帯びた黄色を呈し、蒸発源温度が上昇するにしたがって茶色からかっ色半透明の色に変化してゆき、蒸発源温度が  $900^{\circ}\text{C}$  になると膜は暗黒色になってしまう。

以上の現象の説明として、蒸発源温度が高い場合は Cd と S の分解の割合が非常に大きくなるうえに、表 3.2 に示したように蒸着速度が非常に速くなっており、前にも述べたように結晶成長速度(下地温度)と蒸気供給速度間の調和が破れるので、得られた膜は高密度に構造不完全性を含んだものとなる。それが分光透過率での吸収端以長の吸収の増加あるいは低比抵抗の原因となっていると考えられる。それらの高密度に構造不完全性を含んだ膜を処理すれば、結晶格子点への再配列、いかえると結晶化が進み分光透過率の特性の改善、比抵抗の増加という結果を生じると考えられる。(ここで述べた構造不完全性に対する考え方および処理によるその緩和の様子についてはさらに考察のところで述べることにする)。

#### 4.2.2 比抵抗からみた蒸発源温度効果

図 4.9 に CdS 蒸着膜の蒸発源温度と比抵抗の関係を示す。図 4.7 の分光透過率の data では蒸発源温度が高くなるにしたがって吸収端以長の吸収が増加し、膜が黒く着色するという関係があったが、図 4.9 からわかるように比抵抗-蒸発源温度の関係は、蒸発源温度の変化に応じて比抵抗が単調に増減するといった簡単な関係で表わせない。図 4.7 と図 4.9 を対照させれば、より黒っぽい色を呈している膜が、必ずしも黄色い膜より比抵抗が小さくなっていないことに気付く。これは CdS 蒸着膜の着色の原因と低比抵抗の原因が必ずしも等しくないことを示している。このように不純物の効果が無視できる場合(少なくとも分光分析の結晶では、蒸発源温度の変化に対応する不純物の濃度の変

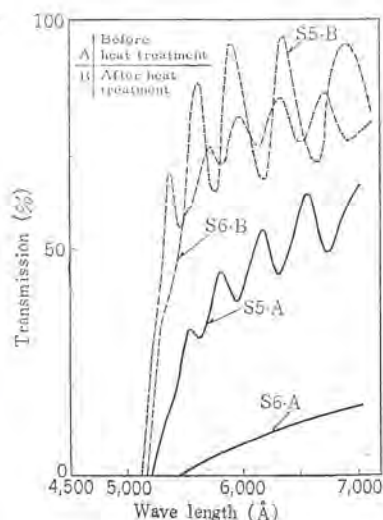


図 4.8 熱処理の効果  
Fig. 4.8 Effect of heat treatment for spectral-transmission.

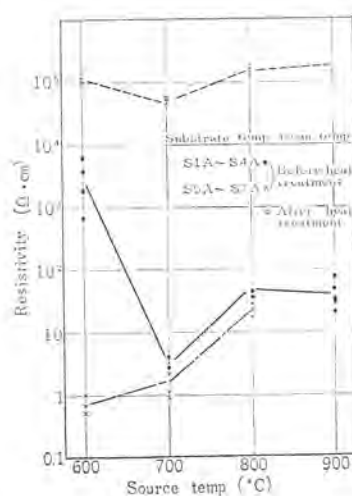


図 4.9 蒸発源温度による膜の比抵抗の変化  
Fig. 4.9 Source temperature dependence of resistivity. (Substrate temperature : room temperature.)

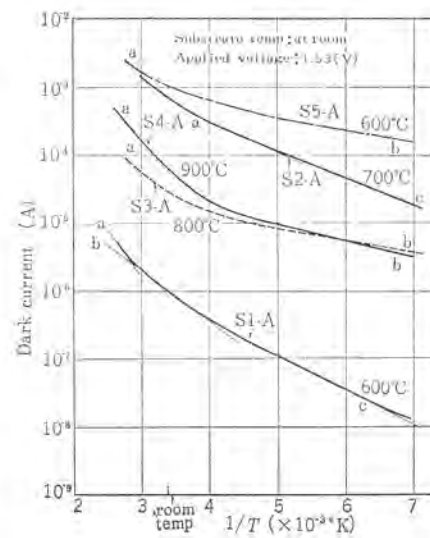


図 4.10 温度特性曲線 (パラメータ: 蒸発源温度熱処理なし)  
Fig. 4.10 Temperature dependence of dark current for no heat treatment layers. (Parameter : source temperature.)



表 4.2 活性化エネルギー

Sample No	活性化エネルギー (eV)	備 考
S1-A	a. 0.397 b. 0.150 c. 0.101	三つの直線部分に分離
S1-B	a. 1.98 b. 0.57	二つの直線部分に分離
S2-A	a. 0.160 b. 0.071	連続変化のみ
S3-A	a. 0.246 b. 0.044	連続変化
S4-A	a. 0.216 b. 0.037	連続変化のみ
S4-B	0.445	飽和領域あり
S5-A	a. 0.145 b. 0.029	連続変化のみ

化は検出できなかった)には Cd excess 論では黒っぽい膜のほうが比抵抗が大きいという現象を説明することはできない。このためには比抵抗と吸収に関する特異なこれらの現象を同時に説明できるような原因を考える必要があると思われる。また図 4.9 に蒸発源温度が 600°C, 700°C, 800°C のものについては, S1-A~S3-A および S5-A~S7-A の 2 組の試料に対する実験の結果を示すが, 蒸発源温度が 600°C の場合は 2 回の実験で比抵抗が大きく変化しており, またその後の実験でも 600°C 前後の data は大きなバラツキを示し再現性がきわめて悪い。これは Weindland の実験でも明らかのように CdS 蒸着膜の特性は 50°C から 100°C の間の下地温度の変化に著しく敏感であり, それと同様の効果であると考えられる。図 4.9 で○印で示された data は S1-A から S5-A までの各試料をアルゴン フォイ 気中で 450°C 1 時間の処理したものであり, 処理後にはすべての膜で比抵抗が大きく増加することがわかる。

#### 4.2.3 温度特性からみた蒸発源温度効果

図 4.10 は電流の温度変化を, この曲線の傾斜から求めた活性化エネルギーを表 4.2 に示した。このように活性化エネルギーの値は図 4.9 の比抵抗の大小関係に類似している。それらの膜を熱処理 (Ar 中, 450°C, 1 時間) すれば, 下地温度効果のところでも述べたように活性化エネルギーはすべての膜で増加する。とくに低比抵抗蒸着膜で著しい。なかでも S1-A を熱処理した S1-B の活性化エネルギーは 1.98 eV という大きな値を示し, この実験で検出された最高のものである。また処理後の膜では, 下地温度を変化させて蒸着したものと同様, 時おり温度特性に飽和領域を持つ枯渇形の特性が現われる。この飽和現象は下地を低温にして蒸着した膜を処理したものに多くみられる。そこで低温蒸着膜の熱処理による特性の変化を活性化エネルギーの変化から考えれば, まず処理前の低温蒸着膜で蒸着速度の速いものでは, ドナーレベル密度は連

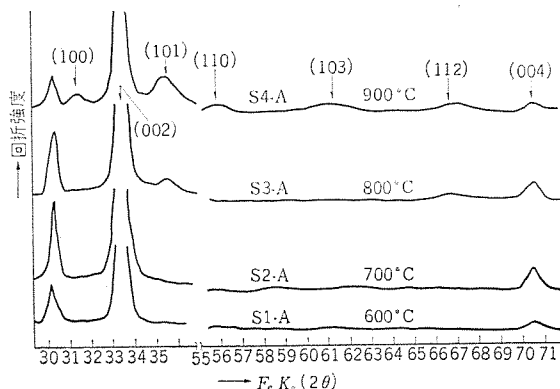


図 4.11 Source 温度に対する X 線回折図形の変化: 処理前 Substrate 温度 at room.  
Fig. 4.11 Effect of source temperature on the X-ray diffractometer patterns (before heat treatment.)

続分布をしており, 少なくとも測定した温度範囲で急激な変化はしていない。次にその膜に 450°C 程度の処理をすれば, とくに不安定なもの (たとえば正規の格子点から少しずれた原子, あるいは free または free に近い Cd, など) は消滅し, 比較的安定なものが残るため, レベルが分離し, 活性化エネルギーが増加する。

また図 4.10 と以前に掲げた下地温度効果を示す図 4.4 を比べればわかるように, 室温で同一程度の比抵抗を示すものでも温度特性の様子は非常に違ったものとなっている。(No. 4-A と S1-A), これは下地温度の効果は伝導に寄与するドナーレベルの深さに対するものであり, 蒸発速度はおもにレベルの密度を左右する効果を持つことが推察できる。

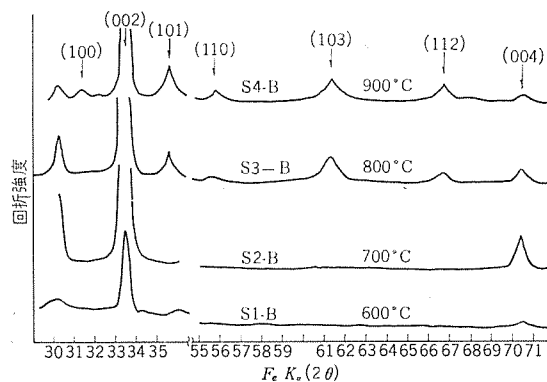


図 4.12 Source 温度に対する X 線回折図形の変化: 処理後 substrate 温度 at room.  
Fig. 4.12 Effect of source temperature on the X-ray diffractometer patterns. After heat treatment.

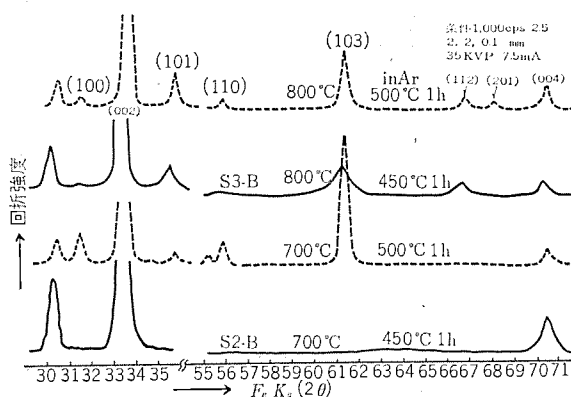


図 4.13 処理条件による X 線回折図形の変化. Source 温度 700°C および 800°C Substrate 温度 at room.  
Fig. 4.13 Effect of some heat treatments on the X-ray diffraction patterns.

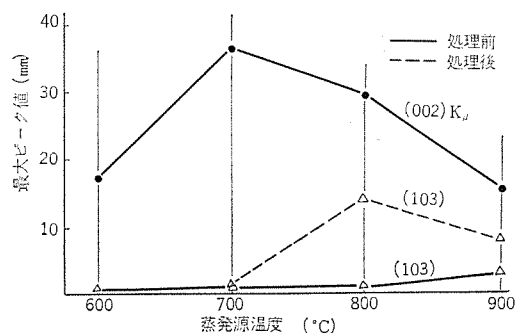


図 4.14 蒸発源温度をパラメータの場合の (103) と (002) 面の変化 (450°C 1 時間処理前後)  
Fig. 4.14 Source temperature dependence of the X-ray pattern intensities from (103) and (002) faces (before and after heat-treatment at 450°C for 1 h.)

#### 4. 2. 4 X線回折からみた蒸発源温度効果

図 4. 11 は蒸発源温度を 600°C, 700°C, 800°C, 900°C それぞれに変化させたときのX線回折図形を示したものである。蒸発源温度が 600°C, 700°C と低い場合には, hexagonal CdS の (00 $l$ ) 面からの回折ピークが表われるだけの場合が多い。蒸発源温度が 800°C になると非常に broad なピークではあるが, 新たに (101) および (112) 面の存在がみられるようになる。さらに蒸発源温度を高くすると (蒸着速度が大きくなっている), (00 $l$ ) はもちろん, (100), (101), (110), (103), (112), 面など数多くの回折ピークが出現する。次にそれらにアルゴン雰囲気中で 450°C 1 時間の熱処理を施したものについて図 4. 2 に示した。図 4. 11 と比べ (00 $l$ ) 以外のピークは明らかに Sharp になっていることがわかる, 以上のことから蒸発源温度が高くなるほど (蒸着速度が速くなるほど) 蒸着膜の結晶の方位は random になり, そのピークの広がりから膜内にはそうとうの格子ヒズミを含んでいると

思われる。そのような状態の膜を熱処理すれば, ピークが著しく Sharp になりヒズミの緩和が行なわれる。

図 4. 13 は処理温度を 500°C に上げてアルゴン中で熱処理した場合のX線回折図形を示す。その結果, (103) 面の半値幅で比較すれば, 500°C 1 時間のほうが 450°C 時間の処理に比べ, いっそう内部ヒズミの減少がみられ半値幅がさらに狭くなっている。以上はすべて S1 から S4 の一連の試料に対するX線回折の結果を示したものである。また図 4. 9 で蒸発源温度が 600°C のときの S1-A と S5-A とでは比抵抗が大きく違っていたが, X線回折から両者の膜の違いを調べると, S1-A は図 4. 11 からわかるように (00 $l$ ) 面のピークが現われるだけであるが, 一方 S5-A ではそれに加え (110), (103) 面の回折ピークが現われていた。S5-A の低抵抗の原因はこの優先方位のくずれに何らかの関係があると思われる。

図 4. 14 は S1 から S4 の同一面積の試料に対する (002) 面お

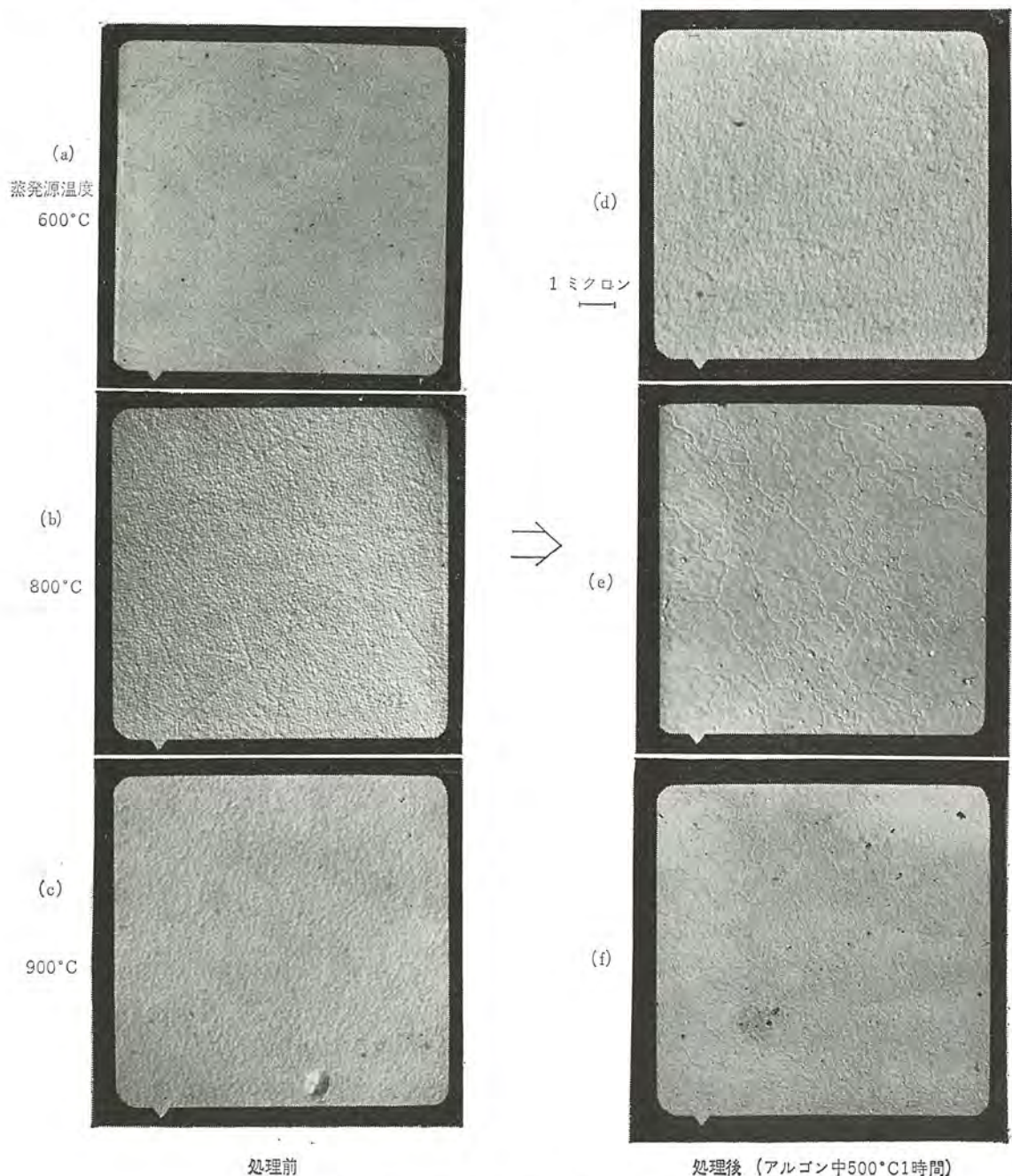


図 4. 15 CdS 蒸着膜の表面状態 (5,000 倍)  
Fig. 4.15 Electron microphotographs of evaporated CdS films.



よび (103) 面からの回折線の最大ピーク値をプロットしたもので、熱処理前の (002) 面からのピーク強度は蒸発源温度が 700°C のとき最大値を示す。

#### 4. 2. 5 電子顕微鏡による表面状態の観察

次に電子顕微鏡により CdS 蒸着膜の結晶状態の変化をしらべた。図 4. 15 の (a), (b), (c) はそれぞれ蒸発源温度を 600°C, 800°C, 900°C で蒸着した CdS 蒸着膜の表面状態を示す。それらを見れば、蒸発源温度が高くなるほど膜を形成する凝集粒子が大きくなっていることがわかる。しかし蒸着膜を構成する個々の結晶粒の大きさは、X 線回折の結果が示すように蒸発源温度が高くなるとかえって減少している。そこで蒸発温度が高くなるほど単に凝集粒子が大きくなるが結晶格子の周期性はかえって減少し、非結晶質成分の粒子として凝集する割合が増えたと考えられる。

次に以上の (a), (b), (c) の膜をアルゴン フォン 気中で 500°C 1 時間の処理をした膜の表面写真をそれぞれ (d), (e), (f) に示した。たとえば (a) と (b) を比較すると、処理前には平坦であった膜が処理後にはでこぼこがはげしくなり、結晶成長が行なわれたことを示す。(e), (f) では処理後に新たに数ミクロンにおよぶような粒界らしいものの発生がみられる。これらの粒界で形成される障壁が膜の特性 (電気的) を左右する大きな因子となるだろう。Dresner<sup>(3)</sup> は光照射時の mobility を測定し、このような CdS 蒸着膜の mobility が barrier のために小さくなることを確認している。

以上からわかるように pure なる CdS 蒸着膜を無定形下地上にいろいろ条件を変えて蒸着しても、せいぜい数ミクロン (一般には数百〜数千 Å) の微細結晶の集合体になるにすぎない。しかし Gilles と Van Cakenberghe<sup>(9)</sup> により提案された CdS 蒸着膜上に、Ag を薄く蒸着したあとに熱処理をすれば数 mm<sup>2</sup>〜数十 mm<sup>2</sup> 程度の単結晶化薄膜をうることも可能であり、不純物の薄膜の再結晶化過程への効果は注目すべきことである。

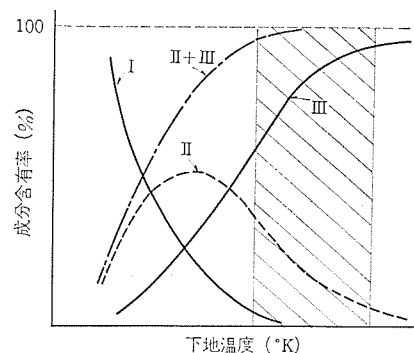
### 5. 考 案

以上の結果に基づき、下地が低温で蒸着した膜の低抵抗の原因および処理効果に関する定性的な考察を行なうことにする。

まず第一に下地温度が低い場合を考えると、Source からエネルギーを得て、下地に到達した Cd および S 原子 (S は大部分われわれが実験した 600°C から 900°C の範囲では S<sub>2</sub> 分子の形で下地上に到達すると思われる<sup>(2)</sup>) は急速にそのエネルギーを失う。そこで Cd および S 原子は最初下地へ到達した位置から移動することを妨げられ、hexagonal CdS の正規の格子点に固定される確率が減少し、膜は多くの結晶構造不完全性を含むものとなるだろう。換言すれば下地温度が低い場合、入射原子が結晶格子を作るに必要な結晶化エネルギーが十分供給されず、蒸着膜は非結晶成分を多く含む CdS 微結晶の集合体のような膜になる。低温蒸着膜では結晶化エネルギーの不足により、それらの欠陥のすべてが生成する可能性があり、非結晶質の混入の割合がふえ、全体的な結晶性が悪くなると考えられる。

図 4. 1 の透過率のデータから、下地温度が低いほど吸収端が不明瞭になり、吸収端以長での吸収が増加する。これは蒸着時の下地温度が低いほど、前述の構造不完全性に基づく準位が伝導体と価電子帯との間に生じ吸収端以長の吸収が増加すると考えられる。また図 4. 7 の S2-A, S3-A, S4-A のように下地温度が低く、しかも蒸気供給速度が大きい条件で蒸着した CdS 膜は、

CdS 蒸着膜・伊吹・吉沢・大西



- 1: 未反応の Cd および S の膜中に占める割合
- 2: 非結晶 CdS 成分の膜中に占める割合
- 3: 結晶性 CdS 成分の膜中に占める割合
- 2+3: 反応した CdS 成分の膜中に占める割合

図 5. 1 CdS 蒸着膜の結晶性と下地温度  
Fig. 5.1 Relation between substrate temperature and crystallization of CdS evaporated layer.

吸収端以長での吸収がとくに増大し、CdS 本来の基礎吸収端は完全にマスクされてしまっている。このような状態の膜では、CdS の正規の格子点から、その構成原子が抜けあるいは移動して局所的な格子の乱れが生じたという議論は成立せず、高密度の欠陥のために結晶全体にわたり格子が大きく乱れた状態を考える必要がある。それは黒色膜の吸収は非常に broad であり、とくに新しい吸収ピークを生じないことから裏付けられる。しかし X 線回折で hexagonal CdS の回折ピークが現われることから、結晶質成分と以上の非結晶質成分が混在していると考えるのが正しいであろう。また室温程度で蒸着した場合には、その非結晶質成分を形成している Cd および S 原子の大部分は X 線回折で free な Cd および S として検出されないことから、ごく微量な結晶としての周期性はないが、何らかの形で結晶中に存在していると考えられる。

それらのことから、われわれは真空蒸着膜の下地温度効果を考える場合、次の四つの可能性に分割して考えると系統的な考察をするのにつづろがよいと考える。

- (1) 下地温度が低く (たとえば液体ヘリウム、液体窒素温度程度)、分解して下地上に到達した Cd および S 原子が再反応せず、free な Cd および S として下地上に付着する可能性
- (2) 下地温度が低く、下地上に到達した原子が CdS の形にはなっているが周期的結晶格子を形成できず、非結晶質の CdS を形成する可能性
- (3) 下地温度が高く、下地上に到達した原子が、十分の結晶化エネルギーを得て結晶を形成する可能性
- (4) 下地温度が非常に高く、入射原子が再蒸発してしまう可能性

(1), (2), (3) の成分が膜に含まれる様子をモデル的に図示すれば図 5. 1 のようになる。同図は厳密には正確ではないが、下地温度と蒸着膜の結晶性を理触する助けとなるだろう。図 5. 1 を描くために、(a) Cd と S は分解して下地に到達する。(b) その到達した Cd と S が下地上で再反応して CdS になる確率は、 $\exp \frac{-A}{kT}$  に比例するという二つの仮定を用いた。ただしここでは A は活性化エネルギーである。下地上で再反応した CdS は非結晶質成分 2 と結晶成分 3 とからなると考えている。もし下地上に到達する CdS 蒸気が完全に熱分解せず、一部が CdS 分子の状態に到達するとしても、図 5. 1 の下地温度と成分含有率との相対関係

を少し変えてやればよい。また下地の表面状態とか、下地への蒸気の供給速度の変化などにより、(1)、(2)、(3)のそれぞれが支配的になる温度領域は当然変化する。それらの点を考慮すれば、図5.1は定性的な説明をするためには十分使えるであろう。

われわれがここで行った実験の温度範囲は、せいぜい図中斜線の部分にすぎないと思われる。というのは斜線の部分の温度領域では図からわかるように、もしCdとSが分解して下地上に到達してもfreeなCd、およびSとして残る割合は小さく検出されないであろう。そして当然のことながら、非結晶質成分(2)と結晶成分(3)の占める割合により膜の特性が変化する。下地温度が低い場合には、先に述べたように非結晶質(格子の乱れ)成分により膜の着色および低抵抗の原因となる。またいっそう下地を低温に保てばfreeなCdおよびSが検出される可能性がふえる。図5.1をみれば、下地温度が高くなるほど結晶化が進む関係があるが、下地温度が余り高くなると入射原子から下地へのエネルギーの放出が行なわれず、下地上での入射原子の滞在時間も短くなり、CdとSの対の形成(安定化)する確率が減少する。そこで入射原子の大部分は再蒸発するようになり、凝集効率は低下し、ついには下地上には膜の生成がみられなくなる。そこで結晶性をよくしようと余り下地温度を上げることはできない。また当然(1)、(2)、(3)のうち最も安定な状態は(3)であり、(2)は(1)より安定ではあるが(3)よりは不安定である。

図5.1を使って今までの結果を説明してみよう。(2)の成分の膜中に占める割合は下地温度が少なくとも室温程度までは下地温度が低くなるほど増加する。前述したように下地温度が低くなると下地上に比較的不安定な状態でも、CdおよびS原子が捕獲されるが、その蒸気圧( $P_S > P_{Cd} > P_{CdS}$ )から考えて(2)の成分にはexcess Cdを含むようになる[Cd:S比という面だけから考えれば、CdS蒸着膜は下地温度がきわめて低い場合には1に近くなり、(下地へ達した蒸気と同じ組成)下地温度が高い場合もまた1に近くなり、中間の温度領域(室温前後)で1以上になると考えられる(これはその下地温度に対する蒸気圧がCdは十分小さいがSでは比較的大きいような条件のもとで発生する)。]ので、その比抵抗も小さくなる。

一方下地温度が高くなるほど(3)の成分が増加し、得られた膜のCd対S比は1に近づく。分光透過率の変化に関しても(2)の成分の変化で同様に説明できる。また低温蒸着膜に熱処理を加えれば敏感に比抵抗および分光透過率が改善されるのは、(2)および1(室温程度では検出されず)の成分が減少するため。(2)および(1)の成分を形成していたCdおよびS原子はある確率をもって(3)の成分へ変化する(再結晶)。これはX線回折で回折ピーク強度の増大および半値幅の減少として観測されている。また(2)、(1)を形成しているCdおよび原子は正規の格子を形成しているCdSに比べずっと不安定であるので、数百°Cの熱処理を加えれば簡単に再蒸発する可能性がある。(2)成分

は先に述べたようにCd excessになる可能性が強いので、(2)の成分(ときには(1)の成分を考える必要がある)を多く含む低温蒸着膜ではS以上にCdが多量に放出されるだろう。

これはオメガトロンを使ったガス分析で観測されている。また、たとえば低温のガラス下地上に金属カドミウムとイオウを2層あるいは数層に交互に層状に蒸着し、その層状膜をアルゴン中で500°C 1時間程度の処理を加えるとfreeなCdおよびSは蒸発し、両者が反応したCdSのみが下地上に残っている。このことから熱的に不安定なfreeなCdおよびS、そして(2)の成分である非結晶質CdSの中のいくぶんかは再反応または再配列により結晶成分に変化し、残りのCdおよびS原子は膜外に放出されと考えられる。すなわち熱処理による電気的、光学的特性の変化はexcessの減少だけでなく、当然Sの放出も伴っており、構造不完全性の緩和現象の一つとして理解すべきだろう。

## 6. む す び

以上、われわれは従来から議論されてきた低温下地上へ蒸着したCdS膜の異常性(低抵抗、着色 etc)を構造不完全性という立場から説明することを試みた。ここでは従来からいわれてきたexcess Cdはその中の一現象にすぎないと考えている。しかしこれらの議論を裏付けるためには今後いっそうの実験が必要である。また紙数の関係上熱処理による蒸着膜の特性の変化、およびimpurityをdopeしたCdS蒸着膜の特性などの実験結果は、別の機会に述べることにする。

最後にこの研究中X線回折の測定および解析を一手に引受けて下さった茨城大学三田重義氏に深く感謝の意を表する次第である。

## 参 考 文 献

- (1) P. K. Weimer : Proc. IRE, 50, 1462 (1962)
- (2) 藤原, 沢木 : 薄膜研究会関西西部会資料 No. 68, CdS 蒸着膜の処理効果.
- (3) J. Dresnerand, F. V. Shallcross : J. A. P., 34, 2290 (1963)
- (4) R. R. Addiss : 1963 trans, 10th Nat. Vac. Symp., 354 (1964)
- (5) 藤原等 : UHV 研究会資料 No. 1 (S40-5)
- (6) W. C. Boesman, G. G. Avis : 1963 trans, 10th Nat. Vac. Symp., pp. 364-367.
- (7) J. R. Margurf : J. Chem. Phys., 39, 283-285 (1963)  
G. A. Smorjoi, D. W. Tepsen : J. Chem. Phys., 41, 1389-1393 (1964)
- (8) Paul H. Wandland : J. Opt. Soc. of America, 52, 581 (1962)
- (9) J. M. Gilles, J. Van. Cakenberghe : Nature, 182, 862 (1958)





# 電子計算機利用シリーズ

UDC 621. 337. 1. 012. 025 : 621. 382 : 681. 142

## 電気のサイリスタ整流回路解析

上村 勝彦\*・竹内 元彦\*\*・芦谷 正裕\*\*・向田 弘\*

### 1. ま え が き

交流電車の速度制御は、直流電動機の電圧制御により行なわれるが、従来、主変圧器一次側または二次側にタップ切換器を設け、そのタップ切り換えによって電圧制御を行なう方式が採られてきた。最近の大容量サイリスタ素子の製作技術の進歩は著しく、完全なノッチレス制御の強い要望と相俟って、高耐圧大電流サイリスタ素子を用いたタップ切換器なしの電圧制御方式が注目を浴び、採用されるに至った。

サイリスタを用いた電圧制御方式は、従来の変圧器タップ切り換えの方式と異なり、交流電圧一定のまま、サイリスタの点弧位相を制御することによって全電圧範囲を連続的に制御するものである。

したがって、回路現象としては従来の単相整流回路<sup>(1)</sup>と異なり、位相制御された電圧を平滑化するため、直流電流および交流電流はいっそう複雑になり、とくに主変圧器を分割した場合、主変圧器二次巻線間の結合度の粗密の影響もあって転流現象が異なり、電気車の諸特性、性能および主回路機器設計上種々問題が生じた。そこで、サイリスタ整流回路のうち代表的なものについて解析し、問題となる諸定数を定量的につかむとともに、ひいては電気車の用途に応じた主回路方式の決定が必要となってきた。

ここでは、7090電子計算機によって、分割なしの全サイリスタブリッジ回路および多分割の交流側対称混合ブリッジ回路をそれぞれシミュレートした際の計算式、計算手法を中心に、現在国鉄において設計、製作されているED75SおよびSR形交流機関車を対象に解析した結果の概要を紹介する。

### 2. 電気車サイリスタ整流回路

#### 2.1 種類

電気車のサイリスタ整流回路としては、半導体整流素子を用いる場合、主変圧器巻線の利用率および整流回路の直列接続の面から単相ブリッジ接続が用いられ、その基本回路はサイリスタおよびダイ

オードの接続方法によって、次の3種類に分けられる。

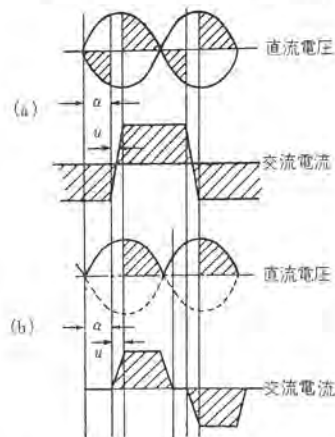
- (1) 全サイリスタブリッジ接続
- (2) 交流側対称混合ブリッジ接続
- (3) 直流側対称混合ブリッジ接続

上記、各方式およびその変形回路方式の回路図および直流電圧、交流電流波形は図2.1、2.2に示すごとくなる。これら各方式のうち、電力回生を行なう場合には(1)方式が、電力回生を行わず力行のみの場合には(2)方式が一般に用いられる。

#### 2.2 問題点

電気車の主回路にサイリスタを適用する場合、従来のダイオード整流回路と異なった脈動電圧が印加されることになり、電気車性能上次の事項が問題となる。

- (1) 電源の力率
- (2) 架線電流の高調波成分による通信線への誘導障害



- (a) 全サイリスタブリッジ接続および直流側対称混合ブリッジ接続の場合
- (b) 交流側対称混合ブリッジ接続および交流側逆並列ブリッジ接続の場合

図 2.2 直流電圧および交流電流波形  
Fig. 2.2 Wave forms of DC voltage and AC current.

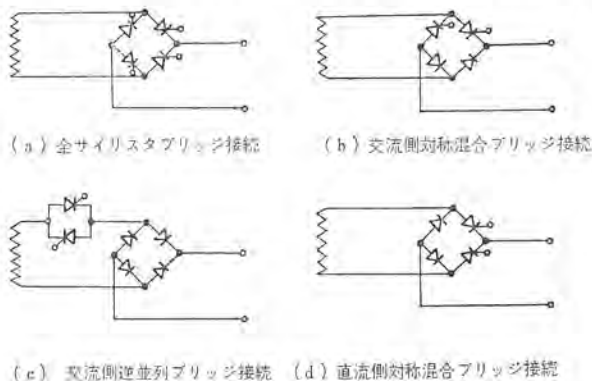


図 2.1 基本整流回路  
Fig. 2.1 Basic circuit diagram of phase control rectifier circuit.

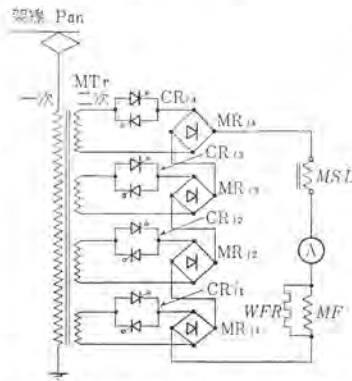


図 2.3 非回生形車両の主回路  
ツナギ例  
Fig. 2.3 Power circuit diagram for powering use only.

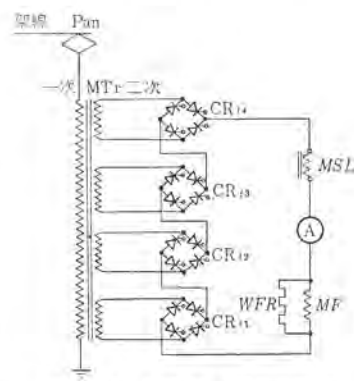


図 2.4 回生形車両の主回路  
ツナギ例  
Fig. 2.4 Power circuit diagram for regenerative braking use.



(3) 主電動機電流の脈動率

(4) 直流電圧の変動率および制御特性

一方、電気車主回路機器設計上の問題点は次のとおりである。

(1) 主変圧器二次巻線間結合度とインピーダンス

(2) 主サイリスタ耐圧とその直列制御

(3) 主平滑リアクトルのインダクタンス

上記の特性は主変圧器二次巻線を分割し、それぞれの巻線に2.1節に記した整流器を接続し、これらを直列接続して、独立に制御することによって大きく変わる。

したがって、主回路方式としては主変圧器二次巻線の分割数、基本整流回路およびサイリスタ制御方式の組み合わせによって、種々のものが考えられ、それぞれ用途に応じたものが選ばれるがこのうち代表的なものは、図2.3、2.4に示す回路である。図2.3に示す回路は、下段のサイリスタ  $CR_{f1}$  から順次  $CR_{f2}$ 、 $CR_{f3}$ 、 $CR_{f4}$  と積み重ね制御することによって、直流電圧が制御され、図2.4に示す回路においては、対称制御<sup>(2)</sup>または非対称制御<sup>(3)</sup>によって順次積み重ね制御される。

### 3. 主変圧器二次巻線非分割時の回路解析

この章では電気車サイリスタ整流回路として、最も基本的で計算も比較的容易な、主変圧器二次巻線非分割時についての回路解析について述べる。

サイリスタ整流回路については、すでに数多くの種類が発表されており、現在製作中の電気車についても、主変圧器二次巻線を多分割する方式が採用されているなど、その種類、方式もさまざまであるが、ここではそのうち最も基本的とされる等価回路について、高調波含有率、力率、脈動率など、電気車設計上考慮すべき諸特性を計算した。

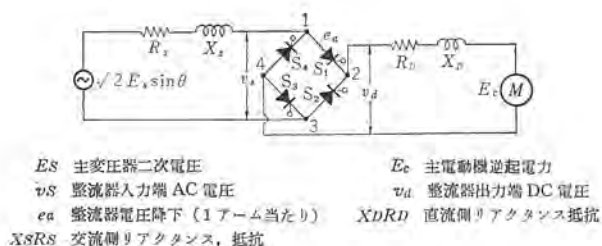


図3.1 等価回路  
Fig. 3.1 Equivalent circuit of AC electric-car.

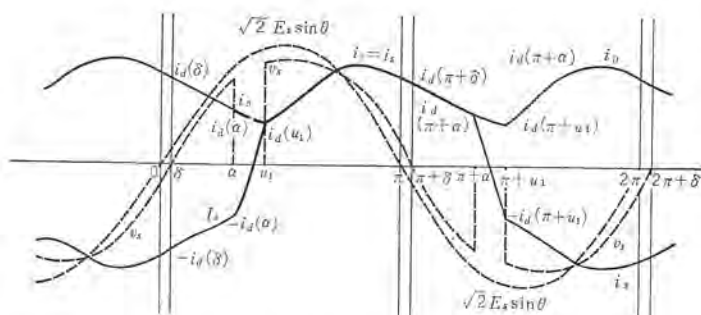


図3.2 電圧電流関係  
Fig. 3.2 Relation between voltage and current.

### 3.1 等価回路

等価回路としては逆起電力負荷があり、直流電流に脈動を含む単相ブリッジ回路で、ブリッジ結線の各相にサイリスタを使用し、位相制御可能とした場合のものである。

一般の整流器式電気車の特性に関係する送電端電圧・変電所リアクタンス・線路リアクタンス・線路抵抗・変圧器巻線リアクタンス・変圧器巻線抵抗など、交流側諸定数はすべて変圧器二次巻線に換算し、交流側リアクタンス、交流側抵抗としてまとめて表示することとし、直流側回路にそう入されている平滑リアクトルのリアクタンス、抵抗および主電動機のリアクタンス、抵抗も同様に一括して直流側リアクタンスおよび抵抗として表示すれば、電気車における整流回路は等価的に図3.1で理論解析を行なうことができる。図3.2は解析の基礎となる電圧、電流の関係を示すものであり、図中の記号については、

$\alpha$ : サイリスタ位相制御角

$\delta$ : 電源電圧  $E_s$  と整流器入力電圧  $V_s$  の位相差 (転流の遅れ角)

$u_1$ :  $\alpha$  と転流終了点までの位相角 (重なり角)。ただし、 $\alpha$  が  $\delta$  より小なる場合は、重なり角は  $u = u_1 - \delta$  で定義される。

### 3.2 理論式

計算の便宜上、回路動作を整流期間 (図3.1中、 $S_1$  と  $S_3$  あるいは  $S_2$  と  $S_4$  がそれぞれ通電中の場合) と転流期間 ( $S_1 \sim S_4$  が全部通電状態) にわけて解析する。

#### 3.2.1 整流期間中の計算式 ( $u_1 \leq \theta \leq \pi + \alpha$ )

転流の遅れ角  $\delta$  の位相より位相制御角  $\alpha$  のほうが大なる場合は、整流期間として  $u_1 \leq \theta \leq \pi + \alpha$  と考えて計算することができる。 $\alpha$  が  $\delta$  より小なる場合には、整流期間は  $u_1 \leq \theta \leq \pi + \delta$  と考える必要がある。

図3.2から明らかなように、整流期間中は  $i_s = i_d$  であるから次式が成立する。

$$(X_s + X_D) \frac{di_d}{d\theta} + (R_s + R_n) i_d = \sqrt{2} E_s \sin \theta - (E_c + 2e_a) \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

図3.2の電圧、電流の関係から、式(3.1)で  $\theta = u_1$  のとき  $id = id(u_1)$  なる境界条件を代入して解くと

$$i_d = \frac{\sqrt{2} E_s}{(X_s + X_D)^2 + (R_s + R_D)^2} [(R_s + R_D) \sin \theta - (X_s + X_D) \cos \theta - \{ (R_s + R_D) \sin u_1 - (X_s + X_D) \cos u_1 \} \times e^{-\frac{R_s + R_D}{X_s + X_D}(\theta - u_1)}] - \frac{E_c + 2e_a}{(R_s + R_D)} \{ 1 - e^{-\frac{R_s + R_D}{X_s + X_D}(\theta - u_1)} \} + i_d(u_1) e^{-\frac{R_s + R_D}{X_s + X_D}(\theta - u_1)} \quad \dots \dots \dots (3.2)$$

#### 3.2.2 転流期間中の計算式 ( $\alpha \leq \theta \leq u_1$ )

この場合も  $\delta$  より  $\alpha$  が大なるときは、転流期間として  $\alpha \leq \theta \leq u_1$  と考えてよいが、 $\alpha$  が  $\delta$  より小なるときは  $\delta \leq \theta \leq u_1$  と考える必要がある。転流期間中では、 $S_1 \sim S_4$  の全部の整流器が点弧しているから、図3.1において1~3、2~4の各端子間が完全短絡したものとよく、その結果、交流側回路と直流側回路をそれぞれ別個の回路として考え、次式が成立する。



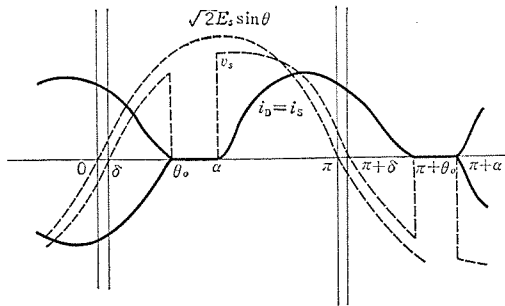


図 3.3 電圧電流関係  
Fig. 3.3 Relation between voltage and current.

直流側回路

$$X_D \frac{di_D}{d\theta} + R_D i_D = -(E_c + 2e_a) \quad (3.3)$$

交流側回路

$$X_S \frac{di_S}{d\theta} + R_S i_S = \sqrt{2} E_S \sin \theta \quad (3.4)$$

式 (3.3) に  $\theta = \alpha$  のとき  $i_D = i_D(\alpha)$  の境界条件を入れると、

$$i_D = i_D(\alpha) e^{-\frac{R_D}{X_D}(\theta - \alpha)} - \frac{E_c + 2e_a}{R_D} \{1 - e^{-\frac{R_D}{X_D}(\theta - \alpha)}\} \quad (3.5)$$

同様に式 (3.4) に  $\theta = \alpha$  のとき  $i_S = -i_D(\alpha)$  の境界条件を入れて解くと、

$$i_S = -i_D(\alpha) e^{-\frac{R_S}{X_S}(\theta - \alpha)} + \frac{\sqrt{2} E_S}{X_S^2 + R_S^2} \{R_S \sin \theta - X_S \cos \theta - (R_S \sin \alpha - X_S \cos \alpha) e^{-\frac{R_S}{X_S}(\theta - \alpha)}\} \quad (3.6)$$

が得られる。

### 3.2.3 回路電流が断続する場合の計算式

3.2.1 項および 3.2.2 項で述べた理論式は、いずれも回路電流が連続の場合のものであるが、サイリスタ位相制御回路においては位相制御角  $\alpha$  が大なる場合、回路リアクタンスが小なる場合、および回路電流が小なるときには、回路電流が断続する現象がしばしば見られる。このときの電圧電流関係は図 3.3 に示すように、転流期間は存在せず、回路電流が断続期間と整流期間とにわけて解析することができる。図 3.3 において  $\theta_0$  は電流値がゼロとなる位相角とすれば、 $\theta_0 \leq \theta \leq \alpha$  のとき電流が断続期間で  $i_S = i_D = 0$  であり、(ただし  $\alpha \leq \delta$  のとき  $\theta_0 \leq \theta \leq \delta$ )  $\alpha \leq \theta \leq \pi + \theta_0$  のとき整流期間で  $i_S = i_D$  となり次式で表わされる。(ただし  $\alpha \leq \delta$  のとき  $\delta \leq \theta \leq \pi + \theta_0$ )

$$(X_S + X_D) \frac{di_D}{d\theta} + (R_S + R_D) i_D = \sqrt{2} E_S \sin \theta - (E_c + 2e_a) \quad (3.7)$$

$\theta = \alpha$  で  $i_D = 0$  なる境界条件で解くと、

$$i_D = \frac{\sqrt{2} E_S}{(X_S + X_D)^2 + (R_S + R_D)^2} [(R_S + R_D) \sin \theta - (X_S + X_D) \cos \theta - \{(R_S + R_D) \sin \alpha - (X_S + X_D) \cos \alpha\} e^{-\frac{R_S + R_D}{X_S + X_D}(\theta - \alpha)}] - \frac{E_c + 2e_a}{R_S + R_D} \{1 - e^{-\frac{R_S + R_D}{X_S + X_D}(\theta - \alpha)}\} \quad (3.8)$$

### 3.3 プログラム

この計算は解析的には解くことができず、数値計算もきわめて複雑なため、電子計算機によることとし、OUTPUT として、電気車のサイリスタ整流回路解析・上村・竹内・芦谷・向田

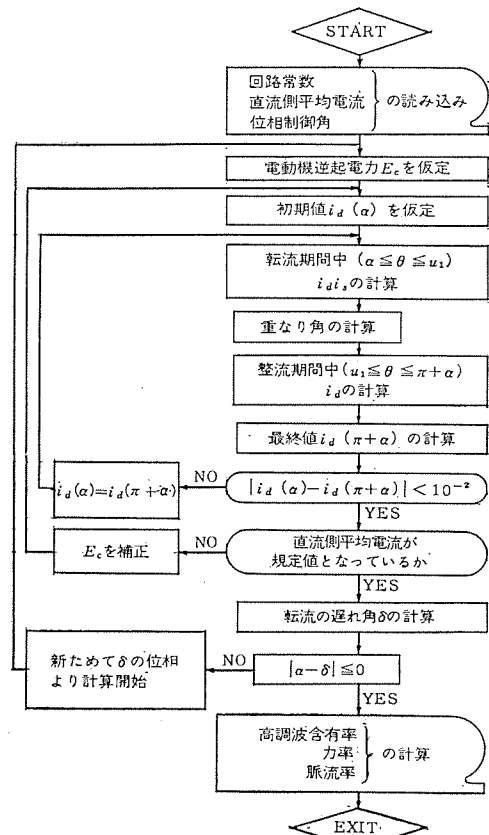


図 3.4 回路計算のフローチャート  
Fig. 3.4 Flow chart for the calculation of thyristor circuit.

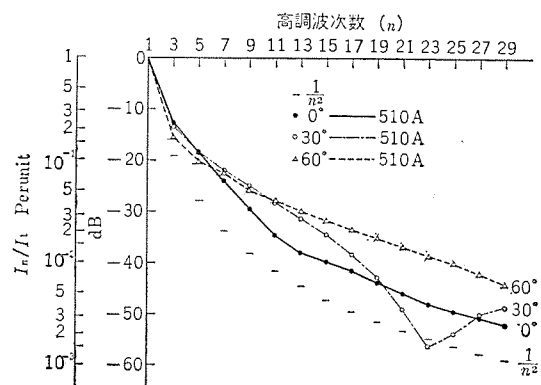


図 3.5 高調波含有率  
Fig. 3.5 Higher harmonic content.

流側電流の波形分析、力率、脈流率、主電動機逆起電力など、電気車設計上必要と思われる諸特性をプリントアウトするようにした。計算方法は INPUT として等価回路の諸定数のほか、位相制御角  $\alpha$  および直流側平均電流  $I_D$  を与えて、初期値  $i_D(\alpha)$  および逆起電力負荷  $E_c$  を一定の値に収束させる方法で解いている。

まず  $i_D(\alpha)$ 、 $E_c$  の値を仮定し、式 (3.5)、(3.6) により  $i_D = i_S$  なる位相  $u_1$  を計算し、次に式 (3.2) により  $\theta = \pi + \alpha$  なるときの  $i_D$  の値  $i_D(\pi + \alpha)$  を求める。 $i_D(\alpha) \cong i_D(\pi + \alpha)$  なるまで数サイクルにわたって繰り返し計算し、一定の精度に収束したのち直流側電流の平直値を求め、INPUT で指定した値になるよう  $E_c$  を適当に変化させ収束させる。なお転流の遅れ角  $\delta$  は以上の計算手続き

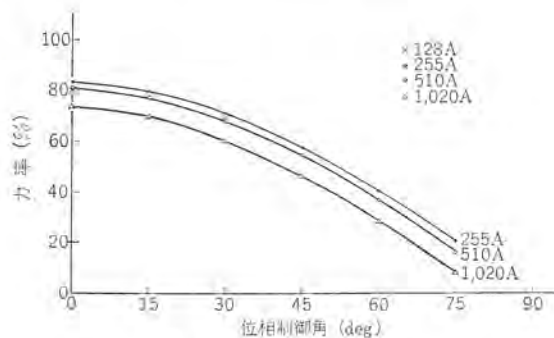


図 3.6 力率曲線  
Fig. 3.6 Power factor curves.

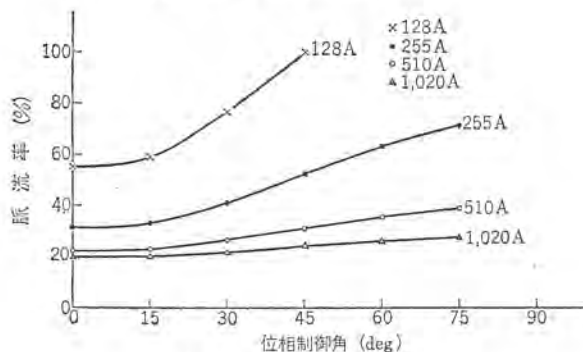


図 3.7 脈流率曲線  
Fig. 3.7 Pulsation factor curves.

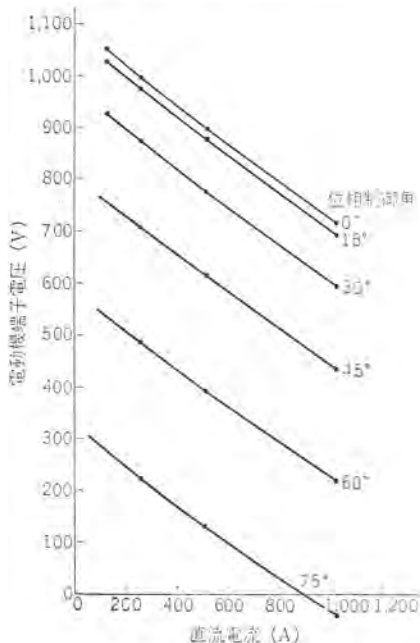


図 3.8 電圧変動曲線  
Fig. 3.8 Voltage regulation curves.

を終え、 $i_D$ 、 $E_c$  が収束したのち整流器入力電圧  $V_S$  を計算し、電源電圧  $E_S$  との位相差を求めるとし、 $\alpha \leq \delta$  なるときには、あらめて  $\delta$  の位相から計算を開始して  $i_D$ 、 $E_c$ 、 $\delta$  がそれぞれ収束するよう繰り返して計算を行なわせている。

計算精度は計算時間を考慮し、実用上さしつかえない程度にし、1%以内の範囲にはいれば収束し、解けたものと考えている。プログラムのフローの概略を図 3.4 に示す。

### 3.4 計算例

下記計算条件のもとに高調波含有率・力率・脈流率・電圧変動の諸特性を計算した結果を、一例として図 3.5~3.8 に示す。

$E_S$  1,240 V  
 $X_S$  0.094  $\Omega$  } 主変圧器二次巻線換算  
 $R_S$  0.030  $\Omega$  } (線路+変電所+主変圧器)  
 $e_a$  7.85 V  
 $X_D$  1.325  $\Omega$  (128 A), 1.265  $\Omega$  (255 A), 1.005  $\Omega$  (510 A),  
 0.0588  $\Omega$  (1,020 A)  
 $R_D$  0.023  $\Omega$

### 4. 主変圧器二次巻線多分割回路の解析

#### 4.1 等価回路と動作モード

図 2.3 に示す主変圧器二次巻線を多分割した回路において、それぞれの巻線に接続されたサイリスタ整流回路を順次位相制御し

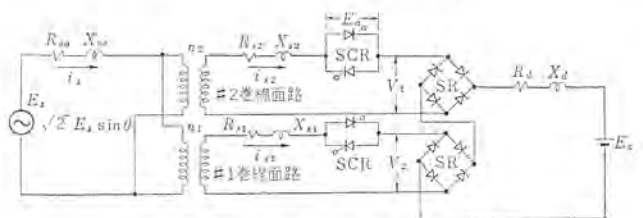
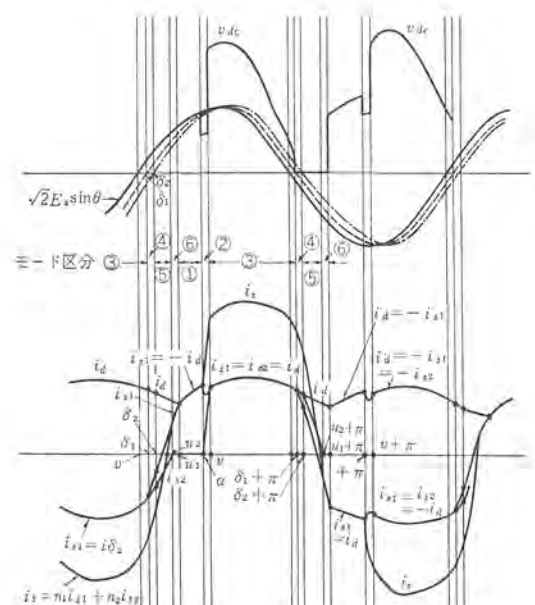


図 4.1 主回路の等価回路  
Fig. 4.1 Equivalent circuit diagram of power circuit.



$E_S$ 送電端電圧実効値	$i_S$ 架線電流瞬時値
$E_0$ 主電動機逆起電力	$i_{S1}$ #1巻線電流瞬時値
$E_a$ シリコンおよび SCR 順電圧降下	$i_{S2}$ #2巻線電流瞬時値
$n_1, n_2$ 主変圧器巻数比	$i_d$ 直流電流瞬時値
$R_{S0}, X_{S0}$ 一次側等価抵抗およびリアクタンス	$v_1$ #1巻線出力電圧瞬時値
$R_{S1}, X_{S1}$ #1巻線側交流抵抗およびリアクタンス	$v_2$ #2巻線出力電圧瞬時値
$R_{S2}, X_{S2}$ #2巻線側交流抵抗およびリアクタンス	$v_{dc}$ 直流側電圧瞬時値
$R_d, X_d$ 直流側等価交流抵抗およびリアクタンス	$\alpha$ 助走重なり角
$\alpha$ サイリスタ点弧角	$\delta_1$ #1巻線転流開始角
$\mu$ 重なり角	$\delta_2$ #2巻線転流開始角
$\mu_0$ #2巻線電流消滅角	

図 4.2 各部電圧電流波形  
Fig. 4.2 Voltage and current wave forms.



て直流電圧を制御する場合、ダイオード整流回路と同じ動作をしている整流器グループと位相制御をしている整流器グループとの二つにわけて考えることにより、多分割の回路は2分割の回路に帰せられる。

したがって、等価回路は図4.1に示すように表わされる。すなわち、主変圧器の一次側には変電所および列車の位置によって変わる線路のインピーダンスと主変圧器一次側インピーダンスの和を、二次側にはそれぞれ非制御通電巻線群のインピーダンスおよび制御通電巻線群のインピーダンスを、直流側には直流電流の平均値によって変わる主平滑リアクトルおよび主電動機の内部インピーダンスの和をそれぞれ入れた回路である。一方、主電動機は脈流電動機を対象と考え、一定の電圧として入れている。この回路の各部電圧および電流波形は図4.2に示すごとくなり、動作モードとしては次のように区分できる。

- ①  $u_1 \leq \theta \leq \alpha$  #1回路のみの整流期間
- ②  $\alpha \leq \theta \leq v$  #1回路は整流、#2回路は転流の期間
- ③  $v \leq \theta \leq \delta_1 + \pi$  (または  $\delta_2 + \pi$ ) #1および#2回路ともに整流の期間
- ④  $\delta_1$  (または  $\delta_2$ )  $\leq \theta \leq \delta_2$  (または  $\delta_1$ ) #1 (または #2) 回路転流の期間、#2 (または #1) 回路整流の期間
- ⑤  $\delta_2$  (または  $\delta_1$ )  $\leq \theta \leq u_2$  #1および#2回路ともに転流の期間
- ⑥  $u_2 \leq \theta \leq u_1$  #1回路のみの転流の期間

サイリスタ点弧角  $\alpha$  が  $u_1 < \alpha \leq \pi - v$  の場合は動作モード①、②、③、④、⑤および⑥の繰り返しとなり、 $v < \alpha \leq \delta_1 + \pi$  の場合はモード②がなく、モード①、③、④、⑤および⑥の繰り返しとなる。また  $u_2 < \alpha \leq u_1$  の場合にはモード②および⑥が重なって起こることになり②、③、④、⑤、⑥の繰り返しとなる。 $0 < \alpha < u_2$  の場合は全ダイオード整流回路の動作と同じである。

#### 4.2 誘導性断続回路式の計数的近似

今微分演算子を修正 Euler の方法により近似するということでは、

$$\frac{dy(t+\Delta t/2)}{dt} \approx \frac{y(t+\Delta t) - y(t)}{\Delta t}$$

$$y(t+1/2\Delta t) \approx (y(t) + y(t+\Delta t))/2$$

なる近似を行なうことである。断続回路における各 Mode でその回路式は

$$\begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} & \cdots & L_{1n} \\ L_{21} & L_{22} & \cdots & L_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ L_{n1} & L_{n2} & \cdots & L_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P i_1(\theta) \\ P i_2(\theta) \\ \vdots \\ P i_n(\theta) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \cdots & R_{1n} \\ R_{21} & R_{22} & \cdots & R_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{n1} & R_{n2} & \cdots & R_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1(\theta) \\ i_2(\theta) \\ \vdots \\ i_n(\theta) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1(\theta) \\ E_2(\theta) \\ \vdots \\ E_n(\theta) \end{bmatrix}$$

になる。これを上に述べた修正 Euler 法的な差分を行なうと

$$(z_{1ij}) = (L_{ij}/\Delta\theta + R_{ij}/2)^{-1}$$

$$(z_{3ij}) = (L_{ij}/\Delta\theta + R_{ij}/2)^{-1} (L_{ij}/\Delta\theta - R_{ij}/2)$$

とすると

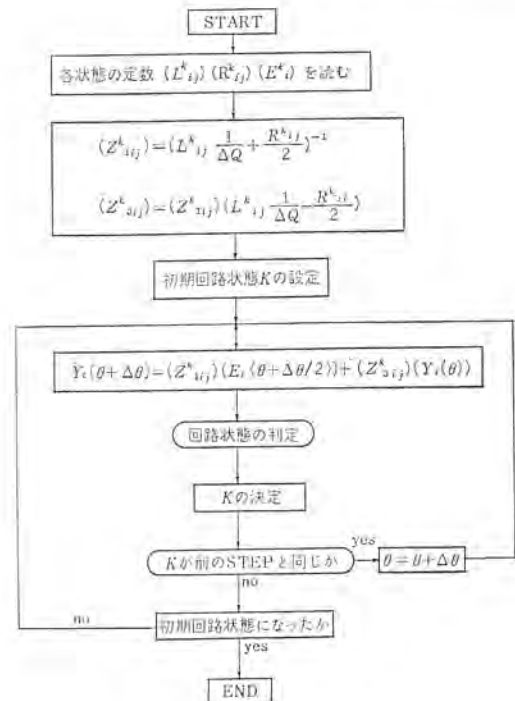


図4.3 計算フローチャート  
Fig. 4.3 Flow chart for the calculation.

$$[i_L(\theta + \Delta\theta)] = [z_{1ij}] [E_i(\theta + \Delta\theta/2)] + [z_{3ij}] [i_L(\theta)]$$

になる。この関係式が各 Mode において成立する。したがって断続回路解析の Block-Diagram の大略は図4.3のごとくなる。

#### 4.3 理論式

4.2節の方式を図4.1の回路にあてはめると各 Mode の理論式およびその計数的差分式は下記のごとくである。

第1回路状態 ( $u_1 \rightarrow \alpha$ )

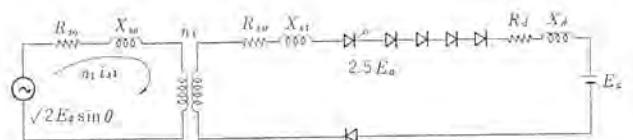


図4.4 モード①等価回路  
Fig. 4.4 Equivalent circuit at mode: ①

$$[u_1^2 X_{s0} + X_{s1} + X_d] \left[ \frac{di_{s1}}{d\theta} \right] + [u_1^2 R_{s0} + R_{s1} + R_d] [i_{s1}]$$

$$= [n_1 \sqrt{2} E_s \sin \theta + E_c + 2.5 E_d]$$

$$[z_{1ij}]_{①} = [(u_1^2 X_{s0} + X_{s1} + X_d) / \Delta\theta + 0.5(u_1^2 R_{s0} + R_{s1} + R_d)]^{-1}$$

$$[z_{3ij}]_{①} = [z_{1ij}]_{①} \times [(u_1^2 X_{s0} + X_{s1} + X_d) / \Delta\theta - 0.5(u_1^2 R_{s0} + R_{s1} + R_d)]$$

とすると

$$\text{初期条件 } i_{s1}(\theta) = i_{s1}(u_1), \theta = u_1$$

$$[i_{s1}(\theta + \Delta\theta)] = [z_{1ij}]_{①} [n_1 \sqrt{2} E_s \sin \left( \theta + \frac{\Delta\theta}{2} \right) + E_c + 2.5 E_d] + [z_{3ij}]_{①} [i_{s1}(\theta)]$$

$$i_{s2}(\theta + \Delta\theta) = 0$$

$$i_d(\theta + \Delta\theta) = i_{s1}(\theta + \Delta\theta)$$

$$\theta = \alpha \text{ まで}$$

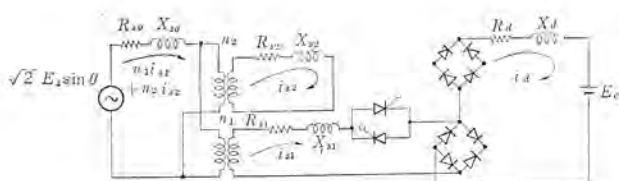


図 4.5 モード② 等価回路  
Fig. 4.5 Equivalent circuit at mode ②.

第2回路状態 ( $\alpha \rightarrow v$ )

$$\begin{bmatrix} n_1^2 X_{S0} + X_{S1} + X_d, & n_1 n_2 X_{S0} \\ n_1 n_2 X_{S0}, & n_2^2 X_{S0} + X_{S2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d i_{S1} / d \theta \\ d i_{S2} / d \theta \end{bmatrix} \\ + \begin{bmatrix} n_1^2 R_{S0} + R_{S1} + R_d, & n_1 n_2 R_{S0} \\ n_1 n_2 R_{S0}, & n_2^2 R_{S0} + R_{S2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{S1} \\ i_{S2} \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} n_1 \sqrt{2} E_s \sin \theta - E_c - 8 E_a - 4 n \cdot E_a \\ n_2 \sqrt{2} E_s \sin \theta \end{bmatrix}$$

$[z_{1ij}]_{\text{②}} =$

$$\begin{bmatrix} n_1^2 X_{S0} + X_{S1} + X_d) / \Delta \theta + (n_1^2 R_{S0} + R_{S1} + R_d) \times 0.5 \\ n_1 n_2 X_{S0} / \Delta \theta - 0.5 n_1 n_2 R_{S0}, & n_1 n_2 X_{S0} / \Delta \theta + 0.5 n_1 n_2 R_{S0} \\ (n_2^2 X_{S0} + X_{S2}) / \Delta \theta + 0.5 (n_2^2 R_{S0} + R_{S2}) \end{bmatrix}$$

$[z_{3ij}]_{\text{②}} = [z_{1ij}]_{\text{②}}$

$$\times \begin{bmatrix} n_1^2 X_{S0} + X_{S1} + X_d) / \Delta \theta - 0.5 (n_1^2 R_{S0} + R_{S1} + R_d) \\ n_1 n_2 X_{S0} / \Delta \theta - 0.5 n_1 n_2 R_{S0}, & n_1 n_2 X_{S0} / \Delta \theta - 0.5 n_1 n_2 R_{S0} \\ (n_2^2 X_{S0} + X_{S2}) / \Delta \theta - 0.5 (n_2^2 R_{S0} + R_{S2}) \end{bmatrix}$$

とすると

初期条件  $i_{S1}(\theta) = i_{S1}(\alpha)$ ,  $\theta = \alpha$

$i_{S2}(\theta) = 0$ ,  $i_d(\theta) = i_{S1}(\alpha)$

$$\begin{bmatrix} i_{S1}(\theta + \Delta \theta) \\ i_{S2}(\theta + \Delta \theta) \end{bmatrix} = [z_{1ij}]_{\text{②}} \begin{bmatrix} n_1 \sqrt{2} E_s \sin \left( \theta + \frac{\Delta \theta}{2} \right) - E_2 \\ n_2 \sqrt{2} E_s \sin \left( \theta + \frac{\Delta \theta}{2} \right) \end{bmatrix}$$

$$+ [z_{3ij}]_{\text{②}} \begin{bmatrix} i_{S1}(\theta) \\ i_{S2}(\theta) \end{bmatrix}$$

$$E_2 = E_c + 8 E_a + 4 n_1 E_a$$

$$i_d(\theta + \Delta \theta) = i_{S1}(\theta + \Delta \theta)$$

$i_{S2}(\theta) = i_d(\theta)$  なる  $\theta$  を  $v$  とする

$\theta = v$  まで

第3回路状態 ( $v \rightarrow \delta_1$  or  $\delta_2$ )

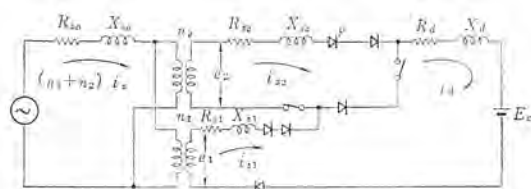


図 4.6 モード③ 等価回路  
Fig. 4.6 Equivalent circuit at mode ③.

$$\begin{bmatrix} (n_1 + n_2)^2 X_{S0} + X_{S1} + X_{S2} + X_d \\ (n_1 + n_2)^2 R_{S0} + R_{S1} + R_{S2} + R_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d i_d / d \theta \\ i_d \end{bmatrix} \\ = [(n_1 + n_2) \sqrt{2} E_s \sin \theta - E_c - 4(n_1 + 1) E_a - 8 E_a] \\ [z_{1ij}]_{\text{③}} = [(n_1 + n_2)^2 X_{S0} + X_{S1} + X_{S2} + X_d] / \Delta \theta$$

$$+ 0.5((n_1 + n_2)^2 R_{S0} + R_{S1} + R_{S2} + R_d)]^{-1}$$

$$[z_{3ij}]_{\text{③}} = [z_{1ij}]_{\text{③}}$$

$$\times [(n_1 + n_2)^2 X_{S0} + X_{S1} + X_{S2} + X_d] / \Delta \theta \\ - 0.5((n_1 + n_2)^2 R_{S0} + R_{S1} + R_{S2} + R_d)]$$

とすると

初期条件  $i_{S1}(\theta) = i_{S2}(\theta) = i_d(\theta) = i_d(v)$ ,  $\theta = v$

$$[i_d(\theta + \Delta \theta)] = [z_{1ij}]_{\text{③}} [(n_1 + n_2) \sqrt{2} E_s \sin \left( \theta + \frac{\Delta \theta}{2} \right) - E_c$$

$$- 4(n_1 + 1) E_a - 8 E_a] + [z_{3ij}]_{\text{③}} [i_d(\theta)]$$

第4回路状態 ( $v \rightarrow \delta_1$ )

$\delta_1 < \delta_2$  のとき

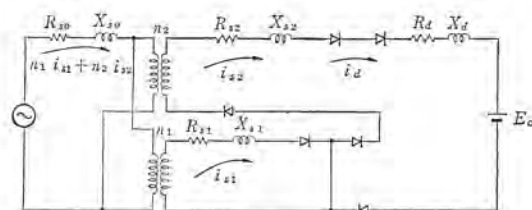


図 4.7 モード④ 等価回路  
Fig. 4.7 Equivalent circuit at mode ④.

$$\begin{bmatrix} n_1 n_2 X_{S0}, & n_2^2 X_{S0} + X_{S2} + X_d \\ n_1^2 X_{S0} + X_{S1}, & n_1 n_2 X_{S0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d i_{S1} / d \theta \\ d i_{S2} / d \theta \end{bmatrix} \\ + \begin{bmatrix} n_1 n_2 R_{S0}, & n_2^2 R_{S0} + R_{S2} + R_d \\ n_1^2 R_{S0} + R_{S1}, & n_1 n_2 R_{S0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{S1} \\ i_{S2} \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} n_2 \sqrt{2} E_s \sin \theta - E_c - 9 E_a \\ n_1 \sqrt{2} E_s \sin \theta \end{bmatrix}$$

$[z_{1ij}]_{\text{④}} =$

$$\begin{bmatrix} n_1 n_2 X_{S0} / \Delta \theta + 0.5 n_1 n_2 R_{S0} \\ (X_{S2} + X_d + n_2^2 X_{S0}) / \Delta \theta + 0.5 (R_{S2} + R_d + n_2^2 R_{S0}) \\ (n_1^2 X_{S0} + X_{S1}) / \Delta \theta + 0.5 (n_1^2 R_{S0} + R_{S1}) \\ n_1 n_2 X_{S0} / \Delta \theta + 0.5 n_1 n_2 R_{S0} \end{bmatrix}^{-1}$$

$[z_{3ij}]_{\text{④}} = [z_{1ij}]_{\text{④}}$

$$\times \begin{bmatrix} n_1 n_2 X_{S0} / \Delta \theta - 0.5 n_1 n_2 R_{S0} \\ (X_{S2} + X_d + n_2^2 X_{S0}) / \Delta \theta - 0.5 (R_{S2} + R_d + n_2^2 R_{S0}) \\ (n_1^2 X_{S0} + X_{S1}) / \Delta \theta - 0.5 (n_1^2 R_{S0} + R_{S1}) \\ (n_1 n_2 X_{S0} / \Delta \theta - 0.5 n_1 n_2 R_{S0}) \end{bmatrix}$$

とすると

初期条件  $i_{S1}(\theta) = i_{S2}(\theta) = i_d(\theta)$

$\theta = \delta_2$

$$\begin{bmatrix} i_{S1}(\theta + \Delta \theta) \\ i_{S2}(\theta + \Delta \theta) \end{bmatrix} = [z_{1ij}]_{\text{④}} \begin{bmatrix} \sqrt{2} E_s \sin \left( \theta + \frac{\Delta \theta}{2} \right) - (E_c + 3 E_a) \\ \sqrt{2} E_s \sin \left( \theta + \frac{\Delta \theta}{2} \right) \end{bmatrix}$$

$$+ [z_{3ij}]_{\text{④}} \begin{bmatrix} i_{S1}(\theta) \\ i_{S2}(\theta) \end{bmatrix}$$

$$i_d(\theta + \Delta \theta) = i_{S2}(\theta + \Delta \theta)$$

$\theta = \delta_1$  まで

$\delta_1 > \delta_2$  のときも同様に

$[z_{1ij}]'_{\text{④}} =$

$$\begin{bmatrix} (X_{S1} + X_d + n_1^2 X_{S0}) / \Delta \theta + 0.5 (R_{S1} + R_d + n_1^2 R_{S0}) \\ n_1 n_2 X_{S0} / \Delta \theta + 0.5 n_1 n_2 R_{S0}, & n_1 n_2 X_{S0} / \Delta \theta + 0.5 n_1 n_2 R_{S0} \\ (n_2^2 X_{S0} + X_{S2}) / \Delta \theta + 0.5 (n_2^2 R_{S0} + R_{S2}) \end{bmatrix}^{-1}$$



$$[z_{3ij}]'_{(4)} = [z_{1ij}]'_{(4)}$$

$$\times \begin{bmatrix} (X_{S1} + X_d + n_1^2 X_{S0}) / \Delta\theta - 0.5(R_{S1} + R_d + n_1^2 R_{S0}) \\ n_1 n_2 X_{S0} / \Delta\theta - 0.5 n_1 n_2 R_{S0}, n_1 n_2 X_{S0} / \Delta\theta - 0.5 n_1 n_2 R_{S0} \\ (n_2^2 X_{S0} + X_{S2}) / \Delta\theta - 0.5(n_2^2 R_{S0} + R_{S2}) \end{bmatrix}$$

とするとき

$\delta_1 > \delta_2$  の場合

$$\text{初期条件 } i_{S1}(\theta) = i_{S2}(\theta) = i_d(\theta)$$

$$\theta = \theta_1$$

$$\begin{bmatrix} i_{S1}(\theta + \Delta\theta) \\ i_{S2}(\theta + \Delta\theta) \end{bmatrix} = [z_{1ij}]'_{(4)} \begin{bmatrix} \sqrt{2} E_S \sin\left(\theta + \frac{\Delta\theta}{2}\right) - E_C + 3E_a \\ \sqrt{2} E_S \sin\left(\theta + \frac{\Delta\theta}{2}\right) \end{bmatrix}$$

$$+ [z_{3ij}]'_{(4)} \begin{bmatrix} i_{S1}(\theta) \\ i_{S2}(\theta) \end{bmatrix}$$

$$i_d(\theta + \Delta\theta) = i_{S1}(\theta + \Delta\theta)$$

$$\theta = \delta_2 \text{ まで}$$

第5回路状態 ( $\delta_2 \rightarrow u_2$ )

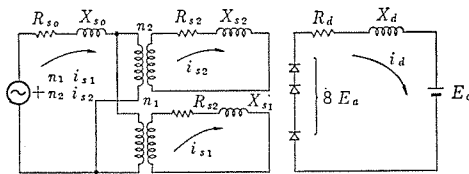


図 4.8 モード⑤ 等価回路  
Fig. 4.8 Equivalent circuit at mode ⑤.

$$\begin{bmatrix} n_1^2 X_{S0} + X_{S1}, n_1 n_2 X_{S0} \\ n_1 n_2 X_{S0}, n_2^2 X_{S0} + X_{S2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} di_{S1}/d\theta \\ di_{S2}/d\theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1^2 R_{S0} + R_{S1}, n_1 n_2 R_{S0} \\ n_1 n_2 R_{S0}, n_2^2 R_{S0} + R_{S2} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} i_{S1} \\ i_{S2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_1 \sqrt{2} E_S \sin \theta \\ n_2 \sqrt{2} E_S \sin \theta \end{bmatrix}$$

$$[z_{1ij}]_{(4)} =$$

$$\begin{bmatrix} (X_{S1} + X_{S0} n_1^2) / \Delta\theta + 0.5(R_{S1} + R_{S0} n_1^2) \\ (X_{S0} n_1 n_2) / \Delta\theta + 0.5 n_1 n_2 R_{S0}, n_1 n_2 X_{S0} / \Delta\theta + 0.5 n_1 n_2 R_{S0} \\ (X_{S2} + X_{S0} n_2^2) / \Delta\theta + 0.5(R_{S0} n_2^2 + R_{S2}) \end{bmatrix}^{-1}$$

$$[z_{3ij}]_{(4)} = [z_{1ij}]_{(4)}$$

$$\times \begin{bmatrix} (X_{S1} + X_{S0} n_1^2) / \Delta\theta - 0.5(R_{S1} + R_{S0} n_1^2) \\ (X_{S0} n_1 n_2) / \Delta\theta - 0.5 n_1 n_2 R_{S0}, n_1 n_2 X_{S0} / \Delta\theta - 0.5 n_1 n_2 R_{S0} \\ (X_{S2} + X_{S0} n_2^2) / \Delta\theta - 0.5(R_{S0} n_2^2 + R_{S2}) \end{bmatrix}$$

とするとき

$$\text{初期条件 } \delta_1 > \delta_2 \text{ のとき } i_{S1}(\theta) = i_{S2}(\theta) = i_d(\theta) = i_{S1}(\delta_2)$$

$$\theta = \delta_2$$

$$\delta_2 > \delta_1 \text{ のとき } i_{S1}(\theta) = i_{S2}(\theta) = i_d(\theta) = i_{S2}(\delta_2)$$

$$\theta = \delta_1$$

$$\begin{bmatrix} i_{S1}(\theta + \Delta\theta) \\ i_{S2}(\theta + \Delta\theta) \end{bmatrix} = [z_{1ij}]_{(4)} \begin{bmatrix} \sqrt{2} E_S \sin\left(\theta + \frac{\Delta\theta}{2}\right) \\ \sqrt{2} E_S \sin\left(\theta + \frac{\Delta\theta}{2}\right) \end{bmatrix} + [z_{3ij}]_{(4)} \begin{bmatrix} i_{S1}(\theta) \\ i_{S2}(\theta) \end{bmatrix}$$

$$i_d(\theta + \Delta\theta) = i_d(\theta) \times (e^{-\frac{R_d \Delta\theta}{X_d}}) - \frac{E_C + 8E_a}{R_d} (1 - e^{-\frac{R_d \Delta\theta}{X_d}})$$

$$i_{S2} = 0 \text{ なる } \theta \text{ を } u_2 \text{ とする.}$$

$$\theta = u_2 \text{ まで}$$

第6回路状態

第5回路状態の計算式において,  $i_{S2} = 0$  とし, 初期条件は

$$i_{S1}(\theta) = i_{S1}(u_2)$$

電気車の サイリスタ 整流回路解析・上村・竹内・芦谷・向田

$$i_d(\theta) = i_d(u_2)$$

として,  $i_d(\theta) = -i_{S1}(\theta)$  なる  $\theta$  を  $u_1$  とすれば  $\theta = u_1$  まで計算する.

#### 4.4 収束の方法と判定

一般に断続回路の定常波形は非線形の微分方程式(各 Mode ごとには線形になっていても全体としては非線形である)の境界値を解くことであるが境界値自体がわからない. そこで初期値問題になおしてとく. すなわち, 初期値 ( $i^0(t_0)$ ,  $t_0$ ) を仮定する.

次にこれを初期値として微分方程式を 1 cycle が終わるまで解く. その値を ( $i^1(t_1)$ ,  $t_1$ ) とする. これを繰り返して ( $i^n(t_n)$ ,  $t_n$ ) をうる.

定常状態に達したということは

(a) 位相が等しい ( $t_{n+1} - t_n = \text{定常状態 cycle}$ )

(b) 境界値の値が等しい  $i^{n+1}(t_{n+1}) - i^n(t_n) = 0$  ( $n \rightarrow \infty$ )

(c) 波形が等しい

$$\int_{t_n}^{t_{n+1}} |i^{n+1}(t) - i^n(t)| dt = 0 \quad (n \rightarrow \infty)$$

となることである.

#### 4.5 計算例

アウトプットとしては, 回路現象のはあくに必要な各部電圧電流波形と電気車性能, および機器設計上必要な諸事項が計算できるようになっており, 計算例として, 主変圧器二次巻線 4 分割方式である日本国有鉄道向け ED 75 S 形交流機関車を対象に計算した結果を以下述べる.

主変圧器一次側および二次側交流電流, 直流出力電圧, および直流電流の波形は図 4.9 に示すごとくなり, サイリスタ点弧時の転流によって直流電流が減少していることがわかる.

電気車諸性能のアウトプットは表 4.1 に, このうち脈率率および力率について, 2 分割制御および試験結果との比較を図 4.10, 4.11 にそれぞれ示す. 計算結果と試験結果とは電源 インピーダンスが異なるため, 絶対値が異なるが同じ傾向を示している.

### 5. む す び

以上, 電気車 サイリスタ 整流回路を電子計算機によって, シミュレートした際のその手法を重点として述べたが, このプログラムの完成によって回路の抵抗分も考慮した回路解析が可能となり, 従来, モデルセット 試験あるいは回路の抵抗分を無視した回路解析では不

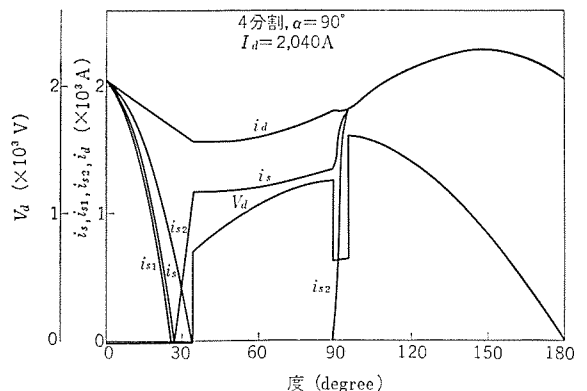


図 4.9 電圧電流波形の計算結果  
Fig. 4.9 Voltage and current wave forms.

表 4.1 諸特性の計算結果

使用巻線数	サイリスタ点弧角	電動機 逆起電力	直流電流	電動機 端子電圧	交流電流 実効値	皮相電力	力率	脈流率	I T 積 (n=19)	効 率	重なり角	助走重なり角
4	30	1,007.1	976.5	1,021.09	980.4	1,215.8	0.8484	32.5	—	80.89	23.39	34.09 4.09
	60	953.0	984.5	967.11	966.8	1,198.9	0.8203	30.7	—	78.26	23.89	63.49 3.49
	90	883.2	985.9	897.33	930.9	1,154.3	0.7919	26.74	—	72.46	23.99	93.59 3.59
	120	818.2	992.2	832.39	880.5	1,091.8	0.7847	23.3	—	74.36	23.49	122.19 2.19
	150	770.7	990.8	784.90	817.8	1,014.1	0.8035	23.1	—	75.30	23.19	155.89 5.89
	40	898.8	1,983.6	907.17	1,936.2	2,400.9	0.8266	23.0	159	74.26	33.90	45.60 5.60
	60	860.0	1,985.0	888.39	1,900.0	2,356.0	0.8090	21.6	224	72.46	34.20	65.00 5.00
	90	787.2	2,029.9	816.25	1,864.6	2,312.0	0.7816	19.1	253	69.11	34.49	95.09 5.09
	120	732.5	1,958.5	760.58	1,708.4	2,118.5	0.7706	18.1	245	67.72	34.29	125.79 5.99
	150	672.0	2,280.9	704.62	1,876.6	2,376.9	0.7721	16.9	346	65.87	36.79	161.19 1.19
3	40	671.9	2,075.8	701.58	1,492.7	1,851.0	0.8517	16.2	136	75.35	32.19	46.10 6.10
	60	653.2	2,149.9	683.97	1,503.5	1,864.4	0.8336	15.3	204	75.32	22.79	65.39 5.39
	90	582.5	2,105.6	612.66	1,394.5	1,729.1	0.7954	13.4	207	70.95	32.59	95.29 5.29
	120	514.1	2,122.3	544.53	1,304.4	1,617.5	0.7705	11.6	215	69.47	32.49	126.19 6.19
	150	461.3	2,139.8	491.97	1,212.2	1,503.1	0.7737	11.3	463	65.68	32.49	160.89 10.39
2	30	451.3	2,137.6	481.95	1,031.0	1,278.4	0.8682	10.6	184	75.47	29.39	35.49 5.49
	60	394.7	2,127.8	425.18	912.0	1,130.9	0.8703	10.3	221	74.27	32.09	65.49 5.49
	90	324.8	2,118.2	355.13	882.2	1,094.0	0.7616	7.5	125	62.89	29.10	95.20 5.20
	120	257.0	2,123.4	287.47	791.4	981.4	0.7053	5.6	154	55.63	29.87	126.00 6.00
	150	206.4	2,140.3	237.04	692.6	858.8	0.6960	5.3	295	51.45	29.70	159.80 9.80

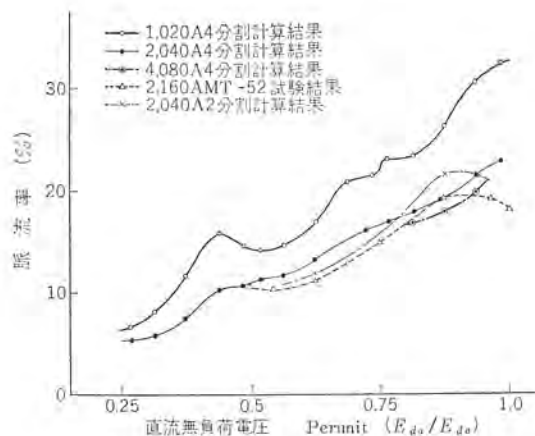


図 4.10 直流無負荷電圧

Fig. 4.10 DC voltage-pulsation factor curves.

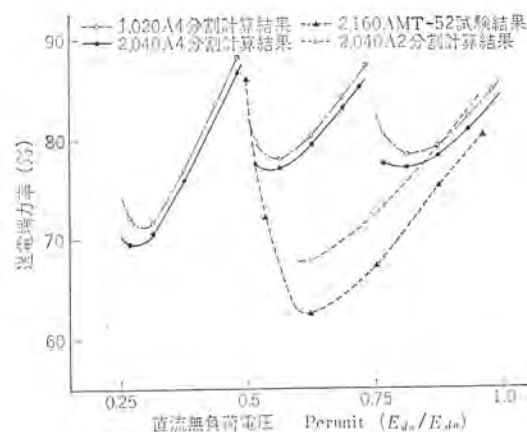


図 4.11 直流電圧—力率曲線

Fig. 4.11 DC voltage—power factor curves.

完全であった各部電圧電流波形および電気車性能上の諸定数の定量的はあくが可能となった。このプログラムおよび ED 75 S 形交流機関車を対象とした計算結果は今後のサイリスタ式交流車両の設計に大いに役だつものと信ずる。

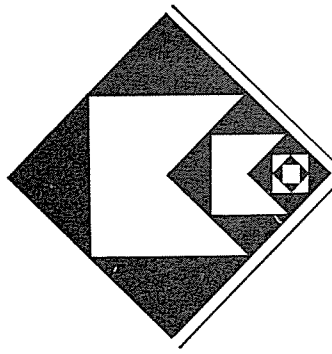
最後に関係各位のご援助とご協力に感謝の意を表する。

(昭 41-5-12 受付)

## 参 考 文 献

- (1) 阿部, 板東, 山田, 河村:「三菱電機技報」36, 1258 (昭 37)
- (2) 横田, 矢野, 芦谷, 有賀:「三菱電機技報」40, (昭 41)





# 技術講座

## 車両用多素子ヒューズ

長井 成吉\*

### 1. ま え が き

多素子ヒューズが広く用いられるようになったので、この機会にその内容を紹介し、利用者の参考に供したい。

ヒューズの開発は実験の積み重ねから生まれるが、シヤ断、溶断試験など、ほとんどの試験が溶断をともなう試験で繰り返して行なうことができず、困難な点が多い。本文はその歴史のなかから参考となると思われる点を取りあげてみた。保守については、できるだけ実用的な手法を取り入れ、すぐ現場で役だつようにした。多素子ヒューズは 600 V 用もあるが、その内容は 1,500 V 用と比較し、筒形ヒューズの長さが短くなっているだけなので、ここでは 1,500 V 用のみを取りあげた。

### 2. 構造および材料

このヒューズは、主体となる筒形ヒューズ（密閉形）と、これを取り付ける外箱とからできている。

#### 2.1 筒形ヒューズの構造

図 2.1 に示すように、筒形ヒューズは円筒形磁器に多数の小穴を設け（いわゆるれん根のようなもの）、この穴に銀線を可溶線とし、また消弧剤としてケイ砂を充填して両端に端子金具を備えたもので、構造は非常に簡単なものである。ただヒューズとしての性格上、筒形ヒューズの材料についていろいろの条件が加わることは当然である。

#### 2.2 筒形ヒューズの材料

筒形ヒューズとしては可溶筒・可溶線・消弧剤に区分して考えるのがつぎがよい。

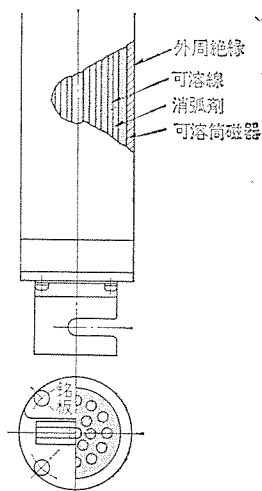


図 2.1 多素子筒形ヒューズ

#### 2.2.1 可溶筒

可溶筒として要求される条件についてみれば

1. シヤ断時の高温度に耐えること
2. シヤ断時の高压ガスの衝撃力に耐えること
3. 絶縁物で耐アーク性の良い材料であること

などである。これらは いずれもきわめて過酷なもので、一般的な材料では満足されない。多素子ヒューズの場合は温度条件から磁器を選び、磁器のうちでもとくに耐熱性と機械強度の高いアルミナ系の磁器を用いた。さらに磁器単体では機械的強さに限界があり、この外周にガラス繊維を基材とする耐熱樹脂を巻き付けた層を設け、磁器の機械強度を補うようになっている。

可溶筒磁器は開発当初は製作上の問題もあり、短いものを数個セメント付けで連結して製作していたが、昭和 35 年から製作技術の進歩により、連結することなく一体のもので可溶筒磁器が製作できるようになった。この結果、セメント付け部での弱点がなくなり安定した可溶筒が得られるようになった。

#### 2.2.2 可溶線

ヒューズは可溶線に生ずるジュール熱を利用して、過電流時に上昇温度が融点を越えるように設計しておくわけであるが、このヒューズのように数百アンペアの定格のものを得ようとすれば、ヒューズで発生する熱量が大きくなりすぎるので、できるだけ発熱を減らす目的から、固有抵抗の低い材料の可溶線を選ぶのがポイントとなる。もし固有抵抗の高い材料を選べば、可溶線断面積を大きくとることになり、シヤ断時にそれだけ多くの金属蒸気を処理する必要がある。シヤ断しにくいことになるからである。

可溶線として具備すべき条件は、このほかに次の点がある。

1. 酸化の少ない材料であること
2. 機械的に強い材料であること
3. 溶融温度は低いほうがよい

一般的に可溶線としては鉛・スズ・亜鉛・ソウ鉛 またはこれらの合金など、低融点のものを用いるが、これらはいずれも固有抵抗が高く、小電流用としては適するが大電流用には不向きである。

このような条件を満たすものとして銅、銀が考えられるが、銀のほうが化学的に安定なことから、多素子ヒューズでは銀を可溶線材料として選定している。銀線は溶断特性の均一化のためその純度、線径などきびしい条件を付して製作している。

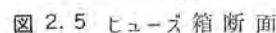
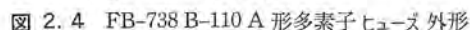
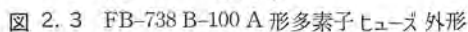
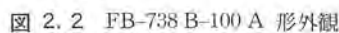
#### 2.2.3 消弧剤

密閉形ヒューズにおいて、消弧剤のシヤ断に及ぼす影響は大きく、したがって消弧剤に要求される条件に次のものがある。

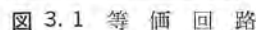
1. 金属蒸気に接触したとき親和性がよいこと
2. ガスの発生が少ないこと
3. 吸湿せず化学的に安定なものであること

消弧剤はその材質が $\gamma$  断性能を大きく左右するほかに、その粒子の大きさが冷却効果や親和力に大きく影響する。すなわち粒子がある程度までは、小さいほどアーク電圧が高くなることが確認されているが、これが一定限度を越えると $\gamma$  断性能は悪くなるようである。これは粒子間隔がせまくなりすぎ、かえって親和力が低下するためと思われる。このような各種の条件を加味し、多素子ヒューズでは消弧剤をケイ砂とし、その粒子の大きさも最適値に選定して使用している。

口出し穴部分は、図 2.5 のようになっており、分割できる口出し板にゴムワッシュを取り付けてあり、口出し線に端子を付けたまま取りはずすことができる。


$$E - iR > e_n \dots\dots\dots (3, 1)$$
$$E - iR < e_a \dots\dots\dots (3, 2)$$

ヒューズの場合は、この条件をうまく作らなければならない。その方法として、磁気吹き消し形ではアーク長さを引き延ばし冷却して  $e_a$  を高くするわけで、密閉形においては可溶線が蒸発し、金





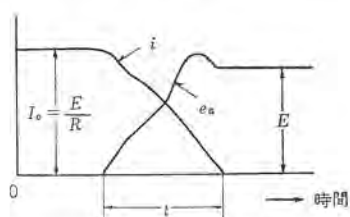


図 3.2 シャ断時の現象

属ガス圧力が急激に上昇して電弧電流を高め、また金属ガスを消弧剤がすみやかに冷却することとあいまって、急しゅんな電弧電圧上昇が得られ、式(3.2)の条件が成り立ちシャ断が完了する。

つぎに直流シャ断にともなうアークエネルギーを図3.1の等価回路と図3.2のシャ断現象から調べてみると、式(3.3)が成り立つ。

$$E = e_a + Ri + L \frac{di}{dt} \dots\dots\dots (3.3)$$

両辺に  $i$  を乗じ整理すると式(3.4)となる

$$e_a \cdot i = Ei - iL \frac{di}{dt} - Ri^2 \dots\dots\dots (3.4)$$

式(3.4)をシャ断開始から完了まで、すなわち  $t=0$  から  $t=t$  までを積分すればアークエネルギーが求められる。アークエネルギー  $W = e_a \cdot i$  は式(3.5)となる。

$$\begin{aligned} W &= \int_0^t Eidt - \int_{I_0}^0 Lid i - \int_0^t Ri^2 dt \\ &= \int_0^t Eidt + \frac{1}{2} LI_0^2 - \int_0^t Ri^2 dt \dots\dots\dots (3.5) \end{aligned}$$

で表わすことができる。

式(3.5)第1項は、電源から供給されたエネルギーを示し、第2項はインダクタンスに蓄積されていたエネルギーであり、第3項は回路抵抗により消費されたエネルギーを示す。各項をみたとき、第2、第3項は回路によって決まるもので、第1項を小さく制限できれば、それだけ小さいエネルギー負担でアークシャ断ができることになる。

第1項を小さくすることはアーク時間を短かくすることを意味する。多素子ヒューズはアーク時間が短いのが特長であり、シャ断時アークエネルギーの負担も少なくすむことになる。

### 3.2 多素子ヒューズにおける現象

直流回路のシャ断は、電弧電圧の立ち上がり電源電圧より十分高くなければならないが、この条件はヒューズとして可溶線の溶融部体積が、小さいほど得やすい。しかし、可溶線体積を小さくすることは細くなり通電容量を大きく採ることと条件が相反することになる。

多素子ヒューズは多数の細い銀線を並列に用い、通電容量を与え、シャ断に対しては独立した穴の中に、電弧を細分して負担させシャ断を容易にしている。この点が一般のヒューズと大きく相違する特長である。可溶線は分割された小さな穴にあって、シャ断時は溶融蒸発し、金属蒸気となって体積が急増するため、穴内ガス圧力が急騰することになる。一方砂状の消弧剤は電弧熱により表面が軟化し、金属蒸気と結合して棒状固体となり、高絶縁物質となって端子間を絶縁しシャ断を完了する。

一般のヒューズでは、1本または少数本の可溶線であるのに対し多素子ヒューズではかならず数十本の並列可溶線をもつので、各可

溶線に対する電弧エネルギー負担程度がどうなるか興味がある。

各可溶線に均一な電流が流れ、冷却効果が同一であれば同時にシャ断が開始され、シャ断電流は各可溶線に均一に負担されることになる。しかし実際には冷却効果も異なり、可溶線の抵抗値もげん密にはバラツキがあるから完全な意味の同時シャ断は起こりにくい。シャ断時の可溶線の現象をもう少し詳しく吟味すれば、次のことが考えられる。

過電流が生じ可溶線が溶融開始したとする。これは並列可溶線がほぼ均一に負担し溶断に進む。溶断は可溶線の温度の最も高い部分で起きる。この溶断した可溶線は表面張力のため玉になり、わずかなチャップができる。このときは残っている可溶線のため、チャップに加わる電圧は低く、チャップはすぐには生長しない。可溶線の溶断が一順したとき、各チャップに高い電圧が印加され絶縁がふたたび破壊し、チャップがさらに成長する。このような再点弧が繰り返されて、シャ断が完了する。

このとき再点弧は各可溶線に繰り返し行なわれるが、ある程度チャップが成長すると再点弧しにくくなり、最終的には数本の可溶線が最後のアークを負担するものとみられ、棒状固体の焼結物のでき方がこれを表わしている。このような可溶線の溶断、シャ断は、0.1秒程度のきわめて短い時間内で行なわれる現象である。

図3.3にシャ断により生じた焼結物と、可溶線の一部の写真を示す。この焼結物は一般には、外径3~5mmの灰色をした棒状固体のものが多い。焼結物は、もろいがその内側ほど固く、内面はガラス状で可溶線の直径程度の穴のある中空のものである。これはケイ砂の溶融によるもので、可溶線と接していた内側から外側に成長したもので、穴は可溶線の通っていた部分と解される。図3.4に従来形の磁気吹き消し開放形のシャ断オシロを対比のため示し、図3.5および3.6に多素子ヒューズのオシロをあげた。



図 3.3 シャ断時にできた焼結物

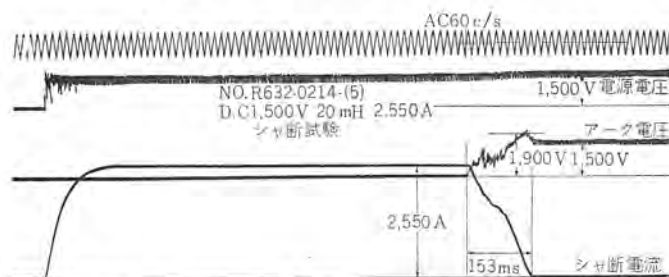


図 3.4 磁気吹き消し開放形ヒューズシャ断オシロ



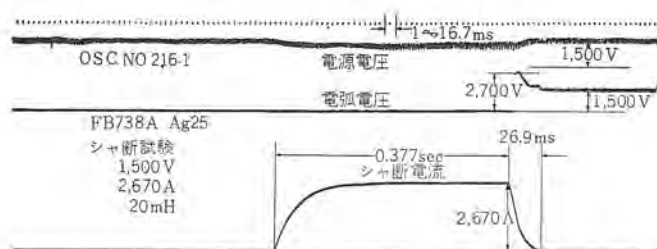


図 3.5 多素子ヒューズシャ断オシロ

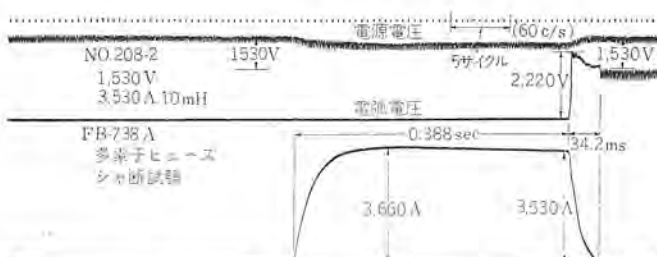


図 3.6 多素子ヒューズシャ断オシロ

このオシロからわかることは多素子ヒューズは、

1. 電弧電圧の立ち上がりがきわめてよい
2. 電弧時間が非常に短い

ことである。いずれもシャ断性能がきわめてよいことを示している。電弧電圧の立ち上りの早いことは、電流の減衰を早め電弧時間をそれだけ短くするからである。

シャ断耐量については、磁気吹消形では電弧を露出するので、アークシュートに雨雪がはいるなど、外的条件で左右されるのに対し多素子ヒューズでは、外部条件に関係なくシャ断できる構造から安定したシャ断特性をもっている。

#### 4. 規格

このヒューズはつぎの規格によっている。

##### 4.1 絶縁耐力

表 4.1 の電圧に1分間耐えるようになっている。この値は、国鉄規格車両吹き消しコイル付きヒューズ SE 15 第 35 条と同等のものである。

表 4.1 絶縁耐力

加圧部	試験電圧 AC 60c/s	
	定格電圧 600V	定格電圧 1,500V
充電部と非充電部との間	3,500V	5,400V
支持ガイシ上, 下金具間	3,500V	5,400V
シャ断試験後における端子間	3,500V	5,400V

表 4.2 温度上昇

	温度上昇 (°C)
筒中央, 外周部	120
筒端子部	120
口出線端子部	90

#### 4.2 温度上昇

定格電流を1時間通電後の温度上昇値は、表 4.2 以内の値である。

#### 4.3 溶断特性

溶断特性はつぎによる。

- (1) 定格電流の 120 % を通電しても 5 分間以内に溶断しない
- (2) 定格電流の 300 % を通電したとき 30 秒以内に溶断する

#### 4.4 抵抗値の表示

筒形ヒューズには新製時の端子間抵抗値 (20°C 換算) を表示する。

#### 5. 定格電流の選定

定格電流の選定は、使用条件に關係する要素が多いので一律に決めることは、いろいろ無理があるが実用上最も大切なことなので、つぎにその選定の目安と要点をあげてみた。

車両用としては、大体つぎの点に注意すること。

(a) 定格電流の数倍以上の過電流に対しては、ほかのヒューズに比較して非常に早く動作する特性をもつので、ピーク電流の大きいものはとくに注意する。また数分以上も連続するような大電流たとえば車両の上りコウ配バランス電流などがある場合は、温度上昇からこれに耐える容量に決める必要がある。

(b) 補機を含む場合は、主回路電流に加算して考える。

一般的な自動加速多段制御器付き車両では、主電動機全回路定格電流の 150 % にヒューズ定格電流を採ることが多い。母線回路用に用いる場合は、セクションの横流の大きさと負荷電流の大きさからヒューズ容量を決める必要がある。定格電流選定の目安として、図 5.1 に溶断特性曲線を示す。

#### 6. 保守

可動部分を持たない機器であることと筒形ヒューズは密閉形となっていることから、その保守方法は一般の機器とは異なったものとなり、次の方法によるのが便利である。

##### 6.1 各部の分解方法

図 2.5 参照のうえ、各部の分解を行なう。

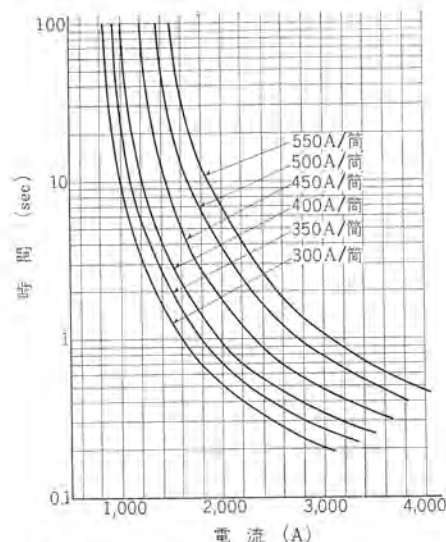


図 5.1 DC 1,500V FB-738B 形多素子ヒューズ溶断特性例



### 6.1.1 筒形ヒューズ①の取りはずし

筒形ヒューズの締め付けネジ④をゆるめると、筒形ヒューズを横方向に抜き取ることができる。

### 6.1.2 口出し線②の取りはずし

端子締め付けネジ⑤をはずし、口出し穴ゴムラッシュ部分の固定テープ⑥をはずすと口出し板⑧が2分割し、口出し線②にゴムラッシュ⑨が付いたままで箱⑩から抜き取ることができる。さらにゴムラッシュ⑨をはずす必要がある場合は、ゴムラッシュ⑨にナイフで切れ目を入れてはぎ取り、再組み立てのときはそのまま口出し線②にかぶせて防水性テープを巻いて使用する。

### 6.1.3 支持ガイシ③の取りはずし

取り付けボルト⑬をはずすと、当て板⑪と支持ガイシ③が一体のまま箱⑩から取り出せるので、つぎにガイシ取り付けボルト⑫をはずせば取り出せる。

## 6.2 取り扱い上の注意点

このヒューズとしては、次の点に特に注意して取り扱うべきである。

#### (1) 筒形ヒューズは分解しないこと

これは内部に消弧剤を強制的に充填してあるので、絶対に端子金具締め付けネジ⑤をゆるめないこと。(図2.5参照)

#### (2) 衝撃を与えないこと

筒形ヒューズ①は内部に磁器を使用しているため、ハンマでたたいたり落としたりしてはならない。

## 6.3 点検

密閉形のヒューズのため内部を見ることができないので、次の方法によって点検を行なうのが実用的である。

#### (1) シャ断の確認

このヒューズは外部にアークを出さないため、シャ断したか、どうかは筒形ヒューズ①両端の導通を測定して確認する。

#### (2) ネジ、締め付けの確認

各部のネジにゆるみがないか、とくに可溶筒締め付けネジ④、端子締め付けネジ⑤について確認する。

#### (3) 筒形ヒューズの抵抗値管理

筒形ヒューズの可溶線が健全な状態にあることを検査する方法として、筒形ヒューズ端子間の抵抗値を定期的にチェックし監視する方法が便利である。すなわち新製時の抵抗値に対し、使用中に抵抗値が高くなれば内部で断線、または、熱のため細くなったことが検出できるからである。

筒形ヒューズの抵抗値が現品に表示した新製時の抵抗値に対し10%以上はずれたものは、そのまま使用するのに不適当と思われる。それは、定格電流値がそれだけ低下したことになるからである。この抵抗値の測定方法は、測定誤差防止のため、次項で述べる方法に統一し、測定した抵抗値は、20°Cに換算して比較するものとする。もし温度換算を行わず比較したとしても意味がないので、とくにこの点注意すべきである。

## 6.4 筒形ヒューズの抵抗測定法と温度換算

### 6.4.1 抵抗値測定法

筒形ヒューズを箱から取りはずしてから測定する。抵抗測定方法としてはいろいろあるが、抵抗値が数百マイクロームのため誤差が少なく、特別な技術を要しない一般的な方法として、電圧降下法

が適しているためこの方法を採用する。電圧降下法の原理については、とくに説明するまでもないが測定上の注意をつぎに述べる。

#### (1) 4端子法によって測定すること

図6.1に示す回路とし、電流を流す2端子と電圧を測定する2端子合計4端子とし、電圧端子は図示位置からとるものとする。これは測定部分により接触抵抗が加減されるので、測定点を統一するためのものである。

#### (2) すばやく測定すること

電圧降下法の特長は、大きな電流を流して測定器の接触抵抗を無視し得ることであるが、一方この電流が熱を発生し温度上昇のため測定誤差を生ずる。したがってできるだけ早く測定を終わることが望ましい。

#### (3) 電源が安定であること

電流のふらつきはそのまま電圧計のふらつきとなり、各読み取り時間差により誤差の原因となるので、電源は安定なものが望ましい。

## 6.4.2 測定器と測定要領

測定器は表6.1に示すものを準備し、測定時の通電電流もこの表に示す値を利用すること。測定時期は、6ヶ月に1度程度のほか、使用中過電流シャ断が発生したときは、そのつど測定し確認すべきである。このようにして測定した抵抗値は、グラフにして記録し、6.3節(3)に示す限界値(10%)を記入しておけば、容易にその変動と良否を知ることができ便利である。

### 6.4.3 抵抗値の温度換算

抵抗値は測定時の温度によって変化するので、異なった時点で測定した値を比較するときは、かならず一定温度に換算してから比較すべきで、このヒューズの場合20°Cの値を基準としている。

抵抗値は、電圧降下法で測定した値を次の換算式で換算して求める。抵抗の温度係数は0.004/°Cとして、次式を定めた。換算

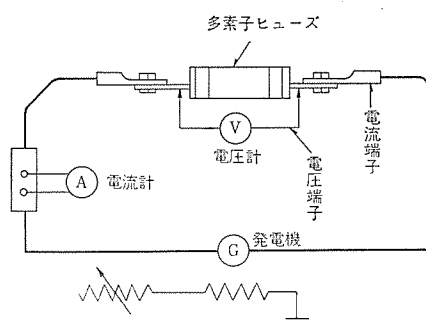


図 6.1 抵抗値測定回路

表 6.1 抵抗値測定要領

定格電流 (A)	測定時の通電電流 (A)	電圧計レンジ (mV)	最大測定時間 (min)
500 以上 (Ag 31~38)	100	50	5
200~450 (Ag 16~28)	100	100	5
200 未満	50	100	5
測定器	電圧計 0.5 級 50/100 mV 2 レンジ 電流計 0.5 級 150 A		

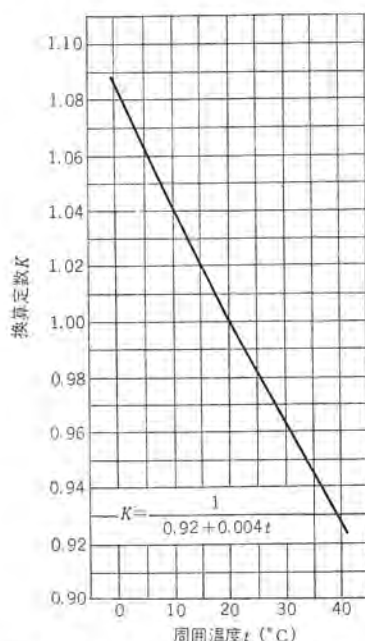


図 6.2 温度—抵抗値換算曲線

定数  $K$  の値は、図 6.2 を利用すると便利である。

$$R_{20} = K \cdot R_t = K \frac{E}{I}$$

$R_{20}$  = 20°C 換算抵抗値

$R_t$  = 測定抵抗値 (周囲温度  $t$ °C)

$E$  = 測定電圧

$I$  = 測定電流 (表 6.1 参照)

$K$  = 図 6.2 から求めた定数

## 6.5 寿命

ヒューズは可溶線をつねに高温で使用する機会が多いので、この点に十分に注意して製作されているが、長期使用したとき熱による消耗や、また振動による消弧剤の消耗変化が起こることも考えられる。したがって、ヒューズは切れなくてもある寿命が考えられるわけで、この寿命は使用中の諸条件で決まることで、いちがい

に定めることはできないが、一般的な使用状態で 7~10 年を経過したものは取換え時期にきたと考えるべきである。これは可溶線と消弧剤を取換えれば再使用が可能である。

## 6.6 筒形ヒューズの修理

シャ断をしたもの、または、そのほかの理由により消弧剤および可溶線の交換を要する場合は、かならず製造者である当社に修理を申しつけられたい。使用者が適当に修理することは、材質や充テツ方法にいろいろ問題があるので行なってはならない。大電流をシャ断したものについては、消弧剤が筒に融着して穴がつまり、これを取り除くことができず筒が再使用できないことがある。

## 7. 新標準形式

直流 1,500 V 車両用標準形式の仕様を表 7.1 に示す。従来のものは外箱が木製であったがこの標準形式のものは、樹脂製外箱を用いたものである。

新標準形式の特長は次のとおりである。

- (1) 木製部分がないので難燃性である
- (2) 絶縁性が良好
- (3) 木製に比べ寸法狂いがない

表 7.1 標準形式仕様

形 名	筒形ヒューズ本数	定格電流 (A)	外 形 寸 法
FB-738 B-100 A	1	300, 400, 500	図 2.3
FB-738 B-110 A	2	600, 800, 1000	図 2.4
FB-738 B-120 A	3	1200, 1500	—

## 8. む す び

多素子ヒューズの歴史はまだ浅く、知られてない点も多いことと思う。本文が今後の使用にあたって、また改良に際しての参考になれば幸いである。





# 新製品紹介

## 三菱デミセンタを開発

三菱デミセンタは三菱NC形コントロールセンタの普及形として開発したもので、200~220V 37kW、400~440V 75kWまでの誘導電動機の制御と回路の分岐を主目的として設計してあるが、とくに小容量電動機の集中制御に適している。低価格、短納期を目標としている関係上NC形コントロールセンタのもつ多くの特長のうち一部を割愛している。

### ■ 特長と機能

(1) 1面の寸法は高さ1,950mm(チャンネルベース50mm)幅400mm、奥行350mmと小形軽量である。水平ならびに垂直母線をもっており、必要に応じて何面でも母線を含めて列盤とすることができる。

(2) 裏面からの保守を必配しなくてもよい設計にしてあるので壁に接して据え付けしてもよい。

(3) ユニットの基準立寸法は200mmで、その整数倍の標準ユニットがあり取付けに関して互換性をもっている。1面の外箱に基準ユニット8個を収納できる。

(4) ユニットの1本(2段ユニット以上は2本)のネジを締めゆるめすることによって、他のユニットに関係なくスムーズに脱着す

ることができ、かつ電源側はクリップにより垂直母線にプラグインする構造となっている。

(5) 据え付けならびに配線を容易にするためトビラは上部に設けたピンを抜くことにより、容易に取りはずすことができる。

(6) 各ユニットの前面には透明プラスチック板を取り付けてトビラを開いたときの感電防止をするように留意してある。なお必要であればNFB投入防止のロック装置を追加取付けすることもできる。

(7) 電源引込みと負荷引出しは上下いずれの方向からでもできるように、とくにNEMA TYPE Bの配線を採用している。各ユニットの引出端子はユニットの右側に相当する外箱側に取り付けであるので、とくに短納期の場合には外箱のみ先に納入しユニットをそう入前に負荷側の配線を施行することができる便利さがある。

(8) 写真のようにコントロールパネルを設ければ、各面ごとの押しボタンスイッチ、信号所、切換スイッチを制御しやすい場所に集中して取付けることができる。この場合には最上段の基準ユニットスペース1個をそのために利用する。



図1 三菱デミセンタ 外観

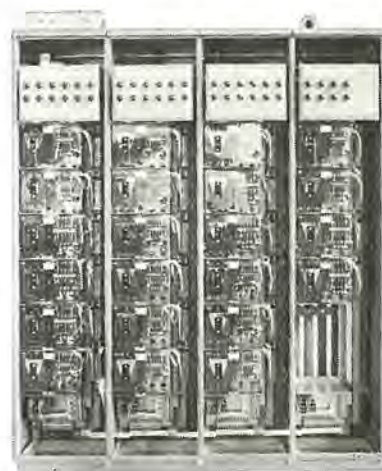


図2 三菱デミセンタのトビラをはずしたところ

## TH形サイリスタレオナード制御装置

TH形サイリスタレオナード制御装置シリーズを完成した。この装置は30W~1.1kWの直流電動機の世界速度制御装置で、工作機械、産業機械その他多くの分野で使用することができる。

### ■ 特長

(1) すぐれた自動制御系により無段階広範囲の速度設定が容

易に得られ、負荷変動に対して速度変動が少ない。

(2) 理想的な起動特性がえられる。

(3) サイリスタ、トランジスタなどの半導体を使用しており、故障がきわめて少ない。

(4) 小形軽量で取付けスペースが少なくすみ、設置が容易で













- ### ■ 仕 様

DSS-578 形

○STA-578 ステレオアンテナ (スピーカ 付き)

形 式 12 球 1 石 ダイオード、2 バンドチューナ 付 ステレオアンプ

受信周波数 MW 530~1,605 kc, FM 76~90 Mc

出力 総合 26 W

ス ピ ー カ     25 cm ダブルコーンスピーカ, 10 cm スピーカ 5 cm スピーカ

○STP-578 ステレオプレーヤ

モータ 4極シンクロモータ

ターンテーブル 直径 20cm

ピックアップ ワンニードル形、クリスタル・カートリッジタイプ 針付き

ア - ム パイプアーム、スタティックバランス形

速 度 4 スピード

外形寸法 幅 130×高さ 80×奥行 39 cm

重量 35 kg

DSS-578 M 形

○STA-578 M ステレオアンテナ (スピーカ付)

形式 14球1石 11ダイオード, 2バンドチューナ付

受信周波数 MW 530~1,605 kc, FM 75~90 Mc

出力 総合 26 W

スピーカ 25 cm ダブルコーンスピーカ 2個  
10 cm スピーカ 2個、5 cm スピーカ 2個

○STP-578 M ステレオプレーヤ

STP-578 と同じ



三菱FMステレオ〈ライン〉

DSS-578 形

現金正価 ¥ 73,800

月賦正価 ￥ 79,000 (12回)

¥ 80,000 (15 回)

DSS-578 M 形

現金正価 ￥ 78,400

月賦正価 ￥ 83,900 (12回)

¥ 85,000 (15 回)

## あふれるステレオ効果

三菱ステレオテープレコーダ T-560 形新発売

当社では、放送局モニター用として世界的に定評のあるダイヤトーン  
スピーカを使用、みごとなステレオ Hi-Fi 音を再現させるなど多くの  
新機軸をもったステレオテープレコーダを開発した。

### ■ 特 長

(1) 定評あるダイアトーンスピーカ使用

放送局 モニタ 用として世界的に定評ある ダイナトンスピーカ (15×10 cm ダ 円形) を左右の ボックス に納めてあるので、その再生音は完全である、みごとな ステレオ Hi-Fi 音を聞ける。

## (2) オールトランジスタ式

高性能トランジスタを15石も使用しており、精密なメカニズムとあいまってステレオテープレコーダ最高の性能を発揮する。また長時間の録音・再生にも熱をもたず常に安定した性能である。

### (3) 分離形 スピーカボックス

左右のスピーカは、本体から離して自由に広げることができるので、再生音の内容によってスピーカの位置を変え適切な音源の広さで聞くことができる。

## 新製品紹介

テラスピードは 毎秒 19 cm, 9.5 cm, 4.8 cm の 3 スピード であるが、録音の内容によって適切に使われができる。Hi-Fi 音楽などは 19 cm のスピードで 60~15,000 c/s の広い範囲まで忠実に録音再生ができる。また会話のときは 4.75 で 7 号 ロングテラを使えば 時間ものの録音ができる。

録音、再生、巻きもどし、早送り、停止の切り換えはすべてラッシュボタン方式であるから、操作はいたって簡単しかも確実に切り換えられる。

録音中の音を内蔵のスピーカから聞きながら録音できるので、  
 実な録音 **モニタ** ができ、録音しながらすばらしい **Hi-Fi** を楽しめる

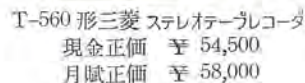
片方のチャンネルに手本となる音を吹き込んでおいて、これ聞きながらもう片方のチャンネルに自分の声を吹き込み、最後に両チャンネルの音を同時に聞くことができる。音楽から外国語や落語までなんでも練習できる便利なテープレコーダである。

大きなホールでの講演や大人数でのレコードコンサートなどの、  
Hi-Fi増幅器として使うことができ大変便利である。

レザー張り木製キャビネットに落ちついた色を配したシックな気品をもったデザインは王者の風格があります。

電 源	AC 100 V 50/60 c/s
消費電力	約 40 W
出 力	最大出力 2.5 W + 2.5 W
周波数特性	19 cm/sec 60~15,000 c/s, 9.5 cm/sec 60~8,000

使用 リール	最大 7 号
トラック 方式	4 トラック 2 チャンネル 方式
録音 方式	交流 バイアス 方式
消去 方式	交流消去方式
使用 トランジスタ	2 SB 134 (2), 2 SB 135 (4), 2 SB 136 (2) 2 SB 452 (6), 2 SB 458 (1)
テープ速度	3 スピード 19, 9.5, 4.8 cm/sec
入力 ジャック	マイク 入力 200 $\Omega$ 2 回路 高レベル 入力 80 $\Omega$ 2 回路
出力 ジャック	ライン 出力 100 $\Omega$ 2 回路 スピーカ 出力 80 $\Omega$ 2 回路
スピーカ	PO-642 形 ダイナミックスピーカ 2 個
外形寸法	幅 546 $\times$ 奥行 339 $\times$ 高さ 196 (mm)
重 量	約 14 kg
付 属 品	単一指向性 ダイナミックマイクrophon 2 個 三菱 テープ (5 号形) 1 巻, 三菱 リール (5 号形) 1 個 スピーカコード 2 本, 接続コード 2 本 接着 テープ 1 巻





# NEWS FLASH

## ■ 北海道電力新北見変電所納め 60 MVA 変圧器用 MRF 形負荷時タップ切換器

変圧器の単器容量増大にともなう、信頼性の高い大容量負荷時タップ切換器の要求はますますふえてきている。

当社では、業界のこのような要求に答えようと、いち早く世界的に有名なタップ切換器専門メーカーである西独の、Maschinenfabrik Reinhausen 社と技術提携を結び、鋭意国産化をすすめていたが、41年6月大容量変圧器用 MRF 形負荷時タップ切換器国産1号機が完成し、北海道電力新北見変電所に納入した。

北海道電力新北見変電所納め変圧器仕様

変圧器容量	60 MVA 3φ 50 c/s
電 圧	187 kV ± 10 % / 66 kV Δ
負荷時タップ切換器	MRF 形
タップ点数	± 8

三菱 MRF 形負荷時タップ切換器は、タップ間電圧 2,500 V (最大)、通過電流 870 A (最大) を定格とする大容量負荷時タップ切換器であるが、そのおもな特長は、

(1) タップ切換器本体が変圧器に内蔵される埋込形であるため、変圧器に組み込んだときの寸法が小さく、大容量変圧器にでも組み込んだまま輸送ができる。

(2) 切換開閉器は切換開閉器油ツウによって変圧器油から隔離されていて、しかも容易に上へつり出すことができ、非常に簡単に点検ができるようになっている。

(3) 切換開閉器は4抵抗切換方式で、接点寿命が長く、油の汚損が少なく、信頼度が高い。

(4) 切換開閉器の高速駆動機構には、画期的な回転運動機構を取り入れたため、動作に無理がなくきわめて合理的な切換えを行なう。

など負荷時タップ切換変圧器実用性能専門委員会で定められた諸規格を十分に満足する優秀なタップ切換器である。

生産システムにおいても、MRF 形と同時に技術提携した中容量変圧器用 MRD 形とともに、わが国電力事情を考慮して、絶縁階級タップ点数などを標準化した生産機構を決定し、従来重電機業界ではあまりみられなかったロット生産システムをとっている。これにより品質の安定した負荷時タップ切換器の生産を可能にするとともに、各種タップ切換器の部品を常に在庫して、納期の短縮と、アフターサービスに万全を期している。

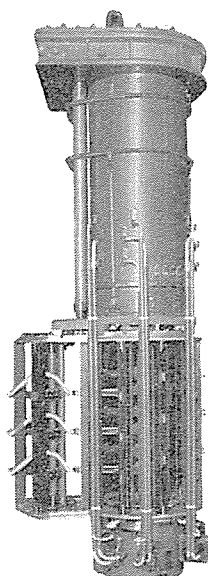


図1 MRF 形負荷時タップ切換器

## ■ ED 75 S (試作) 形交流機関車用電機品工場組合わせ試験完了

かねてより製作中であった日本国鉄北海道電化用 ED 75 S (試作) 形交流機関車の電機品がこのほど完成し、客先関係者多数の立合いのもとに約 40 日間にわたる工場組合わせ試験が行なわれ、好評のうちに完了した。

この機関車は主回路に容量 2,200 kW のサイリスタ整流装置を用い、主電動機を AVR 制御するまったく新しい方式であるため、主変圧器、主サイリスタ整流装置、AVR 制御装置、および無接点制御装置などの新設計機器を組み合わせた場合の特性試験に加えて、機関車性能上の問題である一次電流の高調波成分による誘導障害、力率、主電動機電流の脈動率、および電圧変動率特性などの試験も行なわれ、国鉄標準形サイリスタ式機関車の試験として所期の目的を達成することができた。

一方、この装置を組み換え使用して、交流回生ブレーキの組合わせ試験も行い、抑速および停止ブレーキとしての交流回生ブレーキ特性に対する貴重なデータを得、機関車として安定な回生運転ができることが実証できた。

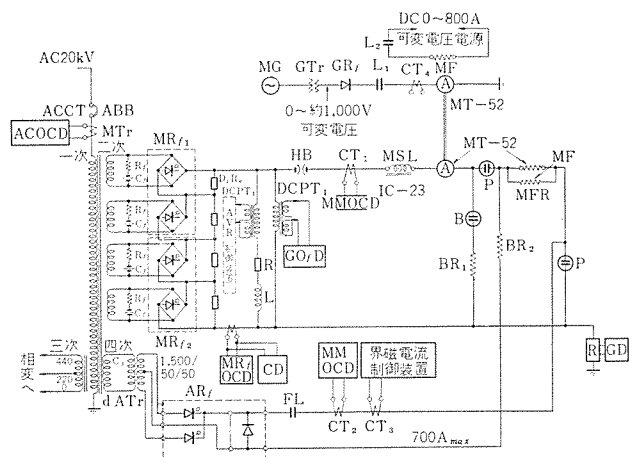


図1 試験回路(回生ブレーキ)の場合

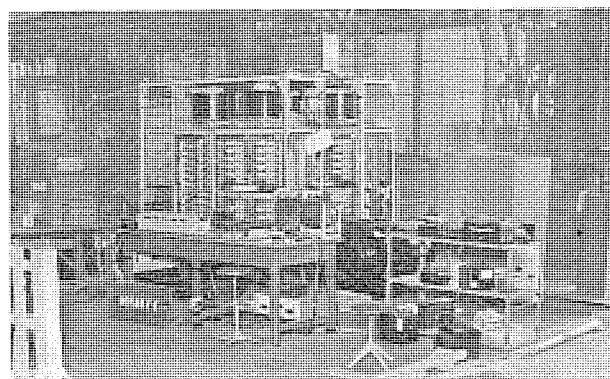


図2 工場組合せ試験状況

なお、ED 75 S (試作) 形交流機関車は9月末完成し、11月の北海道電化完成と同時に北海道第1号電気機関車として走る。

## ■ オンライン・リアルタイム計算機 MELCOM 1600 システム・シリーズ完成

最近、電子計算機のめざましい発達と、高度な計算機利用の要求から、一貫した総合情報処理のための電子計算機システムが求められているが、この要求を完全に満たすオンライン・リアルタイム計算機として「MELOCM-1600 システム・シリーズ」がこのほど完成し、発売された。

これは、多数の端末装置を結合したオンラインデータの収集や、問合わせに対する速かな応答、プログラムの多重処理、同時処理、などいわゆるトータルシステムに要求されるあらゆる機能を具備している。さらにオンライン・コントロールに要求される十分な信頼性、バックアップ機能なども有しており、プロセス制御から科学技術計算、事務データ処理のすべてを包含するオンライン・システムにも適用できる。

このシステムは、このほど、国鉄郡山操車制御装置として納入されたほか、神奈川県企業庁に相模川水系計算制御装置として、41年10月末に納入される予定である。そのほか、工場のコンピュータ制御などの受注がある。

### 特 長

- (1) すぐれた総合情報処理能力をもっている。
- 2進・10進演算、固定・浮動小数点演算、ビット単位の論理演算がすべて可能。
- (2) はん用性が高い、特種目的用の装置ではなく、あらゆるシステムに利用できる。
- (3) 通信回線との接続が可能、通信制御装置を介して、多数のデータ通信回線と接続し、データの収集、問合わせに対する応答が可能である。
- (4) 自動割込機能とプログラム多重処理機能を完備している。
- (5) メモリ保護機構を有している。
- (6) 二重計算機システム構成が可能である。
- (7) ソフトウェアは、オペレーティングシステムを採用している。
- (8) すべてのプログラムをFORTRAN、COBOL、ASSEMBLERのいずれの言語でも書ける。



図1 国鉄郡山操車場納入 MELCOM-1600 システム  
(二重構成システム)

(9) オン・ライン処理と同時に、各種オフライン処理が可能である。

### 仕 様

語の構成	2進18ビット、10進3ケタ文字
記憶容量	8,192語～32,768語
サイクルタイム	6 $\mu$ s
命令の種類	約200
速 度	ADD 6 $\mu$ s    MULT 54 $\mu$ s
周辺機器	各種接続可能

## ■ 国立国際会館へエレベータを納入

小雨けむる五月二十一日、ジュネーブのパレナシオン、ニューヨークの国連ビルに次ぐ、世界で3番目の国際会議場が、京都宝ヶ池のほとりに完成した。国際会議場としての、複雑多様な機能を満足させるように考えられたという。台形、逆台形の組み合わせからなるユニークな外観は、日本の合掌造りをホウフツさせ、そして力強い。当社はこの会館に、エレベータ7台、および電動ダムウェータ2台を納入しているので、その概略を紹介する。

普通の場合、エレベータは、ビルの一部に集中して設置され、パンク運転を行なうが、9,000 m<sup>2</sup> 近くの床面積をもつ当会館においては、それぞれ目的をもって建物の適所に、個別に配置された。1、2号機は直流可変電圧歯車なし式で、建物中央部に位置し、代表団用としてパンク運転を行ない、3、4号機は直流可変電圧歯車式で、正面玄関付近にあって、傍聴用としてこれもパンク運転を行なう。5号機、および7号機は、ともに直流可変電圧歯車式で前者は管理運営用、後者は運営用としての役割を果たす。また6号機は、交流二段速度歯車式で、報道用として使用される。

エレベータはすべて、直線的で力強い、統一された意匠形態をもっている。乗場は末広形三方ついで、縦つにステンレスを用い、横つは鋼板の幕板式である。カゴ室は天井中央部に、鋼板製のつり天井を設け、その中央部にデフューザを組み込み、また裏面に設けられた蛍光灯の、間接照明のシャ光板としての役割も果たす。1、2号機は、会館中にあるエレベータの代表的なもので、とくに、乗場と乗場間にはフロントパネルを設け、またカゴ室壁には、このために京都で特別に紡織された「寂ろ織」を、ポリエステル樹脂で表面処理をし張りめぐらしてある。フロントパネルはミルキーホワイト調の最高級塗装仕上を施してあり、乗場にたつてこれを見たとき、銀地に黒のつた模様のカゴ壁と、深紅のじゅうたん、にぶく光る縦つきのステンレス、それとつややかなミルキーホワイトのフロントパネルが、ゴージャスな感じを与える。1、2号機の乗場の色はミルキーホワイト調であるが、他の号機も個々のテーマカラーをもっている。傍聴用3、4号機は赤色、管理運営用5号機は1、2号機と同色で、この号機もカゴ室壁は布張りポリエステル加工である。報道用6号機は青色、運営用7号機は黒色である。

各号機とも、地階電気室において、その運行が監視され、エレベータと電気室は、相互にベル電話によって、連絡ができるようになっている。また停電時においても、自動的に非常電源が供給さ



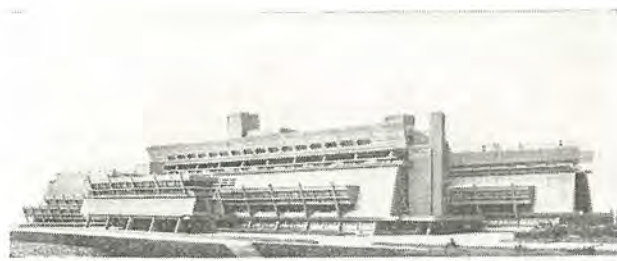


図1 国立国際会館全景

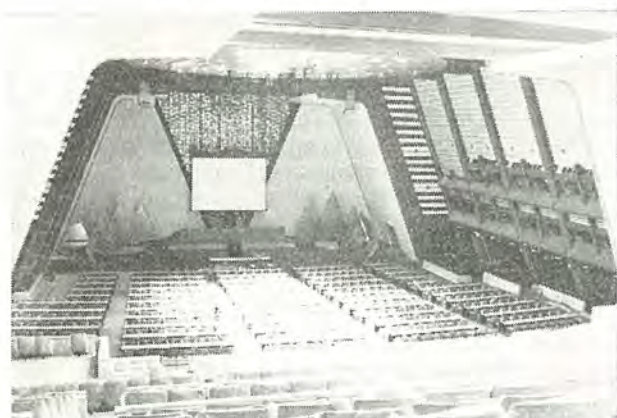


図2 2,000名収容できる大会議場



図3 1, 2号機1階乗場

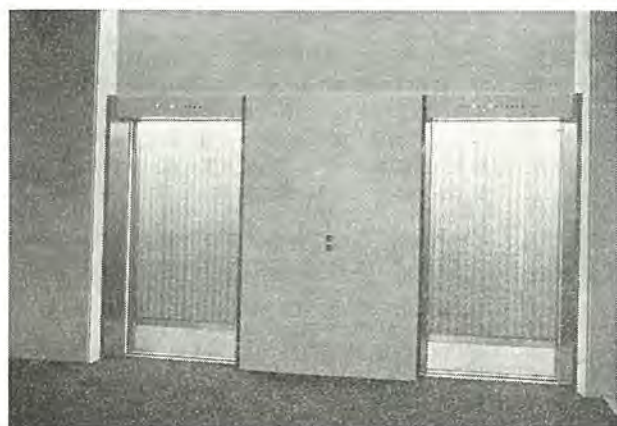


図4 1, 2号機2階乗場

れ、なんらエレベータの運行に支障をきたすことはない。

この世界的なヒノキ舞台で、当社のエレベータが末長く、その役割を果たし、海外の評価を一段と高めることが期待される。

## ■ 大線量X線およびガンマ線用線量計の完成

すでに本誌(39, 86(昭40))に発表した「電離箱を用いた線量計」で線量率 10 R/h から 1,000 R/min までの電離箱の完成を報告したが、このたび線量率 10,000 R/min および 100,000 R/min のX線およびガンマ線の電離箱を開発した。

図1の左側は 10,000 R/min、まん中のは 100,000 R/min のラローブ(電離箱と前置増幅器を内蔵)である。

右側のは 30,000 R/min のラローブで、パンケーキ形をしている。これは電子ライナック、ベータートロンなどからのコリメートされた放射線の平均線量を測るためのものである。

線量率計本体もほとんどトランジスタ化され、小形軽量になった。またデジタル機構部も、電磁カウンタの場合と光点式(または投影式)表示器の2種類を開発した。

この測定器の用途は、診断・治療などの医療用、ラジオグラフィ、食品照射により食品の貯蔵期間を大幅にのばしたり、積極的に食品・飲料の改質をはかること、また医療器具類の殺菌消毒などに必要な大線量X線照射の際に用いられるモニタであり、今後多方面に利用されるものである。

このモニタはライナック、ベータートロンなどから発生するパルス状大線量率線に対し、在来国産品輸入品に比べて直線性がよく、精度よく測れることである。これは電離箱の構造と、電気回路に改良を加えたためで特許を申請中である。中でもパンケーキ形電離箱は照射平均線量を測定するものなので、電離箱容量が大きく、特許考案の方法を用いている。またこれらの大線量用ラローブ(10,000 R/min 以上)は日本原子力研究所高崎研究所の<sup>60</sup>Co(30万Ci)で試験に供し好結果を得ている。

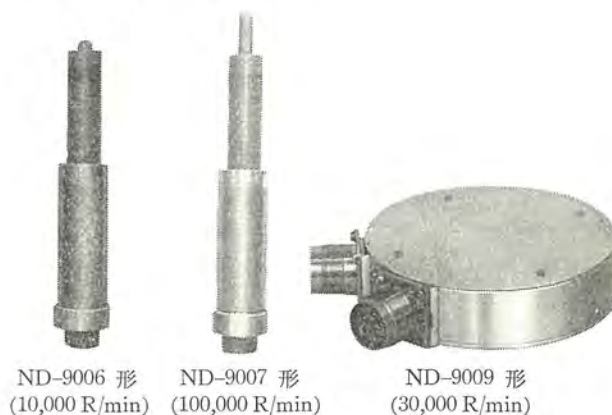


図1 大線量用電離箱



## 次号予定

三菱電機技報 Vol. 40 No. 8

### 工業用電機品特集

#### 特集論文

- 最近の工業用電動機
  - 最新の自動制御装置
  - 分塊圧延機用電機品
  - 連続熱間圧延用電機品
  - 鉄鋼プロセスライン用電機品
  - 焼結設備用電機品
  - 焼結炉および転炉用排風機
  - 製紙、紙加工機用電機品
  - 工作機用電機品
  - 高周波焼入装置用電機品
- #### 普通論文
- シリコンカーバイドの物理的性質
  - スパーク放電質料分析法の特殊な応用
  - 火力発電所の空調調和装置
  - ME-40 R 形 400 Mc 帯 SS-PM 多重回路用簡易中継機
  - 製鉄用電動機の選定 (その1)

#### 電子計算機利用シリーズ

- 圧延電動機の負荷およびイルダ装置の回転速度

#### 技術講座

- SCR インバータとその応用 (その5)

### 三菱電機技報編集委員会

委員長	小倉弘毅
副委員長	片岡高示
常任委員	明石精
〃	安藤安二
〃	石川理一
〃	宇佐見重夫
〃	大野寛孝
〃	北川和人
〃	小堀富次雄
〃	鈴木正村
〃	祖父江晴秋
〃	馬場文夫
〃	山田栄一
委員	横山茂行
〃	尾畑喜行
〃	神崎遼
〃	島津大介
〃	林昇寿
〃	堀真幸
〃	松元雄蔵

(以上50音順)

昭和41年7月22日印刷 昭和41年7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12番地 小倉弘毅

#### 印刷所

東京都新宿区市谷加賀町1丁目 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 高橋武夫

#### 発行所

三菱電機株式会社内 「三菱電機技報社」  
東京都千代田区丸の内2丁目12番地 (三菱電機ビル内)  
(電) 東京 (212) 大代表 6111

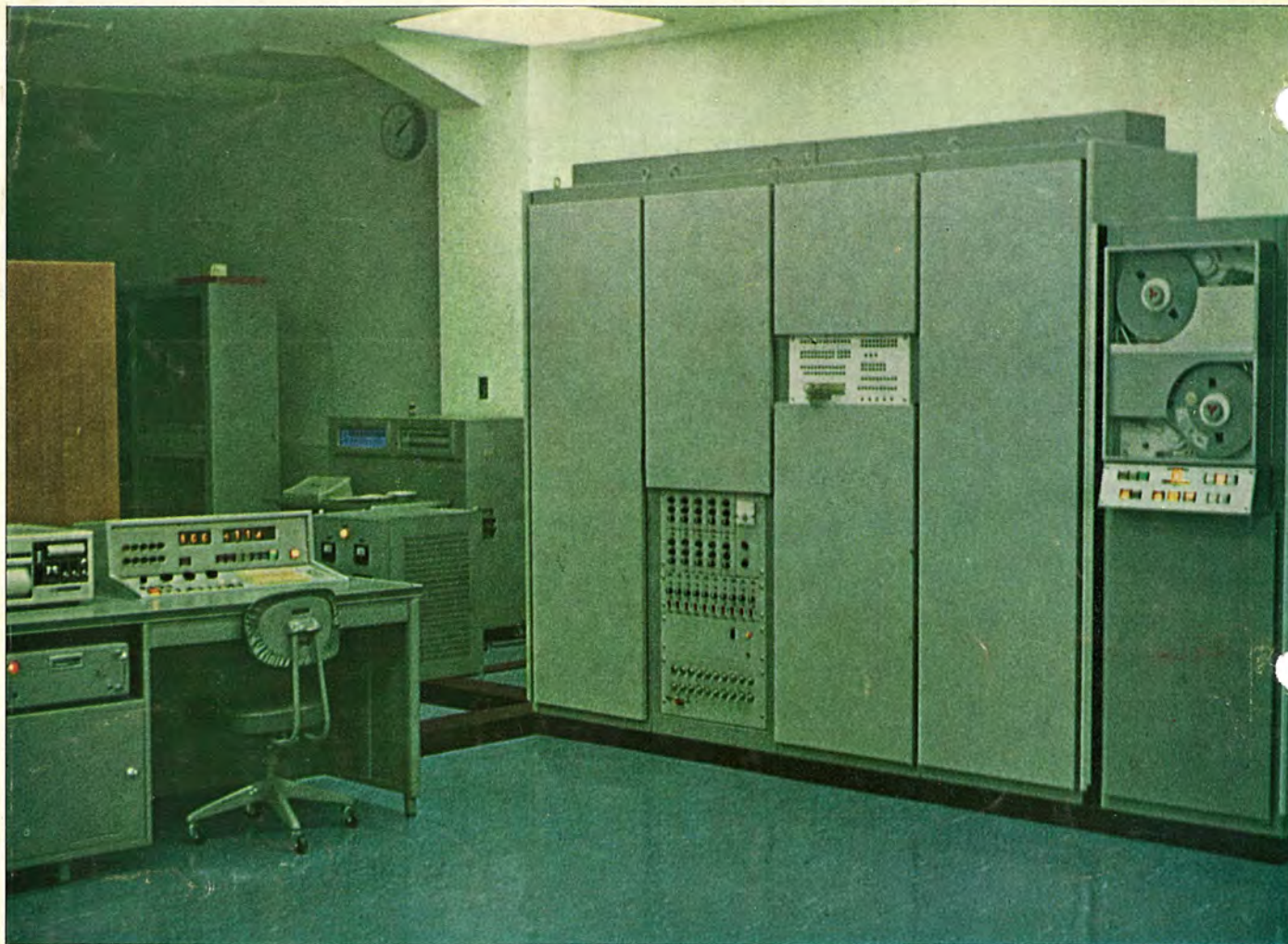
#### 発売元

東京都千代田区神田錦町3の1 株式会社オーム社書店  
電話 (291) 0912 振替東京 20018

### 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12番地 (三菱電機ビル内) (電) 東京 (212) 大代表 6111
大阪営業所	大阪市北区堂島北町8の1 (電) 大阪 (312) 大代表 1231
名古屋営業所	名古屋市中村区広井町3の88・名古屋ビル (電) 名古屋 (561) 大代表 5311
福岡営業所	福岡市天神2丁目12番地1号 天神ビル5階 (電) 福岡 (75) 代表 6231
札幌営業所	札幌市北二条西4の1・北海道ビル(電)札幌(26)大代表 9111
仙台営業所	仙台市大町4の175・新仙台ビル (電) 仙台(21)代表 1211
富山営業所	富山市桜木町1番29号・明治生命館(電)富山(31)代表 3151
広島営業所	広島市中町7番32号・日本生命ビル(電)広島(21)大代表5111
高松営業所	高松市鶴屋町45番地 (電) 高松 (2) 代表 0001
東京商品営業所	東京都千代田区丸の内2の12・三菱電機ビル (電) 東京 (212) 大代表 6111
大阪商品営業所	大阪市北区堂島北町8の1 (電) 大阪 (312) 大代表 1231
名古屋商品営業所	名古屋市中村区広井町3の88・名古屋ビル (電) 名古屋 (561) 大代表 5311
福岡商品営業所	福岡市天神2丁目12番地1号・天神ビル5階 (電) 福岡 (75) 代表 6231
札幌商品営業所	札幌市北二条西4の1・北海道ビル (電) 札幌(26)大代表9111
仙台商品営業所	仙台市大町4の175・新仙台ビル (電) 仙台(21)代表 1211
富山商品営業所	富山市桜木町1番29号・明治生命館(電)富山(31)代表 3151
広島商品営業所	広島市中町7番32号・日本生命ビル(電)広島(21)大代表5111
高松商品営業所	高松市鶴屋町45番地 (電) 高松 (2) 代表 0001
北九州出張所	北九州市小倉区京町10の281・五十鈴ビル (電) 小倉 (52) 代表 8234
長崎出張所	長崎市大黒町3番1号・長崎交通産業ビル (電) 長崎 (3) 代表 6101
横浜出張所	横浜市中区富士見町2の12 (電) 横浜 (66) 2691~3
新潟出張所	新潟市万代町69番地 (電) 新潟 (45) 1378
長野出張所	松本市白坂212番地 (電) 松本 (3) 1453
京都出張所	京都市中京区王生坊城町5 (古橋ビル) (電) 京都(82)1245
神戸出張所	神戸市兵庫区西宮内町82(万統ビル) (電) 神戸(68) 1396
静岡出張所	静岡市七間町9の10・池田ビル (電) 静岡(53) 代表 9186
金沢出張所	金沢市幸町13番28号 (電) 金沢 (63) 代表 1341
岡山出張所	岡山市西長瀬字村北122の1 (電) 岡山 (24) 代表 0331
中央研究所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 大阪 (481) 大代表 8021
商品研究所	鎌倉市大船782番地 (電) 鎌倉 (6) 代表 6111
神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町3丁目 (電) 神戸 (67) 大代表 5041
伊丹製作所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 大阪 (481) 大代表 8021
長崎製作所	長崎市平戸小屋町122番地 (電) 長崎 (3) 大代表 6211
稲沢製作所	稲沢市井之口町1100番地 (電) 稲沢 (32) 代表 4121~9
和歌山製作所	和歌山市岡町91番地 (電) 和歌山 (3) 代表 1275~9
鎌倉製作所	鎌倉市上町屋325番地 (電) 鎌倉(6)大代表 1111
通信機製作所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 大阪 (481) 大代表 8021
北伊丹製作所	伊丹市大鹿字主ヶ池1番地 (電) 伊丹 (72) 大代表 5131
名古屋製作所	名古屋市中区大田町18丁目1番地 (電) 名古屋 (721) 大代表 2111
福岡製作所	福岡市今宿青木690番地 (電) 福岡(88)代表 0431
福山製作所	福山市緑町1番8号 (電) 福山 (2) 代表 2800
姫路製作所	姫路市千代田町840番地 (電) 姫路(23)大代表 1251
相模製作所	相模原市小山字久保224の224 (電) 相模原 (72) 大代表 5131
静岡製作所	静岡市小島110番地 (電) 静岡(85)大代表 1111
中津川製作所	中津川市駒場町1番3号 (電) 中津川 (3) 大代表 2121
大船製作所	鎌倉市大船800番地 (電) 鎌倉(6)代表 6111
郡山製作所	郡山市字境橋町1番地 (電) 郡山(2)1220~3
群馬製作所	群馬県新田郡尾島町大字岩松800番地 (電) 太田 代表 4311
無線機製作所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 大阪(481)大代表 8021
京都製作所	京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字園所1 (電) 京都 西山 (92) 大代表 4171
伊丹製作所	三田市三輪町字父々部85番地 (電) 三田 三輪 田 4371~4375
相模製作所	東京都世田谷区池尻町437番地 (電) 東京 (414) 代表 8111
世田谷工場	札幌市北二条東12丁目98番地 (電) 札幌 札幌 札幌 (22) 3976





## MELDAP-2000高速データ収集システム

最近、機械振動など高速度で変動する現象の相関関数、パワースペクトラムの計算や動特性の解析にデジタル計算機を使用されることが多くなった。この装置は磁気テープを仲介として計測システムとデジタル計算機とを結ぶために、多数チャンネルのアナログ入力を高速走査し、A-D変換してデジタル計算機用磁気テープに記録する装置である。

### ■主な特長

- (1)毎秒12,000データの高速処理能力を持つ。
- (2)作成された磁気テープは記録密度 556 ビット／インチで MELCOM システム、IBM システムとの互換性も考慮されているので、データの処理は迅速に行なわれる。

(3)三菱電機製テレメータなどと組み合わせれば検出器からデジタル計算機入力までの一貫した計測システムが構成されるなどの点である。

写真は、データ収集装置本体（中央の3キャビネット）、磁気テープ装置（右端）、FM信号をAM信号に復調するテレメータ復調器（左端）および操作卓（前方左端の机）を含む全システムの外観である。

今日もあなたと共に

