

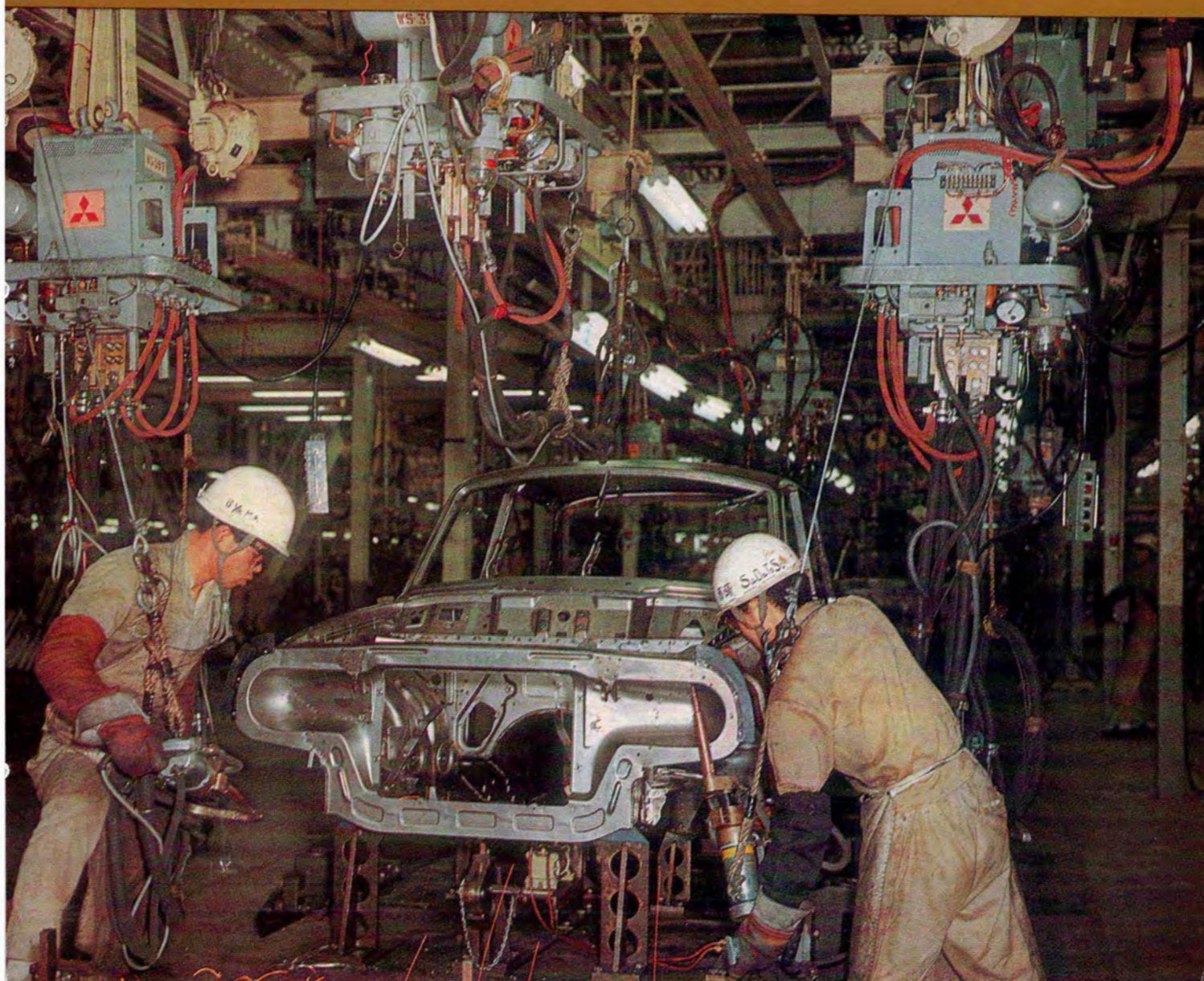
MITSUBISHI DENKI GIHO

三菱電機技報

Vol. 37 December 1963

12

いすゞ自動車株式会社藤沢製造所納め单相 75 kVA 可搬点溶接機



● 戦後初の韓国向け 16,000kVA 水車発電機完成

昨年秋、当社が韓国電力から蟾津江（せんしんこう）発電所向けとして、受注した水力発電機器一式のうちの主要機器である。

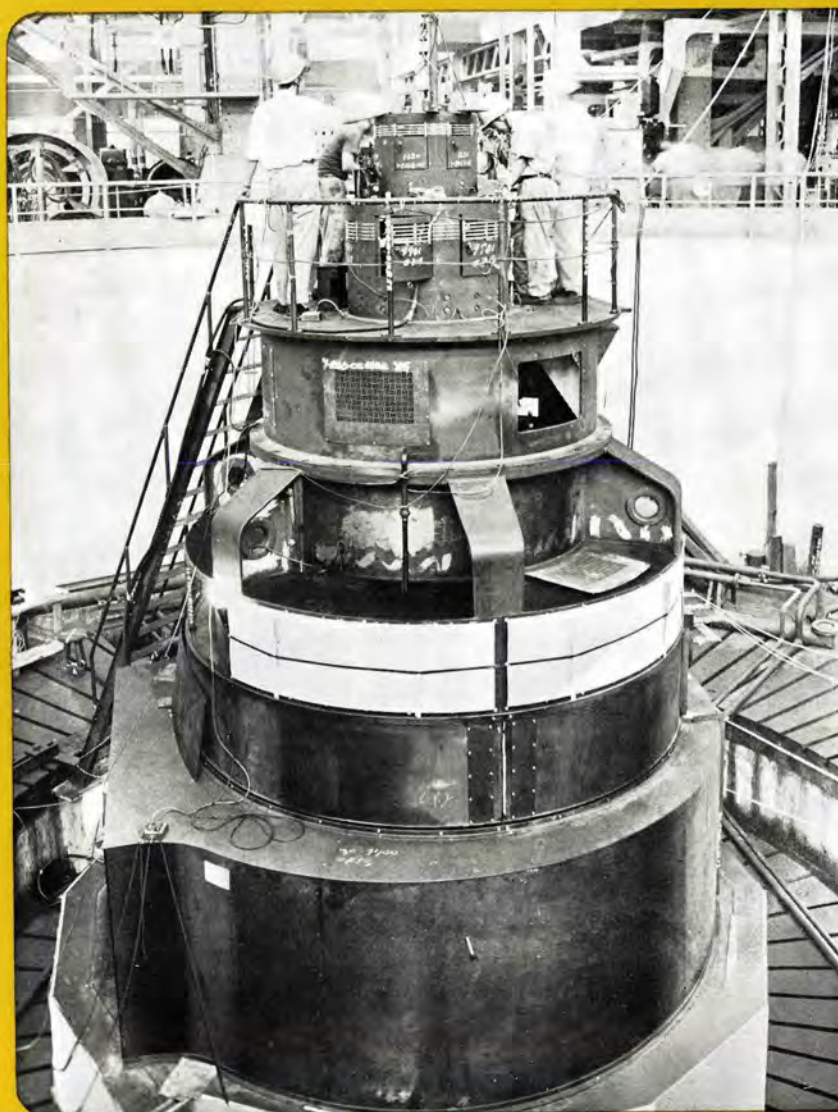
16,000kVA 水車発電機1台がこのほど完成し、工場の立会試験も好成績のうちに終わり（工場では910rpm、1分間の無拘束速度試験を実施し、振動、強度および軸受の安全性など、優秀な性能を実証した。）近く神戸港から船積み輸出される。

この蟾津江発電所には、昭和18年に当社が同容量の第1号機を納入しているが、戦後では今回の発電機が、わが国最初の水車発電機の韓国向け輸出である。

本機は、韓国の電源開発5ヵ年計画の一環をなすもので、電力が不足ぎみといわれる韓国の電力事情に大きく貢献するものと期待されている。

■ 仕様

形式	立軸普通形閉鎖風道換気形	周波数	60 c/s
容量	16,000 kVA	回転数	514 rpm
電圧	11 kV	力率	90%
		励磁機	66 kW 220 V



韓国 蟾津江発電所納め
16,000 kVA 水車発電機



表紙説明

いすゞ自動車株式会社藤沢製造所に納められた当社製、単相 75 kVA 可搬点溶接機で乗用車の生産ラインに活躍している。同社にはすでに数百台納められている。その特長は非常に小形、軽量で溶接作業を能率的にし強力な溶接を行ない保守点検が容易にできる。当社可搬点溶接機は現在もさらに研究改良を続けられ、全トランジスタ型式の可搬点溶接機も生産を行っており放電管の消耗なく、イグナイトロンの寿命が非常に長くなった。本機は国内に先がけて生産をはじめ1千台を越えた。



三菱電機技報

昭和 38 年 第 37 巻 第 12 号

目 次

超高圧 タンク 形 SF ₆ ガスシタ 断器の試作	新井正元・潮 恒郎・富永正太郎・稲村 彰一	2
200 号 プッシング の活線洗浄試験	印藤義雄・永谷幸保	10
柱上変圧器過負荷表示器 (OL 形)	白神十九一	16
入換機関車無線操縦装置 (SLC-1)	篠原 泰・中村一郎・佐藤 清・丸浜徹郎 ・今里英吉・田村祥一・江塚 昭	19
列車自動運転のための指令装置	石田哲爾・鳥居健太	25
EH 形 キュービクル 開閉装置	天藤憲二	33
インパイル ガス ループ 実験装置の放射線 モニタ	後藤正之・的 塾 卓・永井昭夫・小倉成美・小谷野明	39
ホットケーブ 内で用いる各種加工機	津田 栄一	47
BF ₃ 比例計数管	宮下恭一・石井武美	52
核磁気共鳴信号検出器の特性	下地 貞夫・仲森 諒貢	61
複合認識系の実験	吉江高明・木村孝之・黒田寿一	68
遠心脱水機の振れまわり運動	平野 一郎・松倉欣孝	76
赤外線 ホームコタツ	田村弘治郎・内田 武士・平塚 篤・小原英一	81
シリコン・カーバイド の結晶成長 (I)	岡田 武夫・栗根克昶	88
ケイ 素鋼帯の磁気特性連続自記装置—(1) 鉄損測定の誤差—	野口 英男・土屋英司・鈴木 裕	94
《技 術 解 説》		
変圧器用絶縁油	白井万次郎・岩井 博道	101
《ニュース・フラッシュ》		106
国鉄北陸線増備用 EE70 形交流電気機関車完成・奥多摩工業株式会社向け 12t 産業用電気機関車納入・三菱 鉱業株式会社大夕張鉱業所向け新鋭 12t 鉱山用電気機関車納入・ロジック・トレーナ 新製品 (LT-1000, LT-2300)・ 5GC 移相器完成・HDF 形断路器完成・ボールレグ S を開発・OU 形操作 スイッチ 全機種完成 (PL 形信号灯含 む)・新方式 EE 形電磁開閉器を開発		
《新 製 品 紹 介》		111
三菱工業計測器 (A シリーズ その 2)・三菱空気清浄機 (エアクリーナ) 2 機種新発売・家庭用空気調湿器 “三菱 ヒューミデファイア” 新発売・三菱 テレビ “ロマンティカ” 新発売・三菱 トランジスタラジオ FX-955D 形発売		
《特 許 と 新 案》		115
可飽和特性を有する非線形要素の作動安定化回路・電気魚焼器		
昭和 38 年第 37 巻総目次		116
《最近における社外寄稿一覧》		121
《最近における社外講演一覧》		15
《表 紙》		
2. 韓国鎭津江発電所納め 16,000 kVA 水車発電機完成		
3. フィリピンブレド鉱山納め 2×9,375 kVA タービン発電機完成		
4. 三菱 ステレオ (DSS-569)		

超高压タンク形 SF₆ ガスシャ断器の試作

新井 正元*

潮 恒郎**・富永正太郎***・稲村 彰***

Trial Manufacture of EHV Tank Type Gas Circuit Breaker

Nagoya Sales Office Masamoto ARAI

Itami Works

Tsunerō USHIO・Shōtarō TOMINAGA・Shōichi INAMURA

SF₆ is known as the gas having an excellent arc extinguishing ability as well as good dielectric properties. Extensive studies have been made these ten years to use this gas for high power circuit breakers. Mitsubishi now has succeeded in developing 240kV 15,000MVA 2,000A SF₆ circuit breakers for the first time in this country, and obtained valuable experiences through the manufacturing and testings of this breaker. The Company is now making further investigations on the possibilities of new breakers for higher ratings based on the excellent features of arc quenching property of SF₆ thus obtained and also taking into account the customers' requirements.

1. ま え が き

SF₆ ガスは古くからすぐれた絶縁性をもつガスとして知られていたが、消弧媒体としても卓越した特性を有することが発見され、ここ十数年来これをシャ断器に使用するためのいろいろの研究が行われてきた。(1)(2)(3)(5) これらの研究によれば、絶縁性はせいぜい空気の数倍であるが消弧能力は実に空気の100倍以上もあり、SF₆ ガスの優秀性はむしろ後者にあることがわかっている。

アメリカにおいてはすでに、このSF₆ ガスを使用した負荷断路器や高圧シャ断器が実用される段階にはいっており(3)、当社においてもこのたび 240 kV, 15,000 MVA の大容量シャ断器がわが国ではじめてのガスシャ断器として開発、試験を完了したので、その構造性能などについて紹介する。

2. SF₆ ガス

2.1 物理的性質

SF₆ ガスはきわめて安定度の高い化合物で普通の使用状態では不活性、不燃、無臭、無毒の気体である。大気圧では -62°C、15 気圧では約 8°C で液化する。比重は空気の約 5 倍、単位モルあたりの定圧比熱は約 3.5 倍、絶縁耐力は電極形状により大きく左右されるが平等電界では空気の 2~3 倍、約 3 気圧 ケージ で油以上になる。その主要な物理定数を表 2.1、絶縁耐力特性の一例を図 2.1、圧力と温度との関係を図 2.2 に示す。

2.2 生理的安全性

「はつかねずみ」を酸素 1、SF₆ ガス 4 の割合に混合したふんい気中(空気中の窒素を SF₆ ガスに置換したことに相当する)に 24 時間放置し、検査の結果異常は発見されなかった。(4) またシャ断試験を行なった SF₆ ガスを 2/1,000 の割合で空気と混合し「ねずみ」をその中に放置してもなんらの障害は認められなかったという実験がある。(11)

当社およびアメリカ Westinghouse 社における試験中のガスシャ断器を取り扱う技術員は特別の器具を用いず 3 年以上も作業を行なっているが健康上の異常は発見されていない。もちろんシャ断回数、点検回数は現地におけるものと比較にならぬほど多いと考

表 2.1 SF₆ の主要物理定数

分子式	SF ₆	空気 (参考値)
分子量	146.07	28.8
融 点 (°C)	-50.7	
昇華点 (°C)	-63.8	
臨界温度 (°C)	45.547±0.003°C	
臨界圧力 (kg/cm ²)	38.35	
臨界密度 (g/cm ³)	0.730	
誘電率	1 気圧 25°C おいて 1.002	1.0005
密 度	20°C おいて (g/l)	
	0 kg/cm ² G おいて 6.25	1.166
	1 kg/cm ² G # 12.3	
	5 kg/cm ² G # 38.2	
	10 kg/cm ² G # 75.6	
	15 kg/cm ² G # 119	
熱伝導度 (cal/s·cm·°C)	3.36×10 ⁻⁸	5.12×10 ⁻⁸
比熱比	1.07	1.4
定圧比熱 Cp (cal/g mol)	23.22	6.85
	25°C、1 気圧において	
油に対する可溶性	1 cc の油に対し (cc) 0.297	
水に対する可溶性	1 cc の水に対し (cc) 0.001	
水の SF ₆ に対する可溶性	0.035±0.010 (重量 %) 30°C において	

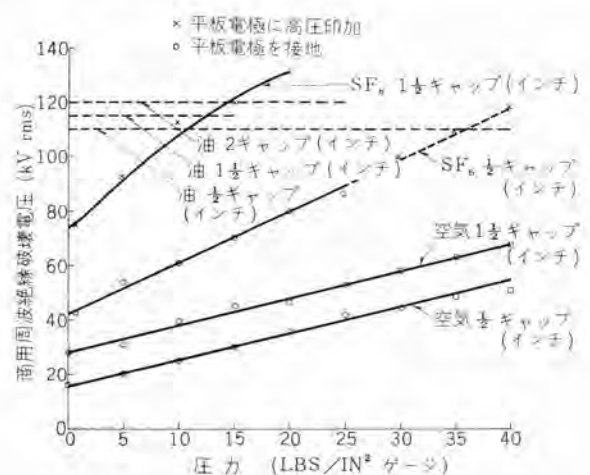


図 2.1 SF₆ ガス および空気の絶縁破壊電圧と圧力の関係の一例
Fig. 2.1 An Example of AC breakdown voltage versus pressure characteristics of SF₆ and air.

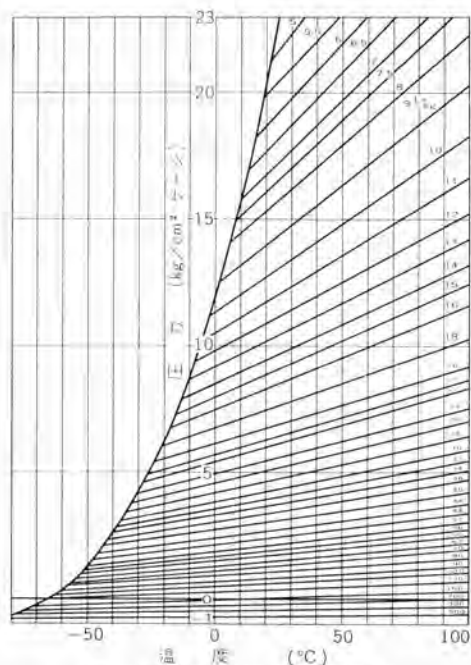


図 2.2 SF₆ の圧力-温度特性
Fig. 2.2 The pressure-temperature characteristics of SF₆.

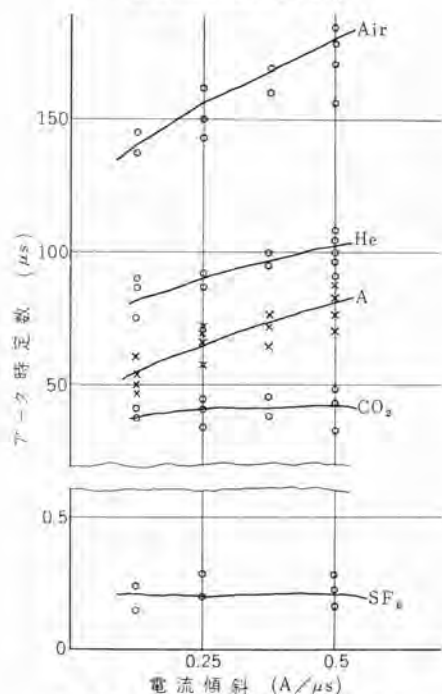


図 2.3 種々のガスのアーク時定数と電流傾斜との関係

Fig. 2.3 Arc time constant versus current slope characteristics of various gases.

えられる。したがって上記の経験から実際に使用される場合、保守点検に際しての生理的安全性についてはまったく問題ないと断定してよい。

2.3 アークシャ断性能

SF₆ ガスが消弧にきわめてすぐれた特性を示すのは、SF₆ ガスが自由電子を急速に吸着し、安定な重いイオンを生成するいわゆる電氣的負性ガスであるためと考えられる⁽²⁾⁽⁹⁾。また SF₆ ガス中のアークには、他のガスでは類を見ないいくつかの特異な性質が見られる。そのうち、とくに SF₆ ガス中の小電流アークを高速度カメラで撮影した結果から、SF₆ ガス中

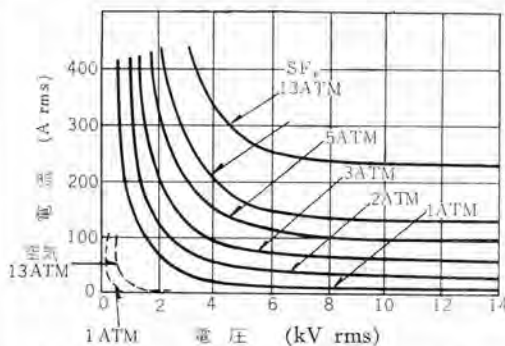


図 2.4 SF₆ ガス中の 76 mm 並切形シャ断器のシャ断可能電圧電流特性 (PF=0) 点線は SF₆ ガスの代わりに空気を用いた場合
Fig. 2.4 Voltage versus current interrupting characteristics of SF₆ gas at various pressure: Dotted lines show the results using air instead of SF₆.

では極端に細かくかつ輝度の高いアークが、他のガス中のそれに比べてはるかに低い電流レベルまで、安定して維持されることが判明しており⁽²⁾、これは大電流シャ断能力がすぐれているにもかかわらず、小電流シャ断に際して電流サイ断現象による異常電圧を生じないという、都合のよい特性と関係があるものと考えられきわめて興味深い。

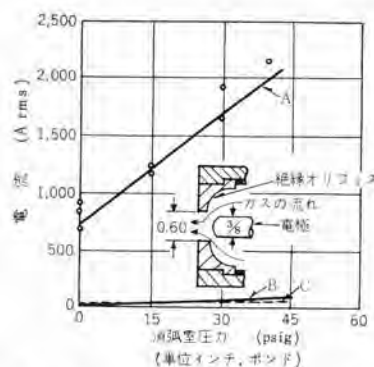
2.3.1 並切シャ断点によるシャ断性能

いま 100~350 c/s, 500 A の電流につき、10 kg/cm² G の SF₆ ガス、空気、その他のガス中の並切シャ断点におけるアーク路の電流零値後の導電率減少度合を時定数で表わして、電流傾斜との関係を調べると図 2.3 のとおりである⁽²⁾。すなわち同じ電流傾斜では、SF₆ は空気の 1/100 以下で、しかも電流傾斜が大きくなると空気は時定数が増加する傾向があるが、SF₆ は電流傾斜に無関係に一定であり、SF₆ ガスの絶縁回復特性は空気その他のガスに比べて、段違いに早いことがわかる。

図 2.4 に気圧をパラメータにした SF₆ ガス中(実線)と空気中(破線)における 76 mm 並切シャ断点のシャ断可能電流と電圧の関係を示すが、同じ気圧では SF₆ ガス中のほうが空気中より 2 ケタ以上大きい電力のシャ断が可能であると考えてよい。

2.3.2 強制吹付けシャ断点によるシャ断性能

SF₆ ガスを簡単なパフファなどでアークに強制的に吹き付けると、そのシャ断性能は飛躍的に増大することが知られている。図 2.5 にパフファによる SF₆ ガス吹付けを行なう場合(曲線 A)、



曲線 A: 13,800 V におけるパフファ式消弧室シャ断特性 PF=0 (消弧室形状はスケッチに示す)
曲線 B: 76 mm 並切シャ断点による A と同様の回路のシャ断特性
曲線 C: A と同じパフファ式消弧室による A と同じ回路のシャ断特性。ただし消弧媒体が空気の場合

図 2.5 SF₆ ガスの強制吹付けが消弧性能に及ぼす影響

Fig. 2.5 The effect of forced gas flow on the arc quenching ability of SF₆.

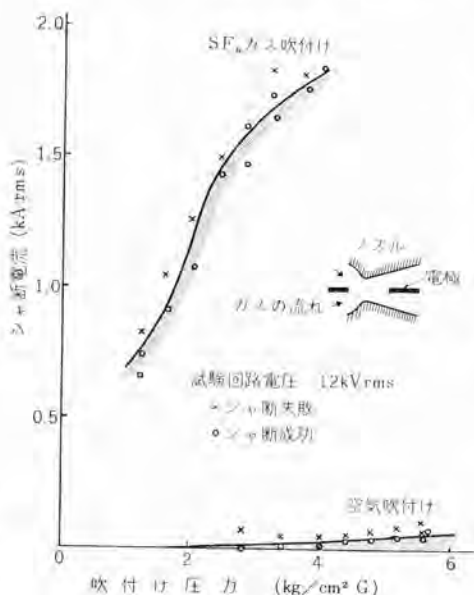


図 2.6 SF₆ ガス吹付けおよび空気吹付けシャ断の特性比較

Fig. 2.6 The interrupting ability of the interrupter using SF₆ gas blast in comparison with that using air blast.

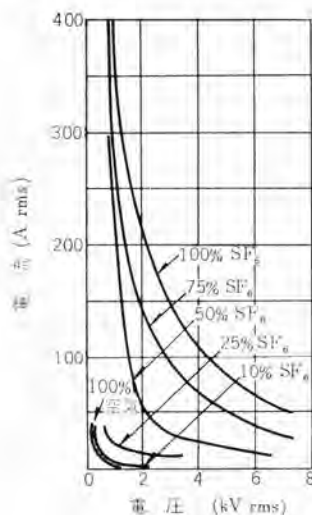


図 2.7 SF₆ ガスおよび空気混合媒体中（合計の気圧 2 ゲージ 気圧）における 38 mm 並切シヤ断点のシヤ断可能電圧電流特性 (PF=0)
Fig. 2.7 The effect of air admixture into SF₆ on the arc quenching ability of SF₆ gas.

同条件で空気吹付けを行なう場合（曲線 C），SF₆ ガス中の 76 mm 並切シヤ断点による場合（曲線 B）のシヤ断性能の比較を示すが空気を吹き付ける場合（曲線 C）と SF₆ ガス中並切シヤ断点の場合（曲線 B）はほぼ同性能，SF₆ ガスを吹付けた場合（曲線 A）は飛躍的に大電流までシヤ断可能になることがわかる。

図 2.6 に実際使用されているものに近い形状のノズルで行なったシヤ断性能と吹付け圧力との関係を SF₆ ガスおよび空気について示した。

2.4 アークによる SF₆ ガスの劣化

SF₆ シヤ断器が大電流を繰り返しシヤ断する場合、当然問題となるのはアークによる SF₆ ガスの劣化であるが、種々の実験からアークによる SF₆ ガスの汚損あるいは分解は、ほとんど無視できるものと考えられる⁽¹⁾。質量分析計により長時間アークにさらされた後のガスを測定した結果からも微量の低位フッ素化合物、たとえば S₂F₆、SF₅、SF₄ などが過渡的に発生するが、大部分は急速に再結合してもとへ戻るものと推定され、また活性アルミナを使用すれば残留する生成物はほとんど吸着される。

2.5 空気との混合による特性の低下

図 2.7 に 38 mm 並切シヤ断点による 100% SF₆ ガス、100% 空気およびいろいろの混合比における SF₆ ガス、空気混合ガス中シヤ断点のシヤ断可能電圧と電流の関係を示した。実際にシヤ断器に使用する場合は、10% 程度の混合は性能にたいした影響はないものと考えられる。

3. 定 格

このたび開発された SF₆ ガスシヤ断器の定格は下記のとおりで、外形寸法を図 3.1 に、外形写真を図 3.2 に示す。

定格電圧	240 kV
定格電流	2,000 A
定格シヤ断容量	15,000 MVA
定格投入電流	98.4 kA
定格短時間電流	36 kA
定格シヤ断時間	3 c/s

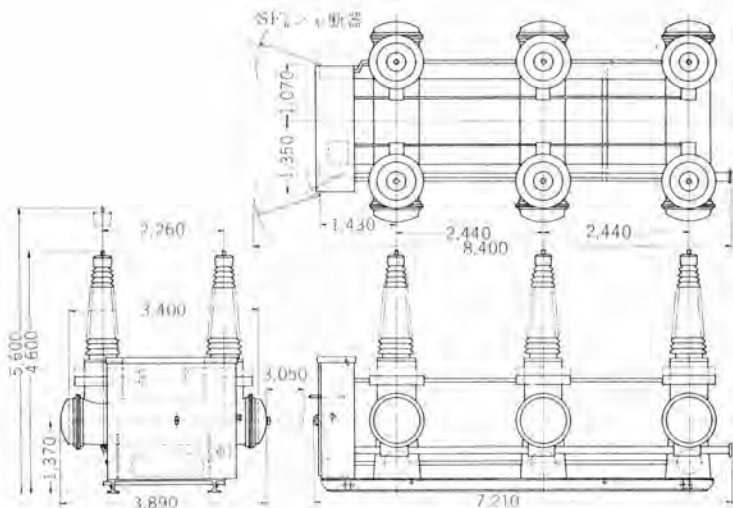


図 3.1 240 kV, 15,000 MVA, 2,000 A, SF₆ シヤ断器
Fig. 3.1 Outline dimensions of 240 kV, 15,000 MVA, 2,000 A, SF₆ breaker.

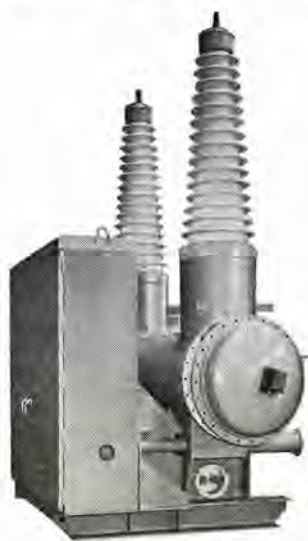


図 3.2 単相 240 kV, 15,000 MVA, 2,000 A, SF₆ シヤ断器外観
Fig. 3.2 Outline photograph of single phase 240 kV, 15,000 MVA, 2,000 A, SF₆ gas circuit breaker.

4. 構 造

4.1 消弧室

シヤ断器の構造を図 4.1 に、接触部の構造を図 4.2 に示す。図 4.1 に見られるように、SF₆ 約 2 kg/cm²G に保たれた大地電位の低圧ガスタンク内に 3 個の直列シヤ断点が 2 本の垂直ラッシングによりきさえられ、片側のラッシング下部の高圧ガス室から吹付弁を通じて各シヤ断点へ高圧ガスを送る絶縁管がある。この高圧ガス室には、低圧ガスタンク下部の高圧ガスタンクから給気管を通じて、15 kg/cm²G 程度の高圧 SF₆ ガスが供給されている。3 個の可動接触子は、絶縁物からなる 2 本の水平な可動接触子操作棒により連結され、絶縁操作棒によってタンク外部の圧縮空気振作機構で操作される。

可動接触子が開路動作を行なうと、これに連動して高圧ガス室にある吹付弁が開き、高圧ガスは吹付管を通じて各シヤ断点に送られる。接触部は図 4.2 に示されるように中空の可動接触子、フィンガとアーク・ホーンをもつ固定接触子およびテフロン製フローガイドからなり、開極時アーク・ホーンと可動接触子間に生じたアークに対し、軸方向に高圧 SF₆ ガスが吹き付けられて消弧される。各シヤ断点間の電圧分布は極間に並列にそう入されたコンデンサによって調整されている。

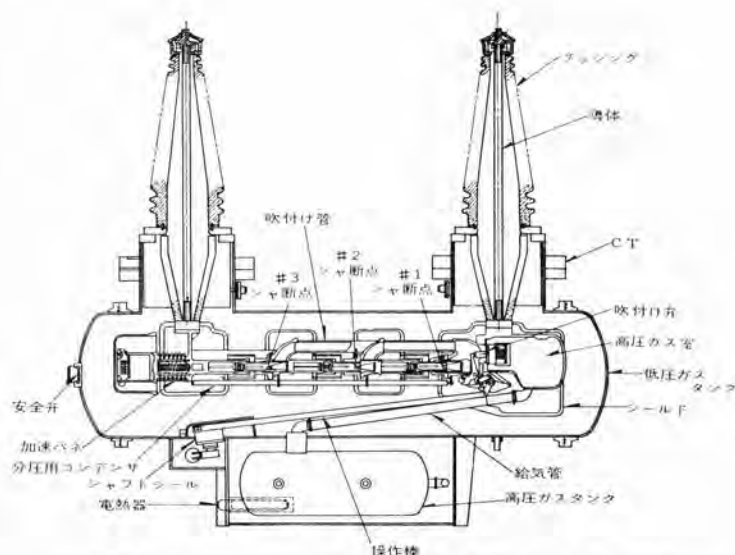


図 4.1 240 kV, 15,000 MVA, 2,000 A SF₆ シャ 断器構造図
Fig. 4.1 Cross section of 240 kV, 15,000 MVA, 2,000 A SF₆ breaker.

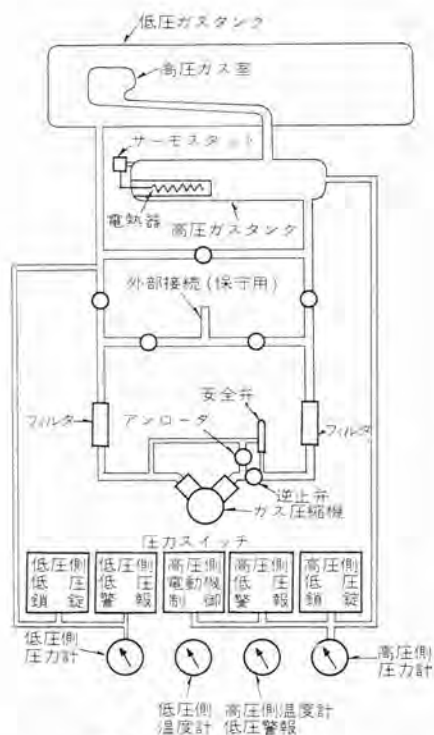


図 4.4 ガス 系統説明図
Fig. 4.4 Gas system for SF₆ circuit breaker.

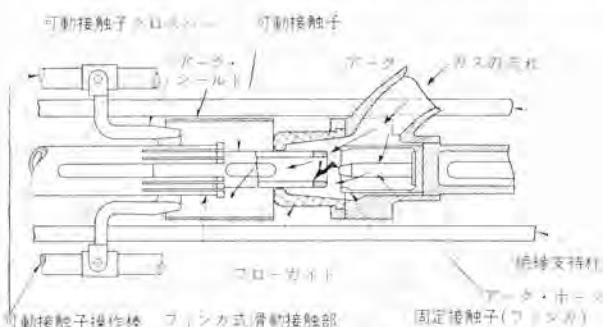


図 4.2 240 kV, 15,000 MVA, 2,000 A SF₆ シャ 断器接触部構造
Fig. 4.2 Construction of contacts of 240 kV, 15,000 MVA, 2,000 A SF₆ breaker.

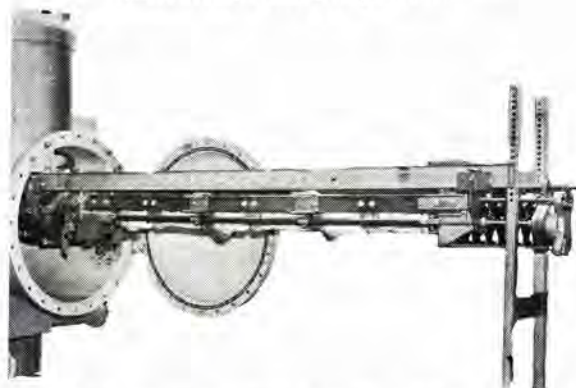


図 4.3 点検のために タンク 外部へ引き出された消弧室
Fig. 4.3 The interrupter drawn outside of the tank for inspection.

消弧室は図 4.3 に見られるように簡単な レール を タンク に取付けることにより容易に引き出して点検ができる。

4.2 ガス 系統

低気圧側に排出された ガス は図 4.4 の ガス 系統図に示されるように、高圧 ガス 系統が一定気圧以下になると ガス 圧縮機が働き、活性 アルミナ・フィルタ を通じて高圧 ガス 系統に戻されるようになっている。

もし高気圧系統の ガス 圧力が ガス 圧縮機の故障などにより不足した場合には警報が出て、さらに圧力が低下すれば シャ 断器が開の場合は投入制御回路が切れて シャ 断器が投入しないように鎖錠され、シャ 断器が投入状態のときは仕様によってそのまま鎖錠す

るか、あるいは シャ 断動作を行なった後鎖錠するようになっている。

ガス が外部に漏れているときは、低気圧系統の ガス 圧力が低下するから警報が出て、さらに圧力が下がれば ガス 圧縮機電源回路を切り、ガス 圧縮機の運転が中止されるようになっている。

15 kg/cm²G の SF₆ ガスは約 8°C で液化するので、これを防ぐため、サーモスタット で制御される電熱器が高圧 ガス タンク 内に備えられている。

4.3 ブッシング

図 4.5 に見られるように、この シャ 断器に使用されている ブッシング は有機絶縁物を用いない、いわゆる ガスブッシング

である。中央の導体によって上下の ガイシ をはさむセンタ・クランプ方式を採用し、シャ 断器 タンク に取り付けると、自動的に シャ 断器低気圧側と同じ約 2 kg/cm²G の SF₆ ガスが満たされ、これによって絶縁が保持される。

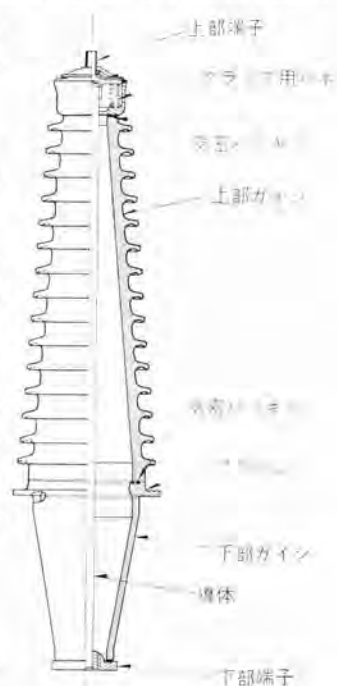


図 4.5 SF₆ ガス 入り ブッシング
Fig. 4.5 SF₆ gas bushing.

5. 試 験 結 果

SF₆ ガス シャ 断器の性能の検証は、すでにアメリカ⁽¹⁾ および欧州⁽²⁾ において、これと同形の シャ 断器により短絡試験場および現地で実施された。すなわちアメリカでは Westinghouse 電機会社の試験場においてはもちろん、1960 年 12 月には Southern California Edison Co. の Lagna Bell 変電所で、69 kV 回路を用い 1 点 シャ

断で 25 kA のシャ断試験を行ない、すべて 3 サイクル シャ断に成功、さらに B.P.A. の Grand Coulee Dam において 1962 年 12 月単相全極母線短絡試験 240 kV, 47 kA まで、単相全極近距離線路故障試験 0.7 マイル 22 kA, 0.4 マイル 24.4 kA などを行ない、いずれもすぐれたシャ断性能が実証された。欧州においても Fontenay では実際の送電線を使用して 24.6 kA, 4.5 kV/μs の近距離線路故障をシャ断し、CESI でも同じく 25 kA, 4.9 kV/μs 程度の近距離線路故障の試験に成功している。

当社においては社内の短絡試験場での徹底的な試験のほかに、最近完成した超高压電力研究所、武山試験所に持参し、同所最大の出力による短絡電流、過電圧電流、充電々流などのシャ断試験を行ない、すぐれた成績をおさめた。これらの試験結果は次に述べるとおりである。図 5.1 に武山試験所における試験中のシャ断器の写真を示す。

5.1 励磁電流シャ断試験

SF₆ ガスシャ断器は、大きい短絡電流に対してきわめて消弧能力がすぐれているにもかかわらず、小さい励磁電流のシャ断に際して、なんらの電圧抑制装置を付加しないでも、電流切断による異常電圧が発生しないという大きい特長があげられ、これは 2.3 節にも述べたように、SF₆ ガスの基本的な特性によるものと考えられる。表 5.1 に当社における励磁電流シャ断試験結果を示すが、とくに 200 A 以上の突入電流についても

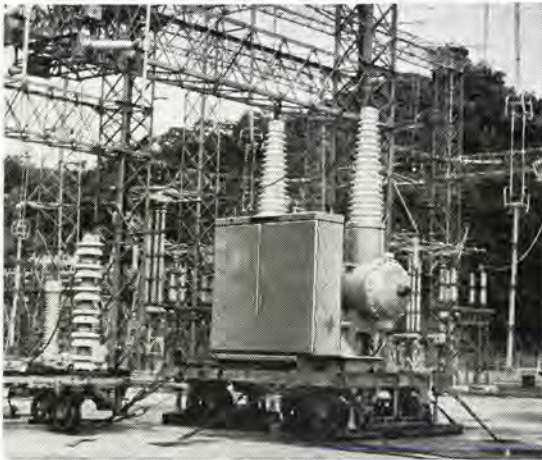


図 5.1 超高压電力研究所、武山試験所で試験中の 240 kV, 15,000 MVA, SF₆ シャ断器
Fig. 5.1 240 kV, 15,000 MVA, SF₆ circuit breaker under tests in testing authorities at Takeyama, Japan.

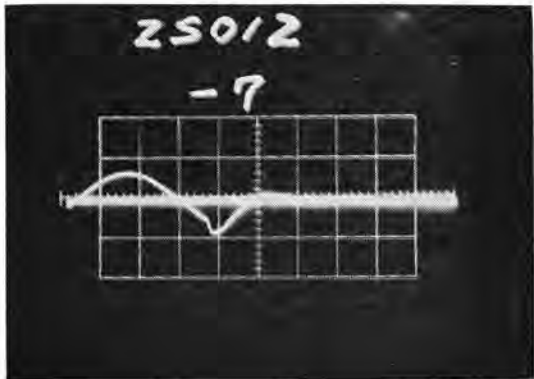


図 5.2 83 kA, 10 A rms 励磁電流シャ断時の変圧器側過渡電圧 (倍数 1.12) 試験詳細は表 5.1 参照
Fig. 5.2 Transient voltage wave form at the transformer side when interrupting exciting current of 10 A rms, 83 kV.

試験を行ない、発生電圧は常規対地電圧波高値の 1.5 倍以下であった。図 5.2 に 10 A, 83 kV を単一シャ断点でシャ断したときの変圧器側電圧波形を示した。

5.2 充電々流シャ断試験

表 5.2 に当社試験場における単相全極を使用した充電々流 180 kV = $\frac{240}{\sqrt{3}} \times 1.3$, 42.5 A のシャ断試験結果を、表 5.3 に超高压電力研究所における単相全極を使用した充電々流 170 kV = $\frac{240}{\sqrt{3}} \times 1.25$, 135 A のシャ断試験結果を示すが、いずれも再点弧、再発弧は皆無であった。図 5.3 (a) にこれら試験の電磁オシログラムの一例を、図 5.3 (b) に同じくブラウン管オシログラムの一例を示す。

表 5.1 当社試験場における単相励磁電流シャ断試験

使用 シャ断点	給与電圧 (kV)	シャ断電流 (A)	アーク時間 (サイクル) ※	変圧器側 過渡電圧 (倍数)	開極 位相	SF ₆ ガス圧力	
						高 圧 (kg/cm ² G)	低 圧 (kg/cm ² G)
全 極 (3 点)	167	12.5	0.25	1.31	φ1	16.5	2.0
	"	"	0.2	1.14	φ2	"	"
	"	"	0.1	0.93	φ3	"	"
	"	"	0.15	1.00	φ4	"	"
	"	"	0.25	1.00	φ5	"	"
	"	"	0.3	1.38	φ6	"	"
"	153	6.1	0.2	1.40	φ1	16.5	2.0
	"	"	0.2	1.00	φ2	"	"
	"	"	0.15	0.90	φ3	"	"
	"	"	0.15	1.04	φ4	"	"
	"	"	0.25	0.24	φ5	"	"
	"	"	0.25	1.48	φ6	"	"
"	153	355	0.35	1.45	φ1	16.5	2.0
	"	173	0.25	1.26	φ2	"	"
	"	280	0.2	1.11	φ3	"	"
	"	305	0.2	0.96	φ4	"	"
	"	246	0.15	0.96	φ5	"	"
	"	220	0.15	1.00	φ6	"	"
単 シャ断点	82	10	0.25	1.12	φ1	16.5	0.2
	"	"	0.4	1.15	φ2	"	"
	"	"	0.35	1.03	φ3	"	"
	"	"	0.35	1.03	φ4	"	"
	"	"	0.45	1.03	φ5	"	"
	"	"	0.3	1.22	φ6	"	"

(注) 1. ※ 60 サイクルベース
2. ‡ この試験のブラウン管オシロによる電圧波形を図 5.2 に示す。

表 5.2 当社試験場における単相充電々流シャ断試験

印加電圧 (kV)	充電々流 (A)	シャ断時間 (60 サイクルベース)		開極位相	再点弧 (回)	再発弧 (回)	SF ₆ ガス圧力 (kg/cm ² G)	
		アーク時間 (サイクル)	シャ断時間 (サイクル)				高 圧	低 圧
180	42.5	0.45	2.7	φ1	0	0	13	2.5
"	"	0.35	2.6	φ2	0	0	"	"
"	"	0.25	2.5	φ3	0	0	"	"
"	"	0.15	2.4	φ4	0	0	"	"
"	"	0.05	2.3	φ5	0	0	"	"
"	"	0.5	2.75	φ6	0	0	"	"
"	"	0.4	2.65	φ7	0	0	"	"
"	"	0.35	2.6	φ8	0	0	"	"
"	"	0.2	2.45	φ9	0	0	"	"
"	"	0.15	2.4	φ10	0	0	"	"
"	"	0.55	2.8	φ11	0	0	"	"
"	"	0.45	2.7	φ12	0	0	"	"

表 5.3 超高压電力研究所、武山試験所における充電々流シャ断試験
(昭和 38 年 5 月 17 日)

試 験 番 号	印 加 電 圧 (kV)			試験周波数 (サイクル)	シャ断電流 (A)	制御位相 (度) ※	シャ断時間 50 サイクル ベース (サイクル)	再点弧 (回)	再発弧 (回)
	電 源	極 間	コンデンサ (マイクロ)						
000202	165.3	152.7	165.3	49.2	135	0	2.0	0	0
000203	164.0	154.4	164.0	49.7	133	38	2.0	0	0
000204	174.0	163.0	174.0	49.2	137	180	2.0	0	0
000205	164.0	152.7	164.0	49.2	135	92	2.3	0	0
000206	164.5	153.1	164.5	49.7	137	120	2.3	0	0
000207	171.8	159.0	171.8	50.0	134	151	2.2	0	0
000208	164.0	156.0	164.0	49.5	135	169	2.1	0	0
000209	171.8	163.0	171.8	49.2	135	223	2.0	0	0
000210	158.8	148.2	158.8	49.0	134	213	2.0	0	0
000211	161.0	148.2	161.0	49.0	135	47	1.8	0	0
000212	159.2	148.2	159.2	49.7	134	32	2.0	0	0
000213	168.0	159.7	168.8	49.3	132	322	2.2	0	0
000214	164.5	150.2	164.5	50.0	135	223	2.0	0	0

(注) 1. ※ 制御位相は 000202 の位相を基準とした。
2. SF₆ ガス圧はガス圧縮機自動運転による。高圧側約 15.5 kg/cm² G 低圧側約 2.3 kg/cm² G
3. ‡ 試験 000208 の電磁オシロを図 5.3 (a) に、ブラウン管オシロを図 5.3 (b) に示す。

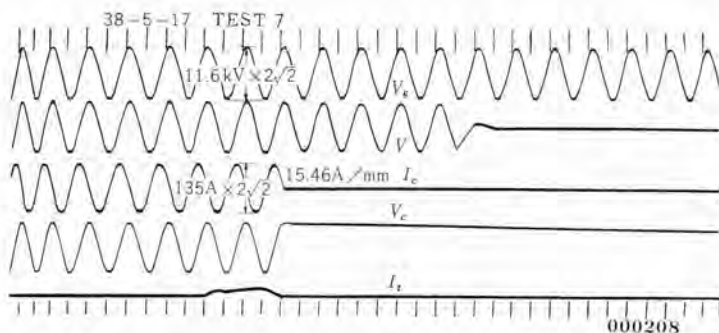


図 5.3 (a) 武山試験所における充電電流シャ断試験電磁 オシログラムの一例 (表 5.3 #000208 参照 単相 164 kV, 135 A)

Fig. 5.3 (a) An example of magnetic oscillogram in the charging interrupting tests at Takeyama test station. (single phase 164 kV, 135A, refer to table 5.3 #000208)

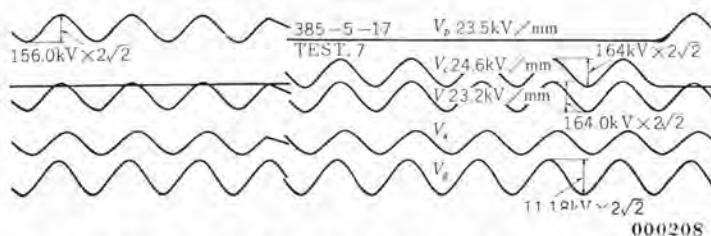


図 5.3 (b) 武山試験所における充電電流シャ断試験 ブラウン管 オシログラムの一例 (表 5.3 #000208 参照)

Fig. 5.3 (b) An example of cathode ray oscillogram in the charging interrupting tests at Takeyama test station (refer to table 5.3 #000208).

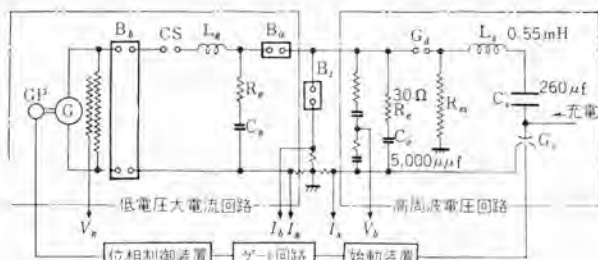


図 5.4 当社における Weil 等価試験回路
Fig. 5.4 Weil's synthetic test circuit.

5.3 短絡電流シャ断試験

JEC 145 に規定され短絡電流シャ断試験のほか、とくに最近問題とされている近距離線路故障について、Weil 回路を用いて、種々の合成等価試験を行なった。図 5.4 にこの試験回路を示す。この方法は低圧大電流回路により、シャ断電流に相当する電流を供給し、高電圧回路によりその電流零直後に被試験シャ断器極間へ実回路で発生する再起電圧に相当する瞬時回復電圧および電圧上昇率を印加するもので、この種シャ断器には、最もきびしいと考えられる定格シャ断容量の 80~90% の近距離線路故障を目標に、試験を実施した。試験結果を表 5.4 に、試験の代表的オシログラムを図 5.5, 5.6 に示すが、6.8 kV/μs, 33.5 kA 以上をシャ断できることが確認されており、実際の系統に発生する近距離線路故障には十分余裕をもって対処できることがわかった。

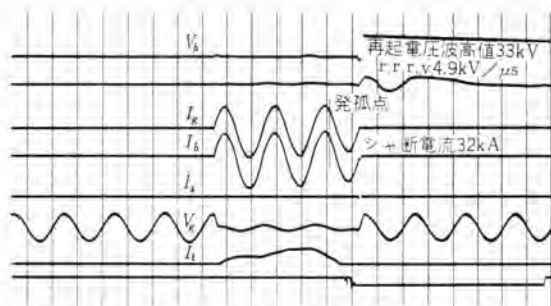


図 5.5 Weil 回路による近距離線路故障 シャ断試験 オシログラムの一例。32 kA, 4.9 kV/μs をシャ断

Fig. 5.5 Typical oscillogram showing the test of short line fault by Weil's test circuit, interrupting 32 kA at 4.9 kV/μs.

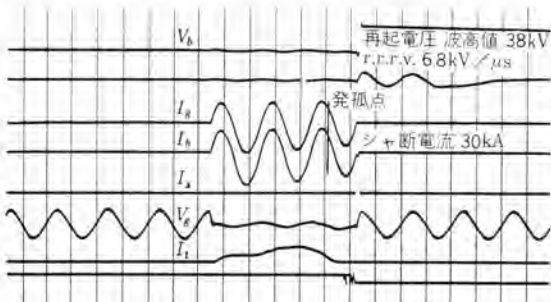


図 5.6 Weil 回路による近距離線路故障 シャ断試験 オシログラムの一例。30 kA, 6.8 kV/μs をシャ断

Fig. 5.6 Typical oscillogram showing the test of short line fault by Weil's test circuit, interrupting 30 kA at 6.8 kV/μs.

このほか過電圧におけるシャ断性能についても、単一シャ断点を用いて表 5.5 に示されるように、同じく Weil 回路によって検証され、常規対地電圧の 2.3 倍、定格シャ断電流の 30% 程度の条件に対しても、異常なくシャ断できることが確認された。

超高压電力研究所武山試験所においては、単一シャ断点(1/3 極)を用いて同所最大出力による表 5.6 に示すような 70 kV, 16 kA; 46 kV, 25 kA; 100 kV, 10 kA の短絡電流シャ断試験を行ない、いずれもシャ断時間は 3 サイクル以内で、優秀な成績をおさめた。

表 5.4 Weil 回路による近距離線路故障試験結果

供試極	再起電圧			シャ断電流	アーケ時間	シャ断時間	SF ₆ ガス圧力		三相等価容量
	瞬時回復電圧波高値 (kV)	周波数 (kc)	再起電圧上昇率 (kV/μs)				高圧 (kg/cm ²)	低圧 (kg/cm ²)	
全極	33	74	4.9	31	0.75	2.95	13.4	2.7	12900
"	"	"	"	31.5	0.7	2.9	"	"	13100
"	"	"	"	31.5	0.65	2.85	"	"	13100
"	"	"	"	32	0.65	2.85	"	"	13300*
"	"	"	"	33	0.5	2.7	"	"	13700
"	38	90	6.8	30	0.65	2.85	13.4	2.6	12500†
"	"	"	"	33.5	0.7	2.9	"	"	13900
"	"	"	"	33	0.65	2.85	12.5	2.7	13700

(注) 1. * は図 5.5 ↑ は図 5.6 にそれぞれオシログラムを示す。
2. 試験回路は図 5.4 を参照のこと。

表 5.5 Weil 回路による過電圧試験結果

供試極	等価回復電圧 (kV)	再起電圧			等価シャ断電流 (kA)	アーケ時間 (サイクル)	シャ断時間 (サイクル)	SF ₆ ガス圧力	
		瞬時回復電圧波高値 (kV)	周波数 (kc)	再起電圧上昇率 (kV/μs)				高圧 (kg/cm ²)	低圧 (kg/cm ²)
1 極	111	246	2.3	1.13	14.5	0.7	2.9	13.4	2.7
"	"	"	"	"	10.5	0.6	2.8	"	"
"	"	"	"	"	10.3	0.65	2.85	"	"
"	"	"	"	"	13.5	0.5	2.7	"	"
"	"	"	"	"	12.5	0.5	2.7	"	"

注 (1) * 60 サイクルベース
(2) 試験回路は (図 5.4) を参照

表 5.6 超高压電力研究所武山試験所における単相短絡電流シャ断試験結果
(昭和 38 年 5 月 18 日)

試験 番号	動作 責務	給電電圧 (kV)	回復電圧 (kV)	投入電流 波高値 (kA)	シャ断電流			アーク 時間 (サイ) 時間	シャ断 時間 (サイ) 時間	固有再起電圧 周波数 (kc/s)	戻率
					対称分 (kA)	非対称分 (kA)	直流分 (%)				
000215	O	70.1	67.4	—	16.0	20.4	56.3	0.68	2.58	2.2	1.3
000216	O	71.1	68.0	—	16.0	20.1	53.7	0.65	2.55	"	"
000217	CO	71.1	66.1	36.0	15.0	15.7	22.3	0.52	2.42	"	"
000218	O	46.1	45.3	—	24.7	32.6	61.1	0.96	2.86	2.4	1.3
000219	O	45.1	44.9	—	24.4	31.6	58.1	0.90	2.80	"	"
000220*	CO	45.5	44.9	73.0	23.7	29.8	53.9	0.80	2.70	"	"
000221	O	94.5	88.5	—	9.82	11.2	52.3	0.78	2.68	0.5	1.3
000222	O	95.0	92.4	—	10.0	13.2	61.7	0.42	2.32	"	"
000225	O	95.0	90.9	—	9.79	10.5	27.7	0.39	2.29	"	"

(注) 1. 1 極 (単一シャ断点) を使用した。
2. SF₆ ガス圧力はガス圧縮機の自動運転によった。高圧側約 16 kg/cm² G
低圧側約 2.3 kg/cm² G
3. * 000220 のオシロを図 5.7 に示す。

表 5.7 新品および使用後の接触部による 2,000 A 温度上昇試験結果、温度測定位置は図 5.9 参照

接触部の種類	温度測定位置											周囲 温度 (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
シャ断試験後の接触部による温度上昇 (°C)*	47.0	33.0	28.0	30.0	34.0	37.0	47.0	31.0	28.0	29.0	14.0	23.0
新しい接触部による温度上昇 (°C)	31.0	27.8	21.5	21.5	26.2				23.0	21.2	7.8	10.0

(註) (1) 温度測定位置は図 5.9 を参照のこと。
1...ブッシング・フランジ
2...タンクのブッシング取付部
3...ブッシング下部端子
4...#1 シャ断点固定接触予取付部
5...#1 シャ断点主接触部
6...#2 シャ断点主接触部
7...#3 シャ断点主接触部
8...#3 シャ断点可動接触子集電部
9...#3 シャ断点シールド
(2) * シャ断試験後温度上昇試験の接触部の経歴は次のとおりである。
#1 シャ断点 33 kA 30 回シャ断
#2 シャ断点 武山試験所で現地試験したもの
充電電流 130 A 13 回
短絡電流 9.5 kA 3 回、16 kA 3 回、25 kA 3 回シャ断
#3 シャ断点 33 kA 30 回シャ断、33 kA 3 回投入

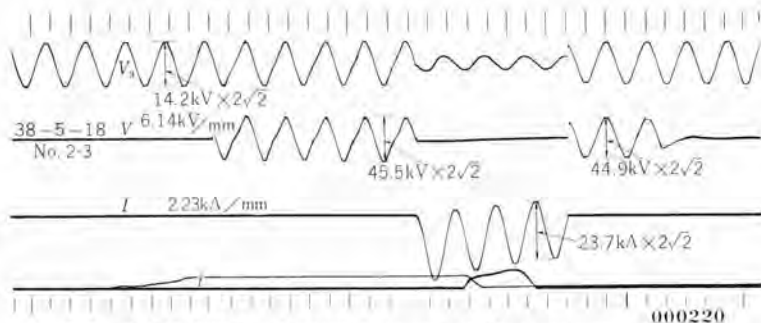


図 5.7 武山試験所における短絡電流シャ断試験 オシログラムの一例
同所最大出力による CO 試験 45.5 kV, 73 kA 投入, 23.7 kA シャ断
Fig. 5.7 An example of oscillogram showing the interrupting test at Takeyama test station, choosing 73 kA peak and interrupting 23.7 kA (maximum out-put of the station) at 45.5 kV.

図 5.7 に試験番号 00020 の電磁 オシログラム を代表的な一例としてあげた。

図 5.8 に 33 kA を約 30 回シャ断した可動接触子の写真を示すが、損傷はきわめて少なく、5.4 節に述べるように、この接触子を使用した温度上昇試験を実施して十分規格内におさまることが確認されている。

5.4 温度上昇試験

図 5.9 に温度上昇測定点、表 5.7 に新しい接触部およびシャ断試験後の接触部による 2,000 A 温度上昇試験の結果を示すが、33 kA を 30 回程度シャ断したきわめてきびしい責務を果たした接触部でも、温度上昇は規格値以内で、SF₆ 中では接触部の酸化に対して、空気シャ断器よりも条件がきわめてよいことを考慮に入ると、この接触部は実用上大電流シャ断時の損耗に対し相当大きい裕度があると考えられる。



図 5.8 33 kA を 30 回シャ断、3 回投入した可動接触子
Fig. 5.8 Photograph showing the moving contact after 30 interruptions and 3 closings of 33 kA rms.

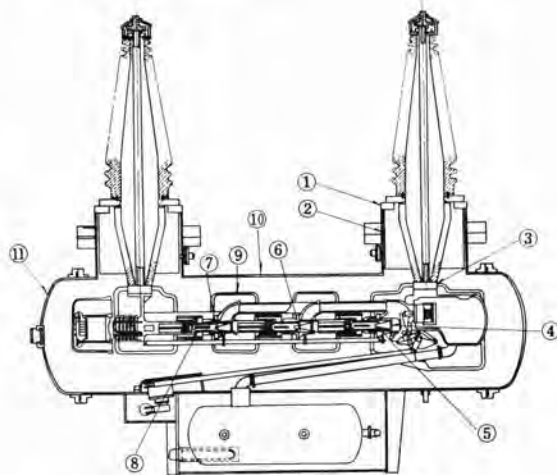


図 5.9 温度上昇試験測定点
Fig. 5.9 Location of temperature rise measurement.

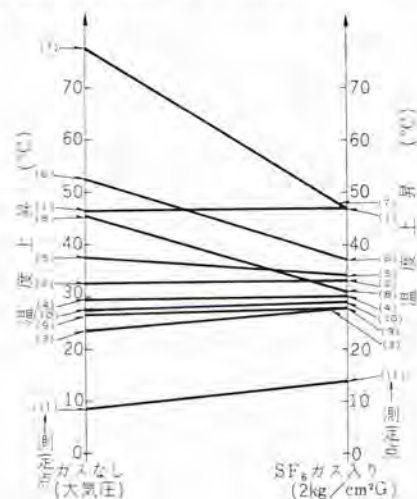
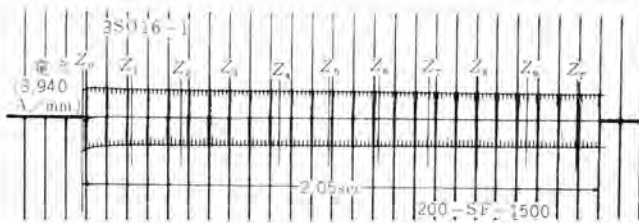


図 5.10 SF₆ ガスの有無による温度上昇比較 (シャ断試験後の接触部使用) (測定点は図 5.9 参照)
Fig. 5.10 The temperature rise of breaker filled with SF₆ gas in comparison with that without SF₆.

図 5.10 に SF₆ を抜いて、空気の大気圧で 2,000 A を通電した場合の温度上昇と、SF₆ ガス 2 kg/cm² G 中のものとを比較した結果を図表にして示したが、もっとも温度上昇の高い接触部測定点 (7) では、30°C 程度も SF₆ ガス中のほうが低く、SF₆ ガスは熱伝達がよいので、大電流接触部の設計がかなり容易になることがうなづける。

5.5 その他の試験

図 5.11 (a) および (b) に見られるように、38.7 kA, 2.05 秒 (規格値 36 kA, 2 秒) および 50 kA, 2.05 秒の短時間電流試験を

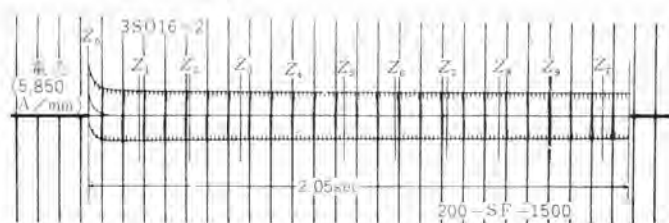


$Z_0=44.0$ kA, $Z_1=39.7$ kA, $Z_2=39.4$ kA, $Z_3=39.0$ kA, $Z_4=38.6$ kA, $Z_5=38.4$ kA, $Z_6=38.2$ kA, $Z_7=38.0$ kA, $Z_8=37.8$ kA, $Z_9=37.7$ kA, $Z_T=37.6$ kA

$$\sqrt{\frac{1}{30} [Z_0^2 + 4(Z_1^2 + Z_2^2 + Z_3^2 + Z_4^2 + Z_5^2 + Z_6^2 + Z_7^2 + Z_8^2) + 2(Z_9^2 + Z_T^2 + Z_0^2 + Z_6^2) + Z_T^2]} = 38.7 \text{ kA}$$

図 5.11 (a) 38.7 kA, 2.05 sec 短時間電流試験 オシログラム

Fig. 5.11 (a) Oscillogram showing momentary current test of 38.7 kA, 2.05 sec.



$Z_0=87.0$ kA, $Z_1=51.3$ kA, $Z_2=49.6$ kA, $Z_3=48.9$ kA, $Z_4=48.2$ kA, $Z_5=47.7$ kA, $Z_6=47.4$ kA, $Z_7=47.1$ kA, $Z_8=47.1$ kA, $Z_9=46.7$ kA, $Z_T=46.7$ kA

$$\sqrt{\frac{1}{30} [Z_0^2 + 4(Z_1^2 + Z_2^2 + Z_3^2 + Z_4^2 + Z_5^2 + Z_6^2 + Z_7^2 + Z_8^2) + 2(Z_9^2 + Z_T^2 + Z_0^2 + Z_6^2) + Z_T^2]} = 50.0 \text{ kA}$$

図 5.11 (b) 50 kA, 2.05 sec 短時間電流試験 オシログラム

Fig. 5.11 (b) Oscillogram showing momentary current test of 50 kA, 2.05 sec.

行なって接触部は異常なく、その他 JEC 145 により、開閉試験、耐電圧試験など種々の試験を行なって異常ないことが確かめられた。図 5.12 に機械的試験用のフレームに取り付けて、寿命試験中のシヤ断器を示す。

6. SF₆ シヤ断器の特長

以上述べてきた SF₆ シヤ断器は、従来のシヤ断器に比べて次のような特長がある。

(a) シヤ断点が少なくすむ

たとえば現在のところ、240 kV 定格のもので 3 点、84 kV 定格では 1 点、将来はさらに 1 点あたりの分担電圧を増加できる可能性があり、空気シヤ断器に比べてシヤ断点の数は半分以下ですみ、したがって、すえ付け面積も小さい。

(b) 騒音が少ない

シヤ断に際して直接大気中へガスを排出しないので、空気シヤ断器のような衝撃的な騒音がなく、都心で使用する場合も騒音に対する配慮が不要である。

(c) 近距離線路故障に強い

複雑な抵抗シヤ断方式によらなくても、大電流のきびしい再起電圧上昇率に対し、シヤ断性能がきわめてすぐれ、とくに近距離線路故障に強い、したがって大容量のものも比較的簡単な構造にできる。

(d) 異常電圧発生の恐れがない

小電流シヤ断に際して有害な電流切断を起こさず、異常電圧発生の恐れがないので、特別な異常電圧抑制器は不要である。

(e) 大電流接触部の設計が容易である

SF₆ ガスは熱伝達が良好であるから、大電流接触部の設計が容易である。

7. む す び

このようにわれわれは、わが国ではじめて SF₆ ガスシヤ断器を試作試験し、SF₆ ガスをシヤ断器用消弧媒体に使用することによって得られる数々の大きい利点をはっきり認識できた。すでにアメリカでは、この種 SF₆ シヤ断器の出荷台数は 300 台以上に伸び、欧州でも流行のきざしが見られる⁽⁷⁾⁽¹⁰⁾。しかしこの反面、以上述べてきたこの特殊な接地タンク形の構造に対しては、なお改造すべき点を見出した。われわれはこのシヤ断器を開発するにあたって得られた貴重な資料に基づき、われわれの顧客の要求を十分に採り入れた新しい SF₆ シヤ断器の構想を鋭意検討中で、とくに超高压、大容量の分野に期待がもたれている。

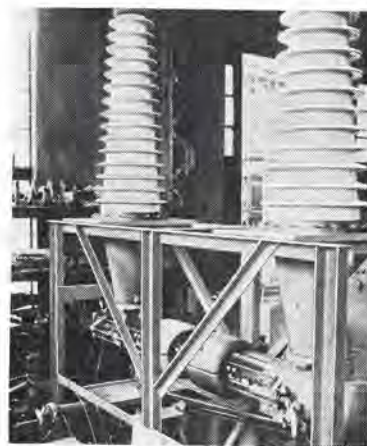


図 5.12 機械的試験中のモデル消弧室

Fig. 5.12 Model interrupter under mechanical tests.

筆をおくにあたって、このシヤ断の開発にとくにご尽力を賜った伊丹製作所シヤ断器設計課、シヤ断器工作課、電機品管理課、研究所電気第一研究室の各位に心からの謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 潮, 宮本, 鎌谷: 放電における SF₆ ガスの化学特性「三菱電機技報」36, No. 11, P. 1360 (昭 37)
- (2) 潮, 宮本: SF₆ ガス中アークの動特性「電学誌」82, 884 P. 714 (昭 37 年 5)
- (3) 新井, 潮, 富永: SF₆ シヤ断器「ネーム」P. 21 (昭 37.6)
- (4) D. Lester: General consideration on toxicity of gaseous dielectrics, AIEE Tr. Part III, p. 1183 (1957).
- (5) K.H. Yoon, H.E. Spindle: A study of the dynamic response of arcs in various gases, AIEE Tr. 77, Part III, p. 1634 (1958).
- (6) R. E. Friedrich, R. N. Yeckley: A new concept in power circuit breaker design utilizing SF₆, AIEE Paper 59-101, (1959).
- (7) M. M. Magnien: Utilisation de l'hexafluorure de soufre dan l'appareillage de coupure, SFE 8^e série, tome III, n° 34 p. 513 Oct. (1962).
- (8) M. A. Artur: Préparations, propriétés physiques et chimiques et applications générales de hexafluorure de soufre, SFE 8^e série, tome III n° 34, p.514 Oct. (1962).
- (9) D. Battaglia: L'hexafluorure de soufre, nouveau moyen d'extinction de l'arc dan les disjoncteurs a haute tension, SFE 8^e série, tome III, n° 34, p. 523 Oct. (1962).
- (10) M. J. Vigreux: Contribution au développement de l'appareillage a hexafluorure de soufre, SFE 8^e série, tome III, n° 34, p. 538 Oct. (1962).
- (11) Compte rendu des discussions, SFE 8^e série, tome III, n° 34, p. 547 Oct (1962).

200 号 ブッシングの活線洗浄試験

印 藤 義 雄*・永 谷 幸 保*

Washing Test on Contaminated Bushings (275 kV)

Itami Works

Yoshio INTŌ・Yukiyasu NAGATANI

Insulators of electric power apparatus, in a locality where salt contamination poses a problem, are subject to suffering from flash-over faults due to improper washing. This needs thorough study on correlated factors such as washing methods, contaminating conditions and flash-over voltages before giving wash to the insulators. In the live line washing flash-over testing method, there are several practices; one is to give actual flash-over tests under simulated conditions of live lines, whereas some methods result to estimation of flash over voltage based on various elements of flash over composition individually made available Mitsubishi has conducted washing flash over tests on a spray head and a jet nozzle to be used for 275 kV class bushings designed for preventing the salt contamination by the above two methods. The results have been compared to select appropriate washing methods and conditions. In conclusion the wiping wash with jet nozzle is the most practicable under severe weather condition and shall be given before the salt contamination reaching 0.01 mg, while the spray method having better flash-over characteristics is to be combined depending on the degree of contamination and weather condition.

1. ま え が き

塩害地域のブッシングに対する保守上の有効手段として、活線洗浄が行なわれているが、洗浄によるセッ絡事故を招来しないためにはブッシングおよびその洗浄法にそれぞれ適切な配慮が必要である。この汚損セッ絡や注水セッ絡と趣を異にする洗浄セッ絡は、実地条件に対応する試験の条件規制に不確定の要素を含み、明確な結論を出しえていないのが現状である。

当社においても、今回東京電力(株)房総変電所に納入した超高压用変圧器のブッシングについて、これに適合する洗浄方式を選定するために工場における洗浄注水セッ絡試験を実施し、未完ではあるが、将来のこれら活線洗浄対策の一指針としての基礎的実験を行なったので、この結果の概要ならびに洗浄の問題点について述べる。

2. 活線洗浄の必要性

近時大容量発電所の海岸線への進出が活発となって、これに伴う自然的現象として塩害に対処することが重要な課題となり、これが対策として、変圧器においてはエレファントブッシング方式の採用と、在来ブッシングガイ管の過絶縁と、シリコンパウンドの塗布、注水洗浄の並用などの手段が講ぜられている。

一般にブッシングのガイ管表面は、台風、季節風による海水塩分や空中塩分の付着と雨水による洗浄が反復されるもので、絶縁上塩分付着量対セッ絡電圧特性から、四季を通じての最高塩分付着状態で、系統での異常時を含む最高回路対地電圧に耐えうるガイ管漏エィ長に製作する必要があるが、重汚損あるいは自然気象条件の異常時を考慮すると、製作上の経済性から過絶縁もおのずと限定されるので、運転実施面からの補助手段として活線洗浄を行なうことが有利となり、在来ブッシングの抜本的構造変化を要求することなく、添加作業によって耐塩害特性の向上を計ることができる。

3. 活線洗浄法

市販の洗浄装置はスプレー式(固定式)とジェット式(ショウ(摺)動

式)の2方式に大別される。これらはスプレー、ジェットのその呼称名に示すように水滴の集中、拡散度に差があり、

- (1) 水滴の大きさ
- (2) 注水分布
- (3) 注水量

によりそれぞれ特長づけられる。各特性間には相関があり、2次的に注水圧力、注水固有抵抗、注水距離に問題がある。これらのものを被洗浄対象物の形状種別に応じて、任意に適当個数配備することにより最良の洗浄効果を発揮させることができる。

洗浄水のブッシングガイ管の注水分布は図3.1のような種別があり、注水量としては30~300 l/min程度で、スプレー式の所要量はジェットに比べ少ない。

二つの洗浄方式にはそれぞれの特長があり、製作者においてそ

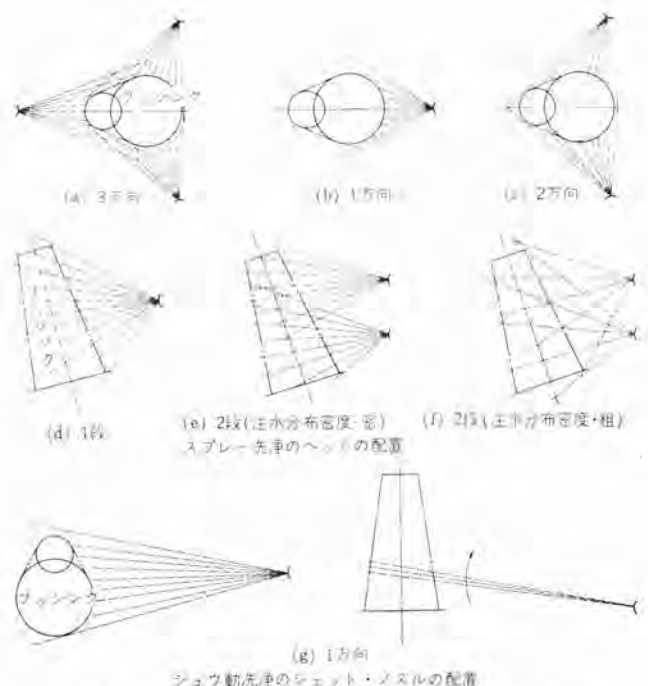


図 3.1 洗浄ノズルおよびヘッドのブッシングとの相対位置
Fig. 3.1 Relative position of washing nozzle to head bushing.

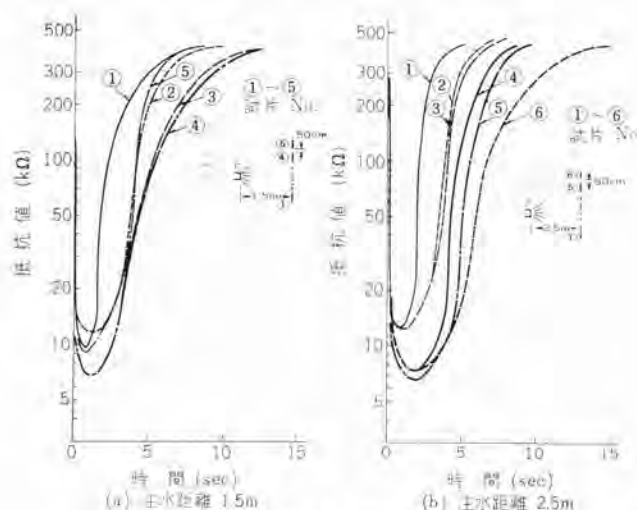


図 3.2 スプレーヘッド洗浄の絶縁回復特性
Fig. 3.2 Insulation recovering characteristics of spray head bushing.

の洗浄性能について詳しい測定が行なわれており、一例として試験片でのスプレー洗浄による絶縁回復特性は図3.2のような試験結果が報告され、きわめて短時間での洗浄効果が示されている。実際のラッシングの洗浄にあたって不可避の問題として風による注水分布のカッ乱があり、塩分付着の最も顕著な台風時あるいはこれに次ぐ強風下においては、所期の洗浄が実施しにくくなる。雨による洗浄効果については一般に認められるところであり、この雨に近似した洗浄法であるスプレー式においては、雨洗いがいかなる風を伴うものであっても量的にその一様性が失われぬものであるのに対し、量的に限定された注水では風の影響は避けられず満足な洗浄が行なえない。

このスプレー式の欠点を補う洗浄法がジェット式であり、これにおいては機能上長大なラッシングの全高に同時に注水することは不可能で部分的に集中して順次全高にわたり洗浄することになる。

注水固有抗抵は一般に洗浄装置の洗浄水として $5,000 \Omega \text{ cm}$ 以上をその絶縁性を考慮した注水距離と洗浄特性から標準と定めているが、実例において実際に洗浄を必要とする場所的条件では $3 \sim 5,000 \Omega \text{ cm}$ が多いようである。

スプレー式、ジェット式ともに注水距離の近いほうが少量の水で洗浄に確実性をもたせられるが、その絶縁性を考慮すれば上述の水量や固有抗抵との関連から超高压回路ではスプレー式で $2 \sim 3 \text{ m}$ 、ジェット式では 5 m が適正とされている。

4. 洗浄注水セン絡試験

ラッシングがこれらのそれぞれ特質をもつ洗浄法で洗浄される場合、われわれは洗浄効果の保証されたいかなる方法によろうとも異論はないが、ただセン絡電圧の低下をきたしセン絡事故をひき起こすことのない安全確実な注水法により行なわれることが望まれる。

主題とする超高压ラッシングの洗浄方式の選定を行なうにあたり、上述のような洗浄仕様を異にする数種のスプレーヘッドとジェットノズルを比較使用してみた。これらはいずれも能美防災(株)製品で、これらの特長および定格仕様は表5.1の試験結果の該当欄を参照されたい。ジェット式と称するものは普通消防用モニタノズルが用いられるが、今回の試験に用いたのはノズル口形がヘン平で扇状の注水分布をなし、その流水での自動首振りでシュウ動洗浄を行なうものである。

洗浄セン絡試験の一般的条件規制と方法は下記のように定めた。

- (1) ラッシングの取付傾斜角度は塩分を含む洗浄水の落下の様相がセン絡電圧に与える影響を考慮して実際の状態と同一とした。
- (2) 洗浄水の固有抗抵は対象とする現地々下水の値と同一とし $4,000 \Omega \text{ cm}$ とした。
- (3) 使用洗浄装置のスプレーヘッドおよびジェットノズルのラッシングに対する配置は実際のものと、まったく同一とした。
- (4) 無風および強風の条件を想定し、場所は工場屋内で実施したが、強風下のものはスプレー式において2段配置中の上あるいは下段の片方のヘッドのみでガイ管のほぼ半分に偏寄注水してこれを模擬した。
- (5) 洗浄によるセン絡に至るまでの試験手順は次のとおりである。まず等価霧中法と同一の一定濃度の汚損液をスプレーガンで吹き付け、その後電圧を印加し漏れ電流で乾燥させながら電圧を上昇し、洗浄によるセン絡、不セン絡を決定する所定の電圧値に達して、表面火花の出ない安定した状態で所定の洗浄を行ない、セン絡の有無を確めた。
- (6) セン絡電圧ならびにセン絡確率は昇降法10回の印加により求めた。

(7) 付着塩分量は各洗浄方法が与えるセン絡電圧の高低比較が、汚損度とは無関係に洗浄水のガイ管への注水分布の差により求められ、清浄時洗浄注水セン絡の比較が汚損条件のバラツキを含みぬために、より正確にその差を知りうると考え、付着塩分量ゼロからそのセン絡電圧が一応実用上の許容値と考えられる 216 kV にほぼ近い $0.01 \sim 0.02 \text{ mg/cm}^2$ までとした。

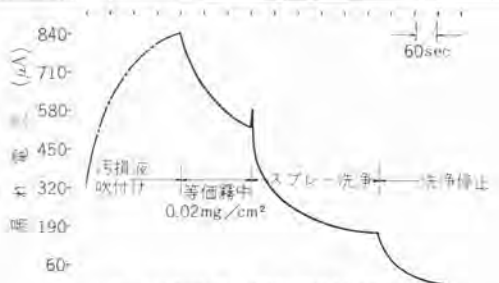
一連の試験手順とその途上のガイ管表面の状態変化を漏れ電流の大ききで表現し、これを図4.1に示した。ガイ管表面状態の推移を表わすオシログラムの示すところを要約すれば、雨による洗浄はごく円滑に漸次付着塩分を洗い流し、洗浄装置によるものは洗浄開始時に漏れ電流が急激に増加し、スプレー式洗浄のセン絡発生時点が、この期間にあることから雨洗との差を明確に表わしている。またスプレー洗浄の上下各段片方洗浄の場合、前者が絶縁回復速度が速い。シュウ動式洗浄での注水位置と漏れ電流の関係はそのシュウ動推移の周期とともに漏れ電流も変動し最大時点はガイ管下部注水時から時間遅れをもち、極大はガイ管上部注水の時点であり、極小はガイ管下部に注水される寸前である。このシュウ動式におけるセン絡の発生時点は印加電圧の大きさにより異なり、大きくなるに従い早くなっているが、1回目のシュウ動により必ずセン絡している。スプレー式では注水瞬時が多い。オシログラム上DC漏れ電流の場合は、等価霧中状態において洗浄を実施したもので、これによるスプレー式とジェット式の洗浄開始期の漏れ電流の増加率はジェット式はるかに高く汚損液吹付けの飽和値にほぼ等しい。

5. 試験結果

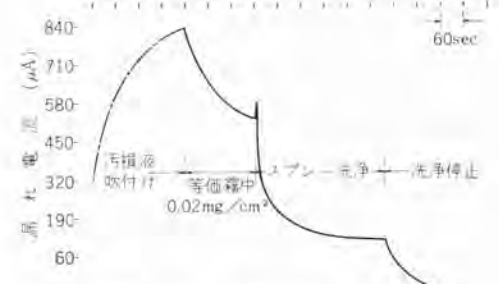
5.1 概説

4章の方法によって得た各汚損度における各スプレーヘッドならびにジェットノズルの洗浄注水セン絡電圧は表5.1に示すとおりで、これを汚損度の管理限界として示せば図5.1のようになる。

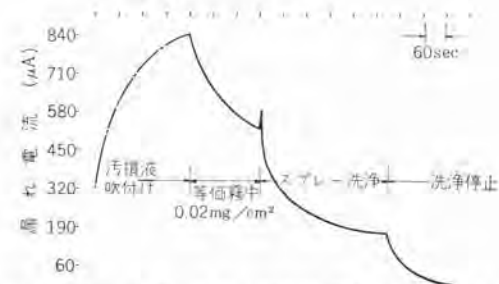
試験結果の一般的傾向は無風状態ではスプレー洗浄がジェットノズルによるものよりすぐれ、ヘッドの種別ではE形が最良の結果を示し、また強風下を仮定して行なった条件においても同様である。洗浄セン絡を決定する因子は、要約すれば塩分付着量と注水分



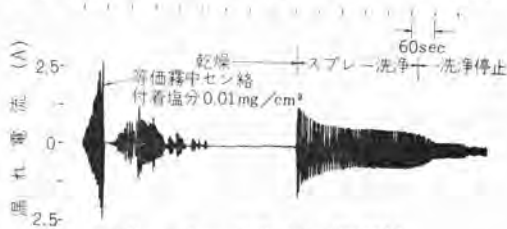
(a) 雨水洗浄 (DC 300 V 印加)



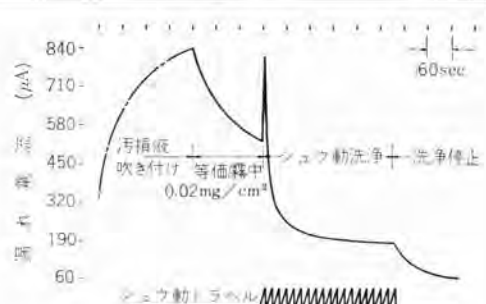
(b) スプレー洗浄 (2 段中上方)
(DC 300 V 印加)



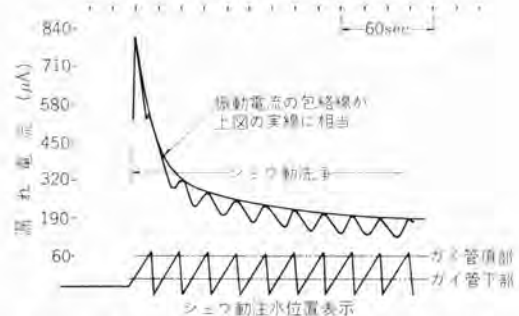
(c) スプレー洗浄 (2 段中下方) (DC 300 V 印加)



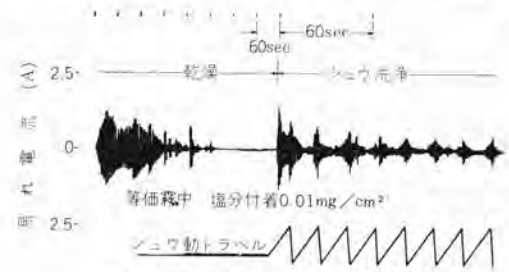
(d) スプレー洗浄 (セン絡試験)



(e) シュウ動洗浄 (電圧 DC 300 V 印加)



(f) シュウ動注水位置と漏れ電流 (DC 300 V 印加)



(g) シュウ動洗浄 (セン絡試験)

図 4.1 洗浄時の漏れ電流

Fig. 4.1 Leakage current during washing.

布、水量の3者であり、各洗浄方式のセン絡電圧の高低は各付着塩分量において同一傾向を有し、その差は 0.01 mg/cm^2 の付着塩分以下において顕著で、塩分量の増加とともに少なくなる。また注水分布に対しては平等注水が不平等注水よりすぐれ、上部偏寄が下部偏寄注水にまさる。水量は大なるに従いセン絡電圧が低下する。さらに詳細にこれらを検討すると、課電圧状態のガイ管に注水する場合セン絡発生形態は注水瞬時から平等注水を前提とすれば清浄時には注水セン絡であり、塩分付着時には塩水注水セン絡といえる。不平等注水ではこれらにガイ管上の不平等電圧分担による部分的電圧負担の増加が付加されるので

セン絡確率が前者に比べさらに高くなる。

スプレー洗浄とシュウ動洗浄のセン絡形態を概略的に図示すれば図5.2のようになりセン絡電圧およびセン絡時点の帰すうは明ら

表 5.1 洗浄セン絡試験結果一覧表

試 験 条 件									試 験 結 果			
ブッシング取付状態	洗 浄 法			ヘッドおよびノズルの位置					汚損度 (mg/cm ²)	50%セン 絡電圧 (kV)	σ (kV)	5%セン 絡電圧 (kV)
	形別	方式	水 量 (l/min)	放水圧 (kg/cm ²)	注水方向	数 量	距離 (m)					
傾斜	A	シュウ動	150	5.0	側 面	片面	1 段	5	0(清浄)	292.0	8.5	278.0
垂直	B	固定	65	3.5	45°側背面	両側	2 段	2	0.01	200.0	3.6	194.1
傾斜	C	固定	2×64	3.5	側 面	片面	1 段	5	0	209.0	3.4	203.4
垂直	D	固定	30	3.5	側 面	片面	1 段	5	0	286.0	38.1	223.4
傾斜	E	固定	32	3.5	側 面	片面	1 段	5	0.01	208.0	13.9	185.2
垂直	F	固定	2×32	3.5	側 面	片面	1 段	5	0	217.0	18.0	187.5
傾斜	G	固定	32	3.5	側 面	片面	1 段	5	0.01	202.5	2.6	198.2
垂直	H	固定	2×32	3.5	側 面	片面	1 段	5	0	277.5	2.6	273.2
傾斜	I	固定	32	3.5	側 面	片面	1 段	5	0	270.0以上	3.6	384.1
垂直	J	固定	32	3.5	側 面	片面	1 段	5	0.01	390.0	46.4	222.0
傾斜	K	固定	32	3.5	側 面	片面	1 段	5	0	298.3	9.1	218.1
垂直	L	固定	32	3.5	側 面	片面	1 段	5	0	233.0	5.1	196.6
傾斜	M	固定	32	3.5	側 面	片面	1 段	5	0.02	205.0	3.1	176.9
垂直	N	固定	32	3.5	側 面	片面	1 段	5	0	182.0	3.1	176.9
傾斜	O	固定	32	3.5	側 面	片面	1 段	5	0	350.0以上	8.6	302.9
垂直	P	固定	32	3.5	側 面	片面	1 段	5	0.01	317.0	4.9	226.9
傾斜	Q	固定	32	3.5	側 面	片面	1 段	5	0.02	235.0	4.9	226.9
垂直	R	固定	32	3.5	側 面	片面	1 段	5	0	170.0以上~190.0以下		

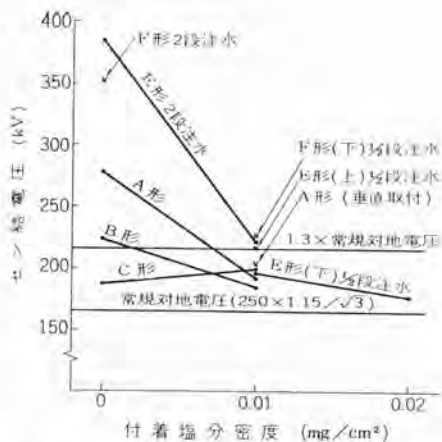


図 5.1 付着塩分量と各洗浄法の セシ絡電圧の関係
Fig. 5.1 Relation between the amount of contaminating salt and flash-over voltage of various washing methods.

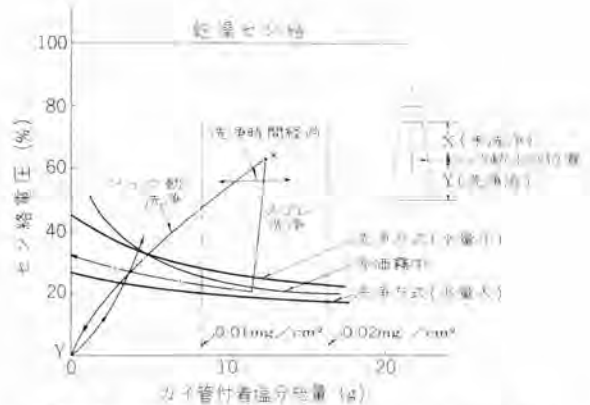


図 5.2 洗浄方式と洗浄効果および セシ絡電圧の関係
Fig. 5.2 Relation between washing systems and washing effect and also flash-over voltage.

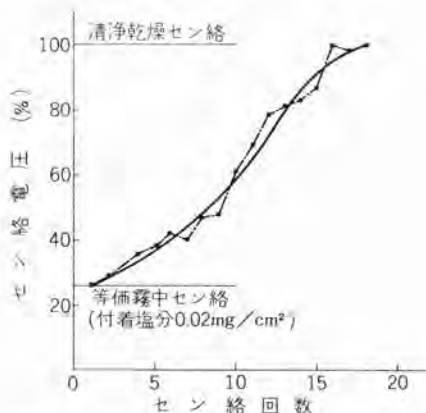


図 5.3 セシ絡回数(表面乾燥状態)と セシ絡電圧の関係
Fig. 5.3 Relation between flash-over numbers (dried surfaces) and flash-over voltage.

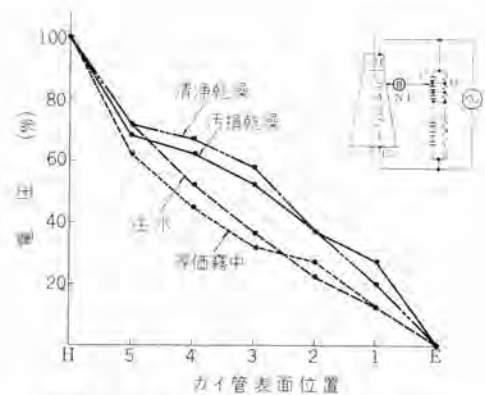


図 5.4 各種状態における カシ管表面電位
Fig. 5.4 Potential gradient of insulator surface under various conditions.

かである。一般的に活線洗浄法は雨洗同様の小水量による平等注水が原則であり、無風状態では平等注水と見なされる。スプレー式のほうが不平等注水であるシュウ動式に比べ、同一スプレー式であっても、この原則にかなう洗浄ヘッドがすぐれた結果を示すのは当然といえよう。しかしながら図 5.2 にも示すように、シュウ動式が不平等注水の形態でガイ管を順次洗浄する場合、未洗浄汚損部のセシ絡電圧値いかんによっては、固定式と同等あるいはそれ以上の結果も期待できる。

強風を想定し水滴の大きさから原理的に注水に安定性があり、この目的に添うべく製作された性能をもつシュウ動式が、試験結果においてスプレー式のセシ絡電圧よりも低いのは、おおむね次の理由による。

(a) はスプレーとの比較でスプレー式の風による注水位置の変化を試験法が 100% 実情を模擬できず必ずしも一番過酷な条件での結果ではない。

(b) はシュウ動式のセシ絡電圧はガイ管の順次洗浄の原理から残り、未洗浄部の耐電圧特性が大きな要因となり、汚損状態の乾燥度すなわち洗浄の実施時期もセシ絡電圧を決定するファクタにあげられる。ただしこの乾燥度は既洗浄部との電圧分担比率から、高いことが必ずしも最良の条件ではない。

これについては後述する。

試験における洗浄の実施時期は既述のシロケラムのように、漏れ

電流が極小安定のメガ値数 $M\Omega$ 以上の時点において実施しているが、この乾燥度を示す尺度として、ここにセシ絡回数とセシ絡電圧の関係でこれを示すと図 5.3 のようになり、汚損乾燥状態でのセシ絡電圧を 100% とすれば等価霧中セシ絡電圧は約 25% であり、これより十数回のセシ絡電弧ならびにセシ絡に至るまでの漏れ電流による乾燥によって、清浄状態におけるものとほぼ同一のセシ絡電圧値になる。乾燥度の不整による試験結果の差異は無視しえないところであり、また管理しても実地条件の適用を考えて、過酷側で行なうものとすれば等価霧中に近いものとなる。

5.2 試験結果の適用性

上述の事項から試験結果を有効に活用するためには、洗浄により起こるセシ絡現象のいきさつを、さらに解明してこれに補足修正を加えることが必要である。このためにスプレー式の風による場合、あるいはシュウ動式の部分洗浄の場合のセシ絡の前提となる各状態でのガイ管表面電位分布の構成を知れば、この解明に便利であるのでここにガイ管表面を数区分に分割し、清浄、汚損、湿润、乾燥の各条件での各区分点の電位を零位法により測定した。測定法とその試験結果を図 5.4 に示す。また、さらにシュウ動式の順次洗浄あるいはスプレー式の部分集中洗浄の場合の表面状態の各区分ごとで異なる場合についても測定し、これを図 5.5 に示す。乾燥あるいは注水などの一定状態でない等価霧中や洗浄については、時間経過とともに、いわゆる動的にこれを測定すること

を最上とするが、この測定は静的な状態で行なったもので状態の時間変化による誤差が含まれている。これらの測定結果を総合すれば次のように推論できる。

(1) 洗浄を行なわない状態では等価霧中での分布が一番悪く、上部に次いで下部の電圧分担が大きく、水分蒸発による乾燥の進展に従い漸次分布は改善され、最も乾燥した状態では清浄乾燥時とはほぼ同一になる。平等注水の場合には乾燥時よりも悪くなるが等価霧中に比べれば上部の分布が良くなる。

(2) 部分的洗浄を行なった場合、洗浄された部分はその洗浄度に比例して大部分の電圧を分担する。

(3) スプレー洗浄の位置に対する過酷度は、清浄時においては瞬間的には小径で漏れ抵抗が高く、単位長あたりの分担電圧が高い上部注水の方が好条件で、連続的にも洗浄水の下流下による電位分布補正が行なわれるので初期と同一である。汚損状態においては洗浄初期には清浄時と同一であるが、以後のガイ管表面その汚損液流下により上部注水が条件として悪くなる。したがっての過酷度は汚損度により変化し図5.6のように2曲線に交点を生ずるが、別の観点からこれがブッシングのカサ形状や傾斜角がうねぬんされる因子であるともいえる。

(4) 不平等洗浄の代表例であるシュウ動式ではガイ管下部から上部へ順次洗浄したほうが得策で、末洗浄部と洗浄部の分担電圧でいずれかがセン絡し、残部が印加電圧に耐ええないうきに全路セン絡を形成する。

5.3 洗浄セン絡電圧の算定

シュウ動式洗浄のセン絡電圧はガイ管表面汚損の乾燥度が重要なファクタであることは既述のとおりであるが、今回の試験における乾燥度すなわち注水実施時期は図5.3の30~40%の範囲で、少なくとも過酷側である。ここに実地使用での各汚損乾燥度条件に対するセン絡値を推定するために、電位分布を測定した各区分の各状態でのセン絡値を求め、先の洗浄過程の電圧分担と対照して各条件における全路セン絡電圧を算定してみる。

図5.7は耐塩害用200号円スイガイ管の同一漏イ長での各区分ごとの各表面状態のセン絡電圧を示すが、清浄、汚損は乾燥ではほぼ同一であり、洗浄状態の曲線とともに実測値で示し、また等価霧中におけるものは全路セン絡電圧から胴径補正して得た値を示す。これらの資料をもとに全路セン絡電圧算定のデータとして図5.8を作成した。これについて詳述すると、部分洗浄の場合乾燥度が最も過酷な等価霧中を考えれば、洗浄を行なった区間は注水時には著しく導電性を増し短絡に近い状態になり、全体として等価霧中において所定漏イ長が縮小されたことになって、等価霧中セン絡電圧より低下するのは当然である。しかしながらシュウ動洗浄のようにその注水位置が順次推移すると、洗浄済みの部分は清浄に近くなり注水層が薄ければ湿度増加による橋絡部分はごく少なく、その清浄と汚損の境界点の小範囲に限定されて全印加電圧は図にも示すように洗浄と末洗浄とで分圧され、洗浄推移とともに、その分担比率が変化する。セン絡電圧が印加電圧

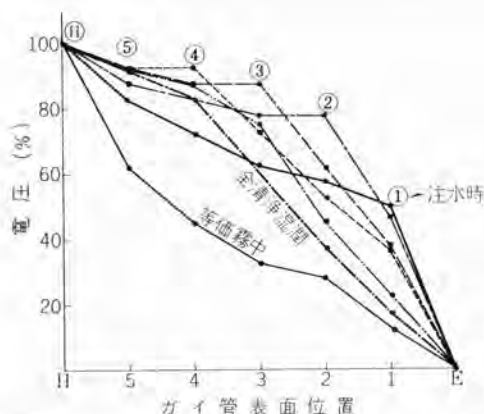


図 5.5 シュウ動洗浄時の注水位置とガイ管表面電位
Fig. 5.5 Water sprinkling position vs insulator surface potential during wiping wash.

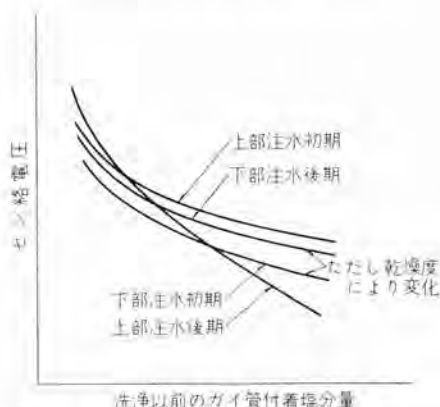


図 5.6 スプレー洗浄の注水位置に対するセン絡電圧の関係
Fig. 5.6 Relation between water sprinkling position and flash-over voltage at spraying wash.

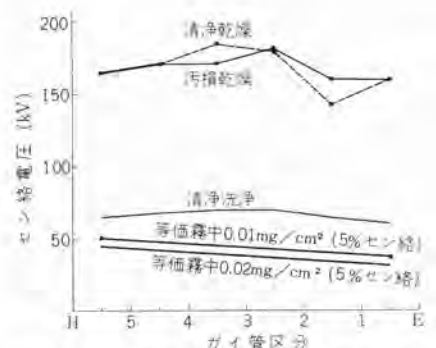


図 5.7 ガイ管表面各区分のセン絡電圧特性
Fig. 5.7 Flash over voltage characteristics of each section of insulator surface.

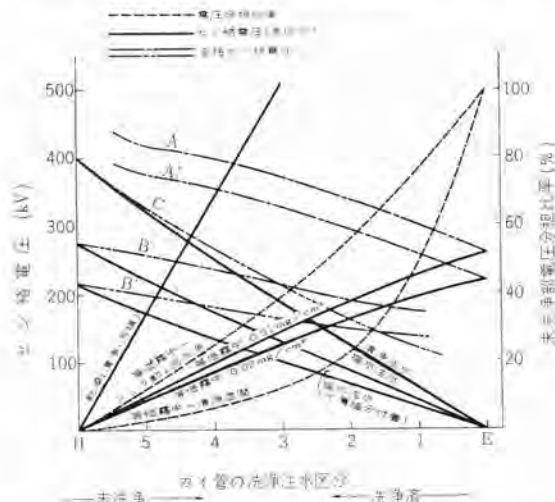


図 5.8 洗浄条件とセン絡電圧の関係
Fig. 5.8 Relation between washing condition and flash voltage.

に対し余裕があれば、注水時にセッ絡することなく洗浄は進行する。

図において洗浄、未洗浄部の電圧分担比率とセッ絡電圧から、両者をそれぞれセッ絡に至らしめる全印加電圧を描けば曲線 A、B となる。したがって曲線 B と等価霧中セッ絡電圧の曲線との交点以上の印加電圧では、両者のいずれがセッ絡しても、他方もあいついでセッ絡し全路セッ絡となる。したがってこの交点がその両者の条件での最低セッ絡値を示すことになる。さらに乾燥ならびに清浄注水時のセッ絡特性を付加すれば、これらの条件での洗浄セッ絡電圧も求め得られ、清浄時シュウ動洗浄のセッ絡電圧の極限值は 280 kV となり、スプレー式の平等洗浄では 400 kV になる。

また 1 回のシュウ動洗浄により極端に清浄になっても等価霧中ではセッ絡電圧はかえって低くなり、乾燥状態では清浄洗浄と同一となって、1 回の洗浄で幾分かの塩分を残す場合に全セッ絡電圧が図に示すようなものであれば、 $0.01 \sim 0.02 \text{ mg/cm}^2$ の付着塩分量ではその洗浄セッ絡電圧は 155~190 kV である。実際の洗浄にあたって望まれる汚損乾燥の状態では、洗浄部、未洗浄部の電圧分担は上述のものとはまったく逆になり、付着塩分量とはほぼ無関係に、ほとんど洗浄完了直前に電圧分担の未洗浄から洗浄への移行が起こり、したがって塩水注水セッ絡に近いセッ絡電圧になりその値は 175~210 kV と推定され、無風状態でのスプレー平等注水の 275 kV よりも低くなる洗浄機能の差があることを示している。

6. む す び

洗浄方式や対象ラッシングの塩分付着量ならびに乾燥度のいかに

よっては、洗浄を行なうことにより汚損状態で耐えていたものがかえってセッ絡を引き起こすことになりかねない。したがって洗浄に際しては十分上述の点に留意することが必要である。

工場試験における洗浄によるセッ絡電圧の許容限界値は、もちろん実用上無害であればよいわけであるが、冒頭に述べたような実情との差異、セッ絡値のバラツキを勘案すれば洗浄実施者のみならず機器にとっても高いことが望ましく、通常超高压系の 1 線地絡時の電圧上昇率を 1.3 とし、また同時にこれを常規回路最高対地電圧に対する洗浄セッ絡電圧の裕度と考え、216 kV を最低セッ絡電圧としている。

したがって洗浄セッ絡試験から少なくとも塩分付着量が 0.01 mg/cm^2 以前に A、および B 形洗浄装置による洗浄を繰り返す必要のあることが明らかになった。またシュウ動式洗浄にあっては、その機能を十分に発揮するためにも洗浄時期を管理すれば少なくとも無風状態での固定式と同等の注水セッ絡電圧にすることが推測されるが、気象条件に対応して、スプレーヘッド、ジェットノズルに洗浄法の両者を使い分ける折衷法が最も妥当な処置といえよう。

今回の試験においては東京電力納入の耐塩害用 200 号ラッシングのみをその対象としたが、寸法仕様その他の異なるものに対しても既述のような基礎的データによりその算定が可能であり、また試験結果の裏付けができるという一応の結論を得た。なお今後ともさらにこれらの基礎データの補足と集積のために洗浄に関し試験および検討を継続するつもりである。

最後に今回の洗浄セッ絡試験の機会を与えられ、また試験に協力いただいた東京電力株式会社ならびに能美防災株式会社各位に謝意を表する。

最近における社外講演一覧

年 月 日	主催または開催場所	演 題	講 演 者	所 属 場 所
38-7-26	山形県天地町商工会	商店照明	小笠原善丸	大 船
38-7-29	日刊工業新聞	信質性のある電子機器設計はいかにすべきか	嶋 村 和 也	鎌 倉
38-7-30	大阪工業会	Fortran を中心にした EDP 教育	首 藤 勝	研 究 所
38-7-30	電気通信学会 アンテナ研究会	マイクロ波気球空中線	喜連川 隆	研 究 所
38-7-30	電気学会	パクタダイオードの直列共振周波数	喜連川 隆・白 幡 潔	研 究 所
38-8-6~8	福岡、徳田地区電子機器講習会	三菱 ロジックプレーナについて	中 嶋 碧	鎌 倉
38-8-6~8	関東校長協会電子機器講習会	デジタル技術の基礎	小 島 一 男	鎌 倉
38-8-8~9	自動車技術会	自動車技術会夏季講演会(トランジスタイグニタ第三報)	三 木 隆 雄	姫 路
38-8-10	大阪日刊工業新聞社	最近の空気浄化技術とその応用「電気集じん装置とその応用」	齊 藤 寛	神 戸
38-8-23~24	日本非破壊検査協会	超音波垂直探傷法	東 田 孝 彦	無 線 機
38-8-26~27	名古屋日刊工業新聞社	最近の油圧応用回路	金子敏夫	鎌 倉
38-8-27	産業安全幹部養成講習会	職場の照明	小堀富次雄	本 社
38-8-27	日刊工業新聞	電気関係への接着の応用	伊 藤 公 男	中央研究所
38-8-29	電子回路研究会	モレクトロニクス	黒 田 忠 光	無 線 機
38-8-29	日刊工業新聞	電解加工	齊 藤 長 男	中央研究所
38-9-5	Japanese Rocket Society	Large Antenna Facility in Kagoshima Space Center	榎本俊弥・森川 洋 渡 部 優	無 線 機

柱上変圧器過負荷表示器 (OL 形)

白 神 十 九 一 *

Type OL Overload Indicators for Pole Transformers

Nagoya Works Tokukazu SHIRAGA

The latest, rapid increase in the electric power demand of all power companies has come to necessitate the load control of pole transformers. However, there are too great a number of pole transformers to have proper load control and effective utilization of capacities with them. Some power companies have been using a certain type of overload indicators operating on transformer oil temperature. Drawback of these indicators is that the length of overloading time and the ambient temperature affect greatly on the transformer coil temperature during the indicating operation. A newly developed indicator, type OL, has done away with the drawback and, operating on the load current, has operation characteristics to simulate the temperature rise of the transformer coil, lighting a lamp when the load exceeds a predetermined value.

1. ま え が き

最近電力需要の急激な増加で各電力会社とも柱上変圧器の負荷管理をとくに必要としている。

柱上変圧器の設置台数はほう大なものであるので、その負荷管理、さらに変圧器容量の有効利用は重要であると同時に非常に困難な問題である。従来、一部電力会社では、負荷管理の目的で変圧器温を検出源とする過負荷表示器を使用してきたが、油温で動作する表示器は、表示動作時の変圧器巻線温度が過負荷の継続時間、周囲温度などによって大幅に変化することが本質的な問題点であった⁽¹⁾。

このため負荷電流を主たる検出源として、変圧器巻線温度を模擬した動作特性を持つ過負荷表示器の製作を関西電力より要望され、その目的に沿った OL 形過負荷表示器を開発して、関西電力、その他へ納入したので、その概要を紹介する。



図 1.1 柱上変圧器過負荷表示器 (OL 形)
Fig. 1.1 Type OL overload indicator for pole transformer.



図 1.2 柱上変圧器過負荷表示器 (OL 形)
Fig. 1.2 Type OL overload indicator for pole transformer.

2. 柱上変圧器過負荷表示器の必要条件

柱上変圧器過負荷表示器として要求される条件は次のとおりである。

- (1) 種々の日負荷曲線に対して適当なレスポンスを持ち、また周囲温度の変化による誤差の少ないこと。
- (2) 取り付けが簡単で、また巡回点検の容易なこと。

- (3) 新設、既設いずれの柱上変圧器にも取り付け可能なこと
- (4) 安価であること。

3. 構造および動作

OL 形柱上変圧器過負荷表示器は新設、既設いずれの変圧器にも外部から容易に取り付け可能なもので、その概略構造は図 3.1 に示す。表示器の導体貫通穴に変圧器低圧側リードを通すと図 3.2 に示すようにコアに磁束が通り、これと交差した短絡板に電流が流れて発熱し、この熱でブロックが加熱される。図 3.2 は 15 kVA および 20 kVA 用のものを示しているが、30 kVA および 50 kVA 用については負荷電流が十分大きいので、磁気回路と電気回路を分離することなく、図 3.3 に示すように鋼板に発生するウズ電流損のみで発熱させることができ、発熱量は磁路の直列ギャップを適当に選ぶことで加減できる。

ブロックあるいは発熱板は ガラスウール で包み、ダイミックス 製 ケース 内に密封されており、変圧器巻線の温度上昇特性に追従する温度特性を持たせてある。ブロックあるいは発熱板の中にはう 旋状 バイメタル がそう入されており、温度上昇に比例して バイメタル が変位回転を生ずる。変圧器に負荷がかかるとあらかじめ定めた負荷-時間特性に従って う 旋状 バイメタル が回転し、負荷-時間の限界設定値に達すると う 旋 バイメタル に取り付けられた可動接触子が永久磁石で作られた固定接触子に接し、ランプ回路を閉じてランプが点灯する。この回路は一度閉じると温度が下がっても、リセットするまで永久磁石によって保持される。ランプの電源は変圧器低圧側 100 V 回路より取る。ランプ回路を開くには、「リセット および断心確認用レバー」を引くことによって可動接触子を磁石から引き離して行なう。ランプ断心のチェックは別に設けられたランプ回路接点があって上記レバーを引いて点灯するか否かで行なうようにしてある。

特性調整ツマミ は図 5.2 に示すように指針の位置、中央が「標準」、これより「軽」方向に回すと軽負荷でランプが点灯し、「重」方向に回すと重負荷でランプが点灯する。

OL 形過負荷表示器を既設の変圧器に取り付けた一例を図 3.4 に示す。このほか簡単な補助金具を使用して種々の取り付けを行なうことができる。新設の変圧器に取り付ける場合には変圧器タンクに取付座を溶接して取り付ける。

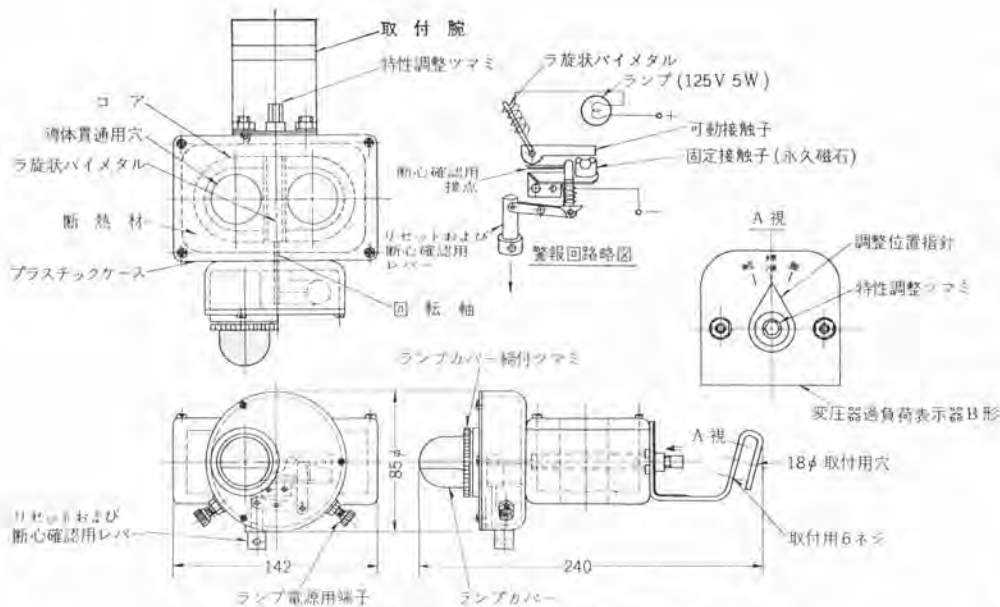


図 3.1 柱上変圧器過負荷表示器 (OL 形) の構造説明図
Fig. 3.1 Construction of type OL overload indicator for pole transformer.



図 3.4 過負荷表示器取付状態
Fig. 3.4 Mounting of overload indicator.

4. 定 格

配電用標準変圧器 (二次電圧 210/105 V) 用として 15, 20, 30, 50 kVA 用の 4 種類があるが, 10 kVA 用以下の小容量変圧器に対しては, 15 kVA 用に導体を 2 回貫通させて 7.5 kVA 用にまた 20 kVA 用に 2 回貫通させて 10 kVA 用として使用することができる。

5. 特 性

5.1 配電用変圧器の過負荷耐量特性

変圧器の定格容量は, 連続運転時の巻線平均温度上昇値が 55°C 以下になるように規定されている。これは最高周囲温度 40°C, 巻線平均温度と最高点温度との差を 10°C として, A 種絶縁の連続許容最高温度 105°C から定められたものである⁽²⁾⁽³⁾。一方, 柱上変圧器の 1 日の負荷は, 一般に平均負荷に比べて短時間の大きなセン頭負荷を含む負荷-時間曲線で表わされる性質のことが多い⁽⁴⁾⁽⁵⁾。一般にいう変圧器の負過負荷耐量特性とは, 変圧器巻線最高点温度と, その継続時間から変圧器寿命損失を算出して決定されるものであるが, 本文においていう過負荷耐量特性は「巻線最高点温度が 100°C になるような負荷とその継続時間」で表わし

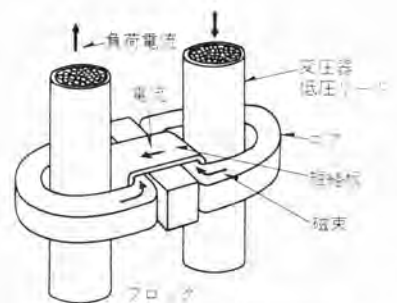


図 3.2 過負荷表示器原理図
Fig. 3.2 Principle of overload indicator.

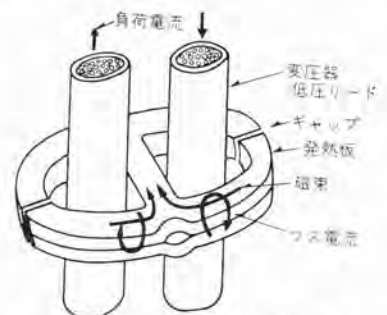


図 3.3 過負荷表示器原理図
Fig. 3.3 Principle of overload indicator.

ている。その理由は, 一般にいう過負荷耐量は変圧器使用上の限界線を示すものであり, 一方過負荷表示器は, ある期間内に 1 回以上で一定レベルの負荷-時間曲線を越えた事実を示すのみであるので, 変圧器の保安上や安全側に限界を設定するという考え方がある。過負荷耐量曲線は図 5.1 に示すとおりであり, その算定基準は保安上から標準変圧器よりやや特性の劣るモデル変圧器を設定したものである。モデル変圧器の温度上昇特性は実測値をもととして次式によって求めたものである。

$$\theta_t = A + \theta = A + \theta_c (LP^2)^{n_c} \times (1 - e^{-\frac{t}{T_c}}) + \theta_0$$

$$\{ (LRP^2 + 1) / (R + 1) \}^{n_0} \times (1 - e^{-\frac{t}{T_0}}) - \theta_x$$

θ_t : 時間 t における巻線最高点温度 (°C)

A : 周囲温度 (°C)

θ : 周囲温度に対する巻線最高点最終温度上昇 (°C)

θ_c : 定格負荷時巻線付近油温に対する巻線最高点最終温度上昇値 = 16°C

θ_0 : 定格負荷周囲温度に対する最高点最終油温度上昇値 = 40°C

θ_x : 最高点油温と巻線付近油温の差 = 定格負荷時において 3°C 最高点油温と一定の関係で変化する。

P : 定格負荷に対する過負荷の比

R : 銅損対鉄損の比 = 4

n_0 : 変圧器総損失に対する油温上昇の関係を示す指数 = 0.8

n_c : 負荷損に対する巻線温度上昇の関係を示す指数 = 0.8

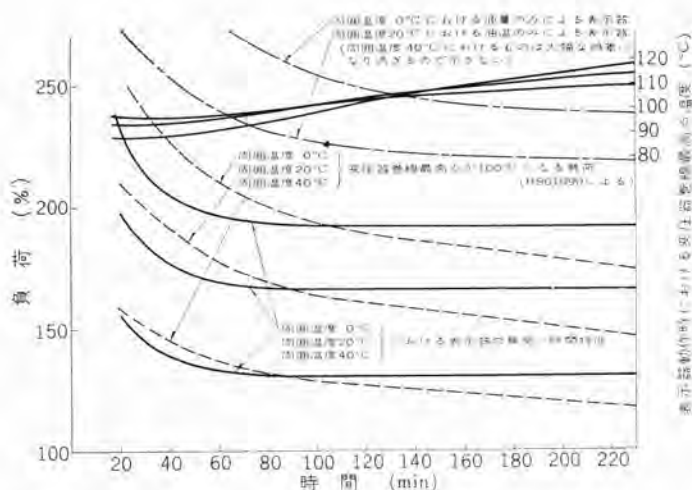
L : 温度上昇による巻線抗抵変化の補償

T_c : 油温に対する巻線温度上昇の熱時定数 = 10 分

T_0 : 油温度上昇の熱時定数 = 3 時間

5.2 変圧器過負荷表示器 (OL 形) の動作特性

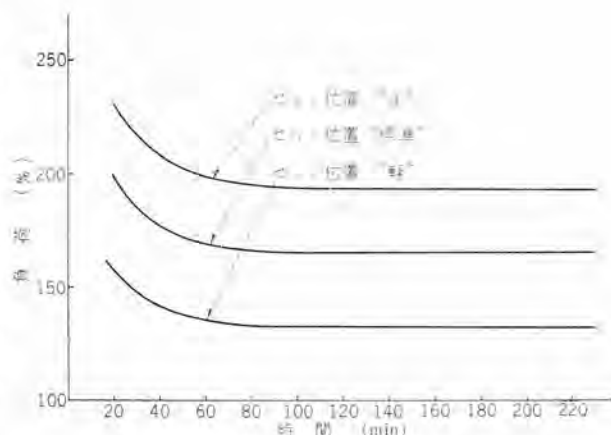
動作特性曲線は図 5.1 に示すとおりであり, また調整セツト位置を変化させた場合の特性曲線は図 5.2 で示す。



周囲温度との関係 調整ツマミ“標準”において 75% 負荷連続運転後におけるもの

図 5.1 15.20 kVA 用過負荷表示器“負荷-動作時間-巻線温度”特性曲線

Fig. 5.1 15.20 kVA overload indicator “Load-operating time-coil temperature” characteristic curves.



周囲温度 20°C 75% 負荷連続運転後におけるもの

図 5.2 1φ15 kVA 用および 20 kVA 用過負荷表示器各調整セツト位置における“負荷-時間”特性曲線

Fig. 5.2 “Load-time” characteristic curves at various set position adjusted with single phase 15 kVA or 20 kVA overload indicator.

変圧器の温度上昇は 5.1 節で述べたように油の長い熱時定数と巻線の短い熱時定数の二つから成っているもので、これを全域にわたって模擬することは非常に困難であるが、実際に表示を行なう必要のある時間範囲は、5.1 節に述べたような負荷曲線の性質から約 30 分～3 時間程度の範囲内で正確な表示を行なうことが事実上から要求される場合が多い。

この表示器の表示誤差は図 5.1 の上部に示すように 100°C に対し、10°C 程度におさまるものとなっている。しかし、3 時間以上の長時間一定負荷がかかる場合には 20°C 程度の誤差がでることは避けられない。しかし一方、温度検出源が油温のみによる過負荷表示器の特性は図 5.1 の一点鎖線で示すように大幅な誤差を含み、これに周囲温度補正装置を加えた場合でも、負荷継続時間の变化による誤差が大きいことは避けられない。両者を比較すれば電流要素をもった表示器がはるかに特性がよいことがわかる、したがって配電用変圧器の過負荷表示器としては OL 形過負荷表示器のように負荷電流要素を加えることは必須条件と考えられる。

6. む す び

OL 形過負荷表示器は 2 章に掲げた柱上変圧器の必須条件をほぼ満足し得たものと考えている。

OL 形過負荷表示器のすぐれた特性を柱上変圧器の負荷管理、経済的な変圧器設置容量選定、さらに配電線路設計の基礎資料として活用されることを望む。

参 考 文 献

- (1) 関西電力：電力 46 巻 1 号，p. 214
- (2) JIS C 4304
- (3) 変圧器専門委員会：油入変圧器運転指針，電気学会技術報告 第 18 号（昭 32）
- (4) 電力中央研究所：小形油入変圧器の温度特性，技術研究所報告 応用 58002，（昭 33）
- (5) 配電専門委員会：電灯動力共用低圧配電方式，電気学会報告 第 35 号（昭 34）

入換機関車無線操縦装置 (SLC-1)

篠原 泰*・中村 一郎**・佐藤 清*
丸浜 徹郎***・今里 英吉****
田村 祥一*****・江塚 昭*****

Shunting Locomotive Control System-1

Technical Research Institute of J. N. R., Automation Laboratory

Hiroshi SHINOHARA・Ichirō NAKAMURA・Kiyoshi SATO

Technical Research Institute of J. N. R., Communication Laboratory

Tetsurō MARUHAMA・Eikichi IMASATO

Mitsubishi Electric Corporation, Kamakura Works

Shōichi TAMURA

Mitsubishi Electric Corporation, Electronics Works

Akira EZUKA

SLC is a system to control the operation of locomotives in a hump shunting yard from a remote place by the use of VHF radio waves. The operation command, composed of the locomotive number, direction, speed, distance and other information, is a 4000—band pulse train having a function of detecting errors caused by a radio noise. To ensure the multi-channel command transmission by a single radio wave, a high speed switching capable of change over from a transmitter to a receiver, and a modified time-division system are employed. This system aims at the improvement of the efficiency and safety of the yard operation, making little skill good for locomotive drive and improving the labor management of employees.

1. ま え が き

貨物輸送の能率化は鉄道経営上の大きな問題であり、その一つの因子として操車場の作業の近代化があげられるが、その中でも中心的な機能を果している坂阜入換作業の能率化のための一方法として計画されたのがこの装置で、鉄道技術研究所自動制御研究室および通信研究室の指導⁽¹⁾により製作した。

この装置は坂阜操車場で作業する入換機関車に対して、遠隔より無線を使用して運転指令信号を送り、それによって機関車の運行を自動制御するもので、従来の機関士に対する手旗または手さげ灯による入換合図の代わりに、直接任意の場所から機関車を操縦できるようになる。

システムは指令コード符号の伝送を行なう部分 (SLC-1) と、解説された指令情報により機関車のブレーキ弁や燃料供給弁などの開閉を制御する部分 (SLC-2) に分かれるが、本文は制御信号の伝送装置として独特な変形時分割方式を採用している前者について述べるものである。

2. 方式の概要

2.1 坂阜入換作業

貨物列車が到着線に入るとただちに車両の到着検査およびブレーキ管ホースの切り離しが行なわれて仕訳作業の準備をされた車両列となるが、その車両列は所定の時刻になると坂阜入換機関車に連結されて到着線から押上線に回送される。押上線では機関車が最後部から車両列を坂阜に向かって押上げ、車両列は坂阜頂上で所要の一分解ずつに切り離される。切り離された各分解車両群は坂阜の下りコウ配を自走することにより加速されて方向別仕訳線に分けられる。この際、転走車両は途中で配置されたカーリターダにより適当な速度まで減速され、仕訳線に停留する車両群に衝撃なく連結できるようになっている。(この過程の自動化として操車場自動制御用計算機 YAC⁽²⁾⁽³⁾がすでに製作されている)。一回

の押上作業を終了した入換機関車は再び到着線に回送されて別の車両列を連結し、上述の作業を繰り返す。また必要に応じていったん方向別仕訳線に分けられた車両群を再び連結して押上線に回送し、再び仕訳作業を行なうこともある。

以上のごとく坂阜入換機関車の作業は、押上運転作業、回送運転作業、および車両連結運転作業に大別できる。押上線における運転速度は、現在では入換合図器によって4段階の速度を意味する合図灯指示が行なわれており、機関士がこれによって運転速度を制御する目安としているが、その意味する速度値は明確には示されておらず、操車掛と機関士がそれぞれ独自に経験的な技術にたよっている。また車両連結運転作業における機関車の制御も、主として機関士の経験によりきわめて巧妙に行なわれている。さらに回送運転作業における運転速度は、その時に牽引している車両群の重量や所要の走行距離の大小に応じて変化することは車両連結運転作業の場合と変わらないが、速度の変化範囲は一般に大幅である。車両入換の際の運転速度は運転規程により最高 25 km/h に制限されているが、とくに押上運転作業は低速度の運転を要求される場合が多く、平均 2.3 km/h、最高 10 km/h といわれている。

このような坂阜入換機関車の諸作業を無線によって遠隔制御すれば、天候、連結貨車による妨害などの外的な原因や、数人の従事員の判断を要することによる作業従事員間の連絡の悪化を防止して保安度と作業能率を向上させるほか、連結運転作業に要求されるがごとき機関士の高度の熟練を不必要とする。さらに労務管理的な制約を受けることなく、従事員交代などに要される全作業の休止時間を減少させることもでき、機関車および操車場全体の稼働率を向上させることが可能となる。

2.2 システムの構成

SLC-1 装置は、運転指令を発信する指令制御器と、指令コードを受信解読して SLC-2 装置に情報を与える機関車制御器とに大別される。(図 2.1) 指令制御器はさらに坂阜上の信号所などに設

* 国鉄鉄道技術研究所自動制御研究室 ** 国鉄鉄道技術研究所自動制御研究室 (工博)

*** 国鉄鉄道技術研究所通信研究室 (工博) **** 国鉄鉄道技術研究所通信研究室

***** 三菱電機 (株) 鎌倉製作所 ***** 三菱電機 (株) 無線機製作所

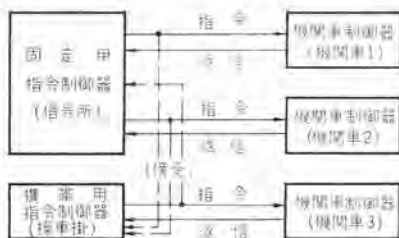


図 2.1 システム構成の一例
Fig. 2.1 An example of SLC system.

置かれて操車場内の全機関車を指令することのできる固定用指令制御器と操車掛が身につけて実際の作業現場で機関車と一対一で使用する携帯用指令制御器とに分かれている。いずれも原理上その台数には制限がない。

各制御器は符号伝送部と無線送受信機より成り、押しボタンによって設定される運転指令は、コード信号になおされたのち無線送受信機を経て電波となり、機関車制御器の無線送受信機を通り符号伝送部で解読される。システム全体を通じて単一の VHF 波を使用しているため、各瞬間には一つのルートの伝送しか行なわれず、いくつかの指令制御器による発信は同期をとって順次に行なうようになっている。

2.3 伝送符号

運転指令は一連のデジタル信号として伝送されるが、その構成は図 2.2 のごとくになっている。スタート符号は全受信装置（機関車制御器）を同期させて受信解読状態に入らせ、続く機関車番号呼出し符号により特定の機関車制御器を指令する。起動していた他の機関車制御器は解読を中止し休止状態にもどる。指定された機関車については運転方向と作業区別を示す符号を受信する。作業区別とは 2.1 節で述べた 3 種の作業を指定するもので、押し運転は低速運転、回送運転は比較的高速、連結運転は速度でなく距離、とその性質が異なり、このおのおのについて指令符号を作成することはいたずらに符号数を増すので、まず本符号で種類を区別し、次の速度（距離）指令符号では各作業中の程度を指定し、両者の組み合わせではじめて具体的な数値が得られるようになっている。ここで指令に関する符号は終了し、数ビット後には逆に機関車制御器より返答に相当する符号が送られる。同期ビット（往復の伝パツ時間のために、指令制御器に対して機関車制御器がすでに同期していても、その逆方向には再び同期が必要となることがある。）に続いて機関車実際の運転速度が送られ、完了符号で終わる。

以上の各符号は、操車場内の雑音などの影響によって誤って伝送されることのないよう、それぞれ二重の法則より成る誤り検出符号となっている。一例として機関車番号呼出し符号は、



	符号の構成			種類
	長さ (ビット)	マーク数	群数	
機関車番号の呼出し符号	9	4	3	機関車 1, 2, 3, 4
運転方向・作業区別符号	9	5	3	前進、後進おのおのにつき回送、押し、連結
速度（距離）指令符号	9	5	3	回送：0～40 km/h 押し：0～10 km/h 連結：0～150 m 各 8 種類
実運転速度符号	9	5	3	0～50 km/h 16 種類
警報用符号	9	5	3	逆方向、緊急停車

図 2.2 指令符号
Fig. 2.2 Command codes.

表 2.1 誤字検出能力の比較

	通常の 2 進符号 (誤字検出なし)	定マーク数方式 (マーク数 4)	定マーク数＋ 定マーク群数方式 (マーク群数 3)
符号総数 (9 ビットの場合)	$2^9=512$	$4C_4=126$	$4C_4 \cdot (4C_3+24C_2+4C_1)=60$
検出不能な誤字の確率 (1 ビットの誤まる確率 を P , P^2 以上を省略)	$\sum_{i=1}^9 9C_i P^i (1-P)^{9-i}$ $\approx 9P-36P^2$	$\sum_{i=1}^4 4C_i \cdot 4C_3 \cdot P^i (1-P)^{4-i}$ $\approx 20P^2$	"機関車 1" の場合 $\approx 10P^2$
$P=10^{-2}$	864×10^{-4}	20×10^{-4}	10×10^{-4}
$P=10^{-3}$	90×10^{-4}	0.2×10^{-4}	0.1×10^{-4}

機関車 1	010001101
機関車 2	011010001
機関車 3	100100011
機関車 4	101100010

となっているが、いずれも

- (1) 定マーク数方式……符号を構成するビット中のマークビットの数を常に一定にする方式。上例では 4。
- (2) 定マーク群数方式……符号中の同一極性ビットの連続を一つの群とみなす時、マーク群の数を常に一定にする方式。上例では 3。

を採用していることがわかる。表 2.1 に、誤字検出を行なわない場合、定マーク数方式を採用する場合、さらに定マーク群数方式を採用する場合についての比較を示すが、定マーク数方式は無線による国際電信などに使用される ARQ 装置⁽⁴⁾⁽⁵⁾において採用されてすでにその効力が確認されており、奇数ビットにわたる誤まりはすべて検出し、またバースト（多ビットにわたる同一極性の雑音、一般にこれが多い。）に対しても強力であるが、互いに逆極性である 2 ビットの誤まり（トポジ）ないしはその重複に対しては無力である。これに定マーク群数方式をあわせ採用すれば、さきに検出不能であった誤字の相当な部分をみつかることができ、誤字率は実用上問題のない程度にまで低減できる。なお上例では解読され得るのは、可能な 60 とおりのうちのわずか 4 とおりであり、誤まり検出にかからない誤字でも誤解読される確率はさらに低下する。

2.4 再送方式

使用符号には誤まり訂正能力はないので、機関車制御器が誤字を検出すれば再び同一指令を送りなおす必要がある。受信に際して、図 2.2 の符号列の符号ごとに誤まりの検出を行ない、どこかに誤まりがあると最後の完了符号を返送しない。これによって指令制御器が同一符号を再送するが、このシステムが多系統の伝送を時分割的に行なっているので特定の系統にのみ長時間を費すことができず、再送回数は 3 回に限られ、それでも指令が受信されないときは次に再び順番がくるまで、その機関車に対する指令はないことになる。

2.5 時分割方式

単一周波数を使用して、いくつかの指令制御器と機関車制御器間の通信を順序よく行なわせるために、このシステムでは次のような方法をとっている。（図 2.3）

指令制御器の発信は、空間に指令電波が約 60 ビットタイム (30ms) 間存在しなかったこと (A1 方式であるので、これはスペース極性信号の連続と等価になる。) を検出してから開始する。この時間計数はある程度蓄積されるので、計数途中に他の装置が発信を開始してマーク信号とスペース信号の組み合わせを送っている間は、それまでの計数値が記憶されている。したがってその交信が終了

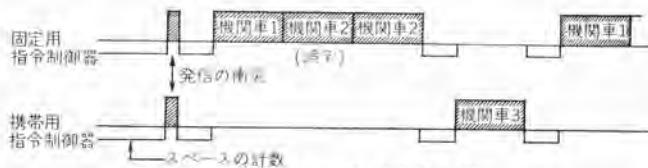


図 2.3 時分割方式による指令の伝送

Fig. 2.3 Time-division system of command transmission.

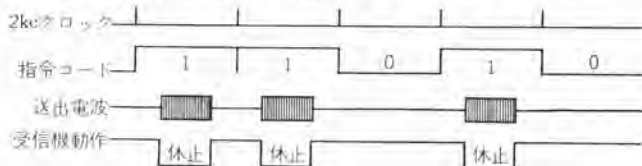


図 2.4 送受信機の動作関係

Fig. 2.4 Alternate operation of transmitter and receiver.

して再び無電波状態にもどると、あらかじめ計数の進んでいた装置の方が今終了した装置より早く交信開始に達し、以後はこの順序どおりに、時分割的に電波を使用して各指令制御器が発信する。

指令コードは 0.5 ms (2,000 ボー) のパルス列であるが、送信するにあたっては図 2.4 のごとく半分に短縮し、残り半分の時間は送信を停止して受信専用とする。また送信すべきコード信号がスペース極性の時も受信状態にする。かくして同時に 2 個所の指令制御器が発信を開始しても、原理的にはそれらが同一位相で同一符号を送信してない限り互いに相手の発信を検知でき、自己の発信を停止して交信の衝突を防ぐ。この際、スペース極性信号計数回路は装置ごとに定められた異なった値にリセットされ、再び衝突を起こすことはない。

2.6 フェイルセーフ

伝送中の障害による機関車の暴走などの事故を防止するため、機関車制御器は一定時間内に必ず一回に指令を受信するようになっている。すなわち指令制御器は、自己の交信の順番がくると制御中の全機関車に必ず指令を送り（指令に変更のない場合は前回と同一符号を送る。）、機関車側では一定時間（約 2 秒）内に呼出しがないと警報を出し、それまでの指令と無関係に停止する。

逆に指令制御器側でも、3 回再送しても完了符号が返送されない場合には、伝送路または装置に異常があるものとして警報を出す。また交信待ちの間は、他の指令制御器の発信コードを傍受し、自己が指令しようとしている機関車が呼び出されておれば警報を発し、指令系統の重複を防止する。

指令の運転方向が機関車の逆転器の位置と逆の場合にも、機関車制御器は警報を発し、機関車を停止させる。この情報は返答信号中の実運転速度の代わりに送られ、指令制御器でも警報を出す。このほか指令操作の誤まりなどで機関車を緊急停止させたい場合には、通常の停止信号以外に緊急停止符号を送出できる。

2.7 無線送受信機

150 Mc 帯の搬送波をコード信号によって振幅変調し（A₁ 電波）伝送するもので、図 2.4 のごとく入力として与えられる半分に短縮されたコード信号のマーク時は送信、スペース時は受信状態となる。コード信号が 500 μs の半分の 250 μs であるので、この送受信の切り換えは最高 2 kc の速度で行なう必要があり、コード信号に同期させて

アンテナを送・受信部に切換接続する方式をとっているのが本機の特色である。この間、送・受信部ともに動作状態に置かれたままである。

送信部の出力は各装置の指令制御範囲から定められ、固定用指令制御器で 5 W、携帯用指令制御器で 0.5 W、機関車用制御器で 2.5 W となっている。

3. 装置の概要

3.1 固定用指令制御器

操車場内の全機関車を指令制御でき、またその運行をはあくする機能も持ち、信号所などに置かれて総括的な制御に使用する。

3.1.1 無線送受信機（図 3.1）

無線送受信機は送信出力回路を除いては、指令制御器、機関車制御器ともその機能は同一である。符号伝送部からのコード信号により指令電波を発し、また電波を受信してコード信号の復調を行なうもので、送信部、受信部、電鍵(鍵)回路部に大別される。無線機としての特色は、

(1) 携帯用指令制御器、機関車制御器に用いられるものは全トランジスタ式で、150 Mc の送信出力 0.5 W、2.5 W が必要であり、高周波出力トランジスタの選択、それを用いた出力回路、可変容量ダイオードによる通倍回路などに考慮を払っている。

(2) 2 kc の高速で送受信状態の切り換えを行なう必要があり、コード信号に同期した高速切換器により、アンテナを送・受信部

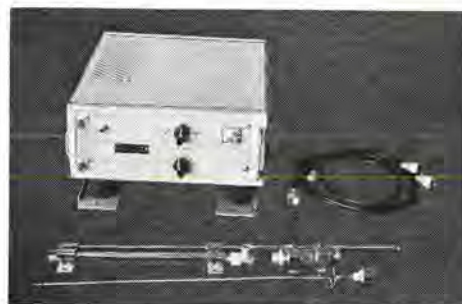


図 3.1 固定用指令制御器無線送受信機

Fig. 3.1 Radio transmitter receiver for main controller.

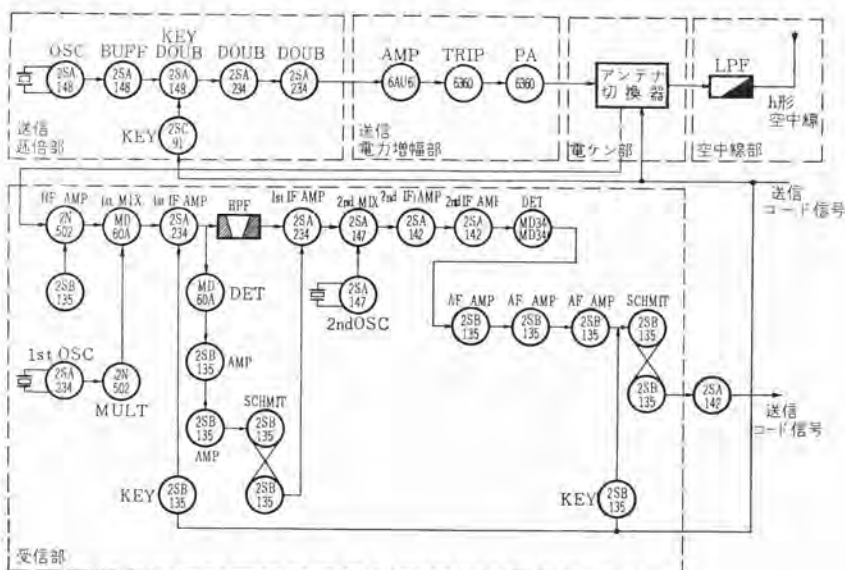


図 3.2 固定用無線受信機ブロック図

Fig. 3.2 Block diagram of radio transmitter receiver for main controller.

に切換接続する方式を採っている。送・受信部とも常に動作状態であり、アンテナ 切換器の減衰比が十分でないために送信時に受信部への漏れがあり、受信部を送信コードと同期したゲートパルスでキーイングして除去している。また、受信時の送信側回路からの漏れは送信通信部、切換器の減衰比で十分に取り除かれている。

(3) コード信号の立ち上りは十分に急しゅんなることを要求されるが、一方これは占有周波数帯域とは逆の関係になり、両者の割り振りに考慮を払っている。

(4) 機関車制御器用については帯域内 (146~162 Mc) のスプリアス放射を低減させるために4通倍を行なっている。

ブロック図を図3.2に示す。アンテナ高速切換器のあとに、低域ロハ器を用いてスイッチングによる波形ヒズミを除くほか、携帯用指令制御器や機関車制御器では帯域ロハ器によりスプリアス放射を低減している。(図3.9,3.12)

受信部は符号伝送部出力のコード信号がスペース極性の時、アンテナ 切換器を経て空間の電波を受け取る。自局の送信時(コード信号がマーク極性)には、切換器は送信部出力をアンテナに導くが、減衰比が-30 dB程度で受信部に漏れるため、コード信号に同期したゲートパルスにより受信部の高周波増幅回路および低周波シュミット回路をキーイングし、漏れの防止を行なっている。4,000ボルの高速伝送であり、また2台以上の指令制御器から同時に受信した場合の小さな入力信号に対して感度の低下を生じないようにするため、AGCはかけていない。水晶フィルタによるコード信号のヒズミをきょう正するために波形修正回路を付加している。

超短波帯の回路を高速で開閉、切換をする装置は各種通信において必要視され研究が進められている。従来の切換装置には、切換速度が、比較的緩慢な機械的なものや、あるいは真空管、放電管などがかなり使用されているが、本機では半導体ダイオードを使用した切換器を採用した。これはシリコンパワーダイオードの高周波におけるインピーダンスが印加電圧によって著しく変化する性質を利用したもので、図3.3のFF'の一方に正の偏倚電圧を与え、他方に負の偏倚電圧が加わるようにすると、Aからの超短波入力電圧は正偏倚電圧の加わった側に流れ、負偏倚電圧の側には伝送されない。切換速度はFF'に印加するパルスで自由に変えられる。シリコンダイオードの高周波等価回路は図3.4のごとくなるが、高周波における伝送特性をよくするために、ダイオードの選択に考慮したほか、ケースとの浮遊容量を減少させるためにダイオードを同軸コード内に入れたり、キャビティ内に入れたりしている。(図3.5)

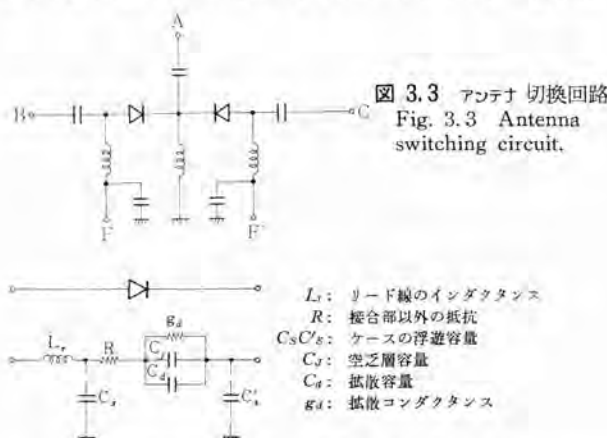


図 3.4 シリコンダイオードの高周波等価回路
Fig. 3.4 High frequency equivalent circuit of silicon diode.

3.1.2 符号伝送部

押しボタンによって設定される運転指令の符号化、返信符号の解読表示そのほかの交信上の諸機能の制御を行なう。トランジスタとダイオードによるDCスタチック方式の論理回路より成り、基本パッケージ約220枚を使用している。

ブロック図を図3.6に示す。基準発振周波数は8kcであるが、一般論理は2kcで行ない、これを計数するシーケンス制御カウンタの状態に応じて指令をゲート回路により符号化し、バッファレジスタ、出力フリップフロップを経てコード信号として送受信機に与える。バッファレジスタは3ビットで、指令符号を3ビットずつセットして出力フリップフロップに送り、一方出力フリップフロップは4kcで動作するので、コード信号の半分の短縮が行なわれる。受信同期回路は受信マーク信号が16の長さにまでゆがんでも正規の信号と同様に取り入れ、内部の論理回路のクロックをただちにこれに同期するよう修正する。(修正ステップは8kc)16以下は無視することにより、雑音や自己の送信信号の漏れによる誤動作が防がれる。基準発振器の精度は0.01%以内であるので、伝送路の悪化以外の原因では一指令中に再度同期修正をすることはない。

受信符号はバッファレジスタを経て解読表示する。誤りなく指令が伝送された場合は完了符号が返送され、検知回路によって機関車呼出タイミング回路が1だけ状態を進め、次の機関車に対する指令に移る。(機関車が1台の場合は交信を終了する。)完了符号のない場合は状態が進まず再送が行なわれる。3回再送しても完了符号のこない時は異常判定回路が出力を与え、同時に、機関車呼出タイミング回路の状態を進める。

交信開始判定のためのスペース信号の計数はシーケンス制御カウンタが行なうが、途中で他の指令制御器の発信があればマーク信

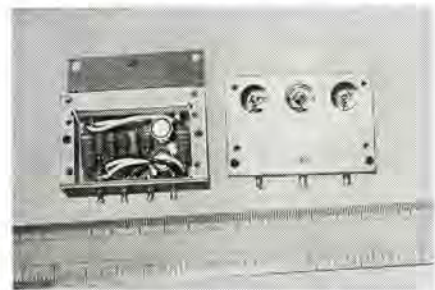


図 3.5 アンテナ高速切換器
Fig. 3.5 High-speed antenna switching unit.

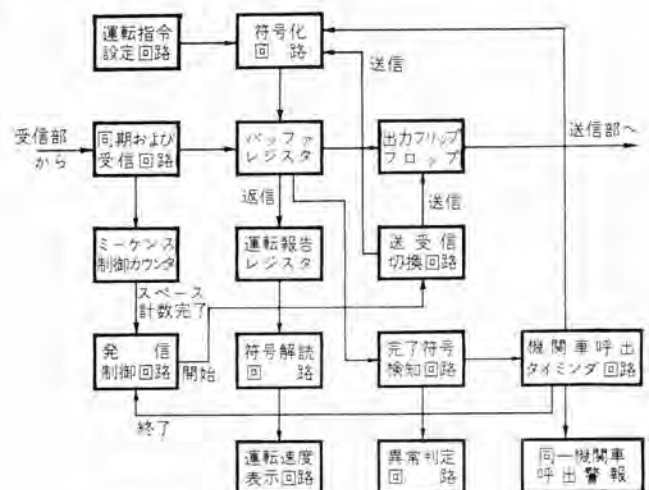


図 3.6 指令制御器符号伝送部ブロック図
Fig. 3.6 Block diagram of the main controller.



図 3.7 固定用指令制御器符号伝送部
Fig. 3.7 Main controller.

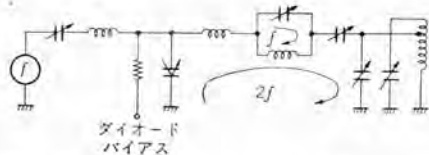


図 3.10 可変容量ダイオードによる通倍回路
Fig. 3.10 Frequency multiplier using variable capacitance diode.



図 3.11 携帯用指令制御器符号伝送部
Fig. 3.11 Portable controller.

号が受信されるのでカウンタの上位を除いてリセットされ、以後の計数は進行しない。発信の衝突の場合は、内容に無関係に装置ごとにあらかじめ定められた値にリセットする。他の指令制御器の発信を傍受している時は、その内容が機関車呼出タイミング回路にセットされている機関車と同一の場合警報を出す。この際出力フリップフロップ、送受信切換回路、完了符号検知回路などの不使用部分を傍受信号の解読記憶に転用する。

この装置では同時に4台までの機関車を制御できるようになっており、前面の制御に指令設定用の押しボタンと機関車の運転速度表示ランプをまとめている。(図3.7)

3.2 携帯用指令制御器

作業現場で操車掛が機関車と一対一で使用するもので、このシステムの中核となる指令装置である。

3.2.1 無線送受信機 (図3.8)

送信部の最終段出力増幅にはPSI社製シリコンメサ形トランジスタ2N1506を用い、75 Mc帯0.8 W出力を得、可変容量ダイオードによる周波数通倍器を通して所定の出力を作っている。この通倍回路はダイオードの容量の電圧依存性を利用し、図3.10のごとく周波数 f の電力を与えてその高調波を発生させ、 $2f$ の同調回路より出力を取り出すものである。電源は乾電池とDC-DCコンバータである。

図 3.8 携帯用指令制御器無線送受信機
Fig. 3.8 Radio transmitter receiver for portable controller.

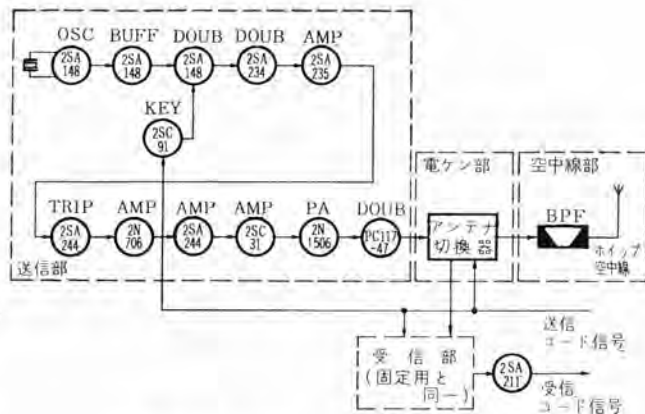


図 3.9 携帯用無線送受信機ブロック図
Fig. 3.9 Block diagram of radio transmitter receiver for portable controller.

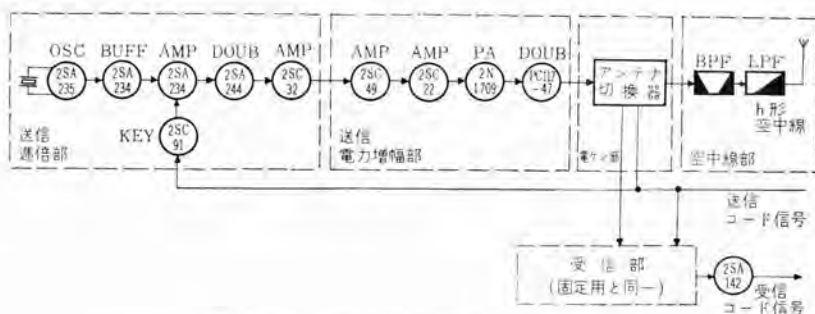


図 3.12 機関車用無線送受信機ブロック図
Fig. 3.12 Block diagram of radio transmitter receiver for locomotive equipment.

3.2.2 符号伝送部 (図3.11)

一度に一台の機関車しか制御しないため、固定用における機関車呼出タイミング関係回路がないこと、機関車の付近で使用するので実運転速度の返信が不要で、そのための解読回路がないこと、以外は固定用指令制御器と同じである。

回路は同じくトランジスタによるDCスタック方式であるが、乾電池だけで長時間動作するよう基本回路が消費電力を極力減少させる構成になっているほか、携帯に便なるよう基本パッケージ式を廃し4枚の基板で全回路を収容している。

3.3 機関車制御器

機関車にとうり載され制御指令の解読をするもので構造上振動に対して考慮しており、とくに符号伝送部ではパッケージの振動防止やアラライトによる部品の固定などを施している。

3.3.1 無線送受信機

図3.12のごとく送信部電力増幅回路の終段には、PSI社製シリコンメサ形トランジスタ2N1709を使用し、約4 Wの出力を得ている。符号伝送部とともに電源としては機関車より得られるDC24 V電源を利用し、AVR、DC-DCコンバータを経て所望の電圧を得ている。

3.3.2 符号伝送部

指令符号の受信解読、実運転速度の返信、運転距離指令の場合の実運転距離による指令の修正などを行なうもので、固定用指令制御器の場合と同一の基本パッケージ約230枚を使用しているが、機関車内のスペースの関係で2架にわかれている。

ブロック図を図3.13に示す。スタート符号の構成の電波をどこかの指令制御器から受信すると、シーケンス制御カウンタがリセットされて装置は指令解読状態に入り、つづく機関車番号呼出し符号を受

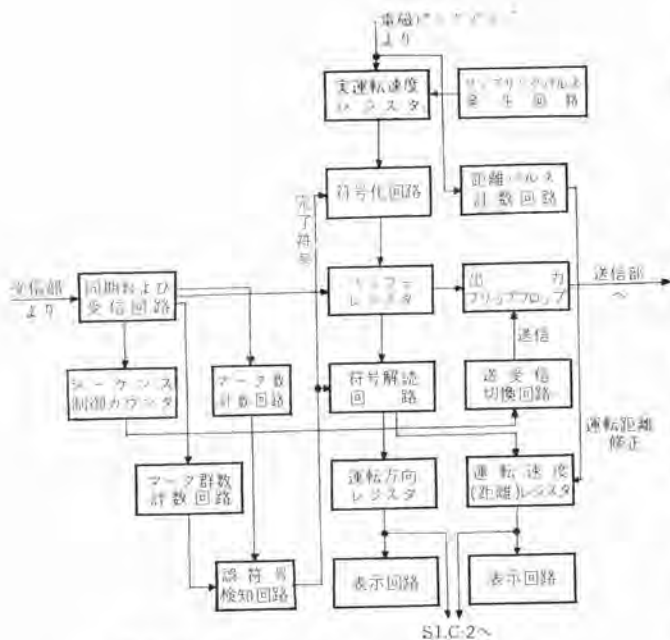


図 3.13 機関車制御器符号伝送部ブロック図

Fig. 3.13 Block diagram of locomotive equipment.

信する。この過程までは操車場内にある全機関車制御器が同時に動作するが、ここで各装置は自己に与えられている番号と指令番号とを比較し、一致した装置のみさらに解読を続ける。指令符号は指令制御器の場合と同一の同期回路を経てバッファレジスタに読み込まれる一方、マーク数およびマーク群数を算出して誤字の検出をする。誤字でなければバッファレジスタの内容を解読して運転方向・運転速度レジスタに移すが、一連の指令を構成する各符号のどれかに誤りが発見されると、それ以後の符号は解読されない。これは誤りがあるとその前後の符号を一方的に棄却することであり、雑音の性質上、検出不能な誤字があるとすれば検出した誤字の前後にある確率が高いという点からも重要である。

シーケンス制御カウンタの計数が進み返信タイミングになると、誤字の受信の有無にかかわらず実運転速度レジスタの内容が符号化され、バッファレジスタ、出力フリップフロップを経て送出される。次の完了符号の送出にあたっては誤符号検知回路の内容を参照して、もし誤字があれば送出を中止するので、これにより指令制御器より同一指令が再送される。指令レジスタの内容は SLC-2 装置に与えられるほか、実運転速度とともに数字表示管によって示される。目的の機関車はディーゼル機関車 (DD13 形) で、指令出力は機関車の燃料供給弁やブレーキ弁の制御に用いられる。

運転指令が距離指令の場合は、運転速度(距離)レジスタの内容が距離パルス計数回路からの出力により、実際に機関車が 1 m 進むごとに減算される。この間指令制御器からは 2.6 節の原理により減算される前の距離指令が繰り返し送られてくるが、それによってレジスタの内容が乱されることはなく、内容の書き換えは運転作業の異なった指令が受信されてはじめて行なわれる。

実運転距離および速度の算出には、機関車の車軸に直結された電磁式ピックアップを使用し、回転数に比例したパルスを 1,500 PPR の割合で得る。このピックアップは入換機関車の性質上、低速度の回転にも十分な出力が必要で、1.5 RPM まで測定可能である。運転距離はパルス数そのもので、車輪径に応じて 555~612 パルスを計数すれば 1 m 進んだことになる。(車輪径による補正は 780~860 mm 間、10 mm ごとに行なっている。) 運転速度はパルス数の時間平均で、サンプリングパルスの周期を、速度が 0.2 km/h についてピックアップの出力が 1 個ずつレジスタに入るように選んであり、約 30 ms 間のパルス数で速度が求まる。なお実運転速度を符号化する際には、符号の種類に限りがあるので符号化回路で速度値の丸めを行ってから返信している。

4. む す び

以上、操車場の自動化の一方法として試作された入換機関車無線操縦装置の指令伝送系についてその概要を述べた。

この伝送系 (SLC-1 装置) は、鉄道技術研究所において種々の試験を行なった結果、安定確実な動作を確認して所期の目的を達成した。構内には多様な雑音と地域的な定在波のあることがわかり、特殊な場所では瞬時的な通信不良が生じたが、装置のもつ時定数のために安定な伝送が行なえた。

この装置は単に機関車の遠隔制御というだけでなく、無線機としての高速度送受信切換や、データ伝送装置としての変形時分割方式は、各方面に広く応用されうるものと考える。

終わりにあたり、終始ご指導ご協力を賜った国鉄技術研究所ならびに三菱電機関係各社に深甚なる謝意を表わす次第である。

参 考 文 献

- (1) 佐藤:「鉄道技術研究所速報」No. 60-307 (昭 35)
- (2) 市川, 東, 渡辺, 嶋村ほか:「三菱電機」36, 650 (昭 37)
- (3) 山下, 田村, 若田:「三菱電機」33, 304 (昭 34)
- (4) 竹内, 熊谷, 山内, 富岡ほか:「三菱電機」32, 792 (昭 33)
- (5) 大島羽, 鈴木, 江塚, 竹内:「三菱電機技報」37, 747 (昭 38)

列車自動運転のための指令装置

石田 哲爾*・鳥居 健太*

Control Computer for Automatic Train Operating System

Electronics Works

Tetsuji ISHIDA・Kenta TORII

The railways, the most indispensable facilities in the traffic of cities, now barely meet impending problems of ever increasing passengers even by making full use of the utmost capacities. As one means of improving the situation, automatic operation of trains as an applications of electronics has been rapidly developed so as to carry out complicated, important operating business without fault. To automatize one train operation is already in practice here and there. Mitsubishi has been successful in the speed control of underground railway traffic and now made further step of developing full automatic operation devices. Tests conducted in the field has proved successful, suggesting it will not long before they are put into practice a control computer, a part of the device, is dealt with herein.

1. ま え が き

最近鉄道における自動化が急速に発達しつつある。とくにわが国では欧米の事情と異なり、鉄道による輸送の重要性は航空機や自動車の発展とならんで、ますます増大する傾向にあると推定されているので、新技術（とくにエレクトロニクス）の導入による近代化が急がれている。

鉄道の任務は車両により貨物および多くの旅客の輸送を1列車で迅速にしかも安全に行なうことである。近年旅客や貨物の増大に伴い列車の運転密度を高くし、列車間隔を密としなければならなくなってきたことから運転業務はばく大な量となり、その処理に多くの人員と時間とを費やすようになった。そこで自動化の技術を導入し、この増大した複雑な列車運転業務を、誤りなく迅速に処理することを期待しなければならなくなった。なかでも運行中の1列車の運転のみを自動化する問題が種々考えられており、すでに実用化されているものもある。1列車の運転を自動化することにより次のような利益が考えられる。

- (a) 列車運行に対する安全度の向上
- (b) 電力または燃料などの動力消費量の節約
- (c) 運転手に要求される熟練度の軽減
- (d) 運転手の労務緩和

が考えられ、ひいては

- (e) 正確な運転時分の保持
- (f) 列車間隔の短縮と輸送密度の増大

が得られよう。

当社においても伊丹製作所に無線機製作所が協力し種々の列車の自動制御装置を開発してきた。今回製作納入した列車自動運転装置（Automatic Train Operating System 以下ATO装置と呼ぶ）は運転手の行なう操作をすべて自動化しようとするもので、地下鉄の電車を対象としている。すなわち地下鉄は駅間距離が短く停車ひん度が多く、路線は曲線、コウ配区間が相当多くて運転操作は複雑なので自動化する際に問題となる。一方、有利な条件としては踏切がまったくなく、自動化の対象としてはもっとも適しているものの一つである。また短い区間にあらゆる線路条件を含んでいるので、鉄道の自動化を進めていく上での貴重な資料が多く得られるという好条件も備えている。

このATO装置は当社が開発し、すでに東京の営団地下鉄日比谷線で実用されている保安用速度制限装置（Automatic Train Control System 自動列車制御装置またはATC装置と呼ばれている）に定位置停止装置（Automatic Train Stop Control System 以下ATSと呼ぶ）の機能を加え、さらに加速を制御する機能を合わせて行ない、出発から停止までに至る全操作を自動制御しようとするものである。なお今回製作納入した装置は、37年3月に帝都交通地下鉄日比谷線において試験を行ない、驚異的な好成績を収めた試作装置⁽¹⁾に基づき、ATC装置の機能も含めて実用化を目的とした改良・小形化を行なったものであり、38年1月～3月に行なわれた各現車試験に引き続き、営業線において長期耐用試験が行なわれる予定である。またこのATO装置ではその内のATCの機能のみを生かして手動運転もできるように設計してある。

このような自動運転装置は国外でも実用化のための研究が相当行なわれているようで、アメリカのニューヨーク地下鉄、フランスのパリ地下鉄、ドイツのハンブルグ鉄道などの例が知られ、ソ連でも相当進んでいるようである。国内でも日比谷線以外に名古屋地下鉄で試運転が行なわれた。種々な方式が試みられているようであるが、実用化に踏み切ったところはまだないようである。

このようなATO装置はかなり複雑な回路を必要とするが、常に安全な運転を確保するため、信頼度を向上させることはもちろん、万一故障が起っても安全側に動作するよう、いわゆるフェイルセーフ(fail safe)を考慮することが重要である。信頼度を向上させるためには回路の無接点化を計ると同時に、精度を十分に保ちながら簡略化を行なう必要がある⁽⁴⁾⁽⁵⁾。製作にあたっては信号装置を京三製作所、指令装置を無線機製作所、論理制御装置および電車制御装置を伊丹製作所がそれぞれ担当した。なお本文はこのうちの指令装置を主体にして述べてあるが、初めに自動運転方式について概略説明し、次に指令装置について述べ、最後に現車試験結果にふれることにする。

2. 方 式

自動運転の方式を大きく分類すると

- (1) 車上プログラム方式
- (2) 地上プログラム方式

の二つに分けられる。車上プログラム方式とは、車上で列車の速度と走行距離を検出して運転に必要なプログラム（パターン）を発生し、これに追従するよう制御するものである。この方式でも地点検出器により走行距離検出の誤差を補正する必要があるが、大部分の装置が車上にとり載されることになる。このプログラムは新幹線などの長距離列車に対しては時間のプログラムが重要な要素となってくるが、地下鉄などの短距離列車では駅での停車時分がかなりの率を占めるので、走行中に時間の補正を行なってプログラムを修正する必要は少なく、単に発車時の遅れ進みによって力行ノッチオフ速度を調整する程度で十分と考えられる。なお時間の補正を行なうプログラムを持った装置として当社が製作したPTO（プログラムによる列車自動運転）装置がある⁽²⁾⁽³⁾。一方地上プログラム方式は地上からのプログラムを車上で受信し列車を制御する方式で、定位置停止制御のためには各駅ごとに地上に速度指令パターンを施設するものである。

ここに述べるATO装置は車上パターンによる定位置停止制御方式を採用し、ノッチオフ指令やコウ配抑速指令は地上からの信号により行ない、両方式を適当に組み合わせた方式によっている。

3. 動作概要

このATO装置は出発時に押しボタンスイッチを押すだけで、あとは自動的に加速から停止までを制御する装置であり、次のような機能を有している。

3.1 ノッチオフ

一定加速度で加速し、一定速度（68 km/h）または線路条件から定まる一定地点まで達すると、地上からのノッチオフ信号（ P_0 信号）を受信して惰行となる。ただし速度が 40 km/h 以下のときはノッチオフ信号を記憶するだけで、40 km/h 以上になってはじめて惰行になるようになっている。

3.2 速度制限

線路条件や先行列車への接近による速度制限は、走行中に地上から連続誘導式の信号を受信し、これによって速度制御を行なう。急コウ配のところは 40 km/h の速度制限があり、地上から連続信号を受信し、下りコウ配ではブレーキ力を選択して抑速制御を行ない、上りコウ配では速度範囲に適切なヒステリシスをもたせて速度制御を行なう。先行列車への接近による保安用の速度制限は後述のように2系統の回路から発生する速度照査信号により行なうようにして信頼度を高くしてある。制限速度は 40 km/h、25 km/h、15 km/h、0 km/h の4種類があり、制限速度を越えたとただちにブレーキ指令をする。

3.3 定位置停止

定位置停止操作は最もむずかしいものとされているが、自動運転においても最もむずかしい制御であり、乗りごこちがよいこと（減速度の大幅な急変が起こらないこと）、停止誤差が一定範囲内のこと、編成両数に関係のないことを主眼にして設計してある。

図3.1に示すように停止区間信号 P_1 を停止点の前方から停止点まで連続的に受信し（試験は線路の関係で定点信号とした）、停止パターン発生指令とする。この P_1 を連続信号にしたのは、定点信号にすると誤動作により指令をミスしたり、停止区間以外で雑音などのため停止動作を開始する恐れがあるからである。 P_0 、 P_1 は定点信号であって、 P_2 は P_1 信号の受信遅れなどによる誤差を補正し、 P_3 は停止点の直前でそれまでの距離検出の誤差を補正して停止誤差をさらに押える。もし定点信号をミスしても連続信号

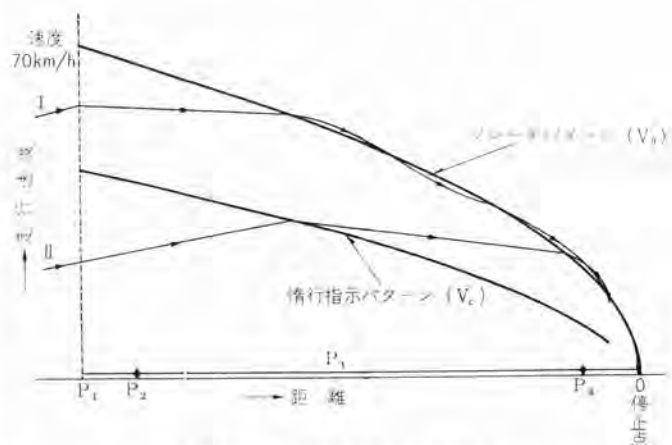


図 3.1 定位置停止制御原理図

Fig. 3.1 Principle of definite position stop control.

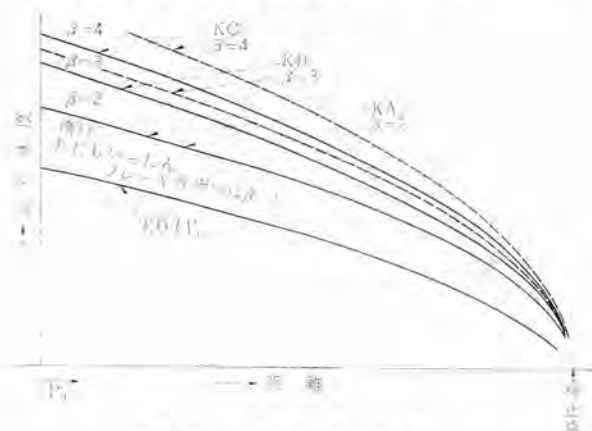


図 3.2 定位置停止制御用パターン

Fig. 3.2 Patterns for definite position stop control.

P_1 によって停止点付近に停止することができる。

定位置停止制御の原理は車上で P_1 信号を受信し図3.1に示すように惰行パターン V_c およびブレーキパターン V_b を発生し、走行速度と比較しながら制御する。たとえばIのような速度で進入した場合、 P_1 点で惰行に移りブレーキパターンを越えたところでブレーキ指示が与えられる。このブレーキパターンを減速度 3 km/h/s で平タン線を減速するときの走行曲線にほぼ一致させておく。したがってブレーキパターンに一致したところで減速度 3 km/h/s のブレーキを作用させると平タン線の場合はパターンに乗って減速し停止点に停車する。しかし制御誤差やコウ配による走行抵抗の変化があった場合にはこのパターンからはずれるので、上方にずれると強い減速度を指示し、下方にはずれると弱い減速度を指示してパターンに復帰するように制御する。このようすをIの走行曲線に示してある。低速で進入した曲線IIの場合は、惰行パターンを越えるまで力行し、以後ブレーキパターンに移るまで惰行し、それ以後はIの場合と同様に動作する。

ブレーキパターン V_b に収れんさせるために次のようにして減速度選択を行なう。すなわち図3.2のように減速度 3 km/h/s（以下 $\beta=3$ と略記）の帯域を中心として上下に $\beta=4, 2$ の帯域を設け、各 β 帯域に相当した β 指示を与えるようにする。一方実際に $\beta=4, 3, 2$ で走行した場合破線のように減速すると、 $\beta=4, 2$ の帯域をこれより内側にとって $\beta=3$ の帯域に近くとっておくと、必ず $\beta=3$ の帯域に収れんさせることができる。実際にはブレーキの立ち上がりの遅れによる空走時間を見込んで、 $\beta=2$ からブレーキをかけ始める指令を出すようにした。

以上のようにして自動運転ができるが、そのほか停車時のトビラ

の自動開閉、出発駅から信号を与えて自動的に発車するなどの動作が行なえるよう考慮すれば、地上設備のある区間では故障時および非常時以外は完全な自動運転が容易に可能となる。

4. 構 成

図 4.1 に ATO システムの構成図を示す。大きく分けて次の四つの装置から構成される。

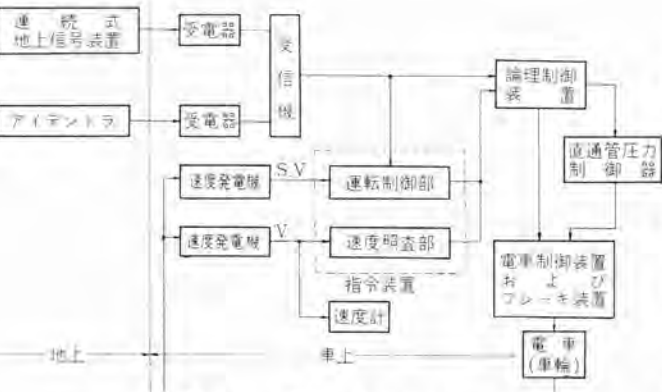


図 4.1 ATO 装置構成図
Fig. 4.1 Block diagram of automatic train operation (ATO) device.

4.1 信号装置

信号のうち保安上重要なものは連続誘導式とし、精度を要する地点信号はアイデントラによる定点信号を採用した。すなわち速度制限、停止区間信号は連続誘導式とし、距離検出誤差補正用としてアイデントラを使用した。

4.2 指令装置

走行中は常時速度照査を行ない走行速度を検出するとともに、地上信号の種類によって惰行・力行・ブレーキのおおのこのパターンを発生し、検出した速度と比較した結果を論理制御装置へ与える。また停止区間では距離に応じた停止指令パターンを発生し、これと走行速度を比較する。構成素子には半導体を使用している。この指令装置については後に詳細に説明する。

4.3 論理制御装置

指令装置、信号装置から得られた情報により力行・惰行・ブレーキおよび減速度の選択を行ない、車両制御装置を制御する。作用別に分けると次のようになる。

- (1) 力行・惰行選別回路
- (2) 速度制限制御回路
- (3) 定位置停止制御回路
- (4) 自動・手動切換回路

ATO 地上信号を施設していない区間では切換スイッチにより手動運転を行なうが、この場合も走行中の速度照査を行ない、保安用地上閉鎖信号と連動した速度制限を行なうようにしてある。また自動運転中でも運転手がブレーキ弁を扱えばこれが優先するようになっている。信頼度の向上のため無接点リレーバックを使用し電力増幅には磁気増幅器を用いている。

4.4 車両制御装置

電車制御装置、ブレーキ装置、直通管圧力制御器からなる。

5. 指令装置

5.1 概要

ATO 装置の頭脳ともいべき部分であって次の各機能をもつ。

列車自動運転のための指令装置・石田・鳥居

- (1) 速度検出
- (2) 照査速度設定
- (3) 速度照査
- (4) 制限速度発生
- (5) 停止パターン発生
- (6) 指令速度発生
- (7) 運転指令発生
- (8) 故障検出

速度検出は列車の走行速度に比例した速度電圧を発生し、一方照査速度設定により照査すべき速度に比例した電圧を発生して、これらと比較して速度照査を行ない、列車の速度がどの範囲にあるかという情報を論理制御装置へ与える。

制限速度発生は地上の閉鎖信号に応じて制限速度に対応した電圧を発生する。停止パターン発生は停車位置前方から P1 信号を受けて走行距離を検出し、距離に対応したブレーキパターン速度に応じた電圧を発生する。指令速度発生は制限速度と停止パターン速度のうち、低いほうの速度に応じた電圧を指令速度として発生する。運転指令発生は、列車速度と指令速度を比較することによって惰行・力行・ブレーキの指令信号を発生し論理制御装置へ与える。

故障検出では、self check によって誤動作または故障などによる列車の暴走を防ぐよう監視し、故障検出と同時に故障信号を論理制御装置に送り非常ブレーキをかける。万一装置の各部について、故障してもブレーキがかかるよう、いわゆる fail safe となるように十分考慮してあるが、そうでない fail safe とならない故障をもこの故障検出回路でチェックしている。

さらに安全性を高めるため出発信号を受けてから停車まで、地上信号に連動して指令速度を制限する回路と、従来の ATO 装置のように走行速度がどの範囲にあるかを照査して、制限速度までブレーキをかける回路の 2 種類を同時に利用している。

また停止区間で制限信号がはいった場合、もし停止パターン速度より制限速度のほうが低い間は制限速度が優先して制御を行なうが、距離が進んで停止パターン速度が制限速度以下になると停止パターンが指令速度となるから、制限速度を守りながら定位置停車ができる。

各部の精度は周囲温度範囲は 0~40℃ でフルスケール 75km/h の 1% を目標として設計してある。各回路にはトランジスタ、ダイオードなどすべて半導体素子を使用しているため、装置は耐震性に富み、長期間安定した性能が得られる。

装置の構造は図 5.1 に示すように電源部、操作部、ユニットパネルから成り、外形寸法は幅 700、奥行 410、高さ 330 とかなり制限されている。このように狭い運転台にいかにかうまく収容するかということが車載用電子機器の一つの大きな問題である。

図 5.2 に外観を示す。プラグインユニットは誤そう入防止ピンを設

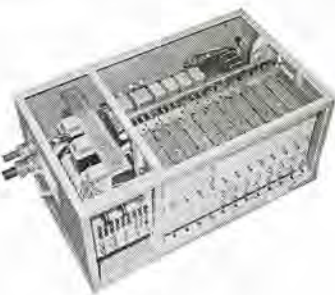


図 5.1 ATO 指令装置内部
Fig. 5.1 Interior of ATO control computer.



図 5.2 ATO 指令装置外観
Fig. 5.2 Exterior view of ATO control computer.

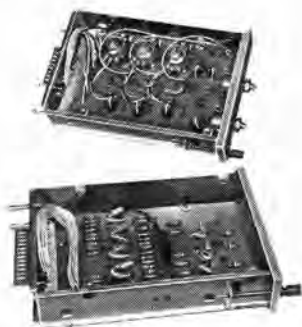


図 5.3 プラグインユニット
Fig. 5.3 Plug in unit.

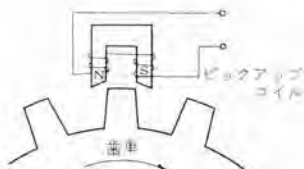


図 5.5 速度発電機原理図
Fig. 5.5 Principle of speed generator.

図 5.3 プラグインユニット
Fig. 5.3 Plug in unit.



図 5.4 ATO 指令装置 ブロック線図
Fig. 5.4 Block diagram of ATO control computer.

け、そう入後は完全にロックして接触不良を防いでいる。図 5.3 にプラグインユニットを示す。操作部には電源スイッチ、車輪径補正スイッチ、ヒューズ、テスト端子を設け、動作状態のまま装置の点検ができるようになっている。また可変抵抗器はシャフトロック式の巻線形を用い、耐振性、安定性を考慮してある。外部との接続は側面ポケットに付いている接セン(栓)により行なう。以下図 5.4 のブロック線図により各部の動作原理を説明する。

5.2 速度発電機

これは車軸直結の歯車の回転を検出する誘導子形発電機で、図 5.5 に示すように固定された永久磁石にコイルを巻いた誘導子が、ポール間を通過する歯車の歯ごとに 1 パルスの電圧を発生するもので、これにより車輪の回転速度、したがって列車の走行速度に比例した周波数と振幅をもった正弦波を発生する。速度 $V \text{ km/h}$ と周波数 $f \text{ c/s}$ の関係は次式で表わされる。

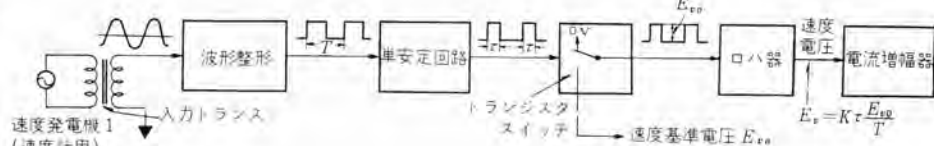


図 5.6 速度電圧発生回路 ブロック線図
Fig. 5.6 Block diagram of speed voltage generating circuit.

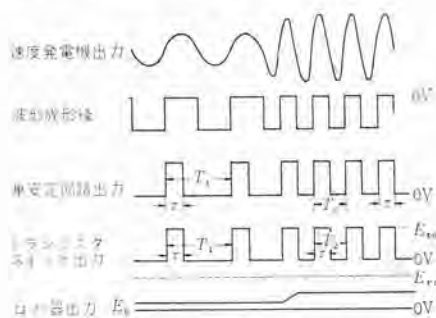


図 5.7 速度電圧発生回路各部波形
Fig. 5.7 Waveforms at various circuits of speed voltage generation circuits.

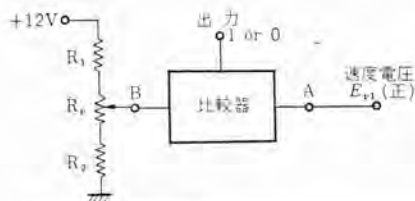


図 5.8 速度照査回路
Fig. 5.8 Speed checking circuit.

$$f = \frac{NV}{3.6\pi D} \times 10^3$$

N : 歯数 D : 車輪径 (mm)

車輪の回転数は車輪の摩耗によって同一速度に対して変化するため発電機の出力周波数も変化する。したがって車輪径補正が必要であり、1% ごとに段階的に補正を行なうことができる。

5.3 速度電圧発生回路

速度発電機の出力は入力トランスを通して速度電圧発生回路へ加えられる。図 5.6 にブロック線図を示す。まず波形整形回路で増幅整形して正弦波を方形波にかえる。この方形波列が 1 周期ごとに次段の単安定回路をトリガすると、入力正弦波の 1 周期ごとにパルス幅一定のパルスを発生する。この出力をトランジスタで構成したトランスファスイッチ回路に加えると、パルス幅一定でしかも振幅一定のパルス列が得られ、その繰り返しは入力正弦波の周期に一致している。このトランジスタトランスファスイッチ回路の誤差は 10 mV 以内である。このスイッチ回路の出力を低域ロハ器を通して直流成分のみを取り出すと、繰り返し周波数したがって速度に比例した直流出力電圧が得られる。図 5.7 に各部の電圧波形を示す。ロハ器出力は次式で表わされる。

$$E_v = K\tau \frac{E_{v0}}{T} = K\tau E_{v0} f$$

速度基準電圧 E_{v0} を切り換えて車輪径補正を行なう。補正のステップは 790 mm から 860 mm まで 10 段階である。

5.4 速度照査比較回路

照査速度ごとに比較回路をもち、図 5.8 の A 点の電位が負から正に変わるところで比較器の出力が 1 から 0 に反転する。(この装置内では 0 V を 0、+12 V を 1 としている。)速度照査回路には速度電圧発生回路 1 の出力が加えられる。図 5.8 の R_1 , RV, R_2 を適当に選ぶことにより照査速度を設定できる。

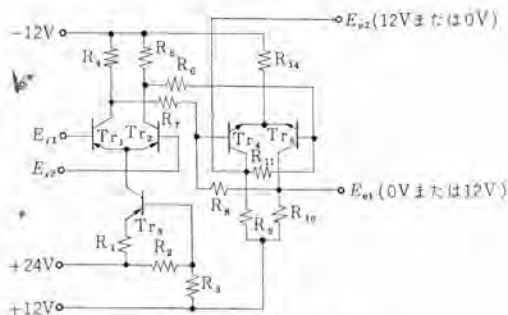


図 5.9 比較器
Fig. 5.9. Comparater.

比較の方式は速度電圧、照査速度電圧をともに正として共通の電源からとり、比較器の両側の入力端子へ接続し差動形として動作させるようにした。こうすることにより比較の感度がよくなるように、電源電圧の変動の影響はなくなる。比較器は差動増幅器2段で構成し、2段目に正帰還をかけてフリッカフロウにして、完全にデジタルな出力が得られようになると同時に、適当なヒステシスをもたせて出力が不安定にならないようにしてある。この比較器は列車の制御用のものでゲインが高すぎると信号のリッパなどのため不安定になるため、とくに電鉄用としてAD変換器用のものを簡略化して開発したものである。

図 5.9 にその回路図を示す。定電流回路をエミッタに接続することにより入力電流を $0 \sim 40 \mu\text{A}$ に押えてある。すべてゲルマニウムトランジスタを用い、トランジスタを選択するといったようなことはいっさいせず、バランスをとる回路も付けていない。周囲温度範囲 $0 \sim 40^\circ\text{C}$ 、動作電圧範囲は $0 \sim +10\text{V}$ で、精度 1% を十分確保できる特長をもっている。この照査回路出力は論理制御回路へ送られ、制限速度と突き合わせて、もし走行速度が制限速度をこえていれば制限速度以下までブレーキをかける。照査速度は 5, 15, 25, 40 km/h の 4 種類であり、このうち 5 km/h の照査出力 K5 信号は停止寸前にブレーキ力をゆるめて停止時のショックを軽減するために用いる。

5.5 距離計数回路および停止パターン電圧発生回路

この指令装置を製作するにあたり、その心臓部ともいえるべき停止パターン発生器として、二次曲線近似のための分周比切替ゲートをもったカウンタによるデジタル方式を開発し採用した(特許出願中)。デジタル方式であるためアナログ方式に比べドリフトや非直線性の問題はなく、精密な電源や演算増幅器を必要とせず安価で装置が簡単になるという特長がある。二次曲線を折れ線近似するのであるが、図 5.10 によりその原理を説明する。列車のブレーキパターンは減速度 B 一定ならば $V = \sqrt{7.2BS}$ で表わされるから、近似すべき曲線の方程式は次の形で表わされる。

$$V = K\sqrt{S}$$

V : 速度 (km/h)

S : 距離 (m)

B : 減速度 (km/h/s)

これを微分すると

$$V' = \frac{K}{2} \frac{1}{\sqrt{S}} = K' \frac{1}{V}$$

これより V に反比例して直線のコウ配を変化させれば、二次曲線が近似できることがわかる。さらに折れ線近似をデジタルカウンタを用いて簡単に行なうには、距離パルスを変換する分周器を通し、カウンタの値に反比例して分周比を切り換えるゲートを設ければよ

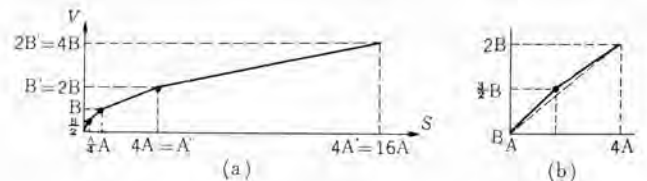


図 5.10 折れ線近似原理図
Fig. 5.10 Polygonal line approximation principle.

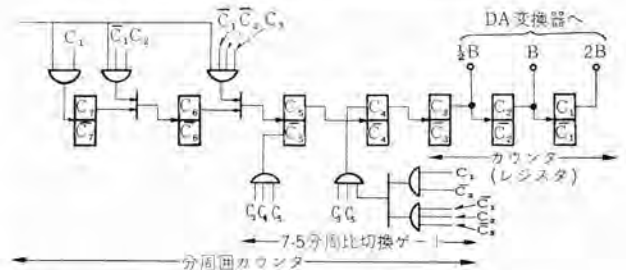


図 5.11 二次関数発生器の構成例
Fig. 5.11 Example of composition of secondary function generation.

い。分周器はやはりカウンタで構成し、純2進のカウンタとして構成すればカウンタの値が2倍になるごとに分周比を1.2にすればよく、この切り換えは簡単なゲートで行なえるし、さらに折れ線の近似をよくするには分周比切換えの回数をふやせばよい。

図 5.10 (a) に近似折れ線を示す。この折れ線は折れ点で $B' = 2B$, $A' = 4A$ のごとく置き換えれば図 5.10 (b) のみで、すべての折れ線を表わすことができ、折れ点で理想曲線に一致し、その点で分周比が2倍に切り換わる。曲線に対する誤差の極大は $S = 9.4A$ のときで 5% であり、どの区間でも相対値は一定である。さらに精度を上げるには、図 5.10 (b) の実線のように分周比を A から $4A$ の間で切り換える方法がある。破線は $B, 3A$ のコウ配で二次曲線を近似したものであるが、簡単な分周器を加えて $3/2B$ で分周比を $7:5$ に切り換えてコウ配を変えるようにすると、誤差の極大点は $S = 25.16A$ と $49.16A$ の点でそれぞれ約 1.5%, 1% となり、やはり折れ点で理想曲線に一致する。分周比を $3:2$ に切り換えると 1.16%, $11:7$ に切り換えると 0.82% と誤差の極大値はさらに少なくなる。図 5.11 にこのようにして作った二次関数発生器の一例を示す。実際の装置では分周用カウンタ6段、パターン発生のためのレジスタとなるカウンタ8段から構成し折れ線の精度は $1/2^8$ で約 0.4% である。車輪径補正のため約 1% ステップで分周比を切り換えるゲートをもっている。入力パルスは速度電圧発生回路2の波形整形回路の出力を距離パルスとして受け取り、1パルスが約 2.5 cm に相当する。

レジスタの値はデジタル数値であるから抵抗回路網とトランジスタトランスファスイッチからなるデジタル-アナログ変換回路によりレジスタの値に比例した電圧に変換し、アナログゲートに加える。

5.6 ゲート回路

ゲート回路へは停止パターン電圧と制限速度電圧が加えられる。制限速度電圧は G 信号すなわち速度無制限のとき $+12\text{V}$ であり 75.5 km/h に相当するが、 Y 信号 (40 km/h 制限), YY 信号 (25 km/h 制限), R_1 信号 (15 km/h 制限) を受信すると制限速度に比例した正電圧にまで下がる。図 5.12 にアナログゲートの原理的な構成回路を示すが、ベース電位の低いほうのトランジスタのみ導通し、エミッタにはほぼベース電圧に等しい電圧が現われ、他方のトランジスタは逆バイアスとなってカットオフになる。こうして停止パターンと制

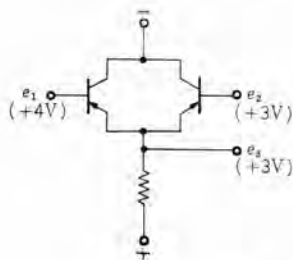


図 5.12 アナログゲート 原理図
Fig. 5.12 Analog gate principle.

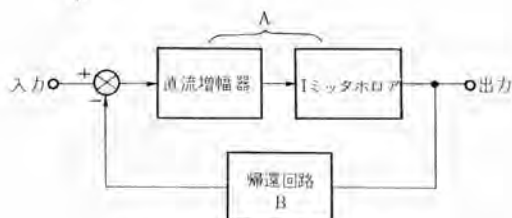


図 5.13 電流増幅器の構成
Fig. 5.13 Composition of current amplifier.

限速度のうち絶対値の低いほうの電圧が出力として取り出され、常に低速の指令が優先することになる。このアナログゲート回路出力が KC パターンとして運転制御比較回路へ加えられる。

このゲート回路はエミッタホロア回路であるため、出力を次段の比較回路へ加えるとベースエミッタ間の電圧降下が、電流や温度変化により変化し誤差となるため、停止パターンの精度をおとすことになる。これを避けるためにかなりめんどろな調整を、比較器の一方の入力へのバイアス電圧を加減することによって、行なう必要があり好ましくない。やはり AD 変換器用として開発したインバータ変換器を電鉄用として十分な精度にまで簡略化し、ゲイン 1:1 のアンプとして使用し、その入力のトランジスタでアナログゲートをとるように改良した。この増幅器は差動増幅器 1 段と出力増幅用のエミッタホロアおよび定電流回路とからなり、出力から入力へ負帰還をかけ、この帰還量 B を適当に選んで総合利得 $A + AB = 1$ になるようにした負帰還増幅器でありトランジスタ 4 個で構成される。原理的構成図を図 5.13 に示す。

5.7 運転制御比較回路

ゲート回路出力が KC パターンであり、KB, KA, KO パターンはこれを分圧して得ている。各パターン独立に比較回路を持ち、図 5.14 に示す方式で速度電圧発生回路 2 の出力と比較する。この比較方

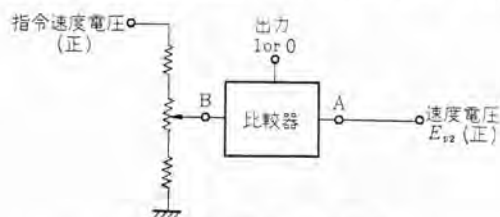


図 5.14 運転制御比較回路
Fig. 5.14 Operation control comparison circuit.



図 5.15 制限信号による指令パターンの変化
Fig. 5.15 Changes of instructions pattern by limiting signal.

式についても速度照査回路と同様の利点がある。

この運転制御比較回路の出力 KC, KB, KA, KO の状態に応じて論理制御回路で力行・惰行・減速度の選択を行なう。とくに P1 区間外では停止パターンは 75.5 km/h になっているため、制御信号がいれば KC パターンはただちに制限速度に下がる。KC パターンを列車速度が越えていけば $B=4$ のブレーキが作用し、制限速度以下で走行するように制御する。このように保安用の速度制限のためのブレーキ指令は前述の速度照査回路の出力によるものとの 2 系統の独立した回路から発生するから、安全性は著しく高められることになる。図 5.15 に停止パターンの変化を示す。

5.8 故障検出回路およびフェイルセーフ

列車の自動制御装置であるから、停止精度・照査精度が高いことはもちろんであるが、絶対に安全であるということ、すなわち制限速度を無視して暴走することが絶体にならないように十分考慮する必要がある。そのためには回路の無接点化、簡略化により故障の確率を少なくするとともに、もし故障しても暴走せず、列車の速度を抑えるような指令が出るいわゆる fail safe な回路になるように考慮し、fail safe とならない故障つまり列車を加速させるような故障に対しては、故障を検出してただちに非常ブレーキを作用させる必要がある。

この ATO 装置でも前述のように、保安用のブレーキ指令を 2 種類の独立した回路で出すようにしてあるほか、安全に対していろいろと考慮してある。比較回路の出力は出力増幅回路をへて論理制御回路へ送られるが、その位相を走行速度が照査または指令パターン速度よりも高いときに 0 (OV), 低いときに 1 (正電圧) となるように選んでおくと、たとえ断線したり、接地しても走行速度を高速側に検出したことになり fail safe である。

もし指令装置内に故障を生じた場合比較回路の出力の異状となって現われるから、故障検出回路では常に出力信号の状態をチェックしているとよいことになる。しかも出力の状態が 0 になったままの故障は速度を高速側に検出し、ブレーキをかける方向に誤動作したことになり、fail safe であるから、出力が 1 になったままの故障のみ検出して故障信号を出せばよいことになる。したがって故障検出回路では図 5.16 の故障状態の出力信号を突き合わせてチェックしている。たとえば K25 が 0 になって 25 km/h 以上と検出しているのに K15 が 1 になったままであれば、K15 比較回路が故障であるとして 25 km/h を越えたところで故障信号を出す。

短絡などにより電源が切れた場合出力信号はすべて 0 となって fail safe である。電源としてはトランジスタを用いた安定化回路は故障しやすく保守が困難であるため、前述のように電源変動の影響を受けない回路方式として、非安定もしくは定電圧ダイオードで安定化する程度にとどめ簡略化している。

K40 = 0	で	K25 = 1	のとき	故障
K25 = 0		K15 = 1		"
K15 = 0		K5 = 1		"
KC = 0		KB = 1		"
KC = 0		KA = 1		"
KA = 0		KO = 1		"

P1 (停止区間以前) で G 信号区間で KO=0 で K40=1 のとき 故障

図 5.16 故障検出の論理
Fig. 5.16 Theory of fault detection.

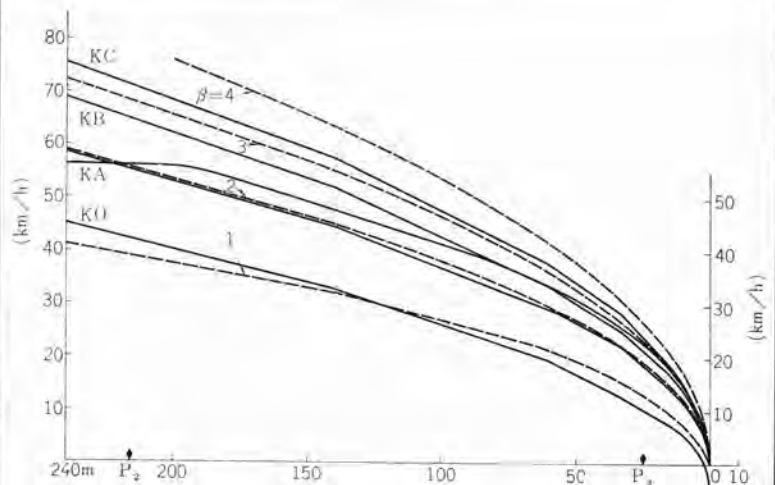
6. 現車試験結果

このATO装置を試験車に装備して38年1月、2月、3月の3回、合わせて7日間の自動運転走行試験を行なった。試験区間は東京の営団地下鉄2号線(日比谷線)の南千住-人形町間で中間6駅、1月、2月は夜間、3月は昼間営業運転のダイヤを縫って行なった。装置は上り線(人形町方向)および下り線(南千住方向)に一台ずつ装置して試験を行なったが、上り線の最終調整後の試験結果について、検討した結果をおもに述べる。下り線の場合も上り線とほとんど同じ傾向を示している。

停止誤差にもっとも影響を与えたのは停止点付近のコー配であり、これを $\pm 5\%$ 以内の入谷駅、 $+5\%$ 以上の上りコー配の小伝馬町駅、 -5% 以上の下りコー配の人形町駅について平均停止位置を出してみると入谷駅が6cm手前、小伝馬町駅で26cm手前、人形町駅で33cm行きすぎとなつて、明らかにコー配の影響が現われている。この程度ならば実用上十分な停止精度といえるが、 -10% 以上の下りコー配駅(下り線上野駅)では無視できないくらいに行きすぎを生じた。これはコー配のために減速度が大幅に弱められ、必要な減速度が得られず、パターンに収められないためである。

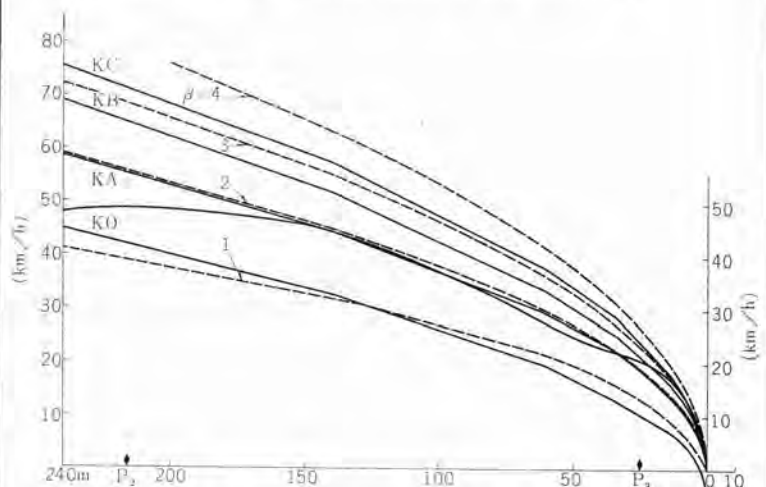
この問題に対しては簡単に行なえる対策として P_2 点を P_1 点のほうにずらし、 P_3 点までのパターンを等価的に低目に出るようにして減速度の低下を補うようにし、行きすぎを50cm以下に押えることができた。このようにして、駅ごとの停止位置のパラツキはほとんど ± 50 cm以内に入ることが判明したので、 P_2 点の調整により完全に設計値どおりの停止位置付近に止まるようには簡単に調整できるものと考えられる。各駅ごとに平均停止位置を求め、これに対する停止位置のパラツキを出して全線にわたって集計した結果は、上り線では63%までが ± 20 cmの範囲内に、下り線では66%までが ± 20 cm ± 50 cmの範囲内に停止し、上記のコー配補正を、適当に行なうことにより十分に実用性のある装置ができるという確信を得た。

またデジタルカウンタを使用したためサージなどノイズによる誤動作が懸念されたが、電源および信号のラインにノイズを吸収するようバスコンを入れることによって一度も誤動作は起こらなかった。しかしながらカウンタ回路のフリップフロップが雑音などで動作すると、停車点が大きくずれる危険があるので、その停止点に重大な影響を及ぼすフリップフロップは入力パルスを微分してステップの立ち上がりで動作する交流結合が雑音に弱い、NORロジックを組み合わせた直流結合式のものをを使用することによりノイズに対しても強く、またノイズ対策の行ないやすい回路にすることができた。図6.1~6.3に走行曲線の例を示す。図6.4は平均停止位置に対するパラツキを示した。



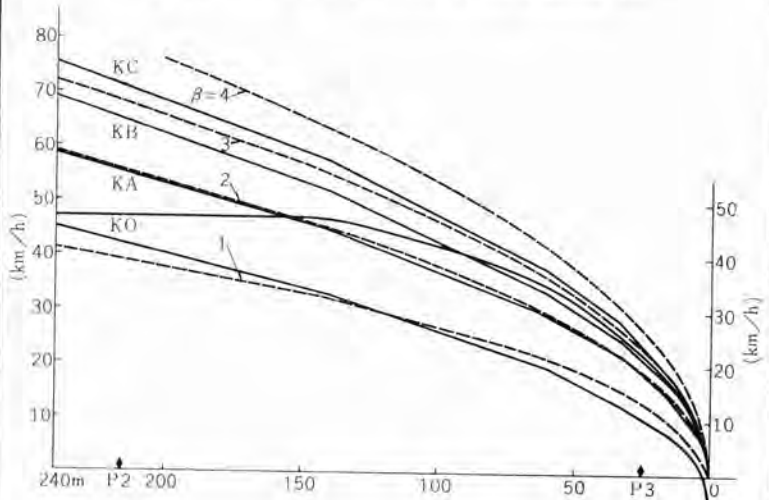
年月日 昭和38年3月30日 試番 5A
区 間 三ノ輪 → 入谷 誤差 -7 cm 備考 平たん区間

図 6.1 ATO 装置現車試験走行曲線 (1)
Fig. 6.1 Field test run curves of ATO device (1)



年月日 昭和38年3月30日 試番 5A
区 間 秋葉原 → 小伝馬町 誤差 -15 cm
備 考 上りコー配

図 6.2 ATO 装置現車試験走行曲線 (2)
Fig. 6.2 Field test run curves of ATO device (2)



年月日 昭和38年3月30日 試番 1A
区 間 小伝馬町 → 人形町 誤差 +40 cm
備 考 下りコー配

図 6.3 ATO 装置現車試験走行曲線 (3)
Fig. 6.3 Field test run curves of ATO device (3)

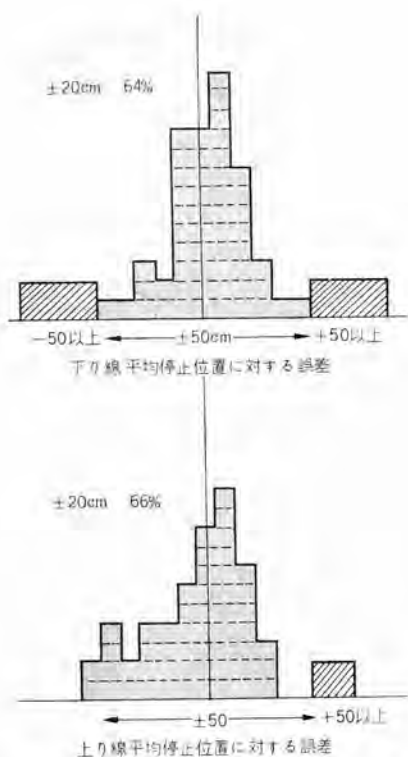


図 6.4 (a) 平均停止位置に対する誤差
Fig. 6.4 (a) Error for an average stop position.

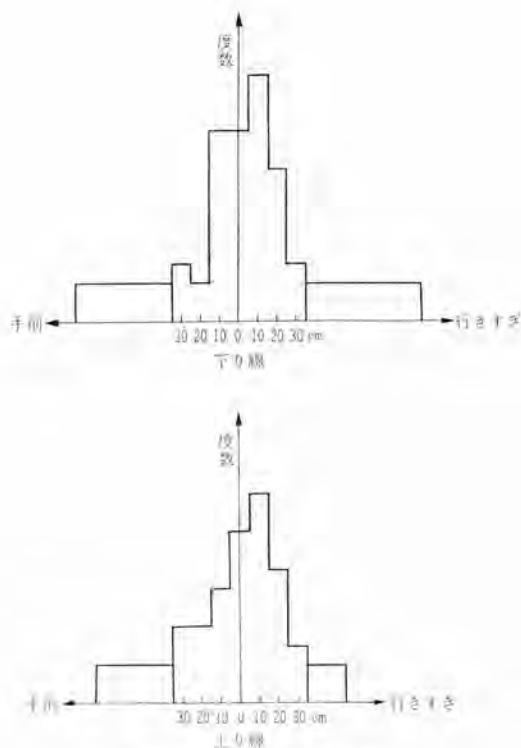


図 6.4 (b) 停止誤差分布
Fig. 6.4 (b) Stop error distribution.

7. む す び

車載用電子機器としてとくに考慮すべき点は、すでに述べたように過酷な環境条件に十分耐え、長期間安定した動作を維持するという点である。また故障を少なくするとともに万一の障害発生に際しても、常に安全側に制御するようにし、精度を十分に保ちながら簡単に保守点検が容易であり、できるだけスペースをとらないということが必要である。これらを完全に満たすことは非常に困難なことではあるが、今回の試験結果をもとに改良を加えて、今後の実用化を目ざして一層努力を続けるつもりである。このATO装置の実用化の暁には、運転手の熟練を必要とせず安全確実に経済的な運転が可能となり、輸送量の増大と乗客に対する

サービスの向上が十分期待できるものと確信している。なお製作ならびに試験にあたってご指導、ご協力をいただいた帝都高速度交通営団、京三製作所、伊丹製作所の北岡技師など各位に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 宇田川, 北岡ほか: 『三菱電機技報』 36, No. 8, p. 2 (昭 37)
- (2) 小原, 石田ほか: 『三菱電機技報』 37, No. 9 (昭 38)
- (3) 小原, 真鍋, 上村: 『三菱電機』 36, No. 6, p. 52 (昭 37)
- (4) 待鳥: 『三菱電機技報』 37, No. 6, p. 108 (昭 38)
- (5) 小原, 北岡: 『三菱電機』 35, No. 3 (昭 36)

EH 形 キュービクル 開閉装置

天 藤 憲 二*

“EH” Cubicle Type Switchgear

Kōbe Works Kenji TENDŌ

For the latest high voltage power supply installations of 36 kV class are used good many sets of metal-clad switchgear provided with oil or air blast circuit breakers. However, there has been developed “EH” cubicle type switchgear which is a combination of electromagnetic contactors and power fuses used in place of circuit breakers, with an aim of being equipped to power supply of high voltage, small capacity and yet of highly frequent operation. In this new switchgear, the power fuses and the contactors are built in a draw-out type of automatic connection type. This facilitates the maintenance and inspection and reduces the floor space besides the low cost of manufacture.

1. ま え が き

最近の 36 kV 級の高压電源設備には油入または気中シタ断器を装備した メタルクラッド 形配電盤が多数使用されているがシタ断器に換えて電力 ヒューズ と高压電磁接触器を組み合わせで装備し、主として高压小容量でしかも開閉ひん度の高い電源を対象とした EH 形 キュービクル 開閉装置が開発された。これは装置の高度の縮小化、安全および保守点検の便利の向上、低コストを目的に開発されたもので 36 kV 級の中容量以上を対象とする従来の メタルクラッド 形配電盤とならんで 36 kV 級小容量電源設備の中心となることが期待される。

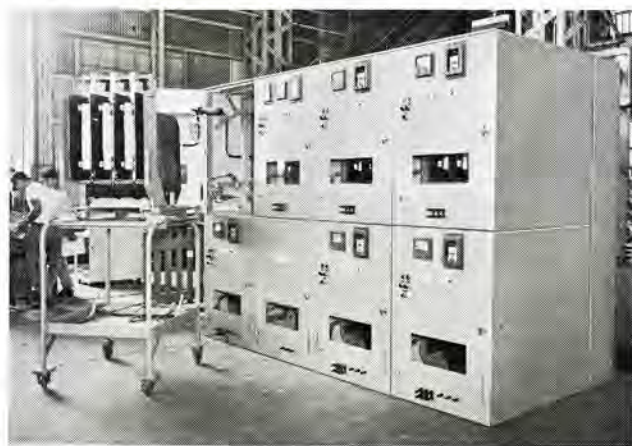


図 1.1 EH 形 キュービクル 開閉装置
Fig. 1.1 “EH” cubicle type switchgear assemblies.

2. 特 長

次におもな特長について述べる。

(1) 気中電磁接触器を使用しているためひん繁な負荷開閉に対して長い寿命を有するとともに保守、点検が容易である。

(2) キ電回路の短絡に対しては電力 ヒューズ が速かに溶断して故障回線のみを切り離す。溶断は限流形であるため、回路の母線、変流器などの受ける短絡時の機械力は著しく小さいため、それらの機械的強度を下げることができる。

(3) これらの開閉器類を一つの台車に装備して、自動連結式の引出形としているため、保守点検はきわめて容易である。

(4) 各キ電回路構成機器、たとえば前述の高压電磁接触器、

電力ヒューズ、変流器などは独立したキ電ユニットに収納され、他回路とは完全にシタヘイされているため、保守はきわめて安全である。

(5) 各キ電ユニットは著しく外形寸法が縮小されていて、これをパワーセンタ形式に構成した場合、従来の相当するメタルクラッド形配電盤に比べて約1/2の床占有面積となる。

(6) シタッタ装置および機械的インタロック装置を備えていて、保守点検は安全に行なわれる。

(7) 後部ハウジングはユニバーサルフレーム(自在フレーム)をもって構成するため、主回路およびその器具の特殊な仕様にも比較的容易に応じることが可能である。

(8) 高压電磁接触器を装架した台車は同一形式については完全互換性を有するので、万一、高压電磁接触器が故障し、かつそのキ電する負荷が停まることを許されないような場合、余備などの台車と容易に入れ換えることにより運転を続けることができる。

3. 構 造

3.1 キュービクルの構成

標準的なキュービクル1面は図1.1に示すように、キ電ユニット、2ユニットを上下に積重ね、後部に補助ユニットとして後部ユニットを連結して、3ユニットでもって構成されている。ユニット間はボルト・ナットで連結される。

3.2 キ電ユニットの構造

キ電ユニットは図3.1のような外形寸法を有するところの独立

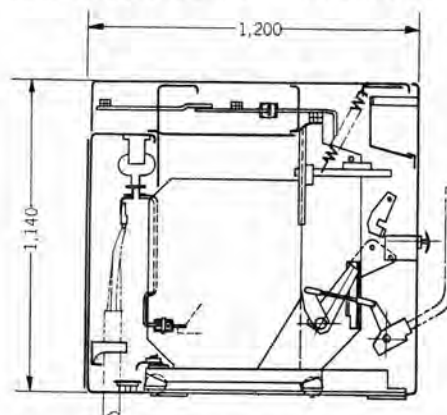


図 3.1 EH-205S 形 キ電ユニット
Fig. 3.1 “EH-205S” feeder unit.

した鋼板溶接1体構造の外函に前面 トビラ および後面 カバー を付したハウジング内に、該当するキ電回路の高圧機器、計器などを収納してなるキューピクル 構成上の基準 ユニット である。

図3.2にキ電ユニットの内部を示すように、ユニット内部の両側面に引出機構を装備し、上部にシャッタ装置を備えて電源側導体を前面トビラ開放時にはシャハイする。このため負荷側導体、変流器、制御線ジャンクションなどの点検は安全に行なうことができる。キ電ユニットにおいては電力ヒューズおよび高圧電磁接触器の主要機器を自動連結式の引出形とし、かつ完全互換性を持たせているため、メタルクラッド形配電盤およびED形低圧パフセンタと同様、その函体および各種機構は工作上的の精度を必要とし、調整をも含めて高度の工作技術を要する。

キ電ケーブルは各キ電ユニット内で所定の端末処理を施されてユニット後部の床面より引き出すようになっている。

3.3 台車および移動車

高圧電磁接触器および電力ヒューズは図3.3に示すように同一の台車に装架され、一次ジャンクションおよび制御線ジャンクション、接地シューを取り付け、内部配線された引出形となっている。上段に積まれたキ電ユニットからこの台車を盤外に引き出す場合は移動

車を使用する。移動車上に積載された台車は動き出して脱落しないよう簡単にハンドル操作により固定されて後自由に移動車の方向を転換して移動する。移動車に設けてあるこの台車のストップはハンドルを逆に回すことにより台車の固定を解放してキ電ユニットに移動車を固定するようになっている。

3.4 引出機構

上記台車がキ電ユニット内で電源側および負荷側に接続されている状態を接続位置と称し、引出機構により上記ジャンクションを離れて手前側に移動し、規定絶縁距離まで引き出された位置を断路位置と称している。引出機構は断路位置にある台車を接続位置に引き入れてその位置で固定し、または接続位置に装着されている台車を断路位置にまで引き出す機構である。台車が断路位置まで引き出されるとところで自動的に引出機構は台車を開放するため、それより手前へは前面トビラを開くことにより自由に盤外へ引き出すことができるようになるとともに引出機構自身を断路位置で固定する。同様に接続位置で引出機構が固定されることはもちろんである。このようなロックは操作棒をそう入することにより解放されるようになっているので、その操作棒を上下に回動して台車の着脱は簡単に行なえる上、確実になされる。図3.5は操作

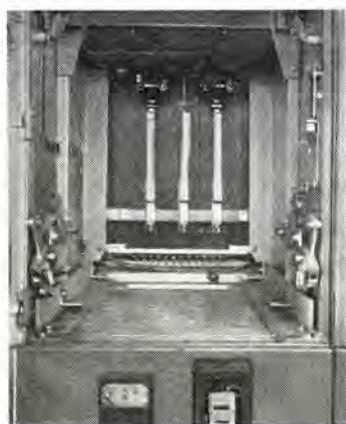


図 3.2 キ電ユニット内部
Fig. 3.2 Interior view of feeder unit.

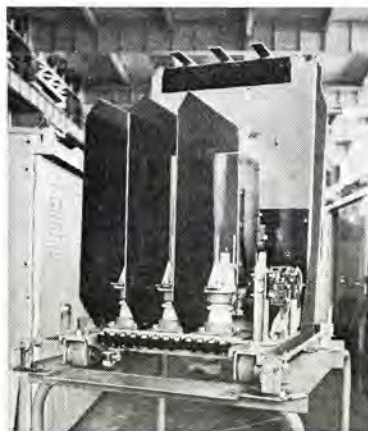


図 3.3 台車裏面 (バリヤを1枚はずしてアークシュート部を見せている)
Fig. 3.3 Rear view of truck.

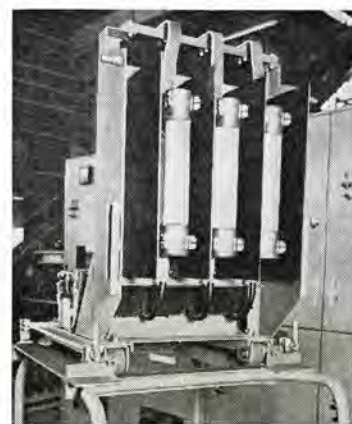


図 3.4 台車前面
Fig. 3.4 Front view of truck.



図 3.5 台車引出操作
Fig. 3.5 Drawing out of truck.

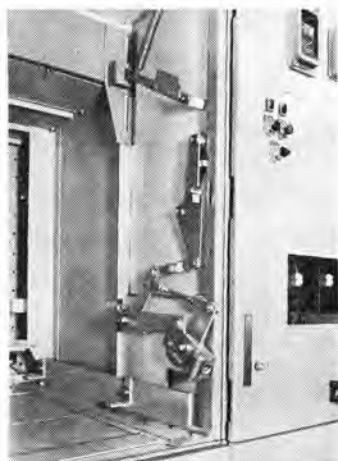


図 3.6 トビラ インタロック 装置
Fig. 3.6 Door interlocking device.

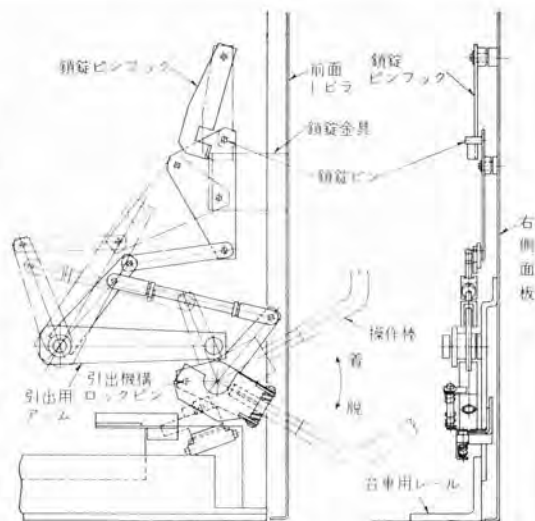


図 3.7 引出機構とトビラインタロック装置
Fig. 3.7 Draw-out mechanism and door interlocking device.

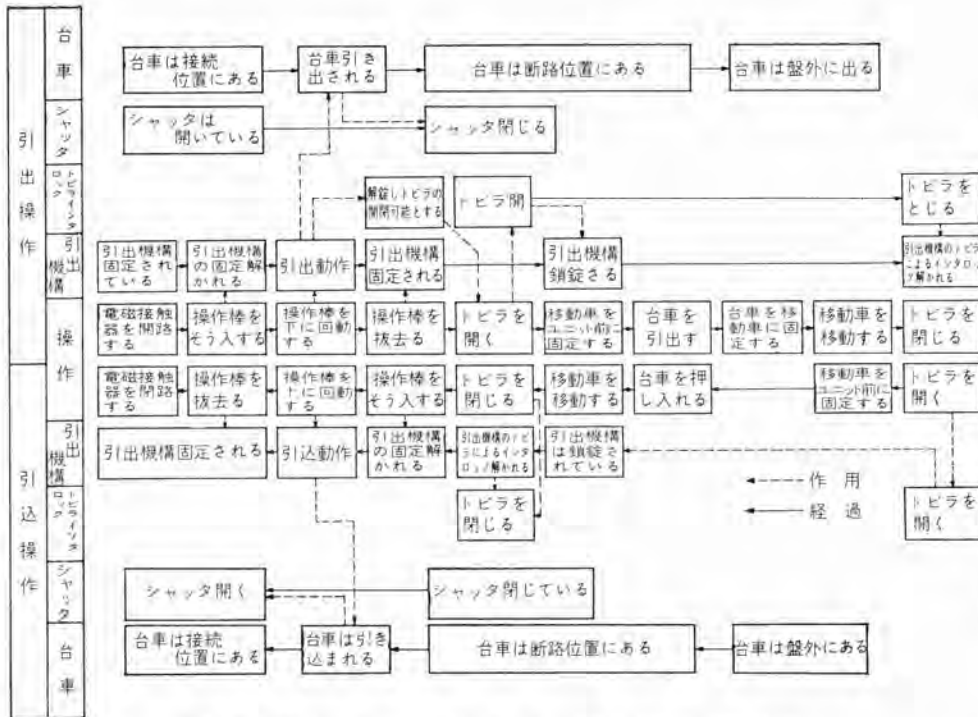


図 3.8 操作流れ図

Fig. 3.8 Flow chart of operation.

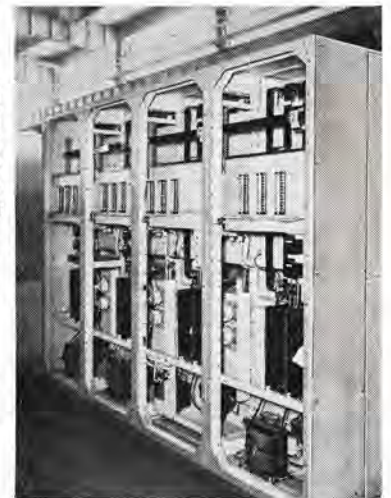


図 3.9 キュービクル 裏面
(カバーをはずしたところ)
Fig. 3.9 Rear view of
switchgears.

状況を、図 3.6 に引出機構の右側面図を示す。

3.5 シャッタ装置

図 3.1 に示されているが、台車が装着されている時は台車上のローラでシャッタアームを押し下げているため、シャッタは開いているが、台車が手前に引き出されると断路位置に至る瞬間にシャッタアームは上記ローラの押えから解放されてスプリングによって引き上げられてシャッタが閉じる。

3.6 トビラインタロック装置

図 3.7 はトビラインタロックを説明する詳細図である。台車がキ電ユニット内に引き入れられて接続位置に装着されているときは引出機構は実線のごとき位置にあり、トビラインタロックも関係位置を実線図示のようにとる。このとき前面トビラ裏面に取り付けられている鎖錠金具は鎖錠ピンにより前方への動きを止められているため前面トビラを開くことができないが、台車が断路位置に置かれると鎖錠ピンは前記鎖錠金具を解放するので前面トビラと引出機構とのインタロックは解かれ、自由に前面トビラを開閉することが可能となる。一方前面トビラを開いたままでは鎖錠ピンが鎖錠ピンの動きを止めるため、引出機構はロックされて台車を断路位置から接続位置に装着することができない。前面トビラを閉じると鎖錠金具は逆に鎖錠ピンを鎖錠ピンフックから解放するように働くため、台車の装着は可能となる。

以上の操作を図式的に説明したものが図 3.8 である。

3.7 後部ユニットの構造

後部ユニットは従来より ED 形低圧パワセンタの後部フレームに使用されているユニバーサルフレーム(自在フレーム)をボルト締めで前述のキ電ユニットに連結、組み立てられ、内部には主母線、高圧ケーブル引込処理、計器用変圧器、制御用変圧器およびこれらの一次側高圧ヒューズならびに制御線端子台などを収納している。ユニバーサルフレームはあらかじめ決められたピッチの穴系列を有する標準断面、長さのフレーム類を用意しておき、種々の仕様に応じてこれらの標準フレームを選択使用してハウジングを構成して行くものである。構成フレームはすべて鋼板を用いて重量を軽減している。

表 3.1 アルミ合金導体

	最大抗張力 (kg/mm ²)	降伏力 (kg/mm ²)	導電率 (%)
アルミ合金導体	20 以上	17 以上	55 以上

3.8 主母線

主母線はすべてアルミ合金帯を裸導体の形で使用し、その支持は支持ガシによらずダイヤミックス形造り絶縁支持板を使用している。アルミ合金帯は表 3.1 の性能を有するものである。主母線の電流容量はこの EH 形キュービクルが小容量の電源を対象にしているので、400 A および 600 A を標準としている。いずれも常規使用状態ではおおよそ平均 35°C の温度上昇に設計目標を置くとともに、回路の短絡などの瞬時の大電流に対しても熱的、機械的に問題ないよう設計されている。母線の支持に使用しているダイヤミックスはメタルクラッド配電盤、パダウトなどの母線支持に広く使用されているところのガラスファイバ入りのポリエステル成形品で、すぐれた耐燃性、耐トラッキング性、機械的衝撃性などを有しかつ安価であるが、形状によっては成形にあたってボイドなどを生ずるので成形がむずかしい欠点がある。

主母線ならびにその支持具は大きな故障電流により電磁力の影響を受けるが、その備えるべき強度は EH 形キュービクルの特質上これを低減することができる。

絶縁に対しては内部機器を除き 6 号 B の設計としてある。

4. 機器の性能

4.1 高圧電磁接触器

EH 形キュービクルには高圧気中電磁接触器を収納使用しているが、シャ断器と比較しその要求されるおもな性能をあげると

(a) もっぱら負荷電流あるいはその数倍の過負荷電流の開閉を目的とし、短絡電流のような大電流の開閉は行なわない。

(b) 高い開閉ひん度で上記の開閉に使用され、しかも長い寿命を要求される。

(c) このために機構部分は著しく簡単なものとなっており、

この点は保守の面からも要求される。

この様な性能を生かして高圧電磁接触器を使用するためにはとくに保守の便を設計基準に折り込んだキューピクルの設計が必要である。表 4.1 に SH 形高圧電磁接触器の性能を掲げる。

4.2 電力ヒューズ

交流 1,000 V 以上の電路に使用する電力ヒューズの性能については JEC-113 に規定されているが、現在その改訂がなされつつある。

4.2.1 シュ断電流

現行規定によると定格シュ断電流は下式に示すごとく非対称表示である。

$$\sqrt{(X/\sqrt{2})^2 + Y^2}$$

ここで X および Y は回路にそのヒューズを使用していないときのその回路に流通すべき電流の発弧瞬時における交流分および直流分の振幅である。

シュ断器のシュ断電流は JEC-145 によると対称表示である上に、短絡電流の計算なども対称表示が基礎になるので、非対称表示と対称表示の倍率的な関係をつかむ必要がある。一般に表 4.2 に示す倍率が使用される。すなわち、回転機のインピーダンスとして次過渡リアクタンスを用いて計算した対称分 (RMS) にこの倍率を乗じたものがヒューズの最大 RMS 電流シュ断責務ということになる。

4.2.2 溶断特性

現行 JEC-113 によると、表 4.3 の溶断特性を有する。

4.3 CLS 形限流ヒューズ

負荷が電動機の場合に、電動機を保護するにはその過負荷に対しては継電器をもってし、一般には電力ヒューズは電動機の

表 4.1 SH 形高圧電磁接触器性能

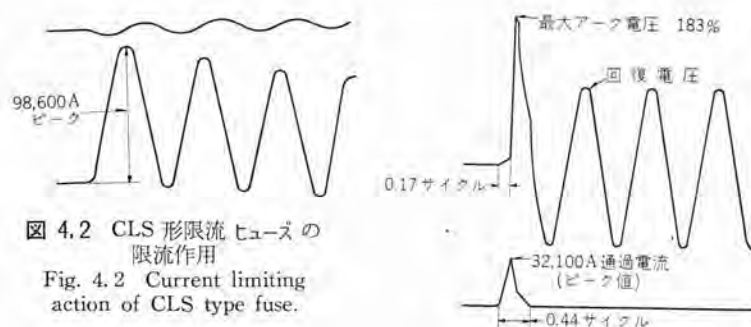
形名	定格電圧 (kV)	定格電流 (A)	開閉能力 (倍)	開閉回数 (回/時)	寿命 (万回)	シュ断容量 (MVA)	試験電圧 (V)
SH-105	3.45	100	10	300	25 (機械的) 5 (電氣的)	25	10,000
SH-205	3.45	200	10	300	25 (機械的) 5 (電氣的)	25	10,000

表 4.2 高圧ヒューズの最大 RMS 電流シュ断責務

ヒューズの形式	回路電圧 (V)	系統における位置	倍率
限流形全部を含むすべての形	600 以上	任意の点	1.6
非限流形のみ	601~5,000	発電所より遠点 (X/R<10)	1.2

表 4.3 溶断特性

試験電流 (A)	溶断時間
1.3 × (定格電流)	溶断しない
2.0 × (定格電流)	< 2 時間



過負荷保護はカバーせず、電力ヒューズには回路の短絡保護のみをおわせているのである。すなわち、電力ヒューズは電動機端子までとくに配電機器の保護を行なうことが目的となっている。

ここに使用する電力ヒューズはとくに電動機の拘束電流に影響を受けることなく、かつひんばんに起こる過酷な冷熱サイクルによって劣化してはならない。CLS 形限流ヒューズはこのように設計されたもので、低電流に対しては動作する要素をもっていない。

図 4.1 に CLS 形限流ヒューズの溶断時間—電流特性を示す。また図 4.2 に限流シュ断時の過渡電圧およびヒューズを流れる抑制された通過電流を示す。高圧電磁接触器および母線、その他主回路の短絡時の熱的、機械的強度はヒューズ通過電流に対して設計される必要がある。この場合に対象となるヒューズの特性は全シュ断時間であり、ヒューズ通過電流のピーク値、およびその rms 値であるが、ヒューズ通過電流の波形は大体三角波であり、したがって rms 値はピーク値の $1/\sqrt{3}$ と考えてよい。図 4.3 にヒューズの限流特性を示す。これは限界電流を単位にして示されている。ヒューズ通過

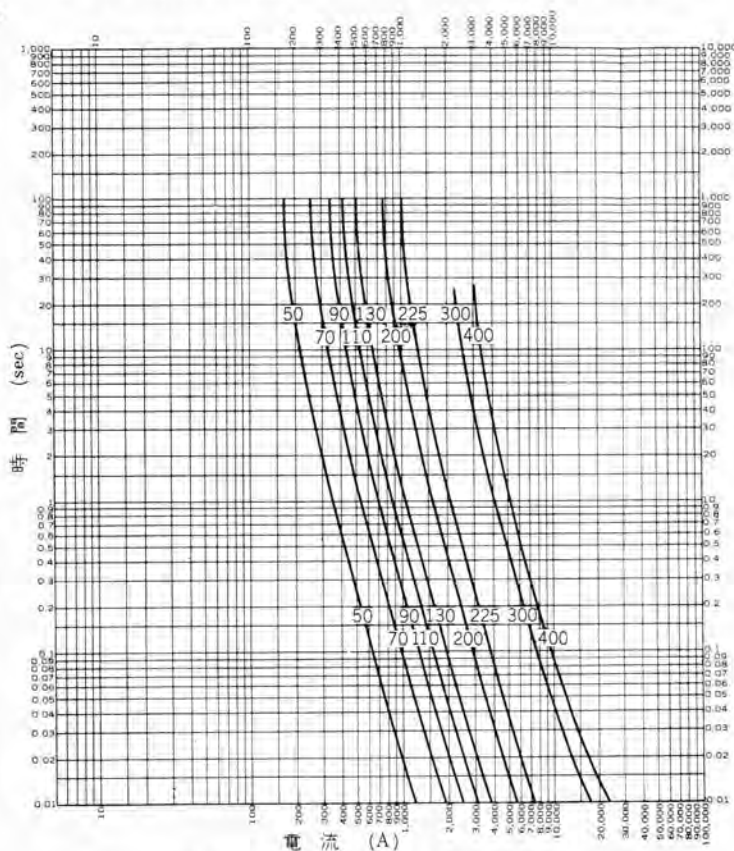


図 4.1 CLS 形限流ヒューズ溶断特性

Fig. 4.1 Melting characteristics of "CLS" current limiting fuses.

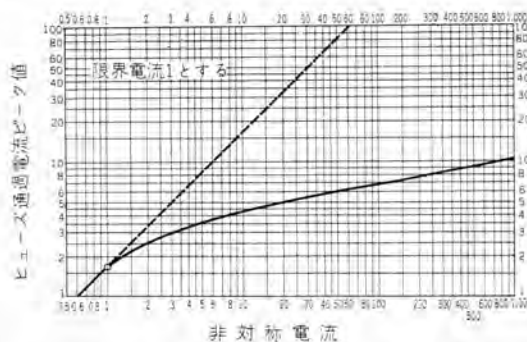


図 4.3 限流ヒューズのヒューズ通過電流

Fig. 4.3 Flowing through current of current limit fuse.

表 4.4 限流ヒューズの限界電流

形 名	電 圧 (kV)	電 流 (A mps)	限 界 電 流 (A mps) (非 対 称 rms)
CLS	2.4	50	1,500
		70	2,200
		90	2,950
	4.8	100	3,700
		130	4,450
		200	6,650
		225	8,850

電流の計算は表 4.4 に示す限界電流 (rms) と対称故障電流を 1.6 倍した非対称電流の比を用いて、図 4.3 を見ればヒューズ 通過電流 (peak) と前述の限界電流との比が求められる。これよりヒューズの通過電流を計算できる。

変圧器負荷において変圧器を保護する場合には、ヒューズ 使用に 当って ヒューズ 定格電流の下限は変圧器の許容過負荷あるいは突 入電流によって ヒューズ が働いたり損傷を受けないよう考えられ なければならない。一方 ヒューズ の上限は、一般に変圧器の二次 側における事故に対して変圧器を保護する場合、故障の種類、変 圧器 インピーダンス によって定まってくる。

ただし、EH 形 キュービクル のごとく常に過電流継電器を装備し た電磁接触器と組み合わせる場合、電磁接触器のシャ 断容量に從 って変圧器二次側の事故はその シャ 断を電磁接触器に負わせるこ ともできる。ヒューズ 単独でこの保護を行なう場合は通常変圧器の 全負荷電流の 2 倍の定格の ヒューズ を使用することにより、標準 速度の ヒューズ で良好な保護を行なうことができるとされている。

4.4 熱動継電器と電力ヒューズの協調

EH 形 キュービクル においては、熱動継電器を有する高圧電磁接 触器と電力ヒューズ を組み合わせているが、そのそれぞれのシャ 断 に対する分担範囲は前にも述べたように、電動機の高電流を 含む過負荷に対しては熱動継電器の動作により高圧電磁接触器を もって シャ 断保護し、一方回路の短絡などの大電流に対しては電 力ヒューズ をもって シャ 断保護する。したがってこの間の協調が

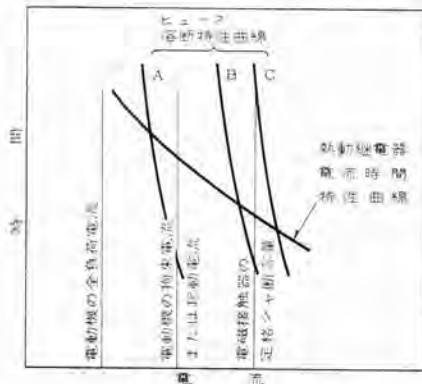


図 4.4 ヒューズとリレーの協調

Fig. 4.4 Coordination of power fuse and relay.

必要である。図 4.4 はその協調を説明する例である。これにおい てヒューズ A は電動機の起動に対して溶断してしまう恐れがある ので使用できず、また ヒューズ C では電磁接触器の シャ 断容量を 超過した故障電流で、ヒューズ よりも電磁接触器が シャ 断するので 危険であり、結局 ヒューズ B を選定することになる。

4.5 計器用変流器の過電流強度

EH 形 キュービクル には標準として乾式 ダイアレジン 含浸形 CT を 使用している。絶縁階級は 3 号 B~6 号 A までであるが、過電流 強度は標準の 40 倍、1 秒のものを使用している。回路の短絡に対 しては シャ 断器の代わりに電力ヒューズ に保護させているのでほ

EH 形 キュービクル 開閉装置・大藤

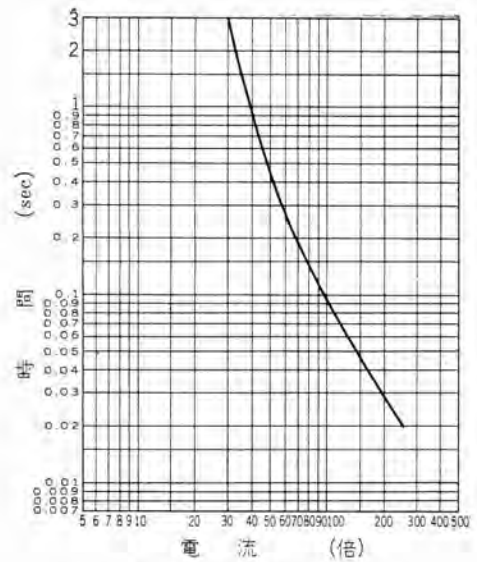


図 4.5 変圧器強度曲線

Fig. 4.5 Transformer damage curve.

とんど問題にならない。

たとえば、CT 比 50/5 A の変流器を通して 40 倍の故障電流す なわち

$$40 \times 50 \text{ A} = 2,000 \text{ A}$$

が流れた場合、電力ヒューズとして 110 A を用いれば 0.045 秒で 溶断し、全 シャ 断時間は 0.09 秒であるから問題なく、また 40 倍 以上の電流が流れる場合はヒューズの全 シャ 断時間特性と変流器 の過電流特性の比較をすれば、40 倍以下の低過電流域に比べてき らに変流器の強度がおびやかされることがないことがわかる。図 4.5 に変流器の過電流強度 40 倍、1 秒とした場合の過電流特性を 示す。

4.6 母線の熱的強度および電磁強度

計器用変流器と同様母線も電力ヒューズの高速 シャ 断のおかげ で故障電流の熱的および電磁的影響を著しく軽減し得る。さらに 限流ヒューズを用いた場合、限界電流以上の故障電流に対して限流 効果を発揮し、いっそう母線の負担を軽減できる。

今、電力ヒューズの定格 シャ 断電流一杯の故障電流が流れた時 の母線の電磁力を計算して見ると、

定格 シャ 断電流 I_{asym} を

$$I_{\text{asym}} = 40 \text{ kV}$$

とし、ヒューズ 定格電流 I_{amp} を

$$I_{\text{amp}} = 200 \text{ A}$$

とすれば、限界電流 I_{thr} は

$$I_{\text{thr}} = 6,650 \text{ A}$$

したがって

$$I_{\text{asym}} / I_{\text{thr}} = 40,000 / 6,650 = 6.02$$

$$I_p / I_{\text{thr}} = 3.7$$

$$I_p = 6,650 \times 3.7 = 24,600 \text{ A (peak)}$$

この値が電磁力として母線に働くことになる。その場合の F が

$$F = 2.04 \cdot K \cdot \frac{I^2 l}{a} \cdot 10^{-8}$$

ただし K : 導体の配置、形状により定まる定数

ここでは 1.0 とする。

l : 導体支持間隔 (cm)

a : 導体相間距離 (cm)

I : 電流 (A)

F : N (kg)

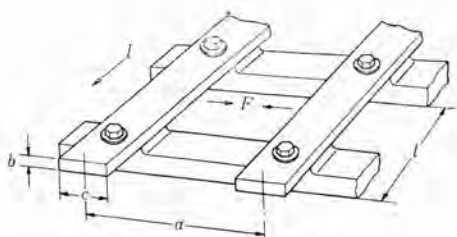


図 4.6 母線における電磁力
Fig. 4.6 Electromagnetic forces between bus bars.

で示されることはよく知られているところである。多くは三相回路であるが、単相回路の方が若干シビアなチェックとなるので一般にこの場合について行なう。

$$K=1.0$$

$$l=80$$

$$a=20$$

$$I=24,600$$

として F を計算すると

$$F=49.5 \text{ kg}$$

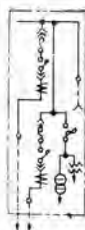
となる。400 A 母線の場合 $b \times c=0.6 \times 5$ であるので十分の強度的余裕を有する。

5. キュービクルの外形寸法

キュービクルの外形寸法を図 4.7 に示す。

6. む す び

以上、新しく開発された EH 形 キュービクル 開閉装置についてその概略を紹介させていただいたが、この稿を終るにあたって、今一度、この種開閉装置の変転を顧みると、開放形の開閉装置から現在の単位閉鎖形のそれへと移行行き、さらにメタルクラッド形パワーセンタおよびコントロールセンタ形の全盛を見るに至ったことを判然と認めざるを得ない。これらはこの種機器の近代化の歩みであり、そこでは事故時におけるサービスの確保、作業者の安全向上、ならびに将来の設備拡張への適応が常に要求されてきた。これらと同時に機器の標準化も進められてこれらがこの近代化の歩みの根底となったといえよう。このような歩みの上に高圧のコントロールセンタともいふべきこの EH 形 キュービクル が生れたが、設備の重要度、ならびにその系統の大きさ、構成、負荷の性質、経済性などに応じてメタルクラッド形とともにこの EH 形が適切に使用され、その特長がいかされることを望むものである。



形 名	A	B	C	D	E
EH-205S	800	1,550	781	1,700	500
EH-205U	1,000	1,950	811	2,000	500

ただし EH-205S 形は SH 形電磁接触器収納した 3 kV 回路用のもの
EH-205U 形は 6UH-205 形電磁接触器収納した 6 kV 回路用のもの

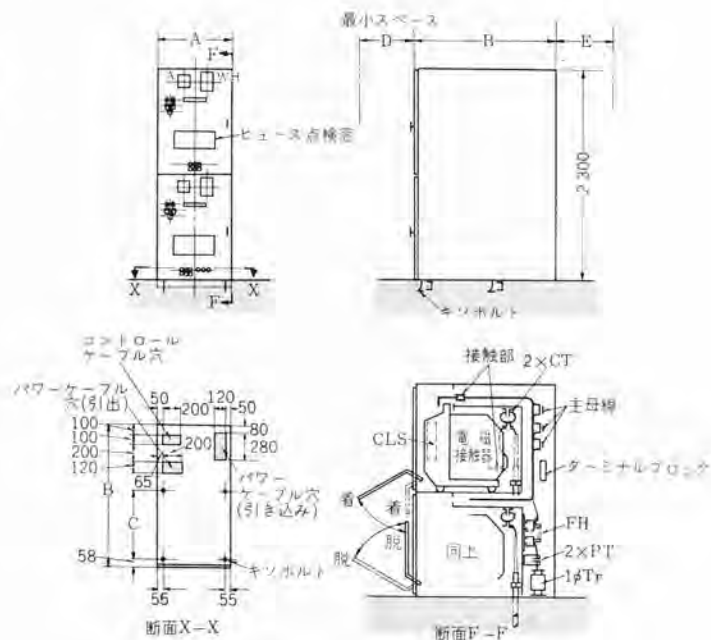


図 4.7 キュービクル 外形寸法
Fig. 4.7 Out-line dimensions of cubicle.

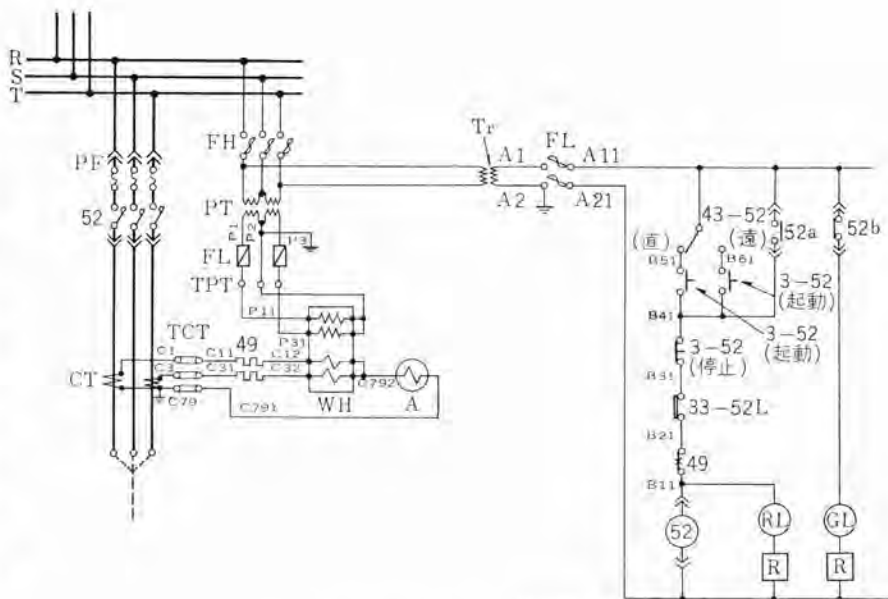


図 4.8 標準結線図
Fig. 4.8 Standard wiring diagram.

33-52L は操作棒をそう入すると開路する

インパイル ガス ループ 実験装置の放射線モニタ

後藤 正之*・的 埜 卓**・永井 昭夫**
小倉 成美***
小谷 野明****

Radiation Monitors for "Inpile Gas Loop" Experimental Apparatus

Mitsubishi Electric Corporation, Research Laboratory
Mitsubishi Atomic Power Industries, Incorporated
Japan Radiation and Medical Electronics, Inc.

Masayuki GOTÔ・Takashi MATONO・Akio NAGAI
Shigeyoshi OGURA
Akira KOYANO

Radiation monitors, for use with the so called Inpile Gas Loop for the testing of the "semi homogeneous" uranium fuel in the reactor "JRR-2" of the Japan Atomic Energy Research Institute, have been developed. They consist of a failed fuel detector, a gamma-radiation detector, a gamma-ray in a water detector and radiation monitors in gas and dust. The failed fuel detector, built in a new concept, is for detecting the fission fragments of uranium fuel and expected to detect beta-radiation of $10 \mu\text{C/cc}$ in helium gas. The gamma radiation detector with a logarithmic amplifier cover the range from 1 mr/h to 1 r/h for a 5 l chamber and from 10 mr/h to 10 r/h for a 0.5 l chamber. The gamma ray in water has a sensitivity as much as $5 \times 10^{-5} \mu\text{C/cc}$ radioactive detectability calibrated by Cs^{137} aqua at least.

1. ま え が き

ガス冷却型動力用原子炉の燃料として、経済性が高いと考えられる平均質ウラン燃料が数年前から考えられているが、この燃料の試験装置として「インパイル ガス ループ」実験装置が作られている。

日本原子力研究所の第2号炉 (JRR-2, CP-5) につけられるこの装置は、図 1.1 のガスループフローシートに示すような構成になっており、炉内にそ入する試料照射 ラウダ、主冷却系、照射 ラウダ

水冷却系、中間冷却系、水精製系、ガス 精製系などをふくんでいる。

試料照射 ラウダ では平均質燃料として外径 $30 \text{ mm } \phi \times$ 高さ 30 mm , 20% の濃縮 ウラン (UC_2) を グラファイトシース に入れて、原子炉の実験孔にそ入する。中性子束について unperturbed flux を $7 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$, perturbation factor $K = \frac{1}{2}$ とした場合に、試料中心部で $1,349^\circ\text{C}$, また 500°C のヘリウムガスが炉内で 550°C になって出るとすると、グラファイト 表面温度は 752°C 程度になると考えられる。(図 1.2, 1.3)

550°C のヘリウムガスは、照射 ラウダを出て図 1.1 に示される主回路を回り、再生熱交換器を経て、主回路フィルタに入り不純物、核分裂生成物があれば除去されて、主冷却系冷却器で、 200°C に下げられて、ラウダに入り、ふたたび再生熱交換器に入り、ヒータにより熱せられて 500°C の温度となり、ふたたび照射 ラウダに入る。

また主回路を循環するヘリウムガスの一部はガス精製系 (F. F. T.) に送られて精製され、ふたたび主回路に戻る。

水精製系では、照射 ラウダにはいる冷却水をイオン交換樹脂に通して浄化する。

そのほかに中間冷却系は主冷却系冷却器などに高温ガス

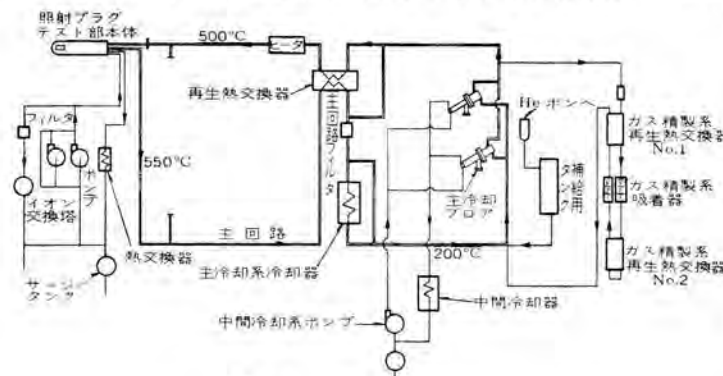


図 1.1 ガスループ フローシート

Fig. 1.1 Flow diagram of the "inpile gas loop".

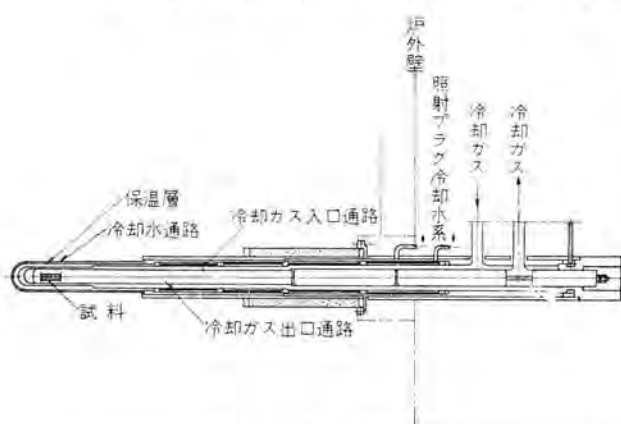


図 1.2 ガスループ照射 ラウダ

Fig. 1.2 Inpile tube which consists of an assembly of concentric tubes: i.e. the test piece containing tube, the inner pressure tube and the water cooling tank.

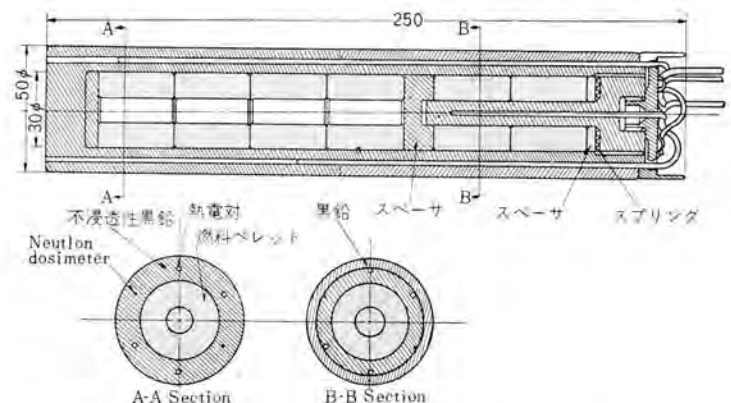


図 1.3 高温高压 ガスループ 用平均質燃料 テスト 部

Fig. 1.3 The test piece containing tube of graphite.

が流れたり破損があったりした場合に冷却に使用するものである。

この上原子炉を使用する場合、高温、高圧 ルーの故障および種々の放射線の漏れ汚染などの危険が考えられる。このために安全系、モニタ系については万全を期する必要がある。

安全系としては、主冷却系ガス流量低下、照射ラウ冷却水流量低下、中間冷却水流量低下、照射部出口ガス圧力低下、照射部出口温度上昇の際に、原子炉のスクラム、セトリック、ルーのワールダウン、非常用電源の切換、その他の警報を発するようになってい

る。

モニタ系については、以下本文で述べることにする。

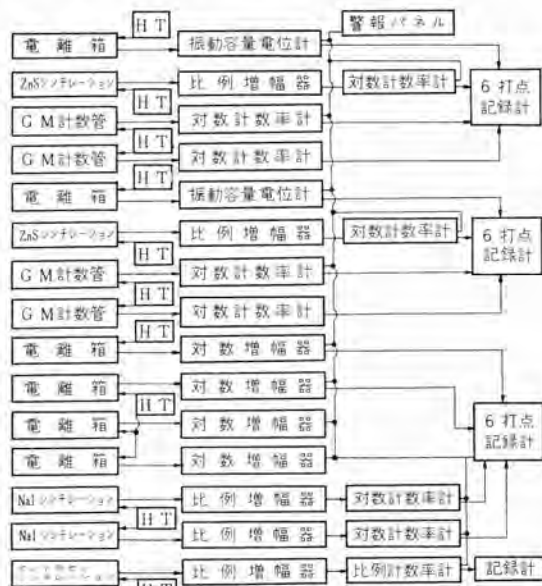
2. 放射線の検出系

炉内に通ずるルー、冷却系からなんらかの原因によって放射性物質の炉外への流出がある場合には、これによる周囲の汚染を防ぎ、事故を未然に防止するために、各種のモニタを設ける必要がある。

まず、核分裂生成物が生じ主冷却系に流入した場合、その量を確認する必要がある。これには燃料破損検出器を用いている。

次に、ガス精製系において、吸着器(F.F.T.)の吸着状況を調べるために、吸着器部分に電離箱を配置している。このモニタはガス精製系第1段および第2段吸着器モニタと呼ばれている。

照射ラウにはいる冷却水は、イオン交換樹脂塔で浄化されるが、この樹脂塔の放射能は、電離箱で調べられる。これは水精製系樹脂塔ガンマ線モニタと呼んでいる。



(HT 電圧電源の略)

- (1) 二次側ガスモニタ
- (2) 二次側ダストモニタ (α)
- (3) 二次側ダストモニタ (β, γ)
- (4) 同 6 時間後検出用
- (5) 排気系ガスモニタ
- (6) 排気系ダストモニタ (α)
- (7) 排気系ダストモニタ (β, γ)
- (8) 同 6 時間後検出用
- (9) 第 2 段吸着器モニタ
- (10) 第 1 段吸着器モニタ
- (11) 水精製系樹脂塔モニタ
- (12) 主回路フィルタラウ線モニタ
- (13) 中間冷却水モニタ
- (14) ドレンタンク水モニタ
- (15) 破損燃料検出器

図 2.1 モニタ系ブロック線図

Fig. 2.1 Diagram of detecting and monitoring system of radiation.

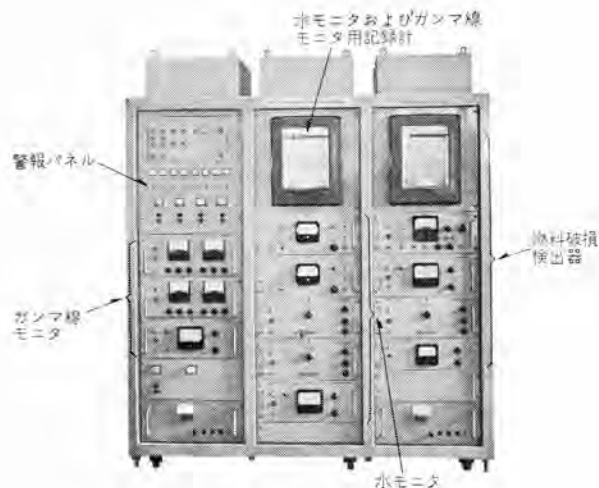


図 2.2 モニタ操作盤

Fig. 2.2 Control panel of monitors.

主回路フィルタの放射能も電離箱で調べるが、これは主回路フィルタガンマ線モニタと名づけている。

そのほか、中間冷却水、ドレンタンクなどの水も放射能を調べるが、これにはシンチレーションカウンタを用いており、それぞれ中間冷却水モニタ、ドレンタンク水モニタと呼んでいる。

実験終了後には、ヘリウムガスを排気することになるが、そのときにはガスダストモニタを通して排気することにし、また2号炉実験孔にそう入している照射ラウの後方をシャハイしている二次側内の空気も汚染のおそれがあるので、同じくガスダストモニタを用いて排気している。

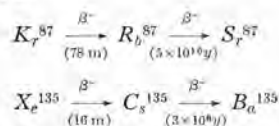
これらのモニタは出力を警報回路、制御回路に入れ、放射能が一定レベルを越えると、警報を発したり、運転を中止したりするため制御動作に連けいすることになっている。

各モニタのブロック線図を図 2.1 に示す、また測定操作盤の外観を図 2.2 に示した。

3. 破損燃料検出器

3.1 原理

核分裂に際しての分裂生成物の中、二回以上連続的に崩壊するもので二次の崩壊で β^- を放出するような生成物を選択的に取り出し、二次 β^- 線を測定することで破損の有無を知ることができる。たとえば、核分裂生成物で K_r^{87} 又は X_e^{135} ができたとなると



というような崩壊をするものを見出せばよい。

生成物の選択的な抽出には、第一次の崩壊による娘核イオンを電場によりステンレス鋼線に付着させることにより行なう。

この方法の特長は、 A^{11} などの不純物が活性化されてできたアイソトープを分離できることである。また核分裂生成物は最初の崩壊までは気体状態、それ以後は気体でないものが良い。したがって X_e , K_r などが最適対象である。

3.2 構造

照射ラウから出て来たヘリウムガスは、主冷却系冷却器によって冷却され、沈積箱にはほとんど常温ではいる。沈積箱内では電場がかかっているため、荷電粒子は電極に吸着される。

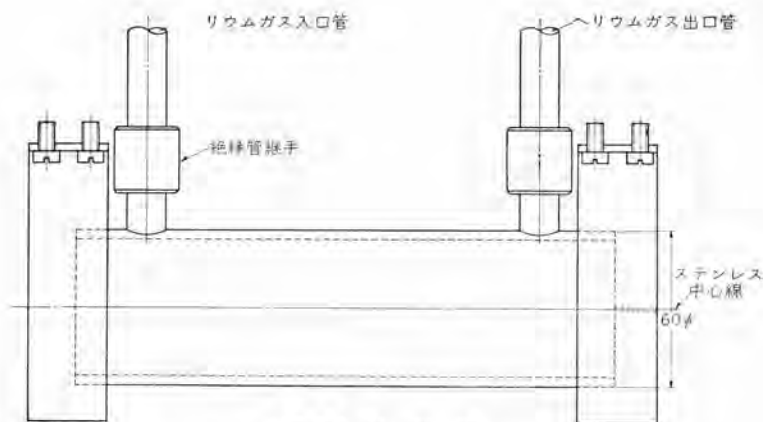


図 3.1 沈 積 箱
Fig. 3.1 Precipitator of fission fragments.

沈積箱の構造は、図 3.1 のとおりである。沈積箱は、円筒状をなしてその中心軸上を、ステンレス鋼線が移動する。この中心線と円筒の間は 700～800 V くらいの電圧がかかっており、当然中心線と円筒は電気的に絶縁されている。この沈積箱に要求される性能は次のとおりである。

- (a) 中心線と円筒とは 1 kV 以上の絶縁耐圧が必要である。
- (b) ヘリウムガスが外界にできるだけ漏れない構造にする。同時に外界から沈積箱内に空気が混入しない必要もある。
- (c) ヘリウムガスの沈積箱内への吹出口、および吸入口は各所で一様な流速が得られるような構造とする。

沈積箱の仕様

円筒の内径	50 mm φ
中心線の外径	0.15 mm φ
沈積箱内での中心線の露出部分	200～210 mm
ガス流量 (常温, 常圧)	300 cc/min
中心線移動速度 (モータ巻取り)	50 mm/min

検出器はシンチレーションカウンタと鉛シールドからなっていて、鉛シールドは厚さ 40 mm 程度にして、バックグラウンドを減小させている。シンチレーションカウンタは、光電子増倍管 RCA6342A、アントラセン結晶 45 mm φ×5 mm のものを光および静電的にシールドする円筒に入れており、アントラセン結晶に近い部分は、空気を外部から吹き込んで汚染を防いでいる。

これらの沈積箱、検出器は、外部への汚染を防ぐため、気密容器にはいっており、外気と隔絶されている。

検出器の出力は、前置増幅器をとおして比例増幅器、計数率計に入れ、出力を記録するようにしている。

破損燃料検出器の全体の組立は、図 3.2 に示されるとおりである。

3.3 核分裂生成物の検出能力

この検出器の破損燃料検出能力、すなわち核分裂生成物の検出能力は、主として $K_r^{88} \sim K_r^{93}$, $X_e^{138} \sim X_e^{140}$ のうち、(註) 半減期が分 (minutes) の長さのもののみが有効に測定され、検出能力の限界はヘリウムガス中 $10 \mu\text{C/cc}$ (マイクロ、マイクロ、キュリ/cc) の β 崩壊物の検出能力があると考えられる。ただし、不活性ガス以外の生成物は、ルーウ中の壁面または燃料棒中に吸収され、ほとんど沈積箱中にはいらず、また沈積箱中で崩壊した反跳核は、すべて中心線上に吸着される。バックグラウンドは鉛シールドによって 100 cpm 以下におさえられている。またその上、燃料シース中での生成物の yield は照射時間、燃料棒の性質などに依存するため不明確な点が多い。

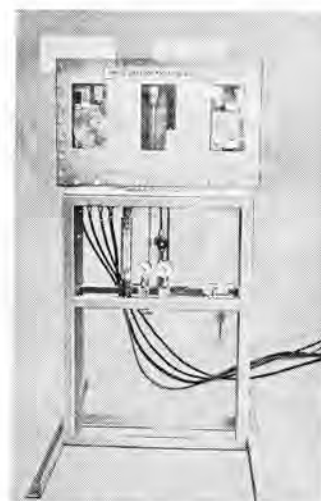


図 3.2 破損燃料検出器
Fig. 3.2 Failed fuel detector.

(註) K_r , X_e が主として考えられる理由は、不活性ガス元素以外の活性元素は、 UC_2 燃料中またはグラファイトシース、ルーウ壁に吸収されるものが多いと考えられ、また核分裂生成物中の収集率の最大のものは、質量数 90, および 130 付近に存在し、その他のものはこの 1/10 程度と考えられるからである。

4. ガンマ線モニタ

主回路 フィルタモニタ、樹脂塔 モニタ、第 1 段吸着器 モニタ、第 2 段吸着器 モニタの放射能検出にはガンマ線用の電離箱を用いる。これらをガンマ線モニタと総称する。

ガンマ線の検出には電離箱を用いるが、その信号は対数増幅器によって増幅され対数レシダ目盛で指示される。そしてこれらのモニタの検出感度は主回路 フィルタモニタ、樹脂塔 モニタ、第 1 段吸着器 モニタが 10 mr/h から 10 r/h までの 3 デカドを指示し、第 2 段吸着器 モニタだけは第 1 段目で浄化された残りを検出するため高感度が要求されて 1 mr/h から 1 r/h までの デカドを指示する。

これら四つのモニタはすべて放射線量率がある一定レベル以上に達すると警報を発し、それに応じて適当な措置をとることによって、放射線の汚染などの事故を未然に防止することができるようにになっている。四つのモニタはその警報レベルの設定がそれぞれ独立に、しかもその測定レンジ内の任意の値にとれる。

これらガンマ線モニタで指示された放射線量率は記録計にも接続されて記録されるようにになっている。

4.1 電離箱

ガンマ線の検出には電離箱を用いる。この電離箱の容積をきめるのに容積と電離電流の間にある次の関係式を用いた。

$$i(\text{amp}) = \frac{R(\text{r/h})V(\text{cm}^3)273 \text{ p}(\text{mmHg})}{3 \times 10^9 \times 3600 T(^{\circ}\text{K})760}$$

ここで R は放射線の強さ (レシダ目盛, r/h) を表わしている。測定レンジが 10 mr/h から 10 r/h までのものと、1 mr/h から 1 r/h までのものについて、その電離箱の容積を約 0.5 l と約 5 l との 2 種類に選んだ。電離箱の構造は円筒形で、棒状コレクタ電極を軸上にそうし外側円筒に正電圧をかけて使用する。

電離箱容器は完全密封形であり内部に十分乾燥された窒素ガスが 5 気圧封入されている。コレクタに集めるイオン電流は 10^{-12}A から 10^{-9}A の程度の微小電流であるからコレクタの周囲には正電圧からの漏れ電流がコレクタに流れこまないように、ガードリングが

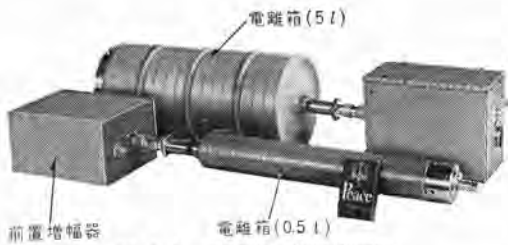


図 4.1 電離箱と前置増幅器
Fig. 4.1 Ionization chambers and pre-amplifiers.

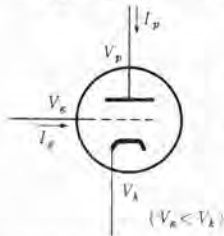


図 4.2 対数変換に用いる
3 極管
Fig. 4.2 Logarithmic
triode.

取り付けである。このガードリングとコレクタ電極との間の絶縁は $10^{14}\Omega$ 程度の高い値が必要とされる。

次に電離箱の壁の材質の相異による放射線線質特性が問題となる。壁の物質がガンマ線をベータ線に変えると、このベータ線は電離能が大きいから電離箱の感度を大きくすることができ、この性質を意識的に利用した電離箱もある。しかしこの場合放射線の線種によって感度が左右されるのであまり好ましくない。レントゲンの定義からみれば、理想的には壁も空気等価の物質であることが望ましい。これらの電離箱は 5 気圧の内圧に耐えなければならぬのでステンレスを用いたが、線質特性からその厚さはできるだけ薄くしてある。放射線源として Ra, Co を使用して壁の効果による感度の違いを調べてみたが、それほど大きな食い違いがないことが判明した。2 種の電離箱を対数形前置増幅器と組み合わせた写真が図 4.1 である。

4.2 対数増幅器

電離箱によって放射線をイオン電流に変えたあと、このイオン電流を対数変換の前置増幅器で増幅し、そのあと操作盤に収められた差動増幅形の主増幅器で増幅して放射線量率としても指示する。対数変換には電位計管を 3 極管接続したものをを用いている。この原理について以下に説明を加える。

図 4.2 に示した 3 極管でグリッドの電位を V_g カソードの電位を V_k プレート電位を V_p 、グリッド・プレート間の電流を I_g 、プレート電流を I_p 、カソードの温度を T とする。最初グリッド・カソードから構成される 2 極管を考えてみる。グリッドの電位がカソードに対してわずかに負である状態を考えてみると、カソードの温度が T であるからこのカソードから飛び出す電子のエネルギー eV の分布は

$$n(V)dV = n_0 \exp\left(-\frac{eV}{kT}\right)dV$$

と考えられる。したがって電位的にカソードに対してわずかに負にあるグリッドに達することのできる電子は

$$n = \int_{V_k-V_g}^{\infty} n(V)dV$$

となりグリッド電流 I_g は

$$\begin{aligned} I_g &= \int_{V_k-V_g}^{\infty} n_0 \exp\left(-\frac{eV}{kT}\right)dV \\ &= I_0 \exp\left[-\frac{e(V_k-V_g)}{kT}\right] \end{aligned}$$

となる。すなわち

図 4.3 対数特性の測定回路
Fig. 4.3 Logarithmic
amplifier.

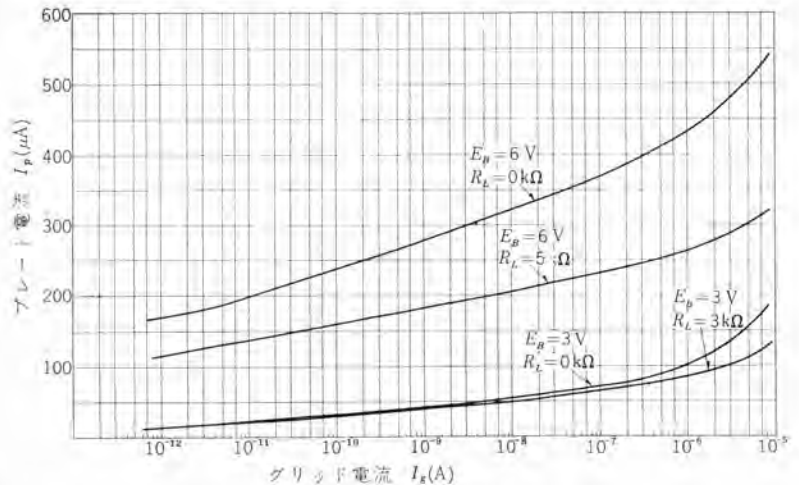
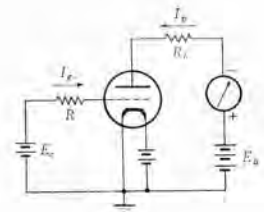


図 4.4 3 極管の対数特性
Fig. 4.4 Logarithmic characteristics of triode.

$$V_g - V_k = \frac{2.303kT}{e} \log \frac{I_g}{I_0}$$

であるから I_g の対数的な変化に対して $V_g - V_k$ (グリッドバイアス) は直線的に変化する。このようにしてこの関係は対数変換の要素として利用することができる。

次にこの球を 3 極管として考えれば通常の球と同様に

$$I_p = K[(V_g - V_k) + (V_p - V_k)/\mu]^{3/2}$$

なる関係で増幅が行なわれる。

以上の二つの作用が組み合わさって

$$I_p = (\alpha \log I_g + \beta)^{3/2}$$

という I_g と I_p との間の対数関係が生まれる。ここで α はカソードの温度、球の構造などによる比例定数であり、 β はカソードの温度、球の構造、プレート電圧、増幅率などによる量である。3 極管を用いた対数増幅器を作るにあたってグリッド電流 I_g とプレート電流 I_p との関係を実験してみた。3 極管として電位計管 5886 を用い図 4.3 の回路でグリッド電流を電池 E_g と高抵抗 R とで $I_g = E_g/R$ によって流す。その際グリッド・カソード間のインピーダンスが問題になるが

$$r_g = \frac{d(V_g - V_k)}{dI_g} = \frac{K'}{I_g}$$

となる。カソード温度 T を $1,000^\circ K$ とすれば

$$r_g = \frac{0.115}{I_g}$$

となるから E_g が数 V 以上になればグリッド・カソード間のインピーダンスは問題にならなくなって I_g は E_g/R で与えられるようになる。グリッド電流を $10^{-12}A$ から $10^{-5}A$ までの 7 デカードにわたって対数特性を測定した結果を図 4.4 に示している。

特性曲線の曲がりは $I_p = (\alpha \log I_g + \beta)^{3/2}$ の $\frac{3}{2}$ 乗のためであり、 $10^{-11}A$ から $10^{-8}A$ あたりまでの 3 デカードであれば、直線性からのずれもそう大きくなく測定器としての使用に十分有用である。

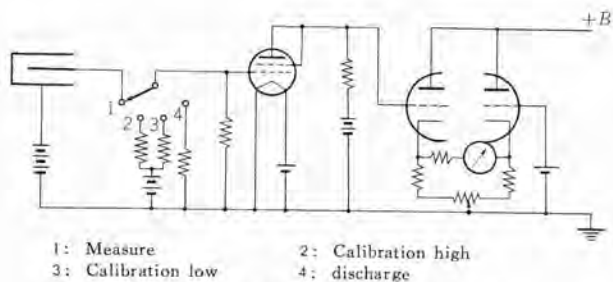


図 4.5 ガンマ線モニタのブロック回路図
Fig. 4.5 Block circuit of gamma monitor.

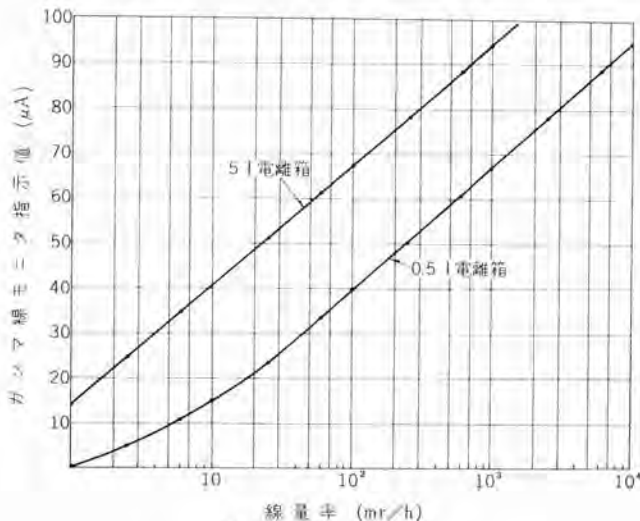


図 4.6 ガンマ線モニタ
Fig. 4.6 Gamma-ray monitor.

このような実験結果に基づいてガンマ線線量率測定用の回路を作成した。その概略図が図 4.5 に示されている。この回路では measure のほかに discharge, calibration high, calibration low が付いている。グリッド回路には高抵抗が付いているため、時定数が大きくなるから discharge が必要となり、また 2 種類の抵抗を通して既知の電流をグリッド電流として流すことによって特性曲線上の 2 点で校正する必要があるためである。

放射線の線量率をすでに校正済みの測定器で測定し、今回製作した対数形ガンマモニタの指示値を校正したのが図 4.6 である。この図で低線量率側でその指示値がある飽和のような現象を示しているが、その原因はグリッドにはいっているグリッドリーク抵抗によるものである。グリッド電流が流れるとグリッドの電位はわずかにカソードの電位より低くなるが、グリッドリーク抵抗がはいっているためにこの抵抗にアース側から電流が流れる。したがってこの電流と電離箱から流れてくるイオン電流との和がグリッド電流となってグリッドからカソードに流れこむことになる。

電離箱からのイオン電流が、グリッドリーク抵抗を通して流れてくる電流より十分大きい場合は、イオン電流をそのままグリッド電流と考えてよいから測定が可能であるが、逆に小さくなった場合にはイオン電流がグリッドリーク電流に隠されてしまって、見かけ上は特性曲線の上で飽和してしまったように見える。このような理由からグリッドリーク抵抗は、大きければ大きいほど低線量率側の測定領域が増してよいわけであるが、前にも述べたように時定数が非常に大きくなりすぎて、測定器として利用しにくい面が出てくる。そのためこのガンマ線モニタではグリッドリーク抵抗として $10^{13}\Omega$ の抵抗値を用いている。

図 4.6 の測定には放射線源として Ra 100 mc と Co 60 の 2

インパイル ガスルーラ 実験装置の放射線モニタ・後藤・的埜・永井・小倉・小谷野

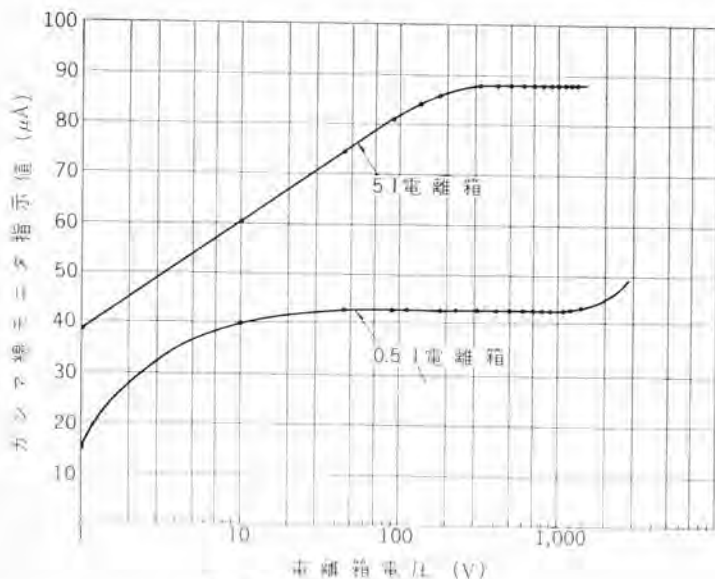


図 4.7 電離箱の飽和特性
Fig. 4.7 Saturation characteristics of ionization chamber.

種類の線源を用いた。

最後に電離箱に加える正電圧の影響をみるために電離箱の飽和特性をとってみた。この結果が図 4.7 であり、これにより 2 種類の電離箱にはともに 500 V ないし 600 V の電圧をかけておけば十分であることが知られた。

以上述べたように 1 mr/h から 1 r/h までの対数形ガンマ線モニタおよび 10 mr/h から 10 r/h までの対数形ガンマ線モニタを 3 極の電位計管を用いることによって完成することができた。

5. 水モニタ

5.1 原理

水モニタは、中間冷却水とドレンタンク水の両者の放射能測定用に使われるが、一方は図 5.1 (b) にあるような型であり、他方はタンク中にそう入して測定する。

原理的な考察としては、図 5.1 (c) のような幾何学寸法を考えてみることにする。水溶液中の単位体積あたりの放射性物質の崩壊数を N (dps/cm³)、溶液についての吸収係数 μ (cm⁻¹)、検出器の有効表面積を A (cm²) とするとき、 A に入射する光子数 n (sec⁻¹) は、

$$n = \frac{NA}{2\mu} \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

で与えられる。ただし半径 r は無限大とする。

実験の場合には、 n (sec⁻¹) の光子数計数されるのは、 $\eta\%$ しかなく n' (sec⁻¹) である。また累積因子を考慮すると式 (5.1) は、



図 5.1 計数のジオメトリ
Fig. 5.1 Geometry of experiment.

$$n' \approx \frac{NA}{2\mu} \cdot \eta \quad \dots\dots\dots (5.2)$$

となる。

もし、半径 ρ の有限な値を考えると、

$$n_p = n_\infty \{1 - f(\rho, \mu) e^{-\mu \rho}\} \quad \dots\dots\dots (5.3)$$

が成立する。ただし n_p は半径 ρ の場合の計数率、 n_∞ は $\rho \rightarrow \infty$ の場合の計数率、 $f(\rho, \mu)$ は ρ, μ から値の定まる関数である。

5.2 構造

検出器は、図 5.1 (a), (b) の方法で取り付けられているが、そう入型の場合は側面型に比較して幾何効率は約 2 倍となるから、小型のシンチレータを用いている。また、とくに細い管フランジにそう入しなければならなかったので、光電子増倍管も小型のものを使用している。この結果、両方の計数率はほぼ同じくらいのオーダーになっている。またそう入型の場合、冷却水が数十度になる恐れもあるので、光電子増倍管およびシンチレータを小型ファンで空冷している。しかし、このために雑音の出るようなことはなかった。(図 5.2)

信号の増幅は、前置増幅器、比例増幅器で行ない、対数計数率計を用いて対数変換を行ない記録計に入れている。

5.3 検出感度

プラスチックタンクに Cs^{137} の水溶液を作り、そう入型および側面型の両者についての感度校正を行なった結果は、図 5.3 に示している。この結果から判断すると、 Cs^{137} の場合 (相当エネルギーの高いところで波高選別器をセツトしているが)、ほぼ $5 \times 10^{-5} \mu\text{c/cc}$ 程度の濃度のものは、15 cm diameter 程度の容器を用いて測定できることがわかった。 n_∞ の値を図 5.4 によって、それぞれの場合について求め、式 (5.3) を用いて計数効率を求めると、そう入型の場合 $\eta = 66\%$ 、側面型の場合は 36% となる。



図 5.2 排水モニタの検出器
Fig. 5.2 Gamma-ray in monitor detector.

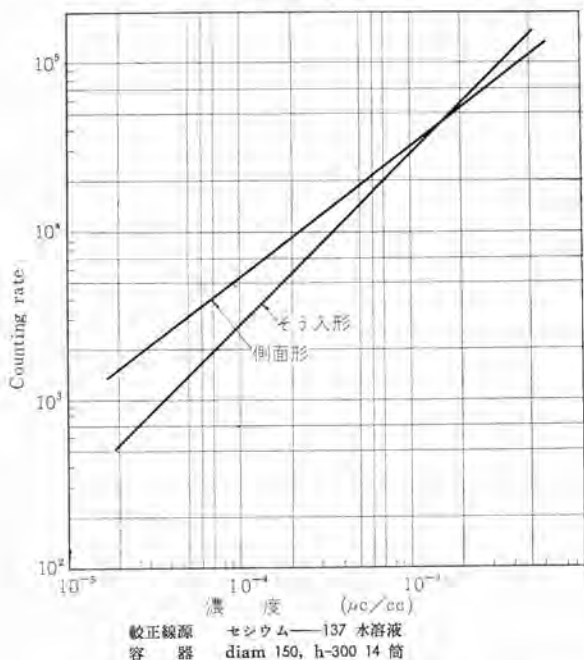


図 5.3 感度校正曲線
Fig. 5.3 Sensitivity of "Gamma-ray in monitor"

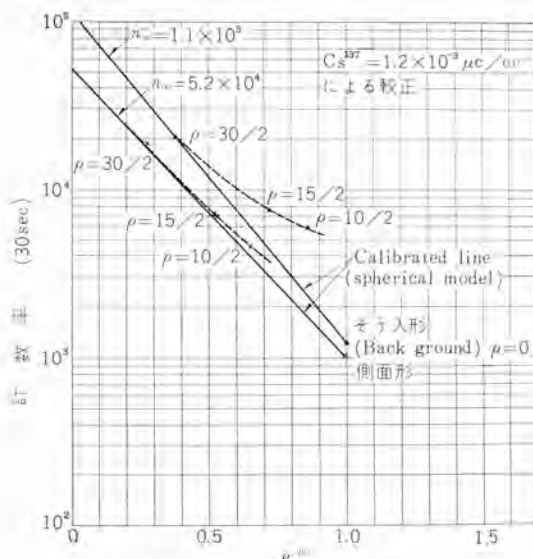


図 5.4 n_∞ を求める曲線
Fig. 5.4 Counting rate $e^{-\mu \rho}$ curves.

6. ガス ダスト モニタ

6.1 原理ならびに方式

ガス ダスト モニタ は放射能汚染監視装置の一種で、空気 (あるいは特定の気体) 中に存在する放射性ガスおよび放射性 ダスト (じんあい) の量を連続的に測定、記録するとともに、許容濃度以上の場合に警報を発する装置である。

ダストモニタの検出限界は法規上の空气中最大許容濃度の面からベータ線に対し $10^{-10} \mu\text{c/cc}$ 、アルファ線については $10^{-13} \mu\text{c/cc}$ 程度が要求されている。またガスモニタの検出限界はダストの許容量ほど厳重ではないが、普通 $10^{-6} \mu\text{c/cc}$ 程度が要求される。

本装置では、ダストモニタとしては連続送りの電気集じん方式を採用し、ガスモニタとしてはベータ線検出に最も効率の良い通気式電離箱を用いている。

6.2 構造および各部の仕様

このガスダストモニタは図 6.1 の系統図に示すように空気吸引部、電気集じん部、集じん箱送り機構、ダスト検出器、ダスト用対数計数率計、ガスモニタ用のイオンブリシペータ、通気式電離箱、振動容量電位計、測定値記録用の 6 打点自動平衡式記録計および警報部などからなっており、図 6.2 のようにまとめられている。

被測定空気はきょう (筐) 体の側面下部に設けられている取入口から吸引され、まず電気集じん部でダストを捕集させてから、イオンブリシペータを通してガスモニタ用の電離箱に入り、上部の空気

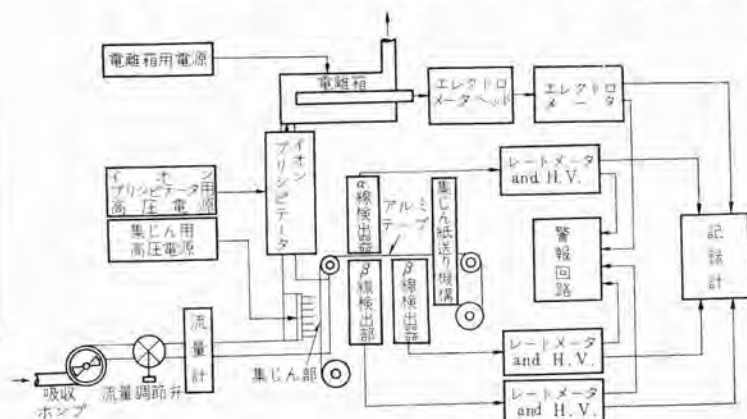


図 6.1 ガスダストモニタ構成図
Fig. 6.1 Flow sheet of gas dust monitor.

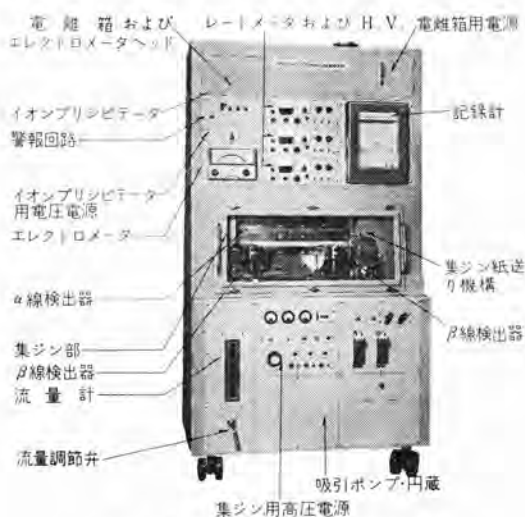


図 6.2 ガスダストモニタの全体図
Fig. 6.2 View of gas dust monitor.

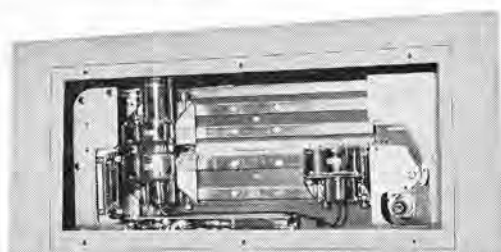


図 6.3 ダストサンブラ部
Fig. 6.3 Dust sampler.

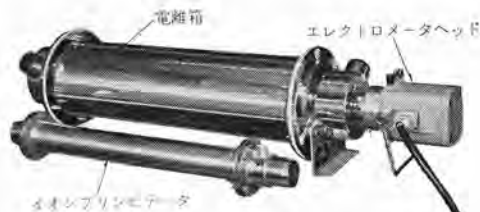


図 6.4 ガス用電離箱とプリシピテータ
Fig. 6.4 Ionization chamber and precipitator.

放出口から放出（普通にはダクトに返される）される。

空気吸引部はフロア形の吸引ポンプ、流量調節弁、フロート式流量計からなっており、毎分約 200 l の空気を吸引する。電気集じん部は集じん器と集じん用高圧電源からなっている。

集じん器は図 6.3 の写真に見られるように長方形をしたアクリル製の箱で、その内部に負極性のコロナ放電電極が $50 \times 150 \text{ cm}$ にわたって設けられており、これに相対して接地されたアルミハクが外部から狭い間隙を通して連続的に送られる。この両電極間には約 10 kV の高圧が加えられており、この電極間を吸引空気が流通する間に空気中に浮遊するじんあいは電荷を持ち、アルミハク上に吸着される。集じんハクには厚さ 13μ (約 3.5 mg/cm^2)、幅 75 mm のアルミハクを 80 m 1 巻として使用しており、集じんハク自動送り機構によって連続的に集じん器内およびアルファ線、ベータ（ガンマ）線検出器を通り巻取ワックに巻き取られる。アルミハクの送り速度は 25 mm/min, 50 mm/min, 25 mm/h, 50 mm/h の 4 種に切り換えられるが、通常は 25 mm/h または 50 mm/h の速度で使用する。したがって 1 巻のアルミハクで約 2 か月間連続的に使用することができる。

集じん機構の故障管理機構としては、空気吸引流量が設定値 (200 l/min) に対して $\pm 50 \text{ l/min}$ 以上の変化があった場合、集じん電流（コロナ放電電流）が必要以上流れた場合、あるいはアルミハクが切断または終了して測定が不可能になった場合に警報を発生するようになっている。

ダストの放射能検出器としてはアルファ線用を 1 本、ベータ（ガンマ）線用を 2 本備えている。（図 6.3）

アルファ線検出器は直径 2 インチの ZnS (Ag) シンチレータを用いたシンチレーション検出器で、シタ光膜は 1 mg/cm^2 以下である。ベータ（ガンマ）線用検出器としてはアルファ線用と同様に窓径が 2 インチで窓厚が約 3 mg/cm^2 の端窓形大面積 GN 管を使用している。

ベータ（ガンマ）線用を 2 本備えているのは集じん直後の放射能と

数時間後、すなわち自然に存在するラドン、トリンの減衰後の放射能を同時に測定するためである。なお、各検出器にはバックグラウンドを少なくするため約 3 cm の鉛のシタヘイが施されている。アルファ線用ベータ（ガンマ）線用の各検出器からの出力信号を計測する対数計数率計は、すべてトランジスタ式のものをを用い、比例増幅、波高選別、波形整形、対数積分、警報回路および高圧安定化電源などを備えている。

測定範囲は 10^1 から 10^4 c/min (カウント/分) までの 3 デカードで、計数率指示値の誤差は全目盛範囲内において ± 0.15 デカード以内である。警報機構としては計数率指示計に全目盛設定可能なメータ・リレーを使用しており、許容レベル以上の放射線計数率に対し警報を発するようになっている。

ガスモニタ用検出器は内容積約 10 l のベータ線用通気式の金属製電離箱で、内部に被測定空気（気体）を流し、その放射線によって生じた電離電流を振動容量電位計によって測定するものである。図 6.4 にその外観写真を示してあるが、外径約 17 cm、長さ約 80 cm の円筒形で、軸方向に振動容量電位計の前置増幅器が直結される。この電離箱のベータ線による飽和電流は約 150 V で得られるので通常 270 V の電圧を与えている。

電離箱の電離電流、すなわち内部流通ガスの放射能を測定する電位計には振動容量電位計を使用している。電離箱の電離電流についていえば、 $3 \times 10^{-14} \text{ A}$ から $3 \times 10^{-10} \text{ A}$ までが測定範囲となる。通常の使用条件としてはバックグラウンド（一般に $10 \mu\text{r/h}$ 程度である）電流が $1 \times 10^{-14} \text{ A}$ 程度である。なお、警報機構としては電位計の指示計と直列に接続したメータ、リレーによって、設定値以上の放射能が測定された場合に警報を発するようになっている。イオンプリシピテータは、外径 6 cm、長さ 50 cm の同心円管で内管に 3,000 V/cm の電界が与えられており、集じん器からの漏れイオンが電離箱に流入しないよう、集じん器から電離箱へのガス通路に接続されている。ダストおよびガス放射能の各測定値は記録計により記録される。

6.3 検出感度

6.3.1 ダスト モニタ

ダストの放射能濃度を I ($\mu\text{c/cc}$), 吸引空気量を V (l/min), 集じん距離を L (cm), 集じんハツの送り速度を v (cm/h), 集じん面積を S_a (cm^2), 検出器の窓面積を S_c (cm^2), 集じん効率を ε_s (%) とし, 検出器効率を ε_c とすれば, 測定計数率 N (c/m) は

$$N = 1.33 \times 10^7 \cdot I \cdot V \cdot \frac{L}{v} \cdot \frac{S_c}{S_a} \cdot \varepsilon_s \cdot \varepsilon_c \quad \dots\dots\dots (6.1)$$

で与えられる。実測値から得られた結果として, このモニタの集じん効率は約 80% であり, アルファ線検出器およびベータ (ガンマ) 線検出器の効率は, それぞれ使用状態において基準ウラン線源 (理研製) で試験したとき, 30% および 35% 以上である。また, その他の項目については標準使用条件をあてはめれば, $V=200$ l/min , $L=15$ cm , $v=5$ cm , $S_c=19.6$ cm^2 , $S_a=75$ cm^2 であるから計数率 N は

$$\text{アルファ線検出器では } N_\alpha = 48 \times 10^{11} \times I \text{ (c/m)} \quad \dots\dots\dots (6.2)$$

$$\text{ベータ線検出器では } N_\beta = 56 \times 10^{11} \times I \text{ (c/m)} \quad \dots\dots\dots (6.3)$$

となる。したがって放射線濃度 I がもし 1×10^{11} $\mu\text{c/cc}$ であればアルファ線については 48 c/min (カウント/分), ベータ線については 56 c/min の計数率が現われるはずである。

このモニタの各検出器のバックグラウンドは, アルファ線用では約 0.2 c/m , ベータ (ガンマ) 線用では約 50 c/m であり, 計数率計の時定数は 100 c/m 以下においては 100 秒となっているので最高検出感度は,

アルファ線に対しては

$$I_m \doteq 6 \times 10^{-14} \mu\text{c/cc}$$

ベータ線については

$$I_m \doteq 3 \times 10^{-13} \mu\text{c/cc}$$

となり, (註) きわめて微弱な放射能まで測定できるわけであるが現実の問題としてはラドン, トロンなどの自然に存在する放射能のために実質的にバックグラウンドが上がり, アルファ線の場合には 1×10^{-12} $\mu\text{c/cc}$, ベータ (ガンマ) 線の場合には 1×10^{-10} $\mu\text{c/cc}$ 程度が検出限界と考えられる。

6.3.2 ガスモニタ

ガスモニタの検出感度は被測定ガスの放射能によって生ずる電離箱の電離電流で大体きまるが, この場合にもダストモニタと同様に,

バックグラウンドによる電離電流が問題となる。

一般に電離箱内の β 線による電離電流 I は β 線の平均エネルギーを E_a (eV), ガスの電離ポテンシャルを W (eV), 電子の電荷を e (クーロン), 放射能濃度を C ($\mu\text{c/cc}$), 電離体積を V (cc), 電離箱の効率を ε とすれば

$$I = \frac{E_a}{W} \times e \times C \times V \times \varepsilon \text{ (A)} \quad \dots\dots\dots (6.4)$$

で表わされる。このガスモニタの性能から $W=34$ eV , $V=11$ l , $\varepsilon \approx 0.5$ ($0.3 \sim 0.7$) であるから測定線種を ^{14}C ベータ線 ($E_a=45\text{kV}$) とすれば,

$$I = 4.3 \times 10^{-8} \times C \text{ (A)}$$

あるいは

$$C = I / 4.3 \times 10^{-8} \text{ (}\mu\text{c/cc)} \quad \dots\dots\dots (6.5)$$

と書ける。

一方, バックグラウンド電流 I_b (A) は線量率を R (r/h) とすれば

$$I_b = 0.926 \times R \times V \times 10^{-13}$$

で表わされるので, 平常のバックグラウンドの値 10 $\mu\text{r/h}$ に対しては

$$I_b \doteq 1 \times 10^{-14} \text{ (A)} \quad \dots\dots\dots (6.6)$$

程度である。したがって, ガスの放射能に対して検出可能な電離電流をバックグラウンド電流の 2 倍とすれば, 最高検出感度は式 (6.5), (6.6) から, $I=2 \times I_b$ として

$$C = 4.6 \times 10^{-7} \text{ (}\mu\text{c/cc)}$$

となるがこの場合もダストモニタと同じ理由で 1×10^{-6} $\mu\text{c/cc}$ くらいが実質上の検出限界と考えられる。

(昭 38-8-23 受付)

7. む す び

以上インパイルガスループ実験装置用として開発された放射線モニタの, 構造ならびに性能の概要を紹介した。個々の測定器として当初目標とした性能を一応実現することができたと考えられる。しかし全般的に, 放射線モニタは法規で規定されている許容値と検出限界との間には若干の食い違いのあるものもあり, この点については引き続いて研究を要すると思う。計画にあたり日本原子力研究所の河原, 松本氏の有益なご教示をいただいたことを感謝する。

ホットケープ内で用いる各種加工機

津 田 栄 一*

Various Kinds of Processing Equipment for Hot Mechanical and Metallurgical Operations

Research Laboratory Eiichi TSUDA

The equipment for use in such processing as drilling, shaving and cutting or in testing mechanically and metallurgically high level radioactive materials and fission products is in strong demand. In such installations, each apparatus is set up in hot caves or in the water with remote control for the purpose of safeguarding the operators against radiation. Mitsubishi has manufactured vacuum equipment, drilling machines, fission gas collection systems, vertical lathes and grinding cutters to be used for producing electronic microscopic specimens operated by manipulators, accomplishing expected purpose of ease in remote control and making available desired performance of apparatus.

1. ま え が き

高放射性物質や核分裂生成物などの研究において、試料の穴あけ、切削、切断などの機械加工を施すことや、機械的性質や冶金学上の性質の試験を行なう装置が必要となる。とくに原子燃料についてはこのような要求が大きく、カプセル内に封入された原子燃料体試料を原子炉で照射し、その試料を取り出して金属学的な研究が行なわれている。そのため各種の試料を作成する機器が従来から用いられている。これらの試料は強い放射線を放出するため、機器をホットケープ内、または水中に設置して遠隔操作で取り扱っている。

また、天然ウランの取り扱いでは α 線のシャハイを考えればよく、ごく簡単なシャハイ材でよいが、自然性であることと毒性があるため、これらに機械加工を施す装置にはこれを防ぐ必要がある。そのため、この種の加工機にはフードを直接取り付け、換気をよくする方法がとられており、操作の容易さ、汚染の除去などを考慮して設計されている。この種の装置としては、市販されている工作機を改造し、フードを取り付けた旋盤、ペンチドリ、グライディングカッタ、ミリングマシン、ノコ盤などがある。

一方、原子炉内で照射された原子燃料体では、試料の大きさや照射時間によっても異なってくるが、数百キュリー以上の γ 線を放出しているのが普通である。したがって、プラスチックフードを取り付けたものでは、とうてい放射線から人体を保護することはできない。また、核分裂生成物の処理や汚染除去についても考慮しなければならない。そのため、これを取り扱う機器は鉛やコンクリートをシャハイ壁としたホットケープに据え付けて、遠隔操作する。これらの機器はホットケープに設置したマニプレータで操作するか、電動や油圧でホットケープ外から操作する。

当社では、電子顕微鏡試料作成用の真空蒸着装置、ドリリングマシンならびにガス捕集系、立形旋盤、グライディングカッタを製作した。これらはいずれも原子燃料体の研究用として用いるためのもので、ホットケープに設置しマニプレータを用いて操作するよう設計したものである。これらの機器はホットケープに設置するため、シャハイについては考慮する必要はないが、放射能汚染除去、マニプレータで操作するための容易さ、爆発、発火などに対する保護などに考慮を払い所期の目的を達成した。このうち、蒸着装置は三菱原

子力工業株式会社に、他の工作機は日本原子力研究所東海研究所に納入した。

2. 機器としての問題点

ここに報告する機器は、上にも述べたように高い放射性をもつ照射済みの原子燃料体であるため、いずれもホットケープに設置しマニプレータで操作する。そのため工場や実験室で用いる機器とは異なった問題点をもっている。

2.1 放射線に関する問題点

(1) シャハイ: 機器はかならずホットケープに設置するため、放射線被曝(曝)に対する防護はとくに考慮する必要はない。

(2) 排気: 原子炉で照射されたために生じた核分裂生成物が試料から放出される場合は、ホットケープが完全なリークタイトでないため、装置の中でこれらを捕集する必要がある。とくに試料を封入したカプセルに対し穴あけを行なうドリリングマシンでは、カプセル内部で発生した核分裂生成物が外部に漏れホットケープに散乱せぬように排気装置を設置し、ホットケープに装備してある排気系に接続する。

(3) 汚染: これらの機器は、いずれも核分裂生成物によって汚染される可能性がある。したがって、機器の使用後にこの汚染を除去するような設備をする必要がある。とくに、ドリリングマシン、旋盤、グライディングカッタでは必ず汚染される。したがってガスを流して洗浄したり、水や油を流して洗浄したり、あるいはシャワを設けて隅角部の洗浄を行なう。また機器の内部構造は加工中の切削液、切りくずなどがたまりぬよう間隙、ポケットなどを構成せぬようにする。そのほか排液や切りくずの回収が確実に行なえるような構造にし、また、外部に漏れないように考慮する。

2.2 機器本体に関する問題点

(1) 遠隔操作: 機器はすべてホットケープ内に設置されるので、機器とオペレータの間にはシャハイ壁があり、その間の距離は、少なくとも2m以上離れることになる。またホットケープ内部を観察するための窓、いわゆるシャハイ窓は1.0×0.8m程度で、視野はある程度限定されている。したがって機器の操作ハンドルは、できる限り機器の前面の中央に集めてある。しかも、これらのハンドルの操作はマニプレータを用いるため運動範囲が大きくなることを避け、また、マニプレータの取扱容量からハンドルトルクは小さくす

る必要がある。構造が複雑になると、コストが高くなること、電気部品あるいは油圧部品の増大のためとくに部品の耐放射線について考慮しなければならないことなどの点で、簡略な構造になるように心がけた。

(2) 自動化 マニプレータによる遠隔操作のため、作業時に同一動作の繰り返しが要求される部分、あるいは比較的長い時間におたって同一動作が継続される部分は、いずれも電気的な制御により自動化して、オペレータの負担の軽減を計った。

(3) 操作の容易さ 操作の容易さは、通常の実験室で用いられる同一機器よりもさらに強く要求される。機器とオペレータとの間隔が離れており、しかも窓越しの操作であるから目盛板などの文字は大きくした。また操作ハンドルの位置も、マニプレータの運動範囲を考慮に入れて、オペレータ側の床面からみてその高さは 80～100 cm の範囲にしてある。

(4) 発火、爆発 原子燃料体のうち、ウランは自然性であるため、加工中発火する可能性があり、そのため加工中は加工液に沈めておく。また消火のためシャワを取り付けてある。また、原子燃料体はカプセル内に NaK などとともに封入してあることがあり、カプセルから試料を取り出すときこれら NaK が空気中の水蒸気と反応を起こし爆発を起こすので、たとえばクロシに沈めて加工を行なえるような構造になっている。

(5) 材料 汚染除去の見地から、直接試料に接する部分や使用後の加工液や切りクズなどが触れる部分はステンレス鋼を用い、とくに潤滑については密封ベアリングや固体潤滑を用いた。

3. 装置の概要

各装置はいずれも原子炉内で照射された原子燃料体試料に対するもので、真空蒸着装置は電子顕微鏡のレプリカ試料作成用であり、ドリリングマシンはカプセル内の核分裂生成ガスを取り出すためのもの、ガス捕集系は、キャプセルドリリングマシンで取り出した核分裂生成ガスの発生量の測定とガスの分析を行なうためガスを捕集するもの、立形形盤はカプセル内から試料を取り出すためカプセルを突切るためのもの、およびグライディングカッタは試料を細片にして実験に必要な試料を作るためのものである。

3.1 真空蒸着装置

この装置は原子燃料体から 1 段レプリカ試料を作成するための装置で、破碎された 2 酸化ウラン試料面に 10^{-4} ～ 10^{-5} mmHg の

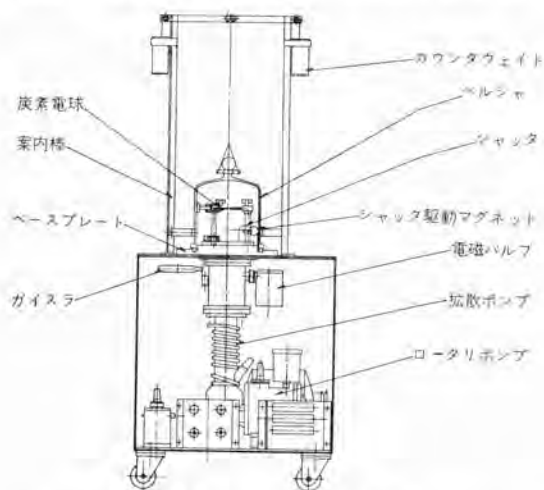


図 3.1 真空蒸着装置構成図

Fig. 3.1 General view of vacuum coating equipment.

真空中で炭素を蒸着するものである。装置は真空系と蒸着機構および操作盤からなる。このうち真空系と蒸着機構は図 3.1 に示すように一体構造とし、ホットケブに設置し、操作盤は、操作室に設置する。真空系と蒸着機構の構成は、一般に用いられているベルジャーを使った小形の真空蒸着装置とほとんど同じ構造で、その機能は次のとおりである。

ベルジャーの内容積	6 l
到達真空度	10^{-6} mmHg
10^{-5} mmHg に達する時間	30 min
蒸着に要する電圧および電流	20 V, 50 A
蒸着膜の厚さ	500 Å

この装置が放射性物質を取り扱い、マニプレータで遠隔操作するため、とくに注意して設計した点は

- (a) 蒸着機構のベッドラートの汚染除去が可能なこと
- (b) 排気あるいは空気を入れたとき試料が飛散せぬこと
- (c) 真空系の制御バルブは遠隔操作が容易であること
- (d) ベルジャーの開閉がマニプレータで容易に行なえること
- (e) 炭素電極の着脱がマニプレータで容易に行なえること

などである。蒸着機構のベッドラートは、その上に試料の容器が直接置かれるため、放射能汚染の除去が容易に行なえるようにステンレス鋼板を用いた。ベルジャー内を真空にするとき、および蒸着後空気を入れるときに、2 酸化ウランの粉末がベルジャー内に飛散して放射能汚染の範囲が広がらないよう、試料容器の出し入れと蒸着の場合以外は試料容器にフタをするようにしてある。このフタの開閉はベルジャー内でマグネットにより遠隔操作される。真空系の制御バルブは、マニプレータにより手動バルブを順次開閉することがかなりめんどうで時間がかかるものであることから、すべて電磁バルブとし操作盤のスイッチの開閉で容易に遠隔操作ができるようにした。ベルジャーの開閉は、マニプレータによって容易にベルジャーを上下できるようにカウンタウエイトをつけ、また案内棒を設けた。炭素電極の支持構造は最も注意を払った部分である。炭素電極は元来もろいうえ、蒸着の際に部分加熱による発熱を容易にするため、一方の電極は先端を鋭角にしてあるため非常に折れやすい。しかも 2 本の電極は互いにスプリングで押し付けておく必要がある。したがって電極をマニプレータによって交換することはかなり注意のいる操作となるため、一方の電極の支持棒を回転できるようにし、また電極の固定ネジのつまみもマニプレータで十分つかめるような大きさを選んだ。図 3.2 は装置の主要部分、図 3.3 は

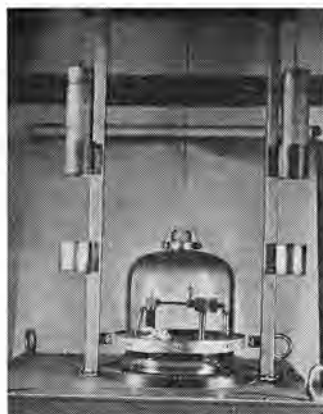


図 3.2 真空蒸着装置

Fig. 3.2 Vacuum coating equipment.



図 3.3 ベルジャー内の蒸着機構

Fig. 3.3 Vacuum coating parts inside a bell-jar.

ベルジャー 内の蒸着機構を示してある。

以上の点を考慮して設計してあるため、装置の取り扱い是非常に簡単である。マニプレータにより ベルジャー を適当な高さに持ち上げ、炭素電極を取り付け、試料のはいった容器を定位置に設定して ベルジャー を閉じる。次に操作盤によって、排気蒸着を行なえばよく、これら一連の操作は円滑に行なえた。

3.2 カプセルドリリングマシンおよびガス捕集系

この装置はステンレス鋼、シリコニウム合金、あるいはアルミニウムなどのカプセルに封入した原子燃料体を原子炉内で照射し、それによって生じた核分裂生成ガスを調べるため、カプセルに穴をあけ、放出された生成ガスの量を測定し、さらに分析するためガスを捕集するものである。装置はドリリングマシンとガス捕集系および操作盤で構成される。このうちドリリングマシンとガス捕集系は図3.4に示すように一体構造としてホットケーブに設置し、操作盤は図3.5に示すものを操作室に設置する。ドリリングマシンおよびガス捕集系の構成は図3.6および図3.7に示すようなものであり、その機能は次のとおりである。

ドリル 主軸の回転数	3,400 rpm
ドリル の送り速度	80 mm/min
ドリル 径	3 mm (一定)
穴あけ深さ	最大 8 mm



図 3.4 カプセルドリリングマシン および ガス 捕集系
Fig. 3.4 Capsule drilling machine and gas collection system



図 3.5 カプセルドリリングマシン および
ガス 捕集系操作盤
Fig. 3.5 Control panel of capsule drilling machine and gas collection system.

ホットケーブ 内で用いる各種加工機・津田

取り付け可能な カプセル 寸法

直径 10~35 mm
長さ 70~150 mm

到達真空度

10^{-2} mmHg

捕集 タンク 容積

600 cm³

この装置は、カプセルを真空中で穴あけし、放出された核分裂生成ガスを圧力差を利用して捕集するものでありホットケーブ内で遠隔操作されるため、とくに設計に注意した点は

- (a) カプセルの穴あけ位置の設定がマニプレータで行なえること
- (b) ハンドルはマニプレータで容易に取り扱えること
- (c) ドリルの軸封を簡単にする
- (d) ドリルの送りは自動化すること
- (e) 真空系の制御は遠隔操作できること
- (f) 捕集タンクの着脱がマニプレータで容易に行なえること
- (g) 配管系の破損事故を防ぎ、汚染除去が容易であること

などである。カプセルの穴あけ位置の設定は、穴あけが真空容器中で行なわれるためカプセルの固定位置の位置決め装置を設け、マニプレータで任意の位置に設定できるようにした。また位置の読み取りをシャハイ窓を通して読み取れるよう目盛りは十分大きくした。

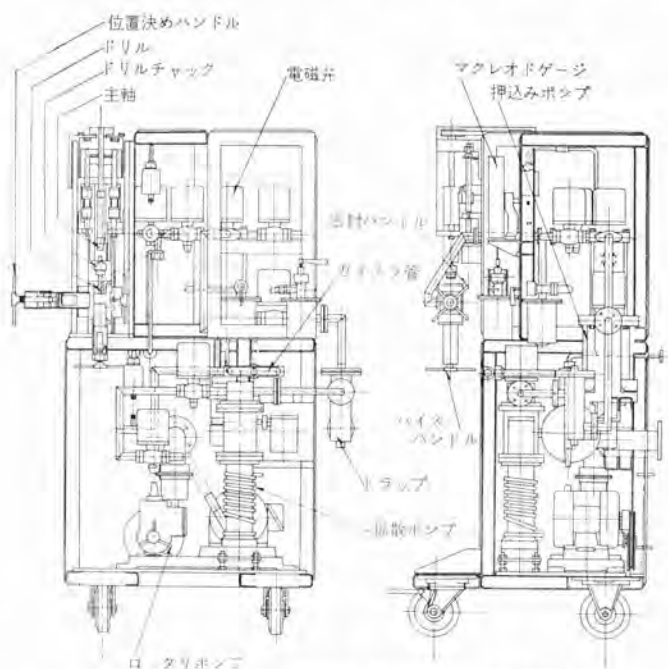


図 3.6 カプセルドリリングマシン および ガス 捕集系構成図
Fig. 3.6 General view of capsule drilling machine and gas collection system.

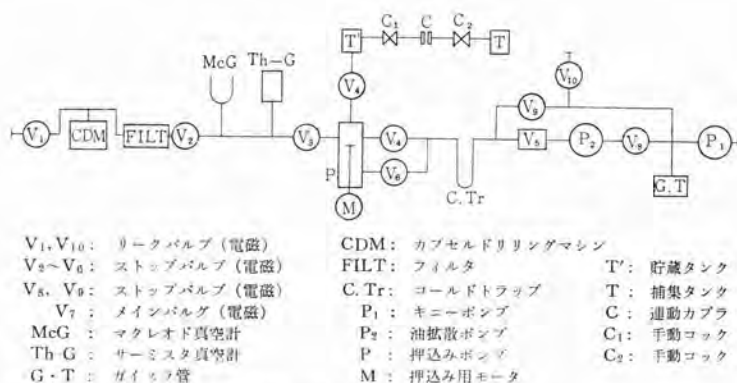


図 3.7 ガス 捕集系 ブロック線図
Fig. 3.7 Block diagram of gas collection system.

ハンドルの形状とハンドルトルクはマニプレータで容易に取り扱えるよう十字ハンドルとし、トルクは20 kg-cm以下となるようにした。直径6 mmのドリルロッドの先端に3 mmのドリルを焼パメで取り付け、ドリルロッドは2個のゴムシールの間に真空グリースを充填して軸封した。ドリルの送りの制御は穴あけの状態を観察できないため自動化した。すなわち穴あけ深さの設定は、操作盤のブリットカウンタで1 mmから8 mmまで1 mmおきに任意の深さに設定できるようにし、ドリルの最初の位置から、送り、穴あけ、戻り、停止の順序動作を自動化した。真空系の制御はこれを行なう真空バルブの数が多いので、マニプレータによる操作は困難であるので、真空バルブはすべて電磁バルブを用いた。また、操作盤の押しボタンスイッチの順次投入によって、排気、穴あけ、ガス捕集の操作は半自動的に制御され、誤操作が起こらないようにした。

捕集タンクの着脱は運動形の流体カップリングを改造し、マニプレータで容易に取り扱えるようにした。配管系は、汚染除去のためと遠隔操作による破損事故を防ぐため、大部分をステンレス鋼管を用い、一部ガラス器具とゴム管を用いた。

装置の取り扱いには、上に記した点を考慮した結果簡単なものとすることができた。マニプレータの遠隔操作によって、カプセルの取り付け、固定、装置の密封を行ない、操作盤によって排気、穴あけを行ない、また、その後マニプレータによりマクロドゲージによる放出ガスの圧力測定、操作盤によるガス捕集を行なって、最後にマニプレータによって捕集タンクを取りはずすという一連の操作が円滑に行なえた。なお、ガス捕集が完了すると配管系の汚染除去のため系の両端のバルブを開き、ドリリングマシンの方から不活性ガスを流し込めるようにした。

3.3 カプセルオープナ

カプセルオープナは、カプセル内から分裂生成ガスを取り出したあと、カプセル内の照射済みの原子燃料体試料を取り出すため、カプセルを突切するための旋盤である。図3.8の旋盤本体はホットケージに設置し、操作盤は操作室に設置する。この装置の機能は

- 主軸回転数 450 rpm
- 突切り可能なカプセルの大きさ
 - 直径 10, 13, 16, 20, 25, 30, 34.5 mm
 - 長さ 70~150 mm

この装置の本体の構成を図3.9に示す。この装置が照射済みの燃料体を直接取り扱うこと、カプセル内部にはNaKが燃料体とともに封入することもあること、ホットケージ内で遠隔操作することなどのため、とくに設計に注意した点は

- (a) カプセルをケロシンにつけて突切ることができること
- (b) 放射能汚染される部分を少なくすること
- (c) カプセルの着脱がマニプレータで容易に行なえること
- (d) 心押台、刃物台の送りは自動化すること
- (e) 目盛りの読み取りを容易にしハンドルの遠隔操作を容にすること

などである。カプセルをケロシンに



図3.8 カプセルオープナ
Fig. 3.8 Capsule opener.

つけて突切るとは、NaKが水に触れたり、空気中の水蒸気で反応を起して発火、爆発することを防ぐためである。このため、カプセルのまわりを硬質ガラスの容器でおおい、この容器の中にケロシンを満たすことができるようにした。その結果、突切り作業中のカプセルや刃物の監視が十分に行なえるためにも図3.9のような立形旋盤の構造とした。

放射能汚染される部分を少なくすることについては、立形旋盤の構造としたことでほとんど目的を達し、主軸電動機、減速機構、その他補機などをすべてペッドプレートの下に格納して汚染する部分を少なくした。

カプセルの着脱機構は、構造を簡単にし、マニプレータで容易に取り扱えること、放射能汚染の除去が容易に行なえること、およびケロシンがつかるといことから、引込形のコレットチャックとした。

心押台、刃物台の送りは、マニプレータにより遠隔操作を行なうにはハンドル操作のための機構が複雑になるので、電動として操作盤で任意の位置に設定できるようにした。このため心押台には押付力の調整機構を設けた。

目盛りの読み取りとハンドルの形状については、刃物の切り込みはマニプレータにより切込ハンドルを回転して与えるので切込量は切込ハンドルの目盛円筒で読み取ればよく、シャヘイ窓を通して十分読み取れるよう、文字や目盛りは大きくしてある。また、ハンドルは十字ハンドルを用いて、コレットの締め付けと開放、切込ハンドルの回転を容易なものとした。

このような考慮の結果、装置の取り扱いはマニプレータによる遠隔操作がほとんどであるが、簡単に行なえるものとなった。操作はカプセル径に応じコレットを主軸に取り付け、カプセルをコレットチャックにそう入して、コレット締め付けハンドルを回してカプセルを保持できれば、操作盤によって硬質ガラスの容器にケロシンを満たし刃物台の位置を設定して主軸を回転する。以後、マニプレータで切込ハンドルを回転して突切り作業を行なう。作業完了後は容器内のケロシンを排液容器に入れ、カプセル、試料の取り出しを行なう。

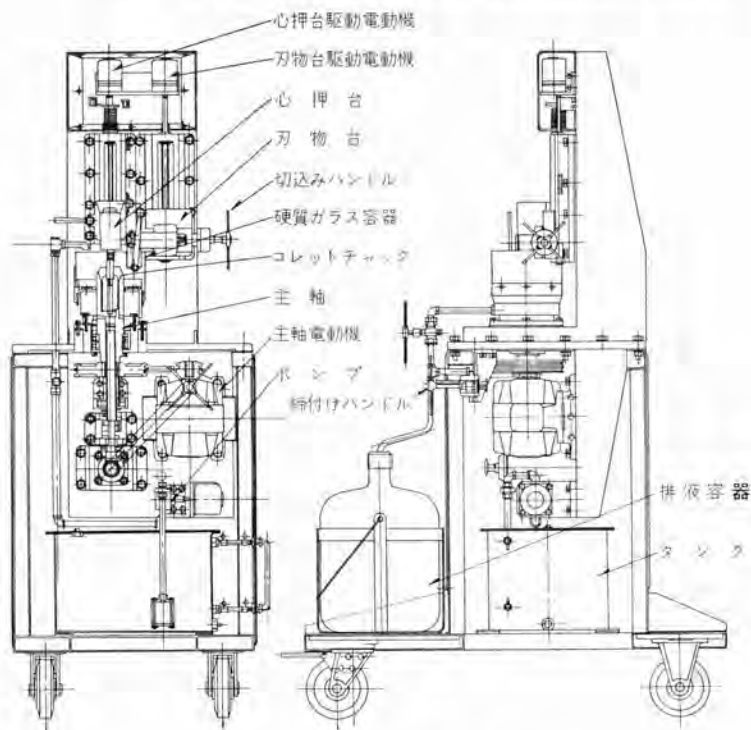


図3.9 カプセルオープナ 構成図
Fig. 3.9 General view of capsule opener.

装置の洗浄、とくに容器内およびコレットチャック内はタンク内のケロシンを流して行なえるようにした。

3.4 サンプルカッター

サンプルカッターは、カプセル内から取り出した照射済みの原子燃料体試料を金属学的試料にするため切断加工するグラインディングカッターである。図3.10のサンプルカッターはホットケーブ内に設置し操作盤は操作室に設置する。この装置の機能は

主軸回転数 3,500 rpm
送り速度 30 mm/min
ダイヤモンドホイール
直径 200 mm
厚さ 0.8 mm

切断可能な試料の大きさ

直径 最大 35 mm
長さ 最大 150 mm
最小 5 mm

切断厚さ

最小 5 mm

この装置の本体の構成を図3.11に示す。この装置が照射済みの燃料体を直接取り扱うこと、燃料体には切断中自然発火するものがあること、およびホットケーブでマニプレータにより遠隔操作することなどのため、とくに設計に注意した点は

- (a) 水中切断ができること
- (b) 放射能汚染される部分を少なくすること
- (c) ホイールの送りの制御を自動化すること
- (d) 目盛りの読み取りを容易なものにすること
- (e) マニプレータによるハンドル操作を容易にすること

などである。水中切断についてはウラン燃料体を取り扱うことがあるので、切断中の自然発火を防ぐ必要があり、そのためバイスを水タンク内に設置し、試料を完全に水中に入れてバイスで保持できるようにした。また乾燥状態の切断、カッター部分のみの注水などが行なえるようにもした。

放射能汚染される部分を少なくすることはどの機器でも要求されるが、とくに、この装置では照射済み燃料体の研削ツグが飛散するため、試料、バイス、位置決め機構、ホイールはステンレス鋼板の容器に密閉できる構造とした。このため、ホイールが上下する部分はネオプレンのブーツを用いて可とう性をもたせ、またバイスや位置決め機構の容器を貫通する軸はすべてゴムシールで軸封してある。また、装置の前面は試料の出し入れ口があるが、内部を観察できるようにアクリルの窓を設けて、この出し入れ口を密閉するようにした。このステンレス鋼板の容器の内部には、シャワを設け、容器の内面、バイス、位置決め機構なども洗浄できる。ホイールの送りは最初の位置から送られて、切断、戻りという行程をとるので、操作は自動化した。また、切断される試料の径で、この行程が変わ



図 3.10 サンプルカッター
Fig. 3.10 Sample cutter.

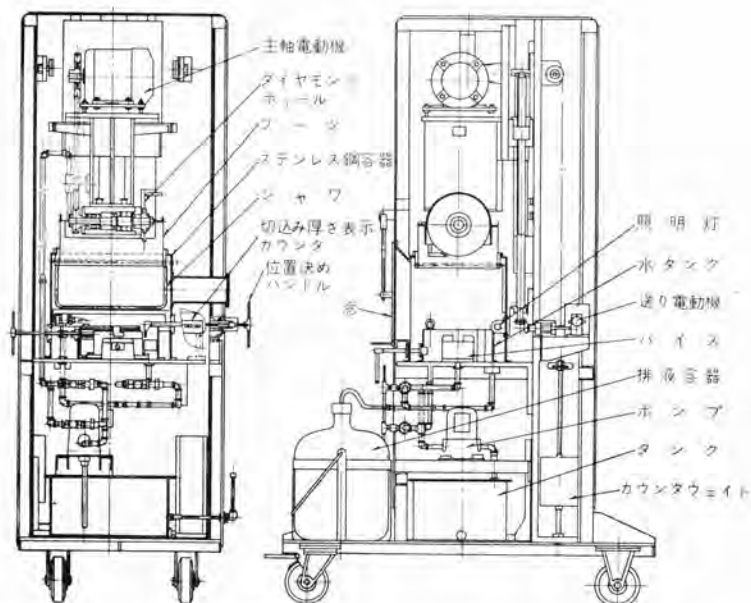


図 3.11 サンプルカッター 構成図
Fig. 3.11 General view of sample cutter.

ないようにして操作を簡単化した。

なお、ホイールの選定は、2 酸化ウラン燃料体やセラミック燃料体を切断することを考慮してダイヤモンドホイールを用いた。

目盛りの読み取りは、切断厚さを知るために必要であるが、さきのカプセルオープナの切込量のような方法では機構上読み取りにくい。ため、メカニカルレジスタをサンプルカッター本体前面に取り付けて、最小1 mm までを読み取るようにした。また、小数以下はハンドルの回転目盛筒で読み取るようにした。ハンドルの形状と位置については、連続回転するハンドルはすべて十字ハンドルを用いた。また各ハンドルの位置はできるかぎり本体前面に集め、マニプレータによる操作を容易にした。

このような考慮の結果、装置の取り扱いが簡単なものとなった。マニプレータによる試料の取り付け、取り出し、位置決め、締め付け、研削液・排液のコックの開閉の一連の動作、および操作盤による試料の切断が円滑に行なえた。

4. む す び

以上、当社で製作した4種のホットケーブ内で用いる装置を報告した。このような高放射性物質や核分裂生物を取り扱う機器は、諸外国ではかなり以前から用いられている。国内では、市販の工作機を改造してフードを取り付けたものが用いられているが、ここに報告したようなホットケーブ専用の、マニプレータで操作するように設計された装置は初めてのものである。

これらの機器は遠隔操作における取り扱いの容易さ、装置の機能、汚染除去などについて、ほぼ所期の目的を達したものが製作できた。

(昭 38-9-12 受付)

BF₃ 比例計数管

宮下 恭一*・石井 武美*

BF₃ Proportional Counters

Research Laboratory Kyōichi MIYASHITA・Takemi ISHII

The BF₃ proportional counter is a nuclear detector to be used for thermal neutron. Of counters developed by Mitsubishi typical ones are selected to discuss the relations among the following characteristics; gas multiplication, pulse height distribution, plateau characteristics, effect of electron attachment and wall effect. A good counter which is capable of distinguishing neutron pulses subject to the of wall effect from gamma pulses shows that there is a region where the plateau slope becomes practically zero. It has been confirmed that the counter has a life of 10⁹ counts. It is also found that the background counts free from external neutron are 0.005 cpm/cm² and these come from α -radiative material in aluminium cathode. Temperature dependence of the counting rate, in the preliminary experiment, shows fairly large.

1. ま え が き

BF₃ 比例計数管を使うと、計数管内部で B¹⁰(n, α)Li⁷ 反応を起させることによって、それ自身電荷を持たない中性子を検出することができる。これは、この反応によって生ずる α 粒子と Li 反跳核とが、電気的な信号を作り出すのを助けるからである。

この計数管は、熱中性子を効率よく検出できる点と、中性子と γ 線とを比較的良好に識別できる点で、他の計数管、たとえばシンチレーション検出器、フィッション計数管よりすぐれている。また他の計数管と違ってこの計数管には、ガス増幅作用があるので、計数管の外部に大きな利得の増幅回路を設けなくても、中性子に起因する電気信号を観測できる利点がある。このため原子炉の運転はもとより、中性子のモニタなどに今日では広く利用されている。

BF₃ 比例計数管には、1939年に KORFF と DANFORTH が最初の研究⁽¹⁾を発表して以来多くの研究があるが、最近までこの計数管は作りにくいものだとされてきた。これは計数管に充填するガスの純化が比較的むづかしいからでもあるが、真空技術的にも多少考えなければならない問題が残っていたからであろうと思われる。現在ではガス純化の技術も進歩したし、真空に関する技術も進歩したので、計数管製作の困難さは、はるかに軽くなっているといつてよい。

ところで、われわれが計数管を使って中性子を検出する場合、外部の検出回路の特性が多少変動したとしても、計数管自身は常に安定な性能を持ち続けてくれることが望ましい。外部の印加電圧に対する計数管の安定さを表わす方法として、一般に“プラトー特性”という表示法が使われる。これをさらによく知るためには、“ガス増幅率”“壁効果”“電子付着現象”などの特性について詳しく考える必要がある。また、このほかに計数管の寸法や充填ガス圧によってきまる“検出効率”とか、低い中性子束中で中性子を測定する場合に問題になる“バックグラウンド特性”などについても、計数管を使用する立場から知識が必要となる。また、測定場所の温度が変化する場合には、計数管が“温度依存性”を持つことに注意しなければならないし、“寿命”についても考えておく必要がある。

以下に、上に述べた種々の特性を解説しながら、われわれの得

た結果について報告する。これらのデータはわれわれが標準品として市販している形のものの一部である。

2. BF₃ 比例計数管の原理と構造

2.1 原理

BF₃ 比例計数管は、後に述べる理由で一般に同軸円筒状の電極で構成され、計数管の中には 96% に B¹⁰ が濃縮された BF₃ ガスが充填される。構造の概略を図 2.1 に示すように、一本の中心線つまり陽極線と、容器壁をかねた陰極がおもな部分である。

この計数管に熱中性子が注がれると、計数管に充填されている BF₃ ガス中の B¹⁰ と中性子とが核反応を起こして α 粒子と Li 反跳核とを放出する。このそれぞれ正電荷を持った二つの粒子は、BF₃ ガス中を飛行するうちに核反応時に与えられたエネルギーを徐々に失い、これらの道すじにある BF₃ ガス分子を電離あるいは励起しながら、その飛行の終わりで完全に最初のエネルギーを放出してしまう。われわれが、電荷を持たない中性子を電気的に検出できるのは、この二つの粒子の飛跡に沿って電離されたイオン対を、あらかじめ高電圧を印加した計数管の電極に集めることができるからである。しかし、一般にこの電離によるイオン（一次電離）の量は少なく、このイオン流だけで核反応を検出しようとすれば、外部の増幅回路の利得をかなり必要とする。しかし、印加電圧を適当に調節して、電極間の電界をある極限値（この電界を与えるに必要な電極間の電圧を一般に“ガス増幅しきい値電圧”（図 2.1）以上）に保てば、計数管に増幅作用を持たせることができるか



図 2.1 計数管構造図
Fig. 2.1 Sectional view of the counter.

①	下	ブ	タ
②	ガラス	ビード	
③	外筒	(陽極)	
④	陰極	板	
⑤	セラミック	シール	
⑥	絶縁	物	
⑦	接点	(陰)	

ら、外部の増幅回路の利得をかなり低くすることができる。

計数管の増幅作用について次に簡単に述べよう。計数管内で一次電離によって作られたイオン対のうちの電子は電極間の電界中を走行するにつれて加速され、運動エネルギーを蓄える。電子のエネルギーがある値以上になると、電子は新たに中性ガス分子を電離できるようになる。電離を始めるまでに電子は、15~30eVのエネルギーを電界から与えられなければならないといわれている⁽²⁾。さて、このようにして電離された電子は、ふたたび電界中を走るうちに他の分子を電離するに十分なエネルギーを得るから、つぎつぎと分子を電離し続ける。したがって、このようにして作られた電子の一群が陽極に達するまでには、イオン対の数はまたたく間に増加する。このような増幅作用を一般にガス増幅作用といい、電子がつぎつぎとなだれのように次の電子を生み出す過程を電子ナだれという。

また、励起されたガス分子から放出される光子による光電子や、管壁に到達したイオンによる二次電子の放出などの少ない管壁材料を用い適当な電圧を印加してやれば、ガス増幅によって得られる電荷の総量は一次電離に比例するようになり、この比例係数は計数管の寸法や印加電圧が一定ならば一定である。したがって、このような増幅機構を持つ計数管を一般に比例計数管というのである。BF₃計数管は、この比例計数管の代表的なものの一つである。

ところで、計数管内で起こる核反応はきまったエネルギーを前にのべた2粒子に与えるから、これによって電離される一次電離イオンの量はある一定の量になる。したがって陽極に集められた電荷の量で表わしたこの核反応のエネルギースペクトルは、図2.2のように線スペクトルとなるはずである。というのは、中性子とB¹⁰が核反応した場合に α 粒子とLi反跳核の二つに与えられる運動エネルギーは、Li反跳核の核の内部状態が基底状態にあるものは2.8MeV、励起状態にあるものは2.3MeVであるからである。

しかし、実際のスペクトルは、図2.3のようにこれらのエネルギー値を中心としてある広がりを持つばかりでなく、エネルギーの低域側にも広くくずれるのである。この広がりの起こる原因は、各核反応において作られた荷電粒子の中性分子に対する電離作用とガス増幅が一様でなく統計的な分布を持つことのほかに、電子付着を起しやすい不純なガス（たとえば酸素とか水蒸気）が計数管に残っていて、電離されて生まれた電子に付着しては重い陰イオンに変えてしまうからである。というのは、重い陰イオンは、電界に

よって加速されにくく、電子ナだれを起させないからである。また、エネルギーの低域側に広くくずれるをひいてスペクトルがひろがるのは、計数管壁の近くで起こった核反応による粒子が壁にそのエネルギーの一部を与えてしまうからである。このエネルギーの低域側に、くすをひいて広くスペクトルがくずれる作用を壁効果といい、計数管の大きさが、この二つの荷電粒子の飛程の和に比べて小さいときにはとくに注意しなければならない現象である。

2.2 構造

一般に比例計数管においては、比較的低い電圧を印加することによって高電界を形成できる利点があるところから、細い陽極線をもった電極構造が採用される。具体例は図2.1に掲げた、計数管のガス容器をかねる陰極材料や、その他の主要構造材料にはアルミニウムを使用した。一般に、これに対して電極処理が容易なことと、組立にロー付やハンダ付が使えるという有利さから、BF₃計数管の陰極材料には無酸素銅が広く使われているが、銅は熱中性子の吸収が大きく、また誘導放射能を帯びるので中性子検出器材料としては好ましいものではない。われわれが、その工作の困難さにもかかわらず、中性子吸収の少ない純アルミニウムをあえて使った理由はここにある。また陽極線にはタングステン線を使った。陽極線は、ガラスビードとセラミックシールによって陰極から絶縁されている。続いて掲げる諸特性のデータは表2.1の寸法を持つ計数管によって得たものである。

表2.1 計数管構造 (単位 mm)

形 式		ND-8122-E	ND-8124-E	ND-8125-E
寸 法	(外径)	25	50	13
	(内径)	21.8	45	9.8
	陽 極 線 径	0.08	0.08	0.08
	全 長	348	333	170
材 質	有 効 長	235	235	95
	本 体 (陰極)	アルミニウム	アルミニウム	アルミニウム
	陽 極	タングステン	タングステン	タングステン
	絶 縁 物	テフロン ステアタイト	テフロン ステアタイト	テフロン ステアタイト
装 置	接セン(栓)	黄 銅	黄 銅	サ シ
	充テングス	96% 以上濃縮 B ¹⁰ F ₃		

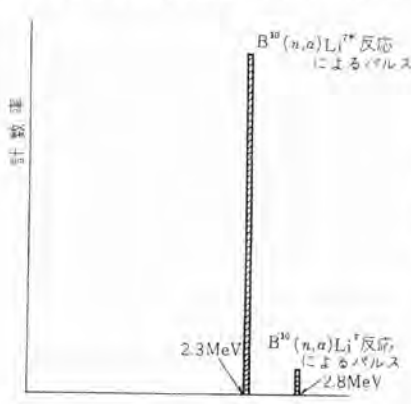
計数管内に残ったよごれは、BF₃ガスと化学反応し計数特性に有害な不純物を作り出すおそれがある。われわれは、これを防ぐため、計数管の内部を溶剤を使って十分洗浄してから組み立てを行なった。また、計数管の全部の封じ込み部分はアルゴン溶接にしてある。これは、計数管内部に不純ガスを残さないよう計数管を加熱ガス出しする際に、非常に有効な構造であって、200°C近くの加熱が可能である。また、BF₃ガス発生充テングス系に有機物、

とくにゴムパッキンやグリースがあると、BF₃ガスおよびそれに伴うHFガスなどがこれらと激しく反応し、計数管にとって望ましくない不純物を発生させる⁽³⁾⁽⁴⁾ので、ガラス管の使用をさけ、全系をステンレス鋼およびテフロンパッキンで作り上げた。したがって、弁類を含めた排気系は、300°C連続加熱によるガス出しに十分耐える。また排気には油拡散ポンプおよび液体酸素トラップを使った。

3. 計数管の諸特性

3.1 ガス増幅率

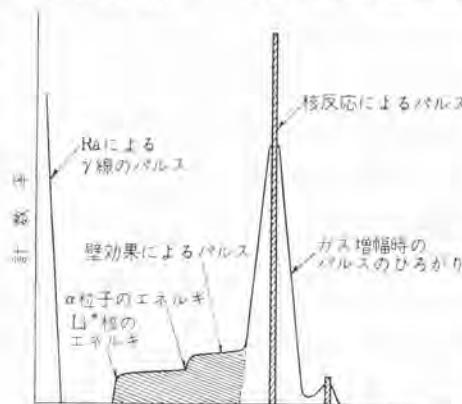
2.1 節 原理の項で述べたように、



核反応による荷電粒子がガス増幅の結果作り出す電子の電荷総量 (パルスの大きさ)

(注) Li⁺はLi核が励起状態にあることを示す

図2.2 核反応エネルギースペクトル
Fig. 2.2 Ideal spectrum of energy produced by B¹⁰(n, α) reaction.



核反応による荷電粒子がガス増幅の結果作り出す電子の電荷総量 (パルスの大きさ)

図2.3 計数管のパルス波高分布曲線 (概略図)
Fig. 2.3 Pulse height distribution of the counter. (schematic)

BF₃ 比例計数管にはガス増幅作用があり、このガス増幅作用の大きさを表わす方法として、ガス増幅率が定義される。ガス増幅率 M は、増加されて陽極に集められた電子の電荷総量 Q と、一次電離で作り出された電子の電荷総量 q との比率である。つまり、

$$M = Q/q \quad (3.1)$$

と書ける。また、陽極に集められた電荷は外部の検出回路を通して観測されるのであるから、この回路の諸定数を使って、

$$M = (CV/G)q = \{C(q \cdot G)\}V \quad (3.2)$$

とも書ける。ここで、 C は計数管と前置増幅器を含めた全入力容量 (F) であり、 G は増幅器の電圧利得、 V は増幅器の出力パルス電圧 (V) の大きさである。

q の値は、実験値を基にして計算で求める。B¹⁰(n, α)Li* 反応の場合には、一次電離によってイオン対は 6.9×10^4 個作られるから、一次電離による電子の電荷総量は 1.1×10^{-11} (C) である。これは、この核反応で生み出される Li 反跳核の大部分 (約 93%)⁽⁶⁾ が励起状態にあって、この Li 核と α 粒子とが運動エネルギーとして外に出すことのできるのは、2.3 MeV のエネルギーであるということと、これらの荷電粒子が BF₃ ガス分子を 1 個電離するのに、平均 33.3 eV⁽⁶⁾ 必要であるという実験値から得られたものである。(実際に 1 個の BF₃ 分子を電離するには、20 eV 内外のエネルギーで足りるが、分子の励起などにもエネルギーは費やされるので、平均すれば 33.3 eV になる。)

ガス増幅率の測定は、図 3.1 に示す回路で行ない、CRT に現われる核反応信号のうち、最も多く現われる信号、つまり 2.3 MeV のエネルギーで作り出される信号の大きさを読んだ。ガス増幅率の高い領域での前置増幅器は、図 3.2 に示したものを使えばよい。以下に掲げるガス増幅率の実測値は、計数管の容量インピーダンスが、それぞれ表 3.1 であり、計数管を除いたときの前置増幅器の全入

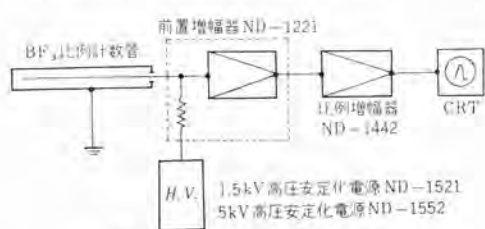


図 3.1 ガス増幅率測定回路
Fig. 3.1 Block diagram of measuring gas multiplication factor.

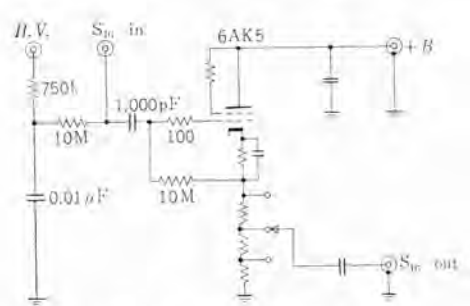


図 3.2 低増幅用前置増幅器
Fig. 3.2 Pre-amplifier for low amplification.

表 3.1 各計数管の容量

形 式	容 量 (平 均) (F)
ND-8122-E	6.8×10^{-12}
ND-8124-E	7.0×10^{-12}
ND-8125-E	6.1×10^{-12}

力容量が、 5.1×10^{-11} (F) の場合である。なおこのとき、前置増幅器には、50 cm の信号ケーブルを取り付け計数管との接続に使った。

実際のガス増幅率曲線を、図 3.3~3.5 に示す。これらの曲線群は、同一の計数管に異なったガス圧でガスを充填し、その増幅率を測定したものである。図 3.3 は、ND-8122-E のもので、陽極線径が 0.08 mm φ、陰極内径が 21.8 mm φ であり、計数管内圧を 10 cm Hg おきに変化させて得られたものである。横軸が印加電圧、縦軸がガス増幅率である。同じように図 3.4 は、ND-8124-E の曲線群で、陽極線径が 0.08 mm φ、陰極径が 45 mm φ

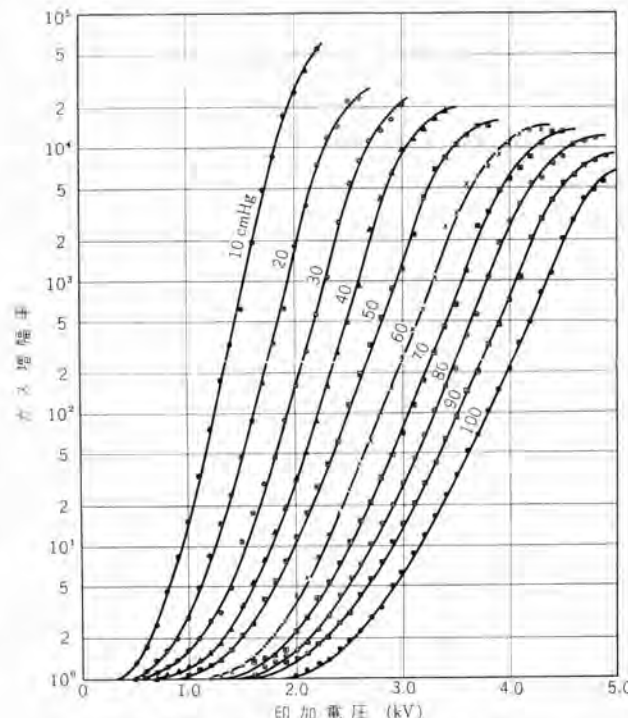


図 3.3 ND-8122-E のガス増幅率曲線
Fig. 3.3 Gas multiplication factor of ND-8122-E.

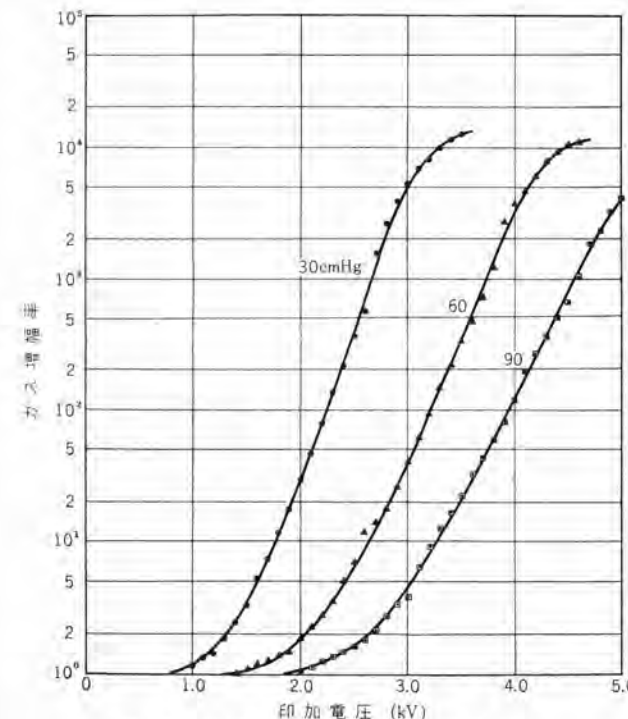


図 3.4 ND-8124-E のガス増幅率曲線
Fig. 3.4 Gas multiplication factor of ND-8124-E.

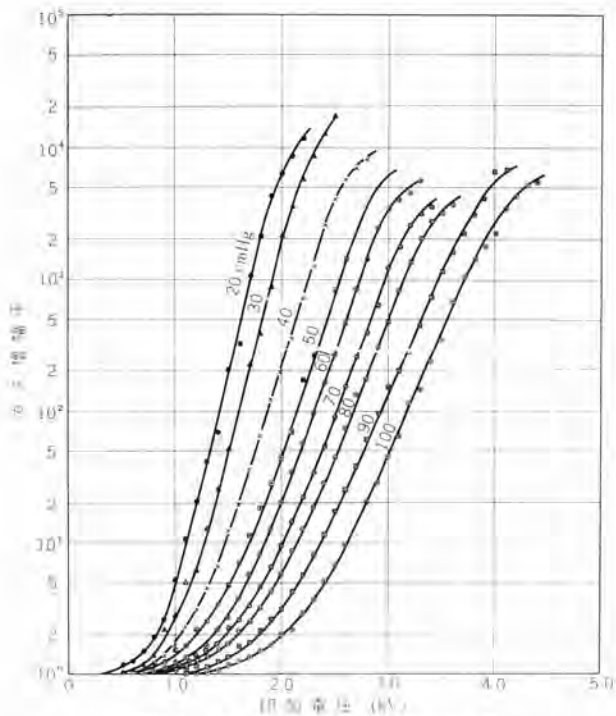


図 3.5 ND-8125-E のガス増幅率曲線
Fig. 3.5 Gas multiplication factor of ND-8125-E.

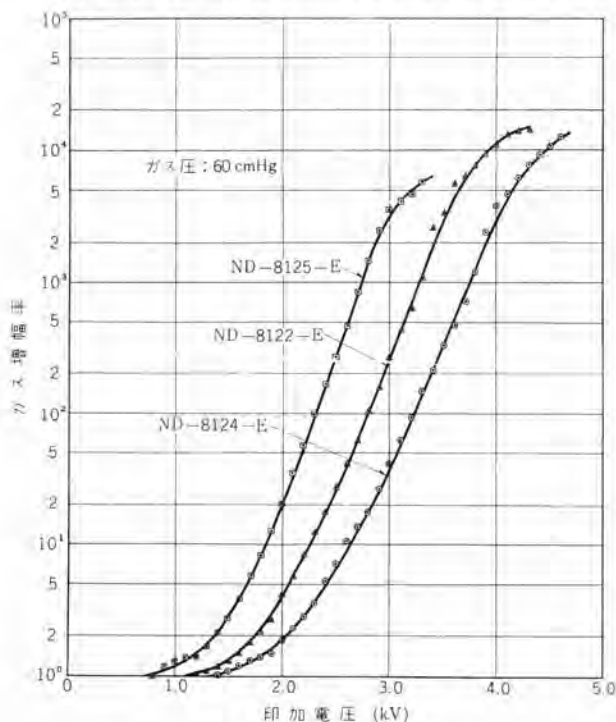


図 3.6 計数管陰極内径とガス増幅率
Fig. 3.6 Relation between bore of cathode and gas multiplication factor.

の寸法の場合である。また図 3.5 は ND-8125-E のものであって、陽極線径が 0.08 mm ϕ 、陰極内径が 9.8 mm ϕ の場合である。計数管の充テツガス圧はすべて、+0.5 ~ -0.0 cm Hg の誤差範囲に制御して充テツしてある。

これらの図から、同一のガス増幅率を得るためには、充テツされた BF_3 ガスの内圧が低いほど低い印加電圧でよいことが、すぐわかるであろう。

次に、同一の圧力 (60 cm Hg -20°C) で計数管の大きさを変えた場合の特性を図 3.6 ~ 3.7 に示す。図 3.6 は、外筒の大きさを変化させた場合のガス増幅率特性で、同一陽極線径では、陰極内

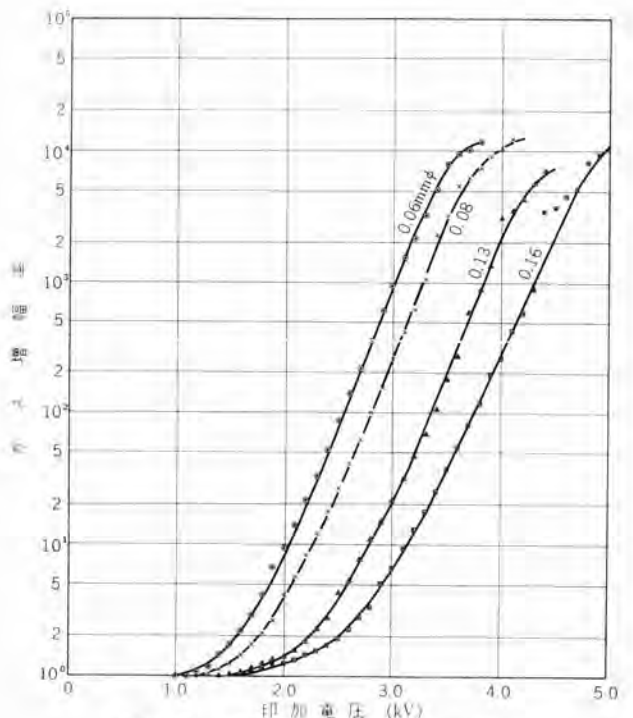


図 3.7 計数管陽極線径とガス増幅率
Fig. 3.7 Relation between diameter of anode and gas multiplication factor.

径の小さいほど、低電圧で同じ大きさのガス増幅率の得られることを示している。図 3.7 は陽極線径を変えた場合の特性である。このとき陰極内径は 21.8 mm ϕ であり一定に保ってある。ここでも陽極線径が小さければ小さいほど、より低い印加電圧で同じ大きさのガス増幅率が得られることがわかるであろう。

なお、これらの測定には、中性子源として 5 mc と 10 mc の $\text{Ra} + \text{Be}$ を使い、これをパラフィンで熱中性子に変えた。そして計数管の検出効率に応じて二つの線源を適当に組み合わせ中性子束の大きさを調整した。

3.2 壁効果

壁効果は、核反応の結果、壁の近くで生まれた α 粒子と Li 反跳核の飛程が、管内のガス中で完全に終わらないうちに、これらの粒子が管壁に衝突したときに起こる。管壁にこれらの粒子のエネルギーが吸収されると、それに衝突しないでガス中を飛行したときに作り出されるはずのイオン対が、その分だけ発生しないから、一次電離による電荷の量は減ることになる。したがって、壁に衝突しないで完全に電離すれば、正常な大きさの電気信号（以下、パルスと略称する）の得られたものも、図 2.3 のように、エネルギーの低域側に広く分布するパルスとなるのである。

このように、壁効果によるパルスが、定った正常な大きさのパルスを示す位置からくずれて、すそ広く分布することはラトー特性の項で述べるように望ましくないことであるが、原理的にはこれを完全にすることができないのは明らかであろう。しかしながら、壁効果の理論⁽⁷⁾によると、簡単な演算によって壁効果の大きさ R （壁効果を受けているパルスと全パルスとの比率）は

$$R = s/d \quad (3.3)$$

として求められる。これは、熱中性子による核反応が管内で一様に起こり、おのおのの核反応によって生まれた二つの粒子の飛行の方向は、計数管全体から見れば無差別である、という仮定から導かれる。ここで s は BF_3 ガス中での二つの粒子の飛程の和であり、 d は計数管の内径である。したがって壁効果を小さくするために

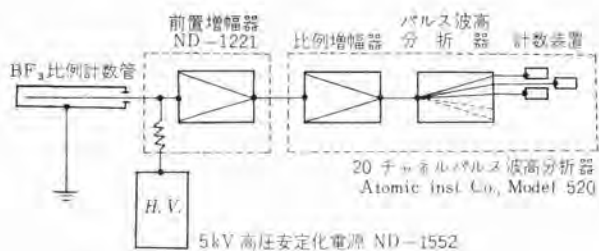


図 3.8 壁効果測定回路

Fig. 3.8 Block diagram for measuring wall effect.

図 3.9 実際のパルス波高分布曲線
Fig. 3.9 Pulse height distribution of the counter.

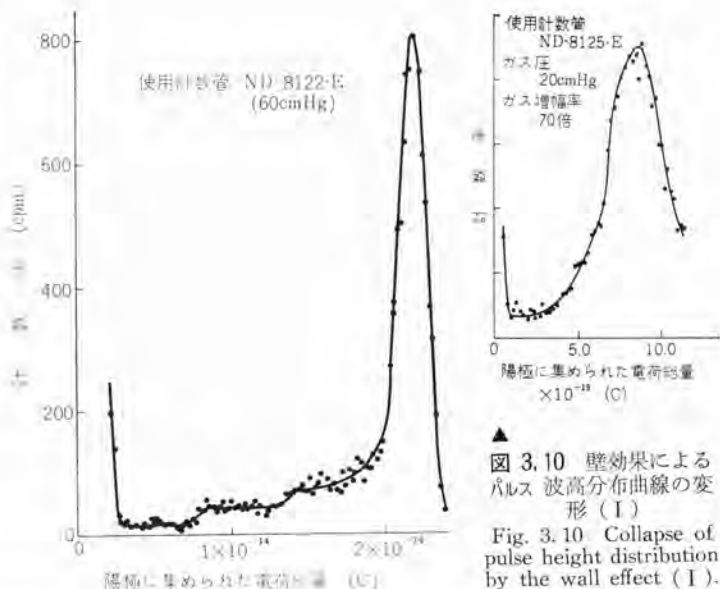


図 3.10 壁効果によるパルス波高分布曲線の変形 (I)
Fig. 3.10 Collapse of pulse height distribution by the wall effect (I).

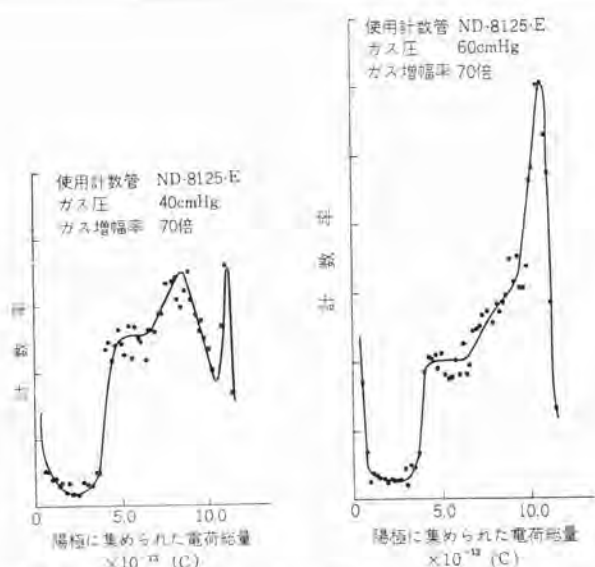


図 3.11 壁効果によるパルス波高分布曲線の変形 (II)
Fig. 3.11 Collapse of pulse height distribution by the wall effect (II).

図 3.12 壁効果によるパルス波高分布曲線の変形 (III)
Fig. 3.12 Collapse of pulse height distribution by the wall effect (III).

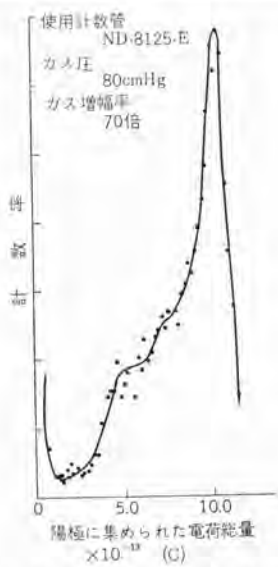


図 3.13 壁効果によるパルス波高分布曲線の変形 (IV)
Fig. 3.13 Collapse of pulse height distribution by the wall effect (IV).

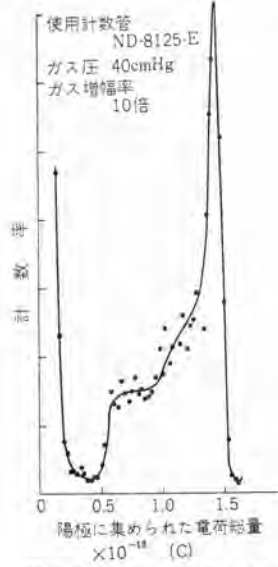


図 3.14 壁効果によるパルス波高分布曲線の変形 (V)
Fig. 3.14 Collapse of pulse height distribution by the wall effect (V).

は、計数管の内径を大きくして壁の近くで核反応を起こす確率の相対比を小さくするか、粒子の飛程を減らすために、計数管のガス圧を上昇させればよい。

壁効果の測定は、計数管から取り出された中性子によるパルスを波高分析すればよい。測定回路の構成は、図 3.8 のようである。その結果、たとえば ND-8122-E で内圧が 60 cm Hg (20°C) の場合には、図 3.9 のようになる。このときのガス増幅率は 3.5 であり、壁効果は実測値 32% である。

ところで壁効果は式 (3.3) で明かなように、同じ圧力のものでは計数管の内径の小さいものほど大きい。したがって、とくにこの効果を起こさせるために、内径 9.8 mm φ の ND-8125-E を使ってこの実験を行なった。図 3.10~3.13 は、おのおののガス圧におけるパルス波高分布曲線であり、低圧になるほど壁効果が大きいことが明らかである。この場合ガス圧が 40 cm Hg (20°C) 以下では、すべてのパルスが壁効果でくずされ、このくずされたパルスによって新たに分布に山が作られているのがわかるであらう。

表 3.2 各圧力における壁効果 (ND-8125-E)

圧力 (cm Hg)	壁効果 (%)	
	実測値 (ガス増幅率=70)	理論値 (s/d)
20	100	100
40	81.4	100
60	60.1	77
80	46.6	40

う。これら各圧力における壁効果の大きさを表にしたのが表 3.2 である。また図 3.14 は、ガス圧が 60 cm Hg (20°C) でガス増幅率が 10 倍のときのパルス波高分布曲線を示していて、これと図 3.12 と比較することによって壁効果はガス増幅率に影響されないことがわかるであらう。

なお中性子源に Ra+Be 15 me を使ったので、計数管周辺の γ 線の強さは、0.7 r/h である。

3.3 電子付着効果

計数管の中で電子に対して親和性を持ち、重い陰イオンを作りやすいガス分子 (酸素および水蒸気など) が残っていると、一次

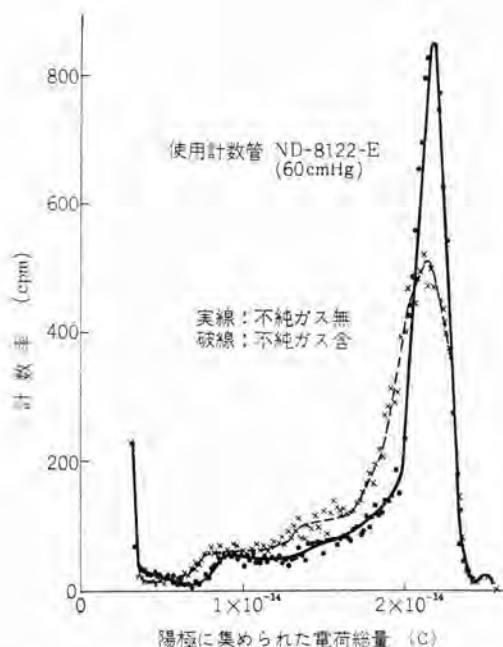


図 3.15 電子付着効果

Fig. 3.15 Effect of electron attachment.

電離以下で作り出された電子がこれらのガスに付着されてしまう。であるから陰イオンを作るために使われた電子は、続いて起こるガス増幅作用に関係なくなってしまう、パルス大きさは減ってくる。したがってパルス波高分布曲線は正常なものよりくずれてゆくわけである。

壁効果と同じ条件で、電子付着効果を測定したものが図 3.15 である。これは ND-8122-E ガス圧 60 cm Hg (20°C) の計数管で測定したもので、まず、電子親和性を持つガスを含まないように純化した BF_3 ガスを計数管に充てんしてパルス波高分布曲線をとった後、この BF_3 ガスを抜き出してしまい、同じ計数管に微量の不純物ガスを含んだ BF_3 ガスを充てんしてパルス波高分布曲線をとったものである。これから明らかに不純物ガスを含ませられた計数管(破線)は、注意深く不純ガスを除いた BF_3 ガスを充てんした計数管(実線)に比べて、パルス波高分布曲線はくずれているわけである。なお、このときのガス増幅率は4倍である。

このように、不純物ガスが BF_3 ガスに混じることは計数管の特性を著しくそこなうから、ガスの純度が計数管の性能をきめてしまうといってもいいすぎではない。したがって、さきにも述べたように、 BF_3 ガス充てんにあたっては計数管を十分にガス出しし、また化学反応性の強い BF_3 ガスと反応して不純物を生成するような物質をガス充てん系内に持ちこまないことが重要である。

3.4 プラトー特性

プラトー特性とは、一定の放射線強度のもとで計数管の印加電圧を順次変化させて各電圧に対する計数率を測定したとき、ある電圧範囲内において、図 3.16 (a) のように曲線に比較的平らな部分を作る特性である。

ここでプラトー特性の現われる原因を簡単に述べよう。印加電圧を増加させると、ガス増幅率が増加することは前に述べたが、測定回路を図 3.17 のように構成して一定の波高弁別電圧に設定した波高弁別器にパルスを通せば、最初ガス増幅率の小さいときには、定められた波高弁別電圧を越えて出ることのできなかったパルスも、ガス増幅率を次第に上げてゆくことによって、徐々にそれを越えて出てきて計数器にかかるようになる。ところで、パルス

BF_3 比例計数管・宮下・石井

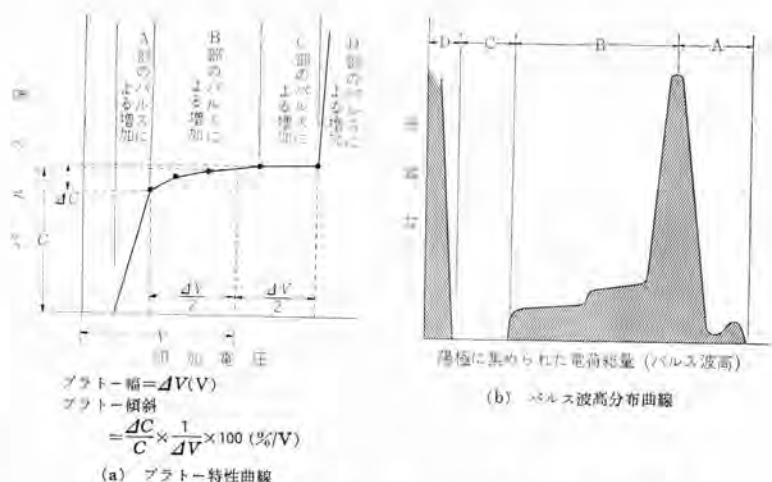


図 3.16 プラトー特性曲線とパルス波高分布曲線との関係図
Fig. 3.16 Relation between plateau characteristics and pulse height distribution.

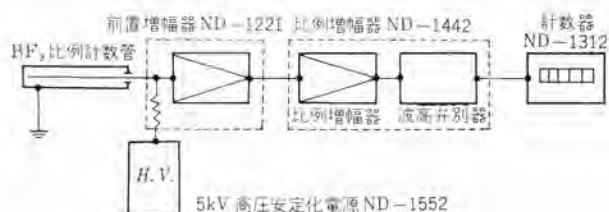


図 3.17 プラトー特性測定回路

Fig. 3.17 Block diagram of measuring plateau characteristics.

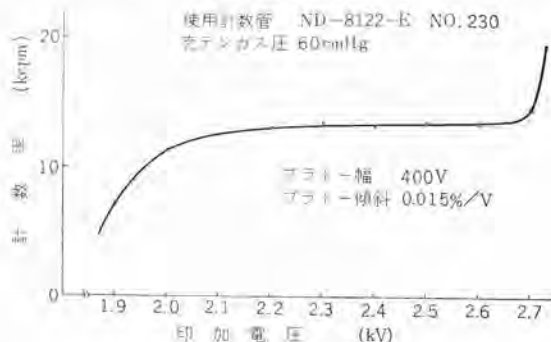


図 3.18 プラトー特性曲線

Fig. 3.18 Plateau characteristics (measured).

の波高分布は、図 3.16 (b) のようになっているから、ある一定電圧を波高弁別器に与えて、パルスを弁別すると、そのガス増幅率つまり計数管に印加する電圧によって波高弁別電圧以上に出て来るパルス分布の部分は異なるものとなる。

したがって、図 3.16 (b) のパルス波高分布曲線で、分布の山が波高弁別電圧を越えると、次に続く分布のすそも波高弁別電圧を徐々に越えるから計数率は次第に増加することになる。というのは、計数率はパルス波高分布曲線を上から下へ積分したものに近いかからである。したがって、プラトー幅をふやし、プラトー傾斜をより平らにしようとするれば、パルスの山を越えて後のパルス、つまり壁効果とか電子付着効果によって生まれたパルスをできるだけ減らすことが望まれるわけである。それゆえに、原理的に取り除くことの困難な壁効果はともかくとして、電子付着効果を持つ不純物ガスの排気に力を入れる必要があるわけである。

実際のプラトー特性曲線を図 3.18 に示す。これは、図 3.17 の回路構成で測定したものであり、パルス波高弁別電圧 20 V、増幅器総利得 5.6×10^4 である。一般にプラトー幅およびプラトー傾斜は、先に述べた壁効果の影響によって、計数管に充てんした BF_3

表 3.3 ガス充テ管 60 cm Hg (20°C) の場合
得られる プラトー 特性の平均値

形 式	ND-8122-E	ND-8124-E	ND-8125-E
動作電圧 (V)	2,400	2,500	2,000
プラトー幅 (V)	400 (>200)	300 (>200)	200 (>200)
プラトー傾斜 (%/V)	0.01 (<0.02)	0.01 (<0.02)	0.01 (<0.02)

(注) () 内はカタログ保証値

ガスの圧力によって異なるが、一般の商品として、60 cm Hg のガス圧の場合には、表 3.3 の値を持つものが容易に作れる。

なお プラトー 特性においては、プラトー 幅の大きいほど、また プラトー 傾斜の小さいほど使いやすい計数管だといえることができる。つまり、そのようであれば、外部の検出回路の安定度を比較的安全に設計することができるからである。これは プラトー の中心電圧に計数管の印加電圧を設定しておけば、この印加電圧や増幅器の利得に多少の変動があったとしても、計数管の計数率には、あまり変動を及ぼさないからである。

ところで、極度に安定な計数を行なう場合には、図 3.16 (b) の C 部に波高弁別電圧を設定すればよい。すなわち、これは同図 (a) において プラトー 曲線の終端部に印加電圧を設定することに相当し、このようにして測定すれば、プラトー 幅 100 V、プラトー 傾斜が事実上認められない特性 (0.00 %/V) が得られる。

3.5 バックグラウンド特性

低中性子束の検出には、計数管自身のバックグラウンド計数ができるだけ少ないことが望ましい。低中性子束中では計数管の計数率が低いから、バックグラウンド計数の多い計数管を使うと測定値の精度が下がる。したがってバックグラウンド特性が、その計数管で測定できる中性子束の下の限界を決めてしまうのである。またバックグラウンド計数の少ない計数管では、その多い計数管と同程度の精度の実験をするのに、より低い出力の中性子源を使うか、測定時間を短縮してよいことになる。

計数管のバックグラウンド計数の原因として、次の三つが考えられる。つまり、宇宙線など外部からの中性子を計数することがその原因の一つであり、また計数管に印加した高電圧が計数管の内部の状況によって放電を誘発し、これが外部にパルスとして検出されることも、また、その原因の一つである。さらに、あらかじめ自然放射性元素が計数管素材に含まれている場合には、それによる放射線 (おもに α 線)⁽⁸⁾ を計数管が検出することから、これがバックグラウンド計数となることもある。宇宙線などによるバックグラウンド計数は、被測定物と計数管を適当にシャヘイして測定すれば、これを減らすことができるが、他の二つの原因によるものは計数管個々の特性であり、バックグラウンド特性はこれによって決定されるから注意する必要がある。

計数管には高電界が作られているから、内部のよごれとか計数管を工作するときできた突起から放電が生じやすい。しかし、慎重に計数管を組み立てれば、おのおののガス圧において、ガス増幅率が 8×10^3 に相当する印加電圧に達するまで放電は起こらない。

計数管素材に含まれる α 放射性物質 (ウラン崩壊系列元素)⁽⁸⁾ は、洗浄などでは取り除くことができない。したがってカドミウムとパラフィンで注意深く計数管をシャヘイしてもこの内部放射線によって、平均 ND-8122-E では 70 c/h、ND-8124-E は 240 c/h、ND-8125-E では 10 c/h のバックグラウンド計数が存在する。これを単位内表面積あたりの計数率に換算すると 0.0049 cpm/cm^2 とな

る。この程度の、つまり $0.0008 \sim 0.008 \text{ cpm/cm}^2$ のバックグラウンド計数は通常の計数管材料であれば、常に存在するといわれている⁽⁸⁾。したがって、これをできるだけ低めるためには計数管の素材を十分吟味する必要があるが、目的の材料を得ることはかなり困難である。

3.6 温度依存性

計数管を温度変化のあるところで使うとき、温度の変化によって計数率に変化があることは好ましくない。しかし予備的な実験によれば、実際の計数管においては温度によって計数率が変化し、しかも温度と計数率との関係は図 3.19 のように個々の計数管によってまちまちであり、一定の対応を示さない。なお、この測定には Ra+Be 速中性子源を使い、減速材の温度を変化させないで計数管だけの温度を変えるように特別の工夫をほどこした。

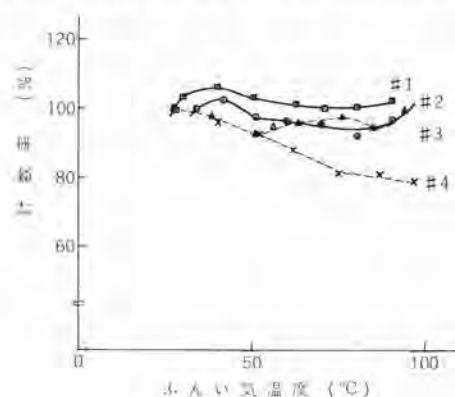


図 3.19 温度変化による計数率変化

Fig. 3.19 Temperature dependence of counting rate.

この温度依存性の原因は、電子付着効果によるものであるとする考え方もある⁽⁹⁾が、まだ、本質的には明らかでない。

このように計数管には温度依存性があるから、計数管を温度の変化する状態で使うときには、それぞれの使用状態において、あらかじめ計数率の変化を調べておく必要があるだろう。

3.7 寿命

計数管の寿命は、徐々に起る性能の劣化によって特性がある状態に達したときなくなると考える。劣化は普通、パルス波高分布曲線の山が低い側へくずれて行くという形で進行する。

劣化の原因にいくつかのものが考えられる。微少な空気洩れはその一つである。また、計数管に充テするガスの中にまじっていた微量の HF ガスとか、計数管中に残っていた水分子などと BF_3 ガスとの反応によって生成された HF ガスが計数管内のガラスと反応して、ふたたび水を生成するという循環過程を通じて負イオンを作りやすい不純ガスを増大させてゆくことも他の原因として考えられる。これらによる劣化は、計数管を使用しないでも進行するもので、今日でも、市販品にこれらの原因で駄目になったと考えられる計数管が認められる。

劣化はこのほかにも計数管の使用量に比例して進行する。これは、一次電離とこれに続くガス増幅の過程で多数の BF_3 分子が電離されることに原因があると考えられる。電離された分子のすべて、または一部は BF_3 分子から分解し、不純物となってタイ積してゆくからである。

この使用量に比例する劣化を実測するためには、通常の使用状

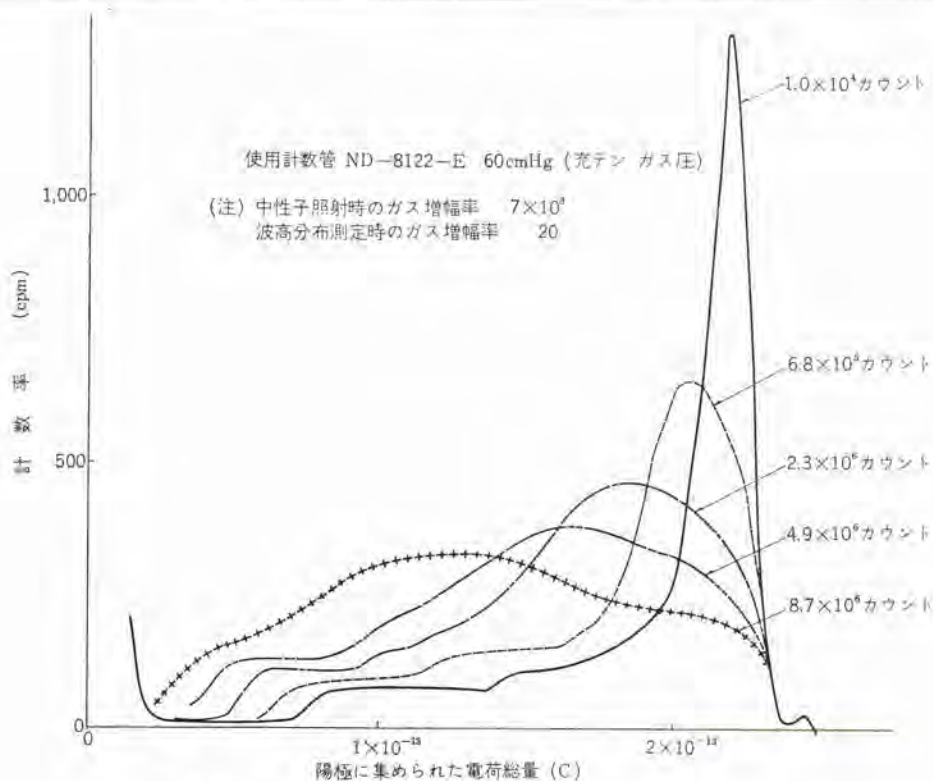


図 3.20 中性子連続照射に対する計数管の パルス 波高分布の変化
(強制劣化試験)

Fig. 3.20 Deterioration of pulse height distribution
in 7×10^3 gas multiplication factor.

態と同じ状態にして観測すると、少なくとも1年くらいの期間を要するので、われわれは、上に述べたように BF_3 ガス分子の分解によって劣化が進行するという機構を仮定して、観測時間を短縮し、その測定を行なった。図 3.20 がその結果である。この測定では、常温で ND-8122-E (60 cm Hg) に中性子束を照射し、計数管には、 1.5×10^4 cpm で連続計数させた。ガス増幅過程による劣化を促進させるために、印加電圧は標準の使用状態よりかなり高く、ガス増幅率にして 7×10^3 である。図で明らかなように、計数率の増加とともにパルス波高分布の山はくずれ、そして、パルスは壁効果による部分に侵入してゆき、中性子の計数率が増加するにつれて、さらに低波高側にまでくずれてゆく。当然、これに応じてラوتر特性は悪くなり、ラوتر傾斜は増加しているはずである。

初めに述べたように、計数管の寿命ははっきりした数値で定義することはできず、結局、使用目的によって性能の劣化がどの程度まで許せるかで決めなければならない。いま仮りに、ラوترがまったく期待できない状態として、図 3.20 の 8.7×10^1 カウントあたりの特性を寿命の限界とすると、実際の使用状態での寿命を次のように推定することができる。つまり、常温でガス増幅率 100 で使用したとすると、 6.1×10^8 カウントで、またガス増幅率 10 で使用したとすると、 6.1×10^9 カウントで寿命が来る。これを、たとえばガス増幅率 100 で 5×10^3 cpm の連続使用をすると、3.5 か月の使用に耐え、さらに、ガス増幅率を 10 倍に押えると、2 年～3 年の使用に耐えることを意味する。なお、この実測には Ra+Be 中性子源を使ったので、 γ 線も劣化にあづかっている。これは、電離によって中性子反応と同じように BF_3 ガスをこわすと考

えられるからである。したがって γ 線のきわめて強い場所では、劣化はそれだけ早いと考えるべきである。

計数管を使用しない状態での劣化の度合いは、われわれの計数管の場合は、まったく問題にならないほど小さい。これは多数の計数管を充テッし、約4年間放置した後、それらのパルス波高分布を実測した結果充テッ直後のものに比べて、いずれも有意な変化を受けていなかったからである。

3.8 検出効率

BF_3 比例計数管においては、陽極線支持部を除いた管内部のほぼ全域が、中性子に感ずる領域である。アルミニウム外筒を使ったわれわれの計数管では、アルミニウムによる熱中性子の吸収は問題にならないほど小さいから、検出効率は BF_3 ガスを構成する B^{10} の全量にほぼ比例する。したがって、計数管の有効体積と充テッ圧の積が相対的に検出効率を表わすと考えてよい。しかし B^{10} の吸収断面積はきわめて大きいので、計数管をあまり大型にすると中性子は計数管の中央部まで一様に入射せず途中で減衰してしまう。したがって上に述べた検出効率の比例性はあくまで近似的なものである。

検出効率の定義は、その使用目的によって幾種かに分けなければならない。たとえば、熱中性子が減速材と平衡状態にあり、空間的にも一様に分布している理想的な場合（原子炉の熱中性子柱内が、ほぼこれに似た状況にある）には、この中におかれた計数管の検出効率は単位中性子束あたり何カウントの計数を生ずるかで、いい表わすことができる。ND-8122-E (60 cm Hg) の場合、この値は約5カウント/単位中性子束である。この場合、中性子束は計数管を置かない前のものと考えるべきで、計数管が置か

れると、計数管の中性子に対する強い吸収のために付近の中性子束はかなり低下してしまっていることに注意すべきである。なお、このようなカウント/中性子束という表現は、計数管を原子炉制御や中性子束の空間分布の測定に使用しようとするときに便利である。

また、計数管の中性子の流れの中に置いたとき、いくらの検出効率があるかという表現は、中性子ビーム強度の測定や線量モニタリングに必要である。これは、単位時間あたりのカウント数と単位時間あたりの入射中性子数の比で表わされる。しかし、計数管の軸に垂直な方向に入射するビームについては簡単な計算でこの効率が推定できるけれども、計数管の軸に平行に入射するビームに対しては、この推定は少しめんどろになる。というのは、軸に平行に入射するビームに対しては、計数管の端面の陽極線支持部分の BF_3 ガスが入射中性子に対する吸収層として作用するからである。

ところで B^{10} の反応断面積は、中性子エネルギー E_n に対して正確に $(E_n)^{-\frac{1}{2}}$ に比例している。したがって計数管の検出効率は、中性子エネルギーの変化に対して $(E_n)^{-\frac{1}{2}}$ で変化する。つまり、低エネルギーであるほど、効率が高いというわけである。ただ、軸に平行にビームが入射する場合だけは、計数管の端面の吸収層のため、単純に上記のようにならず、低エネルギー部分でむしろ検出効率がやや低下していることに注意を要する。ND-8122-E、または ND-8124-E に 60 cm Hg のガスを充填した場合の軸に平行な中性子束に対する、各中性子エネルギーの検出効率は、表 3.4 のようである。

表 3.4 中性子を軸に平行に入射させた場合の検出効率
ND-8122-E, ND-8124-E (60 cm Hg)

中性子エネルギー (eV)	中性子波長 (Å)	検出効率 (%)
0.005	4.0	72
0.02	2.0	73
0.025	1.8	71
0.3	0.5	38

4. む す び

以上、 BF_3 比例計数管について述べてきた。計数管の特性としては、どのような使用状態にも安定した動作を示すのが理想である。その点、 BF_3 比例計数管は、他の中性子検出器に比べて、比較的外部の状況（印加電圧とか外部の増幅器の利得）が不安定でも、計数率が変化しないという利点がある。これは、プラトー特性が比較的たやすくしかも良好に得られるからである。また、 γ 線によるパルスは核反応によって検出される中性子のパルスに比べて極度に小さいことから、 γ 線の多いところでの中性子の検出も他の検出器に比べて安定に行なうことができる。しかし、測定の精度を必要とする場合に、温度変化があるところでの中性子束の

測定は、他の検出器と同じように多少不安定となるから注意しなくてはならない。

ここでは、すでに開発された各形の計数管のうちから寸法などの代表的なものを選んで、計数管の重要な諸特性、すなわち、ガス増幅率、パルス波高分布、プラトー特性などについて測定の結果を述べた。そして、それらに影響する計数管の寸法、電子付着効果、壁効果などとの関係を明らかにしてきた。以上の結果から計数管に充填するガスの純度の高さがきわめて重要であること、また、ある動作電圧、波高分布などの性能をきめて計数管を製作するには、どのような設計値を選ばよいかもわかった。

プラトー特性のところでは、一般にプラトーといわれる領域の一部にほとんどプラトー傾斜が認められない安定な部分があることを示した。また、寿命は、強制劣化試験の結果、普通の使用状態では 10^9 カウントが期待できることがわかった。そして検出効率は、とくに、軸方向入射の場合のエネルギー依存性について注意すべきであることを述べた。バックグラウンド計数は主として、構造材料の天然 α 放射性物質によるものらしく、約 0.005 cpm/cm² であった。

このようにして、いままで作りにくいとされていた BF_3 計数管を、いまでは自由にその性能を設計できるようになり、しかも、よい歩どまりで製作できるようになった。原子力工業の発展に備えて、増加する需要にこたえる態勢も整った。また、この研究により応用範囲の拡大につれ、新しく要求される性能の改良も進めてゆけるようになった。
(昭 38-9-12 受付)

参 考 文 献

- (1) S. A. Korff and W. E. Danforth: Phys. Rev. 55, 980 (1939).
- (2) M. E. Rose and S. A. Korff: Phys. Rev. 59, 850 (1941).
- (3) New York University, College of Engineering, Research Division Report: No. 183.02; The Effect of Contaminants on the Operational Behavior of BF_3 Counters (1954). (P.B.-118718).
- (4) R. B. Mendell: Plateau Slopes and Pulse Characteristics of Large, High-Pressure BF_3 -Counters AFOSR-TN-59-738 (July 1959) (P.B.-144936).
- (5) J. A. De Juren and H. Rosenwasser: Phys. Rev. 93, 831 (1954).
- (6) J. Bistline: Rev. Sci. Instr. 19, 842 (1948).
- (7) M. Yamane: J. Phys. Soc. Japan. 15, 1732 (1960).
- (8) O. W. Bilharz: IRE Transactions on Nuclear Science p.32, (Nov. 1962).
- (9) J. A. Lockwood, F. R. Woods, and E. F. Bennett: Rev. Sci. Instr. 25, 446 (1954).

核磁気共鳴信号検出器の特性

下地 貞夫*・仲森 浩貢*

Characteristics of Nuclear Magnetic Resonance Signal Detectors

Research Laboratory Sadao SHIMOJI・Satotsugu NAKAMORI

Two types of NMR (nuclear magnetic resonance) signal detectors are studied about their characteristics. They are a Pound-Watkins type marginal oscillator and a bridged type T detector. With a Watkins type calibrator is examined the performance of the marginal oscillator for low magnetic fields. From the results a simplified oscillator has been brought to completion so as to facilitate the measurement of a wide range of static magnetic fields and to serve as a detector of a broad line NMR spectrometer. In the examination of the performance of the bridged type T detector, the proton resonance signals of ethyl alcohol and CuCl_2 0.3mol/l aqueous solution were used. It has versatile applications to most of materials because of its capacity of low R.F. level operation. As the samples of NMR signals, the cases of proton resonance signals of borax, polyester and PMMA are given.

1. ま え が き

核磁気共鳴 (Nuclear Magnetic Resonance, NMR と略記される) は物性論の一つの分野として、物質の持つ種々の性質の原因となっている電子の構造の特長を調べ、新しい材料の製造に有用な知識を得ることができるばかりでなく、静磁界の絶対測定法としても役立つことができる。

これは静磁界 H_0 におかれた原子核に対し、 H_0 に直交な、周波数 ν の高周波磁界 $2H_1 \cos 2\pi\nu t$ を加えたときに、 H_0 に対応してある定まった ν_0 において核磁気能率による高周波エネルギーの誘導吸収あるいは放出が選択的に行なわれるという現象である。実験にあたってはこれを共鳴吸収曲線として観測し、曲線の幅、微細構造の数および間隔、スピン-格子緩和時間 T_1 (信号の H_1 に対する飽和と回復の容易さを表わすパラメータ) およびシフトなどを測定し、また磁界および温度依存性を調べる。これらのデータを解析することにより、結晶構造、化学結合の状態、結晶の内部運動、転移、欠陥あるいは金属の伝導電子の状態についての知見が得られる。

当所においても NMR の研究を行ない、これまでに磁界測定器としては 30~20,000 Oe の範囲で測定可能な検出器を開発した。また、低磁界における Overhauser 効果についてはすでに結果を報告した。NMR 装置は液体試料に用いられる高分解能装置および固体試料に用いられる広幅装置に分類されているが、われわれは高分子、超伝導合金あるいは半導体などに応用する目的で建設を進めており、信号検出器についてはほぼ実用に供しうる段階となった。本報告はこれら NMR 装置に用いられる検出器の特性を調べるために行なった実験の概要である。始めに原理として検出器の立場から信号の性質を調べ強度の解析を行なう。次に各種の信号検出器の得失を比較して、われわれの取り上げた Pound-Watkins 形検出器およびブリッジ T 形検出器の特性についての実験結果を述べる。NMR 信号の例としてはホウ砂の結晶水中のプロトン および高分子 (PMMA およびポリエステル) のプロトン 共鳴信号を示した。

2. 原 理

静磁界 H_0 におかれた原子核に対し、 H_0 に直交な高周波磁界

$2H_1 \cos 2\pi\nu t$ の周波数 ν がある定まった共鳴条件を満たさなければならないということは、原子核の持つ磁気能率 μ が静磁界の中で任意の方向を向くことができず、方向量子化されていることに起因している。すなわち

$$\nu_0 = \frac{\gamma}{2\pi} H_0 = \frac{\mu}{hI} H_0, \quad \gamma = \frac{2\pi}{hI} \quad (2.1)$$

と書かれる。ここに γ は磁気角運動量比と呼ばれ、原子核によって定まった定数であり、 I は原子核のスピン量子数、 h はプランクの定数である。たとえばプロトンについては $\frac{\gamma}{2\pi} = 4.2577 \text{ kc. Oe}$ で 5,000 Oe の静磁界において $\nu_0 = 21.3 \text{ Mc}$ となる。周波数の測定精度はかなり高いので、NMR は磁界の精密な絶対測定法として用いることができる。これに適当ないくつかの核種についての値を表 2.1 に示す。 ^7Li , ^9H などを含む物質を試料として用いることにより、30,000 Oe 以上の磁界を 30 Mc までの周波数によって容易に測定することができる。

NMR をより詳しく表わすために、原子核の磁気能率による帯磁率を考えると、静磁界 H_0 に対する静帯磁率 χ_0 および高周波磁界 $2H_1 \cos 2\pi\nu t$ に対する高周波帯磁率 χ がある。 χ は H_0 および ν の関数であり、また試料の性質によっても複雑に変化する。一般に $\chi = \chi' - i\chi''$ と書くと、核の磁化を通して単位時間あたり

$$A = 4\pi\nu^2\chi''H_1^2 \quad (2.2)$$

と表わされる。またこの吸収によって高周波コイルは

$$\Delta T = 8\pi^2\chi''\rho L \quad (2.3)$$

だけ抵抗分が増加する。 ρ は試料のコイルにおける体積占有率で近似される係数である。 χ' はコイルのインダクタンスを変化させるように働くが、共鳴が定常的に行なわれているとき、共鳴核の運動の激しい液体などにおいて成り立つ式として Bloch⁽¹⁾ により

表 2.1 いくつかの核種についての共鳴条件

核 種	ス ピ ン	磁 気 能 率 (核磁子単位)	共 鳴 周 波 数 (kc Oe)	自然存在比 (%)
^1H	1/2	2.79270	4.2577	99.9844
^2H	1	0.85738	0.6536	1.56×10^{-2}
^7Li	3/2	3.2560	1.6547	92.57
^{14}N	1	0.40357	0.3076	99.635
^{23}Na	3/2	2.2161	1.1262	100
^{29}Si	1/2	0.55477	0.6460	4.70
^{35}Cl	3/2	0.82089	0.4172	75.4
^{37}Cl	3/2	0.68329	0.3472	24.6
^{93}Nb	9/2	6.1435	1.0407	100
^{141}Pr	5/2	3.8	1.13	100

$$\chi' = \pi \chi_0 \nu_0 T_2 \frac{2\pi T_2 (\nu_0 - \nu)}{1 + 4\pi^2 T_2^2 (\nu_0 - \nu)^2 + \gamma^2 H_1^2 T_1 T_2} \dots (2.4)$$

$$\chi'' = \pi \chi_0 \nu_0 T_2 \frac{1}{1 + 4\pi^2 T_2^2 (\nu_0 - \nu)^2 + \gamma^2 H_1^2 T_1 T_2}$$

と与えられた。\$T_1\$ および \$T_2\$ はそれぞれ スピン-格子緩和時間および スピン-スピン 緩和時間と呼ばれる時間の ディメンジョン を持った量である。理論的には \$\chi''\$ は \$\nu = \nu_0\$ のとき、すなわち共鳴条件を満たすときに最大値をとる Lorentz 曲線となる。これは観測される吸収曲線そのものを与えるが、一般には gauss 形あるいは微細構造をもったもの、ひずんだものなどがあって複雑である。\$\gamma^2 H_1^2 T_1 T_2\$ は飽和因子で \$S\$ と書き、\$S > 1\$ で \$\chi', \chi''\$ は小さくなる。

固体試料を用いた場合、共鳴曲線の幅は数 ガウス 以上にも及ぶが、液体では狭く、水分子の プロトン では \$20 \mu\text{Oe}\$ 程度で \$H_0\$ にはほとんど依存しない。\$\text{Cu}^{++}\$, \$\text{Fe}^{+++}\$, \$\text{Mn}^{++}\$ などの常磁性 イオンの水溶液において、プロトンの \$T_1\$ および \$T_2\$ はイオン濃度 \$N \text{ mol/l}\$ に反比例して短くなる。\$\text{Fe}^{+++}\$ イオンの場合、\$T_1 = T_2 \sim \frac{10^{-4}}{N} \text{ sec}\$, \$\text{Cu}^{++}\$ イオンの場合、\$T_1 \approx T_2 \sim \frac{10^{-3}}{N} \text{ sec}\$ である。すなわちこれらのイオンにより \$S\$ が小さくなり、信号が飽和しにくく観測容易になるので、磁界測定用の試料に用いて便利である。

次に式 (2.2) あるいは式 (2.3) で表わされる共鳴吸収による信号強度を考えて見よう。試料 コイル に並列に コンデンサ \$C\$ を結び、周波数 \$\nu\$ で共振させた状態で、吸収によるコイルの \$Q\$ の変化 \$\Delta Q\$ および共振 インピーダンス \$R\$ の変化 \$\Delta R\$ はそれぞれ

$$\Delta Q = -Q_0 \frac{\Delta r}{r_0 + \Delta r}, \quad \Delta R = -R_0 \frac{\Delta r}{r_0 + \Delta r} \dots (2.5)$$

となる。ただし \$r_0\$ はコイルの抵抗分で、\$Q_0\$ および \$R_0\$ は吸収のない場合の値を表わす。信号強度は高周波源の性質によって異なったふるまいを示すが、単純に定電流源と仮定する。この電流を \$I\$ とし、共鳴吸収によって生ずるコイルの電圧降下の減少 \$\Delta V\$ は式 (2.5), (2.3) および (2.4) を用い、\$\nu = \nu_0\$ において

$$\Delta V = -R_0 I \frac{1 + \gamma^2 H_1^2 T_1 T_2}{8\pi^3 \nu^2 L \chi_0 T_2} \quad (\xi = 1 \text{ とした}) \quad (2.6)$$

$$= -R_0 I \frac{\frac{\Delta r_0}{1+S}}{r_0 + \frac{\Delta r_0}{1+S}}, \quad S = \left(\frac{H_1}{H_s}\right)^2$$

となる。ただし \$\Delta r_0\$ は \$S \ll 1\$ における \$\Delta r\$ で、\$H_s = (\gamma^2 T_1 T_2)^{-\frac{1}{2}}\$ は飽和の始まる \$H_1\$ のめやすとなる量である。\$I\$ を増せば、初めは \$\Delta V\$ は増大するが、同時に \$H_1\$ も増加するので \$S\$ も大となり、\$H_1 > H_s\$ では \$\Delta V\$ は飽和して減小する。\$I = k H_1\$ として上式を最適化すれば

$$\Delta V_{\text{opt}} = -\frac{1}{2} R_0 k H_s \frac{\Delta r_0}{[r_0(r_0 + \Delta r_0)]^{\frac{1}{2}}}$$

$$= -\frac{R_0 k}{\gamma(T_1 T_2)^{\frac{1}{2}}} \frac{4\pi^3 \chi_0 \nu^2 T_2 L}{[r_0(r_0 + 8\pi^3 \chi_0 \nu^2 T_2 L)]^{\frac{1}{2}}} \dots (2.7)$$

および

$$H_{1\text{opt}} = \left(\frac{r_0 + \Delta r_0}{r_0}\right)^{\frac{1}{2}} H_s$$

また \$H_1\$ として半径 \$a\$, 長さ \$2l\$, 巻数 \$n\$ のソレノイドコイルの中心における磁界の強さをとれば

$$\Delta V_{\text{opt}} = -2\pi \nu L \frac{(a^2 + l^2)^{\frac{1}{2}}}{n \gamma (T_1 T_2)^{\frac{1}{2}}} \frac{20\pi^2 \chi_0 \nu^2 T_2 L}{[r_0(r_0 + 8\pi^3 \chi_0 \nu^2 T_2 L)]^{\frac{1}{2}}} \dots (2.8)$$

表 2.2 5,000 Oe における共鳴信号強度

\$H_0 = 5,000 \text{ Oe}\$		温度 \$300^\circ \text{K}\$ 試料 \$1 \text{ cc}\$		共鳴核 \$^1\text{H}\$ は水と同じ 密度で含むとする	
コイル	\$L (\mu\text{H})\$	\$Q\$	半 径 (cm)	長さ (cm)	巻 数
	4	100	0.5	1	20
試 料	\$T_1 (\text{sec})\$	\$T_2 (\text{sec})\$ 幅 (m Oe)	コイル両端電圧 \$V_{\text{opt}} (\text{mV})\$	\$\Delta V_{\text{opt}}\$ (mV)	備 考
1	3.4	3.4 0.07	4.04	1.01	純 水
2	0.01	\$4.7 \times 10^{-3}\$ 50	113	3.4	常磁性イオン含 磁界不均一有
3	60	\$8.5 \times 10^{-5}\$ 5,000	207	0.012	分子性結晶

表 2.3 30 Oe における共鳴信号強度

\$H_0 = 30 \text{ Oe}\$		温度 \$300^\circ \text{K}\$ 試料 \$150 \text{ cc}\$		共鳴核 \$^1\text{H}\$ は水と同じ 密度で含むとする	
コイル	\$L (\mu\text{H})\$	\$Q\$	半 径 (cm)	長さ (cm)	巻 数
	350	80	4.5	9	90
試 料	\$T_1 (\text{sec})\$	\$T_2 (\text{sec})\$ 幅 (m Oe)	コイル両端電圧 \$V_{\text{opt}} (\text{mV})\$	\$\Delta V_{\text{opt}}\$	備 考
1	3.4	3.4 0.07	4.22	0.99	純 水
2	0.01	\$7.8 \times 10^{-3}\$ 30	219	7.26	常磁性イオン含 磁界不均一有

となる。

いま コイル を使用する周波数において最適になるように製作し、インピーダンスはほぼ \$300 \Omega\$ で \$2\pi \nu L\$ は \$H_0\$ によらないものとすれば、信号強度は \$H_0\$ に対して一次に近いベキに比例すると考えられる。また、コイル は巻数を減らし、同時に \$r_0\$ を減少させたほうが信号強度は増加することが予想され、この傾向は実験と一致する。常磁性 イオンの影響は上に述べたような理由で、コイル 両端の電圧を増加することができて信号強度を増大させる。実際に近いように実験条件を定めて \$H_0 = 5,000 \text{ Oe}\$ および \$H_0 = 30 \text{ Oe}\$ の場合について計算した結果を表 2.2 および表 2.3 に示す。試料温度は \$300^\circ \text{K}\$, 共鳴核はプロトンで水と同じ密度に含まれているものとした。

3. 各種信号検出器の比較

NMR 信号検出器は実験の対象から要求される性能により、固体用の広幅 NMR 装置および液体用の高分解能装置に分類される。たとえば イオン 結晶における結晶水の プロトン の共鳴線幅は \$10 \text{ Oe}\$ 以上にも達し、前章に述べた純水における プロトン の共鳴線は \$20 \mu\text{Oe}\$ 程度である。\$H_s\$ の等しい場合、同種の核について、信号強度は共鳴線幅に反比例すると考えてよく、両者の比は \$10^6\$ のケタである。一般に固体の場合 \$T_1\$ が \$10^3 \sim 10^4 \text{ sec}\$ におよび、\$H_s\$ の小さい試料も多く、信号強度は微弱であり、高感度の装置が必要である。しかし固体試料について共鳴線幅および スピン 格子緩和時間 \$T_1\$ の温度依存性を調べ、あるいは単結晶について微細構造の分離の角度依存性を調べる場合、分解能は \$10^{-6}\$ のケタで十分である。一方、液体試料について ケミカルシフト や超微細構造を調べる場合、装置の感度よりむしろ分解能の高いことが重要で、これまでに \$10^{-8}\$ の分解能をもった装置も発表されている。

次に検出方式によって分類すると、次の 5 種類に分類することができる。すなわち、\$Q\$-メータ形検出器、高周波ブリッジ形検出器、発振検波形検出器、核誘導形検出器および パルス 方式である。

\$Q\$-メータ 形検出器は NMR の分野が開かれた初期に Rollin によって用いられたもので⁽²⁾、図 3.1 に示すように高周波発振器と受信器を高抵抗 \$R\$ を介して結び、共鳴吸収による共振回路の \$Q\$ の変化を NMR の信号として検出する。固体試料で \$T_1\$ の長いものに対してはこの \$Q\$ の変化はきわめて小さく、十分な感度が得られない。また発振器の発振電圧の変動および検出コイル へのケーブルの振動による マイクロホニック 雑音を受けやすい欠点を持っている。

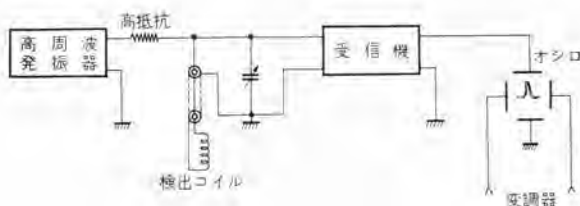


図 3.1 Q-メータ形 NMR 信号検出器
Fig. 3.1 Q-meter type NMR signal detector.

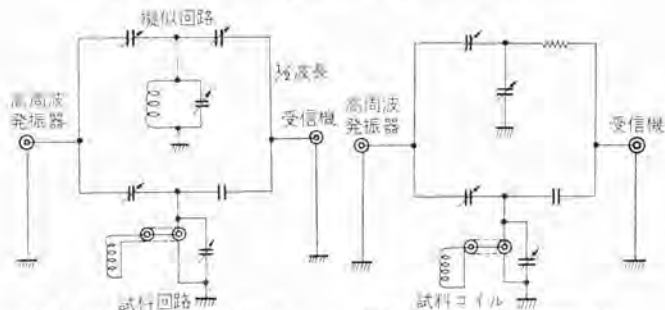


図 3.2 (a) BPP の高周波ブリッジ回路
Fig. 3.2 (a) RF bridge circuit of BPP.

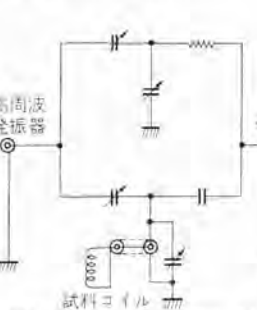


図 3.2 (b) Anderson の高周波ブリッジ回路
Fig. 3.2 (b) RF bridge circuit of Anderson.

しかし、調整の簡単なことおよび高周波レベルを広範囲に変えることはすぐれた特長であり、 T_1 の比較的短い固体試料あるいは液体試料に対しては十分使用することができる。高抵抗 R は小容量のコデンサでおき換えてもよく、また、検出コイルに Q マルチプライト (再生回路) を付加した Kapur の検出器は後述の Pound-Watkins 形発振検波器の 2~3 倍感度が高いといわれている⁽³⁾。

高周波ブリッジ形検出器は擬似回路を設け、この出力を位相反転して試料回路の出力と加え合わせて受信器に入れ、吸収による高周波電圧の変化分を相対的に増大させたものである。Bloembergen, Purcell および Pound (BPP と略称される) の回路を図 3.2 (a) に示した。信号を飽和することなく、高周波増幅を十分行なって感度を得ることができるが、二つの回路を完全にバランスせず、不平衡分 v を残しておき、 v と共鳴による変化分 ΔV_{opt} の位相を調整することにより、吸収 χ'' による信号だけでなく分散 χ' による信号も検出することができる。この方式は高周波レベルの変化範囲の広いことおよび感度の高い点ですぐれているが、調整が複雑であり、また試料温度の変化に際して、コイルの L および Q も変化しバランスがくずれなどの難点もある。BPP の実験以後、位相反転回路を高周波トランスでおき換えたものも発表されているが、Anderson による非対称ブリッジ (図 3.2 (b))⁽⁴⁾ は比較的調整が容易であるといわれ、これに関しては久米博士の詳細な研究がある⁽⁵⁾。

発振検波形検出器は共鳴吸収による共振回路の Q の変化に応じた発振器の発振レベルの変化を検出するものである。大部分の帰還発振器を用いることができるが、検出コイルを磁界内にそう入する必要上、ハートレー形の 3 端子コイルは用いられず、図 3.3 (a), (b) に示す Pound-Watkins 回路⁽⁶⁾ および Hopkins 回路⁽⁷⁾ が最も多く用いられている。この方式は簡単であり、したがって周波数を自由に定めることができ、また比較的感度の高いことが特長で、未知の吸収曲線を探す目的に適している。図 3.3 (c) のような超再生形検出器は強磁性体における NMR 周波数の磁界および温度による変化を調べるために用いられる。しかし、発振レベルを下げるのが困難なため対象となる試料が限られ、また発振レベルにより感度が大きく変化することおよび発振周波数

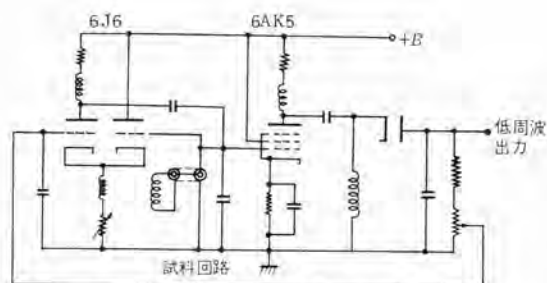


図 3.3 (a) Pound-Watkins 形発振検波器
Fig. 3.3 (a) Pound-Watkins type marginal oscillator.

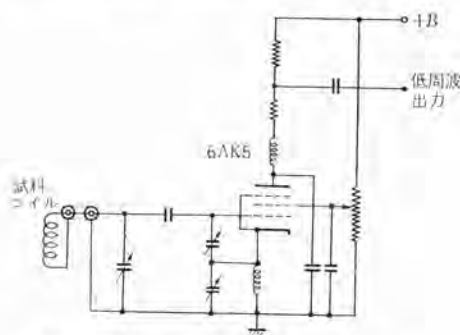


図 3.3 (b) Hopkins 形発振検波器
Fig. 3.3 (b) Hopkins type marginal oscillator.

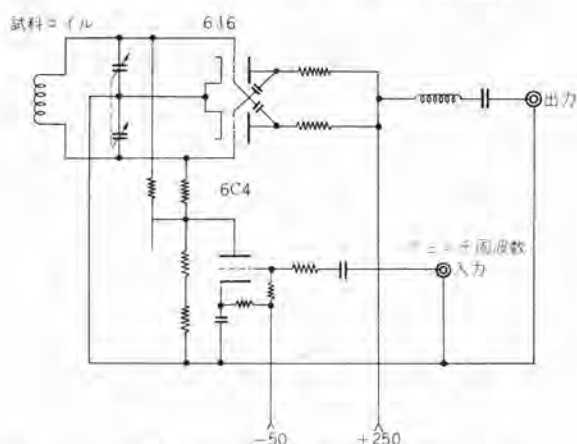


図 3.3 (c) 超再生形発振検波器
Fig. 3.3 (c) Superregenerative type marginal oscillator

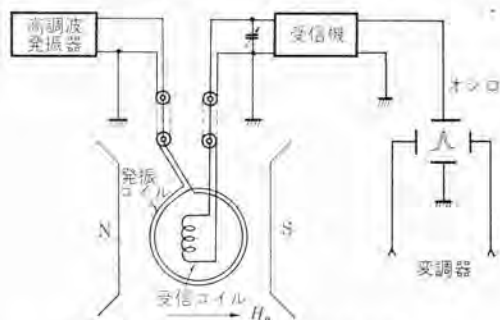


図 3.4 誘導形 NMR 信号検出器
Fig. 3.4 Induction type NMR signal detector

が不安定なことなどもあり、これらの点について改良された回路もいくつか発表されている⁽⁸⁾。

核誘導形検出器およびパルス方式は上記の検出器と異なった原理によるもので、共鳴により H_0 に直角方向に生じた核磁化による磁気誘導電圧を直接検出する。Bloch⁽⁹⁾ らにより開発され、図 3.4 に示すような構成である。静磁界に直角に発振コイル T および受信コイル R が互に直交して設定され、発振器から T に高周波電

圧を送り、核共鳴を行なう。Rの両端に生じた電圧を共鳴信号として検出するが、Tに加えられる電圧に比べて共鳴信号は微弱であり、TからRへのわずかな漏れも大きな雑音となって信号を妨害するので、これを防ぐことが問題点である。この方式の特長は高周波帯磁率の χ' および χ'' の測定が、単純な操作で切り換えて行なわれることである。パルス方式も核誘導の検出を行なうものであるが、これは核共鳴の過渡現象を利用して T_2 を正確に測定することができる。

われわれは検出器として吸収形のものを採りあげた。発振検波形およびブリッジ形の物性について次章以下に詳述するが、誘導形のうちパルス方式は精度の点で重要な方式と思われる。

4. Pound-Watkins 形信号検出器

発振検波形検出器は、いくつかの回路について予備実験を行なった結果、Pound-Watkins 形信号検出器が最も使いやすいと思われる。発振レベルの下限はRobinson 形検出器のほうが低いが、Pound-Watkins 形検出器の変化範囲は数十 mV～数 V と広く、一般の固体用検出器として用いることができる。また、周波数掃引に対して安定であり磁界測定器としてもすぐれている。

検出器は、低磁界用のものと高磁界用のものについて特性を調べた。図4.1に低磁界用の回路を示す。発振周波数は130～350 kc、共鳴磁界はプロトンで約30～80 Oeである。 V_1 をカソード結合で発振させ、VCおよびLの共振回路は V_1 の発振回路および高周波増幅段 V_2 の入力回路に共用している。 V_3 の検波出力の一部は V_{1a} のグリッドに負帰還され、発振の安定化をはかる。発振レベル

の設定は VR_1 および VR_2 により行なう。上記の $V_1 \sim V_3$ の組み合わせはすでに述べたように Pound-Watkins 形発振検波器の構成に従ったものである。 V_3 はWatkins 形の感度較正器⁽¹⁰⁾、プレート抵抗 r_p が共振回路に並列に接続されており、適当な低周波のグリッド入力によって共振回路のQを変化させ、共鳴吸収を模擬するものである。

この形の検出器の特性として最も顕著なものは、発振レベルによる検出感度の変化である。 V_{1a} への負帰還を強くしてバイアスを深くすることにより、発振レベルは波高値で0.9～4 Vの間を変化する。このようにして変化させた発振レベルに対する検出感度の変化の様子を較正器からの入力をパラメータとして図4.2に示した。発振レベルの強いところでは感度は低く、1.5 V付近で最大となり、それ以下ではふたたび低下する。次に、 V_{1a} に帰還量に相当する固定バイアスを与え、上記のものと感度の比較を行なうと、図4.3のようにほとんど一致した傾向を示し、これは発振管のバイアス特性によるものと結論できる。NMR用の発振検波器においては、わずかな共振インピーダンスの変化によって発振レベルが容易に変化しうよう V_{1b} のグリッドから V_{1a} のプレートへの増幅度は発振可能な範囲で小さくしてある。ここでは1.3～2.7であったが、プレート負荷抵抗の値を変えて実験したところ、なるべく小さな値としたほうが発振レベルを低くすることができ、感度を高めることができた。

高磁界用の回路は図4.4に示した。Pound-Watkins 形発振検波器を単純化し V_1 のみで発振および検波を行なうようにした。これは高周波における非同調幅は利得を上げにくいこと、あるいは

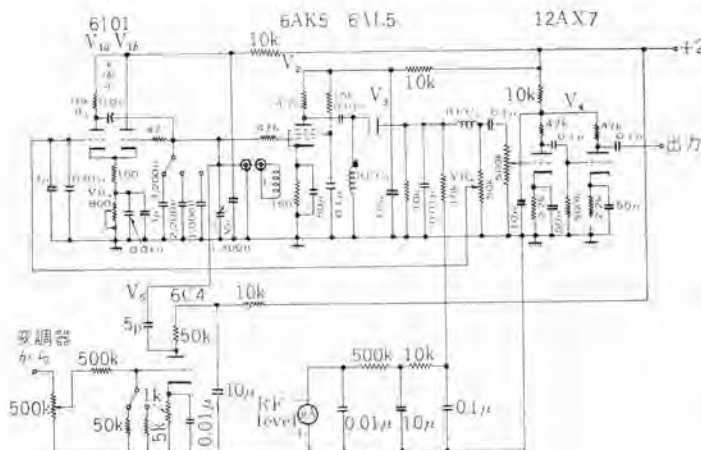


図 4.1 低磁界用 NMR 信号検出器

Fig. 4.1 NMR signal detector for low magnetic fields

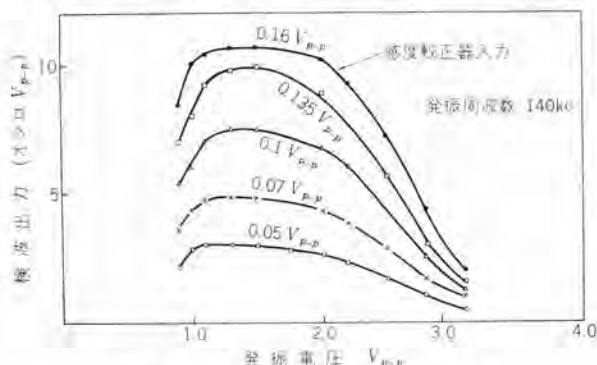


図 4.2 発振電圧による検波出力の変化 (入力信号強度をパラメータとした)

Fig. 4.2 Variation of the detector output vs oscillation voltage (parameter is input signal intensity).

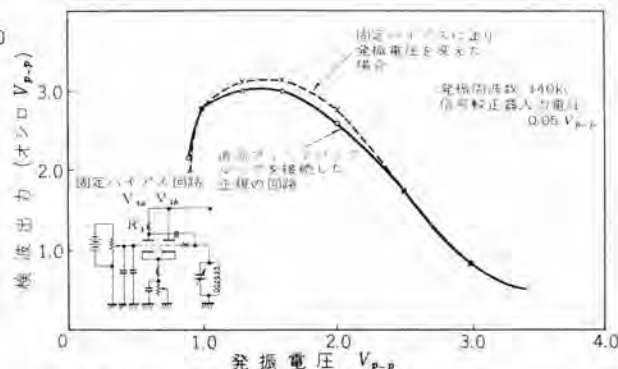


図 4.3 直流フィードバックループと固定バイアス回路の比較
Fig. 4.3 Comparison of the DC feed back loop and the fixed bias circuit.

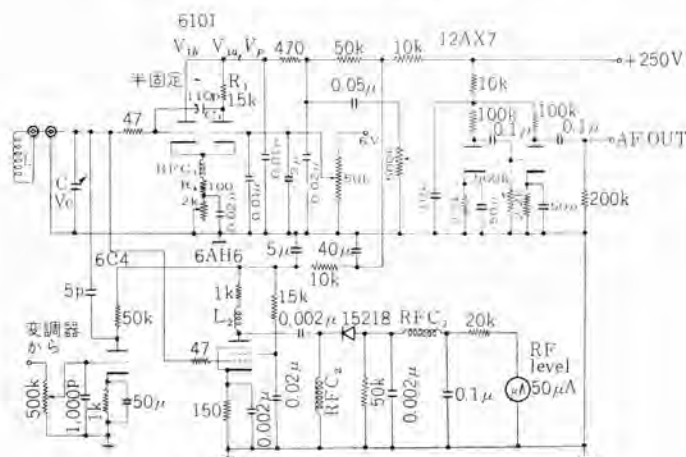


図 4.4 高磁界用 NMR 信号検出器

Fig. 4.4 NMR signal detector for high magnetic fields.

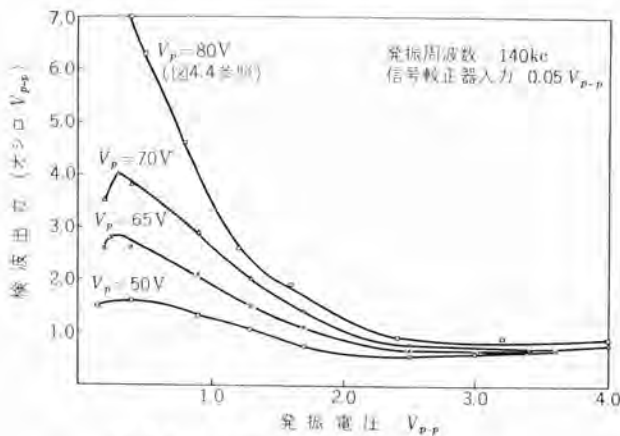


図 4.5 発振電圧による検波出力の変化
(陽極電圧をパラメータとした)

Fig. 4.5 Variation of the detector vs oscillation voltage
(parameter is the anode voltage).

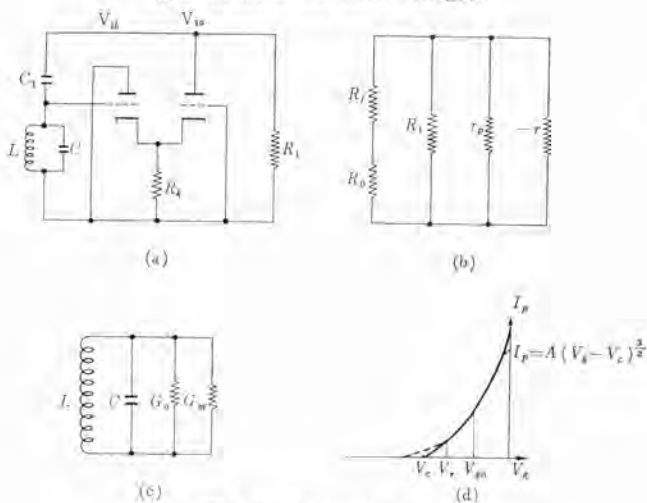


図 4.6 発振回路のモデル

Fig. 4.6 Model of the oscillator circuit.

同調増幅にした場合の コイル 切換の煩雑さを避けるためであり、また、図 4.1 の回路において感度はほとんど発振管の動作点によって定まることが結論されたためである。図示の回路は 250 kc～55 Mc の周波数範囲において発振可能で、磁界測定用としてもきわめて便利に用いることができる。V_{1a} のグリッドバイアスは別の直流電源から供給し、微細に変化しうるようにした。

V_{1a} のグリッドバイアスにより発振レベルを変化させたときの感度の変化を図 4.5 に示した。低磁界用の回路とまったく同じ傾向を示し、発振レベルの強いところで感度は低く、100～200 mV の付近で最大となり、それより弱いところではふたたび低下する。発振管のプレート電圧 V_p も重要であり、これをパラメータとして図示してある。V_p が低くなるに従い発振可能な最低レベルを低くすることができるが、同時に感度も低下する。また、感度最大となる発振レベルは V_p について最適値があり、これは V_p がほぼ 60 V の付近であった。V_{1a} のグリッドから V_{1a} のプレートへの増幅度も検出感度に影響を及ぼし、発振可能な範囲で C₁ を小さくしたほうが良好であった。

発振レベルによる検出感度の変化を説明するために、発振回路を図 4.6 (a) から (c) のようにモデル化する。ここに G₀ は回路の有効な共振コンダクタンス、G_m は発振管による負コンダクタンスである。G_m は発振電圧 V₁ cos 2πνt の振幅に依存するので

$$G_m = G_{m0} + G_{m1} V_1 + G_{m2} V_1^2 \dots \dots \dots (4.1)$$

と展開し、定常状態においては G₀ で消費される高周波電力が G_m

で生成されるものとつりあっていることから、発振電圧 V₁ は

$$V_1 = \left(\frac{4}{3} \cdot \frac{G_{m0} - G_0}{-G_{m2}} \right)^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (4.2)$$

と求められる。また G_m は V₁ の g_m に比例する量であることから、空間電荷制限によるプレート電流 I_p とグリッド電圧 V_g の関係を用い、

$$G_m = \frac{3}{2} A (V_g - V_c)^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (4.3)$$

と表わされるものとする。ただし、V_c は仮想シャ断電圧 (図 4.6 (d))、A は比例定数である。したがって

$$G_m = \frac{3}{2} A (V_{g0} - V_c)^{\frac{1}{2}} + \frac{3}{4} A (V_{g0} - V_c)^{-\frac{1}{2}} V_1 - \frac{3}{16} A (V_{g0} - V_c)^{-\frac{3}{2}} V_1^2 \dots \dots \dots (4.4)$$

$$V_1 = \left[\frac{\frac{3}{2} A (V_{g0} - V_c)^{\frac{1}{2}} - G_0}{\frac{3}{16} A (V_{g0} - V_c)^{-\frac{3}{2}}} \right]^{\frac{2}{3}}$$

となる。ここに V_{g0} はグリッド電圧 V_g の直流分である。式を簡単化するために次のように V_r、v_r および k を定義すれば、

$$\left. \begin{aligned} G_0 &\equiv \frac{3}{2} A (V_r - V_c)^{\frac{1}{2}} \\ v_r &\equiv V_r - V_c, \quad V_g - V_c \equiv k v_r \\ \therefore V_1 &= \left[\frac{32}{3} (k^{\frac{1}{2}} - 1) k^{\frac{3}{2}} v_r^2 \right]^{\frac{1}{3}} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4.5)$$

をうる。回路が発振するためには G₀ > G_m で |v_g| > |v_r|、k > 1 が必要で、式 (4.5) からグリッドバイアスを浅くして |v_g| を小さくすれば発振振幅の増加することがわかる。また G₀ の変化によって、V₁ には

$$\delta V_1 = -\frac{4}{3} \left(\frac{2}{3A^2 k^{\frac{1}{2}} - 1} \right)^{\frac{1}{3}} \delta G_0 \dots \dots \dots (4.6)$$

の変化が生じ、V_{g0} を浅くして発振レベルを下げることににより、検出感度は増大する。検出感度が最大となるような発振レベルの付近では信号の位相の遅れも顕著であるが、このレベル領域における複雑なふるまいは Watkins⁽¹⁰⁾ によって十分な説明が与えられている。

5. ブリッジ T 形信号検出器

ブリッジにはいろいろの形式のものが使われ、BPP 方式のように擬似回路を用いたもの、Wheatstone ブリッジ、並列 T 形ブリッジなどがあるが、Anderson の用いた非対称ブリッジは平衡をとるに際して、振幅および位相条件を独立に調整できる点で、最も使いやすいと思われる。ここではこれをさらに簡単化したブリッジ T 形回路を用いた。

検出回路を図 5.1 に示す。共鳴周波数は 16 Mc とした。高周波発振器 SG は最大出力 1 V で、これを 120 dB とし 100～0 dB の間を 1 dB ステップ 可変、周波数安定度は 5×10⁻⁸ 以上である。SG との結合には 3C2V を用い、ブリッジの入力側で 50 Ω に整合した。C₁、C₂、C および L から成る共振回路を R および C₁、C₂ で平衡させることにより共鳴周波数に対してゼロ伝達となり、共鳴吸収を有効に取り出すことができる。L₁ への入力にはタウダウンし、ブリッジのゼロ特性をできるだけせこなわぬようにした。V₁ はグリッドおよびプレート同調して用い、V₂ は V₁ の出力側に対する緩衝回路である。受信機は簡単な通信用の高周波 1 段、中間周波 2 段、低周波 1 段のもので、これに付属した S メータによりブリッジの

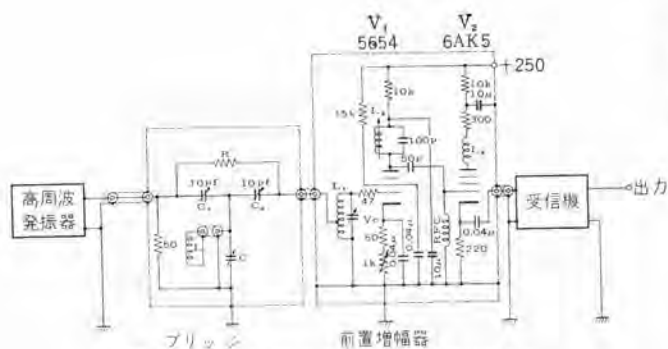


図 5.1 RFブリッジ形 NMR 信号検出器
Fig. 5.1 RF bridge type NMR signal detector.

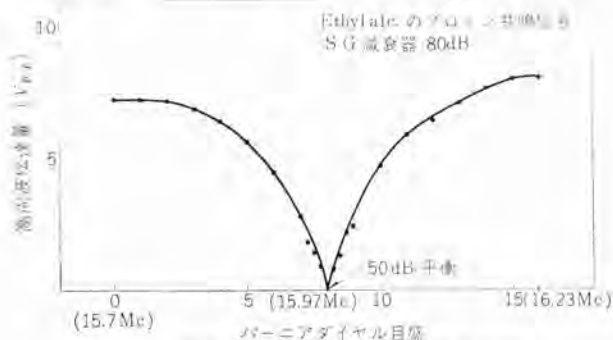


図 5.2 周波数に対する高周波伝達量の変化
Fig. 5.2 Variation of amount of transferred signal vs frequency.

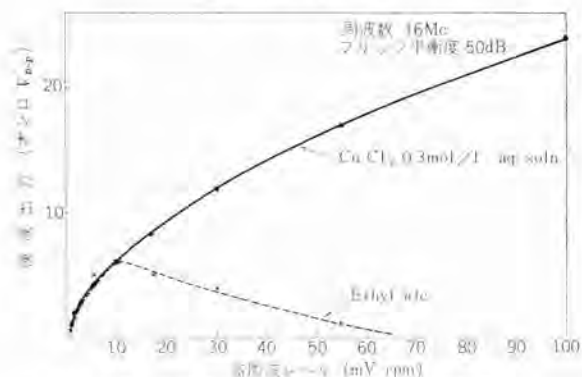


図 5.3 高周波レベルに対する検出出力の変化
Fig. 5.3 Variation of detector output vs RF level.

平衡をとることができる。

ブリッジ T 形回路の平衡条件は出力電流を 0 にするという条件から求められ、次式のようになる。

$$\left. \begin{aligned} C + C_1 + C_2 &= \frac{1}{4\pi\nu^2 L} & (\text{位相}) \\ 4\pi\nu^2 C_1 C_2 R &= \frac{1}{R_p} & (\text{振幅}) \end{aligned} \right\} \quad (5.1)$$

ただし R_p は共振インピーダンスである。C は振幅条件には R_p を介して入っているが、これを C_1 、 C_2 よりできるだけ大きく取ることにより、C のみで位相を合わせ、 C_1 あるいは C_2 のみで振幅を大体合わせることができ、その付近で繰り返して調整を行なうことにより容易に平衡点に達する。16 Mc で平衡を取ったとき、ブリッジの伝達特性は図 5.2 に示したようになる。

SG を 100 dB とし、出力は前置増幅器の入力側で測定し、共振点における減衰量は受信機の S メータにより求めた。ブリッジの平衡を完全にはずした場合、すなわち R のない場合の伝達特性は並列回路における振幅特性と同様のものになる。この最大値に対応する周波数と平衡に達する周波数がわずかにずれているために、

平衡点の両すそでの伝達量は異なっている。最大減衰量は 50 dB 程度であった。この周波数特性を説明するために、前置増幅器の入力インピーダンスが小さいとしたときのブリッジの出力電流 I の絶対値によって伝達量を表わすことにする。また、振幅条件の右辺を $(1+\delta)/R_p$ において不平衡分を表わし、周波数 ν を共振周波数 ν_0 で規格し $\rho = \nu/\nu_0$ と書けば

$$|I| = \left[\frac{1 + \left(\frac{1}{Q}\right)^2 \left(1 + \frac{\delta\rho^2}{\rho^2 - 1}\right)^2}{1 + \left(\frac{1}{Q}\right)^2 \cdot \frac{1}{(\rho^2 - 1)^2}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.2)$$

となる。したがって両すそにおける非対称性は平衡の不完全さによるものである。

高周波レベルによる信号強度の変化は、式 (2.5) およびブリッジの定数から計算することができ、飽和のない範囲ではほぼ直線関係の成りたつことが予想されるが、高周波レベルの高いところでは受信機の AVC が働いて、検出力は直線から下がってくる。これを図 5.3 に示した。高周波レベルは発振検出器に比べて低いので感度較正器は用いず、実際にエチルアルコールおよび塩化第 2 銅 0.3 mol/l 水溶液中のプロトン共鳴信号により検出感度を調べた。またコイル両端における高周波レベルの測定はブリッジの平衡を乱して測定困難なので、SG の減衰器の読みをもってそのめやすとした。両者の比はほぼ 3 程度で、コイル両端のほうに高い電圧がかかっている。エチルアルコールの場合は 80 dB (0.1 V rms) 付近で信号強度が最大となり、それ以上では飽和するが、塩化第 2 銅水溶液の場合は 100 dB まで飽和の影響は現われない。しかし、 Cu^{++} のイオン濃度が 0.03 mol/l の試料についてはやや飽和気味で、95~100 dB 付近において 0.3 mol/l の場合より信号強度は低下していた。

6. NMR 信号の例

前章において特性を調べた検出器を用い、プロトン共鳴信号の検出を行なった。試料はイオン結晶における結晶水のプロトン共鳴の例としてホウ砂 ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) の粉末、および高分子としてポリエステルおよび PMMA (Polymethyl Methacrylate) を用いた。

ホウ砂については Pake の研究⁽¹¹⁾があり、かれは X 線回折のデータと合わせて共鳴線の幅から結晶水の結晶格子における位置を定め、NMR を構造解析に応用する目的に用いた。またこれはプロトン共鳴の幅が比較的広く、信号強度が弱いので、検出器の感度のめやすとすることができる。共鳴信号は図 6.1 に示した。試料は市販の工業用のもので粉末である。図の横軸の 1 目盛りは約 7.7 Oe の磁界に相当し、これを 30 sec で掃引した。

ポリエステルおよび PMMA は当所の化学第一研究室において合成を行なったもので、ポリエステルのプロトン共鳴信号を図 6.2 に示す。横軸は 7.7 Oe/div で、掃引速度は 60 min/div である。高分子の場合には吸収曲線の形は、一般に図 6.3 に示すように幅の広い成分と狭い成分の重ね合わせの形になり、試料およびその温度によって、この二つの成分の幅の比、面積比および強度比は広範囲に変化する。これは試料物質において、比較的自由に運動を行ないやすい基に属しているプロトンから来る信号は狭幅の成分を与え、束縛された基に属するプロトンからは広幅の成分が生ずるとして説明されている。図において曲線の左半分は装置の時定数の影響により不完全であるが、右半分についてみると、信号の立ち上がり付近にコラのようなものがあり、広幅の成分が現われている。高分子の研究においては、この二つの成分を忠実に得ることが必

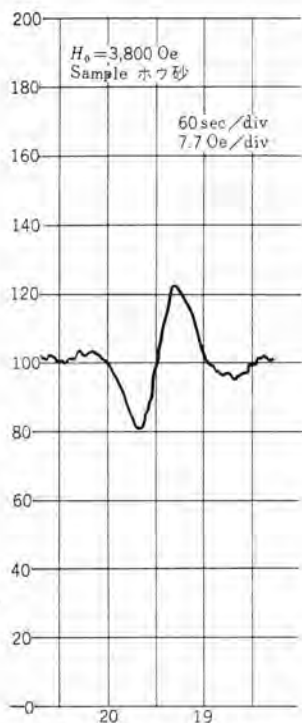


図 6.1 ホウ砂における結晶水のプロトン共鳴信号
Fig. 6.1 Proton resonance signal of hydrated crystal of borax.

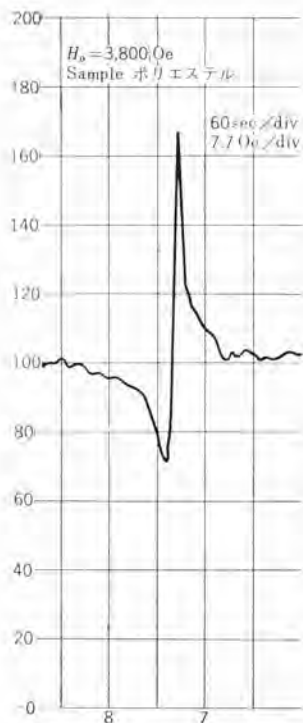


図 6.2 ポリエステルのプロトン共鳴信号
Fig. 6.2 Proton resonance signal of polyester.

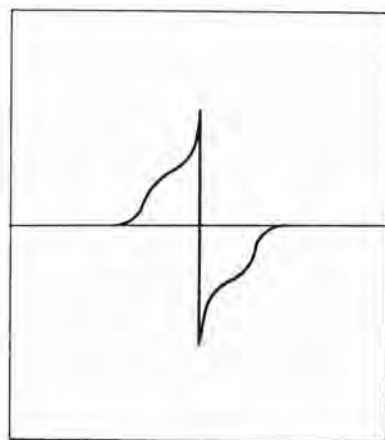


図 6.3 典型的な高分子のプロトン共鳴信号の例
Fig. 6.3 Typical example of the proton resonance signal in polymer.



図 6.4 PMMA のプロトン共鳴信号
Fig. 6.4 Proton resonance signal of PMMA.

要であるが、狭幅の成分が強いつま来た成分の幅の比が1に近いとき、広幅の成分を忠実に出すことは困難である。次にエチレンジリコールジメタクリレートを架橋剤としたPMMAの信号を図6.4に示す。これは架橋のため通常のPMMAに比べてガウス転移点が高くなっており、常温においても広幅の成分が残っている。図は変調幅を広げ、広幅の成分のみを出したものである。なお、横軸は5.8 Oe/divで掃引速度は30 sec/divである。高分子のNMRについては当所、化学第一研究室と共同で研究を行ないつつあり、次の機会にその詳細を報告したい。

7. む す び

NMR信号検出器の一般的性質および発振検波形検出器、ブリッジ形検出器の特性についての実験結果を述べた。検出感度および周波数安定度についてはさらに向上をはかるため、引き続いて実験を行なっている。一応各種の高分子、およびイオン結晶に対しては実用しうる段階になったと考えられ、これらの研究に使用するために温度可変ローラの開発を進めている。

終わりに、検出器の特性については東大物性研究所、久米博士、高分子の諸性質については当所、柴山技師および飯坂技師のご教示に負う点が多く、ここに明記して衷心より謝意を表したい。

(昭 38-8-31 受付)

参 考 文 献

- (1) F. Bloch: Phys. Rev., 70, 460 (1946).
- (2) B. V. Rollin: Rep. Progr. Phys., 12, 22 (1949).
- (3) K. N. Kapur & J. M. McGrath: R. S. I., 30, 272 (1959).
- (4) H. L. Anderson: Phys. Rev., 70, 1460 (1949).
- (5) K. Kume: Tech. Rep. ISSP, Ser B. No. 1, p. 1, p. 7 (1960), および私信.
- (6) G. D. Watkins & R. V. Pound: Phys. Rev., 82, 343 (1951).
- (7) N. J. Hopkins: R. S. I., 20, 401 (1949).
- (8) R. G. Shulman et al.: R. S. I. 29, 300 (1958).
- (9) F. Bloch, W. W. Hansen & M. E. Packard: Phys. Rev., 70, 474 (1946).
- (10) G. D. Watkins: Ph. D. Thesis in Harvard University.
- (11) G. E. Pake: J. Chem. Phys. 16, 327 (1948).

複合認識系の実験

吉江高明*

木村孝之**・黒田寿一**

Experiments of Compound Cognitive System

Head Office

Takaaki YOSHIE

Research Laboratory

Takayuki KIMURA・Toshikazu KURODA

Study on artificial intelligence is making headway throughout a pattern recognition system, a self organizing system and a learning system, yet a formalization of cognition has not established. So it has been tried first to formalize the recognition and then started to clarify the various concepts such as performance of cognitive system and its interpretation, thus a principle of composing cognitive systems being established as follows.

One complex cognitive system of good performance is made available by compounding several, simple cognitive systems of poor performance. To determine a complex compound mechanism is equivalent to composing a cognitive model.

This principle has been experimented in regard to the binary cognitive system by taking the linear majority logis as a complex mechanism and 1,000 patterns as media of cognition, the results revealing the following conclusions.

- (1) A compound cognitive system having a performance of 95.8% has been obtained.
- (2) A linear operation, as a decision function of a composing compound system, can not compose a system to have a performance of 100%.
- (3) To obtain 100% performance with the linear function may be available by limiting media.
- (4) Each of cognitive systems composing complex systems having a non-linear function as a decision function is all right if it has a linear function as a decision function.

1. ま え が き

電子計算機を主とする情報処理 システム の最近の発展はめざましく、人間をその精神的労働から解放するための大きな推進力になっている。しかしその反面、そのような システム の得意とする処理の対象が、記号化された データ に限られることからくる限界もまた、次第に明らかになってきた。したがって一般に知覚認識機能と呼ばれている人間の一つの特性が機械化されて、情報処理 システム の構成に加われれば、現象そのものを情報として処理のできる強力な システム の構成が期待される。

従来、この問題は図形認識系、自動組織化系、学習系などの研究を含む人工知能の問題として研究され、最近では パイオニアス と呼ばれる新しい研究分野も誕生して、着実な成果を収めつつあるといえるが、いまだ“認識”の形式化の体系も確立されていない揺らんな期でもある。

われわれは、まず認識の形式化を試みて、認識系の“性能”、“解釈”などの諸概念を明確化することから研究を始めた。そしてそれに基づいて、一つの認識系を構成するための原理を確定した。それは次のようなものである。

一つの“性能”のよい複雑な認識系は、いくつかの性能のよくない簡単な認識系を複合することによって構成される。一つの複合のメカニズムを確定することと、一つの認識モデルを構成することは等価である。

この原理の妥当性を検討するために、2 値図形認識モデルを構成し、IBM 7090 による模擬実験を行なった。また実験に際しては、その図形認識モデルの実用性を検討するための資料としてモ

デルのハッ(汎)化コウ配も求めた。

なお上の原理を2 値の認識系の構成に適用する場合には、現在神経細胞の基本的機能として注目されている線形多数決論理演算を、複合のメカニズムに採用できることが判明したので、われわれのモデルでは、この演算を決定関数として採用している。

2. 認識の形式化

2.1 認識系

事象 e_k が μ_k のひん度で生起する“環境” $E(e_k, \mu_k)$ にあって、感覚器と効果器をもつある系 S が、事象 e_k に対応して r_i なる応答をするとき、

“認識系 S は e_k を r_i と認識する。”
“認識系 S に対して、 e_k は r_i を意味する。” } …(2.1) という。

すなわち、認識は S と e_k と r_i の間に成立する3項関係 $R(S, e_k, r_i)$ として、はあくされる。 S が認識の主体であり、客体は e_k と r_i との対応関係である。 e_k は認識の対象ではなくして、むしろ認識媒体と考えなければならない。(1)

今、系 S が不確かな応答をする場合、すなわちある種の“狂気性”をもつような場合には、同じ事象がいろいろな意味をもつ可能性が生ずるから、上の定義は次のように述べる必要がある。

“系 S に対して、 e_k は s_{ki} の確率で r_i を意味する。”

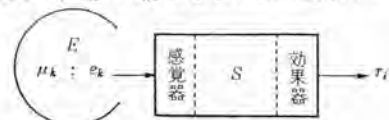


図 2.1 認識系

Fig. 2.1 Cognitive system.

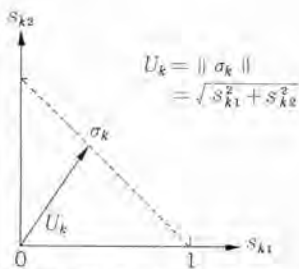


図 2.2 σ_k と U_k の関係
Fig. 2.2 Relation of σ_k with U_k .

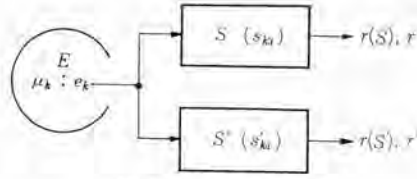


図 2.3 二つの認識系
Fig. 2.3 Two cognitive systems.

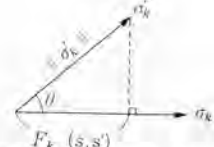


図 2.4 “性能” の定義
Fig. 2.4 Definition of “Performance”.

ここで $s_{ki} = \text{Prob}(r_i | e_k)$ であり、系 S と環境 E との関係はこの行列 (s_{ki}) によって規定される。この行列を“ E に対する S の解釈”と呼ぶ。

この場合、ある事象 e_k の S に対する意味は式 (2.2) のベクトル表示にすることができる。

$$\sigma_k \equiv (s_{k1}, s_{k2}, \dots, s_{kn}) \quad (2.2)$$

そして、“狂気性”の度合、あるいは e_k に関する応答の一様性(安定性)を $U_k(S)$ と記して、 σ_k のノルムで定義する。

$$U_k(S) \equiv \|\sigma_k\| = \sqrt{\sum_i s_{ki}^2} \quad (2.3)$$

また、 s_{ki} の定義から

$$\sum_i s_{ki} = 1 \quad (2.4)$$

である。この関係を $n=2$ の場合について、図 2.2 に図示する。

なお E に関する一様性 $U(S)$ は式 (2.5) と定義する。

$$U(S) \equiv \sum_k \mu_k U_k(S) = \sum_k \mu_k \sqrt{\sum_i s_{ki}^2} \quad (2.5)$$

たとえば、 $U(S) > U(R)$ ならば、 S のほうが R より安定した応答を行なうから、認識系として望ましい要素の一つをもっているといえる。

2.2 認識系の性能

前節では一つの認識系を定義し、そこからでくるいくつかの概念を規定した。そこで次に、二つの認識系から導き出される概念を検討する。その一つが“性能”である。

一般に性能は“正しい応答をする比率”として捕えられているが、その場合、“系 S の性能”という記述は正しくない。“正しさ”もその一種である“価値”は二つの系が存在することから生れてくるものだからである。したがって、後で説明するように厳密には、“系 S に対する系 S' の性能”と表現しなければならない。

今、共通の環境 E と、同質の効果器をもつ二つの系 S, S' (おのおのの解釈を (s_{ki}) (s'_{ki}) とする) を考えて、 S が S' との相互通信を望むとすると、 S は S' が E に対して S と同様の解釈をもつことを要求する。すなわち二つの系の間に相互通信が成立するためには、同一の事象に対して同一の応答をすることが必要である。また、 S が S' を S の代理として採用する場合 (たとえば、人間が図形認識装置を作る場合) にも、 S' が S と同様の解釈をもつことが要求される。 S のこれらの要求によって、 S' は S に対してある価値をもつことができる。それが“正しさ”であり“性能”である。そこで、 e_k に関して S' の S に対する性能 $F_k(S, S')$ と、 E に関する性能 $F(S, S')$ を式 (2.6), (2.7) で定義する。ただし、 e_k の S に対する意味を σ_k , S' に対する意味を σ'_k とする。

$$F_k(S, S') \equiv \|\sigma'_k\| \cos \theta = \frac{(\sigma_k, \sigma'_k)}{\|\sigma_k\|} = \frac{\sum_i s_{ki} s'_{ki}}{\sqrt{\sum_i s_{ki}^2}} \quad (2.6)$$

(σ_k, σ'_k): σ_k と σ'_k の内積

$$F(S, S') \equiv \sum_k \mu_k F_k(S, S') \quad (2.7)$$

この定義から明らかなように、式 (2.8) が成り立つ。

複合認識系の実験・吉江・木村・黒田

$$\begin{aligned} F(S, S') &\leq F(S, S) = \sum_k \mu_k \sqrt{\sum_i s_{ki}^2} = \sum_k \mu_k \sqrt{\sum_i s_{ki}^2} \\ &= U(S) \end{aligned} \quad (2.8)$$

この式は、 S' が S に対して $U(S)$ 以上の性能を示しえないことを意味している。また明らかに、 $F(S', S) = F(S, S')$ であるとは限らない。

次に上の定義による“性能”と、われわれの日常用いている“性能”(正しい応答をする率)との関係を述べる。ただし“ S' が S に対して正しい応答をする率”を式 (2.9) で表わす。

$$G(S, S') \equiv \text{Prob}\{r(S) = r(S')\} \quad (2.9)$$

それに先だって、“共感”なる概念を導入する。

今、ある事象が S に対して r_i を意味し、同時に S' には r_j を意味する確率を p_{ij} とすると、行列 (p_{ij}) は S と S' の応答の相関を示す。これを S と S' の“共感”と呼ぶ。

$$p_{ij} \equiv \text{Prob}\{r(S) = r_i \cap r(S') = r_j\} \equiv \text{Prob}(r_i, r'_j) \quad (2.10)$$

この共感に関して重要なことは、それが系の応答の間の関係であるから、環境を調べることなく、観測可能なことである。

これを二つの系の解釈から求めると、式 (2.11) である。

$$p_{ij} = \sum_k \mu_k s_{ki} s'_{kj} \quad (2.11)$$

さて、共感を用いて $G(S, S')$ を表現すると、

$$G(S, S') = \sum_i p_{ii} \quad (2.12)$$

であるから、式 (2.9), (2.6) を代入して、

$$\begin{aligned} G(S, S') &= \sum_k \sum_i \mu_k s_{ki} s'_{ki} = \sum_k \mu_k \sum_i s_{ki} s'_{ki} \\ &= \sum_k \mu_k U_k(S) F_k(S, S') \end{aligned} \quad (2.13)$$

そして、 $U_k(S) = U(S)$ とできる場合は、

$$G(S, S') = U(S) \sum_k \mu_k F_k(S, S') = U(S) F(S, S') \quad (2.14)$$

となり、これから

$$F(S, S') = \frac{G(S, S')}{U(S)} \quad (2.15)$$

が成り立つ。そして式 (2.8) から、 $F(S, S) = U(S)$ であるから、これを式 (2.15) に代入して、

$$U(S) = \sqrt{G(S, S)} \quad (2.16)$$

を得る。これから、式 (2.17) が得られる。

$$F(S, S') = \frac{G(S, S')}{\sqrt{G(S, S)}} \quad (2.17)$$

この式は、性能が環境に関係しない観測によって測定可能であることを保証している。また式 (2.15) は、安定した系に対しては $F(S', S) = G(S', S)$ が成立することを示している。

3. 認識系の複合

3.1 複合認識系

ある認識系 S に対して、 $F(S, S^{(i)})$ の性能をもつ n 個の認識系を用いて、一つの複合認識系 $S^{(0)}$ を構成したとき、その性能 $F(S, S^{(0)})$ が個々の性能よりもすぐれている場合には、系の複合

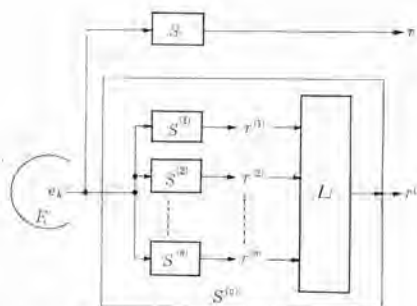


図 3.1 複合認識系
Fig. 3.1 Compound cognitive system.

に意義があるといえる。この問題を図示すると図 3.1 になり、われわれが求めるものは、 L の構成方法である。ただし、各系に関するデータとしては、 S との共感 ($p_{ij}^{(i)}$) だけが観測可能であるとする。換言すれば、複合系の要素となる各系のメカニズムと、環境 E を分析せずに L の構成を考える。このことは、複合をリサーチするために必要な条件である。

3.2 L の構成

系 $S^{(i)}$ の応答 $r^{(i)}$ から判断して、系 S の応答 r が r_i であると正しく断定できる確率を $Q_i^{(i)}$ とするせば、その期待値 Q_i

$$Q_i \equiv \frac{1}{n} \sum_i Q_i^{(i)} \quad (3.1)$$

は $\{r^{(i)}\}$ から、 r が r_i であると断定するための一つの指標として考えることができる。ここで、 Q_i があくまでも指標であって、確率ではないということは重要である。したがって、有用性がそのおもな特性である。後で検討するように、各系の応答が $r_j^{(1)}, \dots, r_j^{(n)}$ のときに $r=r_i$ である確率 $\text{Prob}(r_i | r_j^{(1)}, \dots, r_j^{(n)})$ を指標として採用することも考えられるが、これを共感から求めることは困難である。

式 (3.1) の Q_i を用いて、次のような決定関数を L として構成することができる。

$$r^{(0)} = r_m : Q_m = \max\{Q_i\} \quad (3.2)$$

ここで各 $Q_i^{(i)}$ を S との共感 ($p_{ij}^{(i)}$) から求める。

$$\text{今, } q_{ij}^{(i)} \equiv \text{Prob}(r_i | r_j^{(i)}) \quad (3.3)$$

$$\left. \begin{aligned} d_j^{(i)} &= 1 : r^{(i)} = r_j \\ &= 0 : r^{(i)} \neq r_j \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

$$\text{とおけば, } Q_i^{(i)} = \sum_j q_{ij}^{(i)} d_j^{(i)} \quad (3.5)$$

$$\text{となる。そして } q_{ij}^{(i)} = \frac{p_{ij}^{(i)}}{\sum_j p_{ij}^{(i)}} \quad (3.6)$$

が成り立つから、(証明後述)式 (3.5) に代入して式 (3.7) となる。

$$Q_i^{(i)} = \sum_j \frac{p_{ij}^{(i)}}{\sum_j p_{ij}^{(i)}} d_j^{(i)} \quad (3.7)$$

〔式 (3.6) の証明〕 $S, S^{(i)}$ の E に対する解釈を $(s_{ki}), (s_{kj}^{(i)})$ とすると、式 (3.3) の定義から、

$$q_{ij}^{(i)} = \frac{\text{Prob}(r_i | r_j^{(i)})}{\text{Prob}(r_j^{(i)})} = \frac{\sum_k \mu_k s_{ki} s_{kj}^{(i)}}{\sum_k \mu_k s_{kj}^{(i)}} \quad (3.10)$$

一方、式 (2.11) から

$$\begin{aligned} \sum_i p_{ij}^{(i)} &= \sum_i \sum_k \mu_k s_{ki} s_{kj}^{(i)} = \sum_k \mu_k s_{kj}^{(i)} \sum_i s_{ki} \\ &= \sum_k \mu_k s_{kj}^{(i)} \end{aligned} \quad (3.11)$$

式 (2.11) と式 (3.11) を式 (3.10) に代入して式 (3.6) が得られる。〔証明了〕

また前述の $\text{Prob}(r_i | r_j^{(1)}, \dots, r_j^{(n)})$ を式 (3.10) と同様にして、各系の解釈で表現すると、

$$\text{Prob}(r_i | r_j^{(1)}, \dots, r_j^{(n)}) = \frac{\sum_k \mu_k s_{ki} s_{kj}^{(1)} \dots s_{kj}^{(n)}}{\sum_k \mu_k s_{kj}^{(1)} \dots s_{kj}^{(n)}} \quad (3.12)$$

であり、これを $p_{ij}^{(i)}$ を用いて求めることは困難である。少なくとも、式 (3.1) のような線形演算の形式に分解できないことは明らかである。しかし、指標として、 Q_i より有効なことは十分予想される。

3.3 多数決論理演算による系の複合

上述の一般の原理に基づき、複合 2 値認識系を構成する。式 (3.1) の期待値を求める演算子として、線形多数決論理演算式 (3.13) を用いることができる。

$$\begin{aligned} y &= 1 : \sum_i W_i x_i + T \geq 0 \\ &= 0 : \sum_i W_i x_i + T < 0 \end{aligned} \quad (3.13)$$

x_i : 2 値, W_i, T : 実数

また次の 2 項を仮定する。

- (i) 基準になる系が安定している。 $\{U(S)=1\}$
- (ii) 各系について、観測可能なデータはその性能だけに限る。

ただし、基準系の応答のひん度は観測されうものとする。ここで、suffix のめんどろを避けるために、記号を次のように用いる。

系 S_i の応答が 1, 0 であることを $r_i (\equiv d_i^{(i)})$, $r'_i (\equiv d_0^{(i)})$ とし、基準系 S に対する性能を f_i とする。タプシの使用法は、以下これに準ずる。そして式 (3.14) とおけば、式 (3.5) から式 (3.15) となる。

$$\left. \begin{aligned} \alpha_i &\equiv \text{Prob}(r | r_i) \equiv q_{ii}^{(i)} \\ \beta_i &\equiv \text{Prob}(r | r'_i) \equiv q_{i0}^{(i)} \end{aligned} \right\} \quad (3.14)$$

$$\left. \begin{aligned} Q_i &= \alpha_i r_i + \beta_i r'_i \\ Q'_i &= \alpha'_i r_i + \beta'_i r'_i \end{aligned} \right\} \quad (3.15)$$

2 値の場合の決定関数は、式 (3.16) をとればよいから、

$$\left. \begin{aligned} r_0 &= 1 : F \equiv \frac{1}{n} \sum Q_i - \frac{1}{n} \sum Q'_i \geq 0 \\ &= 0 : F \equiv \frac{1}{n} \sum Q_i - \frac{1}{n} \sum Q'_i < 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.16)$$

式 (3.15) を用いて F を求めると、

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{n} \sum_i \{(\alpha_i - \alpha'_i) r_i + (\beta_i - \beta'_i) r'_i\} \\ &= \frac{1}{n} \sum_i (\alpha_i - \beta_i) x_i + \frac{1}{n} \sum_i (\alpha_i + \beta_i - 1) \end{aligned} \quad (3.17)$$

$$\text{ただし, } r_i \equiv \frac{1+x_i}{2}, r'_i \equiv \frac{1-x_i}{2} \quad (3.18)$$

で、 $r_i=1, 0$ に従って、 $x_i=1, -1$ になる。

$$\left. \begin{aligned} \text{ここで, } W_i &\equiv \alpha_i - \beta_i \\ T &\equiv \sum_i (\alpha_i + \beta_i - 1) \end{aligned} \right\} \quad (3.19)$$

とおけば、式 (3.16) に式 (3.13) を採用することができる。

そこで、 α_i, β_i を f_i と $\text{Prob}(r) \equiv t$ から求めるが、そのためには次の仮定が必要である。

- (iii) 系 S_i が誤る確率は入力事象について、無関係である。

$$\text{式で表示すると, } \text{Prob}(r'_i | r) = \text{Prob}(r_i | r') \quad (3.20)$$

さて、 α_i, β_i は式 (3.6) から求められるから、系 S と S' の共感を求めればよい。そこで S_i の共感を式 (3.21) で表わす。

$$\left(\begin{array}{cc} \text{Prob}(r' r'_i) & \text{Prob}(r' r_i) \\ \text{Prob}(r r'_i) & \text{Prob}(r r_i) \end{array} \right) \equiv \left(\begin{array}{cc} a & b \\ c & d \end{array} \right) \quad (3.21)$$

仮定 (i) と式 (2.16) と式 (2.12) から、

$$f_i = F(S_i, S) = G(S_i, S) = a + d, f'_i = b + c \quad (3.22)$$

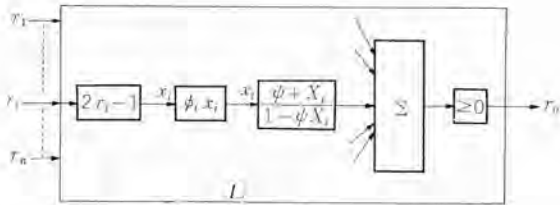


図 3.2 複合 2 値認識系の L

Fig. 3.2 L of compound binary cognitive system.

また式 (3.20) から $ct' = bt$ (3.23)

そして定義から, $a + b + c + d = 1$ (3.24)

以上の式から, a, b, c, d を求めて式 (3.21) に代入すると式

(3.21) は $\begin{pmatrix} f_i t, & f_i' t' \\ f_i t', & f_i' t \end{pmatrix}$ となるから, これを式 (3.6) に代入して,

$$\alpha_i = \frac{f_i t}{f_i t + f_i' t'}, \quad \beta_i = \frac{f_i' t}{f_i t + f_i' t'} \quad \text{..... (3.25)}$$

ここで, $\phi_i \equiv f_i - f_i', \quad \psi \equiv t - t' \quad \text{..... (3.26)}$

とおいて, 式 (3.19) に代入すれば, 式 (3.27) となる.

$$\left. \begin{aligned} W_i &= \frac{1 - \psi^2}{1 - \psi^2 \phi_i^2} \phi_i \\ T &= \sum_i \frac{1 - \phi_i^2}{1 - \psi^2 \phi_i^2} \psi \end{aligned} \right\} \quad \text{..... (3.27)}$$

そして, 決定関数を書けば,

$$\begin{aligned} F &= \sum_i \frac{(1 - \psi^2)(\phi_i x_i) + [1 - (\phi_i x_i)^2] \psi}{1 - \psi^2 (\phi_i x_i)^2} \\ &= \sum_i \frac{\psi + X_i}{1 - \psi X_i} \geq 0 \quad \text{..... (3.28)} \end{aligned}$$

ただし, $X_i \equiv \phi_i x_i$ で $X_i^2 = \phi_i^2 x_i^2 = \phi_i^2$ である.

この式 (3.28) が, 複合 2 値認識系の場合に, 図 3.1 で求めるべき L である. なお ϕ_i, ψ は, 式 (3.26) から明らかなごとく, おのおの r と r_i, r と 1 の cross-correlation である.

4. 実験

4.1 実験にあたって

3.3 節で述べた仮説 (i), (ii) のもとに線形多数決論理演算によって構成された 2 値認識系の複合系を, IBM 7090 を用いてシミュレートした. $U(S) = 1$ なる基準系に対して, 個々の性能を持つ系を複合して一つの複合系を構成するとき, 複合系の性能の評価は式 (3.12) の形式で与えられる. これを線形演算で求められないことは明らかであるが, われわれの構成した決定関数式 (3.28) の性能がどの程度期待できるかを実験した. 一方実用化の段階において, 少数個の認識系の複合が多数個の系の複合同程度の性能を持つことができれば, 認識系の経済性を考える際にも有用であり, またある認識媒体を通して得た認識系の性能が, 100% の性能を持つには媒体の統計構造をどの程度制限すればよいかということも, 系の構成上必要なことであると考え, これらについても実験を行なった.

4.2 PAPROC の構成⁽¹⁾

上述の実験を含めて図形処理方式と学習モデルを研究するために IBM 7090 FORTRAN でロジカル・シミュレータを作った (これを PAPROC と名づける). PAPROC の演算系は FORTRAN で書かれた

Subroutine で構成され, これを CALL ステートメントでつなぐことによって所期の実験を可能にすることができる.

PAPROC の演算系は次の六つのグループに大別できる.

- (1) Logical Operation
- (2) Transfer Operation
- (3) In/Out Operation
- (4) Noise Introducing Operation
- (5) Learning and Recognizing Operation
- (6) Miscellaneous Operation

PAPROC で処理される図形は Max (50×30 メッシュ) のフィールド P に有図形部分は +1, 無図形部分は -1 で表現され, このフィールドに対し種々の演算が組まれている. すなわち, (4) では図形に対して加えられる上・下, 左・右のズレ (UR, DR, LR, RR), インクのこじり (BLOT), インクの飛び散り (SPOT) などのノイズ演算, (5) では 3.3 節の理論を表現した線形多数決論演算が組み込まれている.

4.3 環境 E , 基準系 S , 認識系 S_{ij} の設定

4.3.1 環境 E (サンプル・パターンの構成)

ここで, われわれの用いた環境 E の構成は次のとおりである. 40×30 メッシュに分けた平面上の数字パターン 10 個 (0, 1, ..., 9;

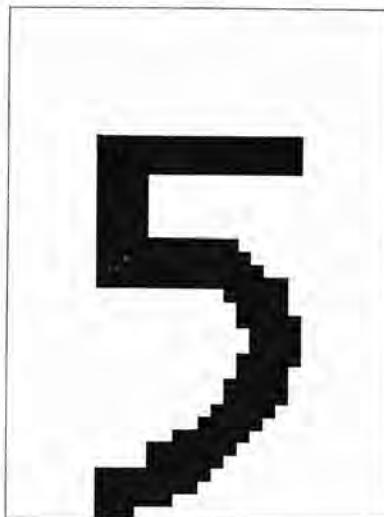


図 4.1 母型 “5”
Fig. 4.1 Pure pattern “5”.



図 4.2 Blot ノイズ (2,2)
Fig. 4.2 Sample of blotty noise parameter (2,2).



図 4.3 Blot ノイズ (4,4)
Fig. 4.3 Sample of blotty noise parameter (4,4).

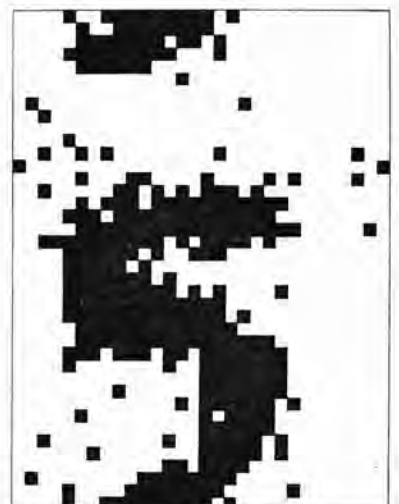


図 4.4 サンプルパターン “5”
Fig. 4.4 Sample pattern “5”.

フレキシタイルから抽出)を母型とし(図4.1参照),これに Blot(ニジミ), Spot(とび散り), Shift(ズレ)のノイズを導入したパターンを構成した。各ノイズについて説明すると,

(1) Blot ノイズ

PAPROC の BLOT (k_1, k_2) を用いる。この機能はフィールド P の有図形部分の1が、隣のメッシュへ ($1/2^{k_1}$) の確率でしみ込み、その隣へは ($1/2^{k_2}$) の確率でしみ込むという模擬である。

(2) Spot ノイズ

PAPROC の SPOT (k) を用いる。これは P フィールドの各メッシュが ($1/2^k$) の確率で反転する。

(3) Shift ノイズ

PAPROC の UR, DR, LR, RR を用いて上・下、左・右のズレを行なっているから、一端をはみ出した図形は他端にはいつてくるという Born Von Korman 条件を満たしている。シフト量は最大各 10 メッシュで 2 項分布に従っている。

上記 (1), (2), (3) のノイズを検討した結果 BLOT (3,4), SPOT (5), と (3) の機能を持つノイズを各母型に加え、このようなサンプル・パターンを 1,000 個作成した。その一例を図 4.4 に示す。

4.3.2 基準系 S

基準系 $S(U(S)=1)$ の構成は次のようである。すなわち 4.3.1 項で構成された環境 E に対し、その中の奇数 {1, 3, 5, 7, 9} にはラベル +1, また偶数 {0, 2, 4, 6, 8} には -1 なるラベルの対応を付けた。

4.3.3 認識系 S_{ij}

40×30 メッシュ (環境 E の各要素 e_k の情報をすべて受け入れられるもの)に分けられた情報から (i, j) 番目のメッシュに対する情報によって入力 e_k が出力 r_{kij} であると認識する系。

4.4 複合認識系の構成

4.3 節で構成された環境 E と基準系 S を Teacher としておのおのに認識性能を有する 2 次元的にならんだ有限個の認識系 $\{S_{ij}; i=1, \dots, 40, j=1, \dots, 30\}$ を複合した認識系 $S^{(0)}$ の構成を考える。構成されるべき系は基準系 S と同質な系である。すなわちサンプル・パターン {1, 3, 5, 7, 9} には +1, {0, 2, 4, 6, 8} には -1 なるラベルをカテゴリ化する系を構成することである。図 3.1 に示される複合認識系を考えると、認識系 $\{S_{ij}\}$ は固定した性能を有するものであり、環境 E と系 S を用いてその性能指標 $\{W_{ij}\}$ を測定することができれば、具体的な L を構成することが可能である。 W_{ij} の求め方は次のとおりである。まず $\{W_{ij}\}$ の初期状態をすべて 0 と設定し、 $E \ni e_k$ を系 S_{ij} に入力として与え、 S_{ij} の

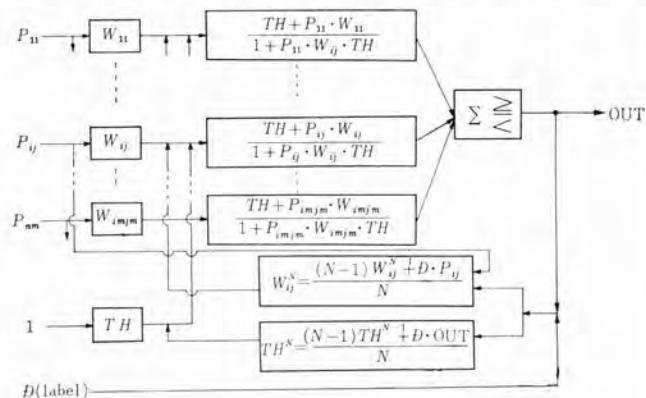


図 4.5 L の機構
Fig. 4.5 Organization of L .

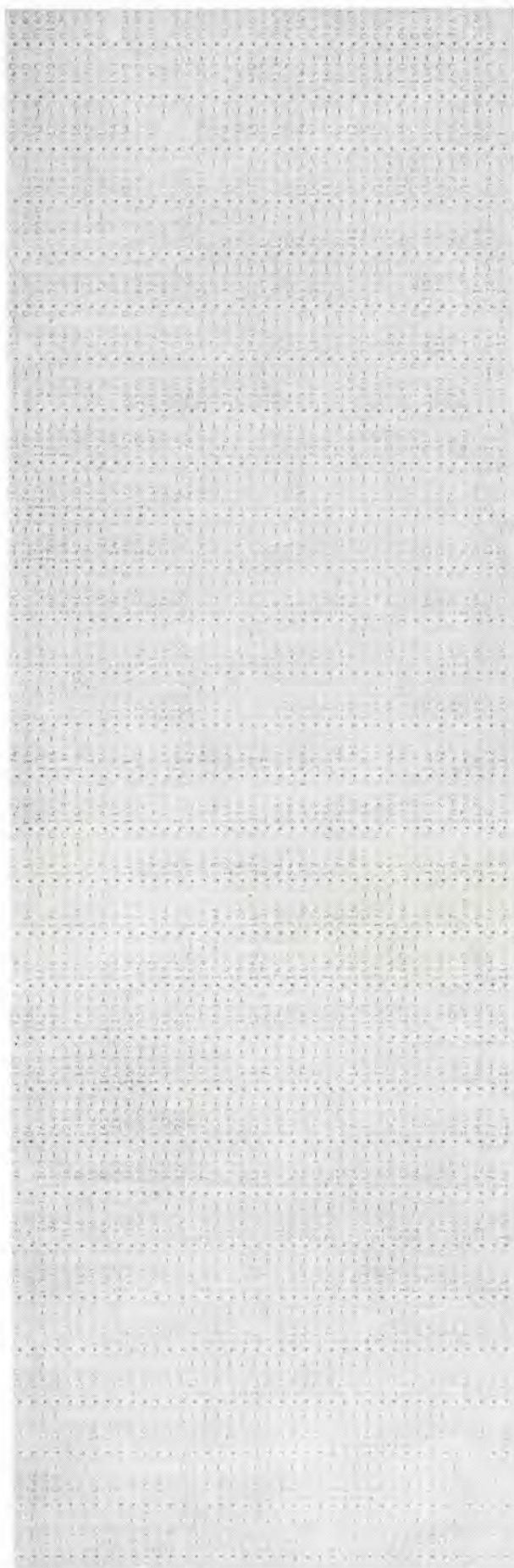


Fig. 4.6 Elements of L (W_{ij})

図 4.6 L の構成要素 (W_{ij})

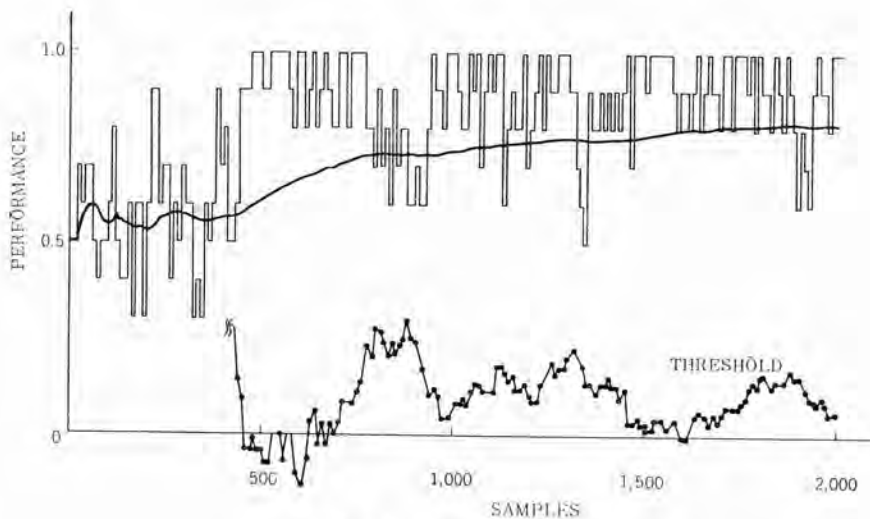


図 4.7 学習曲線
Fig. 4.7 Learning curve.

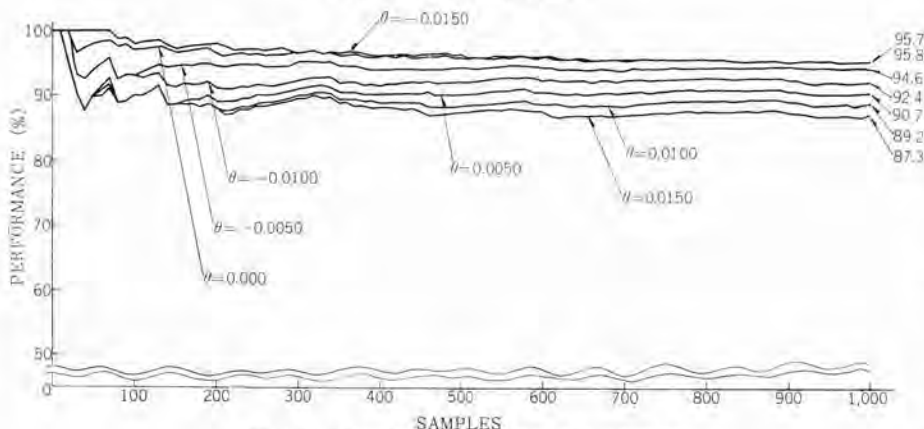


図 4.8 Threshold values の変化と性能曲線
Fig. 4.8 Performance curve for threshold values.

表 4.1 誤判定図形と THRESHOLD VALUE の関係

PATTERN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	EVEN	ODD	TOTAL
THRESHOLD													
-0.0150	14	8	2	0	5	1	0	2	10	1	12	31	43
-0.0100	9	15	0	1	4	4	0	3	4	2	25	17	42
-0.0050	6	29	0	4	3	5	0	3	2	2	43	11	54
0	6	40	0	8	2	6	0	7	2	5	66	10	76
0.0050	5	49	0	10	1	9	0	11	2	6	85	8	93
0.0100	4	56	0	16	1	10	0	13	2	6	101	7	108
0.0150	2	59	0	23	1	14	0	20	2	6	122	5	127
TOTAL	46	256	2	62	17	49	0	59	24	28	454	39	543

出力 r_{kij} と基準系に e_k を与えたときの出力 r_k との関係から、 $r_k = r_{kij}$ ならば W_{ij} の値を増加させ、 $r_k \neq r_{kij}$ ならば W_{ij} の値を減少させる。これを各 S_{ij} について行なう。(図 4.5 参照)(この操作を複合系 $S^{(0)}$ として捕えると、 $S^{(0)}$ は環境 E の事象の生起順序をカリキュラムとして基準系 S (Teacher) を学習しているといえる。——今後“学習”という言葉はこの意味で使用する——) この操作を 1,000 個のサンプル・パターンについて行ない、具体的な L 、すなわち複合系 $S^{(0)}$ を構成した。(図 4.6 参照) また系 $S^{(0)}$ の学習過程曲線は図 4.7 に示されている。

$\{S_{ij}\}$ の性能の測定は PAPROC の ADP で行ない、複合系 $S^{(0)}$ のカテゴリスは MAT で行なっている。ADP および MAT の機能は次のようなものである。

(1) ADP の機能

$$W_{ij}^N = \frac{(N-1) \cdot W_{ij}^{N-1} + D \cdot P_{ij}}{N}$$

$$TH^N = \frac{(N-1) \cdot TH^{N-1} + D \cdot \bar{OUT}}{N}$$

(2) MAT の機能

$$\sum_{ij} \frac{P_{ij} W_{ij} + TH}{1 - P_{ij} W_{ij} TH} \geq 0$$

$$\Rightarrow \bar{OUT} = +1$$

$$\sum_{ij} \frac{P_{ij} W_{ij} + TH}{1 - P_{ij} W_{ij} TH} < 0$$

$$\Rightarrow \bar{OUT} = -1$$

(ただし (1), (2) とも、 N : 測定回数、 W_{ij}^N : N 回の測定を終わったときの S_{ij} の性能指標、 D : 基準系 S の出力、 P_{ij} : パターンの (i, j) 要素、 TH : Threshold Value、 $\bar{OUT}$: 系 $S^{(0)}$ の出力)。

図 4.7 では系 $S^{(0)}$ の 2,000 サンプル学習過程曲線が得られているが、後半の 1,000 サンプルは前半のパターンの再学習である。したがって 1,000 サンプルの学習で構成された系と、2,000 サンプルの学習で構成された系とは ADP の機能上同一のものである。しかし 1,000 サンプル以後の学習性能は、Threshold の絶対値が小さい(図形の出方に片寄りが少なくなっている)ためかなりの増加が観察される。(1~1,000 サンプル: 74.2%, 1,001~2,000 サンプル: 88.8%, 1~2,000 サンプル: 81.5%)。なおツツウ(凸凹)状の線は各 10 サンプルごとの性能を示し、下の折れ線は Threshold Value の変化を示している。

4.15 最適複合認識系の決定

一般に認識系が基準系と同質な系になるには Teacher を数多く学習することが必要である。学習すべき Teacher のカリキュラムが、

まったくランダムに(学習内容に片寄りが無い)に組まれ、系に与えられるものとすれば数多くの学習は Teacher を習得する上で相応の成果が期待できる。その反面ある片寄りを持ったカリキュラムが構成されたとき(たとえば奇数ラベルを持つパターンを偶数ラベルを持つパターンより多く学習する。またはその逆)、その課程に従って多くの学習を行なったとしても、Teacher を正確に学習したとはいえない。

PAPROC で構成した複合系 $S^{(0)}$ においても、500 サンプル学習した系と 700 サンプル学習した系を比べると、数多くの学習をした後者が少ない前者より、よりすぐれた系 (S_{ij} の測定という立場で見れば、 S_{ij} の性能を正しく測定している W_{ij}) であるとはいえない。なぜなら、この素子を構成する方法はいわゆる強制学習法と呼ばれるものであり、素子の状態のいかにかわらず、入力 e_k によって S_{ij} の性能の測定値が必ず変化する。したがって 500 サンプルの学習を行なったときに最高の性能を示していた系 $S^{(0)}$ が、700 サンプルの学習を終わったときには、その間のパターン

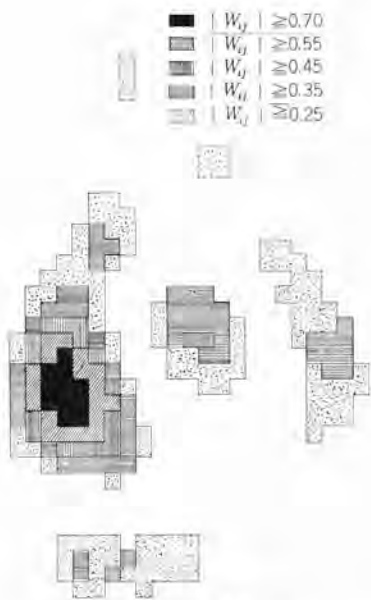


図 4.9 素子の抽出
Fig. 4.9 Extract of cognitive system.

表 4.2 抽出した素子の メッシュ 数と性能

個々の性能 の絶対値	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
メッシュ数	11	18	23	29	40	46	71	101	146	213
性能	0.932	0.94	0.952	0.95	0.956	0.956	0.962	0.96	0.958	0.964

表 4.3 SPOT ノイズに対する性能

パターン パラ メータ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	性能
2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3	1.00	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
4	1.00	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98
5	1.00	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97
6	1.00	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
8	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

表 4.4 SHIFT ノイズに対する性能

パターン パラ メータ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	性能
2	1.00	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97
4	1.00	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96
6	1.00	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97
8	1.00	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	0.94
10	1.00	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
12	1.00	0.90	1.00	0.90	1.00	1.00	1.00	0.90	1.00	1.00	0.97
14	1.00	0.50	1.00	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.80	0.90

の出方によって W_{ij} が変化するため、よりすぐれた性能を示すとは限らない。今の場合も、1,000 サンプル学習した系 $S^{(0)}$ が最高の性能を上げるものか否かは確めてないが、カリキュラムの構成を見ても（奇数ラベルを持つパターン）：（偶数ラベルを持つパターン）＝503:497 という値が示すとおり、カリキュラムに片寄りが見られず、系 $S^{(0)}$ として、1,000 サンプル学習した素子を採用した。（ S_{ij} に限れば性能の測定が妥当と考えられる。）次に R. L. Mattson の実験⁽²⁾にも見られるように $[W_{ij}]$ を固定し、Threshold Value をパラメータとして $-0.015 \sim 0.015$ まで 0.005 幅のステップで系 $S^{(0)}$ の性能を検討した。（図 4.8 参照）その結果 Threshold Value として -0.010 のとき（パターンの出方が 1,000 サンプルで 5 個の片寄りを持つとき）に 95.8% の性能が得られている。なお Threshold Value の変化に従って、系 $S^{(0)}$ が誤判定する図形を抽出したのが表 4.1 である。以下の実験に用いられる複合系 $S^{(0)}$ は、1,000 サンプルの学習で得られた $\{W_{ij}\}$ と Threshold Value -0.010 に設定したものである。

4.6 素子の抽出

有限個の認識系による複合認識系を考えると、複合系の認識性能が個々の認識系の性能よりもすぐれていなければ複合に意義があるとはいえない。逆の立場で考えれば、少数個の系の複合によって、多数個の系の複合と同じ程度の性能を持つような系を構成することができれば複合認識系構成の経済性の観点からも有意義と考えられる。

われわれは、4.4 節、4.5 節において個々の性能を持つ 1,200 個の認識系 $\{S_{ij}\}$ を複合した認識系 $S^{(0)}$ の構成を行ない、系 $S^{(0)}$ の性能を最大になるようにしてきた。おのおのの S_{ij} の性能は 1,000 個のパターンを通して測定された性能指標 W_{ij} (S_{ij} の性能を s_{ij} とすれば $W_{ij} = s_{ij} - s'_{ij}$; ただし $s_{ij} + s'_{ij} = 1$) を有しているが、すべての S_{ij} についてその指標は $0.80 \geq |W_{ij}| \geq 0.0$ (90% の性能を持つものから 50% の性能を持つものまで) に含まれている。（図 4.5 参照）この S_{ij} を用いて性能の良い複合系の構成を考えると、 $|W_{ij}| \approx 0$ (S_{ij} の性能が 50% 程度のもの) なる指標を持つ認識系は複合系の構成上割愛されてよい系であり、反対に

$|W_{ij}| \approx 1$ (S_{ij} が 100% に近い性能を持つ) なる系は複合系の構成上、欠かすことのできない系となる。そこで S_{ij} の性能指標をパラメータとして認識系 S_{ij} を抽出し、抽出された系を用いて複合系の構成を行ないその性能を求めた。抽出された系が 1,200 個の複合系の中に占める領域は図 4.9 に示され、抽出された系の数とその性能は表 4.2 に示される。すなわち系の性能指標の絶対値が 0.25 以上の系を複合したときに、213 個の系で（全体の約 1/6）96.4% の性能を示した。（これは 500 サンプルのテストの結果であって、1,000 サンプルをテストした 1,200 個の系の複合系とは正確に比較できないが、95.8% の性能を示した複合系の 500 サンプルをテストしたときの性能は 96% を示している。）

4.7 複合認識系のハン化作用

ある統計構造を持ったパターンを学習することで構成された認識系が、異なった統計構造を持ったパターンに対し認識性能をどこまで保てるか、という素子のハン化作用があるかどうかを検討することは、認識の構成を考察する上で意義がある。なぜなら、有効なハン化作用をもつ系は多くの Teacher を早く学習することができるからであり、これは有効なハン化作用が大きくなれば、習得すべき Teacher の範囲が限られてくるという学習の経済性のためにも有用なことである。

ここでは複合系 $S^{(0)}$ の性能がパターンの統計的構造を制限することによってどこまで増加するかを検討し、またノイズのない図形（母型）に対しては系 $S^{(0)}$ が 100% の性能を示すことを確めた。母型にはノイズを単独に導入し、各ノイズについてのパラメータを変えて検討した。

4.7.1 Blot ノイズに対するハン化

各母型に対しノイズのパラメータ (K_1, K_2) をそれぞれ (2, 2), (2, 3), (3, 3), (3, 4), (4, 4), (4, 5), (5, 5) の七とおりに変化させたが、これらのノイズに対しては完全な性能を示した。これはパターンの位置的な変動が少ないためと考えられる。

4.7.2 Spot ノイズに対するハン化

母型に対しパラメータ K を (2), (3) … (8) の七とおりに分けて導入し各性能をテストした。結果は表 4.3 に示される。母型“2”に

対し若干の誤判定をした以外は確実な応答をしている。

4.7.3 Shift ノイズに対するハン化

母型に対しパラメータを(2), (4)~(14)の七とおりに変化させた。各パラメータとも、ノイズのはり方は上・下、左・右、それぞれ2項分布に従うようにした。結果は表 4.4 に示される。母型“2”へのノイズに対し系 $S^{(0)}$ は敏感であるが、それ以外の図形に対してはパラメータが小さい範囲で確実な応答をすることが示されている。

5. む す び

人工知能の研究はいわゆる境界問題の領域に属す。そしていまだ独自の方法論を持たない。しかるにその発展で要望されている。ここに、種々の理論、種々のテクニックのカオスが存在する。われわれは何よりも研究方法の確立を必要としている。そして、われわれは一般に分析哲学派とよばれる人々の考え方(認識論)の中に、そのような方法の糸口があると予想している。少なくとも、このような研究の最大の障害は神秘主義であるといっても過言ではないと考える。

2章で述べた認識の型式化も、基本的には意味論(Semantic)における“意味作用”あるいは“サイン作用”(Signification)の考え方に基つき、⁽³⁾これにガイ(蓋)然性を導入したものである。したがって、このような認識作用に基づいて、複雑な知識が構成されてゆく過程の解明には、現代意味論の研究成果を期待してよいといえる。

またこの認識作用は心理学的には連合(association)、条件付け(conditioning)の過程を意味し、(意味論における意味作用は記号と表象との連合づけであり心理的過程であると考えられている)認識系の構成は、工学的には、R.L. Mattson⁽²⁾の statistical classifier の構成、論理的には、帰納(induction)の機械化として捕えることができる。現代の電子計算機が帰納能力をもたないことは、この点において致命的である。そして連合、条件付けの機構が神経系の働きの中に存在することは、すでに生理学的事実であり、一つの神経細胞の動作論理が線形多数決論理であることも、

大方に認められた仮説である。このことが認識系の複合に線形素子を用いたわれわれの動機である。複合系をリカーブに定義したのは、一つの神経細胞で可能な連合が、ごく限られたものになることから考慮した結果である。

さて、われわれの実験したモデルが、あの粗雑な認識系(図形認識では最も基本的でかつ単純なものであろう)を複合して、95.8%の性能を示していることは、複合を十分意義づけていると同時に上に述べたような線形素子の限界も明らかにしている。われわれは実験に先だって、この限界を十分に予測していたが、式(3.1)の n を大きくすることによって、ある程度補償されるのではないかと期待していた。しかし抽出実験の結果からみて、その望みは否定されたと断定しなければならない。したがって、この限界をこえるための方法は次の二つが考えられる。

(a) 式(3.12)を用いて非線形の L を構成する。

(b) L は線形とし、複合の重畳によって、非線形系を構成する。

われわれは、複雑な系を簡単な系からリカーブに構成するたてまえから(b)を採用して、次の研究段階に進んでいる。

なおこの実験の実用性の面から検討してみると、もし shift noise を十分小さく押さえる受容器が hard ware によって製作できれば、100% 性能を得られることが示されたといえる。しかもその場合、1,200 個のメッシュのうちの 200 余を複合すればよい。ただし、実用化に際しては実験結果に対する統計的検討を厳密に行なう必要があり、もっと広範な実験を行なわなければならない。

(昭 38-9-6 受付)

参 考 文 献

- (1) 吉江、木村、黒田：パターンプロセッサ、信学会、オートマトン研究会資料(昭 38.1)
- (2) R.L. Mattson: The Design and Analysis of an Adaptive system for statistical classification, (1959).
- (3) S.K. ランガー：シンボルの哲学、岩波書店(昭 37)

遠心脱水機の振れまわり運動

平野一郎*・松倉欣孝*

Vibration of A Spin Dryer

Research Laboratory Ichirō HIRANO・Yoshitaka MATSUKURA

A domestic spin dryer is now popular among electric home appliance users. But it tends to vibrate itself by the unbalance of charged laundry. Herein is a report on the study of a theoretical analysis with a dynamical behavior of the main part of dryer—a driving motor and a basket—so as to use the result for a basis of finding methods of vibration reduction. The outcome is that (1) an acting point of spring force and a center of gravity of spin dryer are brought closer, (2) the ratio of the moment of inertia to the weight is made larger, and (3) proper damping characteristics are provided to the spring. Experiments have been made particularly with (3) on several concrete methods to find it a proper technique to provide damping characteristics to the suspension system.

1. ま え が き

家庭用洗たく機は日常生活必需品となっているが、遠心脱水機もまた需要が伸びつつある。脱水機は原理的に分けて遠心式、落下式があるが、このうち遠心式が最も好まれ市場で大きな分野を占めている。遠心脱水機は構造的に垂直形と水平形とがあり、わが国では、前者がとくに愛用されている。ここに採りあげた脱水機は単能垂直形遠心脱水機で家庭用として設計したものである。

脱水機の生命はもちろんその脱水性能にあるが、これは洗たく物を入れるカゴの直径と回転数で決まる。この点がきまると、次に家庭用品として使用法の簡便さと本体の推動とが問題になる。遠心式脱水機は大きく分けて、脱水作用を行なう脱水機本体とこれをおおう外ケースからなっているが、洗たく物のアンバランスによって脱水機本体がまず振動し、これが本体を支持しているパネを通して外ケースに伝わる。一般家庭で問題となるのは、洗たく物の入れ方に特別な注意を払わなくても外ケースの振動が小さいこと、脱水機本体の振動が外ケースにあたるほど大きくならないことである。ところが洗たく物を任意に入れると脱水カゴに相当量のアンバランスができる。通常の回転機械ではこの種のアンバランスを極力除去するのが常識であって、この点大きなアンバランスが存在するもとで使用する遠心脱水機は特殊なケースであるといえる。したがって振動源となる脱水機本体と支持パネの設計にあたって、系の振動様相の厳密な考察が不可欠となる。

以下このような考えのもとに系に大きなアンバランスのある場合について

(1) 定速回転時(脱水に使用する回転数)の振れまわり振幅を小さくすること

(2) 共振時(脱水機ではおおよそ数c/s)の振れまわり振幅を小さくすること

(3) 定速回転時の外ケースへの力およびモーメントの伝達を小さくすること

(4) 共振時の外ケースへの力およびモーメントの伝達を小さくすること

の諸点に着目する。

この報告では、遠心式脱水機本体の振れまわり振幅、力およびモーメントの伝達について解析を行ない、あわせて、2, 3 実験して

アンバランス存在下で振動の少ない遠心式脱水機機構について考察を加えた。

なお実験の対象として当社では数種の脱水機を製作しているが、このうち、MD 100 形遠心脱水機を採りあげた。

2. MD 100 形脱水機の概略

MD 100 形遠心脱水機の仕様を表 2.1 に、外観および構造の概略を図 2.1, 2.2 に示す。

洗たく物を脱水カゴに入れ、カゴと同軸に取り付けたモータを回すと、洗たく物の水はカゴの穴を通して水切りになまり外へ排出される。脱水機本体は、振れまわり振動、横振れ防止のためにゴム心を入れた 3 本のツル巻きパネで外ケースに取り付けてある。モータ下方に、上下方向 バランスをとる目的でホイール(以下ホイール A とする)があり、ホイールの回りにバンドを巻いてブレーキとしている。さらにモータブラケット面に対向してリミットスイッチを置

表 2.1 三菱脱水機 (MD 100) 仕様

形名	MD 100 形
脱水乾燥方式	遠心式およびヒータ
脱水容量	1.8 kg
電源	1 φ 100 V 50 c/s, 60 c/s 共用
電動機	4 P, 100 W (20 μF)
回転数	1,480 rpm (50 c/s) 1,780 rpm (60 c/s)
タイムスイッチ	30 分計
ブレーキ	フタ運動ブレーキ
安全装置	110~140 g 以上の不平衡で作動
全重量	33 kg
大きさ	390×400×767 (mm)



図 2.1 MD 100 形遠心脱水機外観
Fig. 2.1 Appearance of the spin dryer, type MD 100.

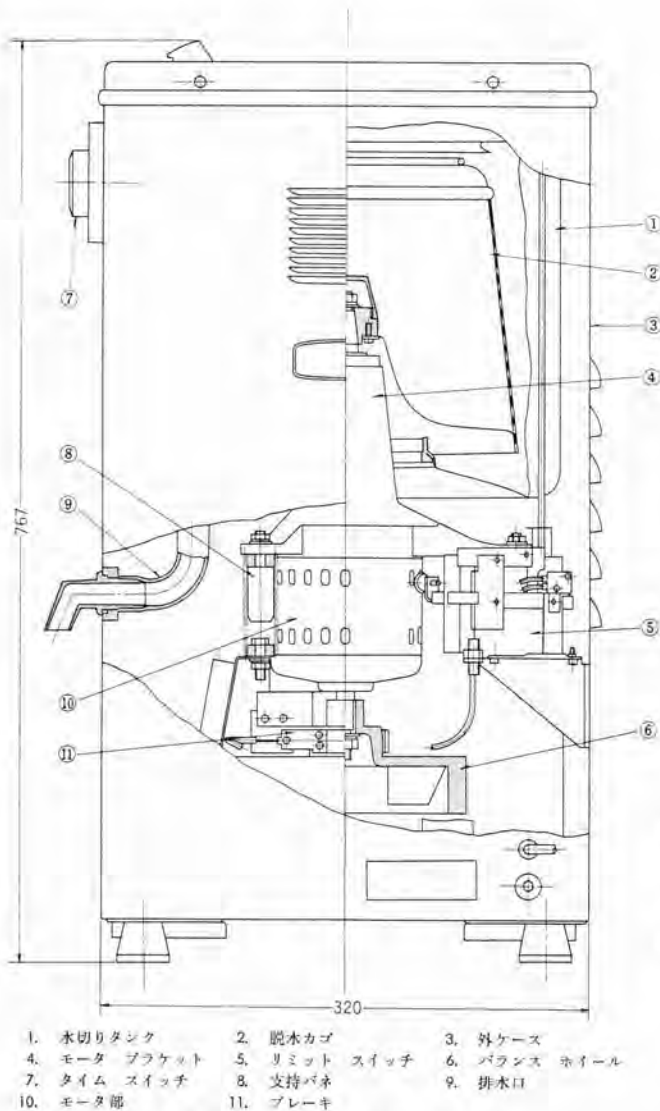


図 2.2 MD 100 形遠心脱水機概略図

Fig. 2.2 Side view of the spin dryer, type MD 100.

表 2.2 記号と MD 100 形の定数

記号	MD 100 形の数値
M	脱水機本体の質量 12.7 kg
I_p	脱水機本体の軸まわり慣性モーメント $3.64 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$
I_d	軸に直角方向の重心まわりの慣性モーメント $2.12 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$
l_3	脱水機本体の重心とパネ着点の距離 1.47 cm
l_h	脱水機軸とアンバランスおもりを付ける位置までの水平方向距離 (図 3.2 参照)
s	脱水機本体の重心とアンバランスおもりを付ける面までの高さ方向距離 (図 3.2 参照)
K_1	横方向パネ剛性 $1.35 \times 10^4 \text{ kg/sec}^2$
K_2	角度方向パネ剛性 $1.68 \times 10^6 \text{ kgcm}^2/\text{sec}^2$
μ_1	横方向パネ減衰係数 —
μ_2	角度方向パネ減衰係数 —

き脱水機本体の振動振幅が異常に大きくなったとき、電源を切るようになっている。

理論解析に必要な定数、脱水機本体の重量、重心の位置、慣性モーメントなどを表 2.2 および図 3.2 に示す。

3. 脱水機運動の理論解析

脱水機本体の運動方程式を誘導する。図 3.1 で静止している脱水機の軸 AA は、回転を始めると傾むいて A'A' となり、さらに全体の重心 G は AA 軸から水平方向に変位する。この量を θ_0, r_0 とすると、 θ_0, r_0 について次の仮定のもとに運動方程式を導くことができる^{(1),(2)}。

(a) 脱水機はパネ部を除き剛体とする。

遠心脱水機の振れまわり運動・平野・松倉

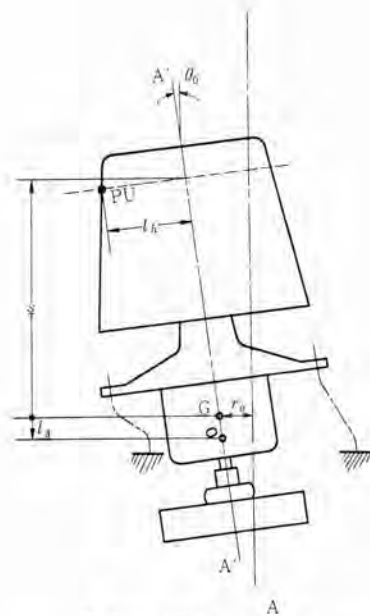


図 3.1 回転中の脱水機

Fig. 3.1 Scheme of rotating dryer.

- (b) パネ および回転体の異方性を無視する。
- (c) 振れまわり角度 (θ_0) は微小とする。
- (d) 横方向パネ剛性 (K_1) 角度方向パネ剛性 (K_2) は定数で、たがいに独立とする。

運動の方程式は非線形となり、一般解を求めることは困難であるが回転数一定の場合には線形になる。 r_0, θ_0 を複素変数と考え、運動方程式を代数方程式に置き換えると式 (3.1) を得る。

$$\begin{bmatrix} 1-\lambda^2 & -2\lambda_m\lambda & -\delta & 2\delta\lambda_m\lambda \\ 2\lambda_m\lambda & 1-\lambda^2 & -2\delta\lambda_m\lambda & -\delta \\ -\delta/\gamma & 2\delta\lambda_m\lambda/\gamma & \beta^2-\lambda^2 & -2\beta\lambda_m\lambda \\ -2\delta\lambda_m\lambda/\gamma & -\delta/\gamma & 2\beta\lambda_m\lambda & \beta^2-\lambda^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (v_0/\sigma)x \\ (v_0/\sigma)y \\ (\theta_0/\sigma)x \\ (\theta_0/\sigma)y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda^2 \\ 2\lambda_m\lambda \\ \nu\lambda^2/\gamma \\ -2\delta\lambda_m\lambda/\gamma \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

ただし、

$$\left. \begin{aligned} v_0 &= r_0 l_h, \quad \sigma = m_u M, \quad \gamma = (I_d - I_p) M l_h^2, \quad \delta = l^3 / l_h \\ \nu &= s / l_h \\ \beta &= \omega_2 \omega_1, \quad \omega_1^2 = K_1 M, \quad \omega_2^2 = K_2 (I_d - I_p) \\ \lambda_m &= \mu_1 2 M \omega_1, \quad \lambda_n = \mu_2 2 (I_d - I_p) \omega_2, \quad \lambda = \Omega / \omega_1 \\ K_e &= K_2 + K_1 l_h^2, \quad \mu_e = \mu_2 + \mu_1 l_h^2 \\ (v_0/\sigma)x &: v_0/\sigma \text{ の実数部}, (v_0/\sigma)y : v_0/\sigma \text{ の虚数部} \\ (\theta_0/\sigma)x &: \theta_0/\sigma \text{ の実数部}, (\theta_0/\sigma)y : \theta_0/\sigma \text{ の虚数部} \\ \Omega &: \text{回転の角速度} \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

その他の記号は表 2.2 に示す。式 (3.1) で $\delta=0$ の場合、すなわち、脱水機の重心とパネの着点とが一致したとき、横方向と角度方向との振動の連成はなくなり、 r_0, θ_0 は独立に簡単に求めることができる。

脱水機に使われるパネはあまり減衰係数が大きくないので、式 (3.1) で $\lambda_m = \lambda_n = 0$ と置くことができ、解は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{v_0}{\sigma} &= \frac{(\delta\nu - \gamma)\lambda^2 + \gamma\beta^2 - \delta^2}{\gamma\lambda^4 - \gamma(1 + \beta^2)\lambda^2 + \gamma\beta^2 - \delta^2} \\ \frac{\theta_0}{\sigma} &= \frac{-\nu\lambda^4 + (\delta + \nu)\lambda^2}{\gamma\lambda^4 - \gamma(1 + \beta^2)\lambda^2 + \gamma\beta^2 - \delta^2} \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

さらに、回転数が共振回転数に比べ相当高いときは、

$$\left(\frac{v_0}{\sigma} \right)_\infty = 0, \quad \left(\frac{\theta_0}{\sigma} \right)_\infty = -\frac{\nu}{\gamma} = \frac{M l_h l_3}{I_p - I_d} \quad (3.4)$$

となり、脱水機の重心は、AA 軸上に静止し、軸は脱水機の慣性

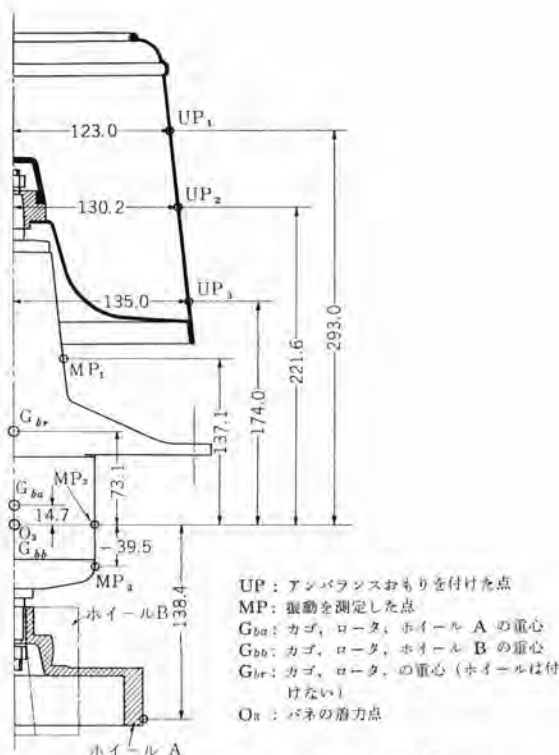
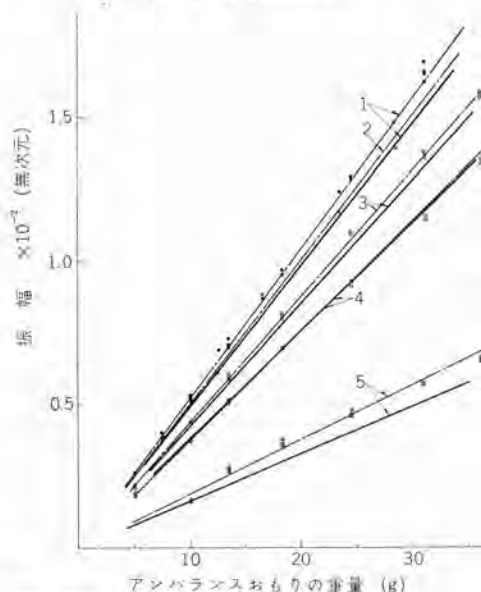


図 3.2 重心の位置および振動測定点

Fig. 3.2 Position of center of gravity and measuring points of vibration.



一点鎖線、実験結果

曲線 1:	測定点 MP ₁	アンバランス付加點 UP ₁	ホイール A
# 2:	MP ₁	UP ₁	B
# 3:	MP ₁	UP ₂	A
# 4:	MP ₁	UP ₁	A
# 5:	MP ₂	UP ₄	A

実線: 計算値

図 3.3 定速回転時の各位置の振幅

Fig. 3.3 Vibration amplitudes at constant shaft speed (1,760 rpm).

乗積に見合った分だけ傾いて振れまわり運動する。式 (3.4) に表 2.2、図 3.2 に示した定数を代入して、MP₁~MP₄ 点の振幅を計算した結果を図 3.3 に実線で示す。また、ホイール A をつけた MD 100 形脱水機の共振回転数を式 (4.3) から計算すると、4.0 c/s, 5.3 c/s になる。

回転機では、なんらかの形で ジャイロ 効果の影響を受けるが脱水機の場合も例外ではなく、歳差運動の原因となる。運動方程式から、歳差運動の無次元角速度 Ω^*/ω_1 を計算した⁽³⁾結果を図

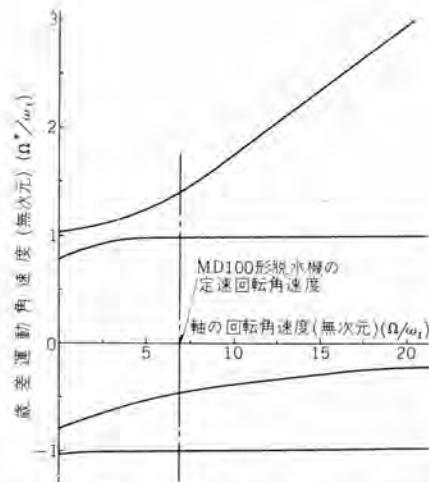


図 3.4 回転角速度と歳差運動角速度の関係

Fig. 3.4 Comparison of angular velocity of precession with rotation.

3.4 に示す。たとえば定速回転中の歳差運動の回転数は、前向きが約 7.8 rps, 5.2 rps, 後向きが 2.3 rps, 5.2 rps の四つある。高いほうの歳差運動の周波数は減衰がよくきくので、現象として出てこないのが普通で、MD 100 形脱水機では後向き 2.3 c/s が発生するものと思われる。

4. 実 験

脱水機の振動を次の二つに分けて測定した。

- (1) 定速回転中 (1,760 rpm, 60 c/s) 振幅
- (2) フリーラン 振幅

任意の回転数での脱水機の相対振幅を知る必要があるが、脱水機に用いている誘導電動機は回転数制御がめんどろなため、ブレーキをはずし、定速回転から停止するまでのフリーラン中の振幅を測定して代用した。この場合慣性などがきいてくるので、厳密には定常回転における回転数-振幅関係を調べたことにはならないが、定速回転から静止まで約 3 分を要するのでおおよその見当はつくものと考えた。

以下実験方法、結果をしるす。

4.1 定速回転時振幅

脱水機を定速回転 (1,760 rpm, 60 c/s) で回転させ、図 3.2 に示す UP₁, UP₂, UP₃, UP₄ に適当な アンバランス おもりを付け、MP₁, MP₃ 点の振動を測った結果を図 3.3 の一点鎖線で示す。UP₁~UP₃ に アンバランス おもりを付けたときは測定点 MP₁ で、UP₄ に アンバランス おもりを付けたときは MP₃ で測った。

なお、ホイール A の代わりに、直径 95 φ, 高さ 115 mm の円筒 (以下 ホイール B とする) を取り付けした場合の振幅もあわせてしるした。

定速回転中、脱水機は アンバランス により回転数に等しい振れまわりを行ない、また ショック、風などの外乱のために、3~5 c/s 程度の低い周波数で後向き歳差運動を始め、減衰しながら数十秒後に消滅する。

4.2 フリーラン振幅

脱水機の定速回転から静止までの振幅を図 3.2 に示す測定点 MP₁, MP₃, MP₃ で測定した結果を図 4.1 (イ) に示す。アンバランスおもりは、UP₁ 点に 12.4 g 取り付け、ホイール A を用いた。

図 4.1 でははっきりわからないが、特別に脱水機の共振回転数を測定したところ 4.0~4.3 c/s, 5.0~5.3 c/s の 2 点にあることが

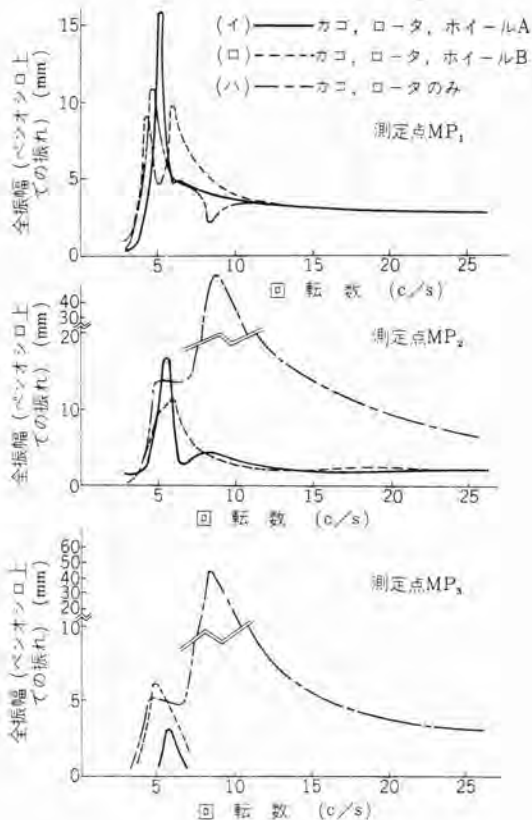


図 4.1 回転数—振幅曲線 (I)
Fig. 4.1 Resonance diagrams (I).

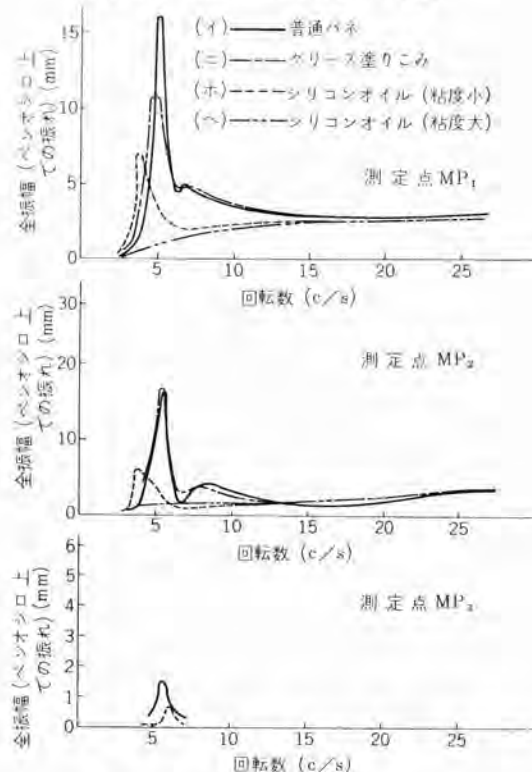


図 4.2 回転数—振幅曲線 (II)
Fig. 4.2 Resonance diagrams (II).

わかった。共振点に幅のあるのは各パネのタサにバラツキがあり振幅が最大になる回転数が異なるためである。

脱水機の重心とパネの着力点との距離が共振振幅に及ぼす影響を調べる目的で、ホイル A の代わりにホイル B を取り付けた場合、ホイルを取り付けない場合の振幅を図 4.1 (ロ) (ハ) に示す。

さらに、パネの減衰の影響を調べるため、パネに大量のグリース遠心脱水機の振れまわり運動・平野・松倉

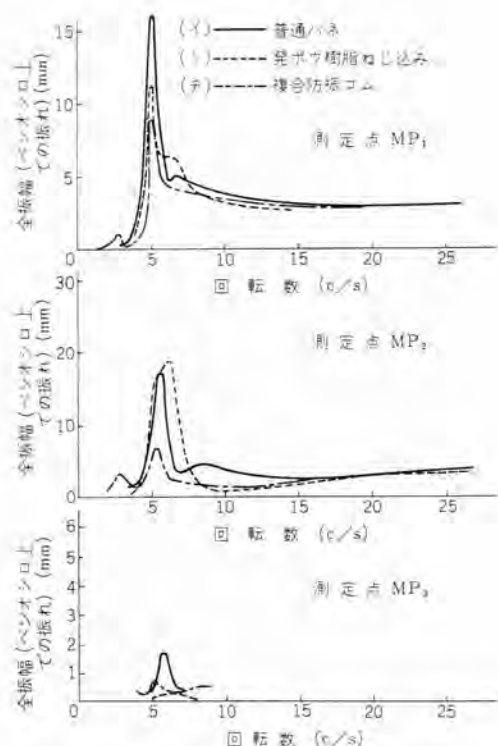


図 4.3 回転数—振幅曲線 (III)
Fig. 4.3 Resonance diagrams (III).

を塗った場合、パネをシリコンオイル・タンクに浸した場合、パネに発泡ウレタン樹脂をねじ込んだ場合、パネとして複合防振ゴムを使用した場合のそれぞれの振幅を図 4.2, 4.3 に示す。ただし、アパランス おもりは、UP₁ 点に 12.4 g 取り付け、ホイル A を用いた。ここで用いた複合防振ゴムは、円スリッパの巻きパネに発泡ウレタンをモールドしたもので 0.75 kg/mm のパネ剛性を持っている。

5. 脱水機振動軽減への方針

5.1 理論による考察

3 章で述べた理論は定速回転時振幅、共振回転数、歳差運動周波数など 4 章で述べた実験と、かなりよい一致をみた。したがって式 (3.1) から得られる情報には相当の信頼性があるものと考えられる。以下、理論から振動の軽減法について考察する。

脱水機の振動を小さくするには、1 章に述べたように次の 2 点に着目しなければならない。すなわちアンバランスが大きい場合でも定速回転時、共振時において

(1) 脱水機本体の振れまわりが小さいこと、したがって脱水カゴ先端が外ケースに当たらないこと。

(2) 脱水機本体から外ケースへの力およびモーメントの伝達が小さいこと。

以下、定速回転時と共振時において考える。

5.1.1 定速回転時

式 (3.4) から、定速回転時のカゴ先端の振幅 $(v_e/\sigma)_\infty$ を計算すると

$$(v_e/\sigma)_\infty = -(1 + \nu \delta_e / \gamma) \quad (5.1)$$

ただし、 δ_e は全体の重心 G_0 から脱水機先端までの距離である。 $(v_e/\sigma)_\infty$ が小さいためには、式 (5.1) で ν , δ_e が小さく γ が大きいことが必要である。さらに、ケースへの伝達力を T_f 、伝達モーメントを T_m とすると、定速回転において近似的に次式を得る。

$$\left. \begin{aligned} [T_f / \sigma L_0 K_1]_\infty &= \sqrt{1 + 4\lambda^2 \lambda_m^2} \\ [T_m / \sigma K_e]_\infty &= \nu \sqrt{1 + 4\lambda^2 \lambda_n^2} / \beta_1 \gamma \end{aligned} \right\} \quad (5.2)$$

$[T_f]_{\infty}$, $[T_m]_{\infty}$ が小さいためには、バネ剛性 K_1 , K_2 が小さいこと、 ν/γ が小さいこと、 λ_m , λ_n すなわち、減衰係数 μ_1 , μ_2 が小さくしなければならない。

また、バネの着点と全体の重心の近くへもってきておけば、着点力は振動の節になりやすく、カゴ先端部の振幅、外部への伝達力、伝達モーメントが小さくなることが予想される。

5.1.2 共振時

共振時振幅、伝達力、伝達モーメントは式(3.1)から求められるが、解が複雑になり、問題点がはっきりしない恐れがあるので、とくにバネの着点と全体の重心が一致したとき、すなわち式(3.1)で $\delta=0$ の場合について検討を加える。MD 100 形脱水機では、バネ着点と全体の重心の距離は 1.47 cm で、他の量に比べ無視できる。 $\delta=0$ でない場合も、以下に述べることは定性的に適応可能と考えられる。

減衰係数があまり大きくないものとするとき、振幅 $|v_0/\sigma|$, $|\theta_0/\sigma|$ の最大値は、ほぼ $\lambda=1$, $\lambda=\beta$ のとき起こって

$$|v_0/\sigma|_{\delta=0} = \sqrt{1+1/4 \lambda_m^2}, \quad |\theta_0/\sigma|_{\delta=0} = \beta/2\lambda_n \quad \dots\dots\dots (5.3)$$

同様に伝達力、伝達モーメントについて

$$\left. \begin{aligned} |T_f/\sigma|_{\delta=0} &= \sqrt{1+1/4 \lambda_m^2} \\ |\gamma T_m/\nu\sigma K_1|_{\delta=0} &= \sqrt{1+1/4 \lambda_n^2} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (5.4)$$

となる。振幅、伝達力、伝達モーメントを小さくするためには、前と同様バネを柔らかくすること、 γ を大きく ν を小さくするのがよい。また λ_m , λ_n を大きくするのがよい。

さらに、脱水機が共振点を通過するとき、振幅の成長ぐあいを考えると、二つの共振点は互いに離れているほうがよいだろう。

以上のことをまとめると、脱水機の振動振幅が小さく伝達力、伝達モーメントが小さいためには、次の条件を満たしているといふ。

- (a) 回転軸とアンバランスおもりの位置の距離が小さいこと。
- (b) アンバランスの生ずる面と重心との距離は小さいこと。
- (c) 慣性モーメントと重量との比が大きいこと。軸まわりの慣性モーメントと、軸に垂直方向まわりの慣性モーメントに差がなければならぬ。
- (d) バネ剛性 K_1 , K_2 は小さいこと。
- (e) バネの着点と、脱水機本体の重心の距離が小さいこと。
- (f) バネに適当な減衰特性をもたせること。あまり大きいと、共振時振幅は小さくなるが、定速回転時の力、モーメントの伝達が大きくなり望ましくない。
- (g) 二つの共振周波数になるべくはなれていること。
- (c) および (f) 項については同様の趣旨を長谷川氏が指摘している⁽⁴⁾。

5.2 実験による考察

前節の各項目は理論から導びいたものであるが、これを実験と比べながら考察する。

図 3.1 に示すように MD 100 形脱水機にホイール B を取り付けると重心はバネの着点と一致する。図 3.3 の曲線 (イ)(ロ) を比較すると幾分ホイール B を付けたほうが小さいようであるが大差はない。また図 3.2 の一点鎖線 1, 2 をみても同程度であることを考えると、必ずしもバネの着点と重心に一致させる必要はないようである。しかし、ホイールをまったく付けない場合すなわち重心がバネの着点に比べ、そうとう高くなったとき(図 3.2 参照)には、図 4.1 (ハ) に示すように共振振幅が 5 倍以上にな

る。とくにこれがバネの着点近くの測定点 MP_3 で大きいのは好ましくない。上の実験では、ホイールを付けたときと付けないときで重心の位置が移動するだけでなく、慣性モーメント重量なども変化するため必ずしも良い実験とはいえないが、バネの着点と重心との位置が離れているより近いほうがよいと結論できそうである。

アンバランスおもりを付ける面を図 3.2 の UP_1 から UP_2 , UP_3 と重心に近づけると、図 3.3 に示すように振動振幅は、順次小さくなる。すなわち前掲 (b) 項は有効なことが確かめられた。

バネの減衰の効果は、図 4.2, 4.3 に示したが、バネにグリスを塗りつけただけで共振振幅が半分になった。さらに、バネを粘度の異なる 2 種のシリコンオイルタンクに浸すと共振振幅は 1/3 以下になる。とくに粘度の大きいシリコンオイルを用いると臨界制動を越えることがわかった。以上のことから、バネに所要の減衰特性をもたせることは、困難でないと思われる。

図 4.3 (チ) に示した複合防振ゴムはバネに発泡ゴムをモールドしたものでゴムとバネ材は完全に密着している。防振ゴムのデータ (チ) は、普通のバネを用いた場合に比べ共振振幅は、1/2 程度になっている。これに対し、図 4.3 (ト) は、バネに発泡樹脂材をねじこんだもので密着性は粗であり、減衰特性は著しくない。このことからバネに減衰特性をもたすために発泡材を用いるときは、発泡材とバネ材とが密着していることが発泡材の種類を選定とともに重要なポイントとなろう。

6. む す び

遠心脱水機の定常的な振動を 3 章の四つの仮定のもとに理論的に解析し、実機と定量的に一致することをまず確かめ、次いでこれを基礎として振動軽減のため

- (a) バネの着点と脱水機本体重心とを近づける。
- (b) 慣性モーメントと重量との比を大きくする。
- (c) バネに適当な減衰特性をもたせる。実験では発泡材をバネ材にモールドすればよいようである。

の三つの条件を導いた。これらは、脱水機本体の振動振幅と力、モーメントの外ケースへの伝達の両項目に関して (a), (b) の条件はそれぞれ独立に満たすことができるが (c) は互いに矛盾するので最適値を設定しなければならない。

実験に用いた MD 100 形遠心脱水機は (a), (b) の条件を満足しており、(c) の条件に対しても、おおむね適当な値を採用している。なお、これらの点のうち、さらに検討の余地があるとすれば (c) 項の問題であろうと思われる。

以上、述べた論考は類似の他の機種にも容易に拡張することができ、また今後開発される新製品にも適用することができると考える。

この報告を書くにあたり、日本建鉄株式会社のご協力に厚く感謝する。
(昭 38-9-17 受付)

参 考 文 献

- (1) A. Watari: Report of the Institute of Industrial Science, University Tokyo, 2, 137, (1952)
- (2) 山本: 機械工学講座 6, 機械力学 31 (昭 34)
- (3) 同上 33 (同上)
- (4) 長谷川: 『日立評論』, 44, 866 (昭 37)

赤外線ホームコタツ

田村弘治郎*・内田武士*
平塚篤**・小原英一**

Home Kotatsu—Body Warmer—provided with Infrared-Ray Lamp

Gunma Works
Research Laboratory

Kōjirō TAMURA・Takeshi UCHIDA
Atsushi HIRATSUKA・Eiichi OHARA

The electric home kotatsu is a unique body warmer in this country, befitting the Japanese home and becoming popular nowadays. Since it is a kind of home appliances, safety, convenience and simple handling are the essential requisites. There are regulations concerning electric products to assure the safety of the users. The manufacturers carry out the design and building of the apparatus in accordance with them. However, nothing is prescribed about the utility of the products. To clarify this point Mitsubishi points out many features involved in its home kotatsu provided with an infrared-ray lamp, which is good for medical purpose as well as warming up bodies.

1. ま え が き

電気暖房器が他の燃料を使用するものに比べて安全で取り扱いが簡単で衛生的であるということは、すでに知られたところであるが、ホームコタツはとくに日本家屋にマッチしたわが国独特の電気暖房器として相当の好評をばくし、市場にデビューして以来6年を経た今日、いぜんとして根強い需要が予想されている。

赤外線ランプを熱源にしたホームコタツは数年前に市販されているが、当時はまだその特長についてよく理解されていなかったことなどの理由で、それほど需要が伸びなかった。その後赤外線の暖房にプラスされて医療効果と美容効果のあることが認識され、今日はかなり高い潜在購買力が予想されている。

このような情勢にあって、市場の要求により NH-361 形および NH-361F 形赤外線式ホームコタツを開発したので、ここにその概要を述べる。

2. 仕 様

- (1) 形名 NH-361 形, NH-361F 形 (折りたたみ脚式)
- (2) 型式認可番号 ㊦ 81-149
- (3) 厚生省許可番号 島用第8号
- (4) 定格電圧と定格消費電力 100 V 300 W
- (5) 発熱体 赤外線ランプ 主ヒータ 230 W
副ヒータ 70 W
- (6) 電熱器具用恒温器 125 V 6 A CS-6L-5585 形
バイメタル式徐動可調整温度調節器
- (7) 温度過昇防止装置 温度ヒューズ式 120°C
- (8) 温度調節機構 ツマミ式 (「高」から「低」まで無段階調節)
- (9) 中間スイッチ 250 V 6 A ㊦ 6-2179
- (10) コード 袋打ちゴムコード 2C×0.75² ㊦ 2-880
- (11) 差込プラグ 125 V 15 A ㊦ 7-43
- (12) 外形寸法 (cm) 幅 70×長さ 70×高さ 33.5
- (13) 製品重量 6 kg

3. 構 造

構造、使用材料、付属部品、電気および温度的諸特性について

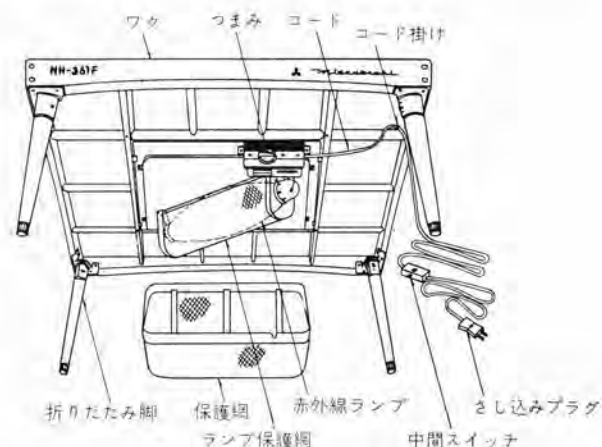


図 3.1 NH-361F 形 ホームコタツ
Fig. 3.1 Type NH-361F home kotatsu.

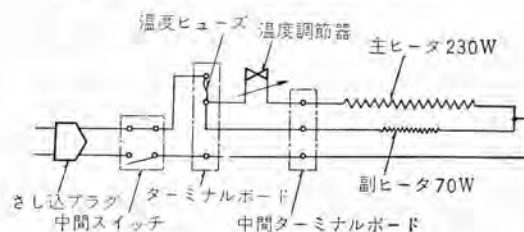


図 3.2 結線図
Fig. 3.2 Wiring diagram of home kotatsu.

は、とくに使用者の安全という面に重点をおいて「電気用品の技術上の基準を定める省令」で詳しく規定され、メカは最少限この基準に満足するよう製作しなければならない。しかしこの基準を満足するからといって、その製品の効用を保証するものではないから、基準の許される範囲でメカの特長を盛り込む必要がある。

NH-361 形および NH-361F 形ホームコタツの外観図は図 3.1、結線図は図 3.2 に示し、ワタ部分と発熱体部分とに大別され、これらが容易に着脱できる構造になっていることは特長の一つにあげられる。

3.1 ワタ部分

ワタはふなを使用しているが、ヒビが入ったり、そったりしないように製材後、自然乾燥、人工乾燥を行ない含水率を 10% 以下に押え加工、組立し、塗装仕上げを施している。

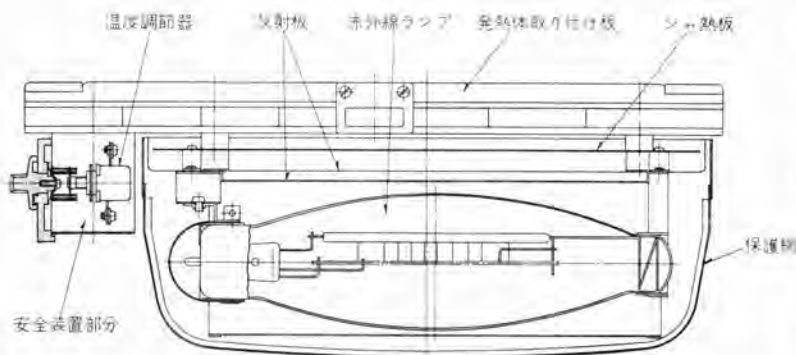


図 3.3 発熱体部分構造図

Fig. 3.3 Structure of heating unit.

木材は一般に知られているように

- (a) 重さの割にじょうぶである
- (b) 断熱性にすぐれている
- (c) 感触がよい

などの特長があり、しかもふなは国内いたる所に群生するので量産に適する木材といえる。

ワッ組は大人 1 人が上に乗っても十分耐えるだけの強度をもち、保温に使用されるふとんなどが発熱体部分側面にたれ下がり触れないよう適宜 サン を設けている。

ワッの大きさは大人 4 人が楽に採暖できる標準寸法のもので、脚は NH-361 形がネジ込固定式、NH-361F 形が折りたたみ式となっている。

3.2 発熱体部分

図 3.3 で示されているように発熱体取付板、シェ熱板、赤外線ランプ部分、保護網、および安全装置部分から構成されている。

3.2.1 発熱体取付板

発熱体部分を形式する諸機構がこれに固定されている。発熱部を真下に固定して使用状態では、対流、伝導の熱作用でかなりの温度まで上昇する個所だけに、外部上面温度は 110°C 以下に規制されている。使用中容易に人が触れる可能性があるため熱伝導の低い材料を必要とすることから木材を使用している。これは断熱性のすぐれている点で、上部中央に熱が集中しない効果があることはいうまでもない。しかし可燃物だけにその部分の使用最高温度は、おのずから規制されてくる。諸試験の結果では長時間使用の場合に 130°C 以下、短時間の場合 150°C 以下にする必要がある。

3.2.2 シェ熱板および反射板

赤外線ランプから発する放射熱を有効に採暖部分へ反射させるため、赤外線ランプ真上にアルミ反射板を設け、さらにアルミ粉末耐熱塗装処理を施した反射板で広範囲にわたる反射効果をねらっている。長時間使用しているとワッ内部の温度が上昇し安定状態になり、熱作用により発熱体取付板の中央部が高温になるので所定の空間を隔てて銅板製シェ熱板を設けている。

3.2.3 赤外線ランプ部分

詳細構造は 6.3.1 項で説明するが、図 6.3 に示すように卵形赤外線ランプで視覚的心理効果を生かすのと、可視光線をいくらか押さえるために赤色フロストしたグローブを使用している。

タングステンフィラメントは軸方向に支持してあるので、熱放射に方向性を有することからワッに対し対角線方向へ固定した。図 5.2

(a) に示されるようにワッの採暖部分四方は均等な温度が得られた。

3.2.4 保護網

使用中人が触れやすい個所なので安全温度に規制されている。放射熱をさえぎらないようにメタルスを使用し表面は植毛加工を施し感触をよくしている。

3.2.5 安全装置部分

温度調節器と温度ヒューズを内蔵する。これらの具備すべき諸条件について詳細は記述しないが⁽¹⁾、前者はワッ内の温度を使用者の希望する快適な温度に維持し、後者は普通の使用状態ではもちろん動作してはいけないが、危険温度に達するようなことが生じた場合、それ以前に溶断し電源を絶たなければならない。

4. 特 長

- (a) 温度が均一に行きわたる対角線取付方式
- (b) 補助ヒータ付きで快適な暖かさが得られる
- (c) 医療効果がある

医療効果のある赤外線を多量に放射するので家庭用医療器具としても薬事法に基づき厚生省の許可を得ており安全である。(厚生省許可番号島用第 8 号)

- (d) 堅ろうで寿命が長い赤外線ランプ

卵形のグローブは外圧に強く、管壁の温度分布が均一になり、加えて硬質ガラスを使用しているため熱にも衝撃にもじょうぶである。寿命は約 15,000 時間(普通使用して 10 年以上)以上もつように設計されている。

- (e) 発熱体部分が簡単に取りはずせる。

- (f) 便利なスベリ止めゴム座付き

シーズンオフにはワッにコタツ上板を載せて、テーブルとしても利用でき、このさい上板がすべらないので便利である。

- (g) 脚が折りたたみ式

NH-361F 形は操作の簡単な折りたたみ脚を用いているのでかたづけるときなど場所をとらず便利である。

5. 特 性

5.1 放射特性

この製品の発熱体である赤外線ランプの放射量は、通電を開始すればただちにその放射量最高値の 90% 以上に達し、通電を断てばただちに減衰する。この減衰のしかたは、アルミヒータ、ヤスパーヒータなどに比べると非常に急速である。すなわち、ホームコタツの発熱体として通電後急激に放射量が増大し、ただちに暖がとれるのは利点であるが、その減衰速度の大きいことは採暖部の放射量変化および温度変化の度合いを大きくする欠点となる。このことは実際に使用するうえで、通電中は暖かさを感じても、温度調節器が動作して通電が断たれたときは暖かさの感じを少なくすることを意味する。このため、図 3.2 の結線図のように、温度調節器によって On-Off される発熱体の容量を 230 W とし、70 W を温度調節器の回路からはずして常時通電する形にしてある。このようにすれば使用中、温度調節器が働いて 230 W が Off しても 70 W の発熱体の発熱により、感覚的温度変化を少なくし、上記の欠点をなくし長所のみとすることができる。図 5.1 (a)、および図 5.1 (b) は常時通電する 70 W 発熱体の効果を調べるために行なった試験の結果である。

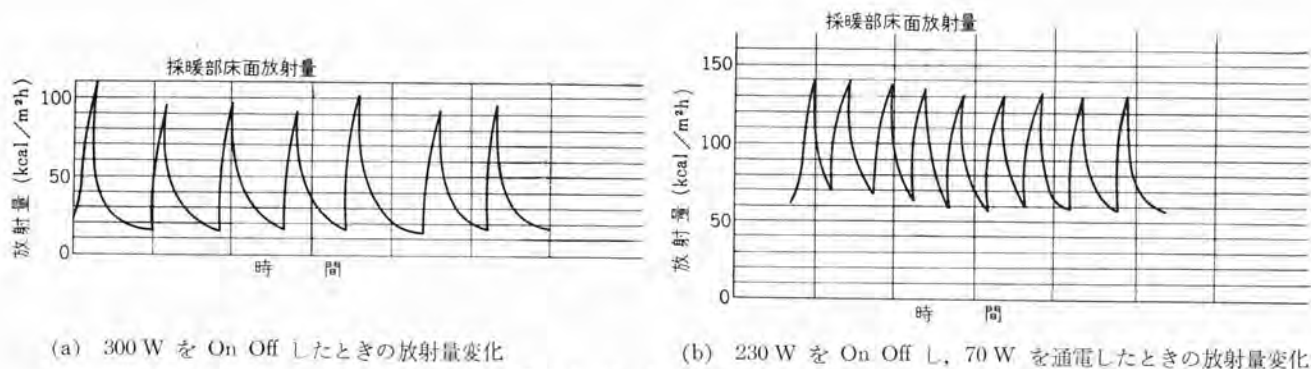


図 5.1 放射の変化
Fig. 5.1 Changes of radiation by thermostat control.

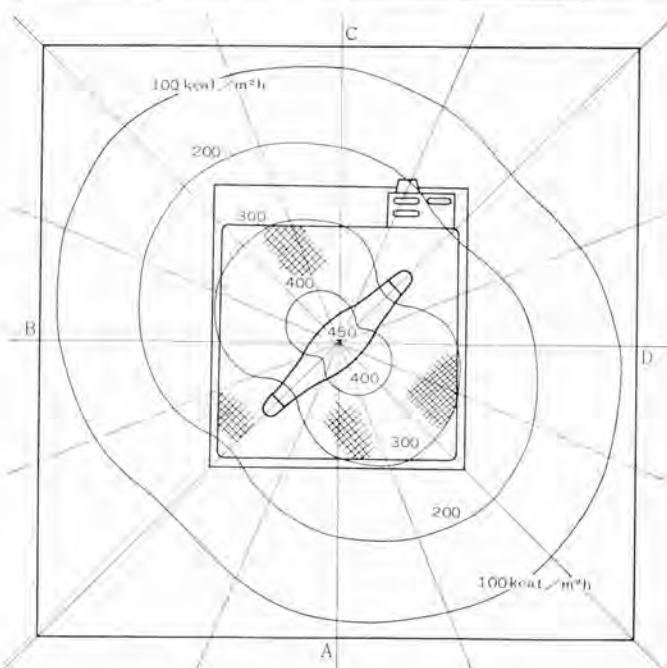


図 5.2 (a) 等放射線 (三菱 NH-361 形)
Fig. 5.2 (a) Isoradiant line Mitsubishi home kotatsu.

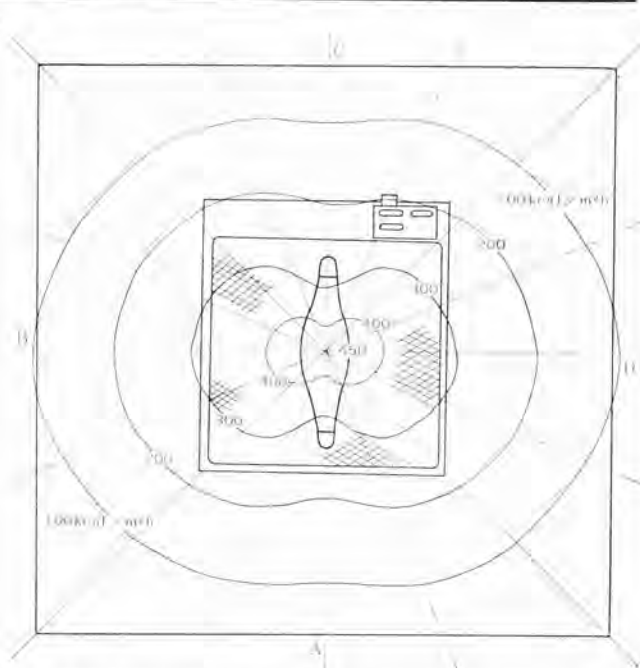


図 5.2 (b) 等放射線 (発熱体取り付けを変えたとき)
Fig. 5.2 (b) Isoradiant line of home kotatsu with lamp setting changed.

赤外線ランプの形状は卵形であって、長手の方向に発熱用フィラメントが張ってあるため、軸方向よりも円周方向への熱放射が大となる。すなわち、発熱体として方向性をもつものであるから、この点を考慮した結果、構造の項で述べたように、赤外線ランプヒータをホームコタツのワクの対角線の向きに取り付けることにした。これで、ホームコタツのワクのどの辺にはいっても同一の放射量を受け、同じ暖かさを感じることができるようになった。この構造は、三菱赤外線ホームコタツの最大の特長である。(図 5.2 (a))

もしも、赤外線ランプを図 5.2 (b) のように取り付けると、A 辺と C 辺にはいった人は、B 辺および D 辺にはいった人よりも放射量の受け方は少なくなって、温度感覚はぬるいということになる。このとき温度調節器のつまみを回してセット温度を上げ、辺 A および C にいる人がちょうどよい暖かさにすれば、辺 B および D の人達にとっては、熱すぎる温度になる不具合が起こる。実際上辺 A あるいは C にはいった人は、辺 B あるいは D にはいった人の受ける放射量の 60% 程度しか受けていないことが図 5.2 (b) からみられる。

5.2 温度特性

ホームコタツにおける暖房効果の適否は使用状態におけるひざのあたりで温度測定され従来の経験から、50°C から 65°C 程度の赤外線ホームコタツ・田村・内田・平塚・小原

調節温度範囲があればほぼ十分であり、ほとんどの使用者の要求を満足することが知られている。

ホームコタツの温度特性として望まれることは

- (a) 通電後ただちに使用できる状態に達すること
- (b) 適当な安定した温度が得られること
- (c) 使用温度を容易に変えうること
- (d) 使用点における温度変化の幅が少ないこと
- (e) 実用中、しばしば起こりうるすべての取り扱いに対して安全なこと
- (f) 長時間通電しても危険のないこと
- (g) 異常に内部温度が上昇したとき、正確に電源を断てる安全装置を備えていること

などがあげられる。

上記中 (a) (e) および (f) 項については次項で、(a) (b) および (d) 項は温度調節器に直接関係することであるから温度調節器の制御特性で述べる。また (g) 項は温度ヒューズ動作特性の項に述べる。

5.2.1 通電初期の温度特性

このホームコタツの発熱体が赤外線ランプであるために通電直後放射量が急増することは前述のとおりである。従来は発熱体の熱

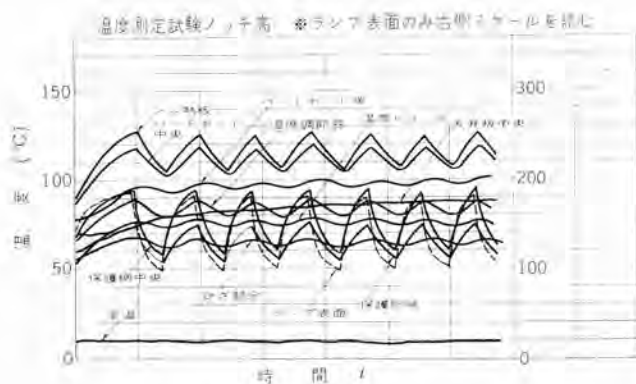


図 5.3 正常使用中の温度特性
Fig. 5.3 Temperature characteristics in regular use.

容量が大きく、その温度上昇速度は遅く、さらに発熱体温度も低かったために放射量の変化は遅くて少なく、通電してから 10 分程度経過しなければ暖かさを感じなかった。これに比べて、赤外線 ランプを発熱体にもつこの ホームコタツでは通電直後のコタツ内部がまだ冷たい状態でも、放射を直接皮膚に受けることができるために十分に使用しうる暖かさを感じる。この特性は赤外線 ホームコタツのみが持つ特長である。

5.2.2 使用中の温度特性

赤外線 ホームコタツを正しい状態で使用しているときの各部の温度を測定したグラフを図 5.3 に示した。各部の温度とも良好な温度変化をしている。

なお実際使用中しばしば起こりそれがやや異常に近い状態になることが考えられる。たとえば人が抜け出たあとにそのまま風穴が残された場合がそれで、あまり大きな開口を作ること、コタツ内部への通気がよくなって保温がきかず温度調節器の通電する時間が長くなり電力使用量が增大することからも好ましくない取り扱い方である。

このような状態で電力使用量が增大する結果として、各部の温度が上昇することが考えられる。このような条件を再現しながら試験した結果が図 5.4 に示してある。開口を作った試験条件で、コタツ内部の温度が最も高くなるのは人の出た後の開口の高さがコタツの高さのほぼ半分、比較的開口面積の広いときである。このときの試験の結果では約 250 W/h の電力を消費している。この消費電力は、コタツのふとんを正しくして人がはいらない場合の約 2 倍に相当する。開口がさらに大きくなって、側方全部開口するような場合は、温度調節器は On のままとなり連続通電の形となる。したがって、消費電力量は 300 W/h となるが開口が大きいためにコタツ内部の温度は上昇せず、かえって上記の場合より危険性はなくなる。

5.2.3 長時間通電時の温度特性

この赤外線 ホームコタツは前述のように、70 W の常時通電する発熱体をもっている。常時通電する発熱体は放射量の変化の幅を少なくするために設けられたものであるが、この発熱容量が大きすぎると、長時間通電したとき発熱量がコタツの放熱量を上回り、内部温度を上昇させ長時間後には相当の高温となることが予想される。したがって、常時通電発熱体の発熱量は、コタツの保温をよくした場合の放熱量より少なめに設定する必要にせまられる。コタツの保温力または、放熱量の大きさは、ホームコタツを使用するときにかけるふとんの量およびその質によってきまるが、これは使用者により各人各様である。

異常使用状態試験 (A 辺閉鎖開放) A 辺=サーモコントロールボックス取付側
※ランプのみ右側ミラーを認む

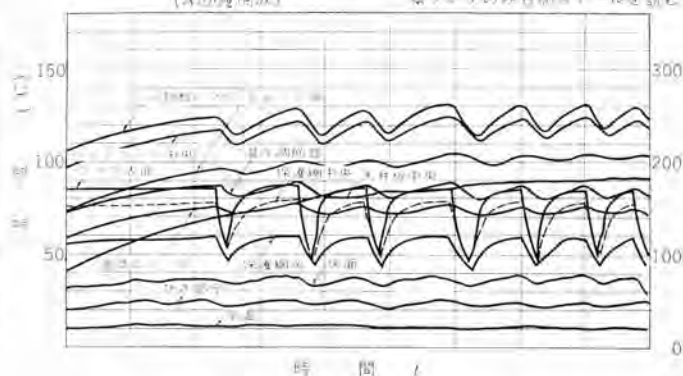


図 5.4 異常使用中の温度特性
Fig. 5.4 Temperature characteristic in irregular use.

このような点が設計上困難なところで、十分な検討を要する問題である。この赤外線 ホームコタツではとくに慎重に検討した上で決定したものであるため、長時間通電してもなんら危険はない。通電初期は普通に温度調節器が On-Off を繰り返すが、ふとんなど各部が一応暖まると熱の移動はふとん表面から室内へ、また畳面から下部への熱放散だけとなって安定状態に達し、230 W の主発熱体はほとんど Off の状態に近づき、70 W だけでは保温がやや不足するので時折り On するだけの形となる。

5.2.4 温度調節器の制御特性

温度調節器を設置することの目的には種々あるが、なかでも、「温度を一定に、適温に保つため」ということが最大の目的である。しかし温度調節器の取り付けを誤ると、温度調節器は動作しても機能に適した動作を行なうことができない場合がある。たとえば、温度調節器が発熱体に近すぎ、直接に多くの放射熱を受ける位置にあるときは、温度調節器は、人のあたるひざ部分の温度と等価に温度を制御せず、発熱体の温度を制御してしまう結果、温度調節の目的にまったく合わないことがある。したがって温度調節器の取付位置は、使用する目的にあうように、また温度調節器自体の特性に合った位置を厳選する必要がある。この ホームコタツでは、使用者の数は全辺 4 人まで使用することができるが、1 人で使用したときでも 4 人で使用しているときでも、温度調節器の設定温度が同一であれば、コタツ内部の特性を両者同一にするだけの特性を備える必要がある。このコタツの特性を左右するのは温度調節器の感度にかかり、温度調節器の感度は、温度調節器自体の熱容量を含んだ感応性および、その取付位置で決定される。この赤外線 ホームコタツでは、温度調節器が十分な感度を持っているため、使用者数に応じて消費電力が増大し、常に同一の体感温度を与えるのに十分な感度を備え、さらに使用中温度調節器のつまみを回すことによって容易に体感温度を変えることができる。

赤外線 ホームコタツに用いられている温度調節器は一般に、ジワ切りと称されるものであって、温度制御特性が早切式に比べてよいので広く用いられている。とくに赤外線 ホームコタツにあっては、発熱体に放射量変化の大きい赤外線 ランプを用いているため、温度調節器の感度は体感温度差を少なくするためにも重要で、この温度調節器の使用により快適な温度を与えることに成功している。

5.2.5 温度ヒューズの動作特性

温度ヒューズは温度調節器による制御動作が異常となって、ホームコタツの内部の温度が上昇したときに、危険状態となる前に熱によって溶断し、電気回路を開いて器体の安全を保つものである。

したがって、普通に使用し、温度調節器が正しく制御動作を行っているうちは、温度ヒューズが溶断してはならない。もし溶断するようなことがあれば、コタツは使用できなくなり、故障となる。これは温度ヒューズの溶断温度の選定あるいはその取り付け位置が適当でなかったことを示す。

温度ヒューズが溶断するまでの時間は、コタツ内の温度上昇速度によって変化する。ホームコタツ内部に取り付けられた温度ヒューズの温度上昇速度を変える要素としては、使用するふとんによる保温、使用状態による保温、電源の電圧および室温が考えられる。温度ヒューズの溶断特性をあくするにあたっては、危険を伴う条件について十分に試験する必要がある。このような条件としては次のことが考えられる。すなわち

- (a) 室温が低いとき
- (b) 比較的、保温の悪いとき
- (c) 電圧が低いとき

この三者が重なったときに、温度ヒューズの溶断条件が最悪となる。このような条件は、寒冷地で起こることが考えられるが、寒い地方では、常識的にふとんは比較的厚いものを用いるようであるから非常に極端な例といえるかも知れない。實際上ホームコタツを使用するうえではふとんを厚く、保温をよくすれば消費電力量も少なく済み、経済的に使用できるものであるため、そのような使用方法を推奨する。

6. 赤外線ランプ

6.1 赤外線と赤外線源⁽²⁾

通常光線と呼んでいるのはすみれ色から赤色までの可視光線であるが、音でも耳に聞えない超音波が存在するように、光にも目に見えない光線が存在する。紫外線あるいは赤外線も目に見えない光線である。

紫外線が可視光線の短波長側（波長380ミクロン）以下の範囲に存在するのに対して、赤外線は可視光線の長波長側（波長780ミクロン）以上、数百ミクロンにおよぶ範囲の放射線である。赤外線以上の波長範囲は極短波長の領域となる。すなわち紫外線、可視光線、赤外線といえどもラジオ、テレビの電波と同様電磁波である。

赤外線は高温物体の熱エネルギーが放射エネルギーに転換されて発生する放射線である。放射線を受けた物体は放射エネルギーを吸収して加熱される。すなわち熱源があれば赤外線源となり、赤外線を放射する。高温物体より放射線を発生する場合には次のような法則に従う。熱エネルギーが放射エネルギーに転換することによって発生する光の性質は、発光体の性質および温度のみによって決定される。これが熱放射または温度放射で、そのスペクトルは連続スペクトルである。熱放射は黒体（理想体）と平衡にある放射、すなわち黒体放射として論ずるのが便利である。

通常利用する人工熱源は燃焼によるものと、電気によるものに大別される。後者の代表的なものがニクロム線ヒータや最近暖房用として着目されている赤外線ランプである。ニクロム線ヒータにしても赤外線ランプにしても熱源であり、赤外線を放射することによって変わりがないが、本質的に明確な相違がある。

発熱体温度の高い赤外線ランプ（2,000～2,500°K）のほうが低温のニクロム線ヒータ（約1,000°K）より短波長赤外線を発生している。（図6.1）

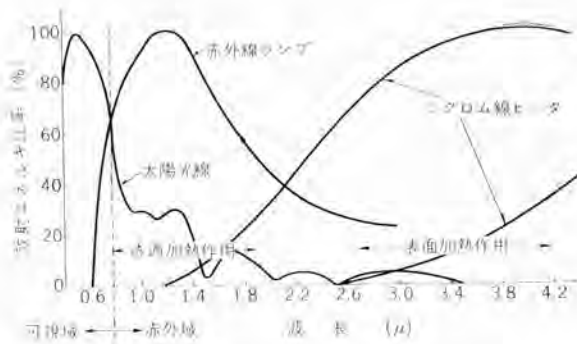


図 6.1 各種放射線源の分光エネルギー分布
Fig. 6.1 Spectral energy distribution of radiating sources.

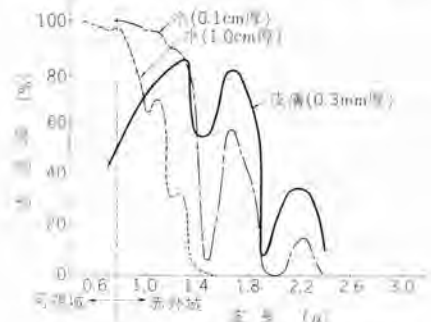


図 6.2 皮膚および水の赤外線透過率
Fig. 6.2 Infrared ray penetration of skin and water.

6.2 赤外線的作用⁽³⁾

赤外線的作用は一言にしていえば熱作用であるが、赤外線といっても波長範囲が780ミクロンから数百ミクロンに及ぶから、波長の長短により赤外線の性質も異なるのは当然である。可視光線に近い短波長赤外線（近赤外線と呼び、波長5～10ミクロンまで）ほど可視光に近い性質を持ち、長波長赤外線（遠赤外線と呼び、近赤外以上の波長範囲）ほど可視光の性質を失なう。

赤外線が工業的に加熱乾燥に使用されているのは伝導、対流によることなく直接放射によって加熱でき、効率がよいためである。

赤外線的作用で注目されるものは短波長赤外線の透過性である。たとえば水に対する透過率は図6.2のようになり、約2ミクロンまでの短波長赤外線は水中を透過できるが、それより長い波長の赤外線はほとんど透過できない。水中透過でとくに有効なのは1.2～1.5ミクロンの波長までである。

一方生体に対する作用も研究され、図6.2に示すように人間の皮膚への透過率も1.2～1.5ミクロンの波長で最大であることが明らかにされ、皮下組織に熱作用が浸透して細胞の作用を活発にし、血行をよくすることから医療、美容方面への応用も開拓された。

最近、暖房器への赤外線ランプの応用が着目され、当社もすでに赤外線ストーブを市販し、ついでこのたび赤外線ホームコタツを発売するにいたったが、暖房器へ赤外線ヒータを応用する場合の利点は次の諸点である。

- (a) 速熱性
 - (b) 効率が良い
 - (c) 暖房効果と医療、美容効果を兼ねる。（皮下浸透）
- これに対して従来のニクロム線ヒータでは次のような利点がある。
- (1) 低価格
 - (2) 表面加熱効果が大きい
 - (3) 機械的強度を必要とする用途に適する
- すなわち両者はそれぞれ得失を備えているので応用面によって

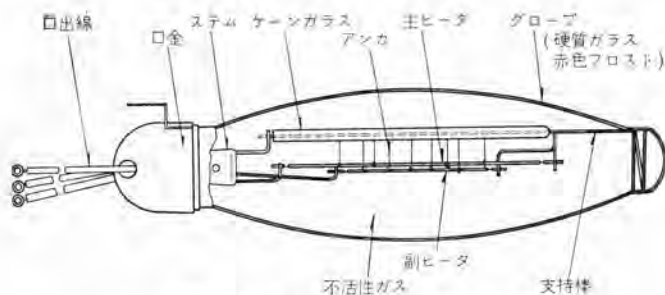


図 6.3 赤外線 ランプの構造
Fig. 6.3 Structure of infrared ray lamp.

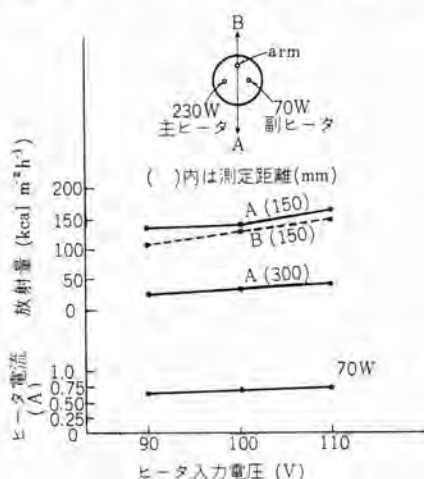


図 6.4 ランプ 入力と放射量 (70 W)
Fig. 6.4 Lamp input power and radiation.

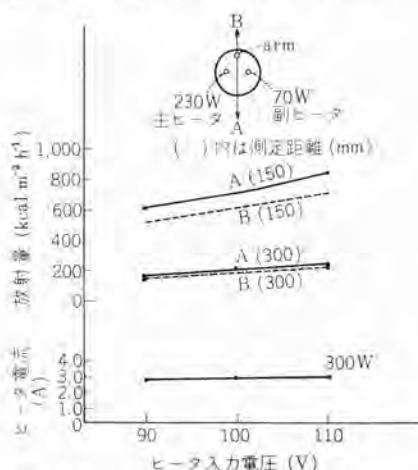


図 6.5 ランプ 入力と放射量 (300 W)
Fig. 6.5 Lamp input power and radiation.

適切な使用法を考慮しなければならない。

6.3 赤外線ランプの特性

6.3.1. ランプの構造

医療効果を期待する赤外線 ヒータ は上に述べたように 1.2~1.5 ミクロンの短波長のところに エネルギーピーク を有するため、高温発熱体が必要とする。このため不活性ガス 封入の ガラス 容器中の タングステンフィラメント を 2,000~2,500 K の高温に加熱する構造になっている。

ガラス 容器の形状によって赤外線 ヒータ には管形と ランプ 形がある。管形 ヒータ では ガラス 管に発熱体が近接しているため、耐熱性の石英ガラスやシュラックガラス を使用するが、ランプ 形では管壁部分がさほど高温ではないので、並 ガラス あるいは硬質 ガラス を使用している。ストーブ 用赤外線 ヒータ は管形 ヒータ を使用するが、

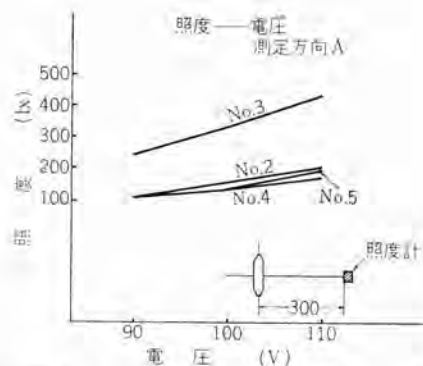


図 6.6 入力電圧と ランプ の照度 (300 W)
Fig. 6.6 Input voltage and illumination of lamp.

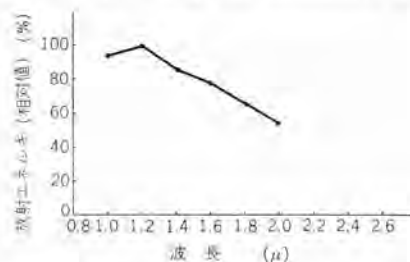


図 6.7 赤外線 ランプ の分光 エネルギー 分布
Fig. 6.7 Spectral energy distribution of infrared ray lamp.

ホームコタツ 用赤外線 ランプ は図 6.3 に示すような卵形 ヒータ を使用する。また主 ヒータ と副 ヒータ に分かれ、主 ヒータ は 230 W、副 ヒータ は 70 W で線温がだいたい等しいので、発生する赤外線もほぼ波長が等しく、ともに医療効果がある。

6.3.2 ランプの特性

(1) ヒータ 入力と放射量 (図 6.4, 6.5)

ランプ は図 6.4 に示すように主 ヒータ と副 ヒータ が配列されているので方向性を考慮して A, B 両方で測定を行なった。副 ヒータ (70 W) のみ通電した場合の入力電圧—ヒータ 電流および入力電圧—放射量 ($\text{kcal m}^{-2} \text{h}^{-1}$) を図 6.4 に示した。

主 ヒータ (230 W) + 副 ヒータ (70 W) を通電した場合の特性を同様に図 6.5 に示した。フィラメント の配置の関係で放射量が方向により相当異なることは注意しなければならないことである。

(2) 入力電圧と照度 (図 6.6)

ランプ は赤外線を放射するけれども、可視光線 (主として赤色) をも放射して相当明るく感ずるもので、入力電圧を変化した場合に可視光線の照度を測定した結果を図 6.6 に示した。

No. 2~5 は ガラスバルブ の資料番号でそれぞれ着色濃度が異なるため照度も異なり、入力 100 V で約 120~330 lx である。ランプ の明るさについては、使用者の主観、すなわち好みにより決定されるべきものであろう。実験によれば ガラス の着色濃度はほとんど赤外線透過に影響はなかった。

(3) 波長と放射 エネルギー (図 6.7)

ランプ の波長—放射 エネルギー 比率を図 6.7 に示す。放射 エネルギーピーク は波長 1.2 ミクロン の位置にあり、図 6.2 の皮膚の透過曲線とよく合っており、美容、医療効果のある赤外線を多く発生していることが示されている。

7. 治療用としての使用方法

赤外線を患部に照射すると皮下組織まで浸透して血管を暖め血行をよくし表 7.1 の疾患に効果がある。

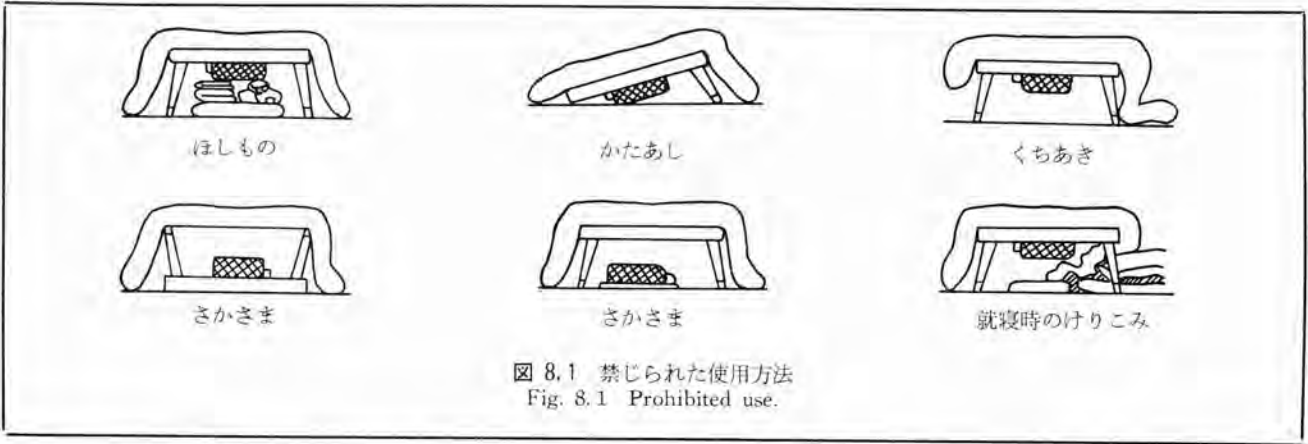


図 8.1 禁じられた使用方法
Fig. 8.1 Prohibited use.

表 7.1 赤外線医療器具の適応症

分 類	適 応 症
皮 膚	ヒビ 霜焼 あかぎれ 慢性湿しん
傷	軽度の切傷 すり傷 靴ずれ 床ずれ
筋肉・腰の痛み	疲れ 筋違い 筋肉痛 腰痛 マッサージ前処置
冷 え 症	足腰の冷え 冷え症
打 撲 症	①ねんざ ②打ち身 ③打ち傷
神経痛・リウマチ	④神経痛 ⑤神経炎 ⑥慢性関節炎 ⑦慢性関節リウマチ

このうち ⑥印の適応症および不審の点は医師に相談の上使用すること

患部に赤外線を照射する場合には被服やほうたいの上からでは治療効果がないので直接膚に当てるようにする。照射時間はとくに制限はないが、温度は快適に暖かく感ずる程度が適当で、熱すぎるほど当てる必要はない。

8. 使用上の注意

- (1) 図8.1のような使用は危険なので注意すること。
- (2) 使用中またはスイッチを切った直後は赤外線 ランが高温になっているから、水をかけたり激しい衝撃を与えないこと。
- (3) 温度 ヒューズ が溶断した場合、普通の電流ヒューズや銅線針金などを絶対使用してはいけない。

9. む す び

以上赤外線式 ホムコタツ の概要について述べたが、従来の ポビヒータ や スペースヒータ を熱源にするものと比較して数々のすぐれた特性をもっているし、とりわけ医療効果が プラス されたことは商品として大きな メリット となるが、価格の面ではまだ問題があると思う。しかしこれも大量生産されれば解決されよう。それには一般需要者に赤外線 ホムコタツ の安全なことと、便利なことなどをもっと強力に認識してもらう必要があると思う。

参 考 文 献

- (1) 武藤, 岩村, 小原: 暖房器とその問題点『三菱電機』36, No. 7 p. 94 (昭 37)
- (2) 赤外線技術連合会編: 赤外線技術, 加熱とその応用 電気書院 (昭 36)
- (3) 平野, 杉本, 林: 暖房器用赤外線 インスタントヒータ の効果, 『三菱電機』36, No. 7, p. 100 (昭 37)

シリコン・カーバイドの結晶成長 (I)

岡田 武夫*・粟根 克稔**

Crystal Growth of Silicon Carbide (I)

Research Laboratory

Takeo OKADA・Katsunobu AWANE

Silicon carbide is a semiconductor of an unusually large energy gap, which, together with great chemical stability, enables this substance to be used for a high temperature semiconductor device. To make its crystal grow by sublimation, it calls for furnace equipment capable of steady operation in an inert-gas atmosphere for a long time at a temperature up to 2,700°C. As a material for thermal insulation constructing the furnace, graphite wool brought more efficient results than conventional graphite powder. In general a difficulty in the crystal growth by the sublimation is the restriction of a crystal nucleus. Control of crystal, however, has revealed that it is feasible to affect favorably to the crystal habit as well as to control the number of crystal nucleus.

1. ま え が き

一般に蒸気からの結晶成長は、その過程および機構の研究のための有用な実験方法の一つである。とくにこの場合には、成長する結晶表面を直接に観察できる点において都合がよい。また最近とくに高温(500°C付近)で動作できる半導体が要求されるようになり、6H構造では常温で2.86 eVという広い禁制帯を示し、高い化学的安定性を持つSiCは、炭化物半導体の中でも最も有望な半導体の一つとして認められている点に注目し、結晶製作に着手した。この物質はきわめて安定な堅い化合物で(モース硬度9)、現在カーボラザムあるいはシリコニットなどの商品名でよく知られ、高硬度研磨材あるいは高温抵抗発熱体として利用されてきている。

これを半導体材料として、単結晶の形で研究的に結晶製作を始めたのは、Lelyである⁽¹⁾。かれの製作方法は昇華法に基づくものである。その後、Hamilton⁽²⁾、Chang⁽³⁾らがこれに種々改良を加えてきた。しかしいまだ技術的な製作条件は完全には明確にされていないように思われる。これを解明するには、安定な高温真空炉を製作することが必要であり、次に再現性のある成長条件を見い出すことが必要である。この報告では、これらのことに関して行なった現在までの観察結果と、これに対する考察について述べる。

2. 高温真空炉の製作

2.1 炉の設計における必要条件

昇華法によりSiC単結晶を成長させるには2,000~2,700°Cの高温が必要である。したがって炉の材料は耐熱度が高いことが必要であり、その蒸発物が結晶成長の汚染の源になってはならない。

また成長ふんい気を清浄に保つためには、真空または不活性ふんい気中で成長させる必要がある。炉は常に非常に多量の熱エネルギーを放つから、容器の真空機密シール、その他の物が長時間安定に保持されるためには、有効な熱シールド(熱シールド)を利用することが非常に必要である。さらに有効な熱シールドは、炉の熱効率を高め、安定性を増すので、再現性のある結晶成長を得る上にも大いに関係することである。

2.2 炉の構造

以上の要求に合うように設計された炉を図2.1に示す。この構

造は原理的にはLelyのものに基づく。ただしLelyのものは、黒鉛、黒鉛粉末が主であるのに対して、この炉の使用材料は、黒鉛、多孔質黒鉛、黒鉛繊維、モリブデンであり、黒鉛粉末は使用していない。構造を簡単に説明すると、黒鉛発熱体は黒鉛電極に差し込み式になっているが、これは発熱体の抵抗や温度分布を調節しうるとともに、消耗後の取り換えを可能にするためである。また黒鉛の接触抵抗はとくに圧力依存性が大きいので、黒鉛のネジで締め付けた。

このように両電極端子が同一方向にある構造の利点は、発熱体の熱膨張に対する調節が必要でないことおよび、電極を通しての伝導による熱損失が片方のみとなることである。直接抵抗加熱式高温炉においては、この2点が常に問題となる。一般に黒鉛の機械的強度は、温度とともに増大するが、2,600°C付近で極大に達し、以後急激に弱くなる⁽⁴⁾。現在必要とする温度が2,300~2,700°Cの範囲にあり、従来のタフマン管方式では、切断の恐れが多分にあるのでこの方法を採用した。反面、最も不利な点は発熱体の

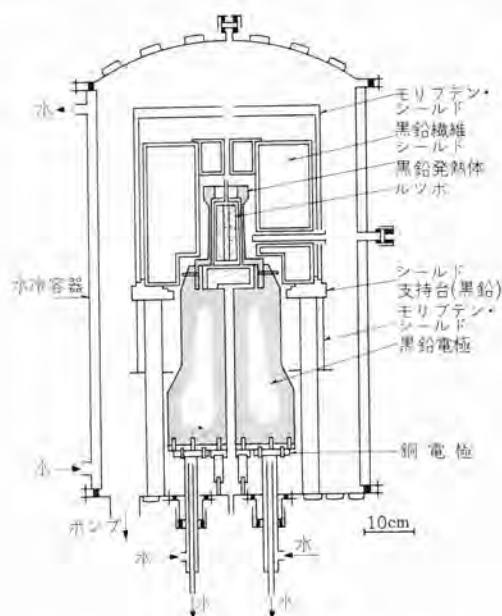


図 2.1 高温真空炉

Fig. 2.1 High temperature vacuum furnace.

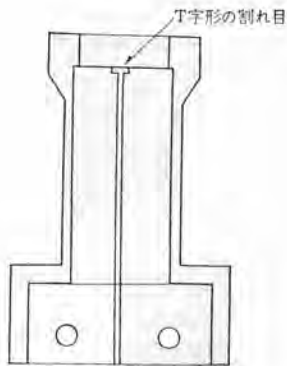


図 2.2 黒鉛発熱体
Fig. 2.2 Graphite heater.

割れ目の閉端における電流の集中により、局部的に温度が上昇し、温度分布が不均一になるということである。この局部的温度上昇から、閉端付近における黒鉛の蒸発が盛んになり、発熱体の消耗を早めることになる。筆者らはこの点を改良するため、割れ目の閉端付近の抵抗が小さくなるように肉厚を厚くするとともにT字形の割れ目を入れ、電流の分散を計り良い結果を得ている。これを図2.2に示す。黒鉛と銅電極の接合は銅のネジを使用した。その接触面積は、許容最大電流密度 10 A/cm^2 以下になるように設計した。

次に熱シールドについて述べると、フック射エネルギーは T^4 に比例し高温においては急激に増加する。熱シールドが悪いと、炉の効率が低下し、加熱に要する電気的入力が増大し、そのため電極接触部の熱的、電気的接触が困難になり、また真空容器の各所の真空機密シールドを加熱劣化させることにもなり、結局安定な炉の運転が困難になる。したがって先にもしたように、高温真空炉においては熱シールドが最も重要な点である。効率の良い有効なシールド方法に関する一般的な考察は、石川、沢田が詳細に行なっている⁽⁵⁾。

その要点は、低温 ($2,000^\circ\text{K}$ 以下) では、フック射能の小さい金属が良い熱シールド効率を与え(これを Radiation shield と名づける)、高温 ($2,000^\circ\text{K}$ 以上) では熱伝導度の悪いもの(これを Thermal shield と名づける)が良い効率を与える。筆者らはこの点に関して種々の実験を行ない、図2.1に示すような構造で、黒鉛繊維とモリブデンを熱シールド物として使用して良い結果を得た。温度測定は黒鉛繊維およびモリブデンを通した小穴に、一端封止の黒鉛ノズル管をそう入して行ない、これを発熱体表面に近接させ、この表面からのエネルギーをフック射温度計で受けて測定した。自動制御する場合は、これによる熱起電力を増幅して可飽和リアクトルを動作させ、加熱電流を制御して $2,500^\circ\text{C}$ 付近で $\pm 1^\circ\text{C}$ の範囲に温度を維持する。

ノズル管を一端封止にしない場合、デンドライト状 SiC がノズル管に付着し測定を不可能にする。

2.3 シールド効果における熱効率の計算式の誘導

熱効率を計算することは、シールド効果の実験を検討する際に必要であり、簡単に文献(5)を要約する。実際的な場合を考慮して、長い同軸熱源を取りまいて、長い円筒状シールドが、同心円状に置かれた場合を取り扱う。図2.3に示したように、熱源と n 枚のシールドが熱平衡に保たれていると仮定すると、平衡条件は、

$$Q_n = Q^0 = Q^1 = Q^{12} = \dots = Q^{i-1,i} = Q^i = Q^{i,i+1} = \dots = Q^n = Q^{n+1} \quad (2.1)$$

によって表わされる。ここで $Q^{i,i+1}$ は i 番目のシールドから $(i+1)$

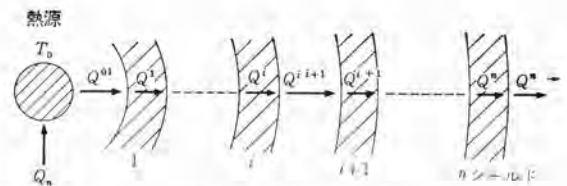


図 2.3 シールドの配置
Fig. 2.3 Configuration of the shield.

番目のシールドへの単位時間、単位長さあたりの全フック射エネルギーを表し、 Q^i は伝導により i 番目のシールドを流れる熱流とする。したがって現在の場合、

$$Q^i = 2\pi K_i (T_i - T_i') / \log(r_i' / r_i) \quad (2.2)$$

ここで、 T_i, T_i' および r_i, r_i' は i 番目のシールドの内側および外側の温度および半径である。 K_i はそのシールドの熱伝導度である。また $Q^{i,i+1}$ は i 番目と $(i+1)$ 番目のシールドの間の多重反射を考慮して計算される。結果は次式で表わされる。

$$Q^{i,i+1} = \frac{2\pi\sigma(T_i^4 - T_{i+1}^4)}{\frac{B_i'}{r_i'} + \frac{B_{i+1}-1}{r_{i+1}}} \quad (2.3)$$

ここで B_i は $B_i = 1/A_i$ で、 A_i は i 番目のシールドのフック射能である。

まず Radiation shield の場合について考える。この場合、 $T_i = T_i'$ になり

$$Q_n = \frac{2\pi\sigma(T_0^4 - T_1^4)}{\frac{B_0'}{r_0'} + \frac{B_1-1}{r_1}} = \dots = \frac{2\pi\sigma(T_{i-1}^4 - T_i^4)}{\frac{B_{i-1}'}{r_{i-1}'} + \frac{B_i-1}{r_i}} = \frac{2\pi\sigma(T_i^4 - T_{i+1}^4)}{\frac{B_i'}{r_i'} + \frac{B_{i+1}-1}{r_{i+1}}} \quad (2.4)$$

これは容易に解くことができ、 Q_n は次式で示される。

$$Q_n = \frac{\sigma S_0 (T_0^4 - T_n^4)}{D_n} \quad (2.5)$$

ただし $D_n = r_0 \sum_{j=1}^n \left(\frac{B_{j-1}'}{r_{j-1}'} + \frac{B_j-1}{r_j} \right)$ で、 S_0 は発熱体の表面積である。

真空を保つための容器は実際の場合シールドとして役だったので、炉に入れた n 枚のシールドの場合は必要なエネルギーを $Q(n)$ とすると、 $Q(n) = Q_{n+1}$ である。したがって求める効率は、

$$Q(n) / Q(0) = Q_{n+1} / Q_1 \quad (2.6)$$

である。

次に Thermal shield の場合については、 $n=1$ $T_i \approx T_i'$ として同様に計算できる。

2.4 シールド効果の実験

Radiation shield の実験は、モリブデン板、ステンレス鋼板を適当に組み合わせて行ない、Thermal shield の実験は黒鉛粉末、黒鉛繊維について行なった。

(1) 実験

Radiation shield の場合の条件および結果を図2.4に、Thermal shield の場合を図2.5に、これらの比較を図2.6におのの示す。

(2) 考察

まず Radiation shield の場合について、最も効率に影響するのは、数枚のシールドの内、最も内側のものであり、フック射能の小さなものを融点の許す限り、できるだけ発熱体に近づけるほど良いことが図2.4からわかる。このことは式(2.5)(2.6)からも示されることである。

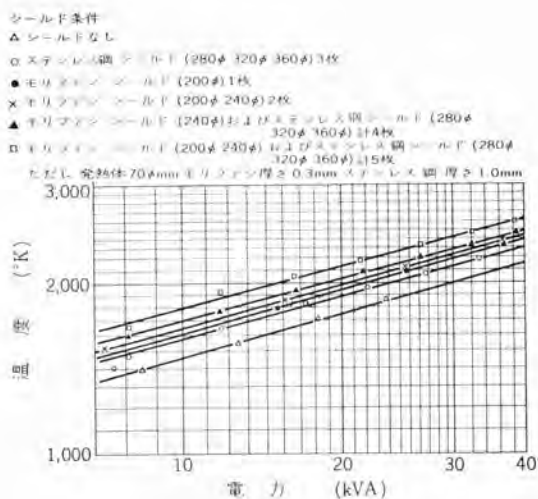


図 2.4 フク射シールド効果
 Fig. 2.4 Radiation shield effect.

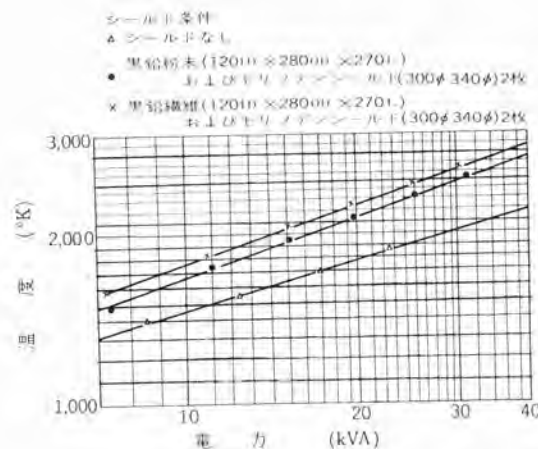


図 2.5 熱シールド効果
 Fig. 2.5 Thermal shield effect.

また枚数に対する効率変化を図2.4から求めると、図2.7のようになる。これから5枚以上はあまり効果がないように思われる。式(2.5)、(2.6)を使用して得た結果を図2.7に示したが、かなり良い一致を見た。

次に Radiation shield と Thermal shield の比較については、図2.6から高温で Thermal shield が、低温で Radiation shield が良い効率を示すことがわかる。これを温度に対して表わしたのが図2.8である。これから Radiation shield と Thermal shield の効率変換温度は、2,000°K 付近であることもわかる。

これからシールドの有効な使用法として、高温側に Thermal shield を、低温側に Radiation shield を使用すればよく、この効果の一例を図2.9に示すが、外側に Radiation shield を使用した場合は、これを使用しない場合に比べ 17% 効率を上げることになり、図2.1の配置はこの点を考慮したものである。

以上の考察および実験により、筆者らは黒鉛繊維を使用して非常に良い結果を得たのである。たとえば 2,500°K で黒鉛繊維はシールドのない場合の 19%、モリブデン (5枚使用) の 67%、黒鉛粉末の 82% の電力で目的の温度に達した。したがって黒鉛繊維は熱シールド材として非常に有効で、たとえば熱伝導度を実験値から求めて見ると、約 $7 \times 10^{-3} \text{ cal/cm} \cdot \text{sec} \cdot \text{deg}$ で従来使用されてきたものに比べて小さく、充テン密度も 0.08 g/cm^3 程度であるから、

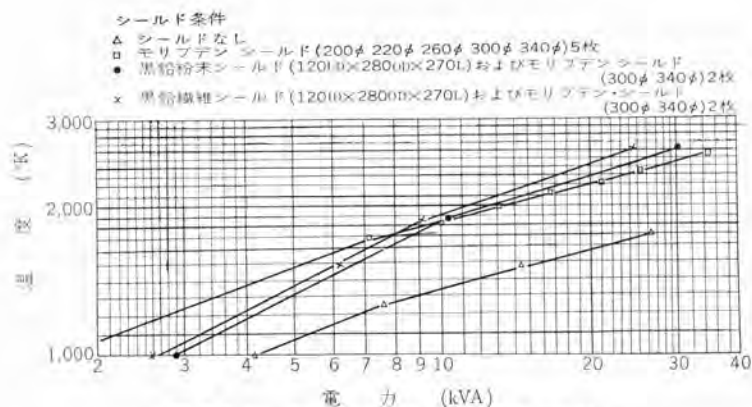


図 2.6 フク射シールド・熱シールド効果の比較
 Fig. 2.6 Comparison between radiation shield and thermal shield effect.

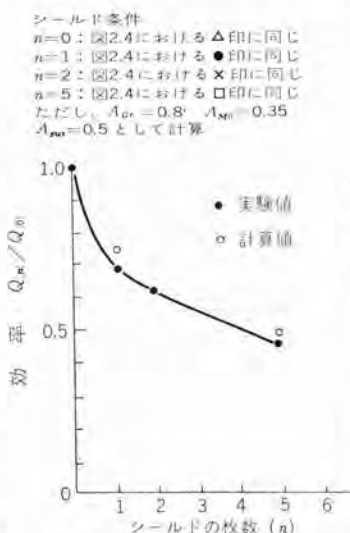


図 2.7 フク射シールドの枚数に対する効率の変化
 Fig. 2.7 Relative power as a function of the number of radiation shield.

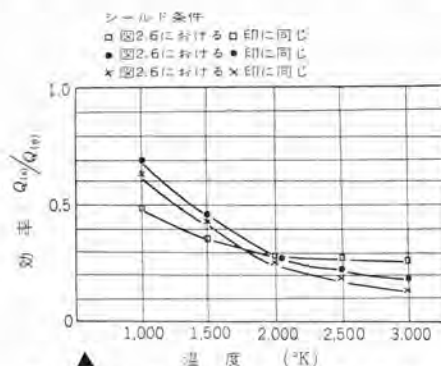


図 2.8 フク射シールドと熱シールドの温度に対する効率の変化
 Fig. 2.8 Relative power as a function of the temperature of the source.

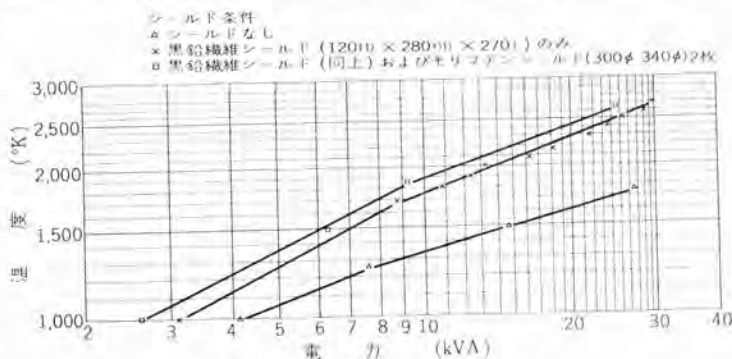


図 2.9 シールドの有効な使用
 Fig. 2.9 Effective use of the shield.

取り扱いやすく、吸着ガスも黒鉛粉末に比べれば非常に少なく、純粋な単結晶を作る真空炉には適している。分光分析の結果、Fe, Cu, Si, Mg を極微量含む程度であった。耐熱性はもちろん良く、2,500°K 程度では十分に使用できる。

3. 結晶製作

3.1 気体からする単結晶の製作に必要な条件

一般に気体からする結晶成長の過程は

- (1) 物質の移動
- (2) 表面での反応
- (3) 熱の散逸

の3段階から成り、重要な成長条件は蒸気源の温度および結晶成

長の起こる下地 (Substrate) の温度である。前者は蒸気の量を調節し、両者の温度差は成長する結晶における過飽和度を決定する。また下地の温度は成長する結晶の完全性に影響すると考えられる。気体からする結晶製作法のうち、昇華法は真空あるいは不活性ガス中で物質を蒸発させ、その蒸気を低温に保たれた下地の上に導いて凝結させて単結晶を作る方法である。この方法における困難は、核の数をできるだけ少なく保つことである。それは蒸気圧と下地の温度の制御によって行なわれる⁽⁶⁾。

3.2 SiC 単結晶の製作

SiC の場合、昇華法により実験的に単結晶を製作する方法を見出したのは Lely であるが、それは次のようなものである。すなわち図 3.1 において黒鉛 ルツボに入れられた SiC 塊の中央に空隙を作り、 $T_1 > T_2 > T_3, T_4$ のような温度分布になるように、これを発熱体の中に配置し、 T_1 の領域で蒸発した蒸気は、SiC 塊の中を通り T_2 なる空隙の壁で凝結し単結晶化するのである。そ

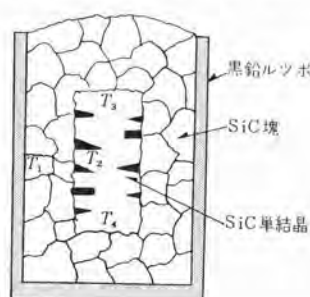


図 3.1 Lely による ルツボ
Fig. 3.1 Lely type crucible.

の後、おもに Hamilton⁽²⁾ Chang⁽³⁾ により、純度の改善、結晶核の制限、熱条件の改善など種々改良が加えられている。しかしこれらには単結晶を製作するために必要な制御可能な技術的条件および方法(とくに核の制限および晶癖の制御)は、あまり明確にされていないように思われる。この点に重点を置き、筆者らは研究を続けてきたが、現在までにわかった観察結果を順を追って検討してみる。

3.3 結晶成長の観察

まず発熱体の形については、Lely の方法では、できるだけ縦方向の均熱部を長くする方が良いので、数種類発熱体の形を変え温度分布を測定し、図 3.2 の形でまず試みることにした。この中に図 3.3 で示される ルツボ を入れ、図 3.4 で示した温度 プログラム で成長させた。核の制限のため多孔質黒鉛の下地⁽⁷⁾を使用したのが、その効果は良好であった。これを図 3.5 に示すが、この下地を使用しない場合 (Lely のものと同じ方法) の図 3.6 の場合と比較するとその効果がよくわかる。下地上の成長状態を観察すると、図 3.7 に示すようにその状態は成長場所により異なる。これは周囲の温度分布の相違によるものと考えられ、昇華後の SiC 粉末の熱流線からも確かめられる。すなわち下地上部では、比較的溫度

が小さいのに対して、下部では急激についている。上部のものが非常に小さな六角平板状結晶であるのに対し、下部のものは大きいピラミッド状多結晶である。これを図 3.8 および図 3.9 に示す。

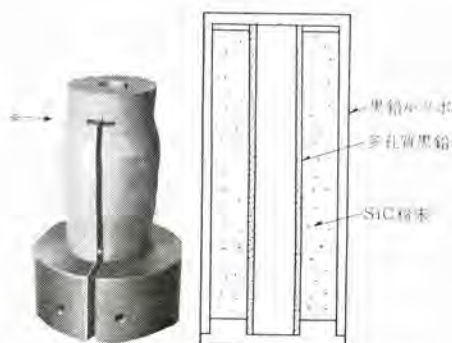


図 3.2 黒鉛
発熱体
Fig. 3.2
Graphite
heater.

図 3.3 黒鉛 ルツボ
Fig. 3.3 Graphite
crucible.

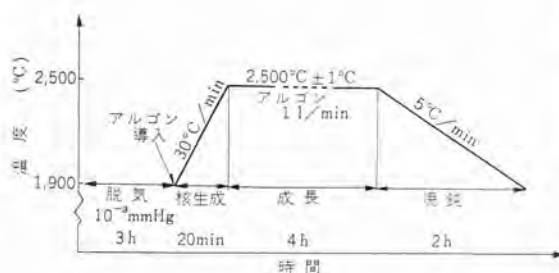


図 3.4 結晶製作時における温度 プログラム
Fig. 3.4 Temperature program crystalization.



図 3.5 核制限された場合
の成長状態
Fig. 3.5 Growing state
under nucleation control.



図 3.6 核制限されない場合の
成長状態
Fig. 3.6 Growing state under non
nucleation control.

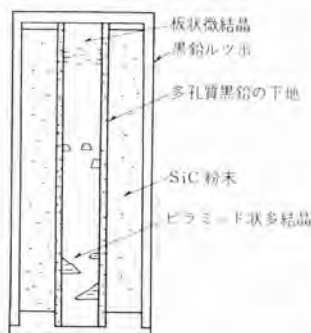


図 3.7 下地上の成長状態
Fig. 3.7 Growing state on the
substrate.



図 3.8 板状結晶群
Fig. 3.8 Plate-like crystals.



図 3.9 ピラミッド 状結晶
Fig. 3.9 Pyramidal
crystals.



図 3.10 板状結晶の成長状態
Fig. 3.10 Growing state of plate-like crystals.



図 3.11 板状結晶の成長状態
Fig. 3.11 Growing state of plate-like crystals.

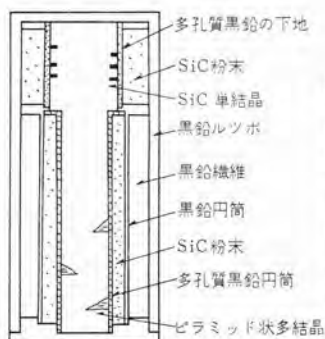


図 3.12 改良 ルツボ
Fig. 3.12 Improved crucible.



図 3.13 改良された ルツボ での成長状態
Fig. 3.13 Growing state in improved crucible.



図 3.14 さらに改良された発熱体
Fig. 3.14 Re-improved heater.

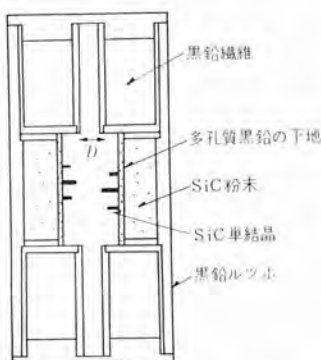


図 3.15 さらに改良された ルツボ
Fig. 3.15 Re-improved crucible.

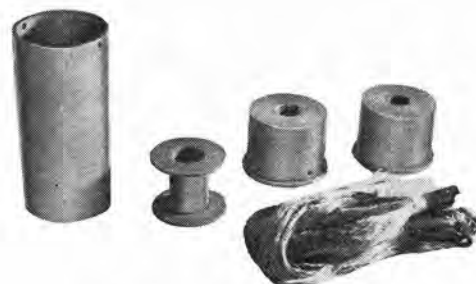


図 3.16 ルツボの各部品
Fig. 3.16 Parts of crucible.



図 3.17 さらに改良された ルツボ での成長状態
Fig. 3.17 Growing state in re-improved crucible.

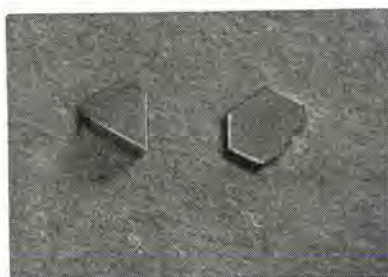


図 3.18 きれいな板状結晶
Fig. 3.18 Fine plate-like crystals.



図 3.19 ピラミッド状結晶
Fig. 3.19 Pyramidal crystals.

に成長している。これを図 3.10 および図 3.11 に示す。成長させたいのは図 3.7 の板状微結晶であるから、SiC 粉末を有効に使用することも考慮に入れ、ルツボ構造を図 3.12 のようなものに改良した。黒鉛繊維を使用したのはその良好な熱絶縁性を利用し、温度コウ配をできるだけ少なくするためである。結果は図 3.13 に示すように大きな (2~3mm 角) 無色透明板状結晶が成長した。しかし図 3.2 の発熱体の消耗(矢印)が著しく、時間とともに温度分布の変化が著しく、再現性に乏しいことが判明した。そこで発熱体の改良とともに、図 3.12 の状態を再現するような構造にルツボを改良した。これを図 3.14、3.15、3.16 に、成長状態を図 3.17 に示す。この発熱体の温度分布の対称位置、非対称位置におのおのルツボを配置し成長させると、前者では六角状平行平板結晶が、後者ではピラミッド状結晶が成長し、その階段状の面は必ず



図 3.20 核制限された場合の成長状態 ($D=6\phi$ の場合)
Fig. 3.20 Growing state under nucleation control.

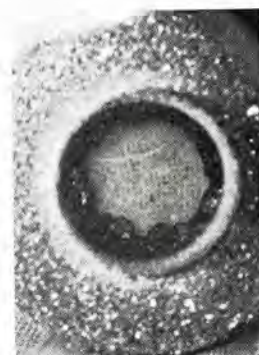


図 3.21 核制限された場合の成長状態 ($D=12\phi$ の場合)
Fig. 3.21 Growing state under nucleation control.



図 3.22 複雑な模様のある結晶表面
Fig. 3.22 Crystal surface with complicated pattern.



図 3.23 ラセン 模様
のある結晶表面
Fig. 3.23 Crystal surface with spiral pattern.

高温側に向いている。これを図 3.18, 3.19 に示す。

次に、より完全な結晶を成長させるには核の数をできるだけ少なく保つことであるが、これを下地の温度の制御により試みた。方法は図 3.15 に示された下地上下のシールド板の中央の円の径(D)を変えることである。結果はこの径が $12\phi\text{mm}$ のとき、成長数は $30\sim 50$ 個程度であるのに対して、 $6\phi\text{mm}$ のとき $4\sim 0$ 個で十分再現性があり制御可能なことがわかった。これを図 3.20, 3.21 に示す。また表面状態の観察をして見ると、成長初期のものは図 3.22 に示すような複雑なシマ模様を持ったものが多く、 $2\sim 3$ 時間後のものは、これが少なく美しいラセン状の模様が時々見られる。これを図 3.23 に示す。

3.4 考 察

以上の観察結果について若干の考察を試みる。何分、高温のため、実際の成長領域における温度分布が測定できず、粉末の昇華状態、結晶の成長状態などから判断し、定性的にしか説明できない。まず晶癖の変化であるが、ルツボが発熱体の温度分布の対称位置からずれた場合、成長結晶の上下面からのフク射による熱の散逸の度合いが異なるためと考えられるが、しかし結晶成長のメカニズムから推察しなければ、その形は説明できない、したがって表面状態の観察によりそのメカニズムを考察する必要がある。

また核の制御であるが、上下のドーナツ板の径を変えることは、下地がその円筒の低温部を見る面積が変わることであり、これにより下地の温度が制御され、過飽和度が変化し、核付けが制御されるものと考えられる。次に成長結晶の結晶構造であるが、SiC には非常に多くの多型(polytype)が存在し、筆者らの得た結果では、今までのところ $2,500^{\circ}\text{C}$ で成長したものは、おもに 6H type で、長周期のものまではまだ検出にいたっていない。振動法による結果を図 3.24 に示す。また昇華後ルツボの高温側の粉末 SiC が黒化するが、これは黒鉛であることがわかり、やはり粉末 SiC は熱分解している。またルツボから逃げ出した蒸気が炉の熱シールドの低温部に針状晶として成長するが、これは $\beta\text{-SiC}$ であった。



C 軸 20° CuK α (フィルタなし) 30kV 10mA 2 時間

図 3.24 X 線振動写真-6H 構造

Fig. 3.24 X-ray oscillation photograph-6H structure

4. む す び

以上で高温真空炉の製作および SiC 単結晶の成長についての報告を終わるが、結論として次のことがいえると思われる。

(1) 高温炉 ($2,000^{\circ}\text{C}$ 以上) の安定化において難点は、強いフク射によるシールド材、真空シールドなどの劣化および電極の電気的、熱的接触の問題がおもなものと考えられるが、これはシールドの有効的な使用により、ある程度解決されると思われる。この材料として、高温用に黒鉛繊維が種々の点(熱伝導度、耐熱性、ガス含有率、取り扱いの容易さなど)ですぐれており、低温ではモリブデンを使用すれば十分である。

(2) 昇華法の場合、できるだけ欠陥の少ない結晶を作るには、まず核の数を少なく保つことであるが、これは困難な点とされている。これには蒸気圧と下地の温度の制御により行なわれるが、筆者らは SiC の場合、とくにルツボの構造の改良により熱放散を変え、下地の温度の制御を行なった。その結果、かなり良好な結果を得、また晶癖も制御できることがわかった。

今後、さらにきれいな、欠陥の少ない、大きな単結晶を製作するための条件を調べるとともに、SiC の基本的な構造といわれる 6H, 15R, 4H 構造の成長条件を調べてゆきたい。また光学的手段で表面構造の観察を行ない、X 線解析と合わせて結晶成長のメカニズムを探究する予定である。

終わりに、この研究に対し種々ご助言、ご協力を賜った当研究所八十田室長、大阪市大、小村幸友氏ならびに実験に協力していただいた堀内利明氏に厚く謝意を表する。

(昭 38-9-17 受付)

参 考 文 献

- (1) A. J. Lely: Ber. deut. keram. Ges. 32, 229 (1955).
- (2) D. R. Hamilton: J. Electrochem. Soc. 105, 735 (1958).
- (3) H. C. Chang: Semiconductor Product. Jan. 29 (1960).
- (4) W. G. O'Driscoll: Nuclear Engineering. Nov. 479 (1958).
- (5) Y. Ishikawa, S. Sawada: J. Phys. Soc. Jap. 11, 1184 (1956).
- (6) 山本: 単結晶製法概説「日本物理学会誌」18, 438 (昭 38).
- (7) 林, 河村: 日本物理学会, 昭和 36 年秋期分科会予稿集 p. 214.

ケイ素鋼帯の磁気特性連続自記装置

—(1) 鉄損測定の誤差—

野口 英男*・土屋 英司*・鈴木 裕*

Automatic Continuous Recording Equipment of Magnetic Properties for Silicon Steel Strips

—(1) Errors of Iron Loss Measurement—

Research Laboratory

Hideo NOGUCHI・Hideshi TSUCHIYA・Hiroshi SUZUKI

With automatic continuous recording equipment of magnetic properties for silicon steel strips operating on the H-coil method, experiments were made on the measurement of sheet thickness and the correction of an air-flux affecting the errors in iron loss, prior to the experiments of the strips in the running. Following this, iron losses were measured with strips intermittently stopped during the feeding. The measured values were compared with those obtained by the differential method and by the 25 cm Epstein method. The reproducibility and accuracy of sheet thickness measured with an air-micro-meter were found very good. Errors on air-gap flux corrected by the use of a compensating mutual inductor were ascertained to be kept down within 1%. Also the H-coil method was made known to produce values identical with those by other measuring methods within 2% difference.

1. ま え が き

ケイ素鋼帯の磁気特性を、非破壊で間欠的に送りを停止して測定する装置において、磁氣的諸量を正確に取り出す方法についての検討結果はすでに報告し⁽¹⁾、連続測定器として“Hコイル法”が種々な点ですぐれていることを述べた。

今回は、この装置を走行中の鋼帯特性を連続的に測定するとき生ずる誤差因子の内、走行中に測定した磁気特性値が理論的に真の値を示すかどうかについてはひとまず置き、測定技術上最も問題の大きい厚さ測定の誤差、およびこうした開磁路において、補償相互誘導器を用いて空け磁束の補正を行なうことの可否とについて検討した。そして、Hコイル法により得られた鉄損値と他の方法で求めた値とを比較検討した。以下それらの結果について述べる。

2. 試料と試験コイル

厚さ 0.35 mm の方向性ケイ素鋼帯 G10, G11 および G13 を幅約 90 mm にスリットしヒズミ取り焼鈍したものから長さ約 20 m の帯状試料と、この帯状試料を採取した直前、直後からそれぞれ 1 組ずつの 25 cm エプスタイン試料をとって実験に用いた。

試験コイルは、前報⁽¹⁾では、最大幅 110 mm の鋼帯用を用いた

が、今回は最大幅 260 mm の鋼帯用のものを用いた。ただし差動測定法の場合には、今回の試験コイルでは差動測定ができないので前報の試験コイルを用いた。

260 mm 幅用の試験コイルの概要を図 2.1, 2.2 に示した。ウツ材としてはポリエステルガラス積層板を用い、摩擦に耐えるように考慮するとともに、中空部の幅方向の両側には厚さ約 5 mm の黄銅板をネジ止めて取り換えるような構造にした。

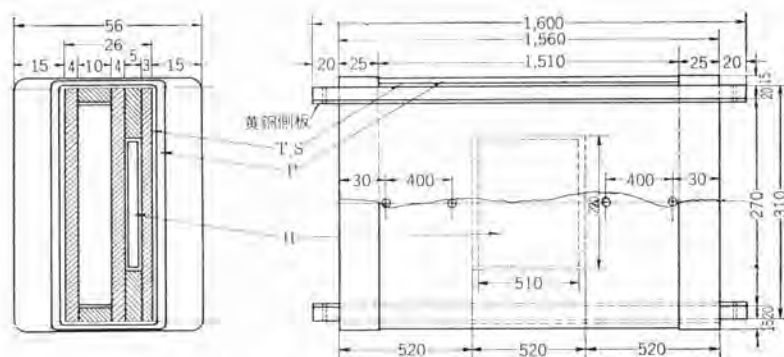
二次コイル (S および T コイル) はコイルウツに直接 0.8 φ の PVF 線を図 2.2 の仕様の通りに巻いたが、この内 S コイルはおもに磁束密度の評価に用い、T コイルは、二次誘起電圧がひずんだ場合に波形率補正器でこれを正弦波に直すための、フィードバック用巻線として用いた。一次コイルは、二次コイルの上に 1.6 φ の PVF 線を 850 回巻いた。また、H コイルは、4×210×510 mm のフェノールジウツに 0.16 φ の PVF 線を 2,500 回巻いて、試験コイルの中央部に埋め込んだ。

試験コイル製作にあたって注意した事項その他は前報⁽¹⁾と同じである。

3. 実験方法とその結果

3.1 厚さ測定の再現性

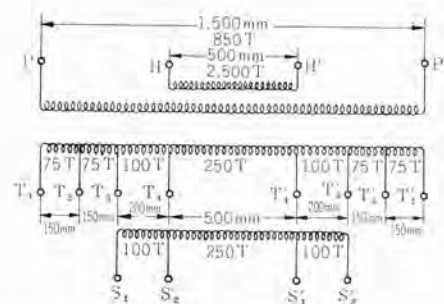
ケイ素鋼帯厚さの連続的測定には、通常 (1) 放射線厚さ計、



P: 一次コイル T, S: 二次コイル H: Hコイル

図 2.1 試験コイルの構造

Fig. 2.1 Structure of the testing coil.



P: 一次コイル T, S: 二次コイル H: Hコイル

図 2.2 試験コイルの巻線仕様

Fig. 2.2 Winding of the testing coil.

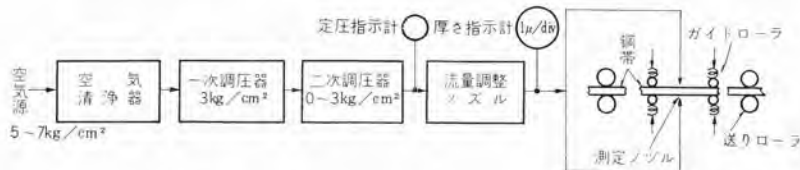


図 3.1 厚さ測定系の構成
Fig. 3.1 Block diagram of the thickness measuring system.

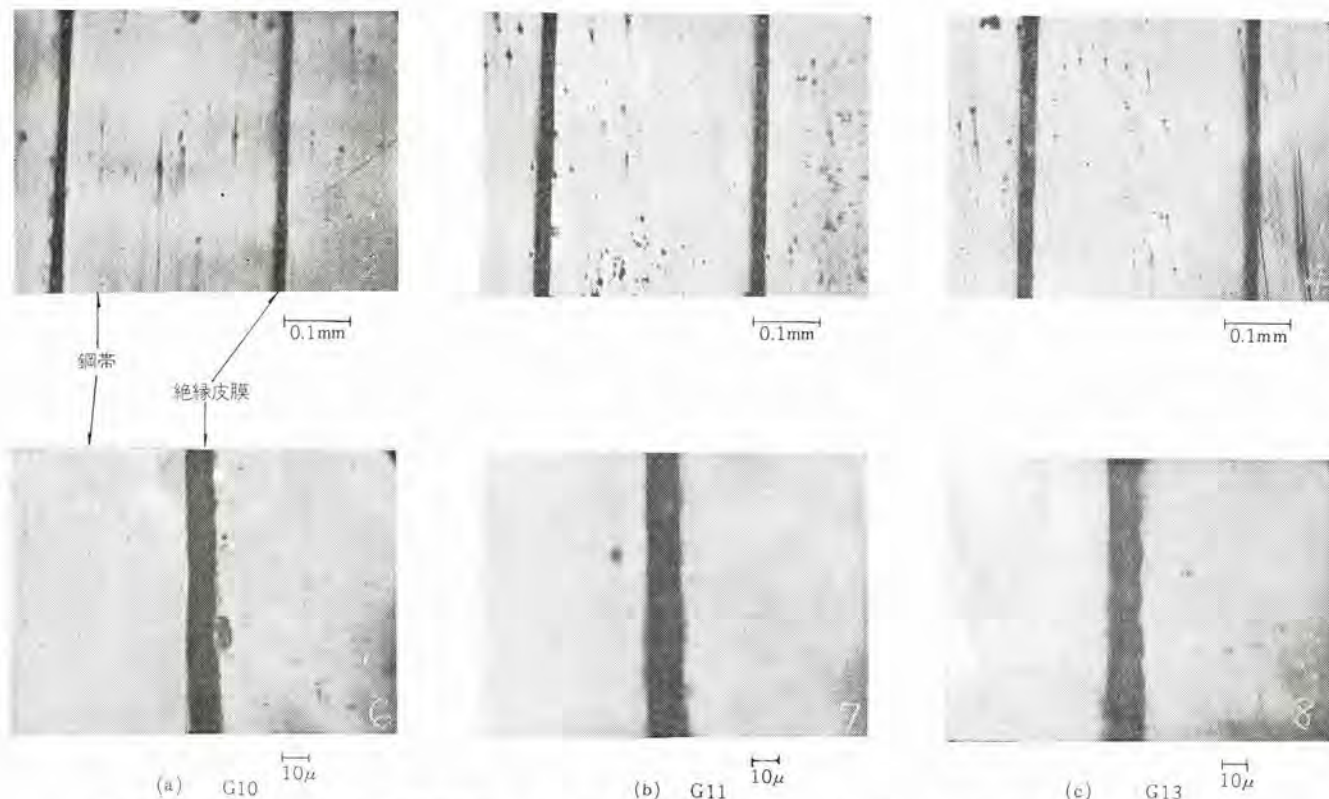


図 3.2 鋼帯および絶縁皮膜の断面写真 Fig. 3.2 Sectional photographs of steel strips their surface insulation.

(2) フライングマイクロメータ、(3) エアマイクロメータなどが用いられ、それぞれ一長一短がある。われわれは取り扱いが比較的簡単で、とくに値段の安いことを主眼において、エアマイクロメータを用いた。

われわれが用いたのは、御器谷 メタル 工業株式会社製超高压指針形 エアマイクロメータで、その概要を図 3.1 に示した。

図 3.1 において、まずエアコンプレッサによって 5~7kg/cm² に調圧された空気中の水分や尘埃を空気清浄器によって除き、これに続く一次調圧器によってほぼ 3kg/cm² に空気圧力を調整する。次にこれを被測定物体の厚さに応じて所要の圧力および流量に調整し、被測定物体の上・下 に ノズル から吹き付ける。この際厚さに変動があれば、測定 ノズル から流出する空気量が変化するので、この変化を厚さ指示計に導びくことによって厚さが求められる。

この測定系において、測定値の再現性に関係する因子は数多く考えられるが、その内で、われわれがおもに検討したのは次の 2 点である。

- (1) 測定 ノズル 部へ鋼帯をそう入する方法
- (2) 調圧器の動作状態

すなわち、エアマイクロメータの取付調整直後、ガイドローラのバネ圧調整(鋼帯の波打、ノズルに対する位置の改善)後およびさらに一次調圧器の調整不完全に起因する圧力変動を調整改良後の三つの場合に、それぞれ同一試料(G11)を用い、長さ方向にとった 8 点について、3 回繰り返し厚さ測定を行なった。その結果は

表 3.1 のとおりで、最終的には再現性においてほぼ満足できる結果が得られた。

3.2 厚さ測定の精度

磁気試験方法の標準としては、JIS C-2550 が測定されており、試験器として NS 透磁率計や 25cm エラストイン試験器を用いるよう規定されている。これらの試験法において、計算に用いる試料断面積は、いずれも試料の長さ、比重および重量から計算によって求めているが、その際の試料断面積の算定誤差は標準の状態(たとえば 25cm エラストイン試験で全量約 2kg の試料を用いた場合)では 0.5% 以内と考えてよい。

本測定法においては、試料断面積は鋼帯の幅と厚さの積として求めるのであるが、被測定鋼帯の幅はおおむね 100mm 以上であるため、その測定誤差は最大でも 0.5% を越えることはないと考えられる。これに対して厚さの方は 0.30~0.5mm が測定対象であるため、測定誤差を 1% 以内に押えるためには、厚さ測定値についてよく吟味する必要がある。

そこで、試料として G10、G11 および G13 の エラストイン 試験片各 5 枚ずつを用い、次のような実験を行なった。

まず外側 マイクロメータによって、各板の厚さを数点ずつ測定した。次に同じ試料を エアマイクロメータによって数点について厚さの測定を行なった。この場合、厚さの基準としては、標準ゲージ(0.320mm および 0.386mm)を用いた。最後に各 1 枚ずつの板について、直示テンピンによって重量の測定を行ない、板の長さ、

表 3.1 厚さ測定値の再現性

測定箇所	板 厚 さ $\times 10^3$ (mm)											
	取 付 調 整 直 後				ガイドローラバネ調整後				一次調整器調整後			
	1	2	3	平均	1	2	3	平均	1	3	3	平均
1	3.44	3.44	3.47	3.45 ₀	3.46	3.47	3.43	3.45 ₃	3.45	3.45	3.45	3.45 ₀
2	3.45	3.46	3.49	3.46 ₇	3.46	3.48	3.49	3.47 ₇	3.44	3.45	3.45	3.44 ₇
3	3.43	3.46	3.48	3.45 ₇	3.46	3.48	3.44	3.46 ₀	3.45	3.46	3.46	3.45 ₇
4	3.44	3.47	3.45	3.45 ₃	3.47	3.49	3.48	3.48 ₀	3.44	3.45	3.45	3.44 ₇
5	3.42	3.46	3.43	3.43 ₇	3.46	3.48	3.47	3.47 ₀	3.44	3.44	3.44	3.44 ₀
6	3.43	3.45	3.44	3.44 ₀	3.45	3.46	3.46	3.45 ₇	3.46	3.45	3.45	3.45 ₃
7	3.44	3.46	3.44	3.44 ₇	3.45	3.46	3.44	3.45 ₀	3.44	3.45	3.45	3.44 ₇
8	3.48	3.51	3.48	3.49 ₀	3.48	3.49	3.49	3.48 ₇	3.48	3.46	3.47	3.47 ₀

表 3.2 厚さ測定値の測定法による差

項 試 目 料	重 量 (g)	板 厚 さ ×10 ³ (mm)			皮 膜 厚 さ* 一 両 面 (μ)		写真から求めた値		
		重量か ら計算 <i>t</i>	外側マイク ロメータに より実測 <i>t_m</i>	エアマイク ロメータに より実測 <i>t_a</i>			板 厚 さ ×10 ³ (mm)	皮膜厚さ 両面 (μ)	
					<i>(t_m-t)</i>	<i>(t_a-t)</i>			
G10	1	21.66	3.37	3.48	3.40	11	3	最大 3.32	最大 11.8
	2	21.85	3.40	3.50	3.41	10	1	最小 3.29	最小 1.01
	3	22.05	3.43	3.52	3.45	9	2	平均 3.31	平均 10.9
	4	22.08	3.44	3.53	3.46	9	2		
	5	22.14	3.44	3.54	3.47	10	3		
G11	1	20.71	3.22	3.37	3.32	15	10	最大 3.16	最大 13.8
	2	20.87	3.25	3.36	3.34	11	9	最小 3.15	最小 12.2
	3	21.01	3.27	3.45	3.37	18	10	平均 3.15	平均 13.0
	4	21.06	3.28	3.42	3.34	14	6		
	5	21.08	3.28	3.41	3.38	13	10		
G13	1	22.27	3.46	3.62	3.55	16	9	最大 3.34	最大 13.3
	2	22.36	3.48	3.62	3.57	14	9	最小 3.27	最小 10.2
	3	22.44	3.49	3.65	3.54	16	5	平均 3.31	平均 12.0
	4	22.49	3.50	3.67	3.56	17	6		
	5	22.52	3.50	3.66	3.55	16	5		

注 * 印 計算値である。

幅および比重から板厚さを計算した。これらをまとめて表 3.2 に示した。

また鋼帯自身の厚さと絶縁皮膜の厚さとの関係を調べるために、厚さ測定に用いた 5 枚の試片を重ね合わせて、顕微鏡写真を撮影し図 3.2 に示したが、この写真から読み取った鋼帯厚さおよび絶縁皮膜の厚さを表 3.2 の最後の欄に示した。

重量から計算した板厚さが 3 者中常に最小の値を示し、外側マイクロメータにより実測した板厚さが最大値を、またエアマイクロメータにより実測した板厚さが中間の値を示す。各マイクロメータによる板厚さ実測値から重量により計算した板厚さを差し引いて求めた皮膜厚さは、鋼帯ごとにかなり異なった値を示している。またこれらの値に比較して写真から求めた板厚さが薄く、皮膜厚さが厚く得られたのは研磨の際に鋼板端面のヘリが摩擦したためと考えられる。

3.3 補償相互誘導器による空ゲキ磁束の補正

25 cm エラストイン試験法のように、装置内の磁化力分布がおおむね均一である場合には、試験コイルの一次、二次巻線に逆直列に接続した補償相互誘導器 M_c によって空ゲキ磁束分電圧が正しく相殺できる。しかし本測定法のような開磁路の試験器においては、反磁界の影響によって、試験コイル端部付近の磁界が弱められるために、空ゲキ磁束の補正を上記の方法によって行なうと、過補正になる恐れがある。この場合、補正をされる傾向は試料の反磁界の関数であるから、被測定試料の透磁率が高いほど過補正になりやすい。すなわち試料のグレードが高く、測定磁束密度が 8~10 kG の場合に最も悪影響を受けるものと考えられる。

これらの傾向が実用上どの程度支障になるかを調べるために、試料として反磁界の影響が最も大きいと考えられる G10 を用い、

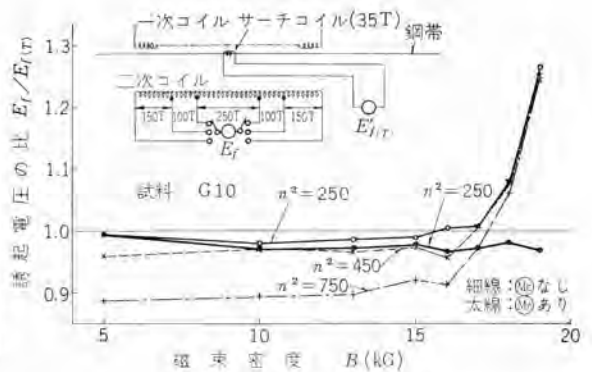


図 3.3 二次誘起電圧の変化
Fig. 3.3 Variation of secondary induced voltage.

図 3.3 の説明図のように鋼帯に密接巻きしたサーチコイルに誘起する電圧 $E_{f(T)}$ によって磁束密度を所望の値に設定し、そのときの二次コイルの誘起電圧 E_f との比をとって図 3.3 に示した。なお縦軸の値は次式によって求めた。

$$\frac{E_f}{E_{f(T)}} = \frac{E_f(\text{at } n_2)}{E_{f(T)} \times \frac{n_2}{35}}$$

図にみられるように、補償相互誘導器がない場合には高磁束密度になると両電圧の比は急増するが、補償相互誘導器がある場合には両者の比はほぼ一定値を維持する。

3.4 鉄損測定の精度

本測定器はおもに方向性ケイ素鋼帯の試験に用いるものであるが、現在方向性ケイ素鋼帯の製造者および注文者における磁気試験は「適当な条件でヒズミ取り焼鈍をしたのち行なう」と規定され、その条件で測定した数値によって合否を判定している。

本測定器の精度の検討を行なう場合、この H コイル法によって鋼帯の長さ方向の磁気特性の分布を測定し、次いでこれを 30 × 280 mm の試片に切断した直後と、その試料を適当な条件でヒズミ取り焼鈍した後とに、25 cm エラストイン試験器によって磁気特性を測定し、両試験器による測定値を比較して精度を検討することがまず考えられる。しかしこの場合には、1 組の 25 cm エラストイン試料を得るためには相当長尺の鋼帯を必要とする（たとえば 100 mm 幅の鋼帯で 8 m 強）。一方 H コイル法では、特性の分布状態を調べるのが目的であり、測定の 1 単位は 50 cm に選んであるため、1 組の 25 cm エラストイン試料の測定値は、約 17 点の H コイル法による測定値の平均と比較せねばならないので、数多くの比較データをを得るためには大規模の実験が必要となる。その上、エラストイン試料に切断直後の値は当然ヒズミを受けてかなり特性が劣化しており、またヒズミ取り焼鈍を行なう場合の特性が、鋼帯の切断前の特性と同じになるとはいえないので、この点に関しても、両者の比較によって本器測定精度の検討を行なうには疑問がある。

そこで、鋼帯の磁気特性を非破壊で測定する他の方法として、差動測定法を採り上げ、H コイル法と比較することを試みた。なお差動測定法についてはすでに成田⁽¹²⁾によって詳細に述べられており、われわれも前報⁽¹¹⁾において検討を加えたが、鋼帯の長さ方向の短い区間に厚さの大きな変動がない場合には、この測定法による鉄損値と、25 cm エラストイン法による鉄損値とは 2% 以内の

表 3.3 差動法および H コイル 法により測定した鉄損分布

種類 測定点	G 10			
	10		15	
	差動法	Hコイル法	差動法	Hコイル法
1	0.40 ₁	0.36 ₈ *	0.99 ₂	0.97 ₄
2	0.39 ₇	0.37 ₃	1.02 ₉	0.96 ₈
3	0.40 ₅	0.40 ₁	1.02 ₆	1.08 ₂
4	0.41 ₁	0.37 ₇	1.04 ₃	1.01 ₆
5	0.37 ₇	0.36 ₈ *	0.99 ₀	0.95 ₁
6	0.39 ₂	0.38 ₄	0.90 ₈ *	1.01 ₆
7	0.38 ₂	0.38 ₀	0.98 ₀	0.95 ₈
8	0.38 ₇	0.36 ₉	0.92 ₆	0.92 ₇ *
9	0.37 ₁	0.37 ₃	0.92 ₆	0.94 ₂
10	0.36 ₀ *	0.38 ₀	0.96 ₄	0.96 ₂
11	0.39 ₉	0.38 ₆	1.03 ₁	0.97 ₉
12	0.36 ₀ *	0.37 ₈	0.99 ₃	0.96 ₄
13	0.39 ₃	0.38 ₃	1.02 ₃	0.98 ₂
14	0.40 ₂	0.37 ₇	1.03 ₆	0.98 ₂
15	0.38 ₅	0.38 ₄	1.02 ₅	1.01 ₉
16	0.41 ₈	0.38 ₇	1.03 ₀	1.02 ₁
17	0.43 ₁ △	0.37 ₅	1.02 ₄	0.97 ₁
18	0.42 ₄	0.37 ₃	0.96 ₂	0.97 ₉
19	0.41 ₉	0.37 ₇	1.04 ₀	0.96 ₃
20	0.40 ₁	0.38 ₉	1.00 ₃	0.97 ₃
21	0.39 ₃	0.38 ₃	0.92 ₄	0.98 ₂
22	0.39 ₂	0.38 ₁	0.97 ₀	0.95 ₇
23	0.40 ₄	0.37 ₇	1.00 ₃	0.94 ₁
24	0.40 ₁	0.37 ₃	0.99 ₂	0.98 ₁
25	0.43 ₀	0.42 ₄ △	1.05 ₂ △	1.09 ₄ △

注 * 印 最小値, △ 印 最大値

表 3.4 差動法および H コイル 法により測定した鉄損分布

種類 B(kG) 測定法 測 定 点	G 1 1						G 1 3					
	10			15			10			15		
	差動法	Hコイル法		差動法	Hコイル法		差動法	Hコイル法		差動法	Hコイル法	
		A.M	A.M'		A.M	A.M'		A.M	A.M'		A.M	A.M'
1	0.39 ₃	0.37 ₈	0.37 ₈	1.12 ₅	1.01 ₂	0.95 ₁	0.42 ₁	0.41 ₀	0.42 ₈	0.99 ₁	1.04 ₁	1.04 ₁
2	0.40 ₉ [△]	0.34 ₈ [*]	0.36 ₂	1.13 ₉ [△]	0.90 ₂	0.85 ₂	0.40 ₂	0.41 ₅	0.42 ₈	0.97 ₂	1.06 ₅	1.03 ₁
3	0.27 ₇ [*]	0.34 ₉	0.35 ₀	0.74 ₂	0.904	0.84 ₇	0.40 ₇	0.41 ₂	0.42 ₁	0.98 ₁	1.05 ₂	1.02 ₀
4	0.32 ₇	0.34 ₉	0.34 ₁ [*]	0.93 ₆	0.89 ₄ [*]	0.82 ₈ [*]	0.40 ₄	0.40 ₈ [*]	0.41 ₄ [*]	0.98 ₁	1.02 ₁	0.98 ₇
5	0.32 ₃	0.35 ₃	0.35 ₀	0.73 ₂ [*]	0.91 ₉	0.86 ₆	0.39 ₃ [*]	0.40 ₁	0.41 ₇	0.92 ₅ [*]	1.01 ₉ [*]	0.96 ₉ [*]
6	0.33 ₁	0.34 ₉	0.35 ₂	0.89 ₁	0.91 ₅	0.85 ₄	0.39 ₆	0.41 ₂	0.42 ₁	0.93 ₁	1.05 ₉	1.01 ₃
7	0.33 ₂	0.35 ₁	0.35 ₀	0.81 ₈	0.89 ₉	0.84 ₅	0.40 ₆	0.41 ₅	0.42 ₁	0.95 ₀	1.07 ₀	1.02 ₇
8	0.35 ₉	0.39 ₁ [△]	0.38 ₃ [△]	0.93 ₃	1.04 ₈ [△]	0.99 ₉ [△]	0.42 ₄ [△]	0.41 ₅	0.42 ₁	0.94 ₅	1.08 ₁ [△]	1.02 ₄
9	0.37 ₁	0.36 ₈	0.36 ₀	0.93 ₇	0.96 ₀	0.90 ₈	0.42 ₂	0.41 ₅ [△]	0.43 ₅ [△]	1.10 ₅ [△]	1.05 ₄	1.04 ₅
10	0.33 ₈	0.36 ₆	0.36 ₄	0.90 ₃	0.90 ₂	0.85 ₂	0.39 ₂	0.41 ₅	0.43 ₁	1.00 ₂	1.05 ₉	1.04 ₈ [*]

注 1. A.M はエアマイクロメータにより測定した板厚を計算に用いた。
2. A.M' はエアマイクロメータにより測定した板厚から皮膜厚さを差し引いて計算に用いた。
皮膜厚さは G11 で 7μ (板厚の約 2.7%), G13 で 7μ (板厚の約 2%)
3. * 印 最小値 △ 印 最大値

表 3.5 各鋼帯の 25cm エラストイン 試料の磁気特性

鉄損 (W/kg)	種類 処理	G 10		G 11		G 13	
		焼鈍前	焼鈍後	焼鈍前	焼鈍後	焼鈍前	焼鈍後
W 10/50		0.48 ₉	0.43 ₂	0.42 ₂	0.39 ₅	0.49 ₆	0.47 ₇
W 13/50		0.79 ₂	0.72 ₉	0.70 ₈	0.66 ₁	0.81 ₀	0.76 ₉
W 15/50		1.1 ₀	0.96 ₄	0.98 ₀	0.90 ₁	1.1 ₁	1.0 ₄
W 16/50		1.3 ₁	1.1 ₄	1.1 ₇	1.0 ₆	1.3 ₄	1.2 ₅
W 17/50		1.5 ₀	1.3 ₈	1.3 ₉	1.2 ₇	1.6 ₂	1.5 ₁

注 1. 焼鈍は 800°C 1h 水素気中, 2. 2 組の試料の平均をとって示した。

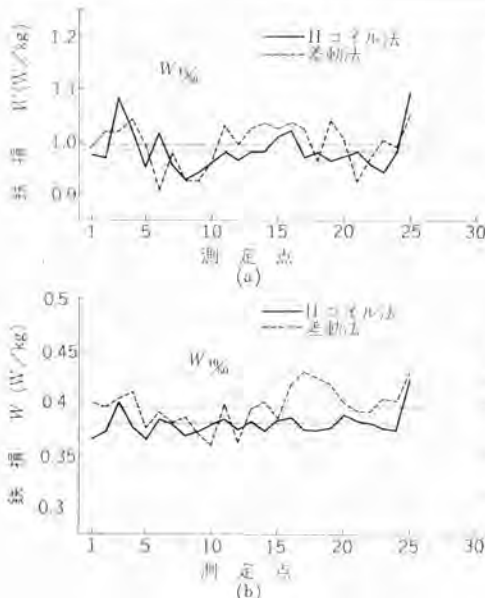


図 3.4 G10 の鉄損分布曲線
Fig. 3.4 Distribution curves of iron loss of G10.



図 3.5 G11 の鉄損分布曲線
Fig. 3.5 Distribution curves of iron loss of G11.

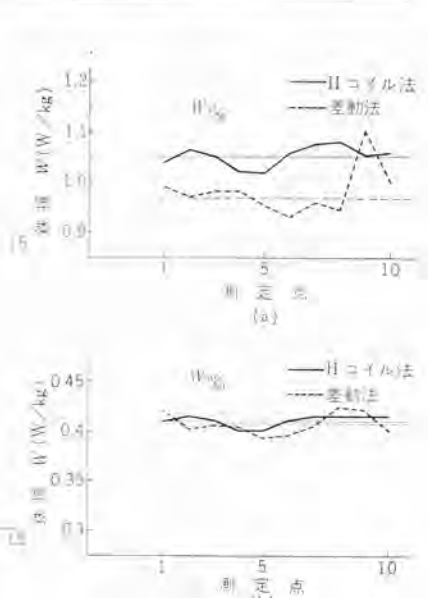


図 3.6 G13 の鉄損分布曲線
Fig. 3.6 Distribution curves of iron loss of G13.

差で一致するものと考えられる⁽²⁾。

2 章に示した長さ 20 m の試料の 50 cm ごとの鉄損を差動法および H コイル 法の両測定法で測定し、数値の比較を行なった。また 25 cm エラストイン 試料各 2 組ずつの鉄損を、エラストイン 試片に切断直後および 800°C 水素気中で 1 時間焼鈍後に測定し参考供した。この場合、25 cm エラストイン 試験法においては、当然重量により計算した断面積を用いたが、差動測定法および H コイル 法においては、エアマイクロメータによって測定された板厚さと、ノギスによって測定された幅を断面積の計算に用いた。これらの測定結果を表 3.3~3.5 および図 3.4~3.6 に示した。

なお 3.2 節に述べたように、エアマイクロメータによって求めた板厚と、重量から計算した板厚間には、かなり差のある試料もあるので、その差がとくに大きい G11 および G13 については、エアマイクロメータによる板厚測定値から皮膜厚さ ($t_0 - t$) の平均値 (表 3.2 参照) を差し引いたものを板厚として用いた場合に、どの程度鉄損値に差が生ずるかを計算し、これを表 3.4 の H コイル 法測定値の右側に併記した。

これらの結果をみると、差動測定法と H コイル 法とにおける各点の値間には良い対応を認められるものもあるが、たとえば図 3.4 の一部にみられるように両者の分布曲線間に 1 点ずつのス

のあるものもある。また、エアマイクロメータにより測定した板厚を用いた場合 (A.M) と、これから平均の皮膜厚さを差し引いた板厚を用いた場合 (A.M') との測定値間に、当然のことながらきわめて良好な対応が認められた。

4. 実験結果の検討

4.1 厚さ測定値の再現性

厚さ測定値の再現性を向上させるためには、鋼帯がエアマイクロメータの測定ノズルに対して垂直に通過し、その際波打ちや横振れをできる限り少なくなるようにすることが最も大切である。表 3.1 の結果から、各処置を施したことによって、測定値のバラツキがどのように変わるかを表 4.1 に示した。これからわかるように、エアマイクロメータにより 0.35 mm 程度のケイ素鋼帯の厚さを測定する場合、綿密な注意を払えば、測定値の再現性は 99.6% と非常に良好な値が得られた。

ただしここで注意しなければならないのは、この測定においては各測定箇所を同一点にするため、それが測定ノズルの径の大きさ以内に一致するように注意深く鋼帯を移動させたので、ほとんど静特性になったことである。したがって実際に鋼帯がある速度で移動させながら厚さ測定を行なう場合には、測定値の再現性はこれよりいくぶん悪くなるかも知れない。ゆえにこのデータは、鋼帯を間欠的に停止させて長さ方向の磁気特性を連続的に自記する場合にのみそのまま適用できるもので、鋼帯を走行させる場合には、1% 程度の誤差は生ずるかもしれない。

4.2 厚さ測定値の精度

今一枚の板の厚さを種々な方法で測定する場合、それぞれ次のような部分が測定されることになる。図 4.1 に示したような表面アラサの鋼帯において、外側マイクロメータによって測定されるのは t_m の部分である。またエアマイクロメータによって測定されるのは t_a の部分であり、これは板両面の表面アラサの面積平均値に相当する面間についての厚さで表面アラサの小さい板であれば、外側マイ

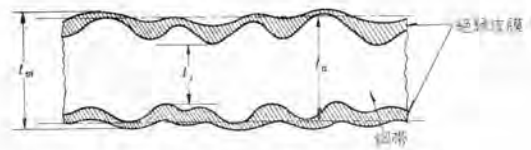


図 4.1 表面アラサと板厚測定値の関係

Fig. 4.1 Relation between measured value of a sheet thickness and surface roughness.

クロメータとエアマイクロメータ間の測定値の差は小さくなる。

本測定法の場合、厚さはエアマイクロメータによって測定するのであるから、その測定値 t_a と、25 cm エラストイン試験法で用いられている重量から求めた板厚 t との差ができるだけ小さいことが望ましい。表 4.2 にはこの両者の差 $(t_a - t)/t \times 100$ をとって示したが、G10 の場合その差は 0.64% で非常によく一致したが、G11 ではこの値が 2.7%、G13 では 1.9% となっており、 t_a の値を用いて断面積を求めた場合、磁化特性ではそれぞれ前記と同じ程度の比率の誤差が、また鉄損測定の場合には G10 で 0.3%、G11 で 1.3%、G13 で 1.1% 程度の誤差 (付録参照) がここから生ずることになる。このように試料の種類によって $(t_a - t)/t \times 100$ が変わっているのは、絶縁皮膜の厚さに差があるためと考えられる。

これらの点を考慮すると、エアマイクロメータで厚さ測定を行なう本測定の場合には、絶縁皮膜の厚さを、両側で最大 5 μ 程度に押えるか、あるいは $5 \mu \pm 2 \mu$ と押え皮膜厚さ分としての 5 μ を、あらかじめ補正して置く必要がある。または絶縁皮膜を塗布する前の工程に入れて磁気特性の管理をすることが望ましい。

4.3 補償相互誘導器による空ゲキ磁束の補正

3.3 節に述べた試験コイルの二次誘起電圧 E_f と試料に密接巻きしたサーチコイルに誘起する電圧 $E_{f(T)}$ との比 $E_f/E_{f(T)}$ は、試料内の磁束分布状態および試料外の磁束、いわゆる空ゲキ磁束の影響を受けて変化する。図 3.3 においてまず補償相互誘導器 (MC) がない場合、17 k.G を越えると両者の比が急激に増加するのは、この磁束密度へんから試料が飽和領域に入り空ゲキ磁束が急増するためである。17 k.G 以下では、磁束密度が変わっても両者の比がほぼ一定値を維持しているのは、それぞれの場合の二次コイルの巻き長さ範囲では試料の長さ方向に対する磁束の分布状態があまり変化しないことを示している。また二次コイル巻数 n_2 が大きくなるにつれて、両者の比が低下しているのは、図 2.2 にみられるように試験コイルの両端部により近い二次コイルが追加され、 E_f 中に磁束密度の低い部分に対する誘起電圧をより多く含むようになるためである。

これに対して (MC) がある場合には、17 k.G 以下の磁束密度において $n_2=250$ での $E_f/E_{f(T)}$ は 1.0 よりはずれる割合が (MC) のない場合に比べて幾分か大きい。飽和領域に入ってから空ゲキ磁束が急増してもその比を維持し、(MC) の効果が顕著に現われる。このように (MC) が効果を現わす磁束密度は、試料の等級が低くなるほど低磁束密度側に移行する。このため本測定器においては、理論的には多少問題があるが、1% 以内の誤差に押えることも可能であり、また測定結果算出のじん速化も可能になる⁽¹⁾ ので、(MC) によって空ゲキ磁束の補正を行なうほうがよいと考える。

4.4 鉄損測定値の精度

差動法と H コイル法とによる鉄損測定値間には、3.4 節に述べたようにほぼ対応が認められるものと、多少ズレの認められるものがある。そこでまず両測定法間の有意差検定を行なった。表 4.3 はこれを示したものであるが、G10 においては両測定法間に

表 4.1 厚さ測定値の再現性

処置	板厚平均値 $t_m \times 10^3$ (mm)	標準偏差 σ (μ)	$3\sigma/t_m \times 100$ (%)
取付調整直後	3.45 ₃	1.4 ₉	1.3 ₃
カイドローラバネ調整後	3.46 ₉	1.0 ₈	0.9 ₃
一次調圧器調整後	3.45 ₉	0.4 ₃	0.3 ₇

表 4.2 厚さ測定値の測定法による差

試料	板厚きの差 (%)		
	$\frac{(t_a - t)}{t} \times 100$	$\frac{(t_m - t)}{t} \times 100$	$\frac{(t_m - t_a)}{t_a} \times 100$
G10	0.89	3.26	2.35
	0.29	2.94	2.64
	0.58	2.62	2.03
	0.58	2.62	2.02
	0.87	2.91	2.02
	平均	0.64	2.21
G11	2.95	4.66	1.66
	2.77	3.38	0.60
	2.91	5.50	2.53
	1.83	4.27	2.40
	3.05	3.96	0.89
	平均	2.70	1.62
G13	2.46	4.63	2.12
	2.59	4.02	1.40
	1.43	4.59	3.11
	1.72	4.86	3.09
	1.43	4.57	3.10
	平均	1.93	2.56

表 4.3 鉄損測定値の分析

種 類	項目 測定法 B (kg)	鉄 損 (watt/kg)						差動法と A.M 間 の分散比	A.M と A.M' 間 の分散比	鉄損平均値の差 (%) (差動法-Hコイル法) Hコイル法 × 100
		平 均			標 準 偏 差					
		差動法	Hコイル法		差動法	Hコイル法				
			A.M	A.M'		A.M	A.M'			
G10	10kG	0.39 ₇	0.38 ₁		0.01 ₉	0.01 ₃		2.0 ₇		4.2 ₀
	15	0.99 ₅	0.98 ₃		0.04 ₂	0.04 ₀		1.1 ₀		1.2 ₂
G11	10	0.34 ₈	0.36 ₀	0.35 ₉	0.03 ₉	0.01 ₅	0.01 ₃	6.8 ₆ **	1.2 ₈	-3.8 ₉
	15	0.91 ₆	0.93 ₈	0.88 ₀	0.13 ₇	0.05 ₄	0.05 ₄	6.4 ₉ **	1.0 ₁	-2.1 ₄
G13	10	0.40 ₈	0.41 ₁	0.42 ₃	0.01 ₁	0.00 ₈	0.00 ₈	3.9 ₃ *	1.1 ₅	-0.7 ₃
	15	0.97 ₉	1.05 ₃	1.02 ₁	0.05 ₀	0.02 ₁	0.02 ₀	5.9 ₃ **	1.5 ₈	-7.0 ₃

注 1. A.M. はエアマイクローメータにより測定した板厚を用いて測定した。
2. A.M' はエアマイクローメータにより測定した板厚から皮膜厚さを差し引いた板厚を用いて測定した。
皮膜厚さは G11 で 9μ (板厚の約 2.7%), G13 で 7μ (板厚の約 2%)

良い一致が認められ、G11 の 10 k.G と 15 k.G および G13 の 15 k.G においては 1%, また G13 の 10 k.G においては 5% の危険率で有意差ありと判断された。しかし G11 および G13 はともに長さ方向に対して 10 点ずつの測定データであるのに対して G10 は 25 点の測定データから得た結果であり、前二者の場合も測定点数がさらに増加すれば、結局両測定法間には有意差はないとの判断がくだせるものと考えている。

次に両測定法による鉄損の平均値間の差を表 4.3 の右端に示したが、最大 +4.2%, -7.03% で全体を平均すると -2.3% となる。すなわち差動法と H コイル法は 2% 程度の差で一致するといえる。成田⁽²⁾の結果をみると、差動法とエラストイン法間の差は約 2% となっており、定尺鋼板の場合には差動法のほうが -2%, 連続鋼板の場合には差動法が +2% と示されている。これらの結果を総合すると、H コイル法による測定値は現行の JIS 測定法 (25cm エラストイン法) と 2% 程度の誤差で一致し、十分実用しうるものと考えてよい。

また、これら両測定器による結果と、同じ鋼帯から取った試料のエラストイン試験器による結果との比較を行なうために、エラストイン法による焼鈍前後の鉄損曲線および差動法と H コイル法とによるデータの平均と範囲とを図 4.2~4.4 に示した。図にみられるように、差動法、H コイル法ともに 10 k.G における鉄損値はエラストイン法によるそれよりもいずれも小さな値を示すが、15 k.G においては両測定法の平均値はともにエラストイン法のヒズミ取り焼

鈍後の値とほとんど同じになる。H コイル法の平均値と、エラストイン法の焼鈍後の値を 15 k.G において比較すると、両者は平均 2.3% の誤差が一致しており、エラストイン試片に切断した際のヒズミ取りさえ行なえば、成田⁽²⁾の無方向性材料の試験で得られた結果とよく一致する。

表 4.3 および図 4.2~4.4 から明らかのように、H コイル法による測定データの範囲、標準偏差はいずれも差動測定法に比べ小さな値を示している。今回用いたわずか 20 m ほどの鋼帯内にはそれほど大きな特性のバラツキがあるとは考えがたいので、結局差動測定法自体に前

報⁽¹⁾に述べたような欠陥、すなわち試験コイル内にある鋼帯厚さに変動があれば、差動測定法は厳格には成立しないので、こうした大きな標準偏差が得られたのではないかと考えられる。

次に H コイル法によって、同じ板の同一場所を測定する際に、板厚さが異なれば鉄損値にどの程度影響があるかについて実験した表 3.4 の結果を分析して、表 4.3 中に併示した。

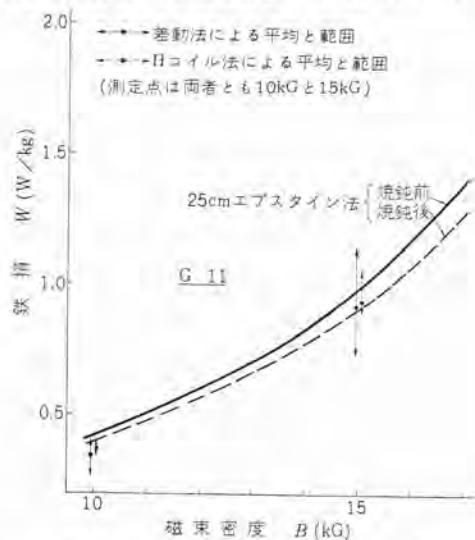


図 4.3 各測定法による G11 の鉄損
Fig. 4.3 Iron losses by various measuring methods on G11.

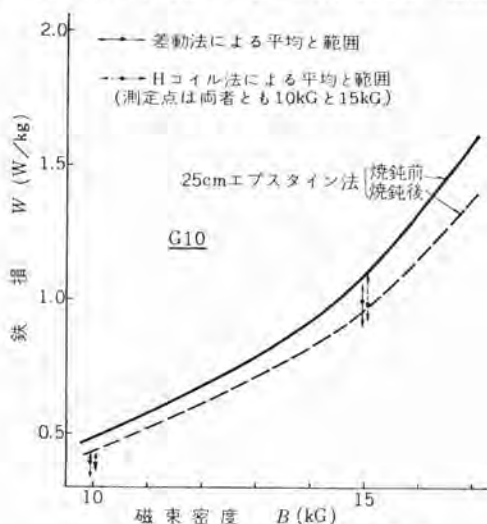


図 4.2 各測定法による G10 の鉄損
Fig. 4.2 Iron losses by various measuring methods on G10.

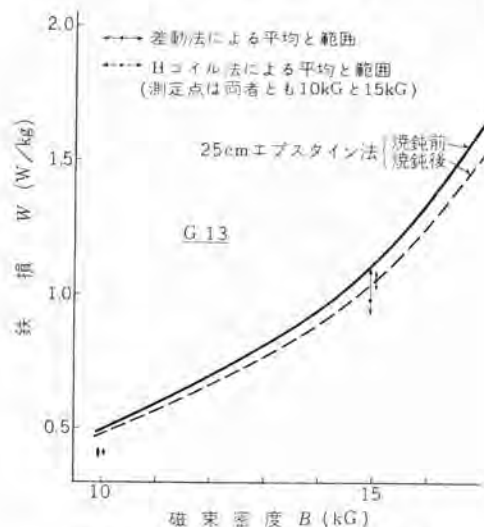


図 4.4 各測定法による G13 の鉄損
Fig. 4.4 Iron losses by various measuring methods on G13.

その結果皮膜厚さが今回の試料のように $9\mu\pm 2\mu$, $7\mu\pm 2\mu$ 程度のもものでは エアマイクロメータ で測定した板厚さを計算に用いたものと、測定値から平均皮膜厚さを差し引いたものを計算に用いたものとの間に有意な差は認められない。すなわち、本測定法で板厚の評価に エアマイクロメータ を用いた場合、絶縁皮膜の厚さに両側で 4μ 程度の変動幅があってもさしつかえないことがわかった。

5. む す び

ケイ素鋼帯の非破壊試験法である H コイル 法について、これを連続自記装置として用いるにききだって、厚さ測定の誤差および補償相互誘導器によって空け磁束を補正した場合に生ずる誤差について検討を行ない、最後に H コイル 法と他の測定法により鉄損を実測して、得られた数値を比較検討した。その結果をまとめると次のようになる。

(1) エアマイクロメータ による厚さ測定値の再現性は、鋼帯の移動速度が遅い場合には非常にすぐれ、走行中でも 1% 程度におさまるものと考えられる。

(2) エアマイクロメータ による厚さ測定値と、重量から計算した板厚さとの間には 0.6~3% 程度の差があり、エアマイクメータ による板厚のほうが大きな値を示す。これは鋼帯表面に塗布された絶縁皮膜の存在が主原因と考えられ、皮膜厚さは両側で 5μ 以下にすることが望ましい。しかし、皮膜の厚さの変動が両側で $\pm 2\mu$

程度で、膜厚が両側で 10μ 程度までならば、平均膜厚さ分をあらかじめ補正すれば現行法と比較して十分の精度が得られる。

(3) 補償相互誘導器を用いて空け磁束の補正を行なうのは、H コイル 法のよきな開磁路測定法においては理論上は正しいものとはいえないが、試料内磁束密度と、二次コイル誘起電圧との関係が、一定の関係にあり、このための誤差は小さく 1% 以内に押えられるので、実用上は補償相互誘導器を用いるほうが得策である。

(4) 差動測定法と H コイル 法の測定値間には対応が認められ、測定値の標準偏差は常に H コイル 法が小さかった。

(5) 差動測定法、H コイル 法および 25 cm エラストイン 法の 3 者による鉄損測定値は、いずれが真値に近いかは判断できないが、相互間の差はいずれも 2% 前後である。(昭 38-9-23 受付)

参 考 文 献

- (1) 野口, 土屋: ケイ素鋼帯の磁気特性自動記録装置, 『三菱電機』35, No. 7, P. 83 (昭 36)。
- (2) 成田: ケイ素鋼板に関する研究, 電試研究報告第 566 号, P. 47 (昭 33)。
- (3) D. Edmundson: "Electrical and Magnetic Measurements in an Electrical Engineering Factory" P.I.E.E, 102 Pt. B P. 427 (1955)。

付 録

いま、ある周波数 f において厚さ t を有する試料の磁束密度 B ガウス の時の鉄損を P ワット とすれば、よく知られているように

$$P = P_h + P_e = k B^{1.5} + k' B^2$$

ここに P_h , P_e はヒステリシス 損と ウズ 電流損
 k, k' は係数

となり、方向性 ケイ素鋼板では

$$P_h \approx 0.5 P \approx P_e$$

なので、次の関係がほぼ成立する。

$$P = K B^{1.5}$$

そこで、 B の変化による鉄損 P の変化は

$$\frac{dP}{dB} = 1.8 B^{0.5}$$

となる。

すなわち、いま一定の幅をもつ試料の鉄損測定の場合、厚さ t が $x\%$ の誤差を含めば、磁束密度 B も $x\%$ の誤差を含み、このため鉄損 P に $1.8x^{0.69}$ の誤差を生ずる。一方厚さ t が $x\%$ の誤差を含めば単位長さあたりの重量 (厚さ $\times$ 幅 $\times$ 比重) に $x\%$ の誤差が含まれる⁽³⁾。このため、厚さ t に $x\%$ の誤差が含まれる場合の単位重量あたりの鉄損 PG (ここに G は被測定長さの重量) には $(1.8x^{0.69} - x)\%$ の誤差が生ずることになる。

この値を各 x について計算すれば次表のようになる。

x	0.64	1	2	3	4	5	6
$1.8x^{0.69} - x$	0.26	0.8	1.14	1.43	1.46	1.54	1.55

なお、 $P = K B^2$ であれば、厚さ t に $x\%$ の誤差が含まれる場合の単位重量あたりの鉄損には $x\%$ の誤差が生ずる。⁽³⁾

変圧器用絶縁油

白井万次郎*・岩井博道**

1. ま え が き

鉱油系絶縁油（以下簡単に絶縁油と書く）は絶縁紙とともに変圧器の絶縁材料としてもっとも古くから使用されてきた材料である。これは油が変圧器の絶縁および冷却材料として適当な性質を持つことにもよるが、その価格の安価なことが大きな理由である。各種の合成油が開発され、今後も新しい合成油が開発されるであろうが、比類のない低価格のため鉱油は今後も長く変圧器に使用されるであろう。絶縁油の使用実績は長いのでその研究もすこぶる多く、専門書も出されている。しかし現在でも重要な絶縁材料の一つであるから、最近でも油の研究は絶たない。ここでは比較的最近に話題になった問題を中心に変圧器用絶縁油の簡単な解説を行ないたい。

2. 絶 縁 油

2.1 JIS 規格にあげられた性質

絶縁油のもつべき基本的性質は JIS 2320 にあげられているので、最初に JIS の項目にあげられた性質について簡単に説明しておきたい。

比重は 0.92 以下と定められているが、この値はたいして意味を持っていない。しかし油の取り扱いには容量で行なうことが普通で、これをでき上った変圧器の重量に換算する時に比重が必要となるが、市販の絶縁油の比重の差はあまり大きくないから、まず 0.9 として計算してよい。比重の測定において 15°C の値に換算する式に用いられる温度係数 0.0007 はそのま油の熱膨脹係数として用いられるもので、これは変圧器 タンク の油面上の空間の計算に用いることができる。

粘度は油が絶縁材料であるとともに変圧器の冷却材であるから重要な性質である。しかし高温では粘度はどの油でも同じようになる。差が大きくなるのは低温における場合であるが、これは油の凝固点あるいは流動点の差となって現われる。また油はかなり劣化しても粘度はあまり変わらない。

流動点は油が流れなくなる温度であって、その温度で氷のように固まってしまう訳ではない。寒地における変圧器で始動の際に問題となるだけである。

引火点は油の取り扱い上、安全の点より問題となる。

蒸発量は開放式の変圧器でのみ蒸発による油の損失が問題となる。

反応は油精製の際の酸とか アルカリ の残留がある場合に問題となるが、市販の油でこれに不合格となるものはまずない。

全酸価は測定が容易だから油の劣化の目安として油の保守管理上もっとも多く測定されるが、酸が金属を腐食して事故をおこしたということはない。酸価が上れば当然スラッジがでてくるから、油の劣化の目安としては適当である。

腐食性は油中に含まれる腐食性の硫黄を検出するものであるが、

表 2.1 JIS に示された絶縁油と不燃性油の比較

試験項目	絶縁油 (2号)	不燃性油
比 重 (15.4°C)	0.92 以下	1.50~1.57
粘 度 (30°C)	19 以下	19.1 以下
(C.S) (75°C)	5.5 以下	5.1 以下
流 動 点 (°C)	27.5 以下	27.5 以下
引 火 点 (°C)	130 以上	—
燃 焼 性	—	なし
蒸 発 量 (%)	0.4 以下	2 以下
反 応	中性	—
全 酸 価	0.02 以下	0.01 以下
遊離塩化物 (ppm)	—	1 以下
腐 食 性	変色番号 1 以下	—
安 定 度	—	—
スラッジ (%)	0.40 以下	—
酸価	0.60 以下	—
誘電正接 (50°C)	—	0.07 以下
体積抵抗率	—	5×10 ¹¹ 以上
(Ω cm) (50°C)	—	—
絶縁破壊電圧	—	—
(kV) (1.5 mm)	—	20 以上
(2.5 mm)	30 以上	40 以上

現在の JIS の試験法ではほとんどの油も合格である。しかしこの点は問題が多いので後に詳述する。

安定度は油のもっとも重要な性質であり、油の精製度によりちがってくるものであるが、窒素封入変圧器の場合には油の安定度の重要性はかなり減少した。

絶縁破壊電圧も油の保守管理上よく測定されるものであるが、この値の低い油も口過するとたいがいよくなる。油に含まれた水分、ごみなどに影響されることが多く、油の本質的な性質を測定しているとはいえない。

以上、JIS 規格の各項目の簡単な説明を行なったが、現在、市販の絶縁油でこの規格に合格しないものはほとんどない。(表 2.1 参照) 絶縁油は工場の使用実績も長く、JIS 規格油で実用上ほとんどさしつかえない。しかし石油製品の試験法の発展により、上記 JIS 規格項目以上の各種の試験法が工場で行なわれ、使用上、保守上の参考とされているので、以下 JIS 規格項目以外の試験法について概略を説明したい。

2.2 成分分析

石油製品は各種の炭化水素の混合物であって、それに含まれる各種の分子を分離して明らかにすることはほとんど不可能である。しかし絶縁油を使用していると、どうしてもそれに含まれる成分を知りたい場合がある。この場合に個々の分子を分析することはできないが、含まれる炭化水素をパラフィン系、ナフテン系、芳香系系における方法があり、これらの分析によりある程度油の成分をつかむことができる。現在もっとも普通に行なわれている方法は環分析と吸着 フロマト 分析である。

2.2.1 環分析 (n-d-m 法)

環分析は絶縁油のような石油製品に含まれる炭化水素中の炭素原子を分子中の結合形式により、パラフィン系、ナフテン系、芳香系系の三つにおいて、その割合を示すものである。したがって一つの

分子中でもパラフィン結合をしているものはパラフィン系の炭素に、芳香属結合をしているものは芳香属系の炭素というように分けられる。それは油の屈折率 (n)、密度 (d)、平均分子量 (M) を測定し、これを実験式にあてはめて各結合形式の炭素の数の割合を算出するもので、 n - d - M 法と呼ばれる。この実験式は非常に多くの種類の油の実験値より帰納されたもので、実際ときわめてよく一致することが知られている。この実験式中には硫黄の含有量が含まれているから、これも測定しておかなければならない。これは燃焼管法またはポンプ法で測定される。また平均分子量は直接測定してもよいが、粘度を測定し、これより式を用いて平均分子量を求めてもよい。 n と d はわずかな測定値の差が結果に大きくひびいてくるから、小数点以下第4位まで正確に求めなければならない。

2.2.2 吸着クロマト法

これは石油中の炭素がその結合形式によりシリカゲルに吸着される能力に差があることにより、石油中に含まれる炭化水素分子を飽和成分と芳香属成分、樹脂分に分離するのである。分子中の一部に芳香属成分があれば、分子全体が芳香属成分として出てくるから、前述の環分析とは結果がやや違って出てくるのは当然である。この分析法の特長は分離した各成分について、その性質を測定しうることである。油の各成分が油のある性質にどのような影響を及ぼすかを知りたい場合はこの方法が有効である。絶縁油を環分析と吸着クロマト法により分析した一例を表2.2に示す。

多くの絶縁油は精製度をあげてゆくと、芳香属成分が減少し、油の酸化安定性がよくなる。精製度を見るだけであれば、油がフルフラールに吸収される量を測ってもよい。フルフラール数と呼ばれるのがこれで、精製度が進み芳香属成分が減少すると、この値は小さくなる。しかし精製が極端に進めば油は酸を作りやすくなり、スラッジがでなくとも酸価は上昇する。

表 2.2 絶縁油の環分析と吸着クロマト分析の一例

	組 成	A	B	C
環 分 析	パラフィン系 (%)	44.0	50.0	36.9
	ナフテン系 (%)	44.0	34.5	44.1
	芳香族系 (%)	12.0	15.5	19.0
吸 着 クロマト法	飽和割合 (%)	72.3	70.9	61.9
	芳香族割合 (%)	23.7	26.1	33.7
	残 留 分 (%)	0.6	3.2	1.3

2.3 界面張力

これは水に対する油の界面張力を表面張力計で測定するものである。油が酸化をうけたり、他の材料より有極性分子が油に溶出してきたりすると、水に対する油の界面張力は減少する。これはきわめて鋭敏であり測定が簡単なので、油の使用上、保守上に現在では広く利用されている。多くの使用された絶縁油の酸価と界面張力の関係は図2.1に示す。新しい油の水に対する界面張力は40 dyne/cm 以上であるが、劣化すると20以下に下がる。酸価の上昇より鋭敏である。界面張力の低下は現在酸価とともに油の保守基準に採用しているところが多い。

2.4 体積抵抗率、誘電正接

現在の JIS は蓄電器油に対して抵抗率と誘電正接の規格があるが、変圧器油に対してはない。しかし変圧器油に対しても使用

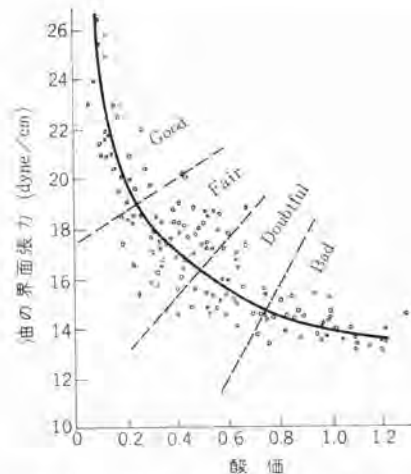


図 2.1 油の界面張力と酸価の関係

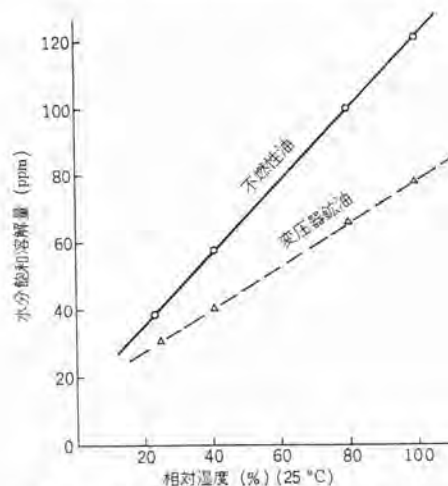


図 2.2 絶縁油と不燃性油の水分飽和溶解量

油の劣化度の判定として抵抗率や誘電正接を測ることが多い。また一般に油の抵抗率が低いと、それを入れた変圧器の絶縁抵抗が低く、また絶縁抵抗の低い変圧器は事故の確率が大きいことも知られている。したがって油の抵抗率の測定はそれ自身としても意味をもっている。

2.5 水分

油の水分は一般にカルフェイト試薬を用いて測定する。新油の溶解水分は小さくて100 ppm 以下であるが(図2.2参照)、微量の水分も油の破壊電圧値に影響する。製造元より送られた油は一般に水分は40 ppm 以下で、非常に高い破壊電圧をもっている。40 ppm 以下という値は空気中の湿気に対し平衡溶解水分量以下であるから、この油を空気中に放置すれば容易に水分を吸収し破壊電圧が低下する。しかし新油の場合は破壊電圧が規格値の30 kV 以下になることはまれである。温度変化により水分が飽和溶解水分量以上になれば、油はにごる。また使用劣化油の溶解水分は100 ppm 以上になることがあり、破壊電圧が非常に下がることもある。劣化した油もよく乾燥すれば、高い破壊電圧を示す。極端に低い破壊電圧を示す油は水分を測定する必要がある。

2.6 溶解ガス

窒素封入変圧器の場合、油面上のガスを窒素でおきかえても、

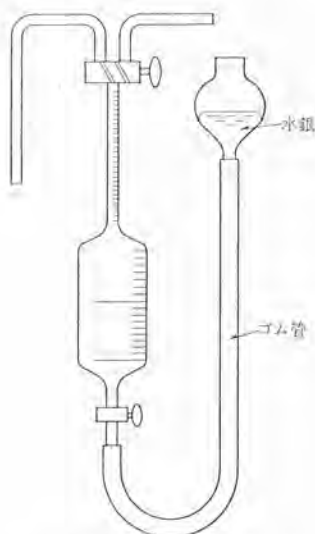


図 2.3 溶解ガス測定器

油に溶解している空気をそのままにしておけば、これに含まれる酸素によって油が劣化する。そこで近頃は油をあらかじめ脱気し、タンクも真空にして注油するのが普通である。油の溶解ガスははじめ油の脱気度を知るために測定された。しかし最近では使用中の変圧器の異常の検出にも溶解ガスの測定、分析が行なわれる。窒素封入変圧器にあっては油中の溶解ガスの大部分は窒素のはずであるが、もし油中で放電が行なわれていれば、溶解ガスに水素やメタンが含まれる。もし油中の有機絶縁材料が加熱により分解していれば、炭酸ガスや炭化水素ガスが溶解ガスに含まれる。溶解ガスの分析により、これら変圧器内の異常を知り、事故を未然に防ぐことができる。

もっとも簡単な溶解ガスの測定は図 2.3 のようなガラス製の測定器を用いる。水銀ダマを上下することにより、試料油をガラス器内にすいこむ。一定量の油をすいこんだら上部のコックを閉じ、さらに水銀ダマを下げて油面上に真空を作る。油から溶解ガスが泡となって放出される。十分に放出させるため、容器を振って油が十分に真空にふれるようにする。

水銀ダマを上げて油面上に放出させた溶解ガスを大気圧として容器上部の毛細管で読む。このガスを上部コックより抜き出してガス分析をする。普通これはガスクロマトあるいは質量分析器で測定される。油の溶解ガス量を完全に測定するには以上の操作を繰り返して油がガスを分離しなくなるまで行ない、放出ガスの合計をもって溶解ガス量とし、油に対する vol% で表わす。

ガスの油への溶解量も飽和溶解量があり、これは油温と油面上のガス圧によってきまってくる。油面上のガス圧の変化により溶解ガス量が過飽和状態になれば、きわめてガスを泡出しやすい状態となり、油の破壊電圧は低下する。各種ガスの絶縁油および不燃性油中の飽和溶解量を図 2.4 に示す。油面上のガス圧は 1 気圧の場合である。

2.7 腐食試験

絶縁油中には少量の硫黄を含む炭化水素が含まれ、これは変圧器中の銀や銅と反応し、これらを黒く変色する。これがしばしば変圧器の使用中に問題となることがある。黒化したものが、油が

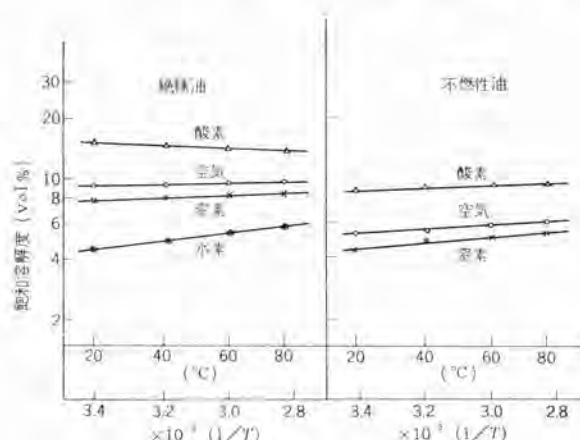


図 2.4 ガスの油への飽和溶解度（ガス圧 1 気圧の場合）

劣化したためにスラッジがたまつたのを見誤られたり、腐食された金属の導電性がそこなわれるのではないかと心配されるからである。

現在の JIS にも腐食試験があり、これは硫黄化合物により銅の腐食を検出しようとしているが、現行の 100°C、3 時間では市販の絶縁油はほとんど合格である。合格の油が銅を腐食するから問題となる。ASTM は絶縁油の腐食試験としては 140°C、19 時間の条件を採用している。この条件であると銅板は変色し、変色の程度を標準腐食銅板と比較してきめるのである。この試験だと油によって差が生ずる。

筆者らは絶縁油により生じた腐食銅板上の硫黄を分析し、腐食度を数量的に表現しようと試みた。

これはまず腐食銅板上の硫化物を CO_2 を通しつつ塩酸で分解し、生じた H_2S ガスを CdSO_4 溶液に吸収させる。この液にパラアミノジメチルアニリン溶液を加えると、後者は H_2S と反応してメチルブルーとなり発色する。これをニトロベンゼンで抽出し、分光光度計により、この液の波長 670 μ における吸光度を測定する。この吸光度より試料中に含まれる硫黄量を知ることができる。これには既知量の硫黄を含む試料を用いて、あらかじめ特定波長の吸光度と硫黄量の関係を求めておく必要がある。

銅板の腐食は ASTM-D 1275 に準じて行なう。このような分析法によると、腐食度を数値をもって示すことができる。油の腐食度は燃焼管法で測定した油の全硫黄量とは比例しない。油中の硫黄化合物には腐食性のものと非腐食性のものがあるからである。一般に精製度の高い油は腐食性が少ない。しかし油から硫黄化合物を完全にのぞくことは困難であって、もしこれを行なおうとすれば油は高価なものにつくであろう。

2.8 油の保守管理基準

最近では絶縁油が新油の場合に問題となることはほとんどなく、問題となるのは使用油の場合である。変圧器内に異常が生じた場合、まず油の異状となって現われ、油は変圧器からぬきだしが容易で試験しやすいからである。当社は使用中の油の保守基準として表 2.3 のように定めている。多くの電力会社の保守基準もほぼこの値に近い。

2.9 酸化防止油

米国では絶縁油に酸化防止剤を加えた酸化防止油がかなり前か

表 2.3 変圧器油の保守基準

試験項目	良 好	注 意	不 良
全 酸 価	0.2 以下	0.2~0.4	0.4 以上
絶縁破壊電圧 (kV)	30 以上		30 以下
抵抗率 (Ωcm) (50°C)	10^{12} 以上	$10^{11} \sim 10^{12}$	10^{11} 以下
誘電正接 (50°C)	0.02 以下	0.02~0.06	0.06 以上
界面張力 (dyne/cm)	20 以上	20~15	15 以下

ら使われている。工業的に用いられている酸化防止剤は DBPC (Di-tert-butyl-para-cresol) である。わが国でも一時、酸化防止油の研究が活発に行なわれた。DBPC を油に加えると実験室の安定度試験ではたしかに効果が認められるのであるが、変圧器に入れて試験してみると効果ははっきりしない。おそらく油の精製度をもっと上げないと防止剤の効果が現れないのであろう。一方素封入変圧器の普及により現在市販の油でも使用上問題がないので、現在わが国では酸化防止油はほとんど使用されていない。

3. 不 燃 性 油

絶縁油の欠点とされるのは油が可燃性であることと酸化されやすいことである。これらの欠点をのぞいたのが不燃性油であり、発明されてからすでに 30 年ほどになる。わが国においても戦後、不燃性油が工業的に製造されるようになってから広く使用されるようになった。これは合成品であるから成分は明らかで、五塩化ジフェニルと三塩化ベンゼンを混合したものが変圧器用不燃性油として使用される。しかしこれも詳細に見ると五塩化ジフェニルも三塩化ベンゼンも各種の異性体の混合物であり、少量の四塩化ジフェニル、六塩化ジフェニルも混じるであろうから、決して単純な混合物ではない。JIS 規格も数年前より作られているので、それを簡単に説明する。

3.1 不燃性油の JIS 規格

変圧器用は JIS C 2321 の 2 号 A と B である。A, B の区別は安定剤の有無によるだけで他は同じである。

比重は 1.50~1.57 とされているが、これは油の塩素含有量と比例する。比重を測定すれば塩素含有量がわかる。絶縁油の約 1.5 倍で、これは変圧器の重量に大きな影響をもつ。

粘度は絶縁油に合わされていてほとんど同じである。

流動点も絶縁油にはほぼ等しい。

酸価は絶縁油より小さい。また酸化をうけないから使用中に酸化によって酸価をますことはない。

遊離塩化物。不燃性油中に遊離の塩化物が存在すれば、これを検出するものである。現在 JIS に採用されているのはクロム酸カリウム溶液を指示薬として硝酸銀溶液で遊離塩化物を測定する方法であるが、微量の塩化物を測定するには滴定の終点をきめるのが困難であることが知られていた。最近の ASTM では電位差滴定法により塩化物を測定するのが採用され、わが国でもこれが実験された。指示薬によるよりもはるかに終点が明らかで精度もよいので、この方法が本年度の JIS 改訂にとり入れられることになった。この方法は試料を入れた液の中に PH メータの両電極を入れ、硝酸銀溶液を滴下しつつ両電極の電位差を測定し、電位差の変化のもっとも大きい所を作図法で求めて滴定の終点とするのである。(図 3.1 参照) なお遊離塩化物という表現があいまいなので

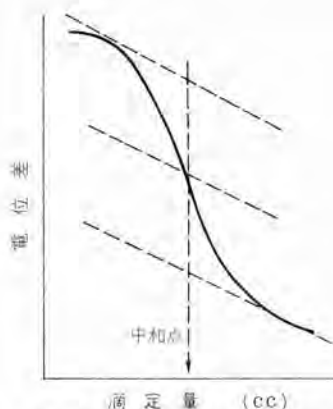


図 3.1 電位差滴定曲線より求めた中和点

改訂規格では無機塩化物の測定となるはずである。

安定剤：不燃性油中で アーク を生ずる油は分解して HCl を生ずる。このため不燃性となるのであるが、この HCl はまた油に溶解して変圧器中のセルローズ質絶縁材料を劣化し、また金属を腐食する。このため HCl を吸収する安定剤を油に入れたものが作られた。したがってこの安定剤は絶縁油の場合のような酸化防止剤ではなくて、HCl 吸収剤である。

燃焼性：不燃性油の不燃性であることを証明する試験で、引火点試験の代わりにいれられた。不燃性油にも引火点はある。しかし燃焼は続けない。

蒸発量は絶縁油よりはるかに大きい。粘度を下げるために混合してある三塩化ベンゼンの蒸気圧が大きいからである。不燃性油を空气中に放置すれば三塩化ベンゼンが蒸発して油の粘度は次第に高くなる。このため不燃性油変圧器はかならず密閉構造をとっている。

体積抵抗率：不燃性油の抵抗率の規格値は蓄電器用絶縁油より低くともある。これは不燃性油の誘電率がよく絶縁油の約 2 倍であるから電離性溶解物を容易に解離し、油の抵抗を下げるためである。

誘電正接も絶縁油より不燃性油の方が大きい。

破壊電圧は絶縁油より高いので、絶縁油より高い 40 kV が不燃性油規格といっている。これは絶縁油と同様に球電極で間隔が 2.5 mm の値である。一般に新油の場合の破壊電圧は 50 kV より大きいのが普通である。破壊電圧測定装置は 50 kV までの容量のものが多く、これでは新油の場合は測れないことが多い。そこで不燃性油の場合は 1.5 mm 間隔で測定してもよいことが提案され、本年度の JIS 改訂にこれが加えられるはずである。多くの実験結果により、新油の場合は 1.5 mm 間隔の測定値は 2.5 mm 間隔の場合より 20 kV 低いことが確かめられているので、規格値も 1.5 mm 間隔の場合には 20 kV 以上となる予定である。

3.2 溶解力

不燃性油を変圧器に用いる際にもっとも注意すべき点は、不燃性油が絶縁油よりも溶解力のはるかに強いことである。絶縁油とともに使用できる材料も不燃性油中では用いられないものがある。表 3.1 は文献に示された不燃性油中の有機材料の溶解性を示したものである。これより各種材料の溶解性の一応の目安をつけるこ

表 3.1 有機材料に対する不燃性油の溶解性の影響

有機材料	三塩化ジフェニル		五塩化ジフェニル		五塩化ジフェニル (60%) + 三塩化ジフェニル (40%)	
	25°C	100°	25°	100°	25°	100°
ポリエステル樹脂	R	R	R	R	R	R
スチロール樹脂	D	D	D	D	D	D
アルキッド樹脂(2号)	D	D	D	D	D	D
ペーカライト樹脂	R	R	R	R	R	R
ポリビニル樹脂	D	D	D	D	D	D
クマロン樹脂	D	D	D	D	D	D
エポキシ樹脂	RR	R	RR	R	RR	R
テフロン樹脂	RR	RR	RR	RR	RR	RR
ポリウレタン樹脂	RR	R	RR	R	RR	R
ポリエチレン樹脂	R	D	R	D	R	D
マイラーフィルム	RR	RR	RR	RR	RR	RR
シリコンゴム	RR	RR	RR	RR	RR	RR
ブナ系合成ゴム	D	D	D	D	D	D

備考 RR: 材料外観に変化なく、かつ塩素化合成油の電気特性に低下がほとんど認められない。
R: 材料外観に変化はないが、塩素化合成油の電気特性は低下する。
D: 相溶性がある。

とができるが、市販される個々の材料は同じ樹脂でも配合材料はまちまちであるから、不燃性油とともに用いる材料は一応試験してから使用した方が無難である。

わが国では不燃性油の工業化が耐熱絶縁材料を用いる乾式変圧器の開発と時期を同じくしたため、不燃性油の発展が危ぶまれたが、最近ではその特長が認められ、順調な発展をたどっている。

4. その他の合成油

現在、工業的に使用されている合成油は塩化ジフェニル系統に限られているが、このほかにも特長ある絶縁液体が開発されている。

シリコン油はシリコンの樹脂やゴムと同系統のもので、やはり耐熱性であり、電気的性質も良好である。温度により液の粘度があまり変化しないという特長がある。しかし価格が高いから絶縁油としては特殊な場合のほか使用されない。

フッ素油: 炭化水素の水素分子の一部がフッ素に置換されたものがフッ化炭化合物で、気、液、固体、いずれも存在する。固体はフッ素樹脂として各方面に使われている。分子量の小さいものが液体または気体となる。いずれも不燃性であって、すぐれた電気的性質をもっている。適当な沸点をもつものが蒸発冷却変圧器の冷却材兼絶縁材料として用いられる。しかし現在では価格が高く広く使用されるには至らない。

そのほか、蓄電器用絶縁油としては高い誘電率をもつエステル油が米国では軍用に使われている。スルホン化合物も高誘電率絶縁油として研究されたことがあるが、誘電率以外の電気的性質がよくないためか、工業的に使用されるには至らなかった。高誘電率液体として、工業的に使用されているのは現在のところ前に述べた塩化ジフェニル系の合成油のみである。

5. む す び

以上、変圧器用絶縁油および不燃性油を最近の問題を中心として解説した。合成化学の発展により、今後も各種の特長ある合成油が開発されるであろうが、そのために絶縁油が見捨てられることはまずないと思う。多くの合成品はその出発原料を石油に求めているのだから、原油を単に分留精製した絶縁油が価格的にもっとも有利なはずである。電気機器として油入機器が使用される限り、絶縁油の研究は今後も続けられるのであろう。

■ 国鉄北陸線増備用 EF70 形 交流電気機関車完成

当社がその設計の大部分を担当した EF70 形交流電気機関車は、さきに 18 両製作され、国鉄向け交流電気機関車のうちでは一番故障の少ない車として好評であるが、今回その増備用として 3 両追加受注し、38 年 9 月無事完納したが、前回納入のもののおもな変更箇所、要目は次のとおりである。

- (1) 積雪地対策として パンタグラフ は補助 シリンダー 付の パネ 上昇式 PS100C 形が使用されている。
- (2) 架線検知装置の代わりに計器用変圧器が追加されている。
- (3) 直流との接続 セクション に近づかないため主 ヒューズ は設けられていない。
- (4) 積雪地対策として屋上 ガイシ 類は標準 4 枚 ヒダ 式を 6 枚 ヒダ 式に変更してある。

要 目

用 途	主として貨物用 (客車用暖房電源付)
電 気 方 式	単相交流 20 kV 60 c/s
重量、軸配置	96 t (運転整備) B-B-B
形 式	箱形両運転室
全 長	16,800 mm (連結器面間)
機関車方式	シリコン 整流器式
全 幅	2,800 mm
固定軸距離	2,800 mm
全 高	4,240 mm (パンタ 折りたたみ)
動 輪 径	1,120 mm
1 時間定格出力 (全界磁)	2,360 kW
1 時間定格引張力 (全界磁)	19,600 kg
1 時間定格速度 (全界磁)	43.1 km/h
最高許容速度	105 km/h

けん引荷重	コ ー プ	ツリ合速度	主電動機界磁
貨 車 1,100 t	12%	45.5 km/h	全 界 磁
客 車 600 t	11.5%	65.5 km/h	70% 界 磁

主要電気品 MT52 形 4 極 丸形



国鉄納め EF70 形交流電気機関車

主 電 動 機	1 時間定格 475 kW 900 V 570 A 強制通風, 最大弱め 40% 界磁, F 種絶縁
駆 動 装 置	ツリ 掛式 1 段減速 パネ 入歯車使用 モジュール 12, 歯車比 70/17=4.12
シリコン 整流器	強制通風, 単相ブリッジ 結線 連続 750 V, 3,240 A, 2,430 kW 素子構成 5S×12P×4A (240 個)
主 変 圧 器	外鉄形 フォームフィット 式 送油風冷式 鉱油使用 電圧 20 kV/1,080~65 V/476 V 1,500 V 容量 2,580 kVA/2,450 kVA/130 kVA 420 kVA
高圧 タップ 切換器	円筒形油入選択開閉器付電動機操作 13,000~780 V, 25 ユツ

■ 大容量輸送により作業の合理化をはかる

奥多摩工業株式会社向け 12t 産業用電気機関車納入

かねてより製作中であったが、昭和 38 年 9 月無事立会検査を終了し、優秀な成績をもって納入された。大容量輸送を通じて作業合理化に寄与されるものと、その活躍を期待されている。

この電気機関車はエンドキャブ (片側運転室) 形であるが、前面はとくに スマート な流線形として形態上大きな特色をもたせたものであり、車体の彩色も近代感覚をとり入れて ツートンカラー としたザン 新なものである。この クラス としての エンドキャブ 形であるため、構造的にもゆとりをとることができ、使い易さと堅ろうさをもって今後の標準形として十分の期待をもちうるものである。

おもな特長をあげれば

- (1) 主電動機は丸形 ヨーク で電機子 コイル は普通の波形とし、従来の インボリュートコイル をやめて、全体として小形軽量とした。
- (2) 空気ブレーキ 装置は入換 ブレーキ 方式で、鉱車にも空気ブレーキ 装置が使用できる。
- (3) 連結装置は自動連結器とした。
- (4) 積算走行距離計を付けた。
- (5) 後部乗務員室との連絡用信号装置が搭載される。

などである。

要 目

電 気 方 式	DC 500 V
定 格 出 力	80 kW
定 格 速 度	14.4 km/h
定格 ケイ 引 力	1,945 kg
制 御 方 式	手動直接制御
ブレーキ 方式	入換 ブレーキ, 手動 ブレーキ および電気 ブレーキ (非常用)
軌 間	762 mm

車体全長 5,920 mm
車体幅 1,313 mm
車体高さ 1,650 mm
固定軸距離 1,800 mm
車輪径 840 mm
歯車比 6.79
連結装置 ウィリントン式自動連結器



奥多摩工業株式会社納め 12t 産業用電気機関車

■ 出炭合理化の一翼をになう

三菱鉱業株式会社大夕張鉱業所向け 新鋭 12t 鉱山用電気機関車納入

かねてより鋭意製作中であった全3両が、昭和38年9月完成し、大量運搬用電気機関車として出炭合理化の一翼をになう活躍を期待されながら、あいついで納入された。

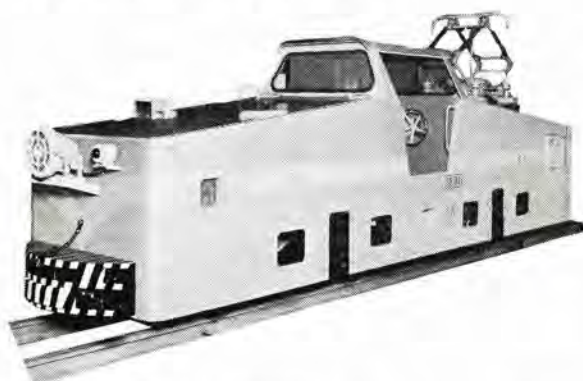
前方の見通しをよくして運転操作を容易にし、運転性能をよくし運搬能率を高めるため、設計上の難点を克服して、このクラスとしてはわが社で初めての センターキャブ（中央運転室）形としたことが大きな特長である。その他おもな特長としては

- (1) 主電動機は丸形ヨークで電機子コイルは普通の波形とし、従来のインポリートコイルをやめて全体として小形軽量とした。
 - (2) パンタグラフの上枠は木製とした。
 - (3) 前照灯はセミシールドビーム（減光装置付）とした。
 - (4) ブレーキシューは両抱きとした。
 - (5) 中央指令所との連絡用として搬送無線機を搭載した。
- などをあげることができる。

この電気機車の要目は次のとおりである。

電気方式	DC 500 V
定格出力	80 kW
定格速度	15.5 km/h
定格けん引力	1,800 kg
最高安全速度	31 km/h
制御方式	手動直接制御
ブレーキ方式	SM-3 空気ブレーキ、手動ブレーキ および電気ブレーキ（非常用）
軌間	610 mm
車体長	5,950 mm
車体幅	1,220 mm
車体高さ	1,700 mm
固定軸距離	2,200 mm

車輪径 840 mm
歯車比 6.27
連結装置 緩衝バネ付ピンリンク式



三菱鉱業株式会社大夕張鉱業所納め 12t 鉱山用電気機関車

■ ロジック・トレーナ新製品 (LT-1000, LT-2300)

——日本電子工業展・日本ビジネスショウ・

計測工業展で発表——

デジタル技術の教育・研究開発用としてさきに三菱 ロジック・トレーナ LT-3000 形を発表し、画期的な製品として学校教育および研究開発関係に非常に好評を得ているが、今回 LT-1000 形、LT-2300

図1 LL-1000 形
ロジック・トレーナ

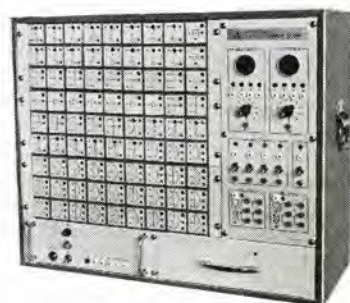


図2 LT-2300 形
ロジック・トレーナ

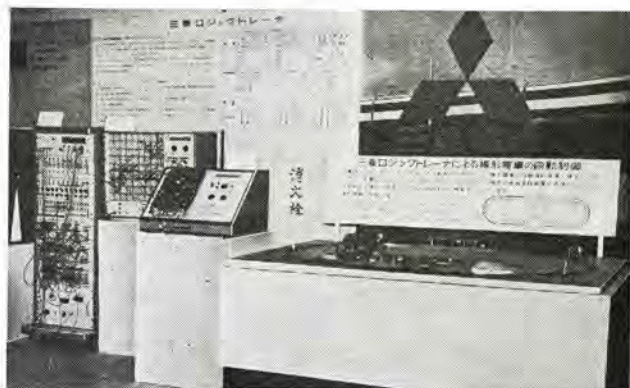


図3 1964年計測工業展に出品のロジック・トレーナ

形の2種の新製品を発表した。

LT-1000 形は簡易卓上形として、初級者向けに設計されたもので、論理要素はそれぞれプラグイン形のパッケージであり、表面に論理記号が表示されている。パッケージ前面の入出力端子にプラグ付コードをさそう入することにより容易に論理回路を構成することができる。

LT-2300 形は当社の超小形回路素子モロトロンを論理要素として用い、卓上可搬形の軽小形ロジック・トレナである。またプラグパッチシステムを採用し、複数個のボードを準備することにより有効的な利用をはかることができる。

三菱ロジック・トレナ 主要性能表

	LT-1000 シリーズ	LT-2300 シリーズ	LT-3000 シリーズ
論理要素数	AND 20	AND 10	AND 12
	OR 10	OR 10	OR 12
	NOT 10	NOR 40	NOR 104
	FF 10	FF 12	FF 24
	EF 4	EF 6	EF 12
操作パネル	クロック発振器 (1~10 c/s) 1	クロック発振器 (1~10 c/s, 外部) 1	クロック発振器 (1~100 c/s) 1
	出力リレー (2T) 2	制御スイッチ 10	出力リレー (2T) 5
	制御スイッチ 4	ネオン表示管 10	制御スイッチ 10
	数字表示管 2	数字表示管 2	ネオン表示管 20
実装方式	卓上形 プラグインパッケージ 単位	卓上可搬形 プラグパッチシステム	移動形標準架 専用パネル単位
電源	AC 100 V 50/60 c/s 30 VA	AC 100 V 50/60 c/s 30 VA	AC 100 V 50/60 c/s 50 VA
大きさ	幅 (mm) 700	600	570
	奥行 (mm) 300	490	500
	高さ (mm) 600	380	1,500
	重量 (kg) 55	43	140

■ マイクロ波領域におけるフェライト応用製品 5Gc 移相器 完成

当社ではかねてよりマイクロ波領域におけるフェライト応用製品の開発に努めて来たが、今回その制御回路にデジタル技術を導入し、全く新しい方式の制御回路を開発完成し、電々公社電気通信研究所に納入した。現在マイクロ波回線のフェーディング現象の研究に使用され、今後の研究成果が期待されている。

この装置を用いることによりマイクロ波（この場合は5Gc帯）

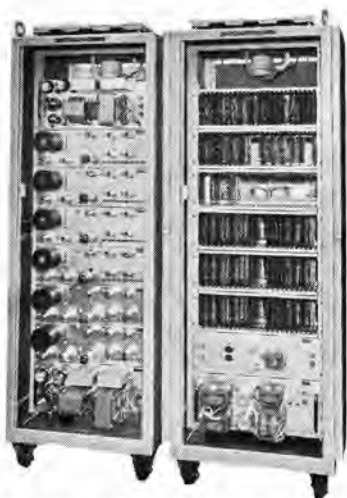


図1 5Gc 無限移相器用デジタル制御装置

の位相を連続的に変化させることができ、たとえば高速度で空中線系の放射ビームを連続的に掃引したり、スペースダイバーシティ方式において各空中線からの受信電力の位相を自動的に合わせて出力合成値が最大になるような最適値制御を行なったりすることが、コントロールスイッチを切り換えるだけで迅速、安定に行なうことができる。

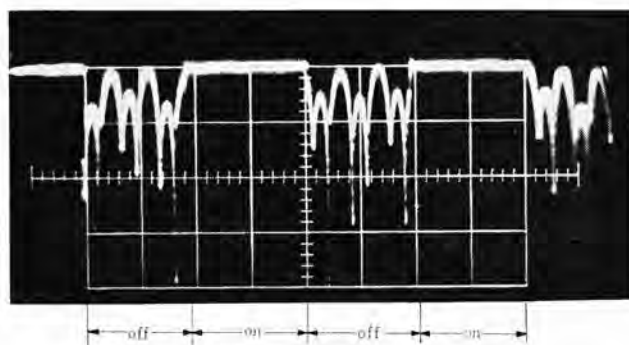


図2 最適値制御波形

■ HDF 形 断 路 器 完 成

三菱断路器のニュー・ラインの第一弾としてHDF形断路器のシリーズが完成した。

この形の標準定格は電圧が7.2~36 kV、電流が800 A、1,200 Aの2種類で、定格短時間電流は27 kAおよび32 kAとなっている。

HDF形は水平二点切形式のもので従来のH形断路器と異なるのはブレードを捻回しない構造となっている。これは、固定接触子にリバス・ルーラ形のコンタクトを使用したために、断路器操作力がスプリング式コンタクトと比べて著しく低減されたことによるものである。すなわち、定常時通電に対する接触圧力は非常に小さな値でもよいとされているが、故障電流が流れた場合に溶着しないための接触圧力は非常に大きな値が必要とされている。

スプリング式のコンタクトでは、短時間電流に対応するために常時接触圧力を与えるスプリングが付属しており、これにより操作力が過大となることがあり、無捻回方式では操作不能となるが、リバス・ルーラ形コンタクトを使えば無捻回方式でも十分、軽快に操作ができる。

図1は36 kV、1,200 AのHDF形断路器の単極外形を示したものである。中央のガイシが操作用回転ガイシで、これが回転することにより、ガイシ上部に固定されているブレードが回転して電気回路を開閉する。両側の支持ガイシの上部には、リバス・ルーラ



図1 HDF 形断路器 (単極) 36 kV 1,200 A



図2 リバース・ルーラ形コンタクトの構造図

形固定接触子を取り付けられており、これにブレードがそう入されるものである。

図2はリバース・ルーラ形コンタクトの構造図である。図に矢印で示されたのが電流経路で、ブレードからリバース・ルーラ・コンタクトを経て端子に至るもので、リバース・ルーラ形状であるために過大なる故障電流が流れた場合には反発力を生じ、これがうまく接触面に働く形となっている。コンタクトの材料は熱処理銅合金材で製作されており、導電率が高く、しかも機械的特性の非常にすぐれたもので、スプリング式コンタクトと比べて、構造が非常に簡潔な形となっているので保守点検の必要がなく、信頼度の非常に高い接触子構造である。また、捻回機構などが不要となったためにさらに保守点検の必要性が少なくなっている。

HDF形断路器は製作後、JEC改定案に従い、形式試験を行ない、十分満足できる結果を得た。とくに短時間電流試験では従来のJEC-125に規定されている20kAを大きく越えて27kAまたは32kAで異常なく好結果を得ている。また、1万回操作試験を行ない、接触抵抗と操作力を測定したが、変化は認められず、接触面に異常なく十分な銀接触面を維持できた。

HDF形断路器の完成により、従来の当社標準であったV形およびH形は36kV以下の定格では製作せず、HDF形に全面的に切り換える。また、72kV以上の定格についてもHDT形、HSF形の水平切断断路器を製作中で、これも早急に切り換えが行なわれるものである。

製造面においても近代的な生産方式を採用し、納期短縮と価格を安くして、需要家の要望にこたえるようにした。したがって当社の標準形式を使用の場合にはきわめて短納期に、しかも安価に供給できるものである。

操作方式は遠方手動方式を標準としているが、要求があれば、空気操作または電動操作方式も採れる。

■ 単巻変圧器のタップ切換方式で電圧を調整する ボールレグSを開発

従来、当社は低圧配電線用自動電圧調整器として、特殊单相誘導電圧調整器とトランジスタリレーを組み合わせた高精度無段階調整形の「ボールレグ」を製作してきたが、最近、小通過容量で低価格の簡易形自動電圧調整器の要求があるので単巻変圧器のタップ切換方式で電圧を調整する「ボールレグS」を開発し、従来の「ボールレグ」と合わせて生産を開始した。次に「ボールレグS」の構造、特長について紹介する。

1. 仕様および構造

通過容量	5kVA	調整容量	0.5kVA
定格電圧	210/105V (必要に応じて変更可能)		
入力電圧範囲	+10%～-10% または +5%～-14%	{ 3段切換 5% ステップ }	
出力電圧範囲	±5%	適用回路	単二・単三共用

乾式単巻変圧器のタップをRP形プラグインリレーにより、タップ切換する方式で、RP形リレーはトランジスタリレー回路によって制御する。約20秒の遅動時限を設け、瞬時の電圧変動には応動しないものとなっている。

2. 特長

(a) 単二、単三切換式で、さらに入力電圧範囲も上記のように2種類に切換可能であり、いずれの場合でも、通過容量5kVAである。

(b) 乾式で小形軽量である。

(c) タップ切換接点保護のためにバリスタを使用するとともに切換動作時に直列抵抗をそう入する構造となっている。

(d) 柱上への取付、取りはずしが非常に簡単である。

(e) 検出回路に無接点回路(トランジスタリレー)を使用している。

3. 用途

「ボールレグS」は、配電線末端などで電圧変動の激しい需要家に対する簡易な電圧補償サービスとして、電力会社の多数の需要が期待されるが、一般電力需要家の簡単な定電圧装置としても適している。

一方、さらに良質な電力を要求される分野に対しては、無段階調整形の「ボールレグ」がある。



ボールレグS (低圧配電線用自動電圧調整器)

■ OU形操作スイッチ全機種完成 (PL形信号灯含む)

さきのVol. 37, No. 9で紹介した標準系列に引き続きランプ付およびトランス付系列の開発を完了した。ランプ付系列は従来のOT-4形押しボタンスイッチの改良にかわるもので、小形化し、ヘッド部分はすべて透光している。

コンタクトブロックは標準系列と同一品であるから、定格(AC 250V 5A, 600V 3A)および寿命(JIS C 4503 1号1種の50万回以上)はかわらない。

トランス付系列の従来品はなくランプ付のものにトランスを取り付けた構造である。

おもな特長は標準系列にあげたほかに

(1) 新規な製品

ランプ および トランス 付の切換、選択押し ボタンスイッチ は現在のところ国内では一般市販されてなく、各所に新規な構造を取り入れてある。

(2) 配線容易

ランプ 回路および トランス の端子構造は コンタクトブロック と同一であるので配線が容易である。

(3) 利用範囲大

トランス には端子が設けてあるので、スイッチ 本体と別取り付け、また単体としても利用範囲が広い。

(4) 消費電力が少ない

トランス 式のため、抵抗管式に比べ消費電力は非常に少ない。

(5) 多 種 類

各機種とも ヘッド の色は白・緑・赤のほかは黄・青・橙がある。

PL 形信号灯

従来の変圧器付パイロットランプにかわる小形でデザイン のよい PL 形信号灯の開発を完了した。

これにはトランス 付とトランス なしの2種類があり、とくにトランス なしは一度に多数使用して共通変圧器を設けた方が経済的な場合に用いるとよい。

おもな特長は

(1) 小形優美

トランス 部分は小形になりまた盤面に出る部分の デザイン は OU 操作スイッチ と統一されているから、同一盤面に取り付けた場合体裁がよい。

(2) 消費電力が少ない

トランス 式のため抵抗管式に比べ消費電力は非常に少ない。

(3) 取付容易

取付穴は OU 操作 スイッチ と同一でまわり止めがついてあるので、取り付けるさい名板とともに位置ぎめが容易である。

(4) 多 種 類

トランス および ランプ は OU トランス 付操作 スイッチ と同一仕様であり、ヘッド の色も同様である。

OT 形との対象および仕様

名 称	OT 形名 (旧)	OU 形操作スイッチ (新)		
		形 名	ランプ仕様	トランス仕様
凸形押しボタン	OTA-4	OU-GL	18 V 2 W	1 φ 1.7 VA
キノコ形押しボタン	OTB-4	OU-BL		
2 ノッチ 切 換	OTC-4	OU-CL	口 金	100/15 V
3 ノッチ 切 換	OTD-4	OU-DL	BAS9/13	200/15 V
選択押しボタン(半ストローク)	OTE-4	OU-EL	(スワシ タイプ)	400/15 V
選択押しボタン(全ストローク)	—	OU-HL		の3種類

■ 新方式 EE 形 電 磁 開 閉 器 を 開 発

従来、回路保護装置を備えた電動機保護用の スタータ としては配線用 シュ 断器と電磁開閉器を組み合わせた ED 形 コンビネーションスタータ、配線用 シュ 断器と過電流継電器を組み合わせた LNF 形 配电箱および配線用 シュ 断器を流用した NF 形 モータブレーカ がある。これに対し EE 形電磁開閉器は モータブレーカ と電磁接触器の組み合わせであり、EE 形の開発によって コンビネーションスタータ を用途と価格の両面から選択する際の幅がさらに広げられた。

EE 形のおもな特長

(1) 最高級品の組み合わせ

歴史と性能をほこる ノーヒューズシュ 断器と新形電磁接触器との組み合わせとともに信頼度が高く、まさに“鬼に金棒”である。なお、電磁接触器は熱動過電流継電器を付属していないので、短絡時に ヒータ 溶断の心配がない。

(2) 小形・軽量・低価格

簡単にコンパクト な構造で取付面積が少なくすむにもかかわらず、電流計、信号灯が容易に取り付けられるように専用の ノックアウト をあらかじめ用意してある。また必要にして十分な最少限の器具で構成しているので低価格である。

(3) 長い寿命

運転、停止は電磁接触器の開閉によるので ED 形と同様に寿命が長い。モータブレーカの操作は、連続休止、現場急停止などのときに切、自動 シュ 断のときの リセット に限られる。

推奨する用途

自動運転および遠方操作を必要とする ポンプ などに最適であるが、起動時間がとくに長いまたは休止時間が極端に短い用途には不適當である。

仕 様

形 名	EE-7	EE-15	EE-35
定格容量 (kW) 200~220 V	1.5	3.7	7.5
モータブレーカの形名	BM-M	BM-M	NF-50
電磁接触器の形名	M-7	M-15	M-35

注 1: 400~440 V 用も製作できる。

注 2: 電流計、信号灯付きも標準形と箱寸法同じ。



図 1 EE 形電磁開閉器 (外観)

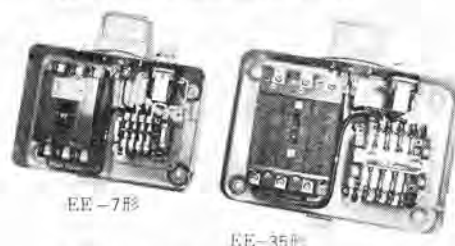
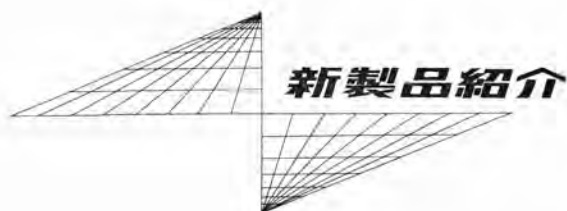


図 2 EE 形電磁開閉器 (内部)



図 1 OU 形 ランプトランス 付操作 スイッチ

図 2 PL 形信号灯



三菱工業計測器 (A シリーズ その 2)

2.1 起電力—電流変換器 AE-210 形

AE-210 形起電力—電流変換器は熱電対、光電池、その他の低レベルの直流起電力を 4—20 mA の統一された直流電流信号に変換して、記録計、指示計あるいは調節計に伝送するユニットである。

この装置の動作原理としては、まず入力の前圧信号はバイパス回路を通して、接地点から一定のバイパスが加えられ、フィルタで雑音をのぞき、増幅される。ここで使われる増幅器は高利得の交流増幅器を含む(饋)還増幅器で、DC 信号はチョップで AC に変換後増幅され、同期整流回路によって 4—20 mA の直流電流信号に変換されて伝送される。



図 1 起電力—電流変換器

特 長

- (1) 入力、出力回路間は絶縁されているため、接地点は自由に選ぶことができる。
- (2) 半導体素子を使った回路構成によっているため、高感度長寿命で信頼性に富んでいる。
- (3) 入力レンジの変更はレンジカードの交換により簡単にできる。
- (4) 熱電対に組み合わせる場合、冷接点補償器を装置内に組み込むことができる。

仕 様

入 力

- (1) 高感度形 (AE- 形) 0—2.5 mV—0—10 mV
(レンジカードによる切換)
- (2) 一般形 (AE- 形) 0—10 mV—0—100 mV
(レンジカードによる切換)

入力インピーダンス 25 k Ω

出 力 4—20 mA DC

最大負荷 600 Ω

精 度 フルスケールの $\pm 0.5\%$

感 度 フルスケールの 0.1%

周囲温度 0—45°C

電 源 100 $\pm$ 10 V 50/60 c/s

消費電力 10 W

外形寸法 (縦) 140 $\times$ (横) 140 $\times$ (奥行) 435 mm

2.2 圧力発信器 AP-130 形

圧力発信器 AP-130 形はプロセスの圧力をラッドン管、ベローズ、ダイヤフラムなどを用いた圧力検出部で変位として取り出し、その

変位を 4—20 mA DC の統一された電流信号に変換して伝送する。同時に圧力の測定値は発信器に付属した指針で読み取ることができる。

変位を電流に変換する部分は力平衡形変換器を使用している。その原理は変位から生じた外力につり合うような電磁力(永久磁石の磁界の中に置かれたコイルに電流を流して生ずる)を発生し、常に平衡位置で動作するようになっている。したがってその電流を出力として取り出せば、これは外力に比例している。

特 長

- (1) 力平衡形変換器を使っているため、高い精度でプロセスの圧力を変換、伝送することができ、かつその出力信号は電源電圧の変動、電子回路の特性の変化による影響をうけることがない。
- (2) 可動部分は摩擦がないようになっているため、機械的疲労が少なく、電気的な経年変化もない。
- (3) 各種の圧力検出部は互換性があるため、広い範囲の測定に使うことができる。

仕 様

圧力測定範囲: -760 mm Hg—0—1, 2, 3, 4, 6, 10, 15, 20, 35, 50, 70, 100, 150, 250, 500, 700 kg/cm²

出 力: 4—20 mA DC

精 度: フルスケールの $\pm 1.0\%$

感 度: フルスケールの 0.2%

最 大 負 荷: 600 Ω

周 囲 温 度: 0—45°C

圧力導管接続口: 1/4 または 1/2 NPT

電 源: 24 V DC または 100 $\pm$ 10 V AC 50/60 c/s

消 費 電 力: 5 W

外 形 寸 法: (縦) 280 $\times$ (横) 220 $\times$ (奥行) 120 mm



図 2 圧力発信器

2.3 差圧発信器 AP-620 形

差圧発信器 AP-620 形は配管中に取り付けたオリフィスやベンチュリと組み合わせる流量の測定に、またタンクに取り付けて液面の測定に使われる。この装置は差圧検出部本体と交流電圧—直流電流変換器より成っている。差圧の検出にはベローズを使用し、その変位を差動変圧器によって電気信号に変える。差動変圧器の鉄心はベローズに結合され、その外側は非磁性の金属トウ(套)管によって外界とシールドされ、トウ管の外部に差動変圧器のコイルが



図 3 差圧検出部

巻かれている。このようにしてプロセスの流体と外界とは完全にシャ断されており、可動部分が外部に出ることがない。差動変圧器の出力は交流電圧であるので、これを統一された直流電流信号 4—20 mA に変換するために交流電圧—直流電流変換器に加える。これは整流回路と バイアス 回路より構成されている。

特 長

(1) 差動変圧器の鉄心は耐圧トウ管の中にあり、その外部にコイルが置かれているため、被測定液体は完全に外界とシールされ、漏れの心配がなく、高い使用圧力に耐えることができる。

(2) シール部を貫通した可動部分がないので、機械的疲労、摩耗がなく、長寿命を保つことができる。

(3) 被測定流体が腐蝕性、あるいはスラリー 状の場合には差圧検出部内部に封入液を入れ、シールドダイヤフラムを介して圧力がかかるので、検出部に被測定流体が触れることなく、腐食、閉塞のおそれがまったくない。

(4) 各種の圧力検出部は互換性があり、またスパンを調整することができるから、広い範囲の差圧測定に使うことが可能である。

仕 様

(1) 差圧検出器本体

被測定流体: 気体または液体

測定範囲: 0—500 mm, 1 m, 5 m H₂O

精 度: フルスケールの ±1%

感 度: フルスケールの 0.2%

最高使用圧力: 100 kg/cm²

出 力: 0.5 V AC, 50/60 c/s

周囲温度: -10~60°C

プロセス流体接触面材料

本 体: 炭素鋼 (S20C) または不銹鋼 (SUS-32)

シールドダイヤフラム: テフロン

フランジおよびアダプタ: 不銹鋼 (SUS-32)

導管接続口: 1/4 NPT

外形寸法: (縦) 200×(横) 120×(高さ) 300 mm

重 量: 15 kg

(2) 交流電圧直流電流変換器

入 力: 0—0.5 V AC 50/60 c/s

出 力: 4—20 mA DC

最大負荷: 600 Ω

精 度: フルスケールの ±0.75%

周囲温度: 0—45°C

外形寸法: (縦) 110×(横) 95×(高さ) 160 mm

お部屋はいつも新鮮な空気!

三菱空気清浄機 (エアクリーナ) 2 機種新発売

技術革新のめざましい進展は、私たちの日常生活をたいへん豊かにしました。その反面、自動車の排気ガス、工場のばい煙、浮遊するじん、細菌などで空気は目に見えて汚され、私たちの健康をおびやかしております。このように空気が汚れていては、窓をあけて空気の入れかえをしても意味がありません。

窓をしめたまま、空気を清浄にして自然の空気をつくりだす空気清浄機は、都会生活になくってはならないものになりました。とくに環境衛生の必要な病院、精密機械室、美容院、作業所、喫茶店、レストランなど、ホコリをきらいところや、おおぜいの人が集まるところで偉力を発揮します。

このほど当社で新発売することになりました三菱エアクリーナ 2 機種は、工場・デパート・ビル・研究所など、大容量の空気清浄装置“クリネ”をわが国で最も多くご愛用いただいている経験をいかし、開発したものです。

■ 特 長

(1) すばらしい集じん効率

原子炉の放射能防止に採用されている“高性能フィルタ”2種と、水洗いができ、半永久に使用できる“ビニールスポンジフィルタ”の組み合わせでホコリ、タバコの煙はもちろん目に見えない細菌まで、取り除いてしまいます。

(2) 悪臭もスーッと消す

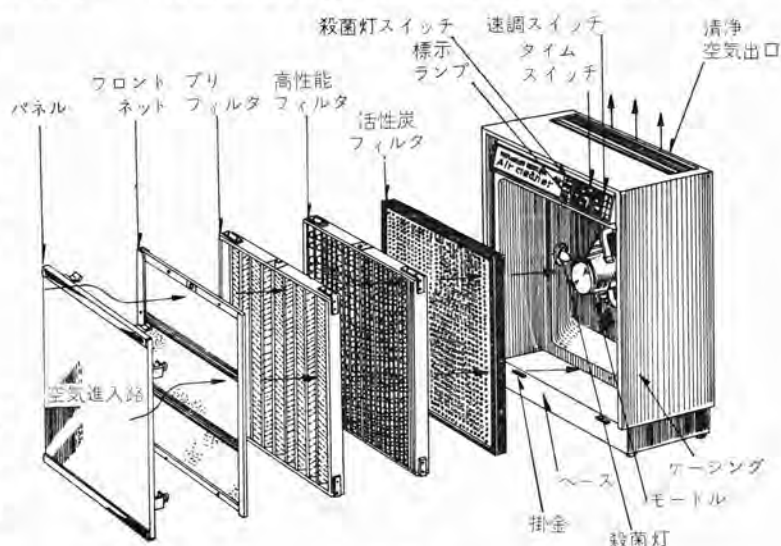
“活性炭フィルタ”でいやな臭いや有毒ガスも、たちまち消えます。

(3) 殺菌力も抜群!

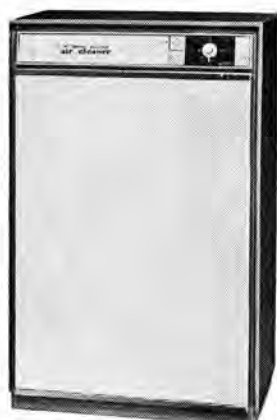
強力殺菌灯の装備で、空気中の細菌も殺してしまいます。

(4) 冷暖房の効果を上げる

冷たい空気は冷たいまま、暖かい空気は暖かいまま、たえず室内を循環しますから、均等に冷暖度できる利点があります。



構造図



KS-06A 三菱 エアクリーナ
(現金正価 ¥ 58,000)



KS-03A 三菱 エアクリーナ
(現金正価 ¥ 36,000)

(5) 小形で据付が簡単

薄形の設計ですから場所をとらず、お好みの場所にすぐ据え付けられ、しかも和室洋室いずれにも調和します。

(6) 操作は簡単、便利な タイムスイッチ 付

プラグをコンセントにさし込むだけ、あとは前面上部のスイッチで簡単に操作できます。タイムスイッチで、ご使用時間を自由に決められるのも大きな魅力です。

仕 様

機 種	KS-03A						KS-06A					
	50 c/s			60 c/s			50 c/s			60 c/s		
電源 交流 100 V	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1
風量調節スイッチ	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1
消費電力 (W)	43	35	28	48	34	24	105	84	69	125	96	66
処 理 風 量 (m^3/min)	2.2	1.8	1.3	2.5	1.8	1.2	6.0	4.3	3.2	5.9	4.3	2.7
適用床面積	10~20 平方メートル (3~6 坪) 6~12 人まで						20~40 平方メートル (6~12 坪) 12~24 人まで					
集じん効率	(大気チリ 0.3 μ で) 99% 以上						(大気チリ 0.3 μ で) 99% 以上					
殺菌灯	4W (50 c/s 60 c/s 共用)						10W (50 c/s または 60 c/s 専用)					
外形寸法	高さ 幅 奥行 745×440×280 mm						高さ 幅 奥行 912×565×355 mm					
重 量	28 kg						44 kg					
外 装	高級仕上銅板製 メッキ焼付塗装						高級仕上銅板製 メッキ焼付塗装					
モ ー ト ル	コンデンサモートル ボールベアリング						コンデンサモートル ボールベアリング					
フ ィ ル タ	22 センチ シロッコ羽根						28 センチ シロッコ羽根					
ス イ ッ チ	風量調節3段階押しボタンスイッチ 45分計タイムスイッチ 殺菌灯 点滅押しボタンスイッチ 標示灯つき						風量調節3段階押しボタンスイッチ 45分計タイムスイッチ 殺菌灯 点滅押しボタンスイッチ 標示灯つき					
フ ィ ル タ	フロントネット (PVF EI スポンジ) プリフィルタ (ガラス繊維) 高性能フィルタ (ガラス繊維) 活性炭フィルタ						フロントネット (PVF EI スポンジ) プリフィルタ (ガラス繊維) 高性能フィルタ (ガラス繊維) 活性炭フィルタ					
コ ー ド	有効長さ 3m プラグ付						有効長さ 3m プラグ付					

冬の乾燥期にご家庭の空気湿度を調整する
家庭用空気調湿器 “三菱ヒューミデファイア” 新発売

当社では 冬の乾燥期を迎えて、家庭の空気湿度を調整する、家庭用空気調湿器 “三菱ヒューミデファイア CH-05A” 形を新発売いたします。

この “三菱ヒューミデファイア” は、われわれの家庭で冬季に暖房した場合部屋の中が異常乾燥を起こし、のどを痛めたり、家具、調度に狂いを生じさせないよう、部屋の空気に適度の湿度を与え、温度と湿度の バランス を保つよう、自動的に細かな霧を発生させる装置であります。

■ 特 長

(1) わずかな電力で快適な湿度をつくりだす

小形モートルの静かな回転で、普通の水からきわめて細かい霧が部屋いっぱいに広がるため、乾燥した空気に適度な湿度を与えて、いごこちよい環境をつくり出す。

(2) コンパクト で価格が安い

持ち運びが簡単で操作も水を入れ、スイッチを押すだけの手軽さ、値段も安い。

(3) 優美な デザイン

卓上にでも、天井につるしても、またどの部屋にでも マッチ する美しいデザイン。外装には プラスチック を使用、モートルは耐水形で

さびる心配がない。

■ 仕 様

- (1) モ ー ト ル コンデンサモートル 100 V, 50/60 c/s
- (2) 消 費 電 力 100 V 50 c/s—32 W 60 c/s—30 W
- (3) 噴 霧 量 50 c/s—440 cc/h 60 c/s—560 cc/h
- (4) 容器定格水量 2 l
- (5) 外 形 寸 法 (径) 330×(高さ) 286 mm
- (6) 重 量 3.2 kg
- (7) 持 続 水 量 約 6 時間



CH-05A 形三菱 ヒューミデファイア (現金正価 ¥ 7,500)

2 台目のテレビ 小形で手軽な 12 形テレビ
三 菱 テ レ ビ “ロ マ ン テ ィ カ” 新 発 売

当社では、このたび新婚のご家庭や独身のかたがた、また 2 台目 テレビ をお求めのかたがたのご意見から生れた、小形で手軽な 12 形 テレビ を新発売いたします。小形ででも性能はまったく大形なみ、しかもお値段は、この形として最も安くお求めやすくなって

おります。

■ 特 長

(1) 小形で軽く場所をとりません

ワイドスクエアタイプの 12 形 ブラウン 管を使用した薄形の コンパクトテレビ

です。重さはわずか 11.5 kg, 16 形テレビの約 1/2 です。応接間のサイドボードの上はもちろん、机やタンスの上にも手軽に置くことができる シック で便利な テレビ です。

(2) 超高感度真空管 2GK5 を採用

電波の入口…チューナ部分にきわめて感度の高い真空管 2GK5 を採用しましたので、感度は抜群、電波の弱いところでも完全に電波をキャッチ、きわめて鮮明で安定した映像が楽しめます。

(3) 2 台目 テレビ として最適

電波の強い地域はもちろん、ポータブルテレビ 付属のアンテナでは十分な映像が得られないような、電波の弱い地区のかたがたに、ぜひお奨めしたい手軽な 2 台目 テレビ です。

(4) 既設 アンテナ がご利用になれます

2 台目 テレビとして増設される場合、わざわざ新しい アンテナ を設ける必要はありません。セットに付属の分配器を使って既設のアンテナから分配すればよいのです。

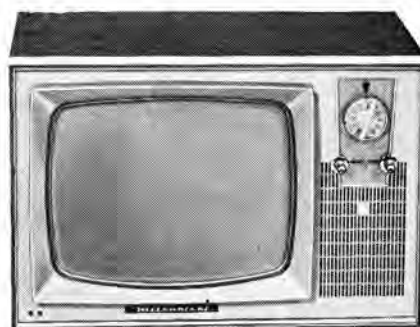
(5) ダイナトンスピーカによる Hi Fi 音

定評のあるダイナトンスピーカ PO-641 形を使っていますから、音響効果のよい木製キャビネットとあいまってすばらしい Hi Fi 音が味わえます。

■ 仕 様

- (1) 受信方式 インタキャリタ方式 (1~12 チャンネル)
- (2) 感 度 超遠距離用
- (3) アンテナ入力 300 Ω 平衡形
- (4) 電 源 100 V 50/60 c/s

- (5) 消費電力 130 W
- (6) スピーカ ダイナトーン PO-641 形 パーマネントダイナミック
15×10 cm 円形
- (7) 音声出力 無ヒズミ 1.0 W 最大 1.4 W
- (8) キャビネット コンソールタイプ
(幅) 440×(高さ) 296×(奥行) 264 mm
- (9) 重 量 11.5 kg
- (10) ブラウン管 31 cm 110 度 偏向 メタルバック 静電束電磁
偏向方式
- (11) 真 空 管 15 球
- (12) ゲルマニウムダイオード 2 個
- (13) シリコンダイオード 2 個



12T-300 形三菱 テレビ “ロマンティカ”
(現金正価 ¥ 41,000 月賦正価 ¥ 43,500)

FM 放送も楽しめる 11 石 3 バンド 三菱トランジスタラジオ FX-955D 形発売

当社では、FM 放送の本放送開始にそなえ、FM 放送が聞ける 11 石 3 バンドオールウェーブ 最高級トランジスタラジオを発売いたします。

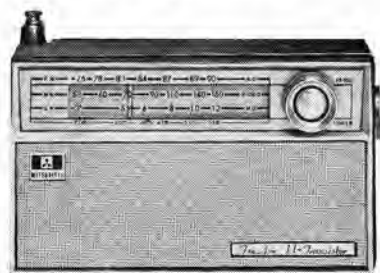
■ 特 長

- (1) 11 石 3 バンドオールウェーブの最高級トランジスタなので、海外放送はもとより、すばらしい FM 放送も聞ける。
- (2) ロッドアンテナがボールジョイント方式になっており、アンテナの方向を自由にかえられ、最高の状態で受信できる。
- (3) 連続可変の音質調整回路付き。
- (4) 高感度大形スチックアンテナ採用
- (5) エキスターナルアンプ (低周波出力) 接続端子を設けているので、チューナとして使用できる。
- (6) イヤホーンの聴取可能 (外部スピーカ接続端子併用可能)
- (7) 電池専用ラタを設けてあるので、電池の取り換えに裏ラタを開閉する必要がある。

■ 仕 様

- (1) 回路方式 3 バンド 11 トランジスタ・スーパーヘテロダイン
- (2) 受信周波数帯 FM (超短波) 87~108 Mc
MW (中波) 530~1605 kc
SW (短波) 3.9~12.0 Mc
- (3) 中間周波数 FM (周波数変調) 10.7 Mc 上側ヘテロダイン
AM (振幅変調) 455 kc 上側ヘテロダイン
- (4) 出 力 無ヒズミ 1.8 W 最大 2.2 W
- (5) 電 池 単三 (UM-3) 4 個

- (6) スピーカ 7 cm ダイナミックスピーカ (8 Ω)
- (7) アンテナ FM, SW: 8 段 73 cm ロッドアンテナ 内蔵
(ボールジョイント式)
MW, SW: (径) 10×16 cm フェライトコアアンテナ 内蔵
- (8) イヤホン 片耳用 マジックイヤホン 1 個付き (8 Ω)
- (9) トランジスタ 2SA235, 2SA235, 2SA352, 2SA350,
2SA234×2, 2SA350, 2SA135×2,
2SA156×2
- (10) パリスタ HV-15 温度補償
- (11) ダイオード IN 60×2 FM 検波
MD 34×3 AM 検波 AGC: FM AGC
- (12) 外形寸法 (横) 19.6×(高さ) 11.5×(奥行) 5 cm
- (13) 重 量 約 950 g (電池込み)



FX-955D 形三菱 トランジスタラジオ

可飽和特性を有する非線形要素の作動安定化回路

発明者 吉田 太郎

この発明は磁気増幅器により可飽和リアクトルのインピーダンス値を制御し、電動機を速度制御する場合などの自動制御系において、その制御作動を安定させる安定化回路に関するものである。

すなわち、三相誘導電動機(1)の速度制御を行なう可飽和リアクトル(2)の作動制御用磁気増幅器(3)(4)に負帰還安定回路(5)(6)を設けるとともに、電動機(1)の速度変化に応じて第1段磁気増幅器(3)に負帰還する安定回路(7)を上記回路(5)と併用する。(8)は電動機に連結する指速発電機、(9)は電動機速度設定用の基準電圧電源回路である。

上記電動機(1)の速度制御を行なう場合、磁気増幅器(3)の持つ可飽和特性のため大きな基準電圧が与えられると制御作動が不安定となる傾向を生ずるが、この場合上記安定回路(7)は有効に作用して制御作動を安定させる。すなわち磁気増幅器(4)を飽和させるような大きな基準電圧が与えられると、第1の安定回路(5)だけで安定作用を行なわせる場合は、安定回路の付勢電流が磁気増幅器(3)の飽和を解除するのに、十分でない大きさにある間は安定回路が作用しないこととなり、一方上記付勢電流が増大し上記飽和が解除されて、増幅器出力が急減すると安定回路の付勢電流も急減するため、磁気増幅器は上記大きな基準電圧により再び飽和することとなり、ここに増幅器出力の増減振動を生じ制御作動が不安定となる。この場合、第2の安定回路(6)は第1段増幅器(3)の後段に設けられ、第1段増幅器が飽和して

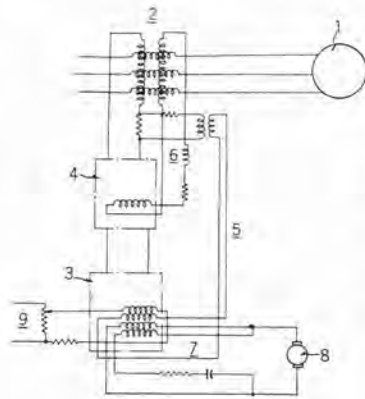
いる間でも、第2段増幅器(4)の出力を有効に抑制し得るので上記制御作動の不安定を十分に防止する。

一方、第3の安定回路(7)は上記安定作用と協同し、制御作動の過制御を防止する。すなわち、上記電動機(1)の速度制御においては電動機速度、したがって指速発電機出力が基準値に対応する値に近づいたとき、電動機(1)の加速値を小にしないと電動機速度が所定値を行き過ぎる懸念があり、磁気増幅器(3)を飽和させるような大きな基準電圧が与えられるときは、上記加速値減少の時期が磁気増幅器(3)の飽和解除になるまでは遅れるためここに過制御を生ずる。この場合、第3の安定回路(7)は電動機

速度の変化微分値にตอบสนองし、磁気増幅器(3)に負帰還するように構成されているので、電動機加速の度合いをこの安定回路のない場合より早目に減少させることができ、これにより上記過制御を防止する。

(特許第 297837 号)

(山田記)



電気魚焼器

考案者 野畑 昭夫・高橋 正晨

この考案は、上ラタの内面上部に発熱体を設け、上方から加熱するようにした周知の天火式魚焼器において、上記上ラタを反転できるようにしてこの魚焼器をそのまま下火式の周知の煮物用に使用できるようにしたものである。

すなわちこの考案は、上部に焼皿(2)を載置収納した下部容器(1)の一側面に一方のチョウツガイ金具(4)(4)を定着し、このチョウツガイ金具に枢着(10)した他方のチョウツガイ金具(8)を内面上部に発熱体(6)を設けた上記下部容器の上ラタ(5)の一側面に「ネジ部(12)が上記チョウツガイ金具(8)を貫通して上ラタ(5)に設けたナット(13)に「(螺合する)緊定自在カン(11)により連結し、上記枢軸(10)を中心として上ラタ(5)を図1の矢印方向に引き起こした状態で、上記緊定自在カン(11)を中心として上記上ラタ(5)を反転できるように構成している。

したがって、単一の魚焼器を、図1

に示すように天火式魚焼器として使用できるばかりでなく、上ラタ(5)とチョウツガイ金具(8)との緊定をゆるめ、緊定カン(11)を中心として上ラタ(5)を反転させることにより、図3に示すように下火式煮物用ヒータとしても使用でき、その利用価値を向上し得るものである。

(実用新案登録第 705589 号) (伊藤記)

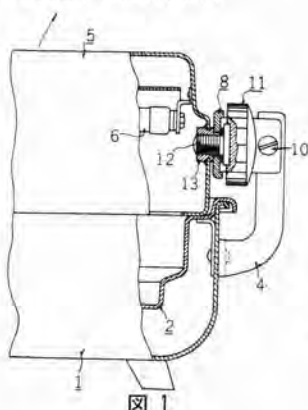


図 1

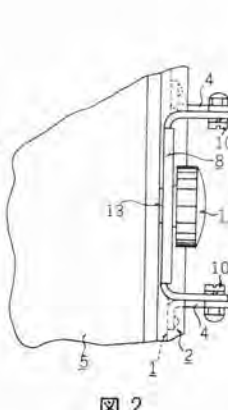


図 2

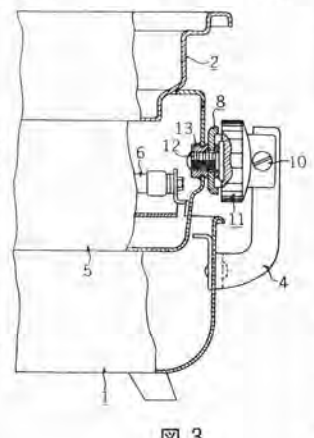


図 3

第 1 号 昭和 37 年度回顧特集

発電機器	17
水力発電	18
タービン発電機・水力発電所補機および制御盤・中央制御配電盤	26
ディーゼル発電	29
ディーゼル機関駆動交流発電機・ガスエンジン駆動交流発電機・無停電電源装置・ブラシレス交流発電機とその自動電圧調整器・ディーゼル発電機用配電盤・ダイヤパワー DU 形シリーズ完成・小形発電機	29
水力発電	32
水車発電機・水車発電機用励磁機・水力発電用配電盤・同期調相機・自動電圧調整器 (AVR)・電気式水車调速機・自動負荷調整装置 (ALR)・自動無効電力調整装置 (AQR)	32
送配電機器	33
変圧器	41
大形 (外鉄形) 変圧器・中容量 (内鉄形) 変圧器・特殊変圧器・配電用変圧器・負荷時タップ切替器・リアクトル	41
遮断器	45
大形油シヤ断器・240 kV, 15,000 MVA SF ₆ ガスシヤ断器・Y 形空気シヤ断器・低圧屋外用空気シヤ断器・DHM 形磁気シヤ断器・DB 形空気シヤ断器・DBF-6 形形磁シヤ断器・大電流切換開閉器・HP-70A 形直流高速度シヤ断器・DM 形形磁シヤ断器・リクローザ (配電線路用自動再閉路シヤ断器)	45
避雷器	48
避雷器・電力ヒューズ・断路器・計器用変成器	48
配電機器	56
交流変電所用配電盤・変電所用データ処理装置・遠方監視制御装置・遠隔測定装置・特高キュービクル開閉装置・特高ノーヒューズ分電盤・集母線・屋外用低圧バスダクト・低インピーダンス低圧バスダクト・搬送保護継電装置用電力線搬送装置・搬送保護継電装置・距離継電器・方向過電流継電器・DGB-M 形方向地絡継電器・KVG 形一線地絡検出継電器・汎用電圧電流継電器・発電電所保護継電器・変圧器保護継電器・母線継電器・表示継電器	56
変換機器	61
イグナイトロ整流器・イグナイトロン整流器制御装置・一般工業用シリコン整流器・化学工業用シリコン整流器・電鉄用シリコン整流器・直流変電用配電盤・西バキスタン向け交流計算機用電源設備・正弦波発電機・周波数および相数変換機	61
工業用電機器	61
製鉄その他金属工業用電機器	72
正延設備用電機器・溶融その他処理設備用電機器・その製鉄および金属工業用電機器・製鉄その他金属工業関係同期電動機・製鉄その他金属工業用誘導電動機・モーターローラ・電気炉および熱処理装置・高周波発電機および誘導加熱装置・電気溶接機	72
製紙および繊維工業用電機器	75
製紙工業用電機器・繊維工業用電機器	75
化学・石油およびガス工業用電機器	78
大形誘導電動機・同期電動機・三葉化成 (直江津) アルミ電解用電機器・工場用防爆形誘導電動機・工場防爆および防食用開閉器・セメントおよびゴム工業用電機器	78
セメントおよびゴム工業用誘導電動機・セメント工業用同期電動機・秩父セメント納め 125 kW レクタフロードライブ・水平式パイアスカッタ用電機器	78
荷役・運搬および建設機械用電機器	81
クレーン用電機器・押出機・変速車用電機器・振動フルイ機用電機器・電気ホイス・巻括制御装置	81
工作機械用電機器および電動工具	87
工作機械用電機器・電動工具	87
一般工業用電機器	102
三相誘導電動機・単相誘導電動機・特殊小形同軸機・SD 形直流機並列開始・電磁ブレーキクランプおよびカップリング・制御器具・開閉器起動器および制御装置・ノーヒューズシヤ断器・通風機	102
鉱山用電機器	106
鉱山用誘導電動機・鉱山用防爆形誘導電動機・巻上機用電機器・防爆形乾式変圧器・ホーブル制御装置・防塵形記録計・防塵形接地継電器・鉱山用ポンプ自動運転装置・LF-5B 形湿式除鉄器・ML-450 特形マグネチックプレート・DA-66B 特形マグネチックホッパ・DA-8520-3B 形磁気選別機・ML-6180 形マグネチックプレート・ML-421 特形マグネチックプレート	106
船用電機器	114
船用交流発電機・船用配電盤・交流機間室補機・機間室補機用制御装置・交流甲板補機・しゃんせつ船用電機器・船用直流電機器・船用データロガー	114
車両用電機器	129
電気機関車・交流電車および交流電車・主電動機・駆動装置・補助同軸機・整頓装置・自動列車制御装置・ブレーキ装置・直流蓄電池・集電装置・戸閉装置・連結装置・速度計装置および信号用発電機・車両用ケイ光灯・車両用冷房装置・車両用暖房器・車両用電動機試験装置	129
電 装 品	138
航空機用電装品・自動車用電装品・半導体内蔵交流充電発電機・自動車用自動変速機・マグネト・新しい点火装置・三菱オートフラジ	138
エレベータ・エスカレータ	143
エレベータ・エスカレータ・エレベータ用変圧器・エレベータ用コンベヤ・ロープウェイ用電機器	143
空調調和・冷凍・空気清浄装置	148
空調調和・冷凍・空気清浄装置	148
大形冷凍機・小形開放形冷凍機および応用品・ルームクーフ (ユニテナ・ウインデナ)	148
クリネヤ (電気式空気清浄装置)	149
施設工事	153
工業用冷凍装置・空調調和関係工事	153
通信機器および無線応用機器	171
航空機用無線機器・車両用無線機器・新幹線列車無線電話装置・超短波および極超短波多重通信装置・マイクロ波空中線・ARO 方式による自動調子訂正装置・指令装置・産業用テレビジョン・レーダ機器・ロケット用電子機器・テレメータ・搬送保護継電装置用電力線搬送装置	171
電子応用機器	171
デジタル電子計算機とその応用装置	174
デジタル電子計算機 MELCOM-1101F・MELCOM-1101D・列車運行シミュレータ計算機 (TTS)・YAC (操車場自動制御計算機 (付風回路)・磁気遅延記憶装置	174
アナログ電子計算機とその応用装置	177
EA-7100 形低速度アナログ計算機・EA-7400 形低速度アナログ計算機・EA-7501 形磁気増幅式低速度アナログ計算機・EA-8300 形磁気形アナログ計算機・EA-9102 形電子軌道追跡記録装置	177
工作機械自動制御装置	178
MELDAS-1313 数値制御フライス盤・MELDAS-3120 数値制御コンデンサプレート自動穴明け機・MELDAS-1032 ガス切断機用カーブトレーサ・MELDAS-1022 熱流シヤンダカッタ制御装置	178
データ処理装置	180
変電所用データ処理装置 MELDAP-6211・製鉄所冷間圧延設備用データ処理装置 MELDAP-5211・火力プラント用データ処理装置	180
その他のデータ処理装置	184
オートメーション装置	184
EA-9402 形自動最適化装置 (OPCON)・自動制御演算器・電鉄用電子制御機器・入換機関車無級操縦装置 (SLC-1)・三菱ロジックトレサ・三菱シーケンスコントローラ	184
産業用電子応用装置	193
交流二相相シフトジェネレータ・精密速度測定装置 (ドロー測定装置)・デジタル電圧計・AD-501 形 A-D 変換器・金属検出装置・輝度 (シメトラ) 判定装置・レーダスビドメータ・RT-2 形レーダ距離自感較正器・ダイアックス放電加工機・超音波非破壊検査装置・CM-2 形フレックスメータ・誘導電動機周波数発電機による誘導加熱装置・真空管式ラジオヒータ	193
電子管および半導体関係品	193
電子管	197
受信管・白黒ブラウン管・カラーブラウン管・ビジコン・光電管および光電子増倍管・溶接機用イグナイトロン・熱陰極放電管・工業用送信管	197
半導体	201
トランジスタ・セミスタ・超小形回路・電力用シリコン整流素子・シリコン制御整流素子・光導電セル・電気ルミネセンス・ホール発光素子	201
計 測 器	212
電気計器・工業計器および応用装置・科学測器	212
ランプ・照明器具および照明施設	220
ケイ光ランプ・電気ルミネセンス板 (EL)・水銀ランプ・安定器・照明器具・自動点滅器・偏光板 (ダイクローム)・照明施設	220
音響機器	220
音響機器	224
T-105 形テープレコーダ・三菱スピーカ・三菱ステレオ	224
三菱ラジオ・トランジスタラジオ	227
三菱トランシーバ	227
三菱テレビジョン	230
家庭用一般電製品	230
電気冷蔵庫・電気洗濯機・扇風機・ミシン・三菱家庭ボンプ・扇風機・家庭用暖房器・電気アイロン・厨房用電熱器・DT-151 形ホステストカート・電気掃除機・ジュースミキサー・ジュース・アイスクリームフリーザ (冷蔵庫用)・電気カミシリ・マッサージャ・ヘヤードライヤ	230

材料	245
絶縁材料・樹脂・ヒステリシス消滅板	245
磁性材料	248
パーマロイ A (ハイパロイ-78)・商品用フェライト・電子機器用フェライト	248
構成材料	251
メルコイ-X の熱処理と電子顕微鏡観察・高伝導度ベリウム銅合金	251
原子力	252
三菱研究用原子炉・臨界未満実験装置・東京工業大学核分裂実験装置 JRR-3・(日本原子力研究所国語 1 号炉)・研究用原子炉制御盤・動力用原子炉制御盤・原子炉用プロセス計測器・原子炉用ダンプバルブ・ペンダックラフ形加速機 (VE-3 形より VC-3 形へ)・リアアーク加速器・300 keV 中性子発生装置・コックロフトワルト形加速機・カスプ磁場によるプラズマ閉じ込め装置・キャンドモーターポンプ Co ⁶⁰ 照射装置・ホットセルにおける照射済み二酸化ウランの電子顕微鏡試料作成装置・マニプレータ・ヒューマンカウンタ・同時および逐次同時回路・中性子速度選択機・オレンジ形ベータ線スペクトロメータ・30 チャンネル時間分析器	252
研究	260
電力潮流制御・電力潮流の新計算法・電力系統自動給電・各種電気機器における電磁界の問題・異状電圧計表・急しゅん波頭衝撃電圧による放電現象・絶縁材料のコロナ劣化・油中コロナ・気中のコロナ放電現象・発電機コイルの表面コロナ防止法・火花放電による可燃性ガスの着火・SF ₆ ガス中の消滅性能・真空スイッチ・低電圧気中スイッチ・断器用消イオン・ダリッド消滅室の研究・超高压整流器・200 kV 高压整流器等試験装置・低気圧水銀アーク放電・自動式インバータ・半導体整流器応用	260
超周波	266
アンテナ・超周波伝送路およびマイクロ波測定・マイクロ波におけるフェライトの応用・パルメトリック増幅器	266
原子力	267
高温プラズマおよびその発生用機器・大電流イオン源・パルスイオン源・荷電粒子ビーム偏光束束の研究・原子炉用安全増幅器・速中性子用シンチレーションカウンタ・ガンマ線用電離箱式基準照射線量率計・高速中性子チョップ・高性能中性子回折装置・原子灯・有機絶縁材料の照射	267
計測	270
低磁場における二重磁気共鳴・電界線写装置・磁気シミュレータ・サージ抵抗測定計・符号板式精密角度表示装置・力平衡形変換器・はん用シンチレーションカウンタ・ガンマ線用電離箱式基準照射線量率計・光メーサ・赤外線領域の分光研究・干渉分光法・質量分析計・質量分析計オメガ・トロン・化学分析法	270
制御	274
アダプティブ制御系・電力系統の総合安定度の解析・最適化制御系・火力発電所の計算機制御・順序制御の理論・万能論理回路・磁気変調器・波高値形磁気増幅器・角形磁心のパルス回路への応用・PWM 方式による DC サーボ増幅器・二相サーボモータ・モータの特性・自動列車運転装置・静止形直交流変換器	274
電気計算機	277
計数形電子計算機・大容量磁気記憶装置・高速論理演算素子・ホール素子を用いた乗算器・図形認識・磁気増幅器式演算増幅器	277
電子管および半導体	279
熱陰極・針状陰極・大電力進行波管・シリコン制御整流素子の特性・シリコン整流器の特性・GaAs トリプルダイオード・GaAs パラダイオード・熱電素子・III-V 族金属間化合物・放射線検出用素子・デンドライト・エピタキシャルウエハ	279
機器および加工	282
構造物の応力解析・各種材料・構造物の疲労強度・回転体の振動・ニアカーチン・小形送風機試験装置・ヘリウム液化装置・吸収式調湿機・小形吸収式調湿機・保護ガス発生装置・100 kW 電子ビーム溶解炉・微振ポンプ・宇宙室・ブリットモータ・燃料電池・家庭用木工丸ノコリ・磁場プレス電源装置・電解加工・水中放電成形・ボロンステンレス鋼の溶接・無電気メッキの研究	282
材料	286
2 方向性ケイ素鋼板・ケイ素鋼板の交流磁化特性とウズ電流異常・マンガンマグネシウム系フェライトの生成反応・蒸着酸性薄膜・真空蒸着による安定な薄膜抵抗の試作・Ag-W 接点の消耗移動・機能的評価試験による発電機絶縁の研究・ポリエステルエナメル線・ソニス・ケイ素物質・ガラス・超電導材料・耐熱合金	286
商	289
研究概況・暖房機器・発熱体・音響機器その他・振動・衝撃・表面処理・光線利用・高速度現象解析	289
【最近における社外寄稿一覧】	142
【最近における社外講演一覧】	101
【最近における特許および実用新案】	31, 128, 192, 200
【表紙】	
1. 超高压電力研究所武山試験所納め 150,000 kVA 短絡発電機	
2. 東京電力横浜火力発電所納め 100,000 kVA 変圧器	
3. 八幡製鉄所旭発電所納め MELDAP-7371 データ処理装置	
4. 三菱テレビ (マイクロシックス)	

第 2 号

自動式インバータの新しい改良方式	河合 正・杉本盛行	2
3,000 kW 1,500 V 屋外形風力式シリコン整流器——信越線横川電化用変電所機器——	横山洋志	10
誘導電動機制御用ダイオード装置	渡辺克己・宇野克己・細野 勇	14
可搬式接換機	室賀 淳・馬場利彦	19
大電流イオン源	上島千一・今村 元・上山善司・細道誠一・後藤正之	25
ガンマ線照射装置	津田栄一	31
数用衝撃管	明石寛寛・斎藤春雄・杉原正浩	28
中性子モノクロメータの自動作表装置	大野善久・八島英之・茂木 充・大野栄一・金田 明	47
自動負荷調整装置 (ALR)・自動無効電力調整装置 (AQR)	平山博朗・長沢保明	52
全二相サーボモータの静止トルクの周波数特性	電田直紀・塚原昌基	58
気象ロケット用電子機器	前川善六	64
マイクロ波位相調整器	野村卓也・近藤昭治・南倉 正・島田 博・斎藤川隆・中原昭次郎・石井 茂・藤掛 勝・三輪 進	70
急峻衝撃電圧の測定に用いる分圧器	渡辺 俊・近藤輝夫	77
小形吸収式調湿機	原 仁吾・新田重平	83
AG 季節節電時間帯別料金測定装置	佐藤 真・小幡時治	90
水晶時計付記録導通計	武田克己・林 正之	95
【技術解説】		
電子機器の信頼度 (II)	市田 嵩	107
【包装】	堀 直昌	112
【文庫抄訳】		
温度上昇 65°C の配電変圧器・新しい遠方監視制御装置 REDAC・航空宇宙用デジタル計算機		115
【ニュース・フラッシュ】		
中米各国納め変圧器完成・F104J 搭載無線装置・ARC-552A 納入開始・航空機用超短波無線装置・MAR-4 形完成・ロジック・トレーナ・西武電鉄納め電気連結器 100 台完成・LV-GA 形低圧用避雷器完成・DWB-1 形 12 kV 電動カットアウト関西電力へ納入・低インピーダンスバスダクト・高速中性子チョップ駆動用 3.7 kW 直流電動機・東海道新幹線キ電用空気スイッチ器完成・超高压試験設備完成		117
【特許と新案】		
回転形開閉器の接点清掃装置・同期機の界磁		
【最近における社外寄稿一覧】	37, 76,	121
【最近における社外講演一覧】	106	
【最近登録された特許と実用新案】	18	
【表紙】	111	
1. 三菱電機スカイリング		
2. 国鉄電務総局 EF 80 形交流直回用電気機関車完成		
3. 1963 年計測工業展出品モロクトロニクスデジタル電圧計		
4. 三菱テープレコーダ		

第 3 号 材料特集 一相製製作所開所記念一

相模製作所の概況		山森末男	2
金属の造塊時における超音波印加の影響		実 博司	3
電動機部品のシェルモールド鋳造	興人組パルプ株式会社	栗原成男	9
耐熱合金メルコイ-X の電子顕微鏡観察	竹内守久・中島陽三	北風義三	15
2 方向性ケイ素鋼板の試作 (加熱ふんい気の影響)	野口英男・中島陽三・長谷川邦弘	三田重義	20
78% Ni-Fe 磁性材料の焼鈍処理		小倉忠利	25
磁性合金 Fe-Co の冷間加工性		中島陽三	29
耐熱性高強度銅合金の研究		実 博司	32
メルコイ-X		豊田俊雄	40
MIBK 抽出法による非鉄金属中の微量鉄迅速吸光度定量法		鈴木重宣	45
網目構造をもつ高分子における分子鎖セグメントの易動性分布		松井文夫	50
ポリエステル成形材料		山口 滋	56
難燃性ガラスマット基材ポリエステル樹脂積層板		太田基義	61
電気機器用接着材		伊藤公男	66
電気機器用ゴム材料		伊藤公男・関野吉雄	74
【技術解説】			
製造工業におけるオペレーションズ・リサーチ		関部 寛	83
【文庫抄訳】			
固体の音響式流量計・人工衛星ランデブーのための誘導と結合の技術・コヒーレントな光・科学の新天地・96,000 Mc における最初のメーザ			88

【ニュース・フラッシュ】	
三菱電機スカイリング広告所ランダム点滅制御装置完成・新しい高速度半導体スイッチ2種・低圧PNPNと光スイッチ・自動車用400 Mc帯高利得アンテナ・電圧電流油圧ブレーキ装置・精密角度符号板十進表示装置・大電流容量トリススタの試作	90
【特許と新案】	
磁気消磁電圧ゲキ装置・赤外線気体分析装置	94
【最近における社外寄稿一覧】	19, 87
【最近における社外講演一覧】	14, 24, 44, 95
【最近における特許と実用新案】	49
【表紙】	
1. 材料の顕微鏡写真	
2. 当社相模製作所に新設した半連続真空溶解炉	
3. 当社相模製作所に新設した20段可逆式冷間圧延機	
4. 三菱電機カミソリ	

第4号

ベトナム共和国ダム第一発電所向け 4×45,000 kVA 水車発電機	森 与志彦	2
中国電力新徳山発電所納め配電盤	長町恒資	7
低圧屋外用空気遮断器	潮 恒郎・森岡昭二・吉田和弘	12
最近の送電保護継電装置 (3)―PC-312 形搬送保護継電装置―	北浦孝一・古谷昭雄・室田 慎・小林 茂	16
トランジスタ式移動用 400 Mc/FM 無線装置	黒田忠光・奥村 徹・桂川 弘・中村信弘	22
自動車用 400 Mc 帯高利得アンテナ	喜連川隆・武市吉博・水沢石雄・桂川 弘・大林愛弘	29
航空機用超短波無線装置	平岡敏也・山口哲夫・浜口道雄・村山 昇	33
陰極線形電子サイクロン	阿部久康・池田和郎	39
強磁性蒸着薄膜の試作	野口英男・土坂達生	47
単アドレス計算機における命令のひん度	並井芳昭・木村孝之	52
大形焼結ブロー	宮内貞夫	57
油浸プレスボードの耐コロナ性	原 仁吾・平林庄司・田畑則一	61
固体試料分析用二重収束質量分析器 (II)	甲斐潤二郎・尾形善弘	66
クロムステンレス鋼剥離車のロウ付	船岡千種・平川昌紀	71
エナメル線の熱劣化 (2)	森田義男・坂田桂三	75
高温プラズマ発生用環状放電設備とその工学的諸問題	河合 正・杉本盛行・近藤博通・岩本雅民・飛田敏男	82
【文 献 抄 訳】		
より高速で多用途のコンピュータプロセス制御装置・高精度トルク平衡形変換器・アリゾナパブリックサービス電力会社向けの On-Line 計算機制御・試験用変圧器		90
【ニュース・フラッシュ】		
インド国鉄第2次イグナイトロン式交流機関車完成・関西電力天ヶ瀬発電所納め 55,000 kW 水車発電機・巻上特殊2段速度ホイスト完成・新シリーズ EM 形電磁閉閉器・MR 形電磁継電器・RP 形プラグインリレー・磁気増幅式アナログ計算機完成・高速反応研究用直視形高分子質量分析計		93
【特 許 と 新 案】		
車両用天井形冷却装置・回転電機の内転子		98
【最近における社外講演一覧】		89
【最近登録された実用新案】		28
【表 紙】		
1. 高温プラズマ発生用環状放電装置		
2. メキシコ サン・パルトル発電所納め 21,000 kVA 水車発電機完成		
3. 技術の先端をゆく電解加工機		
4. 三菱電機洗たく機 三菱アイロン		

第5号 シリコン制御整流素子特集

SCR の原理と動作	清水潤治・蒲生 浩	2
SCR の特性と定格	清水潤治・船川 繁・清口忠雄・飯田隆彦	10
SCR のゲート回路	細野 勇・岡 久雄	21
SCR 応用回路の基礎	岡 久雄	28
SCR の交流電動機制御への応用	吉田太郎	34
SCR の交流発電機励磁回路への応用	吉田太郎	40
SCR による直流電動機の制御	細野 勇	45
SCR の小容量直流電動機への応用	河合 正・岡 久雄	52
SCR のインバータへの応用	河合 正・岡 久雄	56
SCR によるサーボモータの制御—小形軽量サーボ増幅器の開発—	山内信治・植木直樹	63
SCR の超音波振動器への応用	平塚 篤	67
SCR の故障とその防止	岡 久雄	70
三菱電機スカイリングおよび三菱ドリームセンターの電気設備	瀬戸義雄・浜田恭平	74
三菱電機スカイリングおよび三菱ドリームセンターのエレベータ設備	河原四良	81
ASIA 自動プログラミングシステム	豊田準三・中塚正三郎・梅田義明	85
HK 形電磁接触器	杉山昌司・西野 宏	92
密閉形水冷却およびガス冷却式ターボ冷凍機用電動機	新良由幸・伊藤昭八郎・酒向 孝	97
力平衡形変換器	吉山裕二・江沢孝吉	104
【技術解説】		
同期機—I—電力系統における同期機の理論的取り扱い—	林 重雄	109
【文献抄訳】		
Guardistor モータ保護方式の応用・製紙工業の理想的エネルギー利用		115
【ニュース・フラッシュ】		
オーストリア向け 330 kV 変圧器完成・電源開発伊予発電所納め 99,000 kVA 巻巻変圧器完成・日新製鋼市川工場連続鋅鉛メッキ用誘導炉・超高温電力研究所納めデジタルシーケンス制御装置完成・国鉄新幹線列車無線トンネル用全トランジスタ化 UHF 中継増幅器完成・洪水予報に新威力(北上川洪水計算機完成)・磁気誘導形トルク計 MK430 形完成・インド国鉄向けメータゲージ用 52 t 交流機関車 18 両を受注・奥多摩工業株式会社納め 12 t 産業用電気機関車受注		117
【特許と新案】		
冷蔵庫トビクの開放装置・空気調和装置		121
【最近における社外寄稿一覧】		91
【最近における社外講演一覧】		55, 103
【最近登録された実用新案】		84
【表紙】		
1. シリコン制御整流素子(SCR)		
2. 三菱電機スカイリング広告所ネオン塔のランダム点滅装置		
3. 20,000 c/s 超音波電源としての高周波発電機完成		
4. 三菱家庭ガンダ		

第6号

インド国鉄納め第2次イグナイトロン電気機関車	藤野友爾・松田新市	2
パナメロン式低速度データ伝送装置	大島羽幸太郎・鈴木昌三・江塚 昭・竹内康太郎	15
ケイ素基板の交流磁化特性とウズ電流異常	野口英男・土屋英司	24
NC 形コントロールセンタ	蟹江邦雄・白根保雄	32
パナメリック増幅器の液体窒素冷却による雑音指数の改善	喜連川隆・柳川 滋	38
同時ローピング方式角度誤差検出装置 GTR-3 形	櫻木俊彦・渡部 優・竹内政和	44
航空機用交流電源の電圧調整器	戸谷利雄・吉田太郎	49
化学加工	修 修	56
三菱スカイリングおよび三菱ドリームセンターの空気調和設備―冷暖房・衛生・給排水設備のすべて―	安部宗昌	61
マイクロ波用気流空中機	喜連川隆・大久保賢一・東野義夫	68
ジャリフタレータ樹脂成型品	小山二郎・斎藤久芳	72
高温燃料電池	泰 卓也・村山邦彦	76
三菱マイクテレビ 6P-125	柳川 滋・野口善男	82
寒冷地向け電気機器用金属材料の低温試験	実 博司・石原克己	87
環状プラズマの電磁圧縮の実験	河合 正・近藤博通・杉本盛行・岩本雅民・飛田敏男	94
低周界における Overhauser 効果の実験	野崎悦子・仲森清貴	101
【技術解説】		
電車自動運転装置	得島 正	108
【文献抄訳】		
レクタホーム・電力用、合金形トランジスタの進歩・高性能エレベータ制御方式		114
【ニュース・フラッシュ】		
愛媛県道前港向け自動車発電機完成・札幌気象台向け気象レーダ納入・精密紙アナログ計算機納め納入・わが国最初の ASDE(空港表面監視装置)羽田・小牧空港へ納入・プログラムによる列車自動運転装置(P.T.O.)完成・MB 形速度制御ブレーキの完成・鋼板フレーム製 SCL-R 形コンデンサ起動コンデンサモータおよび SCR-R 形全閉外扇形コンデンサ起動形車組モータの生産を開始・東海道新幹線電車用電機品大量に受注・国鉄北陸線増備用 EF 70 形交流機関車受注・三菱電機株式会社大田出張所納め12 t 鋸山用電気機関車受注		116

【特許と新案】	
磁気増幅器付継電器・速度形真空バブル	120
【最近における社外寄稿一覽】	121
【最近における社外講演一覽】	75
【最近における特許と実用新案】	67, 81, 86
【表紙】	
1. 機動式 150 kVA 三相低周波抵抗接機	
2. 産業界のフェスティバル第5回東京国際見本市開かる	
3. 姫路第二発電所向け内部冷却タービン発電機完成	
4. 三菱ホームグループ	

第 7 号 研究特集

当社の研究の現況	伊藤正之・的埜 卓・下地貞夫・石黒克己・仁礼義典	9
オレンジ形ベータ線スペクトロメータの建設	阿部久康・伊藤正之・山崎 孝・鈴木敏夫・仲森謙一	5
高圧整流器の等価試験	阿部久康・山崎 孝・池田和郎・山田郁夫・木村好男・高島 博	11
不平等電圧における大気の絶縁破壊特性	原 仁吾・新田東平・川根 清・山田直也	19
複素電圧アンテナ・ヒューム変位方式	菅野川隆・立川清兵衛・小畑哲男	25
導波管形サーキュレータの動作機構	菅野川隆・立川清兵衛・小畑哲男	30
銅材の高温変形特性	前田祐雄・村上 晃・上方明男・山下安雄	35
オメガトロン質量分析計	藤木 敦・花坂孝雄・橋本 勉	42
UHF 大電力進行波管	八十田高治・戸田哲雄・岡田武夫・建石昌彦・橋本 勉	47
同次連続蒸着装置による強磁性薄膜の試作研究	野口英男・上坂達生・岡田 将	52
強磁性蒸着薄膜の蒸着源組成と蒸着膜組成	野口英男・上坂達生・岡田 将	57
パーマロイの特性に及ぼすヒスとの影響およびその除去	神崎 通・伊藤昭子・岩田泰昌・石井 伸	61
エビタキシャルプロセス法による Si 単結晶膜	神崎 通・伊藤昭子・岩田泰昌・石井 伸	66
ゲルマニウムのリボン状結晶	神崎 通・伊藤昭子・岩田泰昌・石井 伸	71
固体試料分析用二重収束質量分析器による定量分析の研究	藤林肇次・行本善則・堀 宏文	76
置換形無電気金・銀メッキ	秦 卓也・甲斐潤二・三木将代	80
ホワイトメタルフィニッシングの密着強度	秦 卓也・花田武明	85
耐熱コイルワニスに対する 2, 3 の考察	船岡千雄・山屋忠章	90
石油塗膜	武藤 正・小原英一・近藤孝孝	97
木工塗装用ウレタン塗料の研究	西山真次・岩村武志・吉川 浩・七戸慶人	105
【文 献 抄 訳】		
ブロッグ自動制御方式・乾性自己潤滑ベアリング・電力用トランジスタの誘導性電流の開閉・軍用機器の高精度電源・水素掃気系統		111
【ニュース・フラッシュ】		
超高压電力研究所において 240 kV SF ₆ ガスシャ断器のシャ断試験行われる・信越線機河一懸井沢間の電化専用の EF63 形直流機関車完成・新三菱重工産体研究所向け 750 kW 高落差機形水車性能試験用直流動力計・国産初の 12 kV リクローザ完成・DFL 形負荷シャ断キュービクル・FD-202 形超音波探傷機用自動警報装置		113
【特許と新案】		
小型電動機用固定子・扇風機の仰角調整装置		116
【最近における社外寄稿一覽】		117
【最近における社外講演一覽】		60, 96
【最近における特許と実用新案】		29, 70
【表紙】		
1. ゲルマニウムのリボン状結晶の引上		
2. 宇宙通信用設備の建設—人工衛星を用いて大陸間を結ぶ夢をに		
3. 札幌気象台納め気象レーダ完成		
4. 高圧整流器の等価試験装置完成		

第 8 号 超高压電力研究所短絡発電機設備特集

超高压電力研究所武山試験所の概要	志岐守哉・今井 光・甲斐 高・松尾 昇・藤崎 勝	2
超高压電力研究所向け大容量短絡発電機	志岐守哉・今井 光・甲斐 高・松尾 昇・藤崎 勝	5
短絡発電機駆動用 4,000 kW 誘導電動機	甘粕忠男・山崎 孝	19
超高压電力研究所短絡発電機用配電盤および励磁装置	馬場文夫・小島一男・中嶋 碧・三浦弘明	23
シャ断器試験設備のプログラム制御装置	馬場文夫・小島一男・中嶋 碧・三浦弘明	28
電解加工機	前田祐雄・斎藤長男・荒井伸治・伊藤 明・杉江法雄	35
CT 形冷凍機	清水一朗・江本浩徳	44
軸受の弾性に減衰力を考慮した回転機の振動	大島羽幸太郎・柴谷浩二・甘粕忠男	48
MELCOM EA-7451 形全トランジスタ式アナログ計算機非線形要素	大島羽幸太郎・柴谷浩二・甘粕忠男	54
レニウムモールド形磁座	秦 卓也・小橋正康	59
国鉄新幹線試作車用列車無線電話装置	北垣成一・阿部 修・奥村 徹・秦 卓也・小橋正康	64
電気機器における磁界の場解析法	河合 正・若木雅夫	72
波高値形磁気増幅器とその応用	吉江高明・首藤 勝・関本敏次・魚田勝臣・佐久間悦子	79
MUSE 自動プログラム方式	吉江高明・首藤 勝・関本敏次・魚田勝臣・佐久間悦子	81
シリコン太陽電池	中田正延・野島謙治	84
【技 術 解 説】		
光導電セル	吉沢達夫・安川 武	96
【ニュース・フラッシュ】		
ガスタービン駆動 125 kVA 発電セット完成・引出形 C 形空気シャ断器完成・多点温度調節装置・国鉄新幹線列車無線電話設備の量産		
すなわち・列車自動運転装置 (ATO)・マイクロ TV 用新 6 形ブラウン管完成・SF-A(W) 全閉外扇形巻線形モートル		101
【新製品紹介】		
全トランジスタ型パルス式絶縁制御装置・三菱 TZ 形多回路総合電力測定装置・三菱トランジスタホームラジオ TR-557 形 (オートマチック T)・三菱テンプラライタ CL-500 形		104
【特許と新案】		
比較交流電流量の基準交流電流量と所定位相角の成分を導出する装置・電気掃除機のホース着脱装置		106
【最近における社外講演一覽】		107
【最近における特許と実用新案】		34
【表紙】		
1. シャ断容量試験設備用プログラム制御装置 —MELDAS2769—		
2. アルミ精錬用曲線的な電気設備完成		
3. わが国最初の 240 kV, 15,000 MVA SF ₆ ガスシャ断器完成		
4. 三菱水銀整流器		

第 9 号

電圧大容量 WN ドライブ主電動機の現状	河村寿三・久山研一	2
U ライン三相誘導電動機	甘粕忠男・中西清馬・藤山辰之	5
補助巻線付極数変換誘導電動機	衛藤 護・足立 寛	10
3 台の巻線形誘導電動機の並列同期運転	衛藤 護・足立 寛	15
誘導電動機における漏れ電圧損	八木 勝・梶谷定之・杉山昌司・岩田鋼二	20
NL 形スーパリアタ (電動油圧上機)	八木 勝・梶谷定之・杉山昌司・岩田鋼二	27
スーパリアタ A モートル系列	八木 勝・梶谷定之・杉山昌司・岩田鋼二	32
別府鶴見店ローンウェイ用電機品	中野久夫・井上信義	38
核分裂実験装置 TITAN	武田榮一・木野 茂・岸田公治・阿部康弘・橋本 勉	46
軽合金用三相低周波点接機	大隅 真・松原彦治・馬場利彦・越智明	54
進行磁界を用いたプロセス閉じ込めの方法	近藤博通・利國勝司	62
コトレル集じん器用高圧シリコン整流装置	小林 凱・佐野善之助・平井好司	69
三菱ブルボムモールド形整流器	吉倉 健・神谷友清	75
原子炉用安全増幅器の半導体化	八島英之・川島茂樹	81
三菱 FM ラジオ	藤木 一・岡本春樹・藤田恒雄	86
プログラムによる列車の自動運転	小原太郎・喜多 稔・石田哲嗣・石黒健太	91
【技 術 解 説】		
高周波誘導加熱装置 (VI) —自動加熱機械装置と各種応用 (1) —	東川孝彦	98
【ニュース・フラッシュ】		
EH 形高圧コントロールセンタ・発信電報中継装置・ORC-6C 無線機納入・トリスタを用いた自動電圧調整器・自動同期投入装置および自動セン (縮) 速装置・近鉄新車電機品完成・阪神電鉄納め通勤車用制御装置 10 組完成・交直両用長短時継電器・OU 形操作スイッチ標準系列の完成・400 MVA 超高压変圧器 2 台オーストラリアより受注・東北線向け試作 ED75 形交流機関車受注・気象庁向け富士山直気象用レーダ装置受注		101
【新製品紹介】		
磁気軸受付 MU-31 形積算電力計・三菱マイクロポンプ VP-35 形 (50 c/s 用) VP-36 形 (60 c/s 用)・三菱エアタロ ET-1201 形 (殺菌灯つき)・三菱ファン CL-75 形		107
【特許と新案】		
計器用制御磁石装置・扇風機買車の製造形		109
【最近における社外講演一覽】		14

【表紙】	
1. Uライン三相誘導電動機	
2. 関西電力姫路第二発電所納め 370 MVA 変圧器完成	
3. 四国電力新徳島火力線保護用搬送保護継電装置	
4. 名古屋大学プラズマ研究所納め完全電離定常プラズマ発生装置マグネチックチャンネルおよびベリアルチューブ	

第 10 号 光源と照明特集

文化と照明	九岡芳八	2
高速自動車道路における照明設備基準案	伊賀秀雄	3
電気ルミネッセンスランプ——その特性と応用——	竹田俊幸・井上五郎・岩倉寛二・井手平三郎	10
超高出力ケイ光ランプ	牧野六彦・土井貞春・伊東 隆	15
新形水銀ランプ——スーパーライブ水銀ランプおよび高出力タリウム水銀ランプ——	大盛真次・太田重吉・近藤 登・土橋理博	21
各種光源による建築材料の見かけの色	塚田 敏	27
天然色写真の写真的照明と光源 (2)	有賀長敏・井手平三郎	32
各種照明施設における経済照度に関する考察	小堀富次郎	38
ケイ光の防壁に関する研究	佐々木武敏・田代 登	44
名神高速道路尼崎インターチェンジの照明	金岡 勇	47
冷凍室の照明	佐々木武敏	50
三菱電機スカイリングの照明設備およびランダム点滅制御装置	小堀富次郎・小泉寿男・栗谷浩二	52
新しい住宅照明の考え方	宮本時夫・松本久志	59
広告照明に利用する偏光材料 (ムービング・シート)	依田 功・太郎良定夫	63
サンセットタイムの実動試験	武田克己・三好博司	67
【技術解説】		
ケイ光および水銀灯の点灯回路	一村井直道	72
ケイ光体の実態	井手平三郎	80
【ニュース・フラッシュ】		
一台で7ヶ所の圧力の測定ができる広帯域真空計 (TI-LB4) 完成・病室管理用テレメータ開発・自動車用テレメータ完成・国鉄新幹線用区分閉閉器完成・EM形電磁閉閉器シリーズ化完成・EM-65形電磁閉閉器量産開始・三菱テレビジョン受像機 16T-670形発売・三菱テレビジョン受像機 19T-370形発売・三菱テレビジョン受像機 12P-320形発売		88
【新製品紹介】		
画期的高効率“高出力タリウム水銀ランプ”完成・三菱ステレオ DSS-312形発売・'64年度三菱石油ストーブ発売		92
【特許と新案】		
換気扇・扇風機付ケイ光・車両用天井扇取付装置		94
【最近における社外寄稿一覧】		26, 87
【最近における社外講演一覧】		62
【最近登録された実用新案】		66, 95
【最近登録された特許】		95
【表紙】		
1. 名神高速道路尼崎インターチェンジの照明		
2. 最近の照明施設 (1)		
3. 最近の照明施設 (2)		
4. 最近の照明施設 (3)		

第 11 号 エレベータ特集

超高層用三菱シンクログライド高速エレベータ	宮城 晃・高村 明	2
エレベータを利用した駐車装置	瀬原田三郎	13
セレクトリバーチカルコンベヤ	加藤淳治	19
ロープウェイのリフト制御	佐藤正夫・青田太郎・川合 弘	22
ダイオードトランジスタ NOR-OR 素子	中塚正三郎・鹿井芳昭・松原 要	28
列車無線用 400 Mc 帯高利得コナリフレクタアンテナ	喜連川隆・武市吉博・水沢石雄・阿部 修・大林愛弘	35
三菱ステレオ	藤木 一・進藤武男・伊藤 美	40
多帯域共用見通し外通信大口径パラボラアンテナ	上井博之・高須 勇・加藤修助・上西 聖・喜連川隆・森川 洋・東野義夫	46
MHD 発電装置の設計に関する一考察	伊藤利朗・森川鉄也・村井 裕	53
工作機のプログラムコントロール	青田太郎・宮 幸助	60
麻生産業吉原第一立坑機械設備	津田武夫	68
麻生産業吉原第一立坑電機設備	木内 修	73
麻生産業吉原第一立坑 600 kW 交流立坑巻上機の自動制御	熊谷茂俊・柴田賢吾・福江節雄・熊谷永年	76
ガス拡散電極の電位立上りおよび減衰特性	秦 卓也・松岡宏昌・錦織成紀	82
最近の送電線保護継電装置 (4) ——故障検出継電器——	北浦孝一・古谷昭雄	86
【技術解説】		
高周波誘導加熱装置 (VI) ——自動加熱機械装置と各種応用 (2)——	東田孝彦	91
【ニュース・フラッシュ】		
通信衛星テレスタ2号追跡実験成功・3 サイクル Y 形空気シャ断器シリーズの完成・24 kV 1,000 MVA 箱小形 C 形空気シャ断器完成・RY 形結合コンデンサ形計器用変圧器製作開始・わが国最大の 190 kW 水中モータの完成・最近の船用ホイス・MR-4, MR-44 形電磁閉閉器量産開始・超小形 EM-4 形電磁閉閉器市販開始・電源開発佐久間周波数変換所用変圧器受注		100
【新製品紹介】		
三菱工業計測器 (A シリーズの 1)・事務所、商店、学校、劇場の暖房に'64年度三菱オイル暖房機発売・あなたを災難から守る三菱電子報知機 EA-110A 形開発・画面が6割拡大されました。三菱テレビ 19T-370 形発売		105
【特許と新案】		
カード分類方式・超音波軸差検査装置		108
【最近における社外寄稿一覧】		39
【最近における社外講演一覧】		67, 109
【最近登録された実用新案】		12
【表紙】		
1. 三菱シンクログライド方式高速エレベータの納入された香港マングリンホテル		
2. 東北電力新高火力発電所納めデータ処理装置		
3. UL-80 形ヘリウム液化装置 (標準形) 完成		
4. 三菱石油ストーブ		

第 12 号

超高圧タンク形 SF ₆ ガスシャ断器の試作	新井正元・潮 恒郎・富永正太郎・鶴村彰一	2
200号プッシングの活線洗浄試験	印藤義雄・水谷幸保	10
柱上変圧器過負荷表示器 (OL 形)	白神十九一	16
入機関車無線操縦装置 (SLC-1)	篠原 泰・中村一郎・佐藤 清・丸浜健郎・今里英吉・田村祥一・江原 昭	19
列車自動運転のための指令装置	石田哲爾・鳥居健太	25
EH形キュービクル開閉装置	天藤憲二	33
インパルスグループ実験装置の放射線モニタ	後藤正之・的整 卓・永井昭夫・小倉成美・小谷野明	39
ホットケープ内で用いる各種加工機	津田栄一	47
BF ₃ 比例計数管	宮下恭一・石井武美	52
核磁気共鳴信号検出器の特性	下地真夫・仲森清貴	61
複合磁路系の実験	吉江高明・木村孝之・黒田寿一	68
遠心脱水機の振れまわり運動	平野一郎・小倉欣孝	76
赤外線ホームコタツ	田村弘治郎・内田武士・平塚 篤・松原英一	81
シリコンカーバイドの結晶成長 (1)	岡田武夫・栗根克利	88
ケイ素鋼帯の磁気特性連続自記装置 (1) 鉄損測定装置	野口英男・土屋英司・鈴木 裕	94
変圧器用絶縁油	白井万次郎・岩井博道	101
【ニュース・フラッシュ】		
国鉄北陸線増備用 EF70 形交流電気機関車完成・奥多摩工業株式会社向け 12t 産業用電気機関車納入・三菱鉱業株式会社大田張鉱業所向け新鋭 12t 鉱山用電気機関車納入・ロジックプレーナ (LT-1000, LT-2300) 5Gc 移相器完成・HDF 形断路器完成・ボルレグ S を開発・Ou 形機作スイッチ全機種完成 (PL 形信号を含む)・新方式 EE 形電磁閉閉器を開発		106
【新製品紹介】		
三菱工業計測器 (A シリーズの 2)・三菱空気清浄機 (エアクリーナ) 2 機種新発売・家庭用空気調湿機 “三菱ヒューミデファイア” 新発売・三菱テレビ “ロマンティカ” 新発売・三菱トランジスタラジオ FX-955D 形発売		111
【特許と新案】		
可飽和特性を有する非線形要素の作動安定化回路・電気魚検器		115
【最近における社外寄稿一覧】		121
【最近における社外講演一覧】		15
【表紙】		
1. いすゞ自動車株式会社藤沢製作所納め単相 75 kVA 可飽和溶接機		
2. 韓国錦江発電所納め 16,000 kVA 水車発電機完成		
3. フィリピンパナソニック社納め 2x9.375 kVA タービン発電機完成		
4. 三菱ステレオ (DSS-569)		

年月日	寄稿先	題名	執筆者	所属場所
38-7-10	機械の研究	最近における機械工作の自動制御	馬場文夫・小島一男	鎌倉
38-7-20	日本放送協会	日本の産業 —日本の照明の現状—	小堀富次雄	本社
38-7-23	電気学会誌時報	半導体整流素子と制御整流素子	加藤又彦	伊丹
38-7-25	オートメーション	サーボ機構の工作機械への応用	小島一男	鎌倉
38-7-26	J. Phys. Soc. Japan	Paramagnetic Resonance Fine Structures of Optically Aligned Rb ⁸⁷ and Rb ⁸⁵ Vapour in Earth's Magnetic Field	安藤 滋	中央研究所
38-7-26	図説電気	最近のヒューズブレーカとその選び方	高見 滋	名古屋
38-7-27	電気工学年報 (38年度)	電動応用の オートメーション	紙谷鉄男	神戸
38-7-27	都電研	照明施設の経済性	小堀富次雄	本社
38-7-30	電気書院	最新超高圧変圧器の特性と運転	村上 有・平井正好	伊丹
38-7-31	電気公論	トランジスタ 継電器について	北浦孝一	神戸
38-7-31	Bulletin of the Chemical Society of Japan	Electrical Conduction of P-Pherylenediamine Iodine Complex	西崎俊一郎・草川英昭	中央研究所
38-7-31	アナログ技術研究会	ハイブリッドシステムを採用した洪水計算用電子計算機	大鳥羽幸太郎・柴谷浩二 桑田 博	無線機
38-7-30	電気計算	最新超高圧変圧器の特性と運転	村上 有・平井正好	伊丹
38-8-9	電気学会雑誌	デジタル 計算機による多重故障の計算法	林 重雄・岸 哲也	中央研究所
38-8-9	核融合研究	On the plasma Confinement with Travelling Magnetic Field	近藤博通・利岡勝司	中央研究所
38-8-10	日本放射性同位元素協会	中性子発生装置	宮下 恭一	中央研究所
38-8-10	アナログ技術研究会	洪水計算機	大鳥羽幸太郎・柴谷浩二 桑田 博	無線機
38-8-12	オーム社	三菱 ロジックトレーナ	中 嶋 碧	鎌倉
38-8-14	自動車部品工業会誌	台風 シーズン に備え電装品の手入について	三和伍朗	姫路
38-8-15	マナリー	WF 法の活用にあたって	奈川敏雄	本社
38-8-17	エレクトロニクスインジパン	シタ 断器試験設備の プログラム 制御装置	中 嶋 碧	鎌倉
38-8-18	冷凍	大形往復動式冷凍圧縮機	清水一朗	長崎
38-8-19	図説電気	インバータ のはなし 他励式 インバータ と並列 インバータ	河合 正	中央研究所
38-8-19	日本産業技術協会	最近の放電加工機	東田孝彦	無線機
38-8-19	接着	放射線による接着剤の影響	伊藤公男	中央研究所
38-8-21	電通研叢書	トラップ および ライフタイム	浅川俊文	中央研究所
38-8-21	J. phys. Soc. of Japan	Motion of a charged Partical in or Exponentially Graded Static Magnetic Field	近藤博通	中央研究所
38-8-22	電気学会技術報告	可聴周波における薄 ケイ 素鋼板の磁気試験法	野口英男	中央研究所
38-8-22	電気公論	変圧器の発達と将来	村上 有	伊丹
38-8-22	電気公論	油 シタ 断器について	永田秀次	伊丹
38-8-22	OHM	EI 形高圧 パワーセンタ	天藤憲二	神戸
38-8-22	OHM	三菱 FL 形負荷 シタ 断 キューピクル	深川美孝	神戸
38-8-23	計測と制御	市川邦彦氏の「寄書」に関して	吉山裕二	中央研究所
38-8-23	産業と電気	パウダクラッチ とその応用	宮崎秀夫・村田俊哉	姫路
38-8-24	OHM	シミュレーション 工学とは	馬場準一	中央研究所
38-8-27	金属学会	放電加工における電極消耗比について	上田時芳	無線機
38-8-27	電気学会雑誌	電力技術への OR 手法の応用 (第二章確率統計)	林 重雄	中央研究所
38-8-28	電気学会雑誌	直交磁界形磁気変調器に関する基礎的考察	山崎英蔵	中央研究所
38-8-30	溶接学会誌	アルミニウム 薄板の溶接	中 根	北電
38-8-30	金属	無電気 メッキ—とくに金銀 メッキについて—	秦 卓也・花田武明	中央研究所
38-8-31	国鉄保線機械統本	レール 探傷機	河野勝美	無線機
38-9-2	日本電気協会	最近の水銀灯と高出力化への発展	小堀富次雄	本社
38-9-10	接着	シアノエチルセルローズの電気特性および接着性	伊藤公男・小野 博	中央研究所
38-9-14	機械の研究	最近の電解加工法	前田祐雄・斉藤長男 荒井伸治	中央研究所
38-9-16	電気計算	変圧器の最近の試験法	志村 勲・青木俊之	伊丹
38-9-19	溶射便覧	溶射材料	小倉忠利	相模
38-9-23	電気書院	最近の ケイ 光灯の特性とその適用	小堀富次雄	本社
38-9-26	機器による高分子分析 第三巻	ポリビニル, アルコール 中の鉄銅の発光分光	石 橋 勝	中央研究所
38-9-28	電気書院	レクリエーション 照明	小堀富次雄	本社
38-9-30	工業化学雑誌	ポリピロリットイミドの熱分解	西崎俊一郎・不可三 晃	中央研究所

次号予定

三菱電機技報 Vol. 38 No. 1

昭和 38 年度回顧特集

- 発電機器
- 送配電機器
- 変換機器
- 工業用電機品
- 鉱山用電機器
- 船用電機品
- 車両用電機品
- 電装品
- エレベータ・エスカレータ
- 空気調和、冷凍、空気清浄装置
- 通信機器および電波応用機器
- 電子応用機器
- 電子管および半導体関係品
- 計測器
- ランプ・照明器具および照明施設
- テレビ・ラジオ・音響機器
- 家庭用一般電気品
- 材料
- 原子力
- 研究

三菱電機技報編集委員会

委員長	小倉弘毅
副委員長	宗村石平
常任委員	明安藤二精
"	" 大野寛孝
"	" 河合武彦
"	" 小堀富次雄
"	" 篠崎善助
"	" 高井得一郎
"	" 中野光雄
"	" 馬場文夫
"	" 宮内圭次
"	" 山田栄一
委員	岩原二郎
"	" 片岡高示
"	" 榎本弥幸
"	" 堀真樹
"	" 向井徳樹

(以上 50 音順)

昭和 38 年 12 月 22 日印刷 昭和 38 年 12 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) 0915・0916 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	名古屋市中区広小路通り 2 の 4・グリーンビル (電) 名古屋 (23) 代表 6231
福岡営業所	福岡市天神町 58・天神ビル (電) 福岡 (73) 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 (6) 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 (22) 代表 6101
富山営業所	富山市総曲輪 490 の 3・明治生命館 (電) 富山 (3) 代表 3151
広島営業所	広島市八丁堀 63・昭和ビル (電) 広島 (21) 代表 4411
高松営業所	高松市寿町 1 の 4・第 1 生命ビル (電) 高松 (2) 代表 5021
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 (56) 大代表 5311
福岡商品営業所	福岡市天神町 58・天神ビル (電) 福岡 (73) 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 (6) 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 (22) 代表 6101
富山商品営業所	富山市総曲輪 490 の 3・明治生命館 (電) 富山 (3) 代表 3151
広島商品営業所	広島市八丁堀 63・昭和ビル (電) 広島 (21) 代表 4411
高松商品営業所	高松市寿町 1 の 4・第 1 生命ビル (電) 高松 (2) 代表 5021
北九州出張所	北九州市小倉区京町 10 の 281・五ノ鈴ビル (電) 小倉 (52) 代表 8234
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
岡山出張所	岡山市上石井 174・岡山会館 (電) 岡山 (4) 0331~2
長崎出張所	長崎市江戸町 30・中島ビル (電) 長崎 (2) 0293
金沢出張所	金沢市田丸町 55 の 1 (電) 金沢 (3) 6213~4
松本出張所	松本市本町 3 の 123 (電) 松本 (2) 1058
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) 大船 (6) 代表 3131
神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町 3 丁目 (電) 兵庫 (67) 代表 5041
伊丹製作所	尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (481) 8321 伊丹局代表 2481
長崎製作所	長崎市平戸小戸町 122 番地 (電) 長崎 (3) 代表 3101
名古屋製作所	名古屋市東区矢田町 18 丁目 1 番地 (電) 名古屋 (73) 代表 1531
福岡製作所	福岡市今宿青木 690 番地 (電) 福岡 (代表) 0431
福山製作所	福山市沖野上町 6 丁目 709 番地 (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 (0427) 一(7) 代表 3231・3241
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 928 番地 2 (電) 中津川 2121~8
和歌山製作所	和歌山市岡町 91 番地 (電) 和歌山 (3) 代表 1275
大船製作所	鎌倉市大船 800 番地 (電) 鎌倉 (6) 代表 2121
郡山製作所	郡山市字境橋町 1 番地 (電) 郡山 (2) 1229~1223
群馬製作所	群馬県新田郡尾島町大字岩松 801 番地 (電) 尾島 270 番 太田代表 4311 番
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
伊丹製作所	伊丹市大鹿字主ヶ池 1 番地 (電) 伊丹 大代表 5131
鎌倉製作所	鎌倉市上町屋 325 番地 (電) 鎌倉 (6) 大代表 6171
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 (92) 代表 1141
鎌倉製作所	名古屋市東区矢田町 18 丁目 1 番地 (電) 名古屋 (73) 代表 1531
札幌修理工場	札幌市北二条東 12 丁目 98 番地 (電) 札幌 (2) 3976

● フィリピン トレド 鉱山 向け 2×9,375kVA タービン発電機完成

フィリピンの ATLAS-CONSOLIDATED M & D 社の TOLEDO 鉱山向けとして、長崎製作所で製作されていた 9,375 kVA 空気冷却 タービン 発電機が、好成績のうちに工場試験を終了し、このほど、神戸港から船積みされた。

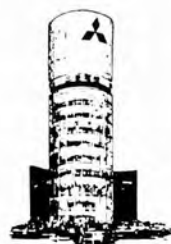
本機は新三菱重工業（神戸）製蒸気 タービン に直結される。

■ 主要定格

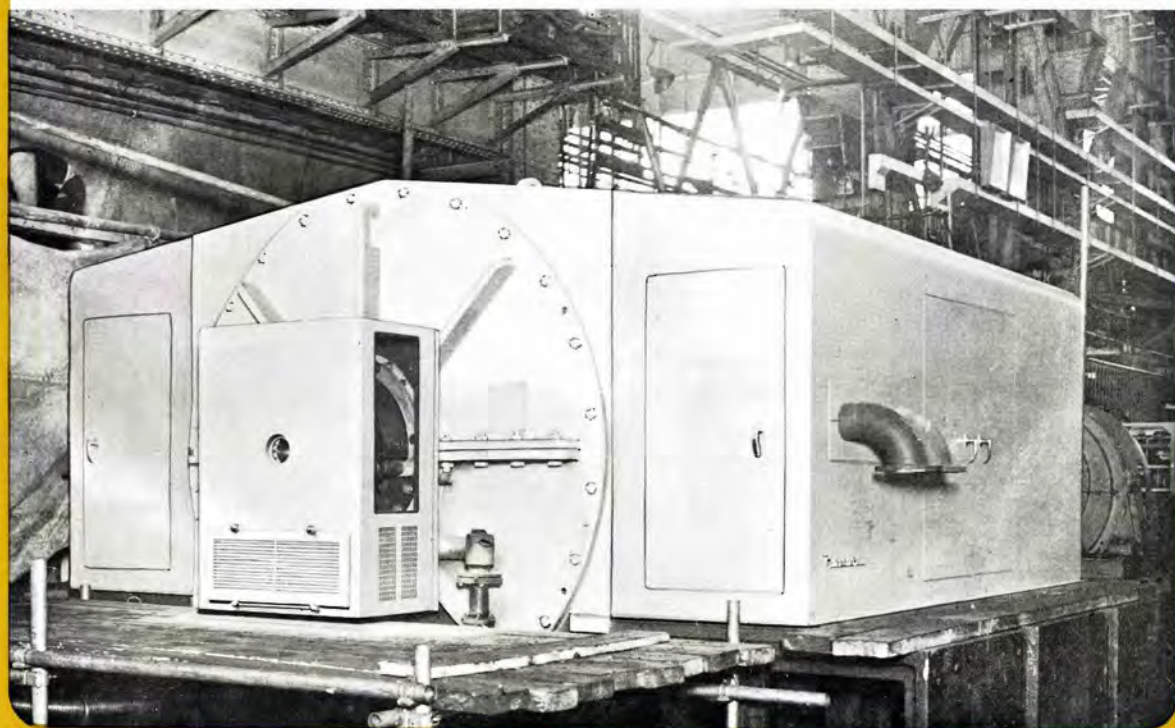
出力	9,375 kVA (7,500 kW) ただし、115% 負荷で連続運転可能
電圧	6,900 V 三相
周波数	60 c/s
回転数	3,600 rpm (2 極)
力率	80%
励磁機	50 kW, 125 V 直結励磁機
台数	2 台

■ 特長

- (1) 小形・軽量・コンパクトな構造とするために、片軸受 ブラケット 形とし、発電機の タービン 側軸受を除いた。
- (2) 発電機基礎の構造を簡単なものにするために、空気冷却器横抱き構造（発電機の両側に、軸方向に空気冷却器を取り付けたもの）を採用した。などであるが、同鉱山の主電源としての活躍が、大いに期待されている。



社会と企業を結ぶPR施設
三菱電機スカイリング



フィリピン トレド 鉱山 向け 2×9,375 kVA タービン発電機