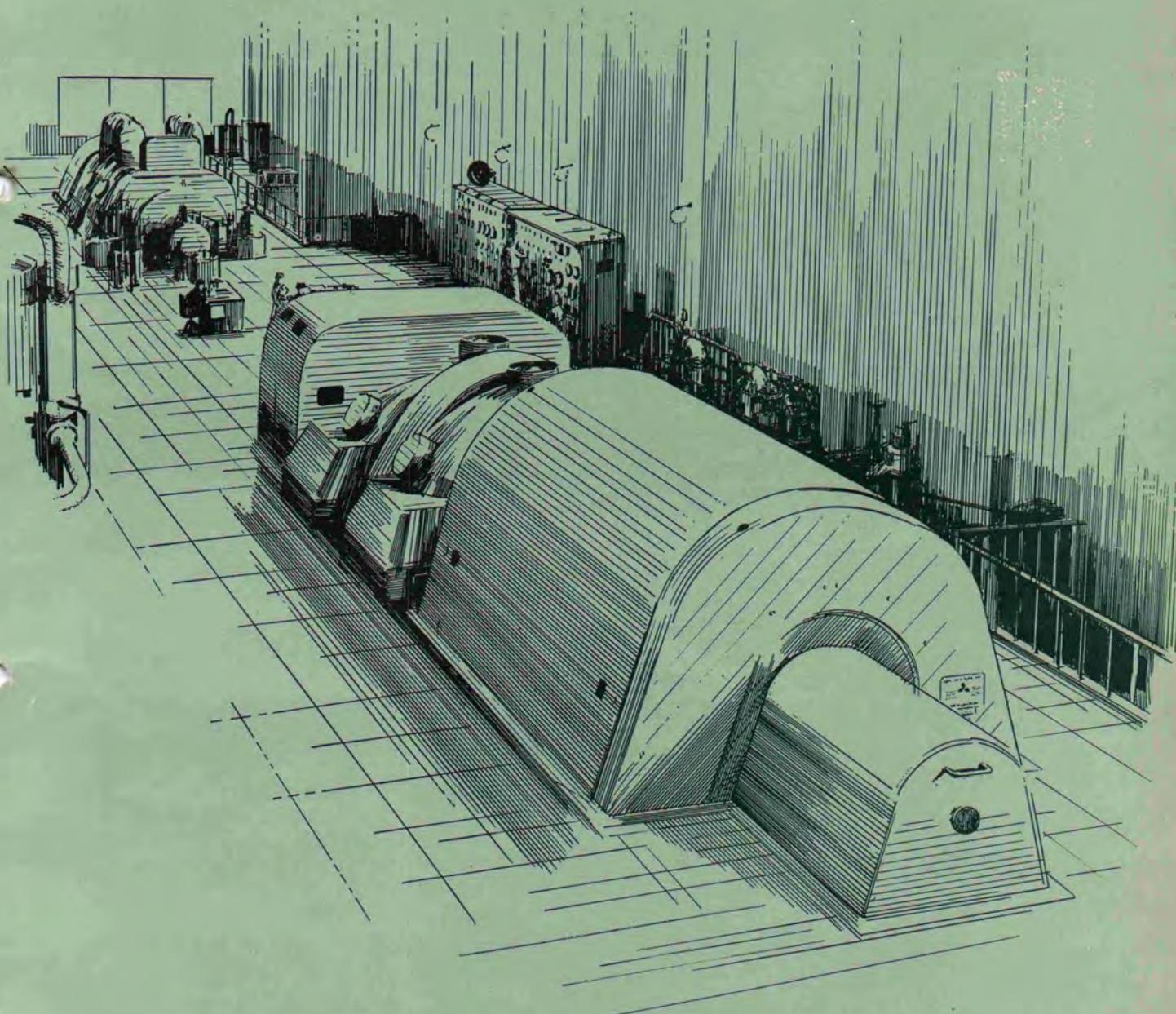
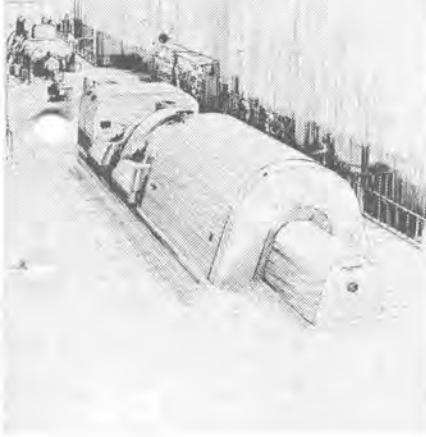


MITSUBISHI DENKI

# 三菱電機



Vol. 28 1954



MITSUBISHI DENKI

# 三菱電機

## 表紙説明

表紙のベン画は九州電力築上発電所納入  
66,250 kVA 13.2 kV 3,600 rpm 第2号水素冷  
却発電機と 55,000 kW 60 kg/cm<sup>2</sup> 482°C の  
タービンであります。後方に見える 43,750  
kVA 13.2 kV 3,600 rpm 第1号空気冷却発  
電機と共にわが国最大容量の新鋭機であります。

なお目下据付ならびに製作中のタービン発  
電機は下記のとおりであります。

九州電力相の浦発電所 #4

66,250 kVA(水素冷却)  
東京電力鶴見第二発電所 #1, #2, #3

81,000 kVA(〃 〃)

〃 新東京発電所 #2

81,000 kVA(〃 〃)

関西電力姫路発電所 #1

81,176 kVA(〃 〃)

四国電力西条発電所 #3

25,000 kVA(空気冷却)

中国電力小野田発電所 #4

41,177 kVA(〃 〃)

昭和 29 年 第 28 卷 第 4 号

## 目 次

柳津発電所水車について	水室 寛	2
柳津発電所向水車発電機	鈴木正材	9
凸極発電機の単相電流による過電圧	横須賀正寿	12
空洞波長計の広帯域の温度補償	喜連川 隆	18
導波管気密窓	喜連川 隆・東野義夫	24
ニュースフラッシュ		
HA 2 型ミシン		27
恒温恒湿の積算電力計工場		28
最近登録された当社の特許および実用新案		30

## 品質奉仕の三菱電機

本社 東京都千代田区丸の内(東京ビル)  
(電) 和田倉(20) 代表 1631-2331  
研究所 兵庫県尼ヶ崎市南清水  
神戸製作所 神戸市兵庫区和田崎町  
名古屋製作所 名古屋市東区矢田町  
伊丹製作所 兵庫県尼ヶ崎市南清水  
長崎製作所 長崎市平戸小屋町  
無線機製作所 兵庫県尼ヶ崎市南清水  
大船工場 神奈川県鎌倉市大船  
世田谷工場 東京都世田谷区池尻町  
郡山工場 福島県郡山市宇摩橋町  
福山工場 福山市仲野上町  
姫路工場 兵庫県姫路市千代田町  
和歌山工場 和歌山市岡町  
中津川工場 岐阜県中津市駒場安森  
福岡工場 福岡市今宿青木  
札幌修理工場 札幌市北二条東12  
大阪営業所 大阪市北区堂島北町8番地1  
(電) 福島(45) 5251-9  
名古屋営業所 名古屋市中区広小路通  
(電) 本局(23) 6231-5  
福岡営業所 福岡市天神町(三菱ビル)  
(電) 西(2) 5821-5825  
札幌営業所 札幌市大通リ西3の5  
(電) (2) 7236-7237  
仙台事務所 仙台市東一番丁63  
(電) 仙台 2573-8057  
富山事務所 富山市安住町23の2  
(電) 富山 4692-5273  
広島事務所 広島市袋町1(明治生命ビル)  
(電) 中 1059-4824  
高松出張所 高松市南紺屋町34の3  
(電) 高松 3178-3250  
小倉出張所 小倉市博労町63(富士ビル)  
(電) 小倉 3614

# 柳津発電所水車について

新三菱重工業株式会社神戸造船所

## 水室寛

### Kaplan Water Turbine for Yanaizu Power Station

Hiroshi HIMURO

Kobe Dockyard, Mitsubishi Heavy Industry Reorganized Company

A Kaplan type water turbine delivered to Yanaizu Power Station of the Tohoku Electric Power Company is the largest of the kind in Japan and next to the unit operating at Karapiro Power Station in New Zealand. It involves many epoch-making new features of which the most conspicuous is enormous size of the spiral casing, having an inlet diameter of 5.5 m. It is fabricated by welding at the site after being delivered in 38 pieces of plates for the convenience of transportation. Many other noteworthy details are given herein to prove its excellent design and reliable manufacture.

#### 1. まえがき

東北電力株式会社が昭和 26 年末着工された、只見川水系の柳津発電所は、昨年 6 月 4 日第 1 号機、7 月 3 日第 2 号機の予備試験を終え、引続き 8 月初旬の公式諸試験を無事終了して稼動に入つた。本機は本邦における最大容量カプラン水車なるのみならず、東洋においては New Zealand の Karapiro 発電所に次ぐものであるが、18 ヵ月の知時日に、しかも優秀な性能をもって完成了ことは、わが国水車発電機の技術レベルの高いことを示しているものと思われ、同慶の至りである。

わが国はもちろん、東洋および欧米ともに、残された水力地点には低落差が少くなく、戦後続々と大容量カプラン水車が開発されているとき、本機の成功は今後の水力開発に明るい見通しを与えたものといえる。

とくにこの水車については、性能上、構造上新しい試みを採用して、いずれも好結果を得ているので、それらの概要を紹介する。

#### 2. 水車設備概要

##### ア. 主水車

型式	豎軸渦巻カプラン水車		
有効落差 (m)	25.8	24.3	21.9

最大出力 (kW) 29,000 25,900 23,100

流量 ( $m^3/sec$ ) 126.7 120 120

回転数 (rpm) 143

比回転数 (kWm) 420 426 458

ランナ羽根数 6

案内羽根羽根数 24

保証事項

速度上昇率 28 %

水圧上界 11.1 m

##### イ. 吸出管

型式 エルボ型

川曲端まで 5.859 m 鋼板裏張

##### ウ. 調速機

型式

VSD 31,000 型

アクチュエータ AIII (キャビネット) 型

容量 45,300 kg-m

調速機閉鎖時間 3.5 sec

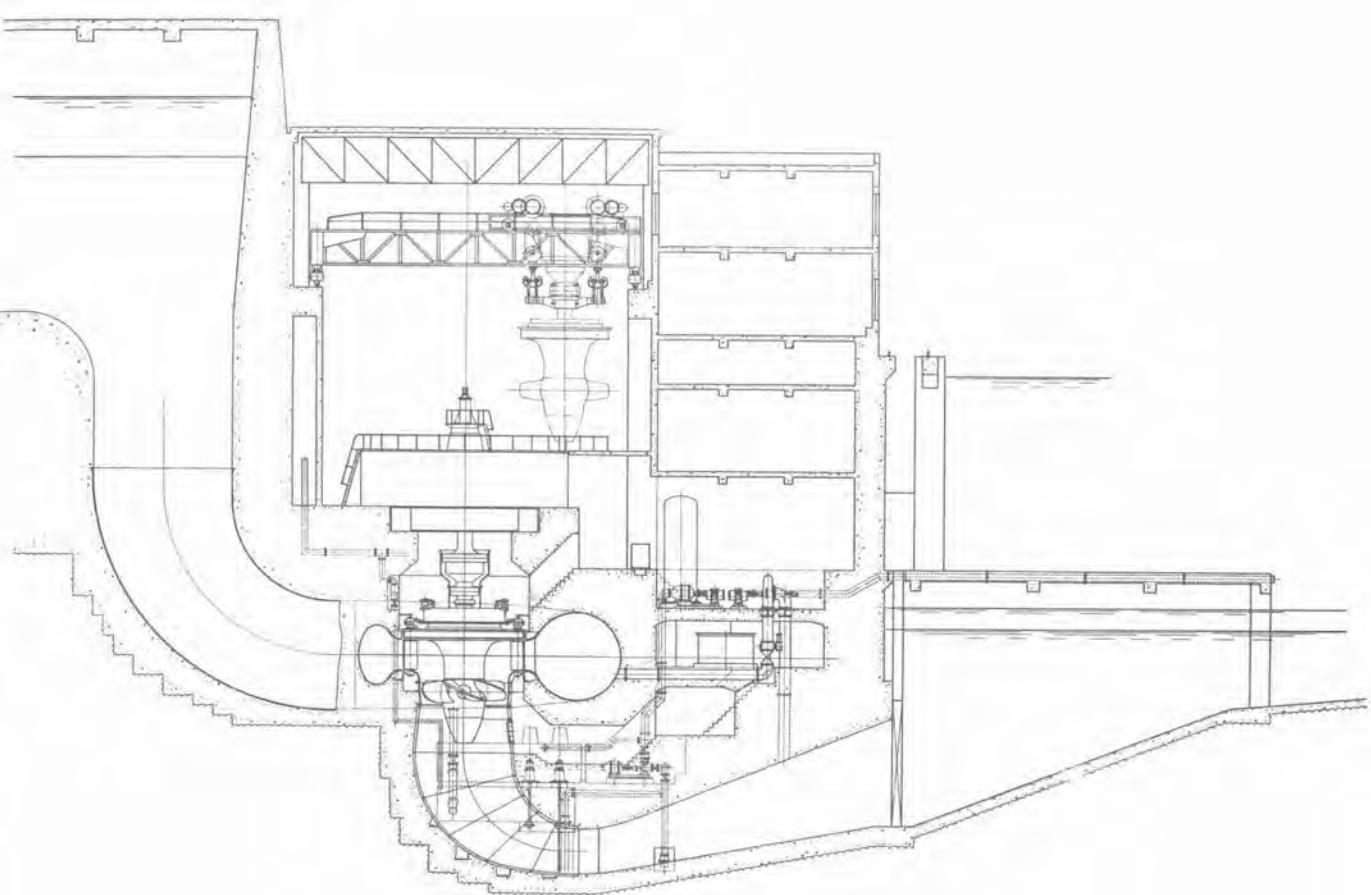
不動時間 0.2 sec

ランナ閉鎖時間 60 sec

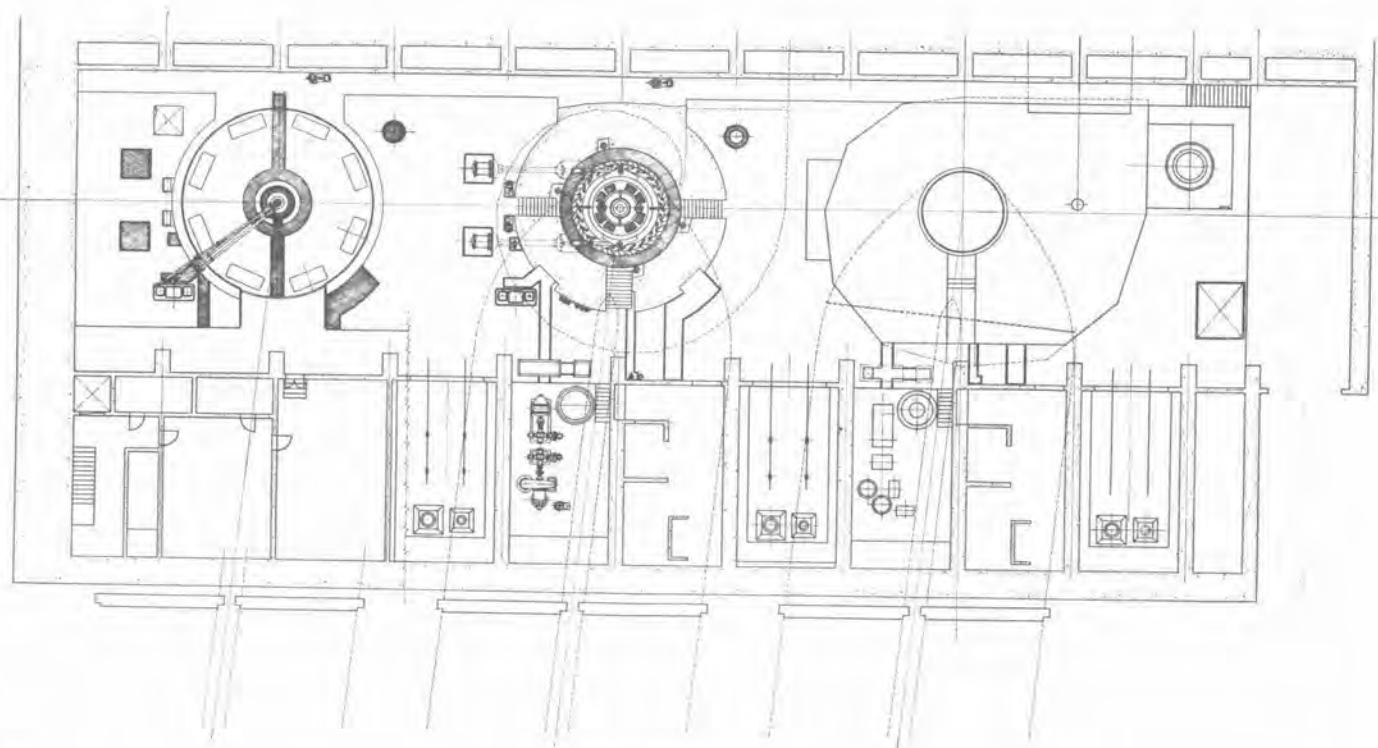
速度調定率 0~6 %

##### エ. 圧油装置

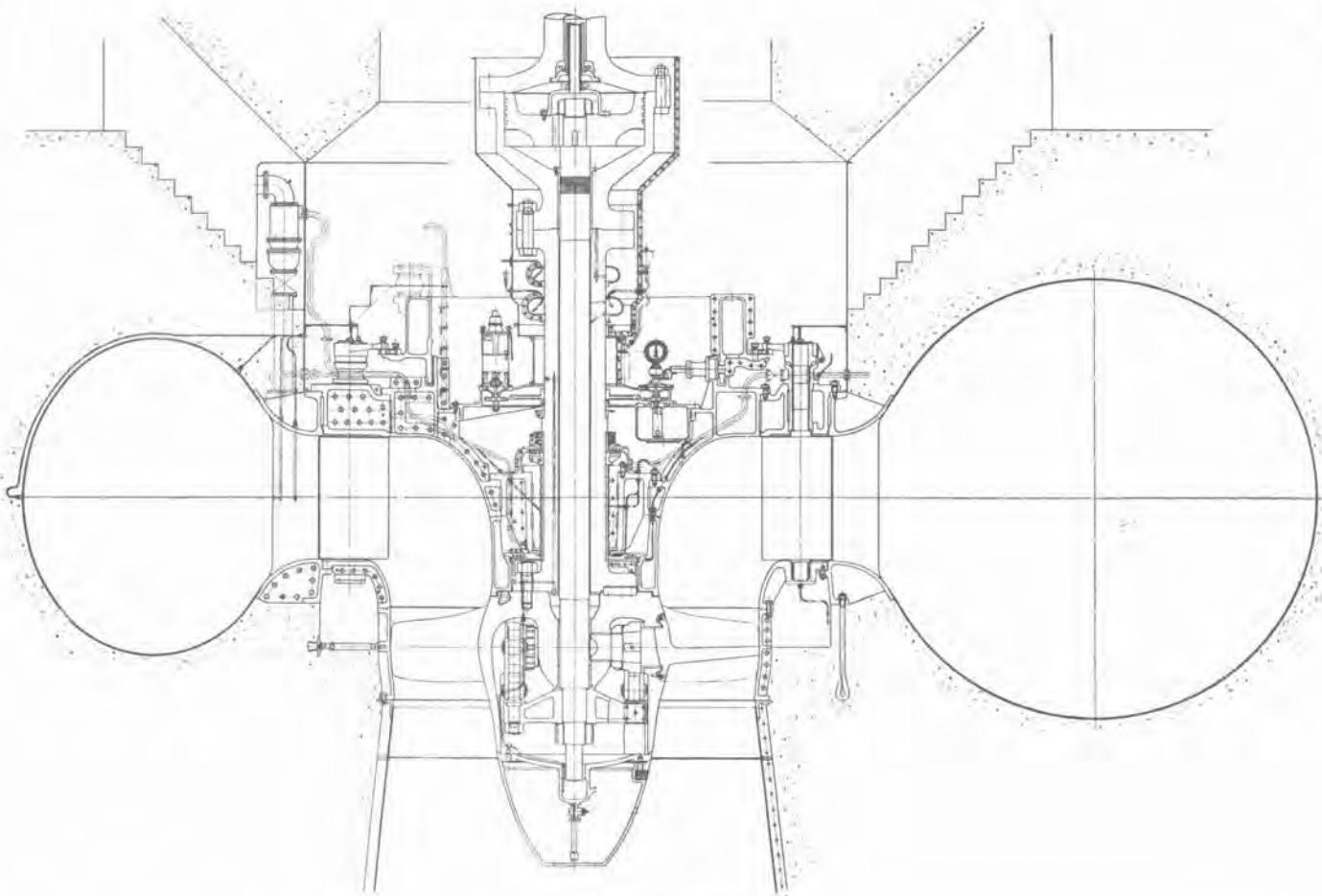
型式 単位方式



1 図 発電所断面図  
Fig. 1. Cross sectional view of power station.



2 図 発電所平面図  
Fig. 2. Plan of power station.



3 図 水車本体断面図  
Fig. 3. Cross section of water turbine.

油圧	19~21 kg/cm <sup>2</sup>
吐出量	900 l/min
電動機と小水車容量	85 HP
小水車型式	横軸フランシス (調速機付)
才、制御装置	
型式	1人制御方式

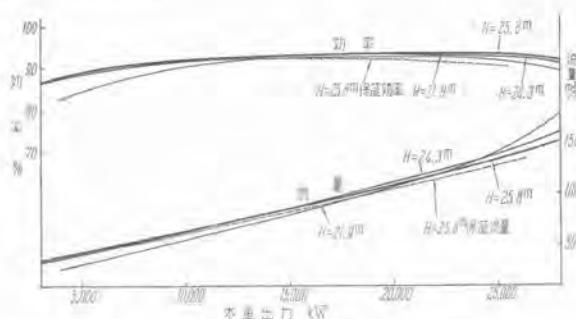
### 3. 水車性能

#### ア、水車効率

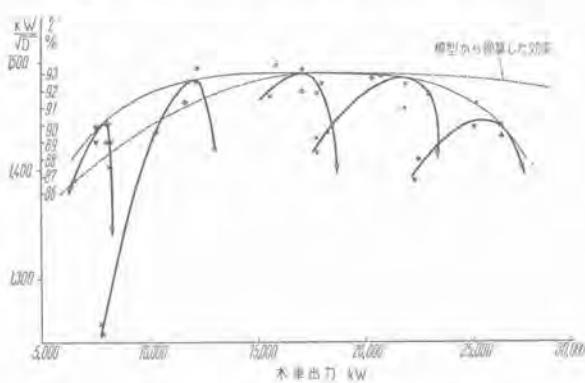
水車の性能の詳細については、模型を使用して検討するのが望ましい。われわれは水車設計に着手すると同時に、模型を作成し、約3ヶ月の後に完全な模型試験を完了して、保証値に対し相当程度の余裕を有することを確認した。すなわち 1/7.4 の完全に相似であるスパイラルケーシング付水車を作成し、その効率を Moody の換算式により求めた値は 4 図のとおりであった。

この水車のように大流量の計測は至難であって、実物水車の適確な効率は得られなかつたが、流量に対して実物と模型との間に相似則が完全に成立するものと仮定して、水車効率を求めるとき 94% 前後の効率となりその傾向は推定効率(換算効率)とほぼ一致した。

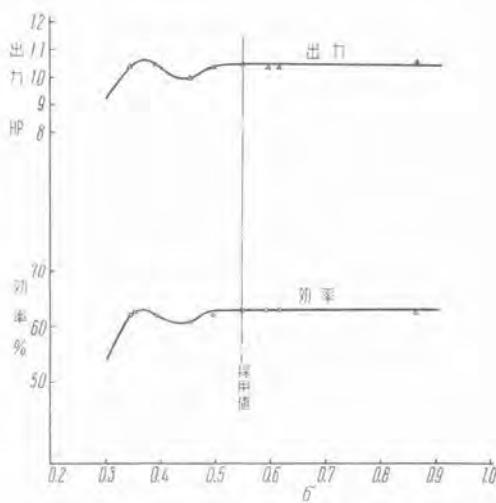
またべつに案門羽根とランナの関係を求めるため、Index Test により比較的の効率を求めたのが 5 図である。



4 図 水車性能曲線  
Fig. 4. Characteristic curve of water turbine.



5 図 Index Test による性能曲線  
Fig. 5. Characteristic curve at index test.



6 図 キャビテイション性能曲線  
Fig. 6. Cavitation characteristic curve.



7 図 キャビテイション発生状況  
Fig. 7. Occurrence of cavitation.

$$\eta = \frac{10^2 K W}{\gamma Q H} \quad \alpha = \frac{K W}{\sqrt{D}} \quad (1)$$

$\eta$ : 水車効率 %

$KW$ : 水力出力 kW

$\gamma$ : 水の比重 kg/m³

$Q$ : 流量 m³/sec

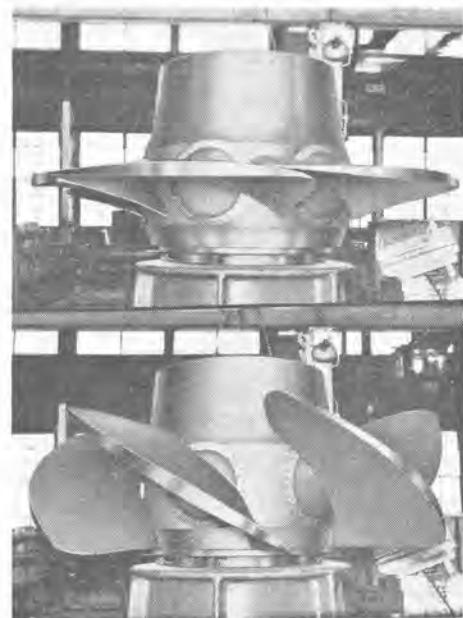
$H$ : 落差 m

$D$ : 流水の速度水頭を現わすマノメータの差 mmH₂O または mmHg

効率曲線が多少軽負荷の方へずつて  
いるが、これは従来しばしば見られた  
模型と実物との相互関係とよく似  
ている。ただしこの結果からこうし  
た普遍的関係を導くのは早計で、さ  
らに検討を要する。

#### 4. キャビテイション性能

水車のキャビテイションについて  
も、その性能を検討するには、真  
空度を広範囲に変化させ発生状況を試  
験する必要があるので、模型を使用  
するに如くはない。その試験結果は



8 図 ランナ  
Fig. 8. Runner.

6 図のような特性となり、実際使用の  $\sigma$  に対して充分安全であることを確認した。またべつにストロボライトによる観察および瞬間撮影(7 図)により、翼面に不都合なキャビテイションの発生しないことを確認している。

#### ウ. 調速機試験の検討

調速機試験の結果は1表に示すような性能を示し、い  
ずれも保証値を充分満足した。なお発電機の蓄勢輪効果  
が、計画値 3,600 ton-m² より大きく 4,300 ton-m² とな  
ったため、速度上昇率は 19.6 % に収った。(負荷 25,400  
kW にて)

#### 4. 水車本体構造

##### ア. ランナ

ランナ羽根は 13 クローム系不銹鋼製とし、ボスは普  
通銅製とした主要項はつきのとおりである。

ランナ外径	4,450 mm
羽根数	6

1 表 調速機試験記録

遮断負荷(kW)	開度		回転数		水圧		閉鎖時間				
	案内羽根(mm)	ランナ羽根(mm)	負荷時(rpm)	最大(rpm)	変動率(%n)	負荷時(m)	最大(m)	上昇値(m)	案内羽根(sec)	ランナ羽根(sec)	
# 1	6,500	210	24	143	146	2.1	22	25	3	2.4	15
	14,000	284	76	143	157	9.8	21.3	24.8	3.5	3.1	16.4
	20,000	345	119	143	165	15.4	20.8	27	6.2	3.3	17
	25,400	399	164	143	171	19.6	19.7	28.5	8.8	4.0	17
# 2	8,000	253	32	143	150	4.9	24	24.2	0.2	2.5	15
	14,500	308	72	143	154	7.7	24	27.8	3.8	3.0	15.8
	20,000	360	113	143	162	14.3	23.4	29.5	6.1	3.7	16
	25,000	400	145	143	170	18.9	22.3	31.0	8.7	4.1	16

## 重量

全重量（内部機構を含む）	50.5 t
羽根（1枚）	2.9 t
ボス	21 t

またランナボスの封水パッキンには、菱型の革パッキンを使用し、スプリングの圧縮により、外部の水圧および内部の油圧に耐える構造としている。これはさらに合成ゴムの進歩に伴って、その成型品を使用すべく目下研究中である。

### イ. スパイラルケーシング

鋼板製スパイラルケーシングとしては、東洋最大のもので入口直径 5.5 m である。さきに東北電力夏瀬発電所において、全溶接ケーシングの製作に成功したので、その経験により溶接構造を採用することとし、鉛接に比し強度を高め得た上に、工費において約 15% の節減を行うことができた。

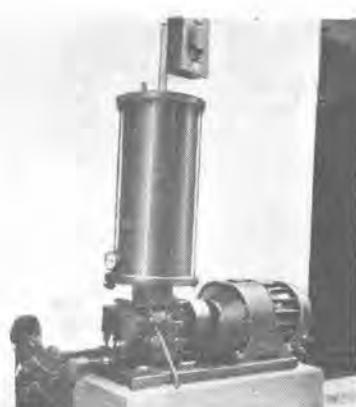
\* 輸送の関係上、ケーシングは 38 箇の板に分けたので、現場溶接の量が膨大となり、溶接ヒズミが大きくなつて本体の組立に支障を來すのを恐れ、スピードリングとの間は鉛接とした。しかし溶接過程で詳細なヒズミ計測を行い、また鉛接後の洩止焰接施行後のヒズミを確めた結果、適当な溶接工程を採用すれば、ヒズミが少く実用上支障のないことが判明したので、今後は全溶接を採用する予定である。

### ウ. 主軸受

カプラン水車の主軸受は、それが多く放水面以下に入るために、浸水の恐れがあり、運転上問題となることが多い。したがって軸受を油循環式とするか、水中グリース潤滑とするかについて議論の余地がある。われわれは両者の製作経験をもち、一長一短を有するものと考えているが、主として保守上の便宜から後者を採用した。この場合グリースを確実に給油することが必要で、その保護装置が問題となる。この水車では、Farval 型のグリース給油方式をとり、給油断の場合にはただちに予備ポン



9 図 スパイラルケーシング工場組立状況  
Fig. 9. Spiral casing under construction at the factory.



10 図 グリースポンプ  
Fig. 10. Grease pump.

ブに切換えるとともに警報を発するよう考慮した。その装置は 10 図に示す。

### エ. 停止時漏水防止装置

上述のとおり軸受部はつねに放水面下にあるので、その分解に際しては放水路門扉を下す必要がある。しかしその操作および排水が厄介であるので、特殊の封水装置が従来から採用されている。しかるにこれはハンドル操作の機械的なもので、土砂の混入、接触部の不具合等により所期の目的を達し得なかつたので、新しくゴムホース式に改良した。すなわち自転車のチューブのようなゴムホースを嵌装して、必要な際に圧縮空気を入れて水密を保つこととし、使用の結果好成績を収めた。

### オ. 吸出管ライニング

吸出管はコンクリートのライニングとして使用するのであるから、表面の平滑なことと、組立の容易なこととがキーポイントである。われわれは以前からフランジ接続としてボルト止めを採用しているが、溶接に比し、組立が簡単であるとの好評を得た。

## 5. 調速機

### ア. アクチュエータ

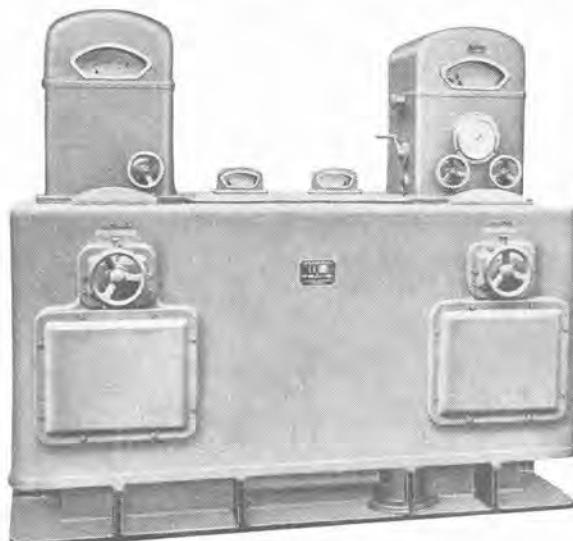
機器の性能、構造が完成され充分な成果を得た後に外装の美が要求されることは一般的の通念である。この観点からこの水車には、キャビネット型の調速機を始めて採用した。台筐上に設置した二つの小筐のうち、向って右は調速用のアクチュエータで、左はランナ開度調整装置を入れた。配圧弁は案内羽根用およびランナ用とともに台筐中に収容し、相互の関係開度を調整するカムは立体構造として、落差に応じて最も適当な位置を取らせることとした。

調速機駆動は、キャビネット下部に設置された 0.6 HP 1,500 rpm 壓軸同期電動機による。なおこの電動機によって駆動する歯車ポンプから吐出される圧油を用いて、アクチュエータを作動させてい



11 図 吸出管工場組立状況

Fig. 11. Draft tube under construction at the factory.



12 図 調速機

Fig. 12. Cabinet type governor.

るので、電源その他の故障時には確実に水車を閉鎖することができるとともに、アクチュエータ用油を水車の操作油から独立させてるので、塵埃の混入を完全に防止できる特長を持っている。

#### イ. サーボモータ

調速機サーボモータは、バレル外径の外に出し、水車室床面下に入れ踏板で覆った。最近わが国ではこの構造が多く採用されている。水量調整棒が長くなるが、本体およびサーボモータの分解と組立には便利である。

サーボモータの主要寸法はつぎのとおりである。

筒数	2
直径	550 mm
行程	515 mm
容量	45,300 kg-m
	227 l

調速機試験の際、オシログラムにより調速機閉鎖状況を観察したが、いずれも満足すべき結果を得た。

## 6. 圧油装置

### ア. 圧油ポンプ

単位式とし、電動常用、小水車駆動を予備とする1組を具備する。その吐出量は、案内羽根サーボモータの容量を15秒で補充する容量とした。したがって歯車ポンプとしては記録的容量で、歯の周速は7.29 m/secに達し、運転の当初相当な音響を発したこともあるが、適切な手入れの結果好調な運転を継続している。

### イ. 圧油槽

ポンプのローディング油圧で調速機の三行程およびランナの一行程を確保し、停止油圧で案内羽根およびランナを完全閉鎖して停止することを条件としたため、容量12,000 lとなった。

なお現在運転中のローディングとアンローディングの時間はそれぞれ約30秒と30分で、非常に余裕のある運転状態だといえる。

## 7. 運転制御装置

水車の自動制御中とくに意を用いたのはつぎの諸点である。

### ア. 圧油自動阻止弁

水車停止時に調速機からの漏油を防止するため、自動油防止弁を使用した。そのために案内羽根のロッキングをはずす前にこの阻止弁を開いて調速機へ圧油を通じる必要があり、またロッキングを下したことを確認して後この阻止弁を閉鎖する。これを電気的に行うほか純機械的にインターロックした。

### イ. 起動停止確認装置

水車の起動の際に、あらかじめ起動開度を定めておいてその位置まで案内羽根を開く方法を従来採用していた



13 図 小水車工場組立状況

Fig. 13. Small turbine under construction at the factory.



14 図 ランナ吊込状況  
Fig. 14. Runner under suspension.

が、落差の変化する場合には、その位置を変化させる必要があり厄介である。この水車では間歇時に案内羽根を開き、起動した位置で止めるという合理的方式が採用された。

#### ウ. ランナ開閉用電磁弁

案内羽根とカムにより連動させたランナ開閉装置のほかに、電磁弁をべつに設け、水車起動時のトルクを増すとともに、停止時に減速を早めるため、ともにランナを適当の位置まで開くこととした。

#### 8. む す び

以上水車の大要につき説明したが、その運転成績は好調で、将来さらに只見川の上流開発に伴う1台の増設をまつて、3台 87,000 kW となって東北の電力に偉容を加える日が待たれる。

われわれは戦前すでに下流の新郷・山郷発電所を建設し、木曽川に兼山発電所を完成して、本邦における大容量カプラン水車に先鞭をつけたが、当時はまだ外国技術の追随の域を脱し得ない嫌いがあった。その後独自の実験、研究に努力を傾注してわが国の国情に合った水車の開発に力を注ぐとともに欧米諸国との技術の趨勢にも充分意を払い、批判の上その長を探った結果、本機は真にわが国技術の粋として、外国品に劣らぬ成果を挙げ得たと確信している。

しかし技術の推移は日進月歩であり、まま水車発電機のような半永久的施設は数年に涉る運転実績を待って、始めて正確なる批判が下されるものと考える。この意味において、今後ご使用者始め関係者の忌憚なき批判および意見を仰いで、眞に水力日本の名に相応しい優秀な製品として行くよう努力することを念願して止まない。

# 柳津発電所向水車発電機

神戸製作所

鈴木正材\*

## Water Turbine Generator for Yanaizu Power Station

Masaki SUZUKI

Kobe Works

A Kaplan type water turbine driven umbrella type generator delivered to Yanaizu Power Station of the Tohoku Electric Power Company carries the laurel as the largest of the kind ever built in Japan. It has undergone not only every rigid routine test but also a run away speed test which is unprecedented in the factory, the results being all very successful and painstaking efforts on the design and manufacture being fully testified.

### 1. まえがき

電源開発計画が進捗するにつれて、つぎつぎと大型機が製作されつつあるが本東北電力株式会社納柳津発電所向水車発電機はカプラン水車直結傘型発電機としては本邦最大容量の記録品である。さきに工場試験にて特性、無拘束速度試験は好成績にて終了し、昨年8月初旬に公式試験も無事終了して運転中である。無拘束速度試験については三菱電機 1953. 7月号に記載のとおりである。当社はさきに旧満州国境泊湖、東北電力夏瀬に後には中部電力久瀬、関西電力椿原に同型式のものを納入し共に良好なる運転実績を上げている。本機は幾多の改善、斬新なる設計にて製作されたもので下記に大要を紹介する。

### 2. 発電機の仕様

29,000 kW カプラン水車直結、傘型発電機。

閉鎖風道循環型

容量	30,000 kVA	2 台
力率	90 %	
電圧	11,000 V	
電流	1,575 A	
周波数	50 c/s	
回転数	143 rpm	
極数	42	
蓄勢論効果	3,600 tM <sup>2</sup>	(保証値)
短絡比	1.0 以上	(保証値)
無拘束速度	332 rpm	

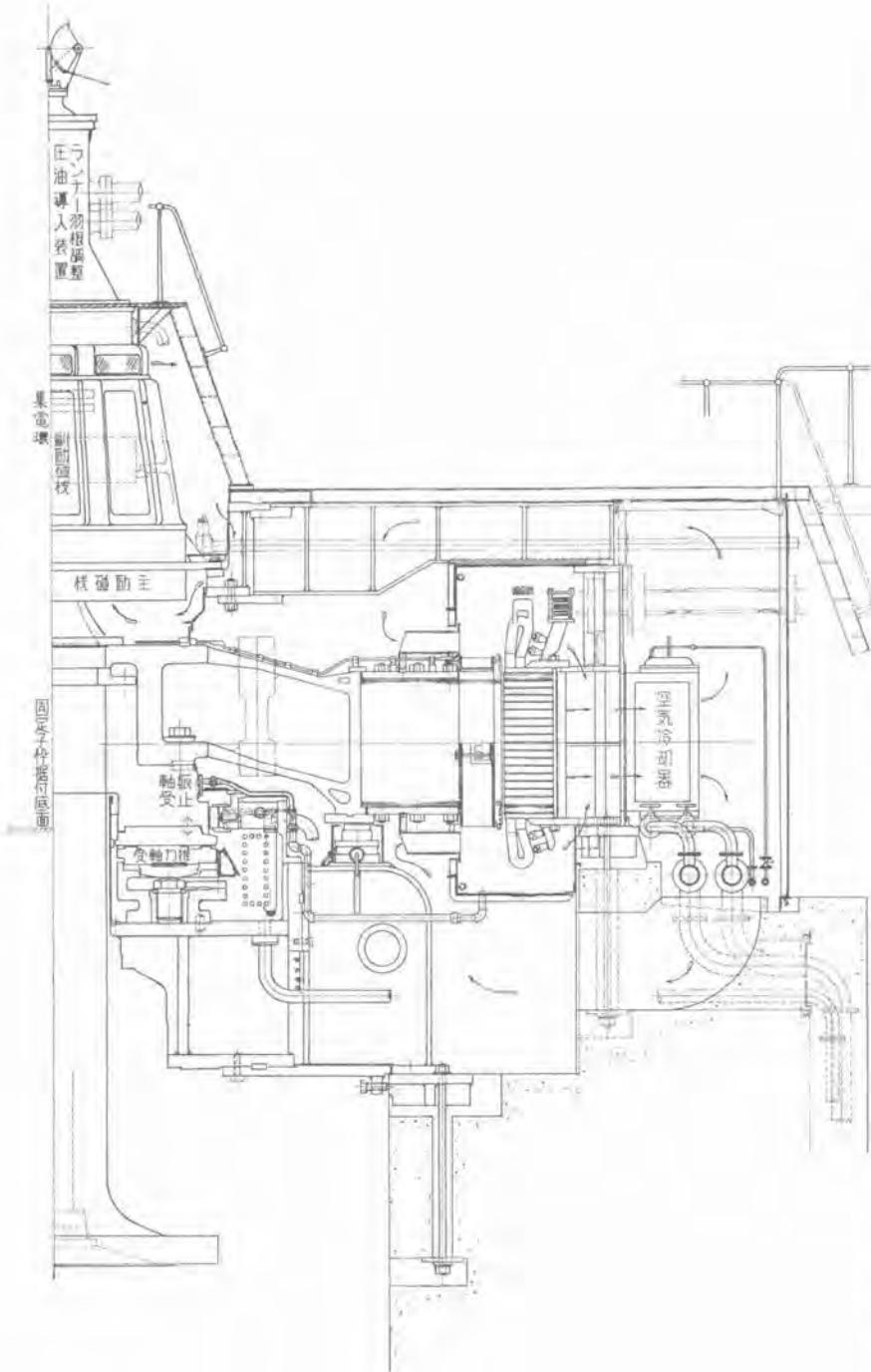
機械損を考慮すると 323 rpm  
 主励磁機 2 台  
 160 kW 220 V 143 rpm 12 極 他励差動分巻  
 副励磁機 2 台  
 10 kW 110 V 143 rpm 10 極 分巻

### 3. 発電機の構造および特性

1 図は現地据付状況、2 図は発電機の構造を示す。固定子枠は鋼材溶接構造とし、頑丈にしてしかも重量軽減を行い 3 図のように四つ割としている。円周上等距離に



1 図 30,000 kVA 傘型発電機  
 Fig. 1. 30,000 kVA umbrella type generator.



2 図 発電機断面図

Fig. 2. Sectional view of generator.

関係上励磁機継鉄部は上プラケット内部に入り込み上部に取りつけた刷子類の点検、取替えに不便を来たし勝ちである。本機は2図のように上プラケット周囲上に適当な高さの低床部を設け、上記のような不便をなくしている。

上プラケットは鋼材溶接構造とし、足は全部胴部より取外し輸送に便利なようにした。約710トンの軸推力とそれを支持する推力軸受等の荷重を受けるに充分な頑丈な構造である。下プラケット自身が推力軸受槽の一部を形成し上部に槽の一部を設けてこれに振止軸受関係および油冷却管を取付けているので、取付け、取外しが容易である。4図のように三菱式傘型発電機は最大重量部である回転子を取り外して、軽荷重で推力軸受調整を行うことができること、および別個に他場所でも行うことができる特長を有している。固定子巻線の素線は裸線および二重ガラス巻線との結合により構成し、完全B種絶縁を施し、充分にコンパウンドの真空含浸を行い内部に気泡等の残らぬよう完全な処理を行っている。損失角の対電圧曲線は2.8%より3.6%の変化にして上下線はループを画かず良好であった。

回転子構造は先に三菱電機 1953, 7月号に記載したとおりであり、ここには省略するが種々構造に改善された方式を採用した。とくに主軸は下部水車軸との間に取付けるサーボモータの関係上相当大きいフランジが必要となるが、これを一体として鍛造した記録品である。

空気冷却器は冷却管の外周に硬銅線を数箇からみ合せた伝熱要素を取付けた冷却効果の大なるものであり、堅置きとして、固定子枠に密着して取付けてあり、取付け取外しが容易な方法を採用している。

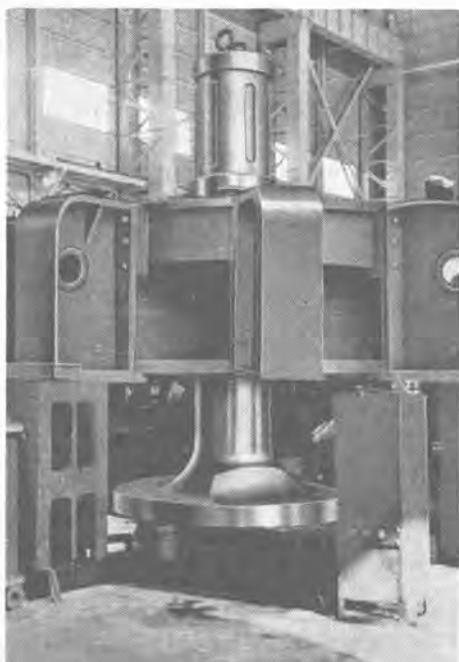
消火装置は手動注水とし、発火を早期発見のため、機

8箇の空気冷却器を直接取付けるような構造とし、台床片間に半径方向のノックを用いて、異常回転力に耐え得る構造は従来と同様である。この方式によれば異常回転力に充分耐え得ると同時に外枠の熱による半径方向の伸びに対し無理がない。固定子鉄心はT<sub>120</sub>を用い、打抜後充分焼純を行つたものを使用している。上プラケットは荷重も軽く簡単軽量にして、輸送のため中央環状部の所にて、取外しできる8本の足を持ち、足間には補強を加えて上部覆の振動等ないよう充分考慮をしている。

傘型発電機においては主軸上部には取付けるべき付属品がなく、空間的に余裕もあり、かつまた安定の点より主軸上部に直接励磁機を設置して、上背を低く計画する



3 図 固定子枠の四分割  
Fig. 3. Stator frame divided into four parts.



4 図 下ブラケット組立  
Fig. 4. Assembling of lower bracket.

内適当な個所に多数箇の温度ヒューズを取付け、おのるのは直列に使用していざれか一つの断線にて警報するようしている。励磁機通風は2図のように主励磁機下部より上部へ通すようにし、温風が循環しないようにした。本機のように低速度機では上部に扇車を取付けることは扇車の周速度が低下し通風量が減少するがその点はとくに考慮している。

調速機運転用電源交流発電機は水車軸に歯車で結合し、起動時は蓄電池より励磁を与え運転状態にて副励磁機に切替える。調速機用同期電動機は低速度より容易に



5 図 空気冷却器  
Fig. 5. Air cooler.

主軸回転に追従することができる。

発電機特性は下記のとおりである。

実測能率は各負荷にて保証値を上回る好結果を得た。

定格力率全負荷にて 97.43 %

100 % 力率全負荷にて 97.78 %

工場試験の等価温度上昇試験は空気冷却器を取り付け、通水して、機内通風状態を実際に近いものとして行った。温度上昇値は所期どおりの値を得た。試験は下記のとおりである。

銅損、鉄損温度上昇試験値合計 55°C

実負荷試験温度上昇値 58°C

共にサーモカップル法による

実測リアクタンスおよび時定数は下記のとおりである。

$x_2 \dots 26.27\%$   $x_0 \dots 18.13\%$   $x_d' \dots 36.65\%$   $x_q' \dots 64.7\%$

$x_d'' \dots 36.65\%$   $x_q'' \dots 25.69\%$

$T_d' \dots 2.0$  秒  $T_d'' \dots 0.015$  秒  $T_a \dots 0.167$  秒  $T_{d0'} \dots 8.67$  秒

#### 4. む す び

以上柳津発電所向水車発電機の大要について述べた。本機のような記録的製品を短日時にて設計、製作を行い、無拘束速度試験その他あらゆる試験を行って満足な成績を得たことは当社技術の成果を示すものである。終りに本機製作に当り、あらゆるご援助、ご指導を賜った東北電力株式会社の関係各位に深く感謝する次第である。

# 凸極発電機の単相電流による過電圧

研究所  
横須賀正壽\*

## Overvoltages of Salient Pole Generators by Single Phase Loading

Masatoshi YOKOSUKA  
Engineering Laboratory

Salient field poles lead to the unbalance of current, which in turn brings about overvoltages of the synchronous generators a matter of common knowledge. In the single phase reclosing practice employed in the salient pole machine without damper windings, overvoltages are prone to appear in an appreciable amount. Simplified assumptions are worked out to explain this phenomenon with equations and charts. The damper winding, however, affords very efficient means to cope with this advantage.

The overvoltage is also met with in the interruption of load current, but its duration is so short that it hardly does any harm.

### 1. まえがき

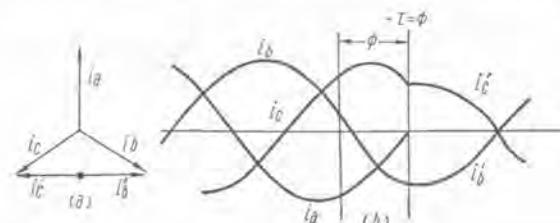
同期発電機の電機子は三相巻線であるのに対し、界磁巻線は単相巻線であるために、不平衡電流が流れると高調波を生ずることは古くから知られている。界磁に制動巻線の如き多相巻線を設けるか、あるいはターボ発電機の如き円筒型界磁を用いれば（この場合は回転子が制動巻線と同様の作用をする）この現象が軽減されることもよく知られている。最近は水車発電機にもすべて制動巻線をつける傾向にあるが既設の古い発電機はほとんど制動巻線をもたないために、この現象によって危険な過電圧を生ずる恐れのある場合も少くない。戦後各方面的理論的研究ならびに現場実測によってこの現象は明らかとされつつあり、従来しばしば遭遇した事故の原因が、この高調波過電圧によるものと考えられているものも沢山ある。その代表的なものはいわゆる高調波共振による過電圧であるが、他の一つの面として、重要度は前者に劣るが、単相再閉路の如き単相負荷による過電圧を考えることができよう。前者の高調波共振については別の機会に譲ることとし、今回は後者の単相負荷時の過電圧についてのべることにする。これは負荷遮断時に生ずる過渡的過電圧と本質的に同一であって、従来すでに断片的に報告したが<sup>(1)(2)(3)</sup>、ここにやや詳細にのべてご参考に供したいと思う。

### 2. 計算式

無負荷発電機を端子で線間短絡した場合の過電圧については、生じ得る最大電圧として相電圧の  $\frac{3}{2} xq''/xd''$  な

いしは  $3/2(2xq''/xd'' - 1)$  倍が位相関係によって生じ得ることが Doherty によって示されている。ここに  $xd''$  および  $xq''$  はそれぞれ発電機の直軸および横軸次過渡リアクタンス（単位法）である。これに対して今ある負荷で運転していた発電機が単相再閉路の如く 1 相が遮断されて単相負荷となる場合を考えよう。負荷を 3 相遮断する場合も、実際はある相がまずその電流零値で遮断され、残りの 2 相は単相電流となり、これが次のその電流零値で同時に遮断されると考えられるから、過渡的にこの現象を含む訳である。

簡単のために発電機をいわゆる理想発電機と考え、一方負荷電流は 1 図に示すようにたとえば a 相が遮断され



1 図 電流関係  
Fig. 1. Relation of current.

れば、b c 相はその時の瞬時値を波高値とする単相電流となると考える。もちろんこの単相電流値は回路条件によって異なる訳であるが（付記 2 参照）近似的には大体満足されることは実測例の示すとおりである。

このように仮定して計算すると、発電機端子で a 相が遮断された時の端子電圧は単位法で表わして次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} V_{ab} &= \sin\left(\tau + \frac{\pi}{6} - \delta\right) + \frac{\sqrt{3}}{2} ix \cos(\tau - \phi) \\ &+ \frac{3}{2} iy \cos\left(3\tau - \phi + \frac{\pi}{6}\right) - \frac{1}{2} iy \cos\left(\tau + \phi + \frac{\pi}{6}\right) \\ V_{bc} &= \sin\left(\tau - \frac{\pi}{2} - \delta\right) + \frac{3}{2} iy \cos\left(3\tau - \phi - \frac{\pi}{2}\right) \\ &- \frac{1}{2} iy \cos\left(\tau + \phi - \frac{\pi}{2}\right) \\ V_{ca} &= \sin\left(\tau - \frac{7}{6}\pi - \delta\right) - \frac{\sqrt{3}}{2} ix \cos(\tau - \phi) \\ &+ \frac{3}{2} iy \cos\left(3\tau - \phi - \frac{7}{6}\pi\right) - \frac{1}{2} iy \cos\left(\tau + \phi - \frac{7}{6}\pi\right) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここで  $i$  は遮断前の電流,  $x = 1/2 \cdot (x_d'' + x_q'')$ ,  
 $y = 1/2 \cdot (x_d'' - x_q'')$  (いずれも単位法),  $\delta$  はいわゆる  
内部相角,  $\phi$  は電流と内部起電力との間の角であって  
力率角を  $\theta$  とすれば (2 図参照)

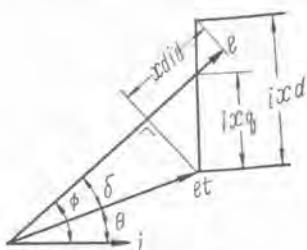
$$\phi = \delta + \theta \quad (2)$$

となり、横軸リアクタンスを  $x_q$  とすれば

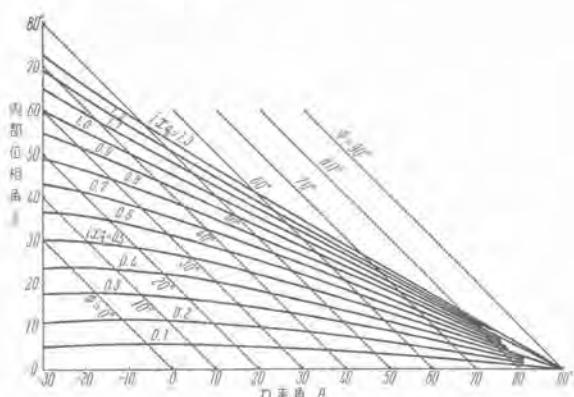
$$\tan \delta = \frac{ix_q \cos \theta}{1 + ix_q \sin \theta} \quad (3)$$

で求められる。3 図に  $ix_q$  をパラメータとして  $\theta$  と  $\delta$  を表わしてあり、 $\phi$  も記入してあるから機械の定数および負荷がわかれば端子電圧を計算できる。(1) 式の第 1 項は定常時の端子電圧であり、第 2 項以下が変化分である。変化分は基本波分と第三高調波分を含むが、それ以上の高調波を含まないのは電流変化分を正弦波と仮定したからである。 $x$  および  $y$ 、すなわち次過渡リアクタンスのみならず電流の力率および横軸リアクタンス  $x_q$  にも関係する。

$dy$  接続の変圧器高圧側で遮断された場合は発電機端子電圧は (高圧側 b 相遮断として) (4 図参照)



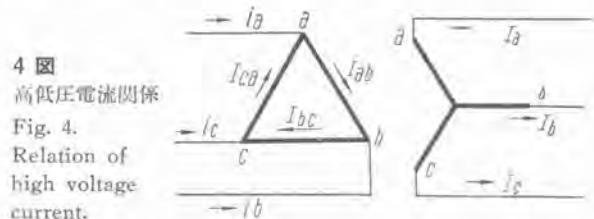
2 図 ベクトル図  
Fig. 2. Vector diagram.



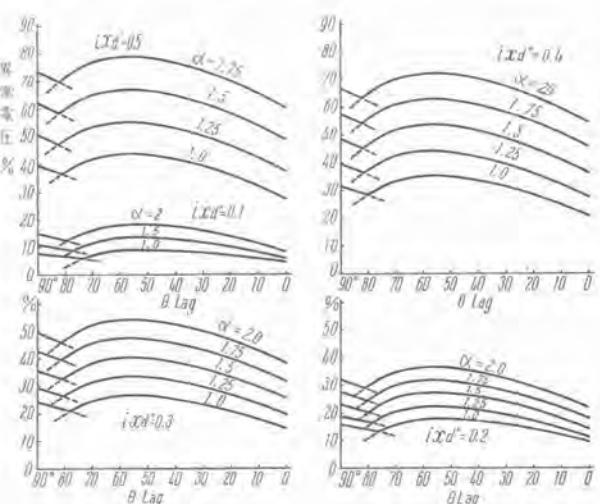
3 図  $\theta$ ,  $\delta$  および  $\phi$  の関係

Fig. 3. Relation between  $\theta$ ,  $\delta$  and  $\phi$ .

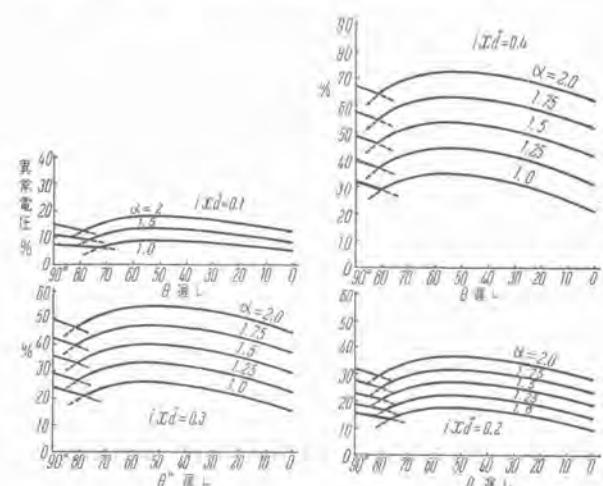
$$\left. \begin{aligned} V_{ab} &= \cos\left(\tau + \frac{\pi}{6} - \delta\right) - \frac{1}{2} ix \cos(\tau - \phi) \\ &- \frac{3}{2} iy \cos\left(3\tau - \phi - \frac{\pi}{3}\right) + \frac{1}{2} iy \cos\left(\tau + \phi - \frac{\pi}{3}\right) \\ V_{bc} &= \cos\left(\tau - \frac{\pi}{2} - \delta\right) + ix \cos(\tau - \phi) \\ &- \frac{3}{2} iy \cos\left(3\tau - \phi - \pi\right) + \frac{1}{2} iy \cos\left(\tau + \phi - \pi\right) \\ V_{ca} &= \cos\left(\tau - \frac{7\pi}{6} - \delta\right) - \frac{1}{2} ix \cos(\tau - \phi) \\ &- \frac{3}{2} iy \cos\left(3\tau - \phi + \frac{\pi}{3}\right) + \frac{1}{2} iy \cos\left(\tau + \phi + \frac{\pi}{3}\right) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$



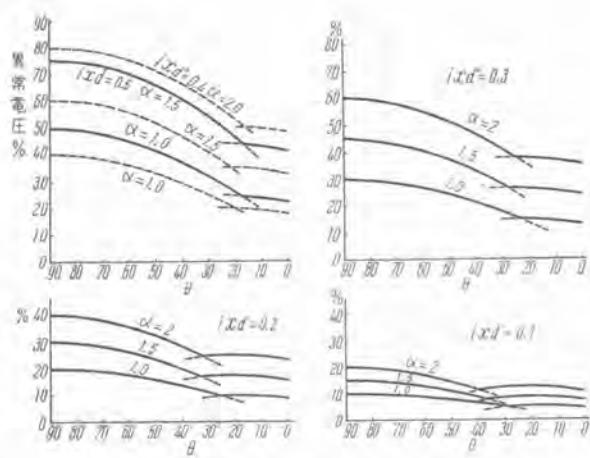
4 図  
高低圧電流関係  
Fig. 4.  
Relation of  
high voltage  
current.



5 図 (a) 端子遮断  $ixq = 0.7$   
Fig. 5. (a) Interruption at terminals  $ixq = 0.7$

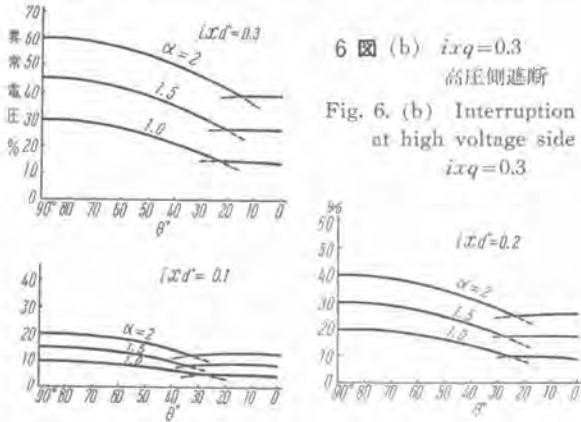


5 図 (b) 端子遮断  $ixq = 0.3$   
Fig. 5. (b) Interruption at terminals  $ixq = 0.3$



6 図 (a)  $ixq=0.7$  高圧側遮断

Fig. 6. (a) Interruption at high voltage side  $ixq=0.7$



6 図 (b)  $ixq=0.3$

高圧側遮断  
Fig. 6. (b) Interruption at high voltage side  $ixq=0.3$

中性点の移動がないと考えれば、変圧器のインピーダンスを  $z$  として、(4) 式において  $xd''$ ,  $xq''$  の代りにそれぞれ  $xd''+z$ ,  $xq''+z$  を用いれば高圧側対地電圧を得ることになる。

発電機端子で遮断の場合を考えると、 $\theta$  が小、すなわち力率がよい時は  $V_{ab}$  が最高となり、 $V_{bc}$  がそれに次ぎ、 $V_{ca}$  はほとんど変わらないが、力率が悪くなると  $V_{ca}$  がだんだん大きくなり  $\theta=90^\circ$  すなわち力率零付近では  $V_{ca}$  が一番高くなる。高圧側 b 相遮断の時は  $V_{bc}$  が一番高く、 $V_{ca}$  がこれにつぐが、 $\theta$  が零に近い付近では  $V_{ca}$  の方が高くなる。

(1) 式および (4) 式を計算し、最高電圧の相についてその常規波高値を越える変化分のみを 5 図および 6 図に一例を示す。図中  $\alpha$  は  $xq''/xd''$  を表わす。図中曲線が折れ曲っているのは、最高電圧となる相がそこで変るためである。制動巻線のない機械では、 $xd''/xq''$  の代りに  $xd'$  および  $xq'$  を使用すべきことはもちろんである。

一般的にいって、力率が悪い方が過電圧は高くなる傾向にあり、 $\alpha$ ,  $ixd''$  についてほぼ比例的である。すなわち横軸および直軸次過渡リアクタンスの比が大きい程、リアクタンスが大きい程、また負荷が大きい程過電圧は高くなる。 $ixq$  についても普通の機械の範囲では比例的である。したがって種々の定数および負荷に対するもの

は、5 図または 6 図を内外挿して見当をつけ得る。発電機が定格電圧以外で運転されている場合には、機械の定数を(定格電圧)/(運転電圧) 倍すればよい。

5 図と 6 図を比較すると発電機端子で遮断した方が高い電圧を生じている。前記の如く変圧器のインピーダンスを発電機の中に含めて考えると 5 図は高圧側で遮断した時の高圧側の線間電圧になり、6 図は対地電圧になる。すなわち線間電圧の方が高電圧を生じ得ることになる。絶縁を考える時には変圧器高圧側では線間電圧よりも対地電圧がむしろ重要であるが、安全側に考えて高い方の 5 図を基に考えた方がよいと思う。

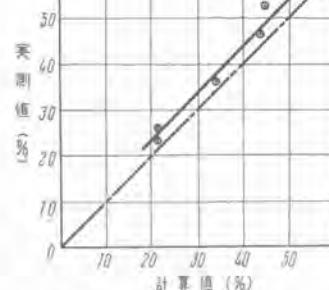
### 3. 発電機並列接続の場合

同一定格の発電機が並列に接続されていて同一負荷をとつており一方が制動巻線をもち、他方にはない場合には、その等価リアクタンスは

$$xd'' = \frac{xd_1'' \cdot xd_2''}{xd_1'' + xd_2''} \quad xq'' = \frac{xq_1'' \cdot xq_2''}{xq_1'' + xq_2''}$$

となる<sup>(5)</sup>。すなわち両機の直軸および横軸次過渡リアクタンスをそれぞれ別箇に並列にしたリアクタンスを直軸および横軸リアクタンスとしてもつことになる。ただし単位法で表わす場合には発電機電流が 1 台の場合の 2 倍になるから、% リアクタンスとしてはこの 2 倍をとらねばならない。たとえば 1 号機が  $xd''=0.3$ ,  $xq''=xq=0.6$ , 2 号機が  $xd''=0.2=xq''$ ,  $xq=0.6$  とすれば、力率 80 % で定格負荷とすれば過電圧は単独の場合は 1 号機 52.5 %, 2 号機は 16 % となるが、2 台並列の場合は  $xd''=0.24$ ,  $xq''=0.30$  となり、過電圧は 25 % となつて約半分になる。

### 4. 検 計



7 図 神代発電所結果

Fig. 7. Results at Jindai Power Station.

前述のように上記の現象は発電機の負荷を遮断するような場合にも過渡的に現れるから、発電機の調速機試験等の時のオシロをしらべることによって上記機構および仮定に対する検討をすることがで

1 表 神代発電所結果

発電機	1号機				2号機
	2	3	4	5	
番号	2	3	4	5	16
負荷 (kW)	5,000	7,500	10,000	10,000	5,000
発電機電圧 (V)	9,820	9,800	9,800	9,900	9,950
力率 (%)	100	100	100	100	100
異常電圧変化分 (%)	25	36	52	46	23
同上計算値 (%)	21.4	34.0	44.8	43.5	21

きる。その二、三の例を示そう。

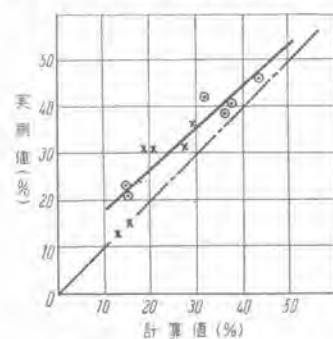
#### ア. 神代発電所1号機および2号機

発電機は 12,000 kVA, 11 kV で制動巻線はない。 $(xd'' = xd' = 0.30, xq'' = xq = 0.602)$ 。昭和 24 年 10 月に行った調速機試験の時に得られた測定値と、それに対する計算値を示すと 1 表および 7 図のようであって、実測値の方が多少高くなっているが、その相関性はよい。

#### イ. 新郷発電所1号機および3号機

発電機は 14,000 kVA, 11 kV で制動巻線はない。 $(xd'' = xd' = 0.33, xq'' = xq = 0.533)$ 。昭和 24 年 10 月神代に引続いで行った調速機試験の結果は 2 表および 8 図の如くである。図中○印は高速度撮影によるもの、×印は低速度撮影によるもので、低速度撮影によるものは精度は多少よくない。低速度撮影によるものはバラつきが大きいが、高速度撮影のものは全体的にやや高いが計算値との相関性はよい。負荷時の電圧波形が少し歪んでいたことがかなり影響しているものと思われる。

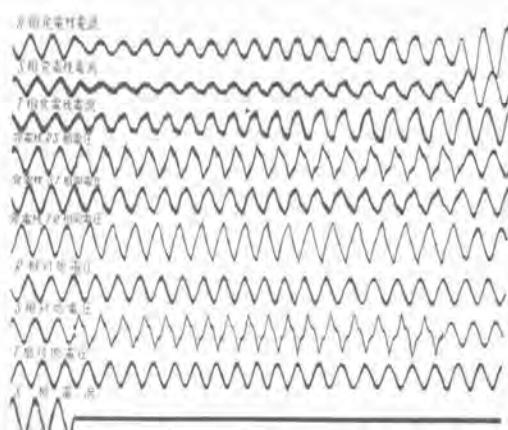
#### ウ. 江卸発電所1号機および2号機



8 図 新郷発電所結果

Fig. 8. Results at Shingo Power Station.

共に 115,000 kVA, 11 kV の発電機であるが、1 号機は制動巻線があり ( $xd'' = 0.15, xq'' = 0.134, xq = 0.531$ ) 2 号機は制動巻線がなく ( $xd'' = 0.26, xq'' = 0.531$ )、比較に好都合であった。この場合は低圧側での遮断および高圧側で



9 図 (a) 江卸発電所2号機  
単相再閉路試験オシロ  
(再投入時の電流が S 相に現れていないのは試験回路構成上 CT の位置が適当でなかったためである)

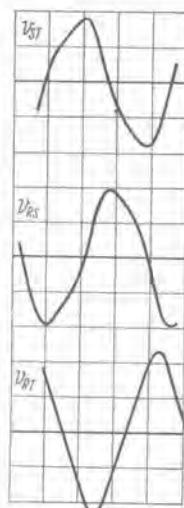


Fig. 9. (a) Oscillograms of single phase reclosing test on No. 2 machine at Eosho Power Station.

9 図 (b) 波形計算値  
Fig. 9. (b) Calculated values of wave forms.

の遮断を比較し、また両発電機を並列にした場合も試験した。結果は 3 表に示す如くであって、1 号機は過電圧が非常に少なくて制動巻線の効果が著しいこと、発電機

2 表 新郷発電所結果

\* 低速度オシロによる記録

発電機	1号機												3号機															
	番号	1	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	16	1号機	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	16	
負荷 (kW)	3,750	9,750	3,250	6,500	6,500	3,250	6,500	9,750	9,750	12,000	3,250	6,500	6,500	6,500	1号機	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	16	
発電機電圧 (kV)	10.2	10.3	10.4	10.2	10.3	9.9	10.1	10.1	9.9	10.2	9.9	10.4	9.8	9.8	1号機	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	16	
力率 (%)	85	98	85	97	98	84	85	93	93	97	87	85	92	92	92	1号機	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	16
異常電圧変化分 (%)	*13	41.5	20	*30	*31	*15	*33	38.5	40	46	22	*36	*31	*31	*31	1号機	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	16
同上計算値 (%)	13	31	15	20	18	15	29	36	37	43	15	29	27	27	27	1号機	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	16

3 表 江卸発電所結果

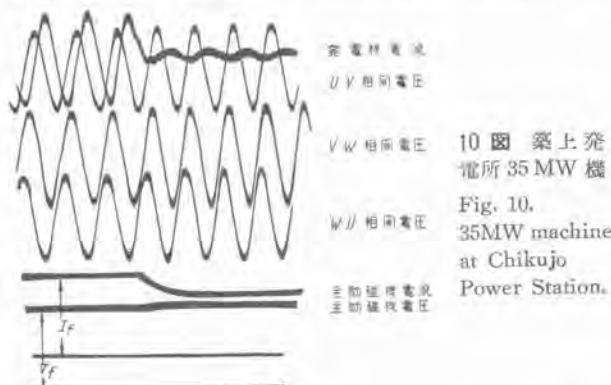
発電機	1号機	同左	同左	同左	2号機	1号機	同左	同左	同左	2号機	同左	並列	並列												
														1号機	2号機										
遮断点															66 kV 側										
負荷 (kW)	2,500	5,000	7,500	10,000	9,300	2,550	5,000	7,500	10,000	5,000	7,500	5,000	5,000	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500		
発電機電圧 (kV)	9.2	9.6	9.58	9.7	9.7	9.25	9.58	9.8	9.8	9.7	9.7	9.9	9.9	9.9	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	
力率 (%)	83	86	89	96	92	76	81	87	92	79	79	87	87	87	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	
異常電圧変化分 (%)	11kV側実測値	6	6	14	14	49	2	4	10	10	22	33	5	5	8										
同上計算値	4.5	8	11	13	47.5	5	9	9.5	9.5	26.5	35	6.5	6.5	9.5											
66kV側実測値	—	—	—	—	—	5	13	19	24	44	50	23	23	23	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
同上計算値	—	—	—	—	—	7.5	15	15.5	15.5	32	42	10	10	10	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5

側での実測値は計算値とよく合うことがわかる。高圧側での値は対地電圧であるが実測値がかなり高くなっている。これは系統が非接地であったために中性点移動が入ってきていているためである。発電機側の電圧が実測値と計算値とよく合うことから、先に述べた仮定が近似的に許されることがわかる。

またこの場合には単相再閉路試験を行っているが、そのときのオシロならびに計算波形を9図に示す。(5,000 kW, 進み 94%, 電圧 9.6 kV) 波形はかなりよく似ているが、実際のオシロの方が高調波分が多い。これは電流がオシロで明らかのように高調波を含むのを、計算では無視しているためであって、この結果計算値は ST 相(相回転は RTS, 高圧側 S 相遮断)が 91%, RS 相はほとんど変らず、RT 相は 118% となるのにに対し、実際は ST 相 94%, RS 相 115%, RT 相 116% となり、RS 相の差が大きいが、最高値のみについてあまり変わらない。注目すべきは時間と共に電流動揺によって発電機電流は増加し、電流の高調波もまた成長し、これによって異常電圧も増加して高圧側で 180% に達していることである。これは中性点の移動も加味されているのであるが、この割合で全負荷を考えると 260% (常規対地電圧の 2.6 倍) となることになり危険電圧と考え得る。

## エ. 築上発電所 1号機

これはターボ発電機であって、制動巻線を有しないが円筒回転子のためにアモルト効果が大きく過電圧を生じない例である。18,000 kW 負荷遮断のときのオシロは 10 図に示すようにほとんど電圧を発生していない。(実例値 5%, 計算値 6%) 引続いて行った単相再閉路試験においても波形の変化はほとんど認められず、ターボ発電機ではこの種の異常電圧は全然問題とならないことを示している。(機械定数: 43,750 kVA, 13.2 kV,  $xd'$



4 表 界磁電圧変化

	神代 1号機				神代 2号機		新郷 2号機			新郷 3号機		
負荷 (kW)	5,000	7,500	10,000	11,500	5,000	11,600	3,250	6,500	9,750	6,500	9,750	12,000
最大値 (%)	183	242	295	259	156	298	174	237	235	200	245	260
同変化分 (V)	54	105	169	158	37	181	63	112	126	100	152	172
同計算値 (V)	29	44	59.5	66.5	29	64.5	21	33.6	53	37.7	49.8	62.7

$$=0.127, \quad xq''=0.137, \quad xq=1.55)$$

## 5. 界磁電圧の変化

固定子に単相電流が流れると界磁には 2 倍周波数の電流が流れ、2 倍周波数の電圧を誘起する。励磁機等の外部回路のインダクタンスを  $L$  とすれば界磁端子の電圧変化は次式で表わされる。

$$\Delta V_f = -L \frac{d(\Delta I_f)}{dt} \\ = -Li(xd-xd') \cos(2\tau-\phi) I_f$$

最大値は

$$\Delta V_{f\max} = LI_f \cdot i(xd-xd') \text{ volt}$$

ただし  $I_f$  は単位界磁電流、すなわち無負荷定格電圧に対する界磁電流 (Amp),  $i$  および  $(xd-xd')$  は単位法で表わした発電機電流およびインピーダンスである。制動巻線があると  $(xd-xd')$  の係数は修正を要する。

実測例は 4 表に示すとおりであって、いずれも実測値の方がかなり高い値を示している。これは界磁電流変化分は実測と計算とがかなりよく一致していることから考えて、励磁機回路のインダクタンスのとり方に相当問題があるものと考えられる。神代の例では最高約 300% の電圧 (変化分は 200%) を示しており、場合によっては危険電圧となるであろう。

## 6. むすび

上記からつぎのことがいえる。

1. 簡単な仮定の下での計算値は実際の場合と比較的よく合う。ただし電流の高調波を無視している等により多少低くする傾向にある。
2. 過電圧は  $xd''$ ,  $\alpha=xq''/xd''$  および電流が大きい程大きい。
3. 普通の運転範囲では力率が悪い程大きい。
4. 普通の機械では制動巻線がなくとも過電圧分は 50~60% 程度であろうが、単相再閉路中の電力動揺によって 100% 程度にはなり得る。中性点移動があるとさらに上記の値は大きくなり得る。
5. 制動巻線はこの現象の防止にはなはだ有効である。制動巻線のある機械との並列運転も有効である。
6. 励磁機端子に常規電圧の 3 倍位の電圧が生じ得るから、場合によっては整流子表面の閃絡の可能性もある。
7. 上記現象は通常の負荷遮断時にも起るが、継続時

間が短いから、あまり問題にはならないであろう。

以上に引用した実測例は、各電力会社、電力技術中央研究所等との共同試験の結果によるものであってここに厚く御礼申上げる。また測定、計算に社内の多くの人達の援助を頂いていることを付記して謝辞としたい。

### 文 献

- 横須賀、潮 凸極発電機の一解析法、24回聯大、C・1・1
- 横須賀、山田、潮 制動巻線を有せざる凸極発電機の負荷遮断時の過渡現象、24回聯大、C・1・2
- 横須賀 交流発電機負荷遮断時の異常電圧 関西支部講演会 4・20 昭 27・10
- 潮 凸極発電機の負荷遮断時の異常電圧について 電学誌、昭 26・7 p. 304
- 潮 同期機過渡現象の解析 三菱電機 26巻、4号、5号

### 付記 1. 式の誘導

文献(4)にも示されているが掲げておく。

負荷時の定常項とこれに重複する変化分とにわけて考える。1図のような電流変化をすると考えると電流変化分は次のようになる。ここに  $\phi$  は電流の位相角(a相内部起電力を基準とする)。

$$\begin{aligned} \Delta i &= \begin{pmatrix} \Delta i_a \\ \Delta i_b \\ \Delta i_c \end{pmatrix} = -i \begin{pmatrix} \sin(\tau-\phi) \\ \sin(\tau-\phi-\frac{2}{3}\pi) \\ \sin(\tau-\phi-\frac{4}{3}\pi) \end{pmatrix} + \frac{\sqrt{3}}{2}i \begin{pmatrix} 0 \\ -\cos(\tau-\phi) \\ \cos(\tau-\phi) \end{pmatrix} \\ &= -i \sin(\tau-\phi) \begin{pmatrix} 1 \\ -\frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2} \end{pmatrix} \end{aligned}$$

すなわち  $\Delta i_\alpha = -i \sin(\tau-\phi)$   
 $\Delta i_\beta = 0, \quad i_0 = 0$

$\Delta i_\alpha, \Delta i_\beta$  は電流の Clarke 成分である<sup>(5)</sup>。

発電機の式としては Park の式を  $\alpha, \beta$  成分に変換し、抵抗を無視すれば<sup>(6)</sup>

$$\left. \begin{aligned} \Delta e_\alpha &= -p(x+y \cos 2\tau) \Delta i_\alpha - py \sin 2\tau \cdot \Delta i_\beta \\ \Delta e_\beta &= -py \sin 2\tau \Delta i_\alpha - p(x-y \cos 2\tau) \Delta i_\beta \\ \Delta e_0 &= -px_0 \Delta i_0 \end{aligned} \right\} \quad (付 2)$$

ただし  $x = \frac{1}{2}(xd''+xq''), \quad y = \frac{1}{2}(xd''-xq'')$

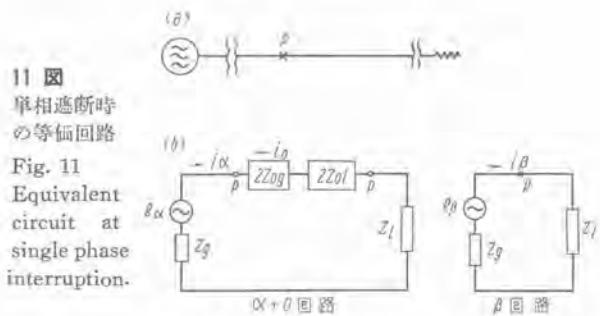
制動巻線がない場合は  $xd'', xq''$  はそれぞれ  $xd'$  および  $xq'$  となることはもちろんである。

(付 2) 式を (付 1) 式に入れて計算すれば

$$\left. \begin{aligned} \Delta e_\alpha &= ix \cos(\tau-\phi) + \frac{3}{2}iy \cos(3\tau-\phi) \\ &\quad - \frac{1}{2}iy \cos(\tau+\phi) \\ \Delta e_\beta &= \frac{3}{2}iy \sin(3\tau-\phi) - \frac{1}{2}iy \sin(\tau+\phi) \\ \Delta e_0 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (付 3)$$

発電機の相電圧は

凸極発電機の単相電流による過電圧・横須賀



$z_{0g}$ : p 点からみた電源側零相インピーダンス  
 $z_{0l}$ : 負荷側零相インピーダンス

$$\begin{pmatrix} \Delta e_\alpha \\ \Delta e_\beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2}\sqrt{3} & 2 \\ \frac{1}{2}\sqrt{3} & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta e_\alpha \\ \Delta e_\beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta e_\alpha \\ -\frac{1}{2}\Delta e_\alpha + \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta e_\beta \\ -\frac{1}{2}\Delta e_\alpha - \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta e_\beta \end{pmatrix}$$

故に端子電圧は

$$\begin{pmatrix} \Delta V_{ab} \\ \Delta V_{ba} \\ \Delta V_{ca} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta e_\alpha - \Delta e_\beta \\ \Delta e_\beta - \Delta e_\alpha \\ \Delta e_\alpha - \Delta e_\beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{3}{2}\Delta e_\alpha - \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta e_\beta \\ \sqrt{3}\Delta e_\beta \\ -\frac{3}{2}\Delta e_\alpha - \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta e_\beta \end{pmatrix} \quad (\text{付 4})$$

(付 3) 式を (付 4) 式に入れ、線間電圧を基準とするために  $\sqrt{3}$  で割れば本文(1)式の第2項以下を得る。

高圧側遮断の場合は、2図を参照しつつ b 相遮断とすると、高圧側電流変化は同様に

$$\Delta I = I \begin{pmatrix} \frac{1}{2} \sin(\tau-\phi) \\ -\sin(\tau-\phi) \\ \frac{1}{2} \sin(\tau-\phi) \end{pmatrix}$$

低圧側では単位法で表わして

$$\Delta i = \begin{pmatrix} \Delta I_{ab} - \Delta I_{a0} \\ \Delta I_{bc} - \Delta I_{b0} \\ \Delta I_{ca} - \Delta I_{c0} \end{pmatrix} = i \begin{pmatrix} 0 \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} \sin(\tau-\phi) \\ \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(\tau-\phi) \end{pmatrix}$$

すなわち

$$\Delta i_\alpha = 0, \quad \Delta i_\beta = -i \sin(\tau-\phi), \quad \Delta i_0 = 0$$

あとは同様である。ただし基準ベクトルが高圧側 b 相であるから、遮断前の発電機端子電圧は

$$V_{ab} = \cos\left(\tau + \frac{\pi}{6} - \delta\right) \dots$$

となる。

### 付記 2. 単相再閉路時の電流。

11 図 p 点にて単相再閉路をした場合(A相開放)の等価回路は 11 図(b) のようになる。すなわち  $\alpha$  回路には、開放点において、開放点からみた電源側、負荷側の零相インピーダンスの 2 倍が直列に入ることになる。本文で仮定したのはこの零相インピーダンスが非常に大きく、電流は  $\beta$  回路のみで定めることである。(電流が  $\beta$  電流のみになるから、電流変化分としては  $\alpha$  電流のみ) 直接接地系ではこれはかなりの相違を来す可能性はあるが、零相インピーダンスの 2 倍が直列になるのであるから、電流は大体は  $\beta$  回路できることになる。

# 空洞波長計の広帯域の温度補償

無線機製作所

喜連川 隆\*

## Broadband Temperature Compensation of Cavity Wavemeter

Takashi KITSUREGAWA

Electronic Works

The temperature compensation of the cavity wavemeter for microwaves has been based on a device utilizing two kinds of metals having different expansion coefficients, while in this article is given detail of another method to make the use of two kinds of screws with different pitches in addition for the purpose of compensating broadband temperature together with necessary formula and calculations on designs. For example such a result as  $\left| \frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} \right| < 2 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$  has been obtained with type TE<sub>011</sub>-mode cavity wavemeter for 3,700~4,200 Mc band.

### 1. まえがき

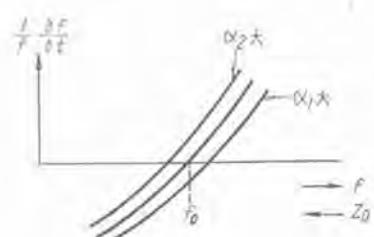
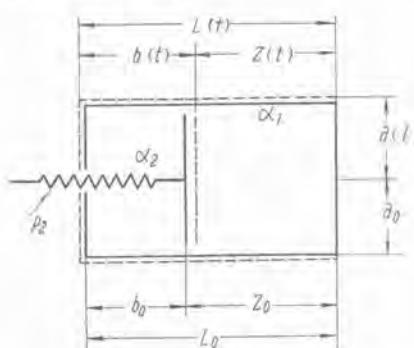
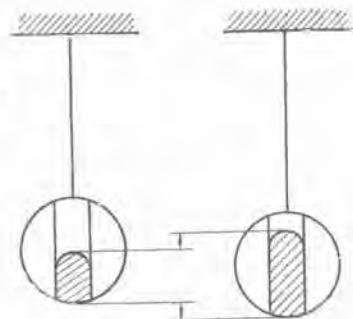
マイクロ波の波長測定には円筒形空洞波長計を用いるのが常識になっている。しかし、この空洞波長計の温度変化による共振周波数変化の割合すなわち共振周波数の温度係数は波長計を構成する金属の線膨脹係数  $\alpha$  と同じ大きさであって

$$\frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} = -\alpha \quad t = \text{温度} \quad \alpha = \text{線膨脹係数}$$

にて与えられ案外大きなものである。たとえば  $\Delta t = 20^{\circ}\text{C}$  としても黄銅製空洞波長計ならば  $\alpha = 20 \times 10^{-6}$  で  $\frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} = -4 \times 10^{-4}$  となるから、 $f = 7,000 \text{ Mc}$  ならば  $\Delta f = -3 \text{ Mc}$  となる。

この空洞波長計の温度変化による共振周波数の変化を補償するのにまず考えられるることは、振子時計の振子の温度補償と全く同様に空洞の円筒部とピストン軸とに膨脹係数の相異なる金属を用いることである。しかしこの方法はただ一点の周波数に対してしか  $\frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} = 0$  とならないのでさらにピッチの相異なる2種のねじをピストン軸に用

- (a) 時計振子の温度補償  
(a) Temperature compensation of pendulum type clock.



(b) 二種の金属と一つのねじとを用いた空洞波長計の温度補償  
(b) Temperature compensation of cavity wavemeter using two kinds of metals and one screw

1 図 簡易温度補償

Fig. 1 Simple temperature compensation.

い、二点の周波数において  $\frac{\partial f}{\partial t} = 0$  ならしめる広帯域温度補償の方法について簡単な考察を試み、設計のために必要な公式と設計のための計算順序とを記した。一例として 3,700~4,200 Mc 用の H<sub>011</sub> 型円筒空洞波長計にて  $\left| \frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} \right| < 2 \times 10^{-7} / ^\circ C$  なる結果が得られた。また参考のために空洞波長計の安定度、精度、確度等についても述べてある。

## 2. 2 種の金属と一つのねじとを用いた温度補償の狭帯域なる理由

軸長  $z$ 、半径  $a$  なる円筒形空洞共振器の共振周波数(<sup>(1)</sup>)  $f$  は

$$f = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon\mu}} \sqrt{\frac{1}{z^2} + \left(\frac{w}{a}\right)^2}$$

にて与えられる、ここに

$$w^2 = (ka/\pi)^2$$

$$ka = x_{lm}$$

は  $H$  姿態に対しては  $J_l'(x) = 0$  の  $m$  番目の根で

$H_{11k}$  姿態:  $J_l'(x) = 0$  の第 1 番目の根  $x_{11} = 1,841$

$H_{01k}$  姿態:  $J_l'(x) = 0$  の第 1 番目の根  $x_{01} = 3,832$

$C$ =光速度=  $2.997902 \times 10^8$  meter/sec

$\epsilon$ =空洞内媒質の比誘電率

$\mu$ =空洞内媒質の比導磁率

である。

さて、空洞の軸長  $z$ 、および半径  $a$  等を温度  $t$  の函数として、

$$a = a_0(1 + \alpha_1 t)$$

$$L = L_0(1 + \alpha_1 t)$$

$$b = b_0(1 + \alpha_2 t)$$

$$z = L - b$$

$\alpha_1$ =円筒の線膨脹係数

$\alpha_2$ =ピストン軸の線膨脹係数

$$K = \frac{\alpha_2}{\alpha_1}$$

と記せば、

$$\frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} = - \left( \frac{1}{z^2} + \frac{w^2}{a^2} \right)^{-1} \left\{ z^{-3} \frac{\partial z}{\partial t} + w^2 a^{-3} \frac{\partial a}{\partial t} \right\}$$

$$\left( \frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} \right)_{t=0} = -\alpha_1 \left( \frac{1}{z_0^2} + \frac{w^2}{a_0^2} \right)^{-1} \left\{ \frac{z_0 + (1-K)b_0}{z_0^3} + \frac{w^2}{a_0^2} \right\}$$

となる。

$$\alpha_1 > 0, \quad L_0 > b_0$$

なる故に、

$$\left( \frac{\partial f}{\partial t} \right)_{t=0} = 0$$

となるためには

$$\alpha_2 > \alpha_1 \quad \text{すなわち} \quad K = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} > 1$$

なることが必要であって、このとき

$$b_0 = \frac{z_0}{K-1} \left( 1 + \frac{z_0^2}{a_0^2} w^2 \right)$$

となる。

すなわち、半径  $a_0$  の決った空洞ならば  $\frac{\partial f}{\partial t} = 0$  ならしむべき周波数  $f_0$  が与えられて  $z_0$  が決れば  $\frac{\partial f}{\partial t} = 0$  となる  $b_0$  も決ってしまうということになる。したがって  $\frac{\partial f}{\partial t} = 0$  となる  $L_0 = b_0 + z_0$  の値もただ一つに決ってしまうから  $a_0$  と  $L_0$  とが与えられたならば  $\frac{\partial f}{\partial t} = 0$  となる、  $z_0$  したがって  $f_0$  はただ一つしか存在しないということになる。

要するに周波数  $f$  が低く軸長  $z_0$  が大きなところにおいては  $b_0$  が大きいことが必要で、  $f$  が高く  $z_0$  が小さなところでは  $b_0$  が小さいことが必要であるにもかかわらず

$$b_0 = -z_0 + L_0$$

なる関係があるために、  $z_0$  の大きなところではかえって  $b_0$  が小さく、  $z_0$  の小さなところでは逆に  $b_0$  が大きくなるので広帯域の温度補償ができない。これがこの温度補償の非常な欠点である。

## 3. 2 種の金属と 2 種のねじとを用いた広帯域温度補償

前節に述べたように、2 種の金属と一つのねじとを用いた温度補償は本質的に広帯域にならない。もっとも都合のよいのは  $L_0$  を一定にせずに、周波数  $f$  したがって空洞軸長  $z_0$  の変化と共に  $b_0$  がつねに

$$b_0 = \frac{z_0}{K-1} \left( 1 + \frac{z_0^2}{a_0^2} w^2 \right), \quad K-1 > 0$$

を満足するように変化させることであって、そうすればすべての周波数  $f$  において

$$\left( \frac{\partial f}{\partial t} \right)_{t=0} = 0$$

となるのであるが、このようなピストンの進退機構はむずかしい。それで幾分でもこの条件に近いように 2 種の金属と 2 本のねじとを用いて

$$b_0 = Az_0 + B \quad A > 0$$

ならしめたのが以下に述べる広帯域温度補償である。

2 図の構造は当所渡部技師の考案したものであってかくの如くにすれば

$$a = a_0(1 + \alpha_1 t)$$

$$L = L_0(1 + \alpha_1 t)$$

$$b = (b_0 - nP_2)_0(1 + \alpha_2 t)$$

$$l = (l_0 + nP_1)_0(1 + \alpha_1 t)$$

$$z = L - l - b$$

$n$ =ねじの回転数

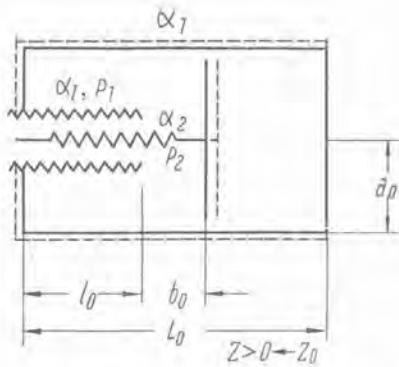
$$K = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \quad \text{ピストン軸と円筒の線膨脹係数の比}$$

$$P_0 = \frac{P_{10}}{P_{20}} \quad t=0 \text{ におけるねじのピッチの比}$$

$$b(n=0) = b_{00}(1 + \alpha_2 t)$$

$$b(t=0) = b_{00} - nP_{20}$$

$$z(t=0, n=0) = z_{00}$$



2 図 二種の金属と二種のねじとを用いた空洞波長計の温度補償

Fig. 2 Temperature compensation of cavity wavemeter using two kinds of metals and two screws.

$$z(t=0) = z_0 = z_{00} + n(P_{20} - P_0)$$

$$nP_{20} = \frac{z_0 - z_{00}}{1 - P_0}$$

$$b(t=0) = \frac{z_0}{P_0 - 1} - \frac{z_{00}}{P_0 - 1} + b_{00}$$

と記すことができる。すなわち  $P_0 > 1$  ならば少くとも  $b_0$  は  $z_0$  と共に増大する。ここに広帯域温度補償の可能性があるわけである。

ア.  $\left(\frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t}\right)_{t=0} = 0$  となる点、その他の諸性質

$$\left(\frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t}\right)_{t=0} = \frac{-\alpha^2}{\frac{1}{z_0^2} + \frac{w^2}{a_0^2}} \left[ \frac{z_0 + (1-K)(b_{00} - nP_{20})}{z_0^3} + \frac{w^2}{a_0^2} \right] = 0$$

となるためには

$$Y = z_0^3 - 3H \frac{K-P_0}{P_0-1} N - 3H(K-1) \left( b_{00} - \frac{z_{00}}{P_0-1} \right) = 0$$

$$3H = a_0^2/w^2$$

が必要であるが、この 3 次方程式は

$$K > P_0 > 1$$

ならば 3 筒の実根を有することがわかる。そして

$$b_{00} - \frac{z_{00}}{P_0-1} < 0$$

ならば 3 根のうち 2 根が正根で 1 根が負根となり、広帯域温度補償が実現されるわけである。なおこの 2 筒の正根の間では

$$\frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} \geq 0$$

となる。

つぎに  $\frac{\partial}{\partial z_0} \left( \frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} \right) = 0$  となる  $z_0$  の値は

$$A = \frac{w^2}{a_0^2}$$

$$B = -\frac{P_0-1}{2} \left( b_{00} - \frac{z_{00}}{P_0-1} \right)$$

$$P = B^2$$

と置けば

$$z_0 = B + \sqrt{\frac{P^{\frac{1}{2}} \left( 2P + \frac{1}{A} \right) + \sqrt{\frac{P}{A} \left( 4P + \frac{1}{A} \right)}}{2}}$$

$$+ \sqrt{\frac{P^{\frac{1}{2}} \left( 2P + \frac{1}{A} \right) - \sqrt{\frac{P}{A} \left( 4P + \frac{1}{A} \right)}}{2}}$$

となり、この  $z_0$  に対しては

$$\frac{1}{\alpha_1} \frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} = \frac{3}{2} (K-1) \frac{1}{z_0} \left( b_{00} - \frac{z_{00}}{P_0-1} \right) + \frac{K-P_0}{P_0-1} > 0$$

となる。ここに注目すべきことは、この  $z_0$  は  $\alpha_1$  および  $K$  に無関係であるから、 $\alpha_1$  および  $\alpha_2$  が設計値と変わってもこの  $z_0$  したがってそれに対応する周波数  $f$  も変わらないということであって、これは実用上非常に有利なことである。

また  $\frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} = 0$  の点における  $\frac{\partial}{\partial z_0} \left( \frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} \right)$  の値は

$$\frac{\partial}{\partial z_0} \left( \frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} \right) = \frac{-\alpha_1 z_0^{-3}}{\frac{1}{z_0^2} + \frac{w^2}{a_0^2}} \frac{3w^2}{a_0^2} \left( z_0^2 - \frac{K-P_0}{P_0-1} \frac{a_0^2}{3w^2} \right)$$

で、これは  $\frac{\partial}{\partial z_0} \left( \frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} \right) = 0$  となる  $z_0$  よりも大きい方の  $z_0$  に対しては負で、小なる方の  $z_0$  に対しては正である。

#### イ. 種々のパラメータの変化の影響

膨脹係数  $\alpha$  の変化による  $\frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t}$  の変化は

$$F = \left( \frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} \right)_{t=0}$$

と記せば

$$\Delta F = -\Delta \alpha_1 + (\Delta \alpha_2 - \Delta \alpha_1) \frac{\frac{z_{00}}{P_0-1} - \frac{L_0 + l_{00}}{z_0} - \frac{z_0}{P_0-1}}{1 + w^2 \frac{z_0^2}{a_0^2}}$$

となる。なお前章のねじが 1 筒の場合に対しては、

$$b_{00} \rightarrow b_0 = L_0 - z_0, \quad l_{00} \rightarrow 0$$

$$z_{00} \rightarrow z_0$$

$$P_{10} = 0, \quad P_0 = \frac{P_{10}}{P_{20}} = 0$$

とおいて

$$\Delta F = -\Delta \alpha_1 + (\Delta \alpha_2 - \Delta \alpha_1) \frac{\frac{L_0}{z_0} - 1}{1 + w^2 \frac{z_0^2}{a_0^2}}$$

となる。なお、 $\frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} = 0$  となる点においては

$$\Delta F = \frac{1}{K-1} (-K \Delta \alpha_1 + \Delta \alpha_2)$$

となり、 $\Delta F$  は  $z_0$  に無関係であって  $\frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} = 0$  となる二つの  $z_0$  または  $f_0$  に対して  $\Delta F$  の大きさ、符号共に同じである。

つぎに膨脹係数  $\alpha$  の変化による  $\frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} = 0$  となる周波

数  $f_0$  の変化は

$$\frac{\Delta f_0}{f_0} = \frac{K}{K-1} \frac{1}{3w^2 z_0^2 + K - P_0} \frac{K-1}{P_0-1} \left( \frac{\Delta \alpha_1}{\alpha_1} - \frac{\Delta \alpha_2}{\alpha_2} \right)$$

で、 $f$  の低い方の  $\frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} = 0$  の点は  $\alpha_1$  が大きくなるか  $\alpha_2$  が小さくなるかすれば  $f$  の高い方へ移動し、 $f$  の高い方の  $\frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} = 0$  の点はこれと逆の向きに移動する。なお  $\frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} = 0$  において  $z_0 = \sqrt{\frac{K-1}{P_0-1} \frac{a_0^2}{3w^2}}$  となるときは  $\frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} = 0$  が重根をもつ時であって、 $\frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t}$  がこの点において  $f$  軸に接しているのでこのときには  $\frac{\Delta f_0}{f_0} \rightarrow \infty$  となる。

また、材料の線膨脹係数  $\alpha$  が設計中に誤っていることを知った時には元の 2 点の周波数において  $\frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} = 0$  とならしめるためには

$$\frac{\Delta P_0}{P_0} = \frac{1 - \frac{1}{P_0}}{1 - \frac{1}{K}} \frac{\Delta K}{K}$$

$$\frac{\Delta b_{00}}{b_{00}} = \frac{-1}{1 - \frac{1}{K}} \frac{\Delta K}{K}$$

$$\frac{\Delta K}{K} = -\frac{\Delta \alpha_1}{\alpha_1} + \frac{\Delta \alpha_2}{\alpha_2}$$

ならしめれば良い。

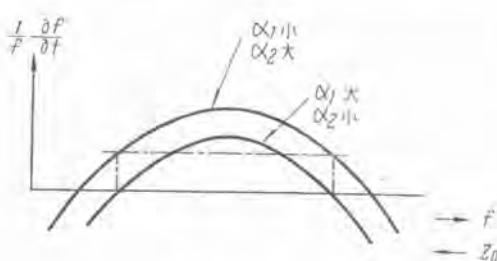
最後に線膨脹係数  $\alpha$  の変化による  $\frac{\partial}{\partial z_0} \left( \frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} \right) = 0$  なる点における  $F_0 = \frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t}$  の値の変化は

$$F_0 = \left( \frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} \right)_{\frac{\partial}{\partial z_0} \left( \frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} \right) = 0} \\ = \frac{3}{2} (\alpha_2 - \alpha_1) \frac{1}{z_0} \left( b_{00} - \frac{z_{00}}{P_0-1} \right) + \frac{\alpha_2 - \alpha_1 P_0}{P_0-1}$$

より

$$\frac{\Delta F_0}{F_0} = \frac{\Delta \alpha_1}{\alpha_1} + \frac{K + \frac{\alpha_2}{\alpha_1}}{K-1} \left( -\frac{\Delta \alpha_1}{\alpha_1} + \frac{\Delta \alpha_2}{\alpha_2} \right)$$

すなわち  $\alpha_1$  が大きくなると  $F_0$  は小さくなり、 $\alpha_2$  が大きくなると  $F_0$  は大きくなる。また  $\Delta F_0$  は  $K$  が大きい程小さい。なお、すでに前節に述べたように  $\frac{\partial}{\partial z_0} \left( \frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} \right) = 0$  なる点は膨脹係数  $\alpha$  が変化しても変化しない。



3 図 膨脹系数の変化

Fig. 3 Change of expansion coefficient.

#### 4. 2 種の金属と 2 種のねじとを用いた広帯域温度補償空洞波長計の設計

まず空洞の半径  $a$  は温度補償とは別に波長計そのものに対して必要な条件、すなわち使用周波数範囲、 $Q$ -値、波長計の精度、目盛の均一さ、不要姿態の除去等を考慮して決定する。

つぎに円筒の線膨脹係数  $\alpha$  およびその比  $K$  は材料の機械的強度、工作の難易等を考えてなるべく  $\alpha_1$  の小さい材料を円筒部に用い、 $\alpha_2$  のなるべく大きな材料をビストン軸に用いることにすれば、 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  および  $K$  の値が自動的に決ってしまう。 $K$  が小さいときには波長計全体の寸法が長くなつて困るし、また  $\alpha_1$  および  $\alpha_2$  が設計値から外れたときに  $\frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} = 0$  となる点や  $F = \frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t}$  等の値の変化等が大きくなつて具合が悪い。

##### ア. $\left( \frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} \right)^2$ の平均値を極小にする方法

波長計の半径  $a$  および材料の線膨脹係数  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  が与えられたものとして、

$$F = \frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} = \frac{-\alpha_1}{Z_0 + \frac{w^2}{a_0^2} z_0^3} \left[ \frac{w^2}{a_0^2} z_0^3 + Az_0 + B \right]$$

$$A = -\frac{K-P_0}{P_0-1}$$

$$B = -(K-1) \left( b_{00} - \frac{z_{00}}{P_0-1} \right)$$

とおいて、所要周波数範囲  $f_{10} \sim f_{20}$  の両端から約二割位のところにおいて

$$F = \frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} = 0$$

ならしめて、これより定る  $A$ 、 $B$  を  $A_0$  および  $B_0$  として、つぎに

$$A = A_0 + \Delta A$$

$$B = B_0 + \Delta B$$

とおいて、 $f_{10} \sim f_{20}$  の間を  $(m-1)$  等分して  $m$  箇の  $f_i$  に対する  $\left( \frac{1}{f_i} \frac{\partial f_i}{\partial t} \right)^2$  の平均値  $M$

$$M = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left( \frac{1}{f_i} \frac{\partial f_i}{\partial t} \right)_{t=0}^2 \\ = \frac{1}{m} \sum \frac{\alpha_1^2}{\left( z_{i0} + \frac{w^2}{a_0^2} z_{i0}^3 \right)^2} \left[ \frac{w^2}{a_0^2} z_{i0}^3 + A_0 z_{i0} + B_0 + z_{i0} \Delta A + \Delta B \right]^2$$

を作りこれを極小ならしめるように

$$\Delta A \sum \frac{z_{i0}^2}{\left( z_{i0} + \frac{w^2}{a_0^2} z_{i0}^3 \right)^2} + \Delta B \sum \frac{z_{i0}}{\left( z_{i0} + \frac{w^2}{a_0^2} z_{i0}^3 \right)^2} \\ + \sum \frac{\left( \frac{w^2}{a_0^2} z_{i0}^3 + A_0 z_{i0} + B_0 \right) z_{i0}}{\left( z_{i0} + \frac{w^2}{a_0^2} z_{i0}^3 \right)^2} = 0$$

$$\Delta A \sum \frac{z_{t0}}{\left(z_{t0} + \frac{w^2}{a_0^2} z_{t0}^3\right)^2} + \Delta B \sum \frac{1}{\left(z_{t0} + \frac{w^2}{a_0^2} z_{t0}^3\right)^2} \\ + \sum \frac{\left(\frac{w^2}{a_0^2} z_{t0}^3 + A_0 z_{t0} + B_0\right)}{\left(z_{t0} + \frac{w^2}{a_0^2} z_{t0}^3\right)^2} = 0$$

より  $\Delta A$  と  $\Delta B$  を定めると、 $A$  と  $B$  とが定りしたがって  $P_0$  が定る。またねじの回転数  $n$  とピッチ  $P_{20}$  とは任意であるから  $B$  と  $P_0$  とが定れば  $b_{00}$  および  $z_{00}$  も決る。この設計の欠点は周波数範囲の一端において  $\frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} = 0$  の絶対値が大きくなることである。

#### 1. $\left(\frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t}\right)$ の絶対値の最大を揃える方法

$f_1 \geq f_2 \approx \sqrt{f_1 f_3} \geq f_3$  ただし  $f_1, f_3$  は両端。ある 1 点  $f_2$  を計算のしやすいように選んで  
 $-F(f_{01}) = F(f_{02}) = -F(f_{03}) > 0$

となるように  $P_0$  および  $b_{00}$  等を定める。

$$A = -\frac{K-P_0}{P_0-1} \quad B = -(K-1) \left( b_{00} - \frac{z_{00}}{P_0-1} \right)$$

$$\frac{1}{\frac{1}{z_{t0}^2} + \frac{w^2}{a_0^2}} z_{t0}^{-2} = a_t$$

$$\frac{1}{\frac{1}{z_{t0}^2} + \frac{w^2}{a_0^2}} z_{t0}^{-3} = b_t$$

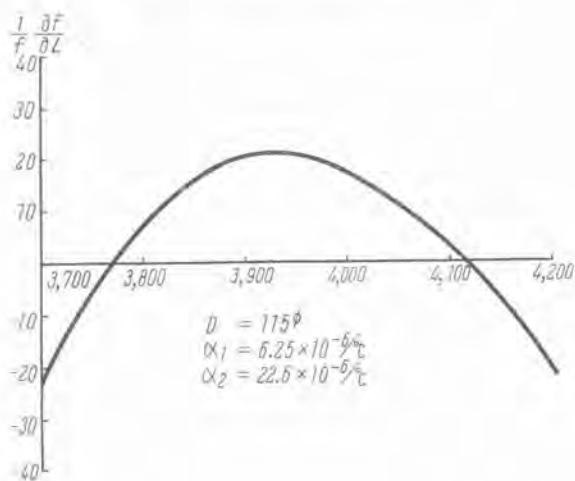
$$\frac{1}{\frac{1}{z_{t0}^2} + \frac{w^2}{a_0^2}} a_0^2 = c_t$$

とおけば

$$a_1 A + b_1 B + C_1 = -(a_2 A + b_2 B + C_2) = a_3 A + b_3 B + C_3$$

より

$$A = \frac{(b_1+b_2)(c_2+c_3)-(b_2+b_3)(c_1+c_2)}{(a_1+a_2)(b_2+b_3)-(a_2+a_3)(b_1+b_2)}$$



(a)  $D=110 \phi$

$$B = \frac{(a_2+a_3)(c_1+c_2)-(a_1+a_2)(c_2+c_3)}{(a_1+a_2)(b_2+b_3)-(a_2+a_3)(b_1+b_2)}$$

にて  $A$  と  $B$  とが定まる。したがって  $A$  と  $K$  とから二つのねじのピッチの比  $P_0 = \frac{P_{10}}{P_{20}}$  が定まる。また  $n$  と  $P_{20}$  とは任意に選び得るから、 $B$  と  $P_0$  と  $K$  とから  $b_{00}$  および  $z_{00}$  を定め得る。 $f = f_2 \approx \sqrt{f_1 f_3}$  において  $F = \frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t}$  が正確に極大値であるというわけではないが、極値の付近では  $F$  の変化が小さいから  $f_2$  が  $\frac{\partial}{\partial z_0} \left( \frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} \right) = 0$  の点にそれ程近くなくても

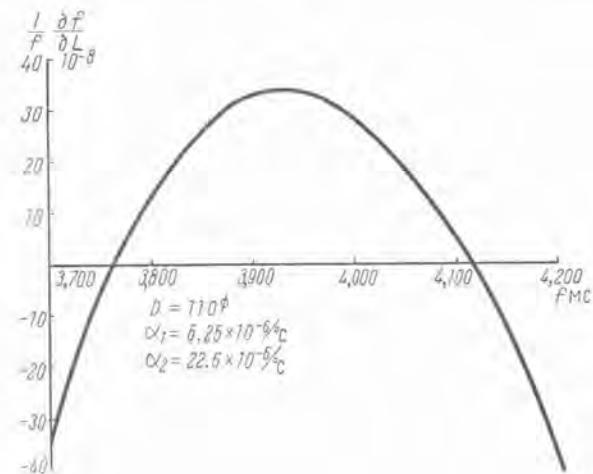
$$\left( \frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} \right)_{f=2} \approx \left( \frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} \right)_{\text{max}}$$

となるから  $f_2$  の選択には余り神経質になる必要はない。

#### 5. 例. および空洞波長計の安定度、精度、確度

3,700~4,200 Mc 帯の H<sub>011</sub> 型円筒空洞波長計について述べる。空洞の半径  $a$  は既述の如く波長計そのものに対する必要条件から  $2a = 110 \text{ mm} \phi$  とする。円筒材料にはなるべく線膨脹係数の小さいものでしかも機械的性能が充分でかつ工作困難でないものとしてコバルト ( $\alpha_1 = 6.25 \times 10^{-6} / \text{degree}$ ) を用いることとし、ピストン軸には同様になるべく線膨脹係数の大きなものとしてジュラルミン ( $\alpha_2 = 22.6 \times 10^{-6} / \text{degree}$ ) を用いるものとする。

さて、ここにて前章に述べたように計算してみると 4 図のように、 $\frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} < 4 \times 10^{-7} \text{ per degree}$  が得られる。もし  $a = 115 \phi$  とすれば  $\frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} < 2 \times 10^{-7} \text{ per degree}$  となる。 $a$  が大きい程  $\frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t}$  も小さく空洞全体の長さも短かくなるが  $a$  が大き過ぎると  $\frac{\partial f}{\partial a}$  が大きくなり過ぎて具合が悪い。単一の金属材料で作った空洞波長計では  $\frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} = -\alpha$  であるが固体の線膨脹係数  $\alpha$  は黄銅が  $\alpha = 1.9 \times 10^{-5} / \text{C}$ 、金属材料のうちで線膨脹係数のもっとも小さいアンバ (36.1%  $Ni$  のニッケル鋼) が  $\alpha = 9 \times 10^{-5} / \text{C}$ 、固体のなかで線膨脹係数のもっとも



(b)  $D=115 \phi$

4 図 3,700~4,200 Mc 帯用 H<sub>011</sub> 型円筒空洞波長計の広帯域温度補償  
Fig. 4 Broadband temperature coefficient of type H<sub>011</sub> cylinder cavity wavemeter for 3,700~4,200 Mc band.

小さい石英ガラスが  $4 \sim 5 \times 10^{-7} / ^\circ C$  である。すなわち  $\frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} < 2 \times 10^{-7} / ^\circ C$  は銀メッキをした石英ガラス製空洞によってもなお得られない小さな値である。

ついでながら、空洞波長計の共振周波数は空洞を形作る金属の熱膨脹によって変化するほかに、空洞内部の空気の誘電率の変化によっても変化する。空気の比誘電率との実験式<sup>(2)</sup>

$$\epsilon = 1 + \frac{208}{T} \left( P - \frac{4800}{T} P_w \right) 10^{-6}$$

$P$  = 全圧力 mmHg

$P_w$  = 水蒸気圧 mmHg

$T$  = 絶対温度 K

によって空洞内部の空気の誘電率の変化による共振周波数の変化を概算してみると；

乾燥空気を入れて密封すれば  $\frac{\Delta f}{f} = 0$

水蒸気を含む空気を入れて密封すれば  $\frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} = 1 \times 10^{-7}$ 、ただし水蒸気が凝縮しない範囲。

密封せぬ空洞において、大気の温度変化による誘電率変化による共振周波数の変化は、 $T = 25^\circ C = 298 K$ 、 $P = 760 \text{ mmHg}$ 、 $P_w = 50\% = 11.9 \text{ mmHg}$  とすれば、

$$-\frac{1}{f} \frac{\Delta f}{\Delta T} = 1.3 \times 10^{-7} / \text{degree}$$

密封せぬ空洞において、相対湿度の変化による誘電率の変化による共振周波数の変化は、 $T = 300 K$  とすれば、

$$-\frac{1}{f} \frac{\Delta f}{\Delta P_w} = 5.6 \times 10^{-6} / \text{mmHg}$$

となる。 $T = 27^\circ C = 300 K$  における飽和水蒸気圧は  $26.7 \text{ mmHg}$  であるから、 $27^\circ C$  において相対湿度が 1% 変化すれば  $\Delta P_w = 0.3 \text{ mmHg}$  でこの  $\frac{\Delta f}{f}$  は小さくはない。

密封せぬ空洞において気圧の変化による誘電率の変化による共振周波数の変化は  $T = 300 K$  とすれば

$$\frac{1}{f} \frac{\Delta f}{\Delta P} = -3.5 \times 10^{-7} / \text{mmHg}$$

となる。

すなわち実際に起り得る気象状況を考えてみると温度

湿度、気圧の変化による空気誘電率の変化による波長計共振周波数の変化はこの温度補償波長計の温度変化による周波数変化よりも相当大きい。したがってこの温度補償空洞波長計は乾燥気体を封入して密封しなければ波長測定用の空洞としては価値がない。しかし逆にかかる温度補償空洞を用うれば気体の比誘電率および比誘電率の温度、圧力による変化を正確に測定することができる。

以上は波長計の共振周波数が気象条件に対してどの程度安定かという問題であるが、ねじのガタや空洞波長計の  $Q$  が、無限大でないこと等によって測定精度が下るし、波長計の確度ということになればさらに種々の他の誤差の原因がある。すなわち波長計の経年変形、ねじのピッチの誤差、円筒直径の誤差、波長計入力および出力側のインビーダンス不整合のための周波数引込み等により波長計の確度が下る。

## 6. む す び

円筒形空洞波長計の半径は波長計そのものに対する必要条件によって定め、波長計円筒の材料にはなるべく線膨脹係数の小さいものを選び、ピストン軸の材料にはなるべく線膨脹係数の大きなものを選んで、本文に述べる計算法にしたがって計算すれば広帯域温度補償波長計の電気的に必要な寸法が算出できる。一例として円筒にコバルトを用いピストン軸にジュラルミンを用うれば、 $3,700 \sim 4,200 \text{ Mc}$  帯用の H<sub>011</sub> 型円筒空洞波長計に対して  $\frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial t} < 2 \times 10^{-7} / \text{degree}$  となし得る。これは銀メッキを施した石英ガラス空洞によってもなお得ることのできない小さな値である。

## 参 考 文 献

1. C.G. Montgomery "Thechnique of Microwave Measurements" (M.I.T. Radiation Laboratory Series vol. 11) McGraw-Hill Book Co., N.Y., N.Y. 1947
2. B.F. Husten and H. Lyons "Microwave Frequency Measurements and Standards" A.I.E.E. Technical Paper 48-49 December 1947

# 導波管 気密窓

無線機製作所

喜連川 隆\*・東野義夫\*

## Waveguide Mica Window

Takashi KITSUREGAWA・Yoshio HIGASHINO

Electronic Works

Wave mica windows using a mica to block off the interior of the waveguide from the atmosphere has been developed for the application to a 4,000 Mc microwave relay line of the Japan Telephone and Telegraph Public Corporation connecting Tokyo—Nagoya—Osaka, theoretical and experimental explanation being accounted for herein.

### I. まえがき

マイクロ波通信はわが国においてもすでに実用の域に達し、当社も電電公社の東京—名古屋—大阪間の超多電話およびテレビジョン中継の 4,000 Mc 幹線に実用のバスレンジス レンズ アンテナとしては恐らく世界最初のものを 36 台納入した。ここに述べる矩形導波管気密窓はこれとともに納入した導波管系部品の一つである。

この中継装置の送受信機およびアンテナの近くにそれぞれ隔壁を設けて饋電線である導波管系を気密にし乾燥空気を封入するために導波管気密窓を用いなければならない。その理由は二つある。すなわち第一には導波管内面が外気に曝されると腐食して導波管系の伝送損失が増大するので、これを防ぐためである。たとえば F. A. Benson<sup>1)</sup> の報告によればわずか 19 週間の屋外曝露試験で導波管の減衰定数が 22% も増加している。第二には A. H. Lince<sup>2)</sup> が米大陸横断の TD-2 マイクロ波中継方式のアンテナの解説に述べているように、湿度と温度とが昼夜周期的に変化するので導波管内壁に水が凝縮してインピーダンスが乱れ電波の反射を惹

き起すのを防ぐためである。

要するに導波管気密窓は空気を洩さずにしかも電波は反射なしに良く通過させることが必要である。ここに述べるもののが主な必要条件は第一に 3,700~4,200 Mc の周波数帯域で電圧定在波率が 1.05 以下であること、第二には一対の気密窓の間に 1.3 気圧の乾燥空気を封入するために 1.5 気圧の耐圧試験に耐えることである。第三には耐久性のあることである。

### 2. 設計理論

構造は 1 図に示してある。すなわち気密を保つためにマイカ板の隔壁を用いている。導波管中にマイカ板の隔壁を挿入すると等価的には伝送線路に並列に容量性サスセプタンス  $B_{mc}$  が入ったことになる。<sup>3)</sup> 故にこの容

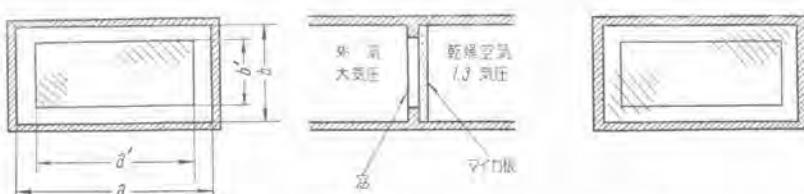
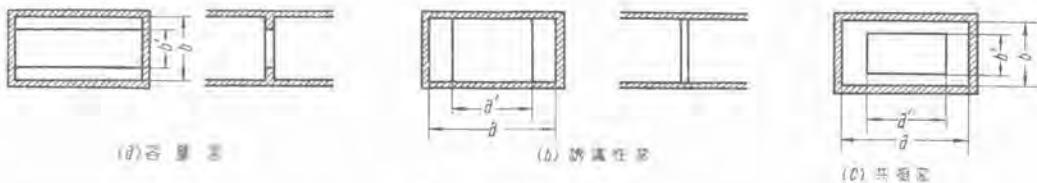
1 図 導波管気密窓  $a=58 \pm 0.3$   $b=29 \pm 0.3$ 

Fig. 1. Waveguide mica window.



2 図 導波管絞り窓  
Fig. 2. Waveguide irises.

容量性サスセプタンス  $B_{mc}$  を誘導性サスセプタンス  $B_t$  の挿入により打ち消すことが必要である。

一方マイカ板を気密に導波管内面に接着するために 1 図に示すような窓を作る。この窓は 2 図 (a) の場合には容量性サスセプタンス  $B_c$ <sup>4)</sup> と等価で、2 図 (b) の場合には誘導性サスセプタンス  $B_t$ <sup>5)</sup> と等価である。また 2 図 (c) の場合には  $\frac{b-b'}{b} \ll 1$ ,  $\frac{a-a'}{a} \ll 1$  であればその等価サスセプタンス  $B_w$  は近似的に

$$B_w = B_c + B_t$$

となる。結局、マイカ板の容量性サスセプタンス  $B_{mc}$  と窓のサスセプタンス  $B_w$  とが

$$B_{mc} + B_w = 0$$

すなわち

$$-B_t = B_{mc} + B_c$$

となるようにすれば 1 図の気密窓は無反射になり目的が達せられる。

そこでまず 1 図の  $b'$  はマイカ板を接着するのに必要な程度に選ぶ。そうすると

$$B_c = \frac{4b}{\lambda_g} \log_e \operatorname{csc} \frac{\pi b'}{2b}$$

$$\lambda_g = \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{2a}\right)^2} = \text{電波の管内波長}$$

$\lambda_0$  = 自由空間波長

により  $B_c$  が算出できる。<sup>4)</sup>

また 1 図の窓の短い方の寸法  $b'$  が知れるとき、必要な内外の圧力差  $P$  に耐えるためのマイカ板の厚さ  $t$  は

$$\delta_{max} = \beta \frac{P \left( \frac{b'}{2} \right)^4}{Et^3}$$

$E$  = マイカ板のヤング率

$\beta$  = のボアソン比

$\delta_{max}$  = の最大撓み量

において  $\delta_{max}$  を必要限度に選べば定まる。

このようにしてマイカ板の厚さ  $t$  が定まればその容量性サスセプタンス  $B_{mc}$  は

$$B_{mc} = \frac{2\pi t \lambda_c^2}{\lambda_g (\lambda_c^2 - \lambda_0^2)} (k_e - 1)$$

$\lambda_c = 2a$  = 導波管の遮断波長

$k_e$  = マイカの比誘電率

から算出できる。<sup>3)</sup>

このようにして  $B_c$  と  $B_{mc}$  の値が知れたならば 1 図の  $a'$  の寸法は誘導性窓の公式

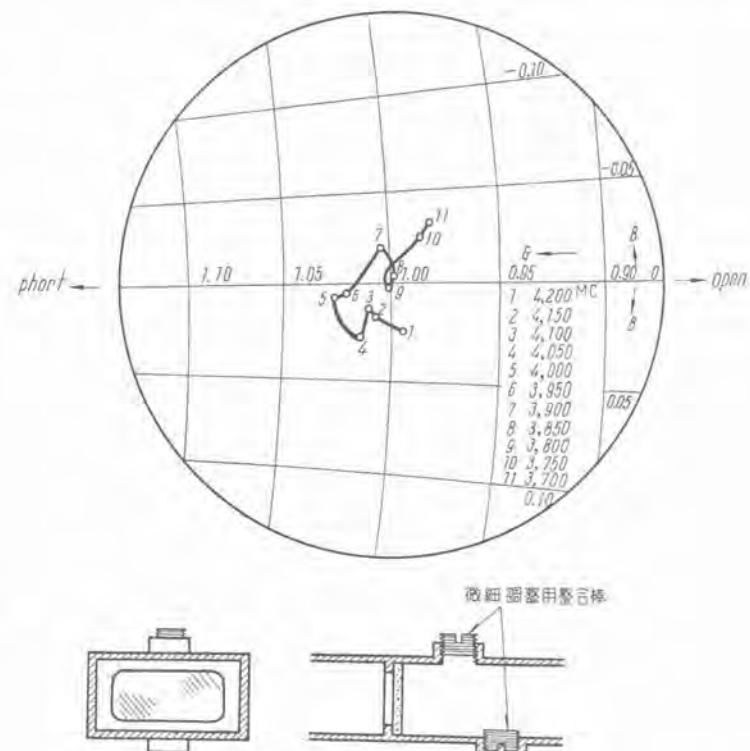
$$B_t = -\frac{\lambda_g \cot^2 \frac{\pi a'}{2a}}{a}$$

$$-B_t = B_{mc} + B_c$$

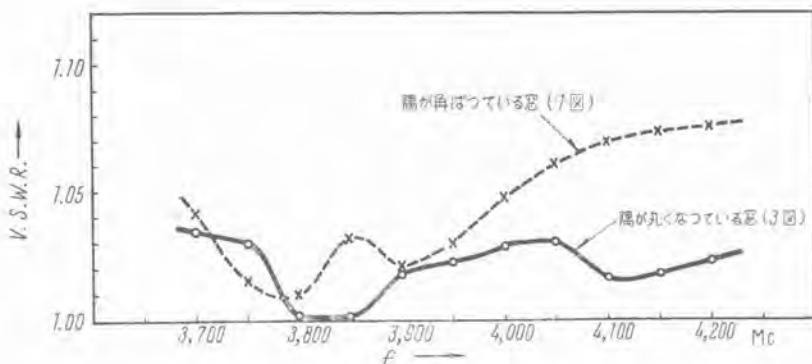
を代入して算出できる。<sup>1)</sup> これにて 1 図の必要な寸法  $a'$  および  $t$  が全部定まった。

### 3. 試験結果

実際に 1 図に示すようなものを作成してみると 4 図の点線のようになって周波数特性が悪い。3 図に示すように窓の隅に丸みをつけると 3 図および 4 図の実線に示すように周波数特性の広帯域のものが得られる。すなわち 3,700~4,200 Mc にわたって電圧定在波率が 1.035 以下である。すべて立体回路のインピーダンス整合は流線形にした方がよい。尖った処があると高次姿態の波が発生して周波数特性が悪くなる。水の流れにたとえてみれば渦が生ずるようなことになる。なおマイカは



3 図 導波管気密窓のインピーダンス  
Fig. 3. Impedance chart of mica window.



4 図 導波管気密窓の周波数特性

Fig. 4. Frequency characteristics of mica window.

1枚ずつ比誘電率が多少異なるので、3図に示すように微細調整用の整合棒を設けてある。

実用上とくに注意すべきことは温度の周期的な変化によってマイカ板が剥れではならぬということであって、マイカ板の接着剤および接着法に注意が必要である。マイカ板剥脱試験としては、導波管が直射日光を受けたときのことを考慮して、常温～100°C のサイクルを1日に2回宛、2週間行ったが空気の漏洩は全く認められなかった。

また自動空気圧縮器が故障中に気温が降下して圧力が逆向きに加わったときに故障しないことを確認するため、逆の向きから1.2気圧を加えて試験してみたが異状は全く認められなかった。



5 図 導波管気密窓

Fig. 5. Waveguide mica window.

#### 4. むすび

以上のようにこの導波管気密窓は電圧定在波率においても3,700～4,200 Mc の範囲内で充分 1.05 以内すなわち 1.035 以下で、圧力試験においても 1.5 気圧に耐え、逆向きの圧力に対しても 1.2 気圧では何等の異状も無く、また劣化試験の成績も良好で充分満足すべき試験結果が得られた。そして現在電電公社の東京一名古屋一大阪間の超多重電話およびテレビジョン中継の 4,000 Mc の

各局に 8 個ずつ合計 72 箇が使用されている。なお、目下試作中のものはこれよりもさらに性能が良いが、それについては別の機会に報告する。

#### 参考文献

1. F. A. Benson; "Attenuation and Surface Roughness of Electroplated Waveguides" Proc. I. E. E., vol. 100, Part III, No. 66, pp. 213～216, July 1953.
2. A. H. Lince; "Antennas for the TD-2" Bell Laboratories Record vol. XXX, No. 2, pp. 49～55, Feb. 1952.
3. G. L. Ragan "Microwave Transmission Circuits" (M. I. T. Radiation Laboratory Series vol. 9) p. 220.
4. C. G. Montgomery "Principles of Microwave Circuits" (M. I. T. Radiation Laboratory Series vol. 8) p. 167.
5. Ibid. p. 165.
6. W. E. Kock "Path-Length Microwave Lenses" Proc. I. R. E. vol. 37 pp. 852～855 Aug. 1959.
7. "パスレンジスアンテナについて" 通研月報, 第5巻, 第12号, 昭和27年12月, pp. 613～614.
8. 林 新二 "マイクロウェーブ通信方式" 施設(電電公社施設局発行) vol. 6, No. 1, 1954 年 1 月号, pp. 20～23.

#### 正誤表

Vol. 23 No. 1「昭和 28 年度回顧特集」のうち誤を下記のように訂正いたします。

頁	行	誤	正
10	右上から 1, 2 行	優秀なとともに再点弧もなくまた異常電圧も発生せずを実施し成績であった	を実施とともに再点弧もなくまた異常電圧も発生せず優秀な成績であった
11	左上から 10 行	全 弦	余 弦
15	" 15 行	強 度	程 度

Vol. 28 No. 3 「静電気障害対策」のうち誤を下記のように訂正いたします。

頁	行	誤	正
22	右上から 6 行	$\times 10^{-3}$ クーロン /cm <sup>2</sup>	$\times 10^{-9}$ クーロン /cm <sup>2</sup>



# ニュース フラッシュ

## H A 2 型 ミシン

### 外観

- アームの形状は、数年来流行した角形も、今やあきられつつあり、角形の近代感と、丸形の柔か味とを適当に調和させて、新感覚を出した。
- 優雅にするために、静かな明るい色とした。
- 面板は、鋼板を絞って柔か味を出し、縦に細線7本を入れアームと同色の塗りとした。
- ドロップフィードのツマミも合成樹脂製のスマートな形状とした。
- ハズミ車の径を小さくし、ベルトカバーをアームと同じ高さとした。
- 商標文字を金属板とし、アーム前面につけた。
- アーム裏面のバカ穴、ねじ穴をクロームメッキ仕上上の金属製の意匠板で隠蔽するとともに、意匠の新感覚を出した。
- 送り調節器取付板と名板とを1枚の金属板で共用し、名板を意匠の一部に融合せしめることができた。

### 機構と特長

#### 1. リンク式天ビン

溝カム式天ビンは、溝カムに沿って天ビンコロが摺動し、天ビンの運動が決定されるので、最も理想的な天ビンのモーションが得られる。しかしながら、この溝カムの工作は非常に難しく、とくに、溝の鋸角部においてコロと溝の間に gap ができる音が高くなる原因となる。リンク式天ビンにおいては、その欠点が除去されるが半回転式カマに適当であるか否かは疑問であったが、試作の結果、天ビンの糸引上量および引上げの時期を適当に選ぶことにより、縫調子も溝カム式天ビンと変化なく良好である。

#### 2. ダイヤル式目盛送り調節器

外観上の問題から従来の取手を上下して目盛板の数字に合わせる機構を、ダイヤル式とした。

アームに大きな長方形の穴を明け、送り調節器を取付けた送り調節器取付板にてカバーし、ねじ棒を調節して目盛付ツマミをねじ止めできるようにしたため、非常に組立も容易になるとともに、送りカムの上軸セット位置を  $180^\circ$  変えて、取手を前送りの時は下げ、後送りの時は上げるようにした。またねじ棒は特殊梯形ねじを使用するとともに、ツマミが前後に移動しないよう設計した。

#### 3. ドロップフィード

刺繡時ににおいて、自由自在に布地を移動できるよう送り歯を下げる装置をつけた。これには、ベッド表面上にツマミを設置することにより、容易に、操作ができる。

#### 4. 面板

ねじの脱落紛失が多かったため、蝶番で開閉式として、注油、点検を容易にした。

#### 5. 糸立棒

輸送時、運搬時に、糸立棒を引掛けて曲げたり、あるいは衣類を損傷したため折タタミ式となし、使用時以外は横に倒すようにした。



#### 6. 意匠板、商標文字

従来、ミシンの意匠は、ミシンのアームとベッドに、各種の意匠の転写マークを貼付するのが普通であったが、今回はこの転写マークを全廃し、その代りにプレスワークにより意匠と商標を刻印し、クロームメッキ仕上をほどこした金属板を使用することにより、近代的感覚を与えるとともに、組立を容易ならしめ精度の向上を計った。

#### 7. 開閉釜

現在市販されている多種多様の開閉釜はカマの分解掃除、ボビンの着脱を容易にするためのもので、大ガマはつねにベッドに取付けられている。今回当社は1箇のツマミねじ操作により容易確実に作用し、しかも現在の各種開閉釜に比し、中ガマおさえのバネの圧力を強力にして、バネの調節もツマミねじで簡単にできるようにした。

#### 8. 糸調節器

アームの前面に設置し、糸掛けを容易にするとともに、数字の目盛をつけたため上糸の糸調子も微妙に調節することができる。

#### 9. 音響および振動はリンク式天ビンと特殊な形状をしたクラシックを用いたため、小さくなった。

10. テーブルおよび箱は、現在の HA1 型のものと同寸のものを使用できるが、頭部の塗色にマッチさせるため栗色として、外脚と衣除け、踏板も斬新的なものとするよう目下設計中である。

### HA 1 型ミシンとの比較

	HA 1	HA 2
アームの形状	曲線を主体とした丸形	直線を主体とした角形
塗色	黒かグリーン	藤色か萩色、スミレ色
天ビン	溝カム式天ビン	リンク式天ビン
送り調節器	上下目盛	ダイヤル式目盛
ドロップフィード	ベッド裏面で操作	ベッド表面で操作
面板	ねじ止め	蝶番
糸立棒	ナット止めでつねに直立	折たたみができる
商標文字	転写マークで前後につけた	金属板で前面につけた
ハズミ車	大きい（ただし動力用は小さい）	小さい
意匠板	無し	アームの後につけた無し
上ぶたカマ	有り	開閉式、中ガマ押さえがカマ本体より外れる
糸調節器	面板に取付け目盛無し	アーム前面に取付け目盛有り
返し縫	取手を下にする	取手に上をする



## ニュース フラッシュ

# 恒温恒湿の積算電力計工場

積算電力計はきわめて精度の高い計器であるが、しかもなお、その特性に対しては不断の向上が要求されている。

JIS は計器の標準温度を 20°C と規定しているが、このためにはメーカーの調整、検査も 20°C で行われることが技術的にもっとも望ましい。

当社の福山工場は積算電力計の専門工場として量産と品質向上に努めているが、さらに昨年4月からは、調整および試験を四季 20°C にエア・コンディショニングした工場で行うことにより一層計器の信頼度を高めている。



写真 1.

新工場はクリーム色鉄筋コンクリート二階建であり、建坪 756 坪延べ坪 1,472 坪である。

柱間隔を従来より遙かに長く 10.5m としているので床面積の利用度が高く作業管理が容易である。

一階、二階とも天井には頑丈な梁を格子状にめぐらし建物の強度を増しているが、これらの梁は同時に作業に伴う音の吸収に役立ち、また光線を乱反射して作業場の照度を均一にする役をも演じており、柱の減少と相俟って建築技術の上で一つのエポックをなしている。

精密計器生産工場の第一条件である

室内空気の清浄を保つため床はウッド・ブロック張りとし、なお二重扉としている。二階は組立作業場で天井のすりガラスから柔らかい自然光線が入り、窓も極力広くして、隅々まで明るく美しく作業者に快適の感を与えていている。

一階は調整および試験に使用されているがエア・コンディショニングのため窓は小さくしてある。

組立のための機械加工部品は右端の入口近くにある三菱製 IP 型エレベータの所に搬入されるが本機は容量 1,700 kg、速度 20 m 毎分で自動操作となっている。

写真 2.

電磁石は計器の心臓部であり、巻線は正しく確実で故障のないことが要求される。巻線作業場は二階の一部にあり 1人の作業者が 2台の機械により 8箇のコイルを同時に巻くようになっている。

層間絶縁紙は自動的に挿入され、所定の回数に達すると機械は自動的に停止する。また万一作業中のどの線輪かの電線が切れている時はその機械は停止し誤作業を防いでいる。

写真 1

写真 2

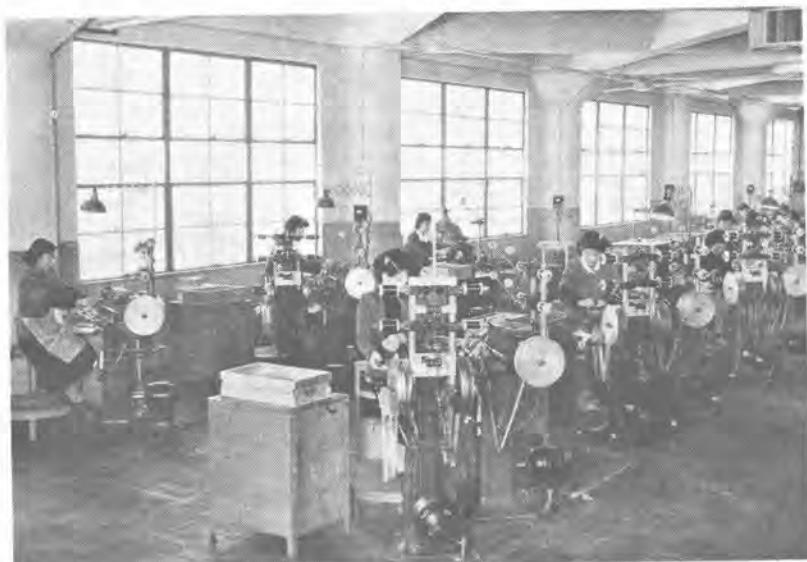




写真 3

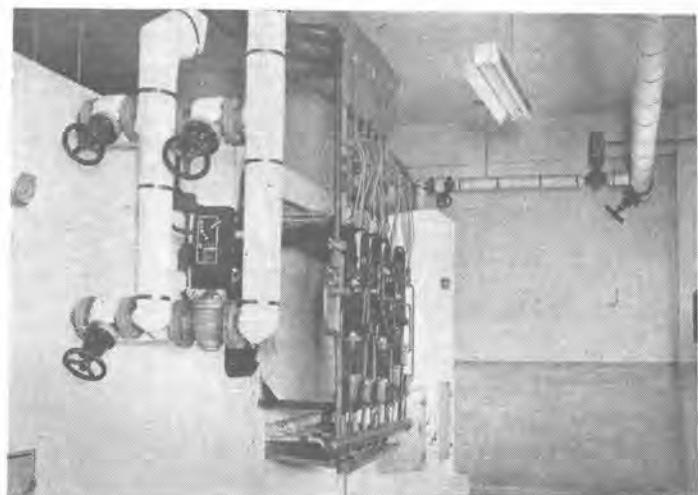


写真  
5-b



写真 3

#### 写真 3.

ベース・フレーム・電磁石・回転子・軸受・計量器その他計器の構成部品はそれぞれの部品組立場で組立てられ、精密な検査を受けて後コンペアに送られる。ここで一定の順序で組立てられ、厳重な組立検査を経た後再びコンペアに乗せられて一階の調整台に送られる。

#### 写真 4.

照明は全工場三菱製 FH-412 型 40 W 2 燈付蛍光ランプである。一階は自然光に対し蛍光燈による照明を増しておらず、管は左右 2.6 m 毎に取付け、作業面照度は平均 400 lx を保ち、作業者が疲労しないように留意している。

#### 写真 4

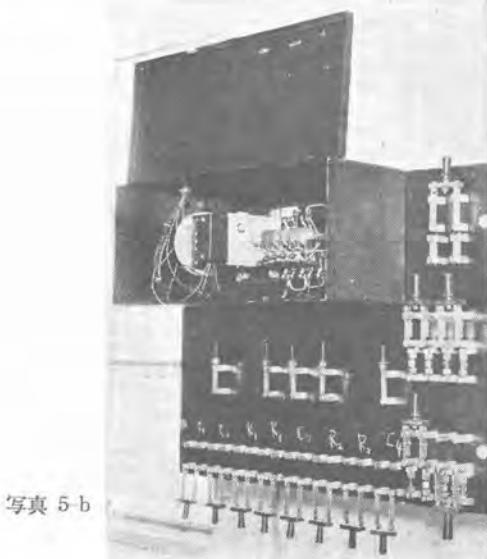
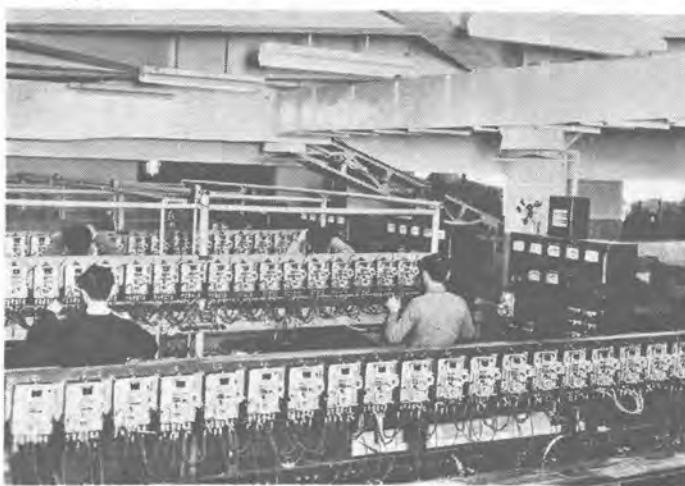


写真 5-b

#### 写真 5-a および 5-b

暖冷房装置は一階、二階とも行っているがとくに一階の調整、試験作業場は僅少の誤差範囲内で温度 20°C、湿度 60% に保たれている。暖房は中央式装置で蒸気により、冷房は三菱製 CW 66,000 W 型冷凍機で、冷凍能力 24 レフトン 2 台によっている。その管制装置はミネアポリスハニウェル製のステップ・コントロール自動調整方式である。

この管制装置は調整試験工場内の温度、湿度と外気の温度、湿度とにより温度制御器を働きかし、モータ・バルブあるいはソレノイド・バルブを操作し、送込空気の温度、湿度を調節する。

空気量は 19,000 ft<sup>3</sup> 每分であり 15 HP の送風機を使用している。

# 特許紹介

最近登録された当社の特許および実用新案

区別	名 称	特許または登録日	特許または登録番号	発明、考案者	所 属
特 許	避雷器の多間隙装置	28-12-24	203155	{ 堀 龜 山 真 三 幸 郎	伊 丹
#	昇降機自動出発信号装置	29-1-22	203574	{ 宮 城 白 原 加 藤 山 城 義 輝 又 彦	名 古 屋
#	電気弁変換回路の保護装置	29-1-22	203575	佐 藤 五 郎	伊 丹
#	單陽極電気弁変換回路の保護装置	29-1-22	203576	"	研 究 所
#	固定抵抗体	29-1-22	203610	{ 河 合 井 手 平 三 郎	大 船
#	電子放射用陰極	29-2-2	203834	阿 部 久 康	研 究 所
#	電気弁変換回路の保護装置	29-2-13	204082	待 鳥 正	伊 丹
#	電気車自動制御装置	29-2-19	204175	山 島 一 次	"
#	真空管陽極	29-2-19	204176	{ 濱 田 阿 部 久 賢 康	研 究 所
#	電気弁周波数変換回路の保護装置	29-2-19	204198	{ 尾 島 学 二 真 鍋 明 斎 藤 祐 雄	"
#	アルミニウム拡散および反射面の製造方法	29-2-19	204199	{ 喜 連 川 東 原 仁 吉	"
#	絶縁油の精製法	29-2-25	204245	渡 部 優	"
#	空洞共振器の広帯域温度補償装置	29-2-25	204265	岡 崎 種 一	福 山
新 案	着磁装置	28-12-25	408904	上 野 弘	"
#	計器用制動磁石の温度補償装置	28-12-25	408905	末 田 貞 三	伊 丹
#	自動乾燥装置	28-12-25	408906	{ 河 久 保 幸 登 正	大 船
#	螢光放電燈	28-12-25	408907	{ 尾 島 藤 學 敬 二 吉	研 究 所
#	繊維または非金属粉末中の金属を検出する平衡線輪装置	29-1-21	409822	近 河 久 保 幸 登 正	"
#	計器の温度補償装置	29-1-21	409823	加 藤 義 明	福 研 究 所
#	超音波探傷器の探傷子	29-1-21	409824	{ 尾 島 藤 學 敬 二 吉	山
#	配電箱	29-2-2	410168	山 県 満	福 研 究 所
#	バシタグラフ集電装置	29-2-2	410169	吉 田 竹 治	伊 丹
#	巻上機歯車性油面調節装置	29-2-2	410181	猿 楽 覚 太 郎	長 岐 戸
#	線輪端子	29-2-2	410182	合 田 市 郎	"
#	導体被覆用ビニール管	29-2-2	410183	五十嵐 信 一	"
#	回路遮断器引外し装置	29-2-2	410184	高 見 滋	名 古 屋
#	鎧装型配電盤	29-2-13	410532	{ 五十 嵐 水 良 一 夫	神 戸
#	積算計器の温度補償装置	29-2-13	410533	{ 上 山 野 県 弘 穆	福 山
#	熱動型需用電力計の変圧器	29-2-13	410547	{ 藤 岡 方 崎 賢 一 昭	"
#	流れ表示器	29-2-13	410548	薄 葉 圭 二	伊 丹
#	電熱ロール	29-2-20	410800	田 村 弘 次 郎	名 古 屋
#	ダイヤル指針	29-2-20	410807	洲 崎 是 司	伊 丹
#	電気暖房器	29-2-20	410808	{ 若 岡 武 次 郎	名 古 屋
#	電車主回路継ぎ箱	29-2-20	410809	{ 近 山 藤 善 通 男	伊 丹
#	回転電機の軸受	29-2-20	410810	{ 奥 田 文 良	名 古 屋
#	断路開閉器	29-2-20	410813	角 丸 和 男	伊 丹
#	電気器収納箱	29-2-24	410936	高 見 滋	名 古 屋