

MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

Vol.39 April 1965

富士山気象レーダ特集

4

富士山気象レーダ基地



20世紀の砦 〈富士山気象用レーダ〉



真白に雪化粧した秀麗な富士、その中にひとときわ白く輝く富士山測候所のレードーム

秀麗な姿で古来すべての人々を魅了してきた富士山。その富士山も一歩ふみ入ると草木一つない砂漠、焼けただれた溶岩地帯と驚くような容ぼうをさらけ出す。そして過酷な気象条件。気温は、最も低い1月が平均 -19 度、最も高い8月でも平均 5.8 度。東京と比較すると 20 度も低い。風も、最高の1月は 21.4 m/sec、最低の8月でも 8 m/sec、最大風速 72.5 m/sec を記録したこともある。また気圧も地上の $2/3$ という薄さである。

このようにきびしい条件の富士山頂剣ヶ峯（世界最高所 $3,776$ m）に、昭和 38 年 6 月から三菱電機によって、世界最大の画期的な気象レーダ基地の建設が開始された。

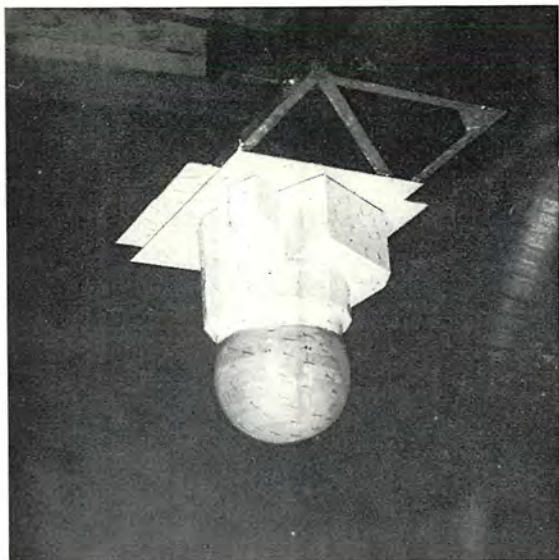
夏の間の 6~9 月という短い工事期間と過酷な条件を克服して、巨大で複雑なレーダ機器と建築資材は、ヘリコプタ

とブルドーザで空陸両用から連日運搬された。そして、今回のレーダ基地建設成功のガンを握る、直径 9 m、重量 600 kg のレードームの空輸に成功、遂に 2 年にわたる工事も終わり、昭和 39 年 9 月最初の試験電波が発せられた。

このレーダは、山頂から 105 km 離れた東京の気象庁で遠隔操作され、出力 $2,000$ kW、最大 800 km 遠方の台風をキャッチし、 $7,000$ Mc 帯のマイクロ回線によりレーダパターンを送り返すという、世界でもめずらしい画期的な性能を持つものである。

この近代科学の粋を結晶した殿堂こそ、まさに建設陣の勝利の記念であり、科学と人力の結合した一大シンポニーによる世紀の砦といえる。

ここにその苦勞に満ちた建設の記録を示す。



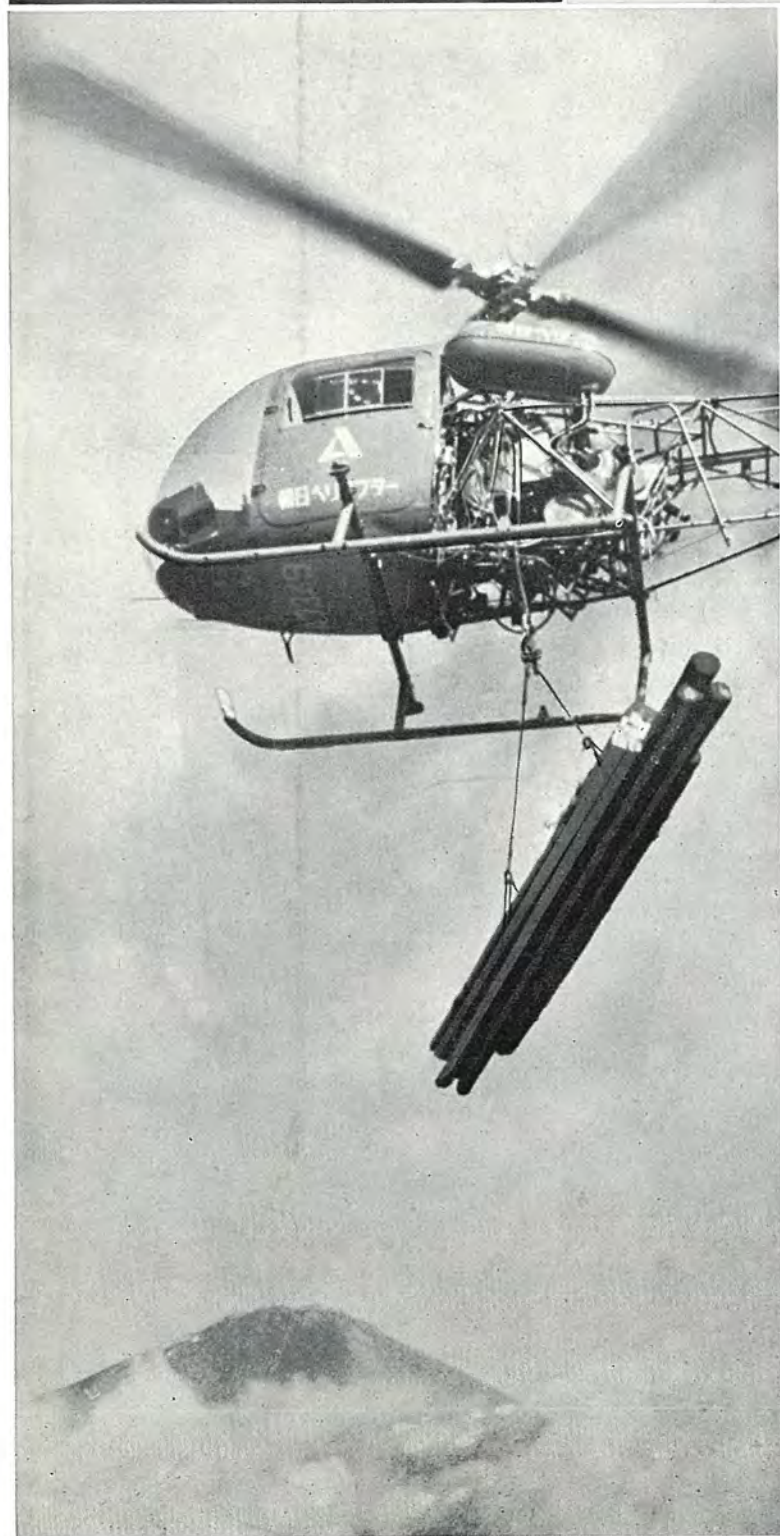
レードームの風洞試験

東大宇宙航空研究所において、レードーム模型の風洞試験が行なわれ、模型表面の流糸によって風の流れを調べ、風速 100 m/sec の風に耐えることがわかった。



建設に先きだつての予備調査

建設に先きだつて富士山頂の厳寒2月、建屋、山頂～東京間の見通しなどの予備調査を行なった。



ブルドーザによる資材輸送

建築資材は、太郎坊の基地から7tブルドーザによって7合8勺の引継点へ(所要時間3時間30分)ここから2tブルドーザに積み換え1時間30分のルートをとって頂上荷置場へ運搬される。もろい溶岩地帯を切り開いたルートで少しでもはずれると一気に転落するという危険性の多い作業である。

ヘリコプタによる資材輸送

建築資材およびレーダ機器は大部分ヘリコプタによって空輸された。富士宮基地のヘリポートから10分程度の行程だが、天候の良い合間をぬっての空輸は、なかなか容易ではないが、近年にない好天に恵まれ急テンポに進んだ。



上 資材置場

ヘリコプタ、ブルドーザにより運搬される資材置場の準備工事、輸送費は地上の50倍の値段になる。

下 レーダ室の建設

レーダ室の組立も資材の輸送ごとに順調に進んだ。



上 基礎作り

ぼろぼろとくずれる火山礫層やその下の万年氷をくぐり抜けて基礎作りが始まった。高所の作業のため登頂する作業員は、事前に厳重な健康診断を行なって適格者を選び、山頂滞山期間は約15日を限度とし、山麓で休養後再登頂する交代制をとった。

中 電源室の基礎工事

気圧は地上の2/3。この中での労働は非常に苦痛である。高山病と戦いながらも工事は着々と進んだ。

下 レーダ室のコンクリート打ち

夏でも寒い山頂でのコンクリート打ちも大変な重労働である。



カマボコ形宿舎

山頂の生活環境は最悪である。そのため作業員の宿舎の選定には、苦心した。水と仕事とに便利な浅間神社の西コノシロ池付近に設置した。宿舎は、耐風・耐寒などを考慮したカマボコ形のガラス・ウール入り木綿天幕とした。

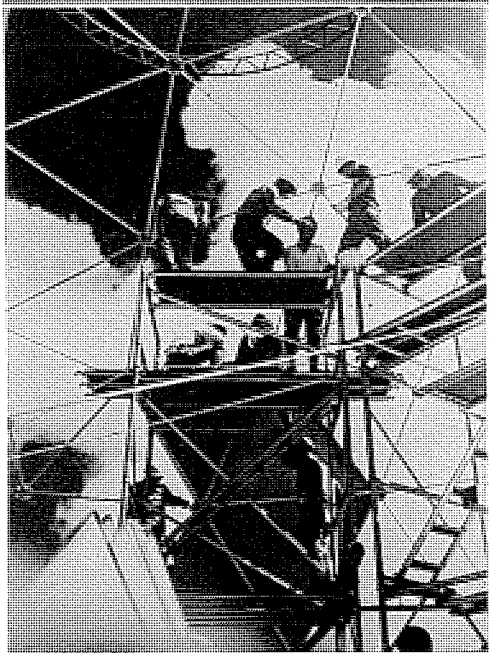
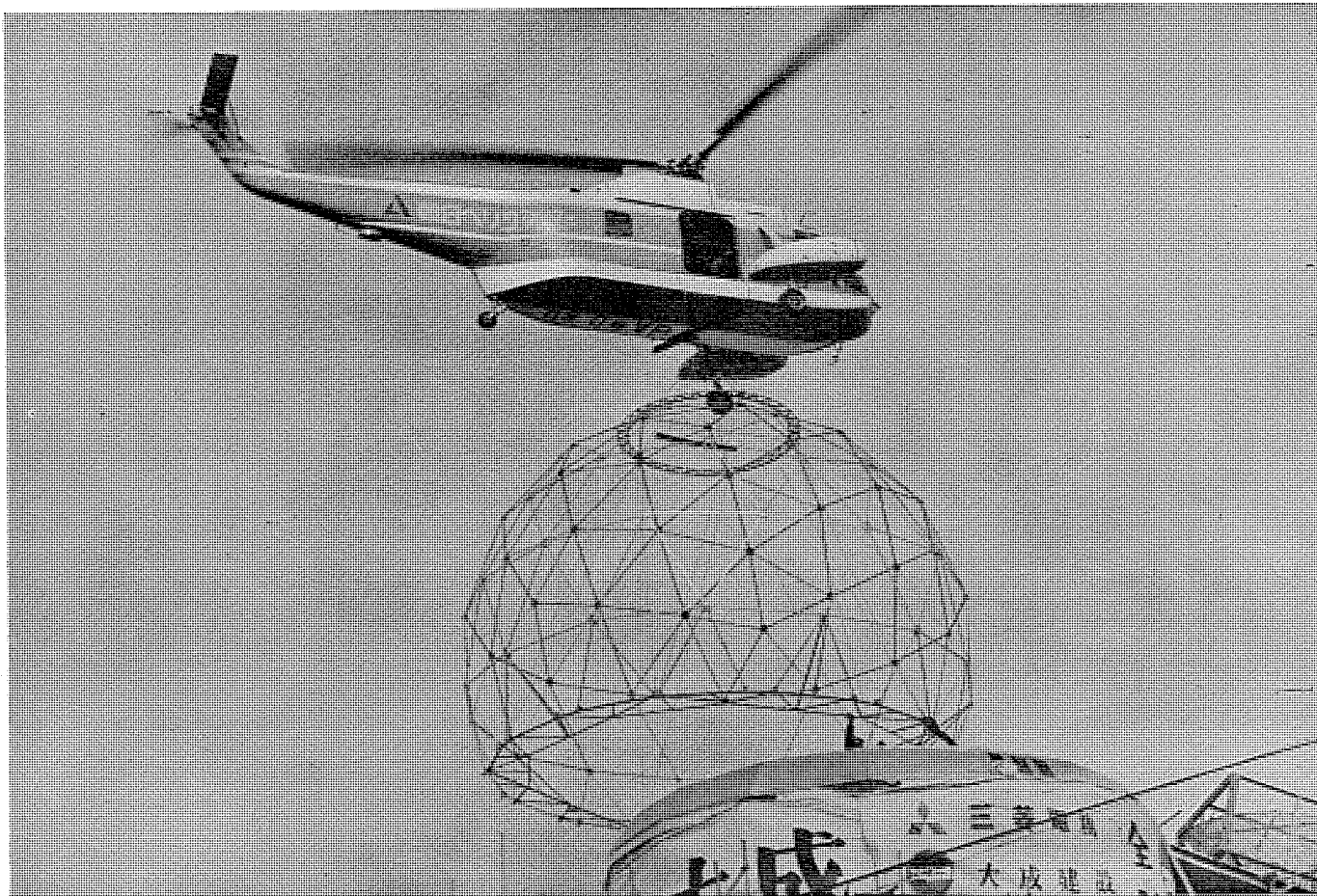


山頂厨房

山頂は、気圧が低いので体力の消耗が激しいのでとくに食事には気を使った。料理は、専門の栄養士に依頼した。米は、蒸気がまをしい、かたい野菜は一次製品の缶詰を使い新鮮な野菜や果物は運搬と保存がむずかしいのでビタミンCは薬で補った。食器も水不足と伝染病防止のため1回使用ごとにすてた。

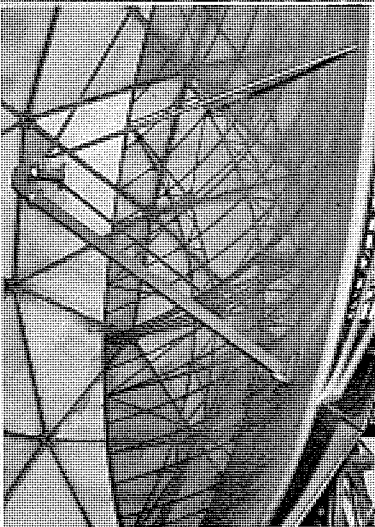
ヘリコプタによるレードームワクの空輸

最大の難関とされていた直径9m 重量600kg
のレードームワクの空輸は、39年8月15日午前
8時18分遂に成功した。



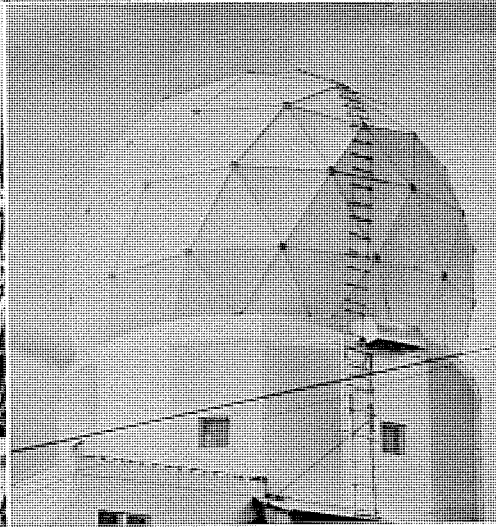
レードームの組立

レードームワクに ポリエステル 樹脂の板をはめ込んで
いるところ。高所と風のため大変危険な作
業である。



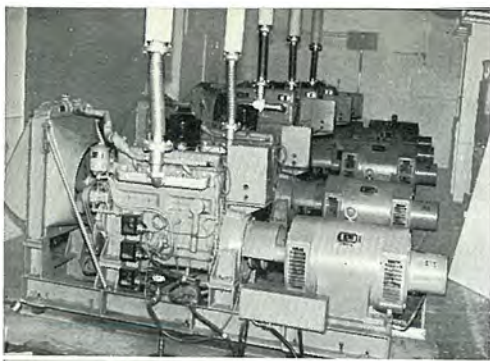
左 レーダ空中線

直径5mのパラアンテナで直径9mのレードームでおおわれている。周波数2890
Mc. 送出力2,000kW. 到達距離はゆうに800kmを越えて西は九州の半分以上、
東は札幌付近、南は小笠原諸島付近の広大な地域に及び、従来気象観測上の空白地
帯といわれた八丈島以内の地域の観測、また平常時の気象観測にも天気図の信頼度
を一段と増すことになった。



右 レードーム

富士山頂の最悪の気象状態における耐風(100m/sec)耐寒(+20~-50°C)のため
レーダアンテナを直径9mのレードームでおおう。材料はガラス繊維の入ったポリエ
ステル樹脂を用い、球面は鉄より30%強いジュラルミンのワクで構成されている。



◀ 非常用電源室内部

20 kW 3 台 (1 台は予備), 通信用として 7.5 kW 2 台 (1 台は予備) のディーゼル発電機を設置停電に備えている。空気稀薄の条件の下で駆動用ディーゼル・エンジンは 20 kVA に対し 57PS, 7.5 kVA に対し 29PS と地上で使用する場合の 2 倍以上の出力である。

左 富士山頂レーダリレー装置

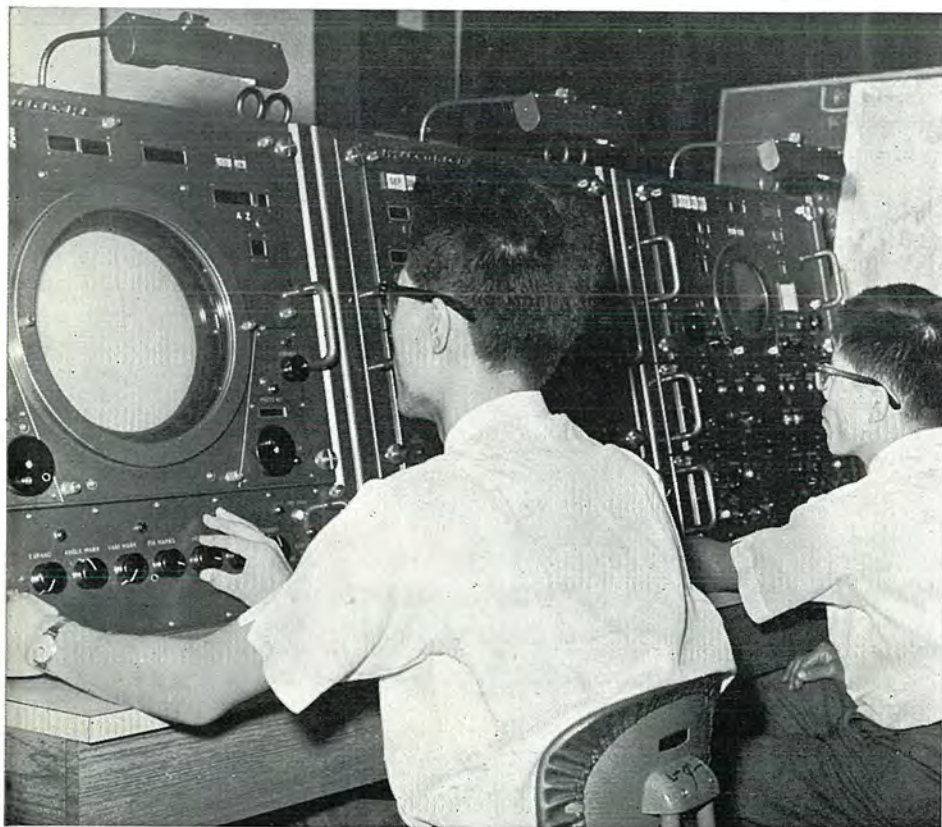
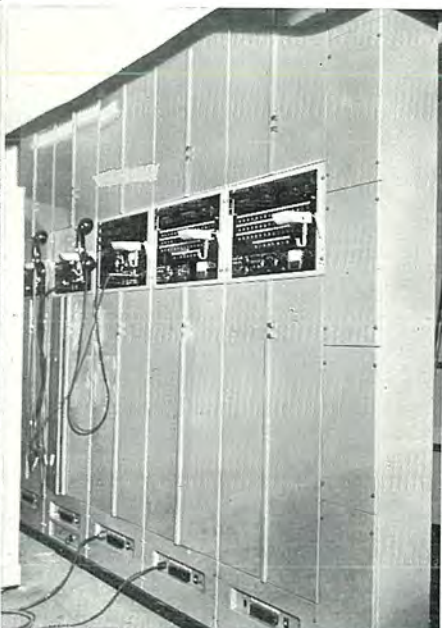
7,000 Mc 帯 2 波のマイクロ回線により映像信号、音声、気象テレメータ、遠隔制御信号、写真電送を送受信する。

中 レーダリレー用搬送端局装置

レーダリレー用の各種信号と 60CH 容量の電話回線を多重化するための周波数分割多重搬送端局装置

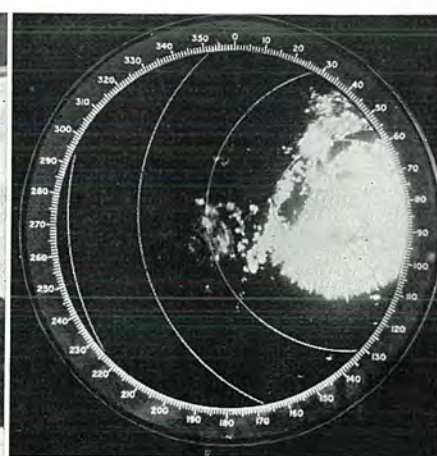
右 検出器

富士山頂における気圧、露点、風向、風速、日射などの気象資料を連続記録および毎正時に印字記録を行なうとともにマイクロ波回線により東京の気象庁に伝送し印字記録を行なう。



東京気象庁から遠隔操作

レーダ装置の操作は、東京気象庁においてリモートコントロールでき、画像は山頂で観測されると同時に 105 km 離れた東京気象庁でも観測できる。レーダで本格的な遠隔制御方式の採用は、わが国初めてであり、世界でもめずらしい。



台風之眼

9 月 24 日完成の日を待つかのように台風 24 号が挑戦してきた。富士山気象レーダはただちに活躍、台風之眼をはっきりとらえ気象観測陣にその威力を示した。



表紙説明

3,776 m の富士山頂に設置された気象レーダは、出力 2,000 kW 半径 800 km の観測能力をもち、日本列島はもとよりこれまで無防備にひとしかった南方洋上までスッポリ包み、わが国を襲う台風の動きを本土接近 20 時間前にキャッチする。

さらにこの気象レーダが世界に誇れるものにリモートコントロール方式がある。富士山頂で観測した気象現象をそのまま同時に東京でも見ることができるばかりか山頂レーダの操作を東京から指令できる。

このレーダ基地建設は、災害国日本の宿命にどんだ当社が、研究と技術の粋を結集、また過酷な条件を克服して、完成させたものである。最終調整も終わり本年 3 月 10 日正式に気象庁に納入した。



三菱電機技報

昭和 40 年 第 39 卷 第 4 号 (富士山気象レーダ特集)

目次

《特集論文》

富士山気象レーダの計画	下島省吾	2
富士山気象レーダシステム	榎本俊弥・植田英雄	6
富士山気象レーダ；レーダ装置	井上義男・御法川秀夫・佐藤円二・石井栄一	10
富士山気象レーダ；リレー装置	阿部修・中根茂樹・室田慎・尾形むつを・藤原謙一	17
富士山気象レーダ；気象テレメータ装置	丸浜徹郎・室田慎・藤原謙一・今泉巽	24
富士山気象レーダ；レードーム	喜連川隆・森川洋	29
富士山気象レーダ；電源設備	堀井明男・金親俊治・林弘幸・畑瀬昌宏	36
富士山気象レーダ；局舎建築工事	岩橋善昭	43
富士山気象レーダ；室温調整設備	福田一郎・内山隆夫	49
富士山気象レーダ；建設工事	金親俊治	55

《論文》

電源開発七色発電所 90,000 kVA 水車発電機および配電盤機器	山下喜美雄・山本潤二	60
三菱重工業神戸研究所流体力学研究課の新設研究設備	富永守之・弘中和夫	66
高落差模型水車試験用 750 kW 直流電気動力計	生原春夫	75
水車性能試験設備用計測装置—三菱重工業神戸研究所流体力学研究課納め—	弘中和夫・竜田直紀・西尾治	81
帝都高速度交通営団（東西線）納め地下鉄電車用電機品	小原太郎・河村寿三・久山研一・永岡栄	88

《技術講座》

変圧器付属品 (2) 冷却装置	印藤義雄・川中進	95
-----------------	----------	----

《新製品紹介》

三菱ケイ光ランプ“ルミスーパー”新発売・RP-20P, 30P 形コントロールリレーを開発・三菱マッサージャ-RM-1 形“パイレット”MV-3 形“ストロング”新発売	103
--	-----

《ニュースフラッシュ》

国産初の三菱会計機東京、大阪で発表会開かる・三菱電子計算機東京センター開設さる・エレベータ、エスカレータの専門工場稲沢製作所稼働を始める・参議員委員会館空調和設備用大出力密閉形冷凍機用モータ完成・日本石油化学納め大容量三相誘導電動機を完成	105
---	-----

《特許と新案》

電流シャ断装置・減速装置付電動ホイストの制動装置・携帯用電気カンナ・反復作動形時限継電器・コード保持装置・空調和装置	107
《最近登録された当社の特許および実用新案》	74・109

《表紙》

1. 富士山気象レーダ基地
2. 20 世紀の若く富士山気象用レーダ
3. 三菱電子機器
4. 三菱 テーラレコーダー (メモリースーパー)

富士山気象レーダの計画

下島省吾*

Planning of Weather Radar on the Top of Mt. Fuji

Japan Meteorological Agency Shōgo SHIMOJIMA

It is one of unavoidable incidents in Japan that typhoon attacks the country now and then and gives serious damage sometimes. A number of countermeasures are worked out to reduce the losses to the minimum. If it is possible to spot the typhoon at places 600~700 km off the coast, there is an adequate time to issue warning to related localities. To meet the purposes it was planned to install a large weather radar at the top of Mt. Fuji to cover the range of 800 km.

To master the severe condition on the summit to carry out the plan strenuous efforts were exercised with novel techniques by those concerned in the project. This article describes the significance, plan and basic requirements of this weather radar.

1. ま え が き

わが国はその占める位置の関係より、四季の変化にとみ自然に恵まれているが、一方、激しい気象変化による影響すなわち豪雪、霖雨そして台風などはさけられない状態にある。

気象災害防止は国の重要な課題の一つであり、その第1条件である正確、かつ迅速な予報や警報の確立についての努力が払われてきた。その一環として気象レーダの開発、ネットワークの完備に約10年間が費され、今やほぼ完成に近づいているが、洋上観測点が少なく十分とはいえない。南方洋上をまっすぐに北上して本土に近づく台風を600~700 kmの所でつかむことができれば、気象観測への寄与は驚異的なものが期待される。

富士山頂に Range 800 km の大形気象レーダを設置する計画を立てた意義はここにある。

山頂の過酷な気象条件はこの計画の困難さを十分に物語っているが約500トンの資材を夏期3ヵ月間に輸送し建設し据え付けうるか否かがこのプロジェクトの成否の鍵であった。

工事開始以来幾多の困難を新しい手法と、関係者の努力で解決して39年10月1日サイト(site)建設に成功した。現在すでに観測業務に参加しているが今後の活躍が期待されている。

2. 気象と災害

わが国は四季の変化に富み、自然の環境に恵まれている点で他にその例を見ない。それだけにこれから受ける利益は計り知れないものがある。しかし一方、この気象変化の激しさが災害につながっていることも見逃せない。

「治山治水」という言葉はかなり昔からある。われわれの祖先は代々いかに気象災害を防ぐかについて努力してきたし、現代もなお同じ苦しみを味わっている。

とくに近年は交通、産業の発達が著しく、いったん災害がおこったときの影響はきわめて大きい。しかもわが国の人口密度は上昇の一途をたどっている。そこが災害の多発地帯であり、危険であるといっても、それと関係なく家が建ち、工場ができるというのが現状である。

このままでは気象災害は増加する一方である。このへんで抜本

的な対策を講じない限り安心して住むこともできなくなる。

戦後、奇跡的な立ち直りをして、世界の人々を驚嘆させた日本である。これを維持し、さらに前進するためにも、気象災害防止に全力を注ぐことこそ急務であると考ええる。

一口に災害防止というが、原子力の利用が進み、人工衛星が月にまで到達する現代であっても、ことは簡単でない。要はすべての機関の総合的な活動と、全国民の理解と協力がなければ達成されるものではない。

さて、気象災害防止の第一歩はいろいろなことが考えられるが、まずその原因となる気象現象の解明こそ必要なことではなかろうか。たとえば台風の場合を考えてみよう。人類の考えた最大のエネルギーは原子力である。その原子力にしても台風のそれに比べれば問題にならないほど小さい。となると原子力をもってしても台風をつぶしたり、方向を変えたりするといった芸当はできそうもない。たとえできたとしても放射能という別の災害までも考えなくてはならない。将来あるいは安全な方法で実現するかも知れないが、やはりまず進路予想といったようなことを正確にすることが第一である。

すなわち、台風に限らず、気象の予報や警報を迅速にしかも正確に発表することが現段階における災害防止の第一条件である。

予報や警報の基本は気象観測である。これによって天気図が作成され、解析されて天気予報や台風の進路予想がだされる。だが、

- (1) 現在の地上観測は点の観測である。
- (2) 海上にはほとんど観測点がない。
- (3) 天気図は一日数回作成されるだけである。
- (4) 天気図作成には時間がかかる。

などの欠点がある。これだけのことで除くことができれば、少なくとも現在の予報精度を上げることができるはずである。

もちろん天気図を作成することだけがすべてではないが、今の予報にもっとも不足しているものといえば、やはり基本となる現象をまのあたり見るということである。現在の気象観測においてもっとも容易に現象をつかむことができるものといえば気象レーダであろう。将来これに加わるものとして、航空機、ロケット、気象衛星などがあげられるが、これが総合的に整備されれば、おそらく予報精度は飛躍的に向上されることは間違いない。

3. 気象レーダの効果

気象の変化は急激であり、その影響する範囲は大きい。今までの点の観測ではこれらを即時にかつ総括的につかむことができなかった。その点気象レーダは何時でも一目りょう然、立体的に観測できる。しかもその実況はそのまま有効な予報の資料となる。このようなことは気象レーダが出現するまで想像もつかなかったことである。開発されてから10年、たゆまぬ研究が重ねられた結果、今では災害を伴うような異常気象発生時の予報には気象レーダを利用することが常識となっている。

たとえば気象レーダによれば、

(1) 従来の点の観測の欠点を補い、かつ海上の観測点の不足を地上においてカバーすることができる。

(2) 天気図では解析できない気象の変化があり、また天気図作成の中間における気象変化もある。これを予報するにはレーダだけが頼りである。

(3) とくに局地性の大雨雪、台風などに伴う豪雨の予報には、レーダなしでは実況のはあくができない。

(4) 注意報、警報あるいは洪水予報などの発令あるいは解除の時期を決める場合、レーダ以外の方法では時間がかかり、適確でない。

しかし、気象観測にレーダだけあればという考え方はまちがっている。気象レーダは予報のオールマイティではなく、予報に必要な一資料を提供するにすぎないものであるということである。ただ10年前まではこれすらできなかったことを思えば大へんな進歩であるといわなければならない。

4. 気象レーダの特質

気象レーダは雨または雪を観測するものである。台風を観測するというが、それはその中の雨を観測するわけである。一般のレーダではその目標が船や航空機であり、その存在位置がわかれば一応目的を達成する。しかし気象レーダでは雨雪という広範囲に広がりをもつ細かい粒子の集まりを観測するものであるから、単に位置だけ知ったのでは役に立たない。その位置、範囲、進行方向、速度、高さはもちろんのこと、降雨雪現象の強度、量、性質、発達状況など微細な内部構造まで知る必要がある。しかもその現象からの反射強度はきわめて小さい。これが気象レーダの大きな特長で、気象現象の内容など気象学にも精通し、経験をもつたものでなければ満足な気象レーダの設計、製作はできない。

ところで気象レーダの設計において問題となる点は多くあるがこのうち使用する波長と設置場所の高さが一番大きな割合を占めている。

波長は使用する目的によって選ばなければならない。その選び方によってレーダの効果を左右する大切な問題である。気象レーダの波長と雨の種類、強さなどとの間には複雑な関係があるがあらまし次の二つに分けることができる。

(1) 比較的弱い雨とか孤立した雨(雷雨など)の観測には短い波長のレーダ

(2) 強い雨に対しては長い波長のレーダ

ここでいう短い波長とは3 cm から5 cm 波帯を指すが、3 cm 波帯では短すぎるため、もっぱら5 cm 波帯が使用される。5 cm 波帯であれば集中豪雨のようなやや強い雨に対しても比較的好結果が得られる。

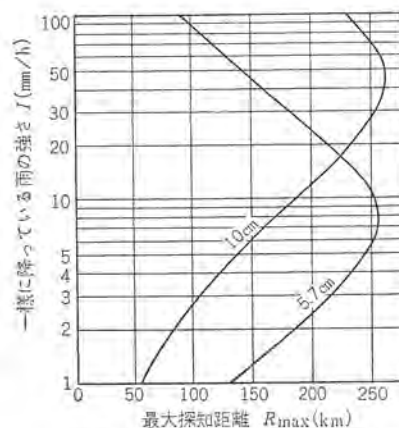


図 4.1 5.7 cm 波と 10 cm 波レーダの性能比較
Fig. 4.1 Comparison of radar detectable capabilities for 5.7 cm and 10 cm wave length.

台風などのように強く強い雨をもたらすものの観測には10 cm 波帯が有利である。目標の台風までの間に一樣に雨が降っている場合その雨による減衰は、5 cm 波帯で0.003 dB/km/mm/h、10 cm 波帯で0.0003 dB/km/mm/hと1けたの差がある。

図4.1は気象レーダの雨の強さと波長の違いによる探知距離の差を示したものである。

これからわかることは、台風のようにレーダの設置点から台風までの間および台風の中に強い雨が存在しているような場合の観測には10 cm 波帯のレーダがもっとも有利である。台風を含めてそれ以外の気象現象全般を観測するためには5 cm 波帯がもっとも使いやすい。

次に気象レーダではなるべく遠くを観測したいので、設置場所の高さも重要である。いくら送信出力を大きくしたり受信機の感度を上げても、その設置場所が周囲の山や構造物に邪魔されるところ、あるいは著しく低い場所であったりしたのでは、遠距離探知はととても望めない。

レーダから発射される電波はほぼ直進すること、地球が球であること、降雨域の高さにも限度があることからみれば設置場所の高さは高いほど遠距離を観測するのに有利であることがうなずけるはずである。

しかし高い方がよいといって、人跡未とうの山奥につけたのでは装置の維持すら困難となり、所期の目的は達せられない。交通の不便なところでは必要な電気や水を得ることも容易でなく、勤務員の保安、生活の点でも問題があり、観測されたデータも十分活用することができない。

5. 気象レーダの観測網

図5.1はわが国における気象レーダの配置を示す図である。この配置を決めるに当たって、レーダの利用目的を次の二つに分けている。

(1) 台風など大きさが数百キロメートルにもおよぶ大規模な大気じょう乱をつかみ、天気図解析に利用する。

(2) 集中豪雨雪などのように大きさが約100キロメートル以下の比較的小規模な降雨、降雪の動きをつかみ、直接局地的な天気予報や災害防止対策のために利用するもの。

この目的を完全に遂行するため、次のような条件に従ってレーダ網を展開している。



図 5.1 気象レーダの観測網
Fig. 5.1 Weather radar network.

(1) 大規模な大気擾乱をつかむため、レーダ探知範囲が全国をカバーする。洋上に対してはできるだけ遠くに及ぶよう設置場所を選択する。

(2) とくに南方洋上に対しては台風を海上のなるべく遠方からつかめるような地点に設置する。

(3) 小規模な降雨雪をつかむためには、大都市、災害の多い地方、交通や産業の重要な地帯などを災害から守るため、上記とは別に効果的な場所を選んで設置する。

(4) レーダが山岳地のような予報中枢官署から離れた場所に設置されるときには、レーダレーを設定してその映像を官署に送像する。

このようにして展開された気象レーダはすべて 300 km 以上の観測範囲をもっている。そうすると当然、その観測範囲がオーバーラップする。これはたとえば、一つの台風を数個所のレーダで追跡する場合、それぞれのレーダの誤差をカバーして、中心位置測定信頼度を高くするためにとられている処置である。

6. 富士山気象レーダの必要性

気象レーダ網の整備は南は九州奄美大島から北は北海道まで日本の海岸線を埋めるような形でなされてきた。これは日本近海から陸地にかけての降雨雪状況をつかんで災害防止に役立たせようとする考えである。とくに沖縄から九州を通るコースの台風と、四国沖から本土に入るコースの台風に対して万全を期することに重点がおかれている。

しかし、台風のコースはこれだけではない。南方洋上をまっすぐ北上して本土に近づく台風も多い。

さきにも述べたとおり、わが国における気象観測網の欠点は洋上に観測点が少ないということである。南方洋上の観測点といえば鳥島、八丈島など数点を数えるにすぎない。この空白地帯の観測を充実することは緊急を要する課題であった。

たとえば、伊勢湾台風のような大形台風が京浜地帯を襲ったと

仮定していただきたい。

これらの対策のため、少なくとも鳥島か八丈島に気象レーダが設置されればということはかなり前から要望されていたところである。だがいずれの島も条件が整わないため、実現できないでいた。そこで富士山が着目された訳である。

富士山は 3,776 m の日本一高い山である。ここにレーダが設置できれば、台風が洋上のどの方向にあらうと、その高さによっては 800 km もの遠方から追跡することが可能である。ちなみに鳥島までの距離は約 600 km であるから、台風が鳥島の南の線上にあるときからキャッチできるわけである。これが可能となれば、その気象観測への寄与は驚異的なものが期待される。

7. 富士山気象レーダ計画の問題点

富士山頂には 30 余年間 1 日も休まずに観測を続けている測候所があり、山頂の様子も十分知りつくしている。このため、ここにレーダが建設されることによって困難性はやや増加するが、運用上特別な問題はない。しかもここは東京の気象庁から電波的な見通しにある。現に名古屋、長野、豆南諸島など 12 の官署に対する無線電話の中継所にもなっている。さらに山頂まで延々と 3,300 V の動力線が上っていて、年間を通じて余裕のある送電が行なわれている。

ただ問題であるのは、山頂までの道路が不完全であること、特殊な気象条件であること、山頂の敷地が狭いことなど、平地では想像できない問題点があるということである。

さらに大きな問題はこのような高山に大電力レーダを建設した例がなく、未知の部門が多いということである。調査したところでは、アメリカモンタナ州モズリーに 1 箇所あるだけであるが、その高さは約 2,600 m で比較にならない。

しかし現在の技術の総力を注げば不可能なことはいずれであるし、完成後の絶大な効果を考えれば建設を強行するだけの価値は十分ある。

要するに建設に必要な資材と機械類約 400 トンをごく短期間に輸送し建設することができるかどうかという唯一の問題として絞られたわけである。

8. 富士山レーダの要求性能

性能を決める前に富士山頂の各種条件を整理してみた。

(1) 山頂の気象

- (a) 最大風速 66.7 m/s
- (b) 最低気温 -35.5°
- (c) 平均気圧 約 640 mb
- (d) 雷、霧氷、積雪などとくに多い。

(2) 輸送可能期間

6 月下旬より 9 月下旬まで

(3) 室外工事可能期間

7 月中旬より 9 月中旬まで

(4) 資材の運搬方法

- (a) 自動車、馬力、強力による方法

自動車は新 2 合目または太郎坊まで、そのあと 8 合目までは馬、そこから頂上までは強力に頼る。荷上げ能力は 1 日約 700 kg で、1 個の最大重量は 200 kg が限度

- (b) ヘリコプタによる方法

大形ヘリコプタを使用すれば 1 個の最大重量 600 kg。これによれ

ば山麓から頂上または頂上近くまで短時間で空輸できる。欠点としては、天候に左右されること、日本の民間航空会の保有機数が少ないことである。

(c) ブルドーザによる方法

ブルドーザが使用できるということは、この計画のはじめには考えられなかったことであるが、実際には今回の工事でヘリコプタとともに主役をつとめたのである。これによれば天候にも強く、輸送重量も大きい。

これらの条件のもとで決定された要求性能は下記のとおりである。

(1) レーダ

- (a) 波 長 10 cm (3,000 Mc 帯)
- (b) 送信 セン 頭出力 1,000 kW以上(実際には 2,000 kW)
- (c) 空中線の大きさ 直径 5 m の円形 パラボラ
(レードム内に収容)
- (d) 最大測定距離 600 km (後に 800 km に訂正)
- (e) 受信機の雑音指数 3 dB
- (f) 指示方式 PPI, RHI, A スコープ

(2) レーダ リレー

(a) 東京-富士山間に 7,000 Mc 帯 マイクロ 波回線を設定する。

(b) 東京の気象庁に対して レーダ 映像を自動的に送像する (PPI, RHI, A スコープ)

(c) 東京に送られた レーダ 映像を ポロイドカメラにより撮影し、写真電送装置により名古屋および静岡の各地方気象台に電送する。

(d) 従来行なっている山頂の気象観測のうち、気圧、気温、露点、風向、風速、日射の 6 要素を自動化し、東京へ自動的に送る。

(e) 富士山を中継所としている VHF 電話回線に接続し、さらに 60 回線の予備を設ける。

(3) 電 源

レーダ、レーダリレー、照明、暖房など山頂に必要な一切の電力はすべて送電線から供給される。停電(年間約 80 日間)に対しては予備電源(ディーゼル発電機、一部自動起動を使用)を設置する。そのために必要な燃料 タンク(30,000 l)を設ける。

(4) レードム および建物

(a) レーダ 空中線を保護するため レードム を設ける。レードム 自体の着氷雪を防ぐための措置を考慮する。

(b) 敷地が狭いため、現用庁舎の一部を取りこわし、そこに、全装置および旧庁舎の施設を収容できるような庁舎を建設する。その上に レードム をのせる。電源室は別棟とする。

(c) 建物および レードム は風速 100 m/s に耐え、適当な空調も用意する。なお、国立公園、神社境内であることも考慮して美観その他に留意する。

この他にも レーダ 映像を隣接気象官署で受像できるような方法、いわゆる映像の放送も計画されたが、電波法上問題があるということを取り止めとなった。

富士山測候所に常駐させることのできる勤務員の数はせいぜい 5, 6 名が限度である。しかも山頂の気圧は地上の 3 分の 2 で、作業能率は著しく悪い。いくら優秀な技術者であっても、これでは何から何まで作業することは無理である。それゆえ、今回の計画では山頂における作業の単純化に重点をおいた。

その結果が レーダ の遠隔操作であり、気象観測の自動化である。さらに マイクロ 波回線と VHF 回線との接続および交換の自動化、電源切換の自動化などほとんどの観測と操作を自動化することによって作業内容の整理を心がけた。これによって山頂の勤務者は装置の保守のみを行なえばよいことになる。

このことは保守の面においても同じことで、故障部分の警報表示化、ブロック ごとの交換、予備機への自動切換など大きな労力と時間を要せずに復旧するよう万全の措置が講ぜられることになった。

9. む す び

以上が富士山気象 レーダ の計画とそのいきさつの概要である。さいわい突貫工事であったにもかかわらず、一件の事故もなく見事に完成した。

輸送のこと、建設のこと、ずいぶんきわどい工程のやりくりもあった。窮地に追いこまれたことも一度や二度ではなかったが、世界一の気象 レーダ を造るという関係者一同の意気込みが成功させたものではないかと思われる。

今後はこの施設をフルに活用して立派な成果をあげるだけである。

終わりに富士山気象 レーダ の完成を記念した特集号の発刊にあたり、誌上をかりて関係者各位に深く感謝する次第である。

富士山気象レーダシステム

榎本 俊 弥*・植 田 英 雄**

General Description of Weather Radar on the Top of Mt. Fuji

Kamakura Works, Itami Factory

Toshiya KASHIMOTO・Hideo UEDA

The existing network in the meteorological survey is not sufficient in grasping the weather situation from the general viewpoint and in tracking the typhoon attacking the main land of Japan straight from the south. To make up the deficiency it was planned to install a weather radar on the summit of Mt. Fuji by the Japan Meteorological Agency. To realize the project a large radome, housing the radar to withstand very severe environmental condition, not only cold but such a heavy wind as 100 m/s, was set up. Transportation of necessary materials and equipment weighing 500 tons was another big problem. Every hardship, however, was mastered and the plan was brought to completion on the 1st of October, 1964. The report deals with the general description of the system and the work.

1. ま え が き

南方定点観測の不備を補い、主として台風の経路追跡を任務とするほか、巨視的に日本全土の気象現象の観測を可能にする目的をもつ富士山気象レーダが気象庁において計画されていた。

過酷な気象条件下、安定した動作をとくに要求され、北は函館、西は福岡、南は鳥島南方とほとんど日本全土をカバーする大形気象レーダ、風速 100 m/s に耐えるレードーム、スパン 100 km を越す東京とのレーダリレー、年間を通じて約 3 か月の作業可能期間の中での約 500 トンの資材、機材の輸送、局舎建設、どれ一つとりあげても容易なことではなかったが、計画どおり無事昭和 39 年 10 月 1 日に完成したので、その概略について報告する。

2. 富士レーダサイト建設計画

気象庁においては、約 10 年前より国内の気象レーダ網の計画をたて、当社は当時としては画期的な気象レーダ RC-1 を完成し、東京管区気象台に納入した(昭和 30 年)。引き続き名古屋に RC-4 (昭和 36 年)、札幌に RC-4C (昭和 38 年)を製作納入してこのネットワーク完成に参加してきた。

しかしながら現在までに完成されたネットワークは局地的な予報に対して、また南西より本土に接近する台風の追跡には十分その

機能を果しているが、全国的な気象を総括的にはあくするには不十分であり、とくに南方より本土に直進する台風については十分とはいえなかった。

幾多の困難と制限を予想しながらも 3,776 m の富士山頂に大出力気象レーダの設置が計画された意義がここにある。

2.1 基本的資料

富士山頂に気象レーダを設置することが、気象観測上きわめて有効であるという考えは以前からあったが、気象庁が具体的にこの計画を提示したのは昭和 35 年 7 月⁽¹⁾であった。これを整理すると大略次のとおりである。

(1) 設置場所

(a) 所在地 静岡県富士宮市富士山頂剣ヶ峰
富士山測候所

(b) 標 高 3,776 m

(c) 緯 経 度 35°21'26"N, 138°43'50"E

(d) 登山方法 徒歩約 8 時間

(2) 山頂の気象

(a) 最大風速 66.7 m/s SSW (1951 年)

(b) 最低気温 -35.5°C (1936 年)

(c) 雷 発 生 雷雨、落雷きわめて多し。

(3) 電 源

約 90 kVA/3,300 V 送電可能のケーブルが布設されている。
ただし、落雷事故による停電は年平均約 80 日。



図 2.1 旧富士山測候所(朝日ヘリ(株)撮影)

Fig. 2.1 An old aspect of observatory on the top of Mt. Fuji. (Courtesy of Asahi Helicopter Co., Ltd.)



図 2.2 完成した富士山気象レーダ

Fig. 2.2 Fuji radar site, completed.



図 2.3 富士山気象レーダ東京局（気象庁）
Fig. 2.3 Tokyo observation center in Japan
Meteorological Agency.

(4) 工事関係

- (a) 工事用水 残雪の利用によるが現施設容量約 40 石
- (b) コンクリート工事可能期間 7 月中旬より 9 月中旬
- (c) 屋外工事可能期間 6 月下旬より 9 月下旬
- (d) 宿泊設備 厚生省研究所、電々公社宿舎がある。収容人員は 50 名以下。
- (e) 輸送方法 現在は 2 合目以上は馬力あるいは人力のみ
- (f) 輸送能力 同上的場合 1 日約 800 kg
ただし、新形ヘリコプタによれば 1 回約 600 kg、空輸の可能性あり。

(5) レーダ機器に対する基本的要求

- (a) 波 長 10 cm 帯
- (b) 観測範囲 600 km 以上
- (c) 東京への映像伝送
- (d) 操 作 できうれば東京において完全遠隔制御。

2.2 計画の経緯

この工事に関係ある事項をまとめると下記のようなのである。

昭和 35 年春	第 1 回 ラポポザル 提出
35 年 7 月	気象庁、基本計画書発表
36 年 8 月	直径 17 m の硬質 レードーム（プラスチックスペースフレーム 形）完成
36 年 9 月	レードーム 着氷状況、寿命試験のため試験片を山頂に運搬据付
37 年 4 月	レードーム 試験片調査のため技術員登頂
37 年 10 月	オーストラリア 気象庁より有線による完全 リモートコントロール 形 10 cm 帯気象レーダを受注。新方式を採用。映像伝送、遠隔制御に成功
38 年 1 月	最終 ラポポザル 提出
38 年 2 月	レーダリレー 回線 ルートの予備調査のため富士山頂と東京との見通し試験実施
38 年 2 月	山頂の地盤、地質調査実施

3. システム

3.1 基本方針

この計画に着手するにあたり、たえず考慮を払い、重点をおいたのは次の 4 項目である。

- (1) 信頼性のある安定したシステムとすること。

富士山気象レーダシステム・榎本・植田

- (2) 山頂の特異な気象条件に十分耐えること。
- (3) 山頂工事を短期的に完了できること。
- (4) 操作、保守が容易であること。

これらを基本的態度として、構成機器群の技術性能、局舎の建設、資材の輸送を検討の上 システム を決定した。

3.2 システムの概略

- (1) 山頂においても操作、観測できる。
- (2) 可視範囲以内にある 10 mm/h の雨雲を、約 600 km の距離において検知。ただし、15 km の高度をもつ台風の場合約 800 km において検知する。
- (3) 気象観測は東京局において行なうを原則として、レーダビデオ（画像）の品質を劣下させることなく東京局に伝送する。
- (4) 空中線角度信号の総合精度は水平 $\pm 0.5^\circ$ 以内、垂直 $\pm 0.3^\circ$ 以内とする。
- (5) レーダ 操作に必要な項目については、東京局よりリモートコントロールを行ない、同時に山頂の機器の動作の確認と状態を表示する。
- (6) レーダアンテナ、リレーアンテナ（山頂側）とも レードームを使用し、レードーム 着氷現象に対する対策をたてる。
- (7) 停電時に備えて リレー 回線用として、7.5 kVA 自動起動発電機 2 台、レーダ 機器その他用として 20 kVA 発電機 3 台を設置する。
- (8) 観測 6 要素（気圧、気温、露点、風向、風速、日射量）を自動記録し、東京に伝送する。
- (9) リレー 回線にレーダに必要な諸量伝送の他に、業務連絡電話 3CH 実装、将来の業務の増加を考慮して、実装とも 60CH 容量をもたせる。
- (10) 観測室、レーダ 機械室、リレー 機械室を空調する。

3.3 レーダシステム

3,776 m 高度の見通し図を図 3.1 に示すが、600 km で高度約 10 km、800 km で約 15 km である。通常台風など異常な気象現象の高度限界は 8 km ないし 12 km であり、まれには 15 km のものが報告されているので、最大探知距離 800 km を採用した。

- (1) 台風の前線は通常強い雨を伴うので、電波は減衰をうける。
- (2) 局舎、レードーム の関係上、空中線の直径は小さい方がよい。
- (3) 空中線 ビーム 幅が広いと、遠距離においては実効反射電力が減少する。
- (4) 空中線角度精度は遠距離になるほど、実距離測定に誤差になる。

などのことを考慮する必要があった。

種々検討の結果、前線には 30 mm/h の降雨があると仮定して、

- (1) 送信電力 セン 頭値 2 MW
- (2) 最小受信感度 -110 dBm

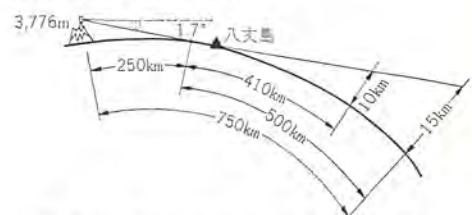


図 3.1 富士山気象レーダ見通し断面図
Fig. 3.1 Fuji radar horizon.

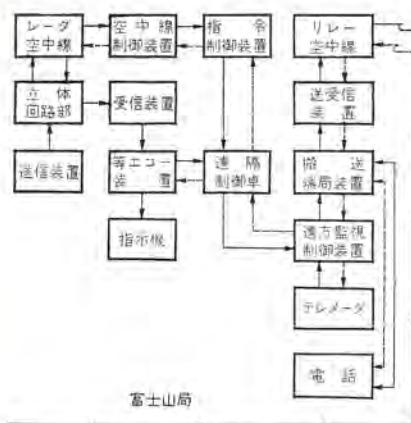


図 3.2 富士山気象レーダ機能図

Fig. 3.2 Functional block diagram.

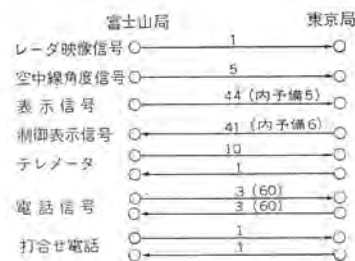


図 3.3 レーダリレー 伝送項目
Fig. 3.3 Radar relay
transmission signals.

などを厳格に設計にとり入れることが重点であった。さらに ITV と 180 CH 電話の同時伝送⁽²⁾に成功した当社は、その設計基

準および経験を用いて上記の諸問題を解決したが、ITV 信号の伝送よりも、波形伝送の点からとくに低周波特性をきわめて重視し

なければならなかった。

3.5 システムの構成

機能的構成を図 3.2 に示し、レーダリレーの伝送項目を図 3.3

に示す。

3.6 機器性能の概略

(1) レーダ

送信周波数 2,880 Mc

セ 頭送信出力 2,000 kW (Nominal)

送信 パルス 幅 1 μ s/310 pps, 4 μ s/160 pps

最小受信感度 -110 dBm

空中線形状 5 m 直径, 円形 パラボラ

ビーム 幅 1.6 度

水平走査 自動 5 rpm

手動 360 度

垂直走査 自動 -2 $\sim$ +18 度 往復走査

12 秒/サイクル

手動 -5 $\sim$ +25 度

観測範囲 50, 100, 200, 400, 800 km

等 エコーレベル 5 dB, 9 ステップ

CAPI 高度 0 $\sim$ 15 km

(2) リレー

伝送距離 100 km

送信周波数 富士山局 6,860 Mc

東京局 6,700 Mc

送信出力 富士山局 5 W

東京局 1 W

空 中 線 富士山局 3 m ϕ (レドーム付)

東京局 4 m ϕ

伝送容量

富士山局 $\rightarrow$ 東京局 レーダビデオ 1 CH

電話換算 75 CH

東京局 $\rightarrow$ 富士山局 電話換算 65 CH

無線機変調方式 リバ 周波数変調

ビ デ オ FM

電 話 SS-FM

角度伝送 AM-SS-FM

制御表示信号 FS-SS-FM

打ち合わせ AM-FM

(3) アンテナ 直径 5 m

(4) 角度伝送 位相推移方式

と諸元を決定した。

3.4 リレーシステム

山頂でえられたレーダ映像を忠実に東京の気象庁に伝送し、観測に資するとともに、レーダ機器の遠隔制御、山頂気象の自動測候

テレメータ、電話などを同時に中継伝送することが必要であった。

これら諸信号の伝送には

(1) S/N が良好であり、かつ豪雨、豪雪、台風など気象観測の重要性が高い時に十分な信頼度、安定度をもつ伝送方式であること。

(2) 等雨量線観測などのためにレベル変動のすくない伝送系であること。

(3) レーダ機器の遠隔制御、表示およびテレメータ伝送は誤送がなく、かつ占有帯域のせまい方式であること。

(4) 空中線角度信号の伝送にはとくに誤差がすくないこと。

(5) 諸信号の伝送は簡易かつ安定な多重方式で、占有帯域幅ができるだけ狭いこと。

などが必要である。これに対して種々検討した結果、

(a) 7 Gc 帯無線回線を使用する。ただしできる限り小送信電力で回線を構成する。

(b) 周波数分割多重方式でレーダ映像と電話通話路相当 76 CH 信号を多重化し、伝送帯域 2.3 Mc に収容する。

(c) 空中線角度信号は単一正弦波の位相推移に変換して伝送し、レベル変動、雑音に影響されないようにする。

(d) 制御、表示は 50 ボ-FS 方式とし、表示と入切制御は 7 項目ごとの直列符号サイクリック伝送方式を、また連続制御は並列伝送方式に用いることとした。これらの中で伝送系設計上もっとも重視した問題は、レーダ信号と諸信号の周波数分割多重方式による同時伝送であって、

(イ) レーダ映像の忠実な伝送のためにリレー系は数 c/s から 1.5 Mc にいたる間で、ほぼ平坦な振幅特性と単調な位相特性を保っていなければならない。

(ロ) レベル変動がすくなく、またレベルの変動を簡単に点検し、補正できることが必要である。

(ハ) レーダ映像の時間原点には送信パルスのまわりこみによる波高値の大きいパルスが混在するものと考えなければならない。

また受信映像のないときにはかなり大きい電力と、広い周波数成分の雑音が流入する。これらに対して十分大きい伝送容量を有し、電話信号との相互妨害があってはならない。

端局方式	周波数分割多重
(3) レードム	
形 式	メタリックスペースフレーム
直 径	9 m
電力透過率	86%
(4) 電源設備	
変電トランス	
(a) 3-25 kVA 1φ 3,300 V/210 V, 50 c/s	1 台
(b) 10 kVA, 1φ, 3,300 V/105 V, 50 c/s	2 台
非常電源	
(a) 20 kVA, 3φ, 4 p, 1,500 rpm, 210 V, 50 c/s	3 台
(b) 7.5 kVA, 3φ, 4 p, 1,500 rpm, 210 V, 50 c/s	2 台

4. 工 事

機器の構成が多様であり、機器製造担当場所は全国にわたり、工事現場も山頂と東京に分かれ、かつ山頂作業期間は極度に制限をうけたので、各グループの協調が必要であり、工事調整が重要な要素となった。

4.1 工事の内容

工事内容および関係グループは大略下記のとおりである。

- (a) レーダの製作（鎌倉製作所伊丹工場）
- (b) リレーの製作（同上）
- (c) レードムの製作（同上、相模製作所）
- (d) 気象テレメータの製作（鎌倉製作所伊丹工場、他）
- (e) 受変電設備の製作（本社総合設備部、長崎製作所、他）
- (f) 非常用電源の製作（三菱重工業（株）、長崎製作所、他）
- (g) 山頂局舎の建設（大成建設（株）、本社総合設備部）
- (h) 資材、機器の運搬（朝日ヘリコプタ（株）、地元ブルドーザ組合、本社総合設備部、他）
- (i) 機器の据付調整、（株）弘電社、越田商工（株）、西山電気（株）、本社総合設備部、鎌倉製作所伊丹工場）

4.2 工事工程

昭和38年5月受注決定、ただちに工事に着手した。納期は昭和40年3月で工期は約2年であったが、冬期は山頂における作業は中止せざるをえず、39年度は実質上半年であり、おそくも秋までに全工事を完了する必要がある。大工程としては38年は山頂建設工事と機器の製作にあて、39年は機械輸送と据付、調整とにあてた。

38年度山頂工事は悪天候に悩まされながらも、電源室を完成したが、主要な局舎建設については、資材運搬に止まり完成はできなく、9月23日工事を一応打ち切った。39年度は工事の遅れをとりもどすため6月より着手に予定を変更したが、雨が多く、大して進捗をみなかった。しかし、7月下旬より天候が回復し一挙に建設、輸送、据付を強行し、9月末に無事工事を完了した。

4.3 工事の経緯

昭和38年

- 5月1日 契約
- 5月31日 工事開始のための現地打ち合わせ
- 6月20日 御殿場作業事務所、ヘリコプタ基地、建設開始
- 6月28日 ヘリによる輸送開始
- 8月1日 地鎮祭（山頂ならび富士宮浅間神社）
- 8月30日 局舎コンクリート打完了
- 9月15日 電源室完了
- 9月23日 山頂工事中止

昭和39年

- 5月22日 山頂において除雪作業開始

富士山気象レーダシステム・榎本・植田

- 6月10日 富士宮ヘリポート設備完了
- 6月23日 局舎建設工事開始
- 6月23日 山頂馬の背まで2トンブルドーザの輸送路完成、ただちに輸送開始
- 6月29日 局舎建方工事完成（内装を除く）
- 7月11日 第1回空輸（レードム 台ツク）
- 8月5日 空輸機器富士宮ヘリポート集結完了
- 8月6日 本格的空輸開始11日までに48回約20トンの機器を輸送
- 8月15日 レードムの空輸成功
- 9月19日 東京へ映像伝送および遠隔制御の確保を行なう。
- 9月22日 報道関係公開
- 9月25日 台風20号を岡山県上空（400 km）で捕捉、レードム 暴風雨に耐える。
- 10月1日 電波管理局検査合格。

5. 総 合 結 果

据付調整完了後については、

(1) 総合試験の結果東京局の画像は山頂局の画像と何ら変わりなく、総合性能は大略下記のものが得られた。

(a) SG法により S_{min} は山頂と同じく東京局においても -110 dBm（これはレーダリレーによる検知能力の低下がないことを意味する）

(b) 角度伝送系について、山頂、東京の誤差は水平垂直おのおの $\pm 0.2^\circ$, $\pm 0.1^\circ$ 以下であり、総合角度誤差はおのおの $\pm 0.5^\circ$ $\pm 0.3^\circ$ 以内に入った。

(c) 角度信号精度にとくに関係あるレベル変動については ± 7 dB を記録した（これは各機器の時間的変動あるいは温度変化に対する系の強さを示す。）

(2) 局舎完成直後の9月25日、台風25号が来襲し瞬間風速 80 m/sec を記録したが、レードムはよくこれに耐え、台風を岡山県上空（420 km）において観測した。

(3) 10月27日本土に接近する台風27号を観測したが、この台風は夏期のものと異なり、エコー頂高度が十分低く 3 km くらいであったが約 600 km でこれを捕え、当初計画した以上の機能を発揮した。

(4) 完成後、約半年厳しい周囲条件にたえ、日に3回の暫定運用に支障なく従事して、信頼性ある安定した動作を続けている。

6. む す び

かえりみるに、製造、輸送、据付調整と随分きびしい条件下にあったが関係者一同の責任感と工事に対する情熱が、この難工事を完成させたものと思われる。

明治28年（1895年）野中到氏による冬期山頂観測が行なわれ、昭和7年測候所が開設され、以来気象観測の重要な点として活躍して来た富士山であるが、69年前野中氏が観測を開始したその日に完成したこのレーダが、観測業務に参加し今後気象災害防止に、また研究に寄与することを期待してやまない。

終わりにあたり、この計画の当初より工事の全般にわたって終始変わらぬご指導をいただいた気象庁観測部吉武素二郎長、同測器課藤原寛人課長を始め気象庁関係者各位、ご尽力いただいた関係会社の各位、ならびに援助いただいた地元の関係者の方々および社内関係者各位に心から感謝の意を表わす。

参 考 文 献

- (1) 吉武ほか：“富士山頂気象用レーダの設置計画”「測候時報」, 27, 7, (昭35)
- (2) 安倍、阿部、尾形、島田：“7Gc帯テレビ多重通信装置”「三菱電機技報」, 38, 12 (昭39)

富士山気象レーダ; レーダ装置

井上義男*・御法川秀夫*・佐藤円二*・石井栄一*

Radar Equipment used for Weather Radar on the Top of Mt. Fuji

Kamakura Works, Itami Factory

Yoshio INOUE・Hideo MINORIKAWA・Enji SATŌ・Eiichi ISHII

To catch sight of typhoon twelve hours before it attacks the main land is a requisite assigned to a new weather radar installed on the summit of Mt. Fuji. The site is 3,776 m high and the coverage of the radar observation extends over 800 km. The radar image is transmitted to Japan Meteorological Agency in Tōkyō at a distance of 100 km, from where the radar is remotely controllable.

The equipment, having the largest output in the world, is provided with a high power magnetrons so as to widen the pulse width to increase a reflection efficiency from rain and cloud. To the receiver is attached a parametric amplifier to improve detective power. Spreading up the information and reducing the fatigue of operating personnel to be caused by high attitude in performing duty, the observation is made in Tōkyō.

1. ま え が き

当社が昭和30年に東京管区気象台に納入し、関東地方一円の気象観測に活躍している東京気象レーダは、南方洋上から本土に接近する台風の状態掌握にはその空中線設置高が低く、かつ地形障害のため電波の見通しが悪く、その位置が正確に追跡できる距離は約200 kmである。

一方北上コースをとる台風に対する関東地方の防災体制を整えるために、最低12時間程度の時間的余裕が必要であるので、これを距離的にみれば約480 km、すなわち鳥島(東京から南約600 km)と八丈島(東京から南約300 km)との中間の地点から遠方における台風の動きを、正確に掌握することが必要である。この要求を満たすため超遠距離気象レーダが計画され、その設置点として富士山頂が選ばれた。これは電波の見通しのほか、現に測候所があり生活の経験があること、既設電力線があることから建設、保守、運用に対する実施の計画を比較的正確に立てうる条件をもっていたことによる。このような高地に設置する気象レーダは遠距離観測の目的から、要求される性能は、

(1) 大出力マグネロンを用い、かつパルス幅を広くして降雨雪からの反射効率を上げる。

(2) 空中線利得の増大と降雨測定精度を上げるため大口径空中線を用いる。

(3) 受信機にパラメトリック増幅器を付加して探知力を向上する。また、予報のじん速化および山頂における思考力低下と疲労度を軽減して、観測保守に対する作業性をよくする意味から観測は東京で行ない、山頂は機器および設備の保全のみにあたるため、東京気象庁からレーダをリモートコントロールすることになった。このほか、このレーダには雨雲の高度分布を自動的に表示させる定高度表示装置(CAPI)、必要なパターンを自動的に記録する写真専用表示機をもつなど、数多くの新しい試みが織り込まれている。図1.1にこのレーダのブロック線図を示す。

2. 方式の概要

2.1 諸元の決定

2.1.1 周波数の選定

台風観測をおもな目的とするため使用周波数は10 cm波帯が決定された。これは図2.1から明らかなように、強雨を伴う台風を

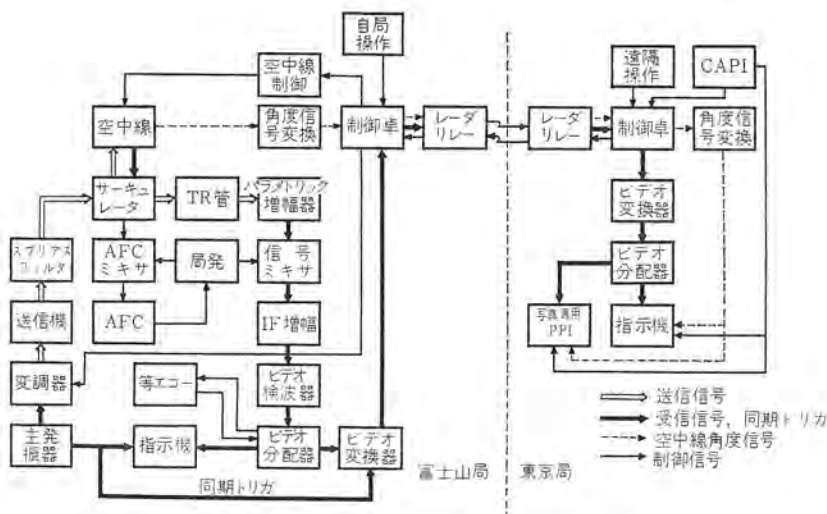
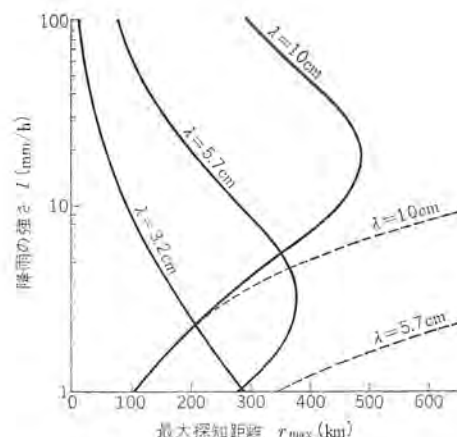


図 1.1 富士山気象レーダブロック線図

Fig. 1.1 Block diagram of weather radar on the top of Mt. Fuji.



レーダ定数(一定)

$P_t = 300 \text{ kW}$

$P_r \text{ min} = -100 \text{ dBm}$

$D_{\text{ant}} = 3 \text{ m}$

実線=途中降雨($I' = I$)による減衰のある場合

破線=途中に降雨がない場合

図 2.1 波長と探知距離の比較

Fig. 2.1 Comparison of radar detection capabilities for various wave lengths.

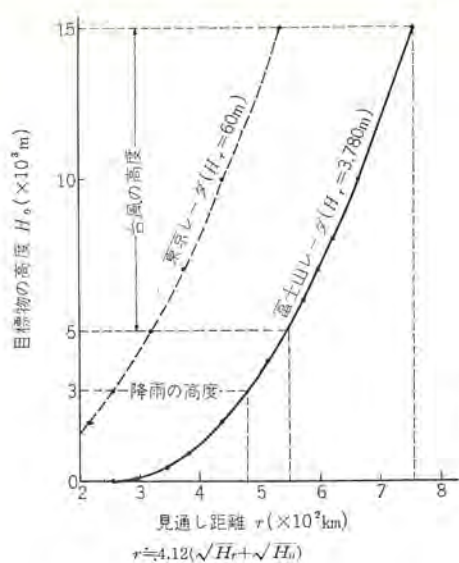


図 2.2 レーダの見通し距離
Fig. 2.2 Comparison of radar line-of-sights.

遠距離で捕そくするには S バンドが有利なためである。

2.1.2 観測範囲

地形障害のない海上における見通し距離を図 2.2 に示すが、海拔高約 60 m の塔上に設置された東京気象レーダと富士山頂の場合では、その探知距離が 200 km 以上も延びている。

一方台風は北緯 30 度付近で発達段階の最盛期にあり、中心の雨雲は眼の周囲の強い上昇気流によってその高度は 10~15 km にも達するといわれている。したがって 15 km の高度をもつ台風に対する見通し距離は図 2.2 から約 750 km となるから、レーダの最大観測半径は 800 km あれば十分である。参考までに日本列島を襲う台風のおもな経路と現在国内に配置されている気象レーダの観測可能範囲を図 2.3 に示す。

2.1.3 空中線径と送信出力

空中線直径は、遠距離高精度観測の要求から大口径にするのが望ましいが、レードームの立地条件、反射鏡の工作精度、駆動機構の増大から考えこれを 5 m にした。また、平均電力を上げるため送信パルス幅は従来のものが 1~2 μ s であったのを 4 μ s と duty-cycle の許容範囲まで広くし、受信機にはすでに実績のある低雑音パラメトリック増幅器を用いて超遠距離化を計った。

上記の諸元を用いて 600 km の距離で 10 mm/h 以上（伝搬路上の平均降雨を 30 mm/h とする）の強雨を探知するため必要な空中線放射電力を算出すると、MDS を -110 dBm として 1,000 kW 以上となる。これにレードームの減衰および給電系の損失を見込むと送信出力は 2,000 kW となるが、送信変調器および冷却、加圧などの付属設備の規模は、この程度の出力のものが種々の条件から考えたとき山頂で実現できる妥当な値である。なお、上述の諸元により降雨と探知距離の関係を求めると図 2.4 のようになる。

2.2 周囲条件

レーダ系に要求される性能はすでに述べたとおりであるが、これを過酷な気象条件（気温 -30°C 以下、気圧平地の 2/3 以下、風速 70 m/s 以上）の下で実現し維持するためには、機器の信頼度と保守の容易さが第一の基本条件である。そのため

- (1) 風圧、氷雪から空中線を保護するためレードームでおおう。（レードームの着氷に対してももちろん考慮しなければならない。）
- (2) セン絡電圧低下に対する高圧回路および立体回路系への

富士山気象レーダ；レーダ装置・井上・御法川・佐藤・石井



図 2.3 気象レーダの観測可能地域
Fig. 2.3 Coverage of weather radars in Japan.

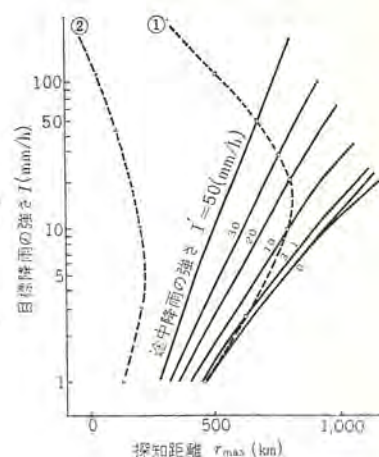


図 2.4 降雨と探知距離の関係
Fig. 2.4 Radar detectable range against various rainfall intensities.

配慮。

- (3) 低温、低気圧に対して考慮された部品、材料を使用し、航空機用電子機器に準じた設計とする。

また、保守運用に対しては

- (a) レーダの操作を容易にするため制御部分を 1 個所に集中し、レーダのほかレーダリレー系の動作状態を常時監視できるようにする。
- (b) 予備シャーシ、予備カードと交換して迅速容易な故障復旧ができるよう機器をユニット化する。

以上がこの機器の設計にあたり配慮された主問題である。

2.3 送受信系

2.3.1 送信系

(1) 送信装置

送信中心周波数は 2,880 Mc であるが、その許容範囲が $\pm 0.2\%$ とかなり狭いこと、ピーク出力が 2,000 kW 要求されていることなどから送信管には、永久磁石付可変同調周波数形のパルスマグネトロン M159 を使用した。

このマグネトロンは、入力部に最大 60 kV の高電圧が加えられるので、入力部全体を絶縁油に浸し、また陽極部、周波数同調部を強制液冷して使う形のものである。

富士山頂では大気圧が地上の約 2/3 であり、空気絶縁耐力もそれに応じて地上の場合より低下するので、高電圧回路となるマグネトロンの変調部は、この点をとくに考慮して設計を行なった。

すなわち、変調部は変調管として 4G48P を用いたライントライプ方式であるが、擬似線路の特性抵抗を 12.5 Ω と小さくして、空気中に露出するパルストランス入力までの回路の電圧を比較的低くし、高電圧回路の部品は油入、またはレジンでモールドして外気との接触を断ち、高電圧切換には真空リレーを用いて、気圧、湿度に対して影響のないようにした。これによってはん雑なキャウ体加圧方式をとらないでも、十分絶縁耐力の大きい変調部を実現することができた。

この変調部はまた、ピーク電流が 700 A にも達する大電流回路で

もあるので、キョウ体のシールドについても十分配慮し、キョウ体外部に通ずる配線にはすべてフィルタをそう入した。また、保安とシールド効果を低下させないためから、送信の各種制御はすべて、別のキョウ体（送信制御装置）で行なえるようにした。

(2) 導波管回路

送信管から出るマイクロ波出力は、スプリアスフィルタ、デュプレクサ、双方向性結合器、ロータリジョイントを経てアンテナから放射されるが、このレーダでは、デュプレクサは大電力サーキュレータとTR管とで構成した。この方式では前置TR管やATR管が不要であり、また、送信管の負荷の整合も良いという利点がある。

スプリアスフィルタは、送信波中の基本波以外の成分をロハするものであり、当社で新しく開発製作されたものである。この特性はそう入損失0.3dB以下、第2高調波に対して60dB以上、第3高調波に対して30dB以上の減衰量が得られている。

(3) 冷却系統

送信管は陽極損失が1kW以上に及ぶ上に、ヒータ部からの発熱も非常に大きいので、強制液冷にしなくてはならない。また、デュプレクサを形成しているサーキュレータも液冷方式である。

そこでこのレーダでは、使用場所が気温の低い、水に乏しい富士山頂であることを考慮して、冷却液にエチレングリコールと水との混合液を用い、これを水冷装置によって送信管およびサーキュレータに循環させて冷却し、冷却液自体は水冷装置内の送風扇によって大気中で冷却する方法を採用した。

(4) 導波管加圧系統

Sバンド導波管(WRJ-3)の最大伝送電力は、管内の気圧が絶対圧1kg/cm²(約1気圧)のとき、2,000kWが限度である。したがって実用状態では導波管回路に存在する定在波を考えると、このレーダをたとえ地上で使用する場合でも管内を乾燥した空気で加圧し、絶縁耐力を増大させなければならない。

このレーダでは、送信管の出力導波管およびアンテナ回路の導波管の管内を絶対圧3kg/cm²に、途中の給電部の導波管内を2kg/cm²に乾燥空気で加圧してある。

2.3.2 受信系

サーキュレータからTR管を通して受信装置に入る受信波は、低雑音特性をもつパラメトリック増幅器で増幅されるが、このレーダで用いたSバンド用のものは、信号およびアイドラ共振器はいずれも単一共振器のままで増幅、周波数の広帯域化を行なったもので、ダイオードを交換したときの再調整が簡単であり、温度特性も-20°Cから+60°Cの温度変化に対して利得変動は1dB以内と、従来

のものに比べ大きく改善されている。また、APC回路、AFC回路を付加しなくても、実用上十分安定した増幅特性が得られるので⁽¹⁾、これらの回路は省略した。

下記にこのパラメトリック増幅器の測定結果を示す。

雑音指数(単体)	2.6 dB
通過帯域幅	36 Mc
信号利得	15 dB
ポンプ周波数	10,880 Mc
ポンプ電力	約15 mW

中間周波増幅器は入力信号の約80dBの範囲にわたって対数特性をもっており、この信号は等エコー装置に入り各雨量レベルごとに演算が行なわれ、指示装置に表示される。

2.4 ビデオ・角度信号の伝送

2.4.1 ビデオ・同期信号の伝送

東京局の指示装置の画像が安定であるためには、富士山局からの同期信号が、各種の雑音、妨害、レベル変動に対し、振幅やとくに時間軸上での位置が安定であることが必要である。このため同期信号をコード化し、ビデオ信号と合成して伝送している。一方東京局では受信されたこの信号を、ビデオ信号とパルス列に分離する。ビデオ信号は各指示装置に分配、表示され、パルス列はデコード回路を経て、安定した同期信号を指示装置に送っている。

2.4.2 空中線角度信号の伝送

空中線の仰角および方位角を正確に東京局に伝送するため、レベル変動や雑音に対して安定で、信頼度の高い位相推移伝送方式を採用した。この方式は空中線の機械的角度を基準周波数正弦波の位相角に変換して伝送し、受信側では位相弁別器および移相器と、それを駆動するサーボ機構により、ふたたび機械的角度を得るものである。

まず送信側では400c/sの基準周波数正弦波信号を空中線角度だけ位相推移し、この正弦波と位相推移しない正弦波とをレーダ・リレー装置により伝送する。図2.5で空中線角度に追従する富士山局のホロアップ・サーボ軸に付いたシンクロ・リジルパ(1X, 36Xの2個)に400c/sを加え、図2.6のようにsine, cosine巻線からの出力電圧をCR移相器でおのおの $-\pi/4$, $+\pi/4$ だけ位相推移させ、これを加算すると出力電圧は $\pi/4$ の固定位相推移のほか、ホロアップ・サーボ軸の回転角(空中線回転角)だけ位相推移し、前もってリジルパのステータを $-\pi/4$ だけずらせて調整しておけばこの出力電圧のリファレンス電圧に対する位相差は空中線回転角そのものになる。

リジルパを1X, 36Xの2軸に取り付けて粗、精の位相信号とすることにより精度を上げている。

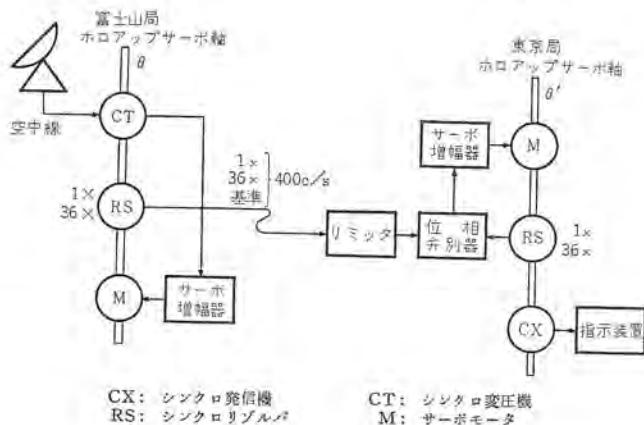


図 2.5 角度伝送系ブロック線図

Fig. 2.5 Block diagram of angular data transmission.

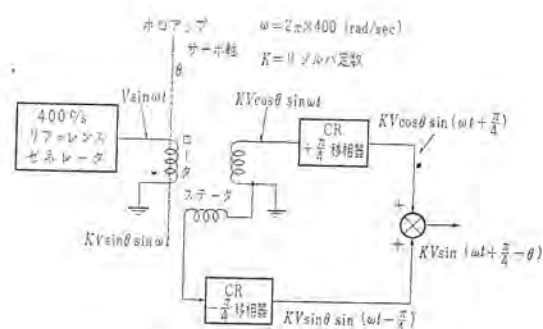


図 2.6 リジルパ移相器

Fig. 2.6 Resolver phase shifter.

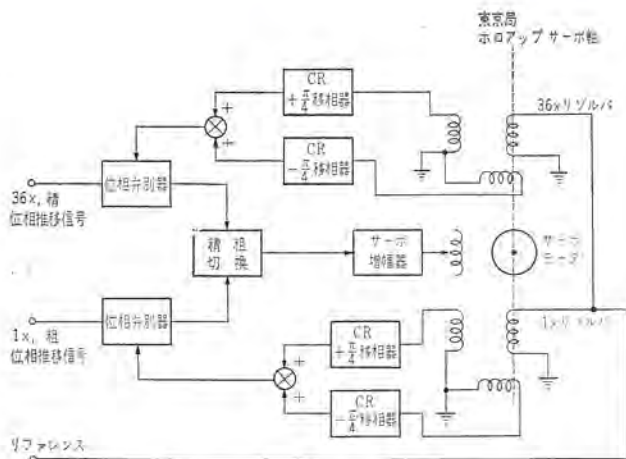


図 2.7 空中線角度の再生
Fig. 2.7 Decoding of antenna angular data.

この位相推移信号をレーダ・リレー装置を通じて伝送する場合、角度を 0.1 度の精度で伝送するには、36X 系(精)伝送路の入出力端で、リファレンス信号を送るチャンネルと位相推移信号を送るチャンネルとの間の 400 c/s に対する位相差の変動分、すなわち相対位相差の変動は 3.6 度以下であればよい。よって移相器、フィルタ素子などの温度特性および多重通信の副搬送波の周波数、変調方式はとくに位相特性が安定で全伝送系を含めてこの値を満足するように配慮されている。

次に東京局に伝送された位相推移信号を、実際の回転角度として受信するには図 2.7 の方法による。

すなわち受信回転軸(ホアッ・サーボ軸)に 1X, 36X のリジバを設け、これと CR 移相器を組み合わせて富士山局と同様の移相器を作り、このリジバにリファレンスを供給すると、前の原理でリファレンスに対するリジバ出力の位相差はホアッ・サーボ軸の回転角に等しくなる。これら精・粗信号の位相と伝送された位相推移信号の位相とを位相弁別器で比較し、その出力を精・粗切換信号を経てサーボ増幅器に通しサーボモータを駆動すると、ホアッ・サーボ軸は常に位相弁別器の出力がゼロとなる位置、すなわち精・粗信号と伝送された位相推移信号との位相差が $\pi/2$ となる位置に停止する。したがってリジバの電気ゼロをホアッ・サーボ軸の $\pi/2$ の位置に設定すれば、ホアッ・サーボ軸は常に位相推移信号のリファレンスに対する位相推移、すなわち空中線角度に一致するよう追従する。

2.5 遠隔制御

レーダリレーにより富士山局と東京局間を伝送される信号には、前節で述べたビデオ、同期信号および空中線角度信号に加えて、遠隔操作および遠隔表示信号があり、これらはすべて ON-OFF 信号でリレー伝送されている。伝送方式は 50 ボーの FS 方式を用い、即応を要する制御表示、たとえば空中線操作信号などは並列直接方式を、その他については直並列方式を用い、さらに同種の信号はコード化を行なってリレー通話路の利用度を上げている。

また、回線異常時にレーダセットの動作を保護するため必要な信号には状態保持回路が設けられている。

東京局から遠隔操作できる項目は、レーダ電源の接断、送信機および受信機の接断切り換え、空中線の操作など 24 種類である。空中線の操作は、あらかじめセットされた速度命令を接断する方法により、衝撃的な動作を避けている。

また遠隔表示のため富士山局から送られる信号は、上記の操作

富士山気象レーダ; レーダ装置・井上・御法川・佐藤・石井

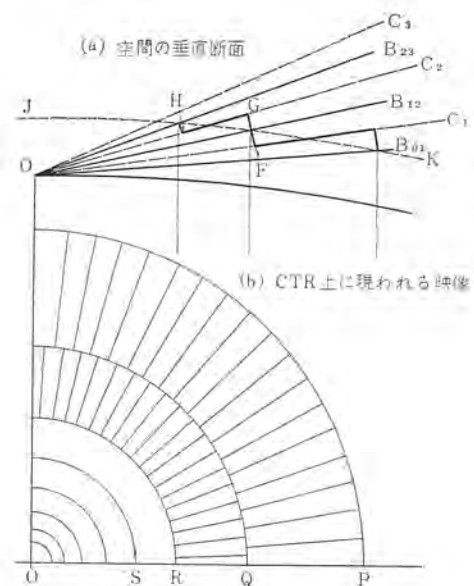


図 2.8 CAPI の原理図
Fig. 2.8 Theoretical figure of CAPI system.

に対する確認信号として電源、送信機、受信機、空中線およびその制御装置の動作状態を示し、さらに故障および警報表示も含めて 28 種類ある。操作局の切り換えは富士山局で行なわれる。

2.6 定高度表示(CAPI)方式

2.6.1 定高度表示の原理

地上に設置された二次元レーダによって、広範囲に広がる定高度の目標からの情報を得ることは厳密には不可能であるが、空中線仰角をかえて多数の PPI 像を得、希望する高度に該当する部分を抜き出して合成することにより、定高度断層のレーダパターンを得ることはできる。

図 2.8 は空間の垂直断面を示している。OC₁, OC₂, OC₃, は空中線が連続回転した場合に、この方向を通過する空中線ビーム軸の方向である。選択された高度 JK と OB₁₂ との交点からの反射パルスが受信されたとき、ゲートを開いて PPI に画像を出し、次に OB₀₁ との交点から受信されたときにゲートを閉じる。

ゲートを開閉する時期は、空中線の仰角および観測しようとする高度によって決定される。

$$H = r_1 \sin(\theta_n + \theta_n) + r_1^2/2\rho \dots \dots \dots (2.6)$$

$$H = r_2 \sin(\theta_n - \theta_n) + r_2^2/2\rho \dots \dots \dots (2.7)$$

H: 高度 r_1, r_2 : ゲートの開閉点までの直距離

θ_n : 空中線仰角 $\theta_n: (\theta_{n+1} - \theta_n)/2$

$\theta_n: (\theta_n - \theta_{n-1})/2$ ρ : 等価地球半径

上式から、ゲート開閉の時期は、 r に比例し送信パルスのあとに発生するパルスの遅延時間として与えられる。

2.6.2 定高度表示のための空中線走査

(1) 仰角走査の原理

空中線仰角走査は、水平 1 回転ごとに階段状に行なわなければならない。シンクロ電機の一つの端子を共通にして、これと他の 2 端子との間の電圧をそれぞれ V_1, V_2 とすれば

$$\rho = V_1/V_2 = \sin \theta / \sin(\theta + 60^\circ) \dots \dots \dots (2.8)$$

なる関係がある。この関係を変圧器に置き換えて、 θ に相当したタップをプログラムにしたがって切り換えてゆけば、シンクロ電機を用いた場合と同程度の精度で角度指令を行なうことができる。空中線制御系は CX, CT によるシンクロサーボ機構で、CAPI 走査の場合は CX の代わりにこの変圧器を使用する。

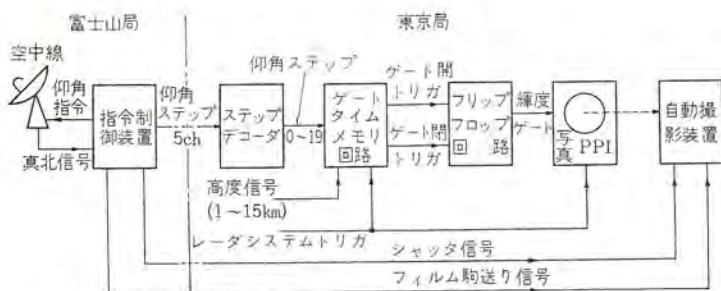


図 2.9 定高度表示方式ブロック線図
Fig. 2.9 Block diagram of constant altitude plan position indecation system.

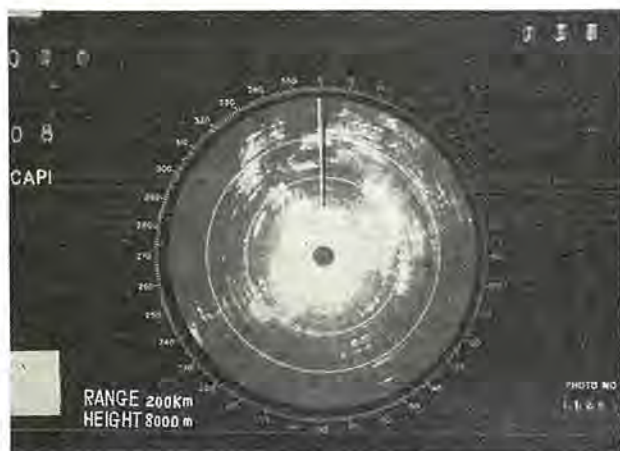


図 2.10 CAPI 表示パターン
Fig. 2.10 An example of constant altitude pattern.

サーボ系は 10X 方式を採用しており、電圧が 90 V のとき ± 0.9 V の誤差を認めても、仰角指令誤差は $\pm 0.06^\circ$ となり、気象レーダの仰角指令用としては十分高精度のものが得られる。

(2) 仰角プログラム

仰角のプログラムは、空中線ビーム幅、断層の厚み、PPI 上におけるリングの幅、観測時間などを考慮の上、決定される。

これらの関係を次式に示す。

$$\left. \begin{aligned} d &= (\phi + \theta_n + \theta_L) / 2 \times \cos(r_1 + r_2) \cos \theta_n \\ T &= N/n, \quad W = r_1 \sim r_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.9)$$

d : 断層の厚み (m) ϕ : ビーム幅
 W : リングの幅 (m) n : 水平回転数 (rpm)
 N : 仰角ステップ数 T : 観測所要時間 (min)

この装置では仰角プログラムは、 $-1.5^\circ, -1.0^\circ, -0.5^\circ, 0^\circ, 0.5^\circ, 1.0^\circ, 1.5^\circ, 2.0^\circ, 2.5^\circ, 3.0^\circ, 5.0^\circ, 7.0^\circ, 9.0^\circ, 12.0^\circ, 15.0^\circ, 40^\circ, 180^\circ, 21.0^\circ, 25.0^\circ$ の 19 ステップに設定した。

2.6.3 定高度表示に必要なデータとその処理

空中線および指令制御装置は富士山局に、CAPI 装置は東京局に設置されているため、空中線仰角ステップ信号は 5 単位の Unit distance code に変換し、レーダリレーを通して東京局に伝送されている。

高度の選択は東京局で行ない、1~15 km を 1 km ごとの ON-OFF 信号にして CAPI 装置に加え、この装置には、仰角と高度によってきまるゲート開閉時間を、トリガパルスからの時間間隔として記憶させてあり、仰角および高度命令により選択させる。

この時間は、所要範囲の仰角と高度のすべての組み合わせに対して、あらかじめ計算した値を $1 \mu s$ 単位にメモリさせたものである。メモリ素子には、安定性、経済性の面で有利な 10 レベル 25 ポイントの回転スイッチを使用した。

2.6.4 定高度レーダ映像の合成

定高度パターンは、仰角を順次歩進させ、選ばれた高度に相当する部分からのエコーだけを表示させるため、水平 1 回転に対して非常に限られた狭い部分の映像しか見ることができない。そこで仰角走査が完了するまでの長時間にわたり、映像を蓄積しておかなければならない。これには種々の方法がとられているが、この装置では写真用 PPI に付属する自動撮影装置のシャッタおよびフィルム送り動作を仰角走査の周期に同期させて、一連の仰角走査が完了するまでの間に現われた画像を、すべて

1 枚のフィルムに重ねて撮影する方法、すなわち写真による合成法を採用した。図 2.9 にこの方式のブロック線図を、また図 2.10 に定高度レーダパターンの一例を示す。

以上述べた CAPI 方式の実用は、わが国では最初の試みであるが、リバルパを用いたアナログ方式⁽²⁾に比べ保守の容易さ、安定性、精度の点ですぐれており製作も安くできる特長をもっている。

3. 主要性能

このレーダの主要性能および機器の構成は次のとおりである。

3.1 空中線系

形 式	直径 5 m 円形パラボラ、レードーム付
利 得	40 dB 以上
ビーム幅	1.6 度以下 (ペンシルビーム)
水平走査	連続自動走査 5 rpm 手動走査 任意の方向に ± 0.5 度で停止
垂直走査	往復自動走査 $-2 \sim +18$ 度の範囲 200 度 / 分 手動走査 $-5 \sim +25$ 度の間の任意の方向に ± 0.3 度で停止
	階段走査 $-1.5 \sim +25$ 度の範囲 19 ステップ
レードーム	直径 9 m, 金属スペースフレーム方式
耐風圧性	瞬間最大 100 m/s
電力透過率	86%

3.2 送受信系

周 波 数	2,880 Mc $\pm 0.2\%$
セン 頭出力	2,000 kW (Nominal)
パルス幅	1 μs , 4 μs 切換
繰返周波数	310 pps, 160 pps 切換
総合雑音指数	3 dB 以下
最小受信感度	-110 dBm 以下

3.3 指示系

(1) PPI 指示機

CRT	12SP7B
指示半径	50, 100, 200, 400, 800 km
距離目盛	10, 20, 50, 100, 200 km
可変距離目盛	0~800 km
そ の 他	オフセンタ、拡大表示

(2) RHI 指示機 (極座標)

仰 角	5 倍拡大表示
そ の 他	PPI 指示機に同じ

(3) A/R 指示機

CRT	7VP4
-----	------

R スコープ 任意の距離から $\pm 10 \sim 50$ km の範囲に連続拡大表示

その他 指示半径、距離目盛は PPI 指示機と同じ

(4) 等エコー装置

距離範囲 10~600 km

等エコーレベル間隔 受信電力に対し 5 dB 間隔 9 段切換

雨の定数範囲 $\beta = 70 \sim 700$

$\beta = 1.0 \sim 2.0$

(5) CAPI 装置

距離範囲 10~200 km

高度 0~15 km

3.5 機器の構成

(1) 富士山局

空中線装置 (レドーム付)

1

空中線制御装置

1 式

送信装置 (水冷装置、導波管加圧装置付)

1 式

受信装置 (パラメトリック増幅器付)

1

指示装置 (PPI, A/R)

1 式

等エコー装置

1



図 3.1 空中線装置外観

Fig. 3.1 Exterior view of the antenna.



図 3.2 送信装置および受信装置外観

Fig. 3.2 Exterior view of the transmitter and the receiver.



図 3.3 富士山頂観測室内部

Fig. 3.3 Indicators in the Mt. Fuji observation room.



図 3.4 気象庁観測室内部

Fig. 3.4 Camera PPI (left) and indicators (right) in the Tokyo observation room.

遠隔制御卓 1
付属装置、付属品および予備品 1 式

(2) 東京局

指示装置 (PPI, RHI, A/R) 1 式

指令制御装置 1

CAPI 装置 1

写真専用 PPI (自動撮影装置付) 1 式

遠隔制御卓 1

付属装置、付属品および予備品 1 式

図 3.1, 3.2 に空中線装置および送受信装置の外観を、また図 3.3, 3.4 に富士山局および東京局の観測室内部を示す。

4. 総合性能

このレーダは昭和 39 年 7 月製作を完了し、同 9 月現地に据え付けられ、正式運用が開始される昭和 40 年 4 月まで試用運転を行なってきたが、試験結果は 3 章に述べた値を上回る満足すべき性能を示し、レーダリレーを含めた総合試験の結果も下記のような好成績を収めている。

- (1) 最小受信感度 $S_{\min}$ -110 dBm 以下
- (2) 空中線停止精度 $AZ: \pm 0.5$ 度以内
 $EL: \pm 0.3$ 度以内
- (3) 距離測定精度 $\pm 0.6\%$ 以内
- (4) レーダリレーに対する
レベル変動許容値 ± 7 dB

これは、東京局におけるビデオ信号対雑音比および空中線角度信号表示精度が富士山局における値に等しいことを示し、また、遠隔制御および遠隔表示信号も誤動作皆無で安定な動作を続けており、きびしい環境におかれた富士山局の全機器も厳寒の冬期を

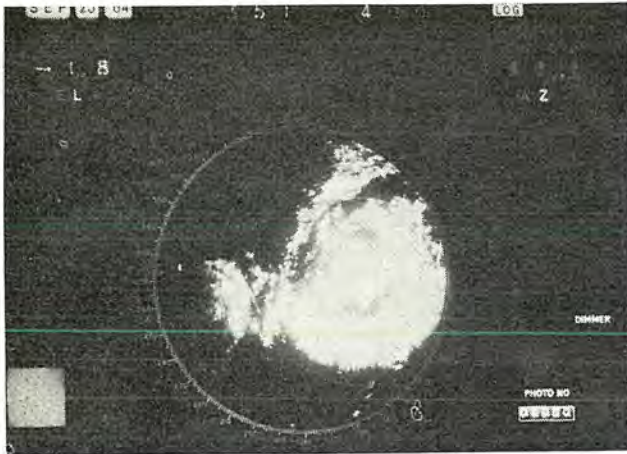


図 4.1 昭和 39 年 20 号台風の パターン
Fig. 4.1 Pattern of typhoon T 6420.



図 4.2 昭和 39 年 27 号台風の レインバンド
Fig. 4.2 Pattern of rain-band of typhoon T 6427.

経て正常に動作を続けている。

据え付け完了後、9 月 25 日本土を襲った台風 20 号を岡山県上空（富士山から 420 km）で捕えて追跡し、また 10 月 29 日には台風 27 号を鳥島南方（同じく 600 km）で捕えて本土上陸の可能性のないことを予報するなど、所期の性能を実証することができた。

東京局において写真専用 PPI により観測された上記台風 20 号および 27 号の記録を図 4.1 および図 4.2 に示す。

5. む す び

以上は現在運用中の富士山気象レーダーの概要である。気象レーダーとして世界最大の出力をもつこのレーダーは、山頂から 100 km の

距離にある東京管区気象台からリモートコントロールするなど、新機軸のある製品である。すでに述べたように、昨年襲来した台風や南方海上の前線、北陸地方の降雪を捕えるなど計画とおりの性能をもっていることが実証され、今後の活躍が期待されている。最後にこのレーダーの計画実施に種々ご指導たまわった気象庁の各位をはじめ建設に際してご協力いただいた東京管区気象台の各位ならびに社内外の関係者各位に深甚なる謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) 喜連川、白幡：「三菱電機技報」38, 802 (昭 39)
- (2) T.W.R. East: Scientific Report. MW-28, 1 (1958).

富士山気象レーダ；リレー装置

阿部 修*・中根茂樹**・室田 慎**
尾形むつを**・藤原 謙 一**

Microwave Relay Equipment for Weather Radar on the Top of Mt. Fuji

Kamakura Works, Itami Factory Osamu ABE・Shigeki NAKANE・Shin MUROTA
Mutsuo OGATA・Ken-ichi FUJIWARA

For the communication between radar equipment for weather observation on the summit of Mt. Fuji and the Meteorological Agency in Tokyo a radar relay scheme has been completed by the use of a 7 Gc band radio relaying circuit. As this is an installation at an unparalleled height in the world, thorough study has been made to contend against severe environmental condition, and also strong demands are called for steady operation and simple maintenance.

The frequency division multiplex system is adopted in various signal transmission. In transmitting angular signals of antenna a phase shift modulation system is employed. Telemeter signals of automatic weather observation and remote control and indication of radar apparatus are transmitted by a 50-band FS type series parallel data transmission system. Especially important is reliability during typhoon observation, a sufficient drop out margin is taken in the design of radio circuit and consideration is given to the reduction of level fluctuation and shortening of instantaneous outage time.

1. ま え が き

富士山頂に設置した気象観測用レーダ装置で得られた受信映像を、空中線角度信号、気象自動測候テレメータ信号などとともに、約 100 km 離れた東京の気象庁に無線伝送し、また同時に気象庁から山頂レーダ装置の遠隔制御、遠隔監視ならびに電話中継を行なうことになった。このために 7 Gc 帯周波数分割多重方式無線中継装置、すなわちレーダリレー装置を完成した。

従来、気象庁では福岡、新潟、函館において、時分割多重方式、テレビ伝送方式などを実用されているが、今回はこれら既設設備とは大いに異なった伝送容量、信頼度、安定性が要求され、また設計条件もかなりきびしいものであった。その主要点を列記すれば次のようである。

(1) 世界に類のない高所に設置されるので、周囲条件がきわめてきびしく、設計条件として

気 圧 0.6 気圧
最低気温 -35°C
最大風速 瞬間 100 m/s

が必要である。

(2) 山頂から気象庁に対しては、受信レーダ映像信号のほかは電話通話路に換算して 76CH 相当の信号を同時に多重伝送する。

(3) 気象庁から山頂レーダ装置の全機能を遠隔制御する。かつ時間遅れなど操作に支障をきたすことがあってはならない。

(4) 限られた短期間に工事を完了しなければならないので、機器の外形寸法、重量は輸送、設備工事手順を十分に考慮したものでなければならない。

(5) 保守が容易で、かつ点検、修理は機械的に敏速に行なえる設計であること。

これら諸条件を満たすために、方式、機器ともに信頼性安定度にすぐれていると同時に、簡素化されていることが必要であった。以下にその概要を報告する。

2. 伝送方式の概要

富士山レーダの威力を発揮するためには、まず、東京局（気象庁）に送られたレーダ映像がよい精度で観測されなければならない。さらに東京からレーダの遠方監視制御、山頂気象データの伝送、ならびに業務電話回線 60CH も、このリレーシステムに含める必要が生じた。このため、リレーシステム選定に際しては、いかにしてこれら諸信号を良質かつ経済的に複合多重伝送するかが重要な課題となった。その結果、基本的には周波数分割多重方式を採用することとし、各信号別に種々工夫をこらした^{(1),(2)}。

2.1 伝送信号と伝送の方式

リレー系の構成および信号は図 2.1 に示す。

(1) レーダ映像信号伝送（含同期信号）

レーダ映像信号波形は、図 2.2 に示すように、同期信号と映像信号とよりなる複合信号で、同期信号は雑音による同期乱れを防

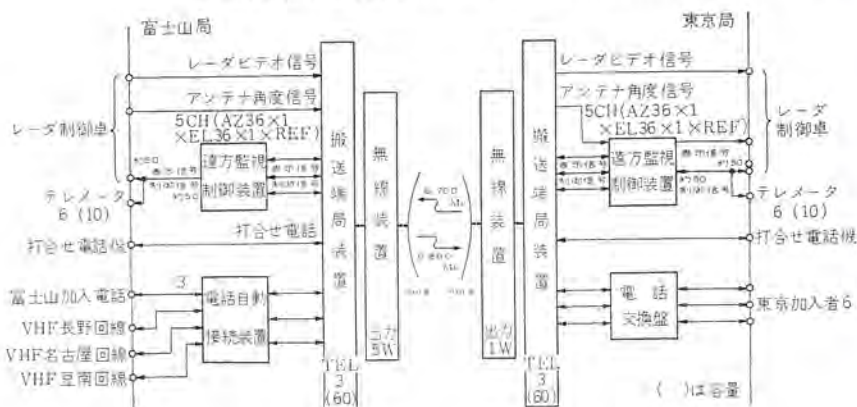


図 2.1 レーダリレー装置系統図
Fig. 2.1 Schematic diagram of radar relay system.

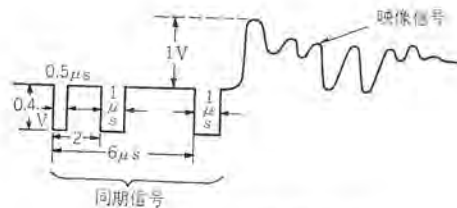


図 2.2 レーダ映像信号
Fig. 2.2 Radar video signal.

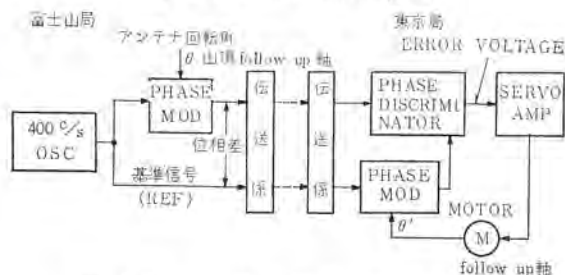


図 2.3 空中線角度位相伝送方式
Fig. 2.3 Transmission block diagram of antenna angle signal.

止するため3本同期方式を使用している。

一般にレーダ映像信号の伝送には、テレビ方式、時分割方式などが用いられているが、今回は (a) 高品質が得られる、(b) 安定度が良い、(c) 保守が容易である、などの理由から、50 c/s~1.5 Mc の映像信号を無線機で直接 FM 伝送することとした。

(2) 空中線角度信号伝送

この信号は、富士山空中線回転角度と東京指示器回転機構を同期させるための信号で、その伝送方式はレーダリレーシステムの一つの重要な課題であった。筆者らは、精度、安定度、コストの3点から次の方式を考案した。要約すれば、(a) アンテナの角度信号を単一正弦波の位相量に変換する、(b) 単一正弦波の位相伝送は、AM-SS 方式により安定な位相伝送を行なう、の2点である。この方式により、AZ0.2 以下、EL0.1° 以下の安定な伝送に成功した。

空中線角度信号の伝送系統図は図 2.3 に示す。AZIX, 36X, ELIX, 36X のアンテナ信号と、基準位相信号 (REF) を、レベルパによる位相変調器を用いて、400 c/s の位相推移信号に変換して伝送する。

この変調方式は、FM の例があるが多重化に適さない。SS 方式が最も多重化に適するが、次式 (2.1) のごとく、伝送系および復調搬送波の位相変動の影響を受けやすい。

$$SS \text{ 方式: } K \cos \{ (p - \omega_c) t + \theta + \phi_0 + \phi_p - \phi_0 \} \dots (2.1)$$

$$AM \text{ 方式: } K' \cos \{ (p - \tau) t + \theta \} \dots (2.2)$$

ただし p : 信号周波数

ω_c : 変調搬送波 ω_c と復調搬送波の差

$\phi_0 + \phi_p$: $\omega_c + p$ における伝送系位相量

ϕ_0 : 変調搬送波と復調搬送波の位相差

K, K' : 定数

AM 方式では、伝送特性が $\omega_c \pm p$ 内で直線であれば式 (2.2) となり、 τ すなわち ϕ_p を安定化すれば安定な位相伝送ができる。このことから AM 方式を採用することにした。副搬送波は、位相変動を少なくするため 68 kc から 8 kc 間隔に 5 周波並べ、基礎群の G3 を使用することにした。さらに変復調波の温度安定化を図った。

(3) レーダ遠方監視制御信号の伝送

山頂レーダ機器を、東京から遠方監視制御するために伝送する

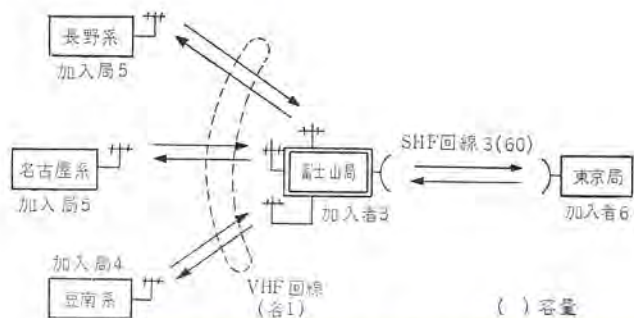


図 2.4 富士山中継気象業務通信回線網
Fig. 2.4 Relay system of telephone signals.

制御および表示の項目は、それぞれ約 50 項目である。これらの信号の伝送は、高い信頼度と取扱保守の容易なことを考慮して、50 ボー伝送の直並列符号化方式を採用した。また伝送項目数を節約するため、同時制御を行わないものはコード化した。伝送方式は、制御のスピード化を図るため、返送確認方式を採用せずサイクリック伝送方式を採用した。

a. 符号伝送速度: 50 ボー (FS 方式)

b. 符号伝送方式

(a) 状態表示および入切制御

7 項目ごとの直列符号 サイクリック伝送方式

長短 RZ パルス

パリティ検定、総数検定方式

(b) 連続制御

数項目ごとの並列符号伝送

パリティ検定方式

c. 回線保護方式

レベル低下検出および雑音検出による誤字率の改善

(4) 電話伝送

富士山は、気象観測の主要拠点であるばかりでなく、気象用業務電話回線の中継基地として重要な役割をもっている。すなわち、名古屋地区 5 局 (名古屋、浜松、静岡、御前崎、甲府)、長野地区 5 局 (長野、上田、飯田、諏訪、浜松)、豆南地区 4 局 (大島、新島、御殿場、八丈島) および東京気象庁 (加入者 6) が、富士山を中継基地として、各地区内および各地区間の業務連絡回線を構成している。(図 2.4 参照)

レーダリレー回線は、将来予想される気象庁と上記地区との通信業務量の増大、さらに西へ延びる全国的な気象業務回線計画を考慮して、60 回線の電話回線容量をもたせた。このため、伝送方式として回線増設の容易な SS 搬送方式を採用した。

また富士山測候所自動化の一環として、従来手動で接続を行っていた各地区間の接続を、自動的に行なうための自動接続装置を測候所内に設置した。この装置は、取扱保守を簡便にするため周波数選別による自動接続方式を採用した。

各機器間の連絡保守用として、打合せ電話 1 回線を設けた。富士山→東京は、1,932 kc で AM 変調 (通話時のみ搬送波送出)、東京→富士山は直接伝送である。

(5) テレメータの伝送^{(3),(4)}

気象データの伝送は、(3) 項と同じ 50 ボー FS 伝送回線を用いて伝送する。

2.2 多重化方式

2.1 節の各種信号を、できるだけ狭い周波数帯域に安定かつ経済的に多重化する方式として、CCITT 勧告に準拠した周波数分

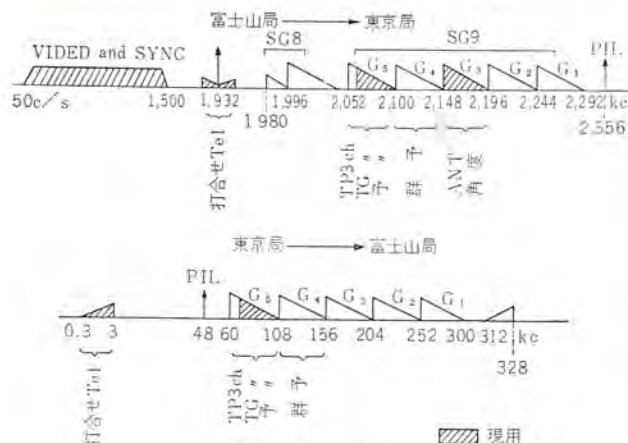


図 2.5 周波数配置図
Fig. 2.5 Frequency allocation.

表 2.1 富士山 レーダリレー 通信路数一覧
富士山局→東京局

項目	項目数		信号伝送路 (FS 50 帯)		通話路 (換算)				通話路容量	
	現用	予備	計	現用	予備	計	合計	計	総計	計
ビデオ信号 50 c/s~1.5 Mc	1								1	1
電話またはファクシミリ	3								60	
表示信号	39	5	44	9						76
テレメータ	6	4	10	1	2	12			4	
アンテナ角度信号	5	0	5						12	
打合せ電話	1	0	1						1	1

※ ビデオ除く

東京局→富士山局

項目	項目数		信号伝送路 (FS 50 帯)		通話路 (換算)				通話路容量	
	現用	予備	計	現用	予備	計	合計	計	総計	計
電話またはファクシミリ	3								60	
制御表示信号	35	6	41	14						64
テレメータ	1	0	1	1	2	17			4	
打合せ電話	1	0	1						1	1

割多重化方式を採用した。基礎群の構成は、 $3 \times 4 \times 5$ の 60CH とし、周波数配列は 960CH 超多重変換方式と同一である。その周波数配列を図 2.5 に示す。なお、多重化する各種信号を整理すると、表 2.1 に示すごとくになる。

2.3 無線回線の設計概要

2.3.1 伝搬条件の検討

(1) 置局選定

東京局空中線を気象庁新庁舎塔屋に設置すれば、富士山の見通しはきわめてよい。しかし富士山側を精細にみると山頂東側火口壁のクリアランスがきわどい。これを明確にするため設計・建設に先だち、山頂—東京間で実測を行なった。実測には種々の方法を試みたが、結局、夜間山頂で燃やしたフライヤを東京側から観測することにより位置を確認した。この結果富士山局空中線（およびリレー無線機）は、レーダレードムの北約 30 m の地点に設置した。空中線位置から東京局を見た電波通路を図 2.6 に示す。据付時、この火口壁（伊豆岳）付近をシャヘイ物（トタン板）を持って横方向に移動したところ、ちょうど電波通路付近で受信電界が上昇することが認められ、少なくとも、ファーストフレネルゾーンは確保されている。

(2) 降雨による減衰

7 Gc 帯では普通降雨による減衰はあまり問題にならないが、この区間は相当長距離である上に気象業務に使用するので、とくに豪雨時の減衰を推定しておく必要がある。

富士山気象レーダ；リレー装置・阿部・中根・室田・尾形・藤原



図 2.6 東京局方向電波通路
Fig. 2.6 Prospect to Tokyo station.

従来のデータからみて、7 Gc 帯における降雨による減衰係数を 0.053 dB/km/mm/10' とし、確率的には 0.01% 値で 12 mm/10' とみて、この回線の夏季最悪月の確率 0.01% における降雨による減衰量を約 29 dB と推定した。

(3) フェージング量

大気屈折率の変化に起因するフェージングについては、通研で発表されている実験式⁽⁵⁾を用いると、夏季最悪月の確率 50~1% のフェージングの深さは約 5 dB となる。これより深いフェージングはレーレ分布になると考えて、0.01% 値で約 25 dB と推定した。区間距離がかなり長いにもかかわらず、比較的フェージングが少ないのは典型的な High-Low 伝搬路であるためと考えられる。一方 K タイプフェージングは反射点が東京局の近傍になるから上記より相対小さいであろう。

2.3.2 信号対熱雑音比

(1) 所要信号対熱雑音比

リレー回線に要求される信号対熱雑音比は、伝送すべきレーダビデオ信号を劣化させないように十分大きければよい。

いま伝送すべきビデオ信号の信号電力および雑音電力をそれぞれ S および N_v とし、リレー回線で発生する熱雑音電力を N_r とすると、出力の信号対雑音比は $S/(N_v + N_r)$ となる。したがってリレー回線による S/N の劣化度は次式で表わされる。

$$\frac{S/N_v}{S/(N_v + N_r)} = 1 + \frac{N_r}{N_v} = 1 + \frac{S/N_v}{S/N_r}$$

ここで入力すなわちレーダビデオ信号の S/N_v を 30 dB とし、リレー回線の信号対雑音比を 40 dB とすれば、リレー回線による信号対熱雑音比の劣化は 1 dB 以下にすぎない。

(2) 所要受信入力

標準伝搬状態における熱雑音によるレーダビデオ信号の S/N 比は次式で表わされる。

$$\frac{S(p-p)}{N(\text{rms})} = \frac{P_r}{KTF} 3 m^2 \frac{1}{f_c}$$

ここで F : 受信機の雑音指数 = 12 dB

m : 変調指数 = 0.5

f_c : ビデオの最高周波数 = 1.5 Mc

とすると次式から受信入力 P_r が決まる。

$$\frac{S(p-p)}{N(\text{rms})} 10 \log_{10} \left\{ \frac{P_r (\text{mW})}{1 (\text{mW})} \right\} + 99 \quad (\text{dB})$$

フェージングと降雨による受信入力低下は、同時に発生することはほとんどないと考えられるから、両者の大きいほうをとって降雨による減衰 29 dB を見込む。したがって

所要受信入力 $P_r > 40 - 99 + 29 = -30 \text{ dBm}$ となる。

(3) 回線設計諸元

表 2.2 回 線 設 計

区 間	富士山→東京	富士山←東京
距 離 (km)	100	100
空 中 線 直 径 (m)	3.0~4.0	3.0~4.0
給 電 線 長 (m)	5~12	5~12
全 区 間 損 失		
自 由 空 間 損 失 (dB)	(-) 149.0	(-) 149.0
分 波 器 損 失 (°)	(-) 6.0	(-) 6.0
給 電 線 損 失 (°)	(-) 2.0	(-) 2.0
空 中 線 利 得 (°)	+ 89.5	+ 89.5
反 射 板 利 得 (°)	—	—
レ ー ド ム 損 失 (°)	(-) 2.0	(-) 2.0
全 区 間 損 失 (°)	(-) 69.5	(-) 69.5
受 信 入 力		
送 信 出 力 (dBm)	+ 37.0	+ 29.0
全 区 間 損 失 (dB)	(-) 69.5	(-) 69.5
受 信 入 力 (dBm)	- 32.5	- 40.5
ド ロ ッ プ ア ウ ト マージン		
受 信 入 力 (dBm)	- 32.5	- 40.5
ス レ ッ シ ョ ー ル ド シ ベ ル (°)	- 80.0	- 85.0
ド ロ ッ プ ア ウ ト マージン (dB)	47.5	44.5
高 周 波 S/N		
受 信 入 力 (dBm)	- 32.5	- 40.5
雑 音 レ ベ ル (°)	- 89.0	- 94.0
高 周 波 S/N (dB)	56.5	53.5

基礎数値

周 波 数	6,720 Mc	波 長	4.46 CM
送 信 出 力	5 W (富士山, 0.8 W (東京))	給電線損失	0.1 dB/m
通 信 方 式	FM	CH 容 量	VID 1CH, TEL 76 CH
受 信 帯 域 幅	6 Mc (富士山), 20 Mc (東京)		
雑 音 指 数	12 dB		

上記の諸条件および各機器の定格を考慮して定めた設計諸元は表 2.2 のとおりである。

標準状態での受信入力電界実測値はこの設計値より約 1 dB 低い。また受信入力電界は連続記録しており、その結果については別の機会に発表したい。

3. 主要機器概説

3.1 レーダリレー定格仕様

a. 伝送距離	100 km
b. 送信周波数	富士山局→東京局 6,860 Mc 東京局→富士山局 6,700 Mc
c. 送信出力	富士山局 5 W 東京局 0.8 W
d. 空中線	富士山局 3 mφ (レードーム付) 東京局 4 mφ
e. 伝送容量	富士山局→東京局 レーダビデオ 1CH 電話換算 77CH 東京局→富士山局 電話換算 65CH
f. 変調方式	無線機 リペラー 周波数変調
信号別	ビデオ FM 電話 SS-FM 角度伝送 AM-SS-FM 制御表示信号 符号化 FS-SS-FM 打ち合わせ AM-FM
g. 総合伝送帯域	富士山→東京 50 c/s~2,356 kc 東京→富士山 300 c/s~328 kc
h. 遠方監視制御伝送項目数	富士山→東京 44 項目 東京→富士山 41 項目



図 3.1 富士山局リレー空中線
Fig. 3.1 Microwave relay antenna on the top of Mt. Fuji.

3.2 MA-70 形リレー用空中線

前記の無線回線の所要諸元に基づき、富士山局にはレードーム付の 3 mφ を、東京局には 4 mφ の パラボラ 空中線を用いた。

この空中線はいずれも リア・フィード 形である。ここでいう リア・フィード とは一次 フック 射器給電用に円形導波管を用いその開口に平面反射板をおいた一次 フック 射方式である。この方式は一般に使用されている ホーンフィード 方式に比して

(a) 一次 フック 射器系の構造が非常に簡単である。

(b) 偏波面の選択、変更が容易である。

などの利点がある。

富士山局空中線は図 3.1 に示すとおりで防雪のためにレードームを付けた。このレードームは ガラス 繊維入 ポリエステル 硬化樹脂を用いて円スイ 形に成形したものである。電力損失は誘電体損に基づく透過損失よりも反射損失が支配的であり、約 2 dB である。

東京局空中線は上記電力損をおぎなうため 4 mφ とし、また広角 フック 射特性をよくするため開口角を 180° にした。この結果 60° 以上の広角 フック 射は -60 dB 以下で、他回線との干渉の点から大都市で用いる空中線として適している。

3.3 ME-20 形無線機

この無線機は 7 Gc 帯を用いた、クライストロン 直接変調方式である。東京局の無線機は送受信架、電源架から構成され、富士山局は送信出力を進行波管で増幅するための増幅架を付加している。

図 3.2 に富士山局無線機の外観を示す。向かって左から電源架、増幅架および送受信架である。いずれも現用・予備 2 システムを実装している。



図 3.2 ME-20 形 無 線 機 外 観
Fig. 3.2 Bay assemblies of type ME-20 radio equipment.

SG8 と 9 に収容している。

搬送電流は 128 kc の マスター・オシレータ から 4 kc に低減後、高調波発生器で各搬送波を発生させる共同供給方式とした。同期方式は独立同期方式とし、周波数偏差は ± 2 c/s 以下である。

この装置の富士山局総合系統図を図 3.4 に示す。

装置は立地条件を考慮して、適宜予備 パネル、予備 チャンネル を設けて回線障害に備えた。装置の外観は図 3.5 に示す。通話路変換架、群変換架、搬送電流供給架の 3 架構成である。

3.5 RI-2 形遠方監視制御装置

この装置は、東京局 レーダ 監視制御卓と組み合わせて、山頂レーダの遠隔制御ならびに遠方監視を行なうために、位送符号の作成、パルス符号の音声帯域への変換 (FS 変調)、受信復調後誤字検定による誤伝送の防止などを行なう機能を有する全固体化遠方監視制御装置である。装置は、各局とも送信架、受信架の 2 架構成である。装置外観図を図 3.6 に示す。

a. 伝送項目数

東京局→富士山局	レーダ 機器制御	} 41 項目
	リレー 回線表示	
富士山局→東京局	レーダ 機器動作表示	} 44 項目
	PPI, カメラ 制御	
	リレー 回線表示	

b. 50 ボー 信号伝送路数	東京局→富士山局	17CH
	富士山局→東京局	12CH

c. 所要伝送通話路数	東京局→富士山局	3CH
	富士山局→東京局	3CH

4. 設 備

今回の設備工事に関して主として問題になった点は、山頂側の気象条件に対する考慮、高出力の レーダ 機器あるいは電力機器から リレー 装置がうける各種妨害の抑圧、ならびに限られた期間内に工事を完遂するための設備設計などである。以下その概要をのべる。

4.1 気象条件に対する考慮

山頂の気象条件は非常に悪く、気圧は平地の約 2/3、気温は冬季は -30°C 以下に下ることがあり、夏季においても 6°C 前後である。また夏季には雷雲が発生する。風速は年間を通じて平均 15~20 m/s の西あるいは北西方向からの風が吹き、毎年 6 月から 9 月にかけて最大 50~60 m/s の風が吹くことがあり、瞬間最大風速は 70 m/s にも及ぶことがある。以上のような条件のもとに、リレー 装置に対する設備工事は次にあげるような考慮を払った。

(1) レードーム 室は 1 階に レーダ 指示装置、テレメータ 装置、2 階に レーダ 送受信装置、搬送端局装置、VHF 無線機、3 階に レーダ 用空中線がそれぞれ設置され、1 階および 2 階は完全に空調されているが、マイクロ 局舎はこの建物から約 30 m 離れた位置に独立して建てられていることと、敷地の関係上局舎が非常に小さく、その広さは約 4 m² である。これがため完全な空調が行なえず簡単な換気設備のみとなっているため、ヒータ と サーモスタットにより室内温度を 20°C を標準として $\pm 10^{\circ}\text{C}$ の範囲で自由に設定できるようにした。

(2) マイクロ 波用導波管には、乾燥空気充填 装置を用いて自動的に管内に乾燥空気を封入し、外気と空室との温度差による露の発生を防ぐよう考慮している。また当初は屋外に露出する導波管を通じて室内温度が低下することを心配して、テフロンを用いた

断熱導波管 (伝熱量 1/250) の開発を行ない万全を期したが、目下のところは使用しておらず、冬季の実績を見て採用することになるう。

(3) 局内布線のうち レードーム 室内に使用するものは普通のケーブルを使用しているが、レードーム 室と マイクロ 局舎あるいは屋外機器たとえば日射計、風向風速計などに接続される信号線および電源線は、耐寒用を用い -40°C まででは不安なように考慮した。

(4) 夏季における雷害を防ぐため、屋外に設置されるテレメータ用検出機器の通風筒 (気温、露点)、風向風速計には百葉箱下部に、また日射計は引込口にそれぞれ接続箱を設け避雷器およびコセン (跨栓) を経て、さらに レードーム 内の検出器接続箱にも避雷器と コセン を取り付け雷による障害を防ぐとともに回路の切り離し点検にも便利のようにしてある。

(5) 限られた期間に狭いレードーム 室に、設置された数多くの機器の配線を行なうことは、いたずらに工事をふくそうさせることになるので、多数の入出力線があるテレメータ 装置は架上に多心の接セン 座を設けケーブルの 1 端はあらかじめ接セン を取り付けしておく方法をとった。

4.2 誘導防止

室内布線はできるだけ電力 ケーブル あるいはレーダ 機器の布線と経路を異にするよう配置したが、止むをえず同一経路を通る場合は、相互をなるべく離すように注意し、かつ重要な信号 ケーブル はシールド付を、また電源線には鉛皮線を使用した。

なおアース 線はリレー 装置専用に布線し、電力系統およびレーダ 装置のアース と区別するとともに、アース 点も他の装置のアース 点とできるだけ離れた位置で行ない、アース からの誘導を防止した。

4.3 輸送計画

悪気象条件を克服して、いかなる方法で所定期間に山頂に機器を到着せしめるかが重要な課題であった。建設ならびに輸送に関しては別項にその詳細が述べられているが、あらかじめヘリコプタ、ブルドーザ などの輸送区分をきめ、富士宮 ヘリポートの設備あるいは山頂における集積場所の広さ、ヘリコプタ の天候による飛行条件など、さらには過去何年かのこの時期の天候状態をつぶさに調べたうえ、単体重量、こん包方法、輸送順位、山頂における集積方法などを決定した。輸送期間中天候に恵まれたこと、現場工事関係者の努力とあいまって、迅速かつ円滑な輸送と設備工事を完遂することができた。

5. 総 合 機 能

据付調整途中の昭和 39 年 9 月 25 日、20 号台風の画像を東京に伝送しその性能が注目された。その後昭和 39 年 11 月 1 日から富士山 レーダ の定時観測が実施され、試用に供されている。画像の品質は山頂 レーダ の画像とほとんど変わりのない高品質のもので、その伝送 パターン を図 5.1 に、主要性能は下記に示す。とくに アンテナ 角度伝送誤差 0.2° 以下 (AZ)、レーダ $S_{\min}$ -110 dBm は高く評価されている。またレーダ 映像信号はテレビ 信号と異なり、雑音を重畳して観測を行なうので電話への漏話が課題となったが、0.4 V の雑音重畳時の S/N は 50 dB 確保できた⁽⁷⁾。

5.1 レーダリレー総合性能

a. 各種信号の S/N [() 内は規格値]

レーダ 映像信号 $S_{(p-p)}/N_{(rms)}$: 43 dB (40 dB 以上)

評価値

角度信号 $S_{(rms)}/N_{(rms)}$: 45 dB (35 dB 以上) 評価値

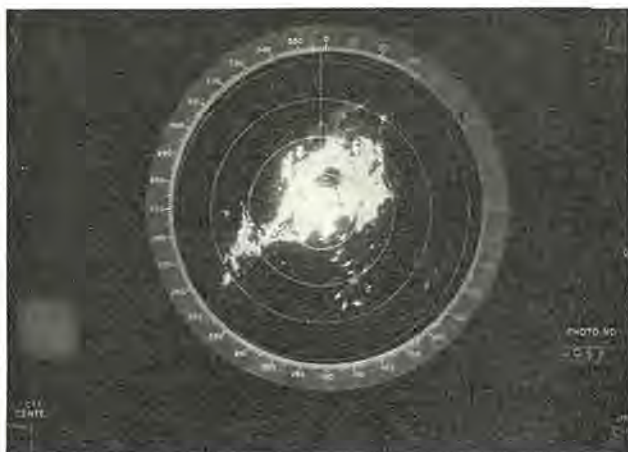


図 5.1 レーダリレー 伝送受信画像 (400 km レンジ)
Fig. 5.1 Radar relay pattern at Tokyo station.
(400 km range).

電話回線, (レーダ 映像あり)

$S_{(rms)}/N_{(rms)}$: 55 dB (50 dB 以上) 評価値

- b. レーダ S_{min} -110 dBm
- c. 角度伝送誤差 AZ: $\pm 0.2^\circ$ 以下
EL: $\pm 0.1^\circ$ 以下
- d. 総合許容 レベル 変動 ± 7 dB

5.2 遠方監視制御機能

この装置を用いた レーダ 機器の遠方監視制御は, 距離感を除去して非常に スムース に行なわれている。

また回線雑音対策に留意したので, 東京から山頂 レーダ を制御中に, 無線機の予備機切換えによる雑音が発生しても, 山頂機器に支障を与えず制御観測が行なえる。

制御項目は, 山頂 レーダ 主電源の投入, 送受信機の動作制御 レーダパルス 幅の切り換え, 受信機の LOG-LIN の切り換え, STC 切り換え, アンテナ AZ, EL 方向の自動手動各種段階回転制御, ISO 動作の自動手動による制御, CAPI 動作制御, 各種 アラームリセット動作, 東京 カメラ 動作信号の伝送など約 50 項目である。

表示項目は, 富士山電源状況表示, 送受信機動作表示, 前記各種制御項目に対応する動作表示, 各機器の警報表示, ISO スライスレベル 表示 11 段階, CAPI, STEP 段階表示, アンテナ AZ 同期信号, CAPI 用 フィルムコマ 送り信号など約 50 項目である。

5.3 回線状況の監視

自局の受信回線の状況 (無線回線, 遠制回線など) を自局内で監視するのはもちろん, 相手局へも伝送して日常観測業務の便を図っている。

6. む す び

以上, 富士山気象 レーダ の リレー 装置についてそのあらましを述べた。この設備は昭和 39 年 9 月は施設をおわり, その後 6 カ月間の試用期間を経て, 近く実用に供される予定であるが, 重要な台風観測にその威力を発揮することを祈るとともに, 気象自動測候化, レーダ 装置の エレクトロニクス 化の先駆として役だつことを信ずるものである。

終わりにこの設備の設計, 工事にご指導をたまわった気象庁吉武観測部部長, 藤原測器課課長はじめ関係各位, 関係会社の各位に厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 竹内, 下島, 矢島, 阿部ほか: レーダリレー 伝送方式について, 電通学会関西支部通信方式研究会 (昭 39-1)
- (2) 竹内, 下島, 阿部ほか: 富士山 レーダリレー, 電学連大 (昭 40-3)
- (3) 竹内, 下島, 藤原ほか: 富士山気象 テレメータ について, 日本気象学会秋季大会 (昭 39-11)
- (4) 竹内, 竹島, 室田ほか: 富士山 デジタルテレメータ, 電通学会関西支部通信方式研究会 (昭 40-1)
- (5) 鶴飼: マイクロ 波 フェーディング の諸特性と フェーディング 量の推定, 通研研究実用化報告, 8, 7 (1959)
- (6) 阿部, 尾形ほか: 7 Gc 帯 テレビ 多重通信装置, 「三菱電機技報」38, 12 (昭 39)
- (7) 慥本, 植田, 藤原: 富士山 レーダ 電通学会航行 エレクトロニクス 研究会 (昭 40-1)

富士山気象レーダ; 気象テレメータ装置

丸 浜 徹 郎*・室 田 慎**・藤 原 謙 一**・今 泉 巽**

Meteorological Telemetering Equipment for Weather Radar on the Top of Mt. Fuji

Kamakura Works,
Itami Factory

Tetsuro MARUHAMA・Shin MUROTA・Kenichi FUJIWARA・Tatsumi IMAIZUMI

In September 1964 meteorological telemetering equipment was manufactured and supplied to the observatory on the top of Mt. Fuji for the purpose of automatic observation there. In this arrangement an aerovane, a barometer, a thermometer, a hygrometer and pyrheliometer are set up on the summit and their readings are taken out as electric outputs so as to be turned to analogue continuous records. These values are digitalized at a regular time and printed to records. Data at every regular time are transmitted over a radar relay circuit to the observatory 100 km apart, where printed records and indications are made automatically for use in observation. It is also possible to set data at will on the top of the mountain; it is possible to send back the data from the side of the observatory in Tōkyō. In designing a system of the installation and manufacturing the machines, condition of the location and weather of Mt. Fuji is fully taken into consideration. The day when the facilities are made full use of is anticipated.

1. ま え が き

近年 デジタル 技術の進歩により、遠隔地に分散する データの集中監視、収集 データ の処理、日報 データ の作成などが自動的に精度よく行なえるようになってきた。このため企業合理化を目的としたオートメーション 化の要求とあいまって、テレメータ 設置分野が急速に増大してきた⁽¹⁾。

このたび気象庁におかれても富士山の観測業務の自動化を図ることとし、気象 テレメータ が計画され、当社が受注して昭和 39 年 9 月製作、据付を完了した。この気象 テレメータ 装置は、富士山の気象 データ を山頂測候所内で データ 処理し、日報 データ として印字記録を行なうとともに、毎正時の データ を自動的に東京 (気象庁) へ伝送して印字記録を行ない観測業務に使用できるもので、当社 TM-1300 形 テレメータ の高級機である。このテレメータシステムの設計製作に際しては、気象庁ご指導のもとに富士山頂の厳しい気象条件、立地条件を考慮して種々工夫をこらしている。

当社産業用 テレメータ は、デジタルテレメータ TM-1000 形(直送式)、1100 形(常時伝送搬送式)、1200 形(呼出伝送搬送式)、1300 形(定時伝送搬送式)、アナログテレメータ TM-34 形、45 形 46 形と一連のテレメータ 機器(有線、無線)を製作し、一般産業用、電力用、防災用、水道用などに広くご使用をいただいていた。このたびの富士山気象テレメータ の完成で気象観測用としても活躍することになった。

2. 装置の概要

この装置は、送信側を富士山頂に設置するためとくに次の諸点に留意した。

(1) 気 圧

山頂の気圧は 0.6 気圧であるため、使用部品は低気圧に耐えるものを選択

した。機器は 0.5 気圧で連続試験を実施した。

(2) 温 度

屋外機器は -40°C まで動作するよう考慮した。風向風速計、日射計にはヒータを入れた。配線材料も耐寒 ケーブル を使用した。

(3) 架間配線

山頂における工事期間の短縮と、据付工事を容易にするため、架間配線は接栓による接続とした。

(4) 保守対策

山頂における保守を容易にするため、ブロック ごとの試験機能をもたせた。(7 章参照)

この装置の動作概要は次のとおりである。

富士山頂に取り付けた風向風速計、気圧計、温度計、露点計および日射計の電気出力は、山頂測候所内においてアナログ量のまま連続記録し、毎正時の値は デジタル 化して自動的に印字記録する。

毎正時の データ は、レーダリレー 回線を利用して、100 km 離れた気象庁においても印字記録と表示を自動的に行ない観測業務に使



図 2.1 気象 テレメータ 富士山局装置
Fig. 2.1 Telemeter equipment of Mt. Fuji station.



図 2.2 気象 テレメータ
東京局装置
Fig. 2.2 Telemeter equipment
of Tōkyō station.

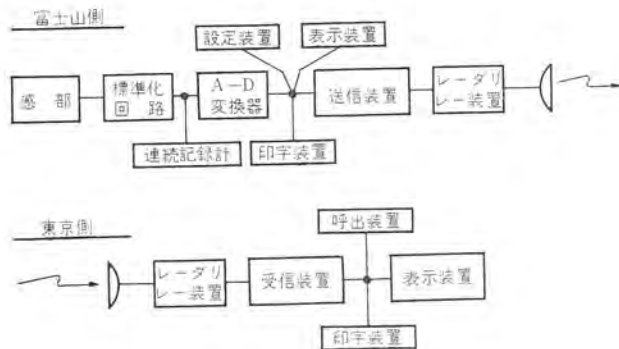


図 2.3 富士山気象テレメータ系統図
Fig. 2.3 System diagram of meteorological telemeter.

用する。使用条件が非常にきびしいので、万一の場合を考慮して、富士山側でデータを任意に設定そう入できるようにした。また、東京側より必要な時に呼び出してデータを再送させることができる。装置写真を図 2.1, 2.2 に示す。

全装置の概要を簡単に図示すると図 2.3 のごとくになる⁽²⁾⁽³⁾。

3. 観測要素とその印字、表示様式

富士山気象テレメータシステムの、観測要素、感部、測定範囲、精度、記録、計測処理方式、印字ケタ数などを整理すると表 3.1 のごとくになる。

山頂における連続記録は、各観測要素のアナログ記録であるが、印字および表示はデジタルで行なう。その様式は、国際表示様式に準拠して5字からなる群によって表わした。この形式の数字を、2 進化10 進符号で東京へ伝送し、印字、表示を行なう。印字様式は図 3.1 に示す。

表 3.1 富士山気象テレメータデータ処理

観測要素	感部	測定範囲	精度	連続記録	印字記録		
					観測値	計測印字処理方式ケタ数	ケタ数
気圧	水銀柱に抵抗線を使った気圧計	600~680 mb	±0.3mb	3 打点式記録計	毎正時の値	A-D 変換	3 ケタ (mb)
気温	白金抵抗を用いた温度計	-40 ~ +40°C	±0.3°C	*	*	*	2 ケタ (°C) ただし氷点下は絶対値に+50
露点	塩化リチウムを用いた Dew cell	-40 ~ +40°C	±1°C	*	*	*	° (°C)
風向	エーロペーン風向風速計セルシシによる方位計測	36 方位	±5°	連続 2P 記録計	毎正時前 1 分間の平均値	1 分間の最多風向を計測する	02~36 (北を36° 東回り)
風速	エーロペーン風向風速計 瞬時風速: AC 発電機 平均風速: 風程パルス	5~100 m/s	10m/s 以下 ±0.5 m/s 10m/s 以上 ±5%	*	毎正時前 10 分間の平均値	風程パルスの 10 分間の積算	3 ケタ (ノット)
日射量	熱電対起電力利用の Eppley 日射計	0~2 cal/cm ² /min	±5%	3 打点式記録計	毎正時前 1 時間の積算値	積算パルスを 1 時間積算する	3 ケタ (cal/cm ²)

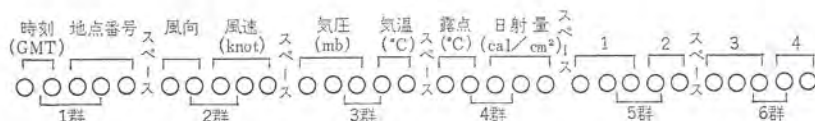


図 3.1 印字様式
Fig. 3.1 Form of printing data.

4. 感部と検出方式

物理的な気象情報を、電気信号に変換するための感部の構成は次のとおりである。また各感部からの出力は、連続記録計と A-D 変換器に入るのので、標準化することが望ましい。このため、所定の観測範囲に対する電圧を 0~10 mV に統一し、しかも直線的になるよう標準化回路を設けた。感部の外観は図 4.1, 4.2 に示す。現地据付写真を図 4.3 に示す。

4.1 風向風速計

流線形をした胴体とプロペラをもつエーロペーンで、着氷による凍結を避けるため、要所にヒータを入れた。

(1) 風向



図 4.1 検出器
Fig. 4.1 Transducer.

図 4.2 気圧計
Fig. 4.2 Barometer.



図 4.3 富士山頂検出器
Fig. 4.3 Transducers at Mt. Fuji.

胴体の方向を、シンクロ発振器で電気信号としてとり出し、後述の風向サーボ盤で、アナログ電圧(瞬間風向)およびデジタル量(平均風向)に変換する。感部でこれらの変換を行なうのは、ヒータなどを入れる関係から好ましくないで避けた。

(2) 風速

a. 瞬間風速——プロペラの回転軸に AC 発電機を付け、風速に応じた電圧を発生させる。

b. 平均風速——プロペラの一定回転数ごとに接触する風程パルス方式のものを使用する。風程パルスは 154 m に 1 パルス出し、ノット換算を容易にした。

4.2 気圧計

水銀柱に抵抗線張ったものを本体とし、電気抵抗の変化により気圧を測定する。本体は恒温タンクに入れ、外温の影響を少なくした。

4.3 気温検出器

白金の、温度による電気抵抗の変化を測定する。白金抵抗の抵抗変化は、温度に対して直線ではないのでリニアライザを使用し、直線化した。リニアライザの出力特性は表 4.1 のとおりである。

表 4.1 リニアライザの出力特性

温度 (°C)	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
電圧 (mV)	0	1.296	2.578	3.847	5.103	6.346	7.577	8.795	10.00

4.4 露点検出器

塩化リチウム吸湿性を応用した Dewcel を使用した。Dewcel の特性も直線ではないので、リニアライザを用いた。特性を表 4.2 に示す。

表 4.2 Dewcel の特性

露点 (°C)	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
電圧 (mV)	0	1.196	2.414	3.648	4.904	6.023	7.278	8.594	10.00

4.5 通風筒

気温検出器、露点検出器は図 4.1 に示す通風筒に入れた。

4.6 日射検出器

白色と黒色の環に日射があると温度差が生じる。これに熱電対を取り付けると、日射量に比例した電圧がとり出せる。この原理を利用したエープレー日射計を使用した。ただし、日射受光面に霧氷が着くのを防ぐため、ヒータとファンを内蔵させた。1 時間の積算値を得るには積算パルス発生器を利用し、最大入力で 120 パルス/h の出力とし、パルスをカウントするとそのままカロリー値が計算できるようにした。

5. 気象データの処理

4 章の検出器からの出力は、(a) アナログ連続記録、(b) 毎正時ごとに自動印字と東京への伝送を行なう。

(a) のアナログ記録は、0~10 mV に規準化された信号を、自動平衡形記録計で記録させる。

(b) 項は、アナログ入力とパルス入力とがあるので、これを印字または伝送するために、2 進化 10 進符号に変換するデータ処理が必要である。入力信号種別によるデータ処理方式は下記のとおりである。

(1) 気圧、気温、露点と予備 4 項目

この 7 点は、アナログ入力 (0~10 mV) なので、毎正時の値を

順次直流増幅後、比較形トランジスタ式 A-D コンバータで 2 進化 10 進符号に変換する⁽⁵⁾。なお、気温、露点は、0°C 以下になった時絶対値に +50 を加える演算回路を付加してある。

(2) 平均風速、日射の積算

パルス入力信号をカウントすることにより、平均風速(10 分間の平均、単位 knot)、日射の積算(1 時間、単位 cal/cm²)を行なう。

(3) 平均風向、瞬時風向

エーロベーンのシンクロ発信器(セルシ)の出力から、瞬時記録用のアナログ DC 信号と、平均風向を算出する必要がある。この方法として、図 5.1 に示すとき方法を採用した。すなわち、シンクロ発信器を制御変圧器との軸の回転角度位置の差を 0 となるようなサーボ系を組み、そのサーボモータの回転軸に、瞬時記録用のスライド抵抗と、平均風向算出用の A-D コンバータを取り付けた。

A-D コンバータは、ブラッタイラを避けてフォトトランジスタ方式を採用した。このコード盤は図 5.2 に示すごとく、18 方位に分割し、ユニットディスプレイコードにしてある。

平均風速を出す方法は、コード板を通過させた光をフォトトランジスタで受けて、1 分間に 15 回の割合でサンプリングし、各方位ごとのカウンタを動作させ、1 分間内にもっとも多く計数した方位を平

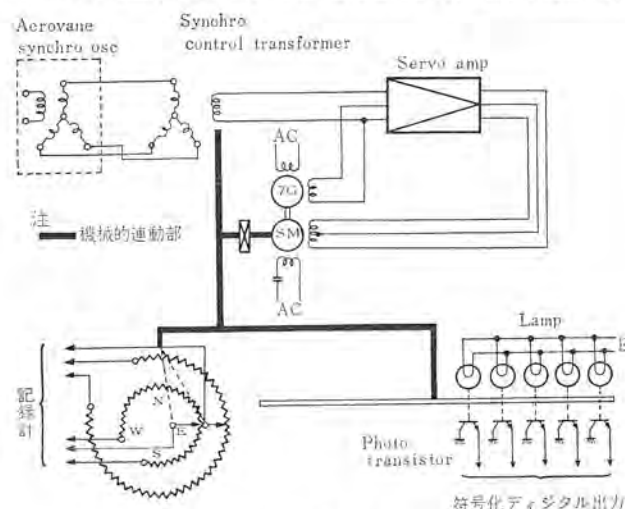


図 5.1 風向測定系統図
Fig. 5.1 Measuring circuit of wind direction.

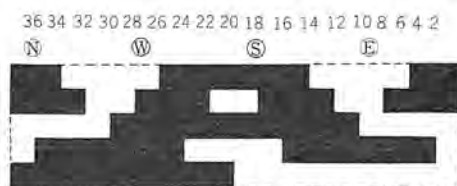


図 5.2 風向符号板
Fig. 5.2 Coded disk.



図 5.3 風向サーボ盤
Fig. 5.3 Measuring panel of wind direction.

均風向とする最多風向方式である。ただし同数の場合は北から東回りに上位の方向をとるこのパルの外観は図 5.3 に示す。

6. 気象データの伝送

毎正時のデータを、自動的に東京へ伝送してタイウ印字させ、予報データとして使用する。この伝送は、別途設置の 7,000 Mc 帯レダリレーの 50 ボー回線を 1CH 使用して伝送する。

6.1 伝送方式

(1) データの送信

自動伝送 毎正時（富士山局の時計装置からの起動）
手動伝送 任意 東京局の測定命令により起動。
富士山局の伝送命令により起動。

(2) 伝送符号

6 群に分けて伝送。1 群の符号は下記のとおり。

- a. スタートパルス 60 ms
 - b. 項目符号 3 ビット+1 ビット（パリティ）
 - c. 1 ケタの符号 4 ビット+1 ビット（パリティ）
- 1 群は 5 ケタで構成。

(3) 伝送速度 50 ボー

(4) 変調方式 FS 変調方式（偏移幅 ± 35 c/s）

(5) 副搬送波周波数 1,105 c/s ± 35 c/s

(6) 誤字検定方式 1 ケタごとのパリティ検定

(7) 誤字訂正方式 判定帰還による再送方式

(8) 回線保護方式 伝送回線雑音発生時およびレベル低下時には、入力をロックして誤伝送を防止する。

6.2 データ伝送

2 進化 10 進に変換した各データの伝送は、図 3.1 に示したごとく、6 群に分けて伝送する。1 群の直列信号は図 6.1 に示し、信号の伝送のタイムチャートを図 6.2 に示す。

受信側で信号を受けると、誤字検定を行ない、OK であれば、OK 信号を送信側へ返送する。送信側では、この OK 信号を受けて第 2 群の信号を伝送する。このように、順次確認をとりながら

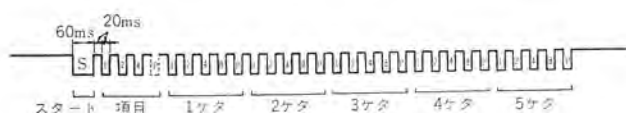


図 6.1 伝送符号 (1 群)
Fig. 6.1 Form of transmission code.



(a) 正常伝送の場合
(OK 信号により順次データは次群に変わる)

(b) 符号誤りの場合
(OK 信号が出ない場合、同一データを 4 回まで連送して次のデータに変わる。OK 信号が出れば次のデータに変わる)

図 6.2 伝送タイムチャート
Fig. 6.2 Transmission time chart.

データを伝送する。誤字検定で NG が出れば、OK 信号を返送しない。この時、送信側では OK がくるまでデータを連送する。4 回連送で警報を出し次群へと移る。また OK 信号が送信側へ届かない場合も同様の動作となる。ただし、回線障害の場合は、回線の復旧を待ってからデータを伝送する。

東京側からの呼出信号によって、山頂に記録してあるデータを再送することができる。この場合の送信方法は、上記とまったく同じである。

7. 試験機能

富士山頂という立地条件から、次のごとき試験機能をもたせた。

(1) アナログ標準入力によるチェック

感部（気圧、気温、露点）入力信号のかわりに、内蔵の標準直流電圧により、各計測回路のチェックが可能である。（図 7.1）

(2) パルス入力によるチェック

任意の時間に、平均風向、平均風速、積算日射の計測回路へ試験用のパルスを加えて、各計測回路を個別にチェックすることができる。（図 7.2）

(3) 書き込み電作

各項目ごとの記憶回路は、手動でデータを書き込ませることが可能で、その値は表示器により確認できる。富士山局試験盤を図 7.3 に示す。

(4) 伝送試験、呼出試験

山頂から、手動で任意の時間にデータを伝送することができる。東京からも呼出信号によりデータを再送させることができる。東



図 7.1 アナログ試験盤
Fig. 7.1 Analog test panel.



図 7.2 デジタル試験盤
Fig. 7.2 Digital test panel.

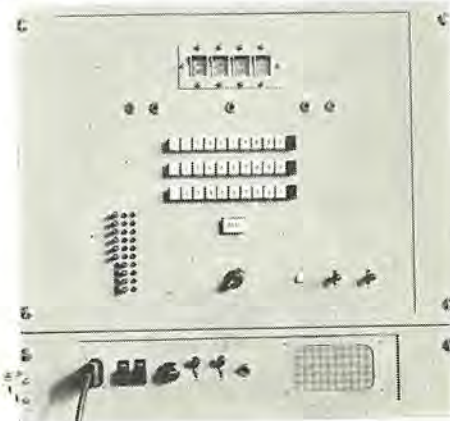


図 7.3 富士山局制御盤
Fig. 7.3 Control board of Mt. Fuji station.

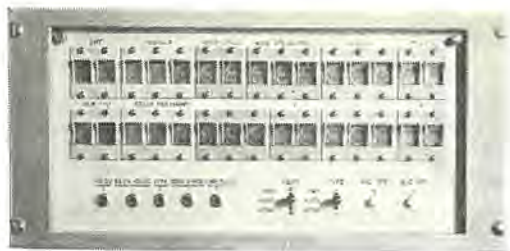


図 7.4 表示制御盤

Fig. 7.4 Indicate and control board of Tōkyō station.

京局試験盤を図 7.4 に示す。

(5) 印字試験

手動で任意の時間にタイプライタを動作させ、データを印字させることができる。(富士山局、東京局とも)

8. 装置総合動作説明

この装置の総合動作系統図を図 8.1, 8.2 に示す。

- (1) 検出器からの出力 0~10 mV はアナログ連続記録を行なう。
- (2) 気圧、気温、露点の毎正時のデータは、スケールファクタで 0~8 mV に変換後 スキャナにより順次 A-D 変換する。
- (3) 気圧のデータには 600 の加算計算、気温、露点の氷点下の値には絶対値に +50 の変換を行ない各レジスタに読み込ませる。

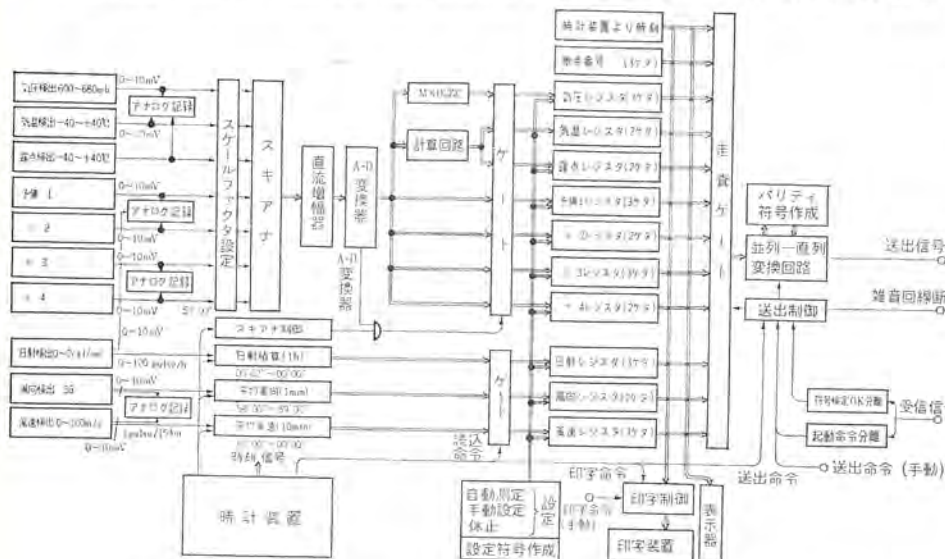


図 8.1 富士山局ブロック線図

Fig. 8.1 Block diagram of Mt. Fuji station.

(気圧、気温、露点)

(4) 日射積算計の パルス(0~120 パルス/h) を 1 時間計数し、日射 レジスタに読み込ませる。(積算日射)

(5) 風向 サーボ 盤の方位 パルス により、毎正時前 1 分間の最多風向を計算して、風向 レジスタに読み込ませる。(平均風向)

(6) 風向風速計よりの風程 パルス を毎正時前 10 分間計数して、風速 レジスタに読み込ませる。(平均風速)

(7) 毎正時ごとの (3)~(6) の各レジスタへの読み込みが終わると、電動 タイプライタ を駆動させて データ を印字する。

(8) 各レジスタのデータは、1 群ごとに並列変換回路を経て直列符号に変換して伝送する。

(9) 東京局では直並列変換回路で並列符号に復調する。パリティ検定の結果 OK となれば、ゲートを用いてその項目のレジスタを更新する。

(10) パリティ検定 OK になれば符号検定 OK 信号を富士山に伝送し、次群 データ を伝送させる。

(11) 最後のデータを受信し終えると、デジタル表示器を更新するとともに電動 タイプライタ を動作させて印字記録を行ない観測業務に使用する。

(12) 東京から富士山 データを確認したいときは、起動命令信号を送出して データ を送らせることができる。

(13) 東京局、富士山局とも任意の時間にレジスタに読み込ませたデータをタイプライタで表示させることができる。

(14) 富士山局の制御盤で、データの自動設定、手動設定、休止の切り換えが可能である。手動設定の場合任意の値を読み込ませることができる。

9. むすび

富士山気象テレメータの方式および装置について報告した。装置は設置以来観測業務に使用されている。山頂のきびしい条件にさらされる感部については若干改良の余地があるが、この装置の完成は、今後の観測自動化への貴重な足がかりとなるものとして期待されている。

最後にこの装置の計画、設計にあたりご指導をいただいた気象庁の吉武観測部長、藤原測器課長、竹内調査官、矢島係長をはじめ、測器課、測候所の関係各位ならびに感部の製作を担当された関係会社各位、当社品質管理課、工作の関係各位に厚く感謝の意を表する次第である。

参考文献

- (1) 藤原：「テレメータ、テレコントロール」、電気 3 学会関西支部、デジタル 通信技術専門講習会資料(昭 40-2)
- (2) 竹内、下島、宗像、矢島、藤原：「富士山気象テレメータについて」、日本気象学会秋季大会(昭 39-11)
- (3) 竹内、矢島、丸浜、室田、藤原、今泉：「富士山気象デジタルテレメータ」、電気四学会連大会(昭 40-4)
- (4) 竜田、塚原：「全トランジスタ化逐次比較形 A-D 変換器」「三菱電機」372(昭 38)

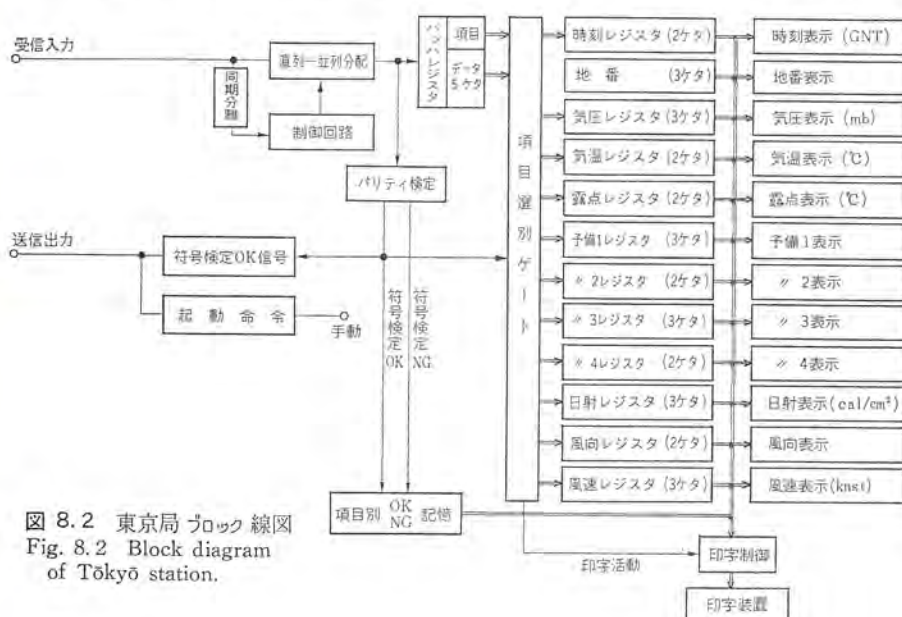


図 8.2 東京局ブロック線図
Fig. 8.2 Block diagram of Tōkyō station.

富士山気象レーダ; レードーム

喜連川 隆*
森 川 洋**

M. S. F. Radome for Weather on the Top of Mt. Fuji

Central Research Laboratory Takashi KITSUREGAWA
Kamakura Works, Itami Factory Hiroshi MORIKAWA

A radome has been built on the top of Mt. Fuji. This is of a metal space frame type having particularly excellent mechanical strength and good electric performance. The radome of this type is unprecedented in this country, withstanding wind velocity of 100 m/s and possessing an electric power transmission coefficient of 86%. The frames used are of high strength extruded aluminium alloy materials with a cross section of 30mm×44mm. The panels of the radome are of fiber glass reinforced plastic and are 1.5 mm thick. The joints are connected rigidly using high tensile bolts. For an auticer an air curtain is provided on the surface of the radome so as to prevent collision of water drops on it. It is estimated that the growing rate of rime ice will be reduced to the extent of 5% with this device. Special care is taken to simplify the assembling, maintenance and inspection. The work can be made from the inside of the radome.

1. ま え が き

富士山頂に気象レーダ基地を建設することが気象庁において計画されたとき、われわれはこのレーダ装置の成否はレードームにあると考えた。もしレードームなしのアンテナ装置を富士山頂に取り付けると、冬期には1日で氷のかたまりに化してしまうことが予想されたからである。

レードームには設置場所、使用目的などによって、種々の形があるが、構造で分類すると次のようになる⁽¹⁾。

硬質 レードーム

- 単相 レードーム
- (1) 低誘電率 レードーム
 - (2) 半波長厚 レードーム
 - (3) 薄壁 レードーム⁽²⁾

サンドイッチレードーム^{(3),(4),(5)}

金網入 レードーム^{(6),(7)}

軟質 レードーム

単層薄壁 レードーム⁽⁸⁾

二重壁 レードーム

これらのうちで、富士山頂での使用を考えると、軟質レードーム⁽⁸⁾では、山頂での強い紫外線、オゾンなどによる材料の劣化により、寿命は非常に短くなると予想されるので不適当である。また、当

社で現在まで製作してきた、骨が誘電体の硬質薄壁レードーム⁽²⁾、すなわちプラスチック・スペースフレーム・レードーム (P. S. F. レードーム) も富士山頂の強風には耐えられない。しかし金属でスペース・フレームを組み、機械的強度は、すべてこのフレーム・ワークで受けるようにした薄壁レードームならば要求にかなうと思われる。すなわち、金属スペースフレーム・レードーム⁽⁹⁾ (M. S. F. レードーム) ということになる。この M. S. F. レードームの特長は機械的強度が高くて、しかも電気性能がすぐれているということである。この M. S. F. レードームは低い周波数では急激に性能が低下するが、しかし高い周波数では、フレーム自体による限界はなく、性能はパネル部にのみ依存し、パネル厚さが薄ければかなり高い所まで使用可能である。アメリカでもこの種のレードームはすでに開発され、霧氷の発生しやすく、風の強い北大西洋に設置されているものもある。しかし富士山頂はこれらをしのぐ、世界最高所の気象用レーダ基地で、設計条件はさらに過酷である。

2. 設 計 条 件

富士山頂レードームの設計条件および、その概要を次に述べる。

1. (a) 人力で組み立てられること
(b) 組立、補修は内部よりできること
2. 直 径 約 9 メートル
高 約 7 メートル
3. 使用周波数 2,700~2,900 Mc
4. 電力透過率 平均 90% 以上
最低 85% 以上
5. 材 料 フレーム 金属
 パネル 強化 プラスチック
6. 耐 風 性 100 m/s
7. 耐温度性 -50°C~+50°C
8. 耐 雪 性 100 cm
9. 耐 氷 性 粗氷 50 cm
10. 避雷対策 考慮を払うこと

このように富士山頂でレードームを組み立てる際には、平地と異



図 1.1 富士山頂レードーム
Fig. 1.1 M. S. F. Radome on the top of Mt. Fuji.

なって、レッカー車の類は用いることができない。すべて人力で組み立てなければならないので、一部品の重量は非常に制限される。レドームの据え付けが工程表の上で短い時間に限られ、その時間を逸すると完成が1ヵ年遅れることも予想されたので、レドームはごく短期間で組み立てられるようにした。また、高山病などによる作業能率の低下も考えて、複雑な作業を含まないように設計した。M.S.F.レドームはフレーム・ワークだけでは、受風面積が少ないので風荷重も少なく、また、フレーム・ワークを組み立ててしまうと十分な強度を発揮できる。このように初めにフレームを組み、後でパネルをはめ込むと、天候の急変にもあまり影響されないで、高い山頂などでの工事にはとくに便利である。

レドーム寸法は中に入れるアンテナ直径に比較して、大き過ぎても小さ過ぎてもふつこうである。一般的にはレドーム直径対アンテナ開口径の比は約1.5倍に設計される。これにより大きい場合には、電気性能が改善される割合よりも、機械的強度の低下や、費用の増加が著しくなる。

逆にこの比がもっと小さい場合には、レドームとアンテナの相対位置、走査角の変化などの面で急激に性能は低下する。今回は、アンテナ開口径5メートル、レドーム外接球直径9メートルで、その比は1.8である。フレーム材料の選択は、機械的強度以外に山頂までの運搬および組立作業の難易などを考慮に入れて、その軽量化に努力しなければならない。この点鋼材を使用すると不利であるし、さらに低温脆性の危険も考えてアルミ合金を使用することとした。この材料の特性については後に詳述する。

パネル材料は当社相模製作所で経験の深い、ガラス繊維強化プラスチックを使用し、その表面にハイロン塗装を施して耐候性能を補強した。-50°Cの温度条件下ではパネル材料はとくに変質しない。設計風速100 m/sは過去の最大風速1942年9月5日の72.5 m/sに対しても十分余裕がある。多くの地上用レドームの仕様が60~70 m/sであるのに比べると、約2~3倍の強度が要求されている。

耐雪性については、積雪100 cmの固定荷重は、風荷重に比べて約1/4であるが、その方向は風荷重と逆で、互いに相殺することになる。一般にこのようなレドームではそれ自身の固定荷重は、普通の建築物に比較して著しく小さいので、機械強度上風荷重が最も過酷な条件となる。また耐水性については、ただ50 cmの固定荷重だけがレドームに加わるのではない。大気中に含まれた水滴は過冷却され、障害物に衝突した際に霧氷となって付着する。これは雪山において樹木に付着して樹氷となり、雪面にシュカブラを描き、その先端に、通称エビのシッポを付ける。

富士山頂では、このエビのシッポは著しく発達し、タヌキのシッポなどになる。このため建築物は氷のかたまりとなる。図2.1に示す山頂浅間神社の鳥居や社務所を見ても、この様子がわかる。この霧氷の付着力は非常に強く試験用に富士山頂に取り付けたパネルに付着した物はピッケルで強く打ち落さねばならなかった。

このような霧氷がレドームに付着すると、その表面での風の圧力分布が大きく変化し、風荷重が異常に増大して、レドームが破壊する危険も起こりうる。そこで今回のレドームは強力な防氷装置を設けて、着氷を防ぎ風の圧力分布の大きく変化することのないようにした。

一方電気性能について考えてみると、伝送損失をまぬがれ得ないのでレーダ到達距離は短縮され、また、アンテナ放射パターンがヒズミ、ポアサイトエラーを生じ、あるいは電圧定在波比の増大により



図 2.1 (a) 富士山頂浅間神社鳥居
Fig. 2.1 (a) Rime ice covering the "Torii" on the top of Mt. Fuji.



図 2.1 (b) 富士山頂浅間神社社務所
Fig. 2.1 (b) Rime ice covering the roof of shrine on the top of Mt. Fuji.

送信管に悪影響を与えたりする。しかし一般にどのような種類のレドームを採用するか決定する際には、電気性能についてのみ考慮するのではなく、これとほとんど相反すると思われる機械的性能との妥協点を見付けることが必要となる。富士山頂のようなきわめて過酷な気象条件下に設置するレドームとしては、電気性能をある程度犠牲にしても、まず機械的条件を優先させなくてはならなかった。今回のM.S.F.レドームは金属骨で構成されているため、機械的強度はきわめて強い反面、金属骨の太さはレドーム直径が小さくとも、それに比例して小さくはできず一応の限界がある。このため、この種のレドームは、どちらかといえば大形ないしは超大形のものに適していると思われる。この点富士山頂レドームのような、小形レドームにおいては電気性能の低下は免れえない。したがって問題は機械的条件を十分満した後、電気性能の低下をどれだけ少なくするかということになる。このためパネルやフレームの大きさ、形状を適切に選ぶとともに、アンテナ開口径とレドーム直径の比もできるだけ大きくする必要がある。なお、このレドームの電気設計は当社中央研究所第三部、機械設計は鎌倉製作所伊丹工場機械技術課、工作は強化プラスチック部分⁽¹⁰⁾を相模製作所化成部品技術課および化成部品工作課、その他の部分を鎌倉製作所伊丹工場工作課、現事工事を本社総合施設部が担当したが、さらに機械設計については東京大学生産技術研究所坪井研究室のご指導を受けた。

3. 電氣的設計と試験結果

3.1 レードームのアンテナに及ぼす影響

3.1.1 透過損失(伝送損失)

レードームでおおったとき、はずしたときの電力利得の差であって、電力透過損失が約 10% あれば、レーダの観測距離は約 5% 短くなる。この損失は、レードームによる電波の反射、吸収、偏波面の回転などによって生ずる。M.S.F. レードームではパネルによる性能低下はごく少なく、大部分はフレームの数と太さで決る。

3.1.2 アンテナパターンの変形

レードームによる反射、散乱、あるいは透過波の位相回転などによりアンテナパターンが変形し、アンテナ固有のサイドローレベルが変化したり、アンテナ主ビーム幅が変わったりする。

3.1.3 主ビームのズレ

アンテナの主ビームの方向とレードームの対称軸が一致すれば主ビームの方向の変化は生じないが、一致しないときには当然アンテナ主ビームの方向が変化する。

3.2 設計

M.S.F. レードームは構造上、フレームと誘電体薄膜とからできている。したがって、設計を行なうにはこれらを別々に検討する必要がある。

3.2.1 パネルによる電波の反射と吸収

一般に地上用レードームは大きな直径を持った多面体であるが、パネルによる電波の反射および透過時の位相回転が入射角の変化により大きく変わらぬように直径をアンテナ直径の約 1.5 倍以上にとって、直角入射の条件で電氣設計を行なう。誘電体薄膜は、材料が無損失で、電波が直角入射すると、電力反射 $|R|^2$ 、吸収損失 L はそれぞれ、

$$|R|^2 = 4r^2 \sin^2 \phi / \{ (1-r^2)^2 + 4r^2 \sin^2 \phi \} \approx \{ (\epsilon-1) \pi \cdot t / \lambda_0 \}^2$$

$$L = 2\pi t \sqrt{\epsilon} \tan \delta / \lambda$$

となる。ここに

$$r = (\sqrt{\epsilon} - 1) / (\sqrt{\epsilon} + 1) = \text{振幅反射係数}$$

$$\phi = 2\pi t \sqrt{\epsilon} / \lambda$$

$$t = \text{膜厚}$$

$$\lambda_0 = \text{自由空間波長}$$

$$\epsilon = \text{比誘電率}$$

膜厚が $\lambda_0/20$ 以下であれば薄膜で、反射および吸収の影響はきわめて小さくいずれも無視できる。ここに λ_0 は誘電体内波長である。

3.2.2 フレームによる電波の散乱

一方金属フレームはアンテナ性能にかなりの影響を与える。しかし誘電体フレームによる散乱は同寸法の金属フレームによる散乱よりも大きな場合もある⁽¹¹⁾。また、偏波面が金属フレームと直角のほうに平行のときよりも電波の反射、散乱が少ないので電波の偏波面に対し斜めのフレームがあると偏波面の回転を生ずる。フレームの断面が円柱の場合には図 3.1 のごとくなる⁽¹²⁾。フレームの断面幅が波長の約 1/3 以上になれば散乱実効幅はフレーム断面幅の約 2 倍となる。今このレードームの 1 枚のパネルの面積を S 、その周辺長さを l 、フレーム幅を d とすると、フレーム散乱による電力損失率 L は、

$$L \approx l \cdot d / S$$

となる。パネルが正三角形であると仮定すると、

富士山気象レーダ：レードーム・喜連川・森川

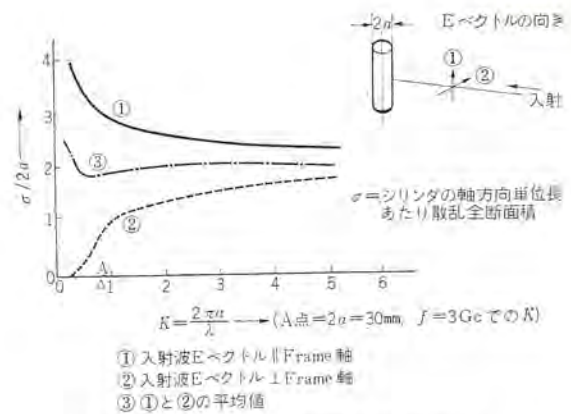


図 3.1 円柱による電波散乱特性
Fig. 3.1 Scattering characteristics of column.

$$L \approx 4.5d / \sqrt{S}$$

となる。今回のパネルの大きさはほぼ 1.26 m^2 、フレーム幅はほぼ 3 cm であるから、正三角形から少しはずれることによる若干の増加を見込んでも電力損失率は約 11% となる。

3.2.3 レードーム直径と分割数

分割数が少ないと反射鏡の端からレードーム壁面への入射角が大きくなるのでパネルによる反射が多くなるとともにポアサイトエラも大きくなる。また、一方分割数が多いと、金属の骨で構成される三角形が小さくなるので電力透過率が低下する。このアンテナは波長に比べてあまり大きくないので、以上両者を勘案するとレードーム直径はアンテナ反射鏡直径の 1.5 倍という標準値よりも大きくする必要がある。さらに富士山という過酷な諸条件を考慮して反射鏡直径 5 mφ に対しレードーム直径を 1.8 倍の 9 mφ とし分割数を正 20 面体の各面を 9 分割、計 180 分割とした。

3.3 電氣試験

このレードームはわが国で最初のものであるので、その設計のためにあらかじめ縮尺模型を作って種々の電氣試験を行なった。

レーダ周波数約 2,900 Mc に対してレードーム直径は 9 mφ である。一方模型実験は測定に最もつごうのよい X-band で行なうため模型の縮尺比は 1/4.2 にした。したがって測定周波数は 2.9 GC×4.2=12GC となる。なお測定はフレームの分布が規則的なものと、不規則なレードームについて行なった。また同時にこのレードームの使用可能な最低周波数をも調べた。電力透過率の測定ブロックダイヤグラムを図 3.2、測定の様子を図 3.3 に示す。レードームを着脱したときの受信電力の変化から電力透過率を測定するとともに、アンテナの回転による受信電力の変化を極座標レコーダで記録した。この結果えられた電力透過率の最低値は 86% であり前記の概略計算結果の電力損失 11% よりやや悪いが、フレームの実効面積の差や、継手などによる実効散乱面積の増加によるものと考えられる。規則性のものと、不規則性のものととの差はこの程度のフレームの数のときはほとんど認められない。主ビームの変位やサイドローの上昇はいずれも少ない。また、周波数特性はほとんどなく 1,000 Mc に下がって、はじめて受信電力に数 % の変化が生じ、サイドローレベルが少し増加する。なお、この種のレードームの電力透過率は 89~85%、ポアサイトエラ 0.3 ミリラジアンが普通であるが⁽¹¹⁾、このレードームは富士山頂という過酷な機械的条件があるため、地上で通常用いるものと比較して、電氣的性能において少々不利であった。

今回の試験結果の概略は、

(a) 電力透過率(最低) 86%

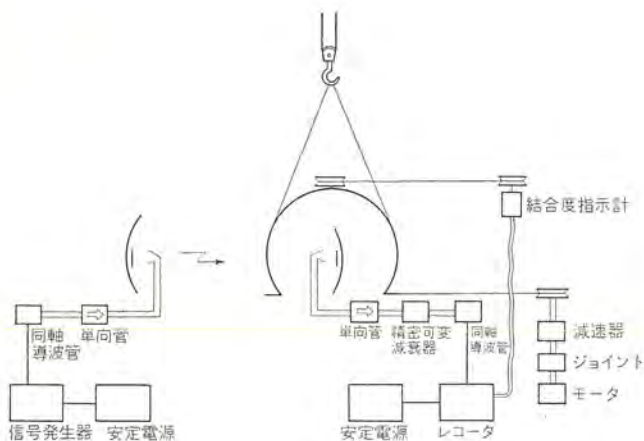


図 3.2 電力透過率および サイドローブ 上昇測定
ブロック線図

Fig. 3.2 Block diagram of measuring electric power transmission coefficient and side lobe.



図 3.3 金属骨多面体 レードーム 1/4.2 縮尺模型電気試験
Fig. 3.3 Measuring electrical performance by using 1/4.2 scale radome.

- (b) 主ビームの変位 0.007°
(c) サイドローブの上昇 0.9 dB at -30 dB
となる。

4. 機械的設計

4.1 風荷重

定常な空気の流れに レードーム がさらされたときの風荷重が機械強度設計の基礎となる。レードーム 表面に加わる風荷重は、

$$P = P_c \cdot q \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

P_c = 圧力係数

$$q = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

ρ : 空気の密度

v : 風速

によって与えられる。

4.1.1 圧力分布

レードーム のような球体における圧力分布については、数多くの文献があるが、われわれは図 4.1 に示す風洞実験によってこれを求めた。使用した風洞、模型は

(a) 風 洞

形 単帰還風洞

測定部断面 タテ 1.8 m 横 2.2 m

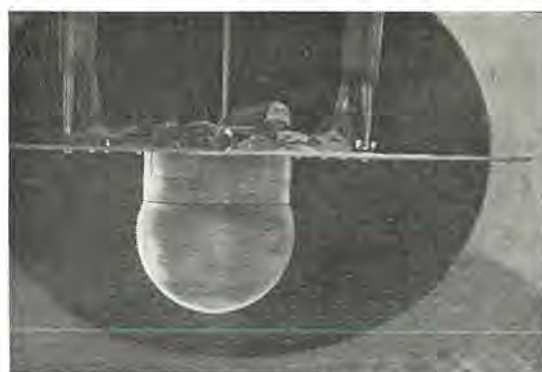


図 4.1 風洞実験による圧力測定
Fig. 4.1 Measuring pressure distribution by wind tunnel experiment.

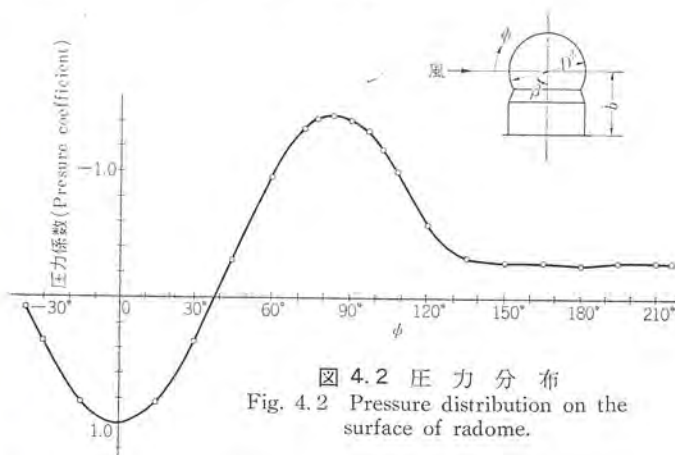


図 4.2 圧力分布
Fig. 4.2 Pressure distribution on the surface of radome.

最大風速 1 気圧 120 m/s
1/4 気圧 200 m/s

(b) 模型 (木製)

直径 300 mm

β 14° ~ 90°

b/D 0 ~ 0.30

この結果富士山頂 レードーム の場合、圧力分布は図 4.2 に示すようになる。

風が $-\phi_0$ 方向から吹き上げた場合には、このグラフは ϕ_0 だけ、左側に平行移動すると考えてよい。また レードーム は完全な気密を保たないので、風の流れによって室内が負圧になる現象、すなわち室内圧の影響により図 4.2 のグラフは下方に水平移動するが、この値も $\frac{1}{2}q$ を超えるとは考えられないので、設計荷重は図 4.2 の圧力分布を採用した。

4.1.2 風 の速度圧

風 の速度圧は式 (4.2) によってえられるが、これは静的な荷重と動的な荷重とに分けて考えなければならない。静的な荷重は式 (4.2) によって簡単に与えられる。動的な荷重は、風速値に何秒平均の値を用いるか、その際の温度、気圧、およびその風に応答する建築物の大きさ、固有周期などの関数となる。この動的な作用はいわゆる風の息に起因するもので、一般には突風率を求め平均風速にこれに乗じた静荷重として取り扱うのが常である。今回は

$$q' = (1 + 0.51 \cos \omega t) q$$

とした。

4.2 構 造

4.2.1 レードーム分割方法

レードーム の表面を 1 枚の パネル でおおうことは不可能であるか

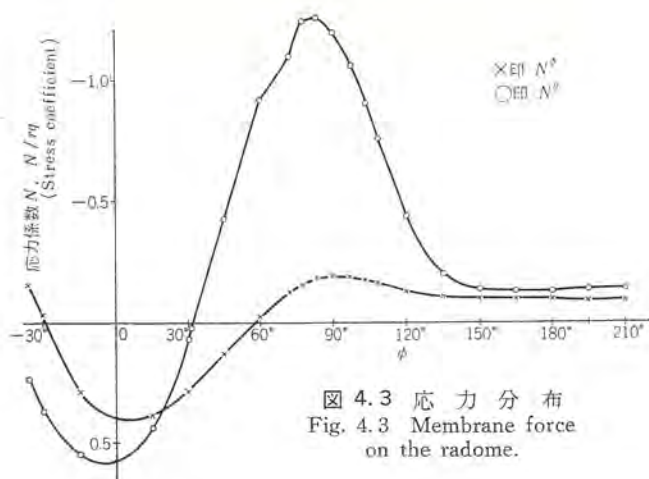


図 4.3 応力分布
Fig. 4.3 Membrane force on the radome.

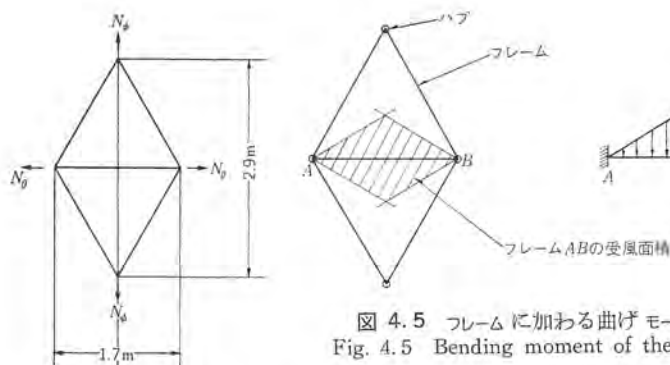


図 4.4 フレームに加わる軸力
Fig. 4.4 Axial forces of the frame.

ら適当に分割しなければならない。強度的にはフレームが三角形を描くことが望ましいので、正 20 面体を基礎として、一辺 1.7メートルの三角形板 135 枚に展開した。この際のパネルの種類は 5 種類となるが、その内 3 種類は他のパネルの一角を切り取った物なので、工作用の形は 2 種類となる。

4.2.2 フレーム

(1) 強度

レードームを 1 個の置換板として外力に図 4.2 の風荷重を取り、膜理論で解くと応力分布は図 4.3 のようになる。フレームの軸力は近似的にこの応力を図 4.4 のように加えて解いても誤差は少ない。この結果からはフレームの面外曲げモーメントは求まらないので、パネルから圧力として、図 4.5 のような荷重が加わるとして、その応力を加えた。

実験的に図 4.6 に示すように 1/7.5 模型を作り、各節点に図 4.2 の風荷重に相当する荷重を加え、各フレームのヒズミを抵抗線ヒズミ計で測定した。この実験では荷重をフレームに分布させずに節点に加えたため、フレームの曲げモーメントは測定できないが、その軸力は得られる。この応力解析の結果フレーム断面は約 30 mm×44 mm とし、材料は高力アルミ 4 種を使用するとして十分な強度を持つことが確かめられた。なおこのフレームワークは、天頂部に約 1 ton の荷重を受けても十分耐えるので、アンテナ組立の際に、アンテナ各部品、または全体をレードームを使ってつり上げて組み立てた。

(2) フレーム断面形状

フレーム形状決定の際に、組立方法、工作方法などの制限が最も多く入ってくる。すなわちフレームはパネルを完全に支持するば



図 4.6 1/7.5 模型による荷重試験
Fig. 4.6 Loading test on 1/7.5 scale model.

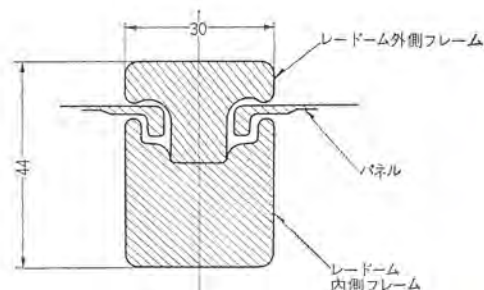


図 4.7 フレーム断面
Fig. 4.7 Cross section of the frame.

かりでなく

- (1) 外フレームのみで山頂までのヘリコプタ輸送に耐えること
- (2) パネル交換が容易なこと
- (3) 内側より組み立てること
- (4) パネル外側に出るフレームはできるだけ薄く作り、着氷を避けること
- (5) 1 本のフレームの重量を軽くして、人力で容易に組み立てること

などの条件を満たすように設計されなくてはならない。

図 4.7 にフレーム形状を示す。このような合成ハリ(梁)の場合、フレームに加わるせん断力により、上下弦材の間にスベリが起こって、一体ハリに比較して曲げ応力は約 4 倍となる。これを防ぐためには

a. 高張力ボルトで両材を締め付け摩擦力でせん断力をささえる。

b. リーマピンを打ってせん断力をささえる。

などの方法が考えられるが、実験によると(1)の方法ではボルトの径、ピッチが増えて、作業性が悪い。(2)の方法によると最大応力は、一体ハリの約 1.3 倍となる。しかし合成ハリの剛性としては、これはほとんど最良値に近いと考えられたので(2)の方法を採用した。

4.2.3 結合部

三角形の各辺を構成するフレームは、その頂点で一つにまとめられる。すなわち 1 個所に 5 本または 6 本のフレームが集まり、それらを結合する。この結合部は強度上剛節であることが望ましく、また強度計算上も剛節として取り扱ってきた。ここに加わる荷重は、フレームより伝わる軸力および曲げモーメントであるが、軸力は曲げモーメントに比較して少ない。そこで図 4.8 に示すように、2 枚の円板でフレームをはさみ込んだ摩擦結合とした。すなわち



図 4.8 ジョイント部
Fig. 4.8 Hub joint.

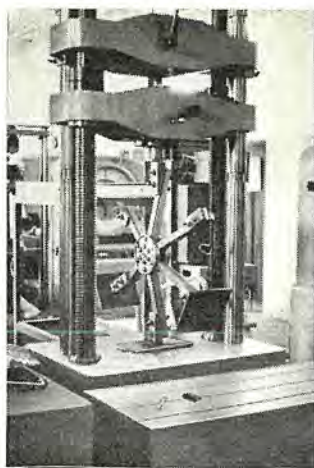


図 4.9 ジョイント部荷重試験
Fig. 4.9 Loading test of the hub.



図 4.10 実物レードーム荷重試験
Fig. 4.10 Loading test of the radome.

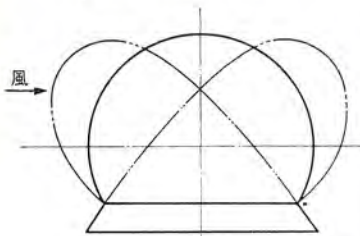


図 4.11 振動のモード
Fig. 4.11 Mode of vibration.

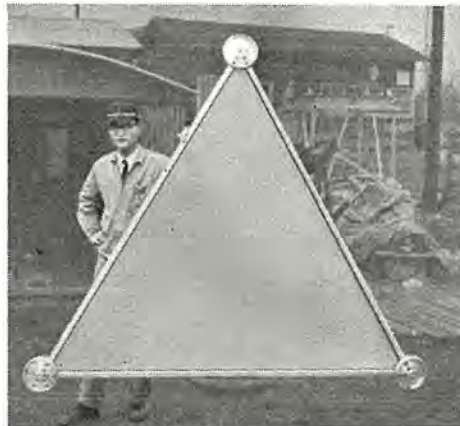


図 4.12 パネル
Fig. 4.12 Panel assembly.



図 4.13 パネルの荷重試験
Fig. 4.13 Loading test of the panel.

フレーム 1 本あたり 2 本の高張力 ボルト で締め付けて、円板とフレーム間に発生する摩擦力で軸力をささえるように設計した。円板の材料は耐食 アルミ 合金 7 種で、強度はフレーム材料より低い。そこでフレーム側にのみ、ナールをきざみ十分な摩擦力を与えるようにした。

図 4.9 に示すように、軸力および曲げ モーメント を同時に加えたが、設計荷重の 2 倍の状態でも十分剛節であることが確かめられた。なお高張力 ボルト は電食を防ぐために、カドミメッキ を施し、また温度変化による冬期の締付 トルク の減少は、あらかじめ締付 トルクに見込んで強く締めた。

4.2.4 実物実験

結合部は、一つ一つでは十分剛であるが、レードーム を全体として組み立てた場合には、各部分の工作誤差の集積、自重によるタワミ などにより、十分な摩擦力を発揮できず、全体として剛になっているかどうかはわからない。図 4.10 に示すように実物レードームの各節点に風荷重と分布は異なるが、同程度の大きさの荷重を加えて、各点の変位を測定した。この結果は全節点を溶接した 1/7.5 模型に同一の荷重を加えた場合の変位量とはほぼ一致しているので、このレードームの各節点はほぼ剛節として取り扱ってよいことがわかった。

4.2.5 レードームの振動特性

風は定常な流れではなく、ランダム な変動成分を持っているのでそれに対するレードームの応答が問題となる。富士山レードームの場合図 4.11 に示すようなモードの振動について実験すると、固有振動数 20 c/s の結果がえられた。一方カルマン渦列による振動は 2 c/s、風のパワースペクトラムについて考慮しても 100 m/s 以下の風では共振しないことがわかった。

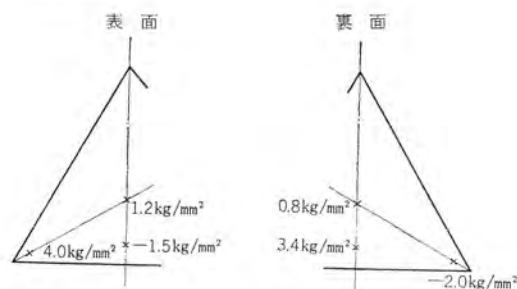


図 4.14 パネル応力分布
Fig. 4.14 Stresses on the panel.

4.3 パネル

パネルは 1 辺約 1.7 m の三角形を成したガラス強化プラスチック (F.R.P.) で、金型プレス加熱法により成型した。

材料の機械的特性は繊維のタテ方向とヨコ方向とで異なるが、破断応力は約 30 kg/mm² 以上、弾性係数は約 1,900 kg/mm² である。この三角形板が風荷重を受けると、異方性板の有限変形の場合に相当する。この種の問題については、当社ではホーンフレクタアンテナ⁽¹³⁾の前面板の問題とも関連して、数多くの近似解析および実験が行なわれてきた。今回は近似計算によってパネルを試作し、図 4.13 に示す実験によって確認した。実験は空気圧により、風荷重相当の等分布荷重を加え、パネル面にはりつけた抵抗線ヒズミ計によってヒズミを測定した。その結果を図 4.14 に示す。

この三角形パネルは、大変薄いため風の息によって面に垂直な方向に振動する。しかし実験によると、100 m/s 以下の風速では共振しないことがわかった。

4.4 防水装置



図 4.15 (a) 富士山頂でパネルに付着した霧氷
Fig. 4.15 (a) Rime ice attached to the panel.

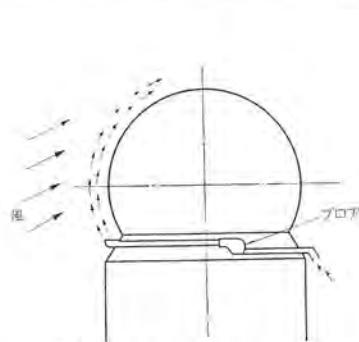


図 4.16 防氷装置
Fig. 4.16 Air curtain for anti icing.

前にも述べたように、霧氷が付着すると電気性能を低下させるだけでなくレードーム自体も危険な状態になる。そこでわれわれは1辺約1.7mの試験用パネルを富士山頂に設置して、霧氷の付着状態を観察した。(図4.15参照)

山頂での乏しい電力では、この氷を全部溶かしきることはできない。飛行機の翼の防水に用いられるイソラピロアルコールも、膨大な使用量を考えると採用できない。しかし試験用パネルと違ってレードームは球面体であるため、この球体に沿った空気の流れによって、大気中の水滴が全部レードームに衝突することは考えられない。外国の例によると、この大きさのレードームでは大体50μ以下の水滴はレードームには衝突せず空気の流れによって、レードーム後方に吹き流される。さらに山頂での観察によると、霧氷の発生は秋期と春期に限られ、この季節には山頂での風向きは大体西方(W±45°)であった。そこで霧氷の付着するのはレードームの風上部分に限られるのに着目して、この部分に図4.16に示すような装置により、レードーム表面をエアカテンでおおい、風の流れの方向を変えて水滴の衝突を避ける方法を選んだ。これにより霧氷の付着力は0.05%程度に押えられると推定している。

4.5 避雷対策

軟質レードームの際、非常に神経質に取り扱った避雷針も、金属スペースフレームの場合は、ドームのフレーム・ワーク自体が、一種の避雷装置となってアンテナを守っている。したがってこのレードームでは、とくに避雷針は付けなかった。なおこのレードームは鋼製タワーの上に設置されている。

5. 現地工事

山頂でのレードームの組み立てが、この工事を予定の工期で完了できるかどうかのカギをにぎっていると考えられた。したがって、この工期を短くするためレードーム外フレームを山ろくで組み立て、

富士山気象 レーダ; レードーム・喜連川・森川



図 4.15 (b) 富士山頂でパネルに付着した霧氷
Fig. 4.15 (b) Rime ice.

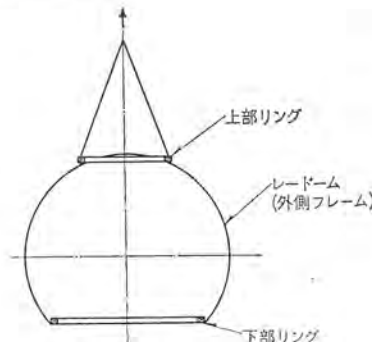


図 4.17 ヘリコプタつり下げ装置
Fig. 4.17 Rings for helicopter transportation.

ヘリコプタ、S-62によって山頂に空輸した。その他の内フレームやパネルは、別途山頂に運び上げ組み立てを完了した。ヘリ輸送の際にレードーム外フレームのみでは非常にぎゃしゃなものになるので図4.17のように下端とつり下げ部をリングで補強した。上部のリングはレードームにつり下げによる外力が加わるのを防ぎ、

下端のリングは自重による変形を防いでいる。組み立ての際、ジョイント部の高張力ボルトの締付トルクの管理にはとくに注意した。またフレームとパネルの継ぎ目には雨水の漏れ込みを防ぐため防水処理を施した。工事の詳細については本誌建設工事の論文を参照されたい。

6. むすび

レードーム完成直後の9月25日台風20号が通過した。このときの平均風速は80m/sを超えたが、レードームに異常はなく、その性能を発揮した。この種のレードームは大きな直径の場合に有利であり今後その方向に発展してゆくものと思われる。終わりに

このレードームを製作する機会を与えられ、かつ、絶えずご指導ごべんたつをたまわった気象庁の関係各位、ならびに機械設計に関してご指導をたまわった東大坪井研究室の各位に深く感謝申し上げる。(昭40-2-10受付)

参考文献

- (1) 喜連川: Radome について, 「三菱電機」29 No. 7 p. 409 (昭30)
- (2) 香取ほか: 地上大型硬質レードーム「三菱電機」36 No. 5 p. 615~617 (昭37)
- (3) 尾島, 喜連川, 信岡, 有田: 5,300 Mc 帯 サンドイッチ 形レードーム, 昭和31年電学関西支部連大論文集 p. 143
- (4) 尾島, 喜連川ほか: レードームの設計および製法と新製品の紹介「三菱電機」31 No. 7 p. 588 (昭32)
- (5) 尾島, 石黒ほか: ジェット機機首レードーム, 「三菱電機」34 No. 7 p. 91 (昭35)
- (6) T. KITSUREGAWA, F. ARITA: Metal-mesh embedded dielectric radome for antenna system, Mitsubishi Denki laboratory report. 1 No. 1.
- (7) 喜連川ほか: 金網入り誘電体ラドーム, 「電気通信学会誌」44 No. 2 p. 250.
- (8) 喜連川ほか: 宇宙通信用軟質ラドーム, 電学連大論文集 III #1059
- (9) "Mechanical Design of 150 ft Diameter Metal Space Frame Radome" ASME Publication No. 59A-271.
- (10) "ポリエステル積層板の電気的性質を中心としての検討" 「三菱電機」30 No. 8 p. 509 (昭31)
- (11) R. C. Hansen: Microwave scanning antennas, Academic Press N. Y.
- (12) H. C. Vande Hulst: Light scattering by small particles, John Wiley & Sons Inc, p. 313 (1957).
- (13) 大橋, 喜連川ほか: ホーンリフレクタ・アンテナ, 「三菱電機」36 No. 5 p. 601 (昭37)

富士山気象レーダ；電源設備

堀井明男*

金親俊治**

林弘幸***

畑瀬昌宏***

Power Source Equipment for Weather Radar on the Top of Mt. Fuji

Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

Akiro HORII

Mitsubishi Electric Corporation, Head Office

Toshiji KANECHIKA

Mitsubishi Electric Corporation, Nagasaki Works

Hiroyuki HAYASHI

Masahiro HATASE

In the old Fujisan Observatory, there was a 20 kVA power source chiefly used for communication, lighting and electric heating. On the occasion of a new radar installation it has become necessary to add to new substation equipment for increasing demand of power, three 25 kVA transformers being set up there. As the transmission line is subjected to severe climatic conditions and effected by configuration of ground, there are not a few cases of power failure. To provide for emergency three sets of 3 phase 200 V 50 cycles 20 kVA and two sets of 7.5 kVA similar diesel generators are installed. However, this is unprecedented case of operating the diesel engines under atmospheric pressure of average 638 mmb and temperature—40°C, not a little effort has been taken in the design and installation.

1. ま え が き

従来の富士山測候所には、3,300/100 V 50 c/s 単相 10 kVA 変圧器 2 台が設置されていて、主として通信、照明および電熱に使用されていたが、今回のレーダ建設に際して当然電力が不足するので、新たに変電設備が必要となり三相 200 V 動力として 75 kVA が追加された。

また送電線は昭和 19 年に布設されたもので、その地形、気象条件からして落雷、なだれによって地絡、断線事故が多い。冬期にその事故があると修復は翌夏まで不可能なので、買電のみにたよるときはレーダの使用は事実上不可能となる。そこで自家発電設備が必要となる。しかし輸送重量の制限から単体で全出力のものを設備することは不可能であったので、20 kVA のもの 3 台、7.5 kVA のもの 2 台に分割して設置した。

山頂は気圧が地上の 3 分の 2 となるためエンジンにも問題がある。エンジンは空冷なので、これの換気についても外気との差が大きいためにむずかしい問題であった。

以上について下記概略説明する。図 1.1 に受変電ならびに発電機室の配置図を示す。

2. エ ン ジ ン

非常用電源設備として設置されているものは、前述のごとく 20 kVA 3 基、7.5 kVA 2 基である。これらはすべてディーゼルエンジンにより駆動する方式にまとめている。

採用したエンジンは建設機械、発電機など各種産業機械用の三菱重工業(株)京都製作所製の KE25-15C 形 3 基、KE36-31 形 2 基である。

富士山頂の気象条件は、平均気圧 638.4 ミリバール (472 mmHg)、外気温 -40～+15°C、湿度 95% というきびしいもので、現在までに、この条件下で実用に供されたエンジンは世界でも例がない上に、山頂までの輸送、据付など平地とは異なった諸制限をうけるので、これを超えて、実用時の機械の安定化、取り扱いの容

易下をはかることは容易ではなかったが、起動、長期停電時の連続運転、過負荷運転、負荷変動時の応答特性、取扱保守、小形軽量化などの面で平地での実用に近いものにすることに非常な苦心が払われたのである。

2.1 エンジンゼネレータの概要

7.5 kVA エンジンゼネレータは、通信連絡用、データ伝送用、気象庁(東京都千代田区大手町)からのレーダ制御用のマイクロウェーブ用電源として使用されるもので、2 台のうち 1 台は予備機で、長期の停電時には常用電源として 2 台が交互に運転される。

20 kVA エンジンゼネレータ 3 台は、レーダ用機器類、保安灯、旧舎電源(ラジオ、テレビ、ヒータ、電気がまなど)、マイクロ室およびレーダ室ヒータ、室内空調用ブロワ、エンジンバッテリー充電用、レードーム防雪コンプレッサ、衛生給排水などの電源として 2 台が連続運転、他の 1 台がレーダ観測時およびレードーム防雪時に運転されるようになっている。また各負荷は発電機の出力に見合うよう 3 分割され、いずれのユニットにも切り換えられるよう考慮されている。そのスケルトンは図 4.1 に示すとおりである。

2.2 構造

図 2.1 および図 2.2 に示すように、ディーゼルエンジンと自動交流発電機(三菱電機製)を容易に分解、結合ができるようゴムカップリングにより結合し、鋼板および形鋼製の共通台板上にラジエータとともに取り付け、防震ゴムを介してコンクリート基礎上に図 2.3 の写真に見られるように 5 台が並列に据え付けられている。

またエンジンサイドで起動できるように、各エンジンには計器盤を装着している。計器盤にはスターチングスイッチ、グロープラグバルブ、レジスタンスコイル、水温計、油圧計、回転計(積算時間計付)を備えている。

消音器は天井につるされており、エンジンとの結合はフレキシブルジョイントを用いて、振動が伝わるのを防いでいる。

2.3 ディーゼルエンジン

2.3.1 主要諸元

ディーゼルエンジンの主要諸元は表 2.1 に示すとおりである。

2.3.2 エンジンに対する配慮

(1) スモークセット (燃料最大噴射量制限)

高地における最も大きな問題は、気圧変化による酸素量の不足である。すなわち地上における燃料最大噴射量のままでは不完全燃焼を起こし、黒煙を吐きエンジンの不調をきたすため、実験結果に基づいて、富士山頂においても異常なく運転できるよう噴射量の制限を行なっている。

(2) 起動

7.5 kVA 用 KE36-31 形エンジンは、マイクロウエーブ用電源として重要なものであるため、停電時は自動起動盤により自動的に起動するが、20 kVA 用 KE25-15C 形エンジンは、各エンジンサイドの計器盤のキースイッチの操作により、手動起動する方法が採用されている。

とくにエンジンの起動は、確実かつ迅速を要求されるため、エンジン室内は 8 kW のルームヒータを備え、冬期においても +5°C 以上を保つよう設計されており、各エンジンのオイルパンには 300 W のオイルパンヒータを装置し、ラジエータアウトレットパイプの中間にウォータヒータチャンパを設け、400 W のウォータヒータを装着し、エンジン水温、油温をサーモスタットにより常に 15~35°C に保つよう考慮されている。

表 2.1 ディーゼルエンジン 主要諸元

ゼネレータ ディーゼルエンジン	20 kVA 用	7.5 kVA 用
製 造 所	三菱重工業株式会社京都製作所	左に同じ
形 式	KE25-15C 形	KE36-31 形
種 類	4 サイクル水冷縦形頭上弁式 ディーゼルエンジン	左に同じ
気 筒 数	4	6
内 径 × 行 程	115 mm × 140 mm	79.4 mm × 111.1 mm
総 排 気 量	5,817 cc	3,259 cc
燃 焼 室 形 式	予燃焼室式	左に同じ
圧 縮 比	17.5 : 1	18 : 1
乾 燥 重 量	540 kg	320 kg
連続定格出力	57 PS/1,500 rpm (標準大気状態) 約 29 PS/1,500 rpm (富士山頂にて)	29 PS/1,800 rpm (標準大気状態) 約 15 PS/1,800 rpm (富士山頂にて)
噴 射 ポンプ	三菱 B 形	三菱 A 形
ガ バ ナ	メカニカルガバナ CGMEG	メカニカルガバナ MAGMB
ノ ズ ル	スロットル形 DN4SD24	スロットル形 DNOSD21
噴 射 圧 力	120 kg/cm ²	左に同じ
潤 滑 油 装 置	ギヤポンプ圧送式	左に同じ
潤 滑 油 量	12 l	7.4 l
冷 却 装 置	遠心ポンプ強制循環式	左に同じ
ラジエータ	加圧式放熱面積 24.4 m ²	加圧式放熱面積 17.3 m ²
冷 却 水 量	12 l	7.4 l
ス タ ー タ	アマチュアシフト式 24 V 4.5 kW	ビニオンシフト式 24 V 3 kW
グロー・プラグ	コイル式 1.5 V 40 A	シールド式 10.5 V 10 A

注 標準大気状態とは大気圧 760 mmHg、気温 20°C、湿度 65% の状態である。

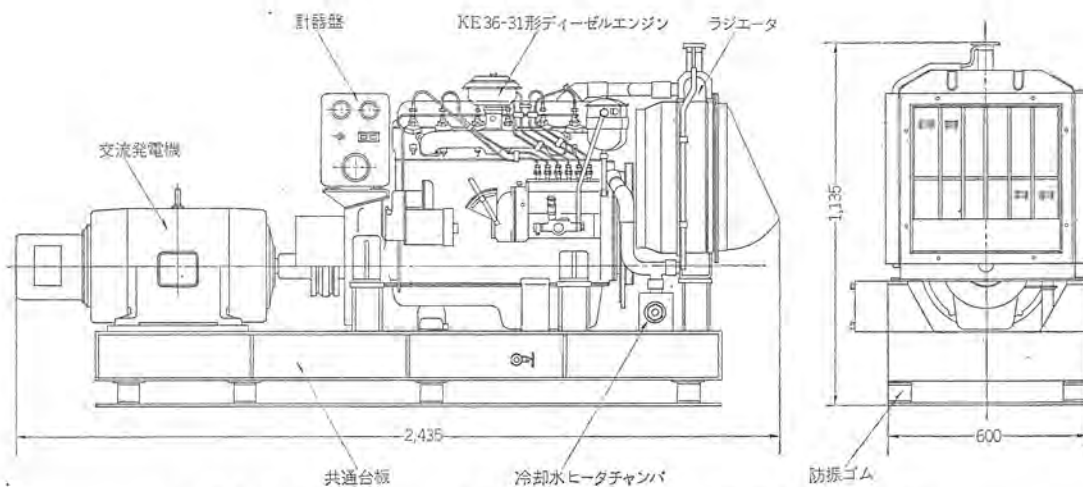


図 2.1 7.5 kVA ゼネレータセット Fig. 2.1 7.5 kVA generator set.

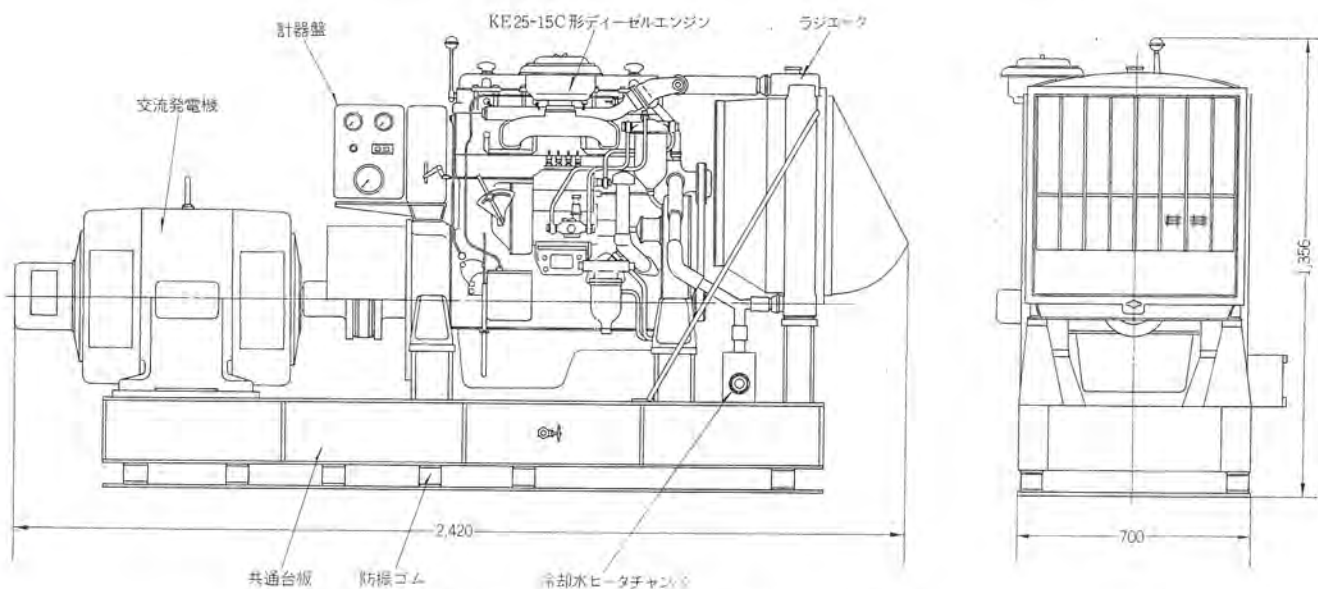


図 2.2 20 kVA ゼネレータセット Fig. 2.2 20 kVA generator set.

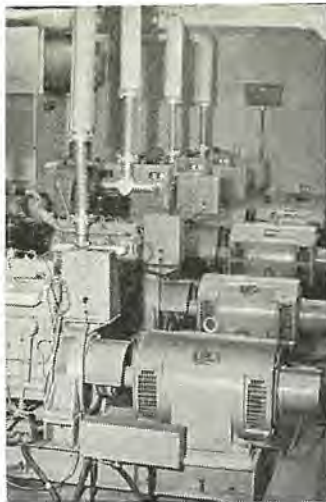


図 2.3 非常用電源設備
Fig. 2.3 Picture of emergency power source.



図 2.4 屋外主貯油タンク外観
Fig. 2.4 Outside view of the main oil tank.

また起動用スタータの電源には、商用電源により自動充電器で常に充電されている容量 24 V-240 Ah の バッテリー が 2 組備えられている。

(3) 保安装置

エンジン が運転中になんらかの原因により下記の異常をきたした場合、ただちに自動停止するようになっている。

過 速 度	110% 以上
水温上昇	90°C 以上
油圧低下	1.0 kg/cm ² 以下
出力異常	

水温異常は、エンジン の冷却水出口に取り付けられたサーモスイッチにより検出し、油圧低下は、エンジン の油圧系統につながれた プレッシュスイッチ が検出する。また過速度は発電機後部の過速度スイッチにより検出される。各スイッチの作動は発電機制御盤のリレーによりエンジン の燃料噴射 ポンプの停止 レバーに連結されたソレノイドに通電され、燃料を無噴射としてただちにエンジンを停止し事故を防止するようになっている。またエンジン停止と同時にエンジン室および1階 レーダ室の発電機制御盤の警報ベルが鳴り、赤ランプが点灯するよう考慮されている。

2.4 燃料、冷却水、潤滑油

富士山気象 レーダ；電源設備・堀井・金親・林・畑瀬

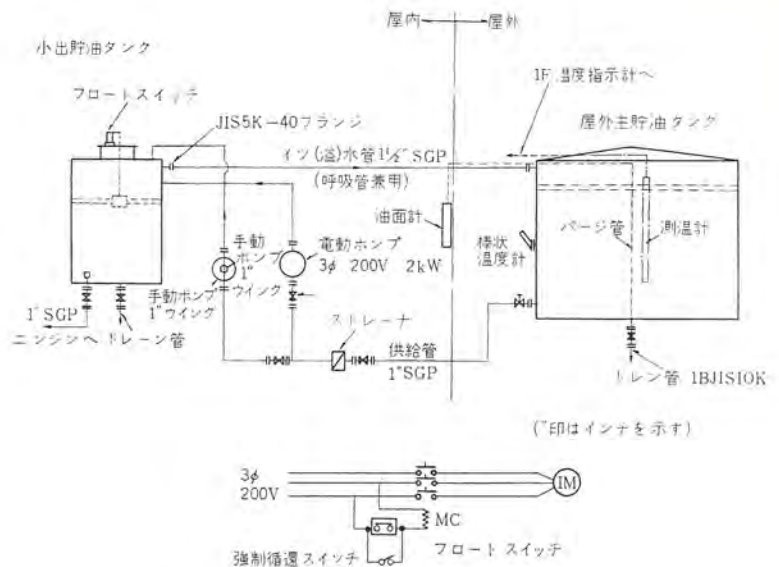


図 2.5 燃料油配管系統図
Fig. 2.5 Diagram of fuel oil piping.

表 2.2 JIS 軽油 4 号 性 状

比 重	0.815	
色 相	1	
反 応	中性	(中 性)
引 火 点	52°C	(50 以上)
流 動 点	-32.5°C	(30 以下)
残 留 炭 素	0.015	(0.12 以下)
セ タ ン 価	50	(42 以上)
粘 度	2.2 cst	(1.8 以上)
硫 黄 分	0.5	(1.0 以下)
分 留 性 状	90% 280	(350 以下)

注 () 内は JIS 4 号規格を示す。

燃料は耐寒性を考慮して、JIS 軽油 4 号相当品を使用している。その性能は表 2.2 に示すとおりである。またその気象条件から夏期に輸送して翌夏まで貯蔵しなければならないので、主貯油タンクは 30,000 l 入りとして屋外に設置した。その外形は図 2.4 の写真に示すとおりで約 4 m 角×2.8 m 高さの立方体である。鉄板二重構造でその間に 150 mm 厚のグラスウールを入れて保温している。エンジン室内には 300 l の円筒鋼板製小出貯油タンクが設けられ、自動給油用フロートスイッチの作動により、電動ギヤポンプで自動的に屋外主貯油タンクから給油される。その系統を図 2.5 に示す。同図でもわかるように屋外主貯油タンクの油温は抵抗測温体を通じて、レーダ室1階に設置された電子管式精密温度指示計により直読できるようにしてある。もし油温が -30°C になれば、ギヤポンプを運転して小出貯油タンクの油を循環させることにより、氷結を防止することになっている。屋外タンクの油面は冬期は積雪で見ることができないので、パージ管に送気することによって目読できるレベルメータを室内に取り付けてある。

冷却水は室内に 600 l の円筒鋼板製冷却水タンクを設け、室外の貯水タンクから吸い上げる。ただし補給は夏期に行なう。このタンクからエンジン のラジエータには、保守員が補給するようになっている。

潤滑油は温度範囲の広い SAE10W-30 番の粘度のものを使用し、エンジンへの補給は冷却水と同様に保守員が行なっている。

3. 発 電 機

商用電源の停止という非常時の電源として、20 kVA 3 台 7.5

kVA 2 台の三相交流発電機を納入した。これら非常用発電機の仕様は次のとおりである。

形 式	ヨコ軸 トリ極回転界磁形 開放保護自己通風形 両軸受 ブラケット形
定格出力	20 kVA (3 台) 7.5 kVA (2 台)
電 圧	210 V
力 率	80% (遅れ)
回 転 数	1,500 rpm
周 波 数	50 c/s
極 数	4 極
絶縁種別	A 種絶縁

これら発電機の構造は、平地使用のものと同じであるが、高所で使用されるため温度上昇を低く抑える設計をし、工場での試験結果は JEC 規格を十分に満足するものであった。

励磁装置は静止励磁方式(自励)を採用した。

4. 配 電 盤

非常用電源設備の単線結線図を図 4.1 に示している。配電盤は次に示すような構成になっている。

20 kVA 発電機盤	3 面
7.5 kVA 発電機盤	2 面
7.5 kVA 自動起動盤	2 面
電磁接触器盤	1 面
遠方監視盤	4 面

機関室設置
監視室設置

商用電源および発電機間の並列運転は行なわず、電源の切り換えは電磁接触器盤で行なう。20 kVA 発電機の起動、停止は、すべて手動で行なうが、7.5 kVA 発電機では商用電源が停電した場合自動起動し、電圧が発生すれば電磁接触器が自動投入される。

エンジンの起動停止、電磁接触器の入切は機関室の配電盤および監視室の遠方監視盤の両方で行なうことができる。エンジンの故障の

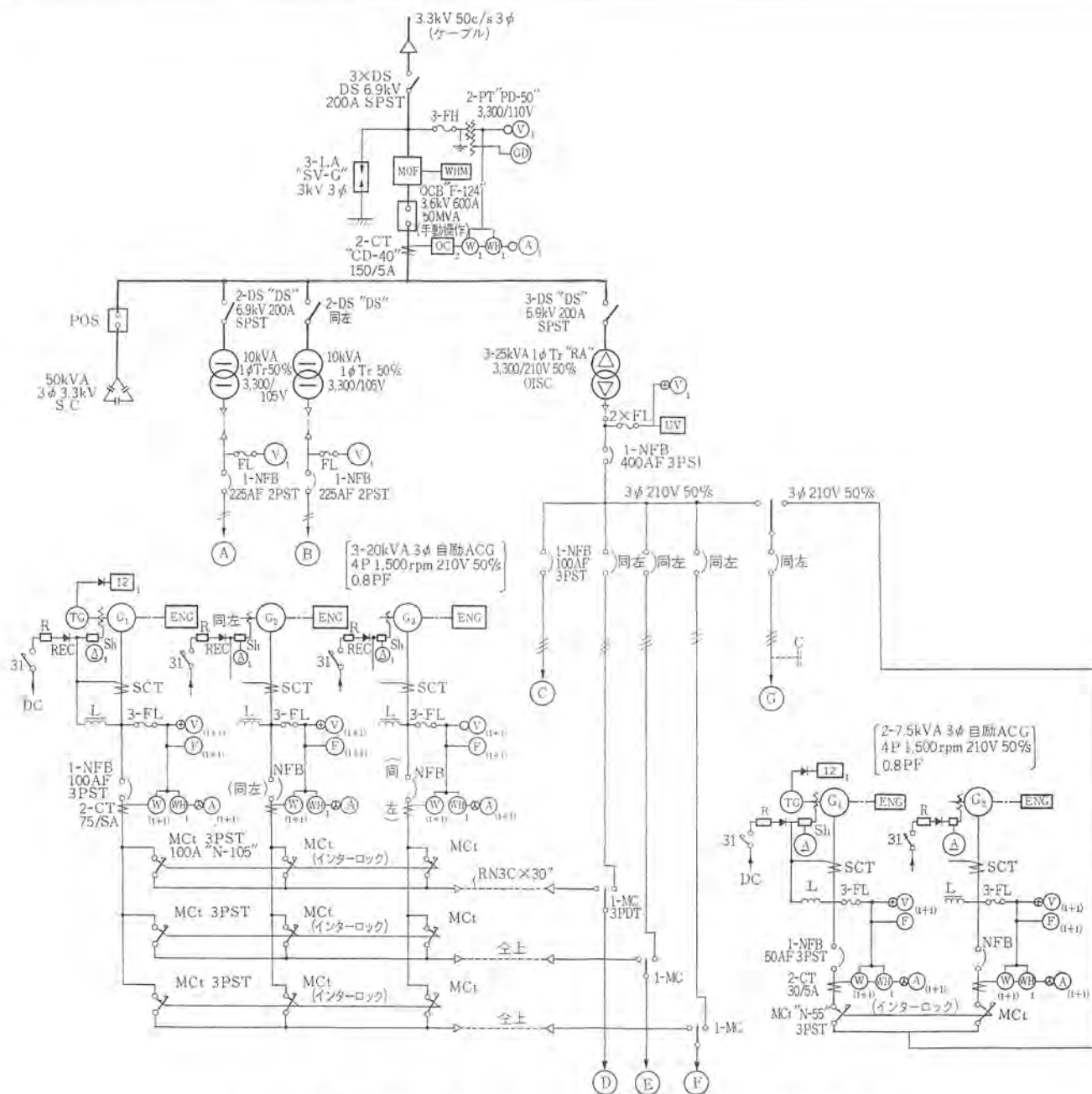


図 4.1 3.3kV 受電ならびに 210V 非常電源設備単線結線図
Fig. 4.1 Skeleton diagram of 3.3kV sub-station and 210V emergency power source.

も BV 形避雷器を入れている。避雷器にしても地上とは気圧が異なるので、山頂の気圧に合わせて空ゲキも調節してある。継電器の接点にしても アークが出やすく、したがって磨耗も激しい。

5. む す び

以上主として非常用電源について述べたが、受電のほうにも問題が多かった。接地が得られないために建物全体をファラディ、ケージとしてこれをアースとし、高压側にはSV-G形避雷器、低压側に

以上の設備が完了してから現地で実負荷試験を行なったが、良好な結果を収めた。その試験結果を表 5.1 および表 5.2 に示す。現在好調に運転しており、関係者各位のお支援に謝意を表する次第である。なお換気装置については空調設備の項を参照されたい。

表 5.1 現地実測試験成績 (7.5kVA)

気象庁（富士山頂レーダー基地）殿
7.5kVA 発動発電機
運 転 成 績 表

1. 連號負荷運転 (負荷力率 100%)

時 刻	発 電 機						励 磁 機			度 °C										室 外	室 内	室 温 °C
	負 荷 種 類	負 荷 kW	電 圧 V	電 流 A		周 波 数	温 度 °C			電 圧 V	電 流 A	温 度 °C	滑 油 圧 力 kg/cm ²	温 度 °C								
				R	S		T	固 定 子 鉄 心	固 定 子 鉄 心					輪 受 油	排 氣		冷 却 水	排 氣	冷 却 風			
															第 1	第 2						
10.55	0	0	210	0	0	50	11.5	11.8	11.5	11.8	11.9	1500	4.1	24	88	20.5	18	12	6			
11.00	11/10	6.5	219	17	16.7	16.5	12	13	12	13	13	1500	2.6	61.5	89	29.5	46.5	15	15			
11.30	11/10	6.4	218	17	16.6	16.5	13	15.5	14	18	18	1500	2.0	71	89	3.0	232	16	16			
12.00	11/10	6.4	218	17	16.6	16.5	14	16	15	19	19	1500	1.9	74	90	32	46.5	17	17			
12.30	11/10	6.4	218	17	16.6	16.5	14.5	17	18	18	18	1500	1.9	75	92	31.5	46	18	18			
1.00	11/10	6.4	218	17	16.6	16.5	16	18	18	18	18	1500	1.8	75	92	33	46	21.5	21.5			
3.00	11/10	6.4	218	17	16.6	16.5	17	20	17	22	22	1500	1.8	75	92	32.5	49	22	22			
2.00	11/10	6.4	216	17	16.6	16.5	19	21	19	22	22	1500	1.8	75	92	32.5	47	23	23			

2. 変動率試験

負 荷	6.4kW→0→6.4kW/		／→0→／		2. 溫度上昇 °C		諸 試 驗	
	1,500 rpm	1,540 rpm	1,520 rpm	1,490 rpm	1,500 rpm	計 測 項 所	発 電 機	励 磁 機
同 転 数 rpm	50	51.2	50.7	49.6	50	固定子鉄心	9	
周 波 数 c/s	220	225	217	212	220	固定子コイル	11	
電 圧 V		2.67	1.33	0.67	0	回転子鉄心	14	
速 度 変 動 率 %		2.27	1.36	3.63	0	回転子コイル	14	
電 圧 変 動 率 %						軸 受 第 1	13	
電 圧 変 動 率 %						軸 受 第 2	9	
電 圧 変 動 率 %						滑 動 環	12	
電 圧 変 動 率 %						整 流 子		
整 定 時 間 S		2.5			3			
同 転 数 rpm								
周 波 数 c/s								
電 圧 V								
速 度 変 動 率 %								
電 圧 変 動 率 %								
電 圧 変 動 率 %								
整 定 時 間 S								

表 5.2 現地試驗成績 (20 kVA)

氣象庁 (富士山頂レーダー基地) 殿
20 kVA 電動発電機
運転成績表

1. 負荷試験 (負荷力率 100%)

時刻	電機						防磁機			発動機						気温 °C							
	負荷種類	負荷 kW	電圧 V	電流 A		周波数	温度 °C			電壓 V	電流 A	温度 °C	毎分回転数	滑油圧力 kg/cm ²	温度 °C				室内	室外			
				R	S		T	固コ 固定子鉄心	固コ 固定子鉄心						固コ 固定子鉄心	潤滑油入口	潤滑油出口	冷却水入口			冷却水出口	排気	冷却風
2.00	4/4	16	220	42.3	42	50	13	21.5	12.5		8.4		1500	3.8	13	68	76	32	14	14	10		
30																				17			
														</									

2. 変動率試験

16 kW										16 kW										2. 温度上昇 °C				諸 試		項 目	記 録
負 荷		／→0→／								／→0→／								計 測 部 所				発 電 機					
																											
回 転 数 rpm	1,500	1,540	1,530																		◎機殼抵抗試験	(500 V Δ ガー)					
周 波 数 c/s	50	51.2	51																		導電部一括↔大地間	4.5 M Ω					
電 圧 V	220	212	212																		◎起動、停止	良 好					
速度変動率 %		2.67	2.0																		◎保護装置試験	良 好					
電圧変動率 %		3.64	3.64																		過 速 度	1,725 (1725) rpm					
整 定 時 間 S		1.8																			水温過昇	90 (90) °C					
																					油圧低下	0.8 (0.8) kg/cm ²					
																					() 内は設定値						
				</																							

富士山気象レーダ; 局舎建築工事

岩橋善昭*

Construction Work of the Housing Structure of Weather Radar on the Top of Mt. Fuji

Taisei Construction Co., Ltd. Yoshiaki IWAHASHI

In the construction of the housing structure of the weather radar at the top of Mt. Fuji, a number of problems arising from special environment had to be solved. First, the period of work is very short. Second, because of high altitude the scarcity of oxygen dictates the simplicity of construction. Third, most of materials and tools are to be transported by air. The design was proceeded with all these points in mind. As a result the building has been decided to be of panel construction. The main structure has been erected on a concrete foundation with 16 panels assembled. On its top is a radome. The panels are jointed with high tension bolts between each of the frames. The frames take the place of pillars. The largest load is wind pressure, to which snow, earthquake and apparatus are to be taken into account.

1. ま え が き



図 1.1 鳥 かん 図
Fig. 1.1 Birdseye view of observatory.

建物は鳥かん図 (図 1.1)、平面図 (図 1.2)、断面図 (図 1.3)、姿図 (図 1.4) からわかるように、円形に近い 16 面 1 本の観測室の上にレードームがある。合計面積は約 260 m² であるが、山頂で工事のできるのはほんの数ヵ月に限られ、そのため完成に 2 年を要した。

建物の設計では、一般的に使用目的、強度保証、経済性と美観といった点からまとめていくが、このレーダ基地に関しては、富士山頂という条件から次の関連事項のほうが大きい比重をもっていた。すなわち

- (1) すべての材料・工具を地上から運搬しなければならないため、具体的な運搬方法とそれに適した形態・重量が考慮されなければならない。
- (2) 過酷な気象条件から人間を守る諸設備との関係が要求される。すなわち壁や床の材料、入口などの関係(設備の設計は別項)。
- (3) 酸素が少なく作業能率の低下した条件のもとでの施工、作業の簡易性と確実性。

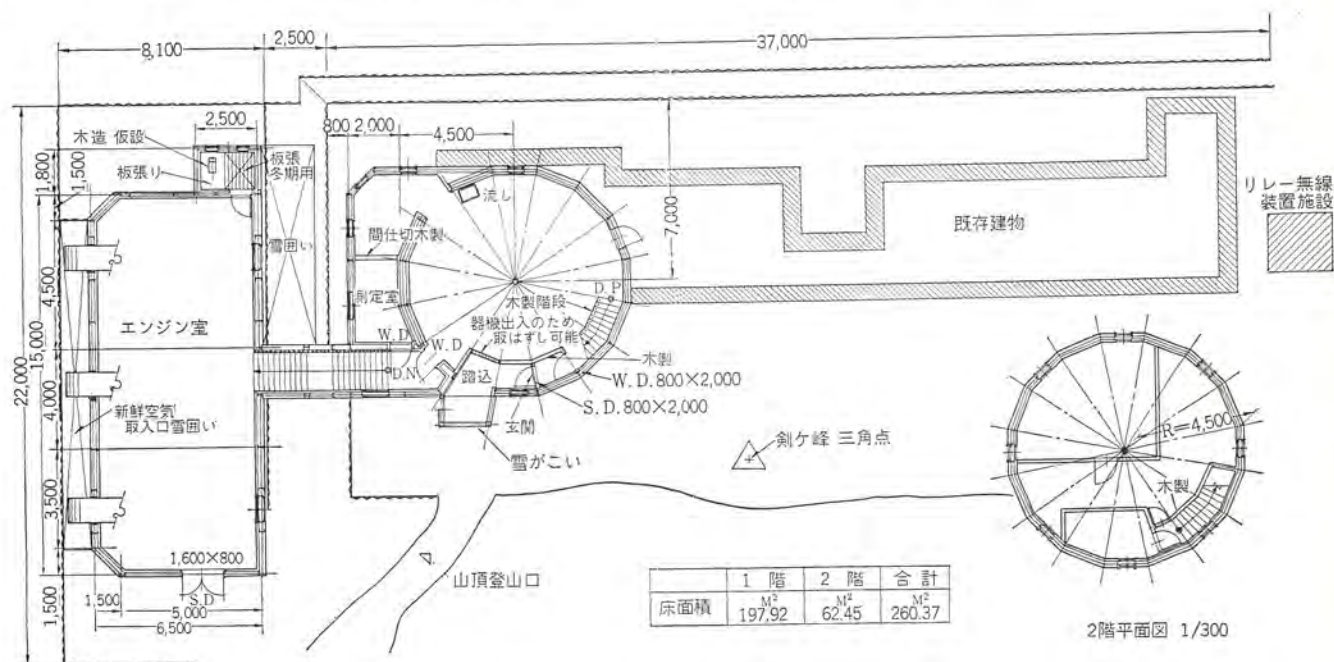


図 1.2 平面図、配置図

Fig. 1.2 Plan of the observatory.

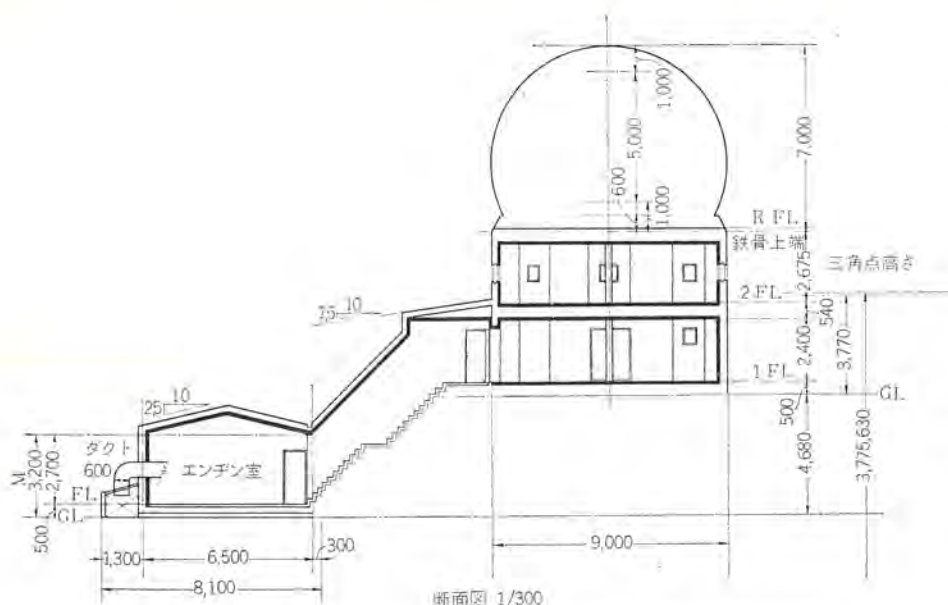


図 1.3 断面図

Fig. 1.3 Cross section of the observatory.

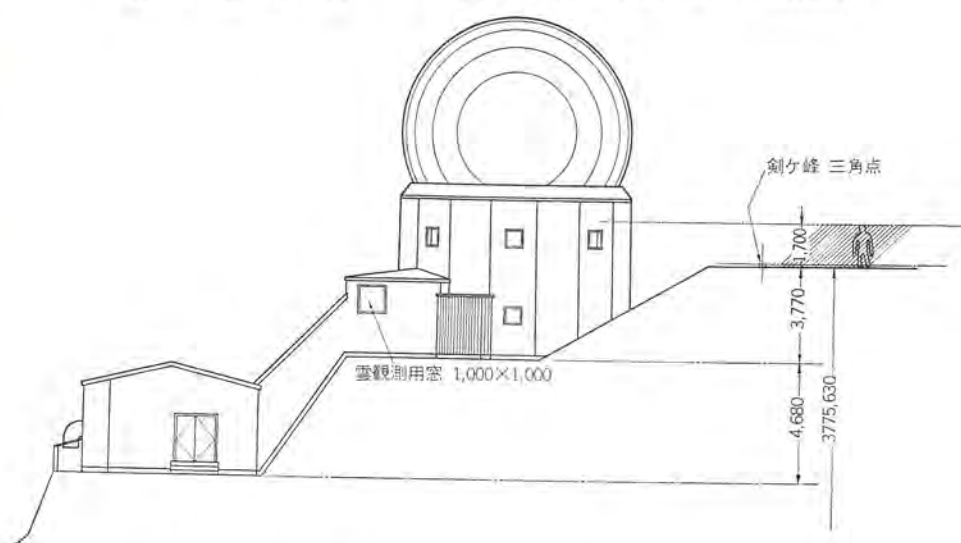


図 1.4 立面図

Fig. 1.4 Elevation of the observatory.

以上の3点が条件として設計の中に取り入れられた。

2. 荷重, 許容応力

2.1 風 圧

表 2.1 として昭和 33 年の気象表を掲げた。これによると風速 59.3 m/s というデータがあるが、理科年表では 66.7 m/s が最高であった。

一方、風圧に対し、建築学会では次の式が与えられている。

$$q = 60 \sqrt{h} \quad q: \text{kg/m}^2$$

または $q = 120 \sqrt{h}$ h : 地表面からの高さ

または $q = 1/2 \rho v^2$ ρ : 比重

そこで短期荷重として $\rho = 0.1$ $v = 100 \text{ m/s}$

長期荷重として $\rho = 0.125$ $v = 60 \text{ m/s}$

を考え、常時地上での台風程度の風が吹いているという幾分過大と思われる値を採用した。これは最大風速が 9~10 月ごろに吹き、このころになると建物には積雪や結氷が生じ、そのため通常の地上の建物より、摩擦力も増大するであろうという懸念のためである。

したがって風力係数 (建物の形状により決まる係数) は一応建

築学会のものを採用したが、しかし山頂であるため風は当然吹き上げの傾向をもち、それが建物に与える影響に関しては文献を得ることができず、三菱電機が東京大学宇宙航空研究所において風洞実験を行ない貴重なデータを得た。(レドームの項参照)

2.2 積雪荷重

山頂は常時風が吹いているから、あまり雪は積らないという気象庁の意見もあったが、一般に建築で採用する多雪地区の雪荷重を使用した。

すなわち

比 重 $\rho = 3.0 \text{ kg/m}^3$

深 さ $d = 100 \text{ cm}$

長期荷重

$$w = 3.0 \times 100 = 300 \text{ kg/m}^2$$

また雪以外にとくに考えなければならぬのは結氷で、これも三菱電機の調査によれば「気温 0°C 以下、風速 10 m/s 、湿度 80% 以上の場合はいたい霧氷ができ、その霧氷は長さ 15 cm にも達する。風速が速ければその成長も速く、また前記の三つの条件が異なると霧氷の質が異なる」ということで前記の積雪荷重を採用することにより十分安全側にあると考えられる。

2.3 地 震

実際にはどのような地震が働くかまったく見当がつかず、また富

士山が震源地になったとすると、どうにもならないことである。富士測候所の説明では、山頂は堅い板状の岩層から形成されているとすることで、建物が小さく軽いものであることも考え合わせて地上と同様に地震々度 $k=0.2$ としたがこれは風圧のほうが圧倒

表 2.1 富士山の気象 (昭和 33 年)

月別	気 温 ($^\circ\text{C}$)			湿 度 (%)		気圧 (mb)	風 速 (m/s)	
	mean	max	min	mean	min		mean for 24 h	max
1 月	-16.4	-5.1	-27.5	57	11	629.5	20.7	46.3
2	-18.5	-5.2	-31.1	65	23	627.0	22.8	37.7
3	-18.6	-9.3	-31.9	63	14	625.3	21.8	42.2
4	-6.9	1.2	-23.0	60	11	638.5	16.3	35.6
5	-4.4	2.9	-14.6	69	11	639.2	15.7	38.9
6	-1.0	6.4	-8.4	80	14	641.1	12.6	53.1
7	-4.4	9.7	-1.6	89	20	645.5	16.5	48.3
8	5.9	11.2	-2.0	81	9	649.2	10.8	35.2
9	1.4	8.6	-6.2	74	6	644.7	16.9	59.3
10	-3.8	3.3	-14.4	52	9	642.1	16.6	43.7
11	-7.8	-0.1	-16.0	49	9	642.5	17.4	38.3
12	-14.8	-4.1	-27.2	55	12	631.6	15.2	45.1
ann	-6.7	11.2	-31.9	66	6	638.0	16.9	59.3

表 2.2 材料許容応力大形軽量形鋼 (40 mm 以上)

鉄 骨	長 期					短 期	
	圧縮	引張	曲げ	せん断	側圧		接触
SS41	1,600	1,600	1,600	800	3,000	4,600	長期×1.5
軽量形鋼							
	1,400	1,400	1,400	800	2,400		長期×1.5

鉄 筋	長 期				短 期
	圧縮	引張	せん断	付着	
鉄 筋	1,600	1,600			長期×1.5
コンクリート	45		4.5	7.0	短期×2.0
地 帯 力	10 t/m ²				

高張力ボルト (摩擦係数 0.35) I 種

	ボルト径	必要ボルト張 力	許 容 力	
			1 面 摩 擦	2 面
長 期	5/8 インチ	7.0	1.63	3.25
	3/4 "	10.3	2.41	4.81
	7/8 "	14.2	3.32	6.64
短 期	5/8 インチ	7.0	2.44	4.88
	3/4 "	10.3	3.61	7.22
	7/8 "	14.2	4.98	9.97

スミ肉溶接 10 cm の許容応力 SS41

牌 長 L (mm)	ノド厚	許 容 耐 力 (+)	
		長 期	短 期
3.2 mm	0.7 L	1.57	2.35
4.0 "		2.24	3.36
4.5 "		2.52	3.78
6.0 "		3.36	5.04

的に大きく無視できた。

2.4 積載荷重

機械荷重は、三菱電機の提示したものとすると、1 階は合計 1.8t、2 階では合計 5.5t、屋上の レーダ および レードームとして合計 3.9t の荷重で、建物としてはそれほど大きいものではなく、

次のように考えた。

$$\left. \begin{array}{l} G+P \\ G+PS \\ G+P+w \\ G+P+K \end{array} \right\} \begin{array}{l} w=400 \text{ kg/m}^2 \\ \\ w=200 \text{ kg/m}^2 \end{array}$$

G: 固定荷重による応力 P: 積載荷重による応力
S: 積雪荷重による応力 w: 風圧力荷重による応力
K: 地震力による応力

2.5 許容応力

一般の建築とくに変った値は採用していない。コンクリートは主として基礎の吹き上げに対抗する重量となるもので、山ろくから空輸するための所要時間が設計中は不明であったことから、パッチャプラントで作成したコンクリートであるにもかかわらず、低許容応力を採用している。実際には 15 分くらいで空輸できたのでとくに時間による応力低下は考える必要はなかった。また地耐力については、設計中は冬山のため調査できなかった。

表 2.2 に使用した材料の許容応力を示す。

3. 立体構造

まず富士山頂の レーダ 機器により建屋が決定されるが、支配的荷重が風圧であることを考えれば、できるだけ丸に近い形が望ましいことは明らかである。したがって 16 面体を採用した。

3.1 骨 組

運搬と高山における作業能率低下の条件から、当然 パネル の組立形式が考えられる。この場合、重量の点では アルミ 材がすぐれ

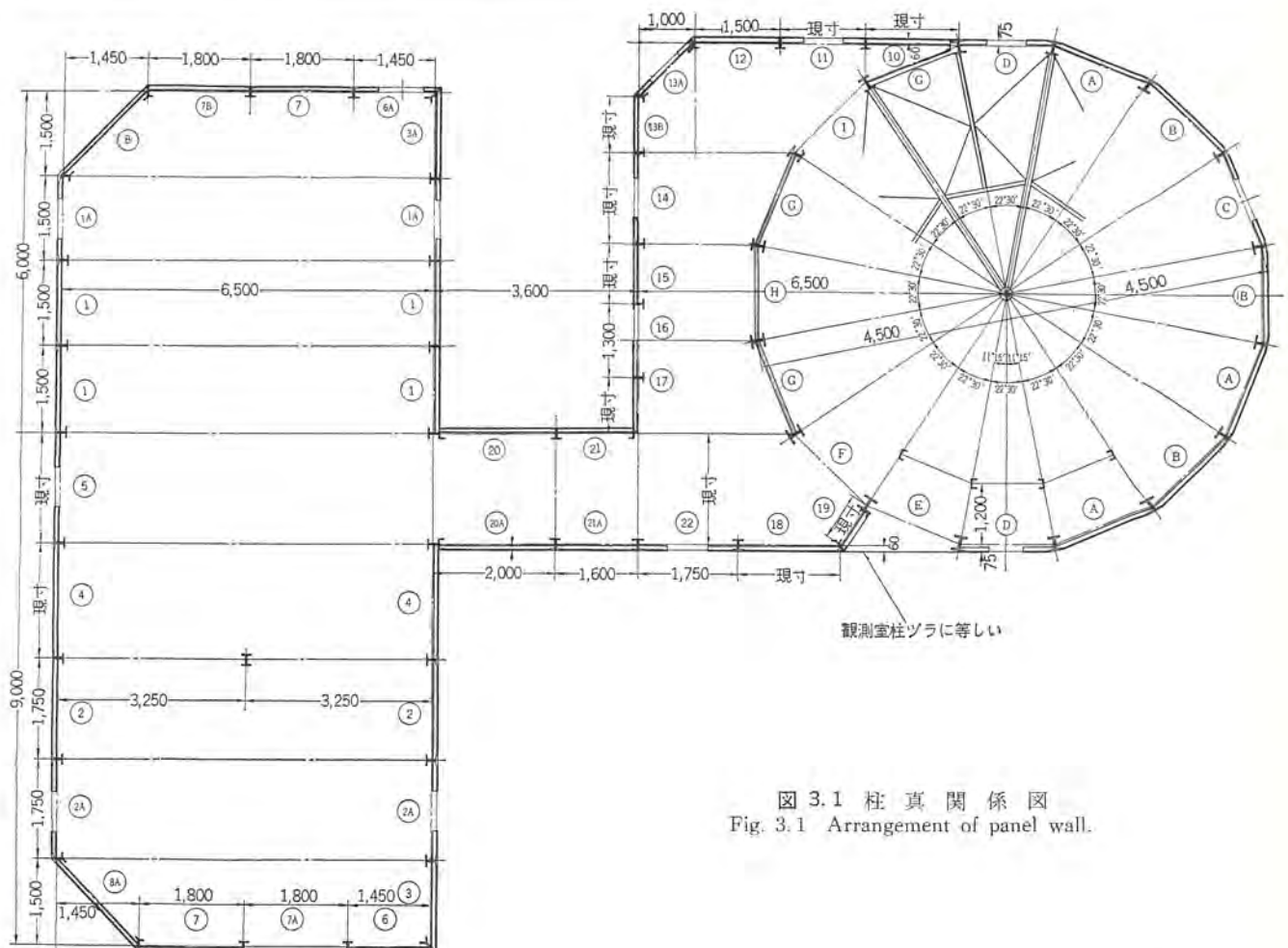


図 3.1 柱 真 関 係 図
Fig. 3.1 Arrangement of panel wall.

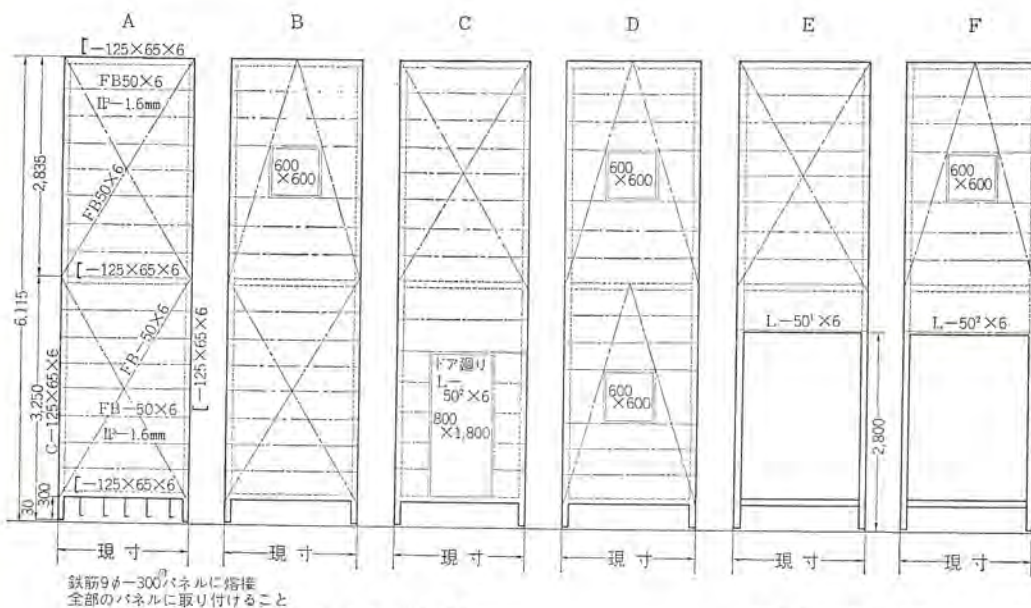


図 3.2 パネル 割 図
Fig. 3.2 Figure of each panel wall.

固定した数種類の パネル に
分かれ、1 枚の標準 パネル
は、パネルワック と壁に相当す
る 1.6 mm の鋼板、鋼板の
補強 リブおよび筋違いから
なり、おのおのが溶接によ
り一体を構成している。パ
ネル 1 枚の重量は各種とも
200 kg 以下とした。

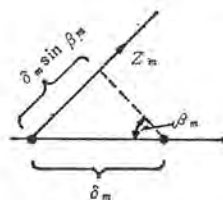
これを基本体として図
3.3 (a) のように隣りのパネ
ルとワックを合わせてハテナ
ボルトで締め付けると、両側
から合わされた 2 本の ワッ
クが伏図で示す 1 本の柱を形
成する。

この観測室は キルヒホッフ の立体 トラス となるため、各材の応力
は次のように簡単に求められる。

$$W = \sum Z_m \cdot \sin \beta_m = \sum C \cdot \sin^2 \beta_m$$

$$W = C \cdot n \quad \therefore C = W/n$$

$$\therefore Z_m = C \cdot \sin \beta_m = \frac{W}{n} \cdot \sin \beta_m$$



δ_m : 変位

W : 全荷重

Z_m : 応力

n : 節点数の 1/2

3.2 基礎

風による応力が大きいので、なんらかの方法で富士山そのもの
に建物を アッカ することができれば、運搬の重量も軽減でき安全
でもあるはずだが、設計中は地盤の状況、強度、アッカ打込みの可
否がまったくわからず十分な安全性を確実に保持するために コ
ンクリート 基礎の重量に アッカ する方法を採用した。

基礎に コンクリート を使用することになると、運搬量をできるだ
け少なくしなければならない。頂上で水を得ることができればセ
メント と骨材だけ運べばよいが、飲料水にも事欠く山頂では ダ
メである。また、岩石は山頂に豊富にあるが、調べてみると硫化物
を含んでいるため骨材として使用するには難点がある。基礎を山
ろくの基地で作っておき、これを運べば山頂での コンクリート 打
だけは省略できるが基礎の継手と メジコンクリート に問題がある。

結局、平凡だが一番確実な生 コンクリート をヘリコプタで空輸する
方法を採用した。もちろん鉄筋は地上で組む板ワックも最少の作業
で組み立てられるように工夫した。

コンクリート は 7 月中に打つ予定が 8 月に遅れたが、気温が 0°C
以下になることはなく、前記のように普通の セメント を使用した。
コンクリート は周知のように低温では強度を増加しないので、施工
後山頂にある火山 レキ (礫) で保温養生を行なったが、これがたい
へん有効であったと考える。

3.3 仕上、メジ (目地)

設計の初期において、室内仕上げはでき上がった骨組に天井、壁、
床とも断熱 パネル を組み込むよう計画したが、室内外の温度差が
激しいことと施工にあたっての逃げを考えると、パネル 間のメジに
おける温度のロスはかなり大きく、結局一般の工法を採用した。

まず鉄骨骨組に木ワックの下地を組み、耐水ペーパーを張りさらに木

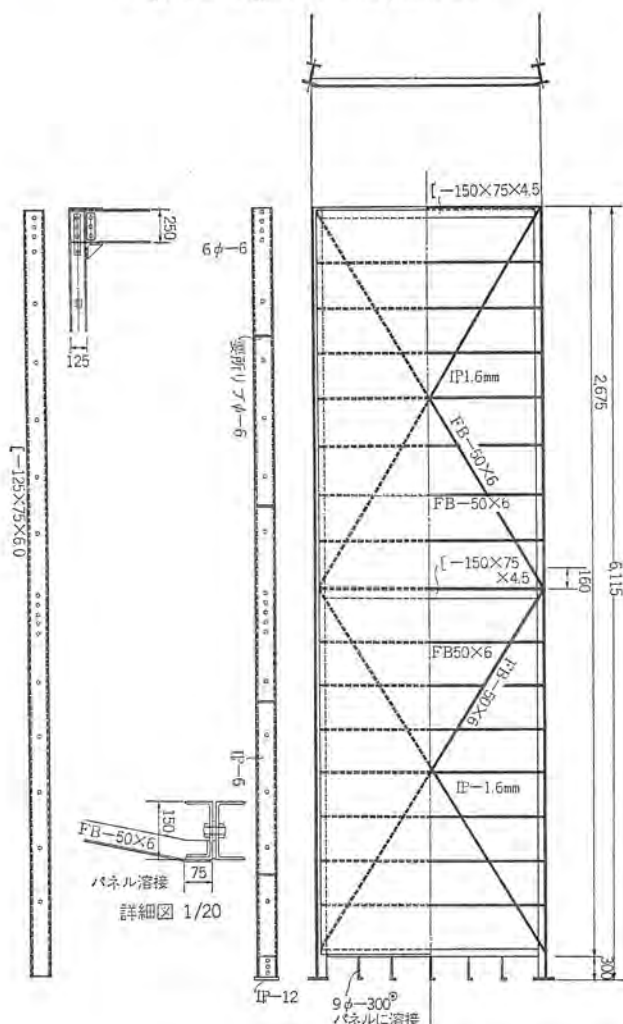


図 3.3 パネル 詳細 図
Fig. 3.3 Detail of standard panel.

ているが、素材が高価であるため、運賃がトンあたり 7 万円であ
ることを考慮に入ると鋼材を使用するほうが経済的であることが
確かめられたので、この設計は鋼材の パネル 形式を採用した。

図 3.1 は建物伏図で図に示した A~F はおのおののパネルを
示している。このパネルは図 3.2 のようにあらかじめ窓やトラスを

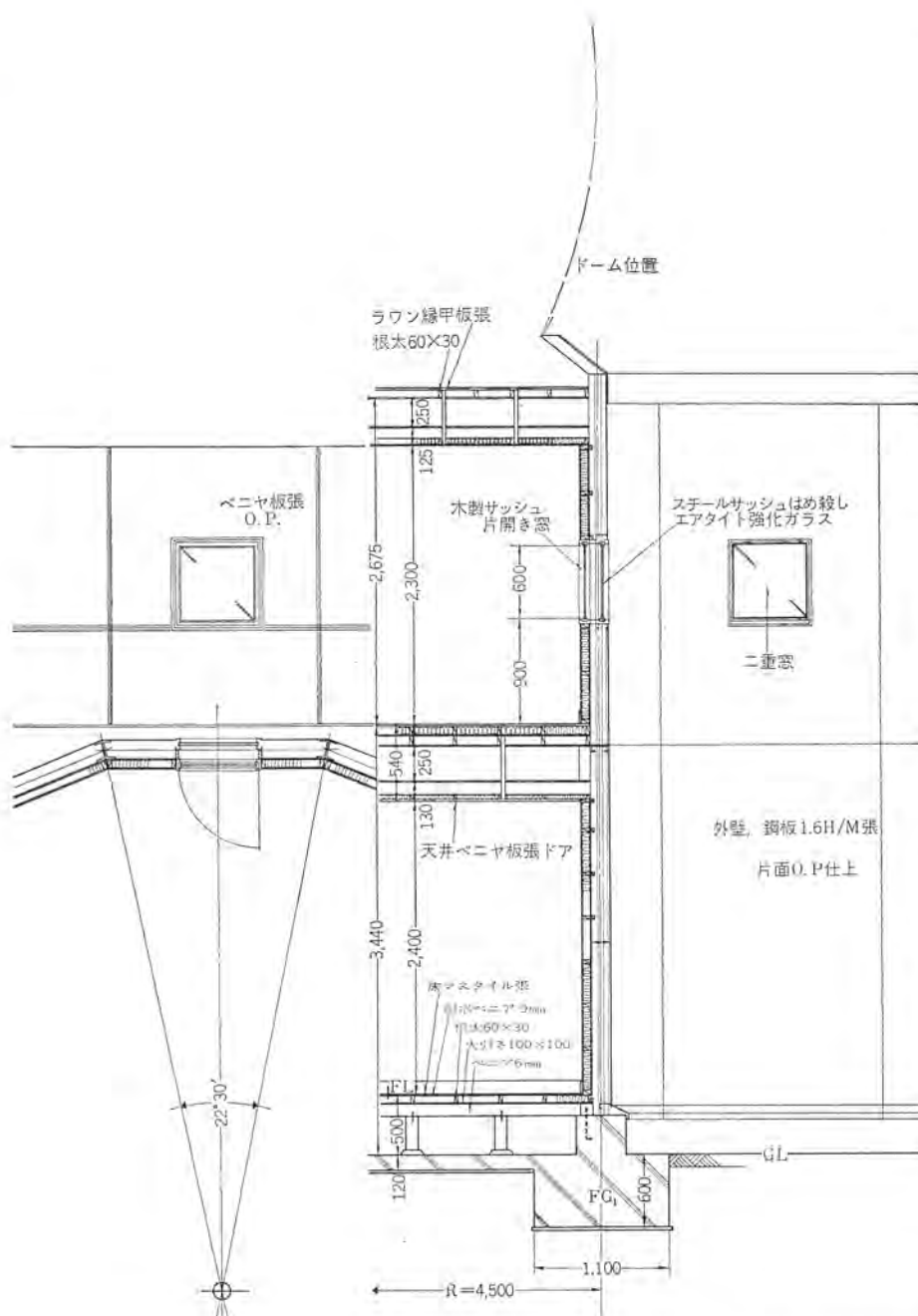


図 3.4 ヲ (炬) 形 図
Fig. 3.4 Sectional details.

造の骨を組んで、骨の間にアルミハクをはったインシュレーションを充テッして仕上げのベニヤを張ることにした。これを図 3.4 に示す。

内部の出入口、窓は大きい木製のツクをまわし、それにゴムのパッキングを組み込みラッチでロックするという一般冷蔵庫などの出入口仕様に準じ、トピラにはすべてインシュレーション・グラスウール材を充テッしている。

外壁と屋根との取り合わせは、吹き上げる風が強いので外壁鋼板に「形」のリブを回し、屋根鉄板をそこまで下げてきて止めコーキングしてある。トイ (樋) は結氷するのと霧氷がつくため役にたたないので、たれ流しとした。

壁のパネル間のスキ間はシーラント材を詰めたが、この材種の選定は苦心した。表 3.1 に示すように寒冷時に十分能力をもったシーラント材はあるが、これは常温で加工したものの能力であって実際の施工は山頂で行なわれるため温度の低い所で加工し、加工後も地上ほどの養生ができない。また加工後シーラントが硬化する

までに、建物の風による振動も考えられる。これらは大成建設研究所で各種の実験を行ない、シリコン系とチオール系を選んだ。

(1) 最良の条件で加工を行なうと、シリコンゴムはチオールゴムより2倍以上の付着強度がある。

(2) シリコンゴムの伸びは33%であるが、チオールゴムは260%まで伸びる。

(3) シリコンゴムは一般には接着面でハク離し、チオールゴムは材が引張応力で破壊する。

(4) 低温加工では、シリコン系、チオール系ともに20~30%の強度減となる。

(5) 硬化後約3時間振動を与えた場合の影響はわずかである。このように一長一短はあるが、チオール系を採用することにした。

4. 輸送、作業能率

輸送はほとんど空輸によって行なった。組立形式を採用したため人力によって運べる範囲が少なくなったからである。できるだけ軽量化を計ったが、資材はかなりの重量となり、そのうちでもコンクリートの重量が圧倒的に大きくなっている。

鉄骨、鉄筋	28 t
コンクリート	230 t
仕上材、その他	78 t
合計	336 t

工事は常時30人前後が従事した。米、みそのように貯蔵のきく物は最初に多量に運んだが野菜、くだもの、魚などは3日に1度くらい空輸したが、

食事の献立と材料の輸送に担当者は、いつも頭を痛めていた。

ヘリコプタは山頂まで10分から12分で達し、積載能力は大形機で1.3トン (通常3.0トン)、中形機で0.6トンであるが山頂の気象は刻々と変化し、つり荷をしたヘリコプタの山頂へのアプローチは大変不安定であるため、快晴の日でもほとんど午前中しか飛ばなかった。山頂と山ろくの間は10分ごとに無線電話で気象の連絡をとった。山ろくには米軍の演習地があり実弾射撃を行なっているが、風向きによりヘリコプタの飛行方向がきまるのでそのつど射撃方向を変更してもらうのも現場担当者の日課の一つであった。

コンクリートは山ろく基地のパッチャラントで作成し、まだかたまっていないコンクリートを容器に入れてヘリコプタにつり下げそのまま山頂へ運んでシュートの上に空中から投入した。ヘリコプタ輸送の圧巻は、山ろくの基地で組み上げたレードムの骨組を山頂へ運び上げたときで新聞やテレビでも報道され、またいくらかの荷物はブルドーザを利用して運び上げたが、ついには頂上に達するりっぱな道路ができた。

表 3.1 カーテンウォール用シーラント

		液 型					2 液 型 チオコール系
		油性コーキング	ガラスパチ	シリコン系	アクリル系	ポリブテン系	
主 要 成 分		植 物 性 アスベスト繊維	合 成 乾 油 性 ほか充テン剤	シ リ コ ン ゴ ム	アクリル共重合体 カルシウム カーボネート	ポリブテン カルシウム カーボネート	加 硫 重 合 物 カーボンブラック樹 脂他
カ タ サ		ガン使用に適する	柔 ら か い パ テ	柔 ら か い ペースト状	ガン使用に適する	同 左	堅 ね り ガン 使 用
固 形 分 (%)		75~95	95~100	95% 以上	90%	85~95%	95~100%
施 工	①表面の清掃	油脂、水、ホコリを除去する。前に使用したプライマは、完全についているものはそのままにし、そうでないものは完全に除去する。2液性は、 とくに清掃が必要					
	②施工方法	ガ ン	一般にへらナイフ	ガ ン	ガ ン	ガ ン	ナイフまたはガン
	③取扱い	容 易	容 易	容 易	25°C 以上で使用	容 易	高接着力を得るため とくに熟練を要す
付 着 力		良 好	良 好	非常に良好	非常に良好	良 好	金属に対し最良 ガラスに対し良好
色		多 い	多 い	黒、白、灰その他	アルミ色、白、黒、 灰色その他	アルミ色	黒褐色、アルミ色、 灰色
伸 び (%)	23°C24 時間 破断まで	25~200	約 25	400~500	200~600	200~500	200~600
	屋外暴露キレ ツまで	0~125	約 0~5	—	100~350	100~350	100~350
	設 計	10	2	—	100	100	100
最大幅(深さ 12 mm)		25 mm	25 mm	19 mm	9 (さ深 9)	19 mm	10 mm
硬 度 シヨア(A)	72 時間後	0~10	0	25	0~5	0	10~60
	10 年経過	65	80	—	55~60	—	上記の+20
貯 蔵 寿 命		1 年	1 年	3 カ月	最大 6 カ月	最大 1 年	32°C で 6~9 カ月
可 使 時 間		—	—	3 カ月以上	—	—	38°C で 3~4 時間 21°C で 3~6 " 4°C で 3~4 日
硬 化 時 間		24°C で 12 時間で 表皮膜形成 1~5 年 で堅固になる。	24°C 1~6 週間で堅 くなりはじめ5年で 完全に硬化する。	常温で1時間以内に 堅くなる。	常温で初期硬化 3~ 4 時間 完全硬化 4~6 週	—	温度と湿度で異なる 初期硬化 4°C で 6 日 時間 21°C で 10~15 " 完全硬化 36°C で 60 分~6 3~8 倍
施 工 温 度 °C		4~38°C	4~38°C	-18~48°C	10~48°C	5~38°C	10~27°C
耐 久 温 度 °C		-40~93	-40~80°C	-66°C~175	-23°C~90	-51°C~90	-51°C~121
経 年 劣 化 の 傾 向		表面の硬化	徐々に可塑性失う	—	徐々に硬化 最大シヨア 硬度 55~60	わずかに硬化	年とともに硬化シヨ ア硬度が 80~90 に 達すると接着力を失 う
耐 用 年 限		5~10 年	5~10 年	20 年以上	20 年を目標	15~20 年	最少 20 年(目標)
		伸びが 10% を越え ないところへ使用	同 左	伸びが 2% を越えな い所へ使用	25°C 以上で使用	乾燥しないものであ る多孔質面は不可、 表面に出ない所に使 用	完全なる混合を要す

表 4.1 山頂における作業能率

工 事	1 人 1 日あたり消化量	一般平地の平均(参考)
根 伐	1.71 m ³ /人	4.5~5 m ³ /人
型 ワ	3.06 m ³ /人	6 m ³ /人
鉄 骨 建 方	0.125 t/人	0.7 t/人
足 代 組	8.1 m ² /人	40 m ² /人
コンクリート打	0.37 m ³ /人	5~5 m ³ /人
瓦 葺 葺 (長尺鉄板)	3.03 m ² /人	5~6 m ² /人

作業能率は予想どおり高山病者が続出し、4 日交代を余儀なくされた。この交代には晴天の日でもウルドーザで 8 時間、悪天候ともなれば途中の山小屋で 2~3 泊といったありさまになり、また

悪天候のため作業のできない日は 7 月中は 2 日に 1 日、8 月中は 3 日に 1 日の割合であった。この条件の中において、ふた夏で工事の完成をみたのはむしろ成功といえる。表 4.1 に山頂における作業能率を示した。

参 考 文 献

- (1) 日本建築学会：鉄骨構造計算規準
- (2) 日本建築学会：鉄筋 コンクリート 造構造計算規準
- (3) キルヒッフ：骨組の力学
- (4) 彰国社刊：建築学大系 10, 11, 19, 20
- (5) 香取、野並、前田、馬波、喜連川：「三菱電機」36, 615 (昭 37)

富士山気象レーダ; 室温調整設備

福田 一郎*

内山 隆夫**

Air Temperature Conditioning System for Weather Radar on the Top of Mt. Fuji

Taisei Construction Co., Ltd.

Ichiro FUKUDA

Mitsubishi Electric Corporation, Head Office

Takao UCHIYAMA

An air temperature conditioning system on the top of Mt. Fuji was being designed first based on the oil firing heating system of buildings used for the south pole observation parties. But as the building structure and heat generated by radar equipment were made known in particulars, it was discovered that generated heat would exceed heat losses of the house, calling for cooling rather than heating of room air. Air conditioning according to this aim has been worked out with the provision of outdoor air supply and electric heating arrangements. In practice, not only characteristic of air on the summit but also increase or decrease of generated heat depending on the radar operation and ever changing atmospheric temperature have to be taken into consideration. This article reports on the process of heating calculation based on the above concept in connection with the first and second flow radar rooms, micro room and engine room.

1. ま え が き

このたび、海拔 3,776 m の富士山頂に完成された気象観測用レーダ基地は、すでに周知のとおり、日本全土の気象状況の約 8 割が掌中に収められ、遠く 800 km の地点において台風の進路、規模などをいち早くキャッチし、正確迅速に予報することができるようになった。昭和 39 年 9 月 23 日の台風の時は、たまたまレーダ試運転の段階にもかかわらず、十分機能を発揮し、成功をおさめた。

このレーダ基地は、出力 2,000 kW を有し、気象用レーダとして世界最大のものであり、また、最も高い地点に設置されたことにおいても世界で初めての試みであったので、設備施行上、内外注視のまゝとなった。真夏でも氷点下 2°C を示し、最大瞬間風速 70 m/s、600 mb という低気圧などの自然界の悪条件のもとで完成されたレーダ基地は、レーダ機器の正常運転保持のため、年間を通じ室温をある一定の範囲に保つよう要求された。これがため、すべての角度から室温調整設備について研究し、最も良い方法として採用された室温調整設備につき、とくに設計上の立場より概述したいと思う。

2. 設 計 条 件

2.1 富士山頂気象状況 (表 2.1 参照)

2.2 設計基準温度 (表 2.2 参照)

2.3 レーダ 機器発熱量

(a) 1 階 (夏、冬とも)

運転時 $H=3.68 \text{ kW} \times 860 \text{ kcal/h/kW} \approx 3,150 \text{ kcal/h}$

休止時 $H=1.04 \text{ kW} \times 860 \text{ kcal/h/kW} \approx 900 \text{ kcal/h}$

(b) 2 階 (夏、冬とも)

運転時 $H=17.65 \text{ kW} \times 860 \text{ kcal/h/kW} \approx 15,200 \text{ kcal/h}$

休止時 $H=3.9 \text{ kW} \times 860 \text{ kcal/h/kW} \approx 3,350 \text{ kcal/h}$

(c) マイクロ室

運転時 $H=0.9 \text{ kW} \times 860 \text{ kcal/h/kW} \approx 770 \text{ kcal/h}$

休止時 $H=0.9 \text{ kW} \times 860 \text{ kcal/h/kW} \approx 770 \text{ kcal/h}$

表 2.1 富士山頂気象状況

	1 月	2 月	3 月	4 月	7 月	8 月	9 月
平均気温 (°C)	-16.4	-18.5	-18.6	-6.9	4.4	5.9	1.4
最高気温 (°C)	-5.1	-5.2	-9.3	1.2	9.7	11.2	8.6
最低気温 (°C)	-27.5	-31.1	-31.9	-23.0	-1.6	-2.0	-6.2
平均風速 (m/s)	20.7	22.8	21.8	16.3	16.5	10.8	16.9
最大風速 (m/s)	46.3	37.7	42.2	35.6	48.3	35.2	59.3
気 圧 (mb)	629.5	627.0	625.3	638.5	645.5	649.2	644.7

表 2.2 設計基準温度

室 名	夏 季 (外気温=5°C)	冬 季 (外気温=-30°C)	台風時 (外気温=15°C)
1 階レードーム	20°C [0°C~30°C]	20°C [0°C~30°C]	30°C 内外
2 階レードーム	20°C [5°C~30°C]	20°C [5°C~30°C]	30°C 内外
マイクロ室	20°C [5°C~30°C]	10°C [5°C~30°C]	—
エンジン室	20°C [5°C~35°C]	20°C [5°C~35°C]	35°C 内外

ただし [] 内は許容範囲。

2.4 照明器具発熱量 (1 m² あたり 15 W とする)

(a) 1 階 $H=69 \text{ m}^2 \times 15 \text{ W/m}^2 \times 0.86 \text{ kcal/h/W} \approx 890 \text{ kcal/h}$

(b) 2 階 $H=63 \text{ m}^2 \times 15 \text{ W/m}^2 \times 0.86 \text{ kcal/h/W} \approx 810 \text{ kcal/h}$

(c) マイクロ室

$H=4.85 \text{ m}^2 \times 15 \text{ W/m}^2 \times 0.86 \text{ kcal/h/W} \approx 63 \text{ kcal/h}$

2.5 人体発生熱量

室温 20°C において 1 人あたり発生顕熱、潜熱とも 166 kcal/h として計算する。

(a) 1 階 $H=4 \text{ 人} \times 166 \text{ kcal/h} \approx 664 \text{ kcal/h}$

(b) 2 階 $H=—$

(c) マイクロ室 $H=—$

2.6 エンジン発熱量

(a) 7.5 kVA の場合

ラジエータ $H=31,000 \text{ kcal/h} \times 0.4 = 12,400 \text{ kcal/h}$

エンジン $H=0.15 \times (7.5 \times 860 \text{ kcal/h}/0.85) \approx 1,130 \text{ kcal/h}$

(b) 20 kVA の場合

ラジエータ $H=62,000 \text{ kcal/h} \times 0.4 \approx 24,800 \text{ kcal/h}$

エンジン $H=0.15 \times (20 \times 860 \text{ kcal/h}/0.85) \approx 3,030 \text{ kcal/h}$

3. 準 備 計 算

3.1 熱貫流率 (K) [kcal/m²・h・°C] の計算

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{d}{\lambda} + \sum \frac{1}{\alpha_a} + \frac{1}{\alpha_0}} \quad [\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}]$$

$$= \frac{1}{r_i + \sum r + \sum r_a + r_0} = \frac{1}{R}$$

ただし λ 固体各層の熱伝導率 $[\text{kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}]$

d 固体各層の厚さ $[\text{m}]$

α_i 室内側熱伝達率 $[\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}]$

α_0 戸外側熱伝達率 $[\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}]$

c_a 空気層の熱伝達率 $[\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}]$

r_i 室内側表面抵抗 $[\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C/kcal}]$

r_0 戸外側表面抵抗 $[\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C/kcal}]$

$\sum r$ 固体層の全熱伝導抵抗 $[\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C/kcal}]$

$\sum r_a$ 空気層の全熱伝導抵抗 $[\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C/kcal}]$

上式を用い以下各構造体の熱貫流率 (K) を求める。

3.1.1 外壁 (図 3.1)

戸外側表面抵抗 $r_0 = 1/\alpha_0 = 1/86 = 0.0116$

1. 鉄板 $r_1 = 0.0016/38 = 0.000042$

2. 空気層 $r_2 = 0.19$

3. ベニヤ $r_3 = 0.006/0.12 = 0.05$

4. グラスウール $r_4 = 0.1/0.04 = 2.5$

5. ベニヤ $r_5 = 0.006/0.12 = 0.05$

室内側表面抵抗 $r_i = 1/\alpha_i = 1/7.13 = 0.14$

$R = 2.94164$

$K = 1/R = 0.34 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$

3.1.2 1 階床 (図 3.2)

室内側表面抵抗 $r_i = 1/\alpha_i = 1/5.27 = 0.19$

1. アスタイル $r_1 = 0.003/0.38 = 0.0079$

2. グラスウール $r_2 = 0.1/0.04 = 2.5$

3. 空気層 $r_3 = 0.19$

4. コンクリート $r_4 = 0.15/1.4 = 0.107$

5. 割栗石 $r_5 = 0.15/1.6 = 0.094$

6. 地盤 $r_6 = 1.0/1.8 = 0.554$

$R = 3.6429$

$K = 1/R = 0.275 \rightarrow 0.3 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$

3.1.3 2 階床 (図 3.3)

室内側表面抵抗 $r_i = 0.19$

1. アスタイル $r_1 = 0.003/0.38 = 0.0079$

2. グラスウール $r_2 = 0.1/0.04 = 2.5$

3. ベニヤ板 $r_3 = 0.003/0.12 = 0.025$

4. 空気層 $r_4 = 0.19$

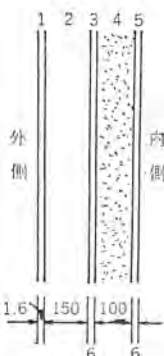


図 3.1 外壁断面図
Fig. 3.1 Section of outside wall.

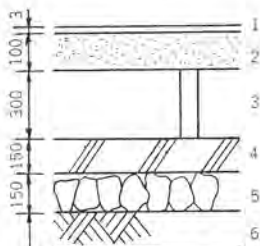


図 3.2 1 階床断面図
Fig. 3.2 Section of the ground floor.

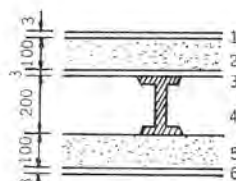


図 3.3 2 階床断面図
Fig. 3.3 Section of the second floor.

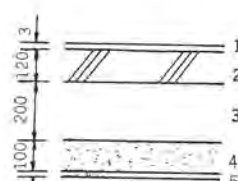


図 3.4 3 階床断面図
Fig. 3.4 Section of third floor.

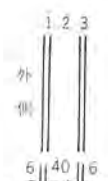


図 3.5 窓ガラス断面図
Fig. 3.5 Section of window glass.

5. グラスウール $r_5 = 0.1/0.04 = 2.5$

6. ベニヤ板 $r_6 = 0.003/0.12 = 0.025$

室内側表面抵抗 $r_i = 0.19$

$R = 5.6279$

$K = 1/R = 0.178 \rightarrow 0.2 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$

3.1.4 3 階床 (図 3.4)

室内側表面抵抗 $r_i = 1/7.96 = 0.126$

1. アスタイル $r_1 = 0.003/0.38 = 0.0079$

2. コンクリート $r_2 = 0.12/1.4 = 0.086$

3. 空気層 $r_3 = 0.19$

4. グラスウール $r_4 = 0.1/0.04 = 2.5$

5. ベニヤ板 $r_5 = 0.003/0.12 = 0.025$

室内側表面抵抗 $r_i = 0.126$

$R = 3.0609$

$K = 1/R = 0.326 \rightarrow 0.33 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$

3.1.5 窓ガラス (二重) (図 3.5)

戸外側表面抵抗 $r_0 = 0.0116$

1. ガラス $r_1 = 0.006/0.68 = 0.0088$

2. 空気層 $r_2 = 0.2$

3. ガラス $r_3 = 0.006/0.68 = 0.0088$

室内側表面抵抗 $r_i = 0.14$

$R = 0.3622$

$K = 1/R = 2.76 \rightarrow 2.8 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$

3.1.6 補足

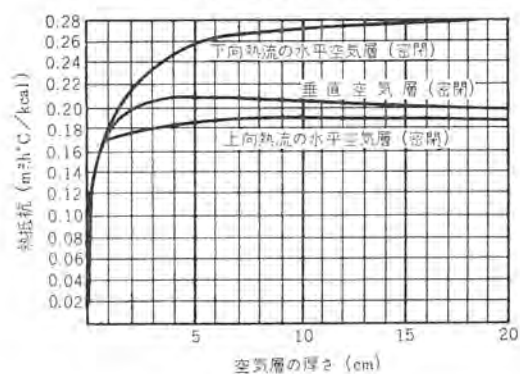
(a) 戸外側表面熱伝達率 $\alpha_0 [\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}]$

表 3.1 室内側表面熱伝達率 (α_i)

単位, $\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$

表面の位置	熱流方向	普通材料
		放射率=0.9
水 平	上 向	7.96
垂 直	水 平	7.13
水 平	下 向	5.27

表 3.2 空気層の厚さと熱抵抗の関係



風速 30 m/s の時, Jurge の公式を用い

$$\alpha_0 = 6.14 \omega^{0.78} = 6.14 \times 30^{0.78} = 86 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} \text{ とする.}$$

(b) 室内側表面熱伝達率 α_i [kcal/m²·h·°C] (表 3.1 参照)

(c) 空気層の厚さと熱抵抗の関係 (表 3.2 参照)

3.2 各温度に相当する比重量 σ [kg/m³] の計算

$$\sigma = \frac{0.001293}{1 + 0.00367 \times t} \times \frac{Hg}{760} \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

ここに σ : 比重量 [g/cm³]

t : 温度 [°C]

Hg : 気圧 [mmHg] 638 mb において 481 mmHg

上式を用い各温度に相当する比重量を計算すると表 3.3 のようになる.

表 3.3 温度に相当する比重量

t [°C]	σ [kg/m ³]
5	0.000805×10^3
0	0.000819×10^3
-10	0.00085×10^3
-20	0.000889×10^3
-30	0.00093×10^3

3.3 室温推定計算(レードーム 1 階につき述べ他は省略する)

この計算のねらいは, 冷房も暖房も行なわず自然放置の状態でレーダ機器類, 照明器具, 人体などの発生熱により果して室温がどのくらいになるか, 夏季, 冬季のレーダ運転, 休止に対し, それぞれの室温を推定することで, この推定結果に基づき, 室温調整設備方式を決定する上に重要な資料となる.

レーダ 運転時発生熱

$$\text{レーダ} = 3,150 \text{ kcal/h}$$

$$\text{照明} = 890 \text{ kcal/h}$$

$$\text{人体} = 660 \text{ kcal/h}$$

$$\text{計} = 4,700 \text{ kcal/h}$$

レーダ 休止時発生熱

$$\text{レーダ} = 900 \text{ kcal/h}$$

$$\text{照明} = 890 \text{ "}$$

$$\text{人体} = 660 \text{ "}$$

$$\text{計} = 2,450 \text{ kcal/h}$$

(1) 冬季における室温の最高および最低値の推定

1 階の室温をレーダ運転, 休止に対し, それぞれ仮定して室内損失熱量を算定し, 室内発生熱量と見合う点を見いだす, この時における床, 天井, 外壁などよりの熱損失の割合をもつて室内発生熱量を配分し, この熱量を各面からの損失熱量と考え, しかるのち室温を推定する.

(a) 損失熱量 (表 3.4 参照)

表 3.4 冬季の損失熱量

(単位 kcal/h)

室温 (°C)	レーダ	
	休止時	運転時
0	2,160	—
-3	1,949	—
-6	1,739	—
20	—	3,638
25	—	3,978

注 外気温度 = -30°C の時

(b) 室温の最高 (ただし定常状態におけるレーダ運転時)

冬季における室温の最高は, 室温 25°C と仮定した時の損失熱量より若干上まわるので, 25°C より高めであることがわかる. 25

富士山気象レーダ; 室温調整設備・福田・内山

°C における熱損失の割合をもつて室内発生熱を配分し, 床, 天井, 外壁などよりの熱損失と見なせば, 各面よりの温度差がわかり, 室温が推定される. 表 3.5 に計算値を出す.

表 3.5 冬季の最高室温推定値

	%	発生熱 (kcal/h)	損失熱 (kcal/h)	損失熱/ $A \times K \times k =$	Δt (°C)	室温 (°C)
床	0.214	$\times 4,700$	$\approx 1,005$	$1,005/69 \times 0.3 \times 1.0 \approx$	≈ 48.5	—
天井	0.0397	$\times 4,700$	≈ 187	$187/6 \times 0.4 \times 1.2 \approx$	≈ 65.0	-30=35
外壁	0.31	$\times 4,700$	$\approx 1,458$	$1,458/60 \times 0.34 \times 1.1 \approx$	≈ 65.0	-30=35
窓	0.0957	$\times 4,700$	≈ 450	$450/2.3 \times 2.8 \times 1.1 \approx$	≈ 63.9	-30=33.9
スキマ風	0.342	$\times 4,700$	$\approx 1,610$	$1,610/165 \times 0.5 \times 0.3 \approx$	≈ 65.0	-30=35

以上のように室温の最高はほぼ 35°C と推定される.

(c) 室温の最低 (ただし, 定常状態におけるレーダ休止時)

室温の最高推定と同様な方法により, 0°C における熱損失の割合をもつて室内発生熱量を配分し, 室温を推定すれば表 3.6 のようになる.

表 3.6 冬季の最低室温推定値

	%	発生熱 (kcal/h)	損失熱 (kcal/h)	損失熱/ $A \times K \times k =$	Δt (°C)	室温 (°C)
床	0.21	$\times 2,450$	≈ 514	$514/69 \times 0.3 \times 1.0 \approx$	24.8	—
天井	0.04	$\times 2,450$	≈ 98	$98/6 \times 0.4 \times 1.2 \approx$	34.1	-30=4.1
外壁	0.311	$\times 2,450$	≈ 761	$761/60 \times 0.34 \times 1.1 \approx$	34.1	-30=4.1
窓	0.0957	$\times 2,450$	≈ 234	$234/2.3 \times 2.8 \times 1.1 \approx$	33.1	-30=3.1
スキマ風	0.342	$\times 2,450$	≈ 839	$839/165 \times 0.5 \times 0.3 \approx$	33.8	-30=3.8

よって室温の最低は平均をとりほぼ 3.8°C と推定される.

(2) 夏季における室温および最低の推定

(a) 損失熱量 (表 3.7 参照)

表 3.7 夏季の損失熱量

(単位 kcal/h)

室温 (°C)	レーダ	
	休止時	運転時
20	1,059	—
30	1,818	—
35	2,120	—
60	—	3,978
65	—	4,240

注 外気温度 = 5°C の時

(b) 室温の最高 (ただし定常状態におけるレーダ運転時)

冬季の場合と同じ考え方により計算をすすめる. 室温 65°C の時の損失熱量の割合をもつて発生熱量を配分し, しかるのち室温を推定すると表 3.8 のようになる.

表 3.8 夏季の最高室温推定値

	%	発生熱 (kcal/h)	損失熱 (kcal/h)	損失熱/ $A \times K \times k =$	Δt (°C)	室温 (°C)
床	0.214	$\times 4,700$	$\approx 1,005$	$1,005/69 \times 0.3 \times 1.0 \approx$	48.5	—
天井	0.0397	$\times 4,700$	≈ 187	$187/6 \times 0.4 \times 1.2 \approx$	65.0	+5=70
外壁	0.31	$\times 4,700$	$\approx 1,458$	$1,458/60 \times 0.34 \times 1.1 \approx$	65.0	+5=70
窓	0.0954	$\times 4,700$	≈ 450	$450/2.3 \times 2.8 \times 1.1 \approx$	63.9	+5=68.9
スキマ風	0.342	$\times 4,700$	$\approx 1,610$	$1,610/165 \times 0.5 \times 0.3 \approx$	65.0	+5=70

よって室温の最高は平均値をとりほぼ 69.5°C と推定される.

(c) 室温の最低 (ただし定常状態におけるレーダ休止時)

室温 35°C の時における熱損失の割合にて発生熱量を配分し, しかるのち室温を推定すると表 3.9 のようになる.

よって室温の最低は平均値をとりほぼ 38.6°C と推定される.

ここに A : 床, 壁などの面積 [m²]

K : 熱貫流率 [kcal/m²·h·°C]

k : 方位係数

表 3.9 夏季の最低室温推定値

	%	発生熱 (kcal/h)	損失熱 (kcal/h)	損失熱/A×K×b=	Δt(°C)	室温(°C)
床	0.216	×2,450	≒530	530/69×0.3×1.0≒	25.6	—
天井	0.0398	×2,450	≒97.5	97.5/6×0.4×1.2≒	33.9	+5=38.9
外壁	0.309	×2,450	≒755	755/60×0.34×1.1≒	33.7	+5=38.7
窓	0.095	×2,450	≒233	233/2.3×2.8×1.1≒	33.0	+5=38.0
スクリーン	0.341	×2,450	≒838	838/165×0.5×0.3≒	33.8	+5=38.8

4. 温調設備方式決定

3.3 節の室温推定計算においてわかるように、部屋の単位時間あたりの発生熱量が損失熱量より多いため、その差に相当する熱量が蓄積されて時間がたつにつれ室温が上昇することがわかる。3.3 節の室温推定は1階 レードーム について計算したが、これと同じことが2階およびマイクロ室、エンジン室にもいえる。したがって温度設備方式としては、暖房するよりむしろ冷房する方式を考えなければならない。部屋を冷房する方式として一般的な方法は、冷凍機(往復動冷凍機または密閉式小形ターボ冷凍機)、クーリングコイル、エアフィルタ、送風機などの組み合わせによるセントラル方式か、またはパッケージ形のユニット方式などがあるが、現地の地理的および気象的状况による施行上、運転保守の難易、使用電力の制約などの面から困難であるとの結論が得られ、結局もっとも取り扱いの簡単な方式である外気取り入れ冷房方式が採用されることになった。さいわい外気は夏季においても0°Cに近い温度で、冷風の送風温度としてはむしろ低目すぎる傾向であるが、冬季のように氷点下30°Cにも達する場合があるので、外気そのままの温度で室内に送風することは不可能である。さらに外気温度は絶えず変化し、また室内の発生熱量もレーダ運転、休止時にそれぞれ異なるので、冷風の送風温度ならびに送風量についてはかなりのコントロールが必要となる。図4.1は温調設備方式の基本的系統を示すもので、これは外気温度の変化や、室内発生熱量の多少いかにかわらず室内温度がほぼ一定になるように、外気量や室内還気量をコントロールし、送風機により送風できる装置となっている。

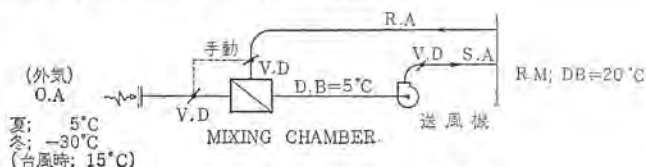


図 4.1 温調設備方式の系統図
Fig. 4.1 Diagram of air temperature conditioning system.

5. 風量計算

$$Q = H / Cpa \times \sigma \times \Delta t \quad (5.1)$$

ここに Q : 風量 [m³/h]
 H : 熱量 [kcal/h]
 Cpa : 比熱 [kcal/kg·°C]……0.24 kcal/kg·°C
 σ : 比重 [kg/m³]……[表 3.2 参照]
 Δt : 温度差 [°C]

5.1 1階レードーム

室温を15°C、送風温度を5°Cと仮定した場合、レーダ運転、休止に対し、外気の種々の温度における供給風量を算定する。

(1) 外気温度15°Cの時(ただし台風時、室温25°Cの場合)

(a) レーダ連続運転時

室内発生熱量 $H=4,700$ kcal/h
 室内損失熱量 $H=680$ kcal/h
 除去熱量…… $\Delta H=4,020$ kcal/h

式(5.1)より $Q=4,020/0.191(25-15) \approx 2,100$ m³/h

(b) レーダ休止時

室内発生熱量 $H=2,450$ kcal/h

室内損失熱量 $H=680$ kcal/h

除去熱量…… $\Delta H=1,770$ kcal/h

$Q=1,770/0.191(25-15) \approx 926$ m³/h

(c) レーダ30分間運転時

室内発生熱量 $H=4,700/2=2,350$ kcal/h

室内損失熱量 $H=680/2=340$ kcal/h

除去熱量…… $\Delta H=2,010$ kcal/h

$Q=2,010/0.191(25-15) \approx 1,050$ m³/h

(2) 外気温度5°Cの時

(a) レーダ連続運転時

室内発生熱量 $H=4,700$ kcal/h

室内損失熱量 $H=689$ kcal/h

除去熱量…… $\Delta H=4,011$ kcal/h

$Q=4,011/0.194(15-5) \approx 2,070$ m³/h

(b) レーダ休止時

室内発生熱量 $H=2,450$ kcal/h

室内損失熱量 $H=689$ kcal/h

除去熱量…… $\Delta H=1,761$ kcal/h

$Q=1,761/0.194(15-5) \approx 910$ m³/h

(c) レーダ30分間運転時

室内発生熱量 $H=4,700/2=2,350$ kcal/h

室内損失熱量 $H=689/2=344$ kcal/h

除去熱量…… $\Delta H=2,006$ kcal/h

$Q=2,006/0.194(15-5) \approx 1,030$ m³/h

以下同様な方法で外気温度の種々の温度に対し、計算した結果を表5.1に示す。

表 5.1 レーダ運転状況と外気温度に基づく供給風量

外気温度 (°C)	風量 (m³/h)		
	レーダ運転	休止	30分間運転
15	2,100	926	1,050
5	2,070	910	1,030
0	1,900	730	940
-10	1,520	360	760
-20	1,140	—	570
-30	750	—	374

5.2 2階レードーム

室温を20°C、送風温度を5°Cとした場合、レーダ運転、休止に対し、それぞれの外気温度における供給風量を1階と同じ方法で計算した結果を表5.2に示す。ただし、台風時、外気温度15°Cの時、室内温度は30°Cを目標とし、この時の送風温度は外気そのままの15°Cとして計算する。

表 5.2 レーダ運転状況と外気温度に基づく供給風量

外気温度 (°C)	風量 (m³/h)		
	レーダ運転	休止	30分間運転
15	5,100	1,040	2,560
5	5,110	1,050	2,560
0	5,000	940	2,500
-10	4,800	695	2,400
-20	4,500	450	2,250
-30	4,250	198	2,140

5.3 マイクロ室

室温を15°C、送風温度を5°Cとした場合、レーダ運転、休止に対し、それぞれの外気温度における供給風量の計算した結果を表5.3に示す。ただし、台風時、外気温度15°Cの時、室内温度は25°Cとし、この時の送風温度は外気と同じ15°Cとする。

表 5.3 レーダ 運転状況と外気温度に基づく供給風量

外気温度 (°C)	風 量 (m³/h)		
	レーダー運転	休 止	30 分間運転
15	390	390	—
5	390	390	—
0	350	350	—
-10	275	275	—
-20	196	196	—
-30	117	117	—

表 5.4 エンジン使用状況と外気温度に基づく供給風量

エンジン使用状況	外気温度 (°C)	風量 (m³/h)
7.5kVA×1 台の時	15	49.7
	5	35.5
	-5	28.0
	-20	21.5
	-30	18.7
7.5kVA×1 台 } の時 20kVA×1 台 } (商用電源停止)	15	128.05
	5	97.55
	-5	78.35
	-20	60.85
	-30	53.55
7.5kVA×1 台 } の時 20kVA×2 台 }	15	206.4
	5	168.2
	-5	135.5
	-20	100.2
	-30	88.4
7.5kVA×1 台 } の時 20kVA×3 台 } (商用電源停止およびレダ運転)	15	284.75
	5	221.65
	-5	179.05
	-20	139.55
	-30	123.25

5.4 エンジン室

室温を 20°C、送風温度を 5°C とした場合、レダ 運転、休止、商用電源停止などのエンジン使用状況に応じ、それぞれの外気温度における供給風量の計算した結果を表 5.4 に示す。

6. 温調設備機器類およびダクト配管

図 6.1, 6.2 は レードーム 1~2 階平面図を示し、機器容量は次のとおり

- ① 1 階用送風機,片吸込形

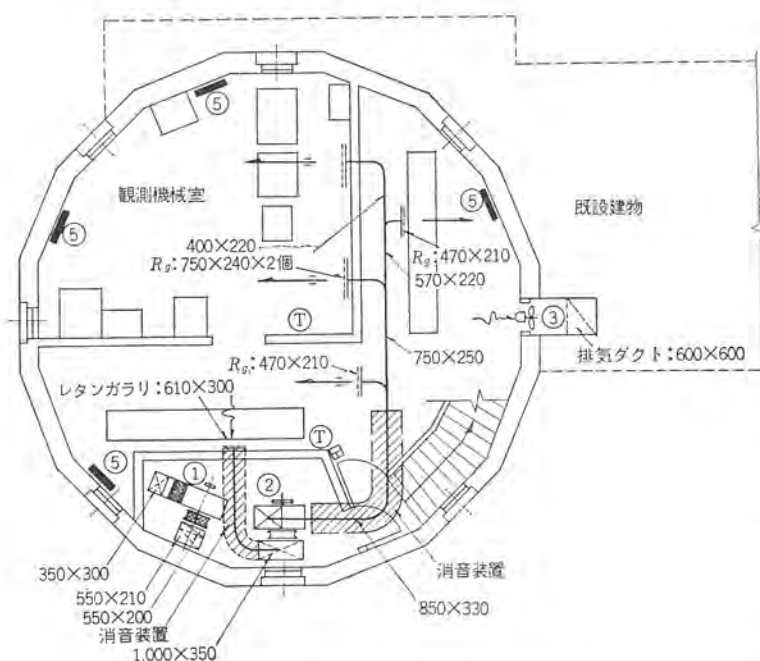
FS-115 $\times$ 38.6 m³/min $\times$ 20 mm SP $\times$ 0.4 kW

図 6.2 2 階ダクト配管図 (1/130)
Fig. 6.2 Second floor ducting.

- ② 2 階用送風器, 片吸込形

FS-122 $\times$ 93.3 m³/min $\times$ 20 mm SP $\times$ 1.5 kW

- ③ 2 階用排風機，有圧換気扇

KG-60×75 m³/min×6 mm SP×0.4 kW (三相-200 V)

- ④ 1階用電気ヒータ 1kW×1台, 2kW×1台

- ⑤ 2階用電気ヒータ $2\text{kW} \times 4$ 台

送風機は図 6.2 のごとく、2 階の一隅に送風機室を設け、送風機発生騒音のシャ音を考慮するとともに、ダクト配管途中に、ロックワールのセル形消音装置をそう入し、観測機械室の騒音防止対策とした。

1~2階の外気取入口については、年間の風向を考慮してできるだけ風下側に取り付けるようにし、また、冬季雪がはいりこまないよう図 6.1 のごとく、1 階出入口の雪囲いのある位置とした。なお雪がはいりこんだ場合、これをとかす装置として、電気ヒータ



図 6.1 1 階 ダクト 配管図 (1/130)
Fig. 6.1 Ground floor ducting.

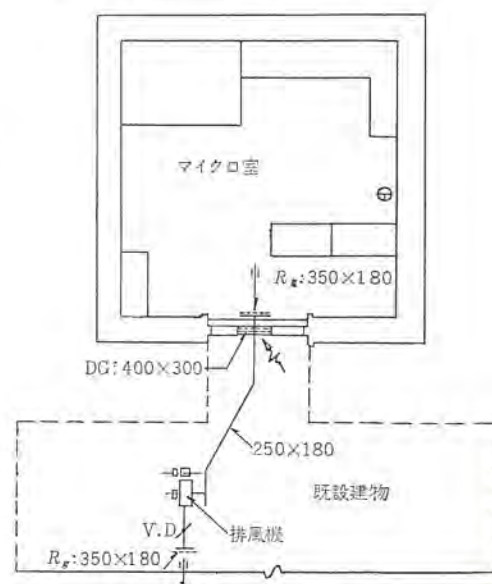


図 6.3 マイクロ室ダクト配管図 (1/65)
Fig. 6.3 Micro room ducting.

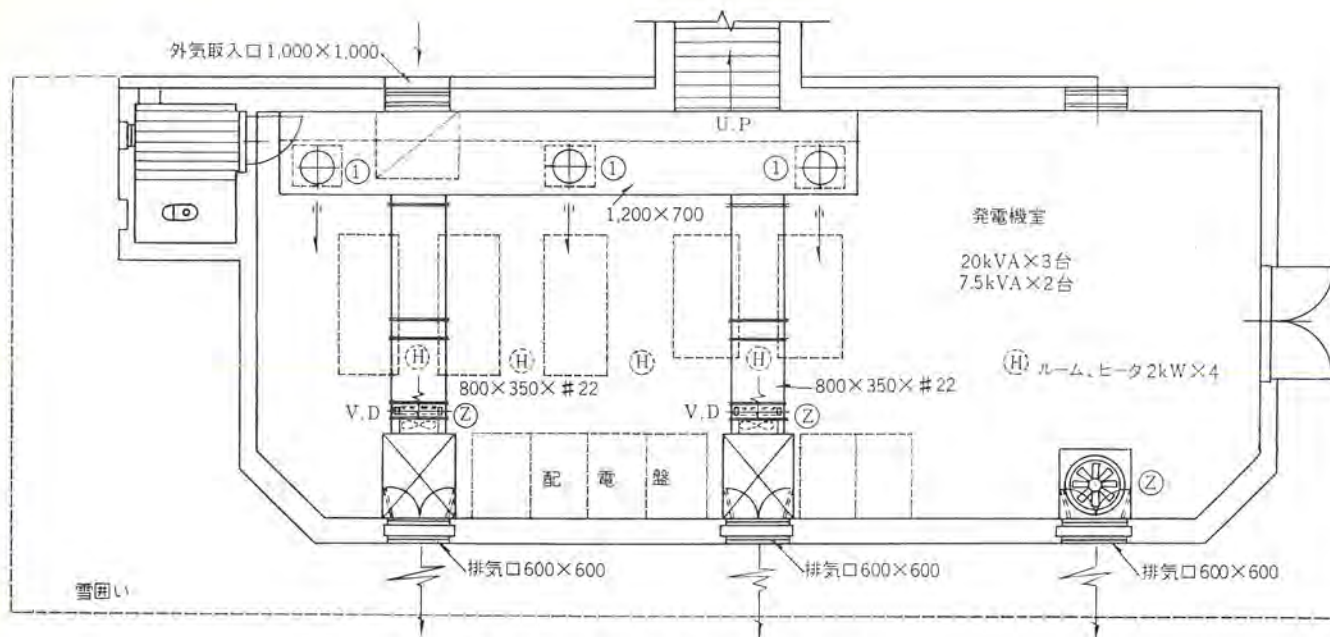


図 6.4 エンジン室ダクト配管図 (1/110)
Fig. 6.4 Engine room ducting.

を取り付け、とけた水が流れやすいよう、外気取り入れ口を下向きとした。

1~2 階の送風機運転は、台風時と常時とにわけ、台風時は、送風機の全風量をもって送風し、常時は、この風量の半分に送風することとした。この風量の増減は送風機モータのポルチェンにより行なうものとし、常時において、送風温度(約 5°C)、送風量がほぼ一定の場合、外気温度の低下や、レーダ休止に基づく室温の下降は、ルームリモースタットの指令で、逐次電気ヒータが稼動することにより防止することとした。

図 6.3 はマイクロ室の平面図を示し、排風機容量は次のとおり
排風機, No1 x 7.3 m³/min x 10 mm SP x 0.1 kW

(単相~100 V)。

マイクロ室の室内発生熱量は、レーダ運転、休止にかかわらず同一なので、排気風量も一定で良く、排気した風量に相当する給気は、既存建物の室内空気をドアガラを介して取り入れることとした。冬季、外気温度の低下に基づく室温下降は、レードームと同じく電気ヒータの使用により防止することとした。

図 6.4 はエンジン室の平面図を示し、給排気容量、および電気ヒータ容量は次のとおり

① 給気用有圧換気扇

KF-50B x 100 m³/min x 10 mm SP x 0.75 kW x 3 台

② 排気用有圧換気扇

600 φ x 108 m³/min x 25 mm SP x 1.5 kW x 3 台 (特注)

③ 電気ヒータ (ルームヒータ) 2 kW x 4 台

④ " (オイルパンヒータ) 0.4 kW x 5 台

⑤ " (冷却水ヒータ) 0.3 kW x 5 台

ただし ④⑤ はエンジン内に装備されている。

エンジン運転時には表 5.4 のごとき風量を必要とするが、運転台数と夏季、冬季によって必要風量も異なるのでダンパで調整し、一部を還元して室内送気が過冷しないようにしている。外気取り入れ口、および排気口には雪囲いを設け、風の方向によって室内へ逆流しないように考慮している。

7. む す び

以上レーダ基地室温調整設備について概述したが、途中の計算を割愛して結果のみを記したため、不明の点が多々あると思われるが、ご判読をこう次第である。現地の報告によれば、室温も当初の設定温度にほぼ近い状態に保たれ、レーダ機器も順調に運転されているよし、今後の活躍が期待されている。

参 考 文 献

- (1) 衛生工業協会誌 32 巻 (昭 33)
- (2) Heating Ventilating Airconditioning Guide (1957)
- (3) 理科年表 (昭 39)
- (4) 柳町・渡辺: 建築設備ハンドブック

富士山気象レーダ；建設工事

金 親 俊 治*

Erection Work of Weather Radar on the Top of Mt. Fuji

Head Office Toshiiji KANECHIKA

Erection of a weather radar was completed with success on the summit of Mt. Fuji that is 3,776 meter high. As it is the highest point in Japan, the work encountered with much difficulty such as weather condition, transport, labour and health of personnel. The period allowed for construction was only for three months during summer. In addition, not much time was allotted to get through the adjustment of the equipment. In transportation helicopters and bulldozers were made use of to bring the matter to success. Special attention was paid to the health of the construction forces. Every person participated had to undergo a medical examination before being assigned the work at high attitude. No casualty was reported in this unprecedented erection work.

1. ま え が き

標高 3,776 m の富士山頂に気象レーダの建設工事が開始されたのは昭和 38 年 6 月からであるが、同年は建築の鉄骨組のみで越年し、翌昭和 39 年は建築の仕上げとレーダ機器の据え付けが行なわれ、完成したのは同年 10 月である。この間運び上げた資材は約 500 トン、作業人員延 9,000 人に及ぶ。なにぶんにも日本の最高所であり、気象条件も過酷をきわめ、輸送手段も従来の方法では不可能な場所である。工期も正味夏の三カ月ぐらいしかなく、それも晴天の日はごく少ない。これを当社が建築からレーダの据付調整までを一貫して請け負ったのであるが、なにぶんにも未知な問題が多く、その完成までには困難をきわめた。以下その建設の概要について説明する。

2. 輸 送

従来、富士山頂への輸送は馬および人力（強力）であったが、今回のレーダ建設に際しては上記の手段では到底不可能であるので、ヘリコプタによる空輸とブルドーザによる陸送とが考えられた。ヘリによる時はピストン輸送が可能で多量な資材を短時間に輸送し

うるが、一回に運び得る重量は制限され、かつ天候に大きく左右される。ブルによる時は一回の積載量は大であり、かつ比較的悪天候でも輸送し得るが、山頂までの所要時間が大である。両方一長一短があるので併用すれば最大の威力を発揮することになる。しかし昭和 38 年度においてはブルは道路造成の段階にあり、また 7 合 8 勺までしか行けなかったのもっぱらヘリのみであったが、昭和 39 年度においては両方の使用が可能となり、レーダ建設の完成に大きく貢献した次第である。

このレーダの建設にあたりもっとも問題となるのは山頂における気象条件である。富士山測候所に依頼し、過去 24 年間の累年平均値を表に示したものを表 2.1 に示す。これによれば、輸送可能な月は 7 月から 9 月中旬までであるが、その年により天候も異なるので絶えず天候を調べることになる。昭和 38 年度においては 6 月から空輸を開始した。ヘリ輸送の場合には山麓の基地が問題になる。資材の集積が容易であり、また山頂とその基地を直線で結んだ時その仰角が余り大でなく、最良の上昇角度になることが望ましい。仰角大なときは旋回または迂回して高度をとらなければならないからである。以上の理由により 38 年においては水平距離 16 km 離れた御殿場市滝ヶ原を山麓ヘリポートとして選定した。

表 2.1 富士山頂の気象（昭和 12 年より昭和 35 年までの累年平均値）

月	6 月			7 月			8 月			9 月			10 月		
日	1~10	11~20	21~30	1~10	11~20	21~31	1~10	11~20	21~31	1~10	11~20	21~30	1~10	11~20	21~31
気温 (°C)	-1.5	0.0	2.1	3.6	4.5	6.0	6.1	5.8	5.2	3.9	2.5	1.3	-1.1	-2.8	-4.5
風速 (m/s)	15.4	13.3	16.4	15.9	12.3	10.3	7.3	10.8	13.5	14.1	18.5	15.5	15.6	15.0	15.9
風 向	最 多		次 位	最 多		次 位	最 多		次 位	最 多		次 位	最 多		次 位
	W		WNW	W		NW	W		NNW	W		WNW	W		WNW

	6 月			7 月			8 月			9 月			10 月		
雨のあった日	13.5 日			17.8 日			16.8 日			16.1 日			7.6 日		
雪の "	8.2 "			1.1 "			0.6 "			3.3 "			10.8 "		
霧の "	22.8 "			22.0 "			19.5 "			22.2 "			18.9 "		
霧雨 "	10.3 "			11.6 "			9.5 "			13.4 "			7.2 "		
快 晴 (雲量 2.5 以下)	2.0 "			3.2 "			6.2 "			4.0 "			7.5 "		
最大風速 (10 m/s 以上あった日)	26.0 "			23.2 "			18.5 "			27.4 "			28.7 "		
積雪の深さ 平均 (cm)	5 日	15 日	25 日	5 日	15 日	25 日	5 日	15 日	25 日	5 日	15 日	25 日	5 日	15 日	25 日
	54.7	32.6	9.8	0.0	—	—	—	—	—	—	—	—	0.2	0.3	0.9

表 2.2 三菱シコルスキー S62 形
ヘリコプタ 主要諸元

エンジン	GE, T58-6
馬 力	1,050 shp×1 基
全 備 重 量	3,400 kg
自重	2,172 kg
有効とう載量	798 kg
全 長	13.59 m
全 高	4.32 m
ロータ径	16.16 m
航 続 距 離	425 km
巡 航 速 度	158 km/h
最 大 速 度	175 km/h
実用上昇限度	4,800 m
最良上昇率	422 m/min

山麓と同様に山頂のヘリポートの選定も重大である。地理的に剣ヶ峰以外では再輸送が必要となって不可であるが、安全飛行可能なヘリポート造成のスペースがない。結局レーダ室の屋上に板張りしてヘリポートとしたのであるが、気流の変化の激しいところで、パイロットはまさに名人芸の要求される場所であった。

この輸送に主として使用したヘリコプタはシコルスキー S62 形で、その性能を表 2.2 に示す。山頂までの所要時間およびとう載量は下記のごとくなる。

富士山標高 3,776 m
滝ヶ原基地標高 686 m
したがって標高差は 3,090 m

シコルスキー S62 の上昇率 244 m/min (平均) として山頂まで所要時間 13 分、また降下率を 305 m/min として基地まで 10 分となる。

基地、山頂での誘導時間を各 30 秒として計 1 分、したがって往復に 24 分を必要とし、さらに注油を加えれば約 30 分が必要となる。

またとう載量は全備を 3,311 kg (7,300 lbs) 以下に押えて

自重 2,313 kg
乗員 123 kg
燃料 181 kg (1 往復分と予備)
計 2,617 kg

したがって有効とう載量は 3,311 kg - 2,617 kg = 694 kg となる。ゆえに 1 回のとう載量は安全率を見込むと 600 kg が限度となる。

度となる。

以上によって山頂に設備する機器の重量は単体において梱包とも 600 kg 以下にしなければならないという制約が生まれ、必然的に総梱数が増加することとなった。またその往復回数も

$$250,000 \text{ kg} \div 600 \text{ kg} = 415 \text{ (往復)}$$

これに 2 割の増加を見込めば約 500 往復が必要とあり、天候より勘案して 1 日 4 時間稼働 8 往復として約 63 日を必要とする。

表 2.1 よりも明らかなように稼働できない日もあるから、1 台のヘリでは不可能である。このため出動したヘリはパートル 101 形 1 機、シコルスキー S62 形 2 機、ベル 47G-3B-KH 4 形 1 機の 4 機であって、これが富士山を背景として飛び交ったのである。しかし、昭和 38 年度においては山頂ならびに御殿場の気象条件より、午前 5 時から午前 10 時までの約 5 時間しか作業できなかった経験に鑑み、昭和 39 年には富士山より西南に当る富士宮市上井出の旧陸軍戦車学校跡の広大な敷地を基地とした。山頂に対してこの方角が雲の切れ間が多くガスのかかることが少ないからである。昭和 38 年は建築資材、昭和 39 年は電子機器、発電機器など輸送してその総重量は約 260 トンに及んだ。表 2.3 に各年の月別輸送量、表 2.4 に 38 年 8 月の実績を示す。

なお今回の空輸にあたりもっとも困難であったのはレードームであった。2 年越しにその可否が論ぜられ、工場においてもつり下げテストが行なわれて、骨組のみを地上で組み、樹脂板は山頂で

表 2.3 空輸による月別輸送量ならびに移動日数

月 別 (月)	昭 和 3 8 年		昭 和 3 9 年	
	稼 働 日 数 (日)	輸 送 重 量 (kg)	稼 働 日 数 (日)	輸 送 重 量 (kg)
6	2	3,000	0	0
7	13	13,510	1	3,087
8	16	148,420	7	23,293
9	8	68,640	0	0
計	39	233,570	8	26,380
合 計			47	259,950

表 2.4 昭和 38 年 8 月の輸送実績

日	天 候	風 速 (m/s)	温 度 (°C)	輸 送 重 量 (kg)
1	霧	5.7	3.5	1,469
2	快	4.6	5.6	744
3	快	6.7	4.4	4,270
4	高雲後霧	3.8	1.6	0
5	高雲	0.9	2.9	522
6	快	4.6	4.5	2,180
7	快	2.6	5.5	2,840
8	快	5.9	7.1	0
9	霧後雨	17.0	4.3	0
10	霧雨	12.5	6.4	0
11	高雲	14.5	1.4	0
12	霧	25.2	6.3	0
13	霧	6.1	5.9	3,040
14	快	5.0	5.2	5,890
15	霧	12.7	5.5	10,563
19	薄雲	8.9	4.2	24,130
17	霧	14.7	3.5	11,290
18	霧	9.6	6.6	9,520
19	霧雨	11.5	4.5	0
20	快	8.4	2.7	0
21	快	6.1	4.7	8,710
22	霧	7.4	4.7	0
23	薄雲	15.4	5.0	32,860
24	霧	18.5	4.3	0
25	霧	22.6	3.9	0
26	高雲	9.8	3.6	27,090
27	快	8.5	3.7	3,299
28	薄雲	9.6	4.1	0
29	霧	22.9	2.4	0
30	霧	7.8	2.3	0
31	霧後雨	21.1	4.1	0

(ただし、天候、風速、温度は午前 6 時のものを示す)



図 2.1 ヘリコプタによるレードームフレームの輸送状況
Fig. 2.1 Transportation of Radome frame by means of helicopter.



図 2.2 ブルドーザによる輸送状況
Fig. 2.2 Transportation by means of a bulldozer.

表 2.5 輸送用ブルドーザ主要諸元

車 両 名 称	三菱 BD7 形ストレートドーザ (油圧式)
全 装 備 重 量	7,200 kg
機 関 出 力	65 ps
ケン 引 出 力	52 ps (効率 80%)
全 長	3,758 mm
全 幅	2,510 mm
全 高	2,440 mm
履 帯 中 心 距 離	1,520 mm
接 地 長	1,770 mm
履 板 幅	560 mm
接 地 圧	0.36 kg/cm ²
機 関	三菱 4HA11C 形ディーゼル機関, 4 サイクル空冷直列直接噴射式

表 2.6 ブルドーザによる月別輸送重量 (昭和 39 年)

月	建 築 関 係 (kg)	機 器 関 係 ほか (kg)	合 計 (kg)
6	28,688	0	28,688
7	32,158	21,500	53,658
8	73,073	42,437	115,510
9	31,531	10,921	42,452
10	0	1,240.5	1,240.5
	165,450	76,098.5	241,548.5

表 2.7 機器のうち機種別輸送重量

1 個 の 梱包重量 (kg)	据 付 配線材料 (kg)	エンジン 関 係 (kg)	燃料および 貯油タンク (kg)	電子機器 (kg)	食 料 そ の 他 (kg)	合 計 (kg)
100 未満	11,166.1	4,370.0	3,908.0	2,223.0	5,267.4	26,934.5
101~ 200 まで	2,047.0	3,232.0	11,780.0	1,063.0	317.0	18,439.0
201~ 300 まで	3,306.0	2,805.0	1,622.0	2,154.0	547.0	10,434.0
301~ 400 まで	0	2,039.0	400.0	1,450.0	322.0	4,211.0
401~ 500 まで	917.0	4,265.0	1,440.0	435.0	0	7,057.0
501~ 600 まで	550.0	2,310.0	2,260.0	0	0	5,120.0
601 以上	650.0	1,300.0	1,350.0	0	603.0	3,903.0
計	18,636.1	20,321.0	22,760.0	7,325.0	7,056.4	76,098.5

取り付けることによりやく決定、そして決行されたのは昭和 39 年 8 月 15 日午前 8 時 12 分であった。直径 9m, 重量 595kg のこのフレームは幾多の報道陣の見守る中を一気に山頂に飛びみごとに成功した。この日は快晴、風速 2m であった。風速は不足 (15m ぐらいを希望) であったがみごと成功した朝日ヘリコプタ(株)の神田パイロットに敬意を表する次第である。図 2.1 および図 2.2 にヘリおよびブルの輸送状況を示す。

一方陸送のための道造りは昭和 38 年より行なわれ、関係者の協力により同年 9 月末には山頂馬の背まで登頂することに成功していた。陸送に用いられたブルドーザの諸元を表 2.5⁽¹⁾に示す。現地状況が特殊なので富士山用に特別装備が施されたものである。レーダ建設のための陸送が本格的に始められたのは昭和 39 年 5 月 20 日の除雪作業からである。同年は例年になく雪が多く 6 月になっても降雪があり、折角除雪した道路がまた埋没というケースが再三あった。雪のなくなったのは実に 7 月下旬になってからであった。このため工程も遅延し完成も危ぶまれたので BD7 形 (7 トン) ブル 3 台, BD2 形 (2 トン) ブル 2 台と増強しピストン輸送を行なった。出発点は御殿場口太郎坊 (標高 1,300m) で、そこから 7 合 8 勺 (標高 3,200m) までは 7 トンブルを使用し所要時間 3 時間 30 分、そこで荷を積み換えて山頂馬の背まで 2 トンブルで 1 時間であっ

富士山気象 レーダ; 建設工事・金親



図 2.3 富士山頂平面図
Fig. 2.3 Pan of the top of Mt. Fuji.

た。早朝より作業を開始し 7.8 合まで一日 3 往復した日もあった。なお器材のみを輸送したのではなく、作業員もこれに同乗して山頂現場に行った。徒歩では仕事にならないからである。ただし 7.8 合以上はすべて徒歩で、いわゆる胸突八丁を登ったが、その標高差はわずか 500m であるが、実に 2~3 時間を要する。

さて馬の背から剣ヶ峯までは図 2.3 の山頂平面図に示すように、標高差は 30m ぐらいであるが、傾斜が急でブルでも登り得ないのでこの間は索道を張って資材を輸送した。剣ヶ峯とその名の示すとおり突々として岩場がわずかの空地しかないため、空と陸からの荷さばきは迅速にしなければならなかった。

このようにして陸送した重量は表 2.6 のとおりである。さらに機器関係のうち、機種別と梱包重量別にして表にすると表 2.7 のごとくなる。こうしてブルドーザによる輸送の完了したのは 10 月 6 日であった。

3. 労務ならびに保健管理



図 3.1 山頂浅間神社と宿舎 (右上のカマボコ形)
Fig. 3.1 "Sengen" Shrine and lodgings (semi-cylindrical huts sun on the upper right) on the top of Mt. Fuji.

今回の建設工事においては多い時には日に100名を越す人員が山頂で作業に従事した。

この人達の宿舎、給食などが当然問題になる。幸い山頂には厚生省の高山病研究所があるのでそこをお借りして建築関係の人が宿泊した。しかしレーダ機器、受発電設備などの据付関係の人が宿泊する宿舎がないので新たに建設する必要があった。富士山頂は国立公園であり、また敷地は浅間神社の所有地なので厚生省と浅間神社の許可を受けて建設にかかったのが昭和39年7月である。この建物の条件として

(1) 輸送容易なように軽量にして分割可能なこと

(2) 組立、解体が容易なこと

(3) 保温性がありかつ風速60m/sでも耐えること

などがあり、これを満足するものとして種々検討した結果図3.1に示すカマコ形の鉄骨布張り宿舎3棟と球形をしたゼオスペースドーム1棟を建設した。何しろ工事着手前にこれが完成していなければならず、ウルで輸送した時にはまだ雪があり相当に危険であった。建設場所は図2.3の地図上に示すように山頂浅間神社横の空地である。

次に給食の問題であるが、用水は給食だけで1人当たり最低1日5.4lを必要とする。100名として540l、ドラム缶にして約3本となる。山頂には湧水がなく天水だけであるが、これだけを確保することは困難なので別途水源を求める必要があった。幸い噴火口の底には夏期通じて残雪があり、これがゴウゴウと音を立てて融けていたので3.7kWのポンプを据付けることによって解決することができた。このための電源として3,300/210V単相10kVA変圧器2台をV接続にして仮設した。この電力はポンプだけでなく厨房電熱、宿舎照明として使用したのである。高低差は約200mであるが岩場を迂回するので配線は38mm²を用い500mとなった。同様に一般水道用のビニールホースもこれに添って配管した。

厨房設備としては普通のカマでは気圧が低く炊飯できないので圧力ガマ(5升炊き)4個を特注、また燃料も同様で薪炭では完全に燃焼しないから純プロパンのセットを特注して設備した。食器も用水の節約と伝染病の予防を兼ねて一回ごとに廃棄するように紙食器(ボイト)を用いた。悪条件で働く人たちの唯一の楽しみは食事であるから献立と調理は専門の調理士にお願いした。材料は御殿場市で調達しウルで毎日運び上げたのである。

次に問題となるのは保健である。平均気圧

表 3.1 作業人員集計

昭和38年

職 種	人員および 日数	7 月				8 月			9 月		昭和 38年度 総 計
		9月 20~30	10月 1~10	11月 11~20	12月 21~31	1月 1~10	2月 11~20	3月 21~31	4月 1~10	5月 11~20	
技 術 者		10人	9人	25人	22人	21人	20人	18人	14人	12人	151人
大 工		21	64	88	18	17	49	58	54	16	385
大 工 手 元		8	1					7			16
土 工			10	47	71	72	74	84	74	83	515
石 工						6					6
新 工						8					8
新 工											
新 工		18		18	2			2	7	33	80
配 管 工											
溶 接 工											
高 圧 工											
人 夫		16	17	12	10	3	16	10	18	20	122
強 力							23				23
電 工		4		30	30	27	29	21	15	3	164
ヘリコプタ関係 ブルドーザ関係		24	50	70	87	32	102	175	203	103	846
鉄 骨 工						8		2	12	11	33
そ の 他							2	8			10
合 計		101人	151人	290人	240人	194人	315人	385人	397人	286人	2,359人

その他は、当社鎌倉伊丹工場、厨房、報道関係などである

昭和39年

職 種	人員および 日数	6 月				7 月			8 月			
		5月 20~31	6月 1~10	7月 11~20	8月 21~30	9月 1~10	10月 11~20	11月 21~31	12月 1~10	1月 11~20	2月 21~31	3月
技 術 者		6	10	16	16	21	28	31	40	48	50	
大 工					8	63	75	178	209	69	48	
大 工 手 元												
土 工		6	43	68	173	198	199	275	187	65	40	
石 工								3				
新 工						12	3	1	12	4	1	
新 工												
新 工												
配 管 工										11		
溶 接 工												
高 圧 工					32	30	25	29	31	27	19	
人 夫									49	70	80	
強 力		24	24	26	10	16		18	10	10	8	
電 工					18	12	48	45	86		92	
ヘリコプタ関係 ブルドーザ関係			25	24	44	45	46	58	150	50		
鉄 骨 工					10				8	6	3	
そ の 他		4			3	4	4	72	120	182	219	
合 計		40人	102人	134人	314人	401人	431人	707人	957人	594人	610人	

昭和39年

職 種	人員および 日数	9 月			10 月			昭和39年度 総 計	昭和38、39 年度延人員 総 合 計
		9月 1~10	10月 11~20	11月 21~30	12月 1~10	1月 11~20	2月 21~31		
技 術 者		48	40	28	30	4		416人	567人
大 工		31	25	30	46	30		812	1,197
大 工 手 元								0	16
土 工		10	3	3				1,270	1,785
石 工								3	9
新 工								0	8
新 工								33	113
配 管 工		6	24	10	2			53	53
溶 接 工		40	31		6			77	77
高 圧 工		26	16	8				243	243
人 夫		210	80	49	20	3		561	683
強 力		10	9	5				170	193
電 工		138	110	70	91	10	10	730	894
ヘリコプタ関係 ブルドーザ関係		60	61	54	56	25	10	200	1,046
鉄 骨 工								27	60
そ の 他		205	203	160	110	10	5	1,301	1,311
合 計		784人	602人	417人	361人	82人	25人	6,561人	8,920人

638 mb であるから地上の約3分の2に当る。すなわち酸素不足が生体にいろいろの影響を与える訳である⁽⁹⁾。自覚症状として

心疼痛、息切れ、起座呼吸、不整脈、頭痛、便秘、下痢、吐気、食欲不振、腹痛、空腹感、満腹感、神経痛、咳嗽、喀痰、頭がぼんやりする、いらいらする、惰眠、不眠、どわすれする、あきっぽい、陽気、不安、夢、あくび、めまい、鼻出血、心悸亢進などが表われる。一般に頭痛、不眠、息切れに悩まされたのであるが、また酸素不足は思考能力の低下を来すため、精密機器の調整などの頭脳労働に障害がある。これに対して酸素天幕を準備するなどの対策が考えられたが、幸い使用せずに済んだ。

以上のように、高所であるための障害があるので人選の基準として下記の者は忌避すべき体質として除外された。

1. アレルギー体質 2. 結核 3. 耳疾患 4. 心臓疾患 5. 貧血症 6. 内分泌順応の悪いもの(喘息、神経痛、じんましん、りゅうまなど)

登頂者はまた下記を検査し医師の診断に従った。

1. 心電図 2. 胸部X線 3. 心肺係数 4. 血液検査 5. 血圧 6. 耳鼻科的検診 7. 脈搏 8. 尿検 9. 肺括量

以上のごとく万全を期したのであるが、適性はやっぱり登頂してみなければわからないもので、地上では頑健そのものでも山頂ではすぐまいってしまう者もあるし、弱そうでも山では逆に強い者もある。7、8月は気圧も650 mmB 前後なので比較的環境もよいが640 mmB 以下になると影響が現れ、吐瀉しさらに吐血する者も現われた。高山病とは臨床的にはいずれも急性の肺鬱血、右心負荷、肺水腫、肺炎という病態で強い呼吸困難、ひん脈などの症状が現われる。この時は下山させる以外に方法はなく、また地上に戻ればうそのようになってしまうのである。いずれにしても同一高度に8日以上いると高山病にかかり易いとの報告もあるので、原則として作業員は滞在は2週間程度としていったん下山して休息、そしてまた登頂するという方法をとった。

薬剤も多種を準備し、ビタミン剤は食事ときに同時に服用した。頭痛薬は服用する者が多く、グレンなどはよく効いたようである。

こうして保健に留意したので事故者もなかったのは幸であった。作業人員は表3.1に示すとおりであって延8,920人である。

4. む す び

以上主として輸送、労務および保健について述べたが、そのほ

かにも難間が山積していた。まず通信であるが、これは無線電話とし、御殿場を基地局として山頂宿舎、現場それに7合8勺中継基地にも置いて荷物の輸送状況もわかるようにした。ピス1本不足といっても山頂ではどうにもならないから、地上で調達し、ジューで太郎坊まで運んでそれからプルへとなる。1日か2日はかかる訳である。

電気機器の接地にしても、山頂では1,000Ω以上の接地抵抗でどうにもならない。雷にしても強烈であって機器を雷撃からいかに守るかが問題となる。これに対しては鉄骨建物全体を電氣的に接続されるように、たとえば基礎の鉄筋にしても交差する所は電気溶接して被雷の際は建物全体が同一電位になるようにして内部の機器を保護するようにしたのである。さらに建物の四方より22 mm²の電線を各300 m ぐらゐ埋設してより効果ならしめてある。3 kV 側にはSV-G形避雷雷器を入れたのは当然としても、屋内100 V、200 V回路にも三菱低圧用BV形避雷雷器をそう入したのは異色であって、より安全を期したにはほかならない。

このほかにレーダ室の空調、エンジン室の換気、エンジン貯油タンクの構造ならびに保温、用水の冬期使用の問題などがあるが、それは別稿を参照されたい。

建設工事の8月下旬に襲った台風14号により宿舎のうちのドームが吹き飛び、さらに9月25日に襲来した超A級台風20号により残りの3棟も吹飛ばされてしまった。幸い人員、器材は近くの山頂館の御好意で移り住んでいたので大きな被害を受けずにすんだが、寝袋や寝具などがやられて困ったものである。

9月に入ると延々と続いた登山客も途絶え、宿舎の軒につららが下がるようになり、ポンプも使用できなくなった。氷を割りながら炊事を続け、作業を続けて完全に下山したのは10月中旬であった。

幾多の人の協力と、関係の方々のご厚意により、さしもの難工事でも無事に完了することができたわけで、ここに感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 「三菱日本重工技報」 4, No. 2, (昭38)
- (2) 辰沼：慶応義塾大学「体育研究所紀要」 第1巻第1号別刷

電源開発七色発電所 90,000 kVA 水車発電機および配電盤機器

山下喜美雄*・山本潤二*

A 90,000 kVA Water Wheel Generator and Control Gear for Nanairo Power Station of The Electric Power Development Co.

Kōbe Works Kimio YAMASHITA・Junji YAMAMOTO

Following the success in building four large umbrella type water wheel generators rated 105,000 kVA for Tagokura Power Station, Mitsubishi turned another leaf in the history of machine construction. A generator manufactured for use in Nanairo Power Station has the largest machine dimensions, though its capacity is 90,000 kVA which is less than the former. The generator is driven by a Francis turbine rated 87,300 kW built by the Mitsubishi Heavy Industries Ltd. The power station is situated about 10 km north west of Kumano City, Wakayama Prefecture along river Kitakami, being built underground.

1. ま え が き

当社はさきに電源開発田子倉発電所に 105,000 kVA カサ形水車発電機 4 台を納入し、好成績に運転を続けているが、今回この発電機の機械寸法を上回る 90,000 KVA カサ形水車発電機を製作し、工場試験を無事に完了し、目下現地で据付中である。図 1.1 は工場試験中の発電機を示す。

この発電所は、紀伊半島南部、熊野市の北西約 10 km に位置し、北上川水系電源開発の一環として計画開発されたもので、発電所は地下式となっている。

水車は三菱重工業製 87,300 kW フランシス 水車に直結される。



図 1.1 工場試験中の発電機
Fig. 1.1 Generator in the factory test.

2. 発電機の仕様

(1) 定格事項

(a) 主発電機

形 式	立軸 カサ形 回転界磁 全閉内冷形 (空気冷却器付)
出 力	90,000 kVA
電 圧	13,200 V
回 転 数	129 rpm
周 波 数	60 c/s
極 数	56
力 率	90%
はずみ車効果	12,150 t-m ² (保証値)

無拘束速度	240 rpm (保証値)
短絡比	1.0 以上 (")
(b) 主励磁機	
形 式	立軸 開放 保護形 (分巻補極付)
出 力	450 kW
電 圧	330 V
極 数	10
励 磁	分巻 安定 調整界磁付 (磁気増幅器制御)
電 気 ガ バ ナ	電源用永久磁石発電機
0.5 kVA	110 V 60 c/s 極

励磁機上部には、起動停止確認装置が設けてある。

自動電圧調整器には磁気増幅器を使用しているが、電源は 420 c/s の高周波発電機で誘導電動機駆動である。

3. 発電機の構造

当社はさきに 電源開発田子倉発電所に 105,00 kVA, 167 rpm 4 台を納入し好成績に運転を続けているが、今回機械寸法でこれを上回る発電機が完成した。

発電機の大きさを決める kVA/rpm の値は、田子倉の場合 630、七色の場合 700 となり、約 1 割上回ることになる。したがって田子倉の風道外径が 10.5 m に対して、12 m の大きさをもっている当社最大の カサ形水車発電機である。この発電所は、地下発電所であるため、カサ形機を採用することにより、つり上げ高さも低くすることができる。

3.1 固定子

固定子ワフは、鋼材溶接組立式で、輸送の都合で 4 個に分割し、ボルトで組み合わせる。外周 8 個所に空気冷却器を取り付ける。

固定子鉄心には、鉄損の少ない高級ケイ素鋼板を使用し所要の形状に打抜き後、各鋼板間にはウズ電流損を減少させるため、各鋼板両面にワニス焼付けを行なって成層し、鉄心の両端面に非磁性金属製の歯形押えを介して一体に強固に締め付け、長期間運転後の鉄心のゆるみによる振動および騒音を生じないようにしている。

固定子コイルは 1 ターンハーフコイル、二重星形波巻結線、素線には二重ガラス巻平角銅線を用い、ミジ内でローペル転位を行なっている。コイル絶縁はマイカを主体としたもので、マイカテープを全長に連続して巻き、当社の誇る不飽和ポリエステル系のレジンである

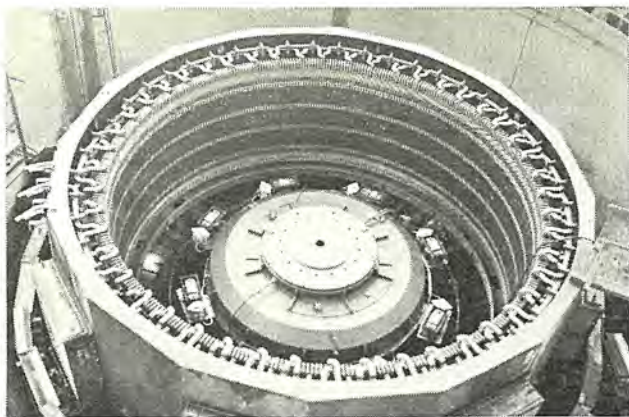


図 3.1 コイルを納めたフレーム
Fig. 3.1 Frame with the stator coils.



図 3.2 回転子のつり込み作業
Fig. 3.2 Lowering of the rotor.

「ダイレジン」の含浸を行なったダイラシック絶縁で、 $\tan \delta$ 特性、絶縁耐力、絶縁抵抗およびコロナ特性などにその優秀性を示した。図 3.1 はコイルを納めた固定子を示す。

3.2 回転子

(a) 主軸

主軸は、タン（鍛）鋼製で上下にフランジを有し、上部は推力軸受の受金を兼ね、その側面は案内軸受の摺動面となっている。

図 3.2 は回転子をつり込み中を示す。

(b) スパイダースおよびリム

スパイダースは鋼板溶接製で 8 本の足を有し、輸送の都合上全部取りはずせるようになっている。

図 3.3 はその外観を示す。

スパイダルムは厚さ 3.2 mm、一周 8 セグメントの扇形片を 1 極ずつずらせながらボスのまわりにリング状に積み上げ、両側からリム端板を介してリーマボルトで 1 体に締め付けている。

図 3.4 はスパイダルムの外観を示す。

スパイダルムとアームの結合は、従来はスパイダルムを加熱膨張させ、リムの内径とアームの間にキーを打ち込み冷却して締付圧力を得ていた。しかしこの方法は、発電機の静止時にスパイダアームに過大の圧力が加わり、このためにのみスパイダアームをとくに強固にする必要があり重量的にも好ましくない。

当社が数年前から実施しているスプリングキーを利用する方法はこれらの欠点を取り除いている。すなわち、図 3.5 に示すごとくスパイダルムの径方向に弾性を有する特殊形状の枝パネを常温で打ち込み、遠心力でスパイダルムが膨張してもスパイダルムとアームの



図 3.3 スパイダの外観
Fig. 3.3 Out line of spider.

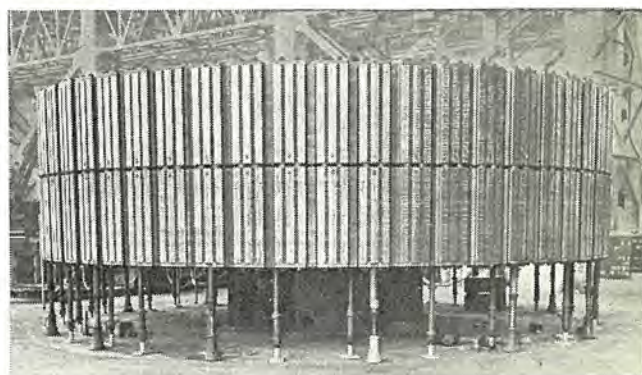


図 3.4 スパイダルム外観
Fig. 3.4 Out line of spider rim.

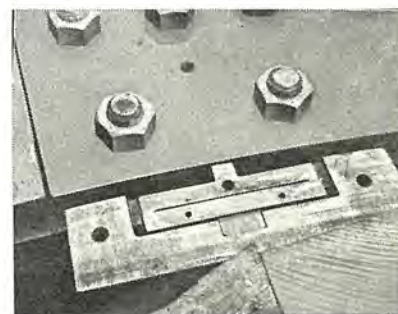


図 3.5 スプリングキー
Fig. 3.5 Spring key.

結合が維持できる構造で、前述したごとくスパイダルムを加熱する必要がないので、据付期間を短縮できるすぐれた方法である。

(c) 磁極および回転子コイル

磁極は磁気特性のよい薄鋼板を所要の形状に打ち抜き、積層して両端に鋳鋼製端板を介してリーマボルトで締め付け一体としてダブテイルおよびキーでリムに取り付けている。

磁極頭部にはダンパーを埋没し、その両端は Z 形断面の短絡片に銀ロー付をし、隣接極同志のこの短絡片を可とう性の銅帯で結合し、連続形ダンパ巻線を形成している。

回転子コイルは裸平角銅線をエッジワイズに曲げ、層間にアスベスト組に耐熱レジンを含浸したものをはさみ、磁極鉄心とはフレキシブルマイカおよびアスベスト布で絶縁を行ない高温高压で成形する。コイル上下面には、ガラス布入マイカルタ製のワッシャをそう入する。コイル下端には枝パネをそう入し、絶縁物の枯れによるユルミを防止している。

(d) 上下ブラケット

上下ブラケットは鋼材溶接構造で、おのおの輸送の都合上 8 本の脚を有し、ボルトで一体に組み立てられる。



図 3.6 上ブラケット
Fig. 3.6 Upper bracket.

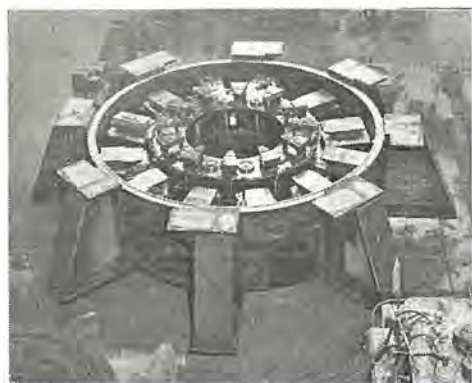


図 3.7 下ブラケット
Fig. 3.7 Lower bracket.

上ブラケットは励磁機固定部を支持し、風胴上面を構成する。

下ブラケット中央部はスラスト軸受油タンクを兼ね、水車および発電機回転部の全荷重を支持する。

下ブラケットの各脚部上面には、空気式制動器および回転子支持用ジャッキを設けている。

図 3.6 および図 3.7 は、おのおの上ブラケットおよび下ブラケットを示す。

(e) スラスト軸受およびガイド軸受

スラスト軸受はキングスベリ形で、当社が大形スラスト軸受に数年来採用して好成績を納めている構造である。すなわち、スラストパッドの支持は、4線支持ビームにより荷重や熱によるパッドの変形を適当な形にするように決定している。パッド下の圧縮管のタワミを油タンクの外部から測定して各パッド間の荷重分担を均一に調整し、同時に軸受荷重の測定もできるようになっている。

ガイド軸受はセグメント式で、各セグメントは1個のピボットにより支持されて自動的に給油調整ができる方式である。

スラスト軸受油タンクからの漏れ油や油霧漏れの防止について、当社が多年苦心のすえ、ここ数年来実施し成功している幾多の考案を折り込んでいる。

(f) 風道その他

風道は8角形コンクリート製で、上面は鋼板製でその裏面に騒音防止のため、石綿ボードを張っている。

空気冷却器はUフィン管を用いた表面冷却形で、総数8個のうち1個故障で取りはずしても定格運転に支障のない容量をもっている。

消火装置として炭酸ガス消火装置が設置してあり、差動継電器およびサーモスタットの動作により、自動的に炭酸ガスを放出して消火を行なう。

発電機風道内、下ブラケット回りには、プラスチックカバー付ケイ光灯を数個所に配置し点検に便利ようにしている。

4. 励磁機

励磁機部分は開放形で、主励磁機上部に集電環を設けた構造でその内部に磁気増幅器用永久磁石発電機を納めた構造である。

電機子スパイダは厚鋼板形曲げ溶接により作られ、この上に電機子鉄心、電機子コイルを収容し、また整流子は整流子スパイダを介して、電機子スパイダに結合され、また整流子上部には、集電環が取り付けられている。すなわち、整流子、集電環などの点検を要する部分は、1個所に集め点検保守に便利な構造としている。磁気増幅器形自動電圧調整装置と組み合わせて、磁気増幅器の小さい出力変化で、励磁機の大きな出力変化を得るために、分巻自動式で、安定界磁と磁気増幅器出力で励磁される制御界磁を設けている。

5. 工場試験

工場で仮組立を行ない種々の試験を行ない下記の結果を得た。

(a) 特性曲線

無負荷飽和曲線および短絡曲線は図 5.1 に示す。

この結果

電圧変動率	定格出力	力率 0.9	19.9%
		力率 1.0	11.4%
	短絡比	1.26	

(b) 効率算定

図 5.2 に発電機出力—効率曲線を示す。

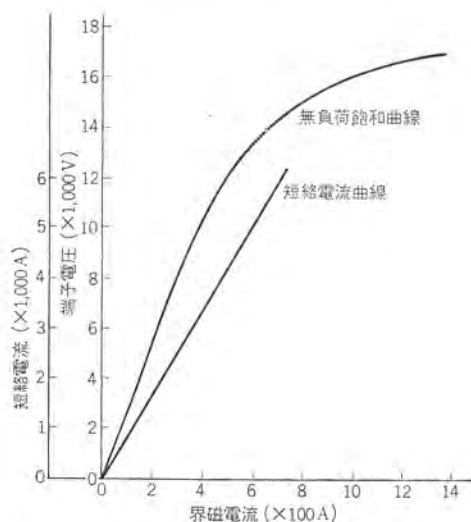


図 5.1 無負荷飽和曲線および三相短絡曲線
Fig. 5.1 No load saturation curve and three phase short circuit curve.

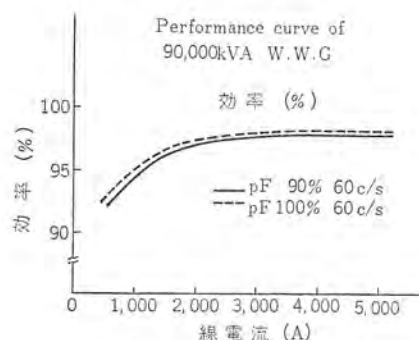


図 5.2 効率曲線
Fig. 5.2 Efficiency curve.

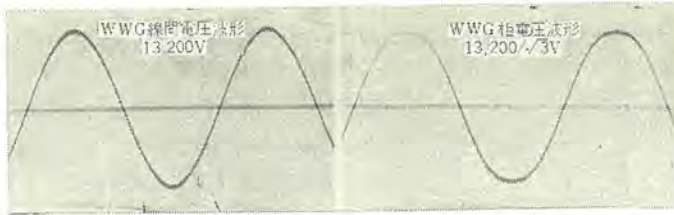


図 5.3 波 形

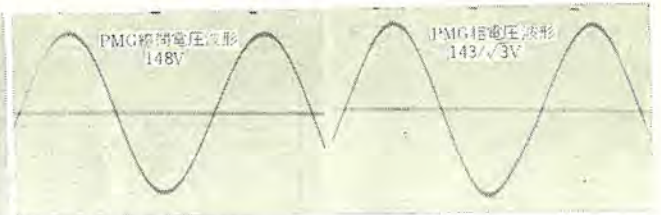


Fig. 5.3 Wave forms.

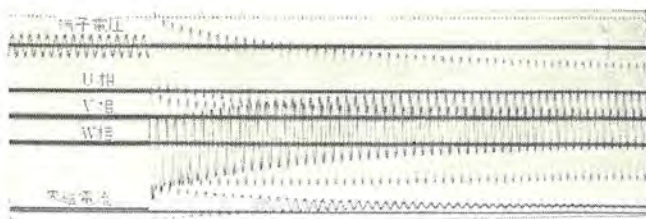


図 5.4 短 路 試 験
Fig. 5.4 Sudden short circuit test.

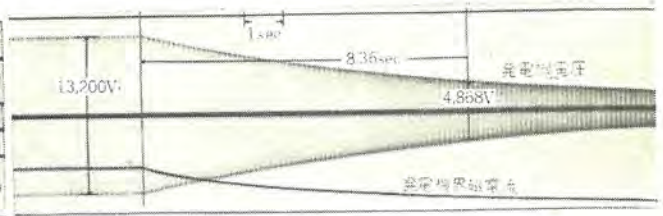


図 5.5 T_{do}' の測定
Fig. 5.5 Measurement of T_{do}' .

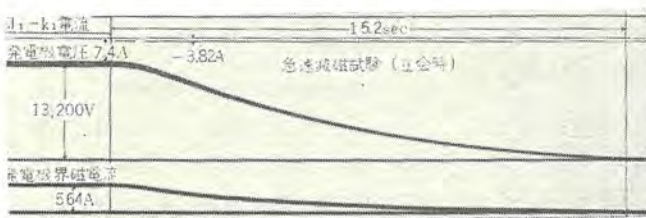


図 5.6 急速減磁試験
Fig. 5.6 Sudden demagnetise test.



図 5.7 励磁系頂上電圧測定
Fig. 5.7 Measurement of the ceiling voltage of the excitation system.



図 5.8 励磁系速度測定
Fig. 5.8 Measurement of quick response test of the excitation system.

定格出力	力率 0.9	97.95%
	力率 1.0	98.15%

(c) リアクタンス および時定数

$x_d = 96.6\%$	$x_d' = 35\%$ (不飽和値)
$x_d'' = 26.9\%$	$x_2 = 27.3\%$
$x_0 = 16.8\%$	
$T_{do}' = 8.4 \text{ sec}$	$T_d' = 2.4 \text{ sec}$
$T_{d0}'' = 0.036 \text{ sec}$	

(d) 等価温度上昇試験

銅損および鉄損による等価温度上昇試験の結果、実負荷 90 MVA における温度上昇推定値は、下記のとおりである。

固定子 コイル	約 61°C	回転子 コイル	約 60°C
スラスト 軸受	46°C	ガイド 軸受	41°C
水 温			18.5°C

(e) 絶縁特性試験

当社の誇るダイラスタック 絶縁の絶縁特性の優秀なのは、周知のとおりであるが、 $\tan \delta$ 特性、商用周波および衝撃波による破壊試験、絶縁抵抗測定および直流吸収試験などの諸絶縁試験を通してその優秀性を確認した。

(f) 軸受冷却水断水試験

軸受冷却水が 15 分間断水した場合の軸受の温度上昇は、約電源開発七色発電所 90,000 kVA 水車発電機および配電盤機器・山下・山本

2.5°C に過ぎなかった。

(g) その他

波形狂い率	線間 1.5%
"	相間 5%

$$GD^2 = 13,169 \text{ t-m}^2$$

なお、励磁機の速応比 2.05 頂上電圧 640 V
電圧上昇率 670 V/sec

6. 回路方式

図 6.1 はこの発電所の単線接続図である。発電機の制御は EL 160 m に建てられた ステーション の配電盤室から行なわれるが、水車発電機および主変圧器などはその約 35 m 地下に設けられている。発電機主回路の シャ 断器、断路器、CT、PT および AVR 用電源変圧器は高圧 メタルクラッドキューピクル に納められ、隣接の主変圧器および所内変圧器に接続されている。地上の開閉所へは OF ケーブル で導びかれ断路器、シャ 断器を通して小森発電所および池原発電所納めの 140 kV 送電線に接続されている。

600 kVA の所内変圧器からは ケーブル で 1 階下の 6 kV メタルクラッドキューピクル に導びかれ、所内動力、電灯用変圧器およびダム線、小森発電所間の連絡配電線に分歧している。

7. 運転制御装置

運転制御方式は通常の一人線御方式で、保護方式は非常停止、急停止、無負荷無励磁運転および軽故障となっている。またこの発電所より小森発電所をマイクロウエー搬送により遠方制御している。

7.1 補機関係

圧油ポンプは常用予備とも 55 kW 電動機各 1 台を設けており、隣接の補機キューピクル に制御装置を納めている。



図 8.1 監視机
Fig. 8.1 Supervisory desk.



図 8.2 主配電盤
Fig. 8.2 Main switch board.



図 8.3 保護継電器盤
Fig. 8.3 Protection relay panel.

8. 配電盤

主配電盤室に置かれる配電盤を図 8.1～8.5 に示すが、これらは工場組立中の写真につき一部の器具は未取付の状態となっている。盤の据付配置は、まず監視机 (図 8.1) の正面にペンチボード形主盤 (図 8.2) を置き、その後方に垂直自立形両面盤 (図 8.3, 8.4) を置いて継電器類を取り付けている。また主盤の左手の方に垂直自立片面盤 (図 8.5) を置き、動力、電灯用 NF ブレーカと諸記録計、積算電力計を取り付けている。

図 8.2 の主盤は左より所内・水位盤、発電盤、送電盤および小



図 8.4 自動制御盤
Fig. 8.4 Automatic control panel.



図 8.5 補助盤
Fig. 8.5 Auxiliary panel.

森発電所の遠方制御盤となっており、七色、小森両発電所のダム水位はともにデジタル表示を行なっている。(写真では未取付となっている部分) 運転表示器は主盤に設けているが、故障表示器はランプ式として監視机に設けている。

図 8.4 の自動制御 (I) 同期盤にはトランジスタ化によって非常に小形となった自動セン (揃) 速同期装置 (写真では未取付の部分) を採用しているので、従来必要であった自動同期盤 1 面は不要となった。

9. むすび

以上発電機、運転制御装置の概要について記したが、最大の特長は主機が低速大容量であることで、このため過去の大容量発電機製作経験に基づき最も安定した設計製作を行なった。とくに調速機、励磁装置などは、過去多くの好実績を有するいわば標準的なものの中でも最も高等なものを採用している。

終わりにのぞみ、ご指導ご尽力を賜った電源開発株式会社の各位に厚く感謝の意を表する次第である。

(昭 40-1-12 受付)

三菱重工業神戸研究所流体力学研究課の新設研究設備

富永守之*・弘中和夫**

New Hydrodynamics Laboratory at the Kōbe Shipyard and Engine Works

Mitsubishi Heavy Industries Ltd. MoriYuki TOMINAGA・Kazuo HIRONAKA

The Hydrodynamics Laboratory of Mitsubishi Heavy Industries Kobe Technical Institute has been making a great contribution to the development of various machines and the study of hydrodynamics since 1939, but to cope with ever changing situations, construction of new research installations was set about in 1960, completing it in the year before last covering test equipment of water turbines and pumps, high speed aerodynamics experimental arrangements in the combination of ultra and supersonic wind tunnels, air turbines, all sorts of blowers and compressors housed in new buildings.

In the planning and building of the new facilities, Mitsubishi Electric participated from the beginning to perfect the installations so as to make them the pride of the organization.

1. ま え が き

三菱重工業神戸研究所流体力学研究課は昭和16年に水車の試験設備を建設して発足以来、神戸造船所が製作している水車、ポンプ、タービン、ボイラ、内燃機関、送風機などの開発、流体力学的研究に多大の貢献をしてきたが、最近における日本経済の急速な成長と技術革新の時代に対応して、製品の品質向上、新機種の開発を目的とし、単に国内のみならず海外への飛躍的發展をはかるため、昭和35年以来新研究設備の建設を行ない人員を増強してきた。これらの新設備も昭和37年にはほとんど完成し、昭和38年には全設備が実働して拡充計画を完了し、着々その成果をあげつつある。

今回完成した設備は、4階建研究室1むね(棟)と、水車、ポンプの実験設備3組、超音速風洞、遷音速翼列風洞、空気タービン、各種型式送風機、圧縮機を組み合わせた高速空気力学研究設備およびこれらを設置した実験室3むねである。

これらの新実験設備の計画、建設に際しては、当社の技術の総力を結集し、また計画頭初から三菱電機株式会社の全面的協力をうけて、あらゆる面で画期的試みを採用して、その設計、製作にあたっては多大の苦心が払われた。すなわち新試験設備の建設そのものが、新機種の開発研究業務となった感があった。こうして建設された新設備は、当社技術の粋を集めたかいあって全設備と

も計画を上回る高性能、高精度研究設備となり、世界に誇りうるものであると自負しているものである。

ここに上記新鋭設備の概要をとりまとめて紹介したい。

2. 新設備の概要

2.1 一般設備

新研究室は鉄筋コンクリート4階建延坪2,300 m^2 で空調調和装置を完備したものである。この建家の後方に水力部門および空力部門の実験設備を設置した軒高21m、幅15m、長さ55mの大実験室、さらに220 m^2 の高圧ポンプ実験室、騒音防止、音響関係の研究を行なうための暗騒音室、冷却塔などが配置されている。また実験設備の電力機器が大形大容量機器であるため、全受電容量4,000kVAの変電設備も新設された。

2.2 水力部門研究設備

今回新設した水力部門研究設備は次の3設備である。

高落差水車試験装置

低落差水車試験装置

高温高圧循環ポンプ試験装置

水車の研究設備は流体力学研究課の発足以来、逐次増設改良されてきたが、近年水車の単機容量の増大、大形化ならびに揚水発電所用ポンプ水車の実用化が急速に進展し、模型試験の重要性が一段と増加してきたためと海外への水力発電機器の輸出の増大を



図 1.1 研究所 (新館)
Fig. 1.1 Hydrodynamics laboratory.

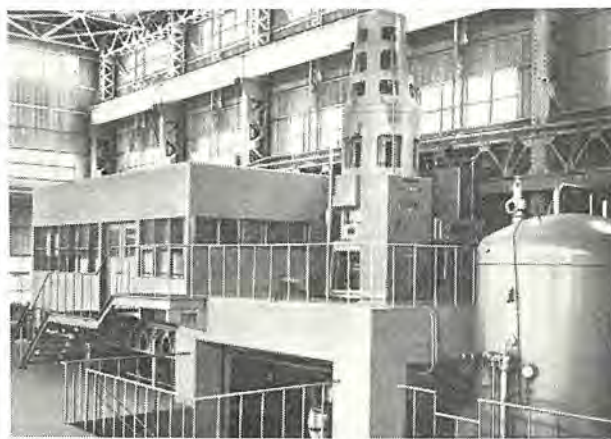


図 2.1 高落差水車試験装置
Fig. 2.1 High head model water turbine testing plant.

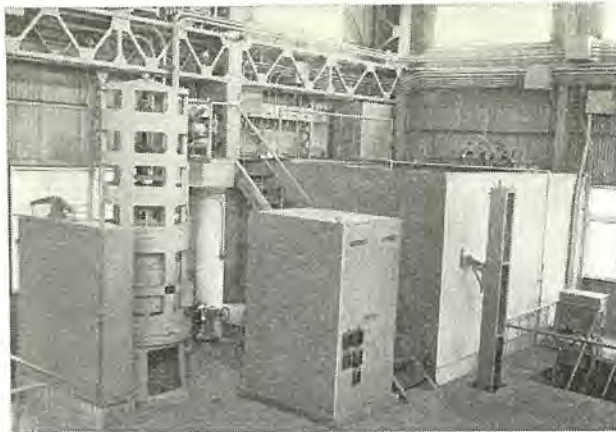


図 2.2 低落差水車試験装置
Fig. 2.2 Low head model water turbine testing plant.

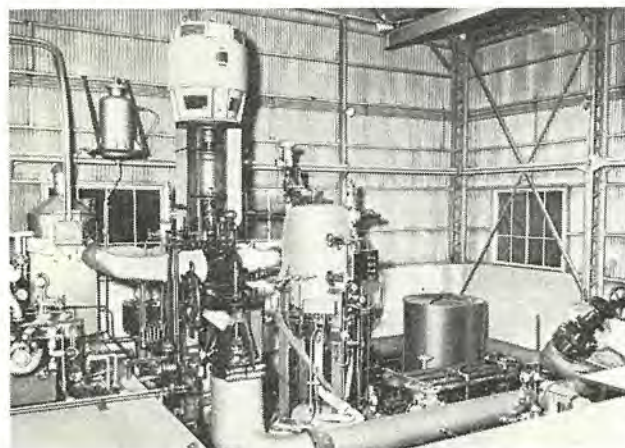


図 2.3 高温高压循環 ポンプ 試験装置
Fig. 2.3 Boiler circulating pump test rig.

はかるため、今回さらに新鋭大容量試験設備 2 種を建設した。図 2.1, 2.2 に試験装置の写真を示す。これらの内容については別項に詳細記述する。図 2.3 は高温高压循環 ポンプ 試験装置を示す。近年火力発電所用 ボイラは年を追って大形化し、ボイラウォータを強制循環する形式が多くなってきた。このため高压・高温下で使用する ポンプ の開発、試験が必要である。当所ではすでにこの高温高压循環 ポンプ の開発を終わり、この装置で実機の耐久テストを施行した。また原子炉冷却水循環用 ポンプ、キャンドモータポンプなどの高温高压下での性能試験ならびに耐久試験を行なう試験回路でもある。この装置は総ステンレス製で使用最高圧力は 175 kg/cm^2 、最高温度 350°C で圧力調整装置、温度調節装置を備えた試験回路であり主回路の配管内径は 256 mm 、温度上昇は水流自身の摩擦損失を利用するものである。

2.3 空力部門研究設備

水力部門と同様、昭和 16 年以来、風洞、送風機、圧縮機などの実験設備を増強して神戸造船所のほとんど全機種に関係した流体力学的研究と開発を行なってきたが、近年の回転流体機械の高速化に対処して、さらに一段の飛躍を行なうべく次のような多目的高速空気力学試験装置を新設した。

この装置は空気源として、 $1,300 \text{ kW}$ 9 段全静翼可変ピッチ 軸流圧縮機、 $1,300 \text{ kW}$ 単段遠心圧縮機、 370 kW 遷音速軸流圧縮機を使用している高速空気力学の総合的試験装置で、圧縮機 3 台はいずれも神戸造船所が新たに開発設計したものである。この装置は圧縮機そのものの性能構造の研究はもちろん、これらの圧縮機を空気源として空気タービン、内燃機関用過給機の試験、あるいは最

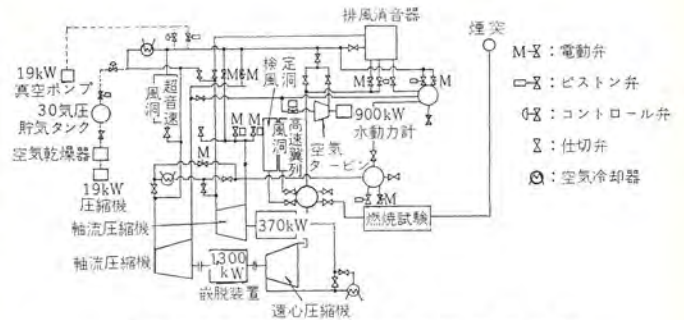


図 2.4 高速空気力学試験装置系統図
Fig. 2.4 Diagram of high speed aerodynamics test rig.

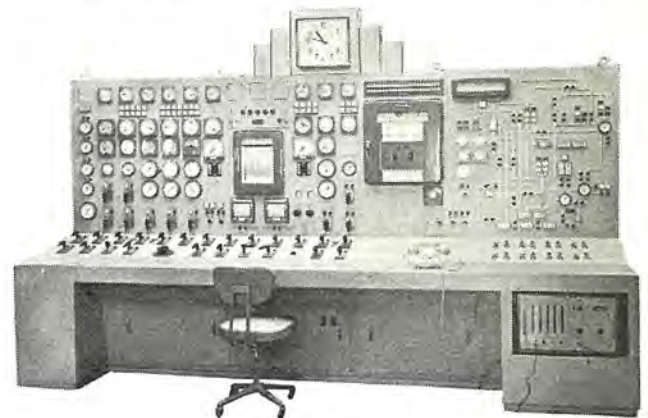


図 2.5 高速空気力学試験装置中央制御盤
Fig. 2.5 Central control board for high speed aerodynamics test rig.



図 2.6 超音速風洞および遷音速翼列風洞操作盤
Fig. 2.6 Control board for supersonic and transonic wind tunnel.

大マッハ数 4.5 の超音速風洞、マッハ数 1.2 の遷音速翼列風洞および付属設備の 30 気圧貯気そう、圧力タンクなどによる各種の高速空気力学的研究を実施することができ、圧縮機、送風機、タービンなどのターボ機械の品質向上、新製品の開発など各種の試験、研究を実施している。全設備の接続系統図を図 2.4 に示す。これらの各装置はすべて中央制御室から操作され、主要計測値も制御室に表示、記録されるようになっている。

以下に主要機器の要目を示す。

(1) $1,300 \text{ kW}$ 軸流圧縮機

形 式	全静翼可変ピッチ式
回 転 数	12,000 rpm
圧 力 比	5.0 (最高 6.1)
流 量	$735 \text{ m}^3/\text{min}$

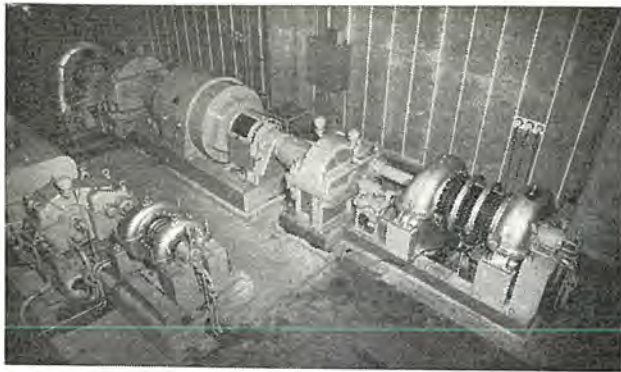


図 2.7 空気源装置 (1,300 kW 軸流圧縮機, 1,300 kW 遠心圧縮機 370 kW 遷音速軸流圧縮機)
Fig. 2.7 Compressors.

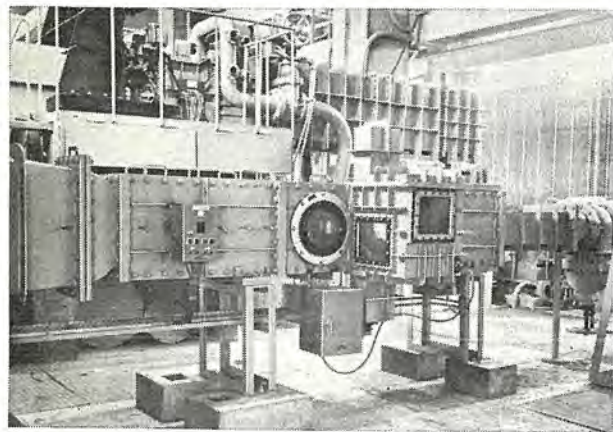


図 2.8 超音速風洞
Fig. 2.8 Supersonic wind tunnel.

(2) 1,300 kW 単段遠心圧縮機

形 式	可変案内羽根式
回 転 数	13,300 rpm
圧 力 比	2.9
流 量	490 m ³ /min

(3) 370 kW 遷音速軸流圧縮機

回 転 数	21,000 rpm
圧 力 比	3.0
流 量	270 m ³ /min
段 数	4 段

(4) 空気タービン

空気源最高圧力比	12
タービン入口空気圧	1.0 ata
タービン出口空気流量	730 m ³ /min

(5) 遷音速翼列風洞

翼 枚 数	7~13 枚
翼 幅	90 mm
翼 弦 長	30 mm
翼列出口空気速度	410 m/s ($M=1.2$)
最高レイノルズ数	7.5×10^5
最大風量	8 m ³ /s
最高圧力比	2.9
光学干渉計	マッハワエンダー 装置一式

(6) 超音速風洞 (連続式)

測定部寸法	250×250 mm
最高マッハ数	4.5

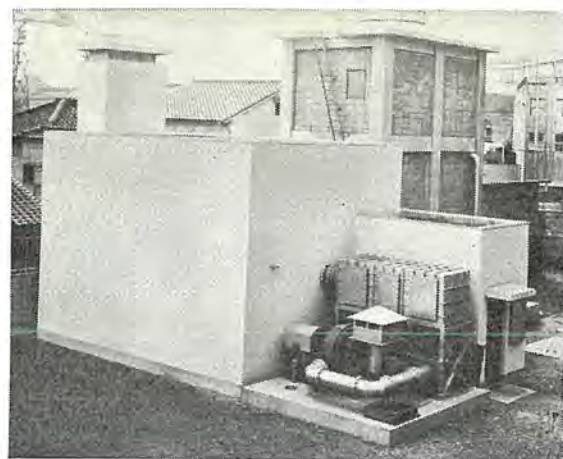


図 2.9 騒音研究室
Fig. 2.9 Anechoic testing room.



図 2.10 燃焼試験装置
Fig. 2.10 Combustion testing plant.

集合胴圧力	1.0 ata
	$M < 3.7$ では 2.0 ata
光学干渉計	シュリーレン 装置一式

(7) 整流風洞

きわめて乱れの少ない風洞で物体まわりの気流の測定、観察に使用する。

測定部寸法	600×600 mm
最高風速	42 m/s
最低風速	1 m/s

以上のほかに、ターボ機械の高速化に伴う騒音防止の研究を行なうため、とくに外部の音と断絶した暗騒音室を設け、機器および通風管の騒音発生機構の解明ならびに騒音防止法に関する研究を実施している。

さらに近年の火力発電所の大容量・高温高圧化に対応し、ボイラの流体力学的・熱力学的研究ならびに運転・制御に関する開発研究を行なうため、明石地区に亜臨界圧域貫流式 テストボイラ および燃焼実験装置を建設した。

3. 高落差水車試験装置

最近の水車発電機はその単機容量を飛躍的に増大し、数年前までは数万 kW のものが大容量発電機とされていたが、現在では

10 万 kW 以上が普通となり、20 万 kW をこえるものもかなり製作されるようになってきた。一方、大容量火力発電所の建設が進められるに従い、電力経済の上から揚水式発電所の建設が急激に増加しつつある。このような状況に対応して、水車、ポンプ水車の研究設備は、より高精度、広範囲の試験能力を有するものが必要となり、国内水車メーカーでは、それぞれ試験設備の大容量化、高精度化を目標として新設、改造が行なわれているようである。三菱重工神戸造船所においても数年前から画期的な、水車ならびにポンプ水車の模型試験設備の計画、建設を進めてきたが昭和 37 年初めこれを完成し、すでに公式立会試験、各種研究試験に使用され、その威力を発揮しつつある。以下にその概要を紹介する。

3.1 試験設備に要求された条件

水車ならびにポンプ水車の模型試験には、通常性能試験とキャピテーション試験といわれている 2 種類の試験がある。これらは要求される試験落差、試験方法、精度などの違いから同一水車に対し模型を大小二つを製作し、別々の試験装置で行なうのが普通である。すなわち、性能試験では模型と実物の幾何学的相似性を重視して、直径 500 mm 程度の大形模型を製作し、試験落差数 m で行なわれた。一方キャピテーション試験は、キャピテーション係数を小さくして試験をするため、落差を大きくする必要があり通常 30 m 以上、したがって試験設備の経済性から模型直径を 200 mm 程度にした試験が行なわれてきた。しかし実物水車が大型化してきたことによる模型比の増加は、試験精度、模型精度の向上をひっす化し、現地キャピテーション係数における水車性能を掌握する必要が生じ、加えてポンプ水車の出現が水車模型試験設備の容量、構造に大きな変革をもたらさざるをえないことになった。したがってこの設備の計画にあたって、次のような条件を満足させることを目標とした。

- (1) 同一模型、同一試験設備で性能試験・キャピテーション試験を行なうこと。
- (2) ポンプ水車の試験が行なえること
- (3) 模型水車の製作が容易で精度がよい寸法とすること
- (4) 実物水車と同じキャピテーション係数のもとで性能試験が行なえること
- (5) 試験落差はできるだけ実物水車に近いこと
- (6) 試験精度は 0.1% 以上を目標とすること
- (7) 試験装置の制御は中央 1 人制御方式とすること

3.2 試験装置の仕様

高落差水車試験装置のおもな要目を次に示す。

試験落差	30~100 m
流量	1,350 l/s
動力計出力	750 kW (水車発電機として) 500 kW (ポンプ電動機として)
回転数	300~2,250 rpm (低速領域) 715~5,360 rpm (高速領域)
吸出し落差	-7 m ~ +30 m
最小キャピテーション係数	0.03
模型直径	350~500 mm

(1) 模型直径の選定

模型の直径は大きいほど模型製作費が高額となるということはいまでもないが製作精度がよいかという点必ずしもそうではない。模型の製作は主要な部分が手仕事になるから、おのずから適当な大きさがきまってくる。これまでの経験からこの大きさは最

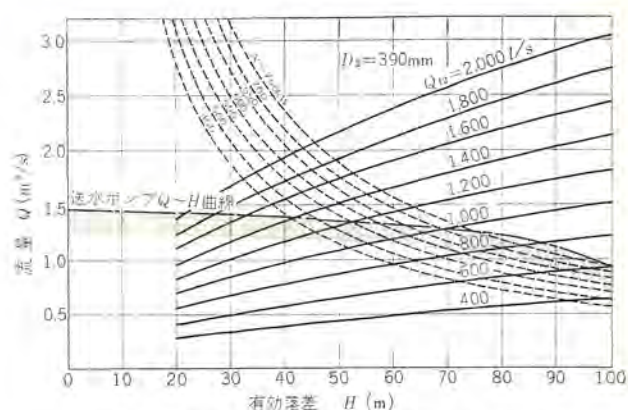


図 3.1 高落差水車試験装置 試験可能範囲
($Q_{12} = Q/D_2^2 \sqrt{H}$)

Fig. 3.1 Testing capacity range of high head model water turbine testing plant.

大 700 mm 程度、最小 200 mm 程度の直径である。このような点を十分検討したうえ、模型直径は 400 mm を標準として計画した。もちろん水車といってもカラン水車、フランシス水車、デルタ水車など型式も異なり、 n_s の大小によりそれぞれ直径も異なってくるが、これらの各型式について十分検討をし模型直径、設備容量を決定した。

(2) 試験設備の容量

試験落差を選ぶにあたって、まず実物落差が 60 m までのものは実落差で試験が行なえることを前提とし、最高試験落差は 100 m ときめてポンプ容量、動力計容量を決定した。すなわち図 3.1 に模型水車出口径を 390 mm にした場合の落差、流量、出力曲線を示す。この図で出力 750 kW の線とポンプ流量曲線で制限される範囲が試験可能範囲である。パラメータ Q_{12} の大きさは水車の n_s によってほぼきまってくる。 $Q_{12}=2,000$ は 4 枚羽根カラン水車に相当し、落差 10 m 前後で使われる水車であり、 $Q_{12}=1,000$ という 8 枚羽根カラン水車、または $n_s=200$ (m-kW) 程度のフランシス水車、デルタ水車がこれに相当する。 $Q_{12}=400$ は $n_s=80$ 程度のフランシス水車で、300 m 程度の高落差に使用されるものである。

ポンプ水車としての試験範囲は大体相対対応する形状のフランシス水車と同程度であるが、この装置では主として動力計出力で制限される。すなわち動力計およびこれと連係している電動発電機の容量から動力計軸出力 500 kW が最大能力となっている。しかし後に詳細記述するが、この動力計の回転数範囲がきわめて広いので模型直径の選択により、試験揚程、流量を模型の n_s に最も適合したものにするのが可能であり単一試験装置としては、その能力は既存設備の数倍に達するものである。

3.3 試験装置の構成

この試験装置の配置を図 3.2 に示す。実験室地下は貯水そうになっており約 1,200 m³ の水がたくわえられている。この水を直列につないだ 2 台の送水ポンプで最高 120 m に加圧し圧力タンクを経て模型水車部に送水する。最大揚水量は 1,350 l/s であるが、配管換えにより並列使用して 2,700 l/s にすることもできる。模型水車吸出管は真空タンクにつながっており、タンク内の圧力を真空ポンプ、空気圧縮機により -7 m から +30 m まで調整することにより、試験時のキャピテーション係数を任意の値にすることができる。真空タンクを出た水は直接プールへもどるか、絶対シロウ量装置により流量を測定してプールへ返される。

模型水車が発生した出力は直流電気動力計により計測され、発生電力は電動発電機を経て送電線に返還されるワードレオードシステムをとっている。これらの各機器および補機類はすべて操作室から制御され、また主要計測装置は全自動式計測装置にして操作室

内の計測盤にデジタル表示し自動印刷を行なう方式となっている。図 3.3 にこの装置の制御系統図を示す。

3.4 動力計の計画

この装置を計画するにあたって、最も問題となったのは水車出力を測定する動力計であった。すなわち模型水車はその大きさ形式が一つ一つ異なり、しかも全特性を求める必要上、回転数、出力など運転状態の変化が激しく単一仕様の発電機、電動機とは比較にならぬ広範囲の能力を必要とした。しかも総合測定精度を 0.1% 以上にしなければならないというきわめて困難な要求があるため動力計の最大測定能力に対しては 0.05% 以上の精度にしなければならない。これらの条件を満たす動力計を見い出すために数年の研究努力が払われた。

(1) 動力計の型式

出力測定の方法には簡単なラビノーブレーキのような摩擦動力計をはじめとし、交流過電流動力計、水動力計、ストレメータによるトルク計、直流電気動力計など数多くのものがあるが、この装置ではポンプの試験も行なわねばならないから吸収式動力計は、まず除外された。そして大容量であることおよび運転制御の面から電気式にすることは必然的に決まったが、直流式か交流式か、

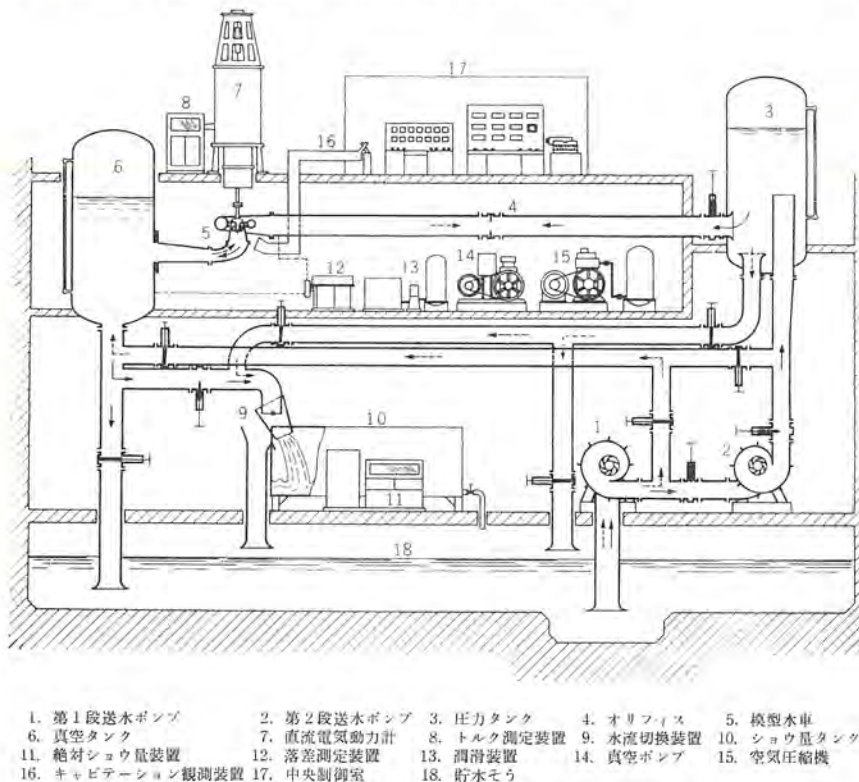


図 3.2 高落差水車試験装置 配置図

Fig. 3.2 Schematic diagram of high head water turbine testing plant.

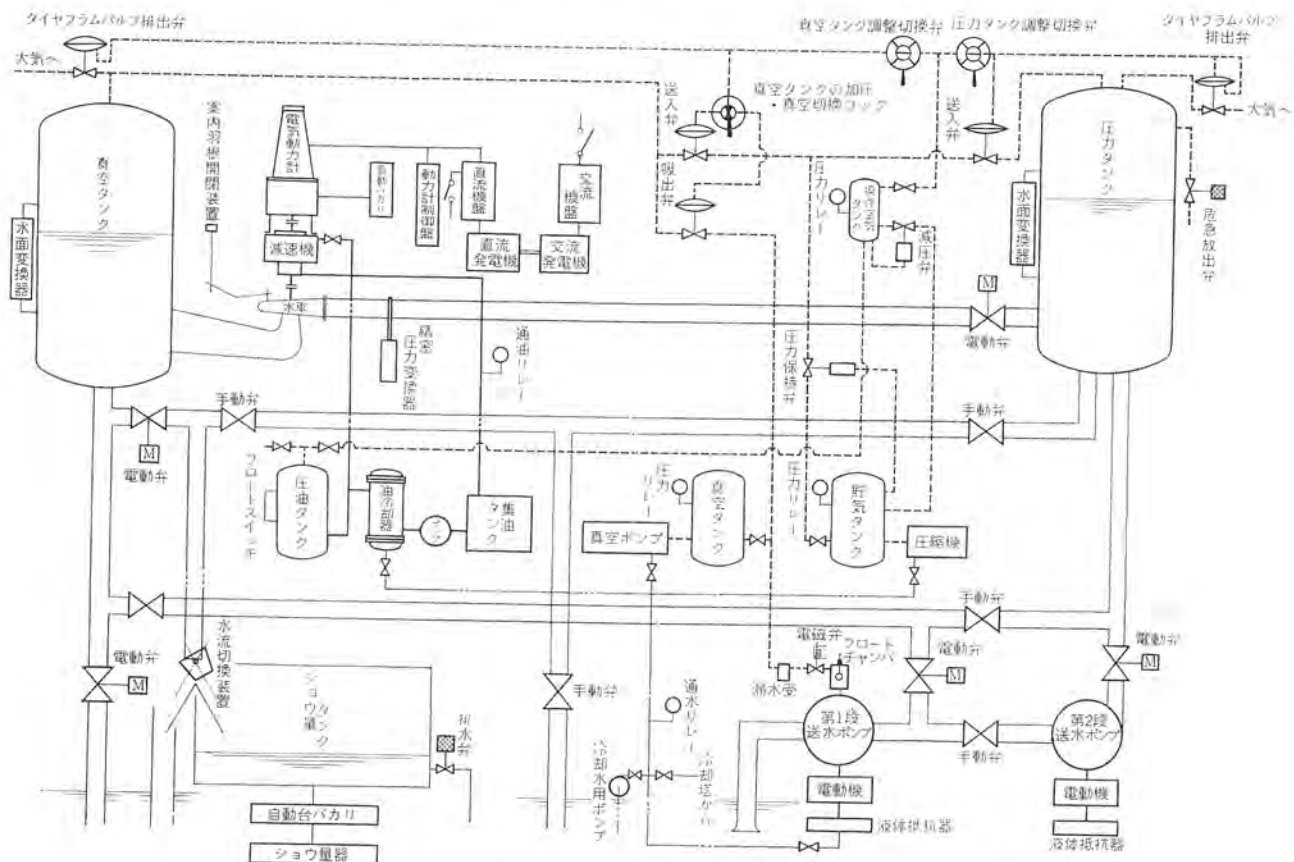


図 3.3 高落差水車試験装置 制御系統図

Fig. 3.3 Control diagram of high head water turbine testing plant.

または ストレンメータ 方式によるトルク計を使用するかが問題になった。ストレンメータを使用することは精度の上から除外され、直流式か交流式かについてその測定可能範囲、制御方式の検討が行なわれた。

電気式動力計といえば普通直流動力計を意味するほど、直流式は速度制御面から便利でありよく使われている。当然、われわれは初めは直流動力計を使うものとして計画したが、実際面の検討を行なってみると、次のような点で大きな困難が生じてきた。

(a) 測定速度範囲があまりに大きすぎる。すなわち模型水車の種類が多く、無拘束速度まで試験をするため、最低 300 rpm から最高 6,000 rpm 以上で、しかも、900 rpm から 4,500 rpm の間は 750 kW の容量をもたねばならない。通常電気的に容量一定で速度の調整可能な範囲は2倍程度であるのに、この動力計は実に5倍の調整範囲を要求された。

(b) 容量に比べて最高速度が高すぎる。直流動力計では整流子の整流可能範囲から容量に対して最高速度が制限される。

(a) の問題点に対しては、ちょうど水車には回転数の高いフランシス水車と回転数の低いフランシス水車とに分けて試験することができるので、速度範囲の異なる2台の動力計を用意することが考えられた。この場合、低速回転用動力計は比較的容易に製作できるが、高速回転用動力計は、(b) の問題点から容量 750 kW では製作不可能であり容量をおとさねばならない。一方 (b) の問題点を解決するには回転数の上で製作可能な容量のもの2台をクシ形につなぐ方式があるが、回転数の範囲が小さく、また測定精度を向上させる方法を考えるとき、かなり問題が多い。こうした直流機に対する検討を行なう一方交流式についても研究した。交流式では整流子をもたないので最高回転数の制約は比較的問題にならないが、速度制御方式に問題が多く、いずれも構造的にも、経済的にも採用に二の足を踏ませるものであった。

こうした困難を解決するために考えたのが、直流電気動力計に減速歯車を組み込むことであった。すなわち減速歯車で水車の回転数を電気動力計の最も製作容易な回転数まで下げてやること、およびその減速比をかえることにより動力計の測定可能回転数範囲を拡大することができる。こうして電気機械に対する問題点は一挙に解決したが、今度はこの減速歯車の成否に問題が移った訳である。

(2) 動力計用減速歯車

減速歯車を模型と電気動力計の間にそう入した場合に生ずる問題点は次のようなものであった。

電気動力計は軸入力または軸出力を測定することができるが、歯車装置はかなり大きい損失を生ずるのが普通であるから、上のような場合、水車出力から歯車の損失馬力をひき去ったものが測定されることになり、歯車の損失馬力をあとから補正するようでは何にもならない。いま水車の出力トルクを T_i 、電気動力計の入力トルクを T_g とすると、トルクの釣合い関係から、ギヤケースおよび電気動力計 ステータに生ずる反トルク T_B 、 T_D の間に、次の関係がなりたつ。(図 3.4 参照)

$$T_D = -T_g$$

$$T_i = -(T_g - T_B) = -(T_g + T_D)$$

すなわち、ギヤケースに生ずるトルクと電気動力計のステータに生ずるトルクを合わせて測定すれば、水車の出力トルクがわかる。そしてこの関係は各軸の回転数に無関係である。ただしトルクの中心は同一である必要がある。このことから減速歯車には遊星歯

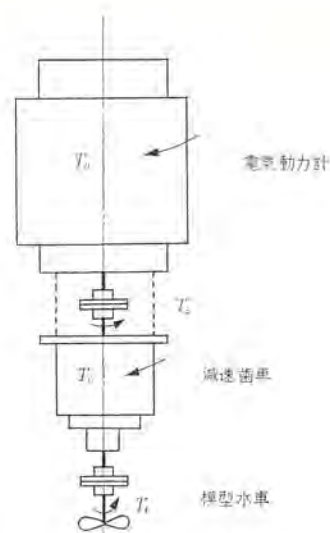


図 3.4 動力計に生ずるトルク
Fig. 3.4 Torque in dynamometer.

車装置を採用し、そのケーシングは動力計の可動ステータと一体に接続する構造とした。

次に速度比を切り換えるのは原理的には問題ないが、実際問題としては構造上、強度上かなりの苦心を払い、ギヤケース内のギヤカップリングの着脱により、遊星歯車を使用する場合と、水車軸と動力計軸を直結する二段切換にした。

歯車装置で問題になるのは振動であるが、歯車には歯のカミ合い誤差、工作精度の制約から騒音、振動が必ず生ずるといって過言ではない。しかも別稿に述べるように、この装置ではケーシングは全然固定することができず、宙つりの状態で使用されることになるので、振動を皆無にすることは至難であると予想された。かといって、この計画を放棄することは全試験装置の計画放棄を意味することになる。そこで振動については設計、製作、試運転の間に細心の注意を払って具体的に検討することにし、この案で動力計を製作することに踏み切った。

(3) 動力計の製作

上記のような検討を経て最終的に動力計の測定範囲および仕様が決まった。

形 式	遊星歯車組込立形直流電気動力計
容 量	750 kW
電 圧	440 V
電 流	1,530 A
無負荷最高回転数	2,700 rpm

電気機械部分の製作は三菱電機神戸製作所が担当し、歯車装置は大阪製鋼造機株式会社溝口歯車工場が担当した。

(4) 動力計の測定精度

動力計のステータに生ずるトルクは精密自動テンピンで計測される。このテンピンはきわめて高精度のものが比較的容易に得られるから、動力計の測定精度を高めるには動力計本体に生ずる各種の誤差を極力減らす必要がある。そこで次に示すような各項目について、それぞれ特殊な工夫がなされた。

a. 模型水車の機械損失

動力計は原理上動力計軸入力に測定される。したがってこの軸入力が水車出力と一致するようにこの装置では、水車軸に設けたベアリングは動力計ステータに接続された腕によりささえられる構造とした。またかりに動力計と縁の切れたベアリングを設けたときは

動力計により損失馬力を測定しうる構造となっている。

b. 動力計の風損

動力計の回転子が空気に与えるトルクは、風の流出口に案内羽根を設け、流出方向を軸方向上方に排出するようにして残留トルクがないようにした。

c. 動力計の不感トルク

動力計の精度を良くするには、動力計の可動ステータの微小回転に対する摩擦トルク、抵抗トルクを減らす必要がある。このため、外部の固定部へつながるリードはすべてフレキシブルにし、十分ゆとりをもたせてある。またベアリングへの給油はすべてフレキシブルチューブを使用し、流入方向は軸心に向うように取り付け、内圧によりフレキシブルチューブが不必要なトルクを発生しないよう注意した。

排油管は垂直下向きにし、いったん大気へ油を放出し、その下に集油箱を設けて排出するようにした。

動力計の不感トルクを発生する原因はスラストベアリングにある。すなわちこの動力計の回転部重量、および揺動部重量は遊星歯車装置、水車回転部をふくめて 15 ton に達する。これを普通のスラストベアリングでうけたとしたら、動摩擦係数 0.0015 を使用したとしても 22.5 kg の摩擦力が働く。実際はこのベアリングはほとんど回転しないから静止摩擦と考えられ、その大きさは驚くべきものである。さらにその摩擦係数も振動その他の影響をうけて不安定であり、そのため測定トルクにバラツキが生ずる原因となる。この問題を解決する方法として、ダブルベアリング方式、油圧により動力計を浮かせて測定する方式などがあるが、この動力計のような大形なものには構造複雑でしかもそれほど精度の向上が期待できない。そこでこの動力計では可動部を 1 枚の板パネでつり下げる方式を採用した。このような大形動力計を板パネつりした例はどこにも見られないが、この方法をとることにより完全に不感トルクをなくすることができた。

しかし動力計の高さが大となり、運転中に生ずるスラストの変化による板パネの伸び、および動力計本体部の温度変化による長さの変化が模型水車のランギヤッチを変化させるので、水車軸部に設けられた軸位置検出装置により伸びを検出して、板パネつり装置上部に設けたつり上げ装置により動力計本体を上下させ、常に水車ランギヤッチを一定に保つようにしてある。

またさきに述べたごとく、動力計下部に設けた歯車の振動を考えたと板パネつりには大きな不安があったが、振動はその原因を除くことが第一であり、振動を外部から押えるのは最も劣悪な手段であると考え、思い切って採用したわけである。

このように板パネつりにしたことは結局成功し、しかもつり板の上にスラストメータを取り付けることにより、常時水圧推力の測定を行なうことができ、水車、ポンプの試験においてランギヤッチを任意に調整できるという利点まで生んだことになった。

3.5 計測装置

計測装置の詳細な内容、構造については本誌に紹介されているから参照されたい。

試験装置の完成後行なわれた各計器の較正試験の結果、各機器はすべて所定の精度を十分上回っていることが確められた。したがって試験誤差はデジタル表示の最少目盛が決定することになる。各測定項目の精度は

有効落差 100 m に対し	0.05/100
水車出力は最大トルク 900 kg に対し	0.1 /900
流量に対して	2.5 /9,000

回転数 2,000 rpm に対して

0.1 /2,000

したがって総合誤差は

$$f_T = \sqrt{\left(\frac{0.05}{100}\right)^2 + \left(\frac{0.011}{100}\right)^2 + \left(\frac{0.027}{100}\right)^2 + \left(\frac{0.005}{100}\right)^2}$$
$$= \frac{0.056}{100} = 0.056\%$$

となる。したがって、落差、流量などが試験装置の能力の半分以下であっても、また模型水車の運転条件が部分負荷であっても 0.1 % の測定精度が十分に得られることがわかる。

このような高精度の試験を行なうことができるのは、主として動力計の精度を向上し得たこと、および流量測定に絶対ジョウ量法を採用したことによる。

3.6 高落差水車試験装置の能力および特長

前述のごとくこの装置の構成機器にはそれぞれ多大の苦心が払われたものであるが、総合的に次のような能力と特長を有している。

(1) すべての反動水車の性能試験、キャピテーション試験を同一模型で行ないうる。

(2) 最高試験落差は 100 m であり、現地と同じキャピテーション係数で性能試験を行ないうる。

(3) ポンプ水車の試験を行なうことができ、単に正常ポンプ運転領域、正常水車運転領域のみならず制動域、逆転ポンプ域を含む全特性の試験が行なえる。

(4) 模型直径は 350 mm 以上 500 mm 程度の大形模型を使用し、最大出力 750 kW、最大流量 1,350 l/s という大容量設備である。

(5) 流量測定には絶対ジョウ量法を採用して試験結果の信頼性を高め、総合試験精度が 0.1% 以下という高精度計測を行なえる。

(6) 運転は中央制御方式とし、測定はすべて自動計測を行ない制御室にデジタル表示した後、自動記録を行なう。

この設備は完成後、パキスタン、マングラ発電所模型水車の立会試験をはじめ、すでに数箇所公式試験、研究試験に使用され、立会者をはじめ内外の人々の好評を博してその威力を発揮しており、われわれもさらにこの設備の有効な活用をはかって水車、ポンプの新機種開発、性能向上に貢献したいと考えている。

4. 低落差水車性能試験装置

当社が昭和 16 年に建設した水車性能試験装置は 100 に余る模型試験に使用されて、その研究開発に多大の貢献をしてきたが、設置後すでに 20 年以上を経て、必ずしも現在の進歩した時代に適合しない面も出てきたため、ここで研究してきた模型をそのまま使用して試験を行なうことができ、また現在の設計技術の要求にも沿うことのできる設備としてこの装置を計画した。したがって設備そのものとしては、高落差水車試験装置のように画期的なものではないが、直径 600 mm という大形模型を比較的高い落差で高精度の試験を行なえる近代的設備である。

4.1 試験装置の仕様

低落差水車試験装置の主要項目は次のようなものである。

試験落差	3~7 m
流量	2,000 l/s
測定最大出力	60 kW
回転数	100~1,200 rpm
模型直径	600 mm

図 4.1 はこの試験装置による試験可能範囲を示す。図中 Q_{12} の値は模型の基準径 600 mm に対するものであるが、供試模型 n_s の大小により直径を適宜選定して最も精度よく試験を行なうようにする。

4.2 試験装置の構成

試験装置の配置図を図 4.2 に示す。送水ポンプは当所が設計試作した立形軸可動羽根デリアポンプであり総揚程 13 m、流量 $2 \text{ m}^3/\text{s}$ の性能をもつ。上水そうと放水路水そうは水門によって落差を調整し、きわめて安定した自由表面を得ることができる。模型水車は上水そう側からつり込み、水車室内に据え付けられ、試験中は水中に没する開キヨ(渠)式試験装置である。この方式は水車のケーシングを比較的薄い鉄板で製作することができ、また水漏れを安全に防ぐ必要がないから模型の製作、据え付けが容易な利点をもつ。

また水車の入口弁や、入口ベンドを付した性能試験も容易に行

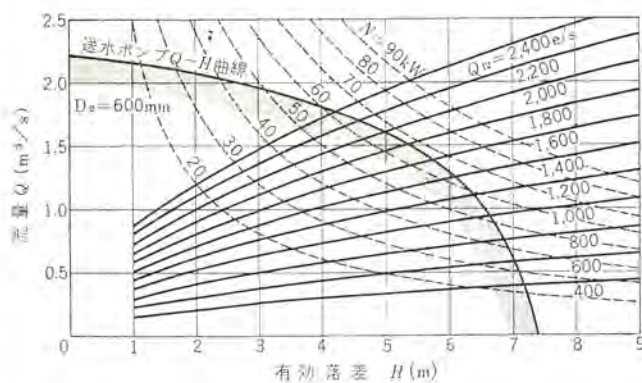


図 4.1 低落差水車試験装置計測可能範囲

$$Q_{12} = Q/D_s^2 \sqrt{H}$$

Fig. 4.1 Testitng capacity range of low head mode water turbine testing plant.

なえる。動力計は立形直流電気動力計で、高落差水車試験装置同様板パネつり方式を採用し、測定精度をあげている。流量測定は 2.5 m 幅の四角セキ(堰)であるが水路の仕上げに際しては、壁面および底面の垂直、水平および完全な平面を得るため、機械加工トキダシによる人造大理石を敷きつめきわめて精度の高いセキ(堰)をつくった。このセキは絶対シヨウ量装置と組み合わせて検定することができる。各機器は制御室の操作盤で制御され、計測装置も電子管式自動追随装置による全自動精密計器で、計測盤からの指令により、所定のプログラムに従って各計測を行ない、この結果を計測盤にデジタル表示し、印刷、作表を行なう。

4.3 試験装置の総合精度

この装置の試験中の水位の安定、動力計の回転数、出力の安定はきわめてよく、振動もまったくない。各計器の誤差はデジタル表示の最少目盛以下であるから、測定精度はデジタル表示の最少目盛が決定する。各測定項目の精度は

有効落差 5 m に対して $1/5,000$

水車出力は最大トルク 200 kg に対して $0.1/200$

流量測定はセキを使用しているが、絶対シヨウ量装置により検定しているから、その信頼性は単に実験公式を使用しているものよりずっと高い。そこでこのセキの誤差を絶対シヨウ量装置の誤差とセキ水位計の誤差の二乗平均誤差とすれば

セキ水位 400 mm に対して $\sqrt{\left(\frac{0.2}{400}\right)^2 + \left(\frac{2.5}{9,000}\right)^2}$

回転数 600 rpm に対し $0.1/608$

したがって総合精度は

$$f_T = \sqrt{\left(\frac{0.02}{100}\right)^2 + \left(\frac{0.05}{100}\right)^2 + \left(\frac{0.05}{100}\right)^2 + \left(\frac{0.027}{100}\right)^2 + \left(\frac{0.016}{100}\right)^2} = 0.075/100 = 0.075\%$$

となり、0.1% の測定精度をもつ高精度試験装置である。

4.4 試験装置の能力および特長

この装置は当所がこれまで使用してきた模型をそのまま使用し

て試験ができることが前提であるが、そのほか次のような能力および特長を有している。

(1) 円筒形水車を含むすべての反動水車の性能試験を行なうことができる。

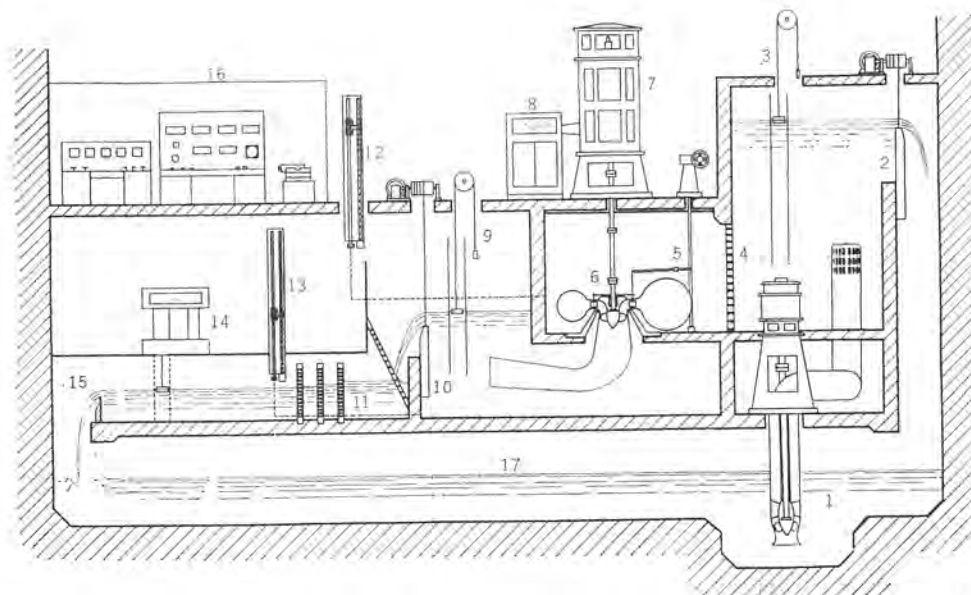
(2) 送水ポンプに可動翼デリアポンプを使用し、最高試験落差 7 m、最大流量 $2 \text{ m}^3/\text{s}$ という大形水車模型を試験することができる。

(3) 動力計は板パネつりにした直流電気動力計で、不惑トルクのない高精度動力計である。

(4) セキは絶対シヨウ量装置で検定することができ、総合測定精度は 0.1% 以上という高精度試験装置である。

(5) 性能試験中のあらゆる点で水圧推力を測定することができる。

(6) ケーシングの大きさ、形状などにほとんど制約がなく、



- | | | | |
|------------------|-------------|------------|--------------|
| 1. 可動羽根デリア形送水ポンプ | 2. 上水そう調整水門 | 3. フロートゲージ | 4. 整流板 |
| 5. 案内羽根閉装置 | 6. 模型水車 | 7. 直流電気動力計 | 8. トルク測定装置 |
| 9. フロートゲージ | 10. 放水路調整水門 | 11. 整流装置 | 12. 入口落差測定装置 |
| 13. 出口落差測定装置 | 14. セキ水位計 | 15. セキ(堰) | 16. 中央制御室 |
| 17. 貯水そう | | | |

図 4.2 低落差水車試験装置配置図

Fig. 4.2 Schematic diagram of low head model water turbine testing plant.

あらゆる種類の水車試験が容易に行なえる。

(7) 運転は中央制御方式とし、測定はすべて自動計測、自動記録を行ない、能率の向上をはかっている。

5. む す び

三菱重工業株式会社は日本における重機械工業のにない手として常に研究開発を怠らず、この世界の進歩に貢献してきたが、自由化の年にあたり、世界の三菱たるべくなおいっそうの研究開発に努力を傾注する所存である。ここに最近完成した新流体力学研

究設備を紹介したが、これらと同時に、研究所全般に多額の設備投資を行ないその質の向上をはかるとともに、絶えず設備の改善、増強を行ないつつあり、このような技術底辺の拡大は必ずや他日の飛躍、発展を約束するものと信ずる。

終わりに、この設備の建設に絶大なるご協力をいただいた三菱電機株式会社の関係者の方々に厚くお礼申し上げるとともに、りっぱに完成したこれら設備の今後の活動に期待していただきたいと思う。

最近登録された当社の実用新案

名 称	登 録 日	登 録 番 号	発 明 考 案 者	関 係 場 所
2 灯用の放電灯用安定器	39- 7- 9	742707	山下源一郎・松島 勇作	大 船
電気発熱体	39- 7- 9	742710	萩原孝久・近藤正司	群 馬
トースタ	39- 7- 9	742716	加藤義明	群 馬
電気掃除機	39- 7- 9	742719	武井久夫・加藤 悟	群 馬
電気掃除機の集じん量表示装置	39- 7- 9	742720	武井久夫・加藤 悟	群 馬
電気掃除機の開閉ツタ	39- 7- 9	742721	武井久夫・加藤 悟	群 馬
ポケット形電気掃除機	39- 7- 9	742722	武井久夫・加藤 悟	群 馬
ポケット形電気掃除機	39- 7- 9	742723	武井久夫・加藤 悟	群 馬
オルゴールの自動停止装置	39- 7-30	744243	山崎 肇・岩沢 清	大 船
磁気選別機	39- 7-30	744244	柳下儀兵衛・村木恒雄	大 船
広帯域可変選択器	39- 9- 4	746254	田原清一・山崎明彦	無 線 機
半導体装置のシステム	35- 9- 4	746255	大久保利美・樋野貞義	中央研究所
"	39- 9- 4	746256	八十田尚治・平子征佳	中央研究所
電場発光装置	39- 9- 4	746257	伊吹順章	中央研究所
光電感光体用受光装置	39- 9- 4	746259	武田克己	福 山・大 船
工場格納箱	39- 9- 4	746261	神信昭仁	福 岡
半導体装置	39- 9- 4	746262	土屋鍊平	北 伊 丹
鉄 心	39- 9- 4	746263	清水英範	伊 丹
端子接続片	39- 9- 4	746264	立石俊夫	神 戸
可変電圧直流電源装置	39- 9- 4	746265	細野 勇	伊 丹
機関着火用断続器	39- 9- 4	746266	荒川利弘	姫 路
電圧調整装置	39- 9- 4	746269	平田 毅・荒金堅次郎	姫 路
充電用発電機用電圧調整装置	39- 9- 4	746275	平田 毅	姫 路
トースターのパン上下装置	39- 9- 4	746258	小原英一・高沢正二	商品研究所
殺菌容器	39- 9- 4	746260	{河合登・高島秀二 田中民雄	大 船
無接点温度調節装置	39- 9- 4	746267	武藤 正・中山哲夫	商品研究所
石油ストーブの燃熱筒における湯こぼれ受け装置	39- 9- 4	746268	{中村富家・宮崎昭信 益子喜雄	群 馬
ロースター用焼物挟持装置	39- 9- 4	746270	加藤義明・岡上 廉	群 馬
石油ストーブの安全装置	39- 9- 4	746271	根岸宣匡	群 馬
床磨機のハンドル固定装置	39- 9- 4	746274	服部信道・森田清司	群 馬
蒸気アイロンの蒸気導出装置	39- 9- 7	746618	野畑昭夫	群 馬
2 灯用の放電灯用安定器の鉄心	39- 9- 7	746619	松島 勇作	大 船
ソケット支持装置	39- 9- 7	746622	{祖父江常雄・桜井信捷 梅山忠利	群 馬
ソケット支持装置	39- 9- 7	746623	祖父江常雄・馬淵公作	群 馬
放電灯用安定器取付装置	39- 9- 7	746624	岡田恒宏	大 船
吸盤付 コンセント	39- 9- 7	746625	内田武士	群 馬
ミシンの布押え金	39- 9-22	748037	松尾寿久	和 歌 山

高落差模型水車試験用 750 kW 直流電気動力計

生 原 春 夫*

A 750 kW DC Dynamometer for Use in the Test of High Head Model Water Turbines

Kōbe Works Haruo HAIBARA

The rocking yoke of a vertical DC dynamometer has been suspended with a roller bearing or a static pressure bearing operating on air or oil. But the both bearing are not reliable nor recommendable; the former with a drawback in the accuracy and the latter with cumbersome maintenance. A 750 kW DC dynamometer built by our works and delivered to the Hydrodynamic Research Section of Mitsubishi Heavy Industries. Kōbe Laboratory for use in the test on high head model water turbines. This dynamometer has a unique feature of using leaf springs for the supporting device of the rocking yoke. This is an epochal device and possessed of very high accuracy such as having the error torque of less than 1/1000 of rating torque. More over, coupled with a planetary gear transmission at its bottom, this dynamometer has a very wide range of measurement, which is made automatically and recorded with a data logger.

1. ま え が き

最近、内燃機関、ガスタービン、水力機械、油圧機器などのめざましい進歩に伴い、これら回転機の動力測定用として、高精度大容量の動力計が要求されるようになった。従来、この種の動力測定には、ベルト動力計、ギヤ動力計、電気式機械式ネジリ動力計などの伝達式動力計や、水制動動力計、各種の摩擦動力計、電気動力計などの吸収式動力計が使用されていたが、なかでも電気動力計が操作が容易で、測定精度が比較的高く、しかも高能率の計測を行なうことができるため広く使用されるに至った。

この電気動力計は大別して、直流式、交流式、渦流式などに分類されるが、直流式は交流式、渦流式に比べて、きわめて広い速度範囲の計測が可能で、電動機運転、発電機運転、逆転が簡単な操作で行なえること、大容量のものが製作可能なこと、回生負荷により経済的に、しかも高精度で計測できることなどの理由により、複雑な測定を行なう場合は直流式電気動力計がもっぱら用いられている。

三菱電機では長い直流機の製作技術と、すぐれた動力計に対する経験をかし、過去に幾多の大容量高精度の直流電気動力計を製作しているが、今回、三菱重工業神戸研究所、流体工学研究課高落差模型水車試験用として、動力計揺動部支持方式に新方式を採用した画期的な高精度の立形直流電気動力計を製作、満足すべき結果が得られたのでその概要を述べる。

2. 動力計の仕様および定格

動力計の仕様決定に至るいきさつについては、前掲、三菱重工業株式会社 神戸研究所 流体工学研究課の新設研究設備 3.4 節に詳細説明がなされているため省略するが、説明の都合上おもな仕様および定格を記載すると次のとおりである。

2.1 仕 様

- (1) 形 式 遊星歯車組込立形直流電気動力計
- (2) 容 量 発電機運転時吸收入力 750 kW 以上
(出力 690 kW 以上)
電動機運転時、出力 635 kW 以上

- (3) 使用速度範囲 吸収運転を主体として下記のとおり

	直結時	増速時
定 トルク 範囲	0~900 rpm	0~2,150 rpm
定 出力 範囲	900~1,800 rpm	2,150~4,300 rpm
出力可変範囲	1,800~2,250 rpm	4,300~5,400 rpm

- (4) 定 格 1 時間定格。ただし界磁は連続定格。

(5) スラスト 荷重 揺動部軸受荷重としては自重のほかに、水車部分で発生する 8,000 kg のスラスト 荷重を見込むこと。

(6) 測定誤差・誤差トルクは、シヨウ(秤)量装置(検出部、指示部)の誤差も含め、最大トルク(810 kg-m)の 1/1,000 (0.81 kg-m) 以下であること。

(7) トルクの表示・デジタル表示とし、データロガーにより記録する方式とすること。

(8) 付属機器、水車に発生するハイドロリックスラストが計測できるものであること。

(9) 増速比 2.385 の遊星歯車式増速機を誤差の出ない方式で、動力計に組込むこと。

などであった。

このうち、遊星歯車式増速機は神戸研究所流体研究課で計画、大阪製鎖に別途発注され完成品として支給された。

また、水車の発生するスラスト 荷重の計測は、動力計最上部に抵抗ヒズミバカリ形ロードセルによるものとし、容量 20,000 kg のものを新興通信に発注取り付け付けた。

計測装置については、大和製衡、島津製作所および当社無線機製作所が担当製作されたが、この装置の詳細については本誌「水車性能試験設備用計測装置」の論文を参照願いたい。

ここに掲げられた仕様は、電氣的、機械的にきわめてきびしい仕様で、これらの諸条件を満足し計測、保守点検が容易で長年月精度の低下がなく、安全に使用できるものとするため、3 章以下に述べるような検討がなされ、動力計としては次の定格のものが製作された。

2.2 定 格

- (1) 出 力 発電機運転 吸收入力 750 kW
(発電機出力 690 kW)

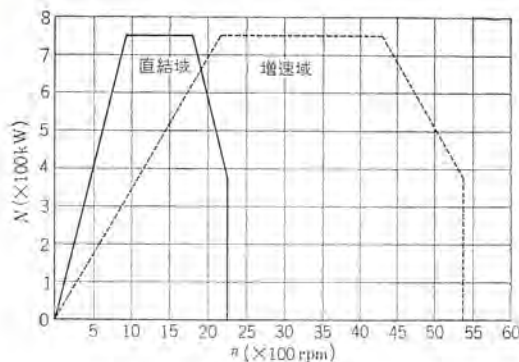


図 2.1 動力計計測範囲
Fig. 2.1 Measuring range of dynamometer.

電動機運転 出力 635 kW

- (2) 電 圧 440 V
- (3) 電 流 1,570 A
- (4) 回転数 電圧制御範囲 0~900 rpm (0~2,150 rpm), 界磁制御範囲 900~1,800 rpm (750 kW)~2,250 rpm (350 kW) 2,150 rpm (750 kW)~5,400 rpm (350 kW) () 内は増速時
- (5) 定 格 1 時間定格, ただし界磁は連続定格
- (6) 極 数 6 極
- (7) 励 磁 他励, 補償巻線付
- (8) 形 式 開放保護立形, 通風方式自然通風
- (9) 軸 受 玉軸受, 潤滑は強制注油方式
- (10) 揺動部支持方式 板パネ支持
- (11) 絶 縁 B 種
- (12) 完成重量 全備重量 (付属品いっさいを含み) 11,255 kg

図 2.1 に動力計の計測範囲を示す。

3. 直流電気動力計における誤差

直流電気動力計における誤差について詳細に記載された文献は少なく, 理解されにくいと思われるため, 本論に入る前にだそくではあるが基本的な誤差について述べる。ここでいう誤差とは, 軸に出入する実際のトルクと表示されたトルクの差であって, 電動機運転と発電機運転とは, やや異なった状況を呈する, 誤差は動力計本体およびトルクアームから先のシヨウ量装置から導入されるが, このうちシヨウ量装置の誤差はハカリ自身の構造によって異なる。その値はスプリングを使用したパネパカリ式で 0.5~1%, 振子式自動パカリで 0.2~0.5% が普通であるが, テンピン式の特長構造を採用すれば 0.1~0.01% 程度のものも製作することは, さほど困難なことではなく, あらかじめ, その仕様合った方式が選定されていれば, あまり問題とならない。

これに対して動力計本体で生ずる誤差は複雑で, 普通の構造のものでは 0.5% 以下とすることは比較的困難であり, とくに高速度のものになるほど風損による誤差が大きく表われる傾向がある。以下この誤差について述べると次のとおりである。

3.1 軸中心よりトルクアーム着力点までの距離の測定誤差

動力計のトルクは, 図 3.1 に示すように, シヨウ量装置で計られた力 F とトルクアームの長さ L の積で表わされる。したがって, 長さ L の測定に誤差があれば当然 トルク の誤差となって表われる。一般にトルクアームは揺動部の継鉄に取り付けられる関係上, 軸中心

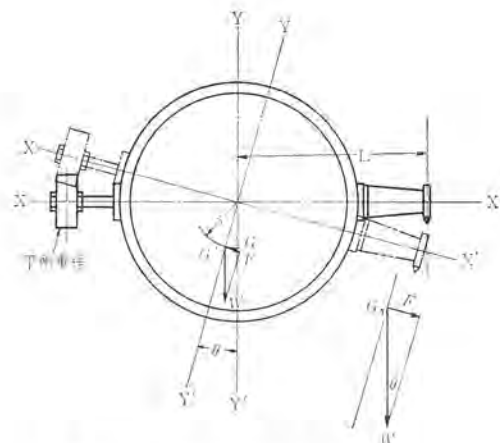


図 3.1 復元モーメントによる誤差
Fig. 3.1 Error torque of return moment.

は架空のものであり, 着力点までの距離を直接測定することはできない。この距離は一般に, 揺動継鉄の外形または内径を測定して 1/2 とし, これにトルクアーム取付部およびトルクアームの長さを加えて L としているが, この部分で導入される誤差は指定値に対して 1/5,000 以下であり, とくに高精度のものでない限り問題とならない。

3.2 動力計揺動部の重心位置のズレによる誤差

揺動部の重心位置が軸中心からズレているときは, トルクアーム着力点の移動にともなって復元モーメントが作用するためこの復元モーメントの値が誤差となって導入される。一般に図 3.1 に示す $Y-Y'$ 軸に対する不平衡は, 揺動部に取り付けられた平衡重錘またはシヨウ量装置の調整部で調整されるが, $X-X'$ 軸の不平衡は動力計本体以外では除くことができない。いま, 重心位置が $Y-Y'$ 軸上の軸中心 O から r cm 下った位置 G にあるとき, 負荷によってトルクアームの着力点位置が θ° 回転したとすれば, このときの復元モーメントによる誤差トルク T は $T=rF=rW \sin \theta$ となる。シヨウ量装置の構造によって, 着力点の移動量が大きいときは, 揺動部のバランスを完全にとらぬと大きな誤差となるが, 移動距離が小さければ, $X-X'$ 軸に不平衡があっても無視できる。

3.3 電力授受用ケーブル, 潤滑油配管などのタワミによる誤差

小容量の動力計の場合には, 揺動部に出入する電流も小さくタワミ性の良い細い導体を反抗トルクを生じないよう配線することによって処理することができ, 軸受も強制給油の必要がないためあまり大きな誤差とならない。動力計の容量増加とともに, 電流も増加し, 軸受も強制給油の必要に迫られ, ケーブル, 配管などの数も増加するため, これらのタワミによって反抗トルクを生じ誤差となる。この種の誤差は次の処置が講じられる。

- (1) 設計にあたり可能な範囲で電圧を上げ電流容量を減ずる。
- (2) 給油, 高圧給油によらず, できれば重力式給油とし固定部と直接接続を避ける。排油管についても同様の構造とする。
- (3) 配線, 配管類はタワミ性のよいものを選び, 口出はできるだけ軸中心に近い位置とし固定区間を長くする。
- (4) 大容量の電流の場合には水銀端子を使用する。
- (5) 給油ポンプを揺動部にマウントする。

以上の処置により, この種の誤差は十分小さな値とすることができ, (4) の水銀端子の使用にあたっては, 水銀蒸気の発生しないよう注意する必要がある。

3.4 電機子風損による誤差

動力計を自己通風、または他力通風などの冷却方式とした場合、その入口、出口における風は必ずある方向性を持つ。風がある回転方向の力を持って吸入および排出が行なわれたとすれば、揺動部は当然この反力を受け、比較的大きな誤差を生ずる。この対策として、回転力を持った風の吸入、排出がないよう、出入口を軸方向に設け、さらに整流板によって整流するなど種々の考案がなされているが、完全に除くことはむずかしく、電機子周速の増加とともに、回転数の指数関数で表わされるような増加を示す。この誤差を防止するためには、電機子周速を小さくするためにできるだけ電機子、整流子径を下げ、その表面をなめらかに仕上げるとともに、計測時冷却空気をシャ断することによって、かなり小さくすることができる。

ここで注意すべきことは、風損による誤差は、前述および後述の誤差と異なり、これらが、電動機運転、発電機運転ともに、実際のトルクよりも、指示トルクが小さくなるよう作用するのに対して、風損による誤差は、

(1) 発電機運転では真のトルクよりも風損による誤差の分だけ小さな値が示される。

(2) 電動機運転では逆に、真のトルクよりも風損による誤差の分だけ大きな値が指示される。

3.5 揺動部軸受による誤差

揺動部軸受は一般の軸受のように、連続回転せず、低摩擦で揺動部を保持することが目的とされるため、静止摩擦係数または臨界摩擦係数の小さなものが選定使用される。このため一般には、玉軸受、ころ軸受などのころがり軸受で静負荷容量の大きなものが好んで採用されるが、大容量のもので高精度が要求されるときは、空気、油などを使用した静圧軸受が使用される。玉軸受、ころ軸受の臨界摩擦係数は比較的大きく、その加工、取付、潤滑などの条件が最良の状態においても $1/1,000$ 以下とすることは困難とされており、軸受と動摩擦領域に導くために、二重軸受として電動機によりたえず運転させるなど種々の方式が考案されているが、ブリーネル圧痕防止には役だつとしても摩擦係数の著しい低下はない。

これに対し静圧軸受の摩擦係数は、軸受の回転速度の関数として表わされるため、速度0の場合は理論上摩擦係数は0に近く、揺動部軸受としては理想的なものであって、 10×10^{-5} という驚異的な報告もなされている。しかし、製作がむずかしく、温度、粘度の変化の影響を受けやすく、漏れのない工作が困難であり、系統を安定に保つための油圧機器の保守も複雑で、制限された場所における使用はかなりむずかしい問題が含まれている。

揺動部軸受による誤差は、摩擦係数を低下させない限り、確実に誤差として導入されるため、軸受の選定には十分注意する必要がある。

4. 構造

4.1 電気的設計

この動力計の名板上での定格は $750 \text{ kW } 900/1,800 \text{ rpm}$ であるが図 2.1 に示すとおり、 $2,250 \text{ rpm}$ で 350 kW 、さらに無負荷ではあるが $2,500 \text{ rpm}$ まで使用されるため、機械的にきびしい制約を受けた。直流機における製作可能範囲は、出力×回転数で表わされる数値が電機子コイルに多重巻線を使用しないとき 1.8×10^6 、多重巻線を使用した場合 3.0×10^6 といわれており、この機の場合、無負荷 $2,500 \text{ rpm}$ を考慮に入れると多重巻線を採用しない限り設計不能の範囲に近い。事実、電機子周速を 100 m/s 、整流子周速を

60 m/s 程度に押え、二重重ね巻として設計すると、整流子片間電圧がきわめて高くなり、これを低く押えようと電機子の電気装荷が大きくなりすぎ、リアクタンス電圧の上昇、電機子の過熱などふぐあとなった。検討の結果、電機子巻線は非対称二重重ね巻とし、整流子工作上許容しうる最高電圧の限度 440 V を選定した。この結果、電機子電流がやや大きくなったが、ケーブルによって導入される誤差につき検討した結果問題とするに足らぬ値であった。また非対称二重重ね巻の場合、しばしば見受けられる整流子のブラックパー防止と整流状態改善の目的から Trappen 巻線を採用するとともに、広範囲の速度範囲で発生する磁気共振を防止するために

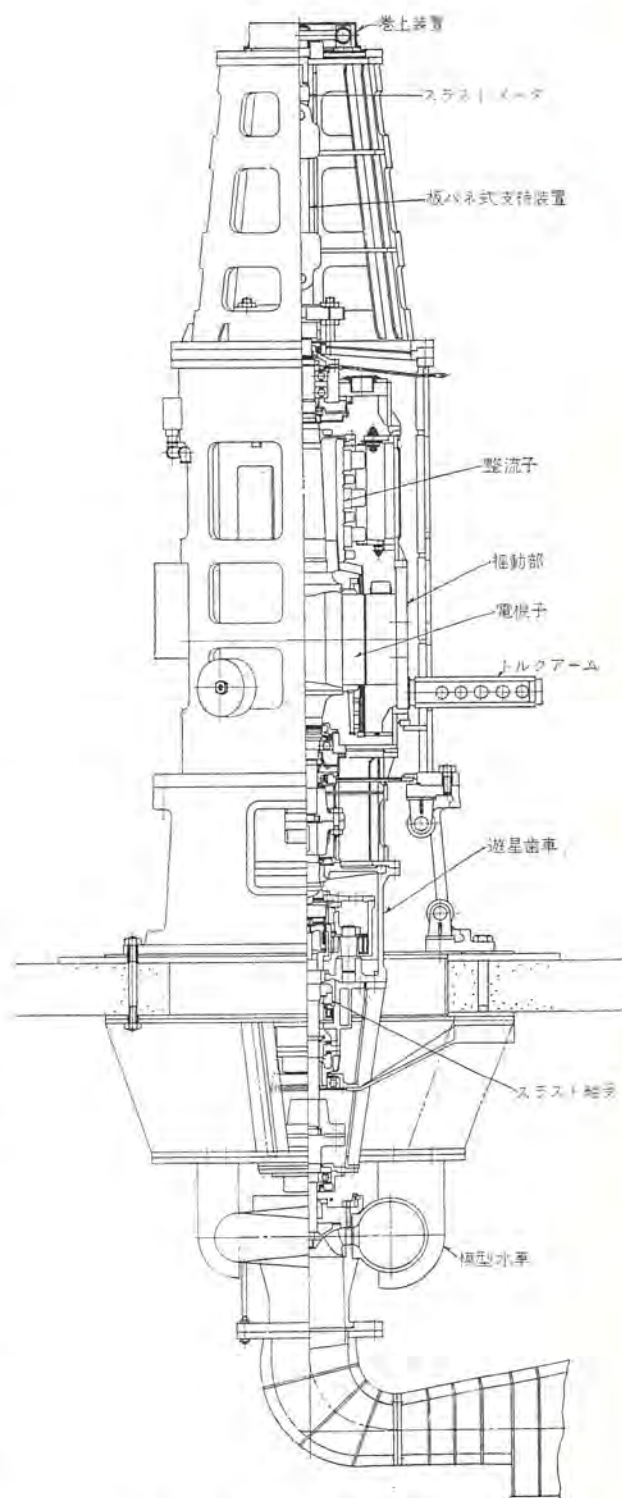


図 4.1 動力計組立断面図
Fig. 4.1 Vertical section of electric dynamometer.

電機子は1スロットの斜溝(溝)を施した。

以上が電気的設計上一般機とやや異なる点であるが、直流機自体の設計としては苦しいながらも幾多の設計例があり、試験結果も好調で、とくに問題とする点はなかった。

4.2 機械的設計上の諸問題

上記のように、機械的な強度から制約を受けた結果、電機子、整流子とも細長い機械となり、これに加えて水車から受ける巨大なスラスト荷重、下部につり下げた増速ギヤ装置などの影響によって機械的にはきわめて苦しい設計となった。設計を進めるにあたり与えられた条件すなわち過速度 2,700 rpm の遠心力、8,000 kg のつり下荷重、さらに 8,000 kg のスラスト荷重、これらによる軸方向の伸びの問題、0.4 kg-m 以下の誤差トルク(動力計本体のみによる許容誤差トルクは全許容誤差トルクの 1/2 と仮定して設計を行なった)など、山積する難問に対し検討が進められ、図 4.1 に見られるような設計を完了するまでにかなり長い期間が費やされた。

電機子は電気的設計から、軸受間隔 1,850 mm、電機子重量 2,250 kg、過速度 2,700 rpm、危険速度 3,000 rpm 以上としてまず軸の設計がなされた。この結果、軸の最大径は 400 φ、粗材長 3,000 mm に及ぶ強大な軸となった。また、ギヤ装置太陽歯車への給油を動力計上部から軸を通して行なう必要が生じたため全長にわたり 40 mm の給油孔を設けている。

整流子は4個の焼パメ環により強固に締め付け、過速度においても十分な強度を持たせた。また、温度変化による軸方向の伸びにそなえ、セミフローティング形とし、整流子下部の固定端はテーパとして絶縁を介して圧入固定した。図 4.2 にこの電機子を示す。

これらの回転部は、可能な範囲で表面をなめらかに仕上げるとともに、通風は行なわず煙突効果による自然通風として、風損による誤差の導入を防止している。



図 4.2 電機子
Fig. 4.2 Armature of 750kW DC dynamometer.

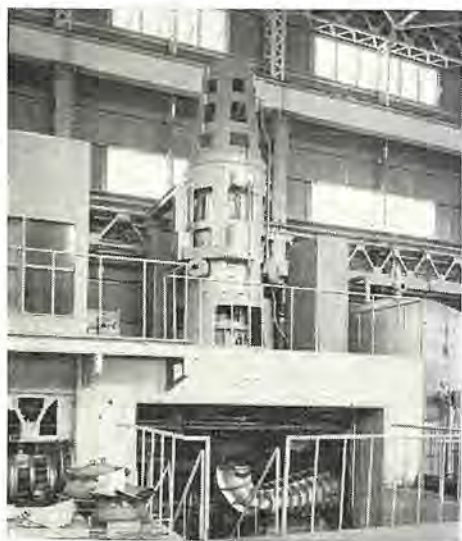


図 4.3 研究所に据え付けられた 750 kW 直流電気動力計
Fig. 4.3 750 kW DC dynamometer installed in the high head testing plant.

軸受は上下部とも玉軸受強制注油方式を採用し、電機子全荷重を支持する上部軸受は複列背面合わせによるアンギュラ軸受とし、下部は 63 形軸受を採用した。軸受の DNm 値は、2,500 rpm において上下とも 50 万をこえるため精密級軸受を採用している。

揺動部は、水車推力計測用 ストレンジャーおよび 6 章記載の板バネ式揺動部支持装置を介して、増速歯車装置とともに支持ワックにつり下げられる構造とした。揺動部の横ユレ防止は上下 2 個所に軽負荷用玉軸受を設け支持されるが、増速歯車部分を加えると全長が 4,600 mm に及ぶ長さとなるため、重心位置、鉛直度の狂いがこの軸受に影響を与えないよう、揺動部重心位置は、トルクアーム反対側に設けられた 2 個の平衡重錘によって完全に調整するとともに各部の平行度、直角度に対し細心の注意を払い、また、横断面形状はすべて対称として、16,000 kg の荷重に対し不平衡な伸びが生じないように注意されている。

電力授受用のケーブル、給油パイプなどは、タワミ性のすぐれたものを使用し、天井よりつり下げることによって反抗トルクは事実上 0 に近い値となし得た。図 4.3 に模型水車試験中の動力計を示す。

5. 増速歯車装置

増速歯車は、入力軸、出力軸が同一軸線上にあり、静止時、運転時とも重心位置が軸線上になければならない。また、この部分で消費される動力もトルクとして表示されなければ、精密な計測は望めない。このため増速装置は遊星歯車式を採用し、動力計揺動部に取り付けるとともに、レバーの操作によって直結運転も可能な構造とした。この増速機のおもな仕様は次のとおりである。

形 式	立形遊星平衡車式
伝達馬力	750 kW
回 転 数	入力軸 2,145~4,290 rpm および (発電機運転時) 900~1,800 rpm
	出力軸 900~1,800
増 速 比	1:2.385
回転方向	正、逆
許容推力荷重	8,200 kg

この歯車は図 5.1 に示すように、上、下のギヤケース、上部軸部分、外周 タワミ 歯車継手、内歯歯車、5 個の遊星、太陽歯車、中央 タワミ 歯車継手、推力軸受、ガイド 軸受、下部軸部分などから構成され、歯車類は上部ギヤケースに、軸受類は下部ギヤケースに収容される。動力は発電機運転の増速時、下部軸—中央 タワミ 継手—太陽歯車—遊星—内歯歯車—外周 タワミ 継手—上部軸の経路を経て伝達され、5 個の遊星および タワミ 継手によって均一に分担されるよう考慮されている。また、下部軸は中空とし軸端に設けられた切換レバーを操作することによって、この中空部を通して中央歯車継手が上部軸のクラッチにハメあいし、直結運転も可能な構

表 5.1 歯車の要目

	主 変 速 歯 車	中央歯車継手	外周歯車継手
モジュール	4	4/2	4/2
歯 数	65×45×155	46	170
圧 力 角	14.5°	30°	30°
キザミ円直径	260 mm×180 mm×620 mm	184 mm	680
材 質	SNC-2 S40C	SNC-2 S40C	S40C
仕 上	歯研摩シェービング	ホブ切り (クラウニング)	フェロー切り
周 速	最大 58.4 m/s		

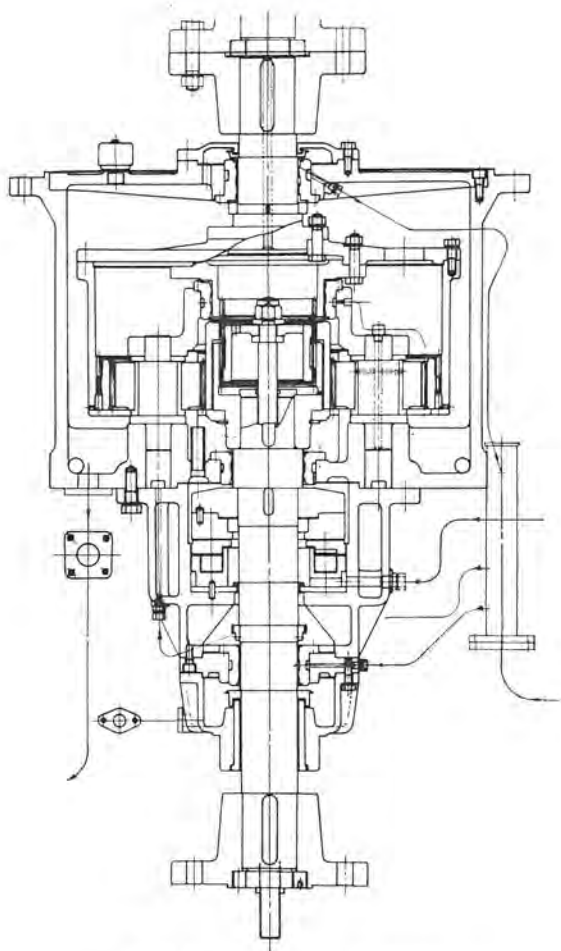


図 5.1 増速歯車組立図
Fig. 5.1 Arrangement of gear transmission.

造とした。使用されている歯車の要目を示すと表 5.1 のとおりである。

軸受は上下のガイド軸受にホワイトメタル、遊星歯車軸はケルメットを使用し、推力軸受にはキングスベリー推力軸受 JU-12 形を採用して 8t に余る スラスト 荷重に対し万全を期した。歯車、軸受の潤滑はすべて強制注油方式とし、増速機側面に設けた分配管により各部に注油し、潤滑を終えた排油は上下 ケーシングに設けられた排油孔から排出、タンクに帰還する。推力軸受は高速回転時、周速 68.7 m/s に及ぶため、遠心力による油の飛散を防止する目的からパッドの外周にオイルコントロールリングを取り付け、さらに、パッド内外部の圧力差を少なくするために、スラストカラムには穴があけられている。

歯車、軸受の冷却は主として潤滑油により行なわれ、熱くなった油は、冷却器により冷却する方式を取っているが、大きなスラストが作用してスラスト軸受が過熱される場合を考慮し、スラスト軸受のケーシング外周には水室を設け、水による冷却も可能な構造がとられている。

6. 板バネ式揺動部支持装置

揺動部軸受にかかる荷重は、前述のとおり最大 16,000 kg に及ぶ巨大なものであり、この部分で発生する誤差トルクをいかにして 0.4 kg-m 以下とするかが動力計製作上のキーポイントとなった。まずコガリ軸受について検討を行なったが、3.4 節で説明したようにコガリ軸受の臨界摩擦は意外に大きく、計算の結果得られた数値は 1.3 kg-m をこえ、まったく使用できない値となった。静圧軸受の採用についても検討を行なったが、取り付けられる場所

が 4 m をこえる高所で面積が狭いこと、かなり高圧で多量の油を必要とすること、油が漏れた場合下部の機器に与える影響が大きいこと、保守点検がやりにくいことなどの理由から採用に至らなかった。種々検討を重ねた結果、長い平板のネジレメントが、適当な幅、厚さ、長さを選定すれば、わずかの回転角度内では、ほとんど無視しうる値であることに着目、設計を進めた。しかしこの方法にも両端の固定方法、材料の均一性、熱処理、表面の加工精度、変化荷重に対する伸び、破断時の安全対策など多くの問題があった。

この種の板バネの材料としては、破壊強度ならびに比例限が大きく、延性に富み、さらに機械加工性のよいものであることが望まれ、一般にニッケルクロム、クロムモリブデン系の鋼が好んで使用されるが、使用量、厚板などの関係から入手することができず、止むなく手持ちのバネ鋼板 3 種 (SUP-3) を使用した。使用にあたり、平等な厚さおよび表面の微細な傷を除去するために両面を 1 S 程度まで研摩し、磁気探傷により傷の有無を調査、その後所定の素材寸法に切断、焼入、焼もどし、精仕上げの工程を経て製作した。この工程中、焼入、焼もどしは薄板である関係上変形が生じやすく、また、普通の炉中では表面が酸化により荒らされるため、水素気中で行なうなど細心の注意を払い入念な仕上げを行なった。また、安全上の見地から、同一材料、同一工程により数本の板バネを製作、その半数を使って破断試験を行なうとともに、実負荷に近い状態に保持して、ネジレトルクの確認を行なった。この結果ネジレに要するトルクは計算値に近く、きわめて高性能であることが確認できた。また、破断試験によって、破断は急激に起こらず、かなり大きな伸びが生じた後起こることが確められたため、破断時における揺動部の保護は、軸方向の揺動部と支持ワックとの距離を 2~3 mm に選び、破断に至る前にこの部分で保持されるよう設計した。この距離はたとえ破断が急激に起きたとしても、動力計に与える影響は殆んどない距離が選定された。

板バネ両端部の形状は、図 6.1 に示すとおりできるだけ極端な変形を避け、応力集中を生じないように計画し、セン断、圧縮、座屈につき検討して決定した。計画時、薄板であるためこの部分での破壊が懸念されたが、破断試験による破壊はすべて平行部分で発生し、この部分の異状は見受けられなかった。

計算によると、トルクアームの移動距離を 5 mm としても、このときの反抗トルクはわずかに 0.16 kg-m に過ぎない。実際の場合には、負荷変動に対しトルクアーム着点位置は移動しない方式が採用されており、誤差による移動 0.1 mm 程度を考慮すれば十分である。したがって、この値はさらに低くほとんど無視しうる値



図 6.1 揺動部支持装置
Fig. 6.1 Supporting device of rocking yoke.

となる。

実測結果による不感量は、完全装備の状態で 0.1 kg-m 前後の値を示し、玉軸受を使用した場合に見られるようなバラツキはまったくなく、きわめて安定した値を示した。この値は実に 1/10,000 に近い値で十分初期の目的を達成し得ている。

7. 自動巻上装置

全長 4 m をこえる動力計は、変動する約 8 ton の水車 スラスト荷重および運転時の温度変化によってかなり大きな伸縮がある。まず温度変化による伸縮を考えると、その範囲を 40°C と仮定しても、温度変化を受ける部分が増速ギヤ部分を含めると 2.4 m におよぶため、伸びは 1 mm 程度となる。水車 スラスト 荷重による伸びは、揺動部支持装置の板 パネ 部分で 0.5 mm、その他の部分で 0.5 mm となり合計約 2.0 mm の伸びが生ずる。

一方、模型水車の ランナ と ケーシング 間の間 ギキ は 0.5 mm 以下で、できるだけ一定に保つ必要があり、放置すれば正確な測定が行えないばかりでなく、ランナの接触によって、ランナケーシングの

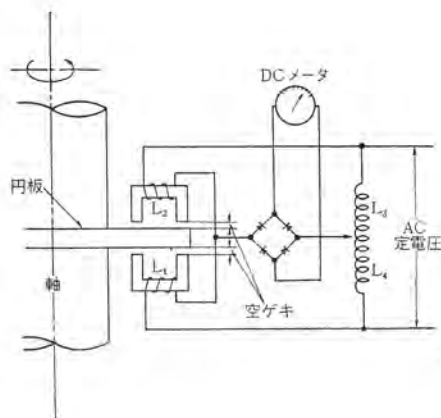


図 7.1 軸伸縮検出装置原理図
Fig. 7.1 Principle diagram of shaft expansion checking device.



図 7.2 揺動部自動巻上装置
Fig. 7.2 Auto-windup device of rocking yoke.

破壊による事故が想定された。このため図 7.2 に示すように、模型水車付近に軸の伸縮検出装置を設け、動力計支持ワクの最上部に設けられた電動巻上装置により揺動部の位置調整を行ないうる構造とした。検出部の構造は図 7.1 に示すとおり、あらかじめ設定された間ギキの変化をインダクタンスの変化に変え検出するもので、 $\pm 0.1 \text{ mm}$ の精度で検出することができる。上部の巻上機構は、サイクロギヤを使用した 0.4 kW 減速電動機、ウォーム、巻きネジから構成され、0.1 mm の移動を約 5 秒で上下できるよう計画されている。揺動部巻上部の構造を図 7.2 に示す。

8. むすび

以上説明したように、板パネ支持によって従来と全く問題となった揺動部軸受の誤差トルクの問題は完全に解決され、さらに大形のこの種の動力計に対して、より高精度のものを製作しうる自信がえられた。遊星歯車を組み込んだこの種の動力計は、今までにその例がなく、ギヤから生ずる振動の問題などについても、貴重な経験がえられた。

この項を結ぶにあたり、技術指導をいただいた三菱重工業神戸研究所流体研究課鳴尾係長、弘中係長、ならびに大阪製鎖、大和製衡の各関係の方々に謝意を表する次第である。

水車性能試験設備用計測装置

—三菱重工業神戸研究所流体力学研究課納め—

弘 中 和 夫*

竜 田 直 紀**

西 尾 治***

Test Stand Measuring System for Hydraulic Turbine Performance

—Hydrodynamics Laboratory, Kōbe Shipyard

and Engine Works, Mitsubishi Heavy Industries—

Mitsubishi Heavy Industries Ltd.

Kazuo HIRONAKA

Mitsubishi TRW Co., Ltd.

Naonori TATSUTA

Mitsubishi Electric Corporation, Kamakura Works

Osamu NISHIO

Instrumentation facilities for the test of hydraulic turbine performance built in 1961 at the Kōbe Technical Institute of the Mitsubishi Heavy Industries Co. (the Mitsubishi Heavy Industry reorganized at that time) for use in the Hydrodynamics Research Section has capability of measuring the efficiency of hydraulic turbines through the instrumentation in the determination of the machine speed, the head and the volume of flow with high accuracy. All the instruments employed are given special considerations to assure high accuracy by the use of the automatic balance system with the employment of a device digitalizing the measured values. The operation being full automatic, all the instruments are controlled at the center and a data logger is provided for the control of instrumentation sequence and of data treatment. The introduction of the data logger has made it possible to operate the test arrangements in a large scale with push buttons.

This article deals with chiefly the instrumentation facilities for the test of high head turbine performance in regard to their constitution, outlines of the instruments and measurement sequence.

1. ま え が き

水車の性能を掌握するためには、少なくとも次の四つの量を正確に計画しなければならない。すなわち

有効落差

水車出力

流 量

水車回転数

三菱重工業株式会社神戸研究所流体力学研究課に設けられた低落差ならび高落差の水車性能試験設備においては、これらの諸量を高精度で、しかも迅速に計測するため、それぞれ全自動計測装置を採用し、さらにこれらの計測機器を計測室において集中的に監視、操作して計測データを自動的に数値表示させるとともに、必要に応じて自動記録させることもできる。このため大規模な試験設備の運転操作と計測を1人で能率よく行なうことができ、しかも高精度のデータをあやまりなく、迅速に処理することが可能である。

これらの設備は流体力学研究課が中心となって、三菱電機をはじめ島津製作所、大和製衡株式会社などが協力して完成されたものである。

本文ではこの両試験設備用の計測装置について紹介するわけであるが、両者の間に類似点も多いので、主として規模の大きい高落差試験設備について述べ、低落差試験設備に関するものは簡単な紹介にとどめることとする。

2. 高落差水車性能試験設備用計測装置

2.1 構 成

高落差水車性能試験設備用計測系統は図2.1に示すように構

成されており、その構成機器は次のとおりである。

計測盤 (MELDAP-5712……三菱電機製)	1 台
水車回転数測定装置 (小野測器製)	1 台
落差測定装置 (水車入口水頭用) (大和製衡製)	1 台
落差測定装置 (水車出口水頭用) (大和製衡製)	1 台
動力計 (750 kW) トルク 測定装置 (大和製衡製)	1 台
絶対流量測定装置 (大和製衡製)	1 台
オリフィス 差圧測定装置 (島津製作所製)	1 台

計測盤には計測操作に必要な各種指令押しボタン類、計測値をデジタル表示するためのデジタル表示器があり、さらに計測値を自動記録させるために電動タイプライタが1台付属している。上記の各種測定装置はこの計測盤から指令押しボタンによって所要の時期に適当なシーケンスに従って計測動作を行なわせることができる。

2.2 計測項目

高落差の場合の計測項目の明細は表2.1に示すとおりである。

表 2.1 高落差水車性能試験設備自動計測項目一覧

計 測 名 称	記号	表示 桁数	単位	表示数値範囲	誤 差	備 考
水 車 回 転 数	n	5	rpm	3,000~5,000	±0.1 以下	
落 差	水車入口水頭	H_1	m	0~99.95	±0.01	*
	水車出口水頭	H_2	m	-10.00~+30.00	±0.01	*
	落 差	H	m	0~99.99	±0.02	*
流 量	シ ョ ウ 量 値	W	kg	0~9,999	±1	*
	シ ョ ウ 量 値 イニシヤル	W_0	kg	0~1,000	±1	*
	流 水 重 量	ΔW	kg	0~9,000	±2	*
	流量計測時間	t	sec	2~39.999	±0.001	*
	オリフィス差圧	Δh	mm	0~200.0	±2	*
動力計回転数	T	4	kg	0~900.0	±0.1	*

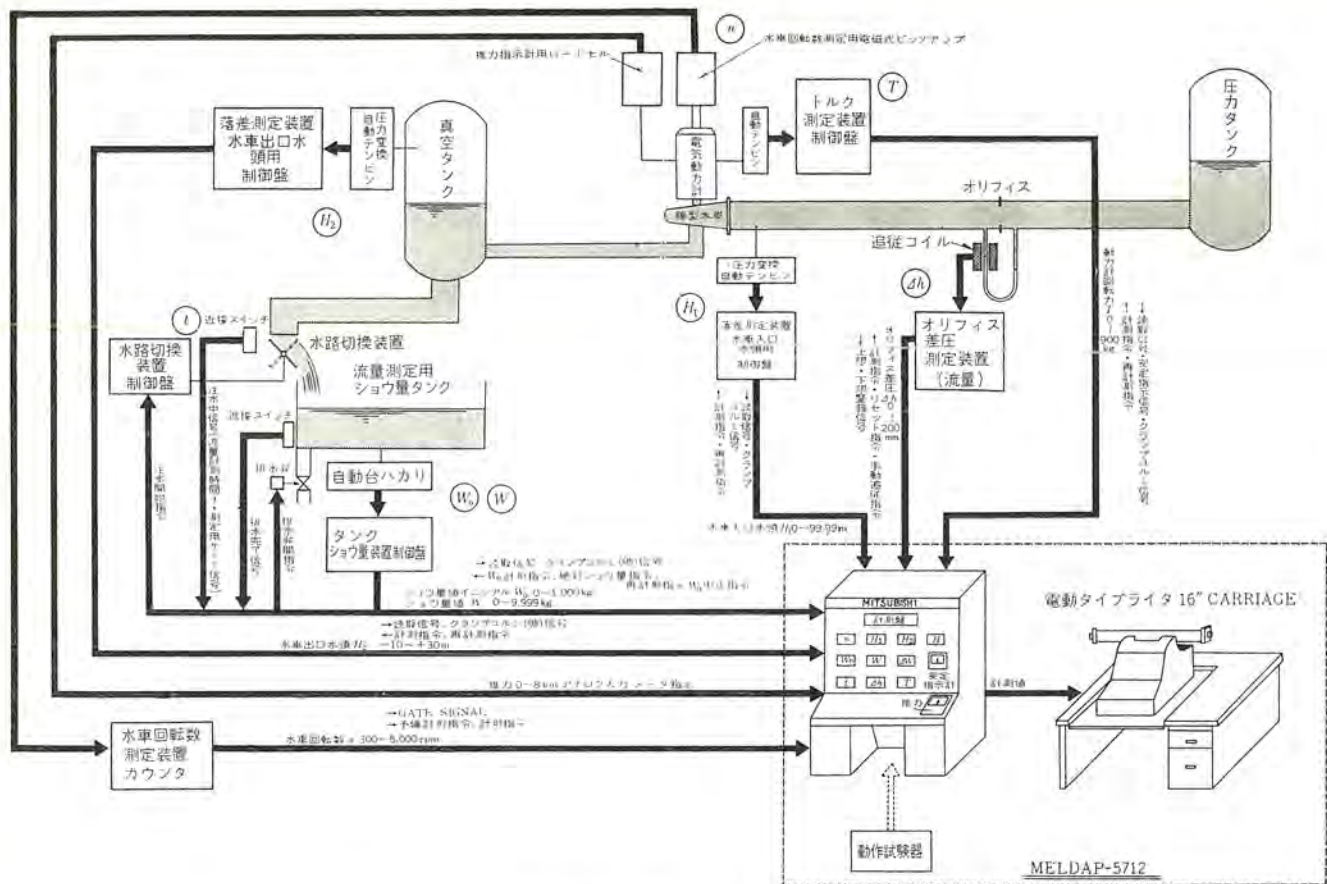


図 2.1 高落差水車性能試験設備計測系統図
Fig. 2.1 Instrumentation for high head model water turbine testing plant.

流量についてはオリフィスの差圧による計測と絶対流量測定装置による計測（流水の重量と流量計測時間から求める）とが可能であり、絶対流量測定装置を利用して流量計の較正を行なうこともできるようになっている。

2.3 計測用各種指令

この試験設備の計測のために必要な指令は、すべて計測盤から押しボタン操作によって与えられるが、その内容は次のごとくである。

2.3.1 予備計測指令

この指令によって水車回転数、水車入口水頭、水車出口水頭、落差、ならびにオリフィス差圧の5項目が3.6秒ごとに繰り返し計測表示される。

2.3.2 予備計測中止指令

この指令により予備計測の動作は中止され、デジタル表示もすべてきえるようになっている。

2.3.3 計測指令Ⅱ

この指令によって水車の回転数を6秒間で計測するとともに水車入口水頭、水車出口水頭、落差、オリフィス差圧および動力計トルクを計測してデジタル表示を行なう。

表示は印刷指令によって印字が完了するか、または計測中止指令が与えられるまでそのまま保持される。

2.3.4 W_0 計測指令

この指令によって絶対流量測定のために必要なタンクの初期重量 (W_0) を計測し、測定値を計測盤にデジタル表示する。この指令はシヨウ (秤) 量タンクの排水弁が開放中とか、排水が未完の場合には無効である。

2.3.5 絶対シヨウ量計測指令

この指令によって水路の切り換えを行ない、設定された時間シヨウ量タンクに注水を行ない、注水完了後シヨウ量タンクの重量 (W) を計測し、引き続いて流水重量 ΔW を算出して計測盤に注水時間、 W および ΔW をデジタル表示する。この指令は W_0 の計測が終わったあとでないと無効である。ただし W_0 計測指令とこの指令が同時に与えられた場合には自動的に W_0 をまず計測し、その後で W を計測するようになっている。

2.3.6 計測指令Ⅰ

W_0 計測後に、この指令によって他の全自動計測項目が計測され、まず水車回転数、水車入口水頭、水車出口水頭、落差、オリフィス差圧、動力計トルクの6項目の計測値が同時にデジタル表示され、一定時間後タンクシヨウ量値 (W)、流水重量 (ΔW) および流量計測時間の3項目をデジタル表示する。

2.3.7 印刷指令

この指令によってデジタル表示されているデータがすべて自動的に印刷され、印刷完了と同時にデジタル表示は消える。なお予備計測の場合のデータおよび W_0 のみの印刷はできない。

2.3.8 計測中止指令

この指令によって計測Ⅱ実行中ならただちに計測を中止し、タンク注水中、タンクシヨウ量中ならば0.2秒以内にシヨウ量タンクの排水弁を開き排水を開始する。排水完了後は自動的に排水弁を閉じてシヨウ量前の状態に復帰する。また計測が完了して、データが表示されている場合にはこれをけすことができる。なお予備計測および W_0 のみ計測し、 W の計測を行っていない場合にはこの指令を与えても予備計測および W_0 計測を中止することはできない。

2.3.9 W_0 中止指令

この指令によって W_0 シヨウ量中ならこれを中止し、また W_0

の計測が完了している場合にはこれをけすことができる。この指令は W_0 の ショウ 量中かまたは W_0 が表示されているときのみ有効である。

2.4 各種測定装置

2.4.1 動力計トルク測定装置

動力計に生ずる トルク を測定するこの装置の仕様は次のごとくである。

形 式	電子管自動送錘式
容 量	899.9 kg
目 盛	0.1 kg
定量増 オモリ	100 kg × 8
送り オモリ	100 kg

この装置は次の部分から構成されている。

(1) トルク 検出部

動力計に生ずる水平方向の力を ベルクランクレバー によって垂直力に変換し、ショウ 量部の自動送り オモリ 平衡 カン(桿)部に伝達する機構である。

(2) ショウ 量部

トルクアーム にかかる力を測定する自動送 スイ(錘) 式 テンピン である。自動送り オモリ 式平衡装置は電子管式を採用し、計量 カン 先端に取り付けた差動変圧器により カン の平衡を検出し、その信号を増幅器により増幅して、平衡電動機を回転し計量 カン の送り オモリ を移動させて常に計量 カン を水平に保たせる。送り オモリ の全移動量は 100 kg に対応し、もし荷重が 100 kg を越えると自動的に増 オモリ を加えて送 スイ が定量増 オモリ の範囲内に入るよう自動的に調節する。計量 カン は電磁 ダンパ によって臨界制動が加えられ、短時間でツライ 位置に静止するようになっている。送 スイ の送り量は平衡電動機と組み合わされた符号板により デジタル 変換され、増 オモリ 数に加算されて ハカリ 制御盤で 2 進化 10 進符号として計測盤へ送られる。

(3) ハカリ 制御盤

ハカリ を制御する電源部、増幅器、遠隔表示用信号発信装置を内蔵している。

2.4.2 落差測定装置

落差測定装置は水車入口用、水車出口用とも性能、構造はほとんど同様であり、その計測範囲のみが多少相違する。その測定原理は水圧または空気圧を油圧に変換し、メジャリングシリンダによって圧力を力に変換して自動送 スイ式 テンピン に加えて測定を行なうものである。

測定範囲	水車入口水頭	0.00~99.95 mAq
	水車出口水頭	-10.00~+30.00 mAq
最小目盛		0.05 mAq

この装置では水車入口水頭は水圧(圧力タンク側)、水車出口水頭は空気圧(真空タンク側)を圧力変換タンクによって油圧に変換し、これをメジャリングシリンダに導く。シリンダをモータによって微速度で回転させ摩擦を減少させる。ラム は計量 カン に懸垂しており、圧力に比例した荷重を加える。計量 カン その他の機構はトルク測定装置とまったく同様である。

2.4.3 オリフィス差圧測定装置

オリフィス 差圧の測定は、送水管中に設けられたオリフィス 前後の差圧を水銀を封入した U 字管内に導入し、その低压側に浮かべられた浮子(鉄心入り)が差圧に比例して移動するのを自動追尾する方式を採用し、その動きを符号板によってデジタル化する。

水車性能試験設備用計測装置・弘中・竜田・西尾

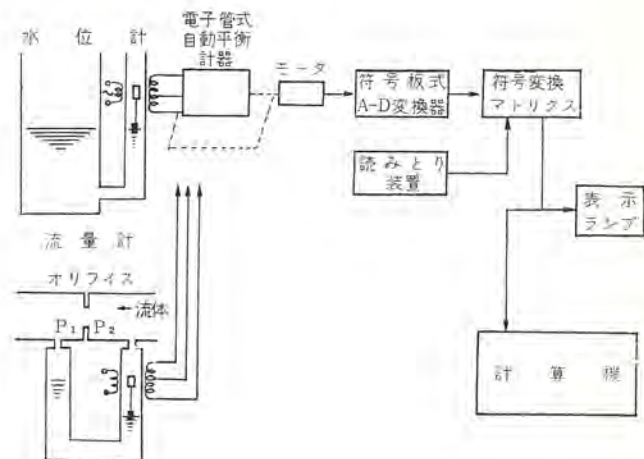


図 2.2 落差および流量測定装置のブロック線図
Fig. 2.2 Block diagram of water level and differential pressure measuring equipment.

そのおもな仕様は次のとおりである。

計測範囲	0~400 mmHg
最小目盛	0.1 mm
誤 差	±0.1 mm 以内

図 2.2 はこの装置のブロック線図である。

測定筒の外部には差動変圧器を構成する追従 コイル があり、浮子が移動すると、この追従 コイル の二次側に誤差電圧が発生し、この電圧はサーボ増幅器によって増幅され平衡電動機を回転させる。平衡電動機の回転はボールネジに伝えられて追従 コイル を浮子の移動に追従して変位させ、平衡する位置で停止する。他方では平衡電動機の回転は歯車機構を介して符号板に伝えられ、浮子の位置すなわち水位がデジタル変換され、2 進化 10 進符号として計測盤へ送られる。

この装置ではボールネジの確度および符号板駆動の歯車機構の確度を保持するため特別の考慮がなされている。

2.4.4 絶対流量測定装置

流量の測定を正確に行なうために絶対 ショウ 量法が採用された。すなわち水車を通った水は配管により水路切換装置に導びかれ通常は ラール にもどっている。これを計測盤からの指令によりきわめて短い時間で水路を切り換え、所定時間 ショウ 量 タンク に注水し、この重量と注水時間とを計測して流量を求めるものである。

注水時間は計測盤において 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30 秒の各段階に選択でき、また手動操作によって任意の時間行なうこともできる。いずれにしてもこの時間は別途水路切換装置に取り付けられた無接点近接スイッチによって水路切換ゲートの動作を検出し、この間の時間を計測盤内の水晶発振器とカウンタによって計測する。

一方流水重量は 3,600×2,400 の荷台を有する電子管自動平衡形のテンピンにより計測される。計量部の構造は、動力計トルク測定装置とほとんど同様であるので説明は省略する。おもな仕様は次のとおりである。

容 量	0~9,999 kg
目 盛	5 kg
精 度	1/2,000 以内

この装置の写真を図 2.3 に示す。

2.4.4 水車回転数測定装置

水車軸に直結された電磁式ピックアップによって回転数はパルス数に変換され、このパルスを 6 秒間計測することによって回転数



図 2.3 絶対シヨウ(秤)量装置
Fig. 2.3 Absolute measurement apparatus of water discharge.

を 0.1rpm 単位で計測する。電磁式ピックアップは水車軸の 1 回転あたり 100 個の パルス を送出するものである。

2.5 計測盤 (MELDAP-5712)

計測盤は前節に述べた各種測定装置に計測の指令を与えたり、測定結果を受け取って以後の処理を行なうもので、ここから全計測系を集中的に監視、制御し得るとともに、計測データの自動処理が可能である。

図 2.4 は中央操作室に設置されたこの装置 (MELDAP-5712)

ならびに操作盤である。そのブロック線図は図 2.5 に示すごとくで、その主要部は入力データのチェックを行なうための入力チェック回路、データを一時記憶し表示計算などに使用するための記憶回路 (レジスタ)、落差などを算出するための減算回路、注水時間計測用カウンタ、記憶回路にたくわえられているデータを数値表示するための表示回路、印字を行なうための印字制御回路、およびタイプライタならびにこれらの諸回路を制御し、また各種測定装置へ必要な指令信号を送出するための制御回路から構成されており、その主要要目は表 2.2 に示すとおりである。この装置では 10 項目の計測を 9 種類の指令によって制御する。計測シーケンスの概要は次のごとくである。

予備計測指令が与えられると、この指令はまず水車回転数測定装置と落差測定装置に伝えられ、回転数測定装置は 0.6 秒間ゲートを開いて回転数の予備計測を開始する。この信号は計測盤 (MELDAP-5712) に送り返され、制御回路のシーケンスを進める。水車回転数の計測が終了するとオリフィス差圧測定装置に計測の指令が与えられる。落差およびオリフィス差圧の測定値が送り返されて、これらのデータに誤りのないことが確認されると回転数、落差 (水車入口水頭、水車出口水頭) およびオリ

フィス差圧が各レジスタに読み込まれる。

次いで読み込まれた水車入口水頭と水車出口水頭の値は減算器に与えられ、両者の差すなわち落差が算出される。この演算が終了すれば回転数、落差 (水車入口水頭、水車出口水頭、落差) およびオリフィス差圧が同時にデジタル表示される。この表示は約 3 秒間継続すると再び水車回転数の計測が開始され、上記と同様の動作を繰り返す。この予備計測の自動繰返しは予備計測中止指令か、計測指令 I あるいは計測指令 II が与えられるまで継続する。



図 2.4 高落差水車試験装置操作盤および計測盤
Fig. 2.4 Central operation room.

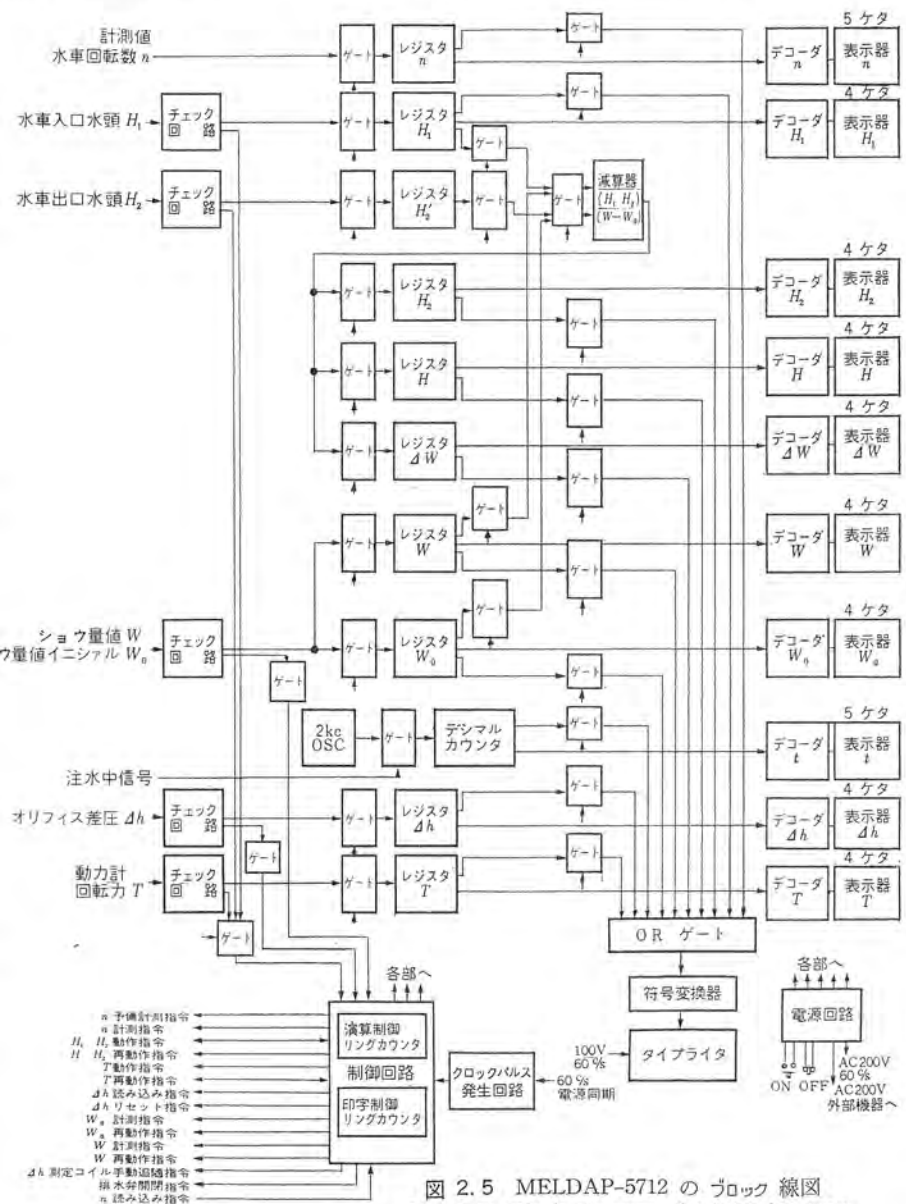


図 2.5 MELDAP-5712 のブロック線図
Fig. 2.5 Block diagram of MELDAP-5712.

表 2.2 MELDAP-5711, 5712 主要要目

	5 7 1 1	5 7 1 2
自動計測項目	水車回転数 水車入口水頭 水車出口水頭 落差 流量 動力計回転力	水車回転数 水車入口水頭 水車出口水頭 落差 ショウ量値 ショウ量値イニシャル 流水重量 流量計測時間 オリフィス差圧 動力計回転力
	計 6 項目	計 10 項目
計測指令	予備計測指令 予備計測中止指令 計測指令 計測中止指令 印刷指令	予備計測指令 予備計測中止指令 イニシャルショウ量指令 イニシャルショウ量中止指令 絶対ショウ量指令 計測指令 I 計測指令 II 計測中止指令 印刷指令
	計 5 種類	計 9 種類
入力ケタ数	21 ケタ	29 ケタ
カード枚数	297 枚	508 枚
リレー個数	17 個	30 個
数値表示器	I.E.E.投映形 31 個	I.E.E.投映形 53 個
記録装置	IBM アウトプットライタ 1 台	IBM アウトプットライタ 1 台
消費電力	約 350 VA	約 450 VA

なお自動印字中または計測Ⅱ中のときは予備計測指令は無効となるよう回路が構成されている。

また計測データに誤りを発見した場合には、低落差の場合と同様、自動的に繰返し計測を行なう。

次に計測Ⅱの指令が与えられた場合には、ただちに水車回転数測定装置、落差測定装置および動力計トルク測定装置に計測指令が伝えられ、水車回転数測定装置はこの指令によって6秒間ゲートを開き、回転数の計測を開始する。落差および動力計トルクの各測定装置も測定を開始する。6秒間経過して水車回転数測定装置のゲートが閉じると、オリフィス差圧測定装置に計測指令が与えられる。以下予備計測の場合と同様に上記各項目の測定値の読み込み、落差の算出を経て6項目のデジタル表示が行なわれる。このデジタル表示は計測中止指令を与えるか、またはタイプライタによる自動印字が完了するまでできない。

予備計測中に計測Ⅱの指令を与えた場合にはただちに予備計測を中断し、予備計測データをリセットして上記と同様の動作を行なう。この場合にも計測データに誤りが検出されれば、予備計測の場合における同様に自動的に繰返し計測を行なう。

W_0 計測指令および絶対ショウ量計測指令によって、ショウ量タンクの初期値 (W_0)、注水後のショウ量値 (W)、流水重量 (ΔW) および注水時間 (t) の4項目が計測表示されるが、この測定は予備計測中、または計測Ⅱ中に同時に平行して実行できる。

まず W_0 計測指令を与えれば、ショウ量タンクの排水が完了し

ていて、しかもタンクの排水弁が閉じているという条件で絶対水量測定装置に計測指令が与えられ、 W_0 の計測を開始する。 W_0 の計測が終われば計測データに誤りのないことを確認のうえ、データの読み込みが行なわれ、 W_0 がデジタル表示される。

次に絶対ショウ量の指令を与えれば注水指令が送られて水路切換装置が動作してショウ量タンクへの注水を開始する。注水が開始されると水路切換装置に取り付けられた近接スイッチから水路切換中の信号を受け、注水時間の計測を行なう。注水時間があらかじめ設定した時間に達すると注水指令は解除され、水路切換装置がふたたび流水を放水路側に切り換える。これによって近接スイッチからの信号も終わり注水時間の計測が完了する。次いで絶対水量測定装置に計測指令が与えられ、水の入ったタンクの重量 W のショウ量を開始する。同装置の自動台パカが安定し、ショウ量が完了すると測定値は計測盤に送られてくる。このデータに誤りのないことが確認されると読み込みが行なわれる。また減算器において落差の算出演算が実行されていない場合にはただちに流水重量 (ΔW) の算出が行なわれて W 、 ΔW および t の3項目が同時にデジタル表示される。さらに引き続いてタンクの排水弁を開く指令が計測盤から発せられて排水弁を開き排水を始める。排水が完了すればそれによって排水弁を開く信号は打ち切れ排水弁は閉じて完全に初期の状態に復帰する。

なお W_0 計測中または W_0 の計測値のみが表示されているときに W_0 計測中止指令を与えると、 W_0 計測中ならただちにこれを中止し、また W_0 の計測値のみが表示されている場合にはこれを消す。 W_0 計測中止指令は W_0 計測中か、または W_0 の計測値がデジタル表示されていて、しかも絶対ショウ量指令が与えられていないときのみ有効で、それ以外の場合は無効である。また W_0 の計測が完了して、さらに絶対ショウ量指令が出された後に計測中止指令を与えると、注水中ならただちに注水を中止し、ショウ量中ならただちにショウ量を中止して排水弁を開き排水を行ない、排水が完了すれば排水弁を閉じて初期状態にもどる。なお計測中止指令は W_0 計測中かまたは W_0 の計測値がデジタル表示されていてしかも絶対ショウ量の指令が与えられていないときには無効であり、 W_0 の計測を中止することも、 W_0 の計測値の表示を消すこともできない。

W_0 計測指令の後に計測指令Ⅰを与えた場合には計測Ⅱおよび絶対ショウ量の場合の動作を並行して同時に行ない全項目の計測表示までの動作を行なう。なお計測指令を与えずに計測Ⅰ指令を与えた場合には計測Ⅱにおけるまったく同様の動作を行なう。

3. 低落差水車性能試験設備用計測装置

低落差水車性能試験設備についても高落差とほぼ同様の計測装置が設置されているのでここではとくに高落差のものと相異なる点を中心に概説するにとどめる。

3.1 構成

低落差水車性能試験設備用計測系統は図 3.1 に示すように構成されており、その構成機器は次のとおりである。

計測盤 (MELDAP-5711 三菱電機製)	1 台
水車回転数測定装置 (小野測器製)	1 台
落差測定装置 (上水そう水位用) (島津製作所製)	1 台
落差測定装置 (放水路水位用) (島津製作所製)	1 台
セキ水位測定装置 (大和製衡製)	1 台
動力計 (60 kW) トルク測定装置 (大和製衡製)	1 台

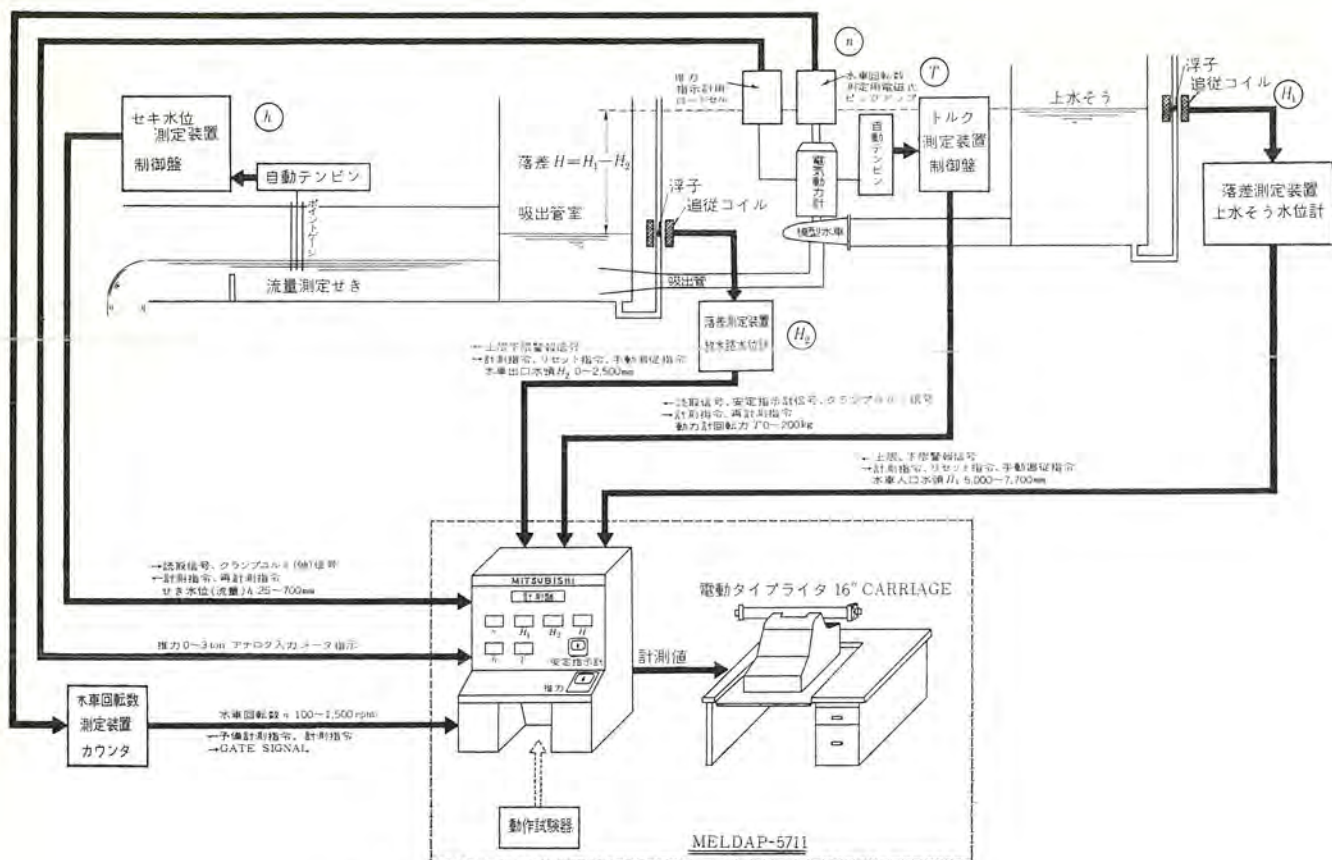


図 3.1 低落差水車性能試験設備計測系統図
Fig. 3.1 Instrumentation of low head model water turbine testing plant.

表 3.1 低落差水車性能試験設備自動計測項目一覧

自動計測名称	記号	表示桁数	単位	表示数値範囲	誤差	備考
水車回転数	n	5	rpm	100~1,500	±0.1 以下	
落水車入口水頭	H_1	4	mm	5,000~7,700	±1	*
落水車出口水頭	H_2	4	mm	0~2,500	±1	*
落差	H	4	mm	3,000~7,000	±2	* $H_1 - H_2$
セキ高さ	h	4	mm	25~7,000	±0.2	*
動力計回転力	T	4	kg	0~200	±0.05	*

3.2 計測項目と計測指令

低落差水車性能試験設備における計測項目は表 3.1 に示すとおりである。

これらの計測に必要な計測指令としては次のものがある。

- 予備計測指令
- 予備計測中止指令
- 計測指令
- 印刷指令
- 計測中止指令

各指令の内容は高落差の場合のそれと類似している。

3.3 各種測定装置

低落差の場合に、高落差のものと大きく相違するものは、落差測定装置とセキ水位測定装置であり、その他の計測盤、水車回転数測定装置、動力計 トルク 測定装置はほとんど同様であるので、説明は省略する。

3.3.1 落差測定装置

上水そう水位および放水路水位の測定装置は計測範囲が相違するだけで性能、構造はほとんど同様である。約 2,500 mm の計測範囲で 1 mm 以内の高精度を得るために高落差の場合における

オリフィス 差圧測定装置と同様に検出機構として差動変圧器を用い、水面に浮かべた浮子の動きを自動追尾する方式を採用している。そのおもな仕様は次のごとくである。

- 計測範囲 水車入口: 5,000~7,700 mm
水車出口: 0~2,500 mm
- 精度 ±1 mm 以内
- 測定時間 50 ms
- 最大浮子追尾速度 約 8 mm/sec

図 3.2 はこの装置の一例である、同図左は測定筒と測定コイル 追尾機構を同図右はその制御装置である。



図 3.2 落差測定装置
Fig. 3.2 Level measuring equipment.



図 3.3 セキ 水位 測定 装置
Fig. 3.3 Level measuring equipment of square weir.

3.3.2 ダム水位測定装置

この装置は流量測定用四角セキの水位を測定するもので、検出に浮力を用い、フロートを上下させてテンピンの平衡を保つようにした自動平衡式水位計で、高感度、高精度を保つために特別に工夫された水位計である。そのおもな仕様は次のごとくである。

形 式	浮力自動平衡 テンピン 方式
測定範囲	25~700 mm
最小目盛	0.1 mm
精 度	± 0.2 mm

この装置は等比 テンピンの両端刃に同一寸法のフロートを懸垂してその浮力を平衡させる構造となっている。一方のフロートはオーバーフローを有する一定水位に浮かんでおり、他のフロートはセキから導かれた測定筒内のセキ水位に浮かんでいる。このフロートのつり棒はスクリューとなっており、約 700 mm のストロークをもたせ、平衡電動機によって上下する。電動機はテンピンの一端に取り付けられた差動変圧器によってレバーの平衡を検出し、その信号により駆動される。なお一定水位に浮かんでいるフロートは水温による浮力の変化を補償させるものである。フロートの送り量は電動機に組み合わされた符号板によりデジタル変換され、ハカリ制御盤により2進10進符号の電気信号として計測盤へ送られる。図 3.3 はこの装置の写真である。

3.3.3 計測盤

計測盤 (MELDAP-5711) は、高落差の場合の計測盤 (MELDAP-5712) に比べて計測項目、計測指令類の減少によって多少



図 3.4 低落差水車性能試験装置操作盤および計測盤
Fig. 3.4 Central operation room.

簡易化されている点を除けば、ほとんど同様の構成である。図 3.4 は中央操作室に設けられたこの装置と操作盤を示す。

4. む す び

ここに紹介した計測設備はそれぞれ全自動計測装置を採用し、また高精度を確保するためにはテンピンの原理を応用した自動平衡計測方式または差動変圧器による液面の自動追従方式を取り、計測部において直接デジタル化する方法をとった。各計測装置は全自動であるため、これを計測室から中央集中制御することが可能となり、計測設備の運転操作とそれによる計測を能率よく、しかも高精度で誤りなく行なうために計測盤 (データロガー…MELDAP-5711, 5712) が設けられた。計測盤においては全トランジスタ化論理回路を採用し、計測シーケンスの制御に重点がおかれ、多数の精密計測器の並行運転をきわめて簡単な数個の押しボタン操作に集約した。これにより計測操作はきわめて簡易化され、最少限の人員で大規模な試験が容易に遂行される。

終わりにのぞみこの設備の計画から製作、据付、調整の各段階において絶大なご指導、ご協力をいただいた三菱重工株式会社神戸研究所、三菱電機神戸製作所、同無線機製作所、大和製衡株式会社、島津製作所、小野測器製作所の各位に深謝申しあげるしだいである。

参 考 文 献

- (1) 松元, 竜田: データ処理装置 (1 報)「三菱電機」36, No. 5 (昭 37)

帝都高速度交通営団(東西線)納め地下鉄電車用電機品

小原 太郎*・河村 寿三*・久山 研一*・永岡 栄*

Electric Apparatus for Subway Cars of Teito Rapid Transit Authority

Itami Works Tarō OHARA・Toshimi KAWAMURA・Ken-ichi KUYAMA・Sakae NAGAOKA

In December, 1964, a section of the subway east and west lines to be operated by the Teito Rapid Transit Authority was opened between Takatanobaba and Kudanshita, entering into a commercial running with a successful start. The main apparatus of electric cars on this line including traction motors, driving mechanism, controllers, ATC devices and braking apparatus have been designed and built by Mitsubishi who has had much experience in supplying numerous machines used on other sections of this concern. Particular attention has been paid to the fact that the cars will run into the Chuō Line of the J.N.R. in future and need special design to suit the purposes. Field tests proved satisfactory with predetermined performance filled.

1. ま え が き

都市内部での交通は、従来おもに路面電車とバスによって行なわれてきたが、最近自動車の急激な増加によって路面での交通は渋滞し、輸送量はすでに限界に近づいている。このような状態を打開するために地下鉄道網の早急な整備が必要となり、東京、大阪、名古屋において新しい地下鉄路線の建設が次々と進められている。



図 1.1 東西線車両全景
Fig. 1.1 Full view of new cars for Tōzai Line.



図 1.2 運転室機器配置
Fig. 1.2 Equipments in operator's cab.

東京都においても次々と新線が建設され、現在帝都高速度交通営団線3本、都営線1本に加えて、5号線として営団東西線のうち高田馬場～九段下間が開通して営業運転に入っている。

営団線の車両用主要電機品はこれまでほとんどすべて当社が一括して設計製作を行なってきたが、今回の東西線車両についても主電動機、駆動装置、制御装置、ATC装置、ブレーキ装置などの設計製作を当社が担当した。地下鉄車両はその性能の良さはもとより、信頼性が非常に重視される。当社がこれまで帝都高速度交通営団の車両用として大量に製作してきた電機品の信頼性と高性能は広く認められているところであるから、東西線車両用電機品の設計にあたっては従来の路線の方針を踏襲した。特殊条件としては将来中野から東陽町までの東西線16.6km全通後は、中野駅で国鉄中央線と相互乗入運転を行なうため最大10両編成が可能であり、地下はもとより地上においても国鉄通勤用電車と同等以上の性能が要求され、また営団、国鉄両者の諸規格をみたす必要があった。

このような条件のもとに完成した主要電機品について、高田馬場～九段下間開通の機会に、その詳細をご紹介します。

2. 設 計 仕 様

2.1 設計条件

東西線車両用電機品は次のような条件のもとに設計された。

軌 間	1,067 mm
電気方式	DC 1,500 V 架線方式
列車編成	8M2T 当初は 2MIT
自 重	M 車 36 t T 車 27.5 t
荷 重	360 人/両
車 輪 径	860 mm
加 速 度	3.5 km/h/s 以上
	ただし加速電流のピーク値は 8M2T 編成で 4,100 A 以下
減 速 度	常用最大 4.0 km/h/s
最高速度	地下 70 km/h 地上 100 km/h
表定速度	地下 31 km/h 以上 地上 40 km/h

2.2 性 能

2.1 節のような条件に基づき、次のように諸元を決定した
主電動機 MB-3088-A 形 100 kW

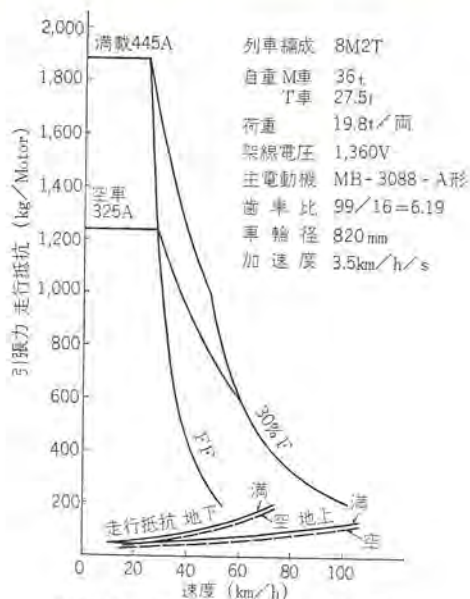


図 2.1 出力性能曲線
Fig. 2.1 Out put performance curves.

歯車比 99/16=6.19
制御装置 ABFM-138-15MDH 形
ブレーキ装置 HSC-D、ATC 連動
出力性能曲線を図 2.1 に示す。

3. 特 長

地下鉄用電車としての運転特性から、次のような特長を有している。

(1) 運転時分の短縮が可能である

主電動機は、1,067 mm 軌間で車輪径 860 mm にもかかわらず 100 kW としてトルク容量を大きくするほか、レールと車輪間の粘着係数を有効に利用し荷重条件に無関係に、つねに一定の高加減速度を発揮するようにし、運転時分の短縮をはかっている。

(2) 快適な乗りごこちである。

とくに、ラッシュアワーなどの混雑時においても円滑な乗りごこちが得られるよう、当社独自の WN 駆動方式とパーナ制御を併用したプログラムコントロール方式を採用し、ショックのない走行性能を確保している。

(3) 安全な運転が行なえる

高周波連続誘導式ホロサイクル信号と連動した ATC 装置を設け、運転時間間隔の短縮に伴う列車運用に対しても十分な安全性をはかっている。

(4) 変電所負荷容量が軽減できる。

8M2T 編成による運転の場合でも、加速時のピーク電流を 4,100 A 以下になるようパーナによる超多段制御を行ない、変電所の負荷容量を軽減している。

(5) 発電ブレーキ力の活用

国鉄中央線乗入れも考慮し、最高 100 km/h からの発電ブレーキが可能なるよう、主電動機の過電圧を 1,100 V まで許容するとともに、8M2T 編成のほか 2M1T などの編成においても、発電ブレーキ力を十分活用するような電空併用ブレーキ制御方式となっている。

(6) 簡単な保守

たとえば、抵抗カムスイッチは主回路電流の投入・シャ断を行わず通電のみを負担する方式を採用し、主接触子の損耗を防ぐとともに制御回路の無接点化などにより大幅な保守の簡略化をはかっている。

4. 主電動機および駆動装置

4.1 概 要

主電動機の選定以前に前提条件として、列車編成は最終的には 8M2T となること、加速度は 3.5 km/h/s 以上で加速電流のピーク値を、4,100 A 以下に押えることが決定しており、この線に沿って主電動機および駆動装置の設計を進めた。まず問題となるのは、(1) 出力をどの程度とするか、(2) 車輪径は 860 mm か 910 mm か、(3) 駆動方式はどのようにするか、(4) 歯車比はどの程度まで大きくとれるか、の 4 点であった。

狭軌用大容量 WN ドライブ主電動機は昭和 34 年以来各方面に着実に実績を築き上げてきたが、設計製作技術の進歩によって今日では 860 mm の車輪径に大容量の WN ドライブ主電動機および駆動装置を収容することが可能となった。このため今回の東西線でも狭軌 860 mm 車輪に WN ドライブを適用することとし、主電動機はできる限りトルク容量の大きいものとするように努め、また歯車比も大きくとって高い加速度を得るようにした。出力は、100 kW としたが十分に所定の運転条件を満足する。

主電動機および駆動装置の外形および配置を図 4.1 に示す。

4.2 主電動機

主電動機の諸元は次のようである。

形 名 MB-3088-A 形

方 式 直流直巻補極付、丸形ワウ、台車装荷式
半密閉自己通風式

1 時間定格 100 kW 375 V 300 A 1,450 rpm (80% 界磁)

最弱界磁率 30%

試験最高回転数 4,800 rpm

最大許容端子電圧 1,100 V (全界磁)

絶 縁 F 種

重 量 710 kg

特性曲線 図 4.2 に示す

この主電動機の設計にあたっては 8M2T 編成で 3.5 km/h/s 以上という高い加速度を得るために、狭軌 860 mm 車輪の内側という狭いスペースをいっばいに活用して、できるだけ定格回転数を下げトルク容量を大きくとれるように苦心をはらった。おもな特長は次のようである。

(1) 車輪径 860 mm の台車に収容したので、主電動機、駆動装置はもとより、台車も軽量化することができた。

(2) 狭軌 860 mm 車輪用主電動機としては最大級のトルクを発揮できる。

(3) 連続定格は 92 kW であって、1 時間定格の 92% にも達している。これは通風が良好であること、電車電動機用として最も適応性のあるエポキシ樹脂を使用した一体固化絶縁によって熱放散が良好であることなどに負うところが大きい。

(4) 高速性能を良くするため 30% という高率の弱界磁を使用するが、構造上も保守上も不利な補償巻線は設けず、電気磁気装荷の配分は比較的弱電機子とし主極アンパターを十分に大きくとって整流の安定化をはかった。

(5) 高速から発電ブレーキが可能なるように、1,100 V という高い過電圧を許容した。

(6) 歯車比を大きくとっているにもかかわらず、最高 100 km/h の高速運転に耐えるために、試験最高回転数は 4,800 rpm と高い値を許容している。したがってスピードレシヨ(最高回転数/定格

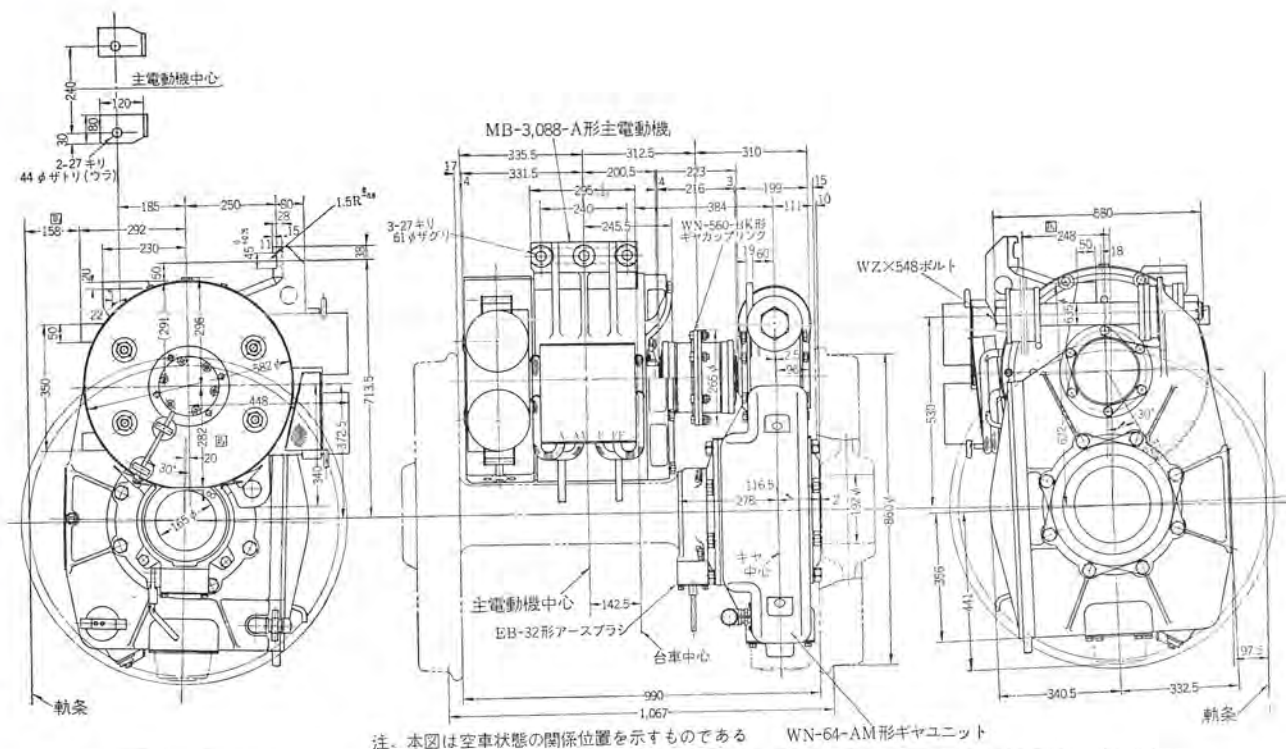


図 4.1 主電動機，駆動装置総合外形図

Fig. 4.1 Outline of traction motor and drive equipment.

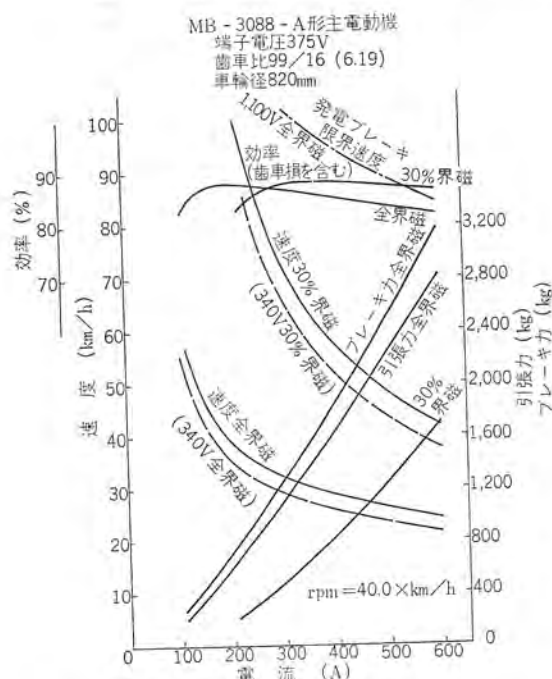


図 4.2 主電動機特性曲線

Fig. 4.2 Characteristics curves of traction motor.

回転数は 3.31 にも及んでいる。

(7) 絶縁は界磁も電機子も F 種とし，界磁は無溶剤性エポキシ樹脂による一体固化絶縁，電機子はインフタル酸系アルキッドワニスを使用した F 種絶縁としている。

4.3 駆動装置

WN 駆動装置の諸元は次のようである。

(1) ギヤユニット

形名	WN-64-AM 形
形式	1 段減速 シングルヘリカルギヤユニット 全密閉一体鋳鋼製 ギヤケース付
歯車比	99/16=6.19



図 4.3 MB-3088-A 形主電動機
Fig. 4.3 Type MB-3088-A traction motor.



図 4.4 WN-560-BK 形ギヤカップリング
Fig. 4.4 Type WN-560-BK gear coupling.

モジュール	6
圧力角	26°
重量	435 kg

(2) カップリング

形名	WN-560-BK 形
形式	ダブルインタルエキスタナルギヤ式
許容軸偏位	両軸偏心 最大 ±13 mm 軸方向 最大 ±10 mm
重量	30 kg

高加減速度を得るためには歯車比を大きくするほうが有利であるが，車輪径が 860 mm であるため大歯車はあまり大きくできない。そのためモジュールは 6 と比較的小さく選び，かつ圧力角を 26° にとって大歯車の歯数を増して歯車比を大きくとった。ギヤケースは強固な一体構造としているから歯車のカムアイは円滑であり，歯車軸受ともに長い寿命が期待できる。

カップリングは狭軌大容量用の当社の標準形である。

5. 制御装置

5.1 概要

地下鉄用電車を所定の加減速度で円滑に制御するため、100 kW 主電動機8台を制御する制御装置としては次のような点に考慮をはらった。

(1) レールと車輪間の粘着係数を有効に利用し、高加減速度を得る。

(2) 最小のカムスイッチ数で最大のステップ数を得る超多段方式とし、乗りごこちはもとより、力行時のピーク電流を減らし、変電所の負荷容量を軽減する。

(3) 力行や発電ブレーキ時の直列並列つりは円滑なつり制御を行ない、とくに発電ブレーキは高速から低速まで有効とする。

(4) いかなる速度からブレーキをかけても発電ブレーキ電流の立ち上がりを迅速にし、ブレーキ距離の短縮をはかる。

(5) ショックの少ない力行オフ、ブレーキオフを行なう。

(6) 抵抗カムスイッチは電流の投入やシャ断を行なわず、カムスイッチの損耗を軽減する。

(7) 機器は配置ごとにブロック化をはかり、保守点検を容易にする。

5.2 要目

主要要目は次のとおりである。

形 名 三菱 ABFM-138-15MDH

方 式 100 kW 8個主電動機ユニット総括制御ラウラ

ラム式 パーニヤ制御、応荷重付弱界磁起動・直並列弱界磁制御および2段減流シャ断、オフ・スポッチング方式

加 速 度 3.5 km/h/s

減 速 度 常用 4.0 km/h/s 非常 5.0 km/h/s

制御段数 力行 52 段 ブレーキ 41 段

パターンコントロール 電流基準 パターンコントロール

カム電動機制御 SCR による無接点制御方式

制御電圧 DC 100 V, AC 100 V 50 c/s

制御空気圧 5 kg/cm²

5.3 主回路方式

主回路ツナギは、図 5.1 に示すとおり永久直列の主電動機4台群、2組を直並列制御する方式で、起動は1段減流・弱界磁起動、直列から並列へのつりは図 5.2 に示すような特殊なブリッジつりを用い、力行やブレーキ時の直並列制御の電流変化、すなわち、ショックを少なくしてある。

抵抗制御はパーニヤ抵抗を組み合わせ、かつ M₁ 車、M₂ 車の交互進段により次のステップ数を有している。

カ 行 直列 ノッチ 18 ステップ

並列 ノッチ 24 ステップ

弱界磁 10 ステップ

ブレーキ 41 ステップ

力行およびブレーキ時の各ノッチ曲線は、それぞれ図 5.3、5.4 に示してある。

このパーニヤ制御は、カムスイッチを主体とし主電動機4台あたり

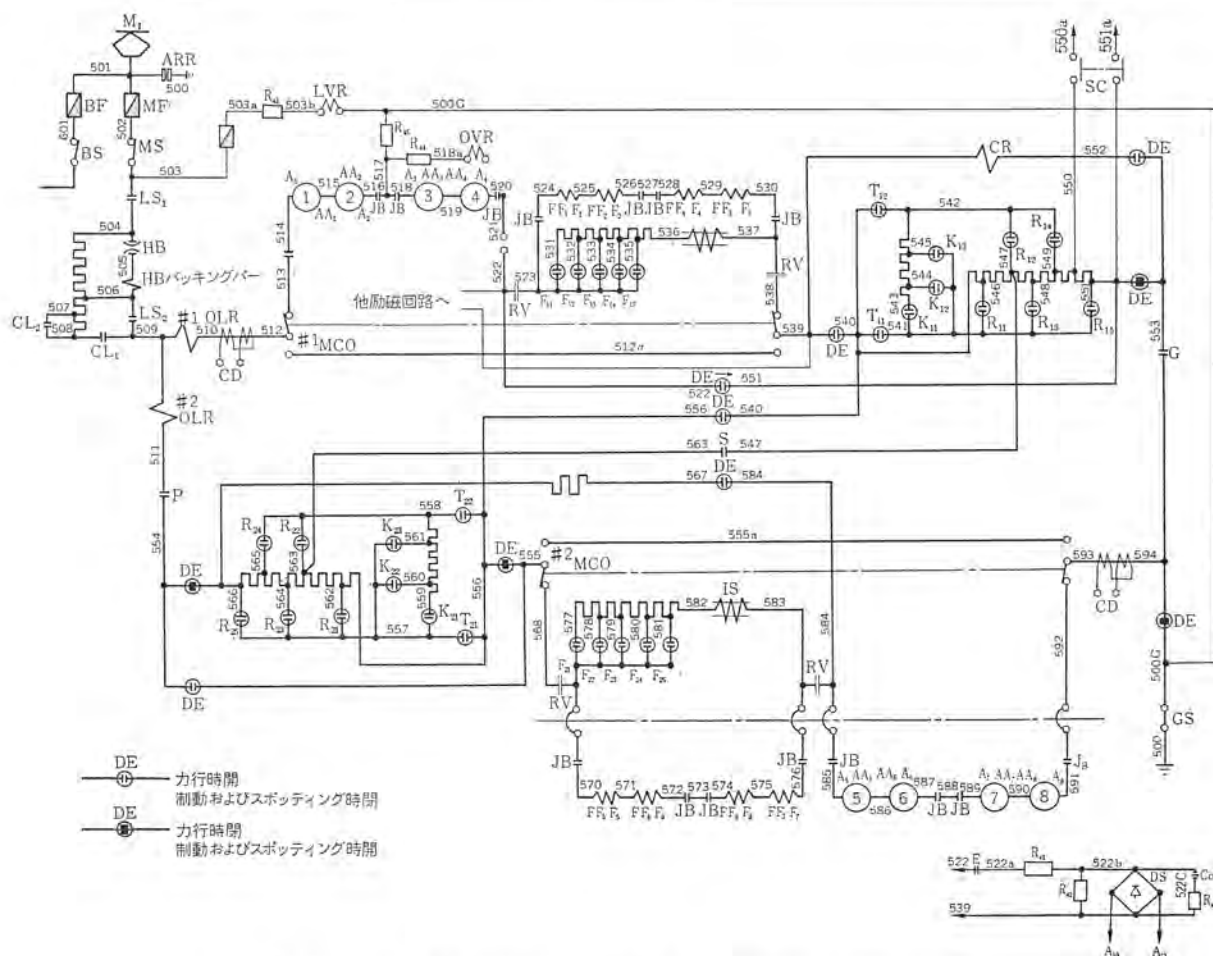


図 5.1 主回路ツナギ Fig. 5.1 Connection of main circuit.

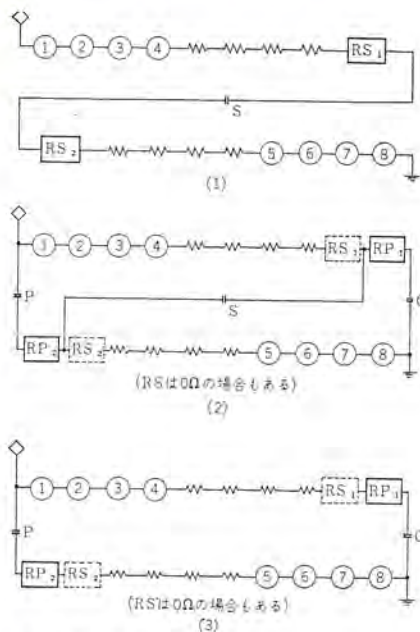


図 5.2 直列回路から並列回路へのワタリ
Fig. 5.2 Mode of transition from series to parallel connection.

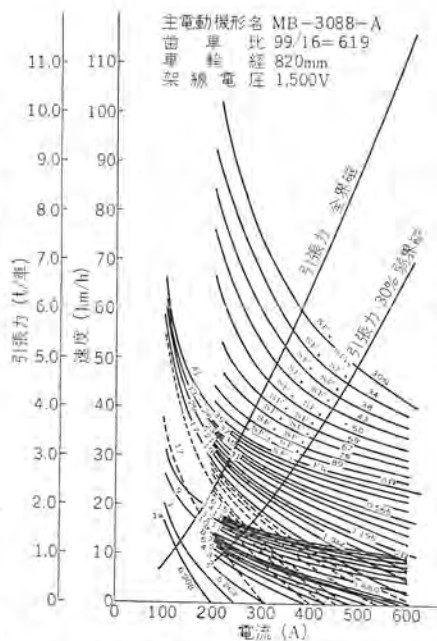


図 5.3 ノッチ曲線 (力行)
Fig. 5.3 Notching curves (powering).

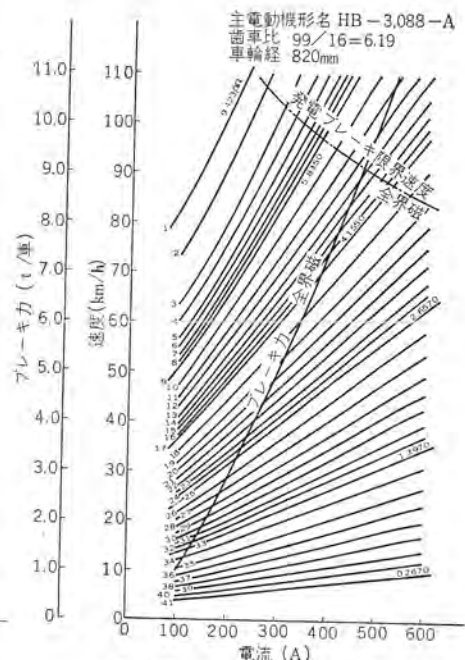


図 5.4 ノッチ曲線 (ブレーキ)
Fig. 5.4 Notching curves (braking).

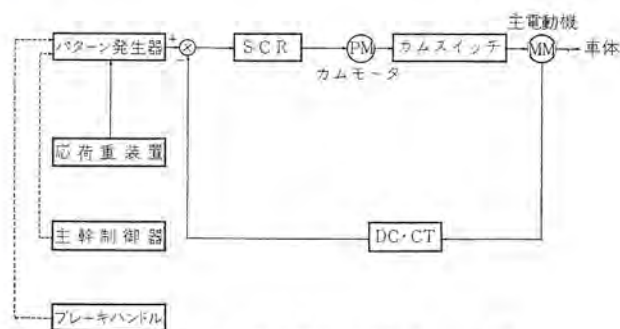


図 5.5 主電動機電流制御のブロック線図
Fig. 5.5 Block diagram of control system.

わずか5個のセレクト・スイッチと3個のパーニヤ・スイッチおよび2個のトランスファ・スイッチにより上記の超多段ステッパを構成している。これらのカムスイッチは、単一のカムモータにより制御し、かつ、機械的に直結しているから動作シーケンスの遅れはなく、対向カムやステッピングカムによりバランスを保っている。

トランスファ・スイッチは電気的弁作用を行なうもので、パーニヤ・スイッチは段間電圧が低く小電流であるため、また、セレクト・スイッチは主回路電流の投入やシャ断を行なっていないので接触子荒れは少ない。

このような超多段制御を行なうことによって、次に述べる電流基準のプログラムコントロールを実現している。

一方、ノッチオフ時は主電動機を弱界磁とし補助を行なういわゆるオフ・スポッチング回路とし、ブレーキ指令時の発電ブレーキ電流の立ち上がりなどを迅速にしている。

5.4 制御回路方式

乗客の多少にかかわらずつねに一定の乗りごちを有する電流基準プログラム制御方式で、すでに日比谷線用にも実施し好成績を納めているが、今回はその制御にサイリスタ (SCR) を用い、速応性と小形軽量化をはかっている。

すなわち、図 5.5 に示すブロック線図のように主電動機電流は直流変流器により検出し、これとパターン電圧を比較し、主電動機電流がパターンに及ばないと比較磁気増幅器の出力が増大しカム

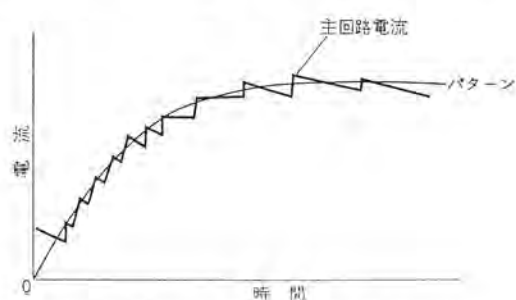


図 5.6 主回路電流とパターン
Fig. 5.6 Current of main circuit and pattern.

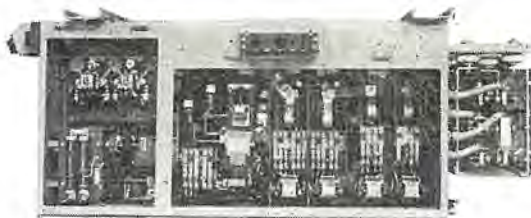


図 5.8 HB-5R-601 形断流器箱内観
Fig. 5.8 Type HB-5R-601 line box breaker.



図 5.9 CB-42C-1 形主制御器箱内観
Fig. 5.9 Type CB-42C-1 main control box.

モータ回路のSCRを位相制御しながらカム軸を駆動する。

したがって、パターンと主電動機電流の差が大きいときは比較磁気増幅器の出力も大きく、カム軸は早く回転してその差を詰めようとし、差がなくなると停止する。

このようにすることによって、主電動機電流はあらかじめ乗りごちを考慮して設定されたパターン曲線に沿って立ち上がるので、ショックのない円滑な制御を行なうことができる。

図 5.6 は加速時の主電動機電流とパターンの関係を示している。

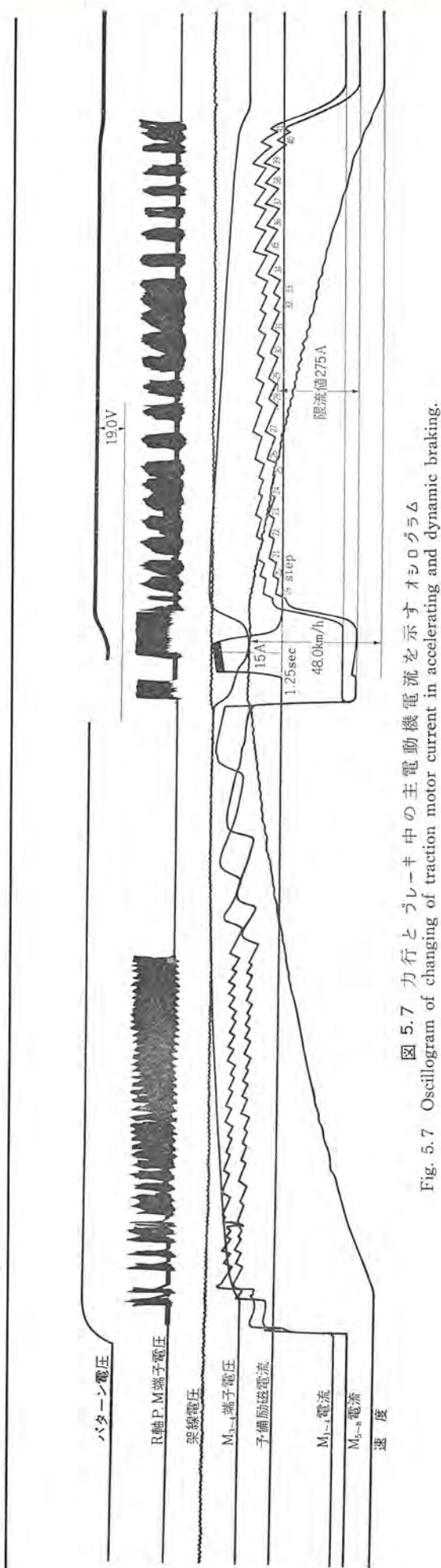


図 5.7 力行とブレーキ中の主電動機電流を示すオシログラム
Fig. 5.7 Oscillogram of changing of traction motor current in accelerating and dynamic braking.

5.5 現車試験結果

工場において等価 フライホイール と組合試験を実施したのち昭和 39 年 11 月に東西線飯田橋～九段下間で 2MIT 編成を用い現車試験を行なったが、加減速度は所定の パターン 曲線に忠実に沿ってそれぞれの設計を満足し、スポッチング時の主回路電流は 10～15 A で発電 ブレーキ 電流の立ち上がりも 1.5 秒前後で、電空 ラップ 時の ショック もほとんど見られなかった。

これら現車試験の オシロ の一例は図 5.7 に示すとおりである。

6. ATC 装置

6.1 概要

ATC 装置の系統を ブロック 線図で示すと図 6.1 のとおりで、その設計に際しては次の点に十分な注意をはらった。

- (1) いかなるときでもかならず電車として安全側に作用させる。
- (2) 系統をブロック 別にユニット化し、構造を コンパクト にしてある。
- (3) 回路はすべて無接点化する。

すなわち、電車速度を誘導子形発電機 (TG) で周波数として検出したのち、周波数→直流電圧変換回路 (F-DC 回路) で直流電圧に変換する。

一方、パターン 発生部では、受信器からの信号に応じた パターン 電圧を発生する。比較部では速度電圧と パターン 電圧を比較し、前者が後者よりも大きいときは比較部の出力はなくなり、論理増幅部を介してブレーキ 指令を与える。論理増幅部は比較部からの信号とそのときの地上信号の条件で常用 ブレーキ か、非常 ブレーキ か選択判別して、それぞれの制御指令を与える。また論理増幅部では国

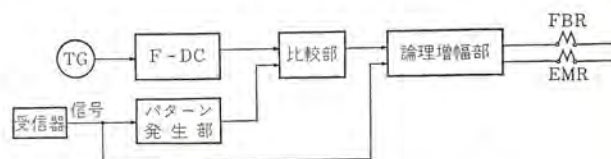


図 6.1 ATC 装置のブロック線図
Fig. 6.1 Block diagram of ATC device.



図 6.2 CMR-DC-1 形 ATC 装置
Fig. 6.2 Type CMR-DC-1 ATC device.



図 6.3 AND カード
Fig. 6.3 Interior view of AND card.

鉄一営団区間相互乗入れの特定信号により、運転条件を規制している。

6.2 特長

(1) 従来の速度照査部と論理部を一体化し、小形軽量、高性能としてある。

(2) 回路はトランジスタ化してある。

(3) 系全体に交流励振を加えて、故障時はつねに無出力になるようにしてフェール・セーフとしてある。

(4) 各回路はプラグインタイプとして、各回路のチェックを容易にしたほか、トランジスタカードの標準化を行ない、互換性と保守を容易にしてある。

6.3 信号と速度

制限信号と速度との関係は表 6.1 に示すとおりである。

表 6.1 信号と速度

信号区間	6T	5T	4T	3T	2T	1T	切換区間
信号現示	G	YG	Y	YY	R1	R2	—
信号入力	10 c/s (A)	15 c/s (B)	25 c/s (C)	35 c/s (D)	—	85 c/s (X)	—
全ブレーキ系制限速度	—	40 km/h	25 km/h	確認後 15 km/h	絶対	—	—
非常ブレーキ系制限速度	—	—	—	15 km/h	停止	—	—

6.4 主要回路

(1) 周波数—直流電圧変換回路

周波数—直流電圧変換回路は波形整形回路、微分回路、単安定マルチバイブレータ、整流回路で構成されている。今回使用している波形整形回路は速度発電機からの出力トリガレブルが低いとき（すなわち、停止付近の速度のとき）は低周波の発振回路となり、出力トリガレブルが高いとき（すなわち、高速域）は従来の波形整形回路の機能を有する。速度発電機と波形整形回路は直列に接続されている。このため周波数—直流電圧変換回路の最小出力電圧は停止しているときであり、発振回路の周波数に比例した電圧である。したがって速度発電機が断線したときは発振回路は止り、周波数—直流電圧変換回路の出力は 0 となってブレーキ指令を与える。すなわち速度発電機断線時のフェール・セーフ化をはかっている。

(2) パターン発生部

受信器からの信号によるパターン電圧の切り換えはすべてトランジスタ回路で行なっている。同時信号の場合は低速度信号優先になっ

ている。

(3) 比較部

差動増幅器を利用している。出力はトランス結合になっているた

め、一次側の故障に対してはすべて無出力となり、ブレーキ指令を与える。

(4) 論理増幅部

AND と増幅器から構成されている。

AND はトランジスタを使用し、出力はトランスを通して取り出す方式である。したがって、一次側の故障時はすべて無出力となり、ブレーキ指令を発する。

増幅器はパワートランジスタを使用した。容量 10 W のもので、回路はトランジスタで構成され、出力はトランスを介して取り出す。これらの回路全体には 1,300 c/s の励振をかけているが、その発振装置はロイヤの発振方式である。

6.5 そのほかの性能

ATC 装置は本来、制限速度と列車速度を検知して列車にブレーキ指令を与える保安装置であるが、この装置の機能を次のように流用している。すなわち、

(1) 検出速度により、列車のブレーキ力制御（減速度制御）を行なっている。

(2) 運転台の交換はある特定の条件のときのみ可能であるように規制し、電車の運転の安全性を向上させている。

(3) トビラの開閉は一定速度以下でないと開かぬようにし、安全度を高めている。

6.6 電源

ATC 装置はすべてトランジスタ化されているため、直流 24 V を必要とする。

この電源として次の定格の SCR 式静止形コンバータを利用して

コンバータの定格

入力電圧	DC 100 V $\begin{matrix} +10\% \\ -30\% \end{matrix}$
出力電圧	DC 24 V $\pm 5\%$ (0—100% 負荷にて)
容量	500 VA (10 分間定格 750 VA)
使用周囲温度	-10°C ~ +55°C

7. む す び

運転ひん度の高い地下鉄用電車は高加減速性能はもとより、きわめて大きい安全性と容易な保守方式であることが望まれる。

このような見地のもとに、営団（東西線）納め地下鉄電車用として製作した主電動機、制御装置、および ATC 装置は現車試験においても満足すべき性能を発揮し、すでに営業線で好調に活躍している。

最後に、これらの設計、製作に際しいろいろご指導いただいた帝都高速度交通営団関係者各位に深い謝意を表する次第である。

変圧器付属品(2) 冷却装置

印 藤 義 雄*・川 中 進*

1. ま え が き

電力用変圧器の損失としては、無負荷損と負荷損がある。前者は主として鉄損からなり誘電体損失はほとんど問題にならない。後者は巻線内に生ずる銅損および巻線以外の金属部分に発生する損失で、これらの損失が発生熱源となるものである。この発生熱量は小容量低電圧の変圧器では、タンク および放熱器の表面から放射および空気の流れによる熱放散で十分であるが、大容量高電圧の変圧器になるとこの熱放散が非常に重要になる。

一般に鉄心と巻線が相似形のままで寸法が a 倍になると、銅損と鉄損による発生熱量は体積に比例するから、 a^3 倍になる。しかるにこの熱量を放散すべき面積は a^2 倍にしかならない。すなわち放熱面積は発生熱量の増加率に追従し得ないのである。したがって今日のように変圧器の容量が大きくなってくると熱損失の処理が非常に重要な問題になり、放熱面積の増加とか風冷あるいは水冷などによる冷却効率のよい冷却装置が必要となってくる。

有効適切な冷却方法の選択は変圧器の寿命を著しく延長させるとともに、より大容量の変圧器開発に寄与するところが大きい。

以下当社が採用している変圧器用各種冷却装置の概要を述べる。

2. 変圧器の冷却方式

変圧器の冷却方式には次のような種類がある。

乾式変圧器	乾式自冷式
	乾式風冷式
油入変圧器	油入自冷式
	油入水冷式
	油入風冷式
	送油自冷式
	送油風冷式
	送油水冷式

乾式変圧器は冷却効果と絶縁強度の点から主として小容量低電圧のものに用いられている。しかし最近新しい絶縁物の開発によって、H 種変圧器として中容量のものが製作可能となってきたが、これは特殊用途のものであるので、ここでは油入変圧器の冷却方式について述べる。

2.1 油入自冷式

絶縁油を冷却媒体としてタンクの表面および放熱器から放射および空気の流れによって熱放散させるもので、最も一般的に用いられている冷却方式である。自冷式は、保守は簡単であるが、変圧器の据付面積、重量、油量などは他の方式と比較すれば大きくなる。

2.2 油入風冷式

自冷式の放熱器に送風機を取り付けて強制冷却するもので、負荷率の低い場合には自冷式として使用し、負荷率が高くなった場合のみ送風機を起動させるものもある。自冷式に比べ、変圧器容量は 20~40% 程度増すことができるが、送風機を使用するため、騒音および振動が生ずるので、とくにその点を考慮しなければならない。

2.3 油入水冷式

変圧器内部に設けられた冷却管に水を通し、冷却水により発生熱量を運び去る方式で、最も古くから使用されているが、冷却方式の進歩により、この方式の変圧器は現在では少なくなってきた。自冷、風冷に比べ冷却効率が良いので、寸法、重量は小さくなるが、冷却管の腐食、摩耗や、沈殿物の付着などのため、良質の冷却水が必要とするほか、保守が比較的めんどうなため、特別の場合にのみ使用されている。

2.4 送油自冷式

送油自冷式は、変圧器タンクと放熱器とを分離し、タンク内の高温の油をポンプを使って強制的に対流を作り、対流作用による冷却を助長するものである。油入自冷式に比べると放熱効果がよくなると同時に、強制的に油の対流を作るため、巻線や鉄心面の油流を速めることになり、巻線や鉄心から油への熱伝達作用が良くなり油温度と巻線温度との差、最高油温度と平均油温度の差、最高巻線温度と平均巻線温度との差などを減らすことができるので油の平均温度を高く取りうる利点がある。したがって寸法、重量が小さくなる。一般に風冷式と合わせて使用する場合が多い。

2.5 送油風冷式

絶縁油を油ポンプにより、タンクと放熱器との間を強制循環させ、その間に放熱器に取り付けた送風機により強制冷却する方式で、一般に 30,000 kVA 以上の大容量変圧器に使用される。自冷容量のある放熱器を取り付けた場合には負荷の軽重により、自冷・風冷の切り換えを行ない、多重定格の変圧器として使用することができる。また高能率の単位冷却器を多数取り付けた場合にも、負荷の軽重により冷却器の運転台数を調整して補機損を減少することができる。

2.6 送油水冷式

変圧器タンクと冷却器を分離し、絶縁油を油ポンプで強制循環させ、冷却器内で水との間に熱交換を行なわせるもので、大容量

表 2.1 各種冷却方式による変圧器重量比較
(60 c/s, 140 kV, 30,000 kVA 程度)

冷 却 方 式	重 量 比
油 入 自 冷 式	100
油 入 風 冷 式	97
油 入 水 冷 式	95
送 油 風 冷 式	85
送 油 水 冷 式	83

の変圧器に適用される。冷却水の豊富な所あるいは、送油風冷式の採用できない所で用いられる。

以上変圧器の各冷却方式の概略を述べたが、これらの冷却方式を油入自冷式を基準として製品重量について比較すると、概略表 2.1 のようになる。

3. 各種冷却装置の構造および設計基準

3.1 自冷式放熱器

自冷式変圧器用放熱器は、当社独特の シーム 溶接式放熱器を標準として製作している。この放熱器は図 3.1 に示すように 2 枚の薄鋼板を合わせて両端および中間 2 条を シーム 溶接したのち圧縮空気であくくまて所定の形に成形したものである。上下の端部は外側に折り曲げて、隣接の放熱管を互いに外部から溶接で接合し、放熱管自体で ヘッダ の片面を形成させている。自冷式放熱器は ヘッダ の形式により M 形、W 形の 2 種類に分類されている。

図 3.2 は M 形放熱器の外観を示す。放熱管群の片面に薄鋼板で形成された ヘッダ を溶接し、ヘッダ の中央部から エルボ を取り出したもので、変圧器本体とは エルボ の先端部の フランジ により、放熱器弁を介して取り付ける構造となっている。また絶縁油は エルボ を通り放熱器の中央部に流れ込むようになる。

図 3.3 は W 形放熱器の外観を示す。W 形放熱器は ヘッダ をそのまま フランジ に利用したもので、M 形と同一取付寸法で 4~6 % 放熱面積を多くすることができる。

M 形、W 形ともに変圧器の容量に応じて取り付けられるよう広範囲に標準化されている。

放熱管形状は図 3.1 でもわかるように、各油流断面はヒシ形を形成し、放熱管内油量に対し、空気側伝熱面積を最大にするよう設計されている。これを同一内部油量の円管と比較すると空気側伝熱面積は約 50% ほど多くなっている。内部油量が少ないので放熱器としての重量を少なくできるとともに、この形状は変圧器に取り付けた状態で真空注油する際にも、真空に対し十分耐えるよう設計されている。また放熱効果のみを考えると熱伝導率の高い材料を使用するのが最も得策であるが、機械的強度、耐腐食性および経済性などの総合的見地からすれば鋼板が最適である。各接合部は主として シーム 溶接を用いていることは前述のとおりであるが、単位放熱器はすべて溶接で接合されているため、構造的にも油漏れの可能性は少ない。放熱管相互の間隔は放熱管厚さの 3 倍強の寸法とし、また放熱器 (1 ユニット) 相互間も適当に間隔を保つよう配置することにより、

互いの放熱効果を妨げないよう設計に注意が払われている。

以上のように放熱器自身の材質、形状が決定されると、これを最も効率よく使用するためには変圧器本体の設計によるところが大きい。自冷式放熱器の放熱量は冷却器内の流量の関数で流量の増加とともに増大するが、流量は自然対流により、すなわち冷却器出口の油温度とその近傍における油 タンク 内の平均温度との差による密度の差によって生ずる下向きの力により流れるので、放熱量は冷却器と熱源、つまり巻線との相対位置により大きく変化する。しかし、これは変圧器設計上の問題なので、ここではふれないことにする。

油入自冷式は前述のように設備が簡単で運転が容易であり、信頼度、耐久度が高いので最も普通に採用されているが、50,000kVA 程度になると床面積が膨大になり油量が増加するので、10,000 kVA までが最も経済的である。

この自冷式放熱器に送風機を取り付けることによって油入風冷式とすることができる。これは送風機により強制的に空気を吹き付けて空気の対流作用を助長して冷却効率を増加させるもので、送風機は原則として空気の自然対流に逆らわないよう取り付け、これにより、その放熱効果を 150~200% 増加し、変圧器出力は



図 3.3 W 形自冷式放熱器 (別置)



図 3.1 M 形自冷式放熱器断面構造

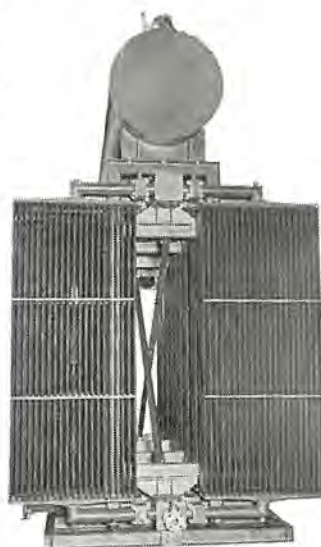


図 3.2 変圧器用 M 形自冷式放熱器 (別置)

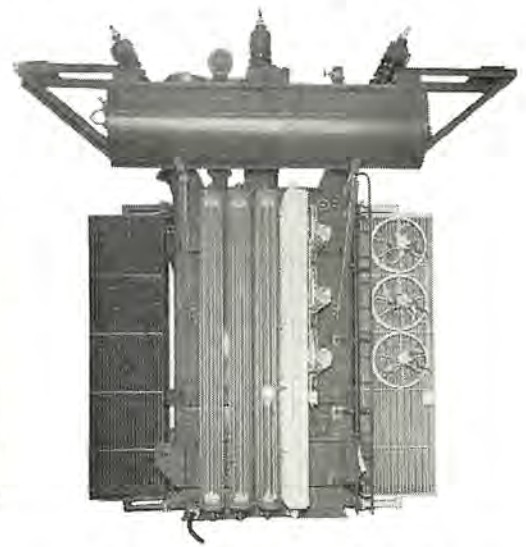


図 3.4 油入風冷式変圧器



図 3.5 バードウィング形冷却扇



図 3.6 送油風冷式冷却器 (Uフィン形) ▶



◀ 図 3.7 送油風冷式冷却器 (PF-3 形) 外観 (正面)



図 3.8 国鉄新幹線納めアルミロウ着コンパクト形放熱器

前述のごとく 20~40% 増大することができる。図 3.4 は自冷式放熱器に送風機を取り付けた変圧器の外観を示す。送風機の取付方法としては、放熱器群を並列にして 4~8 個を 1 群とし、側面に 2~4 個の送風機を取り付けて強制冷却するもので、これに使用する送風機の容量は 200 W あるいは 400 W の強力なものをを用い、構造も丈夫で、とくに バードウィング 形と呼ばれる 2 枚羽根を採用して騒音を減少させるよう考慮している。

図 3.5 はその外観を示す。

また都心の変電所などで、その立地条件から騒音を防ぐ目的で、変圧器本体を屋内におき放熱器を別置として屋外に出す場合には油ポンプを使って変圧器と放熱器との間を強制循環させ放熱効果を助長する。これにより自冷 / 送油風冷の二重定格あるいは、自冷 / 風冷 / 送油風冷の三重定格として使用することもできる。その場合の変圧器の容量比は一般に前者が 60/100、後者は 60/80/100 である。

3.2 送油風冷式放熱器

当社では、大容量高電圧の変圧器用放熱器としては、この送油風冷式を採用することが最も多い。この方式の放熱器として従来いろいろの形式のものが使用されているが、当社では現在 U フィン管形 (図 3.6) と プレートフィン 形 (図 3.7) の 2 種類を標準として製作している。また一方車両用変圧器、移動用変圧器などに使用するため、重量軽減および高能率の放熱器として総アルミ製のもの (図 3.8) のも採用している。

3.2.1 U フィン管形放熱器

U フィン管形放熱器は図 3.9 に示すように、U フィン管を上下ヘッダに標準として 4 列の千鳥形に取り付けたもので、U フィン管の長さとお数によって 6-73 形、8-73 形、10-73 形、12-73 形の 4 種類の各単位放熱器を標準としている。

U フィン管は図 3.10 に示すように、空気との接触面積を増すために、鋼管の周囲に銅線または鋼線を緊密に鎖状に巻き付けたうえ、鋼管とともに溶融亜鉛浴に浸しメッキして一体とし、相互を熱的にも密着させたうえ、サビ止め効果をも兼ねたものである。

この構造は工作が容易でかつ、できあがったものは機械的にも十分堅固である。また U フィン管の内部には油の流れをウエ流にすることによって放熱効果を助長させるべく、薄銅板をねじって作ったウエ流器を入れている。この U フィン管とヘッダとの接合部は、溶接してあるので油漏れの心配はない。

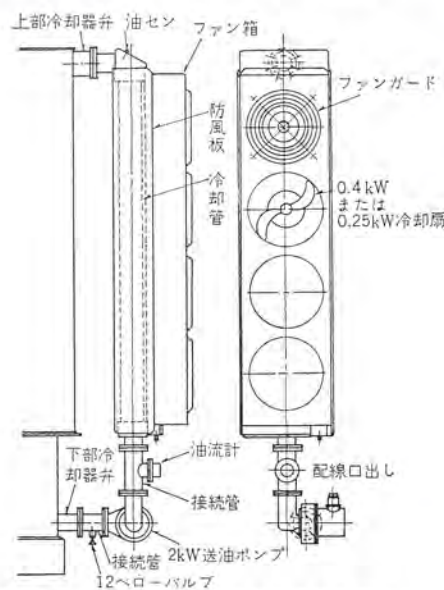


図 3.9 U フィン形送油風冷式冷却器構造



図 3.10 送油風冷式冷却器 (U フィン形) 冷却管

このように送油風冷式として、空気側、油側の双方から放熱効果を良くするよう工夫されている。

各単位放熱器には長さに応じて前述 (図 3.5) の送風機を 2~5 個取り付けてある。この送風機は焼損防止用保護装置を内蔵しており、連続運転による機械的故障または絶縁劣化による单相運転、過負荷、低電圧などによる巻線の焼損事故を未然に防ぎ常にスムーズな運転を続け長寿命に耐えることを期している。このモータは全閉屋外用のもので、外部から水が浸入することのないよう設計されており、羽根は耐食性ならびに加工性のすぐれたアルミ鋳物第 3 種で製作されている。とくにモータの振動を少なくするために、羽根単独についてはもとより、モータ直結した状態で静的ならびに動的バランスを十分にとってあるので、異常振動はない。また放熱器下部に 2~3.7 kW の油ポンプを取り付け、1 台あたり、1,500~2,000 L/min の油を放熱器の上から下へ循環させている。



図 3.11 変圧器用電動ポンプ NW-R (θ) 形

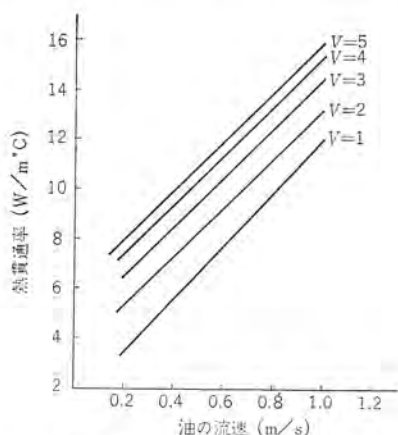
図 3.12 Uフィン管の熱伝達率
(管内径 16 mm 鉄管, 鉄フィン)

図 3.11 は油ポンプの外観を示す。

また放熱器下部の見やすいところに油流指示器を設け、油ポンプの運転をチェックしている。この油流指示器には警報装置が内蔵されているから、油ポンプが停止した場合は自動的に警報を出す。

Uフィン管形放熱器を設計する場合は、タンクによる熱放散は考慮に入れず、変圧器内に発生する熱損失をすべて放熱器で熱放散させると考えると次式が成立する。

$$W = \alpha \cdot l \cdot \Delta t \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

ただし、 W : 変圧器の全損失 (W)

α : 放熱管 1 m あたりの熱伝達率 ($W/m^2\cdot^{\circ}C$)

l : 放熱管長さ (m)

Δt : 空気と油の平均温度差 ($^{\circ}C$)

ここに Δt は次式によって求める。このような場合の平均温度差を求める方法はいろいろあるが、対数的平均値を求めている。

$$\Delta t = \frac{(t_{01} - t_{A1})(t_{01} - t_{A2})}{2.3 \log_{10} t_{01} - t_{A1} / t_{02} - t_{A2}} \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

ただし t_{01}, t_{02} : 放熱器油の入口、出口温度 ($^{\circ}C$)

t_{A1}, t_{A2} : 放熱器風の入口、出口温度 ($^{\circ}C$)

放熱器の油入口温度および空気入口温度は変圧器の規格により決まるので、油出口温度および空気出口温度を算出すればよい。ここで、放熱器に取り付けるべき油ポンプ、送風機などは標準器であるから送油量、風量などを決定し、次式によって求めればよい。

$$t_{02} = t_{01} - Q / \omega_0 \cdot C_{p0} \cdot \gamma_0 \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

$$t_{A2} = t_{A1} - Q / \omega_A \cdot C_{pA} \cdot \gamma_A \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

ただし Q : 全損失 ($kcal/h$)

ω_0, ω_A : 油および空気の流量 (m^3/h)

γ_0, γ_A : 油および空気の比熱 ($kcal/kg\cdot^{\circ}C$)

ただし空気は定圧比熱

C_{p0}, C_{pA} : 油および空気の比重 (kg/m^3)

また、放熱管の放熱効果は管の形状、材質、配列によって非常に異なるものであるが、当社では 4 列千鳥形に配列した状態でいろいろ実験を行ない図 3.12 に示すような特性を見出した。この特性に従って U フィン管の熱伝達率を求めることができる。

したがって変圧器の全損失が解ければ、以上の計算を行なうことにより、必要な U フィン管の全長が算出され、それに見合った放熱器を摘要することができる。

各単位放熱器設計にあたっては、変圧器の規定温度上昇を基本にして、放熱容量の算出を行なっているので、変圧器設計時には、このような計算をすることなく、単位放熱器を必要個数取り付ければよいことになる。

3.2.2 プレートフィン形放熱器

プレートフィン形放熱器は図 3.13 に示すように、多数のプレートフィンに 4 列の千鳥形配列にて放熱管を通し、この放熱管を上下内側シェルに溶接あるいはエキスパンダにより接合させている。材質



図 3.13 送油風冷式冷却器 (PF-3) 裏側

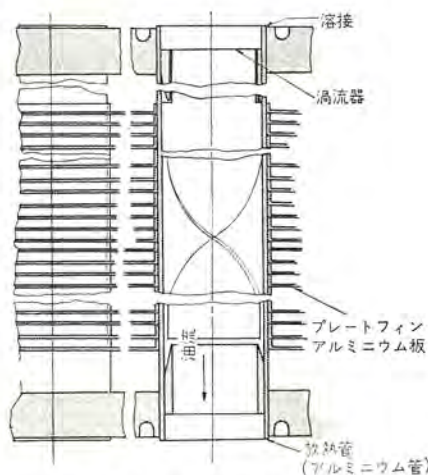


図 3.14 PF 形放熱器構造

は放熱管、ラレートフィンには熱伝導度が良く加工性に富むアルミを使用している。

組み立ては、所定のワックの上に内側シェルとラレートフィンを置き、放熱管をそう入したのち、放熱管内に油圧を加えることによって、フィンピッチを約3mmに保つように放熱管とラレートフィンを機械的にも熱的にも固定する。その後放熱管をシェルに溶接またはエキスパンドし、その部分の反対側から接着剤を注入し油の漏れが絶対に起こらないよう考慮している。図3.14は放熱器の断面を示す。

また、ラレートフィン、放熱管などのアルミ材には耐食性を考慮して表面処理を施している。外部からの荷重に対しては、上下内側シェル間に支持ワックを取り付けてそれに力を分担させている。このように放熱部にアルミ材を使用しているため、変圧器本体および支持ワックとの間に熱応力が作用するので、放熱器の上部取付フランジ部と支持ワック部に、アルミと線膨張率を補正するための装置が施してある。

ラレートフィン形放熱器はその使用材料と構造により、従来の放熱器に比べ単位放熱容量あたりの重量を大幅に軽減すると同時に、変圧器運転時の電力損失をも少なくすることができた。また、単位放熱器容量を大きくすることができ、大容量の変圧器に組み付けすることも可能になった。

当社では、ラレートフィン形放熱器として、放熱管の長さ、ラレートフィン放熱などによって分類された、PF-1形、PF-2形、PF-3形の3種類の単位放熱器を標準としている。

各単位放熱器には焼損防止用保護装置を内蔵した送風機を1～3個取り付けている。図3.15はその外観を示す。

この送風機はUフィン管形と異なり、送風量を多くするため4枚羽根を採用している。モータも50c/s 1kW 60～0.75kWと強力なものを使用することにより、送風機1台あたりの風量は200～230m³/min得ることができる。送風機はなるべく放熱器に密に取り付け、放熱器の熱い空気を吸い出す方向に取り付けてある。羽根の静的ならびに動的バランスをとることはもちろん、モータも密閉形屋外用であるから外部よりの浸水の心配はない。

またPF-1形およびPF-2形には2kWの油ポンプを、PF-3形には3.7kWの油ポンプを取り付け、それぞれ2,000l/min、および3,000l/minの油を上から下に向かって強制循環させている。

放熱器下部の見やすい所に油流指示器を取り付け油ポンプの運転をチェックするのはUフィン管形と同じである。

ラレートフィン形放熱器を設計する場合もタンクによる熱放散を無

視し、変圧器の全損失を放熱器によって熱放散すると考えると次式が成立する。

$$Q = \alpha (A_p + A_f) \cdot \Delta t \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

ただし、 Q : 変圧器の全損失 (k cal/h)

α : 相当熱伝達率 (k cal/m²h°C)

A_p : パイラ 表面積 (m²)

A_f : フィン 表面積 (m²)

Δt : 油と空気の平均温度差 (°C)

相当熱伝達率は油の流量および風量などにより大きく変わることはもちろん使用フィン材料、パイラとフィンの密着度、放熱管の配列などによって大きく変化するものである。われわれはいろいろの実験結果より、空気側から見た相当熱伝達率を空気側風速のみの関数として次の実験式を得た。

$$\alpha = 6.25 V_{\max}^{0.578} \quad \dots\dots\dots (3.6)$$

ただし $V_{\max}$: フィン間最大風速 (m/s)

フィン間最大風速は次式によって求められる。

$$V_{\max} = \frac{P_1 \cdot P_f}{(P_f - S)(P_1 - d)} \cdot V_f \quad (\text{m/s}) \quad \dots\dots\dots (3.7)$$

ただし、 V_f : フィン前面平均風速 (m/s)

P_1 : パイラピッチ (m)

P_f : フィンピッチ (m)

S : フィン材厚さ (m)

d : パイラ直径 (m)

送風機の取付個数および通風断面積が決まればフィン前面平均風速は算出できる。フィンピッチ、パイラピッチは標準として決っているから、式(3.7)から容易にフィン間最大風速が計算される。

以上の計算により空気側相当熱伝達率を算出する。

また油と空気の平均温度差は式(3.2)によって求める。これらにより空気側伝熱面積を求めることができる。ラレートフィン形における空気側伝熱面積のうちフィンの占める割合は93～95%であるから、フィン枚数、パイラ長さを算出すればよい。

以上の演算によって算出された数値はすべて空気側を基準としたものであるが、別に求めた油側の実験式をも満足しているか否かもチェックしている。

当社で標準としている3種類の各単位放熱器は、変圧器の規定温度上昇値に対しての放熱容量を算出している。したがって変圧器の全損失が解ければそれに見合った各単位放熱器を所要数だけ取り付ければよいことになる。

3.3 油入水冷式

油入水冷式は前述のように保守がめんどうなために、最近では冷却水の容易に得られる水力発電所の変圧器とか、屋内用変圧器で外部空気とシャ断されて、周囲空気による冷却が望めない場合に使われる。前者の場合冷却設備は簡単で経済的であるが、後者の場合十分な冷却水量が得られないことが多く、水を繰り返し使用するの、給水設備とともに水の冷却設備も必要となる。

変圧器内部に冷却管を設置する場合、普通20mmφ程度の銅管を使用する。この銅管の熱伝導率は45～55W/m°Cである。

冷却管には冷却水による腐食を考慮して、銅管または黄銅管を使用する。この冷却管を必要長さだけ変圧器タンク内壁に沿ってらせん状に巻く。巻き方はタンク上部の熱い油になるべく接する



図 3.15 FT-76 形電動冷却扇

ように巻き、水量の多い場合は冷却管を何本か並列にして通水する。通水は下方から入り上方の出口から抜けるが、管の内面に付着する水アカをはがすため、ときどきは逆方向に通水する必要がある。

注意すべきことは油圧より水圧が高くなった場合、冷却管に故障を生ずると、油中に漏水し電気的事故を誘発する恐れがある。

水冷式の場合の熱放散は、巻線および鉄心から油に伝わるまでは他方式と同じであるが、油の熱は水冷却を経て冷却水によって運び去られる。すなわち、

$$\text{外部温度上昇 } \theta'' \propto \left(\frac{\text{銅損} + \text{鉄損}}{\text{水冷却管内面の面積}} \right)^{0.5} \dots\dots\dots (3.8)$$

のような関係がある。

必要な冷却水量は次式によって求められる。

$$\theta_w = 11 \times W / Q \dots\dots\dots (3.9)$$

ただし、 θ_w : 冷却水の入口と出口の温度差 (°C)

W : 変圧器の全損失 (kW)

Q : 必要な冷却水量 (l/min)

普通 θ_w は 10°C 程度にとるから、損失 1kW あたり 1.1 l/min の冷却水が必要となる。

また冷却管の長さは次式によって求められる。

$$L = \alpha \cdot \frac{W}{Q} \log \frac{\theta_0}{\theta_0 - \theta_w} \dots\dots\dots (3.10)$$

ただし、 L : 必要な冷却管長さ (m)

α : 冷却管の長さ、形状による定数

θ_0 : 油の温度上昇値

以上の計算によって変圧器の全損失に対する所要冷却水量、冷却管長さが算出されるから、適当なポンプを使って冷却水を強制循環させればよい。

3.4 送油水冷式冷却器

送油水冷式冷却器として当社では現在 U 字管式と二重管式の 2 種類のものを標準として製作している。図 3.16 は U 字管式冷却器、図 3.17 は二重管式冷却器の外観を示す。

3.4.1 U 字管式冷却器

U 字管式冷却器は図 3.18 に示すように、冷却管を U 字形に曲げて鏡板にそう入し、エキスパンダ加工により固定している。冷却管の配列は油流に乱流を起こし、油側の熱伝達率を向上するために千鳥形になっている。この構造は冷却管の膨張、収縮に対する対策を必要とせず、熱応力がまったくかからないため安全である。

冷却管はローフィンアライtron (日本建鉄製フィン付パイプの商品名) と称し、油側伝熱面積を大きくするためにフィンを付けたもので、冷却管とフィンを一体化したものである。冷却管の材質は耐腐食性に富む脱酸素を使用し、また鏡板を二重として漏えい防止をし水側の鏡板にはネパール黄銅を使用して電食防止をはかっている。

水冷式冷却器における冷却機構は図 3.19 に示すごとく、冷却水は水室から入り冷却器中を 1~2 往復し、油は仕切板の間を縫ってダ行し、この間に熱交換を行なわせるものである。この方式では冷却器内の水圧を油圧よりも必ず低くなるよう設計されているから、万一冷却管に故障が生じても油中に漏水することはない。もし、冷却器中の水圧が油圧より高くなった場合には、ただちに



図 3.16 送油水冷式冷却器 (U 字管形)



図 3.17 送油水冷式冷却器 (二重管形)



図 3.18 送油風冷式冷却器 (U フィン形) 冷却管

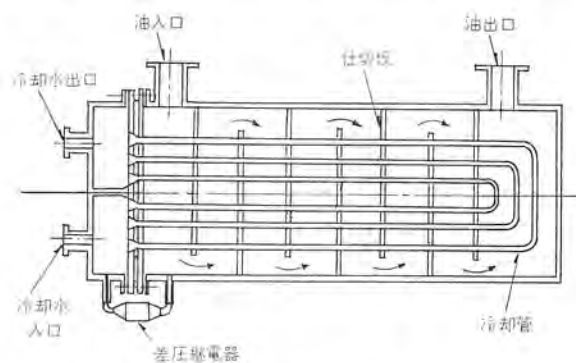


図 3.19 水冷式油冷却器

差圧継電器が働き、警報を発するから事故を防止止することができる。また、水室から漏水した場合は、2枚の鏡板の間から流れ出る構造になっているから、この点でも油中に水が漏れることはない。

U 字管式冷却器を設計する場合、変圧器の全損失を冷却器内で熱交換するよう設計している。

この場合次の式が成立する。

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t \dots\dots\dots (3.11)$$

ただし、 Q : 変圧器の全損失 (k cal/h)

K : 総括熱伝達係数 (管内面基準) (k cal/m²h°C)

F : 所要伝熱面積 (管内面) (m^2)

Δt : 油と水の平均温度差 ($^{\circ}\text{C}$)

ここに油, 水の平均温度差は式 (3.2) に準じて次のようになる。

$$\Delta t = \frac{(t_{01} - t_{02})(t_{01} - t_{02})}{2.3 \log_{10} \frac{t_{01} - t_{01}}{t_{01} - t_{02}}} \dots\dots\dots (3.12)$$

ただし, t_{01}, t_{02} : 冷却器油の入口, 出口温度

t_{01}, t_{02} : 冷却水の入口, 出口温度

ここに t_{02} および t_{02} は次式により求められる。

$$\text{油出口温度 } t_{02} = t_{01} - \frac{Q}{w_o C p_o \gamma_o} \dots\dots\dots (3.13)$$

$$\text{水出口温度 } t_{02} = t_{01} + \frac{Q}{w_o C p_o \gamma_o} \dots\dots\dots (3.14)$$

変圧器油の規定温度上昇値により冷却器油入口温度, 冷却器水入口温度は決定されるから, 変圧器全損失, 油強制循環用ポンプ, 客先設備による給水量などが決定すれば, 油と水の平均温度差が算出される。油, 水の物性値は温度の関数であるが, これらは既知数である。

次に総括熱伝達係数 K を計算するのであるが, 冷却管にローフィンアイトロンを使用する場合, 当社では, 冷却管内面を基準にして K を求めている。

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_o} \cdot \frac{1}{C} + \gamma_i + \gamma_o \cdot \frac{1}{C}} \dots\dots\dots (3.15)$$

ただし, α_i : 水側熱伝達率 ($\text{k cal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$)

α_o : 油側熱伝達率 ($\text{k cal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$)

γ_i : 水のよこれ係数 ($\text{m}^2\text{h}^{\circ}\text{C/k cal}$)

γ_o : 油のよこれ係数 ($\text{m}^2\text{h}^{\circ}\text{C/k cal}$)

C : 冷却管の内外面積比

λ : パイプの熱伝導率 ($\text{k cal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$)

γ_i, γ_o は与えられた流体によって決まる定数である。

管内面 (水側) 熱伝達率は冷却水の流速の関数であるので, まず管内流速を決定しなければならないが, 損失水頭そのほかの点からこの形の冷却器では 1 m/s 程度が一番経済的であるとされている。管内熱伝達率は次式によって与えられる。

$$\alpha_i = N_u \cdot \lambda / d_i \dots\dots\dots (3.16)$$

ただし, $N_u = 0.023 R_e^{0.8} \times P_r^{0.4}$ スセセルト数

$R_e = v \cdot d_i / \nu$ レイノルズ数

v : 水の管内流速 (m/s)

d_i : 冷却管内径 (m)

ν : 水の動粘性係数 (m^2/s)

P_r : プラントル数

水の物性値は, グラフより求める。

管外面 (油側) 熱伝達率は, これも流速の関数であるが, 流速を 1 m/s 程度にするよう仕切板をそう入すると, 管内面同様次式によって求めることができる。

$$\alpha_o = N_u \cdot \lambda / d_o \dots\dots\dots (3.17)$$

ただし, $N_u = 0.33 CH \cdot \psi \cdot R_e^{0.6} \times P_r^{0.3}$

$CH \cdot \psi$ は冷却管の配置による定数

以下は管内面と同一計算を行なう。

以上の計算により総括熱伝達係数 K を求め式 (3.11) により

所要伝熱面積を求める。そこで先に管内流速を決定する際, 流路断面積を求めてあるから全長を幾本かに分割し, 単位冷却器とする。

当社では, あらかじめ変圧器の温度上昇規定値を想定して5種類の単位冷却器を標準として製作しているが, 客先の給水設備によっては必要な冷却水量が得られない場合もあり, このときは, 給水量に適した冷却器の設計を行なっている。とくに冷却水量の少ないときは冷却管を U 字形に曲げることなく, 冷却器の両端部に水室を設け, 冷却水が同一冷却器中を2往復するような設計もする。

3.4.2 二重管式冷却器

この冷却器の最大の特長は, 冷却管に二重管を採用することにより, 冷却水圧力が油側圧力より高い場合でも, 油中に漏水する恐れがまったくないことである。

最近地下変電所に水冷式冷却器が多く使用されるようになったが, この冷却設備は, 一般にビルの上屋に冷却塔を設置し, 地下に給水タンクと温水タンクを設け, 地下の冷却器との間を循環させるが, 従来は水圧を油圧より低くするために, 屋上の冷却塔から, いったん地下の冷却タンクに落して落下エネルギーをゼロとし, さらに循環ポンプによって冷却器の中に送水することによって油圧を水圧より高く維持し, 万一の事故の場合にも油中に漏水しないよう考慮されていた。このように複雑な冷却水循環装置を簡素化し, 建物の総合的利用度の向上, 運転, 保守の簡単化, 運転電力損失の低減および冷却器の信頼度の向上などのいろいろの問題点を解決すべく開発されたのが, 二重管式冷却器である。つまり, 二重管式構造を採用することにより冷却水は屋上に設置された冷却塔の位置のエネルギーをそのまま利用することができるから冷却水循環用ポンプは, 送水管内の動圧損失と冷却器噴射損失のみを供給すればよく, 循環水ポンプ, 温水タンクおよび冷却タンクが省略できるとともに, 運転電力損失は従来の1/2以下となる。

図3.20は二重管端部の断面図である。二重管の外管はU字管形と同様ローフィンアイトロンを使用し, 内管は外面に菊形の縦ミジを設けた特殊なものを使用している。

組み立ては, まずフィン管 (外管) を内側鏡板にそう入しエキスパンダ加工によって固定する。次に外管にミジ付管 (内管) をそう入して位置を決めをしてから, 適当な内圧を加えることによって外管に密着させる。その後内管を外側鏡板にエキスパンダ加工して固定する。内管の外面に設けた縦ミジの空間は漏えい検出用のもので, 油側あるいは水側からの漏えいが発生しても他の側に混入せず大気中に放出される構造になっており, また万一漏えいし

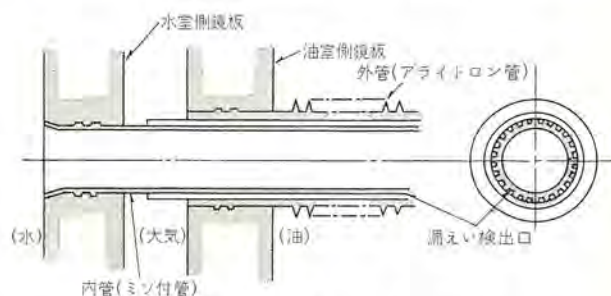


図3.20 二重冷却管詳細

た場合も2枚の鏡板の間で1個所にまとめられ、その出口に取り付けられた漏えい検出装置を動作させる。

二重管にした場合の内管と外管の熱伝達損失はわずかであり、冷却器としての性能に及ぼす影響は5~10%程度である。冷却管の材料、とくと高圧の冷却水が流れる内管には耐食性にすぐれた脱酸銅を使用し、適当な管内流速の採用と、特別な製作法により応力腐食または時期割れなどの恐れはまったくなく、高い信頼度を有している。

二重管式冷却器の設計は、基本的にはU字管形とまったく同じであるが、先に述べたように内管と外管の熱伝達損失を考慮しなければならないから、総熱伝達率は次式のようになる。

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_o} \cdot \frac{1}{C} + \gamma_i + \gamma_o \cdot \frac{1}{C} + \frac{t}{\lambda} \cdot \frac{L_2}{L_1} + R_3} \quad \dots\dots (3.18)$$

ここで式(3.15)と違うのは $\frac{t}{\lambda} \cdot \frac{L_2}{L_1}$ と R_3 である。前者は、内管(ミジ付)の肉厚による熱抵抗を、後者は内管と外管の接触抵抗を示す。

ただし、 λ : 内管の材質の熱伝導度 (k cal/mh°C)

t : 内管肉厚 (m)

L_1 : 内管周囲長 (m)

L_2 : 内管平均直径における周囲長 (m)

上記以外はU字管式とまったく同じ計算をする。

4. 各種冷却装置の保守、点検

4.1 自冷式放熱器

自冷式放熱器は構造が簡単であり油漏れの心配は少ないが、海岸付近や化学工場に設置された場合、表面が腐食され放熱効果が悪くなり、またその部分から油漏れする恐れがあるため注意しなければならない。当社の放熱器は変圧器本体と放熱器弁を介して取り付けられているから、本体の油を抜くことなく放熱器の取りはずしができる。運転中放熱器弁は開の位置にあることを確認する。

4.2 送油風冷式放熱器

放熱器本体の油漏れのほか放熱面が汚損されると放熱効果が落ちるので、著しく汚れた場合は冷却扇保護箱を取りはずして水洗する必要がある。そのほか送油風冷式放熱器には、送風機、油ポンプなどの付属品があるから、これらの保守、点検にも注意を要する。送風機については、ベアリング騒音、モートル振動、巻線絶縁抵抗、温度上昇、負荷電流、オートカット動作などを定期的に点検する必要がある。油ポンプも同様な点検を要するが、油流指示器によって油ポンプの運動状況も点検しなければならない。

4.3 送油水冷式冷却器

水冷式冷却器の事故の多くは、冷却管または冷却管と鏡板の接合部などからの漏水が原因となって発生する。とくに冷却管の腐食は冷却器の寿命を左右するのでこれの保守には完全を期する必要がある。このため次のような保守、点検をしなければならない。

冷却器に流入する流量を常に確保すること、冷却水に混じって異物が入らぬよう水路は常に清浄であること、冷却管は少なくとも6ヵ月~1年に1回は清掃する。

そのほか当社から発行されている取扱説明書によって行なう必要がある。

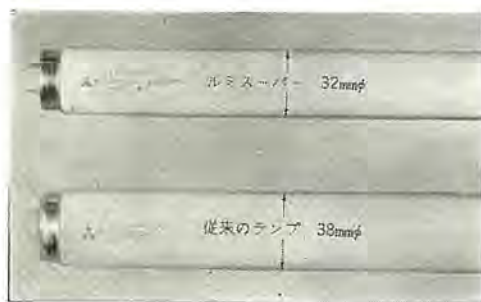
5. む す び

以上変圧器用冷却装置の概要について説明したが、変圧器の寿命すなわち温度上昇は冷却装置の設計、製作の良否により左右されるという過言ではない。このように冷却装置の効率の向上が目下の急務であり、とくに最近の変圧器容量の増大、あるいはタツ切り切換器エレファント方式などによる取付空間の制限から、小形高性能の冷却装置の必要性にせまられている。また化学工場などのごとく腐食性ガスの発生する所に使用される冷却装置の耐食性の問題、冷却装置から発生する騒音の低減など、さらに改良、研究の分野が広く、この稿はその足がかりのためのもので、関係各位の今後のご協力を期待する次第である。

新製品紹介

世界最高の明るさ・スマートな細管

三菱ケイ光ランプ“ルミスーパー”新発売



近年ますます明るくなりつつある工場・デパート・商店などの照明により明るいケイ光ランプをとのご要望にこたえて当社の照明技術陣が最高の明るさをもつ三菱ケイ光ランプ“ルミスーパー”を完成し新発売いたします。

この“ルミスーパー”ケイ光ランプはガラス管の直径を細くしたこと、電極部分の新設計、ケイ光体に当社独特の処理を施したこと、管内封入ガスや放射物質の改良など、新しい技術を結集してつくられたものです。

明るさは点灯初期の3,300ルーメンの光束から10,000時間後でも80%以上の明るさを保っております。

■ すぐれた性能

(1) 明るいとはっきりわかる……<3,300ルーメン>

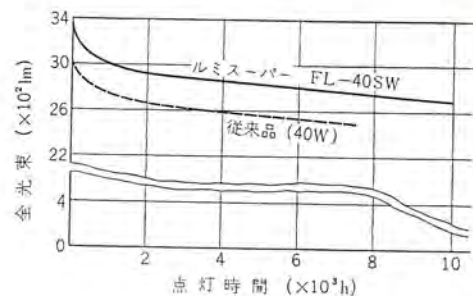
“ルミスーパー”ケイ光ランプは従来のケイ光ランプ(40W白色)の全光束に比べ10%以上も明るい3,300ルーメンになりわが国はもとより世界で最も明るいケイ光ランプです。

このようにランプ効率が非常に高くなりましたので(82.5ルーメン/ワット)同じ電気料金で明るい経済的な照明ができます。また同じ照度を得るのにランプ本数・電気代ともに1割以上少なくて済みます。

(2) スマートな細管……<32mm径>

ランプの直径が従来の38mmから32mmに細くなりましたので一般照明はもとよりショーウィンドウや陳列ケースなど照明がよりコンパクトにできるようになりました。また管径が細くなりましたのでランプの運搬、保管などのスペースが大幅に節約できるようになりました。

(3) 器具はそのまま



全光束 経時変化

いままでお使いになっていたケイ光器具(安定器を含めて)にそのまま“ルミスーパー”をさしかえることができます。したがって器具台数をふやすことなく10%以上も明るく照明することができます。

(4) すぐれた演色性

“ルミスーパー”ケイ光ランプの演色性(物の色の見え方)は従来の三菱ケイ光ランプとどうようであります。

(5) ぐんと長くなった寿命……<10,000時間>

“ルミスーパー”は平均寿命10,000時間と非常に長くなり、明るさの減り方もずっと少なくなりました。たとえば1日10時間点灯した場合2年半以上も(電球の10倍)長もちします。

(6) しかも正価はすえおき

“ルミスーパー”はより明るくより長もちする、新しいケイ光ランプですが、お値段はすえおき、従来品と変わりません。

■ ルミスーパーケイ光ランプ定格

形式記号	FL-40S-W	FL-40S-D	FL-40S-W-DL
色別	白色	昼光色	デフラックス白色
始動方式	グロースタート		
大きさ(W)	40		
寸法			
長さ(mm)	1,198		
管径(mm)	32		
口金	G13		
ランプ電流(A)	0.42		
定格電圧(V)	200		
全光束(lm)	3,300	2,850	2,400
効率(lm/W)	82.5	71.3	60.0
寿命(h)	10,000		
正価(円)	480		

(注) 他のルミスーパーケイ光ランプは近日発売の予定です。

RP-20P, 30P 形 コントロールリレーを開発

自動制御の高度化、一般化に伴って要求される小形、高性能の制御用リレーとして、真空管用ベースを用いた新形プラグインタイプのRP-20P形、30P形コントロールリレーの開発を完了した。

このRP-20P形、30P形は、従来のRP-2形、4形に代わるもので、いっそう小形軽量化、性能向上をはかっている。

■ 特長

(1) 確実な動作で高信頼度

可動・固定接触子とも板バネを採用し、動作不良や接触不良の恐れがなく、振動・衝撃にも強い、安定した性能を有する。

(2) 開閉ひん度が高く長寿命



RP-20P 形 コントローリレー

連続毎時 1,800 回の高ひん度操作に対して十分性能を保障し、電氣的 100 万回以上、機械的 1,000 万回以上の長寿命である。

(3) 小形軽量

コンパクトな構造で、取付面積が小さくスペースを節約できる。

(4) 取扱い容易

真空管用ベース使用、透明カバー付の防じん構造プラグインタイプであり、保守点検が容易で、取付、取扱、配線も簡単である。

(5) 広い使用範囲

交流操作、直流操作、極数、裏面・表面接続など、用途によって広範囲に選択使用することができる。

■仕様

項目		形名	RP-20P	RP-30P
接点構成			2ab	3ab
定格電圧 AC(V)			250	
定格電流 AC(A)	125V		3	2
	250V		2	1
連続通電電流量 (A)			5	3
閉路遮断電流量 AC (A)	125V		30	20
	250V		20	10
操作電磁コイル (連続定格)	AC 操作		100 V 50 c/s 100-110 V 60 c/s	200 V 50 c/s 200-220 V 60 c/s 他
	DC 操作		12 V, 24 V, 48 V, 100 V, 110 V 他	
操作電磁コイル 入力	AC 操作		4.8 VA	3.2 W
	AC 操作		1.9 W	

疲れをしんからもみほぐす

三菱マッサージャー RM-1 形 “バイブレット” MV-3 形 “ストロング” 新発売

当社では、最近急激に注目されてきた電気美容器具の一環として、このたび整流子モータを使用した超強力形 RM-1 形 マッサージャー（商品名・バイブレット）およびシリコン整流器を使用した MV-3 形 マッサージャー（商品名・ストロング）を新発売いたします。

■特長

RM-1 形

(1) 強いマッサージ力

駆動機構に、モータ振動式を採用しているため、音が静かで、しかも従来のものより 2 倍以上の強さでマッサージができます。

(2) 振動が手に伝わりません。

振動部と本体部は、一体の特殊合成ゴムでつながっているため、振動がほとんど手に伝わらず、使い心地がたいへんよい。

(3) 布地カバーつき

体にあてる振動部分は、布製のカバーでつつまれているため、洋服や、膚を汚さず、清潔なマッサージができます。

(4) 持ちやすい形

細長いコケシ形となっているため非常ににぎりやすく、また多少傾斜したところにおいても、ころがり出す心配がない設計となっています。

(5) 操作の簡単なロータリースイッチ

(6) 消費電力が少なく経済的

MV-3 形

(1) 強力で長寿命

シリコン整流器を使用しているため、強力でしかも長寿命です。

(2) 3 段切換スイッチ

強・切・弱と 3 段に切り換えられるため、好みの強さでマッサージができます。

(3) 消費電力が少なく経済的

■仕様

RM-1 形

電 源 100 V 50/60 c/s

方 針 モータ振動式

消費電力 25 W

定格時間 30 min

ス イ ッ チ リングスイッチ

重 量 930 g

MV-3 形

電 源 100 V 50/60 c/s

方 式 電磁振動式

消費電力 強—15 W (36 VA) 弱—14.5 W (31 VA)

定格時間 30 min

ス イ ッ チ 押しボタン 3 段切換 (強・切・弱)

重 量 730 g

付 属 品 マッサージ用、ワイピング用、ブラッシング用、プーリング用



RM-1 形 マッサージャー (愛称 バイブレット)
現金正価 ￥4,300



MV-3 形 マッサージャー (愛称 ストロング)
現金正価 ￥2,400



ニュースフラッシュ

■ 国産初の三菱会計機東京・大阪で発表会開かる

去る2月10日当社（三菱電機ビル9階）で、また2月19日大阪中央電気倶楽部において、それぞれ三菱会計機発表会が開催され、おからの好天気恵まれ延 1,000 名の人々が来場され、係員も応接のいとまのないほど大盛況であった。



図 1 三菱電機ビルにおける三菱会計機発表会会場



図 2 MAM の実演に熱心な質疑応答が繰りひろげられた



図 3 国産初の会計機 MAM の説明を熱心に聞く来場者

当面の発売機種である MAM-11 形、MAM-21 形および MAM-51 形が展示された。落ちついた色調、デザインに従来の会計機に見られない新機能、そして国産初の会計機などのメリットが関心の的となり、一般客先はもとより学識経験者の方々にも好評で、当社説明員との間に熱心な質疑応答が繰りひろげられた。

三菱会計機の発表は、事務機械業界の新春をかざるトップニュースとして各方面から注目され、今後の期待も大きいものがある。

■ 三菱電子計算機東京センタ開設さる

去る2月11、12両日にわたり、当社（三菱電機ビル7階）において、三菱電子計算機東京センタの開所披露を行ない、約700名の来会者があり、非常に盛況であった。

これは、さきに東京（浜松町）・大阪・鎌倉に開設、三菱電子計算機センタがビジネス・センタ丸の内にも誕生したものである。

設置されている MELCOM-1530 データ・プロセッシング・システムが、三菱電機最新鋭のはん用中形電子計算機で、幾多の長所と優秀性を誇っているため業界のみならず、一般ユーザーの深い関心を買った。とくにこの電子計算機の設計思想であるストアード・ロジックおよび、それから派生する多くの利点、あるいはカードリーダの読取速度の速さには、来会者も感心をしていた。

この三菱電子計算機センタには、幅広い能力をもつ MELCOM-1530 のほか、科学計算を主目的とした小形技術用計算機 MELCOM-1101FD が設置され、これをご利用いただき三菱電子計算機の実用性・信頼性を認識していただくとともに、プログラムの教育、プログラム・サービス、システム・アナリシス、アフターサービス、委託計算の受託なども積極的に行なっておりますので、どんな相談にも応じられる体制がととのっておりますので、ぜひご利用ください。



三菱電子計算機センタに設置された MELCOM-1530

■ エレベータ、エスカレータの専門工場 稲沢製作所稼動を始める

晴天にめぐまれた去る1月20日、エレベータ、エスカレータの専門工

場稲沢製作所において、内外の重要顧客、取引先など多数の人を招いて盛大な開所式が行なわれ、現在好調に稼動している。

当社においては、昭和6年神戸製作所においてエレベータ、エスカレータ用各種機械類の製作を開始し、昭和12年には名古屋製作所内に専門工場を設置し、本格的な生産を行なうようになった。その後順次最新の工作機械や諸設備を充実し、国内および海外に数多くのエレベータ、エスカレータを納入し、現在では量・質とも斯界にその優秀性が認められ、好評を博している。

このように絶えず生産の増強をはかってきたが、最近の需要拡大に対応するため名古屋製作所より分離独立・昭和36年以来、稲沢の地に東洋一のエレベータ・エスカレータの専門工場を鋭意建設中であつたものが、第一期工事も終わり開所の運びとなつたものである。

工場の敷地面積 184,000 m² (56,000 坪)、建物延面積 51,500 m² (15,000 坪)、生産品目はエレベータ・ダムウェータ・エスカレータ・トラベータ・セレクトリパーチャルコンベヤ・立体駐車装置・自動トビラである。



図1 稲沢製作所全景



図2 本館事務所

■ 参議院議員会館空気調和設備用 大出力密閉形冷凍機用モータ完成

参議院議員会館空気調和設備用、密閉形冷凍機用モータが昨年未完成した。

三菱重工業神戸造船所でブロウと結合して2台1組として運転するもので、完全に密閉したモータのフレームにブロウを直接結



空気調和設備用密閉形三相誘導電動機

合するので全体がコンパクトにまとまり、モータの冷却には冷媒ガスを使用するため冷却風による騒音もなく、コイル、軸受、強制給油装置にそれぞれ保護装置が完備しているため、運転は確実容易であり、かつ静粛である。今後は開放形冷凍機に代わって、この種のモータを用いた大形の密閉形冷凍機が増加する見込みである。

その要目は次のとおりである。

形 式	冷媒 ガス 冷却、密閉形三相誘導電動機
出 力	450 kW
電 圧	3,000 V
周波数	50 c/s
回転数	2,940 rpm
回転子	深ミゾカゴ形
絶 縁	耐 R114, B 種
台 数	2 台
付属品	別置強制給油装置 2 台

■ 日本石油化学納め大容量三相誘導電動機を完成

かねて製作中であつた日本石油化学千鳥工場納め 11,000 kW および 9,500 kW 4 極巻線形誘導電動機をともにさる 1 月好成績をもって工場立会試験を終了した。

この誘導電動機は遊星歯車を介してコンラレッサの動力として使用されるもので、4 極機として、わが国の容量記録品である。本機の特長は、屋外に設置されるため全閉内冷形とし、空気冷却器はピット内に收容されていること、スリップリング部を内圧防爆構造、電動短絡 ブラシ 上げ装置付としたことなどである。

仕様は次のとおりである。

出 力	11,000 kW および 9,500 kW 各 1 台
電 圧	6,000 V
周波数	50 c/s
極 数	4 P
回転数	1,490 rpm
強制給油方式	スリップリング部内圧防爆構造



11,00 kW 4 極 屋 外 形 誘 導 電 動 機

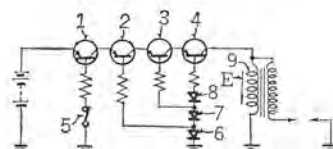
特許と新案

電 流 シ ャ 断 装 置

発明者 三 木 隆 雄

この発明は複数個のトランジスタを直列に接続して回路電流をシャ断する装置に関するもので、回路電流のシャ断時に発生するサージ電圧が特定のトランジスタに集中して印加されることを防止したものである。

すなわち、トランジスタ(1)(2)(3)(4)はシャ断器(5)を開くとしてすべて開路して電流シャ断を行なうが、ダイオード(6)(7)(8)が各トランジスタのベース回路にベース電流を通過させる極性で設けられており、これら各ダイオードは、各トランジスタの開路時に負荷(9)に発生するサージ電圧(E)が特定のトランジスタ、たとえばトランジスタ(4)のベース、コレクタ間に集中して印加されるのを防止する。



以上のようにこの発明装置によれば、ダイオードの作用により、電流シャ断時のサージ電圧をすべてのトランジスタで負担させ、トランジスタを破壊から保護することができるすぐれた効果がある。

(特許第 308208 号)(中林記)

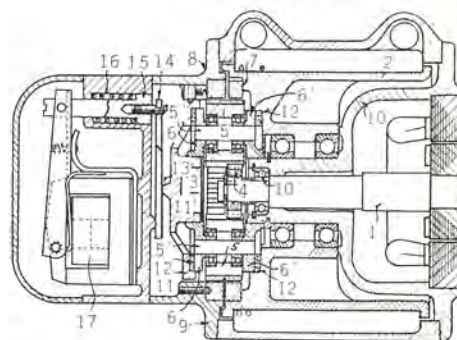
減 速 装 置 付 電 動 ホ イ ス ト の 制 動 装 置

発明者 藤 木 博 愛

この発明は、遊星歯車装置によって電動機軸の回転を減速し、これを巻胴に伝達する方式の電動ホイストにおける制御装置に関するものである。

すなわち、図において(1)は電動機軸、(2)は巻胴、(3)は軸(1)より巻胴(2)に伝動する遊星歯車装置で、上記軸(1)の先端に取り付けた歯車(4)と、巻胴(2)および保護ワ(9)の各内面に定着した内向歯車(7)および(8)、これら両歯車にかみ合する中間遊星歯車(5)およびこの遊星歯車(5)の軸(5')の両端を、電動機の固定子ワ(10)の一端筒状部(10')および圧力板(11)の筒状部(11')の外面をそれぞれ摺動回転するようにした一対の支持板(6)(6)により支持する支持板(6')(6')を有し、かつこの支持板(6)(6)および(6')(6')はこれを制動板としてそのまま活用するため、その外周面と上記巻胴(2)および圧力板(11)の各端面との間に設けた間ギャ部に摩擦板(12)(12)を介装している。しかして圧力板(11)の中央突子(13)は、電磁コイル(17)が消磁した時、唧子(15)、楔杆(14)を介してラ状弾機(16)の圧力で押圧され電動機を制動する。

この発明の制動装置は、上述したように、中間遊星歯車(5)を支承する支持板(6)を制動板として共用することによって、高速



度回転する従来のものの制動車(電動機軸と一体になっている)の保有する運動エネルギーだけ小さい制動エネルギーをもって電動機の回転を阻止させるから、制動が迅速かつ確実となり、しかも圧力板(11)を支持板(6)の受金として利用するとともに、遊星歯車室の隔壁としても役立たせているから、材料を節約し、構造を簡単にし、しかも分解組立および内部点検にもきわめて便利である。

(特許第 401638 号)(土居記)

携 帯 用 電 気 カ ン ナ

考案者 入 江 厚

この考案は、携帯用電気カンナにおいて、回転刃物台に装着された切削刃の露出量調整装置の改良に関するものである。

すなわち、図1および図2に示すように、ワ(2)内に、切削刃(5)を可調整に取り付けた回転刃物台(4)を装着したものに於いて、上記回転刃物台(4)の端面(20)に対応するワ(2)に、進退自在に貫通されたストップ(25)と、このストップの外方端に設けられた操作つまみ(27)とからなるストップ装置(19)を備えており、上記ワ(2)の底面開口(30)から切削刃(5)の露出量調整装置(12)が調整可能で、しかも上記回転刃物台(4)の回転中における切削刃(5)が上部ワ(2)の底面(33)から最大に露出する位置で、上記ストップ(25)が嵌合して上記回転刃物台(4)を錠止する凹窩(28)を上記回転刃物台(4)の端面

(20)に設けたものである。

したがって、切削刃(5)の露出量を調整する場合、従来のように切削刃がワ(2)の底面から最大に露出した位置をその都度見付けだす必要がないばかりでなく、切削刃(5)の露出量調整装置(12)がワ(2)の底面開口(30)に対応した状態で回転刃物台(4)

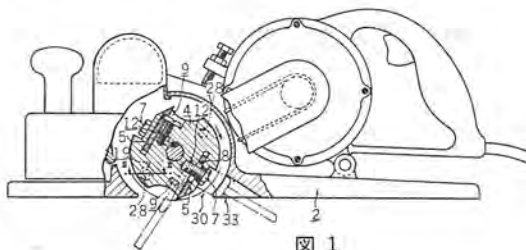


図 1

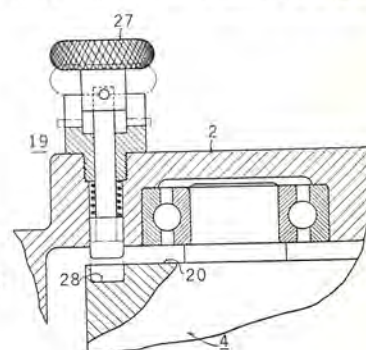


図 2

が錠止されるから、たとえば切削刃(5)の調整ボルト(9)と固定用ボルト(7)とは同時に操作できるので、従来のように回転刃物台を手で回動しながら調整ボルトと固定用ボルトを別個に操作するものと比較してきわめて便利である。また、切削刃(5)の露出量を

調整する場合は、必ずストップ(5)が回転刃物台(4)の凹窩(28)に合した状態で行なうので、露出量の調整中、誤ってスイッチが入っても回転刃物台(4)が回転して事故を起こすことがない。

(実用新案登録第 708782 号) (土居記)

反 復 作 動 形 時 限 継 電 器

考案者 原 田 輝 夫

この考案は従来のこの種装置が有している熱作動部分および開閉機構などを使用しないで、変化することができる時間々隔をもって反復作動する時限継電器を提供しようとするものである。

今この継電器を作動させる必要が生じた場合は、まず開閉器 SW を閉じることによって、同一鉄心上に、発生磁束が互いに相殺するよう巻装された差動継電器の主コイル L_a がただちに付勢され、継電器が作動すると同時に自己接点 L_c が閉じ、上記差動継電器の補助コイル L_b およびそれに並列に接続された蓄電器 C の回路も完成される。しかるに当初においては補助コイル L_b の励磁電流はほとんど蓄電器 C に分流されるため、ただちに作動状態には突入せず、主コイル L_a のみが作動状態を維持することになる。

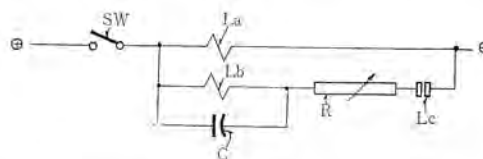
次いで蓄電器 C の充電が進むにつれ補助コイル L_b の励磁電流は増し、やがて主コイル L_a の発生磁束を相殺するに到り継電器は消勢される。継電器が消勢されると自己接点 L_c は開き、蓄電器 C の充電回路、補助コイル L_b の励磁回路が断たれ、蓄電器 C は補助コイル L_b を介して放電を開始し、この放電電流は主コイル L_a の発

生磁束を相殺する方向に磁束を発生させる。かくして放電電流が減少し、主コイル L_a の発生磁束が補助コイル L_b のそれに打ち勝つに到れば、継電器は再度付勢されることになる。

以下同様にして開閉器 SW が開かれるまで、継電器は蓄電器 C の充放電によって一定時間々隔をおいて反復動作を繰り返す。

以上のようにこの考案によれば、間欠作動が正確で、故障が少なく、寿命が長く、安価でかつ小形化が可能であるとともに、回路定数を適当に選べ、とくに抵抗を可変にすることによって、調整可能な長短各種時限のものが得られる。

(登録実用新案第 707485) (伊藤記)



コ ー ド 保 持 装 置

考案者 市 川 和・本 庄 由 尚

この考案はコードの取り付け、取はずしを容易に行ないうるコード保持装置に関するものである。

すなわち、コード保持体(1)は弾性体で構成されており、その支承部(2)をコード(3)に嵌(嵌)合すると図1に示すようにその両脚(4)(5)が互いに拡開する。保持金具(6)は図2に示すように、ほぼコ字状に成形され、その底部を固定部材(7)に定着したものであり、その両側部の上端には互に対向側に折曲された係合部(8)(9)を有している。

コードを保持させるには、両脚(4)(5)の拡開したコード保持体を、両側から両脚(4)(5)が互いに接合するように押圧してその両脚を保持金具(6)に押込み、ここで両脚(4)(5)の押圧力を解除し、両脚(4)(5)の外側に設けられた係止部(10)(11)を保持金具の係合部(8)(9)に係合すればよい。保持体の両脚(4)(5)を再

び外側から押圧して保持金具(6)からはずせば、容易にコードを取はずすことができる。なお保持金具(6)の固定片(12)は、保持金具(6)に押込まれた保持体(1)が斜動するのを防ぐものである。

以上のようにこの考案装置によれば、コードの取り付け、取はずしをきわめて簡単に行なうことができ、配線を容易に行なうことができるすぐれた効果がある。

(登録実用新案第 713527 号) (中林記)

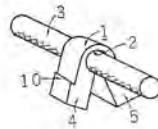


図 1

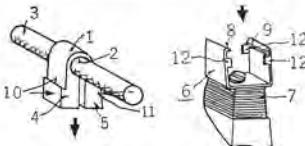


図 2

空 気 調 和 装 置

考案者 河 合 照 男・木 の 内 達 夫

この考案は、いわゆるパッケージ形空調装置において、冷凍装置を制御する諸制御機器の点検整備を容易にしようとするものである。

すなわち、図1および図2に示すように、ケーシング(1)の機械室(4)の前面一部にけられた開口(5)を閉塞し、ヒンジ金具(7)により左右方向に開閉し得るようになされたトバ(6)の背面に、上記機械室(4)内の冷房装置を制御する諸制御機器(8)を装着したもので、上記トバ(6)を回転することによってケーシング(1)の外側に、諸制御機器(8)を取り出すことができるから、その点検、あるいは整備がきわめて容易であるばかりでなく、諸制御機器(8)の点検、あるいはその整備は、ケーシング(1)の前面においてこれを行なうので、据付場所の壁と接することの多いケーシングの両

側、あるいは後面に点検口を有する従来のものと比較して、その据付は至って容易になる実用的効果を有するものである。

(実用新案登録第 582560 号) (土居記)

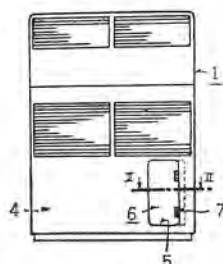


図 1

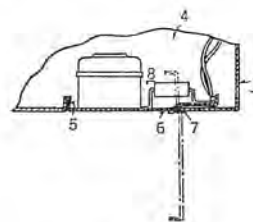


図 2

最近登録された当社の特許

名 称	特 許 日	特 許 番 号	発 明・考 案 者	関 係 場 所
狭帯域受信装置	39-10- 3	430182	近 藤 五 郎・林 岑 男	鎌 倉
誘導加熱用 コイル	39-10- 3	430186	東 田 考 彦	鎌 倉
発電機の急速減磁停止装置	39-10- 3	430189	堀 謙二郎	神 戸
電磁 クラッチ 制御装置	39-10- 3	430190	浅 野 哲 正	姫 路
自動列車運転装置	39-10- 3	430193	北 岡 隆・柴 谷 浩 二	鎌 倉 伊 丹
二重周波数変調波受信方式	39-10- 9	315664	小 林 信 三	無 線 機
変形 2 相距離継電器	39-10-12	430603	三 上 一 郎	神 戸
電動自動 ケイ 般機制御装置	39-10-19	431020	和 田 義 勝	長 崎
研究用原子炉	39-10-19	431021	岸 田 公 治	伊 丹
原子炉	39-10-19	431022	岸 田 公 治	伊 丹
ホール 発電器	39-10-19	431023	川 畑 隆 夫	中央研究所
燃料電池	39-10-19	431024	泰 卓 也・松 岡 宏 昌	中央研究所
湿度調節装置	39-10-19	431025	佐 藤 真	中央研究所
位相関係検出装置	39-10-22	431247	北 浦 孝 一	神 戸
相順弁別装置	39-10-22	431248	北 浦 孝 一	神 戸
タングステン または チタン用 電解加工液	39-10-22	431249	前 田 祐 雄・斉 藤 辰 男 真 鍋 明	中央研究所
酸化により塩基性酸化物を生ずる金属の電解加工法	39-10-22	431250	前 田 祐 雄・斉 藤 辰 男	中央研究所
電解加工用電源装置	39-10-22	431251	斉 藤 辰 男・荒 井 伸 治	中央研究所
無電気金 メッキ 溶液	39-10-22	431252	泰 卓 也・花 田 武 明	中央研究所
P N 接合半導体光電装置	39-10-29	431642	大 久 保 利 美	中央研究所
自動車用変速信号発生装置	39-10-29	431643	辰 己 巧	姫 路
自動車用電磁変速装置	39-10-29	431644	白 井 二 実・辰 己 巧	姫 路
無摩擦回転追従装置	39-11- 5	432038	武 田 克 己・林 正 之	福 山
可変 サーミスタ 装置	39-11- 5	432039	祖父江常雄・中 村 富 家	群 馬
スイッチング 回路	39-11- 5	432041	川 島 克 彦	中央研究所
オンオフ 繰返し操作装置	39-11-16	432652	金 野 武 司・加 藤 淳 治	名 古 屋
直接接地系統の短絡地絡両用方向距離継電装置	39-11-16	432653	北 浦 孝 一・古 谷 昭 雄	神 戸
直接接地系統の短絡地絡両用方向距離継電装置	39-11-16	432654	山 内 成 周・古 谷 昭 雄 北 浦 孝 一	神 戸
電気 アイロン 把手	39-11-27	752761	山 内 成 周 根 岸 宣 匡	群 馬
マイクロ 波用波計の校正方式	39-11-28	433653	内 田 英 成	中央研究所
温度測定装置	39-11-28	433654	添 田 実	無線機・鎌倉
度数計	39-11-28	433655	武 藤 正・松 浦 清	福 山
放電加工法	39-11-28	433656	斉 藤 辰 男	中央研究所
電磁往復動 ポンプ 装置	39-11-28	433657	浅 野 哲 正	姫 路
カラーブラウン 管の製造法	39-11-28	433658	酒 井 武	中央研究所
放電加工電源装置	39-11-28	433659	斉 藤 辰 男	中央研究所
原子炉用燃料要素	39-11-28	433660	岸 田 公 治	伊 丹
直流出力電圧調整装置	39-11-28	433661	佐 野 善 之 助	伊 丹
高圧整流器の中間陽極	39-11-28	433662	高 嶋 惇	伊 丹
磁石発電機	39-11-28	433663	三 木 隆 雄	姫 路
回転電機の運転装置	39-11-28	433664	宇 都 宮 弓 輝	長 崎
距離継電器	39-12-11	434770	森 健	神 戸
飛行体模擬装置の制御方式	39-12-11	434771	麻 生 和 男・鹿 島 孝	鎌 倉
定電圧調整装置	39-12-11	434772	平 田 毅・栗 原 倫 一	姫 路
熱電素子の接着法	39-12-11	434773	藤 林 肇 次・中 山 光 雄	中央研究所
衝撃加工装置	39-12-11	434774	前 田 祐 雄・福 家 章 斉 藤 辰 男	中央研究所
山形 ソフトアンカ	39-12-12	753677	内 田 武 士・大 沢 紹 清	群 馬
直流電磁石 コイル	39-12-12	753681	山 下 源 一 郎・加 藤 庸 夫 柳 下 儀 兵 衛	大 船
電気 アイロン	39-12-12	753684	福 田 稔	群 馬
換気扇 シャッター の開閉装置	39-12-12	753690	入 沢 淳 三	中 津 川
換気扇 シャッター の開閉装置	39-12-12	753691	入 沢 淳 三	中 津 川
換気扇	39-12-12	753692	入 沢 淳 三	中 津 川
換気扇	39-12-12	753693	入 沢 淳 三	中 津 川

次号予定

三菱電機技報 Vol. 39 No. 5

論文

- 電力用単巻変圧器
- AHF-50 形直流高速度 ショット断器
- LV-GL 形配電用避雷器
- 電気化学用大電流 レクチホーマ
- コントロールセンタ 製造への電子計算機の導入
- 本質安全防爆多点温度指示装置
- モレクトロン 同期信号分配器
- 水位 デジタルテレメータ
- 3 次元 ホーミング 魚雷 シミュレータ
- MELDAS-1022 整流子 アンダカッティングマシン 制御装置
- 精密 デジタル 速度制御装置
- GaAs トンネルダイオード
- マイクロ 波用 イットリウム 鉄・ガーネット

技術講座

- 変圧器付属品 (3) 絶縁油劣化防止装置そのほか

三菱電機技報編集委員会

委員長	小倉弘毅
常任委員	明石精
"	安藤安二
"	石川理一
"	宇佐見重夫
"	大野寛孝
"	小路誠春
"	小堀富次雄
"	鈴木正材
"	祖父江秋雄
"	中野光雄
"	馬場文夫
"	宮内圭次彦
"	安松靖彦
"	山田栄一
委員	大森淳夫
"	尾畑喜行
"	樫本俊弥
"	神崎遼介
"	島津大幸
"	堀真幸

(以上 50 音順)

昭和40年4月22日印刷 昭和40年4月25日発行
「禁無断転載」 定価1部 金100円(送料別)

編集兼発行人

東京都千代田区丸の内2丁目12番地 小倉弘毅
印刷所
東京都新宿区市谷加賀町1丁目 大日本印刷株式会社
印刷者
東京都新宿区市谷加賀町1丁目 高橋武夫
発行所
三菱電機株式会社内「三菱電機技報社」
東京都千代田区丸の内2丁目12番地(三菱電機ビル内)
(電)東京(212)大代表 6111
発売元
東京都千代田区神田錦町3の1 株式会社オーム社書店
電話(291)0912 振替東京 20018

本社 営業所 研究所 製作所 工場 所在地

本社	東京都千代田区丸の内2丁目12番地 (三菱電機ビル内) (電) 東京(212) 大代表 6111
大阪営業所	大阪市北区堂島北町8の1 (電) 大阪(312) 大代表 1231
名古屋営業所	名古屋市中村区広井町3の88・大名古屋ビル (電) 名古屋(56) 大代表 5311
福岡営業所	福岡市天神2丁目12番地1号 天神ビル5階 (電) 福岡(75) 代表 6231
札幌営業所	札幌市北二条西4の1・北海道ビル (電) 札幌(26) 大代表9111
仙台営業所	仙台市大町4の175・新仙台ビル (電) 仙台(22) 代表 6101
富山営業所	富山市桜木町1番29号・明治生命館 (電) 富山(3) 代表3151
広島営業所	広島市八丁堀15番8号 (電) 広島(21) 代表 4411
高松営業所	高松市鶴屋町45番地 (電) 高松(2) 大代表 0001
東京商品営業所	東京都千代田区丸の内2の12・三菱電機ビル (電) 東京(212) 大代表 6111
大阪商品営業所	大阪市北区堂島北町8の1 (電) 大阪(312) 大代表 1231
名古屋商品営業所	名古屋市中村区広井町3の88・大名古屋ビル (電) 名古屋(56) 大代表 5311
福岡商品営業所	福岡市天神2丁目12番地1号 天神ビル5階 (電) 福岡(75) 代表 6231
札幌商品営業所	札幌市北二条西4の1・北海道ビル (電) 札幌(26) 大代表9111
仙台商品営業所	仙台市大町4の175・新仙台ビル (電) 仙台(22) 代表 6101
富山商品営業所	富山市桜木町1番29号・明治生命館 (電) 富山(3) 代表3151
広島商品営業所	広島市八丁堀15番8号 (電) 広島(21) 代表 4411
高松商品営業所	高松市鶴屋町45番地 (電) 高松(2) 代表 0001
横浜出張所	横浜市神奈川区沢渡16高島台第2ビル (電) 横浜(48) 6121~6123
新潟出張所	新潟市万代町69番地 (電) 新潟(4) 0643
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
北九州出張所	北九州市小倉区京町10の281・五十鈴ビル (電) 小倉(52) 代表 8234
長崎出張所	長崎市大黒町3番1号長崎交通産業ビル(電)長崎代表(3)6101
岡山出張所	岡山市駅前町1の1岡山会館 (電) 岡山(4) 代表 0331
金沢出張所	金沢市幸町13番28号 (電) 金沢(31) 6213~4
長野出張所	松本市白坂212番地 (電) 松本(2) 1058・(3) 1453
中央研究所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 大阪(481) 大代表 8021
商品研究所	鎌倉市大船782番地 (電) 鎌倉(6) 代表 6111
神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町3丁目 (電) 神戸(67) 代表 5041
伊丹製作所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 大阪(481) 大代表 8021
長崎製作所	長崎市平戸小屋町122番地 (電) 長崎(3) 代表 3101
名古屋製作所	名古屋市中区矢田町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	福山市神野上町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(72) 大代表 5131
静岡製作所	静岡市小島110番地 (電) 静岡(85) 大代表 1111
中津川製作所	中津川市駒場町1番地3号 (電) 中津川 大代表 2121
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 6111
郡山製作所	郡山市字境橋町1番地 (電) 郡山(2) 1220~1223
群馬製作所	群馬県新田郡尾島町大字岩松800番地 (電) 太田 代表 4311
無線機製作所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 大阪(481) 大代表 8021
京都製作所	京都府乙訓郡長岡町大字馬場小学区所1 (電) 京都西山(92) 代表 1141
北伊丹製作所	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
稲沢製作所	稲沢市字井之口 (電) 稲沢(32) 代表 4121
鎌倉製作所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 大阪(481) 大代表 8021
伊丹工場	伊丹市大鹿字主ヶ池1番地 (電) 伊丹 大代表 5131
相模製作所	東京都世田谷区池尻町437番地 (電) 東京(414) 代表 8111
世田谷工場	三田市三輪町字父々部85番地 (電) 三田 4371~4375
伊丹製作所	伊丹市大鹿字主ヶ池1番地 (電) 伊丹 大代表 5131
三田工場	三田市三輪町字父々部85番地 (電) 三田 4371~4375

◆抜き刷りご案内

本誌掲載の論文は、抜き刷りを用意しておりますのでご入用の方は、
「三菱電機技報社」編集部までご連絡下さい。