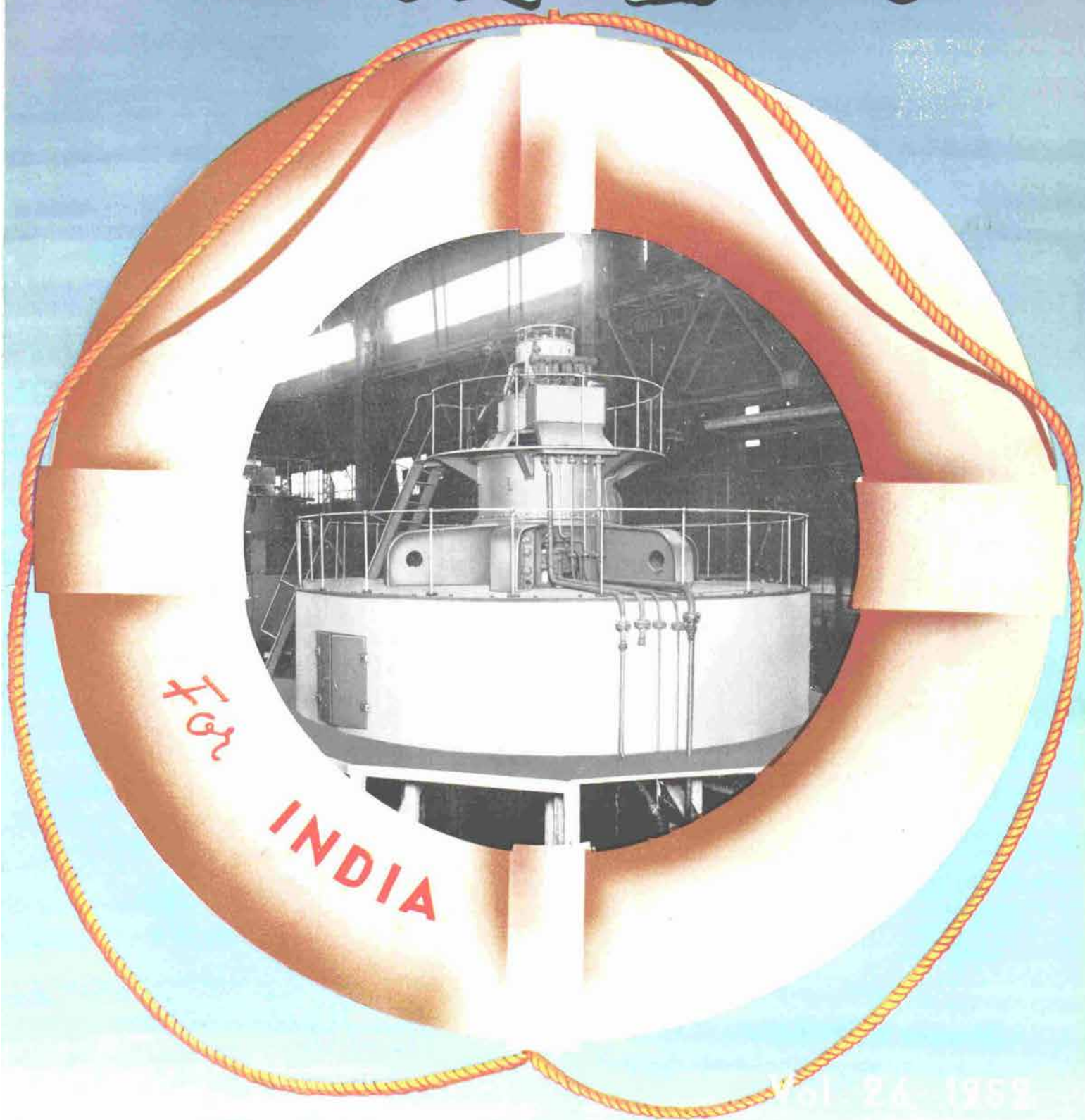
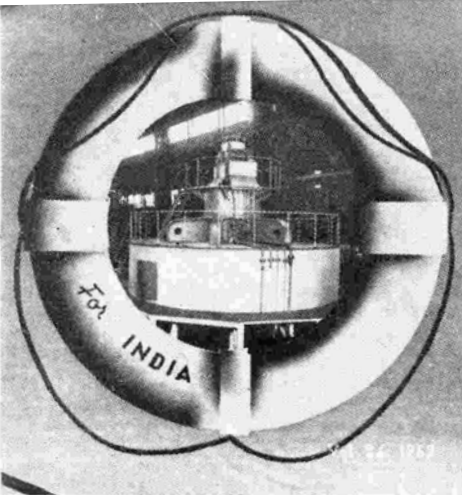


MITSUBISHI DENKI

三菱電機



Vol. 26, 1958



MITSUBISHI DENKI

三菱電機

表紙説明

表紙は昨年3月船積致しました印度 Damodar Valley Corporation 注文により新三菱重工業株式会社と協同製作致しました 2,800 HP Francis 堅軸水車発電機2基であります。本機はわが国最初の水車発電機の輸出であり、現在新三菱重工業株式会社より1名当社より1名、計2名の技師を派遣し目下現地にて据付中ののであります。

三菱電機株式会社

本社

東京都千代田区丸の内(東京ビル)

(電) 和田倉 (20) 代表1631・2331

研究所 兵庫県尼崎市南清水

神戸製作所 神戸市兵庫区和田崎町

名古屋製作所 名古屋市東区矢田町

伊丹製作所 兵庫県尼崎市南清水

長崎製作所 長崎市平戸小屋町

大船工場 神奈川県鎌倉市大船

世田谷工場 東京都世田谷区池尻町

郡山工場 福島県郡山市字境橋町

福山工場 福山市沖野上町

姫路工場 兵庫県姫路市千代田町

和歌山工場 和歌山市岡町

中津川工場 岐阜県中津市駒場安森

福岡工場 福岡市今宿青木

札幌修理工場 札幌市北二条東12

大阪営業所 大阪市北区堂島北町8番地1

(電) 福島 (45) 5251-9

名古屋営業所 名古屋市中区小路通

(電) 本局 (23) 6231-5

福岡営業所 福岡市天神町(三菱ビル)

(電) 西 (2) 5821-5825

札幌営業所 札幌市南一条西5の14

(電) (2) 3378・3911

仙台事務所 仙台市東一番丁63

(電) 仙台 2573・8057

富山事務所 富山市安住町23の2

(電) 富山 4692・5273

広島事務所 広島市袋町1(明治生命ビル)

(電) 中 1069・4824

昭和27年 第26巻 第8号

目次

殺菌灯	小椋	2
ティライヤ 2,500 kVA 水車発電機	鈴木	7
ティライヤ発電所・コダルマ変電所の配電盤設備	尾畑	9
交流発電機の保守試験	横須賀	15
弘前電気鉄道建設工事について	横溝・大久保	29

「三菱電機」編集委員会

委員長	岸本久雄	荒井潔	安藤三二	石橋英樹
委員	浅井徳次郎	岡屋精二	川田勝利	小林治一
	市吉惟浩	洪谷進一	田宮利彦	松田新市
	進藤貞和	前田幸夫	松尾米太郎	松岡治
	毎熊秀雄	森前田幸	薄井廉介	
幹事	宗村平二	木村久男	(以上50音順)	

昭和27年9月25日印刷

昭和27年9月30日発行

『禁無断転載』 定価1部金60円

編集兼発行人

東京都千代田区丸の内2丁目3番地

吾郷侃二

印刷所

東京都港区麻布竹谷町1番地

博文堂印刷所

印刷者

東京都港区麻布竹谷町1番地

大橋佑吉

発行所

三菱電機株式会社内

「三菱電機」編集部

電話和田倉(20)1631

日本出版協会会員番号 213013

殺 菌 灯

研 究 所

小 椋 義 正

Germicidal Lamps

By Yoshimasa OGURA

Reserch Laboratory

Of many ways of sterilization, the use of Germicidal lamps, an application of ultraviolet radiation, is welcomed everywhere nowadays on account of their various advantages. They are of low pressure mercury vapour lamps strongly projecting ultraviolet rays of 2537 Angstroms among others, which are much more effective than the sun's rays. The sterilization effects are considered to be proportional to the product of I , intensity of the ultraviolet rays, and t , illuminated hours, so with the same value of $I \times t$, almost the same effects are available.

Among various applications of the lamps, the preservation of meat and fruits, the seasoning of liquor, and the processing of food are matters of interest, the lamps are also beneficial in the poultry and cattle breeding.

1. ま え が き

人間に対して有用な菌もあれば、無用無害の菌もあり非常に有害な菌もあることは言を俟たない。

幸にして人間は体内に殺菌能力を持っているために有害菌が体内に侵入しても、この数がある程度以下であれば、保健上何等の支障はない。この人体の殺菌力は種々の場合について相当の差があり、人間の文化が進む程、菌に対する抵抗力が減退し、また菌の方からいえば殺菌作用に対する抵抗が増加している。したがって保健上人工の殺菌がますます必要となってくる。

紫外線に殺菌効果があることは100年位も前から発見され、紫外線の光源も古くからできていたのであるが、太陽光線を利用する以外に人工的な紫外線を殺菌に利用することは余り行われていなかった。

これは人体の殺菌力が割に強かつたことと、殺菌という面の認識が不十分であつたことが原因と思われる。

アメリカにおいては最近とくに数年来急激に殺菌灯の需要が昂まり、わが国においても保健衛生に対する認識が昂まるとともにこの需要が上昇しつつある。

殺菌には薬品によるもの、熱によるもの、光線による

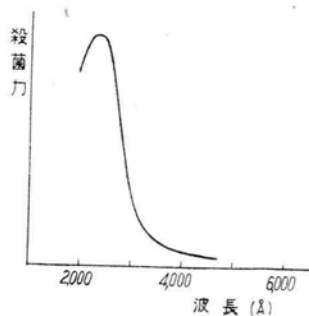
ものの三つに分けることができるが、それぞれの特長を生かして使用しなければならない。殺菌灯として具備すべき条件は使用法が簡便で、設備費が安く、殺菌力が強いことである。わが国でも終戦後数社で製作に取掛り、最近製作が軌道に乗って需要に応え得る状態となつた。

2. 殺 菌 効 果

紫外線による殺菌の機構は明かでないが、その波長と殺菌効果との関係は1図に示すとおり 2,500~2,600 Å の範囲の紫外線が最も有効であるが、地表に達する太陽光線中には 2,800 Å 以下の紫外線は含まれていないから太陽光線の殺菌能率は非常に悪い。

水銀の放電より発する放射線は水銀の蒸気圧によつて異なる。一般的にいつて低蒸気圧では波長の短い線が強く、高蒸気圧では波長の長いものが強い。水銀の低蒸気圧(約1/100 mm Hg)では水銀の共鳴線と称する 2,537 Å が非常に強く、全放射エネルギーの約 90% がこの 2,537 Å であることが殺菌灯に应用される理由である。

殺菌効果は被照射面における 2,537 Å の強度 I と照射時間 t が関係し、 $I \times t$ の値が同じならば殺菌効果は



1 図 殺菌力と光の波長

Fig. 1. Germicidal effect and wave length.

同じというデータが多い。すなわち $300 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ で 20 秒照射と $1.0 \mu\text{W}/\text{m}^2$ で 40 秒照射では同一の殺菌効果がある。ただしこれは大体の目安であつて、殺菌のデータは物理化学量のそれとは異なり、データが非常に違つて出ることが多い。これはバクテリアを対象としているという以外に種々の条件が混入してくるからで、理論式で取扱かつたりこれと比較することは余り意味がないように思われる。

殺菌効果は菌の種類によつて大別すると

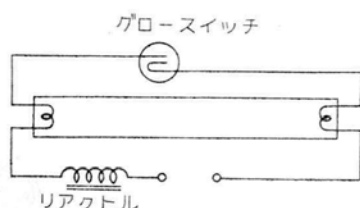
- (1) 最も殺菌し易いもの：
大腸菌・結核菌・チブス菌・コレラ菌・赤痢菌等
- (2) つぎに殺菌し易いもの：
枯草菌・葡萄状菌等
- (3) 最も殺菌し難いもの：
カビ類・芽胞

大体の目安として (3) の殺菌には (1) の場合の約 50 ~ 60 倍の $I \times t$ を要する。すなわち同じ条件で照射する場合 (1) を 10 秒照射するのと (3) を 10 分照射するのでは同程度の殺菌率となる。

また紫外線による殺菌効果は顕微鏡的な生物に対してはあるが、たとえば小さい虫などには効果はない。

3. ランプの構造と種類

殺菌灯には管材料として石英管を使用したものと、特殊ガラスを使用したものがあり、電極で分類すれば熱陰極型・スリムライン型・冷陰極型がある。わが国で製作されているのは熱陰極型が多く、これは蛍光灯のものと全く同一で結線は 2 図に示す。殺菌灯が蛍光灯と異なる点は管体に蛍光物質が塗布してないことと、管体が 2,537 Å の紫外線をよく透過する材料で作つてあるということだけである。1 表にもある如く、この 3 種のランプは寿命と価格が異なる外は大して相異はない。



2 図 結線図
Fig. 2. Connection diagram of hot cathode germicidal lamp.

1 表 殺菌灯規格の一例

Table 1. One example of germicidal lamps.

	冷陰極型	熱陰極型	スリムライン型	
管 径(インチ)	1	1	5/8	5/8
ワ ッ ト(W)	17	15	17	32
全 長(インチ)	34 3/4	18	36	36
管 電 圧(V)	410	55	180	130
管 電 流(A)	0.05	0.3	0.12	0.3
寿 命(時)	12,000	2,500	6,000	6,000
2,537 Å 出力(W)	5.2	3.2	8	13.1
オゾン臭	強	低	殆どなし	殆どなし
値 格(ドル)	10	4.5	10	10

石英ランプとガラスランプとを比較すると

(1) 石英ランプ

- a. 殺菌効果が大きい (石英が 2,537 Å を非常によく透過することによる)
- b. Solarization* がない。したがって寿命が長い。
* 紫外線透過ガラスが可視光線に対しては透明度が変わらないのに、太陽光線あるいは紫外線を受けることにより、紫外線に対する透過度が次第に減退すること。
- c. オゾンの発生が強い。(石英が 1,850 Å という短い波長の紫外線を透過するために空気中の酸素をオゾン化することによる。)
- d. 価格が高く量産に適しない。

(2) ガラスランプ

- a. 殺菌効果が小さい。(石英に比べて)
- b. Solarization がある。
- c. オゾンの発生がほとんどない。
- d. 価格が安く量産に適する。

4. 応 用

前述の如く、殺菌の方法として薬品・熱・紫外線の何れを選ぶかということは殺菌効果の外に経済的、副作用の有無などを考慮して定めなければならない。

殺菌灯による殺菌の特長は、熱による変化がないこと、臭気を伴わないこと (石英ランプのオゾン臭は除く)、使用法が簡便であることであり、殺菌灯の出現によつて空気の殺菌は実用的に初めて可能になったといつても過言ではない。

欠点は空気あるいは水を除いてはほとんどのものに対して透過力がない。すなわち表面殺菌しかできないということと、完全な 100% 殺菌が絶対に必要な場合には適しないことがある。これは照射の条件にもよるが、殺菌灯で照射した菌を割に暗いところで培養しても発芽しないが、適当な明るさその他の条件で培養すれば発芽することがある。これは仮死状態にある菌が適当な可視光線等によつて蘇生したものらしい。しかし仮死状態にある菌が体内に侵入しても無害であるから特殊の場合を除

いてはこの点差支えはない。

オゾンの問題であるが、この密度がある程度以下であれば保健上にも嗅覚上にもよいことは衆知のとおりであるが、あまり強くなると不快であり人によつては頭痛等を起す。しかし強いオゾン臭を好む人もありその程度に相当の差があるが一般的にはオゾンの含有率が 5×10^{-6} をもつて境としている。またオゾンにも殺菌効果があるので、殺菌線の透過しない部分の殺菌あるいは菌の繁殖防止に有効である。また蠅がオゾン臭を非常に嫌うということを聞いたが、もしそうだとすれば蠅の防止に利用できるかも知れない。

つぎに殺菌灯の個々の用途を述べる。

ア. 空気の殺菌

従来わが国では製薬会社の無菌室の如き特殊な場所を除いては空気の殺菌などということは考えられていなかった。しかしとくに都会地で人が沢山出入りしたり集る場所の空気の汚染度は誠に想像に余りあるもので、空気中の細菌が肉眼に見えないことが幸とも不幸ともいえるであろう。現在の呼吸器病の罹病率およびそれによる損害が如何に大きいかを考える時、簡単なしかも安い方法で罹病率を少しでも下げることができれば一大福音といえるであろう。殺菌灯による空気殺菌はこの目的に最も適したもので、アメリカにおける実施結果の一例として、病院における呼吸器病の感染率が 50~80% 減少したという報告がある。結核患者を持つ家庭では家族の感染防止に誠に好適と思われる。また事務所などの勤務者の為にこれを設置することは必要であろう。

室内の殺菌灯の使用法としては、ランプからの光が直接、目にこないようにするために 3 図の如く取付ける。

この場合室の下部の空気は直接殺菌線で照射されないが空気の自然対流により上部と下部が交換して殺菌の目的を達する。2 表は室の大きさと取付けるべき殺菌灯の関係でアメリカのデータを借用したものである。

これによれば呼吸器病菌に対して室の上部は 95~99% の殺菌率となり、これは毎分 2 回位の割合で室の空気を無菌の空気で換気したのと同程度の状態で保健上十分の程度であるといつていい。

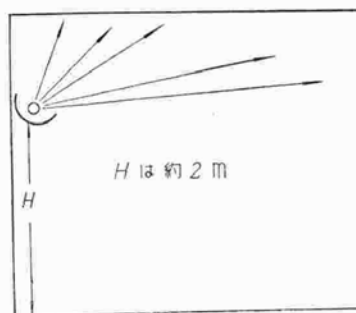
室内の殺菌灯を設置しないで、ダクトの中に設置し、殺菌灯で消毒した空気を送り込む方式を採っているところもある。

空気の殺菌を必要とする場所を列記してみれば
無菌室・手術室・学校・劇場・病院・駅の待合室・調理室・事務室・手術用具理髪器具の消毒後の保存箱・冷蔵庫等である。

イ. 水の殺菌

殺菌灯の応用として空気に次で水の殺菌がある。煮沸消毒は大量の水の場合は困難であり、カルキ消毒は臭気その他で困る場合が多い。殺菌灯による消毒は相当多量の水が処理できるし水に何等変化を生じない。

工場などの自家水道、アイスキャンデその他清涼飲料



3 図
室内における
殺菌灯取付図

Fig. 3. A Setting of germicidal lamp in a room.

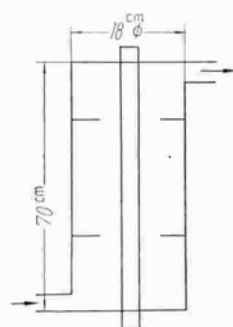
2 表 室の大きさと殺菌灯

Table. 2. Room dimension and germicidal lamp.

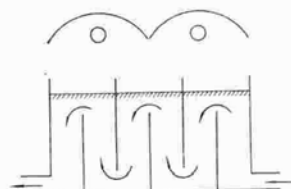
天井の高さ(尺)	床面積(坪)			
	GB-30 (30W) 1 個		GB-15 (15W) 1 個	
	A	B	A	B
8	5.5	3.5	2.2	1.5
10	6.5	4.5	2.7	1.8
12	8	5.5	3.2	2.2
14	9.5	6.5	3.8	2.5
16	11	7.5	4.2	3

A 列: 工場, 事務所, 食堂等

B 列: 病院, 診察室, 学校等



4 図



5 図

Fig. 4. 5. Tanks for water disinfection.

等の製造に好適である。

この装置としては 4 図の如くランプを水の中に置くものと 5 図の如く水の外から照射するものと試験中である。前者は普通の水道圧を加えることができるが、ランプに水アカが付着するので掃除をする必要があるし、水が冷いときは殺菌線の発光能率が下る。後者の装置ではこれらの欠点はないが装置に水圧がかけられない。

水の殺菌には殺菌線に対する水の透過度が最も大きな影響を持ち、透過度の良い水ほど処理量が多い。透過度は肉眼で判別できる透明度のほか、水中の鉄イオン濃度が非常に関係する。

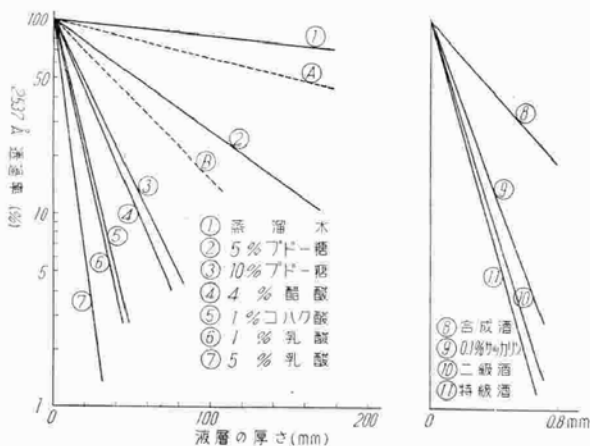
水あるいは他の液体の殺菌線に対する透過度は 6 図に示すが、普通の水(肉眼で見て濁っていないもの)は大休図の (A) と (B) の範囲内にあるようである。透過度に

よつて水層の厚さおよび流量を適当にする必要があり、タンクの中を流れる水の各部が一樣の照射を受けるような設計にしなければならない。

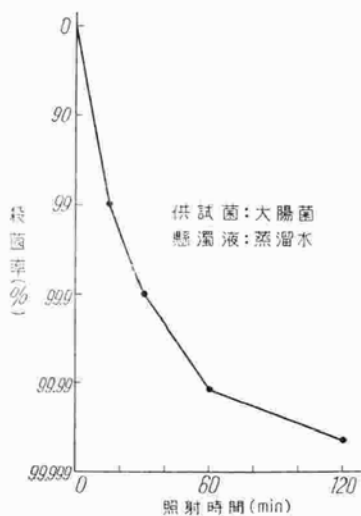
水の殺菌例として4図の如きタンクで30W石英殺菌灯(QG-30型)1本を挿入した装置での結果は7図の如くである。この場合蒸留水を使用したことおよび水が静止していることが実際の場合と条件が違うわけで、蒸留水を使用したことは実際よりも殺菌率のよい結果を得たことになる。また静止した水であることは、タンク中で水をよく攪拌した場合に比べれば実際よりも悪い殺菌率を得たことになる。何故ならばランプに近い所と遠い所を一樣に照射することが最も殺菌率を大きくする結果になるからである。現在大阪大学その他のご助力によつて最も有効な殺菌のできる装置を試作実験中であるが、30Wのランプ1個で毎時2トンの水を約99%殺菌できると予想している。

ウ. 牛乳の殺菌

牛乳は殺菌線に対して不透明であるので水の殺菌装置

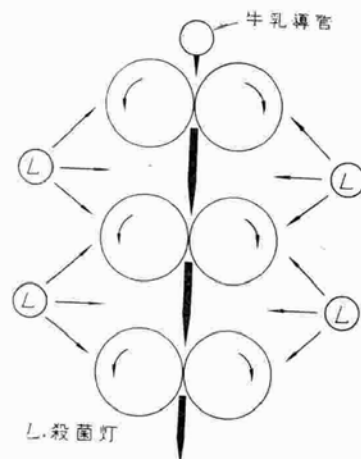


6 図
Fig. 6. The transparency for 2537 Å-U.V. ray.

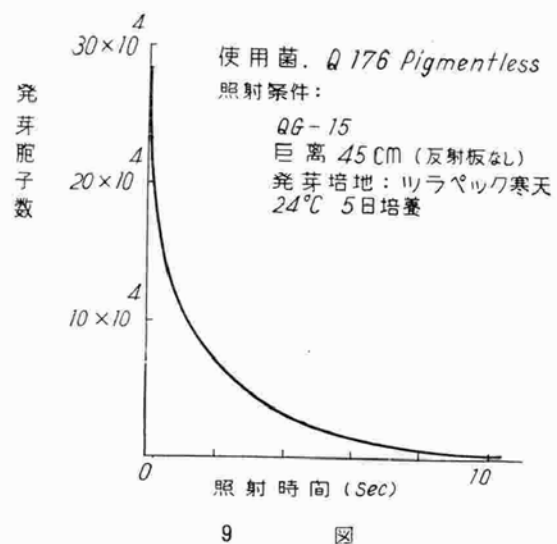


7 図
Fig. 7. The killing curve for E. Coli in water.

殺菌灯・小椋



8 図 牛乳殺菌装置
Fig. 8. A disinfection set for milk.



9 図
Fig. 9. The killing curve for Penicillium.

は適用できない。これには牛乳を非常に薄いフィルム状として殺菌線を照射するより他はない。アメリカではたとえば8図の如く回転する円筒の表面に約0.4mmの牛乳のフィルムを作りこれを照射する装置がある。この装置で殺菌した牛乳は他の方法によるものより味がよいとのことである。

エ ペニシリンの製造

ペニシリン菌を培養する時に、菌の90%位を殺し、残りの10%の菌を培養し、これをまた90%殺菌するという過程を何回か繰返すのであるが、ペニシリン菌に対する殺菌のデータを9図に示す。

オ. カビの防止

倉庫等に貯蔵している場合にカビが発生することを防止するのに、石英殺菌灯を照射し倉庫をできるだけ密閉しておけば、殺菌線と同時にオゾンによつてカビを防ぐ

じとができる。しかしオゾンによつて変化を受けるようなもの場合は不適である。この場合の定量的なデータはまだ得ていない。

カ. 食肉・果実等の貯蔵

食肉・果実等の如く腐敗菌が外部に付着して腐敗する場合には殺菌灯だけで防腐ができる。40×40×120 cm の戸棚の中に約 300 匁の牛肉塊（表面殺菌せず）を入れ 15 W 石英殺菌灯（GB-15）を 1 個点灯（直接照射）、20~35℃ の盛夏に 1 週間放置したが表面が黒色硬化しただけで内部は全然変化がなかつた。この場合直接照射したとと照射が強すぎたことが行きすぎであつた。アメリカでは肉の貯蔵庫には以前から殺菌灯を使用しており、1 坪に 15 W を 1 灯位の割合で間接照射をし温度は 10℃ 位にすればよい。ミカン等の貯蔵に使用して貯蔵期間が相当延長できた実例もある。その他食料品に利用できるものが相当にあると思う。

キ. 酒の熟成

高周波あるいは超音波で熟成ができるが、紫外線によつても可能である。いずれの方法によるも高級酒になる程この効果が明確でないようであるが、たとえば合成酒を石英の試験管に入れ、殺菌灯の近くに 3~4 分置くだけで相当の熟成効果が見られる。この方面の利用には照射条件が色々あると思うが実用になるのではあるまいか。

ク. 食料品加工・醸造

食料品の加工、包装の工程上あるいは瓶詰の場合に直接照射をし、これらに雑菌等が付着しないようにすればそのものゝ保存期間を延長すると同時に衛生上有益である。

醸造の際にもこれと同様に醸造中に雑菌の混入を防いでいるところもある。

ケ. その他

殺菌灯を養鶏、畜産等に応用すれば産卵率や発育がよくなるそうである。

化学工業などで色素の脱色に太陽光線を利用しているところがあるが、このような場合に殺菌灯でさらに能率

よく脱色できる場合がある。たとえば塩化ビニールの原料の dioctyl phthalate の脱色。

また水虫の治療には仲々有効であるが、他の皮膚病の治療にも有効ではないかと思う。

5. 三菱殺菌灯の規格（3表参照）

3 表 三菱殺菌灯の規格

Table. 3. Mitsubishi germicidal lamps specifications

	GB-15 (ガラス)	QG-15 (石英)	GB-30 (ガラス)	QG-30 (石英)
電源電圧(V)	100	100	200	200
ランプ全長(mm) (ピンを含む)	464	444	910	760
ランプ入力(W)	15	16	30	31
ランプ電圧(V)	55	60	110	115
ランプ電流(A)	0.3	0.3	0.3	0.3
2,537Å 出力(W)	3	4	6.5	9
オゾン臭	殆どなし	強	殆どなし	強
平均寿命(h)	3,000*	3,000	3,000*	3,000

* 10 図参照のこと

6. 殺菌灯使用上の注意

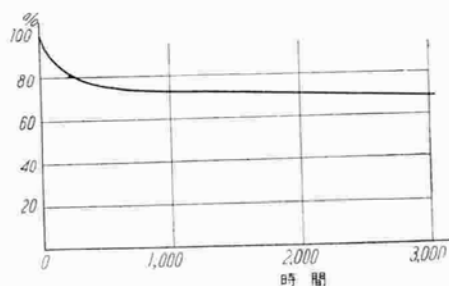
殺菌灯を近くで 10 秒位も見つめると 5~6 時間後に急性結膜炎を起し充血と強い痛みを生じるから注意を要する。しかし万一このような状態になつても別に心配することはない。眼を冷す以外に良い手当はないようであるが、1 日すれば全快する。そして後に影響は残さない。普通の透明板ガラスを 1 枚通して見れば全然心配はない。前にも述べた如く殺菌線には空気、水以外のものに対してほとんど不透明であることに留意して使用しなければならない。

ガラスの殺菌灯には Solarization があるために使用時間とともに効果が減退するから使用時間を大抵記録して特性表から効果の減退度を推定するか、でき得れば強度測定をする必要がある。

7. むすび

殺菌灯自体としては殺菌線に対するガラスの透過率をよくすることと Solarization を少なくすることが必要であるが、衛生の見地から殺菌の必要性を十分認識して殺菌灯を活用することによつて保健の向上に努めるべきであろう。また殺菌灯の用途についても上記の他に開けてくるものと確信する。

最後に種々の試験をお願いデータやご指導を頂きつゝある大阪府立衛生研究所、大阪大学工学部醸造学教室を始め当社内外の関係各位に深く感謝するとともに、今後は主として実地応用の方面に力を注ぎたいと考えている。



10 図 三菱ガラス殺菌灯

Fig. 10. The solarization curve of Mitsubishi germicidal lamp.

ティライヤ 2,500kVA 水車発電機

神戸製作所

鈴木 正 材

2,500kVA Water Wheel Driven Generator for Tilaiya Power Station

By Masaki SUZUKI

Kobe Works

To Tilaiya Power Station, situated along Damodar Valley in India and one of eight projects to generate 220,000 kW in total, a 2,500 kVA generator and a 3,600 HP water wheel have been supplied as a forerunner of export after the war. Various features such as welded brackets to reduce the weight, enclosed ventilation with air coolers installed in the hood, and fire extinguishers by means of water and carbon dioxide will not fail to satisfy the customer.

1. ま え が き

戦後わが国で電源開発を始めたのとほぼ時を同じうして印度・パキスタン・泰国等東亜諸国から電気機械の引合も活発となり、輸出向水車発電機第1号として本機を受注し、すでに昨年製作を完了して発送済であるが近々据付を開始する予定であり、ここにその概要を説明する。

1図は工場組立の外形を示す図である。

2. 水 車 定 格

	最大	基準
落 差	23.5 m	19.5 m
水 量	13.62 m ³ /s	12.4 m ³ /s
出 力	3,600 HP	2,800 HP

3 発 電 機 定 格

型 式 立軸閉鎖風道循環型、立軸フランシス水車直結
出 力 2,500 kVA連続 3,100 kVA 2時間
電 圧 11,660 V 最高 12,100 V 最低 9,900 V
力 率 80 %
周波数 50 ~
相 数 3
回転数 250 rpm
極 数 24
線路充電容量 11,000 V において 2,000 kVA
保証過速度耐力 535 rpm において 1分間
保証短絡比 1.1

保証回転子蓄勢輪効果 50,000 kg m²(GD²)

保証温度上昇 定格連続運転後 2時間の過負荷で

固定子巻線 60 °C (埋設温度計法)

回転子巻線 75 °C (抵抗法)

冷却水最高温度 35 °C

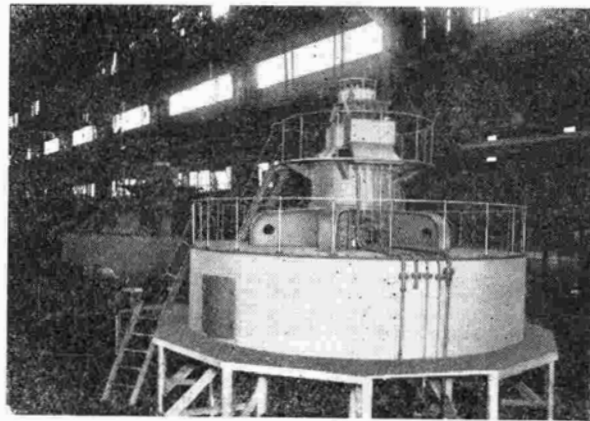
4. 構 造 概 要

2図は発電機断面を示す図である。

固定子枠・上下ブラケット等の構造部分は全部鋼材溶接型とし頑丈にして重量を軽減している。

固定子・回転子巻線はともにB種絶縁とし固定子巻線は 12,100 V に対する絶縁を行つている。

軸受滑油は重力油槽を用い配油盤を設け各軸受に給油



1 図 ティライヤ 2,500 kVA 水車発電機
Fig. 1. 2,500 kVA Generator for Tilaiya Power station.

する方法を採用した。

冷却方法は閉鎖型であつて立置空気冷却器6個を丸風洞内に等距離に配置し、温風は風洞内で円周方向に空気冷却器を通り上下通風口を経て循環される。

消火装置は注文元の希望により水と炭酸ガスとの両方を装置している。

5. 励磁機・调速機運転用発電機および電動機

主励磁機 40 kW 250 V 160 A 250 rpm 他励差動分巻

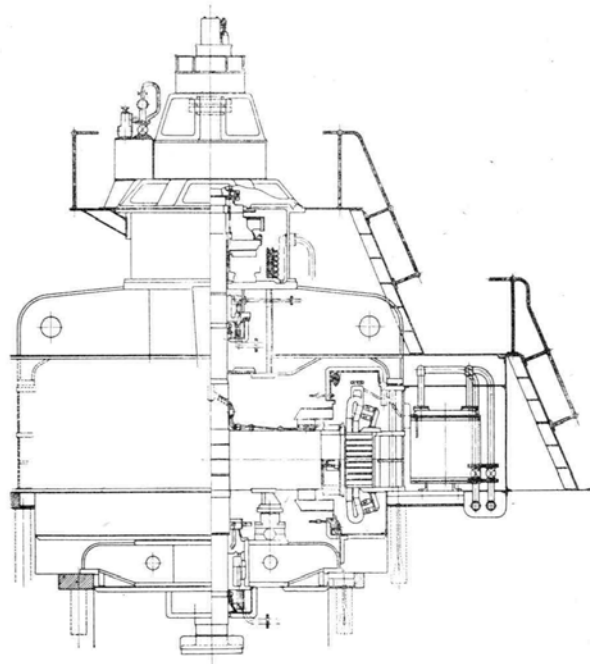
副励磁機 3 kW 110 V 27.3 A 250 rpm 複巻

调速機運転用発電機 1.75 kVA 110 V 900 rpm 4 P 30~ 立型水車軸より歯車駆動

同電動機 1 HP 110 V 900 rpm 4 p 30~ 横型

6. む す び

以上成品について概略を紹介した。本機はすでに昨年立会試験も好成績をもつて終了し、現地に到着しているが建物・基礎関係のため遅延しており、近々据付も開始する段階になつていたので印度における日本製の水車発電機第1号が発電を開始する日も間近いことと期待している次第である。



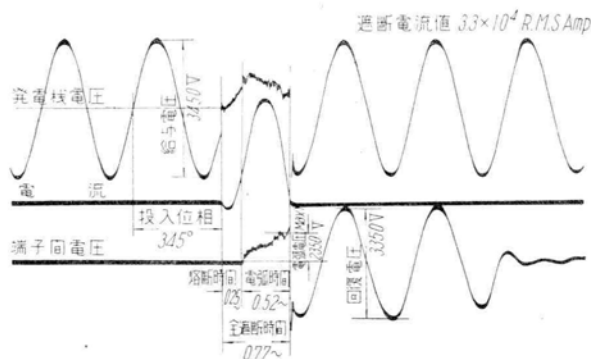
2 図 発電機断面図

Fig. 2. Section of generator.

BA-1型電力ヒューズ

写真は BA-1 型電力ヒューズを伊丹製作所 50,000 kVA 短絡発電機にて 3,150 V 33,000 A を遮断した光景とオシロで、筒の中に収められた硼酸が電弧によつて熔融分解ガスを放出して消弧するもので、半サイクル前後で遮断する優秀な性能をもっている。ステーショントランス・計器用変圧器の一次側、あるいは遮断容量不足の油入遮断器と直列に使用される等広範な用途がある。とくに電流溶断時間特性を厳密に調整してあるので、同系統の他の遮断器との協調が電流定格の適当な選択でできる。

定格電圧 V	3,450	6,900	11,500	23,000	34,500
3相遮断容量 非対称 MVA	160	300	450	600	600



ティライヤ発電所・コダルマ変電所の配電盤設備

神戸製作所

尾 畑 喜 行

Switchboard Equipment of Tilaiya Hydro Electric Power Station and Kodarma Substation

By Yoshiyuki OBATA

Kobe Works

Switchboard equipment supplied to the Indian government for the use of Tilaiya Power Station and Kodarma Substation are built in conformity with the British Standard Specification while the test was carried out by an American consultant. They are subjected to very severe conditions, the temperature change being sometimes $22^{\circ}\text{C}/30\text{ min}$. During the rainy season the humidity goes up as high as 100%. In the dry season the places are visited by dust storm. In addition, reptiles and insects pester the site incessantly. To meet these unusual conditions special considerations have been given to every detail of the construction so as not to fall short of the customer's expectation for Japanese engineering.

1. 一般

独立印度国土計画の一環として Damodar 溪谷の総合開発が Damodar Valley Corporation によつて始められ、そのうちに水力発電計画が含まれている。Tilaiya 水力発電所はその先駆となる貯水式発電所で、この他に8カ所、合計 220,000 kW の水力発電計画がある。目下の所発生電力は約 16 km の地点にある Kodarma town に送られて付近の開発用および工業用動力として消費されるが、将来は Kodarma の発電所で 132 kV 幹線に接続され、他の発電々力とともに Calcutta に送電せられることになっている。

国情、気象条件の相異から当然配電盤設備も国内発電所の場合と相異なるが、その主なる原因はつぎのとおりである。

イ. 規格は British Standard Specification に準拠し、United states Consultants によつて厳重な試験、検査が行われたこと。

ロ. 室内温度は $4\sim 45^{\circ}\text{C}$ 、屋外温度は 60°C でわが国に比べて高くそのうえ温度変化が $22^{\circ}\text{C}/30\text{分}$ にも達することがある。

ハ. 雨期は年内約2カ月連続し相対湿度は 100% に達する。

ニ. 乾期には猛烈な Dust Storm を伴う。

ホ. 一年中を通じて昆虫類、爬虫類の絶間が無い。

ヘ. 導電部分はたとえ低圧であつても外部に露出させてはいけない。

ト. 扉類はすべて鎖錠し得ること。

チ. 発電機回路は抵抗接地式であるがその他はすべて直接々地方式である。

リ. 動力回路は 400 V、電灯回路は 230 V で3相4線式である。

これらのうち規格、回路方式の相異による設計、製作上の差異は止むを得ないが、気象および国情の諸点からつぎのような形式の配電盤を製作した。

イ. すべて閉鎖型とし Vermin & Dust Proof とし

た。

ロ. 屋内高圧器具のうち OCB を収容するものは Truck Type に、その他は Cubicle Type とした。

ハ. 動力・電灯回路には刃形開閉器・可溶器を一切用いず、No-Fuse Breaker を採用した。なおとくに大きい遮断容量を必要とする回路には De-ion Air Circuit Breaker (遮断容量 25 MVA at 400 V) を用いた。

ニ. 各盤には Space Heater を設けて温度の急降下に伴う水滴の成生を防止した。

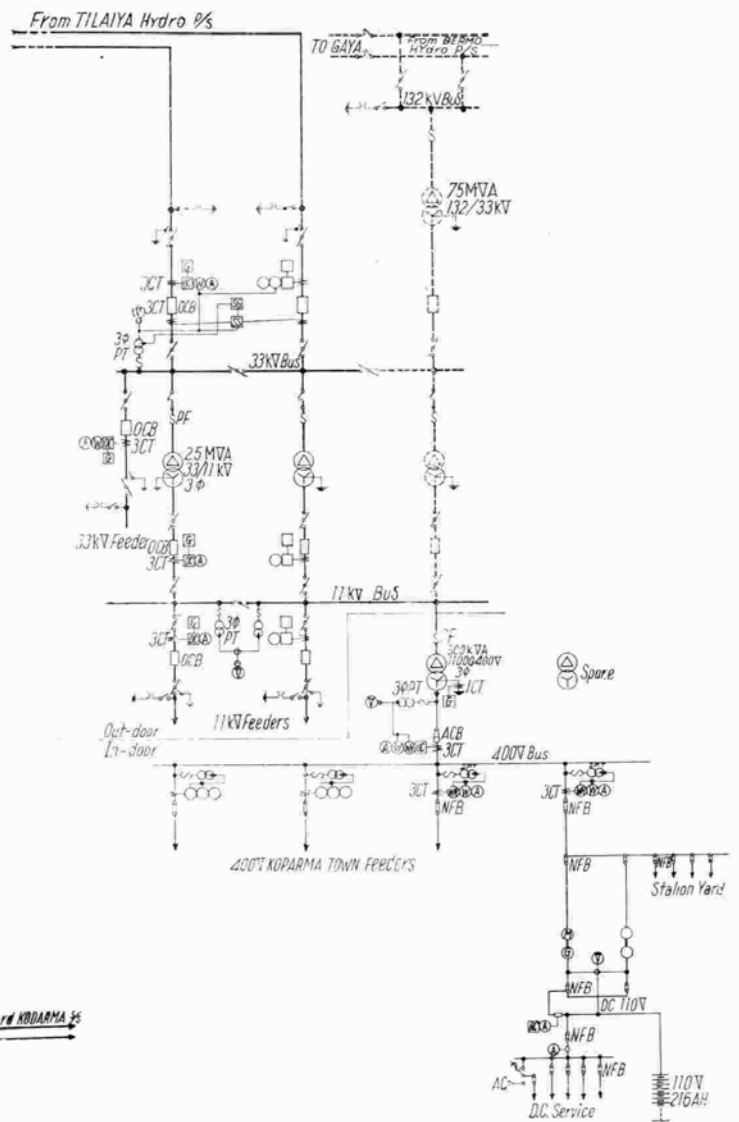
ホ. 制動方式は高度の One-Man Control として誤操作を防ぎ一方保護装置に万全を期した。

1 図、2 図はそれぞれ Tilaiya 発電所および Kodarma 変電所の単線結線図を示す。

2. Tilaiya 発電所配電盤

3 図は Tilaiya 発電所の配電盤配列を示すもので、制御盤は 2 階に、高圧回路、界磁回路の諸盤は 1 階に設置する。盤の取纏め方法はわがの国慣例と若干差異がある。

4 図は両面型主制御盤で表面には計器・制御開閉器類が、また背面には保護用一次継電器類が取付けてある。

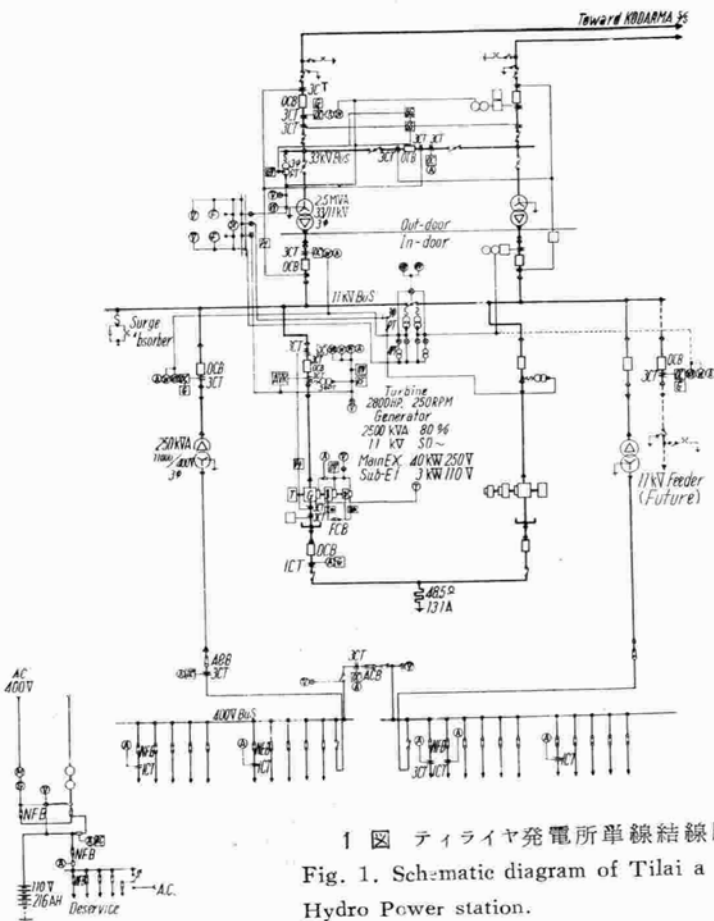


2 図 コダルマ変電所単線結線図
Fig. 2 Schematic diagram of Kodarma sub-station.

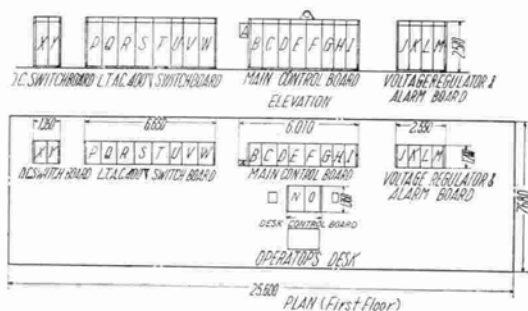
5 図は水車、発電機用分離型制御機で各種制御開閉器類のほか、水車発電機の順序制御状態・補助設備の状態・補助機の運転等各種の表示器・水車室との信号装置を取付けたものである。6 図は水車室に設置する水車制御盤で表面には制御機と同様な各種表示器・信号装置のほか故障表示も行うようになっている。なお内部には水車制御用の電磁弁・油圧継電器が収容されている。

7 図は自動電圧調整器盤および故障表示盤で所内の故障は一括ここに表示される。両盤とも両面盤で背面盤には運転制御関係の継電器類が取付けられている。なお電圧調整器は励磁機界磁抵抗器型とし将来の発電所拡充に備えて自動電流限定方式を採用した。

8 図、9 図はそれぞれ 400 V 低圧盤・直流



1 図 ティライヤ発電所単線結線図
Fig. 1. Schematic diagram of Tilaiya Hydro Power station.



3 図 ティライヤ発電所配電盤配列

Fig. 3. Physical arrangement of switch boards in Tilaiya P/S

MAIN CONTROL BOARD.

- A. Synchronising.
- B. Instrument panel. (Front)
Automatic Synchronising Device. (Back)
- C. 33kV Out-going. #1 & #2
- D. Step-up Transformer. #1
- E. Generator. #1
- F. Generator. #2
- G. Step-up Transformer. #2
- H. Station Transformer. #1 & #2
- I. 11kV Feeder.

VOLTAGE REGULATOR & ALARM BOARDS.

- J. Voltage Regulator. #1 (Front)
Automatic Control Relay. #1 (Back)
- K. Voltage Regulator. #2 (Front)
Automatic Control Relay. #2 (Back)
- L. Generator Alarm & Thermomentering

DESK CONTROL BOARDS.

- N. Generator. #1
- O. Generator. #2

L.T. 400V SWITCH BOARDS.

- P. Distribution.
- Q. Distribution.
- R. Transformer. #1
- S. Bus section.
- T. Transformer. #2
- U. Drying shop.
- V. Distribution.
- W. Distribution.

D.C. SWITCH BOARDS.

- X. Battery charging.
- Y. D.C. Distribution.

11kV SWITCHGEAR CUBICLES.

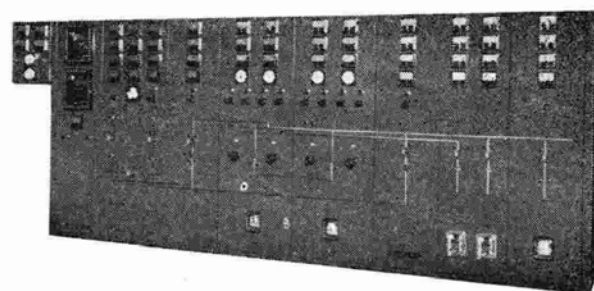
- a. Surge Absorber.
- b. Station Transtofmer. #1
- c. Step-up Transformer. #1
- d. Generator. #1
- e. Bus Section.
- f. Generator. #2
- g. Step-up Transformer. #2
- h. Station Transformer. #2
- i. 11kV Feeder.

NEUTRAL SWITCHGEAR CUBICLES.

- j. Neutral Breaker. #1
- k. Ground Resister.
- l. Neutral Breaker. #2

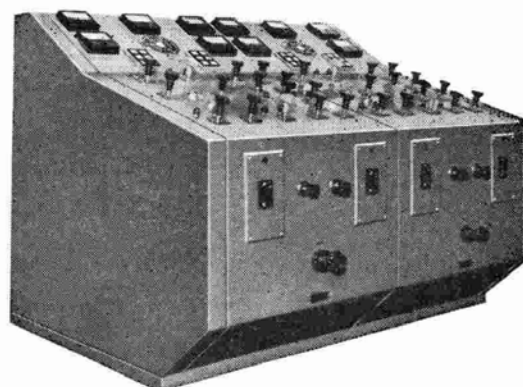
FIELD CONTROL CUBICLES

- m. Field control #1
- n. Field control #2



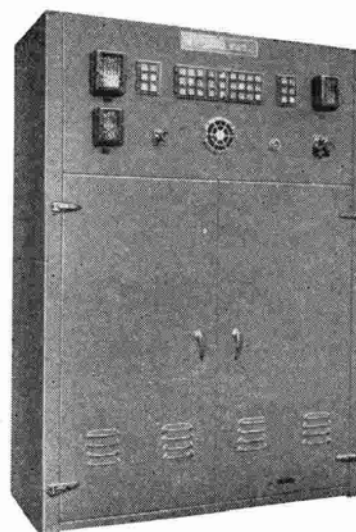
4 図 主制御盤

Fig. 4. Main control boards.



5 図 分離型制御機

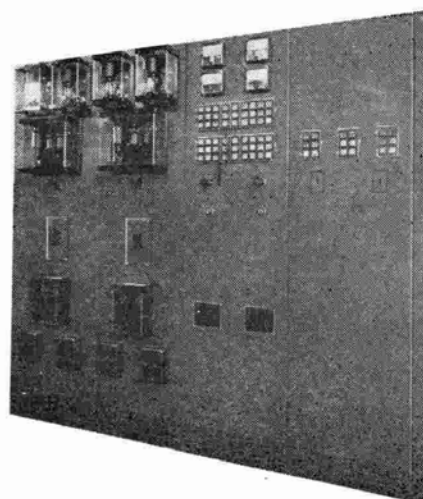
Fig. 5. Separated desk control boards.



6 図

水車制御盤

Fig. 6. Turbine control boards.



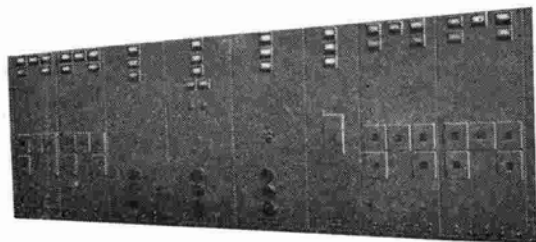
7 図

自動電圧調整器
および故障表
示盤

Fig. 7. Autom-
atic voltage
regulator &
alarm boards.

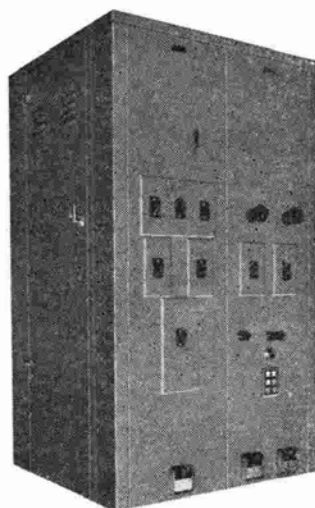
盤を示す、いずれも刃形開閉器を用いた No-Fuse Breaker が取付けられている。なお所内盤中央部3面には 10 図のような De-ion Grid Air Circuit Breaker が收容されている。

11 図は 11kV 回路屋内用 Truck 型配電盤でこのうち左端は Surge Absorber Cubicle, 中央は Bus Coupler 用 Isolator Cubicle である。台車上には 12 図 13 図に示すように OCB, PT, CT 等の高圧器具をすべて取付け点検, 保守を安全かつ便利にするよう構成されている。母線との接続は 14 図, 15 図のような一次断路器を経て行われ, 台車の引出または挿入によつて自



8 図 400V 低 圧 盤

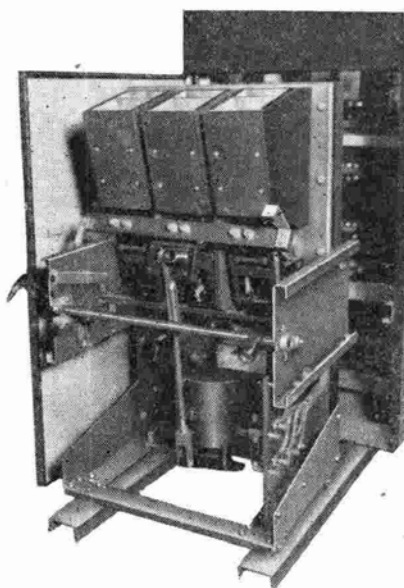
Fig. 8. L.T. 400V A. C. switch boards.



9 図

直 流 盤

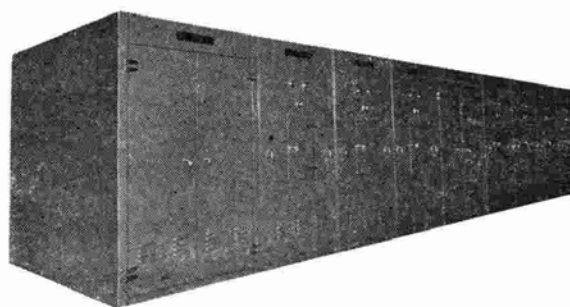
Fig. 9. D.C. switch boards.



10 図

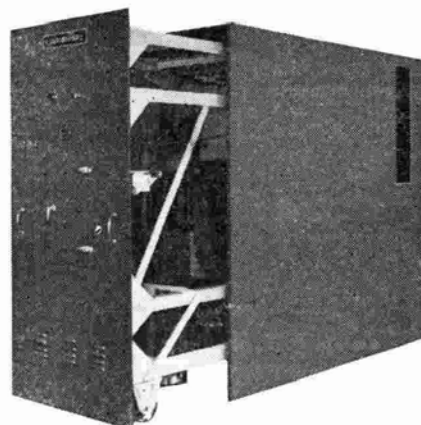
CL-D 型デアイオン
気中遮断器

Fig. 10. Type
CL-D De-ion grid
air circuit breaker.
600V, 400 A, 25
MVA.



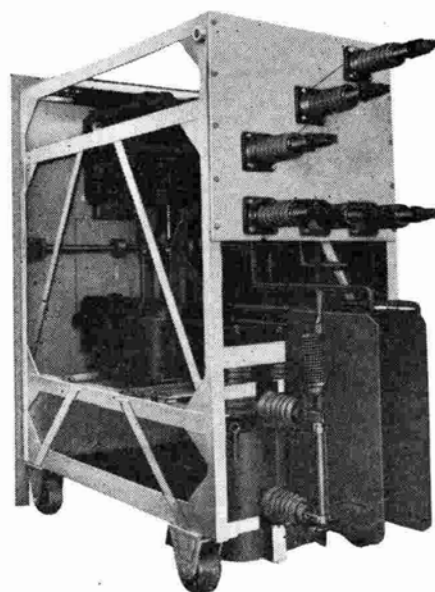
11 図 11kV トラック型配電盤

Fig. 11. Truck Type 11kV switchgear cubicles.



12 図 単位トラック型配電盤

Fig. 12. Truck type cubicle unit.



13 図

台 車 背 面
Fig. 13. Back
view of truck.

然に接, 断ができるようになってゐる。しかし台車と固定枠との間には 16 図のような機械的互錠装置が設けられていて, 遮断器が開路状態でなければ台車の出入ができないようになってゐる。また母線室と台車室との間には 17 図のような自動暗幕が設けてあつて, 台車を引出した場合にはこの幕が自然に降りて一次 Discon 穴を閉鎖し母線室と台車室とは全く遮断されるようになってゐる。一方制御回路・PT・CT 等の引出線は 18 図, 19 図のような二次断路器を経て接続される。

20図は中性点側の遮断器および接地抵抗器用 Cubicle を、21 図、22 図はそれぞれ界磁遮断器・界磁抵抗器を收容した Cubicle を示している。

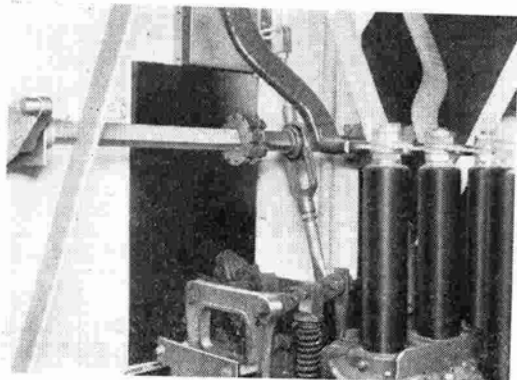


15 図 一次断路器
(母線側)

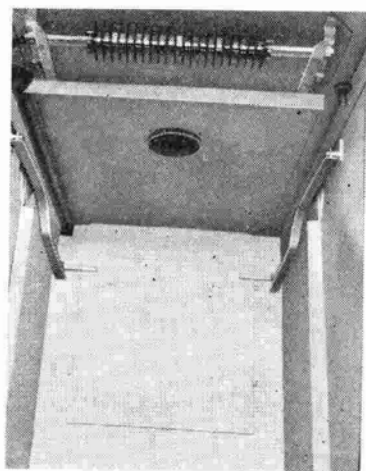
Fig. 15. Primary disconnector. (Bus side)

14 図 一次断路器
(台車側)

Fig. 14. Primary disconnector. (Truck side)

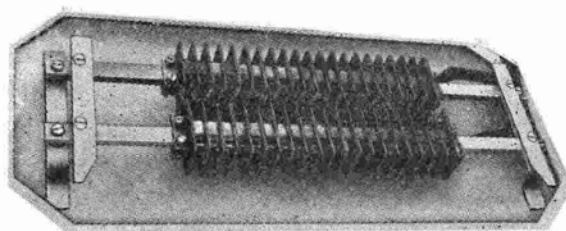


16 図 台車互錠装置
Fig. 16 Mechanical inter-lock between truck and housing.



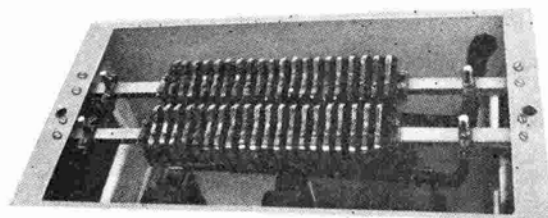
17 図
自動暗幕

Fig. 17. Automatic Shutter.



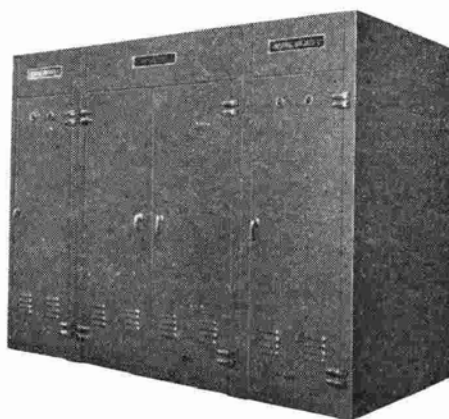
18 図 二次断路器 (固定側)

Fig. 18. Secondary disconnector mounted.



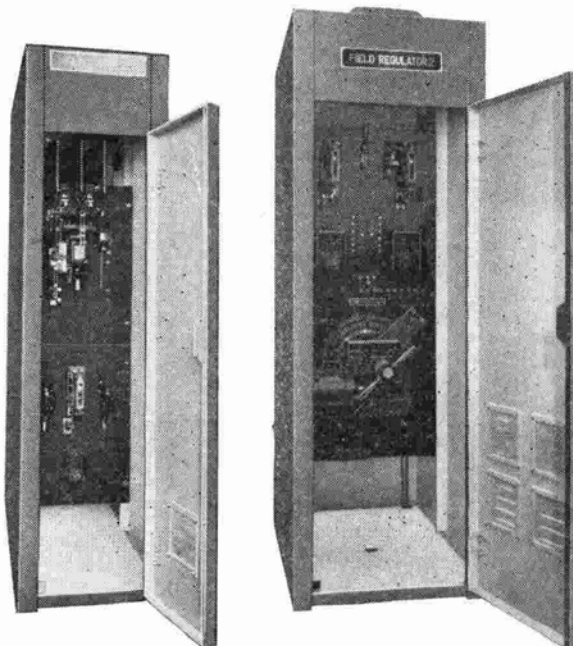
19 図 二次断路器 (台車側)

Fig. 19. Secondary disconnector mounted on truck.



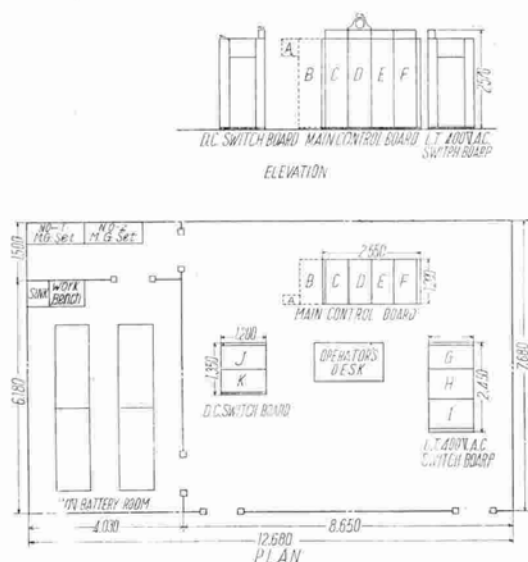
20 図 中性点器具キュービクル

Fig. 20 Generator neutral switchgear cubicle.



21 図 界磁遮断器キュービクル
Fig. 21. Field control cubicle.

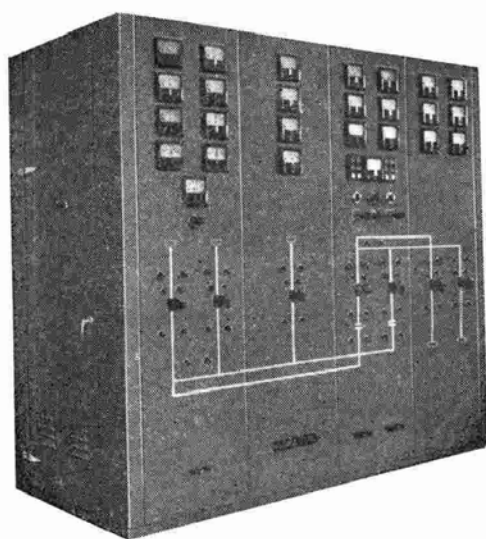
22 図 界磁抵抗器キュービクル
Fig. 22. Field rheostat cubicle



23 図 コダルマ変電所配電盤配列
Fig. 23. Physical arrangement of switch boards in Kodarma.

CONTROL BOARDS.

- A. Synchronising. (Future)
 - B. 132kV Transformer. (Future)
 - C. 33kV Incoming. #1 & #2
 - D. 33kV Out-going.
 - E. Step-down Transformer. #1 & #2
 - F. 11kV Out-going. #1 & #2
- L.T. 400V A.C. SWITCH BOARDS.
- G. Transformer.
 - H. Distribution. (Kodarma Town)
 - I. Station Service.
- D.C. SWITCH BOARDS.
- J. Battery Charging.
 - K. D.C. Service.



24 図 主制御盤
Fig. 24. Main control boards.

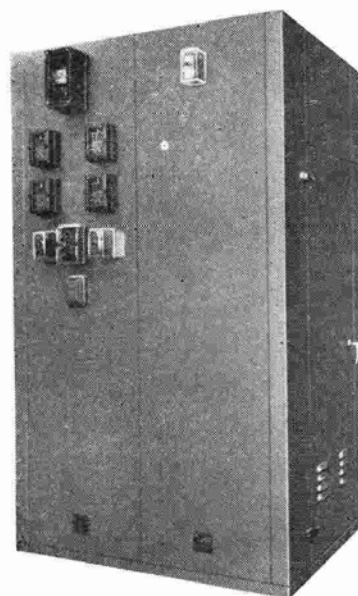
3. Kodarma 変電所配電盤

Kodarma 変電所は 11 kV 以上が屋外設備で、配電盤設備も簡単である。23 図に配電盤室の配列を示す。

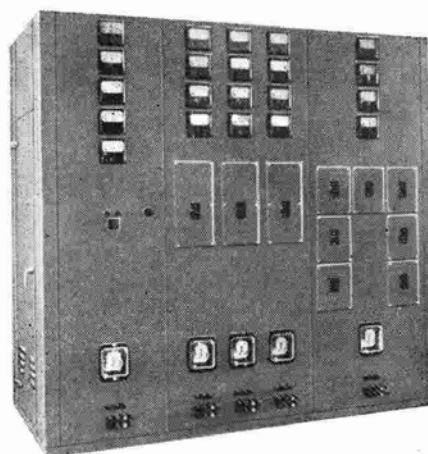
24 図は 33 kV 11 kV 回路用主配電盤で両面型である。

25 図 26 図はそれぞれ直流盤および 400 V 低圧器を示す。

400 V 低圧盤の形態は Tilaiya の場合に類似しているが、積算電力計は最大需要指示器付である。



25 図 直 流 盤
Fig. 25. D.C. Switch boards.



26 図 400 V 低 圧 盤
Fig. 26. 400V A.C. Switch boards

交 流 発 電 機 の 保 守 試 験

研 究 所

横 須 賀 正 壽

Tests for Maintenance of A. C. Generators

By Masatoshi YOKOSUKA

Engineering Laboratory

It is very important in the operation of power stations to ascertain the feasibility of safe running of generators in advance. For this purpose various means have been suggested and put into practice. In transformers and bushings, the measurement of power factor of their dielectric has been widely employed and appreciated as effective. This test is, however, not applicable to generators, which use dry type insulation and are affected by materials and the method of construction a great deal. Then examination must be made from different viewpoints. In this paper various methods used as tests on insulation for maintenance purpose are described together with their ranges of applications and other necessary remarks. At present none of the method is found perfect by itself and judgment must be made from summarized result of various tests. The collection of field data being thus strongly desired.

発電機は電力事業の根幹をなすもので、その重要性はいうまでもないが、絶縁問題は、その死命を制するもので、材料・工作法など地味ではあるが、着々研究改善せられつつある。発電機の絶縁問題としては問題は多いが、最近とくに現場方面で重視されているものは保守試験、すなわち劣化の検出、ならびに雷害防止の問題である。

第一の劣化検出の問題は、現在使用中の機械が、安心して運転できるか否か、残存寿命はどれ位かを知りたいという運転保守上の問題である。第二の雷害防止の問題は、広く送配電技術全般に関する問題であるが、発電機については若干特異性がある。本文はこの第一の保守試験の問題について、若干解説をしたものであつて、すでに周知の事柄が多いが、実際試験をされる方々に何らかご参考になれば幸である。

1. ま え が き

電気機器の絶縁劣化検出は、保守上の重要問題であつて、古くから研究が行われている。わが国においても、昭和23年旧日発により、絶縁劣化早期検出調査委員会が作られ、劣化検出に関する報告が出されている⁽¹⁾。発電

機は電力用変圧器や、碍子套管等と異り、雲母やワニス等を主材料とした乾式機械であり、その構造もいちじるしく異なるのでこれと別箇に考える必要がある。一般の絶縁劣化検出の方法としては、古くから絶縁抵抗、誘電体力率等が提案され、変圧器等油浸機器、套管等に対しては、力率測定が現在もつとも賞用されているが、発電機に対しては、まだ適切なきめ手というべき試験方法が確立されていない。種々の方法があるが、いずれも一長一短であつて、結局は種々の方法を併用して、総合的に判断するということになる。

アメリカにおいても古くから問題にされていたが、1935年にF E Iが大規模にこれを取上げ、委員会を結成して数多の発電機について試験を行い、1941年に報告書が発表されている⁽²⁾。自後も引続いて研究が続行され、種々の報告が出ており、とくに1950年の Winter general Meeting 以降活発である。

アメリカおよびカナダの電気事業者について、実施している絶縁試験の方法、およびその効果について調査した処によると⁽³⁾その一例は1表のとおりである。

良、可等は、その試験法の劣化判定能力についての評価であつて、被試験機の良否ではない。この例でみると

1 表

機器の種類	試験方法	第二欄の試験方法を採用している会社数	試験結果に対する評価	
			良	否
套管	誘電体力率	69	63	—
	絶縁抵抗	19	7	1
	交流耐電圧	6	5	—
電力用変圧器	誘電体力率	56	50	—
	交流耐電圧	12	10	—
	絶縁抵抗	39	18	3
	誘電体吸収	14	7	—
計器用変圧器	誘電体力率	50	44	—
	交流耐電圧	10	7	—
	絶縁抵抗	21	10	1
	誘電体吸収	4	1	—
回転機	誘電体力率	11	4	—
	コロナ検出	4	2	—
	絶縁抵抗	56	25	1
	誘電体吸収	32	16	2
	交流耐電圧	18	11	1
	直流耐電圧	4	2	0
ケーブル	誘電体力率	23	12	—
	絶縁抵抗	45	19	4
	誘電体吸収	13	2	—
	交流耐電圧	16	7	1
	直流耐電圧	23	19	—

変圧器、套管等では、力率測定がもつとも広く用いられその判定能力も高く評価されているが、回転機では力率法はあまり重視されず、直流抵抗・吸収法等が重視されている。しかしいずれもその判定能力については、変圧器に対する力率の場合ほど高く評価されていないことが判る。すなわちまだ確立された劣化検出法がないということになる。

現在いろいろ実施され、研究されている劣化検出方法は、眼でみる点検・力率・絶縁抵抗・コロナ・耐圧試験直流分等種々あるが、それらの方法について、その意義方法等について説明する。

2. 点 検

これについては論ずるまでもない。定期点検の際に十分丁寧に行うべきで、すべての電氣的試験に先立つて実施すべきである。コイルの亀裂・緩みなど詳細にしらべ不良箇所は修理する。コイルの汚れが甚しいときは、清掃も必要であろう⁽⁴⁾。

3. 誘 電 体 力 率

絶縁物が完全な誘電体でなく、損失分があるために電流は完全に 90° 進まず、損失角 δ だけ遅れる。(1図) 力率は $\cos \theta$ であるが、 δ が小さい場合は

$$\cos \theta = \sin \delta \approx \tan \delta$$

であるので、 $\tan \delta$ で表わされる場合が多い。

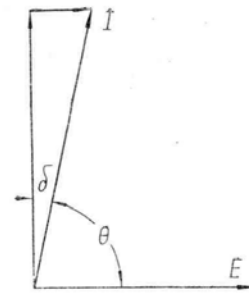
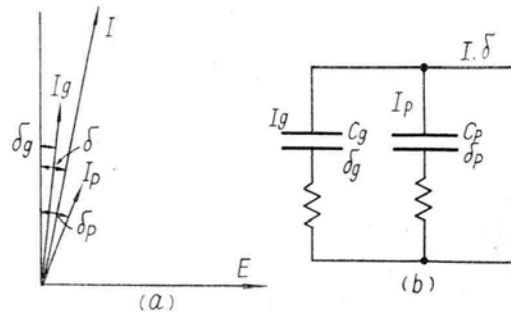


Fig. 1. $\tan \delta$



2 図 並列機器のある場合の $\tan \delta$
Fig. 2. $\tan \delta$ when other apparatus is connected in parallel.

力率の測定にもつとも広く用いられるのは Schering 電橋である。現場の測定に適するように、可搬式にし、かつ一端接地の機器を測定するのに便利のように逆接続にしたものが製作されている⁽⁵⁾。特殊構造の低力率電力計と、電圧計、電流計で測定する方法は、アメリカで広く実施されている。最近特殊の力率計が製作され、 $\tan \delta$ 計⁽⁶⁾あるいは損失角計として使用されているが、電橋に比べて精度が劣ることはやむをえないし、よく注意しないと大きな誤差を生ずることがある。測定方法は周知であるので省略する。

力率を測定するのにたゞある一点で測定したのみでは不十分である。電圧特性・温度特性・経年変化等を考える必要がある。発電機のような、材料も構造も多種多様なものでは、ある一点での力率の絶対値で、絶縁の状態を判断することは困難である。

発電機に PT, CT, あるいはケーブル等が接続されている場合は、測定値はそれらすべての値を含むことになる。発電機の静電容量を C_g 、損失角を δ_g 、電流を I_g 、並列機器のそれをそれぞれ C_p 、 δ_p および I_p とすると、2図のベクトル図から明かなように、測定値 δ と発電機の δ_g の間にはつぎの関係がなりたつ。

$$\tan \delta_g = \frac{I \sin \delta - I_p \sin \delta_p}{I \cos \delta - I_p \cos \delta_p} \quad \dots\dots\dots (1)$$

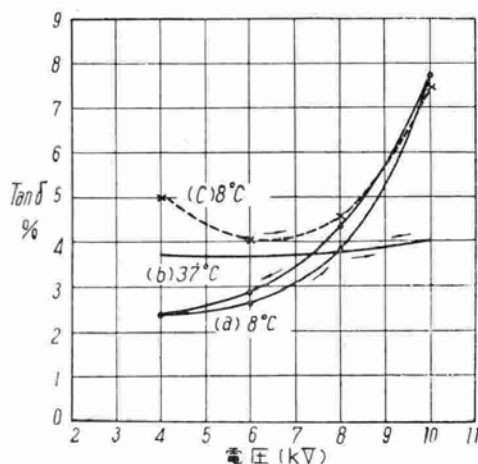
電流は静電容量にほぼ比例し、また損失角が小さければ

$$\tan \delta_g \approx \frac{C \tan \delta - C_p \tan \delta_p}{C - C_p} = \frac{\tan \delta - \frac{1}{1+\alpha} \tan \delta_p}{1 - \frac{1}{1+\alpha}}$$

ただし $\alpha = C_g/C_p$ である。CT や PT 等は普通発電機に比べてその静電容量は小さいから $\frac{1}{1+\alpha} \ll 1$ である。したがって測定値にあまり影響をおよぼさないから、一般には切離す必要はない。ケーブルは長さによるが割合に静電容量が大きいから、なるべく切離して発電機だけにして測定した方がよい。もし不能な場合には、その静電容量（寸法から算出できる）および $\tan \delta$ を推定して、(1) 式で補正すればよい。油浸ケーブルでは、とくに劣化していないかぎり、 $\tan \delta$ は 0.5~1% の程度のものである。

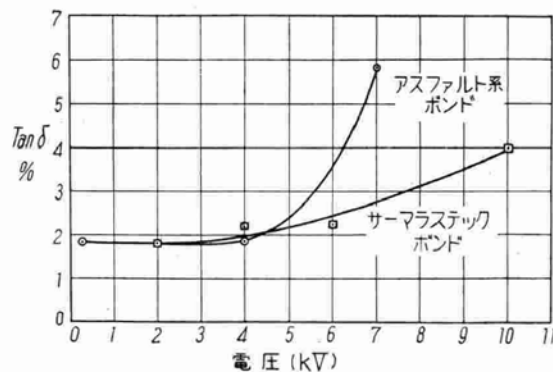
電圧を変化させて力率を測定すれば、3 図のような電圧特性がえられる。同図 (a) は約 17 年を経過した巻替予定の古いコイルで 6 kV 位から $\tan \delta$ が急に増し、電圧上昇時と下降時が同じ値を示さず、いわゆるループを示している。これはコイルが枯れて、内部に空隙を生じており、電圧が高くなると内部でイオン化を起していることを示す。4 kV の値は低いから、吸湿はあまりしていないが、内部空隙が多くて不良と判定した。この $\tan \delta$ 急増の点が、常規対地電圧以下あるいは付近にあるのは好ましくなく、定格電圧近くまでは急増しないことが望ましい。コイルを溝にいれるとき、不熟練者が行くと溝とコイルの間に空隙を残し、コイルが膨れて空隙を生ずることがあるから注意を要する。コイルは溝の中で十分締めつけられた状態にしなければならない。(b) は新しいターボ発電機であるが 10 kV までほぼ平らで、ループを生じていない。同図 (c) は (a) と同じコイルを $\tan \delta$ 計で測定したものであるが、電圧が上昇するにつれて $\tan \delta$ が下り、V 特性を示した。これは $\tan \delta$ 計の不良によるものであつて、こうした測定器で電圧特性を測定する場合には、十分の注意を要する。

温度が高くなると一般に $\tan \delta$ は増す。あまり上昇度が大きいものは、誘電体損による発熱により、さらに $\tan \delta$ が増し、したがって損失も増え、熱的不平衡を起



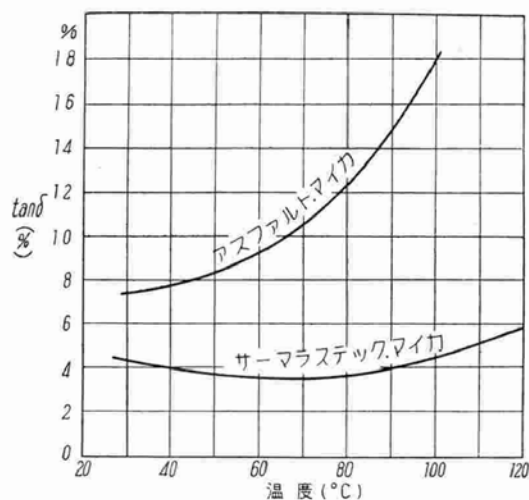
3 図 $\tan \delta$ の電圧特性

Fig. 3. $\tan \delta$ versus voltage characteristics.



4 図 材料による電圧特性の変化

Fig. 4. Variation of $\tan \delta$ -voltage characteristics due to material.



5 図 材料による温度特性の変化

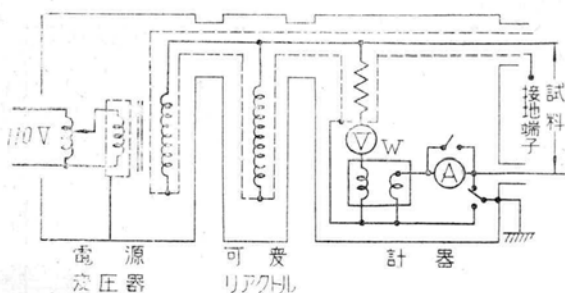
Fig. 5. Variation of $\tan \delta$ -temperature characteristics due to material.

して焼損することがある。コイル間の間隔片に不良絶縁物を使つたために、この原因による事故を起した経験がある。

経年変化は時間とともに値が如何に変化するかをしらべるもので、永年の記録の蓄積が必要で、保守上とくに重要である。やむを得ず一点測定しかできない場合は、電圧・温度など測定条件を一定にしないと直接の比較は困難である。

電圧特性・温度特性等が使用材料によつて、いちじるしく影響される一例を 4 図、5 図に示す。サーマラスティックというのは新しい合成樹脂ボンド材である。

$\tan \delta$ は内部空隙の有無・吸湿の程度等については敏感に指示する。また有利なのは、機械の大きさ絶縁の厚さ等に関係しない量を与えることである。しかし欠点としては、故障点、局部的不良点の検出等については微力であつた絶縁耐力との直接的関係がないことである。 $\tan \delta$ が低いから耐圧値が高いということはいい得ない。また一つの欠点として、大容量低速度の発電機では、その静



6 図 電圧計電力計法力率測定装置

Fig. 6. Schematic connection diagram of ammeter-wattmeter measurement of power factor.

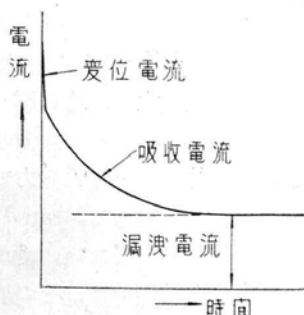
電容量が大きいから、電源として大容量なものが必要とする。コイルの大きさで変わるが 11 kV 級の絶縁の水車発電機では、コイル辺 1 本の静電容量は大抵溝部 1 m 当り 500~600 PF 程度のものが多いから、これで大抵の充電 kVA の見当をつける。この電源の容量を減すために 6 図のように発電機の静電容量と、可変リアクトルを共振せしめて、電源からは主として損失分だけを供給するようにする工夫もある。(7) 2 kVA, 10 kV の電源変圧器で、15 kVA までの試験ができるといわれている。

$\tan \delta$ の値の限界値というものにはつきり定め難いが、常温で数%程度で、電圧特性が平で、ループを生じないものは、良好であるとして差支えない。

4. 絶縁抵抗と直流吸収法

絶縁抵抗測定はいわゆるメガリングとして、一般に古くから用いられているが、案外その本質を理解されていない点が多いようである。絶縁抵抗と絶縁耐力とが混同される場合が多いようであるが、絶縁抵抗が高いということは決して絶縁耐力が高いということにはならず、単に常規運転にいられてよいとか、あるいは耐圧試験をしても差支えないとか、すなわち機械が吸湿等の異常状態になく、正常状態にあると思われるということを示すに止る。しかし丁寧に実施すれば、絶縁抵抗測定から絶縁の状態に対して種々の情報が得られるもので、劣化判定の有力手段である。前記の EEI 委員会の後をうけて、AIEE でこの問題を取上げ、その結果が絶縁抵抗測定の推奨方法として発表されている。(8)

絶縁物に直流電圧を印加した場合、流れる電流は時間に対して一般に 7 図のような形をとり、つぎの 3 部分か



7 図 吸収電流曲線
Fig. 7. Absorption current curve.

らなる。

- (1) 変位電流
- (2) 吸収電流
- (3) 伝導電流 (漏洩電流) 表面漏洩および内部漏洩

(1) および (2) は可逆であり、充電された絶縁物を放電すればまた現われる。(完全には同一でない。温度の影響を受ける) (1) は幾何学的静電容量を充電するものであつて、一般にすぐ減衰して、普通の測定では現われないことが多い。(2) は誘電体固有の性質によるもので、減衰するまでにかなりの時間を要するが、普通は大抵 10~20 分程度で消滅する。(3) が本当の意味における絶縁抵抗に対応するものである。普通は電圧対電流の比をもつて絶縁抵抗と呼んでいるから、絶縁抵抗は明かに時間の函数であつて、時間を指定しなければ無意味に近い。普通電圧印加後 1 分の時の値、すなわち 1 分値を用いることが多いが、便宜上のものである。この電流の時間的変化の状況を記録し、それから絶縁物の状況を診断するのがいわゆる直流吸収法であつて、絶縁抵抗法の一方法である。この外絶縁抵抗は電圧、温度等の影響を顕著にうけるから、比較のデータとしてはこれら諸条件を明確にすることが必要である。これら諸要因の影響を検討して、始めて有益なデータとなるのであるが、やむを得ず一点測定しか行えないときには、標準状態として 500 V, 40 °C における 1 分値 (電圧印加から 1 分の処の値) を採用することを AIEE, No. 43(8) では推奨している。つぎに絶縁抵抗に影響する諸要素およびそれらを利用した劣化検出方法について順次説明する。

ア. 温度の影響

絶縁抵抗は一般に温度によつて対数的に変化することによく知られている。

$$\log R_2 = \log R_1 - \frac{t_2 - t_1}{N} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$R_1, R_2 = M\Omega, t_1, t_2 = ^\circ C$$

N は温度系数であるが 20~100 の範囲にあり、30~60 のものが普通で、吸湿したり劣化したりすると N が変化するといわれている。箇々の機械について測定すべきはもちろんであるが、測定できない時には便宜上近似的につぎの値を用いることが推奨されている。(8)

A 級絶縁 $N=30$ (9 °C 毎に倍となる)

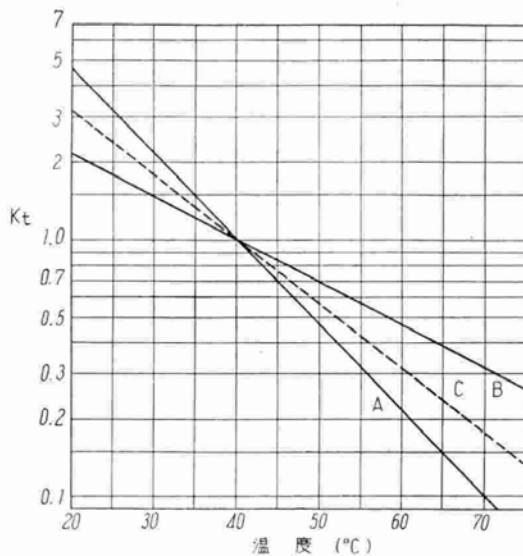
B 級絶縁 $N=60$ (18 °C ")

直流機回転子 $N=40$ (12 °C ")

(1) 式から 40 °C に換算するための更正系数 k_t を求めることができる。

$$R_t = k_t R_{40^\circ} \quad \dots\dots\dots (3)$$

k_t は 8 図に示すとおりである。図の A 曲線は $N=30$ で A 級絶縁に対するもの、B は $N=60$ で B 級絶縁に対するもの、C は直流機回転子に対するものである。この曲線はやむを得ないときに使用すべき近似的のものであつて、筆者の経験でもたとえば九州電力上発電所 3,500 kW のターボではほとんど $N=40$ に近く、ま



8 図 絶縁抵抗温度係数

Fig. 8. Temperature coefficients of insulation resistance.

た古い 25,000 kW のターボで $N \approx 30$ であつたりして、機械によつてかなり変化するから、箇々の機械についてあらかじめ測定しておくことが望しい。正確な N の値がわからない場合には、温度更正の不適當による誤差を当然考慮すべきである。

イ. 時間の影響と成極指数

前にのべたように絶縁抵抗は一般に時間とともに増加するが、その形は吸湿の度合等によつて影響される。良好な絶縁物では一般に抵抗は徐々に上昇し、最終値に落つくのには長時間を要するし、かつ最終値も高い。吸湿していると、最終値も低く、かつ最終値に到達するまでの時間も短い。したがつてこの絶縁抵抗の時間的变化（いわゆる吸収特性）を測定して、絶縁物の状態を判定できる。

この時間的变化を表わすのに 10 分値と 1 分値の比をとり、これを成極指数あるいは分極指数 (P.I.) と呼ぶ。成極指数は一般に 1~7 程度であつて、B 級絶縁物は A 級絶縁物よりも一般に大きい。清浄な乾燥した絶縁物では、A 級で 1.5 以上、B 級で 2.5 以上といわれている。Schneider⁽⁹⁾ は 500 V, 1 分値について 2 表の値を与えている。

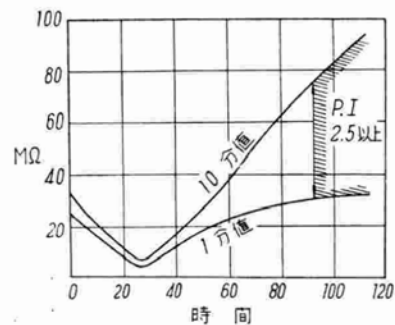
2 表 成極指数 (500 V 1 分値)

Table. 2. Polarization index (one minute, 500 v. Value)

2.5 以上	乾	燥
1.5~2.5	普	通
1.5 以下	吸	湿

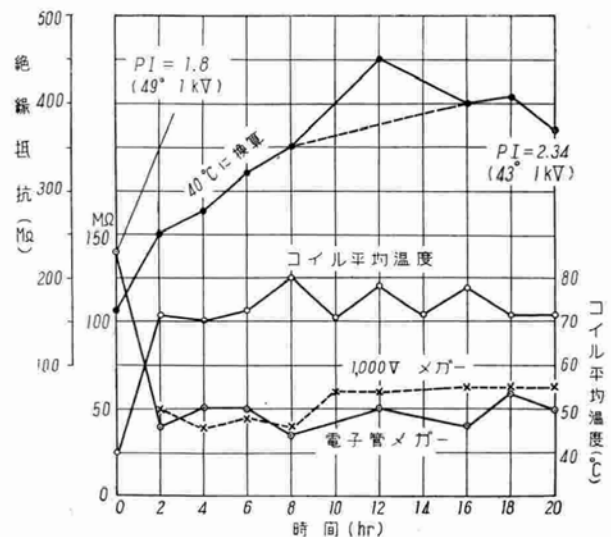
成極指数は、絶縁の劣化判定だけでなく、乾燥運転等にも利用すると便利である。乾燥運転の初期には、機械の温度上昇によつて絶縁抵抗は減少し、漸次乾燥が進むにしたがつて絶縁抵抗は上昇する。(9 図) 乾燥運転の終

期としては絶縁抵抗がもう上昇しなくなつたときをもつてすることが普通に行われているが、温度が必ずしも一定でなかつたりすると、絶縁抵抗が変化するからはずりしないことがある。このとき図のように 10 分値も同時に測定すれば、成極指数が 2.5 以上になつた点をもつて乾燥運転の終期とすることができる。10 図は築上発電所 35,000 kW ターボ発電機の乾燥運転の記録の例であつて、同機は予備熱風乾燥をしてありかつ工程の都合もあつて、乾燥運転は 1 日弱で切上げた。コイルの平均温度、電子管メガーによる 1 kV の 1 分値、普通のメガー測定による値等を示してある。現場の都合上、抵抗測定に当つて、他の側路機器の抵抗が測定に入らぬように発電機回路を開放する必要がある、したがつてその間の冷却のために途中で 10 分値を測定できなかつたものであるが、温度が変化しているので抵抗値もそれにしたがつて変化しており判定しにくい、40 °C に換算すると上の曲線に示したようにまだ若干上昇をしている。12 時間の処の値は、ダンバの加減でコイル温度と空気温度とがいちじるしく異つて、冷却空気の温度が非常に下つていた場合であつて、コイル温度が信頼できない。その



9 図 乾燥運転中の絶縁抵抗変化

Fig. 9. Change of insulation resistance during the drying process.



10 図 35,000 kW ターボ発電機の乾燥運転記録

Fig. 10. Records of the drying process on 35,000 kW turbo-generator.

点を除けば大体曲線上にのり、温度補正が重要なことがわかる。最後の点の乾燥運転終了後に測定した成極指数は 2.34 であり (43°C, 1kV) 2.5 よりも若干低い。ほぼ乾燥状態になったことを示している。予備乾燥のために最初から 1.8 (49°C, 1kV) あり、普通の運転はできる状態にあつたのであるが、これが 2.34 まで上昇している。メガーによる測定値は、時間的關係がはつきりせぬこと、指針が動揺するのでとかく都合のよいように読みをとり易いこと、回転速度が変動すること等の個人的誤差が入るので精度は落ちる。

この吸収特性は、普通は上述のように絶縁抵抗の比をもつて表わされることが多いが、吸収された電荷量をもつて表わす考方もある。吸収電流はコイル中の有機物に大いに関係するので、吸収された電荷は有機物の量の目安になるだろうというのである。有機物の量はまたコイルの機械的脆さと関係があると考えられるので、絶縁物の単位面積当り、単位電位傾度当りに吸収される電荷量すなわち比吸収をもつて、コイル絶縁物の脆さの表示としようという試みもなされている。

ウ. 電圧の影響

AIEE No 43 では電圧は 500 V としているが、もつと高電圧を用いるべきであるとの意見も多い。古く Daris および Leftwich⁽¹⁰⁾ はもつと高圧を用いるべきであるとしているし、また W. Schneider⁽⁹⁾ も 500~1,000 V では低すぎるとの意見をのべている。高圧直流を用いるのは後述の直流耐圧試験と密接に関係があり、絶縁抵抗—電圧特性から破壊値の推定も可能であるという意見もある。

一般に電圧が高くなれば絶縁抵抗は下り、また電圧が高いと吸収時間は短くなる傾向がある。ごく乾燥している機械では電圧が高くなるとかえつて絶縁抵抗が高くなることがあるが、(11 図) この理由は明かでない。

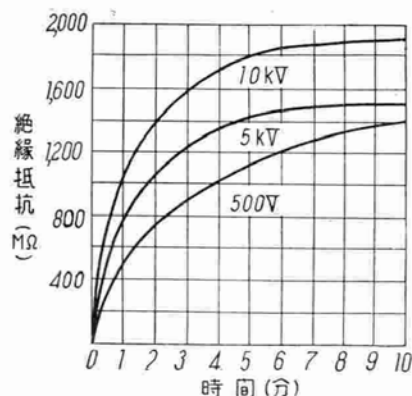
Schneider は電圧による抵抗の変化の割合をもつて絶縁物の良否が判定できるとして、3 表の数値を与えている。

3 表

$\frac{R_{5,000V}}{R_{500V}}$ あるいは $\frac{R_{10kV}}{R_{500V}}$		1 分値
乾	燥	1~5
普	通	1~ $\frac{1}{2}$
吸	湿	$\frac{1}{2}$ 以下

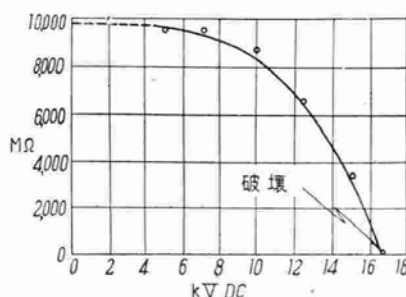
この値の逆数を弱点比ということがある。劣化委員会の判定基準では $R_{2.5kV}/R_{15kV}$ 10 分値を弱点比と称し、2:1 以下を良、5:1 以上を不良としている。上記の値と多少喰ちがいがあり、電圧・時間等まだ統一したものはないようである。

電圧によつて絶縁抵抗が変化するため、その変化の割合によつて破壊値を推定しようとする考は Daris や Leftwich ものべているが、最近の Cameron⁽¹¹⁾ の実



11 図 乾燥した機械の吸収特性

Fig. 11. Absorption characteristics of a dried armature.



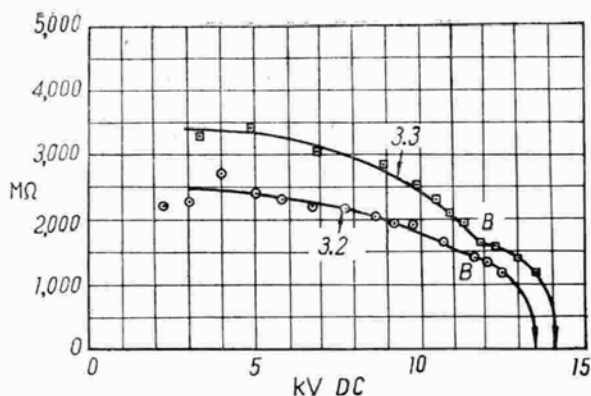
12 図 抵抗電圧曲線による破壊電圧の推定

Fig. 12. Prediction of breakdown voltage by insulation resistance-voltage curve.

験では甚だ有望と報ぜられている。40 年以上たつた 6.6 kV, 15,000 kVA の古い発電機を試験中に 12 図のような曲線が得られた。すなわち破壊電圧の 88% の電圧まで安定に抵抗の測定ができ、測定点をつなぐ曲線を延長すれば破壊点に達した。続いていろいろ試験した結果、破壊電圧の 90% 以上まで曲線は再現性があり、有害な作用がないことが確認された。2.3 kV の Push-through コイルの機械では、8 kV と 9 kV で前触れなしに 2 回故障が起つたが、これ以外には絶縁抵抗の低下なしに破壊したことはなかつたとしている。突然破壊した機械は Push-through コイルで、コイルの導体と対地絶縁間に空隙があり、ある電圧でこの空隙が破壊し、これが絶縁物の破壊を誘発したものであつて、普通の型のコイルではこうしたことは起きないとのべている。また 13 図の 11.5 kV と 12 kV 間の B と記した尖りは、部分破壊を示すものとしており、こうした部分破壊も起さぬうちに予知して試験をやめるためには、抵抗—電圧曲線の下降傾斜 $r \text{ M}\Omega/\text{kV}$ がつぎの値になつたら、近く破壊が起るものとして中止すべきことを提案している。

$$r = 4 \frac{R \cdot V}{V_s^2} \dots\dots\dots (4)$$

ここに R および V は考えている点の絶縁抵抗 (MΩ) および電圧 (kV)、 V_s は雲母を主にした溝絶縁の厚さに対する標準電圧で 1/16 吋について 15 kV である。



3.3 は 3.2 で破壊したコイルを除いたもの

13 図 部分破壊の検出

Fig. 13. Detection of partial breakdown.

これは甚だ興味ある問題であつて、今後大いに研究されるべきであらう。

高電圧に対する成極指数の値はまだはっきりした数値は提案されたものはないが、高嶺発電所⁽¹²⁾での経験では、4 表のとおりであつて、10 kV 程度ではあまり差がないのではないと思うが、資料不足であつてはつきりしたことはいえない

4 表
成極指数 R10分/R1分

電 圧	+2 kV	+10 kV	-10 kV
U 相	1.4	1.24	1.09
V 相	1.2	1.34	1.05
W 相	1.2*	1.26	1.10

* 1 kV の値

エ. 極 性

極性については負極性の方が多少低いような報告例はあるが、あまりはっきりしたことはない。筆者の経験では、負極性の方が値が低く、成極指数も少し低く出たことがあるが(4 表参照)数が少ないので今後の研究問題である。

オ. 絶縁抵抗測定上の諸注意

統一した値を得るためには、電圧・時間・温度等に注意しなければならぬことは前に述べたが、空気湿度の影響も考えなければならない。湿度が高いと測定値は低くなるが、発電機の温度が室温より高ければ、その影響は少いといわれている。ただし母線等を含めて測定する時には、支持碍子等の表面漏洩が湿度の影響を大いにうけるから十分の注意を要する。運転休止直後に室温よりも高い温度の中に測定することが望ましく、発電機温度が室温よりも下ると吸湿の恐れがある。吸湿を防ぐには、コイル温度を周囲温度よりも 5°C 高く保てばよいといわれている。

抵抗を測定する前には、コイルは十分な時間接地して残留電荷を完全に放電させる必要がある。普通 10 分間

放電すれば大体差支えない。測定電圧が変化することもある。どのような誤差の原因となる。

抵抗測定に当つては、できるだけ CT や PT を切離して、発電機コイルのみを測定するようにする必要がある。絶縁抵抗が低いものがつながられていると、全体の値が低くなる。tan δ の時は発電機の静電容量がずつと大きいから、CT や PT の tan δ が低くても、全体の読にはあまり影響を与えない。

コイルが汚れていると絶縁抵抗は低下する。表面を清浄に保つ必要があることはいうまでもない。

長期間の絶縁抵抗の値が記録されていない場合に、基準となるべき絶縁抵抗の値を与えるために AIEE No. 43 には標準値が示されている。すなわち同期機と誘導機の固定子に対しては 1,000 kVA 以上の機械に対しては次式で与えられる。

$$R_t = k_t k_i \frac{(kV + 3.6) 8 + \sqrt{rpm}}{\sqrt{kva} - 16} \dots\dots\dots (5)$$

ここに R_t = 良好な電機子の標準絶縁抵抗, 500 V, 40°C 1 分値 MΩ

k_t = 絶縁抵抗の温度係数 40°C 基準

(3 式または 8 図で与えられる)

k_i = 巻線の絶縁係数

= 2.5..... A 級絶縁

= 7.0..... B 級絶縁

kV = 機械の定格電圧 kV

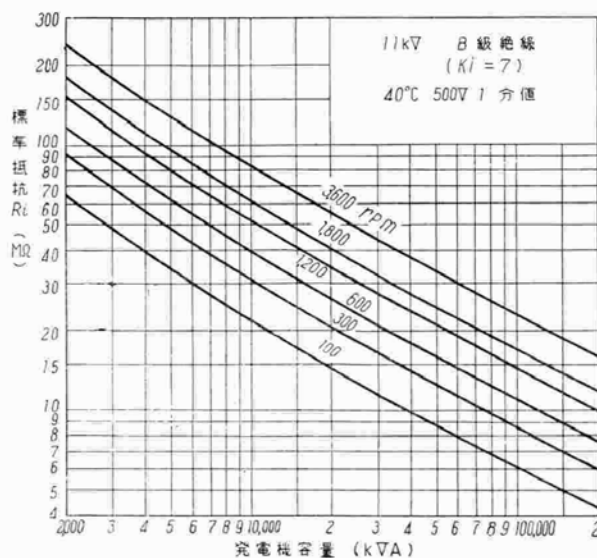
rpm = 回転数

kva = 機械の定格 kVA

1,000 kVA 未満の小さな機械に対しては簡単に次式で与えられている。

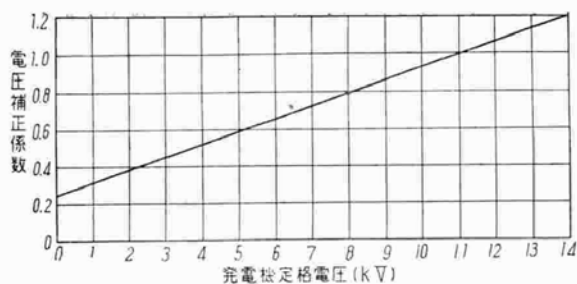
$$R_t = kV + 1 \dots\dots\dots (6)$$

kV は機械の定格電圧で、A 級にも B 級にも用い 75°C

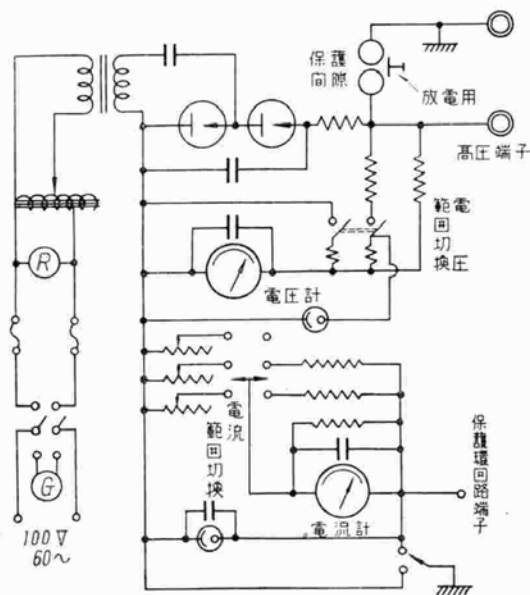


14 図 固定子の標準絶縁抵抗 (100 kVA 以上)

Fig. 14. Standard insulation resistance of a class B armature winding (1,000 kVA above)



15図 電圧補正係数
Fig. 15. Voltage correction factor.



16図 電子管メガー結線
Fig. 16. Schematic connection diagram of an electronic meggar.

まで適用する。500 V 1分値である。

界磁については 500 V 1分値で 75 °C まで 1 MΩ 程度とされている。

(5) 式を 11 kV, B 級絶縁の機械について図示すれば 14 図のようである。電圧が違う時は 15 図の電圧係数で補正する。6.6 kV の機械なら 0.7 を乗すればよい。

この標準抵抗は機械の運転に必要な最低抵抗というのではないことに注意を要する。この値よりもかなり低くても運転は可能である。この標準抵抗値とは巻線を清掃した後、あるいは適当な耐圧試験を行うべき時に、巻線が有しておるべき最低絶縁抵抗値である。

これらの値は 3 相全体に対するものである。他の 2 相を接地して 1 相だけについて測定すれば、3 相全部の時に比べて大体 1.75~2.5 倍位になる。もし他の 2 相に保護環回路を設ければ、1 相の対地絶縁抵抗はほぼ全巻線の場合の 3 倍になる。またコロナ防止塗料の塗つてある機械では、若干抵抗は低くなるものである。

カ. 絶縁抵抗の測定法

どのような方法で測定しても差支えないが、電圧が一

定であることが必要である。手回し式のメガーは広く用いられているが、十分注意すれば短時間値の測定には使用できるが、長時間特性の測定には不適當である。このような目的のために電動機付メガーも製作されている。

電圧が変えられ、長時間記録にも便利なものとして、小型整流管を用いた直流電源と、電圧計電流計を使用するいわゆる電子管メガーがよく使用される。代表的結線を 16 図に示す。電源には保護用抵抗が普通用いられるから（あるいは電源のインピーダンスを大にして兼用する）電圧は被測定物端子で測定することが必要である。表面漏洩電流の影響をさけるために、保護環回路が使用できるようにしておく方がよい。最初の突流でおよび試料が破壊した時に電流計がやけないように適当な保護装置をつけておくことが必要である。図では電流計に並列に蓄電器と放電管を挿入し、電流計の最大安全電流が流れたときに、電流計端子電圧が放電管の放電電圧以上になるように適当な直列抵抗を入れてある。最近アメリカでは Takk 測定器と称する 15 kV まで出せる小型の可搬式のものが製作されているが¹³⁾ 特殊整流管を使用しているために、簡単に 15 kV のものを縦続接続して 45 kV まで出せるといわれている。

5. イオン化 (コロナ)

イオン化 (コロナ) の検出による劣化検出法は碍子などについては古くから行われている。前にのべたようにコイル内部に生じた空隙中のイオン化は力率測定によつて検出できる。ただしコイル表面で鉄心との間に生じているコロナ (実際の機械では通風溝の付近でしかも上口コイルに起ることが多い) も一緒に測定せられるし、またひどくイオン化を生じているコイルをつきとめることも必要である。コロナが生じると永い間にはいわゆるコロナ・カットを起し、絶縁物が犯されて破壊に至るし内部コロナは空隙を益々大きくする作用をし、空隙が生じたことによりコイル素線が振動し易くなり、振動によつてまた空隙が拡がり、悪循環を生じて遂には破壊に至る懸念がある。早期に不良箇所をつきとめて修理をする必要がある。イオン化が甚しいときには、導体が酸化して断面積が減少し、局部過熱の原因になることも知られている。

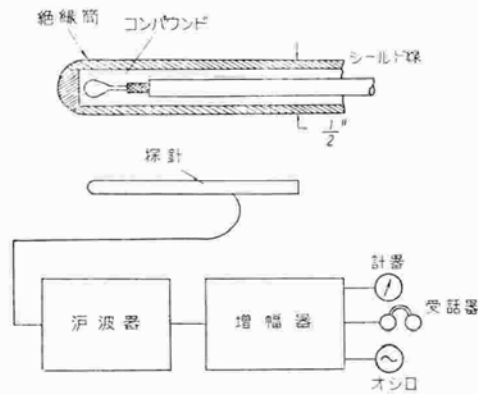
コイル外部で発生するコロナは、全体を暗くして電圧を印加すれば、光芒を発するから検出し得る。内部コロナの位置の検出にはいわゆる探針法が提案されている⁷⁾。これは 17 図のような探針を疑わしい点でコイル表面に接触させ、そこに生ずる高周波振動をとり出し、適当に増幅してブラウン管、あるいは受話器に入れる。かなり正確にイオン化の劇しい場所を発見することができるといわれている。

コロナの発生を検出するのに、電橋を用いる方法や、接地電流中の高周波分を検出する方法もある。最近後者の方法について非常に有効だという報告¹⁴⁾がある。この

場合発電機以外にコロナが生じないようにしないと誤った結果を得ることがある。

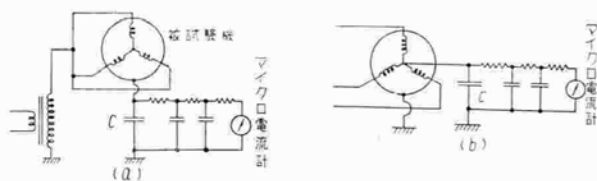
このコロナと類似し、最近注目されているものに溝放電がある。(15) 高圧発電機では、コイル表面と鉄心の間のコロナを防止するために、コロナ防止塗料をコイル表面に塗布し、表面を導電性にするのが普通である。この導電層と鉄心とがどこかで接触しておればよいが、なんらかの原因で接触が完全に離れると、鉄心と導電層の間に容量性火花放電が起こることがある。これが溝放電と呼ばれるもので、コイルの内外で生ずるコロナとは異なり、火花放電であつて、そのエネルギーも大きいから、害も大きい。この溝放電が起るとやはり高周波性振動電圧を生ずるから、高周波分を検出することによつて検出できる。内部コロナと区別するためには、両者の周波数域の異なることを利用する。また運転中に発電機中性点導線に入っている CT 等の端子電圧降下を利用する方法も報告(16)されている。この現象はまだあまり報告されていないようであるが、今後注意すべき問題であらう。

イオン化検出法は、コイルの吸湿状態や、局部的に絶縁の低下しているような箇所の検出には役にたかないが、ひどいイオン化は長時間中にコイルを劣化せしめるものであるから、これを未然に防止するために有効であると思われる。また現在は専ら交流電圧を印加して測定されているが、充電のために大容量の電源を必要とすることは力率測定と同じである。小電源で試験できるように直流高圧を用いる方法は今後の研究問題である。



17 図 イオン化検出の探針法

Fig. 17. Probe method for location of ionization



18 図 直流分法

Fig. 18. D.C. component method.

6. 直流分法⁽¹⁷⁾

これは近年に提案された新しい方法である。絶縁物に交流電圧を印加すれば、そこに流れる漏洩電流、あるいは充電電流に極く微小な直流分が含まれ、その直流分の大さ、方向、動揺対電圧特性、対温度特性等が、その絶縁部の絶縁状態と密接な関係があるので、これらをもつて絶縁状態を判断できるとするものである。上述の種々の方法で検知しにくい極く局部的な絶縁上のキズや不良点をも検出できるといわれている。

この方法を実施するに当つて、測定しなければならぬ直流分の大さは、場合によつて大差があるが、たとえば高圧ケーブルで $10^{-10} \sim 10^{-6}$ A/m、交流発電機で 1 機当たり $10^{-9} \sim 10^{-6}$ A という程度であるから、被測定物に関係のないコロナ放電や、表面漏洩電流等の混入による誤差を防ぐことが肝要である。

基本的接続は 18 図 (a) のように、交流分を蓄電器 C で側路し、適当な濾波回路を通してマイクロ電流計で直流分のみを測定すればよい。C の容量は、被測定物の静電容量に比較して、十分大きいことが必要である。この方法は機器の接地線を切離し得れば運転中でも常時測定できる。また同図 (b) のごとくすれば、自己の発生電圧を利用して常時測定できるが、発電機だけの直流分を分離することはできない。

最近電車電動機に利用して好結果を得たことが報告されている。(18) 交流発電機に対してはまだ判定基準値が報告されていないが、もちろんこれには多年にわたる現場での試験結果と経験の集積が必要で、今後の発展を期待すべきものと思われる。

7. 耐圧試験

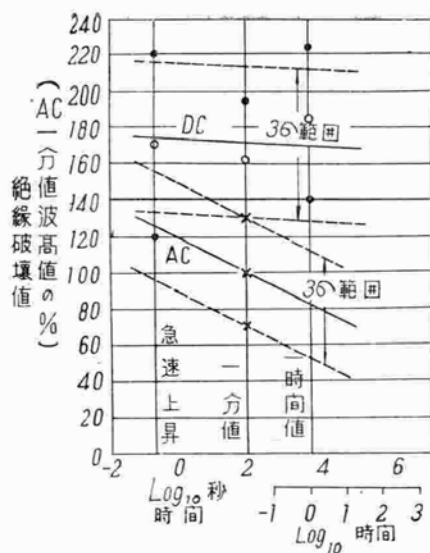
上述の諸試験法はいずれも絶縁物の状況を診断するものであつて、原則として経年変化を重視すべきものである。機器の運転上重大問題である絶縁耐力を直接に指示するものでないという憾がある。これに対して直接その機械が十分な絶縁耐力を有するか否かを試験しようというのが、従来もよく行われている耐圧試験である。

耐圧試験を実施するに当つて、一番問題となるのはその電圧値と試験時間の選定である。一般的にいって、耐圧試験はつぎの条件を満足しなければならない。

- (1) 試験によつて健全な機械に損傷を与えないこと
- (2) 局部故障や弱点の検出能力が十分であり、それに耐えた機械はある期間保証されること
- (3) もし弱点部が破壊しても、その影響が健全部に波及して、害を与えないこと
- (4) 対地絶縁のみならず、ターン間絶縁をも試験できること

この (4) の問題は同じ試験でできれば理想的であるが、実際上は不可能であつて、対地絶縁とターン間絶縁は一応切離して考えてよく、こゝでは差当り対地絶縁のみを考えることにし、ターン間絶縁は次項にのべる。

発電機の常規対地電圧は定格電圧の $1/\sqrt{3}$ であるが、



大きな印は平均値を示し小さな印は3の限界を示す

19 図 マイカ絶縁物の絶縁-電圧特性

Fig. 19. Breakdown voltage versus time curves of mica insulation.

Large symbols indicate an average value.

Small symbols indicate 3σ range.

直接々地でない限り一線接地時の健全相電圧上昇を考えると、定格電圧を基準にとらなければならない。また負荷の急速遮断に伴う速度上昇や、内部電圧降下の回復等を考えれば、定格電圧以上の電圧がかかり得るから、少くともそれ以上の電圧で試験をしておく必要がある。新しい機械の工場試験電圧としては、 $2E+1,000V$ あるいは $2E+3,000V$ が永らく使用されているが、使用中の機械の保守試験としては、これをそのまま採用することが不可なことはいふまでもない。雲母を主体とした発電機コイルの絶縁は、電圧印加時間が永くなるとその破壊電圧は19図のように下ることが知られている。(19)熱的効果は考えられないのでイオン衝突による絶縁物の劣化と考えられており、これは時間がたつても回復せず、間歇的に電圧を印加してもその効果は累積的であるといわれており、過大な電圧を印加すれば健全コイルに損傷を与えることは明かである。

Southern California Edison Co. の Hunt および Vivian⁽²⁰⁾両氏は 1943 年以降 7 台の機械について AC で破壊試験を行い、ある電圧を繰返し印加することによる破壊電圧の低下を詳細にしらべて、つぎのように結論している。

- (1) $\tan \delta$ は破壊直前になつてもほとんど変化しない。
- (2) AC150% 過電圧を繰返し印加しても、損傷を与えない。
- (3) 破壊が起つても、他の健全コイルを損傷するような危険過渡振動は生じない。
- (4) 局部故障や弱点の検出には 150% 過電圧で十分である。

この結果に基づき、1945 年以降 AC 150% 過電圧試験を実施し、すでに 56 台について行い、試験の最大回数は 1 年に 6 回で、試験中 7 台が破壊したが簡単に修理できて、この試験を実施してから運転中の事故はなくなつたと報告している。

一般的に保守試験の耐圧試験電圧としては、経験的に新しいコイルの交流耐圧試験電圧 $2E+1,000V$ 1 分間 (ASA 規程, JEC では大型高压機は $2E+3,000V$) の $2/3$ が適当と称されている。すなわち $1\frac{1}{3}E+600V$ 1 分間であつて、この値は前の Hunt と Vivian の $1.5E$ よりも約 10% 程度低い。Wieseman⁽²¹⁾は 5 表の値を与えている。保守耐圧試験を度々行うような場合はさらにこの値を若干下げ、 $1\frac{1}{3}E+400V$ 1 分間で行う。コイルを修理、または取換える場合はまず不良箇所を検出するために

$$1\frac{1}{3}E+600V$$

で試験し、修理が完了したら作業を確認するために

$$1\frac{1}{4}E+500V$$

でさらに耐圧試験を行う。保守試験として度々行う場合は前述の

$$1\frac{1}{5}E+400V$$

とする。保守試験時の巻線温度は室温以上でなるべく $40^{\circ}C$ 以下がよいとされている。

5 表 耐圧試験電圧値

Table. 5. Voltage of over potential test.

	交流 (rms)	直 流
1 修 理 前	$1\frac{1}{3}E+600$	$2E+1,000$
2 修 理 後	$1\frac{1}{4}E+500$	$2\frac{7}{8}E+800$
3 保 守	$1\frac{1}{5}E+400$	$1\frac{3}{4}E+690$
125 V 界 磁	1,000	
250 V 界 磁	1,500	

界磁巻線に対しては、Wieseman は 5 表のように 125 V 界磁で AC 1,000 V、250 V 回路で 1,500 V を与えているが古い機械では界磁は絶縁耐力が非常に悪くなっているものが多く、前記 EEI の報告では、10 台のターボ発電機のうち 6 台は 1~2 kV で破壊したといわれている。

保守耐圧試験を行う前には、十分点検、清掃し、かつ吸湿していないことを確認する必要があることはいふまでもない。電圧波形は正弦波で、高調波を含めぬことが望ましい。試験回路に球間隙を接続すると、その放電したとき高周波振動を生じてコイルに過電圧がかかる恐れがあるから、なるべく接続しない方がよい。接続するときは球間隙に直列に 1 V あたり 1 Ω 程度の制動抵抗をつなぐのがよい。上記の値はすべて対地電圧で、コイル間にもこの電圧がかかるように、2 相を接地して、1 相から電圧印加することが望まれる。ただしこのためには発電機

の接続を外す必要があり、一般に厄介なことが多いので3相一括で実施される場合も多い。しかしこの場合は電源の容量は1相づつ行う場合の約2.5倍を必要とする。

耐圧試験は、その試験をした時にそれだけの絶縁強度をもつていたということを示すだけであつて、将来もその強度を維持するということの保証にはならない。しかし現在の処絶縁強度の目安となるよい方法がないので、やむを得ず実施される訳であつて、したがつてある期間毎に定期的実施すること、および性質の変化を指示する他の諸試験と併用する必要がある。

交流で耐圧試験をするのは、実際その機械が使用されるのは交流であるから、もつとも実際に近い訳であるが欠点は大きな機械では大容量の電源を必要とすることである。たとえば 10,000 kVA, 11 kV, 100 rpm 程度の機械を 1.5 E まで試験しようとする約 5—60 kVA 位を必要とするであろう。しかし直流を用いれば、単に漏洩電流を供給できればよいから、ごく小容量のものでよく運搬も楽である。この点から、最近の小型高圧整流管の発展につれて、直流耐圧試験が注目されるようになってきた。従来もケーブルの耐圧試験等には実施されていたが、これを発電機の方に拡張しようとするものである。直流を交流の代りに用いるためには、つぎの諸点を明かにする必要がある。すなわち

1. 電位分布の問題
2. 絶縁耐力の比
3. 弱点の検出能力

交流の電位分布は主として静電容量により定まるが、直流では主として絶縁抵抗によつて定まる。したがつて交流ではコイルエンド部分のストレスは溝部に比べて少い訳であるが、コイル表面が汚れていれば、直流ではかなりの高ストレスを受け得る。すなわちコイルエンド部分に対しては、直流の方が苛酷である。しかしこれは逆にいえばコイルエンドの不良箇所も試験できて好都合だともいえるのであつて、事実コイルエンドが弱点である事はよく知られている。

つぎに絶縁耐力比であるが、破壊電圧値は 19 図に示すように、一般に直流の方が高い。また交流は時間の影響がいちじるしいが、直流はあまり影響がない。これは同程度の電圧を加える場合は、直流の方が安全率が大きくコイルの損傷の危険が少ないことを意味し、直流に有利な点である。19 図は新しいコイルについての試験結果で試料によつてかなり値のばらつきはあるが、直流破壊値と交流破壊値の比が時間の函数であることを示している。すなわち 6 表となる。

6 表

	DC/AC 波高値	DC/AC ₂ 実効値
インパルス	1	1.42
急速上昇	1.25	1.77
1 分 毎	1.5	2.12
1 時間 毎	1.8	2.55

古いコイルについての結果では EEI の報告では 1.4 ~ 1.8 倍(実効値)で予備コイルで溝絶縁部について試験したものでは 2.5 倍といわれている。Cameron の報告でも、不良部で 1.4 倍から、比較的良好な部分で 2.4 倍といわれており、筆者の経験でも、1.6 ~ 2.2 位の値を得ている。コイルが劣化して空隙が多くなつたようなものは DC/AC の比は小さいが、絶縁のしつかりした部分は実効値の 2 倍位はあるといえる。このことから交流波高値の 20 ~ 30% 高い電圧をかけても、直流なら健全コイルを害することはないと考えられる。

古いコイルでもその絶縁耐力は割合に高いものであるが、比較的低い電圧で破壊するのは、主として内部に生じた機械的小損傷に基づくものであると考えられている。こうした損傷を未然に発見して修理することが要求される訳であるが、かかる故障の発見能力について Moses⁽¹⁹⁾ の実験した処では、交流実効値の 1.5 ~ 1.7 倍の直流で、同一検出能力があるとしている。この実験結果に基づいて、彼はつぎのごとき試験電圧値を提供している。

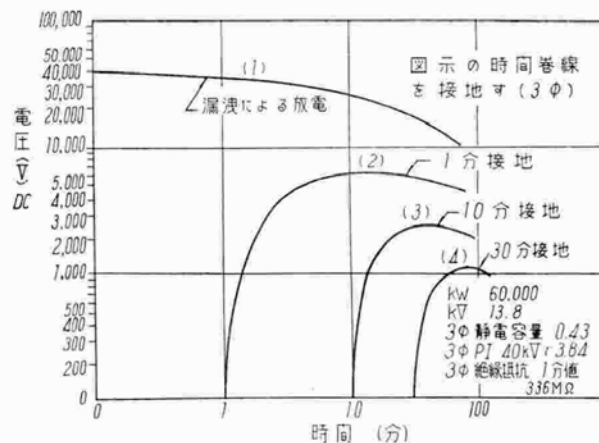
$$E_c = (2E + 1,000) \times 0.56 \times 1.6 \quad \text{1分間 DC}$$

すなわち直流対交流の換算率として 1.6 をとつてゐる。

Wieseman は大体交流説であるが、直流を使用する場合は 5 表の値を推している。

11 V と 6.6 kV の機械についていえば、Moses の値はそれぞれ 23.9 kV と 14.8 kV、Wieseman の値はそれぞれ 23 kV と 14.2 kV で大体同じ値で、Hunt と Vivian の交流 1.5 E の大体波高値に相当することになる。

直流法の交流法に比べて有利とする点は、コイル損傷の危険が少ないこと、電源が小型ですむということの外に試験中に漏洩電流が読めるということをおげなくてはならない。交流では充電電流が大きいため、漏洩電流を知ることにはできないが、直流では漏洩電流を読みながらすなわちコイルの状況を診断しながら耐圧試験ができる訳で、これに対しては前述の Cameron の有力な実験



20 図 放電曲線

Fig. 20. Discharge curves.

結果(12図)があり、今後十分研究すべき問題である。ただし前述のように見掛け上の漏洩電流は時間の函数であるから、電圧上昇の速さによつて、電流電圧曲線の形が変ることに注意する必要がある。また直流耐圧試験で注意すべき点は残留電荷の問題で、大容量、良好な絶縁のものほど残留電荷の放電に時間がかかるので、高压に充電した時は十分長く接地して放電する必要がある。20図はその一例で、40 kV に充電した機械の放電後の電圧回復特性を示している。(22)曲線(1)はその漏洩抵抗だけで放電して行く場合で相当長時間たつてもなお相当の危険電圧が残っている。(2)は1分間接地してから接地を外した場合で、吸収電荷がまだ相当残っているために、だんだん電圧が回復してかなりの電圧が現われる。10分の接地でも危険で1時間以上接地する必要がある。ただしこの例は分極指数が3.84 という良い絶縁状態にあり、40 kV に充電した場合であつて、普通の吸収特性を測るような場合は大体 10 分程度接地すれば実際上差支えはない。またこの残留電荷のために、耐圧試験直後十分放電せずに極性を変えて試験をすると、絶縁物に非常に大きなストレスを与えることになるので絶対に避けなければならない。

8. ターン間絶縁の試験

大型のターボ発電機では1ターンコイルが多いが、時には2〜3 ターンになることもある。水車発電機では一般に数ターンある。このターン間絶縁が不良で、事故を起すこともしばしばある。したがつてターン間絶縁試験もまた一つの問題である。

発電機に雷が侵入すれば、急峻波頭であれば最初その入口の数コイルにほとんど全電圧がかかり、ターン間に大きなストレスを生ずる。侵入波の波頭長を t_f 、波高値を E 、コイルの1ターンの長さを l 、伝播速度を V (1 相印加で 4〜50. / μ S 位) とすると、ターン間の電圧は

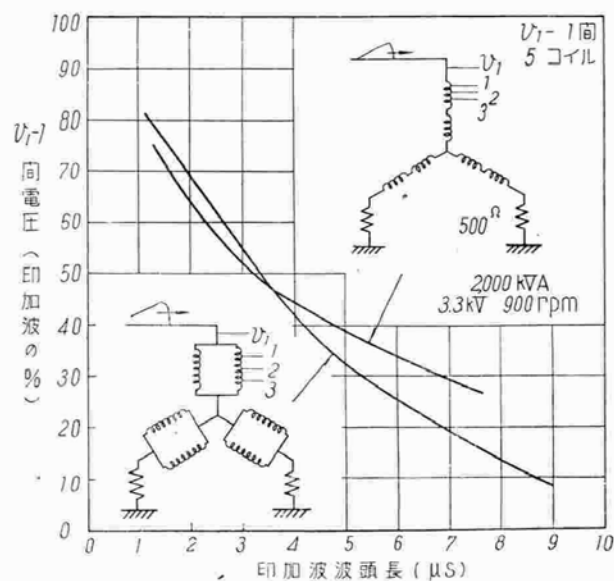
$$V = l/V \cdot E/t_f$$

実際はターン間に静電結合があり、これよりは少なくなるが種々の発電機についての実験結果によれば、1.5×40 μ S の標準波に対して、第1コイルには、侵入電圧波高値の 40〜50 % 程度がかかり得る。仮に 50 kV の電圧とすれば、その 40 % で 2 kV、5 ターンとしてターン間に 4 kV となる。これは常規運転時のターン間電圧に比べていちじるしく高い。回転機は変圧器と異り、ある部分だけのターン間絶縁を強化することは不可能であつて、このために侵入波形を緩くし、ターン間ストレスを緩和することを考えねばならない。波頭峻度によるコイル間電圧の変化の一例は 21 図のとおりであつて、10 μ S 程度になるとコイル間電圧はいちじるしく低くなり、かつコイルで平均してくる。図は当社研究所の2,000 kVA, 900 rpm の発電機の例で、 V_1-1 の間にはコイル5個があり、急峻波ではその間の電圧分担も一様でないことに注意せられたい。普通 10 μ S 程度に緩和すれば安心で、

それにはサージ・アブゾーバが用いられる。サージ・アブゾーバが有効に働くためには何か直列インピーダンスが必要で、短波尾の侵入波に対しては波高値の低減効果もあるが、長波尾波に対しては、波高値低減効果は少い。避雷問題一般について論ずるのは、本報告の範囲外であるので、詳細は省略する。

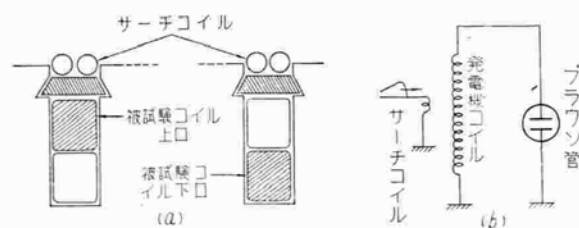
ターン間絶縁をおびやかす第一のものは雷であるが、巻線の時にターン間絶縁が害されたりあるいは長時間使用中に機械の振動によつて、導体が相互移動して、ターン間絶縁を損つて事故に至る例もあるので、ある程度のターン間絶縁が確保されていることを確かめる必要がある。

工場でコイル1個毎に試験する場合には、高周波法がターン間絶縁試験に用いられる。これは組立てられた機械を現場で試験するには検出能力がなく使用できない。急峻波で衝撃電圧試験を行えば、入口付近のコイルのターン間絶縁の試験はできるが、ターン間にかかる電圧をはつきり抑え難く、故障検出の問題もあり、かつ元来急峻波の侵入を許すべきでない発電機を、単に入口付近コイルのターン間絶縁試験の為のみに、急峻波試験を行う



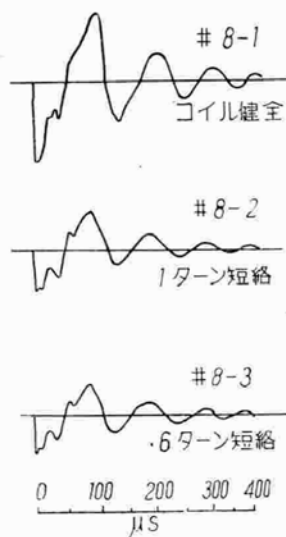
21図 波頭長と分担電圧

Fig. 21. Wave front length versus voltage across coils.



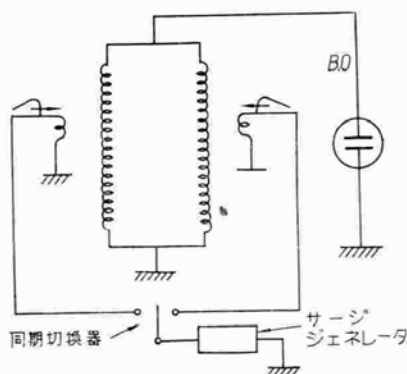
22図 サージ誘導法

Fig. 22. Surge induction method.



23 図 ターン間故障による波形変化

Fig. 23. Wave form distortion due to turn-to-turn fault.



24 図 サージ誘導比較法

Fig. 24. Surge induction comparison method.

というのは不合理のように思われる。

コイルに電磁結合させたサーチコイルに衝撃電流を流し、電磁結合によつて被試験コイルのターン間に所要電圧を発生せしめて、試験をするいわゆるサージ誘導試験法は小型の電動機等についてはかなり前から実施されているが⁽²³⁾、大型機になると、いろいろ技術的に問題を生ずる。最近大型ターボ発電機について実施した例が報告されており⁽²⁴⁾筆者等は昨年暮水車発電機について実験して有望なことを認めた。⁽²⁵⁾その原理は 22 図のようにコイルに丁度結合するようにサーチコイルを置き、これに衝撃電流を流し、発電機巻線端に現われる電圧波形を観測する。衝撃電流を加減すれば、被試験コイルに誘起される電圧は任意に選べる。サーチコイルの下のコイルに故障があつた場合の波形は 23 図のように 1 ターンの故障で顕著な波形の変化を生ずるから、容易に故障を検出できる。測定を容易にするために、並列回路があるときは 24 図のように電気的同一位置のコイルの下にそれ交流発電機の保守試験・横須賀

ぞれサーチコイルを置き、交互に衝撃電流を繰返し印加し、その波形を静止波形として比較すればよい。これはいわゆるサージ誘導比較法と呼ばれており、小型機械では一般に用いられている。大型機ではコイルのインピーダンスが低く、必要な高電圧を誘起せしめるためには、流すべき衝撃電流が数千 A 程度となり、繰返し発生、および同期切換が厄介となり、技術的困難が存在する。しかしこれらの点も順次解決されつつあり、しだいに大型機に対しても用いられようとしている。

9. む す び

以上現在多く行われている種々の方法について説明した。要するにたゞ一つの方法で絶縁物の状態を完全に知り得る方法は残念ながら現在ないのであつて、力率・絶縁抵抗（含吸収特性）直流分のような健康診断とも称すべき性能に関する試験と、耐圧試験のように直接絶縁耐力を試験するいわば体力試験のようなものとを、適当に総合して判断するより致し方はない。事情の許すかぎり多種の試験を実施すべきである。それぞれの試験は、それぞれその対象とする現象を異にし、得失があるからである。また試験は定期的に行つて、記録を蓄積して行くことが必要である。いずれの試験でも、重要なのはその良・不良の判定の限界をどこに置くかの問題で、これは経済問題と密接に関係するが、結局は多年の経験によらねばならず、各所でこの問題に関する資料を集積されんことを望んでやまない。

現場における保守試験を円滑に行うために、各種の測定器を揃え、移動力のある試験班を編成し、発電機の定期点検のときに試験を施行するようにスケジュールを組んで活躍している例も、アメリカの電力会社では沢山報告されている。変圧器その他電力機器一般の試験も行うのはもちろんであつて、そのために事故を未然に防止でき、経済上も十分引合ふといわれている。Westinghouse 社でも 2 年前にかかる試験班を組織し、電力会社の要求によつて試験に応じ、昨年末までにすでに 500 万 kW 以上の発電機を試験し、今日までこの試験をすませた機械で運転中に事故を起したものは 1 台もないと報告している⁽²⁶⁾。わが国でも最近この方面の関心が高まり、発電機の破壊試験も各所で実施され種々の資料の集積が行われているが、まだ定期検査として劣化試験を全般的に実施しておられる処はないようである。各所で定期的に試験が行われれば、もつとも良い試験方法も、おのずと定つてくるものと思われる。

本文執筆に際して、当所原技師にいろいろ助けて頂いた。厚く感謝の意を表する。

文 献

- (1) 絶縁劣化早期検出調査委員会：発電機変圧器および套管絶縁劣化判定法 昭26. 3月

- (2) EFI Subect Committee: Field Testing of Generator Insulation, E.E.60 1941, Dec., p.T1003—1011
- (3) AIEE Committ'e Report: Results of a Questionnaire Covering Current Practices in Electrical Tests on Dielectrics in the Field, AIEE Trans. 1951, part I p. 986—989
- (4) John S. Johnson: A Maintenance Inspection Program for Large Rotating Machines, AIEE Tech. Paper 51—125
- (5) 岩崎・永田: 可搬式誘電体力率ブリッジ. 三菱電機 25 巻5号 1951
- (6) 法貴・木沢: 損失角計, 電気日本 36巻10号 昭24年10月
- (7) E. H. Povey, F-S. Oliver: Non Destructive Testing of Generator Insulation. AIEE Tech. Paper 5—130
- (8) AIEE No. 43. Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery. 1950 April
- (9) W. Schneider: Dielectric Absorption Studies at High Voltages on Large Rotating Machines. AIEE Misceraneous Paper 51—129
- (10) E.R. Davis, M.F.Leftwich: Progress Report of D-C Testing of Generators in the Field, E.E.Trans. p.14—18, 1942
- (11) A.W. W. Cameron: Diagnoses of A.C.Generator Insulation Condition by Nondestructive Tests, AIEE Tech. Paper 52—59
- (12) 末広・横須賀: 住友共電高敷発電所2号機絶縁破壊試験第26回連大会 4.7 昭27年5月
- (13) F.W. Atkinson, J.K. Hewson: D-C Overpotential Testers for High Voltage Insulation Fault Detection, AIEE Tech. Paper 51—128
- (14) 村沢・寺瀬: 高電圧機器の絶縁劣化早期検出法. オーム 昭27年5月 p.411—418
- (15) J.S. Johnson: Slot Discharge Detection Between Coil Surface and Core of High Voltage Stator Windings AIEE Tech. Paper 51—367
- (16) John S. Johnson. Mead Warren: Detection of Slot Discharges in High Voltage Stator Windings During Operatoon, AIEE Tech. Paper 51—368
- (17) 福田: 絶縁の不良検出の一方法 電気日本 35巻8月 昭23年8月
- (18) 福田・重友: 新絶縁試験法による電車用電動機の検査 電学誌 昭27年2月 p.58
- (19) Graham Lee Moses: A-C and D-C Voltage Endurance Studies on Mica Insulation for Electrical Machinery, AIEE Tech. Paper 51—127
- (20) L.F.Hunt, J.H. Vivian: Routine Insulation Testing of Synchronous Mchine, AIEE Tech. Paper 51—126
- (21) R.W.Wieseman: Maintenance Overpotential Tests for Armature Windings in Service G.E. Rev., Aug. 1950, p. 24
- (22) R.J. Alke D-C Overpotential Testing Experience on High Voltage Generators, AIEE Tech. Paper 52-151
- (23) N. Rohats. E. C. Schron: Winding Insulation Testers, G.E.Rev. Sept., 1951, p.51
- (24) Robert M.Sexton,Roger J. Alke: Detection of Turn-To-Turn Faults in Large High-Voltage Turbine Generators, AIEE Tech. Paper 51-41
- (25) 横須賀・蔭山・原: サーチュイルによる回転機ターン間絶縁の故障検出 第26回連大 4.6 昭27年5月
- (26) Better Generator Insulation Better Protected, Westinghouse Eng.Highlights. Jan. 1952

弘前電気鉄道建設工事について

本 社

横 溝 末 吉 大久保 夙郎

Construction Work for Hirosaki Electric Railway

By Su kichi YOKOMIZO Shukuro OKUBO

Head Office

Construction work for Hirosaki Electric Railway is an integral work of completing local railway facilities carried out for the first time by our company.

We have electrified railways in operation quite often heretofore. But in the case of Hirosaki Electric Railway, the work was commenced from ballast setting and was followed by laying of rails, building bridges, erection of poles and wiring of trolley and transmission lines. Then, building of substation structures, railway stations and car barns was carried out in addition to the supply of all machines including electric cars and their installation and wiring. Thus the whole work was completed by the same concern. This paper gives an account of the outline of work.

1. ま え が き

弘前電気鉄道株式会社は青森県下産業の振興開発と交通文化の向上を計るために、国有鉄道奥羽本線大鰐停車場を起点とし、南津軽郡石川町、中津軽郡千年村、弘前市、藤代村、大津村、船沢村、高杉村、裾野村および新和村を経て北津軽郡板柳町五能線板柳停車場に接続する延長 35.8 km の地方鉄道を敷設する目的をもって昭和 24 年 7 月 25 日設立された。

昭和 25 年 5 月 4 日運輸省より本地方鉄道敷設の工事施工認可を受け、まず本鉄道の第一期線たる大鰐町・弘前市間 14 km の建設に着手することとなり、同年 12 月当社の総合設計監督の下に本建設工事着工の方針が決定した。

かくて翌昭和 26 年 3 月に入り本建設工事はいよいよ本格的着工の運びに至り、爾来路線用地買収面に、工事施工面に種々幾多の難関に逢着したが、よくこれを切抜け

ことに工事末期においては東北地方特有の降雪期に際会し、工事は一進一退の憂目を見一時はその竣工をも危ぶまれたがその間よくこれらの悪条件を克服し、着工以来わずかに 11 カ月間という驚異的工期をもつて、翌昭和 27 年 1 月 25 日本鉄道建設工事は遂に完成され、翌 26 日より沿線住民の待望に応えいよいよ開通の運びを見るに至った。以下本鉄道の規模大要について紹介する。

2. 設計ならびに仕様の概要

今回完成した線路は 1 図に第一期線として示した区間で 2 図はその平面図である。その他設計ならびに仕様の概要はつぎに示すとおりである。

ア. 鉄道の方式

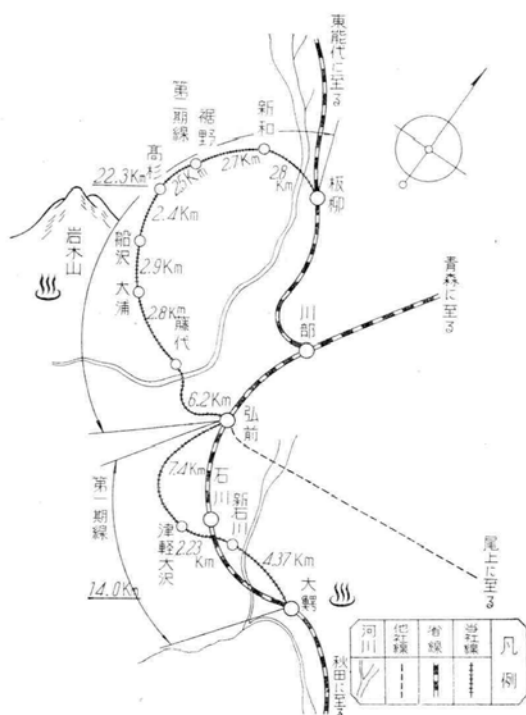
- a. 方 式 直流架空単線式電気鉄道
- b. 電車線電圧 1500 V
- c. 軌 間 1067 mm

イ. 線 路

- 互長ならびに延長 互長 14 km 延長 16 km
- 軌 条 30 および 37 kg/m
- 最小曲線半径 100 m
- 最大勾配 25 ‰
- 停車場数 6 駅, 5 区間(外に停留場 4 駅)

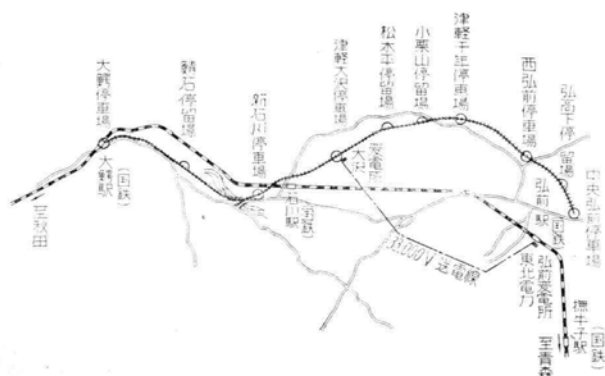
ウ. 車 両

- 種類ならびに両数 電動車 3 両 付随車 3 両
- 自重 電動車 34.9 トン 付随車 23.1 トン
- 定員 電動車 150 人(座席 48 人立席 52 人)
付随車 80 人(座席 36 人立席 44 人)
- 客室面積 電動車 $2.23 \times 12.9 = 28.8 \text{ m}^2$
付随車 $2.23 \times 10.655 = 23.77 \text{ m}^2$



1 図 弘前電鉄概要図

Fig. 1. General layout of Hirosaki electric railway



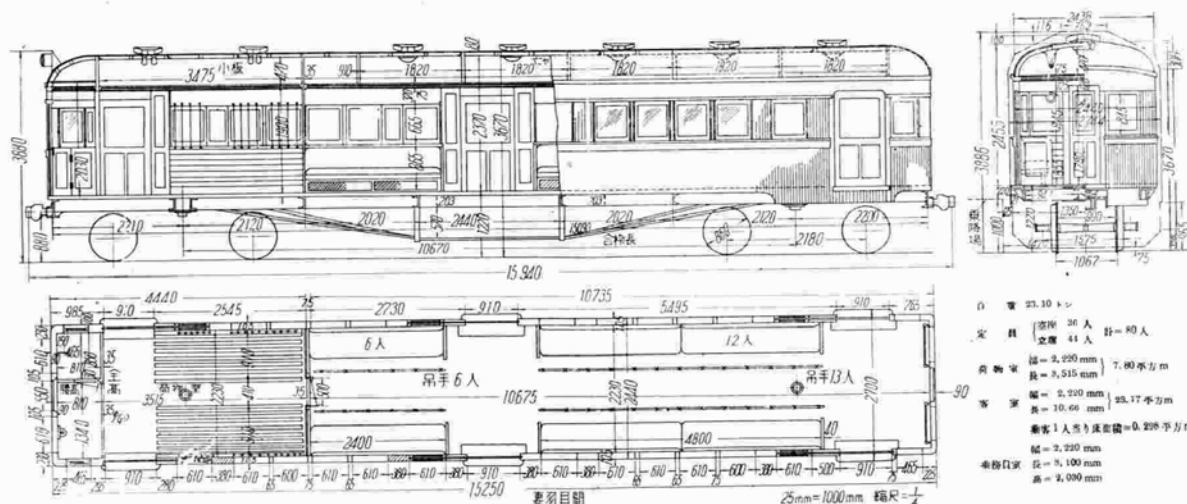
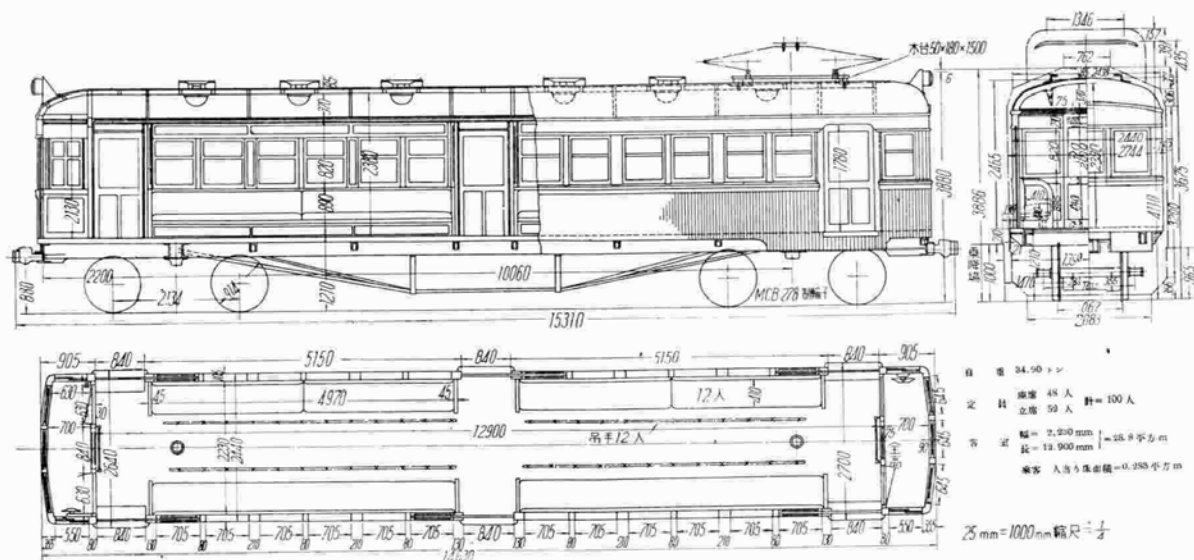
2 図 第一期線平面図

Fig. 2. General view of the first plan.

- 車両寸法 電動車 $15,310 \times 2,700 \times 4,110 \text{ mm}$
(長×幅×高) 付随車 $15,940 \times 2,700 \times 3,950 \text{ mm}$
- 付随車積載容積 $3.515 \times 2.230 \times 1.90 = 14.90 \text{ m}^3$
(長×幅×高) 荷重 3 トン
- 乗務員室寸法 電動車 $700 \times 2,230 \times 2,380 \text{ mm}$
(長×幅×高) 付随車 $810 \times 2,220 \times 2,370 \text{ mm}$
- 台車固定軸距 電動車 2,134 mm
付随車 2,180 mm
- ボギー中心間電動車 10,060 mm
付随車 10,670 mm
- 台枠の構造 電動車, 付随車共 トラスロッド付
鋼製台枠
- 車輪直径 電動車 914 mm
付随車 850 mm
- 電動機 直流直巻補極付 15 HP 750 V
115 A, 歯車比 $73/16 = 4.56$
回転数全負荷時 800 rpm 動輪回転数
 $8.00 \div 4.56 = 175 \text{ rpm}$
電動機個数 4 個
- 制御装置 総括式電磁電気手動加速制御装置(三
菱HL型)(電動車前後運転台, 付随車
片運転台)
- 制動装置 手動制動機および AMM-C 型 ACM
-C 型空気制動装置
- 集電装置 三菱 S-720-A 型パンタグラフ 集電
装置
- 暖房装置 SC 型暖房器電動車, 付随車共 16 個
- 速度 表定速度 30 km/h
最大速度 60 km/h

エ. 変 電 所

- 位置 津軽大沢駅構内(大鰐起点 6.6 km)
- 変流機 回転変流機
型式 MR 開放型
出力 300 kW
電圧 直流 750 V (2 台直列 1,500 V)
回転数 1,000 毎分
個数 3 台(中 1 台予備)
- 回転変流機用変圧器
型式 CT 型
出力 325 kVA
電圧 一次 3,300 3,150 3,000 2,850 V
二次 555/185 V
相 3 相(一次三角型, 二次ダイアメトリ
ック)
冷却法 油入自冷式
個数 3 台(中 1 台予備)
- 主変圧器
型式 CR 型
出力 500 kVA



- 電 圧 一次 33 31.5 30 28.5 kV
 二次 3,450 V
 相 单相
 結線法 一次二次共三角型
 冷却法 油入自冷式
 個 数 3台 (予備なし)
- e. 配 電 盤 装 置
- | | |
|----------------|----|
| 受電盤ならびに主変圧器一次盤 | 1組 |
| 配電線用配電盤 | 2組 |
| 回転変流機用変圧器一次盤 | 3組 |
| 回転変流機直流盤 | 1組 |
| 直流結電盤 | 2組 |
| 所内盤 | 1組 |

- 計 10組
 外に東北電力弘前変電所における引出用として
 30 kV 送電盤装置 1組納入
- オ. 電 線 路
- a. 電 車 線 路
- 架線方式 シンプルカタナリ式
- 電 線 給電線 裸硬銅撚線 19/2.6 mm
 電車線 溝付硬銅電車線
 110 mm² (本線) および
 85 mm² (側線)
- 吊 架 線 亜鉛鍍硬銅撚線
 7/4 mm (本線) および 7/3.2 mm
 (側線)

標準支持物 木柱（不注入柱）
 標準径間 50 m
 碍子 給電線 ビン型
 、 吊架線 フック型懸垂碍子 180mm
 延長 給電線 12 km（大鰐、西弘前間）
 電車線 16 km
 帰線 補助帰線絶縁帰線ともに使用せず
 ボンド 溶接ボンド U字型
 110 mm²
 クロスボンド 溶接ボンド
 110 mm²

b. 高圧配電線路

電気方式 3相 3kV 3線式および単相
 3kV 2線式
 電線 裸硬銅撚線 7/2 mm
 支持物 電車線路用支持物に添加
 線路延長 14 km

c. 送電線路

電気方式 3相 30 kV 3線式
 区間ならびに互長 東北電力弘前変電所弘前電
 鉄大沢変電所間 互長 6 km
 電線 裸硬銅撚線 7/2.6 mm
 標準支持物 木柱（クレオソート注入柱）
 保安電話 添加 1 回線直通

カ. 通信信号および保安設備

a. 電線路

回線数 3 回線（業務用、保安用および
 閉塞用）
 電線 裸硬銅線 2.9 mm
 支持物 電車線路支持物に添加

b. 電話機

種類 5 枚磁石式
 個数 業務用 11 個 保安用 7 個

c. 閉塞装置

種類 通票閉塞式
 個数 5 区（10 組）

d. 信号ならびに連動設備

種類 二位色灯式
 個数 場内信号 10 基
 遠方信号 2 基
 連動 第 2 種電気乙連動装置

e. 踏切警報装置

種類 オイルレドドル式
 個数 4 組

これら各項のうち主要な事項について工事の概要を述
 べるとつぎのとおりである。

3. 線路および構築物

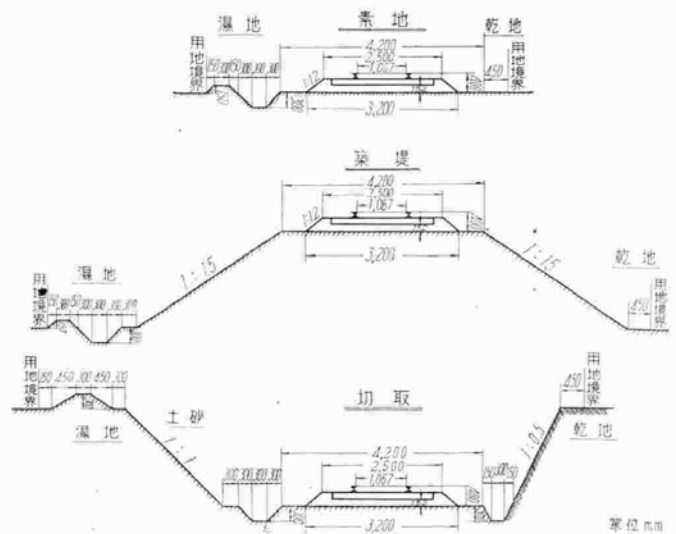
ア. 土 工

線路には平川橋梁，国鉄横断架道橋の難工事の外

大和沢川橋梁外三，四の小橋梁，河道付替等はあつ
 たが隧道はない。なお線路には二，三の局部的勾配
 区間もあるが全体としては平坦線路であるために結
 果としては工事は至極容易であつたかのように考え
 られる。しかしながらいわゆる切取り区間がきわめ
 て少なく大部分は築堤であり，しかも沿線に築堤用
 土砂の採取に適當な丘陵等がほとんど無くそのため
 に多大の準備と労力とを必要とした。ちなみに切取
 り土砂は全線を通じて約 15,000 m³ なるに対し築
 堤その他のために要した土砂はその 8 倍に當る約
 120,000 m³ の数字に達した。4 図は本工事に関する土
 工定規である。

1. 橋 梁

橋梁はすべて活荷重 KS 12 とし，桁は国鉄標準型を使



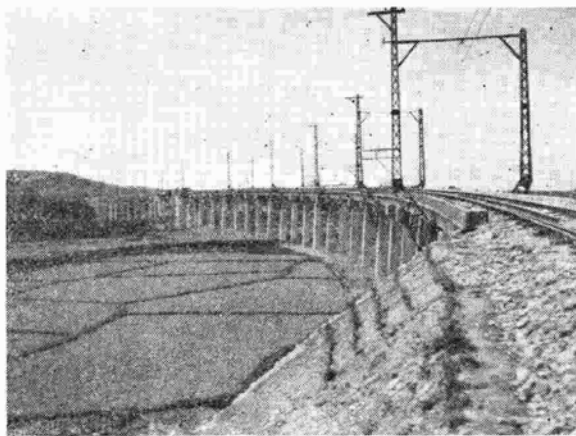
4 図 土 工 定 規

Fig. 4. Formation and ballast standard figure.



5 図 平 川 橋 梁

Fig. 5. Hirakawa iron bridge.



6 図 国鉄横断石川高架橋
Fig. 6. Land bridge over national railway.

用した。平川橋梁5図は大鰐起点 3.790 km ないし 3.989 km に位し上路式鋼板桁 16.56 m 12 連、橋台、橋脚 13 基、全長 199 m で今回の同鉄道第 1 期線路のうち最長の橋梁である。橋脚の基礎は井筒式とし 10 トンの沈下荷重を加えた。

国鉄横断架道橋 6 図は国鉄大鰐・石川両駅間（福島起点 440.956 km）において社線が乗越交叉する地点にあつて底路式鋼板桁 12.09 m 1 連であるが、その前後において大鰐側 185.99 m 石川側 71.9 m 計 257.89 m の鉄筋コンクリート拱橋式高架橋を構築した。

大和沢川橋梁も平川橋梁と同様の施設であるが、桁長 16.56 m 4 連、全長 66.30 m、他に 4.35 m ないし 15.24 m、鋼板桁または鋼工桁 1 連の橋梁 10 カ所、1.200 m ないし 3.62 m 鋼工桁の開渠 17 カ所を架設した。なお沿線は大部分が水田および林檎園地域であるために夥しい数の伏樋（下水渠、コンクリート管）の必要に迫られ、その数実に 310 カ所の多きに達したことも本工事の特長といえよう。

ウ. 軌条施設

軌条は 30 および 37 kg/m、長さ 10 m のものを使用した。漏洩電流軽減の都合もあり原則として軌条 2 本つづを溶接し 20 m のものとして使用した。

転轍器は一般に手動式重錘付としたが、各駅対向転轍器は標識付としかつ制御回路を色灯式場内信号機と連絡せしめるいわゆる第二種電気乙連動装置とした。轍叉はすべて八番分岐器を使用した。

枕木寸法は、並枕木は国鉄規定第 4 号、橋梁枕木は同第 3 号、分岐枕木は同第 3 号のものを使用し、その敷設間隔は最大 83 cm とした。その他諸定規、使用資材部品、工事方法等一切国鉄基準により慎重施工の上その完璧を期したのである。

4. 車 両

車両編成は全行程および運転ダイヤ等から取敢えず M T 3 編成とし、内 1 編成は予備とした。

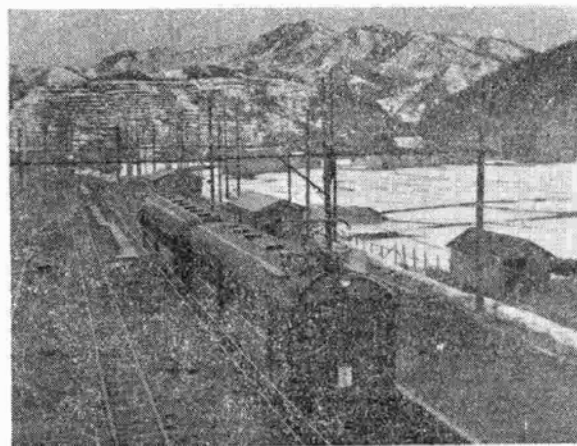
モハ 3 両は秩父鉄道株式会社殿所有の電動車を譲受け

たものである。すなわち車体は大正 14 年製台車はブリル型 MCB—27 の木造車に主電動機は前述のとおり軽量高速の MB—304—AR 型 (100 HP) 4 台を使用し、また台車の MCB—27 片押制輪子を抱合制動装置に改造し、さらに気候的条件から暖房器を付加する等の変更改造を行つたものである。

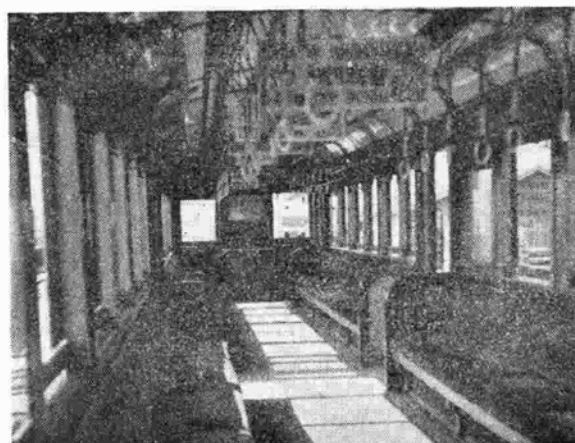
クハ 3 両は国有鉄道殿所有の 2 軸ボギー、サハの払下を受け、これに所要の制御装置（付随車用）を付し片運転台とし、さらに手荷物運輸をも兼ねた手荷物合造制御車に改造したものである。

上記の如く車体、台車は古いものを使用し、各種の補修を行つたのであるが、電動機、制御装置、空制装置および集電装置等主要機器部品はすべて新品を採用し、車両外観は一見古く見劣りする感がないでもないが、内部はそれに反してすべて当社の誇り得る新品を充て、もつて車両保守、運転に遺漏なきを期したのである。これは要するに車両の整備に当り経済的にしかも実質的には完璧を期する方針を採つたものである。

なお本工事は国電桜木町事件直後の工事であり、とくに保安装置については慎重を期し、暖房器の取付けに際



7 図 M T 編成電車外觀
Fig. 7. View of M.T. 2 car train.



8 図 電動車内部
Fig. 8. Internal view of motor car.

してはアスベストの熱絶縁板を付し、また各種配線および導線の絶縁にはとくに慎重を期し、絶縁強化を図りさらに非常の事故に備えブザー装置を付する等、この種不詳事故の防止については万全を期した。

7図に示した写真はMT編成の外観、8図は電動車内部である。

5. 送電線路

変電所は電車線路の電圧降下、第二期線との関係ならびに用地の都合等種々検討の結果これを1箇所とし、大鰐起点 6.6 km の津軽大沢駅構内に設置することとした。そのため東北電力弘前変電所から 30 kV の専用受電線路を建設する必要に迫られ、2—オ—c に示したとおり互長 6 km の送電線路 1 回線を建設した。

なお装柱その他工事設計は電力会社の標準設計によった。

6. 変電所設備

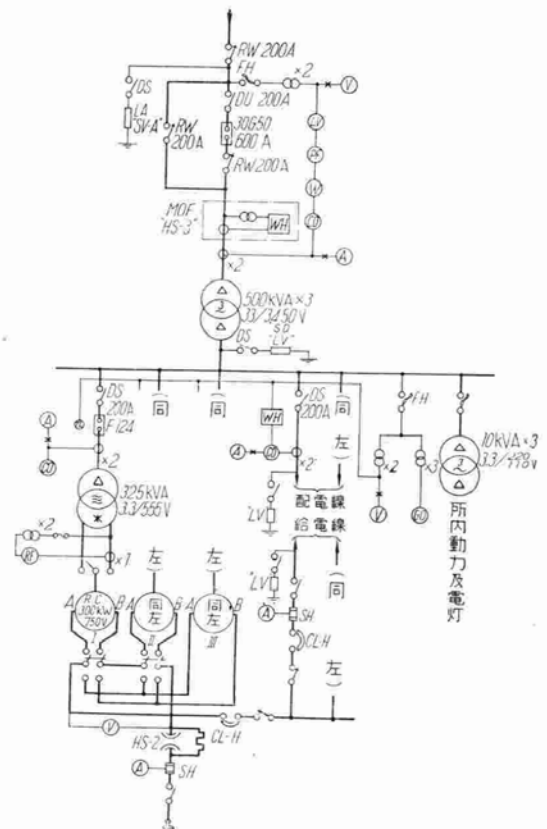
9図は大沢変電所の単線結線図である。図に示すとおり主変圧器を使用して受電電圧 30 kV を一旦 3 kV に遷降せしめたのは変流機が小容量で設置台数が多いことと、外に小容量の電灯電力用配電電力を必要としたので一般的に電力設備費の軽減を計った結果である。

変流機としては当然イグナイトロンを推奨すべきであったが、納期の都合もあり止むなく回転変流機を使用することになった。そのために直流 1,500 V に対しては自然直流側で 2 台を直列に接続して使用することになり、予備機を含み 300 kW 3 台を設置することになった。

変流機容量の決定に当つては、客貨輸送量、線路互長ならびに所要時間、運転ダイヤ等の関連要素を基本として定められた車両の大きさならびに運転回数から算出した所要直流電力量、運転時間（6時から 23 時迄として 17 時間）に対する平均値、適当な値の負荷率を考慮した場合その直流側出力は 1 時間平均約 400 kW となるが、一方車両用電動機（1両当り 100 HP 4 台）の起動電流を考慮し、かつ最悪の場合すなわち 2 両同時発車の場合を考慮すると、起動電流の程度にもよるが、所要の瞬時直流電力は約 1,000 kW となるので、この値から逆算して回転変流機の出力は公称定格 600 kW（300 kW 2 台 1 組）とし、予備として外に 300 kW 1 台を置くこととした。

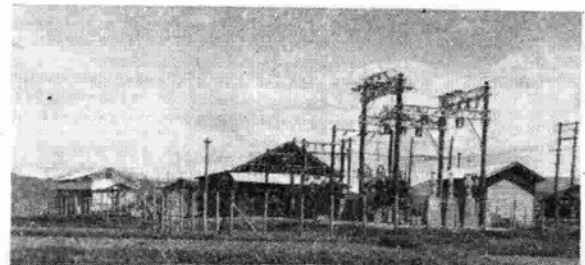
主変圧器は 500 kVA 3 台であるから現況においては、うち 1 台は予備として考えても差支えないが将来輸送量の増加に応じて、回転変流機 1 台増設の上失頭時に 600 kW 2 組運転の必要に迫られる場合を予想してある。

機器類ならびに工事に関しては特記すべき事項はないが 9 図に示すとおり予備を含む 3 台の回転変流機に対し直流側主回路に 2 組の 2 PDT 刃形開閉器を使用することによつて、直流配電盤装置 1 組をもつて運転可能ならしめたことは設備費ならびに工事費の節約はもちろん、操作の簡易化にも益すること多大である。屋外機器に対



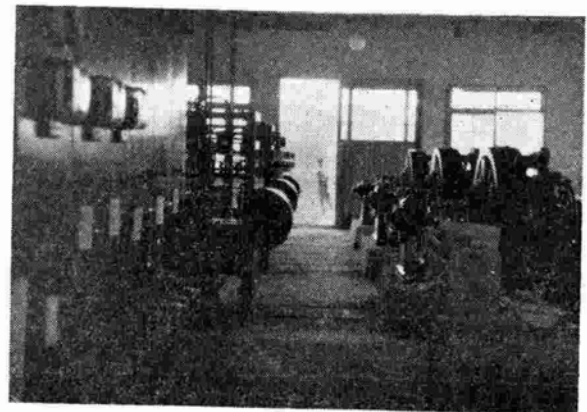
9 図 単線結線図

Fig. 9. Skeleto diagram.



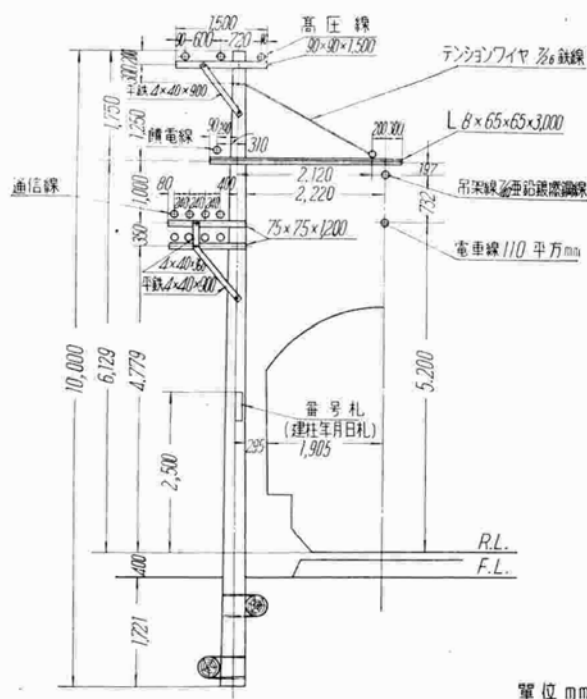
10 図 変電所外観

Fig. 10. View of substation.

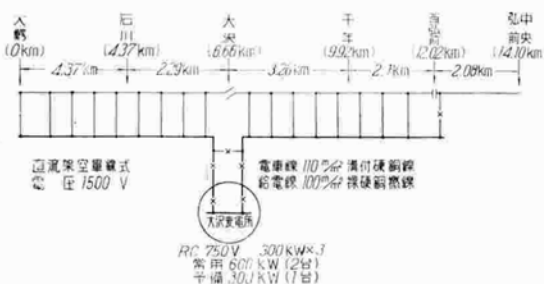


11 図 屋内機器配置

Fig. 11. Indoor switchgear arrangement.



12 図 標準装柱図
Fig. 12. Illustration of standard catenary construction.



13 図 給電系統図
Fig. 13. Feeder line diagram.

しては木柱（注入柱）腕金式枠構を使用して工事費の節約を図った。10 図は該変電所の外観、11 図は屋内機器配置状況を示す。

7. 電車線路

12 図は標準装柱図である。電柱は不注入 180~200 mm, 10 m のものを標準とした。直線区間では標準柱およそ 4 スパン毎に H 柱として振止装置をつけ、8 スパン毎に中間引止柱として 3 方支線付抱きビーム H 柱を設

置した。構内等では HB, 2H 等特殊柱を必要としたことはもちろんである。使用した電柱は総数 547 本に達した。

なお橋梁、高架橋では建植の都合上 5 図または 6 図に示すとおり特殊鉄柱を使用することとし、平川橋梁に 4 基、国鉄越高架橋に 8 基、大和沢川橋梁に 1 基計 13 基を使用した。

カテナリ構造は標準径間を 50 m とする国鉄の新基準を採用し、直線軌道および半径 800 m 以上の曲線軌道に適用した。以下半径およそ 500 m 迄の曲線軌道には径間を 40 m, 300 m 迄は 30 m, 100 m 迄は 20 m とし、止むを得ない場合の外は曲線引専用柱またはバックボーンの使用は避けることとした。

電柱、支線、吊架線、電車線等の強度はすべて国鉄基準の計算方式に従い、碍子類、ハンガー、曲線引ならびに振止金具等架線材料の撰択ならびに施工法も国鉄の規格に準じて慎重を期した。

13 図は全線の給電系統図で、図に示すとおり全線のほぼ中央津軽大沢駅付近にエアーセクションを設けて全線を 2 区に分割給電し、給電分岐はおよそ 500 m 毎とした。

8. むすび

以上述べたとおり本鉄道の施設ならびに工作物に関しては何等断念を誇るべきものではなく、結果においては平凡な一地方鉄道に過ぎないのであるが、本鉄道に対しては当社は単に一顧客として応じたものでなく、その計画の当初において同地方の地理的経済的調査時代よりこれに参画して全工事完成迄を受注したのであるから、鉄道建設の複雑性の故に、該計画および建設のためには当社は実に夥しい数の各種専門家を動員し、開通後万一にも営業ならびに運転成績が計画との間に粗齟を来さないように慎重をきわめた甲斐があつて、本年 1 月 6 日第 1 期線路開通以後満足すべき成績を挙げている。

電気機械器具の製作販売を主要業務とするいわゆる電機メーカーがこの種の事業を計画から建設完了まで一括受注したことはわが国では稀有な事実であるが、蓋しこの種の総合技術の結果に俟つべき事業は多種多様の専門員を擁し、かつ社会文化の尖端を開拓すべき責務を有する電機メーカーにおいてこそ最も合理的経済的結果を發揮し得るものであることを信じて疑わない。