

# 高電圧ケーブル用油浸紙の含有水分量と電気的性能

内藤正之\* 島 史朗\*\* 佐藤春枝\*\*\*

## The Relations between Dielectric Characters and Moisture Content of Oil Impregnated Insulating Paper for High Voltage Cables

By Masayuki Naitō and Harue Satō  
Hitachi Electric Wire Works, Hitachi, Ltd.  
Shirō Shima  
Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

### Abstract

Forming a sequel to the study given out in the previous issue, the writers measured dielectric characters, or power factor, and A.C. breakdown voltage of impregnated paper, varying its moisture content and temperature. Moisture content was measured by means of improved Vincent and Simons' apparatus in the range from fractions of 0.1 to 1%, and by weighing method up to 10%. Dielectric characters were measured by usual methods.

Results obtained may be summarized as follows:

- (1) The power factor for relatively larger moisture content can be represented by the relation,  $\tan\delta = C \exp(am)$ , where  $m$  represents content in weight per cent,  $C$  and  $a$  some constants. For smaller moisture content is applicable the same relation, but with different constants,  $C'$  and  $a'$ . The border value of moisture content between the above two is about 0.3, 0.2 and 0.02% at 40°, 60° and 80°C respectively.

The constant  $a'$  (for lower moisture content) is smaller than  $a$  in the case of impregnated paper, and with non-impregnated paper the relation is reversed. In either case, it is seen that the power factor decreases with the moisture content when it goes down below around 0.2%.

Usually constants  $C$  and  $a$  increase following the temperature rise.

- (2) Dielectric breakdown voltage begins to decrease at some moisture content, and the critical moisture content varies according to temperature. But power factors corresponding to such critical moisture content are of about the same value for all temperatures, i.e. 0.06 for short duration test and 0.027 for long duration test.

### 〔I〕 緒 言

絶縁紙及び油浸紙の誘電特性と含有微量水分との関係は、高電圧紙ケーブル製造上の基本的知識として重視され、種々報告されているが、それらの結果は必ずしも一

致していない。この不一致の主な原因は紙の水分含有量の推定に問題があるためと考えられ、筆者等はさきに水分測定装置として特にすぐれている Vincent-Simons の装置に若干の改良を加えるとともに、試料に電極を附し、水分と誘電特性を同時に測定し上記の不満を解消することができた<sup>(1)</sup>。

\* \*\*\* 日立製作所日立電線工場

\*\* 日立製作所日立研究所 理博

今回この装置をそのまま用い、新に油浸紙に就いて同様の測定を行い、水分 1% 以下、特に 0.1% 附近まで相当高い精度で誘電体力率との関係を明らかにした。

さらに含水量 8% 程度迄誘電体力率を測定したが、これは誘電体力率が交流破壊電圧との関係に於て興味があるからである。しかしてこの関係に就いて若干の考察を加える。

〔II〕 微量水分と誘電体力率

(1) 試 料

今回用いた試料は前報<sup>(1)</sup>と同様高電圧ケーブル用クラフト紙で、その特性は第 1 表に示した。

含浸に用いた絶縁混和物は、ケーブル油にロジン 25% を配合したもので、その特性は第 2 表に示した。

測定用電極の構造は前報に詳しいので、油浸試料の作り方のみ記すこととする。すなわち外径 18mm のパイレックス・ガラス管の表面に厚さ 0.05 mm のアルミニウム箔を巻き高压電極とし、この上に試料となるクラフト紙を 140×175mm<sup>2</sup> に切り 3 層に巻きつけ、さらにその上に細い溝を切つた厚さ 0.1 mm の銅テープに錫鍍金したものを固く巻きつけ低圧電極とした。細溝は絶縁混和物の含浸と水分放散を容易にするためのものである。

さらに低圧電極の上下にアルミニウム箔を巻きつけ、ガードリングとした。

上記のようにして作つた電極を 120°C で 4 時間真空乾燥し、あらかじめ真空処理した絶縁混和物を同一温度で 10 時間含浸させた。この場合の真空度は 0.02 mmHg であつた。

この電極を油に漬したままでは水分の測定は不可能なので紙に含浸された以外の余分の油は除去した。混和物の含浸量は 50.5% である。

(2) 測 定

水分の測定は上記電極附の試料紙を Vincent-Simons の装置に挿入して行う。絶縁紙の場合に比して平衡蒸気圧の構成に約 10 倍の時間を要するので、装置の真空漏れに十分注意しなければならない。われわれの場合 1 週間放置しても有害なリークは認められなかつた。

誘電体力率はシエリング・ブリッジにより商用周波 (50 $\sim$ ) で行つた。この場合電極間の電圧が高くなると、装置内が低気圧であるため、放電をおこすので、67 V/0.1 mm の電位傾度で測定した。

(3) 測 定 結 果

油浸紙に就いての測定結果は第 1 図のようである。参考のために絶縁紙の場合を第 2 図に再録する。

これらの図に於て縦軸に力率の対数が採つてあるが、油浸紙及び絶縁紙いずれの場合にも同一温度に於ける関

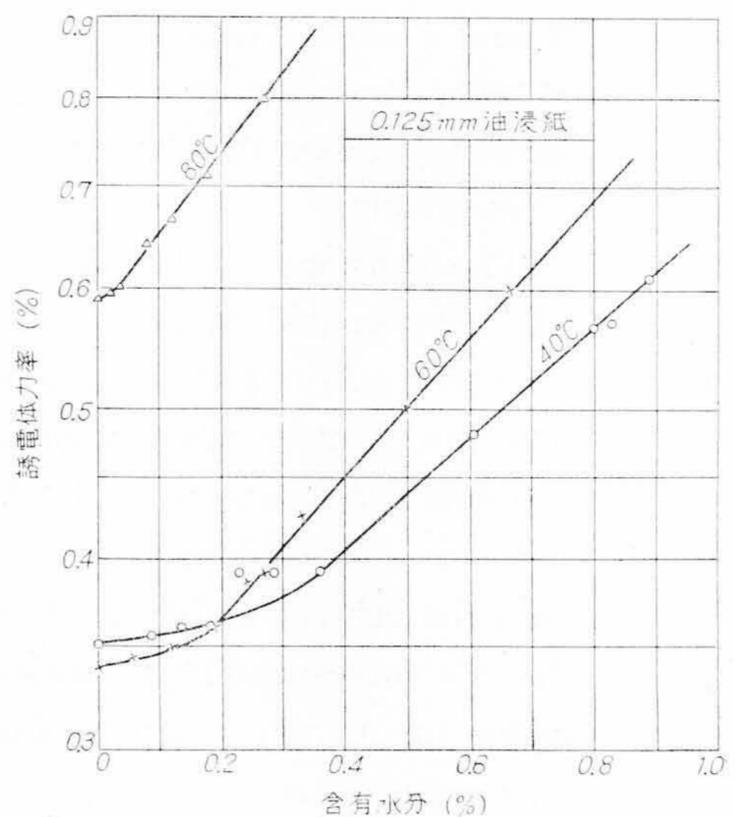
第 1 表 試料に用いたクラフト紙の特性  
Table 1. Characteristics of Kraft Paper Used for Test

厚さ (mm)	気密度 (sec/100 c.c.)	絶縁耐力 (kV/mm)	水浸液電導度 ( $\mu\sigma/cm$ )
0.125	474	9.90	71

第 2 表 混和物の特性

Table 2. Characteristics of Compound

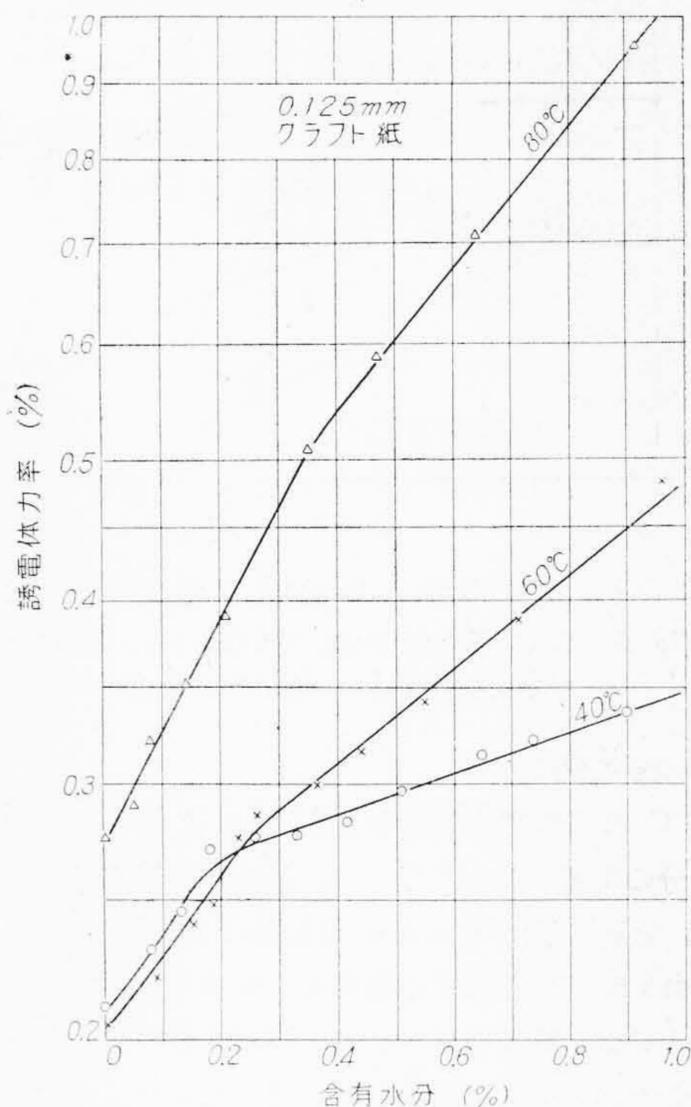
特 性	測 定 値	規 格 値
粘 度 (70°C)		
セイボルト (sec)....	11.15	—
ポ イ ズ.....	26	2.0 以下
力 率 (%)		
40°C .....	0.627	0.3 以下
80°C .....	0.68	3.0 以下
固有抵抗 $\times 10^{12}(\Omega-cm)$		
40°C .....	78.2	10 以上
80°C .....	2.64	0.5 以上
絶縁耐力 (kV/mm)		
20°C .....	22	—



第 1 図 油浸紙の含有水分と誘電体力率

Fig. 1. Power Factor vs. Moisture Content (Impregnated Paper)

係が傾斜を異にする 2 つの直線で構成されているのが特長的である。したがつてこれらの直線部分はそれぞれ  $\tan\delta = C \exp(am)$ .....(1)



第2図 絶縁紙の含有水分と誘電体力率  
Fig. 2. Power Factor vs. Moisture Content (Non-impregnated Paper)

の形式で近似することが可能のように見える。

ここに  $C$ , 及び  $a$  は紙の状態及び温度に關係する常数で、とくに  $a$  は第1図及び第2図に於ける直線の傾斜を示している。 $m$  は含有水分量を % で示した値である。

これらの結果を見て絶縁紙と油浸紙の場合の異なるのは前者に於いて水分 0.2% 附近以下で力率が急激に小になる。すなわち  $a$  が大になつてゐるに反し、油浸紙では  $a$  が小になつてゐることである。さらに全般的に油浸紙の方が力率が大になつてゐることも明瞭である。

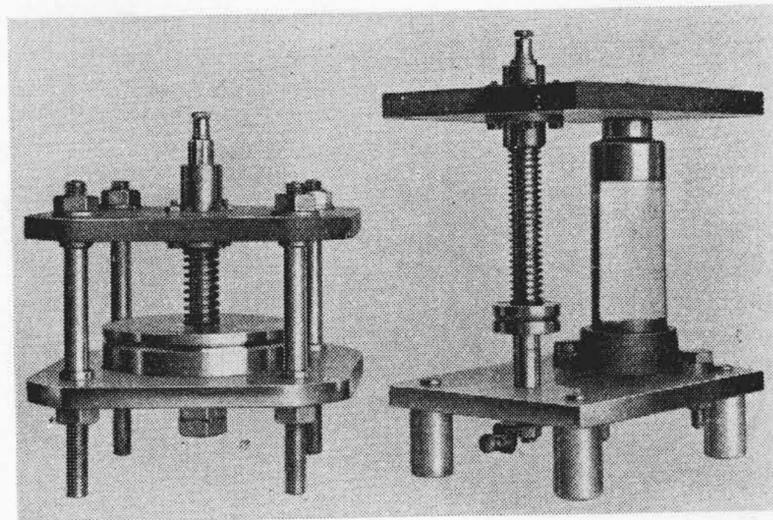
(4) 結果の検討

北川、坂本両氏<sup>(2)</sup>は絶縁紙及び油浸紙に於ける含水量と力率の關係は水分 0.2% 以上で定性的に一致すると述べているが、われわれの場合もそのようである。たゞ注意しなければならぬことは  $a$  が油浸紙の方がやゝ大きいばかりでなく全体として油浸紙の方が力率が大きいため水分の増加に対する力率の増加率、すなわち

$$\frac{d \tan \delta}{dm} = aC \exp(am) \dots \dots \dots (2)$$

は油浸紙の場合極めて大きくなることである。

Clark氏<sup>(3)</sup>によれば油浸紙の力率は 75°C に於てさえも水分 0.5% 以下でほぼ一定となることが期待されるが、



第3図 測定用電極  
(左) 力率測定用  
(右) 破壊電圧測定用

Fig. 3. Electrodes for Measuring Power Factor (left) and Breakdown Voltage (right)

われわれの結果はこれと異つてゐる。又彼によると、水分による力率の増加の傾向が、油浸紙と絶縁紙とで相当異つてゐるが、われわれの測定では水分 0.2% 以上では本質的に差異は認められない。Clark 氏の場合そのような差異の出たのは、両者の水分測定法が異つており特に含浸混和物の含水量を中介として求めた油浸紙の水分測定に疑問があるのではなからうか。

〔III〕 比較的水分の多い場合の誘電体力率

水分 1% 以上の場合は Vincent-Simons の平衡蒸気圧法による迄もなく重量減少法によつて比較的正確に含水量の測定が可能である。又ここで問題にする油浸紙の場合常温の開放大氣中に於ける含水量の変化は緩慢であるから測定中における水分の変化は無視できる。

(1) 試料及び測定法

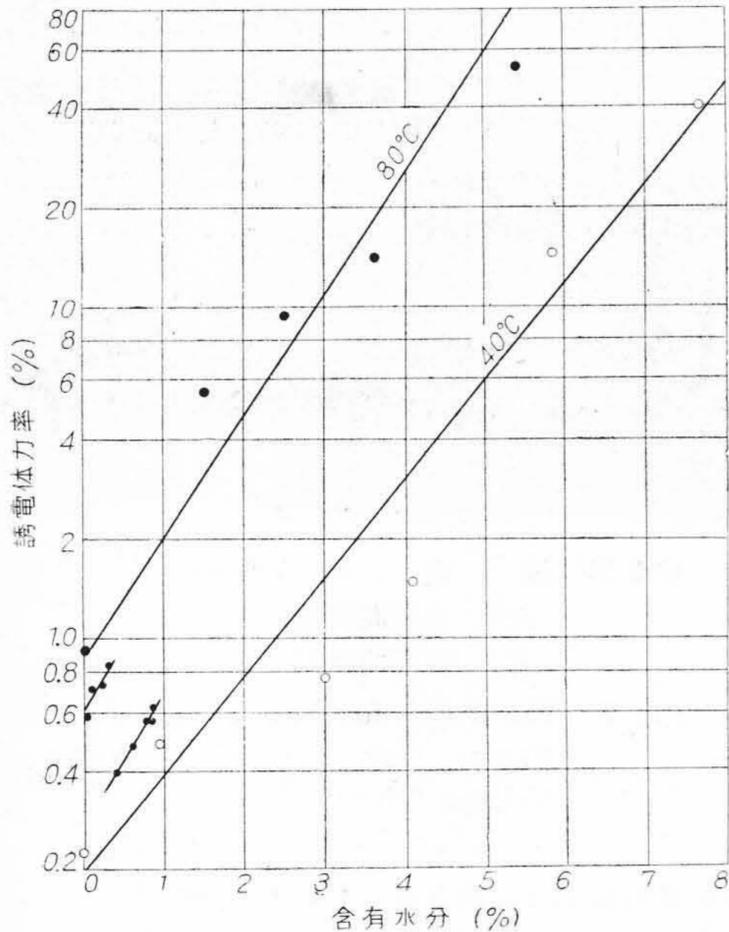
あらかじめロール巻にしたクラフト紙にさきに記したと同様の方法で絶縁混和物を真空含浸した。この油浸紙を直径 90mm に切り第3図左に示す力率測定用の電極間に2枚挿入し電氣的測定を行つた。この場合の印加電圧は 500 V である。

この試料の含水量は油浸紙を恒温恒湿槽に 12~24 時間放置することにより調節し、重量増加を秤量して含水量とした。

(2) 測定結果

第4図(次頁参照)にケーブル使用温度 40°C 及び 80°C に於ける測定結果を図示する。この図の左下に点線で結んでゐるのは同種の紙に就いて前章に示した結果である。勿論試料を採つた場所が異なるから全体のレベルは本章の測定値と相異なることはありうる。

これらの状況を参考として測定結果を見ると、ある含



第 4 図 高含水率に於ける油浸紙の含有水分と誘電体力率  
 Fig. 4. Power Factor vs. Moisture Content of Impregnated Paper in the High Moisture Content Region

水量から急に力率が増加するとか、吸湿機構に変化が見られるということではなく、むしろ全含水量域を通じ  $\tan\delta = C \exp(am)$  の形の式が第一近似として成立しているとした方が事実にあつているように思われる。特に吸湿機構の変化を論ずるには、さらに他の諸特性に就いての考察が望ましい。

〔IV〕 含水量と交流破壊電圧

(1) 測定方法

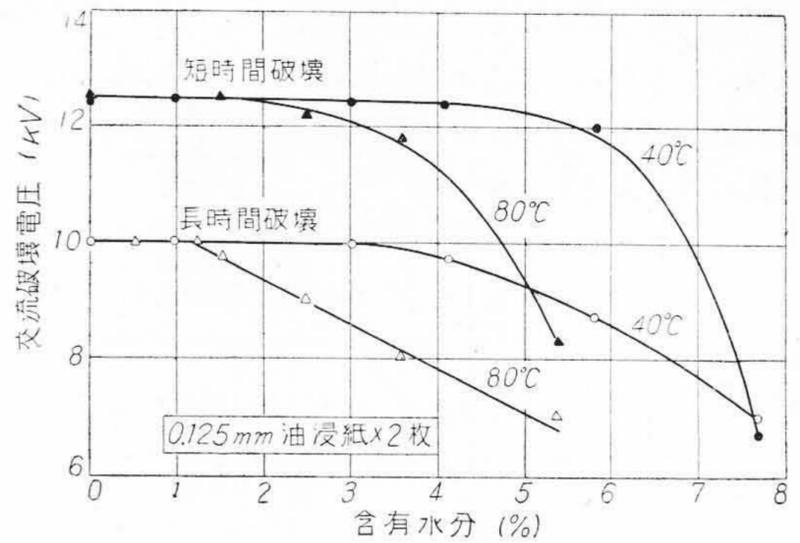
前章と同様な方法で油浸紙を作つた。但し 80°C 1.5% 以下の含水量は Vincent-Simons の装置に入れて調節した。

この油浸紙 2 枚を第 3 図右に示した電極間に挿入し、500gr の荷重を加え、絶縁混和物中に入れ交流破壊電圧を測定した。電極の直径は 25 mm, 周辺丸みは半径 2.5 mm である。

交流破壊電圧は次に示す 2 つの電圧印加方式によつた。すなわち交流電圧をほぼ一定速度で上昇させ、500V 上昇する毎に 10 秒同一電圧に保持した後上昇させる短時間破壊電圧と、500V 上昇する毎に 30 分間同一電圧に保持する長時間破壊電圧とである。

(2) 測定結果

測定結果を第 5 図に示す。図示した測定値は各点とも



第 5 図 含有水分と交流破壊電圧 (油浸紙)  
 Fig. 5. A.C. Breakdown Voltage vs. Moisture Content of Impregnated Paper

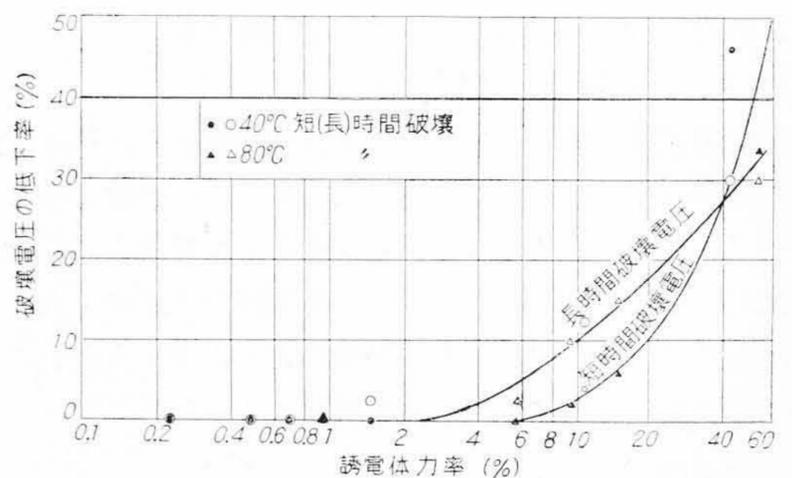
3 回の平均値である。

40°C の短時間破壊電圧は水分 4% 迄 80°C では 1.8% 迄水分の影響は見られないが、長時間破壊電圧は 40°C 80°C でそれぞれ 3%, 1% 迄影響は見られない。

Clark 氏<sup>(3)</sup> は油浸紙の破壊電圧も水分の影響を受けやすいといい、岡崎氏等<sup>(4)</sup>、及び篠原氏等<sup>(5)(6)</sup> は水分の多いところ迄大した影響はないと述べており、一致した見解に達していないようであるが、筆者等の測定では影響のあらわれはじめる含水量は温度によつて異なることが明瞭となつている。したがつてケーブルの最高使用温度附近では、常温で想像する以下の低水分で破壊電圧が起ると予期されるので、防湿には十分の注意が必要であることがわかる。

(3) 誘電体力率と破壊電圧

Clark, 岡崎の両氏は力率の急増する含水量と破壊電圧の低下しはじめる含水量と略ぼ一致していると報告している。しかし筆者等の測定では  $\log(\tan\delta)$  は直線的に増加しているからとり立て、力率の増加が急激になつたと



第 6 図 誘電体力率と破壊電圧の低下率  
 Fig. 6. Lowering Rate of A.C. Breakdown Voltage vs. Power Factor of Impregnated Paper

いう点を指摘するわけには行かない。交流破壊が、誘電体損による発熱に起因しているとするれば、力率の大きさと、破壊電圧の低下を直接関連させることが合理的で含水量を中介にする必要はない。

それで第6図に破壊電圧の低下率と、力率とを直接プロットしてみたが、長時間及び短時間破壊電圧それぞれにおいて  $40^{\circ}\text{C}$ 、 $80^{\circ}\text{C}$  の別なく一本の簡単な曲線上に点がついている。この事実は、破壊電圧の低下は単に力率にのみ影響されるとすればよいことを示しているのである。

### 〔V〕 結 言

従来油浸紙の含水量による誘電体力率の増加は絶縁紙に比して比較的少く、且つ安定しているかのように考えられていたが、水分  $0.2\%$  以上では両者とも  $\tan\delta = C \exp(am)$  の形で表現され本質的な差異のないこと、数量的には力率の大きい油浸紙の方が変化が大きいことがわか

つた。水分  $0.2\%$  以下では油浸紙の方が変化は少くなる。

含水量の比較的大きい場合の力率と交流破壊電圧は直接関係し、温度に関係なく  $\tan\delta = 6\%$  及び  $2.7\%$  附近より、短時間及び長時間破壊電圧の低下がはじまっている。

本研究につき御指導をいただいた東北大学教授鳥山四男博士、日立製作所中央研究所河合麟次郎博士に謝意を表す。

### 参 考 文 献

- (1) 内藤、島、佐藤：日立評論別冊 2 (測定特集号) 7 (1953)
- (2) 北川、坂本：電気学会誌 56, 579 (昭 11)
- (3) F.M. Clark: Ind. Eng. Chem. 44, 887 (1952)
- (4) 岡崎、埴、吉田：電気学会誌 55, 562 (昭 10)
- (5) 篠原、岩田：電気学会誌 73, 214 (昭 28)
- (6) 北川 : オーム 27, 923 (昭 15)



実用新案 第 401955 号

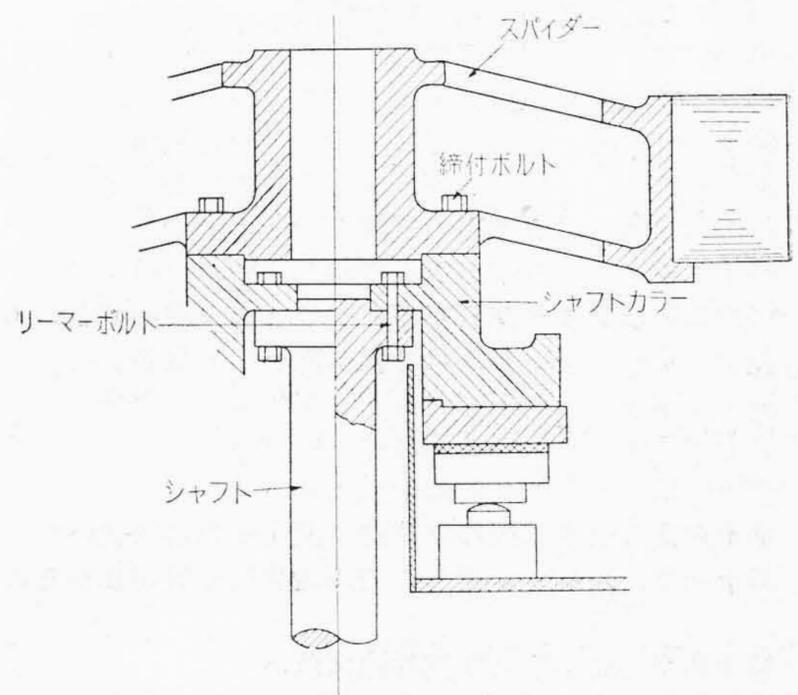
長尾善右衛門

### 傘 型 発 電 機

本案は図面に示すように、シャフトカラーにフランジを設け、このフランジを、シャフトの上端に設けたフランジ上に重ね、リーマーボルトで固定し、カラーの上部の回転子スパイダーのフランジ部を乗せ、締付ボルトで締着したことを特長とするものである。

従来の傘型発電機は、スパイダーをキーによつてシャフト上部に直結した構造なので、シャフトは長くなり、且つ発電機の分解に当つては、スパイダーとシャフトとを一体として吊らなければならないので、起重機の荷重は大となるが、本案の構造によれば、締付ボルトを外すことにより、スパイダーをシャフト側から切離して単独に吊ることができる。なお組立に際して行うシャフトの振れ調整は、シャフトにカラーを取付けた状態で、スパイダーを乗せる前に行い得るから、調整作業も容易となる等の効果がある。

(滑 川)

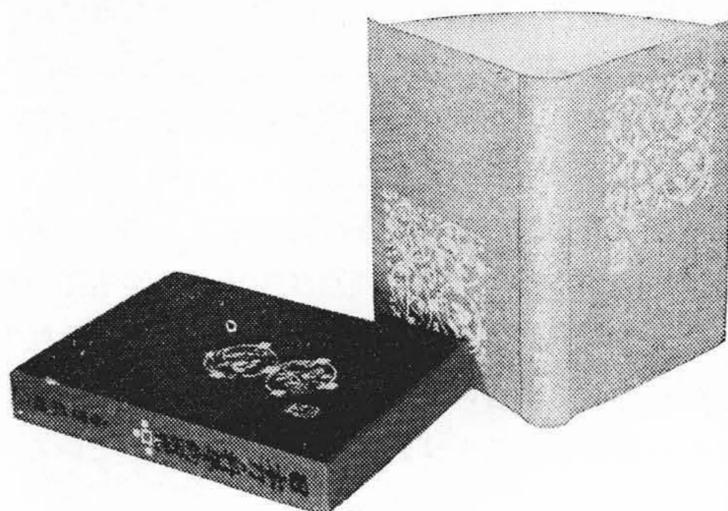


「日本図書館協会選定図書」

## 日本刀の科学的研究

工学博士 東大名誉教授  
日本学士院会員 冶金学者

倭 国 一

新刊（昭和28年7月30日発行） B列5判 444頁  
特製豪華美本（装幀 棟方志功画伯） 定価 2,000円

倭国一博士は、我国に於ける鉄鋼学界の長老であり鉄冶金学の泰斗であつて、特にその日本刀に関する研究は前人未踏の境を開かれたものとして全世界に名声噴々たるものがある。

大正十年「日本刀の科学的研究」に対して学士院賞の授賞、昭和十年宮中御前にて「冶金学上より見たる日本刀の特色」を進講せられ、後、文化勲章を受け、文化功労者に推挙せられた博士が、永年にわたり日本刀に関し科学的にあらゆる角度より究明した研究結果を後世の人々に残すべく老齢をも顧みず今回編纂されたもので、日本刀に関する我国唯一の科学的研究書である。日本刀の価値を知る者はもとより苟くも鉄鋼に関心をもつ者の必読すべき名著と信ずる。

## 日立製作所相談役 高尾直三郎氏 後書より

倭先生の日本刀の研究は、今日から見ても実に立派なもので有ります。日本刀が世界的に優秀なる鉄製品なることは云う迄も有りませんが、日本産の原料を用い日本独自の方法で造られた事に大なる意義があります。即ち独創品であつて模造品ではありません。それ程の日本刀も全てが秘伝と神秘との帳の内につままれて居るし、且つそれがさう云う帳の内に居ることに對し無関心で有つたので有ります。さう云うものに科学のメスを入れたのが倭先生で、その発表を纏めたのが此の報告書、即ち本書であります。（以下略）

## 略 目 次

緒 論	第十九章 日本刀の沸及び匂に就いて
第一章 鉄鋼協会に於ける講演	第二十章 日本刀の沸及び匂に関する資料
第二章 日本刀の原料として庖丁鉄、卸し鉄	第二十一章 鋼の加熱温度と焼入組織の関係
第三章 鋼卸し鉄法及び銑卸し鉄法に就いて	第二十二章(一) 日本刀のチケイに就いて
第四章 日本刀の地鉄に関する資料	第二十二章(二) 来物のチケイに就いて
第五章 日本刀の有する化学成分	第二十三章(一) 日本刀の移り及び地沸に就いて
第六章 日本刀の「スペクトル」分析に就いて	第二十三章(二) 移りに就いて
第七章 日本刀の肌模様と焼入	第二十四章 日本刀の金筋、刃ガラミ及び白ジミに就いて
第八章 機械学会に於ける講演	第二十五章(一) 信国短刀の横断面に就いて
第九章 日本刀の研磨法に就き	第二十五章(二) 倫光短刀に就いて
第十章 日本刀の研磨に関する資料	第二十六章 日本刀の「焼直し物」と云う事に就いて
第十一章(一) 刀の研ぎ面の模様と鍛錬組織	第二十七章(一) 日本刀の有する硬度と比重に就いて
第十一章(二) 刀身の研磨法と其外観に就きて	第二十七章(二) 再び日本刀の刃部の硬度に就いて
第十二章(一) 日本刀の形状と寸度の測定	第二十八章 日本刀の疵に就いて
第十二章(二) 日本刀表面の肉取曲線に就いて	第二十九章(一) 古直刀に就いて
第十二章(三) 再び日本刀に於ける肉取曲線に就いて	第二十九章(二) 再び古墳発掘の直刀に就き
第十三章 日本刀の形状寸度に就いての資料	第三十章 古直刀の焼入組織に就いて
第十四章(一) 日本刀の反りと切れ味との関係	第三十一章 満洲鞍山附近に於いて発掘せる古代の鉄具類その他
第十四章(二) 刀の「切れ味」に就いて	第三十二章 鎧の小札に就いて
第十五章 日本刀の打撃中心に就いて	第三十三章 南蛮鉄について
第十六章 日本刀製作作業法に関する資料に就いて	折込附図 四図
第十七章 記録より見たる刀剣鍛錬法の異同及びその得失	
第十八章 黄金鍛及び銅鉄鍛に就いて	

発行所

東京都千代田区丸ノ内一丁目四番地  
(新丸ビル七階)

日立評論社 振替 東京71824番

発売所

東京都中央区日本橋通二丁目六番地

丸善株式会社 振替 東京 5番