

Title	発電所に於ける絶縁劣化検出諸試験報告
Sub Title	Synthetic memoir of various field test to detect insulation deterioration of machines at hydraulic power plants
Author	森, 元吉(Mori, Motokichi) 天野, 弘(Amano, Hiroshi) 小口, 平治(Oguchi, Heiji) 福田, 正(Fukuda, Tadashi)
Publisher	慶應義塾大学藤原記念工学部
Publication year	1949
Jtitle	慶應義塾大学藤原記念工学部研究報告 (Proceedings of Faculty of Engineering, Keiogijuku University). Vol.2, No.6 (1949. 9) ,p.85(1)- 91(7)
JaLC DOI	
Abstract	<p>This is a synthetic memoir of the various field tests to which, for the purpose of detecting the insulation deterioration, we have, since 1947, put A.C. generators and transformers of the hydraulic power plants at Yatsuzawa, Komatsu, and Kamitaki.</p> <p>The tests were carried out according to the following four items:-</p> <p>(A) Detection of insulation deterioration of A.C. generator by giving impulse voltage.</p> <p>(B) Detection of insulation deterioration of transformer by giving impulse voltage.</p> <p>(C) Detection of insulation deterioration of A.C. generator by measuring the loss angle of dielectrics.</p> <p>(D) Detection of insulation deterioration by picking up or observing the abnormal phenomena of insulation.</p> <p>out of which, (A) is of our own method, and applying it to A.C. generator and transformer at various hydraulic power plants since several years ago, we have obtained satisfactory results, especially locating the faults in their turn or layer short circuit, and detecting insulation deterioration which sooner or later leads to short circuit. Further; we found the method recommendable for detecting the deterioration of majour insulation between coil and earth.</p> <p>In the cases of (B), (C) and (D), we confirmed them to be helpful applying the results of our laboratory investigation to the field tests.</p>
Notes	
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	<a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO50001004-00020006-0001">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO50001004-00020006-0001</a>

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

# 發電所に於ける絶縁劣化検出諸試験報告

森元吉,\* 天野弘,\*\* 小口平治,\*\*\* 福田正\*\*\*\*

昭和 24 年 (1949) 6 月 14 日 受理

**Motokichi Mori,\* Hiroshi Amano,\*\* Heiji Oguchi,\*\*\* Tadashi Fukuda:\*\*\*\***  
**Synthetic Memoir of Various Field Test to Detect Insulation Deterioration of Machines at Hydraulic Power Plants.** This is a synthetic memoir of the various field tests to which, for the purpose of detecting the insulation deterioration, we have, since 1947, put A.C. generators and transformers of the hydraulic power plants at Yatsuzawa, Komatsu, and Kamitaki.

The tests were carried out according to the following four items:—

- (A) Detection of insulation deterioration of A.C. generator by giving impulse voltage.
- (B) Detection of insulation deterioration of transformer by giving impulse voltage.
- (C) Detection of insulation deterioration of A.C. generator by measuring the loss angle of dielectrics.
- (D) Detection of insulation deterioration by picking up or observing the abnormal phenomena of insulation.

out of which, (A) is of our own method, and applying it to A.C. generator and transformer at various hydraulic power plants since several years ago, we have obtained satisfactory results, especially locating the faults in their turn or layer short circuit, and detecting insulation deterioration which sooner or later leads to short circuit. Further; we found the method recommendable for detecting the deterioration of major insulation between coil and earth.

In the cases of (B), (C) and (D), we confirmed them to be helpful applying the results of our laboratory investigation to the field tests.

## I. 緒 言

昭和 17 年以降昭和 22 年 9 日に至る日本発送電関係発電機焼失に関する原因別経過年数別の事故調査表は第 1 表の如きものでこれで見ると絶縁劣化に依る事故件数が圧倒的大多数を占め而も経過年数 20~24 の年の発電機が多いことが判るがこれは発電機としての耐用年限と大體一致している。これ等発電機の焼損に依り停止電力量を月別に示したものが第 2 表である。21 年 11 月頃迄  $7\sim 8 \times 10^6$  KWH のものが 22 年以降  $30 \times 10^6$  KWH と次第に増加する傾向を示している。これ等の電力量は  $10 \times 10^4$  KVA の発電所の喪失と同等に考えられ猶相次いで劣化に依る発電機事故停止電力の増大する傾向があることは誠に憂うべき状態である。翻つて線輪修理本数は既に 22 年 6 月に於ても 4,000 有餘本を數

\* 工博, 慶應義塾大學教授, Dr. Eng., Prof. of Keio University.

\*\* 慶應義塾大學工學部講師, Lecturer of Faculty of Eng., Keio University.

\*\*\* 慶應義塾大學工學部助手, Assistant of Faculty of Eng., Keio University.

Table 1.  
Relation between accidents to be burnt down and elapsed time in year of generators

Occation elapsed time in year	5 under	5~9	10~14	15~19	20~24	25~29	30 over	Total	Percent
Insulation deterioration	3	20	28	28	46	23	19	160	55.7
Effects of thunder stroke	2	4	5	14	11	6	13	55	18.3
A far-reaching effects	—	2	5	13	24	8	9	59	19.3
etc.	1	1	4	4	5	3	1	19	6.3
Total	6	27	42	59	86	40	40	300	100.0

Table 2.  
Interrupted electric power 10<sup>6</sup> K.W.H. due to burning down of generator

Year Month	21 4	21 5	21 6	21 7	21 8	21 9	21 10	21 11	21 12	22 1	22 2	22 3	22 4	22 5	22 6
10 <sup>6</sup> K.W.H.	7.81	6.61	7.25	8.58	8.05	5.49	9.68	8.37	19.05	24.4	17.94	16.86	32.09	38.21	38.21

Showa 21 Year 140×10<sup>6</sup> K.W.H. Monthly average 11.68×10<sup>6</sup> K.W.H.  
Total 102.5×10<sup>6</sup> K.W.H. Monthly average 34.17×10<sup>6</sup> K.W.H.

え各製造者これが製作に努めているが或一大製造者にして一時は月産拾數本の如き製造能力しか持たぬ現状であつた。従つて斯様な経過年數を超過した發電機を如何にして運轉保守すべきかが大きな問題となり、従つて現状に於ける絶縁劣化或は損傷等を適格に検出して發電機の現有の耐久力を明かならしめ、これが使用方法保守方法を確立することが急務となつたわけである。

本研究は昭和 22 年以來發電所に於て發電機の絶縁劣化機出に關する諸試験を取纏め、研究室に於ける從來の研究と現場に於ける研究成果とを比較對照し、これに検討を加え更に新しく再出發するに際し今後の研究の方向を定める資料とする積りである。研究室での研究は絶縁物として特定の試料或は現品の一部に依つて絶縁劣化の検出を調べ實驗し、その可能性が確められこれが現場に應用し得るか否かの目安を付けるのであるが、然しこれを現場試験して見ると現物は複雑な各部要素より構成されており、豫想しなかつた他の影響がきいて來て殆んどその方法では可能性がないことが判ることもあり、又これに反して思わざる有利な條件が出現して豫期しない收穫を得る場合もある。然しながら顧みてこれまで數回の現場試験は、研究室に於ける研究と相待つて從來の研究の方向に指示を與えこれを促進せしめることが甚だ多かつた。

II. 現場試験概要

本報告は昭和 22 年 11 月の八ツ澤發電所の發電機及び變壓器の試験にその端を發し、同 23 年 7 月の小松發電所に於ける發電機及び變壓器の試験次いで同 23 年 9 月上瀧發電所に於ける發電機の試験を取纏めたものである。これ等機器の劣化現象は大別して機器の一局部の損傷及び劣化機器全體として絶縁の老朽による劣化に分けられる。機器の一局部の損傷として考えられる原因は内雷外雷其の他稀には製作及修理の際の過失等に起因する

絶縁被膜の損傷或はピンホール状貫通孔を指しこれ等各々は獨立的の成因に依るものでなく機器絶縁の老朽化と相待つて生ずる。その中検出に當り甚だ困難を感じるものに巻回間及び線輪間の絶縁故障或は劣化である。此の種の絶縁は機器の主絶縁(機器大地間絶縁)とは自ら電圧分擔を異し、近來機器故障の過半数はこの種のものに限られるに至つた。従つて層絶縁の重要性が最近に至りて廣く認識され、これが強化の方策が樹立されつつある現状である。従つて舊製品は甚だしくその點の考慮は疎略にされ、従つて現有機器の弱點を形成し、現在斯る層間絶縁の破壊より進展して主絶縁の故障に波及し然る後始めて保護繼電器動作し注意を喚起せしむるに至るのである。この層間絶縁の検出に就いては二三方法があるが主として研究室及び實驗室内に限られ亦その効果の疑わしいものもあつた。當研究室に於ては既に衝擊電壓を使用する方法の研究を開始し研究室内は勿論現場に於いてもこれを適用して成功を収めた。その後終戦となり米國電氣學會に於ても衝擊波を使用する方法に関する研究論文が散見するに至り、その主たる GE 社法と本研究室法との比較檢計を行うべく今回その機會を得た。上記三ヶ所の現場試験は斯様な次第で選んだわけである。

次に發電機巻線絶縁の總體的な老朽化による劣化の検出に就いては巻線を構成する絶縁物の誘電體損失角の電壓印加による特性變化を檢討することとした。從來研究室内の用途に供されていたシェーリング電橋を現場試験に適應させるべく改装し、その精度を多少犠牲にしても現場測定の可能性を多くした。本邦現有發電機中には耐久年限を超えて未だ而も運轉中のものも相當にあり、これ等に對しては損失角が著しく増大しているとの想定の下に電力計法を適用した。

老朽化した發電所に於ては屢々氣象狀況に依り、殊に氣壓の低下した際は發電機巻線より發するコロナ音を聴取する。發電機は過負荷時の線輪の溫度上昇、輕負荷時の下降のサイクルを繰返すとき絶縁物は熱壓縮作用を繰返すことになり、そのため線輪絶縁物の外周に空隙を生じ或は絶縁處理不充分のものにあつては、その内部に空隙が生成する可能性がある。これ等空隙の電位傾度が過大となれば空氣をイオン化して局部コロナを發生し、これに伴つてコロナ音を發することとなる。斯る想定の下にコロナ検出即コロナ振動電流中の高周波帯に屬する 1000 KC 附近の振動を捕捉して、その發生を確認し、引いてはこれが發生根源を檢出することも亦有意義である。發電機線輪コロナ發生の檢出に關する試験はかかる想定の下に行われた。亦その後試料試験から劣化絶縁物より發する高周波振動は表面或は氣泡中の即ちガス體内のイオン化に留らず、絶縁物それ自體の材質の變質に伴つて生じ得る可能性が多分に認められ目下研究中である。これ等はいずれも高周波振動であることに於ては全く同一であるが、その特性を異にし檢出器に依り解析的分離に成功し得る可能性が多分にある。

次に誘電體吸收電流に就いて述べる。一般に發電機絶縁は多數の異種固體絶縁物の層から構成され、各層はそれぞれ誘電率及び導電率を異にする。これ等誘電率及び導電度の相乘積即ち時定數は新品で而も充分よく絶縁處理すれば、それ等の電導率は一般に小さいから、従つて各層絶縁物の時定數は大きく近似的に略々等しくなる。而して何れかの層の絶縁抵抗が低下し層間の時定數に差を生ずれば吸收電流は顯著に表われる。殊に老朽化による絶縁抵抗の減退が著しいとすればこの現象の觀測から劣化の判定の資料が得られる。本試験はかかる想定のもとに行われた。

III. 供試機器類

(A) ハツ澤發電所第 4 號發電機

AEG 製。3φ. 8,000 KVA. 375 rpm. 50~. 6600 V. 二重星型結線。

(B) ハツ澤發電所豫備變壓器

GE 製。屋内水冷式。1φ. 7500 KVA. 50~. 一次 6600 V. 二次 39000 V. Δ-Y 結線。

(C) 小松發電所第 4 號發電機

WH 製。3φ. 4800 KVA. 600 rpm, 50~. 6600 V. 二重星型結線。

(D) 小松發電所第 2 號變壓器

WH 製。水冷式。1φ. 21000 KVA. 50~. 一次 86600 V. 二次 36400 V. 三次 6600 V.

(E) 上瀧發電所第 2 號發電機

AEG 製。3φ. 3350 KVA. 600 rpm. 60~. 6600 V. 鎖狀巻線。

IV. 衝擊波に依る發電機絶縁劣化の検出

(A) 本研究室の衝擊波に依る發電機絶縁劣化の検出。(本文略)

試験方法は第 1 圖の如き結線を使用した。その結果は絶縁劣化早期検出調査委員会報告

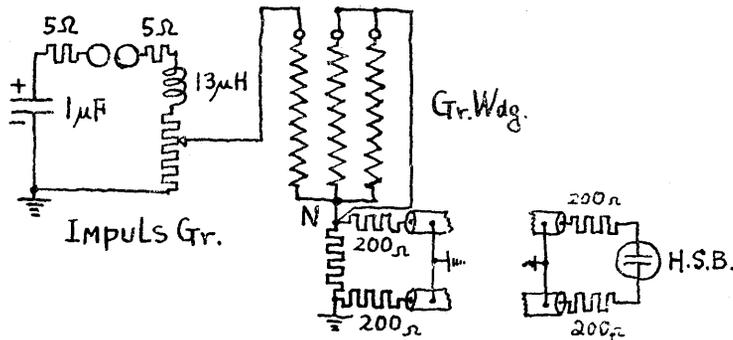


Fig. 1. Gr. Wdg. under test

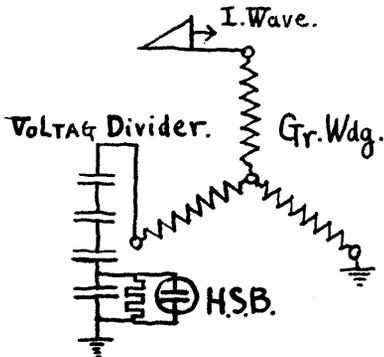


Fig. 2. Testing circuit by G.E. method

に述べてある。

(B) GE 社の方法による發電機絶縁劣化の検出。(本文略)

試験方法は第 2 圖の如き結線を使用した。この方法を実施した結果 (A) 方法と比較して次の如き結論を得た。この方法は電圧印加に際し中性点電位が實際の運轉時に於けるよりも高くなり、その為劣化の甚だしい機器の試験には適當でない。又前者の方法は波頭が接地点に到着する以前の波形の變歪を求めると、その巻線間の静電容量を有効に利用してゐるが、後者は原理上波頭到着後の波形の變歪を求めているので、従つて波形の變歪から巻線上の異常點の位置を見出し得ぬし、亦歪變そのものも前者と比較して不明瞭である。

(C) 発電機線輪各個の異常検出。(本文略)

この方法は既にその一部は昭和 24 年電気學會春季大會に報告した。

この方法は先ず(A)方法により豫め異常點の位置を定め、その附近の數個の線輪につき局部的に實施するものである。尙これは現場に於いて實施して故障線輪を見出した。

V. 衝撃波に依る變壓器絶縁劣化の検出 (本文略)

VI. 発電機絶縁物の損失角測定 (本文略)

(A) シェーリング電橋に依る測定

シェーリング電橋を現場試験用に簡略なものとして測定した。

(B) 電力計に依る損失角の測定

VII. 発電機巻線の異常現象の検出 (本文略)

(A) 発電機巻線絶縁物の高周波分検出

発電機線輪は電壓印加時コロナ放電をなし高周波分を發生する。これが劣化との關聯をしらべたものである。

(B) 絶縁物の吸収電流の測定

VIII. 結 言

以上三発電所に於ける現場試験の結果委員會で次の如く報告した。

(1) 八ツ澤発電所に於ける結果報告

今回の試験で絶縁の異常として特に認められるのは発電機線輪に關することだけで、變壓器に就いては異状はなかつた。発電機の異常状態で特筆すべきことは、異常電壓等に依る局部損傷は認め難く所謂絶縁劣化と稱する絶縁物一體の絶縁低下を來たしていると判定された。これは波形の變歪か局部損傷に原因するものと異つているからである。赤白黒三相を比較して特に劣化の程度の著しいものは白相で次は赤相の順序である。#4 號発電機の検出波形で零線より低下した部分を吟味するに、その低下の量は他よりも著しく且その線は平滑でなく澤山の小さきみを含んでいる。是等の事柄は接地方向に多くの電流を側路分流したこと及びきざみは主絶縁(接地方向)の異常と判定される。亦オッシロ記録上に占める位置に依り白相端子から相總線輪の約 1/3 程度までにある線輪の劣化と想定される。猶三種の寫眞記録から上記の異常に加うるに波形の上昇線の部分に當つて一個所乃至二個所斷線個所が認められる。これは局所振動の重疊を意味するから想像するに線輪絶縁が枯れて局所空隙が出來、此處に發生するコロナに依る振動と考えられる。

これ等の振動發生個所に付きオッシロプログラムと現物とを對象するに今回の檢出個所は一相二並列回路のうち一回路に惹起した既往の故障點と一致する。亦相巻線に就ては寫眞記録二種を吟味するに零線附近にうねりが存在し、立上り附近の落込みが大きいことは他と比較して異常と認められ巻線中央部の主絶縁の劣化と想像された。

#4 號発電機故障記録(現場記録)を見るに、昭和 18 年から昭和 22 年に至る 9 回の故障即ち焼損線輪の個數は何れも 1 本乃至 2 本に留つているが全數上ロコイルに限られ、且故障發生時刻は 15 時より 21 時に至る一日中比較的巻線温度の上昇する時刻に限定されるから異常電壓に依るよりもむしろ絶縁劣化による事故と考えられる公算がある。亦温度の變化に依る線輪の機械的變歪は下ロコイルよりもむしろ上ロコイルに於て大きい。従つて空隙の生成される機會も亦多く、更に絶縁物が老朽化して材質が脆弱になつて居る際は、

この變移により絶縁が著しく劣化することは想像に難くないことである。一方既往の故障點の位置を調査すると故障點が相續いて隣接していることは故障線輪の入換作業に關し、これが隣接した線輪は同時に引揚げなければならぬから機械的損傷も受け易く、これが次の故障點となるものと想定される。

變壓器に關しては絶縁の異常状態は認められぬが、巻線は内鐵型二脚並列のデスク線輪で端子はコイルスタックの上下から引出されタップは全く存在しない。故に波形は多數コイルに相當する多數の突起を重疊した上昇波形となる。この變壓器は水冷式で三本並列の冷却管がコイルスタックの中央部より稍々上方に變壓器中身を取圍んでいるから、線輪のこの部分に相當する大地静電容量が特に増大して大地充電電流を餘分に分流するから波形は一時低下する。この低下部分がオシロ記録に明瞭に表われている。

### (2) 小松發電所に於ける結果報告

衝擊電壓に依る劣化検出に就いては端子に近い部分の異常個所に相當する落込みと中性點附近に落込みとが記録され、同一電壓印加時の各相を比較して劣化程度は白相最も著しく黒相これに次ぎ赤相最も少い。

GE 社方法に依る試験の結果は各相に於ける相違は甚だ少く波形の變歪も微弱で全體として、この試験方法は餘り好ましくなかつた。

衝擊波に依る線輪巻回間絶縁の異常検出に就いては時間の都合上巻線の全線輪に就いて實施出来なかつたが、各相に付てその代表的なもののみについて行つた。線輪巻回数 5T に相當する 5 個の突流が記録され二つの寫真記録は他と相違して明に異常が認められ、目下この異常波形の解析に務めている。

衝擊電壓に依る變壓器の絶縁劣化検出結果は輕微な劣化に相當する異常現象が 154 kV 側線輪に存在することが記録された。

シェーリング電橋に依る發電機絶縁試験結果は、#4 號發電機の損失角は #3 號發電機のそれに比較して略々 2 倍となつた。その原因は #4 號機は長期間運轉休止していた結果多分に吸濕したためと考えられる。亦電壓特性を吟味して、その上昇度が高く上昇點の位置が運轉電壓以下にあること等よりかなり劣化しているものと想定され殊に #4 號機はそのまま運轉に入れることは危険であるから、豫備乾燥を施して後絶縁の恢復を待つて使用するが適當であると考えられた。

電力計に依る絶縁物の誘電體損失測定に關する結果は  $\tan \delta$  の概數を示す程度であつて電力計の電壓線輪の通過電流の位相のずれに依る誤差を除いて且計器の目盛を適當にえらぶことに依り  $\tan \delta$  を直讀する方法が暗示された。

吸收電流の測定結果に就いては二三の特性が求まつたが、猶調査を要する部分があるので研究室で研究した上發表することとした。

### (3) 上瀧發電所に於ける結果報告

衝擊電壓に依る絶縁異常の検出に關しては次の如く結論した。供試發電機はその巻線がチェーン巻線のため線輪間静電容量が甚だ少く亦相間静電容量も少いから、従つて中性點方向への静電容量の不連続性が他型巻線に比較して多いため、この方法は甚だ不利である。線輪を構成する導體は小圓形銅線を集めて全體として矩形を保つている。その爲變形を受け易く従つて導體周邊殊に四隅は空隙が出来る可能性が大きい。亦巻回間絶縁として平フ

ワイパー一枚のみに頼っているので巻回間の絶縁強度は導體の四隅で弱點を形成する。川相中相山相のそれぞれのオッシロを比較するに矢印の隆起は巻回間短絡に近い異常を明示する弱點であり、中相のものは隆起の程度は少いが波形最終部分の上昇が他と比較して小さいから主絶縁の劣化が他よりも進行しているものと想定された。猶この發電機は溝の開口は甚だ狭く線輪を溝に挿入する際これを軸方向に押し込む作業となるから溝部の線輪部分は機械的損傷を受け易く、且チェーン巻線のため線輪の端絶縁は現場作業に限定され、従つてその處理も亦不充分的なことは免れ得ないことである。亦この機械のサーヂインピーダンスは他と比較して特に大きかつた。

GE 社方法に依る結果を述べると波頭がオッシロ挿入點に達するまでの波形の時間的経過はその變化不明瞭である。それ故波頭到着後の變化をしらべることとした。波形の窪みに相當する接地事故が検出されたが、これは前述の衝撃波法と比較して感度は低下し、亦故障位置を見出すことは不可能である。亦試験回数も原理的に前者よりも多いことは不便である。

高周波分の検出結果は相別に於て、コロナ發生電壓は山相が最も低く發生電壓と消失電壓とは略々一致する。一般に中性點側は端子側に比較して常時加壓されている電壓値が低いから、従つて劣化進歩の度合も亦相違し一般に中性點側はコロナ發生の度合は少い。本研究實施中特に現場試験に際し、その機會をあたえて下さつた日本發送電株式會社電力技術研究所の方々亦は現場係員の御厚意を感謝する次第である。亦本研究は昭和 24 年度文部省試験研究費及び 23 年度科學研究費の援助を得て行つた。

## On Rate of Reflection of Sound-Wave of Long Wave-Length.

Received Jan. 20, 1949

Fumiki Kitō\*

**Fumiko Kitō: On Rate of Reflection of Sound-Wave of Long Wave-Length.** Assuming the wave-length of sound wave (emitted from a point source) to be very long, the rate of reflection of the wave impinging on solid body (ellipsoid, circular cylinder etc.) has been calculated approximately. It was based on the theory of impulsive generation of fluid motion, as treated in Hydrodynamics.

(1) **A Sound Source is assumed to exist at a point  $P$  in space.** In front of that a rigid body is placed. Then the sound-wave emitted from  $P$  is reflected by the rigid body. To estimate the magnitude of reflected wave is one of the interesting problem in theoretical acoustics. When the wave-length is comparable with radius of the body, the estimation becomes much complicated. When the wave-length is very large, this problem of reflection may approximately be replaced by the following problem with regard to an incompressible fluid: In an incompressible

\* Dr. Eng., Prof. of Keio University.