

発電機回転子コイルの絶縁劣化調査について

Insulation Diagnosis Assessment for Field Coil of Turbine Generator Rotor

中国電力(株)	荒芝 智幸	Tomoyuki ARASHIBA	Non Member
中国電力(株)	桑原 道明	Michiaki KUWAHARA	Non Member
中国電力(株)	藤井 俊之	Shunji FUJII	Non Member
(株)日立製作所	石原 篤	Atsushi ISHIHARA	Non Member
(株)日立製作所	川井 政志	Masashi KAWAI	Non Member

Generally, troubles of the insulations applied to turbine generator stator and rotor occur accordingly the bathtub curve. During the second half of operation life of the turbine generators, it is necessary to make periodic insulation diagnosis assessment to assure reliability and minimize forced outage.

Electrical insulation diagnosis method is being adopted on stator coil at periodic outage, while any specific insulation method is established for the rotor field coil. For this issue, sampling of pulled out field coil insulation such as slot armor was carried out for life evaluation of turbine generator rotor field coil insulation during the 29th periodic outage conducted from November 8, 2010 at Shimane Nuclear Power Station Unit No.1 (520MVA, operated since March, 1974).

Keywords: Turbine generator rotor, Insulation diagnosis research, Sampling, Slot armor

1. はじめに

電力発電プラントには大小さまざまな発電機がそれぞれ重要な発電源として稼働しており、発電設備の不可欠な構成要素として、各々の任務を担っている。

近年、多くの原子力発電プラントにおいて経年設備の増加が進み、発電機としても、経年劣化を考慮した寿命評価による信頼性確保を目的とした予防保全技術の適用が非常に重要な課題となっている。

同期機に発生する不具合については、最も多い報告事例が「経年劣化」となっており、「過熱・焼損・溶損」「絶縁破壊」の順となっている。このことから、使用年数が長い同期機がこれから増えていく中で、益々保守技術および寿命評価技術が重要となっていくことが裏付けられる[1]。

発電機絶縁においては、固定子コイル絶縁と回転子コイル絶縁に大別することができ、前者については、電気的な非破壊評価方法が確立しているのに対し、後者については、特定の評価方法が定まっておらず、絶縁更新時期の判断は過去の絶縁更新実績や運転年数管理によるところが大きいのが現状である。

本稿は、中国電力島根原子力発電所 1号機発電機回転子精密点検において実施した回転子コイル絶縁のサンプリングによる絶縁劣化調査結果をまとめたものである。

連絡先:藤井俊之、
〒690-0393 島根県松江市鹿島町片匂 654-1、
中国電力株式会社 島根原子力発電所 保修部(電気)、
E-mail: 183400@pnet.energy.co.jp

2. 絶縁劣化調査概要

2.1 絶縁劣化要因と調査部位

発電機回転子コイルの構成を Fig.1 に示す。

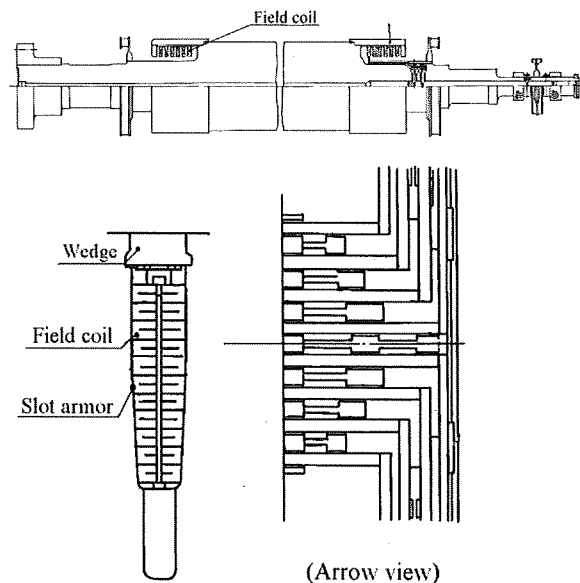


Fig.1 Component of Generator rotor

発電機回転子コイルの主要絶縁物であるスロットアーマについては、スロットアーマの圧縮強度の特性に変化を与える要因のうち、発電機の運転時間が最も支配的な要因であることが報告されている[2][3]。今回は発電機回転子コイルのスロットアーマの一部を採取(サンプリング)し、運転時間と比較して同絶縁の余寿命を評価するという手法を採用した。

2.2 サンプルングの調査範囲

サンプルング数 n 個のデータを発電機回転子コイル絶縁全体(母数)の値との誤差を出来るだけ小さくする必要があるのである。t分布を用いてサンプルングした標本と発電機回転子コイル絶縁全体である母数との誤差について検討したものを次式に示す。

$$t = \frac{\bar{x} - m}{S} \sqrt{n-1}$$

$$m = \bar{x} \pm \frac{t \sigma_n}{\sqrt{n-1}}$$

\bar{x} : サンプルング n 個の平均値

σ_n : サンプルング n 個の標準偏差

m : 母数の平均値

S : 母数の標準偏差

ここで、t分布を用いて $\sigma=10\%$ と仮定してサンプルング n 個変えた場合の母数の平均値の95%信頼区間における信頼限界を求めたものをTable 1に示す[4]。また、発電機回転子コイル No.とスロットアーマに加わる圧縮力との関係をまとめたものをTable 2に示す。

Table 1 Error at 95% confidence limit

n	Error (%)
	95% confidence limit
3	30.4
5	13.9
7	10.0
8	8.9
16	5.7

Table 2 Relationships between generator rotor coil No. and Exerted stress to slot armor

	Reinforcement for Slot exit	Exerted stress to slot armor
No.1 coil	Existence	Low
No.2 coil	Existence	Low
No.3 coil	—	Highest
No.4 coil	—	↑
No.5 coil	—	
No.6 coil	—	Smallest

発電機回転子コイル1コイル当たり、4個のサンプルングが可能であり、2コイルあれば9%以内の信頼限界で評価することができるため、スロットアーマに加わる圧縮力が最も大きいNo.3コイルと、比較用データとして、圧縮力が最も小さいNo.6コイルよりサンプルングを実施した。

2.3 サンプルングの詳細位置

スロットアーマのサンプルング位置をFig.2に示す。

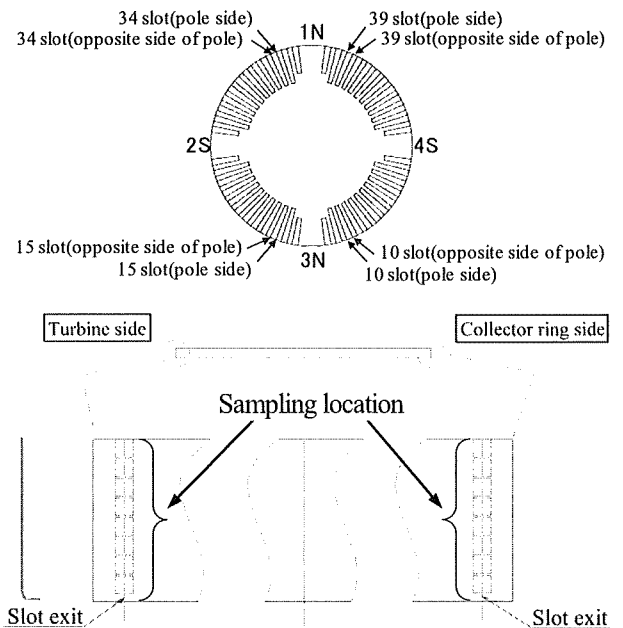


Fig.2 Sampling location at slot armor (No.3coil)

2.4 スロットアーマの圧縮試験方法

試験温度: 室温にて、20mm×20mm×8枚重ねのスロットアーマのサンプルング片の圧縮試験を実施した。

3. 絶縁劣化調査結果評価

3.1 スロットアーマの圧縮試験結果解析

以下のデータ処理方法で、スロットアーマ圧縮強度のワイブル解析[5]を実施した。

<データ処理方法>

- (1)ワイブル解析により、累積故障率 $F(0.5\%)^{*1}$ における圧縮強度を求め、これまでの運転で最も圧縮強度が弱まっている部位の圧縮強度を61%と推定する (Fig. 3参照)
- (2)室温と100℃の初期圧縮強度(実験値)との比を用いて、(1)の圧縮強度を100℃での圧縮強度に補正する

(3) (2) で求めた圧縮強度と 100℃における初期圧縮強度を圧縮強度と発電機運転時間の関係を示す図にプロットし、両プロットを結んで直線を引いたものを Fig. 4 に示す。

※1：劣化箇所は 192 箇所(=48 スロット×2(極中心側 or 反極中心側)×2(タービン側 or コレクタリング側))

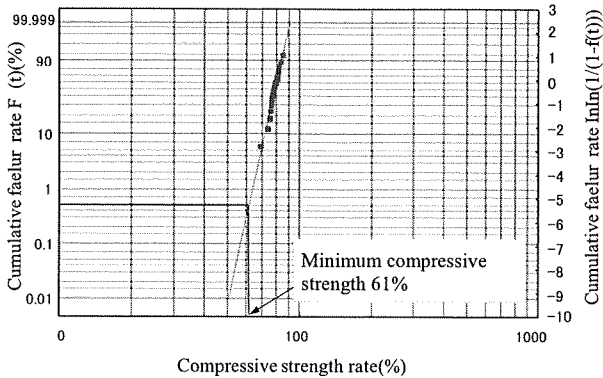


Fig.3 Weibull distribution of slot armor compressive strength

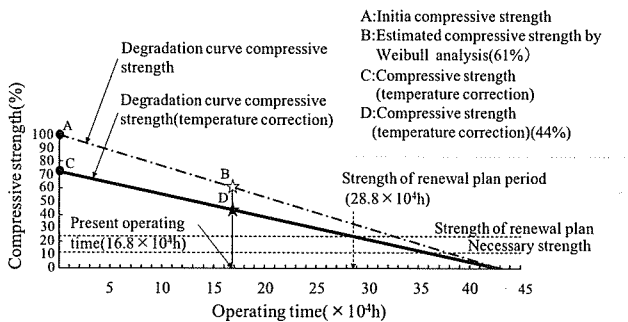


Fig.4 Relationship between slot armor compressive strength and generator operating time

3.2 スロットアーマの圧縮試験結果評価

Fig. 4 の圧縮強度と発電機運転時間の関係図に、初期圧縮強度を A 点とし、ワイブル解析にて求めた最小圧縮強度を B 点として 2 点をプロットし、圧縮強度の劣化曲線を引いたものを一点鎖線に示す。なお、B 点の運転時間は、1986 年の発電機回転子コイル絶縁更新から 2010 年までの期間(24 年)の発電機稼働率を 80%として 168,192 時間とした。一点鎖線を 100℃に補正した曲線を太線に示す。補正係数は、室温と 100℃との初期圧縮強度の比であり、実験値である。

太線と更新計画の点線との交点は、運転時間が約 28.8 万時間に達する時期となり、更新計画時期まで、残り約

12 万時間(約 14 年^{※2})という結果となった。

※2：1 年を 8,760 時間として計算

4. まとめ

今回の調査の結果、スロットアーマの更新計画時期は、発電機の運転時間が約 28.8 万時間に達する時期であることが推定できた。これまでの運転を起点とすると、更新計画時期まで、残り約 12 万時間(約 14 年)という結果になった。

今後は、中国電力島根原子力発電所 2 号機発電機回転子精密点検において採取されたスロットアーマのサンプリング片についても、今回と同様の評価を実施する予定である。

参考文献

- [1] 電気学会、“電気学会技術報告 第 1062 号” 同期機の寿命評価と保守技術、2006、pp.10-12.
- [2] 電気学会、“電気学会技術報告 第 502 号” 電力設備の絶縁余寿命推定法、1994、pp.43-44.
- [3] 後藤和夫、神谷宏之、吉田直美、臼井崇、“タービン発電機の予防保全技術”、日立評論、75、No.12、807(1993).
- [4] 小山健、松本平八、“信頼性技術入門”、日本規格協会、2001、pp.152.
- [5] 真壁肇、“信頼性工学入門”、日本規格協会、2002、pp.101-108.

