

音響・電氣的測定法を用いた運転中水車発電機の長期部分放電特性

平谷 龍一⁽¹⁾・前田 育也⁽¹⁾・金子 正光⁽²⁾・辻 利則⁽³⁾・竹之内 修⁽⁴⁾・大坪 昌久⁽⁵⁾
 本田 親久⁽⁵⁾・迫田 達也⁽⁶⁾・福元 晋⁽⁷⁾・徳満 明博⁽⁷⁾・甲斐 稔康⁽⁸⁾・安藤 美利⁽⁹⁾

Characteristics of On-line Prolonged Partial Discharge on Hydrogenerator using Acoustic and Electrical Measurement Methods

Ryuichi HIRATANI, Ikuya MAEDA, Tadamitsu KANEKO, Toshinori TSUJI, Osamu TAKENOUCHI,
 Masahisa OTSUBO, Chikahisa HONDA, Tatsuya SAKODA, Susumu FUKUMOTO,
 Akihiro TOKUMITSU, Toshiyasu KAI, Mitoshi ANDOU

Abstract

Recently, many equipments in power facilities, especially hydrogenerators installed at high-growth period of the economy will pass over about 40 years, and is seeing an updating term. However, under the recent economically severe condition of social environment, there is a strong demand to use these equipments to a life limit by understanding about their performance. Furthermore, in order to raise the utilization rates of the production facilities, the diagnosis at an on-line condition is also desired. In order to meet the requests, it is required to understand as correctly as possible the performance of these equipments under the on-line condition.

In order to build up the insulation deterioration diagnosis of the on-line hydrogenerator stator windings, we measured the AE signal and the leakage current of neutral point grounding line attended with partial discharge for two hydrogenerators using with the hybrid insulation deterioration diagnosis device. We put in the device at the two hydrogenerators, and we measured the AE signal and the leakage current of neutral point grounding line for a long term, respectively.

Keyword:

Condition based maintenance, On-line insulation diagnosis, Hydrogenerator, Partial discharge

1. はじめに

近年、地球温暖化などの環境問題や情報技術の発達により、さらなる省エネルギー化や電力の安定した供

給が求められている。特に長期間稼動している電力設備の円滑な運用と信頼性の確保は重要な課題となっている。また、1960年代の高度経済成長期に設置した電力設備は設計寿命を過ぎて既に更新時期を迎えているものも多い⁽¹⁾。

しかし、最近の厳しい社会情勢下では、これらの電力設備の絶縁劣化状態を定量的に把握することで、点検・診断や更新時期を計画的に運営し、電力設備の大きな事故を未然に防ぎつつ、寿命限界まで使用したいという強い要望がある。また、少しでも生産設備の稼働率を上げるため、設備の停電を必要としない運転中の絶縁劣化診断が望まれている⁽¹⁾。

高度経済成長期以前の保全は故障をした機器を運用可能状態に回復することを目的とする事後保全が主体

-
- 1) 宮崎大学電気電子工学専攻大学院生
 - 2) 宮崎公立大学人文学部教授
 - 3) 宮崎公立大学人文学部准教授
 - 4) 航空大学校教授
 - 5) 宮崎大学電気電子工学科教授
 - 6) 宮崎大学電気電子工学科准教授
 - 7) 九州電力株式会社宮崎支店
 - 8) 株式会社興電舎
 - 9) 宮崎県企業局

であったが、設備の大形化や複雑化に伴い、事後処理による損失が深刻となってきた。このため電力設備の故障を未然に防止し、使用可能状態を維持するために保全を計画的に行う予防保全が注目されている。

現在の水車発電機絶縁劣化診断は定期診断時などに水車発電機を停止させて行うオフライン絶縁劣化診断が主流であり、それによって水車発電機の更新時期を判断している。しかし、オフライン絶縁劣化診断は水車発電機を停止させるために莫大なコストと時間が必要となる。そのため、水車発電機運転中に診断することのできるオンライン絶縁劣化診断が注目を浴びている。オンライン絶縁劣化診断は機械的、熱的、電気的、環境的ストレスを受けた状態で電力機器を絶縁診断するため、停止診断では発見できなかった異常を検出できる優れた特徴を持っている。このような社会背景から、著者らは長年の間、運転中水車発電機の絶縁劣化診断技術について研究を行っている⁽²⁾。

著者らは、2機の実機水車発電機を対象に、水車発電機の部分放電特性を研究することにより、水車発電機固定子巻線の絶縁劣化状態をモニタリングするため、長期間にわたり発電機運転中の音響・電気的信号の同時測定を行っている。そこで、本論文はこれまでの長期計測結果も比較検討するとともに長期計測結果から各要因における音響・電気的信号の部分放電特性を調べたので、以下に報告する。

2. 実験方法

図1にO-水車発電機建屋内(図1中(a))における数個のAEセンサと1個のCTセンサの設置位置、図2にI-発電機におけるAEセンサの設置位置の図を示す。O-発電機(定格電圧:13.2[kV]、定格出力:40,500[kW]、稼働年数:48年、冷却方式:熱交換機型第一種)およびI-発電機(定格電圧:11[kV]、定格出力:18,600[kW]、稼働年数:40年、冷却方式:出口通風管形)の2機の水車発電機において、AEセンサ(type-703、周波数帯域:70[kHz])(図1中(b))を固定子鉄心外枠に、CTセンサ(周波数帯域:2[kHz]~30[MHz]、適用電流:1[mA_{rms}]~10[A_{rms}])(図1中(d))を中性点接地線にそれぞれ設置し、部分放電に伴い発生するAE信号と中性点接地線を通る流れ電流の長期計測を行った。AEセンサにおいて検出したAE信号は微弱であるため、プリアンプ(周波数特性2[kHz]~1.2[MHz])において解析できる十分な

値に増幅させ、簡易型絶縁診断装置(図1中(c))によって取り込みを行った⁽³⁾。さらに、発電機出力、風洞内湿度および固定子巻線温度についても長期計測を行い、各要因と中性点接地線漏れ電流およびAE信号を比較することにより、各要因における中性点接地線漏れ電流とAE信号の相関関係を調べた。

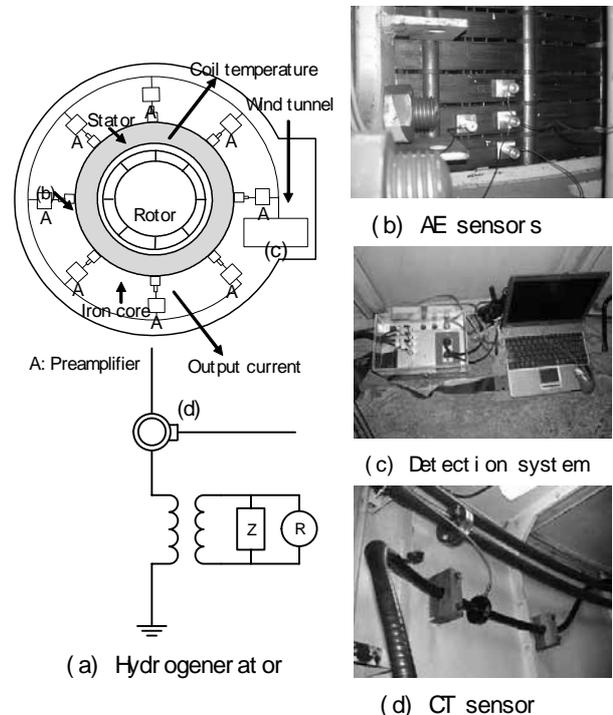


図1 水車発電機建屋内におけるAE・CTセンサ設置図(O-発電機)

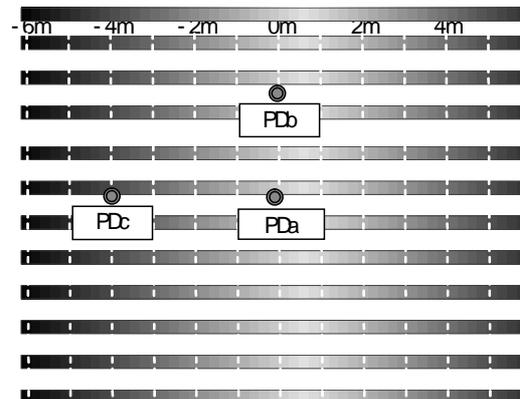


図2 I-発電機巻線におけるAEセンサ設置位置

3. 実験結果

現在、2機の水車発電機において数個のAEセンサおよび1個のCTセンサを設置し、AE信号および中性点接地線漏れ電流の長期計測を行っている。2機はAEセンサの設置時期が異なり、I-発電機においては2003年7月、O-発電機においては2004年12月にAEセンサを

設置し、その時点から AE 信号の長期計測を開始した。一方、中性点接地線漏れ電流は I-発電機については 2007 年 7 月、O-発電機については 2007 年 12 月から長期計測を開始した。そして、I-発電機の固定子鉄心には最も部分放電が検出される位置 PDa、PDb、PDc の 3 箇所にて AE センサを設置した。それぞれの設置時期は、PDa：2003 年 7 月、PDb：2004 年 11 月、PDc：2005 年 7 月である。

AE 信号は周波数帯域が約 30[kHz]付近であることから、マシンノイズである 10[kHz]以下のフィルタ処理を施した後、AE 信号の波高値を AE 信号強度とした⁽⁴⁾。また、中性点接地線漏れ電流はノイズを除去するために I-発電機については約 900[kHz]～1.2[MHz]、O-発電機については約 700[kHz]～1[MHz]においてバンドパスフィルタ処理を施し、中性点接地線漏れ電流の波高値を抽出した。

表 1 に I-発電機における AE 信号強度の最大値、図 3 に I-発電機における AE 信号強度、中性点接地線漏れ電流、発電機出力、固定子巻線温度および風洞内湿度の長期計測結果を示す。I-発電機において過去 4 年間の AE 信号を計測した結果、AE センサ設置時に計測した AE 信号強度とこれまでの AE 信号強度を比較すると、3 箇所の位置から検出される AE 信号強度は若干変動しているが、全体的にはほとんど一定であることがわかった。このことから、I-発電機の AE 信号強度は、現在のところ、AE センサ設置時に比べそれほど大きくはないが、最大部分放電発生場所は変動しながら次第に大きくなるのではないかと考えられる。

一方、表 2 に O-発電機における AE 信号強度の最大

値、図 4 に O-発電機における AE 信号強度、発電機出力、固定子巻線温度および風洞内湿度の長期計測結果、図 5 に O-発電機における AE 信号強度、中性点接地線漏れ電流、発電機出力、固定子巻線温度および風洞内湿度の長期計測結果を示す。これらの結果、AE センサ設置時に計測した AE 信号強度とこれまでの AE 信号強度を比較すると、O-発電機も I-発電機と同様に、AE 信号強度は変動しており、最終的には上昇していることがわかった。このことから、O-発電機においても AE 信号強度の場所は変動し、その大きさは徐々に大きくなるのではないかと考えられる。

表 1 I-発電機における AE 信号強度の最大値

AE センサ 設置時期	AE 信号強度の最大値		
	PDa [dB]	PDb [dB]	PDc [dB]
2003. 7 ～2004. 9	46. 0	-	-
2004. 11 ～2005. 7	42. 9	43. 5	-
2005. 7 ～2007. 1	45. 8	45. 5	46. 2
2007. 7 ～2007. 11	43. 4	43. 3	45. 0

表 2 O-発電機における AE 信号強度の最大値

年月	AE 信号強度の最大値 [dB]
2004. 12	28. 1
2005. 1 ～2005. 12	37. 1
2006. 1 ～2006. 12	31. 7
2006. 12～ 2007. 12	46. 8

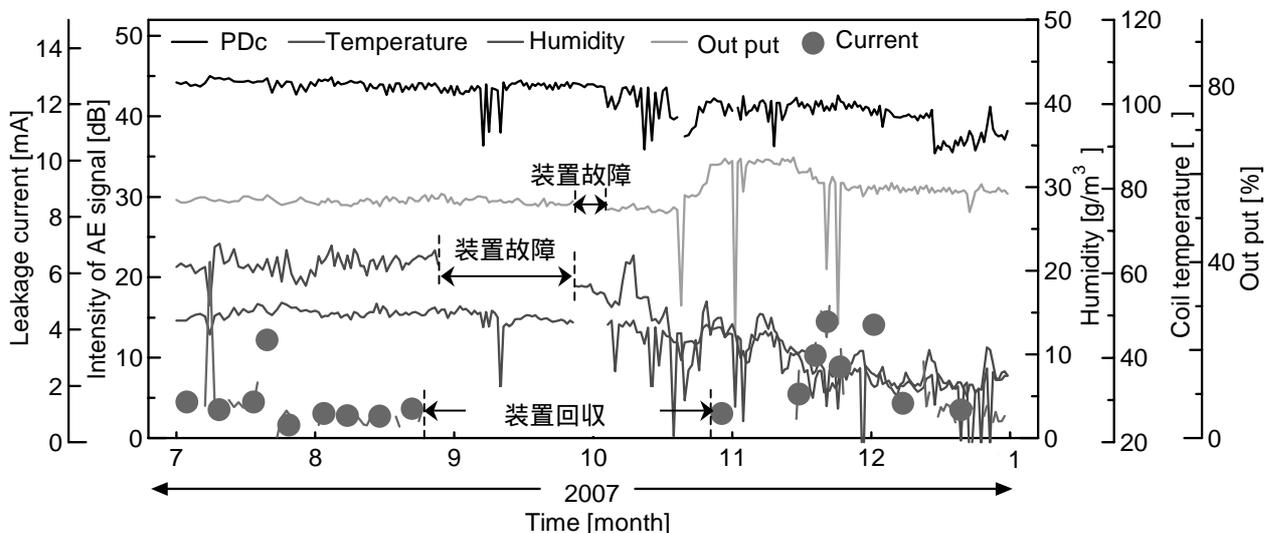


図 3 I-発電機における AE 信号強度、中性点接地線漏れ電流、発電機出力、固定子巻線温度および風洞内湿度の長期計測結果

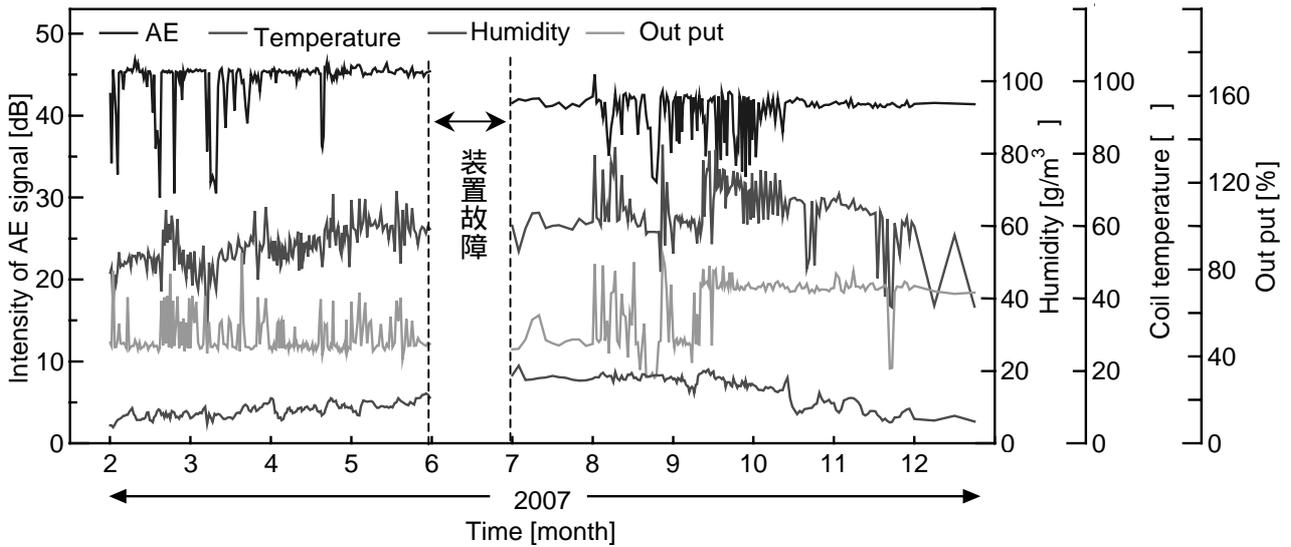


図4 O 発電機における AE 信号強度、発電機出力、固定子巻線温度および風洞内湿度の長期計測結果

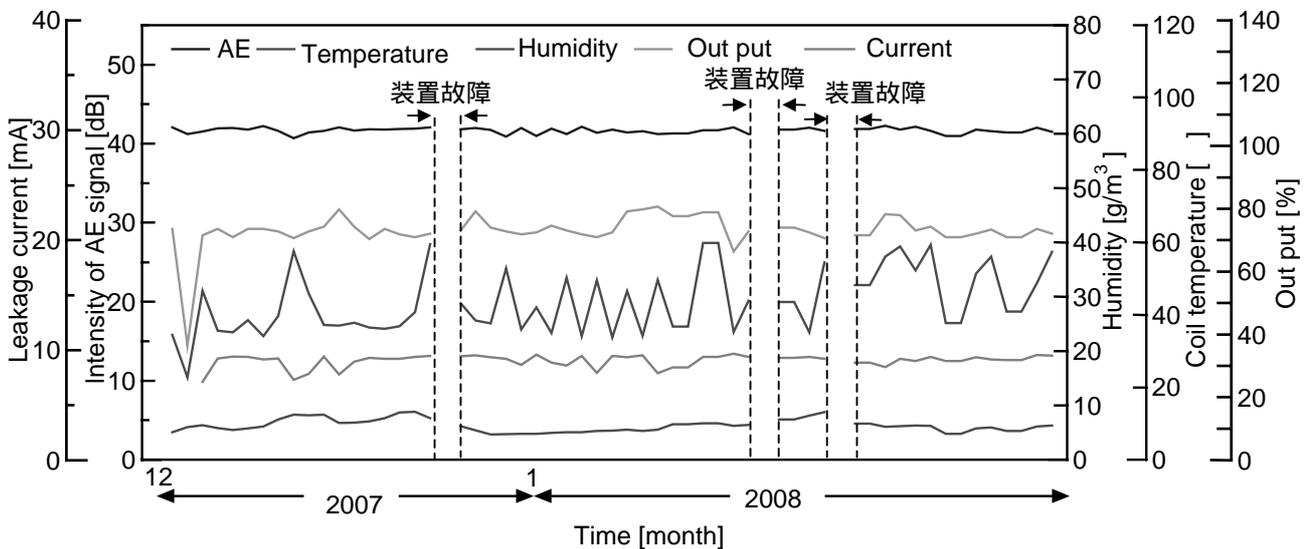


図5 O 発電機における AE 信号強度、中性点接地線漏れ電流、発電機出力、固定子巻線温度および風洞内湿度の長期計測結果

これまでの著者らによる長期計測結果をもとにして、発電機出力、固定子巻線温度、風洞内湿度と中性点接地線漏れ電流、AE 信号強度について、I-発電機およびO-発電機の長期計測結果を解析した。

解析方法は、I-発電機の長期計測結果から発電機出力 45[%]~57[%]、固定子巻線温度 40[]~49[]、風洞内湿度 15 [g/m³] ~ 23 [g/m³]、O-発電機の長期データから発電機出力 67[%]~76[%]、固定子巻線温度 40[]~49[]、風洞内湿度 3[g/m³]~9[g/m³]のときの中性点接地線漏れ電流および AE 信号強度を抜き出し、各要因と中性点接地線漏れ電流および AE 信号強度の相関関係、中性点接地線漏れ電流と AE 信号強度の相関関係を調べた。

図 6 に I-発電機における発電機出力と中性点接地線漏れ電流および AE 信号強度の相関関係、図 7 に I-発電機における固定子巻線温度と中性点接地線漏れ電流および AE 信号強度の相関関係、図 8 に I-発電機における風洞内湿度と中性点接地線漏れ電流および AE 信号強度の相関関係を示す。

図 6、図 7、図 8 の結果から、発電機出力と固定子巻線温度の上昇に従い、AE 信号強度、中性点接地線漏れ電流も上昇するが、風洞内湿度が上昇した場合は、AE 信号強度、中性点接地線漏れ電流ともに減少することがわかった。また、図 9 の結果から、中性点接地線漏れ電流が変動する場合、それに伴って AE 信号強度も同様に変動することが確認できた。このことから、I-

発電機運転中において中性点接地線漏れ電流と AE 信号強度には比例関係があると考えられる。表 3 に I-発電機において各要因と中性点接地線漏れ電流および AE 信号強度の相関係数を示す。

一方、図 10 に O-発電機の発電機出力と中性点接地線漏れ電流および AE 信号強度の相関係数、図 11 に O-発電機における固定子巻線温度と中性点接地線漏れ電流および AE 信号強度の相関係数、図 12 に O-発電機における風洞内湿度と中性点接地線漏れ電流および AE 信号の相関係数を示す。

図 10、図 11、図 12 の結果から、O-発電機の電機運転中においても、I-発電機と同様に、発電機出力、固定子巻線温度と AE 信号強度および中性点接地線漏れ電流には比例関係があり、風洞内湿度と AE 信号強度および中性点接地線漏れ電流には反比例関係があることがわかった。図 13 に O-発電機の AE 信号強度と中性点接地線漏れ電流の相関係数を示す。この結果から、中性点接地線漏れ電流と AE 信号強度には比例関係があると考えられる。表 4 に O-発電機において各要因と中性点接地線漏れ電流および AE 信号強度の相関係数を示す。

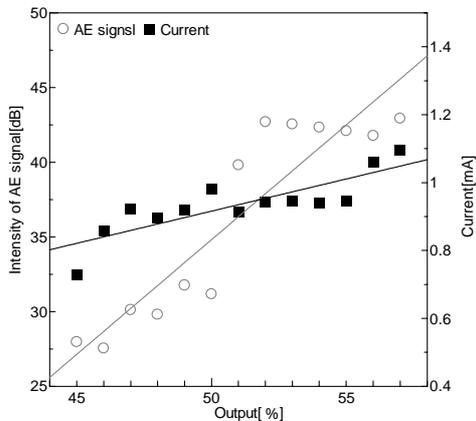


図 6 発電機出力と中性点接地線漏れ電流および AE 信号強度の相関係数 (I-発電機)

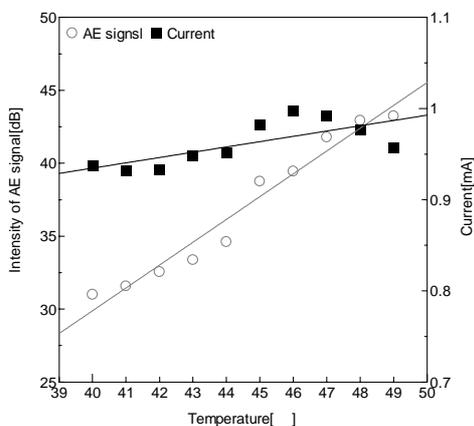


図 7 固定子巻線温度と中性点接地線漏れ電流および AE 信号強度の相関係数 (I-発電機)

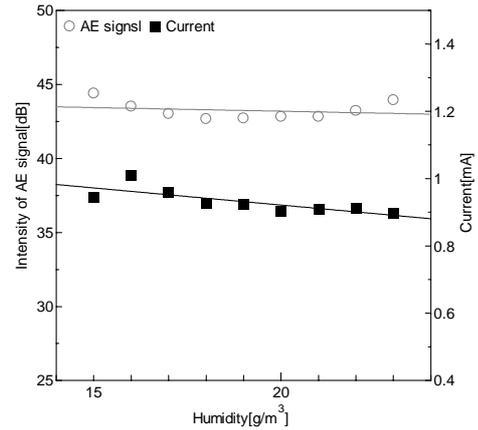


図 8 固定子巻線温度と中性点接地線漏れ電流および AE 信号強度の相関係数 (I-発電機)

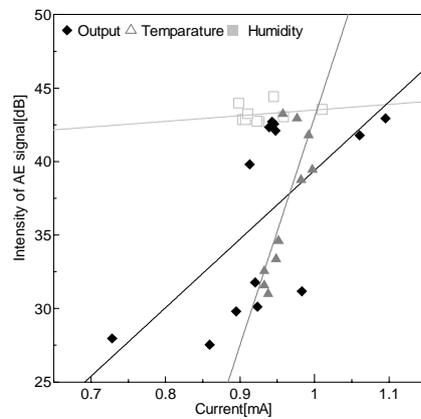


図 9 AE 信号強度と中性点接地線漏れ電流の相関係数 (I-発電機)

表 3 各要因と漏れ電流、AE 信号強度の相関係数 (I-発電機)

	AE 信号	漏れ電流	AE-漏れ電流
出力	0.92	0.83	0.64
温度	0.98	0.72	0.78
湿度	-0.22	-0.78	0.23

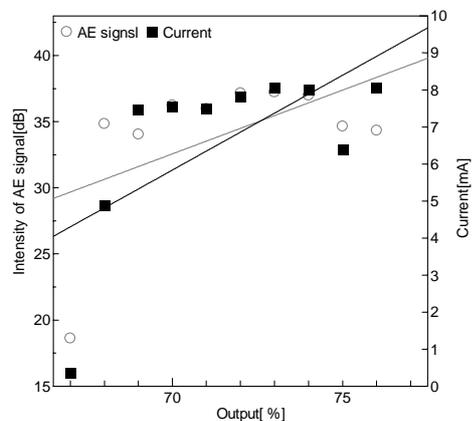


図 10 発電機出力と中性点接地線漏れ電流および AE 信号強度の相関係数 (O-発電機)

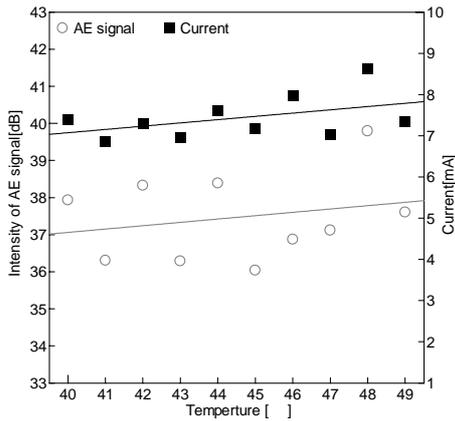


図 11 固定子巻線温度と中性点接地線漏れ電流および AE 信号強度の相関関係(O 発電機)

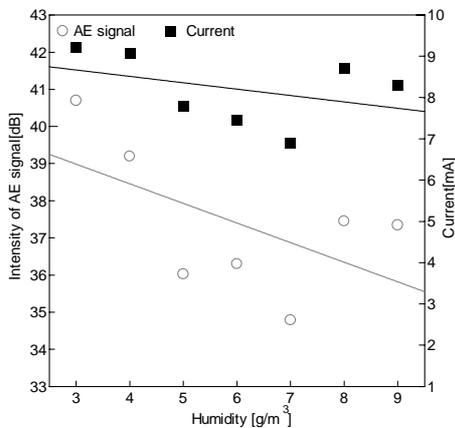


図 12 風洞内湿度と中性点接地線漏れ電流および AE 信号強度の相関関係(O 発電機)

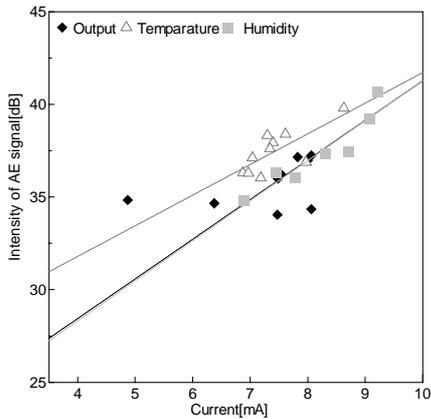


図 13 AE 信号強度と中性点接地線漏れ電流の相関関係(O 発電機)

表 4 各要因と漏れ電流、AE 信号強度の相関表(O 発電機)

	AE 信号	漏れ電流	AE-漏れ電流
出力	-0.27	0.40	0.45
温度	0.23	0.45	0.74
湿度	-0.57	-0.39	0.94

4. まとめ

本論文では 2 機の水車発電機にハイブリッド絶縁劣化診断装置を用いて、音響的信号と電氣的信号の長期計測を行うとともに過去の長期測定結果を含めて検討した。また、各要因における AE 信号強度と中性点接地線漏れ電流の部分放電特性について検討した。主な結果は次の通りである。

(1) 2 機の水車発電機において AE 信号と中性点接地線漏れ電流の長期計測を行った結果、両機とも AE 信号強度の場所は変動しながら徐々に大きくなることが確認できた。

(2) 2 機の長期測定結果をもとにして、各要因における AE 信号強度と中性点接地線漏れ電流の相関関係を検討した結果、両機とも中性点接地線漏れ電流および AE 信号強度には比例関係があることが確認できた。

最後に、本研究の一部は宮崎公立大学と九州電力(株)宮崎支店、宮崎公立大学と宮崎県企業局並びに宮崎公立大学と(株)興電舎との産学共同研究費によって行われたことを記し、関係者各位に謝意を表する。

参考文献

- (1) 電気設備の診断技術、改訂版、オーム社、(2003)
- (2) 金子正光、上田隆、竹之内修、大坪昌久、本田親久、鶴田芳男、岩本秀樹、徳光明博：AE センサを用いた水車発電機固定子巻線のオフライン・オンライン部分放電比較、電気学会論文誌 B、126(6)、pp.578 ~ 585、2006
- (3) 藤井太志、平谷龍一、金子正光、竹之内修、大坪昌久、本田親久、福元晋、徳満明博、甲斐稔康、安藤利美：運転中水車発電機固定子巻線における部分放電特性、電気学会放電・絶縁材料・高電圧合同研究会資料、ED-07-3・DEI-07-3・HV-07-3、pp.7-12、(2007)
- (4) 金子正光、竹村明人、竹之内修、大坪昌久、本田親久、鶴田芳男、岩元秀樹、徳満明博； Estimation of Position of On-line Partial Discharge on Hydrogenerator Stator Windings using Acoustic Emission Detection Techniques、電気学会論文誌 A、124(7)、pp. 534 ~ 540、2004