

鉄鋼プラント電力設備におけるデジタルスマート保安への移行

Transition to Digital Smart Maintenance in Steel Plant Power Equipment

上山 哲平 UHEYAMA Teppei JFE スチール 西日本製鉄所(倉敷地区) エネルギー部 エネルギー技術室 主任部員(課長)

要旨

製鉄業において設備保全の高度化は喫緊の課題であり、なかでも主要インフラである電力設備は、トラブル影響が複数の製鉄ラインに影響するうえ、復旧期間も長期化が懸念されることから設備の健全性維持が重要である。しかし、従来の保全技術は設備停電を伴う長周期診断に限られていることから、コンディションベースの保全が困難という課題があった。

現在、部分放電および油中ガスの監視技術とデジタル技術を活用したオンラインシステムの導入により、スマート保安への移行を進めているので報告する。

Abstract:

In the iron and steel industry, upgrading of equipment maintenance is an urgent issue. In particular, it is important to maintain the soundness of power equipment, which is a major infrastructure, because the impact of troubles affects multiple production lines, and the restoration period may be prolonged. However, the conventional maintenance technology is limited to the long period diagnosis to prevent equipment blackout, and there is a problem that condition based maintenance is difficult to apply.

At present, the introduction of monitoring technology for partial discharge and gas in oil and an online system using digital technology are being introduced in JFE Steel, and the transition to smart maintenance is being promoted.

1. はじめに

JFE スチール西日本製鉄所(倉敷地区)は1000万m²を超える広大な敷地の中に、高炉をはじめとしたプラント設備と、これらのプラントに電源を供給する受変電設備が多数存在している。その多くは日本が高度経済成長期にあった1966年から1976年に建設されたもので、すでに50年を超えて稼働している設備も多く、設備更新の時期を迎えている。しかし、高圧・特別高圧の変電設備は、変圧器が2000台以上、配電盤が7000面以上という膨大な設備量に加え、溶鉱炉を中心として24時間365日間連続操業を行う製造プロセスの特性から、一気に更新することが難しく、設備診断による劣化判定を基に設備の重要度を加味して更新優先順位を定め、順次計画的に更新を進めている。

このように、最新鋭設備と旧設備が混在する環境のもとで電源供給の信頼性を担保するためには、運転状態で劣化の予兆を検出し重大事故を防止するスマート保安が重要であることから、これまでさまざまな技術を開発し、積極的に導入している。本稿では特に有効性が顕著な事例を紹介する。

2. スマート保安の事例

2.1 高度監視システム

従来の変電設備の監視システムは、過大な電流や漏えい電流を検出し、関連するスイッチを切ることで事故点に流れ込む電気を遮断し事故の拡大を防止する「保護リレーシステム」が主流であった。このシステムは事故の影響拡大を防止することを主眼に作られており、事故そのものを事前に予知し防止することは困難である。そのため、監視システムが作動した時には、すでに現場の機器は損壊しており復旧に長時間を要する場合が多い。

これに対し高度監視システムは、事故の予兆となる現象を監視し事故の発生を未然に防止することを目的としている。JFE スチールが導入した高度監視システムでは、部分放電、絶縁油中溶存ガス、局部過熱の3つの項目を劣化の予兆として監視している。

部分放電とは、電路を支える絶縁の一部分で空気の絶縁が破壊して放電する現象をいう。部分放電には、電路の尖った部分で絶縁物を介しない空隙で起きるコロナ放電、碍子やポリエステルのような絶縁物の表面が汚損や湿潤することで電界集中が起きて発生する沿面放電、絶縁物の中のクラックなどの空隙で生じるボイド放電などがある。部分

2023年9月29日受付

放電の発生を長期にわたり放置すると、絶縁物が侵食され最終的に絶縁破壊の事故に至る。また放電で生じるオゾンや硝酸が周辺金属を腐食させ機械的な破壊を招く場合もある。従って部分放電の発生を監視し、部分放電が検出された場合は速やかに発生部位と発生原因を特定し、発生原因を除去することが重要である。高度監視システムでは、HFCT (High Frequency Current Transformer) センサや FMC (Flexible Magnetic Coupler) センサ、TEV (Transient Earth Voltage) センサを用いて部分放電を検出している。**写真1** に沿面放電の初期の事例を、**表1** に各種センサの仕様を示す。

絶縁油中溶存ガスは、変圧器の内部で局部過熱や部分放電が生じると、絶縁油が分解して可燃性ガスが発生し油の中に溶け込む。例えば低温過熱ではエチレン (C₂H₄) が、部分放電などの高温過熱ではアセチレン (C₂H₂) が発生する。そこで、油の一部を採集して溶存するガスの種類や濃度を調べることで、劣化の予兆を捉えることができる。従来この絶縁油中溶存ガスの分析は、半年や1年といった周期でバッチで行なっていたが、電気技術者が減少する中、安



写真1 沿面放電の事例¹⁾

Photo 1 Case of creepage discharge ¹⁾

表1 部分放電センサ²⁾

Table 1 Partial discharge sensor ²⁾




	HFCT	FMC	TEV
Application	Cable transformer GIS	Extra-high-voltage cable	Enclosed switchboard
Principle	Electromagnetic coupling	Electromagnetic coupling	Electromagnetic coupling
Sensitivity	1 MHz~80 MHz	500 kHz~50 MHz	100 kHz~300 MHz
Appearance			



写真2 絶縁油中溶存ガスの常時監視装置の外観²⁾

Photo 2 Appearance of continuous monitoring device for dissolved gas in insulating oil²⁾

全や環境への配慮など負担の多い業務であることから、自動化し常時モニタリングすることを試みた。**写真2** に絶縁油中溶存ガスの常時監視装置の外観を示す。

局部過熱は、電気設備の回路の接続部などに接触不良が生じ、流れる電流と接触抵抗のジュール熱で温度が上昇する現象で、事故につながるものである。高度監視システムでは、赤外線カメラを用いて局部過熱を常時監視している。この赤外線カメラは、**図1** に示すように可視カメラの画像と赤外線のサーモグラフィを個別に、あるいは合成して表示でき、ヒートスポットが設定温度を超えると警報を発するようになっている。

高度監視システムは**図2** に示すように複数の変電所とエネルギーセンター (中央制御室) を光ネットワークで連携し劣化の予兆を常時監視している。

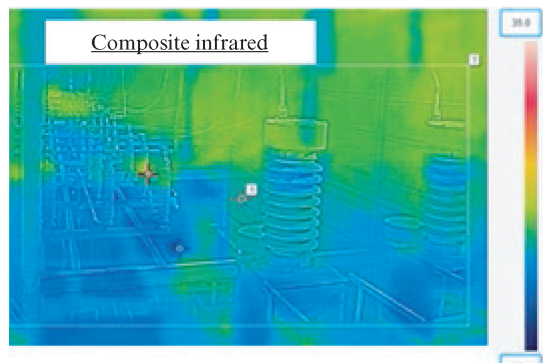
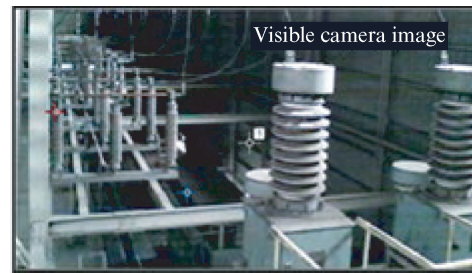
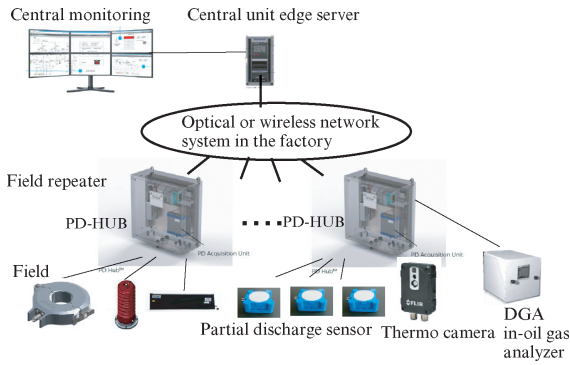


図1 赤外線カメラの画像事例²⁾

Fig. 1 Image examples of infrared camera²⁾

図2 変電所高度監視システム構成図²⁾Fig. 2 Substation monitoring system configuration diagram²⁾

2.2 放電発生源の検出技術

変電所高度監視システムで部分放電が検出された場合、放電源を特定し、放電の発生を止めることが重要である。JFE スチールでは、古くから放電の発生源を特定するための技術を開発してきた。写真3は、部分放電で生じる超音波を検出する装置の最新モデルであり、2000年頃に開発した初代モデルは、第35回機械振興協会賞を受賞している。なお、この装置はメーカーであるJFEアドバンテックでモデルチェンジし、現在も継続して製造販売され活用されている³⁾。

この装置はパラボラアンテナを使って部分放電で生じる微少な超音波音を集音する仕組みになっているが、パラボラアンテナを使用すると感度が向上する反面、指向性が鋭く検出できる範囲が狭隘になり、放電源の探査に時間がかか



写真3 超音波式部分放電検出装置

Photo 3 Ultrasonic partial discharge detector

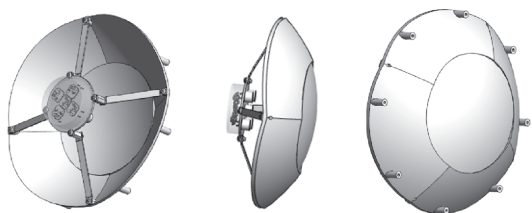


図3 5軸パラボラアンテナ

Fig. 3 5-axis parabolic antenna



写真4 部分放電源の特定事例

Photo 4 Specific example of partial discharge sources

る欠点があった。

そこで、この欠点を克服すべく、1つのパラボラアンテナで複数の焦点を持つパラボラアンテナを開発した。図3に5軸パラボラアンテナの例を示す。

5軸パラボラアンテナは、5つのパラボラアンテナを使って、面で探索することで高感度かつ高速に可視化できる。写真4に高度監視装置で検出した部分放電の放電源を5軸パラボラアンテナで可視化し、発生源を特定した事例を示す。

2.3 回転機の部分放電診断

発電機や大型電動機の固定子巻線は、鉄心スロットに高電圧のコイルを配置するため、部分放電の発生が避けられない。そのため、絶縁材料として無機物のマイカを用いて放電に対する耐性を確保している。しかし、マイカを用いても、劣化が進行すると部分放電が過大になり絶縁破壊事故につながる。一般に大型の回転機は予備機を持たないため、絶縁破壊事故が発生すると生産活動に大きな影響が出る。そこでJFE スチールでは2000年以降、特別高圧の発電機や電動機に部分放電検出用の静電カプラを設置し、オンラインで部分放電を監視して事故の未然防止に努めてきた。回転機のオンライン部分放電測定はノイズの混入が避けられないが、最新の特徴抽出技術を用いるとノイズと部分放電

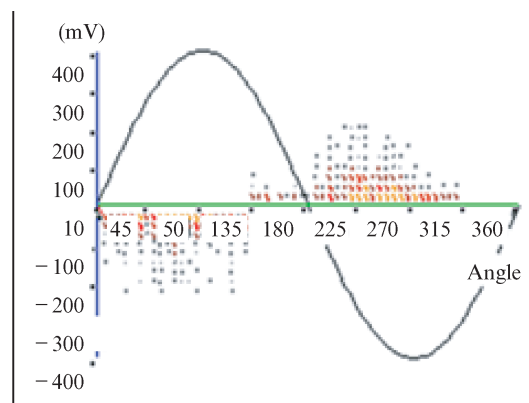


図4 従来のオンライン診断波形

Fig. 4 Conventional on-line diagnostic measurement waveform

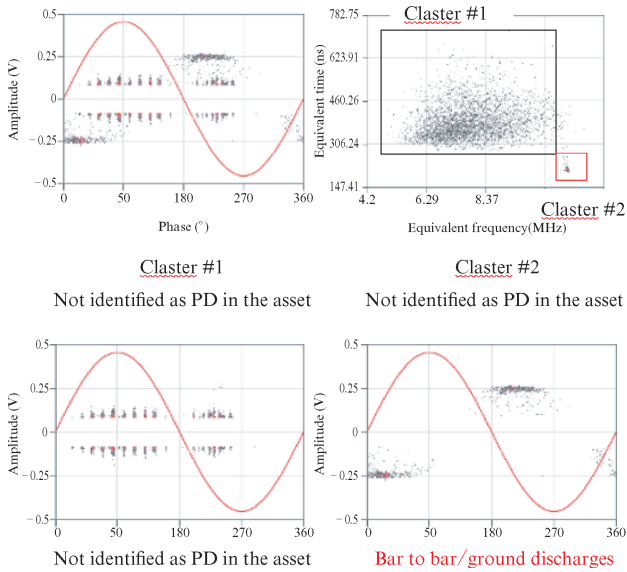


図5 最新のオンライン診断波形

Fig. 5 Modern on-line diagnostic measurement waveform

の信号を明確に分離できる。

図4に従来の測定器で測定した信号の例を示す。放電信号と励磁器ノイズが重畳しており、部分放電の動きを明確に観測できていない。

図5に、同じセンサを使い、同じタイミングで最新の測定器で測定した事例を示す。最初にパルス信号の位相パターン (Phase Resolved Partial Discharge: PRPD) と、パルス信号の周波数を X 軸に、波長を Y 軸にとった TF マップ図

が作成される。パルス信号の発生源が同じ場合、TF マップ上で信号源に応じた塊 (クラスター) が形成されるので、クラスターごとに PRPD 図を描き直すことで信号の発生源ごとの PRPD パターン図が得られる。

図5の事例ではクラスター #1 が励磁器ノイズでクラスター #2 が部分放電の PRPD パターンである。

このように最新のオンライン診断技術を用いることで、部分放電とノイズを分離し、部分放電を的確に捉えて管理できる。

3. おわりに

JFE スチールで実施してきたスマート保安の取り組みの中から、高度監視システム、放電位置標定技術、回転機のオンライン診断について紹介した。冒頭述べたとおり、高炉を中心に操業する製鉄業ではシャットダウンメンテナンスができないため、従来からオンラインで劣化予兆を検出する技術の開発に力を注いできた。これまでの知見を情報通信技術や AI 技術と融合させ、さらに高度なスマート保安の実現に向けて引き続き努力を重ねていく所存である。

参考文献

- 1) <https://www.fujielectric.co.jp/fcs/support/maintenance/accident/09/>
- 2) 末長清佳. プラント設備における設備監視技術—受変電設備の高度監視化. 電気学会誌. 2022, vol. 142, no. 3, p. 146-149.
- 3) 小田将広, 淵上芳樹, 澤邊祐樹. 電気設備診断技術の開発と診断装置の製品化. JFE 技報. 2015, no. 35, p. 54-59.