

# パッチアンテナによるタービン発電機と高圧モータの部分放電計測

岡田真一\*  
久保崎 満\*\*

Partial Discharge Measurement with Patch Antenna for Turbine Generator and High-voltage Motor  
Shinichi Okada, Mitsuru Kubosaki

## 要 旨

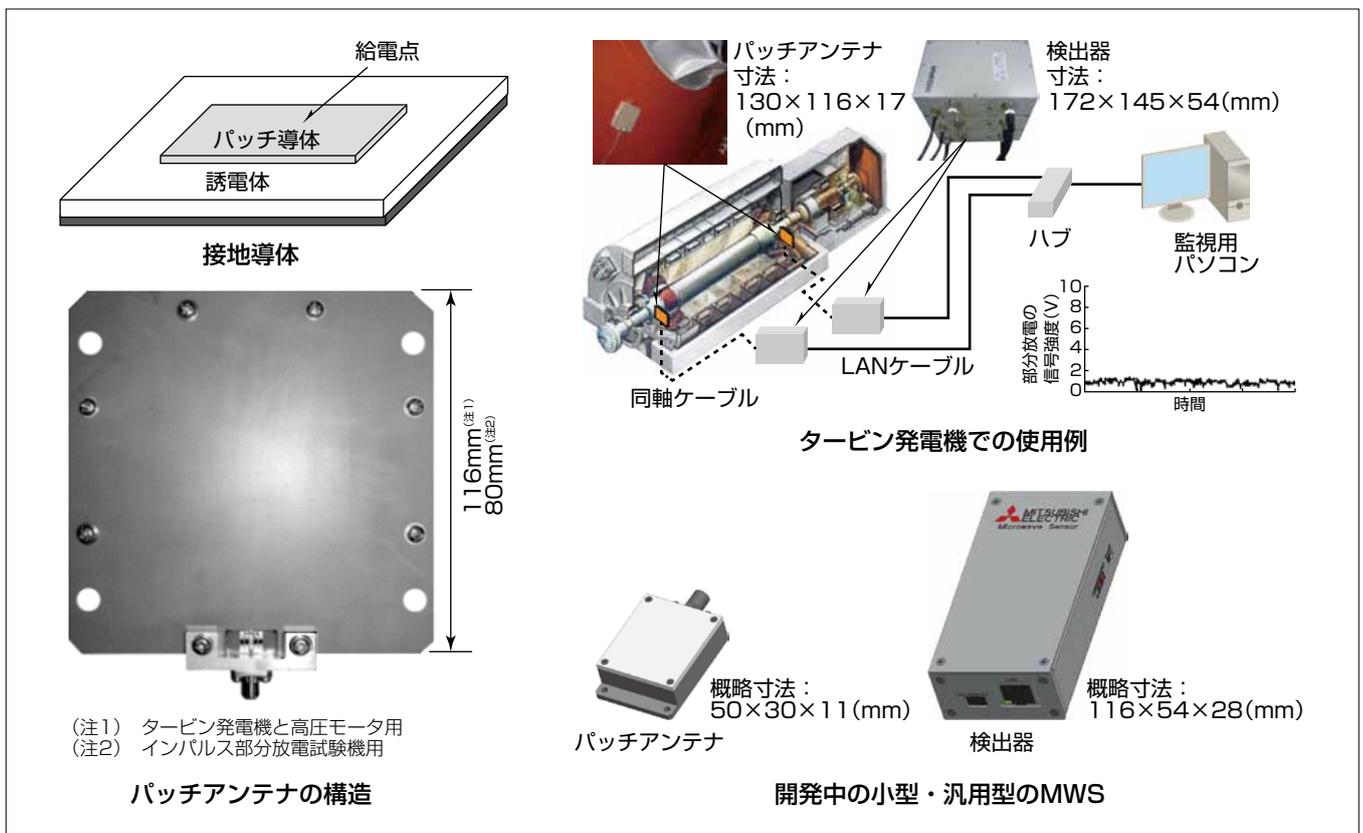
電力の安定供給と工場の安定操業のために、タービン発電機と高圧モータの予期せぬ停止は回避すべきであり、昨今では運転状態を連続的に監視する装置の需要が高まってきている。このような状況のなか、絶縁異常の兆候を早期に検出するために、部分放電によって放射される電磁波が広帯域であることに注目し、GHz帯の電磁波を検出して部分放電を連続的に計測するマイクロ波センサ(MicroWave Sensor : MWS)を開発した。MWSは小型・薄型のパッチアンテナと信号処理を行う検出器で構成している。

タービン発電機に取り付ける場合、回転子を引き抜くこ

となく短時間で容易に取り付けることができ、高電圧部の固定子巻線から離れた場所に設置するため、固定子巻線の主絶縁に悪影響を与えることはない。高圧モータの場合、パッチアンテナは、回転子と固定子ギャップの点検窓又は冷却通風孔の外部に設置できる。

このMWSの応用としてインパルス部分放電試験機に適用している。パッチアンテナはGHz帯の高周波であるため、インパルス電圧印加時の突入電流によるノイズを検出せず、部分放電信号だけを検出できる。

現在、更なる監視対象機器の拡大を目指した小型・汎用型のMWSを開発中である。



## パッチアンテナの構造とMWSの使用例

パッチアンテナは接地導体、誘電体、パッチ導体の3層構造であり、平面形状が特徴である。パッチアンテナは、タービン発電機の場合、筐体(きょうたい)内側のタービン側と励磁器側にそれぞれ設置することを基本とし、インパルス部分放電試験機の場合、被試験品に向けて配置する。パッチアンテナで受信した信号に対して検出器でフィルタリング、増幅、検波等を行い、パソコンに記録又は試験機に表示する。

## 1. ま え が き

タービン発電機や高圧モータの運転状態を連続的に監視して絶縁異常の予兆を早期に検出する装置の需要が高まっていることから、高電圧の固定子巻線で発生する部分放電を連続的に計測するMWSを開発した。また、このセンサをモータのインパルス部分放電試験機にも適用した。

本稿では、このセンサと計測データについて、また開発中の小型・汎用型MWSについても述べる。

## 2. パッチアンテナを用いた部分放電計測

### 2.1 システムの基本構成

MWSはパッチアンテナと信号処理を行う検出器で構成される。図1に検出器のブロック図を示す。検出器は、パッチアンテナの信号に対してフィルタリング、増幅、検波、ゼロクロス検出と比較等の信号処理を行ってパソコンにデータを送る。インパルス部分放電試験用の検出器は、電源回路、データ処理部の機能を外して小型化している。

### 2.2 タービン発電機

固定子コイルの絶縁異常を模擬してMWSで部分放電特性を取得した<sup>(1)</sup>。絶縁異常の一例として、固定子コアの折損等の異常でコア積層板が主絶縁に刺さり、主絶縁が損傷する事象が考えられる。主絶縁に溝を切り、溝にSUS (Special Use Stainless)鋼板を配置して異常を模擬した。溝の深さを62%、89%としたときの部分放電位相特性を図2に示す。横軸がサンプルに印加した高電圧の位相、縦軸が部分放電の信号強度を表している。この図から、電圧位相に応じて部分放電が発生していることが分かる。劣化が大きく(溝が深く)なると、部分放電の強度が増加しており、部分放電の強度変化から劣化状態を推定できることが分かる。

位相特性の各点を強度順に並べたものが図3である。このセンサでは、部分放電強度の指標として60pps値(50Hzの地域では50pps)を用いており、例えば5秒間の計測の場合には300個目が指標となる。この値は自動計算され部分放電強度の長期トレンド監視に用いている。

図4は定格19kVの水素冷却タービン発電機で固定子巻線の巻替え前後のトレンド監視である。長期間の使用で固定子巻線の劣化が認められたため、巻替えを実施した。巻替え後は部分放電強度が小さくなっていることが確認できた<sup>(2)</sup>。このセンサを発電機に搭載して常時監視を行い、絶縁異常の早期検出に活用している。

また標準化活動を行い、IEC/TS 60034-27-2 Ed.1.0:2012(回転電気機械-第27-2部:回転電気機械の固定子巻線絶縁でのオンライン部分放電の測定)、IEEE Std 1434-2014(IEEE Guide for the Measurement of Partial Discharges in AC Electric Machinery)にMWSによる方式が記載された。

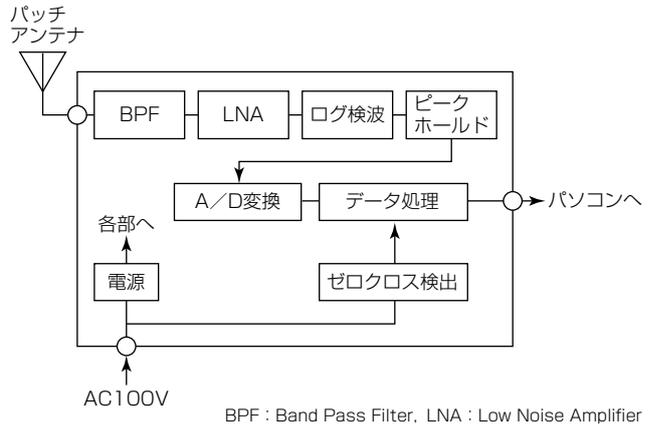
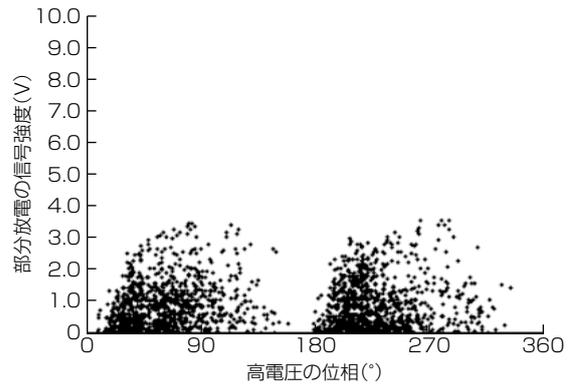
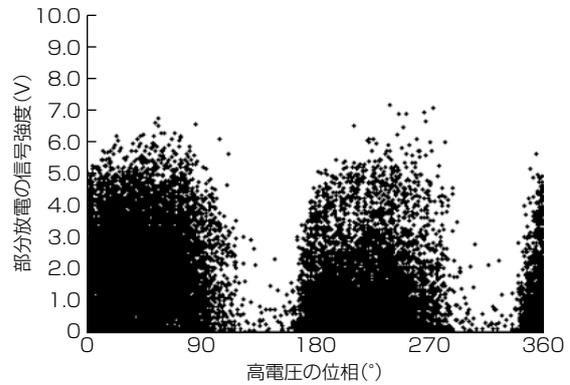


図1. 検出器のブロック図



(a) 溝の深さ62%



(b) 溝の深さ89%

図2. 部分放電位相特性

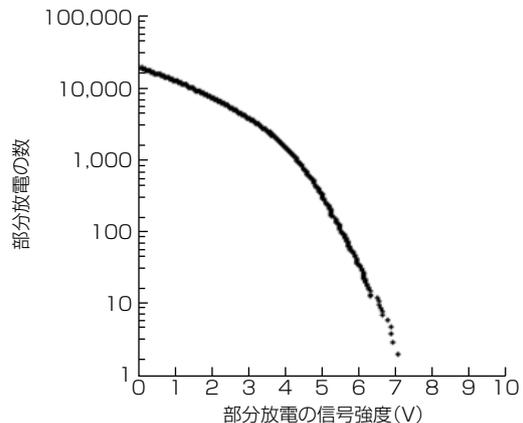


図3. 部分放電の強度分布

2017年には、電気保安に貢献したことが評価され、一般社団法人日本電気協会の澁澤賞を受賞した。

### 2.3 高圧モータ

工場の動力源を担う高圧モータも絶縁の状態を把握して予期せぬ停止を回避するために、部分放電を連続監視している。定格6.6kVの高圧モータの部分放電計測結果の一例を述べる<sup>(3)</sup>。図5(a)は1相で劣化が進み、1相で部分放電が発生したときの部分放電位相特性で、位相が180°付近と360°付近で部分放電が集中的に発生している。図5(b)は3相で劣化が進み、部分放電が発生したときの部分放電位相特性で、部分放電が集中的に発生している位相が6か所ある。このように部分放電位相特性から劣化の様相を推定することができる。タービン発電機と同様、高圧モータもトレンド監視及び個別の部分放電位相特性の監視を行う。

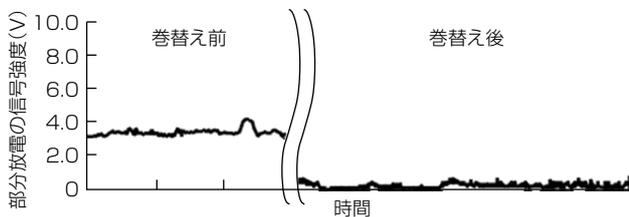
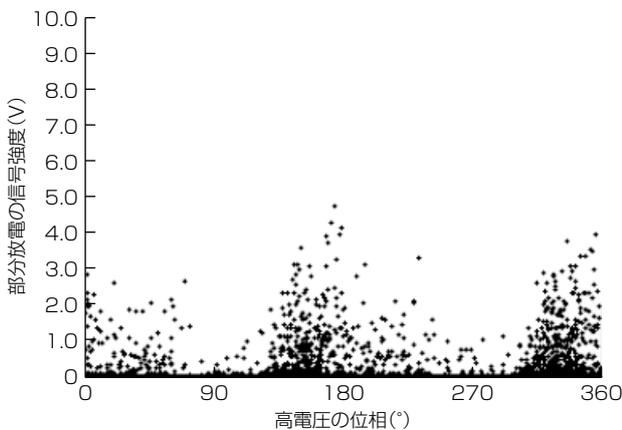
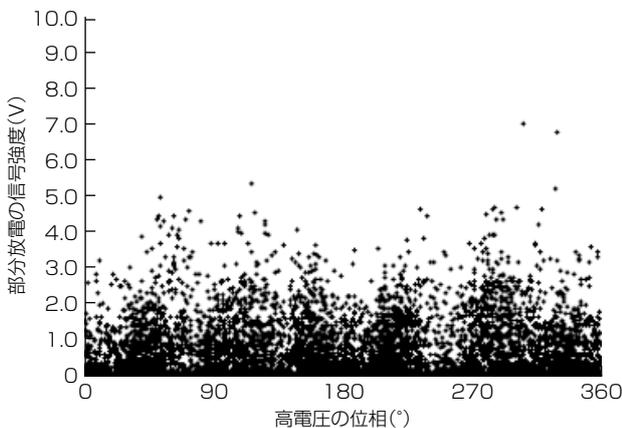


図4. 固定子巻線の巻替え前後のトレンド監視



(a) 1相で部分放電が発生



(b) 3相で部分放電が発生

図5. 高圧モータの部分放電位相特性

### 2.4 インパルス部分放電試験機

小型化したパッチアンテナと、機能を限定して小型化した検出器をインパルス部分放電試験機(株電子制御国際製 DWX-05PD)に適用した<sup>(4)</sup>(図6)。インパルス部分放電試験機は主に低圧モータの絶縁評価に使用するもので、インパルス電圧印加時の突入電流によるノイズが問題であったが、MWSはGHz帯の狭帯域を計測するため、ノイズを検出せずに部分放電信号だけを検出できる。部分放電の計測結果の一例を図7に示す。インパルス電圧の立ち上がり部分でノイズを検出せず、インパルス電圧のピーク付近などで発生した部分放電を検出できていることが分かる。

MWSは、電気学会の繰り返しインパルスでの部分放電計測調査専門委員会で行われた繰り返しでの部分放電開始電圧(RPDIV)を計測する共同実験で共通センサとして採用された。インパルス電圧を10回印加ごとに昇圧し、そのうち5回以上のインパルス電圧で部分放電が発生した電圧をRPDIVとした。図8はRPDIV計測時のインパルス電圧とMWSで計測した部分放電信号を示している<sup>(5)</sup>。この図は時間軸を圧縮しているため、インパルス電圧及び部分放電信号は線状に表示されている。RPDIVは同一試料・同一インパルスに対する平均値と標準偏差の分布は使用したセンサや研究機関にかかわらずほぼ狭い範囲に分布していた<sup>(6)</sup>ことから、MWSは各研究機関の部分放電センサと同等の検出感度を持ち、モータの部分放電検出装置として



図6. インパルス部分放電試験機(左)と小型化したパッチアンテナと検出器(右)

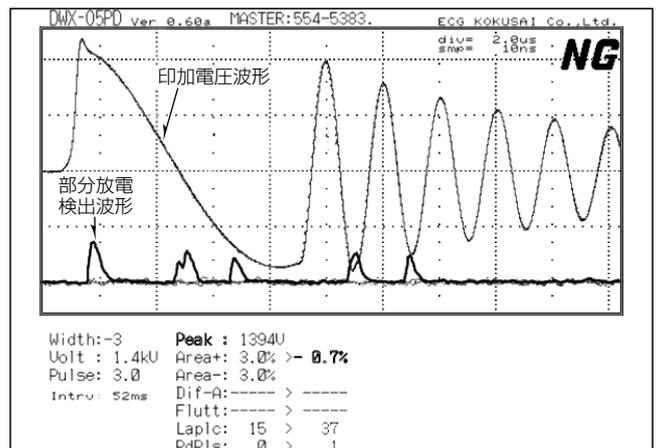


図7. 部分放電発生時のインパルス部分放電試験機の画面

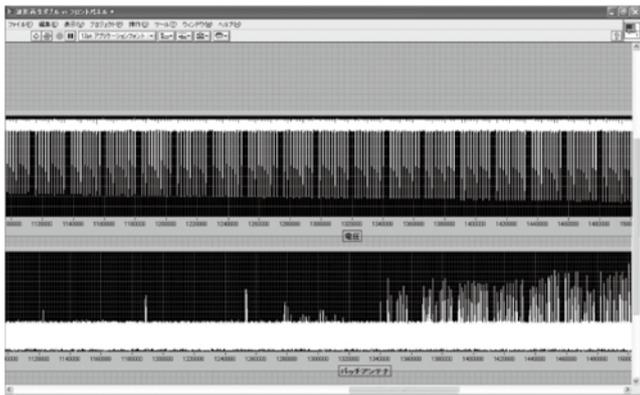
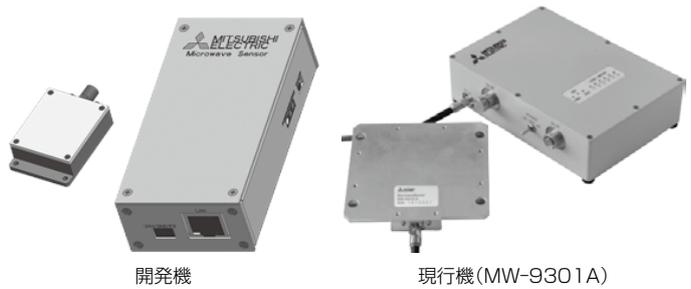


図8. RPDIV計測時のインパルス電圧(上)とMWSの信号(下) (5)



	開発機の概略寸法	現行機の寸法	容積比
パッチアンテナ	50×30×11 (mm)	130×116×17 (mm)	90%以上低減
検出器	116×54×28 (mm)	172×145×54 (mm)	85%以上低減

図9. 開発中のMWSと現行機の比較

十分な性能を持つことを示した。

また部分放電の検出性能だけでなく、耐ノイズ性も持っており、モータ製造ライン等のノイズ環境が比較的劣悪な場所でもこの装置を適用できている。

標準化活動も進めてIEC/TS 61934 Ed.2.0：2011(絶縁材料及びシステム-短い立ち上がり時間及び繰返し電圧インパルス下での部分放電(PD)の電気計測)に部分放電計測の1手法として記載され、付録に先に述べた共同実験の結果が記載されている。

### 3. 小型・汎用型MWSの開発

近年のIoT(Internet of Things)の拡大、状態監視や予防保全に対する関心の高まりによって、タービン発電機と高圧モータへのMWS適用が拡大している。またインバータ駆動装置での、インバータサージによる部分放電に対する関心が高まっている。

そのような背景のなか、MWSの適用拡大を目指した小型・汎用型MWSの開発を行っている。図9に現在開発中のMWSのパッチアンテナ、検出器の外観イメージとタービン発電機で使用しているMWS(現行機：MW-9301A)の外観を示す。

開発中のMWSは基本性能を従来機から変更することなく小型化しており、パッチアンテナのサイズは50×30×11(mm)と現行機(130×116×17(mm))と比較すると容積比で90%以上の小型化を実現する見込みである。パッチアンテナの小型化によって装置内部へ設置不可であった機器(中型、小型の発電機、モータ、分電盤等の絶縁劣化が問題となる装置)の部分放電監視への適用拡大を考えている。

検出器は116×54×28(mm)と現行機(172×145×54(mm))と比較すると容積比で85%以上の小型化を実現する見込みであり、スマートフォンが置けるスペースがあれば設置可能になる。

現行MWSは出力計測用に専用のソフトウェアが必要であり、また監視用パソコンとMWSの間は専用のLAN環境が必要になる。そこで開発中のMWSでは汎用的に使用

できるように出力をCC-Link IE Field Basic対応とした。そのようにすることで専用ソフトウェア、専用回線は不要になり、また、監視対象機器に対して振動センサ等様々なセンサで同時監視するなどユーザーの使い方に対する自由度が広がるものと期待している。

### 4. むすび

部分放電の計測用マイクロ波センサと、タービン発電機や高圧モータの状態監視、さらにはモータ用のインパルス部分放電試験機への適用事例について述べた。近年のIoTやAI(Artificial Intelligence)の発展によって、様々な電気機器への状態監視の需要が広がっていることから、小型・汎用型MWSの開発によって、このセンサの適用機種を拡大していく。

### 参考文献

- (1) 岡田真一, ほか: マイクロストリップアンテナによる発電機のオンライン絶縁診断技術, 電気評論, 102, No.6, 66~70 (2017)
- (2) 佐古 浩, ほか: マイクロストリップアンテナによるタービン発電機のオンライン部分放電計測, 三菱電機技報, 87, No.11, 636~639 (2013)
- (3) 澤田憲良, ほか: 高圧電動機への運転中部分放電監視技術の適用, 電気学会全国大会, 第2分冊, 6~7 (2010)
- (4) 久保崎 満, ほか: PD検出用マイクロ波センサの開発と実機適用, 電気学会全国大会, 第2分冊, 15~16 (2008)
- (5) 木村 健, ほか: 繰返しインパルスに対する部分放電開始電圧(RPDIV)の第1次共同実験(RRT), 第40回電気電子絶縁材料システムシンポジウム, D-1, 95~98 (2009)
- (6) 繰返しインパルスにおける部分放電計測とインバータサージ絶縁, 第1218号電気学会技術報告 (2011)