

# 一般論文

## 一般塵埃検知センサの開発

### Development of Accumulated Dust Detection Sensor

千 林 暁	福 永 哲 也
S. Sembayashi	T. Fukunaga
坪 田 浩 治	竹 内 雅 靖
K. Tsubota	M. Takeuchi

#### 概要

当社は、受配電機器などの最適なメンテナンスの実現、特にクリーニング要否の判断を目的として、塵埃堆積状況や絶縁抵抗の測定機能を有する一般塵埃検知センサを開発し、製品化した。本センサの特長とフィールド事例について紹介する。

#### Synopsis

We have developed "Accumulated Dust Detection Sensor" for electric equipment systems. The significant features of the sensor is visualization of the degree of dust accumulation and reduction in insulation resistance by measuring them in different ways.

We will discuss the features of the sensor and application samples.

#### 1. はじめに

近年、少子高齢化による人手不足のため、電気保安のための人材確保が困難になってきている。また、新型コロナウイルスのような感染症も保守・点検の実施体制の維持に対して大きなリスク要因である。このような課題の解決策として、電気保安のスマート化に向けた取組が経済産業省において検討されている。

電気設備は、不具合防止の目的で定期点検を実施しており、その際、絶縁不良や動作不良の原因となる設備内部に堆積した塵埃を除去（クリーニング）している。

当社は、電気設備クリーニングのタイミング適正化を目的として設備設置環境に堆積する塵埃による絶縁不良や、遮断器などの可動部に塵埃が付着することで発生する動作不良などの不具合リスクを検知するため、複合環境センサのラインアップを拡充し、一般塵埃検知センサを製品化した。

本製品は、塵埃の種類を問わず、塵埃堆積状況と絶縁抵抗の両方をセンシングする。また、本製品を従来の複合環境センサ<sup>(1)</sup>と組み合わせ、複合データをトレンド監視することにより、適切なメンテナンス実現を目標としている。

#### 2. 汚損による絶縁劣化のプロセス

図1に、電気設備絶縁物表面の汚損による絶縁劣化のプロセスを示す。

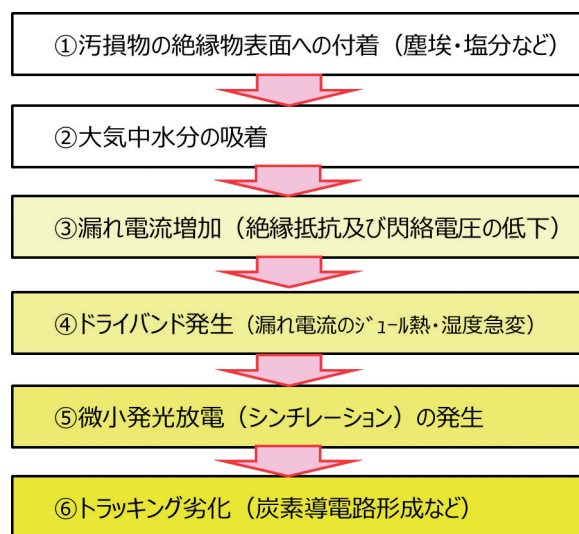


図1 電気設備絶縁物表面の汚損による絶縁劣化のプロセス

絶縁劣化初期は、絶縁物表面へ付着した汚損物に水分が吸着することにより、漏れ電流が増加する。この時点では、電気設備の不具合・事故に至るような絶縁劣化には至らない。

一方、漏れ電流が顕著となり、微小発光放電が発生し始めると、絶縁物が炭化することから電気設備の事故につながるトラッキング劣化へ進展する。

電気設備の不具合・事故の防止の観点では、絶縁劣化初期に発生する絶縁物表面への汚損物の付着と漏れ電流の発生を検知することが有効である。また、併せて漏れ電流増加の要因である相対湿度を監視することが望ましいことが分かる。



図2 外観写真

### 3. 一般塵埃検知センサ

一般塵埃検知センサとして、MES-32/33を紹介する。

本装置の仕様概要を表1に、MES-32の外観写真を図2に示す。本装置は小型・軽量で以下のような特長をもつ。

- ① 塵埃堆積状況と絶縁低下を「見える化」  
塵埃堆積状況を光学式で、塵埃堆積の影響による絶縁低下を専用電極にてそれぞれ測定。光学式方法は当社独自技術である。
- ② リモート監視機能（複合環境センサシリーズ共通）  
計測したデータを通信機能により自動収集・リモート監視が可能。通信方式は、有線または無線タイプより選択できる。
- ③ データロギング（複合環境センサシリーズ共通）  
計測したデータを40,000点（1時間に1回のロギングで4年分）内部メモリに記録。記録したデータはUSB端子より専用ソフト（当社HPよりダウンロード可能）を利用してパソコンに出力できる。
- ④ 簡単設置  
センサ本体、センサヘッド共に軽量かつコンパクト。センサ本体はDINレールに設置可能。また、汎用ソケットにより簡単に取り付け・交換が可能。センサヘッドはコネクタにより簡単に交換可能である。

表1 一般塵埃検知センサ 仕様概要

項目	仕様	
	MES-32	MES-33
外形・重量	本体：W50×H79×D120 (mm)・250g以下 センサヘッド：W51×H30×D91 (mm)・200g以下	
制御電源	AC85～264V 47～63Hz	
測定項目	塵埃堆積程度/絶縁抵抗/温度	
機器設定・データ収集	USB端子(USB2.0準拠) 専用ソフトを無償提供	
ロギング点数	40,000点	
通信機能	有線 (RS-485)	無線 (920MHz帯マルチホップ)

### 4. 一般塵埃検知センサの特徴的な機能

図3にセンサヘッドの上面の写真を示す。センサヘッド開口部に堆積する塵埃を2種の方法でセンシングしている。図に示すとおり、開口部の左が塵埃堆積測定部（反射板）、右が絶縁抵抗測定部（模擬電極）である。



図3 センサヘッド上面写真

#### 4. 1 塵埃堆積測定

本測定部は光源、反射板及びフォトセンサから構成されている。測定のプロセスは以下のとおりである。

- ① 光源から発生した光が反射板を反射してフォトセンサに到達する。
- ② 反射板に塵埃が堆積すると反射率が低下し、フォトセンサに到達する光量が減少する。
- ③ フォトセンサは、到達する光量が減少すると、内部抵抗値が上昇する。フォトセンサに直列に接続した電測抵抗の発生電圧（センサ出力）を検知することにより、光量の減少を検知できる。

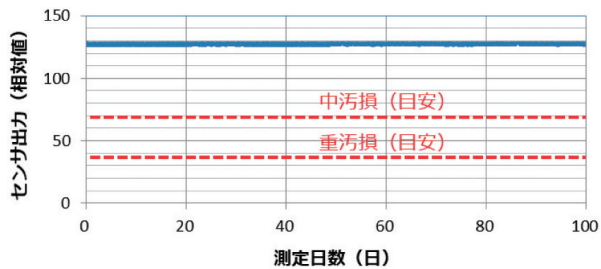
表2に、塵埃堆積状況に対するセンサ出力値の確認結果を示す。試験塵埃は、JIS試験用粉体1（8種関東ローム）を使用している。塵埃堆積量の増加にしたがってセンサ出力が低下しており、塵埃堆積による汚損程度をセンシングできることを確認した。

表2 塵埃堆積状況に対するセンサ出力値確認結果

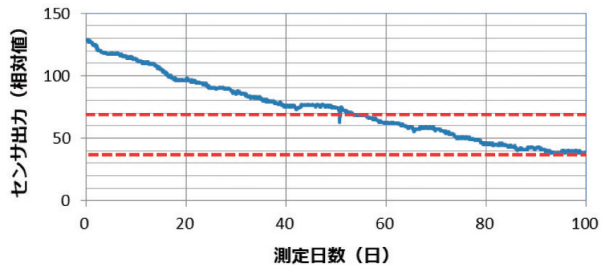
項目	堆積なし	0.35mg/cm <sup>2</sup> 堆積	1.4mg/cm <sup>2</sup> 堆積	3.5mg/cm <sup>2</sup> 堆積
塵埃堆積状況写真				
センサ出力	130	100	50	15
汚損状態	無汚損	軽微	中汚損	重汚損

図4 a) ~c) に実フィールドにおける効果確認試験結果を示す。a) ~c) の試験条件は以下のとおりである。

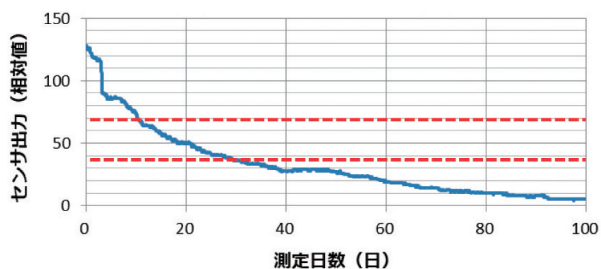
- a) 塵埃堆積量が少ない。
- b) 塵埃が多く発生する場所の近傍。堆積量はかなり多い。
- c) 塵埃が多く発生する。堆積量は非常に多い。



a) 塵埃堆積量が少ない場所



b) 塵埃堆積量がかなり多い場所



c) 塵埃堆積量が非常に多い場所

図4 塵埃堆積センシング効果確認試験結果

測定期間は、2019年11月18日～2020年2月26日(100日)である。各図中に目安として汚損レベル(中汚損：センサ出力75以下 重汚損：同45以下)のラインを追記している。

測定期間中、a) の環境ではセンサ出力がほとんど低下していないのに対し、b) c) ではセンサ出力の低下が確認され、c) において最も低下速度が高いことが確認された。

b) の環境は80日程度で、c) においては20日程度で重汚損レベルまで塵埃が堆積することを確認した。

センサにて、塵埃堆積状況の常時監視が可能であることを確認した。

#### 4. 2 絶縁抵抗測定

本測定部は、模擬電極(櫛型電極)により構成されている。本電極の抵抗値を測定することで、塵埃付着・吸湿による絶縁低下の有無を監視している。

図5に、模擬電極に塩分を付着させ、湿度サイクルを印加した場合の抵抗値の推移を示す。塩分付着量は、0.022mg/cm<sup>2</sup>である。相対湿度を50%RHから90%RHまで上昇させた後、50%RHまで低下させている。抵抗値は図5の矢印の方向で変動している。

抵抗値の低下は75%RH以上で顕著になり、湿度最大値で最低値(到達最低抵抗と定義)となるのが分かる。絶縁低下は湿度の影響を受け、高湿度となるとリスクが高まることが再確認できる。

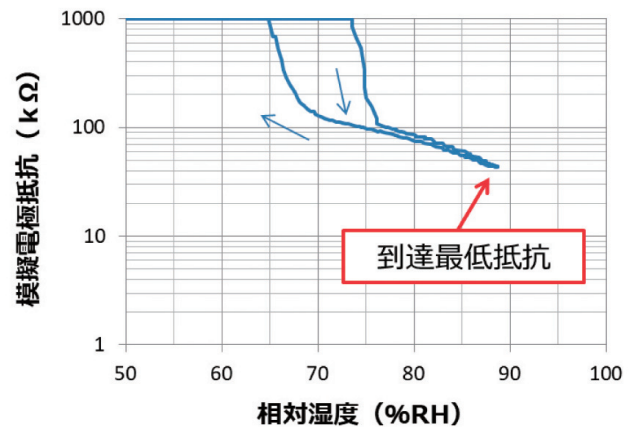


図5 模擬電極湿度サイクル試験結果

図6に、複数の塩分付着量に対して同様の湿度サイクル試験を実施したときの到達最低抵抗を示す。塩分付着量の増加に伴い、到達最低抵抗が低下し、0.01mg/cm<sup>2</sup>の付着で100kΩ程度に低下し、0.1mg/cm<sup>2</sup>まで付着が進行すると、10kΩ近くまで低下することを確認した。

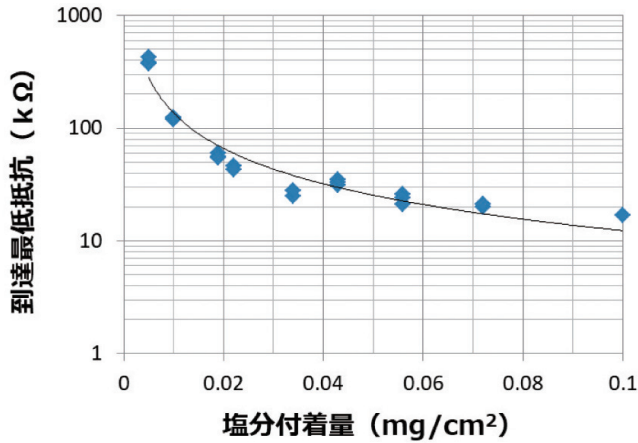


図6 塩分付着量に対する到達最低抵抗

#### 4. 3 通信・データ自動収集

本装置は、通信機能を標準装備しており、計測したデータの自動収集・リモート監視が可能である。通信方式は、有線（MES-32：RS-485）と無線（MES-33：920MHz帯マルチホップ）のいずれかを選択可能である。本通信方式は、複合環境センサ従来製品（MES-12/13）と共通であり、容易に複数種のセンサを組み合わせリモート監視することが可能である。

図7に、データ収集構成の一例を示す。電気設備に設置した複数種の装置が収集した環境データはゲートウェイに集約され、リモート監視することが可能である。

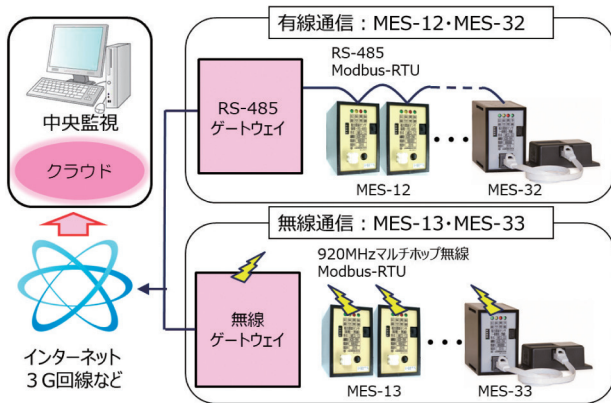


図7 データ収集構成の一例

### 5. フィールド試験結果

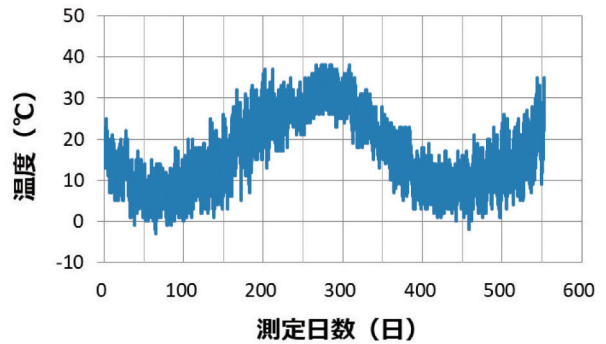
以下の条件にてフィールド試験を実施した。

- ① 試験場所：首都圏食品工場  
(山沿いで花粉飛来あり。塩害地域ではない。)
- ② 対象設備：強制換気のある屋外電気設備
- ③ 設置センサ
  - ・複合環境センサ MES-13
  - ・一般塵埃検知センサ MES-33

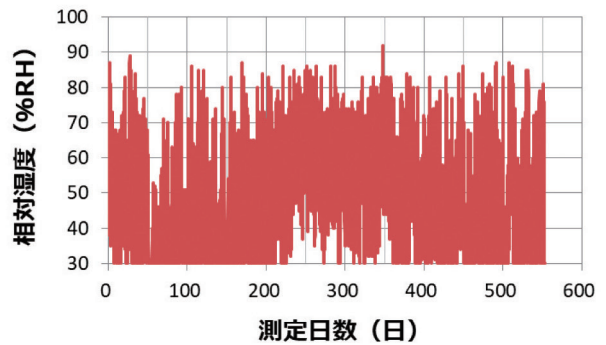
- ④ データ取得期間：2018年11月～2020年5月  
各センサによる計測データはリモート監視としている。

#### 5. 1 各種トレンドデータ

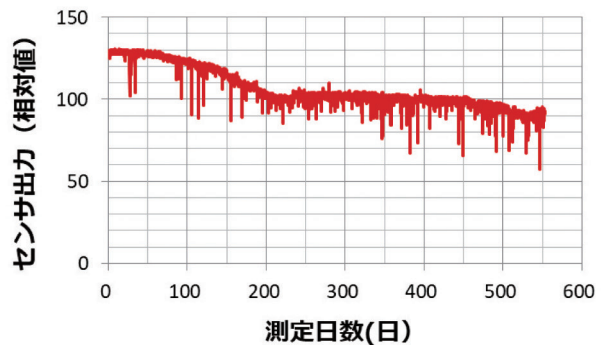
図8 a)～d) に各トレンドデータを示す。



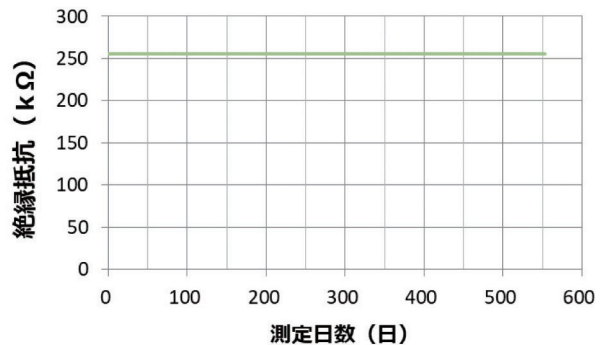
a) 温度測定結果



b) 相対湿度測定結果



c) 塵埃堆積測定結果



d) 絶縁抵抗測定結果

図8 各種トレンドデータ

a)・b)はそれぞれ温度・相対湿度の測定結果であり、MES-13にて測定を実施した。c)・d)はそれぞれ塵埃堆積・絶縁抵抗の測定結果であり、MES-33にて測定を実施した。

### 5. 2 温度・相対湿度測定結果

設備設置環境は、日毎の温度変化が大きく、夜間に温度が低下することが分かる。相対湿度は高湿度(80%RH以上)が頻繁に発生しているが、夜間の気温低下(露点低下)による相対湿度上昇と考えられる。高湿度による絶縁低下がやや懸念される環境である。

### 5. 3 塵埃堆積測定結果

トレンドデータは測定日数の増加に対して低下しているが、図4のトレンドデータとは異なり、長期的なセンサ出力低下に重畳して一時的な出力低下が確認されている。本出力低下のタイミングと相対湿度上昇のタイミングはよく一致することを確認した。一時的な出力低下の原因は水分付着による反射板の反射率低下と考えられる。

このような出力低下は結露・絶縁低下の前兆現象とも考えられるため、対策を講じることが望ましいと考えられる。

図8 c)のトレンドデータを数値処理し、一時的な出力変動を除去したトレンドグラフを図9に示す。

図中、測定日数110~200日、470~560日は、測定開始後それぞれ1年目、2年目の3~5月の花粉飛来時期であり、センサ出力低下が顕著であることが分かる。ここで1年目のほうが出力低下が顕著な原因は、花粉飛来量が1年目のほうが多いことが考えられる。気象庁の花粉飛来予想によれば、2019年よりも2020年が花粉飛来量が少ないことが報告されている。

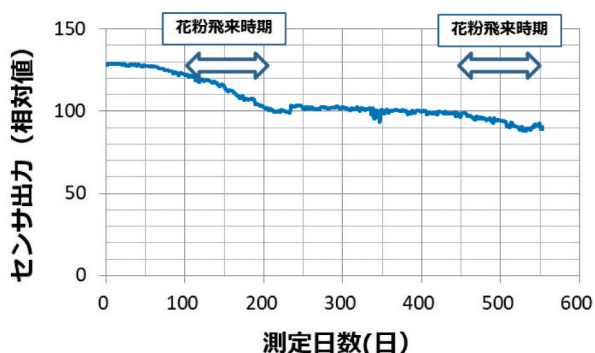


図9 塵埃堆積長期トレンドデータ

### 5. 4 絶縁抵抗測定結果

測定期間の範囲では絶縁抵抗は測定最大値であり、抵抗低下は確認されなかった。2018年11月~2019年5月に堆積した塵埃の調査を行ったところ、塵埃はスギ花粉または砂塵であることを確認した。また、等価塩分量評価結果は0.001~0.002mg/cm<sup>2</sup>であり、塵埃に導電性がないことを確認した。図10に塵埃の電子顕微鏡写真を示す。

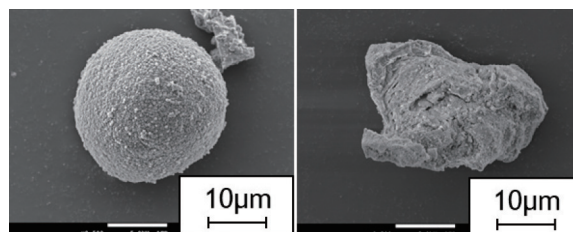


図10 塵埃観測事例 (左:スギ花粉 右:砂塵)

## 6. まとめ

電気設備のメンテナンス効率化実現に向けて、一般塵埃検知センサを開発した。本センサは、電気設備の汚損に関して塵埃堆積と絶縁抵抗の両方をセンシングできることを特長とする。

効果確認試験の結果、本センサは設備の汚損進行状況の常時監視が可能であり、電気設備の汚損によるリスク検知に有効であることを確認した。今後、監視データの更なる蓄積を進めるとともに汚損からトラッキング劣化に至るプロセスを明確にしていきたい。

また、複合環境センサシリーズの更なるラインアップ化と診断技術の向上を推進し、今後、電気保安のスマート化に貢献していく所存である。

## 7. おわりに

本開発は、日本ファシリティ・ソリューション株式会社と共同で進められた。日本ファシリティ・ソリューションの小澤正一氏、伊藤陽人氏に深く感謝の意を表す。

### 参考文献

- (1) 千林 他:「複合環境センサと環境データの活用」、日新電機技報、Vol.63 No.1、pp.63-68(2018.4)

執筆者紹介



千林 暁 Satoru Sembayashi  
電力・環境システム事業本部  
ソリューションシステム事業部  
電子機器開発部 グループ長



福永 哲也 Tetsuya Fukunaga  
電力・環境システム事業本部  
診断プロジェクト推進室



坪田 浩治 Koji Tsubota  
電力・環境システム事業本部  
ソリューションシステム事業部  
電子機器開発部長



竹内 雅靖 Masayasu Takeuchi  
技監