

変電所における巡回検査自動化手法の開発



平野 太一*1



青山 光*2



向井 茂雄*3



加藤 洋*4

Development of a patrol inspection method using sensing technology at a substation

Taichi HIRANO*1, Hikaru AOYAMA*2, Shigeo MUKAI*3, and Hiroshi KATO*4

*1 Researcher, Technical Center, Research and Development Center of JR EAST Group

*2 Manager, Tokyo Electrical Construction and System Integration Office

*3 Assistant Chief Researcher, Technical Center, Research and Development Center of JR EAST Group

*4 Principal Researcher, Technical Center, Research and Development Center of JR EAST Group

Abstract

Substation equipment is important to ensure the safe and stable train operation. To check the soundness of substation equipment, we need to patrol substations at appropriate intervals to confirm the presence or absence of abnormalities. Some of checking points rely on the human five senses such as the abnormal sound. Assuming that the number of maintenance personnel will decrease due to the future population decline, we have developed and verified an inspection machine for the purpose of conducting patrols with an inspection machine.

●**Keywords:** Substation, Patrol, Inspection, Maintenance, Machine

*1 JR東日本研究開発センター テクニカルセンター 研究員

*2 東京電気システム開発工事事務所 変電・工事 副課長(元 JR東日本研究開発センター テクニカルセンター)

*3 JR東日本研究開発センター テクニカルセンター 副主幹研究員 *4 JR東日本研究開発センター テクニカルセンター 上席研究員

1. 緒言

当社には、自営の発電所や電力会社から供給される電力を電車へ供給するため、運転用変電所が設置されている。運転用変電所は図1に示すようなさまざまな設備で構成されており、これらの設備の健全性確認のために人が定期的に現地に赴き、視覚や聴覚、嗅覚などを頼りに異常の有無を確認する保全巡回検査を実施している。

一方、将来の少子高齢化や就労人口減少による保守要員の減少が懸念されている。そこで、保守の省力化を見据え、機械による保全巡回検査の実現可能性を検証するため、カメラ、マイクなどのセンサを搭載した移動体を開発し、離れた事務所にてセンサで取得した情報により現地での検査と同等な検査が可能であるか検証を行った。



(a) 変圧器



(b) 整流器



(c) 交流しゃ断器



(d) 直流しゃ断器

図1 運転用変電所の主要設備

2. 移動体および周辺設備の開発

2・1 移動体の開発

開発する移動体への搭載センサの検討を行うにあたり、現状の巡回検査の実施について定めている保全標準を確認したところ、各機器により記載に差異はあるものの、概ね機器の外観の異常有無、機器周辺の異常音の有無、機器周辺の異臭の有無が確

認項目として設定されていることを確認した。そのため、移動体への搭載センサとしては機器外観確認のためカメラ、異常音有無の確認のためマイク、異臭有無の確認のため臭気センサ、また、異臭はケーブルなどの温度上昇により発生することが推定されることからサーモカメラを搭載することとした。それぞれのセンサについて以下に示す。屋外にて用いるカメラ、サーモカメラについては屋外仕様のものとした。

(1) 画像カメラ

設備の外観やメータ数値を撮影するため、画像カメラを搭載した。屋内では、カメラより5m先の対象物を撮影可能、屋外ではカメラより10m先の対象物を撮影可能のものとした。

(2) サーモカメラ

設備の温度状態をビジュアル的に捉える目的で搭載した。測定温度範囲は-10℃～140℃まで可能とした。

(3) 集音マイク

人間の可聴域を網羅するため、集音可能な周波数帯域を20Hz～20kHzとし、対象設備の発する音のみを集音するため指向性を有している。

(4) 臭気センサ

ケーブルやリレーが過熱したことにより被覆から発するガス成分を異臭と定義し、発生する揮発性有機化合物 (VOC) を検知可能なセンサとした。ケーブル (CV、CVV、IV) を加熱した際に発生したガス成分の定量・定性分析を行った結果、どれもアセトフェノンの割合が多かったため、これに過敏に反応するようセンサを校正した。

以上のセンサ類のメーカーおよび諸元を表1に示す。

表1 センサ類のメーカー・諸元

パーツ		製造メーカー	諸元
画像カメラ	屋内	パナソニック	640×480画素 (VGA)、光学21倍ズーム
	屋外	AXIS社 (米国)	1920×1080画素、光学32倍ズーム、屋外仕様
サーモカメラ	屋内	FLIR Systems社 (米国)	80×60画素
	屋外	AXIS社 (米国)	336×256画素、屋外仕様
集音マイク		AZDEN	超指向性、周波数特性: 20Hz～20kHz
臭気センサ		Ion Science社 (英国)	VOC (揮発性有機化合物) 検知用、検知範囲: 0～10ppm

また、移動体の駆動方式としては、屋内で実施可能な天井にレールを設置し移動させるモノレール方式のほか、四輪タイヤにより地面を走行させる方式は屋外で実施可能なことからこれら2つの方式の開発を行い、巡回検査と同様のルート走行の可否や現地での人による検査と同等の検査ができるのか確認を行った。開発した屋内用移動体および屋外用移動体をそれぞれ図2、図3に示す。屋内移動体自己位置推定手法は、レール走行時の車輪の回転数にて把握しているが、レールへのほこりの堆積などによる空転のため、位置ずれの可能性があるため、レール継ぎ目部にマーカを設置し、補正を行うこととした。屋外移動体の自己位置推定手法はLidarおよび左右のタイヤの回転数を併用して行ったが、徐々に誤差が生じるため、走行路にはQRコードのマーカを設置し自己位置の補正を行うこととし、狭隘箇所ではライトレースにより走行させる方法をとった。どちらも、事前に設定したスケジュール、ルートにより移動体が自動で走行しデータを取得する自律走行、遠隔の事務所からの操作により走行しデータを取得する手動走行とも可能であり、障害物があれば自動で検知し停止する機能を有している。

2・2 周辺設備の開発

移動体の操作、設定および検査記録確認を行うため、制御端末および遠隔操作端末の監視画面を使用する。制御端末の外観を図4に、遠隔操作端末の外観を図5にそれぞれ示す。現地と事務所間は、Wimax2+による無線通信を使用した。監視画面は、リアルタイムにおいては、撮影画像表示、移動体現在位置表示、ズーム・フォーカス設定、ワンタッチによるホーム帰還などの操作ができる。監視画面イメージを図6に示す。また、ネットワーク構成のイメージを図7に示す。

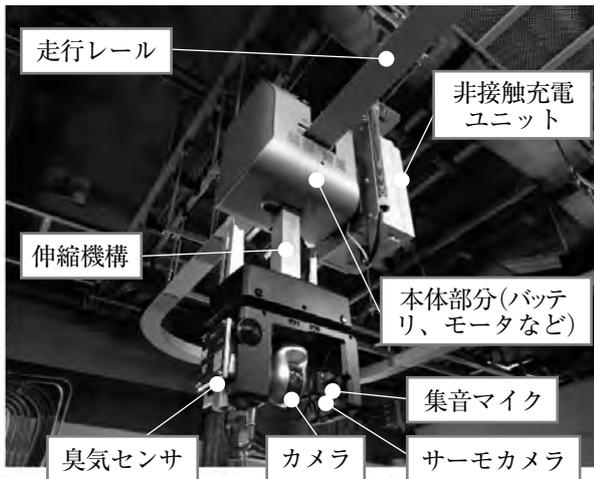


図2 屋内用移動体

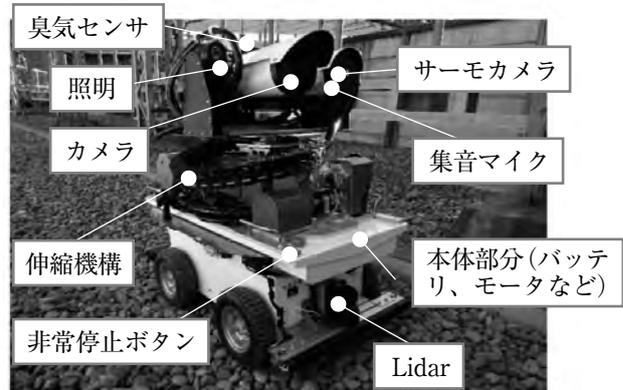


図3 屋外用移動体



図4 制御端末(変電所側)



図5 遠隔操作端末(事務所側)

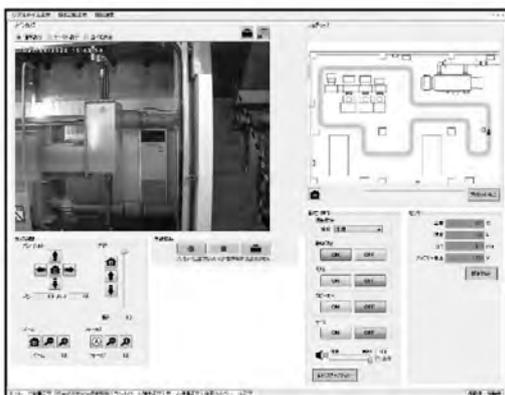


図6 監視画面イメージ

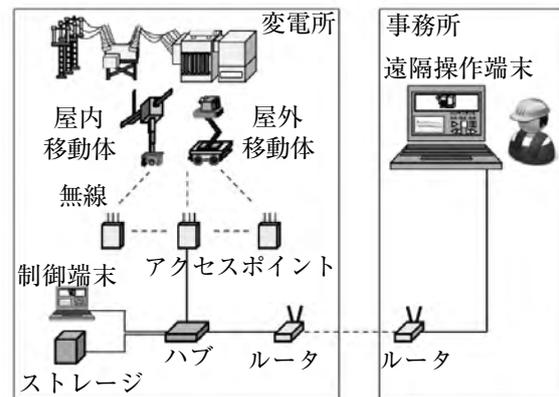


図7 ネットワーク構成イメージ

3. 検証結果

3・1 移動体搭載の各センサによるデータ取得の状況

(1) 画像カメラ

屋内では、レール敷設の都合上、設備を一つの角度からしか確認できない場合があるが、屋内設備の外観の劣化状況は一様とみられるため問題ないと思われる。また、対象設備への接近が難しい場合があるが、カメラのズーム機能を用いることで問題なく外観を捉えることができた。屋外では設備の背景に太陽光がある場合、逆光により設備の外観が見えづらい状況となるほか、カメラのフォーカス時に周囲の状況によりぼやけが生じるなど、外観の状態を詳細に確認する際に困難を伴う場合もあった。課題はある

ものの概ね端末画面の設備を写した画像から実際の目視と同等に外観状況の確認を行うことができた(外観、断路器投入状態、サーモカメラおよびボルト類締付状態など)。

(2) サーモカメラ

サーモ画像と実際の変圧器など設備に搭載されたアナログ温度計の表示を比較し確認したところ、実際の温度を適切に表示できていた。ただし、サーモ画像は、筐体・扉類外壁温度を表示するため、筐体・扉類内部の温度を把握できない可能性がある。なお、画像カメラで可能なズーム機能がサーモカメラにはないため、画像カメラとの比較はズーム不使用の場合に限られる。

(3) 集音マイク

遠隔操作端末にて、自律走行により収録された音響をスピーカーやヘッドホンで聞くことにより、静止器の励磁音、人の話し声、足音および作業音など、現地での実際の音響を把握することが可能であった。また、「周波数パワースペクトル法」¹⁾による異音検知ソフトで集音データを描画した結果を遠隔操作端末に表示するように設定しているが、移動体に搭載のマイクにより、人間の可聴域である20Hz～20kHzの周波数帯を集音でき、この周波数帯を含め異音検知ソフトによる音圧の表示が可能であることを確認した。

異音を模擬した場合に、異音検知ソフトの機能により異音を判別できるか確認を行い、異常音のサンプルである拍手や話し声、現場作業の音を異常音として検知可能であることを確認した。

(4) 臭気センサ

臭気検知の確認は、移動体に搭載のセンサから10cm～1m下方へ離れた位置にてケーブル外皮の加熱を行い、それが臭気センサの数値モニタにて数値の上昇として把握できるか確認した。

試験前の数値とケーブル外皮を加熱した試験時と比較し、明確な違いが現れないことを確認した。臭気を検知できなかった理由としては、臭気の濃度が低いため、センサで検知することが困難であるということが考えられる。センサを含めた空間を容器などで密閉し、その中にガスを充填させれば検出は可能である。今回、屋内にてこのような結果となったことから、屋内、屋外とも異臭をセンサで捉えることは困難であると考え。そのため、別途ケーブル類の過熱を捉えるセンサが必要であり、サーモカメラによりそれが代替できるのではないかと考える。サーモカメラの画像により、機器過熱時は温度上昇を可視化できることを確認している。

3・2 移動体の走行

屋内移動体はレール上を問題なく走行できることおよび対象物の状態把握を問題なく行える程度の停止位置精度を確保していることを確認した。屋外移動体は当社の変電所にて一般的な地面環境である砂利面を問題なく走行できることを確認した。自己位置推定に関しては、ライントレース時に影をラインと誤認識するという状況が確認されたため、ライン撮影画像に処理を施す必要があった。また、Lidarのレーザ照射範囲より低い位置に変電設備の基礎がある場合もあり、その場合には障害物として認識ができないため走行路の一部にブロック塀などのレーザ照射の対象となる高さのある障害物の設置が必要であった。

3・3 導入に向けた課題

屋内移動体、屋外移動体とも開発品のため耐久性に問題があり、試験期間中に駆動部が破損するというトラブルがあったため、今後の開発では耐久性も考慮した移動体の駆動部の採用が必要である。また、算出した導入費用が効果に対して非常に高額となるため、コスト低減も課題である。

4. 結言

本開発では、変電所の保全巡回検査を実施可能なセンサを搭載した移動体を開発し、検証を行った。移動体にて得た情報を遠隔操作端末から確認することで人が現地で行うのと同様な設備状態の把握が行えることを確認したが、耐久性と導入コストに課題があることを確認した。

参考文献

- 1) 平野他、「電鉄用変電所設備における異音検知手法の検討」、電気学会産業応用部門大会、R5-17、5-71、(2019)