

エレベーター遠隔監視における センサネットワークの構築

Construction of Sensor Network for Remote Elevator Monitoring System

吉岡 賢司

樋廻 隆行

出森 公人

植野 研

■ YOSHIOKA Kenji

■ HIMAWARI Takayuki

■ IDEMORI Kimito

■ UENO Ken

近年、エレベーター設置台数の増加に伴い保守点検作業では、作業時間の削減や、専門技術者の不足と技術継承の途絶、省スペース化による作業性の低下など、様々な課題が増大しつつある。限られた人員で効率よく保守を行うためには、点検作業の一部を機械化することが不可欠である。

そこで東芝エレベータ(株)は、省力化と信頼性の向上を両立させるため、エレベーター各部に無線通信が可能なセンサを設置し、センシングデータの収集と総合的な判定を行うセンサネットワークを構築している。収集したデータは保全計画の策定にも活用しており、最適な時期にエレベーターの修理を提案し実施することで顧客満足度の更なる向上を図っている。

With the increase in the number of elevators in recent years, many issues have arisen including restrictions on maintenance time, a shortage of engineers with experience, interruption of technology succession, and deterioration of working conditions in smaller spaces. As a result, the introduction of remote maintenance and inspection systems has become essential to ensure efficient elevator maintenance operations.

To improve reliability and save labor, Toshiba Elevator and Building Systems Corporation has been developing a sensor network system that can remotely detect anomalies using the data of multiple wireless sensors installed in an elevator in conjunction with anomaly detection models. We are also formulating and implementing repair and maintenance plans at the optimal time based on the sensor data, to maximize customer satisfaction.

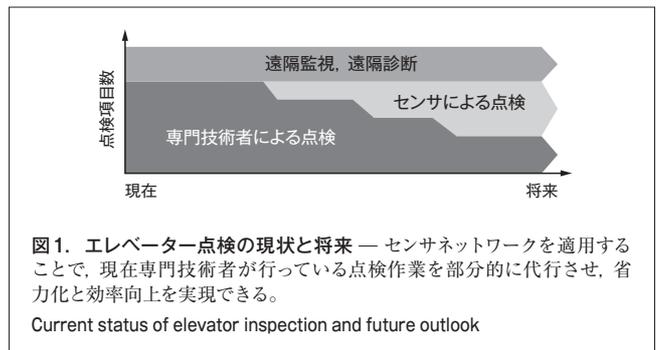
1 まえがき

近年、エレベーターの保守を取り巻く環境は、急激に変化している。例えば、24時間無休の店舗や施設などが増加したため、約400点にも上る項目を限られた時間内に点検しなければならないようなケースが増えている。また、少子化が進んで、必要な専門技術者を確保するのが困難になり、保守技術の継承が難しくなっている。更に、エレベーターの省スペース化が進展して、狭い部分の点検が増えて作業性が低下している。一方、エレベーターの設置台数は年々増加しており、これに伴って保守作業のニーズも増え続けている。

こうした状況のなか、エレベーター設備を限られた人数の専門技術者で効率よく保守するには、従来作業員が現地で行っていた点検作業の一部を機械化することが不可欠である。

また、信頼性の高い保守点検サービスを顧客へ提供するためには、エレベーターの状態を数値化して、点検時点の状態を経年変化も含め把握すること、及び保守点検している全てのエレベーターに対して同一の基準に基づいた数値管理を行うことが必須である。こうすることで点検結果報告の信頼性向上を図らなければならない。

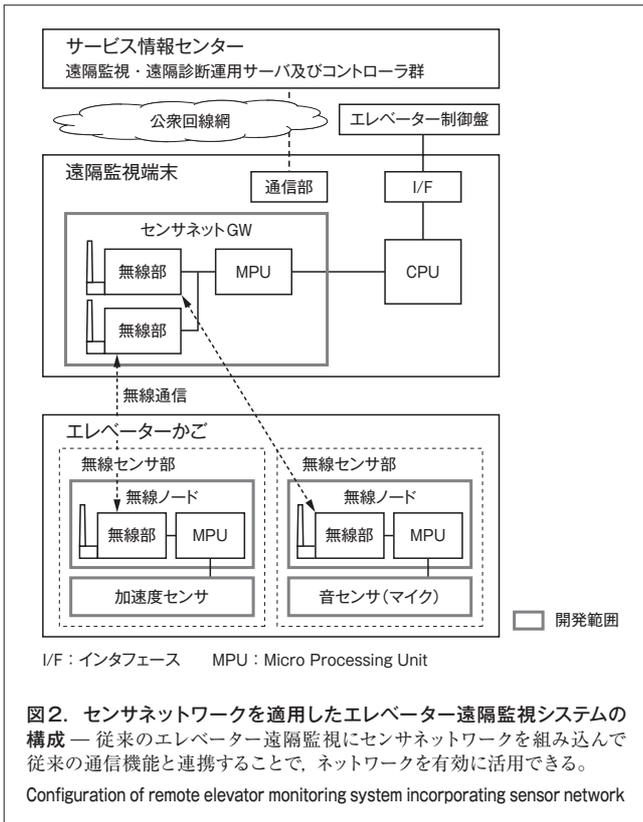
東芝エレベータ(株)は、これらの要求に応えるため、人と機械の協調による高信頼かつ低コストの保守サービスを実現できるセンサネットワークと、複数のセンシングデータから対象設備の正常/異常を判別するセンサフュージョン技術を開発した。



ここでは、センサネットワークを適用した遠隔監視システムの概要、及びこれを実現するために独自に開発したセンサネットワーク技術とセンサフュージョン技術の概要と特長について述べる。

2 システムの概要

当社のエレベーター保守点検作業内容の、将来にわたる推移を図1に示す。現在は、遠隔監視と遠隔診断、及び専門技術者による定期的点検を組み合わせで行っている。今回開発したエレベーター遠隔監視におけるセンサネットワークは、現在の遠隔監視機能や遠隔診断機能に対する付加機能として位置づけられ、専門技術者による点検作業の省力化を進めるものである。



システムの構成を図2に示す。エレベーターかごの各部に、無線通信機能を持つセンサ（以下、無線センサ部と呼ぶ）を追加する。センシングデータは、定期的に遠隔監視端末を経由して当社のサービス情報センターへ送られる。サービス情報センターでは、収集したデータを元に総合的に正常／異常を判定する。当社は、3.2節で述べるセンサフュージョン技術を主に使って高精度の判定法を開発し、総合的に遠隔監視及び遠隔診断を行う新たなプラットフォームを構築した。専門技術者によるエレベーターの点検作業を部分的に代行させることで、作業の更なる省力化と、点検のための運転停止時間の削減を実現できる。

2.1 機器構成

今回開発したシステムでは、遠隔監視の要であるサービス情報センターのサーバ群と、現場のエレベーター制御盤に取り付けられた遠隔監視端末に以下の機器を追加した（図2）。

- (1) センサネットワークゲートウェイ（センサネットワークGW） 遠隔監視端末に接続される。遠隔監視端末からセンシングデータの収集指示を受け、無線センサ部の無線ノードに対して収集指令を出す。無線ノードから送られてきたセンシングデータを受信後、必要な処理をして遠隔監視端末へ送信する。
- (2) 無線ノード センサネットワークGWからの指示に従ってセンシングデータを収集する。
- (3) 加速度センサ エレベーターかごが走行を開始して

から終了するまで、加速度を3軸で計測する。

- (4) 音センサ（マイク） エレベーターが走行を開始してから終了するまで、走行音を収集する。

2.2 システムの特長

当社は、エレベーター設備故障の予兆を診断できる、インテリジェント遠隔監視のプラットフォームIRM_{TM}を既に構築している⁽¹⁾。これは、ローカル診断技術と遠隔監視端末の通信機能を連携させたものである。

今回開発したシステムは、このプラットフォームを有効活用しながら以下に示す特長を付加し、エレベーターの状態を精度よく採取できる。

- (1) 無線通信 センサを追加で設置する場合、従来は昇降路内又はかごへ新たな伝送用の配線を敷設する必要があった。センシングデータの収集指示や収集を無線通信で行うように、配線敷設作業や結線作業を極力減らし、省力化を実現した。
- (2) 無線センサ部 無線ノードとセンサをモジュール化して機能分離したことで、センサの交換を容易にした。これにより、エレベーターの機種変更や経年変化によって、取り付けるセンサの種類を替える必要が発生しても、迅速に対応できる。

センサは、MEMS（Micro Electro Mechanical Systems）型を採用することで小型化でき、設置場所の省スペース化や機器の軽量化を実現している。

- (3) センシングデータ収集 エレベーターの遠隔監視や遠隔診断のデータは、遠隔監視端末経由で当社サービス情報センターのサーバに蓄積している。今回追加設置したセンサによるセンシングデータは、遠隔監視や遠隔診断のデータと同じ経路で収集する。これにより新たな通信機器の設置を不要にし、設置するための時間や費用を削減した。
- (4) 異常判別 エレベーターのかご上に設置した3軸加速度センサと音センサで、走行中のかごの振動と走行音を同時に収集する。収集した加速度波形からエレベーターの異常を判別する。また、走行中に異常音が発生した場合は、同時に計測した加速度波形を使って発生箇所を特定できるようにした。

3 遠隔監視システムを実現した独自技術

ここでは、センサネットワークを適用した遠隔監視システムを実現するために開発した独自の技術について述べる。

3.1 センサネットワーク技術

従来のエレベーターの乗り心地診断では、かごの床に加速度計を取り付け、エレベーターを上昇及び下降運転して収集した振動データを解析していた。

加速度計測に通常使われるサーボ型センサは、加速度を低周波領域から計測でき分解能も高い。この加速度データを使うことで、時間・周波数分析や微積分などの処理が可能になる。しかし、この計測装置はサイズが大きく高価なため、計測作業を行うたびに設置して、終了後には取り外す必要がある。このため、数万台規模のエレベーターの診断には不向きである。

そこで、多数のエレベーターに常設して点検に必要な計測データを収集できる、センサネットワークを開発した。

センサネットワークの主な特長は、以下のとおりである。

- (1) 無線センサ部 センサ部を既存のエレベーターに追加で設置する場合には、設置可能な場所と電源の供給方法に制約がある。これを解決するため、小型化と低消費電力化が可能で、かつ低コストのMEMSセンサを音や加速度などのセンシングに採用した。センシングの分解能は既存のセンサより低いですが、センサフュージョン技術を使って正常／異常の判別を行うのに必要な精度を確保している。

無線ノード部は、センサのデータ収集と無線伝送を必要最小限のMPU (Micro Processing Unit) とメモリで処理する。これにより、小型化と省電力を実現できる。特に無線伝送では、待機時の消費電力を低減するために、独自のディープスリープ機能を開発し、待機時の消費電流を20 μ Aまで低減した(図3)。

- (2) 無線通信 加速度や音のセンシングデータをセンサネットワークGWで収集するため、1対多通信ができ、複数のデータを統合的に扱える無線モジュールを開発した。この無線モジュールには、周囲の電波状態の影響を受けにくい周波数ホッピング方式を採用した。また、誤接続防止や盗聴防止のセキュリティを確保するため、無線接続時の認証やデータの暗号化を実施した。更に、無線モジュールの送受信回路を強化して、100 m以上の昇降行程でも無線通信ができるようにした。昇降行程が100 mを超えるエレベーターを使って試験を行い、受信するの

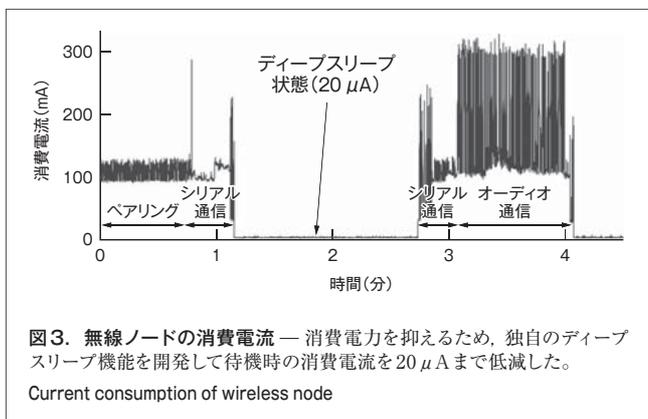


図3. 無線ノードの消費電流 — 消費電力を抑えるため、独自のディープスリープ機能を開発して待機時の消費電流を20 μ Aまで低減した。
Current consumption of wireless node

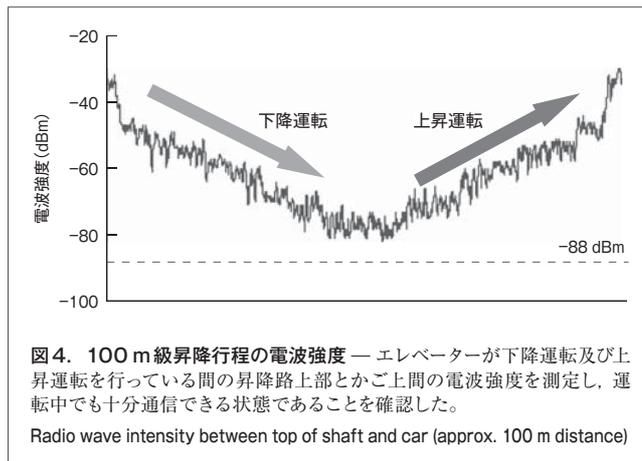


図4. 100 m級昇降行程の電波強度 — エレベーターが下降運転及び上昇運転を行っている間の昇降路上部とかご上間の電波強度を測定し、運転中でも十分通信できる状態であることを確認した。
Radio wave intensity between top of shaft and car (approx. 100 m distance)

に必要な-88 dBm以上の電波強度を、全行程で確保していることを確認した(図4)。

- (3) センシングデータの処理 このシステムでは、センサネットワークGWが接続された遠隔監視端末内のエージェント(注1)を用いて無線ノードの遠隔保守を行い、保守員に代わって作業を実行することで省力化を実現した。

3.2 センサフュージョン技術

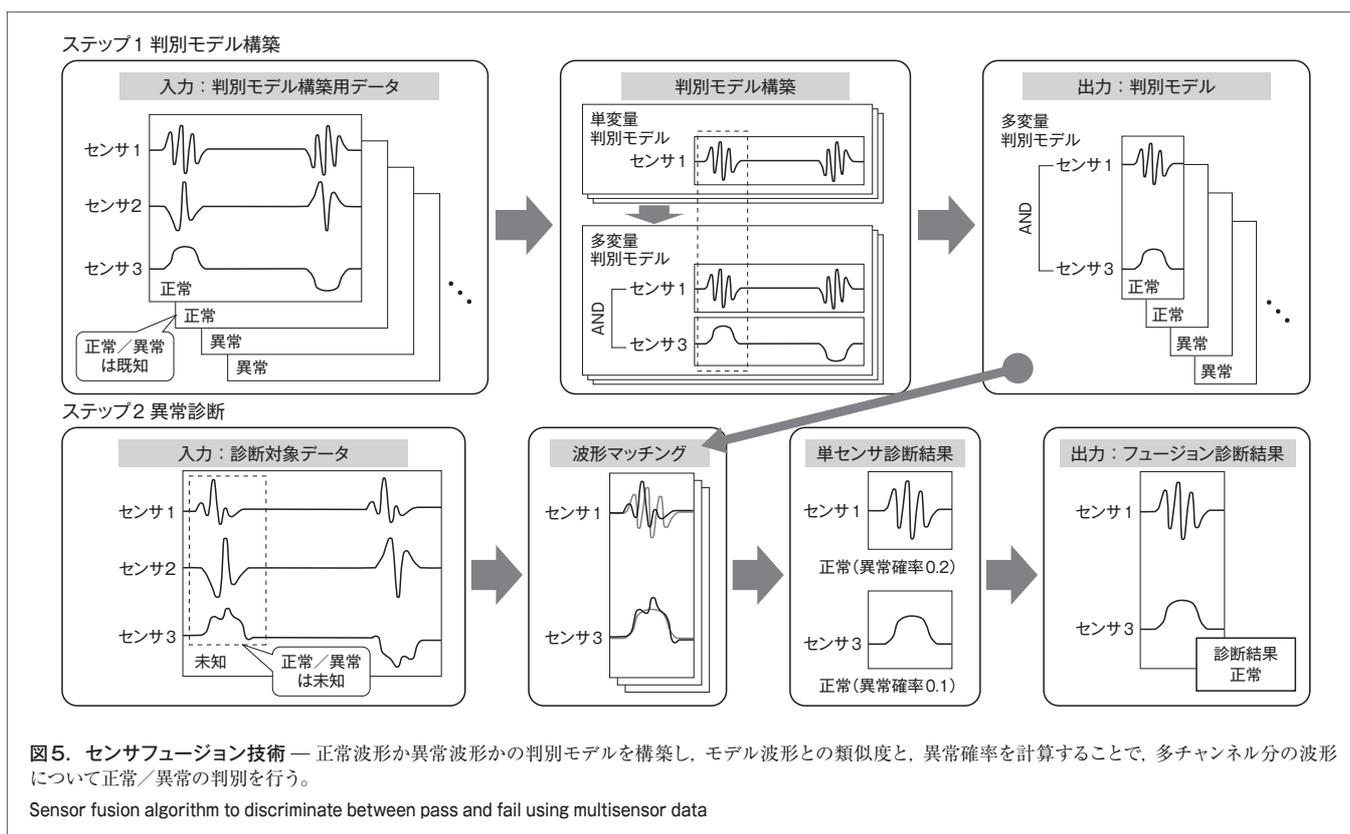
これまで、エレベーターの遠隔異常診断、特に乗り心地診断では、管理限界曲線に基づく異常判定方式が用いられてきた。かご揺れ加速度波形の振幅が、あらかじめ設定した上限又は下限値を超えたときにアラームを発生する方式である。

今回開発したシステムでは、乗り心地診断用に3.1節で述べた利点を持つMEMS加速度センサを採用している。MEMSセンサは精度の良いサーボ型加速度センサとは異なり、低周波数領域での分解能が低いため、誤報や異常見逃しを抑えるためにしきい値を適切に設定するのが難しい。

この問題を解決するため、複数のセンサ波形を一括して総合的に判断して正常／異常を判定する、波形判別に基づくフュージョン技術を開発した(2)。

センサフュージョン技術による正常／異常判定方法の概要を、図5に示す。正常状態と異常状態に設定した状態で波形群をあらかじめ収集しておく。診断波形から精度向上に寄与するセンサの部分波形を、補完的に選択し学習させることで判別モデルを構築した点が特長である。診断を行うときには、まず、診断対象の波形と判別モデルの部分波形との類似度を計算し(波形マッチング)、その類似度に基づき各センサの波形の正常／異常を判定する(単センサ診断結果)。そして、単センサ波形の判定結果から、判定に寄与するセンサを選択し、選択された全てのセンサの単センサ判定時の異常確率に基づいて総合的な異常確率を計算することで、診断対象が正常か

(注1) タスクの一部を実行するソフトウェアをネットワーク上に常駐させ、各無線ノードでそれを実行させる機能。



異常かを判定する（フュージョン診断結果）。以上の手順により、波形にしきい値を設定せずに高い精度で正常/異常を判別できるようになる。

現在、このフュージョン技術は、3軸加速度センサを用いた乗り心地診断を対象としているが、原理的に複数の異種センサを扱うことができるため、例えば電圧・電流波形を用いてブレーキギャップ寸法の経年変化を異常診断することも可能である。正常/異常状態の波形データをあらかじめ取得できるケースであれば、他の点検項目にも適用できるため、保守効率化のための主要な技術の一つになると期待できる。

4 あとがき

今回開発したセンサネットワークは、最新のエレベーターを対象としているが、現在保守点検サービスを行っている数万台規模の旧機種エレベーターとエスカレーターについても適用の検討を進めていく。

当社は、今回開発した技術を適用することで、保守点検作業に伴うエレベーター停止時間を低減して、利用者及び管理者のいっそうの顧客満足度向上を図っていく。更に、センサを使った点検作業の省力化を拡大し、専門技術者による現地作業の効率向上と収集したデータに基づく最適な保全計画を策定して必要な修理の提案を行うことで、品質保守点検サービスの向上を図る。

文献

- 1) 出森 公人. インテリジェント遠隔監視システム. 東芝レビュー. 63, 9, 2008, p.58 - 59.
- 2) 植野 研 他. 時系列波形分類学習による低スペックセンサー信号からの状態判別. 電子情報通信学会 信学技報SSS2009-35. 109, 473, 2010, p.23 - 26.



吉岡 賢司 YOSHIOKA Kenji

東芝エレベーター(株) フィールドサービス技術本部 フィールド技術センターグループ長。昇降機遠隔監視システムの開発に従事。

Toshiba Elevator and Building Systems Corp.



樋廻 隆行 HIMAWARI Takayuki

東芝エレベーター(株) フィールドサービス技術本部 フィールド技術センター主任。昇降機遠隔監視システムの開発に従事。

Toshiba Elevator and Building Systems Corp.



出森 公人 IDEMORI Kimito

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 情報・機器制御システム開発部主幹。昇降機遠隔監視システムの研究・開発に従事。電子情報通信学会会員。

Power and Industrial Systems Research and Development Center



植野 研 UENO Ken, Ph.D.

研究開発センター 研究企画部参事, 博士(政策・メディア)。データマイニングを中心とした研究企画業務に従事。電子情報通信学会, 人工知能学会, IEEE, ACM 会員。

Research Planning Dept.