

- 鉄道一般
- 車両
- 軌道
- 構造物
- 防災
- 電力
- 信号通信
情報
- 材料
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

状態監視のための センサーネットワークを構築する

センサーネットワークとは、センサーを観測箇所に設置して、対象の観測データを無線で収集するネットワークシステムのことです。センサーネットワークを用いることにより、各種設備の状態を監視することが可能となります。そのため、近年、鉄道現場においてもセンサーネットワークを用いた状態監視システムの導入が検討されています。ここでは、状態監視を目的としたセンサーネットワークに関する最近の話題について紹介します。

鉄道土木構造物の保守管理

鉄道土木構造物に対する予防保全は、主に時間計画保全(☞参照)であり、定期的実施される定期検査が中心となっています。しかし、鉄道土木構造物に対する定期検査の周期は通常、数カ月から2年程度であることから、定期検査直後に異常が発生した場合には、その異常状態が長期間放置されてしまうリスクがあります。また、これまでの定期検査ではデータの継続的な収集が困難であり、検査対象設備の経年変化傾向を適切に把握することが難しいという問題も存在します。そのため、今後の鉄道土木構造物の予防保全においては、継続的にデータを収集して、状態ベースでの予防保全を行う状態監視保全の重要性が高まることが考えられます。近年、このような状況において、センサーネットワークを活用した状態監視が注目されています。

状態監視システムによる保守管理の効率化

センサーネットワーク

センサーネットワークとは、センサーを観測箇所に設置して、対象の観測データを収集するネットワークシステムのことです。センサーネットワークはセンサー、中継器、データ集約装置から構成されます。センサーでは一定の間隔でデータを収集して、それを(必要であれば中継器や他のセンサーを経由して)データ集約装置に無線で伝送します。また、データ集約装置に集められたデータは、インターネットなどの公衆網や専用回線を利用して、データベースサーバーに蓄積されます(図1)。最近では、さまざまな設備へのセンサーネットワークの導入が進められています。導入事例として、トンネル、橋脚、駅構内に設置されたセンサーネットワークの現場写真を図2に挙げます。



羽田 明生

Akio Hada

信号・情報技術研究部
ネットワーク・通信研究室
副主任研究員

【専門分野】 組合せ最適化、アルゴリズム理論



岩澤 永照

Nagateru Iwasawa

信号・情報技術研究部
ネットワーク・通信研究室
研究員

【専門分野】 グラフ理論、無線ネットワーク

☞ 時間計画保全

対象設備の故障や異常などの状態を考慮して保全を実施する時期を決める方法ではなく、対象設備の動作時間や経過時間などを考慮して保全を実施する時期を決める方法を時間計画保全といいます。

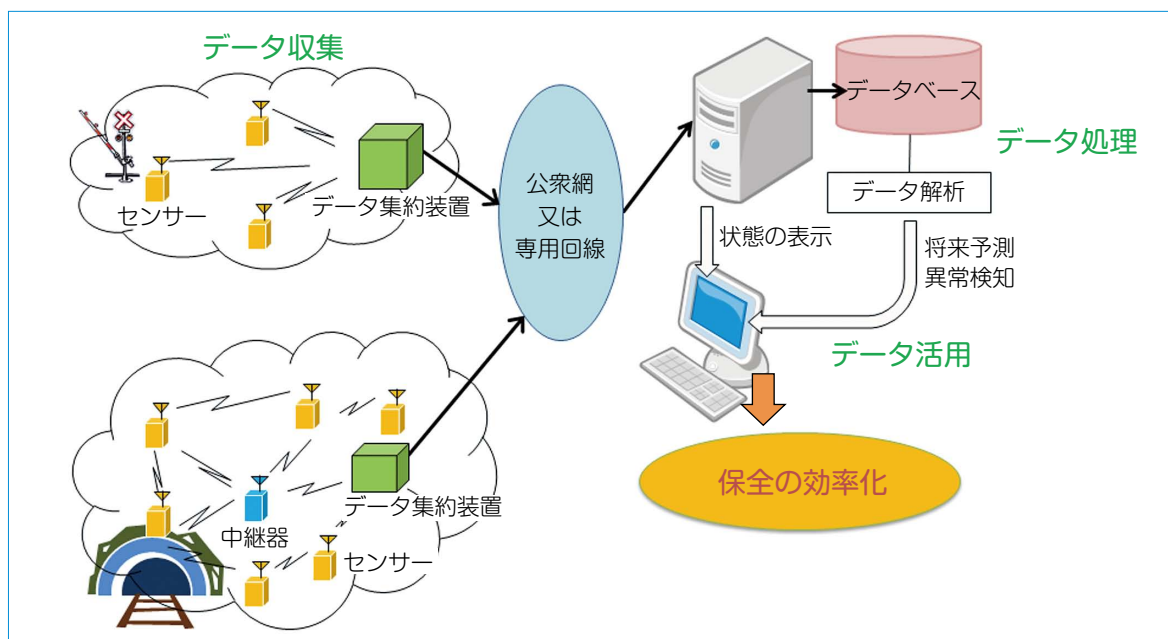


図1 センサーネットワークを用いた状態監視システムによる保全の効率化



図2 センサーネットワークの導入事例 (黄色円はセンサーの設置箇所)

状態監視システム

状態監視システムの機能は、データ収集、データ処理、データ活用に大別することができます(図1)。データ収集では、有線や無線のシステムを利用して設備の状態に関するデータを集める方法や、USBなどを利用してセンサーから直接データを回収する方法などが考えられます。図1では、センサーネットワークを利用して、監視対象の設備からデータを集めている例を示しています。

このように収集されたデータは、データベースサーバーに蓄積された後に、設備状態の把握に活用されます。

状態監視システムにおけるデータ処理の目的は、異常検知と将来予測に分けることができます。異常検知は、収集されたデータを常に監視して、異常状態を示すデータが観測されたら即座にそれを検知することを目的とします。異常を迅速に検知することにより、異常状態の見逃しを防ぐことができます。また、早期補修による維持管理費用の低減も期待できます。一方、将来予測は、データベースサーバーに蓄積された大量のデータを解析して、経年変化傾向を予測することを目的とします。長期的な変化傾向を把握することにより、効率的な維持管理スケジュールの

作成が期待されます。

このように、状態監視システムでは、これまでの時間計画保全では難しいと考えられてきた、リアルタイム監視や詳細な時系列データに基づいた保全の効率化を目指します。

センサーネットワークの設置 運用費用の最小化計画

状態監視を目的としたセンサーネットワークは、数年から十数年にわたる長期運用が想定されます。そのため、センサーネットワークを設置して運用するための費用を低減することは、システムの実運用場面における重要な課

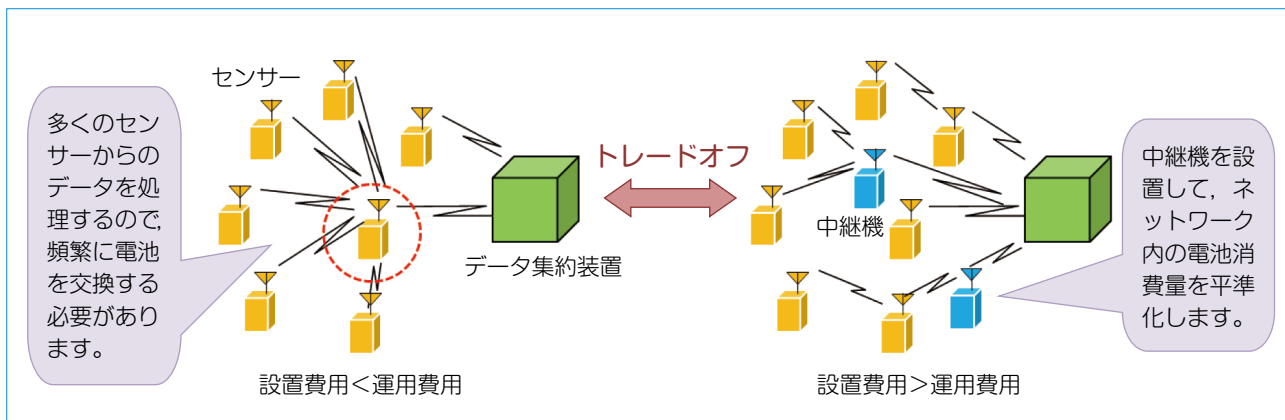


図3 設置費用と運用費用のトレードオフ関係

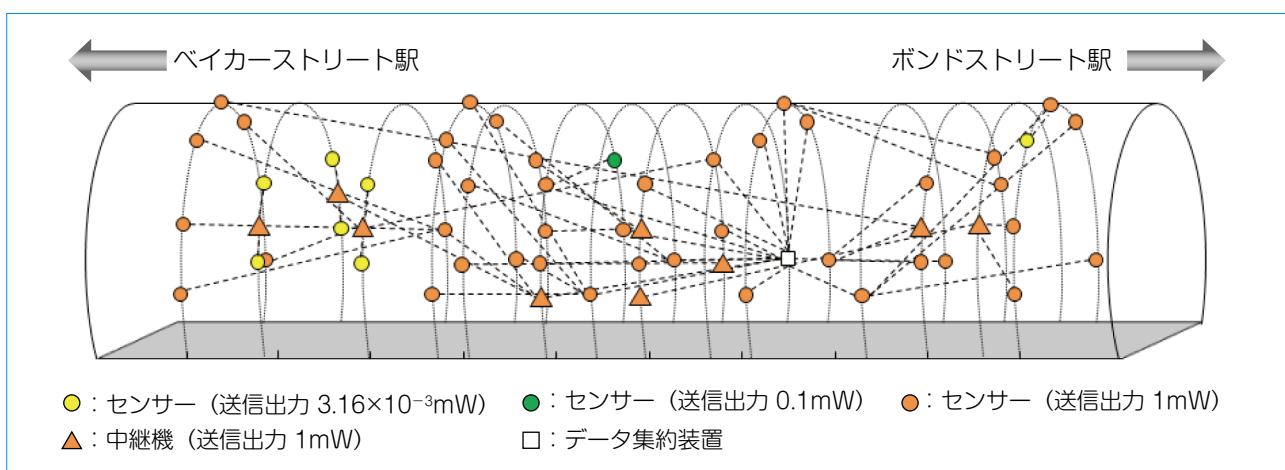


図4 ロンドン地下鉄におけるセンサーネットワーク設計案^{1),2)}

題となります。しかし、センサーネットワークの設置費用と運用する際に発生する費用は互いに密接に関係しており、それらの間にはさまざまなトレードオフ関係が存在します。例えば、一般的にセンサーと中継器は電池駆動ですが、中継器を多く設置すると、ネットワーク内の電池消費量が平準化されて、電池交換のための巡回間隔を長くできる傾向にあります(図3)。つまり、設置費用を増加させると運用費用は低下する傾向にあります。このため、これらトレードオフ関係にあるさまざまな費用パラメーターを適切に考慮して、センサーネットワークの設置費用と運用費用の総和を最小とするように、セ

ンサーネットワークを設計する手法の開発が重要となります。

状態監視のためのセンサーネットワークでは、センサーとデータ集約装置の設置場所は事前に与えられることが多く、それらの設置費用は埋没費用と考えることができます。そこで、センサーネットワークの設置費用としては、残りの中継器設置費用を考えます。また、センサーネットワークの運用においては、センサーと中継器の電池購入費用、ネットワーク内の枯渇した電池を交換するための作業費用が発生します。

一方、状態監視を目的としたセンサーネットワークは、さまざまな設置環境に導入されるため、これら設置環

境の特徴を踏まえて、中継器の設置場所、センサーと中継器に搭載された無線機の送信出力の設定、各センサーで収集したデータをデータ集約装置まで伝送するための伝送経路を適切に決定する必要があります。この問題に対して、鉄道総研では、数理的なモデルを用いてセンサーネットワークを設計する手法を開発しました^{1),2)}。

鉄道総研では、英国ケンブリッジ大学との共同研究において、ロンドン地下鉄のトンネルにおけるセンサーネットワークの設置に関わってきました。そこで、開発した設計手法を適用して、ロンドン地下鉄ジュビリー線(ベイクーストリート駅とボンドストリー

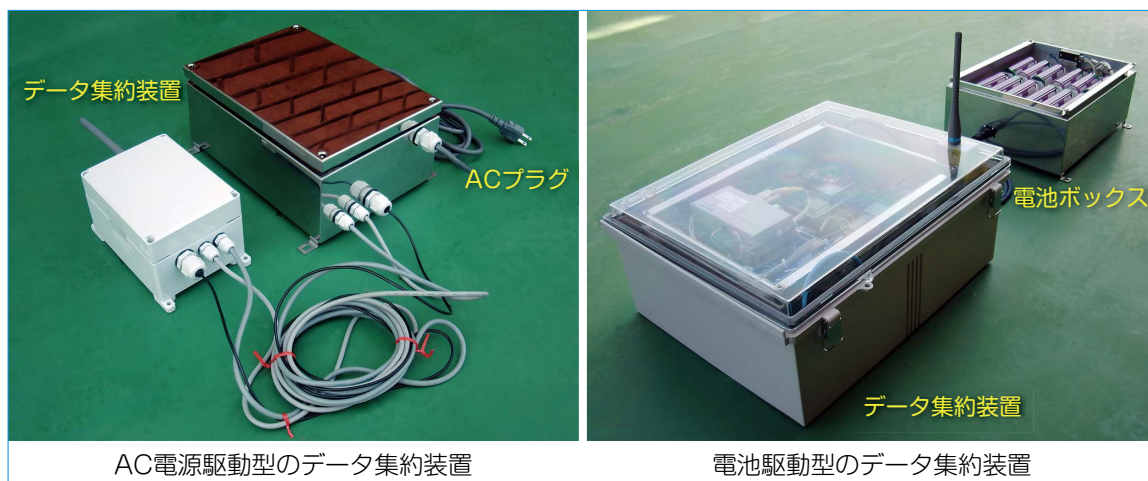


図5 開発したデータ集約装置

ト駅間)におけるセンサーネットワーク設計案を構築しました(図4)。

センサーネットワークの構築

前述の通り、センサーネットワークは、センサー、中継器、データ集約装置から構成されます。センサーは測定機能と無線機能を備えており、傾斜角や変位量などさまざまなデータを取得して、それらを無線伝送します。また、データ集約装置は、センサーや中継器から送信されるデータを受信するための無線機能と、受信したデータの処理機能およびデータベースサーバーへのデータ送信機能を持ちます。

通常、センサーや中継器の消費電力はそれほど大きくないため、多くの場合、それらは電池駆動となっています。一方、データ集約装置では、全てのセンサーから伝送されたデータを受信・処理し、それらをデータベースサーバーへ送信するため、センサーや中継器と比較すると、消費電力量は大きくなる傾向にあります。そのため、センサーネットワークを構築する際には、データ集約装置の電源確保は、重要な課題となります。

一般的にはデータ集約装置はAC電

源駆動となっています。しかし、近接施工の影響監視など運用期間が比較的短期のときには、AC電源駆動よりも電池駆動とした方が経済的な場合があります。つまり、短期監視において、監視区間内に利用可能なAC電源が確保できない場合には、データ集約装置のためのAC電源を新たに敷設する費用よりも、データ集約装置で使用する電池の購入・交換のための費用の方が低くなる場合が考えられます。

鉄道総研では、AC電源と電池のそれぞれに対応したデータ集約装置を開発しました(図5)。これらのデータ集約装置は、無線機、小型コンピューター、FOMAモジュール、タイマーから構成されています。全てのセンサーから伝送されたデータを無線機で受信します。次に、小型コンピューターで、それらをデータベースサーバーに蓄積するためのデータ処理を行います。小型コンピューターで処理されたデータは、FOMAモジュールにより、FOMA回線を介してデータベースサーバーに送信されます。なお、停電や小型コンピューターのフリーズ対策として、タイマーによる定期的な電源供給のオンオフ制御を行っています。

おわりに

本稿では、状態監視のためのセンサーネットワークに関する話題について紹介しました。上述のように、状態監視システムは、継続的に収集したデータを活用して、保全の効率化につなげることを目的としています。今後は、状態監視システムの汎用性を向上させるために、さまざまな設備のデータ処理手法に関する研究を進めていきたいと考えています。RRR

文献

- 1) 羽田明生, 廣瀬壮一: 鉄道構造物ヘルスマonitoringにおける無線センサーネットワークの総費用最小化計画, オペレーションズ・リサーチ, Vol.57, No.9, pp.518-523, 2012
- 2) 羽田明生, 土屋隆司, 曾我健一: 設置運用費用を考慮した無線センサーネットワーク設計手法, 鉄道総研報告, Vol.27, No.9, pp.23-28, 2013