

- 鉄道一般
- 車両
- 施設
- 電気
- 運転・輸送
- 防災
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

鉄道の低コスト化をめざして

鉄道は多種、多数の設備を持っており、これらの適切なメンテナンスが重要ですが、その一方で、一層の低コスト化が求められています。そのためには、近年、発達が著しいICT (Information and Communication Technology) の積極的な活用が、有力な手段になります。そこで、今後の鉄道設備のメンテナンスでのICT活用の基盤技術であるセンサーネットワークや、情報通信技術に焦点をあて、最近の取り組みを中心に紹介するとともに、将来への展望についても触れます。



平栗 滋人
Shigeto Hiraguri
前 信号・情報技術研究部
部長
(現 研究開発推進部
次長)
[専門分野] 鉄道信号、
安全性技術

鉄道を取り巻く状況

鉄道は車両、土木、電気など多様、かつ数多くの設備を持っており、これらを適切にメンテナンスすることの重要性は高く、これまでも多くの努力が払われています。

一方、生産年齢人口(15~64歳)が近年、減少を続けていることなどの状況からメンテナンス業務における一層の低コスト化は、急を要する課題であると言えます。

時間計画保全と状態監視保全

メンテナンスの手法は、大きく、事後保全と予防保全に分類されます。このうち、予防保全は時間計画保全(TBM: Time Based Maintenance)と状態監視保全(CBM: Condition Based Maintenance)とに分類されます(図1)¹⁾。

従来、鉄道では、あらかじめ定めた期間ごとの検査、補修を基本とする時

間計画保全を主体としてきました。この手法は、メンテナンス計画を立てやすいことなどが利点です。反面、負荷や環境などに変化が発生した場合、故障に至る可能性が増すこと、あるいは、かなりの余裕を残した状態で補修することとなり、コストが増すことなどが課題として想定されます。

これに対し、状態監視保全は、その時々々の設備状態に応じて、必要な措置を行います。そのためには、状態監視のためのセンサーなどの設備の設置や、データ分析などが必要になり、新たなコストが発生します。しかし、負荷や環境の変化に対応しやすいため、設備を寿命近くまで効率良く使用でき、その結果、補修などの頻度が減ることにより、ライフサイクルコストでは有利になることが期待されます(図2)。

以上のことから、今後、メンテナンスの低コスト化に向けては、状態監視保全の高度化と、その適切な活用が鍵となるものと言えます。

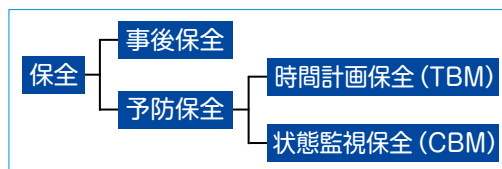


図1 メンテナンスの手法

鉄道メンテナンスへのICT活用

状態監視保全を行うためには、

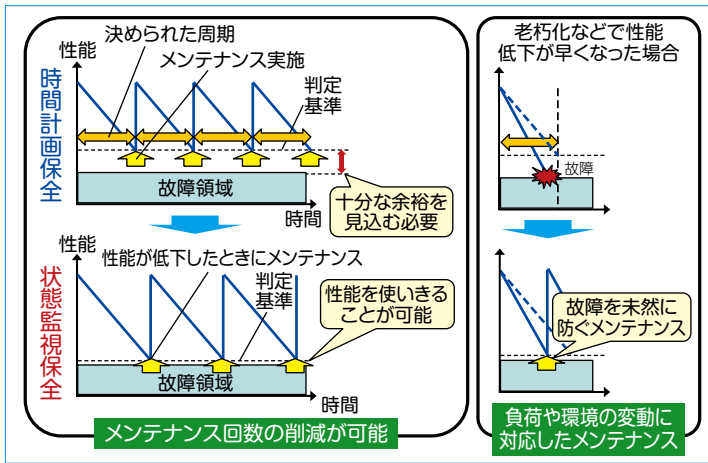


図2 時間計画保全と状態監視保全

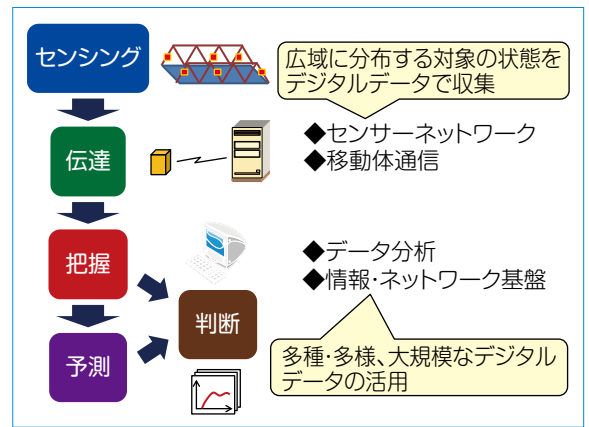


図3 ICTを活用したメンテナンス

設備状態を把握し、管理、分析することが必要となります。これを、多数ある設備を対象にして効率よく行うためには、コンピューターの活用は欠かせないと言えます。また、設備状態のデータが、そのまま入力として使用できること、つまりデジタル化されていることも、一連の作業を迅速、かつ確実にを行う上での鍵となります。

一方、鉄道はさまざまな設備が、線路に沿って広い範囲にわたって配置されているという特徴があります。この点を考慮すると、設備状態のデータを伝達、集約するための通信技術も重要な役割を果たします。とくに、遠隔地や作業員のアクセスが困難な箇所にある設備の状態を取得するためには、無線の活用が有効です。

以上のようなことから、高度な状態監視保全を実現するためには、ICTの活用がポイントになると言えます。具体的には、近年、多方面で注目されているM2M (Machine to Machine Communication) や、IoT (Internet of

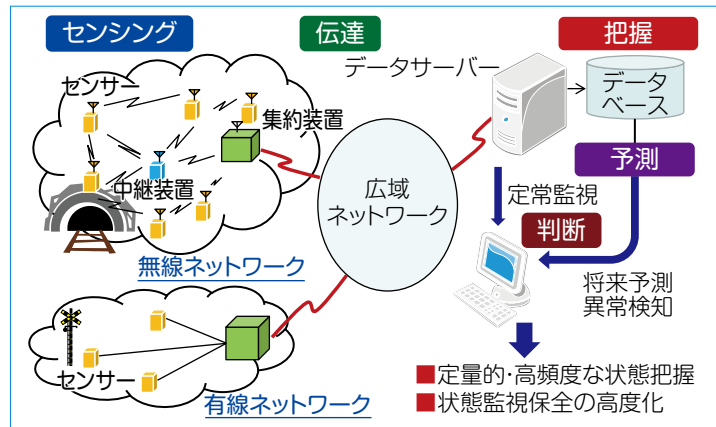


図4 センサーネットワークなどを活用したメンテナンス

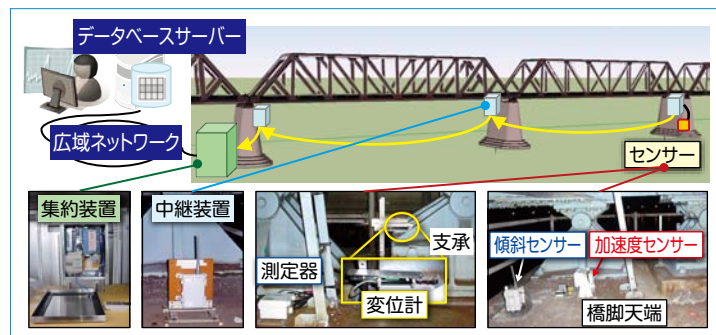


図5 実橋りょうでの無線センサーネットワーク試験

Things) 技術の一形態であるセンサーネットワーク (☞参照) の活用が考えられます (図3, 図4)。

そこで、設備状態把握へのセンサーネットワークの適用や、鉄道向けの情報・ネットワーク基盤の研究開発に取り組んでいます。

鉄道への無線センサーネットワークの適用

無線センサーネットワークの鉄道への適用性に関して、実際の鉄道橋りよ

うを対象として、鉄道総研内に設けたデータサーバーまで状態データを伝送する実験を、約1年間にわたって実施しました (図5)。その結果、システムが安定して稼働することを確認しています。

あわせて、センサーネットワークを構成する場合、できるだけ現場のセンサーノードの数を少なくすることや、消費電力量を抑えることが運用上、必要となります。そこで、数理最適化と呼ばれる手法を用いた設計手法を開発しています。具体的には、システム運用期間中

☞ センサーネットワーク

センサーに通信機能を持たせたセンサーノードを計測対象に複数取り付け、センサーノード間でネットワークを構成することで、計測データを伝送・収集する仕組みを指します。その概念は、1990年代に提唱された”Smart Dust” (小形のセンサーを塵のように撒くイメージから付けられた名称)などを起源としています。

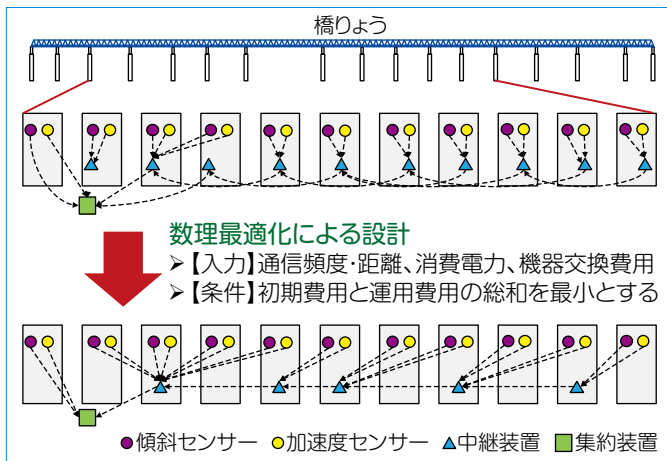


図6 無線センサーネットワークの最適設計

の電池などの交換作業の費用、センサーネットワーク内の総消費電力量などを数式によってモデル化し、これで表される初期費用と運用費用の総和を最小とするような解、つまり装置の配置を得ます。上記の橋りょうをモデルとした試算では、10年間（各装置の想定耐用年数のうち、最長の期間）の運用費用が約8%低減できるとの結果を得ています（図6）。

なお、本研究の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。

鉄道向けの無線センサーネットワーク技術

今後に向けて、無線センサーネットワークを鉄道環境でより使いやすくするための研究開発を進めています。

無線センサーネットワークに適用できる技術には、いくつかの手法があります（表1）。それぞれ異なる特徴を持っていますので、用途に応じて適切なものを選択することが基本となります。ただし、これらの中でWi-SUN（参照）と呼

Wi-SUN

Wireless Smart Utility Network の略で、情報通信研究機構が主体となって開発された方式で、次世代電力量計であるスマートメーターに採用された方式です。その仕様はスマートメーター用無線の国際規格 IEEE802.15.4g として標準化されています。

ばれるものは、通信距離が比較的長く取れる上、干渉や消費

電力が少ないという特徴があり、鉄道向けとしては、有望な方式と考えています。また、鉄道環境でのセンサーネットワークの利用に際しては、以下の点を踏まえる必要があります。

- ・センサーが線路に沿って線状に配置される場合が多いため、一般的な用途（図7 (a)）に比べて面的広がりが少なく、センサーや通信経路の冗長化への制約が大きい（図7 (b)）。
- ・センサーの設置位置が地表に近くなる場合が多く、無線通信の品質確保の上では不利である。

方式の選定に当たっては、これらに対応するための工夫を加えられることが望ましいと言えます。この点においても、Wi-SUNは日本発の方式であり、有利であると考えています。

以上のような理由から、現在、Wi-SUNに着目した研究開発を進めています。鉄道総研内の所内試験線、試験車両、および大型降雨実験装置に、Wi-SUN通信モジュールを内蔵したセンサーを設置して、状態データを収集する試験を行いました（図8）。構造物や車両などのさまざまな使用環境と気象条件を想定した条件の下で、Wi-SUNネットワーク内でのデータの到達率が95%以上であることを確認しています。

表1 無線センサーネットワークに適用できる技術の例

	920MHz (Wi-SUN)	2.45GHz (ZigBee)	2.45GHz (Wi-Fi)	420MHz (特定小電力)
見通し内最大通信距離	700m	100m	300m	1500m
見通し外通信	可能	不利	不利	良好
干渉	少	多	多	少
最大伝送容量	0.4Mbps	0.25Mbps	54Mbps	0.2Mbps
消費電力	数十mW	数十mW	数W	数百mW

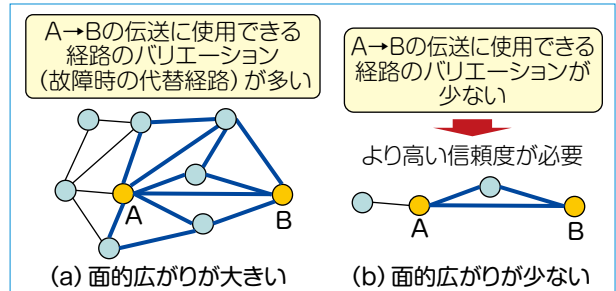


図7 センサーの配置

これらの実験を通じて、Wi-SUNが鉄道設備の状態監視に広く適用でき、将来の鉄道向けの標準的なネットワーク技術として有効であることを示すとともに、鉄道向けの基本的な構成と仕様案を作成しています。

ただし、実用に向けては、マルチホップ通信（参照）において経由できるセンサーノード数を増やすことなどが課題と考えており、先に述べたような鉄道特有の環境でも安定して通信できるプロトコルの開発に取り組んでいます。

なお、この研究の一部は、国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）の委託研究「ソーシャル・ビッグデータ利活用・基盤技術に関する研究開発」により実施しました。

鉄道向け情報・ネットワーク基盤

現在、車両、構造物、軌道、電車線など、それぞれの分野でICT活用による状態監視保全に向けた取り組みが進

マルチホップ通信

複数の端末を経由して、バケツリレー式に中継しながら通信を行う方式で、センサーネットワークを構築する要素技術の一つです。とくに無線通信の場合には、必要な品質を確保して経由できる端末の数には限りがあります。

められています²⁾。これらの状態データの把握などにおいて、通信やネットワーク技術が基盤となることは先に述べたとおりです。従来、これらのシステムは分野や目的ごとに、その都度構築される場合が多かったと思われませんが、効率的とは言えません。

また、鉄道はそれぞれの構成要素が相互に作用し合っています。さらに、ビッグデータの活用のように、多様なデータの組み合わせから新たな知見を見いだすことや、現象解明を通じて、メンテナンスの一層の高度化、効率化を実現するためには、分野をまたがって設備の状態情報を共有、活用できる仕組みも必要と考えます。

このような仕組みによって、たとえば、設備状態データに加え、列車運行情報から通過列車に関するデータも参照できることで、設備の異常や変状などの要因の分析、特定がしやすくなり、迅速かつ適切なメンテナンス、状態予測に基づいた高度なメンテナンス計画の策定が可能になることが期待されます(図9)。

さらには、現象解明や状態予測の重要な手段であるシミュレーションの精度向上などとあわせて、先に述べた状態監視保全の利点を一層高いレベルで実現することも期待されます(図10)。

現在、分野をまたがった、大きさや細かさの異なるデータを共有するための情報・ネットワーク基盤を構成する技術の研究開発を進めています。

おわりに

ここで紹介した、センサーネットワーク技術などは、まずは重要性の高い箇所や、人による検査が困難な箇所など、効果を見きわめつつ導入していき、実績を積み上げていくことが必要と考えます。

また、複数の要素が相互に関連、作用し合う鉄道においては、各種データを

相互に参照し、関連付けて活用することの必要性、メリットは大きいと言えます。情報・ネットワーク基盤は、その核となる要素であり、実現に向けた取り組みを続けていく予定です。[RRR]

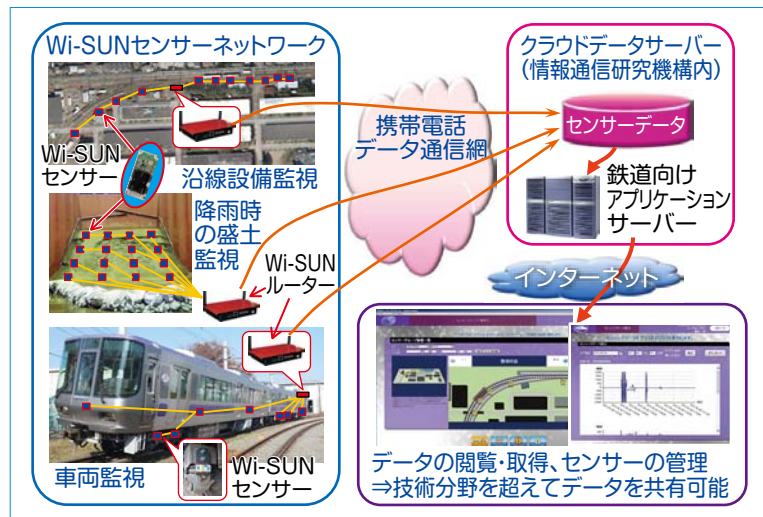


図8 Wi-SUNネットワークの実験

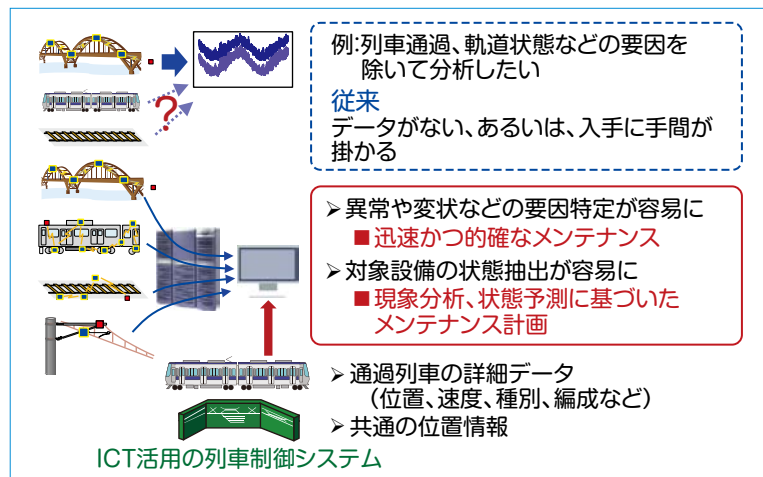


図9 情報ネットワークの活用で期待される効果の例

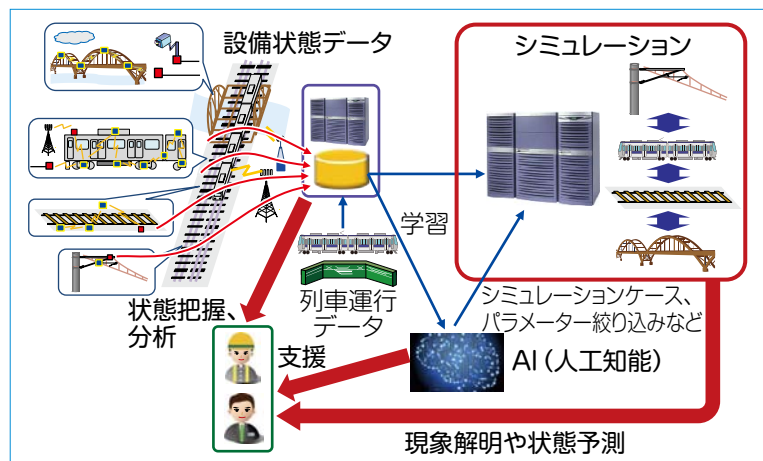


図10 ICTを活用した将来のメンテナンスのイメージ

文献

- 1) JIS Z 8115 : 2000, ディベンダピリティ (信頼性) 用語
- 2) 久保俊一: 第29回鉄道総研講演会要旨集, ICTの活用による鉄道メンテナンス技術の革新, pp.2-9, 2016