

センシング・情報通信技術により 設備を管理する

土屋 隆司
輸送情報技術研究部
(部長)

篠田 昌弘
構造物技術研究部
(基礎・土構造 副主任研究員)

野末 道子
同
(設備システム 主任研究員)

小林 裕介
同
(鋼・複合構造 副主任研究員)



つちや りゅうじ



のずえ みちこ



しのだ まさひろ



こばやし ゆうすけ

はじめに

情報通信技術、センサ技術を活用し、鉄道設備の維持管理を効率化する取り組みが進められています。鉄道総研でも、鉄道設備の常時および異常時の様々な挙動を検知する新しい検査、監視技術の確立をめざした研究開発を行って来ました。常時のモニタリングの目的としては、目視で確認しづらい箇所の検査、発生した変状の継続的監視、定期的実施される全般検査の補完などが考えられます。一方、異常時、すなわち地震等の災害発生後のモニタリングの目的としては、災害に伴う設備の異常発生早期検知、損傷発生箇所や損傷程度の迅速な把握などが考えられます。また、モニタリングシステムの運用のためには、センサ単体ではなく、センサから対象設備の管理箇所などまでデータを伝送するネットワークやデータを集約するデータベースの構築も重要です。以下では、このような点を念頭に置きつつ、鉄道構造物などを対象に開発したモニタリングシステムとその評価試験の概要について紹介します。

モニタリングシステムの構成要素

設備維持管理用のモニタリングシステムは、①設備状態

推定のための物理量を計測するセンサ、②センサデータに基づいて、対象設備の健全度、劣化度等を判定する分析・評価システム、③センサデータを管理するデータベース、および④これらを繋ぐためのデータ伝送システムから構成されます(図1)。モニタリングシステムの開発においては、これらの構成要素をモニタリング目的に合わせて適切に統合化し、提供することが求められます。

各種設備や監視目的に応じたセンシング手法

鉄道総研でこれまで開発してきたモニタリングシステムとそこで使用されている主なセンサ群について表1にまとめました。

モニタリングシステムの適用イメージ

このようなセンサ群とデータ伝送システムとを組み合わせたモニタリングシステムを実際にも実施展開する場合のイメージを図2に示します。この図では、監視目的に応じてさまざまなセンサが沿線設備に設置され、計測されたデータがさまざまな通信手段で指令・管理箇所などに伝送される様子が示されています。

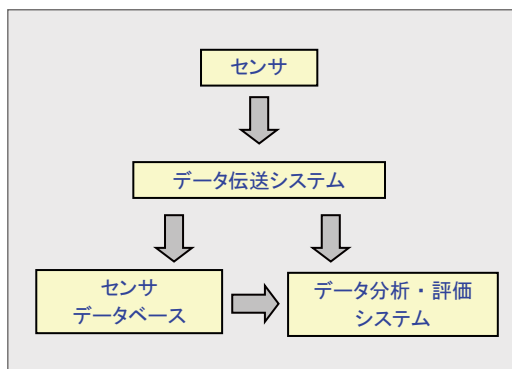


図1 モニタリングシステムの構成

表1 主なモニタリング用センサ

対象設備	使用場面	監視目的	使用センサ監視方法
高架橋	異常時	高架橋柱の損傷度の把握	ピークセンサによる最大応答部材角の計測
鋼橋	常時	鋼桁の疲労亀裂の有無および進展の把握	導電塗料
基礎	常時・異常時	基礎構造物の健全度診断	パッシブ式損傷検知センサ
トンネル	常時・異常時	トンネル覆工のクラック監視	π ゲージセンサ
駅舎	常時	建築部材の損傷度の把握	ひずみセンサ, 加速度センサ
橋梁	異常時	河川増水時における橋梁基礎の健全度評価	速度センサ, 水位計
軌道	常時・異常時	伸縮継ぎ目のストローク変化およびレール温度の監視	全天候型変位センサおよび熱電対(温度測定)

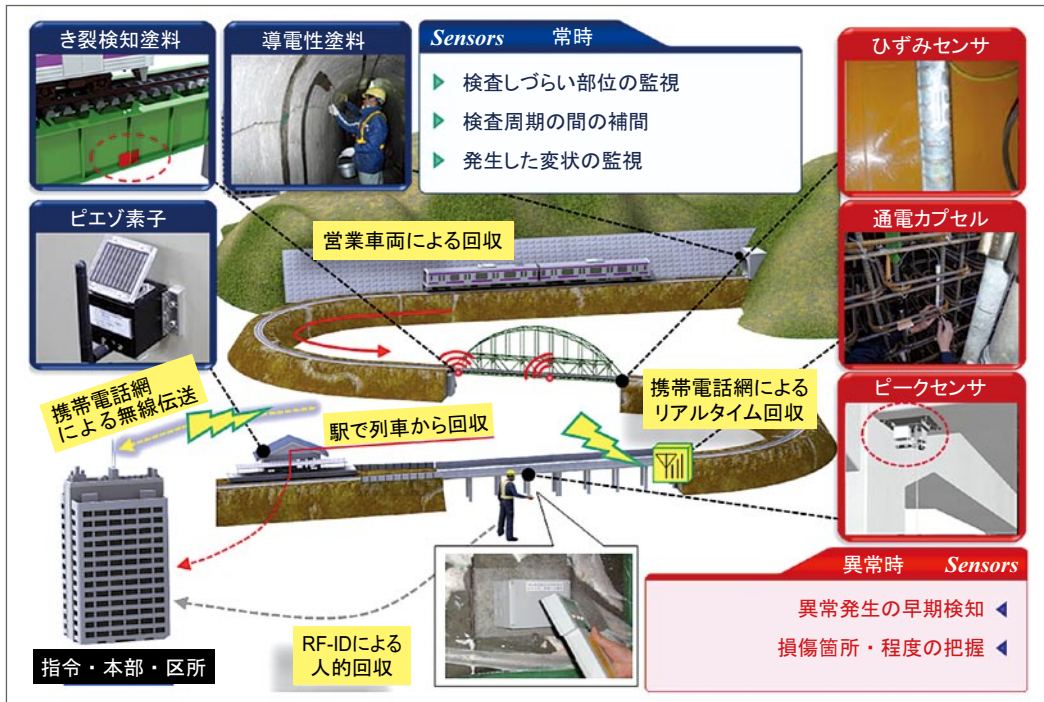


図2 モニタリングシステムの適用イメージ

センサから管理箇所までのデータ伝送手段については、データ量、リアルタイム性、投入可能な維持管理費に応じて選択することが可能です。これにより個々の鉄道事業者が、線区の重要度、監視目的、条件(対象設備や変状の種類)に応じた、適切なモニタリングシステムを構築できます。

携帯電話によるリアルタイムなデータ取得

異常時など緊急性の高い状況での利用が想定されるセンサについては、計測したデータを携帯電話網や自営通信網を用いて継続的かつ遅滞なく、指令や設備の管理箇所に必要な場合があります。具体例として、橋脚基礎の監視システ

ムでは、河川増水時における橋脚基礎の健全度を評価するために設置された速度センサ、水位計などのデータは、増水時には携帯電話網を介して時々刻々、データ管理サーバまで届けられます(図3)。

RF-IDによるデータ取得

定期検査の際に、検査員がRF-ID(無線タグ)と読取装置を用いてデータを取得するといった方法も考えられます。たとえば基礎構造物の健全度診断に用いられるパッシブ式損傷検知センサでは、センサに接続されたRF-IDのデータを、読取装置を備えた携帯端末を用いて取得します(図4)。

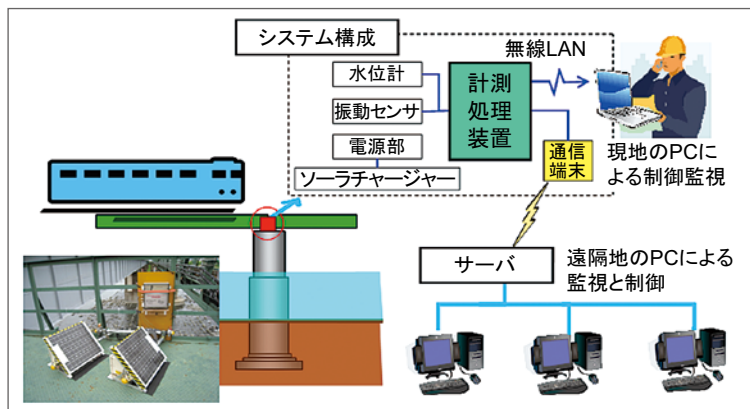


図3 橋脚基礎の監視システム

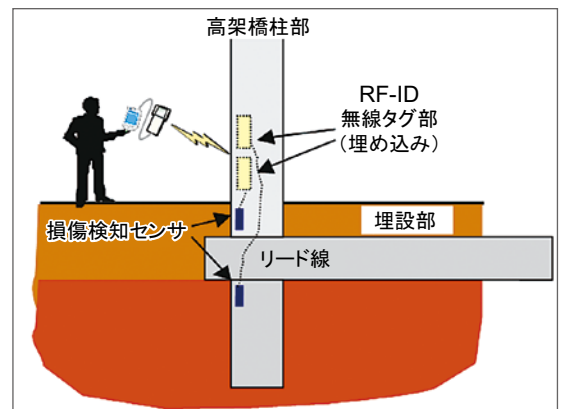


図4 高架橋柱部に埋め込まれた損傷検知センサとRF-ID

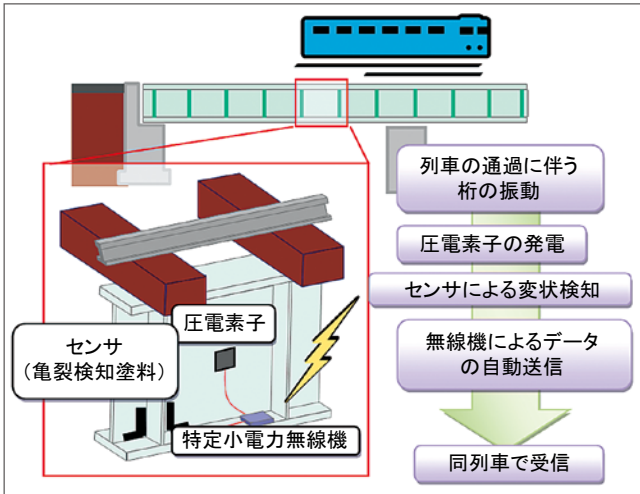


図5 鋼桁の振動を用いた圧電素子の発電によるデータ伝送システム

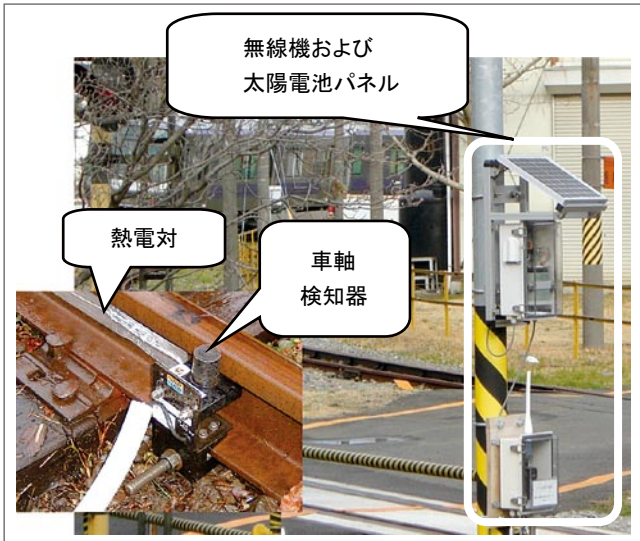


図6 自己給電型低電力センシングおよび無線機

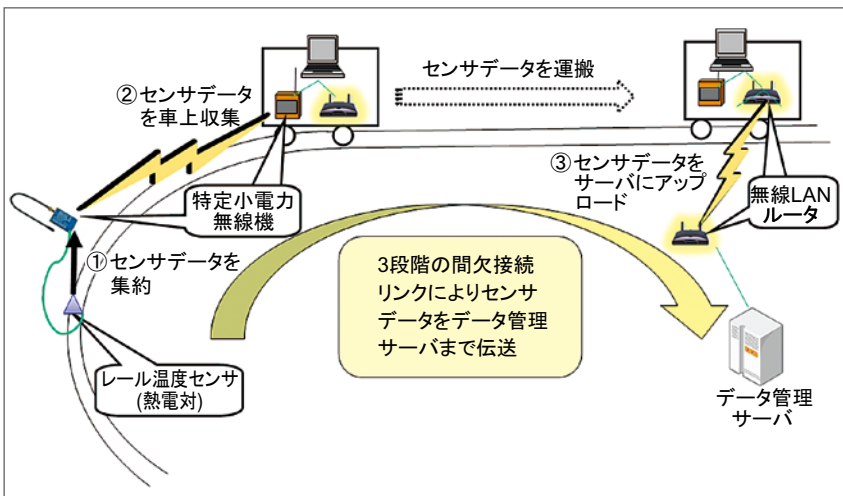


図7 列車を用いた蓄積・運搬型データ伝送

列車によるセンサデータ回収

センサデータを取得する他の手段としては、設備の近傍を通過する列車を用いてデータを回収する方法も考えられます。この方法は大掛かりな地上設備が不要であること、携帯電話のような通信費が不要であることなどの利点があり、一定の伝送遅延が許容可能である場合には有効な手法です。

図5は鋼桁の疲労亀裂の有無およびその進展を把握するために設置された導電塗料センサのデータを回収するシステムです。このシステムでは列車通過に伴う桁の振動を用いて圧電素子が発電し、その電力を用いて変状検知と列車へのデータ送信を行うものです。

一方、図6は、熱電対によるレール温度計測データを車上に伝送するシステムです。このシステムでは、車軸検知器により列車通過を検知して機器を瞬時に起動することにより、沿線設備のセンシングデータを車上の受信機に向け無線伝送するシステムです。本システムは太陽光パネルによる給電とスリープ制御機構（センシングあるいは無線伝送時以外は機器を休止状態とし、消費電力を低減する機構）を有する自己給電型のシステムです。

蓄積・運搬型データ伝送ネットワーク

車上で収集した沿線センサのデータは、最終的には設備の管理箇所や指令所などデータを活用する場所まで送り届ける必要があります。そこで、移動体を用いた間欠接続リンクを複数つないでデータを目的地まで確実に届けるしくみである「蓄積・運搬型データ伝送ネットワーク」を開発しました（図7）。「間欠接続」とは、通信リンクが常時存在する訳ではなく、一定周期、もしくは何らかのトリガー（たとえば列車の通過など）が発生した場合にのみ有効となるリンクのことを言います。この図のように、伝送ネットワークは①センサデータを地上のゲートウェイに集約する部分、②集約したデータを走行列車の車上システムに伝送する部分、③車上システムから地上のデータ管理サーバまで伝送する部分の3種類の異なる間欠接続リンクから構成されます。

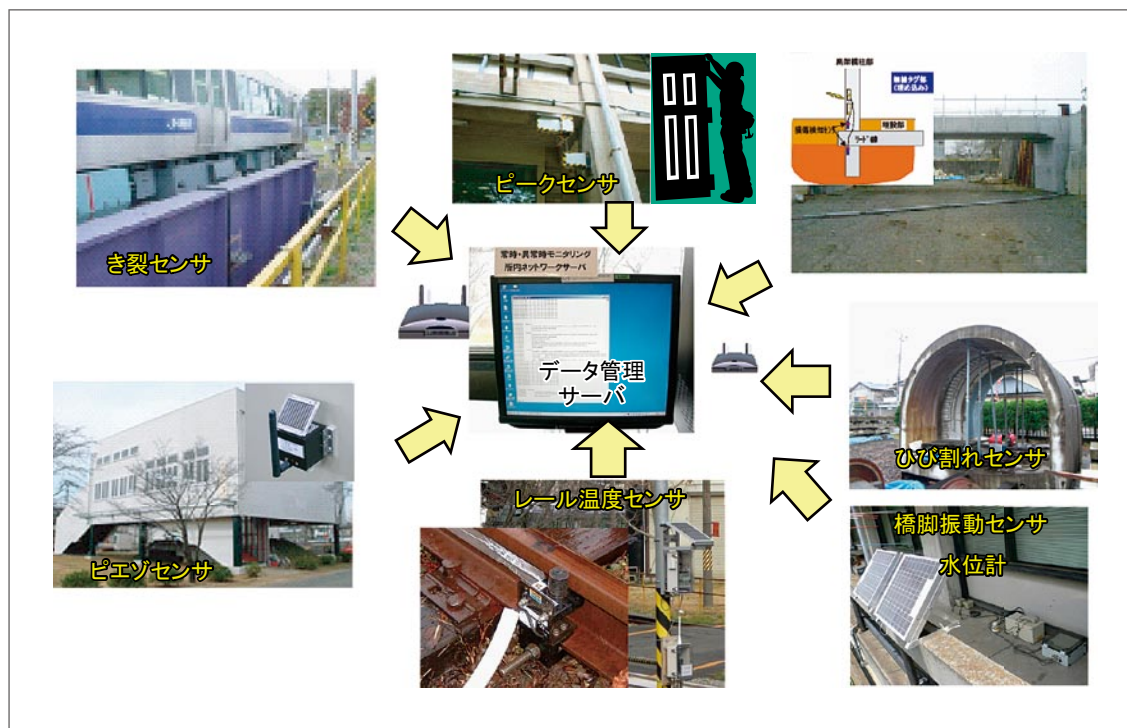


図8 所内センサネットワークによる総合試験

①については、今回は有線接続ですが、機器が一定周期で休止状態と活性化状態（起動状態）を交互に繰り返す省電力制御を行っているため一種の間欠接続リンクとみなすことができます。②については、特定小電力無線を用いています。③については、複数の現場からのデータが車上に集約されることを考慮し、無線LANを用いました。データ伝送の信頼性を担保するため、リンク単位でのデータの送達確認を行っています。また、末端のセンサからデータ管理サーバまでのデータ伝送が一切人手を介さず行うことができるという特長があります。鉄道総研の構内試験線での動作検証を行い、末端のセンサからデータ管理サーバまでの伝送が確実にできることを確認しました。なお、高速移動体でのデータ収集実験は（財）日本自動車研究所で実施し、120km/h程度の移動体とのデータ伝送が確実にできることを確認してあります。

所内センサネットワークによる総合試験

開発した各種センサ、伝送装置、サーバ側システム等を統合化し、実運用に近い形態でのテスト運用を行うため、鉄道総研構内に統合ネットワークを構築しました（図8）。

この統合ネットワークを用いて対象センサごとに、センサ～中継装置～データ管理サーバまでのデータ伝送試験を

行い、データが確実に取得、収集できることを確認しました。さらに、複数のセンサからのデータが混在する環境下での総合試験や異常時などを想定し、データ送信頻度が高い状態での負荷試験を実施したところ、無線伝送の競合などにより一部データの欠落、到着遅延などの現象が見られましたが、おおむね安定的な伝送が可能であることが確認できました。さらなる信頼性向上のため、サーバ側でのデータ到着監視や、異常およびその予兆を検知した場合に送信頻度を上げることなど、状況に応じた送信頻度の変更機能などの機能も実装しました。

このように集められた各センサのデータは統合データベースで一元管理され、さまざまなアプリケーションプログラムで活用可能となっています。

おわりに

鉄道設備の常時および異常時の様々な挙動を検知することにより検査、監視業務を支援するモニタリングシステムを開発しました。所内センサネットワークを用いた総合試験によりシステムが所期の機能を果たしていることを確認しましたが、引き続きシステムの運用を継続することにより、中長期にわたるシステムの耐久性、稼働性について検証していきたいと考えています。RRR