

# センサデータを効率的に伝える

土屋 隆司  
 輸送情報技術研究部  
 (設備システム 研究室長)

佐藤 紀生  
 同  
 (同 主任研究員)

野末 道子  
 同  
 (同 主任研究員)

渡辺 義大  
 同  
 (同 研究員)



つちや りゅうじ



のずえ みちこ



さとう のりお



わたなべ よしひろ

## はじめに

近年の情報通信技術、センサ技術の進展にはめざましいものがあります。鉄道においても構造物を始めとするさまざまな沿線設備をモニタリングすることにより、設備の維持管理を効率化する研究が行われています。設備モニタリングシステムでは、対象物の状態をセンシング(計測する)だけでなく、センシングした情報を、保守区や指令所など、実際に情報を活用する拠点まで確実に伝送する必要があります。また、伝送される情報は多岐にわたるため、データベースで統合的に管理した上で、保守担当者や指令員などにわかりやく伝えることも重要です。以下では、このような、センサデータを「伝える」技術に焦点を絞って紹介します。

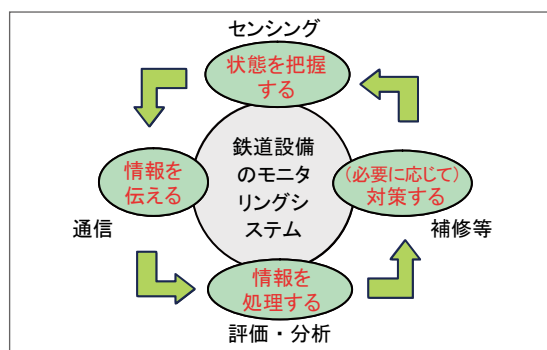


図1 設備モニタリングシステム

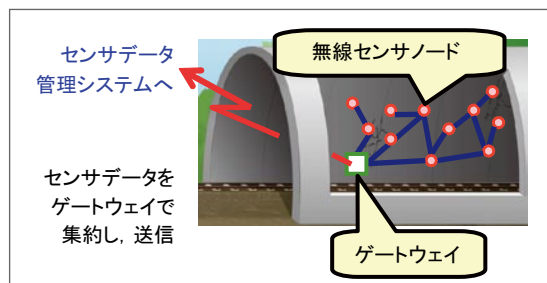


図2 センサネットワークの適用イメージ

## 無線センサネットワーク

モニタリングシステムを構築するための要素技術として、無線通信機能を持つ多数のセンサノードから構成される無線センサネットワーク (Wireless Sensor Network) が近年注目されています。各センサノードは、センサ機能に加えて、無線通信機能、計算機能(プロセッサ)、電源等を備えた小型の機器です。また、外部のセンサを接続する汎用インタフェースを有するのが普通です。近年、安価な小型無線センサノードが容易に入手可能になりつつあり、これらの機器を活用した実証的な研究開発が各方面で進められています(図2)。

## センサデータを伝送するネットワーク

センサおよびセンサネットワークは、センシング対象となる設備や構造物の種類、センサ設置環境(電源の有無、電波遮蔽物の有無など)、想定される応用などに応じて最適なものを選定することが求められます。また、センサネットワークの通信方式もさまざまですが、インターネットや組織内のネットワークで使われている方式とは異なるものが使われるのが一般的です。したがって、現場に設置されるセンサあるいはセンサネットワークと既存ネットワークとを何らかの手段で結合することが必要になります。両者を結合するのに携帯電話やWiMAXなどの公衆移動体通信網を使う必要がある場合もあるでしょう。このように、センサから取得したデータを実際に活用するためには、さまざまな通信手段を駆使して全体ネットワークを構築する必要があります。

## センサデータ伝送システムの構成

以上の点を踏まえて、比較的狭いエリアに散在するセンサデータを集約するゲートウェイ(一種の中継装置)を介して、センター(保守区や指令所などを想定)にデータを伝送する方式について検討しました(図3)。ゲートウェイ

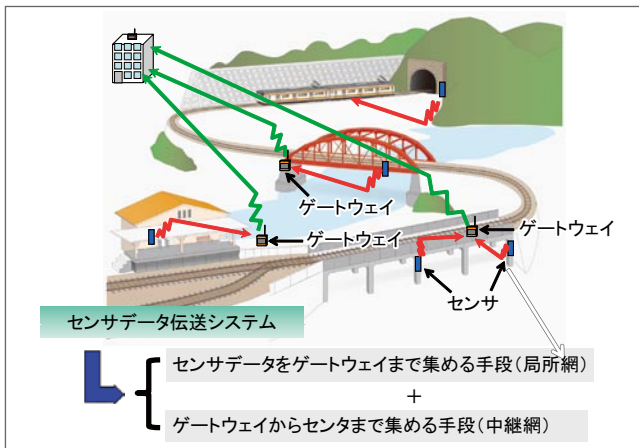


図3 中継点を介したセンサデータ伝送

を介することにより、個々のセンサや通信方式の違いを吸収できるとともに、データ伝送路を複数のセンサで共有することにより、伝送路を効率的に使用できます。より詳細なネットワーク構成を図4に示します。このネットワークでは、センサデータを、各種ゲートウェイを経由しながら中央のセンサデータ管理システムまで伝送します。以下では各ゲートウェイの機能を説明しつつ、システムによるデータ伝送の流れを概観します。

### センサデータを集約する

特定のトンネル、高架橋、駅舎など、比較的狭いエリアに散在するセンサが計測したデータを集約する装置が「センサ側ゲートウェイ」です(図5)。センサの接続方法としては、シリアル接続(RS232Cインタフェース)および無線

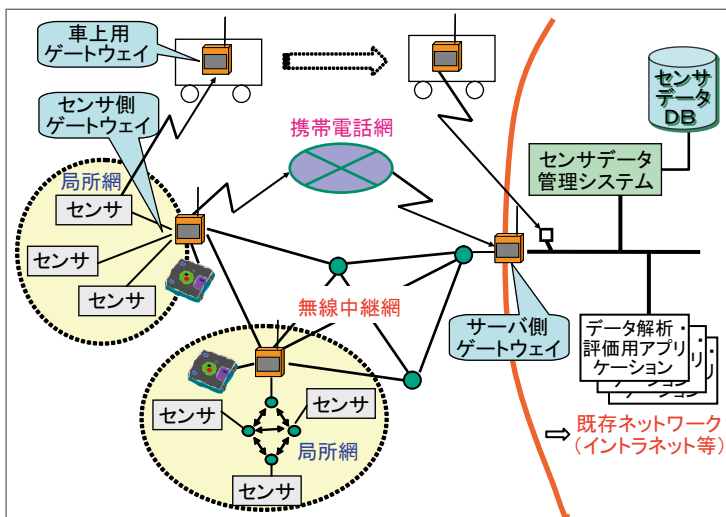


図4 ネットワーク構成

ネットワークによる接続が可能です。所定の通信プロトコル(通信する上での約束事)に従うことにより、いかなるセンサでもゲートウェイを介してデータやコマンドの転送を行うことができます。アナログインタフェースを介したセンサ直結も可能ですが、センサごとの個別対応となります。

一方、中継網側は、特定小電力無線などの無線通信を用いて至近の拠点(保守区、駅等、既存ネットワークに接続可能な箇所)まで伝送する機能に加えて、移動体通信網によりサーバ側ゲートウェイ(後述)に直接接続する機能、走行する列車にデータを伝送する機能などを実現しています。

### センサデータをサーバに伝送する

中継網を介して伝送されるセンサデータを、既存ネットワークを介してセンサデータ管理サーバに伝送する役割を果たすのが「サーバ側ゲートウェイ」です(図6)。中継網と既存のネットワークでは異なる通信手順が使われるのが普通ですから、両者の間の変換(プロトコル変換と言います)を行う機能を実現しています。

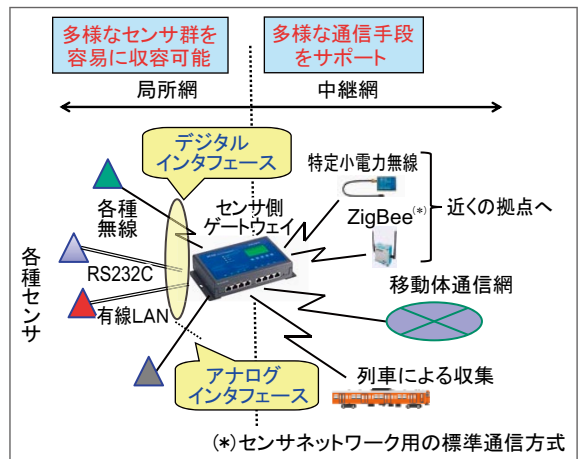


図5 センサ側ゲートウェイ

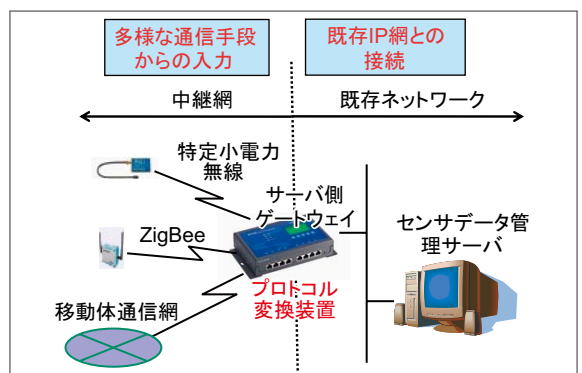


図6 サーバ側ゲートウェイ

## センサデータを列車で集める

沿線に設置されたセンサが計測したデータを走行列車上で受信するための装置が「車上用ゲートウェイ」です。地上のゲートウェイを介することなく、車上で直接データを集約することにより、地上設備を削減することができます。また、センサデータ管理サーバへの伝送路が確保できない環境下（たとえば、携帯電話の圏外など）では、センサデータをいったん、記憶装置に格納し、伝送路が開通した段階で自動的にサーバへのデータ伝送を行う機能を実現しています（図7）。

沿線のセンサデータをいったん車上に集約して運搬するという考え方は昔からありますが、データの蓄積伝送のための特別な機構（アプリケーション）やユーザによる操作介入が必要な場合がほとんどでした。これに対して今回開発したシステムでは、地上系の固定ネットワークの通信手順をほとんどそのまま流用しつつ、その上にデータ伝送の遅延や通信リンクの一時的な途絶に対して頑健に動作する

機構を付加することを考えました。これにより、特別なユーザ操作なしで（単にゲートウェイ装置を移動させるだけで）センサからサーバへのデータ伝送が自動的に行われるしくみを実現しました。

列車によるセンサデータ収集のケーススタディとして、気温、照度、レール温度などの計測情報を通過列車に対して送信するプロトタイプシステム（図8）を試作し、所内試験線で機能確認を行いました。このシステムでは、列車通過を検知することにより、無線機が休止状態からアクティブ状態に遷移するしくみを導入することにより、省電力性を維持しつつ、車上の受信機に向けて計測データを送信することができます。

## データを送る v.s. 蓄積する？

これまでのセンサネットワークに関する研究開発においては、センサが計測したデータは、ただちに中央のサーバなどへ伝送することが前提とされるケースが多いように

思われます。しかし、実際には、センシング対象物の状態変化速度がそれほど速くないなど、データを収集するのに多少の遅延があっても許容される場合もあります。上記の列車を用いたデータ収集はこのような場合に適用可能な技術と考えられます。一方、センシングしたデータをそのまま機械的に送信せず、センサノードやゲートウェイ装置でふるいにかけての上で、必要なデータのみ送信し、それ以外は、当該ノードやゲートウェイに蓄積しておくといった方式も考えられます。たとえば、「センシング結果があらかじめ指定した値を超えた場合のみ当該データを送信する」、「センシングしたデータ群に対して統計処理、解析処理をした結果のみ送信し、生データは、当該ノード（ゲートウェイ）に蓄積保存する」といったやり方が合理的な場合もあるでしょう。このようなセンサネットワークは「ストレージ中心型センサネットワーク」と呼ばれ、研究開発がさかんになりつつあります。近年のフラッシュメモリー技術の進歩などにより、ストレージ書込みの消費電力が急速に低減化しつつあります。今後は、データ送信に比べて電力コストが相対的に

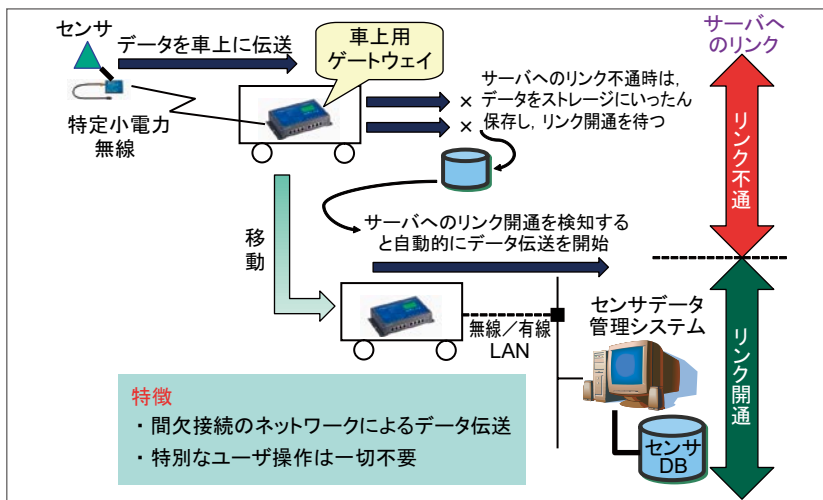


図7 車上用ゲートウェイによるデータ収集

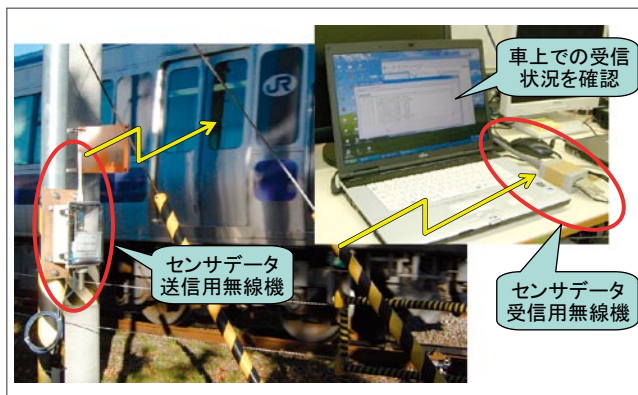


図8 センサデータの列車収集実験

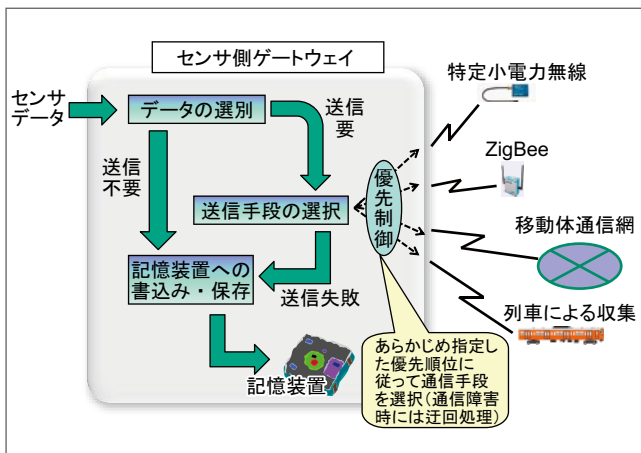


図9 ゲートウェイにおけるセンサデータ処理の流れ

低い蓄積方式をうまく組み合わせ活用していくことが重要になると考えられます。

そこで、センサデータを集約するゲートウェイの記憶装置（ローカルストレージ）に記録・保存する機能を実装し、他の通信手段の代替として利用できるようにしました。具体的には、センサデータを選別した結果、送信不要と判断されたデータを記録する、あるいは他の通信手段がすべて使用不可（送信失敗）の場合に、センサデータをこの記憶装置に書き込む、といった使い方が可能です（図9）。

### センサデータの選別と条件判断

前項で説明したセンサデータ処理の流れでは、最初にデータの選別を行っています。受信したセンサデータ送信の是非の判断にとどまらず、より高度な条件判断処理を導入することを検討しています。たとえば、「水位センサの計測値が△△を超えたらアラームで知らせる」、「〇〇センサからのデータが到着したら、ただちに、近接エリアのすべての××センサによる計測を開始する」等といったような処理です。このように、事象の発生や所定の条件の成立を契機にあらかじめ定められた特定の処理を実行することをイベント駆動型の処理と言います。このようなイベント駆動型の処理をユーザが簡単に指定することができるしくみを検討中です。

### センサデータを人に伝える

センサデータをセンサからサーバまで確実に伝えることが重要なのは言うまでもありませんが、システムのエンドユーザである保守担当者、指令員などに情報をわかりやすく伝えることも重要な課題です。我々は、サーバに集約したセンサデータを管理するセンサデータのデータベース（センサデータDB）を構築しています。このデータベー

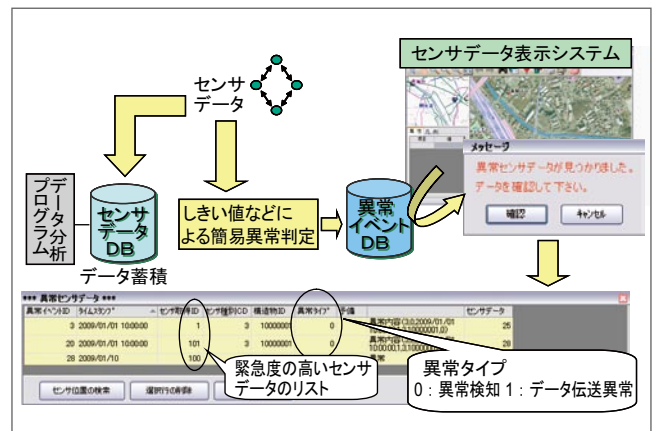


図10 センサデータ管理・表示システム

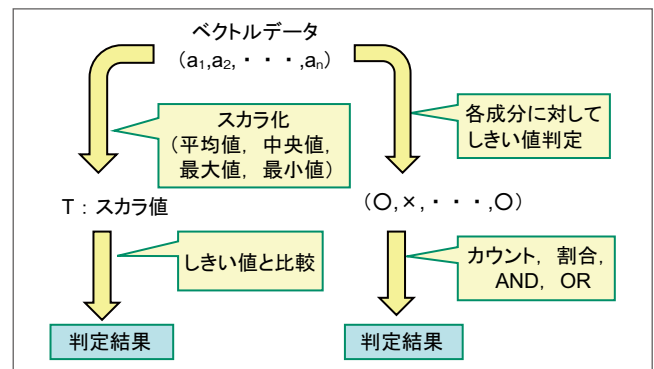


図11 ベクトルデータに対する閾値判定

スに格納されたデータを用いたさまざまなアプリケーションを通じて、ユーザはセンサデータを活用することができます（図10）。基本機能のひとつとしては、センサデータに対するしきい値判定により、数段階での警告メッセージを発行する機能を実現しました。しきい値判定は、単一のセンサデータだけでなく、特定のセンサから収集される時系列のデータや複数センサのデータなどのベクトルデータに対しても適用可能です（図11）。センサデータおよび上記のような警告メッセージは、センサデータ表示システム上のGIS（地理情報システム）画面上に表示されます。また、センサから取得したデータが監視対象物の異常を示している場合とデータ伝送が異常（所定の周期で正しくデータが到着しない）の場合とは区別して表示することもできます。

### 今後の計画

鉄道設備のモニタリングシステムにおいてセンサが計測したデータを中央の管理システムまで確実に伝える技術および収集したデータを利用者にわかりやすく伝える技術について紹介しました。今後、鉄道総研構内で構築したセンサネットワークのテスト環境において、開発した機能の有効性、妥当性の評価を行う予定です。RRR