

# 欧州地下鉄トンネルにおけるワイヤレスセンサネットワークの適用

輸送情報技術研究部 運転システム

副主任研究員 平井 力

## 1. はじめに

鉄道総研では、英国ケンブリッジ大学の地盤工学研究グループと、構造物の劣化等を監視するためのワイヤレスセンサネットワークシステムに関する共同研究を2006年秋から開始している。トンネルや橋梁等、各構造物に設置したセンサから観測されるデータを共有できる統合的なシステムの構築を目指しており、ロンドン地下鉄、プラハ地下鉄等での現地試験を実施している。ここではプロジェクトの概要、現地試験の状況、センサネットワーク配置方法への取り組み等について紹介する。

## 2. センサネットワーク

センサネットワークという言葉が注目を集めるようになったのは、米国国防総省のある研究プロジェクトで提案された「スマートダスト(Smart Dust)」に端を発する。無数のスマートダストが空中を漂いながら互いに通信し、実空間の情報を集める姿が提案されており、膨大な数のデバイスを空間に配置して使用するというセンサネットワークの基本スタイルを作ったともいわれている<sup>1),2)</sup>。

センサネットワークに関連する研究開発は幅広く行なわれており<sup>3)</sup>、適用対象が様々な分野に渡っている。例として、動植物の生息環境観測、戦場の状況把握、地震および構造物の監視、工場での生産工程管理等が挙げられる<sup>4)</sup>。無線通信が可能な小型(数cm四方)のデバイスが既に市販されており、それらを使用することで、ネットワークそのものは比較的容易に構築可能となっている。最も有名なものとして、クロスボー社のMOTEがある。本共同研究においてもこのデバイスを主に用いている。

図1にセンサネットワークのイメージを示す。着目した箇所付近に、対象の状態を観測する「センサ」が設置されている。このセンサは、観測したデータを無線で発信する機能を併せ持っているとする。観測データは、転送を行なうデバイスである「リレー」を経由し、データを収集するデバイスである「ゲートウェイ」に送信される。各デバイスの無線通信可能距離は限られているため、センサからゲートウェイが離れている場合には、リレーによるデータ転送が必要である。

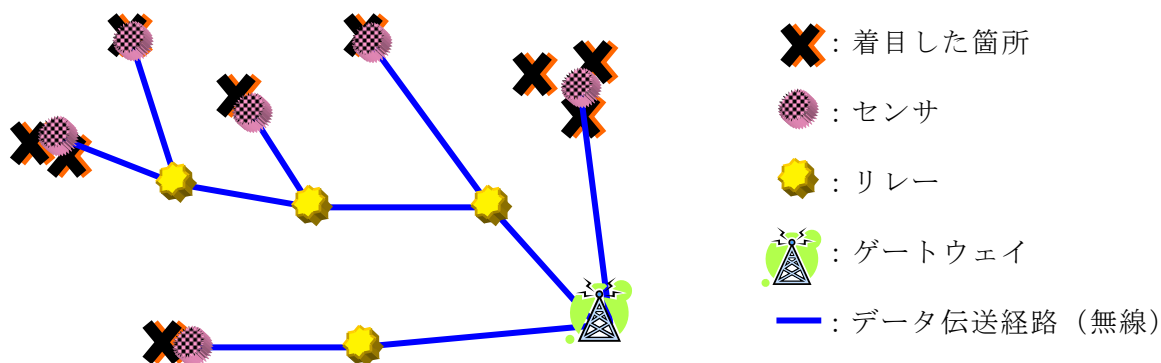


図1 センサネットワークのイメージ

### 3. センサネットワークに関する英国のプロジェクト

老朽化した構造物（地下鉄トンネル、橋梁、水道管）を監視するセンサネットワークシステムの構築を目的とし、図2および図3に示すように、主に2つのプロジェクトが、英国ケンブリッジ大学地盤工学グループの主導で並行して実施されている。

これらのプロジェクトには、大学だけではなく、鉄道設備維持の会社、橋梁の管理会社、水道の会社等が参加しており、互いに連携をとりながら研究開発が進められている。



図2 「WINEs」プロジェクト  
<http://www.winesinfrastructure.org/>

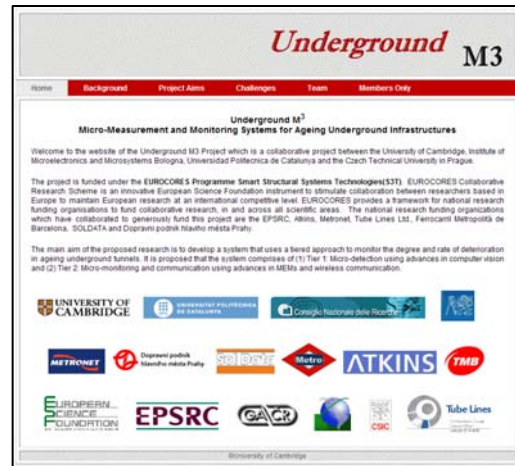


図3 「M3」プロジェクト  
<http://www-civ.eng.cam.ac.uk/underground/>

各プロジェクトには、センサネットワーク構築、取得データの解析等、様々な研究開発トピックが組み込まれている。例えば、「コンピュータ・ビジョン」と呼ばれる技術でコンクリート面の異常を検知する手法の開発、「MEMS(Micro Electrical Mechanical Sensors)」の技術による新しい歪み検知センサの開発、ネットワークセキュリティに関する研究、電波伝搬の詳細なシミュレーション技術の開発等があり、土木構造物を専門とするメンバーだけではなく、ナノテクノロジーや計算機科学を背景に持つメンバーも多く参加している。

### 4. 地下鉄トンネルにおける現地試験概要

地下鉄トンネル内壁面の監視システム構築を意識し、英国にあるロンドン地下鉄の一部と、チェコ共和国にあるプラハ地下鉄の一部が現地試験の場となっている。ロンドン地下鉄へのセンサネットワーク試験システム設置は、2008年初頭に予定されている。プラハ地下鉄には、センサネットワーク試験システムを2006年12月に既に設置しており、図4のような現地における稼働状況の確認作業等が継続して行なわれている。

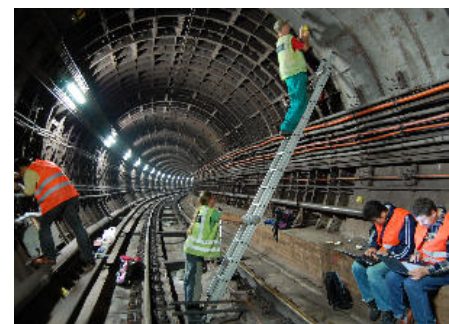


図4 プラハ地下鉄現地試験

#### 4.1 ロンドン地下鉄

ロンドン地下鉄内のある営業区間を対象として、コンクリートの内壁を観測する試験システムの導入実験が2008年初頭に計画されている。約200mの区間に、50以上の観測箇所が設定される予定である。観測箇所周辺では電力供給設備を利用できないこともあり、図5に示すように、

地上にあるサーバへのデータ転送と併せ、地上から有線で電力を供給する構成とする方向で検討が進められている。

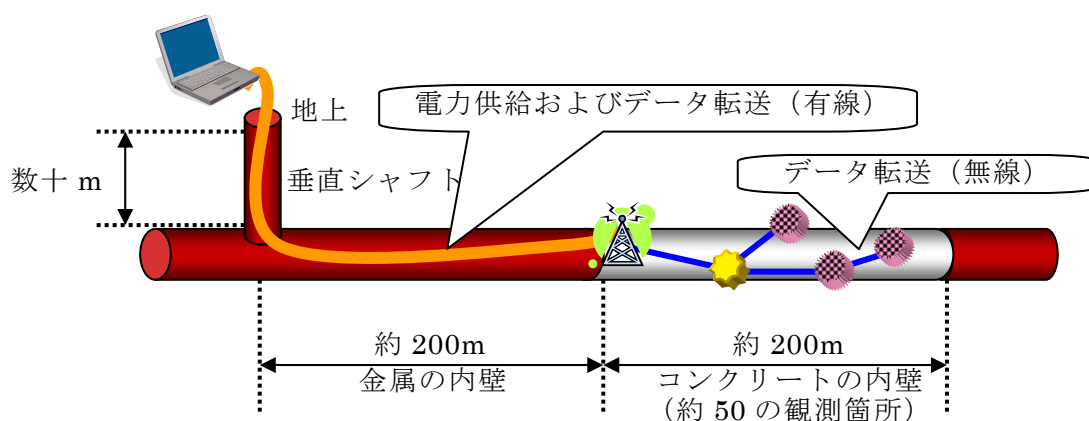


図5 ロンドン地下鉄におけるネットワークシステム構成案

#### 4. 2 プラハ地下鉄

2006年12月に、チェコ共和国のプラハ地下鉄における営業運転区間内に、センサネットワーク試作システムを設置している。トンネル内のコンクリート面に8個のセンサと1個のゲートウェイを装着し、それらの間の通信、および、ゲートウェイとトンネル外との通信が適切に行なわれるかどうか確認することを目的としている。この区間内に具体的な損傷箇所があるわけではなく、あくまでネットワーク構成のための現地試験場という位置づけである。よって、歪み計等のセンサではなく、温度、湿度、光量等を観測する汎用的なセンサが設置されている。

図6～8に設置作業の様子を示す。作業用車両に担当者が乗車し、コンクリート壁面に、ドリルでねじ穴をあけ、プラスチック製のケースを設置する。この中に、センサとなる通信デバイスを固定する。なお、地下鉄側からの要請があり、ケースは黄色く塗装されている。



図6 ケースの設置



図7 Micaz とセンサ



図8 設置完了

図9に示すように、トンネル内壁には8個のセンサが取り付けられており、ゲートウェイからインターネットを経由して、外部サーバにデータを転送する仕組みを構築する計画である。ネットワークの挙動を確認しながら、実際の観測に用いたいセンサに置き換えたり、データを取り扱うソフトウェアを変更したりするなど、いろいろな実験を行なうためのプラットフォームとしての一面も併せ持っている。電波状況が好ましくないために適切なデータ転送ができない等、現地実験に伴って明らかとなる問題に対し、試行錯誤を繰り返しながら解決を図っている。

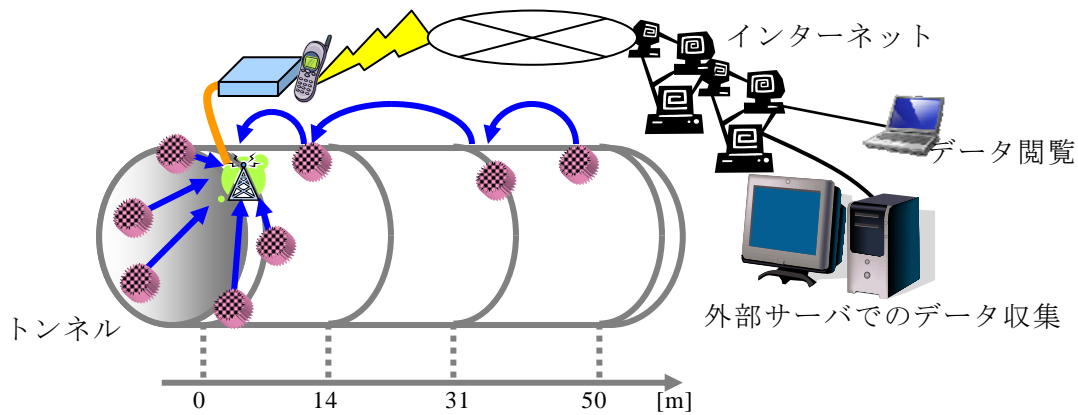


図9 試作システムの構成

## 5. 配置問題へのアプローチ

センサネットワークの分野においては、データ伝送経路が自律的に構成されるマルチホッピング機能（複数端末を順に辿ってゲートウェイにデータを転送する機能）について広く研究開発が行なわれている。これは、各センサやゲートウェイの位置が動的に変わり得る場合には特に有効な議論である。

しかしながら、トンネル等の土木構造物に設置したセンサは、一度設置するとその位置が変更されることは少なく、ゲートウェイの位置についてもほぼ固定したものと考えることができる。

このような視点に基づき、リレー配置箇所を提案するシステムに関する検討を行なっている。ある計算ロジックに基づいて計算する図10のようなプログラムを作成し、ロンドン地下鉄のセンサ設置箇所を対象とした試算等を進めている。数多くのセンサが設置される場合でも、適切な配置箇所を提案可能とするシステムとしていけるように開発を続けていく予定である。

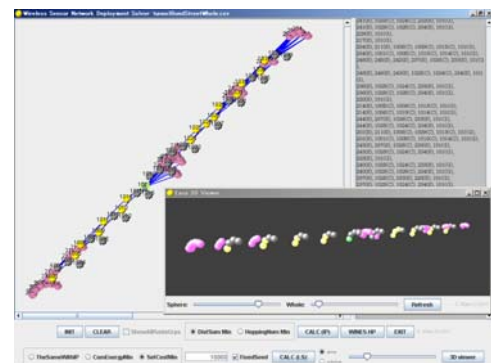


図10 リレー配置箇所提案システム

## 6. おわりに

英国ケンブリッジ大学地盤工学グループの主導で進められているセンサネットワークの開発プロジェクトについて紹介した。今後とも関連する各機関との連携を深めていくことにより、研究開発の更なる発展が期待できる。

## 参考文献

- 1) 安藤, 田村, 戸辺, 南 編著, センサネットワーク技術, 東京電気大出版局, 2005
- 2) Smart Dust: Communicating with a Cubic-Millimeter Brett Warneke, Matt Last, BrianLiebowitz, and Kristofer S.J. Pister, Computer, vol. 34, pp. 44-51, 2001.
- 3) (例えば) 特集 センサネットワーク, 電子情報通信学会誌, 89巻5号, 平成18年5月
- 4) Krishnamachari, Networking Wireless Sensors, Cambridge University Press, 2005