

ケンブリッジ大学との共同研究

— 海外における研究プロジェクトへの継続的な参加 —

平井 力
 輸送情報技術研究部
 (運転システム 主任研究員)

阿部 慶太
 構造物技術研究部
 (基礎・土構造 研究員)

小林 裕介
 構造物技術研究部
 (鋼・複合構造 副主任研究員)

羽田 明生
 輸送情報技術研究部
 (設備システム 研究員)



ひらい ちから



こばやし ゆうすけ



あべ けいた



はだ あきお

はじめに

英国にあるケンブリッジ大学は、世界で最も古い大学の1つで、創立は1209年と言われています。鉄道総研では、ケンブリッジ大学との共同研究「ワイヤレスセンサネットワークによる設備管理システムに関する研究」を2006年から実施しており、少なくとも1名の職員が常にケンブリッジに滞在しています。現地の研究者たちとは昼夜を問わずに議論を交わし、鉄道総研とも密な連絡を保ちながら研究を進めています。

以下では、英国、チェコ、スペインの地下鉄トンネルに設置したプロトタイプシステム、システムの最適化に関する研究開発を中心に、海外における研究プロジェクトがどのように進められているかを紹介します。

共同研究の進め方

鉄道総研とケンブリッジ大学の間で現在行われている共同研究は、大きな研究プロジェクトの中に位置づけられます。滞在職員は研究プロジェクトの一員として、各国の各分野から集まっているメンバー(図1)の中、ワイヤレスセンサネットワーク(Wireless Sensor Network, 以下WSN)を鉄道構造物の監視に適用するための研究開発を担当してきています。この共同研究が始まった2006年10月以来、職員が毎年1名ずつ交代でケンブリッジに滞在し、研究開発に取り組んでいます。ケンブリッジ大学の正式なメンバーである「客員研究員(Visiting Researcher)」という立場で研究プロジェクトに参加しています。大学の工学部に属するスコフィールド・センター(図2)は、地盤工学の分野では世界的に有名な実験棟ですが、この一角に滞在職員の席があります。

研究プロジェクトのメンバーには、多方面の専門家が集まっています。滞在職員は、鉄道技術の専門家としてだけではなく、情報技術、構造物技術の専門家として、その一端を担い続けています。つまり、WSN以外の課題に対しても、滞在職員の能力が求められる場合や、本人が力を発揮できそうな場合には、積極的に議論に参加するようにしています。これにより、プロジェクト全体を見渡す視野が養われ、共同研究のこれまでの成果¹⁾²⁾にも結びついてきています。

交代して帰国した職員も、そこで関係が途切れてしまうわけではなく、インターネットによるテレビ電話などを活用し、英国にいるメンバーの顔を画面で見ながら、研究プロジェクトに関する定期的な打ち合わせを行っています。このような体制も含め、鉄道総研とケンブリッジ大学では、確固たる関係が維持されています。

ワイヤレスセンサネットワークとは

WSNとは、無線(ワイヤレス)センサを観測箇所に設置

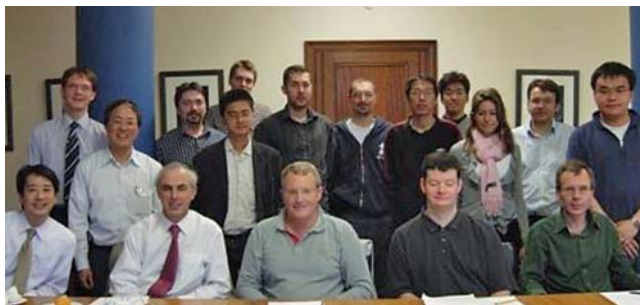


図1 各国の各分野から集まっているメンバー



図2 ケンブリッジ大学 スコフィールド・センター

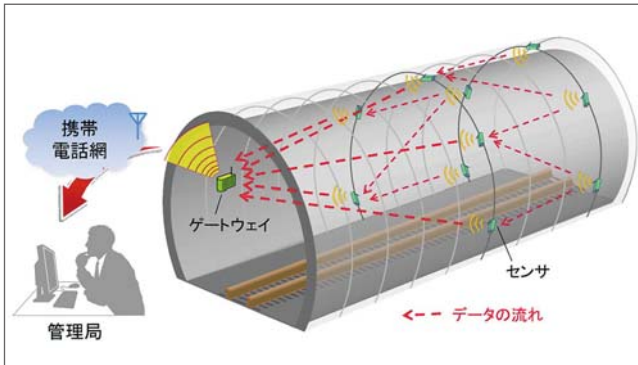


図3 ワイヤレスセンサネットワーク

し、対象の観測データを、他のセンサを経由して無線で送信するネットワークシステムのことです。無線を利用することでセンサ端末間の配線が不要になり、システムの導入コストを大幅に低減できます。さらに、センサ端末同士が自律的にネットワークを形成することからシステムの冗長性が高いという特徴があり、広大な範囲を長期間安定して監視する必要のある構造物にとって、最も期待されているシステムです。図3は、鉄道のトンネル内壁面の状態を監視するWSNの例です。状態を観測するセンサからデータが発信され、ゲートウェイと呼ばれるデバイスから携帯電話網を経由し、管理局のコンピュータに蓄積されます。

研究プロジェクト

ケンブリッジ滞任職員が主に参画する研究プロジェクトは二つあります。Underground M³ (Micro-Measurement and Monitoring Systems for Ageing Underground Infrastructures)³⁾ と WINES (Wired and Wireless Intelligent Networked Systems)⁴⁾ という名前で、いずれもケンブリッジ大学がリーダー役となっています。

Underground M³は最先端技術を用いたトンネルの維持管理手法を確立するためのプロジェクトであり、例えば

- コンピュータの画像処理を利用してコンクリート覆工のき裂を捕捉する
- 新たなMEMS (微小電気機械素子) を開発して、より小さなセンサでトンネルを監視する
- WSNを利用してトンネルを監視する

といったことに取り組んでいます。このプロジェクトではケンブリッジ大学に加え、チェコ工科大学 (チェコ)、バルセロナ大学 (スペイン)、国家研究評議会 (イタリア) など、国際的なメンバー構成となっていることが特徴です。

一方のWINESでは、WSNを利用してトンネル、橋梁、



図4 ブラハ地下鉄でのシステム設置作業

水道、高速道路などのインフラ設備を監視することを大目標としています。したがって、ロンドン地下鉄、BT (英国の通信事業者)、ヨークシャー水道局、英国道路庁といった異業種のメンバーがプロジェクトに参画し、

- 各構造物に適用可能なWSNのハードウェアの開発
- WSNへの電力供給方法の検討
- WSNにおけるデバイスの最適な配置方法

といったテーマに取り組んでいます。2006年のWINESプロジェクト開始時には、英国政府から140万ポンド (約2億円) もの資金を獲得しています。

いずれのプロジェクトも、1年に2回程度の全体ミーティングを行いますが、各研究テーマでは個々の担当者同士が必要に応じてミーティングをしつつ、それぞれのテーマを進めています。以降では、滞任職員が主として担当してきたテーマである「WSNのプロトタイプシステム構築」や「WSNの要素技術開発」について紹介します。

WSNのプロトタイプシステム構築

地下鉄のトンネルでは、その断面の経年的な変形が著しく、その傾向や原因を把握することが求められています。このテーマでは、トンネル断面の変形を長期的に監視できるようなWSNのプロトタイプ構築が目的です。

はじめに研究室でプロトタイプシステムを製作し、動作テストを行ってから、地下鉄のトンネルに設置します (図4)。そして、設置作業時に得られる知見、また、ある程度の期間にわたって運用した結果から考えられる改善点を反映するようにシステムのバージョンアップを図ったのち、別のトンネルに新しいシステムを設置します。これを繰り返し、より高性能な、より安定したシステムを構築しているところです。

これまでにWSNを設置したトンネルと、その時のシス

表1 プロトタイプシステムの開発担当

	平井 2006.9～	小林 2007.9～	阿部 2008.9～	羽田 2009.9～
プラハ地下鉄 (A線)	←→			
ロンドン地下鉄 (ジュピリー線)		←→		
ハンバーブリッジ		↔		
プラハ地下鉄 (C線)		←→		
ロンドン地下鉄 (ピカデリー線)			←→	
バルセロナ地下鉄 (サグラダファミリア駅)				←

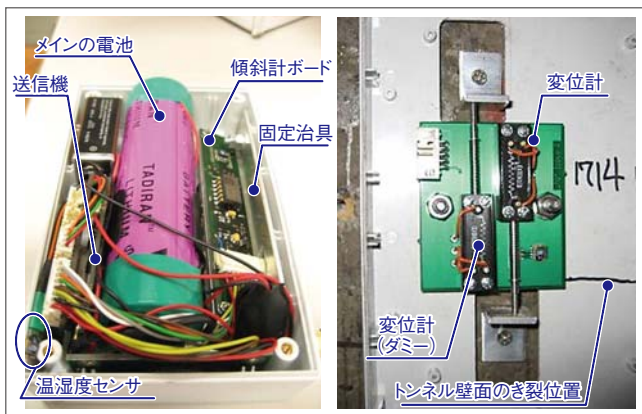


図5 開発した傾斜計と変位計の端末

テム開発を担当した滞在職員の一覧を表1に示します。

初代システムであるプラハ地下鉄 (A線) に設置したタイプは、実は設置後数日でシステムがダウンしてしまいました。この時の主な原因は、列車振動によるデバイスの損傷、およびレール研削後に行われるトンネル内洗浄時に水分がデバイス内に浸入したことにあります。

このため、次のロンドン地下鉄 (ジュピリー線) に設置したシステムでは、センサ端末 (図5) の防水や耐久性を向上させました。その結果、数カ月間にわたる運用に成功し、トンネル断面の変形データ (図6) を取得することに加え、センサ端末を駆動させる電池の寿命などの実態についても把握できました。このような過程を繰り返し、現在までに6つの構造物にWSNを設置してきました。

WSNの要素技術開発

ここではWSNの要素技術である「センサ端末の最適配置アルゴリズムの開発」および「MEMSセンサの開発」について説明します。

センサ端末の最適配置アルゴリズムの開発

トンネルのような線路方向に長い構造物では、個々のセ

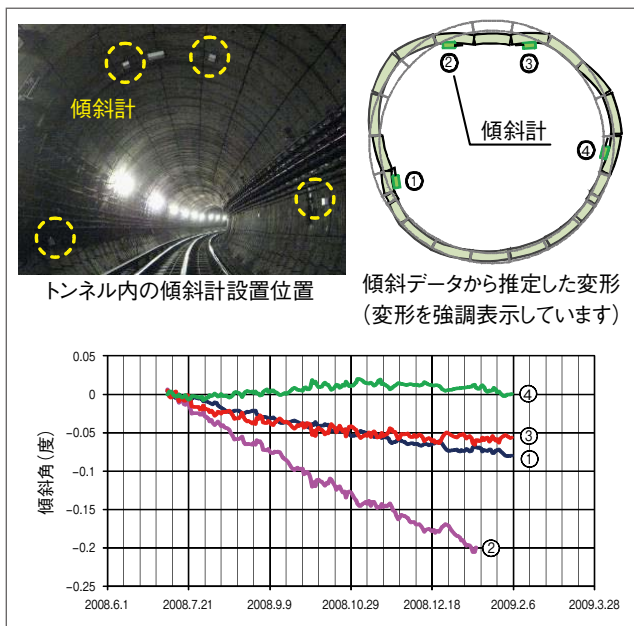


図6 トンネル断面の長期監視結果

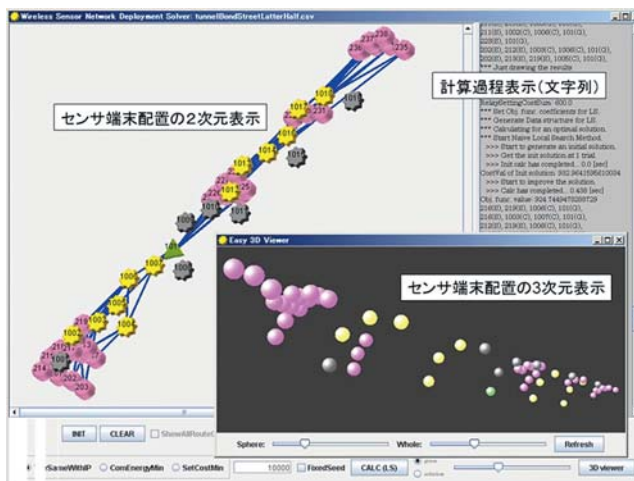


図7 開発したセンサ端末配置の最適化プログラム

ンサが観測したデータをセンサ端末同士がバケツリレーのようにして無線伝送し、坑口などにあるゲートウェイまで届けます。このとき、センサ端末の配置方法によっては、頻繁にデータを伝送するような端末がある一方で、ほとんどデータを伝送しない端末も存在してしまいます。当然前者のセンサ端末は電池の寿命を早く迎えることになってしまい、電池交換のためにランニングコストがかさんでしまいます。

この問題に対し、“全てのセンサ端末がより均等にデータを伝送し、電池寿命を極力延命化させる”という観点でデータの中継を行うセンサ端末の最適配置を模索するアル



図8 MEMSセンサーの精度確認の議論

ゴリズムを開発しています(図7)。現状では、解析可能なセンサー端末数や条件に制約があるものの、ロンドン地下鉄に設置したシステムに対して試算した例では、寿命を約1.3倍に延ばせることがわかりました。

MEMSセンサーの開発

WSNはセンサー端末が小型であるという特徴も有しています。この特徴をさらに活かすため、MEMSの技術を利用し、より測定精度が高い小型のセンサーを開発しています。研究テーマの中で検討していたMEMSセンサーは、シリコンウェハーを特殊な技術で加工することにより、マイクロメートルレベルの大きさを実現しました。極めて高精度なセンサーなので、その測定精度を検証する方法も必要であり、現在でもその議論が続けられています(図8)。

このような要素技術をそれぞれのテーマで開発していくことで、より高度なWSNの実現も目指しています。

現地での研究環境

具体的な研究の内容からは少し離れ、研究環境の違いについて触れたいと思います。

私たちの誰一人として英語力が完全だったとは言えません。したがって、研究を進めていく上で最も注意したのは“コミュニケーション”です。ミーティングでの議論や決定事項などを適切に把握する、もしくは自分の意見を相

手に正確に伝える、という点において常に不安がありました。そこで、ミーティング前には必ず書面の資料を準備し、ミーティング後はメールなどで内容をやり取りするといった具合に、“書かれたもの”での確認を心がけました。これにより、コミュニケーションも概ね支障なくできたものと思っています。そういった意味で、私たちにとってミーティングは緊張感が漂う真剣勝負の場でありました。

しかし、実は別のところでも、研究に関する議論が行われています。英国では午前と午後にティータイムがあります。だいたい30分くらいの時間で、ティールームやそれ相当のスペースに、誰ともなく集まってきて雑談をします。このティータイムが良い議論の場となっていました。リラックスした状態で自由な雰囲気であること、分野を越えた人達が集まってくるため、いろいろな発想が生まれやすいところに、通常のミーティングとは異なる議論が出てくると思われます。日本で言う“飲みニケーション”に近いものではないでしょうか。私たちも、このような文化に気付いてからは、ティータイムには積極的に参加していました。

おわりに

本稿は、筆者らがそれぞれケンブリッジ大学に客員研究員として滞在していたときの活動に基づいて執筆した内容です。共同研究は5年目を迎え、現在は、構造物技術を専門とする職員が滞在しています。WSNに関する課題はまだ多く、ケンブリッジ大学との関係を維持しながら、さらに研究を深めていきたいと考えています。

ケンブリッジ大学工学部の曾我健一教授には、筆者らを含め、滞在職員の公私にわたるサポートをいただいています。ここにあらためて感謝の意を表します。また、研究プロジェクトのメンバー、ケンブリッジ大学工学部関係各位にも、心より御礼申し上げます。RRR

文献

- 1) 小林裕介, 平井力: センサネットワークで構造物を監視する, RRR, Vol.66, No.11, pp.2-5, 2009
- 2) 羽田明生, 土屋隆司: IT利用を支援する最適化技術, RRR, Vol.67, No.4, pp.16-19, 2010
- 3) <http://www-civ.eng.cam.ac.uk/underground/>
- 4) <http://www.winesinfrastructure.org/>