

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

# ブリストル大学との共同研究

架線とパンタグラフが互いに力をやりとりしながら振動する様子を表現可能なパンタグラフの定置試験手法であるHILS (※参照) を開発するために、イギリスのブリストル大学と共同研究を行いました。共同研究を能率的に推進するためにブリストル大学へ客員研究員として出向し、安定的に動作する集電系HILSシステムを開発しました。ここでは、ブリストル大学の概要と共同研究の内容について紹介し、さらにイギリスでの生活について現地の鉄道事情を含めて紹介します。



小林 樹幸  
Shigeyuki Kobayashi  
鉄道力学研究部  
集電力学研究室  
副主任研究員  
(前 ブリストル大学出向)  
【専門分野】 架線／パンタグラフ系の動的相互作用

## はじめに

2016年4月から2018年3月までイギリスのブリストル大学 工学部 機械工学科 制御工学研究室 (Advanced Control and Test Laboratory, ACTLab) のストートン教授 (現名誉教授) と共同研究を行いました。ここでは、2016年10月から2018年3月までの18か月間にブリストル大学へ客員研究員として出向して現地で行った研究の内容と、現地の生活について紹介します。



図1 ブリストル大学

## ブリストル大学の概要

ブリストルはイングランド南西部に位置する人口約45万人の都市で、ロンドンのパディントン駅からグレートウェスタンメインラインに乘車しておよそ200kmの距離を約2時間で移動することができます。グレートウェスタンメインラインはイギリスの技術者ブルネルによって設計され、1841年に開業した歴史ある鉄道です。ブリストルにはブルネルが設計した世界初の鉄製蒸気船グレートブリテン号やブリストル吊橋などがあり、かつてのイギリスの技術力を知ることができます。私がブリストル大学に赴任した2016年当時、グレートウェスタンメインラインは気動車のみが営業運転に供されていましたが、私が日本へ帰任する2018年には一部区間の電化が完了し、バイモード車両によるパンタグラフを使った営業運転が開始されていました。なお、現在でも電化工事が進められています。

ブリストル大学 (図1) は100年以上の歴史をもつ総合大学で、ノーベル賞受賞者を多く輩出しています。出向中のACTLabには、制御工学に関する

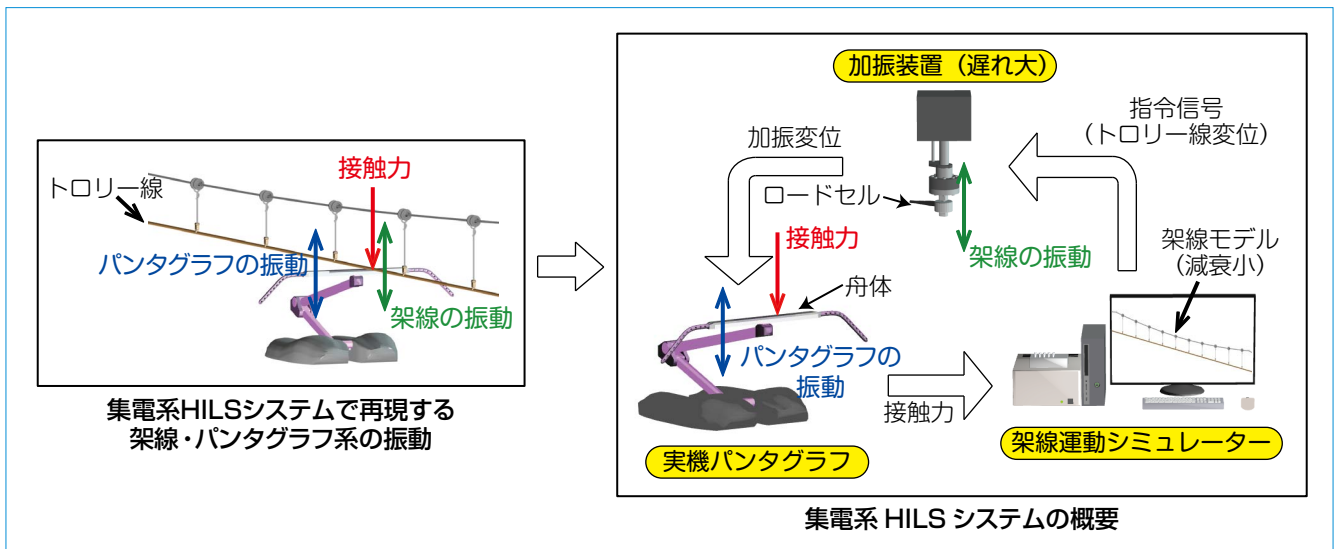


図2 集電系HILSシステムの概要

研究を行う4名の教員が所属していました。4名の教員それぞれが博士課程の学生の指導を行い、ACTLabにはこれらの博士課程の学生と客員研究員が所属していました。学部と修士の学生は研究室に籍を置かない点において日本の大学とは仕組みが異なります。ヨーロッパの大学には鉄道の研究所が設置されていることがありますが、ブリストル大学には鉄道を専門とする研究所はなく、ACTLabで行われている研究も、機械力学・制御や航空宇宙分野など多岐にわたっていました。

ストートン教授は制御工学を専門とするACTLabの創立者であり、制御理論の構築だけでなく、理論を実機へ適用する研究も行ってきました。また、2006年頃からはHILS(☞参照)の安定化手法の開発にも取り組まれており、当該手法をパンタグラフの試験手法に応用するためにストートン教授との共同研究を始めました。

あるHILSシステムの開発に取り組んでいます<sup>1)</sup>。架線・パンタグラフ系のHILSシステム(以下、集電系HILSシステム)の概要を図2に示します。集電系HILSシステムでは、パンタグラフが架線と接触しながら走行する際に、架線とパンタグラフ舟体が互いに力をやりとりしながら振動する様子を定置試験で再現することを目的としています。図2では、加振装置がパンタグラフ舟体を加振した際の加振力(以下、接触力)をロードセルで測定し、この接触力を用いて架線運動シミュレーターが架線の運動をリアルタイムで計算します。計算されたトロリー線の変位を加振装置が発生するように架線運動シミュレーターが適切に指令信号を生成し、これを用いて加振装置がパンタグラフ舟体を加振します。

本共同研究では、集電系HILSシステムを安定的に動作させるための手法の開発を行いました。当初、図2に示

す集電系HILSシステムは、加振装置の遅れと架線モデルの減衰の小ささに起因してシステムが不安定になるという問題がありました。このような問題を解決するためにストートン教授が提唱する動的部分構造法(Dynamically Substructured System, 以下DSS)をHILSシステムへ適用しました<sup>2)</sup>。DSSでは、トロリー線変位の計算結果と加振装置の発生変位との誤差が小さくなるように制御することでシステムの安定性を確保します。

しかし従来のDSSは、架線・パンタグラフ系へ適用することができませんでした。これは、DSSが架線・パンタグラフ系のような移動荷重問題への適用を前提にしていなかったことと、架線モデルの自由度が大きいことに起因しています。そこで本共同研究では、移動荷重問題や大規模な架線モデルへ適用可能なDSS手法を開発し、安定的に動作する集電系HILSシステムを

## 共同研究

### 集電系HILSシステムの概要

鉄道総研では、架線とパンタグラフの動的相互作用を考慮可能なパンタグラフの定置加振試験システムで

#### ☞ HILS : Hardware-in-the-Loop Simulation

シミュレーションループの中に、ハードウェアである実構造物を組み込んだハイブリッドなシミュレーション手法です。シミュレーションを用いた柔軟な条件設定と、実構造物を用いた詳細な特性評価が可能になります。鉄道以外の分野では、自動車のエンジンコントロールユニットの開発などに用いられています。

開発しました。

### ブリストル大学での検証試験

ブリストル大学で集電系HILSシステムの理論を構築した後に、ブリストル大学が所有する加振装置を用いてHILSシステムの検証試験を実施しました。大学では実機パンタグラフを使えなかったため、**図3**に示すようにコイルばねと軸受を使って簡易的に模擬パンタグラフを製作し、これを加振することで集電系HILSシステムの検証試験を行いました。集電系HILSシステムでは**図2**に示すように架線・パンタグラフ系の上下方向の振動を再現することが目的ですが、本試験装置では設置上の都合により、実機パンタグラフをレール方向周りに90度回転させたような姿勢で模擬パンタグラフを設置しており、その力学モデルは**図4**のように表現することができます。模擬パンタグラフを構成する軸受部は実機パンタグラフの舟体を、コイルばねはパンタグラフ舟体を支持するばねを、それぞれ模擬しています。実機パンタグラフには約54Nの力でパンタグラフ舟体を架線に押し付ける押上機構が備えられていますが、模擬パンタグラフには押上機構がありません。そこで、コイルばねを自然の長さから約5mm縮めた状態で**図3**の試験装置を構成することで、加振装置が停止した状態においてコイルばねが約54Nの力で軸受部を加振装置へ押し付けるようになっています。したがって、模擬パンタグラフを構成するコイルばねは、舟体を支持するばねを模擬すると同時に実機パンタグラフの押上機構を模擬する役割を担っています。

この模擬パンタグラフが架線下をさまざまな速度で走行する状況を模擬してHILS試験を実施しました。本試験装置を構成する加振装置は鉄道総研の加振装置よりも遅れが大きいことから

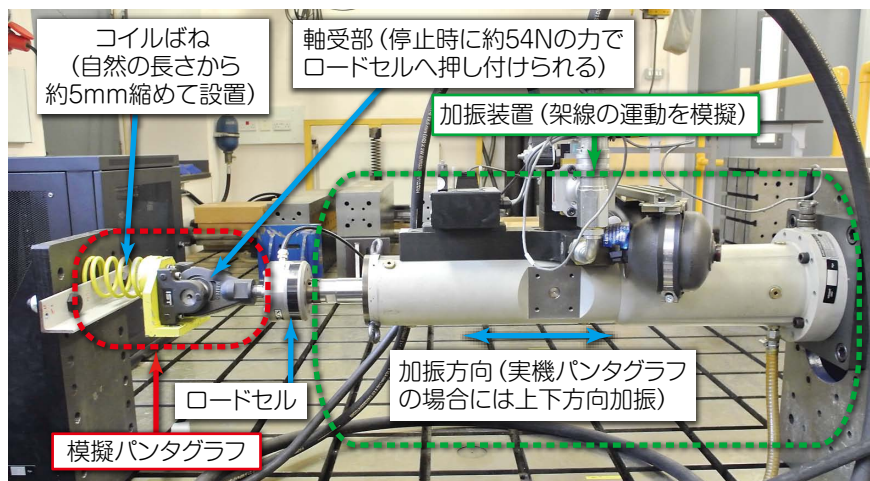


図3 模擬パンタグラフを用いたHILS試験装置 (ブリストル大学, ACTLab)

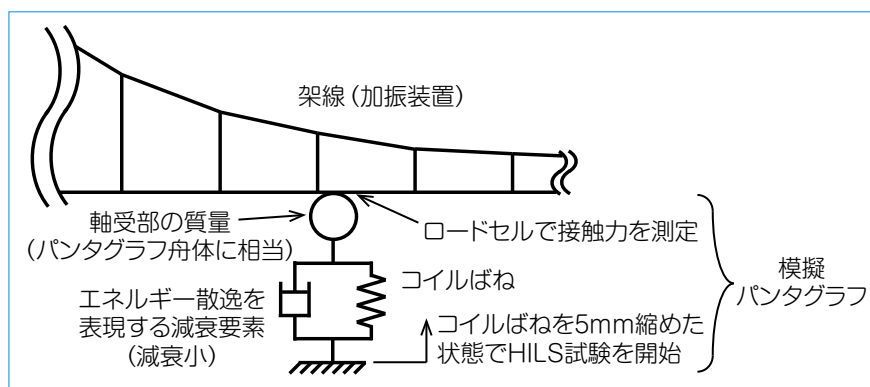


図4 模擬パンタグラフを用いたHILS試験装置の力学モデル

システムの安定化が難しいのですが、開発した安定化手法を用いて安定的に試験を行えることを確認しました。

### 鉄道総研での検証試験

ブリストル大学で開発した安定化手法を用いて、鉄道総研で実機パンタグラフを用いたHILSの検証試験を実施しました (**図5**)。本試験装置では、パンタグラフ舟体を加振装置で上下方向に加振し、そのときの接触力をロードセルで測定して架線モデルのリアルタイムシミュレーションに用います。

本検証試験では、実機パンタグラフが新幹線用のシンプル架線下を300km/hで走行する状況を模擬し、HILS試験を実施しました。試験結果を**図6**に示します。**図6**には、パンタグラフの走行シミュレーションを別途

実施した結果も示しています。試験結果とシミュレーション結果との比較から、HILSによって架線・パンタグラフ系の挙動を表現できることがわかります。

## 現地の生活

### 鉄道事情

ブリストル市内の主要な交通手段は車やバスであり、鉄道網はそれほど発達していません。したがって、出向中は通勤手段として鉄道は使っておらず、ロンドンへ移動するときなど都市間移動のために鉄道を利用しました。そのため、鉄道を利用する頻度はそれほど高くはなかったのですが、10分以上の列車の遅延や運行取りやめが発生した割合は全乗車回数の約1割でした。

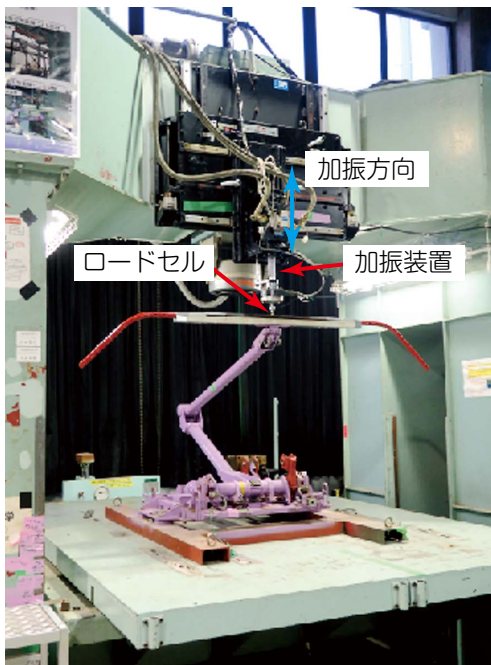


図5 実機パンタグラフを用いた試験装置(鉄道総研)

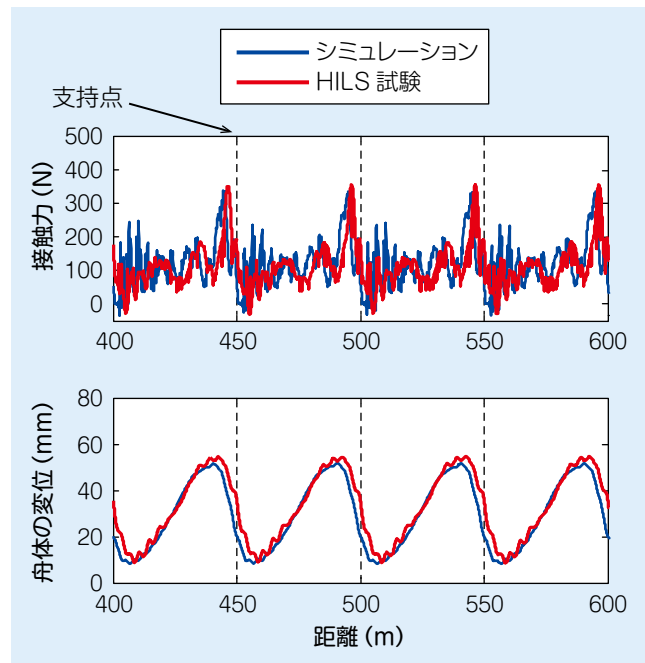


図6 実機パンタグラフを用いた試験結果

イギリスでは運輸省鉄道道路局が四半期ごとに旅客・貨物鉄道の運航実績を公表しています<sup>3)</sup>。その中の指標の一つであるPPM (Public Performance Measure, 定時運行率)は、終点到5分以内(中長距離列車は10分以内)の遅延で到着した列車の比率を表している。出向中の2017年時点での年間平均値は88%であり、出向中に経験した1割の遅延・取りやめはPPMとほぼ近い値になっていました。残念ながらPPMは2012年頃をピークに減少傾向にあるようですが、鉄道道路局は2019年から定時性に関する新しい評価指標を導入するなど、鉄道の利便性向上や利用者の確保に向けたさまざまな取り組みがなされています。

### イギリス人の国民性

イギリスは日本と同じ島国なこともあり、自国の文化を大切に誇りに思っています。同様にイギリス英語についても強い思い入れがあるようで、アメリカ英語の言い回しやスラングを使うと注意を受けることがありまし

た。日本でも使う「エレベーター」はイギリスでは「リフト」とよばれ、このような違いは現地ですれすれ気づいていくしかありませんでした。

多くのイギリス人は人当たりがよく、ユーモアのセンスに富み話し好きです。他人に対しても親切で、ドアを開けたら後から来る人のために開けたままにしておく習慣があり、車の運転では積極的にお互いが道を譲ります。ところが、他人に干渉することはほとんどなく、公共の場で注意を促す放送はほとんど流れません。たとえば日本の公共交通機関を利用すると注意喚起の放送がしきりに流れますが、ロンドンの地下鉄の車内では駅停車時に「電車とホームの隙間にご注意ください」のアナウンスが流れる程度です。

日本と近いようで遠い文化をもつ国で生活をする、自国の文化や風習について改めて考えさせられる瞬間が多々あったということが今でも記憶に残っています。

### まとめ

安定的に動作する集電系HILSシステムを開発するためにブリストル大学へ出向し、18か月間のイギリス生活を送ってきました。出向を経て、鉄道総研において国際活動を行う上で重要な議論や交渉を行う能力を養うなどかけがえのない貴重な経験をすることができました。今後も引き続き、研究成果を世界へ発信してゆきたいと考えております。[RRR]

### 文献

- 1) 小林樹幸, 臼田隆之, 山下義隆: 架線モデルと実機パンタグラフで集電性能を評価する, RRR, Vol.75, No.11, pp.8-11, 2018
- 2) 小林樹幸, 山下義隆, 臼田隆之, David P.Stoten: 多自由度架線モデルを用いた集電系ハイブリッドシミュレーション手法, 鉄道総研報告, Vol.32, No.6, pp.11-16, 2018
- 3) 久米清方: 英国の鉄道に関する情報の公開について, JR gazette, Vol.359, pp.48-49, 2017