



# 世界規模で広がる「鉄道新時代」に挑戦する シミュレーション技術

環境・省エネの観点から、公共交通システムの決め手として、いま改めて世界各国が建設への意欲をみせている鉄道。なかでも高速鉄道は先進的な社会インフラの象徴として注目される存在だ。

その中で、日立が初めて手がけた英国の高速車両「Class 395」が、英国の鉄道関係者などから高い評価を受けている。鉄道車両に関するさまざまな規準も、鉄道システムの仕組みも異なる英国の地で、

成功を収めることができた背景には、車両開発に日立が培ってきた精度の高いシミュレーション技術も大きく寄与している。機械研究所 輸送システム研究部 鉄道ユニットリーダーとして

「Class 395」に関するシミュレーション技術をとらとめてきた鈴木敦主任研究員に聞いた。

## 鉄道発祥の地、英国が認めた 鉄道車両「Class 395」

2009年12月13日、ロンドンと英仏海峡トンネル109キロを結ぶ英国の高速新線「High Speed 1（以下、HS1）」（※1）で日立製の高速鉄道車両「Class 395」が本格的な営業運転に入った。そして2010年2月に、英国の「Rail Business Awards 2009（英国鉄道事業大賞）」（以下、RBA）の「Rolling Stock Excellence of the Year」に日立が選ばれた。快適性、安全性などの面で優れた能力を発揮している「Class 395」は、99・1%の定時運行を実現して、利用客にも大いにメリットを提供している点を、RBAは評価している。鉄道発祥の

地・英国での快挙と言える。

この「Class 395」とはどんな車両なのか、まずそれをご紹介します。交流電化されている高速路線HS1内を営業最高速度・時速225キロメートルで走ることができるとともに、直流電化の在来線区にも乗り入れが可能。在来線への乗り入れによって沿線の移動にかかる時間を劇的に短縮でき、HS1のいっそうの有効活用とその沿線地域の輸送サービス向上に寄与できる。さらに2012年開催予定のロンドンオリンピックでは、ロンドン市内輸送にも投入される計画だ。また、欧州域内相互乗り入れ運用規格にも適合している。

開発にあたっては、日立が日本国内向けの鉄道車両で培ってきた「A・train」（※2）技術を駆使して、軽量で高信頼、高品位な車両に仕

上げた。ちなみに、HS1の軌道間は、日本の新幹線と同じ1435ミリ。1編成6両で、1両の定員は384名（さらに12の補助座席を有する）。車内は左右に2列ずつ座席が配置され、ゆったりとした快適な客室空間をつくっている。日立では、この「Class 395」を29編成174両受注し、2007年8月にプロトタイプ1編成を納入。その後、数々の試験走行などを実施しながら、2009年に全車両の納入を果たした。

「Class 395」は、本格営業に入る前から英国の鉄道関係者の驚きと称賛の声を集めていた。元来、鉄道車両の開発には複雑な要素がからみあって、納入スケジュール通りに進まない英国で、「Class 395」は納期を守って納入され、その結果、当初予定していたサービス



英国の高速新線「High Speed 1」とともに沿線の在来線にも乗り入れ可能な新鋭車両。

レーション技術について、機械研究所 主任研究員の鈴木敦に語ってもらった。

(※1) HSIは、全線開業までは、海峡トンネル連絡線CTRLと呼称された。

(※2) Airtrainとは、軽量アルミ素材を採用し、車両構造のシンブル化、溶接作業の軽減、部品点数の軽減、内装のモジュール化、生産の自動化・機械化を進め、高品位・高精度な車両生産を実現した日立の鉄道車両システム。

## 先進の鉄道車両開発技術と 先端のコンピュータ技術の コンビネーション

開始予定日より5か月前に乗客輸送が開始されたからだ。快適性や安全性などの優秀さに加えて、納期厳守の実現。それは、もちろん設計・開発、製造、そして営業の各チームが一体となった努力の賜物だ。だが、その中でも見逃せないのが、シミュレーション技術を駆使した設計手法だ。日立がこれまで幅広い分野で築いてきた先進的なシミュレーション技術が、新しい課題解決と短期間での開発に貢献した点が多々あった。今回はその車両設計に駆使されたシミュ

ごく一般的に言う鉄道車両や船舶など多くの乗り物の世界は、もともと経験工学に属する。つまり、実際に動かして、その実績から新たな課題や反省点を見出し、次の設計に活かしていくことが、設計・開発の基本となっている。日立は、日本国内では新幹線車両から通勤電車まで数多くの車両を開発・製造して、優れた実績と経験を培ってきた。だが、英国の鉄道車両開発は、この「Class 395」が初めての経験となる。英国では鉄道の運行会社、車両の提供会社、路線のインフラ管理会社がそれぞれ異なる上下分離方式が採用されている。また、今回も高速車両設計には、英国と欧州の複数の規格を満たすことが必要だった。その主なものだけでも英国の鉄道システム標準であるRGS (Railway Group Standards) 、欧州のTSI (Technical Specification for Interoperability) 、その他、英国のBS (British Standards) やATOC

(Association of Train Operating Companies) 、欧州のEN (European Norm) などの標準規格があり、それぞれ構造や材料強度、空気力学性能、騒音、耐火性能、そして衝突性能などを細かに規定している。車両が各規格をクリアして快適さ、安全性などを十分に備えている点を、数多くの利害関係者に理解してもらうには、精度の高いシミュレーション技術が不可欠だった。鈴木はこう言う。「最先端のコンピュータインフラ技術、鉄道車両製造技術の両方を合わせもっている日立の強みが、いかに発揮されたと思います」

シミュレーション技術は、まさに日々進化している。その背景には、5年で一桁アップと言われるコンピュータの計算速度の驚異的な進歩がある。たとえば、日立のスーパーコンピュータは過去20年間でおよそ10万倍も計算能力を高めた。さらにPC (パソコン) が性能を高めてきた結果、PCを多数並列して計算させるPCクラス系のコンピュータシステムが発展し、いまや複雑な流体解析や構造解析では主役となっている。

こうしたコンピュータの能力アップの結果、鉄道車両をまるごと解析する大きなスケールでのシミュレーションが可能になるとともに、微細な挙動まで把握する分解能の精緻化も可能になった。

日立は、電力などの社会インフラを支える大型機器を数多く手がける中で、自社の高度なコンピュータ技術を活用して、シミュレーション

技術を発展させる機会に恵まれてきた。その結果、コンピュータ技術とともに、それをフルに活かしたシミュレーションを行うことができる人材も多く育成してきた。今回の「Class 395」の開発におけるシミュレーションでも、必要に応じてソフトウェアを自社で内製し、シミュレーションを行うことで、精度の高い結果を生み出すことができた。「コンピュータの能力を活かして、マルチスケールの解析を行うには、各スケールで現象を支配している『支配方程式』をつないで解いていくことが必要です。異なる支

配方程式を結びつけて解析する技術を駆使して、かゆいところに手が届く解析を可能にしたことが、私たちのアドバンテージと言えます」そう鈴木は指摘する。

## 安全性や快適さの 確保に活躍する ダイナミクスシミュレーション

この内製ツールを全面的に活用したのが、ダイナミクスシミュレーションである。これは、

車両の挙動を事前に予測して、安全性や乗り心地などの車両の性能を評価する解析技術だ。「ダイナミクスシミュレーションは車両の走行性能を決める上で不可欠な技術です。ことに「Class 395」は時速225キロメートルの高速で安定した走行が求められるため、ダイナミクスシミュレーションは、車両開発の初期から重要な役割を果たしてきました。日立の技術陣が必要に応じてプログラムも開発して、問題となる現象により深く踏み込んだ解析を可能にしたことは、開発に大きなメリットを提供できたと自負しています」

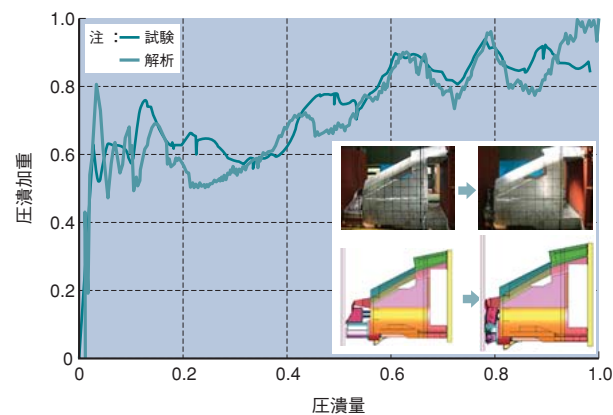
当たり前過ぎて、ふつうは見逃しがちだが、鉄道車両には鉄路と鉄輪が触れ合うことで複雑な振動が生じている。この振動の制御が、安定性や曲線通過時の安全性、そして乗り心地の向上などには欠かせない。しかし、この振動は、鉄路と鉄輪それぞれの状態なども関係しているため、その挙動の正確な把握はかなり難しい。日本国内を走る車両開発で、日立は鉄道事業者とも緊密に連携して、実状に即した高度な解析技術やノウハウを培ってきた。そのノウハウなどを活かして独自のダイナミクスシミュレータを開発し、精度の高い安定性、安全性、乗り心地の評価を行って車両や台車の設計開発に活用している。



株式会社 日立製作所 機械研究所 輸送システム研究部 鉄道ユニット ユニットリーダー 主任研究員 鈴木 敦

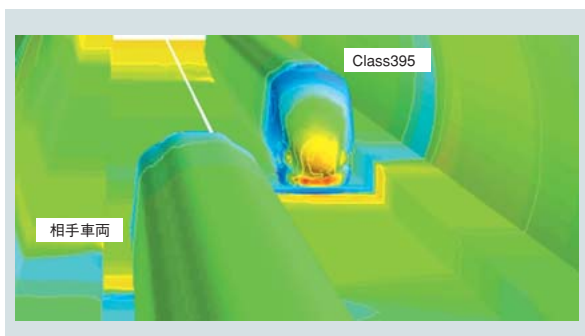
このダイナミクスシミュレーション技術が、「Class 395」の設計・開発でもいかに発揮された。たとえば、今回、英国の規格に基づく独特な定置試験が必要となった。車両を傾

## ■ 車両端部構造の準静的圧潰試験と解析



圧潰（かい）量と圧潰荷重の特性グラフ、および圧潰状態の図は試験と解析でよく一致している。

## ■ トンネル内における車両のすれ違い解析



高速車両のすれ違い時における圧力変動を、スーパーコンピュータを用いて精度よく解析することが可能である。

鉄道システムには、周囲の建造物などと車両が接触・干渉しないようにするため、車両のサイズの最大限界を決める車両限界と周辺地上施設形状の限界を決める建築限界とがある。日本などでは、これを数値化した静的な車両・建築限界が明示されているが、英国ではそれがない。この背景には、欧米に範をとった近代化の過程であらかじめインフラ整備を進めて鉄道を敷設してきた日本と、すでに存在している社会インフラの中に鉄道網を張りめぐらせる形で鉄道を発達させてきた鉄道発祥の地・英国との、鉄道発達史の違いがあるのだろう。このため英国では、車両メーカーが地上施設と車両が接触しないことを証明することが必要とされる。

## 海外での新しい経験と実績が次代のシミュレーション技術を育む

日本の鉄道には、トンネルが数多くある。そのため、こうした鉄道における流体シミュレーションの適用は、世界をリードする水準にある。なかでも、日立は独自の解析プログラムを開発し、日立製のスーパーコンピュータを用いて、精度の高いシミュレーションを行うことができる。ここでも解析結果は30分の1のスケールの模型を使って行ったトンネル打ち込み実験による実測結果と、非常によく一致した。今回の「Class 395」でも、その車体設計に流体シミュレーションが活躍した。

そこで「Class 395」の開発では、ダイナミクスシミュレーションなどを駆使して、車両が走行する際の動的な挙動を解析。これを実際の地上施設等のデータと照合して、干渉を起こさないように車両のサイズを決めるとともに、車両の振動に深くかわかる台車のバネ系の設計を行った。

鉄道の歴史も文化も、日本とは大きな違いを持つ英国。その車両開発は、いままでの国内の車両開発とずいぶん勝手が違ったのでは、と最後に聞いてみた。それを鈴木はこう答えた。

「それが、英国に車両を納入するという事です。日本で培ってきた鉄道車両をはじめとする日立の鉄道システムの開発技術は、世界的にみても極めて高い水準にあります。環境などの視点から鉄道が見直されている中で、今後ますますその優れた技術・製品を提供していく機会が増えていくと思います。異なる歴史や文化をもつ外国で、日本の鉄道の優秀さを伝えるには、精度の高いシミュレーション技術が不可欠です。その点で、今回の『Class 395』は私たちにとって新しい経験と実績を与えてくれました。また、実際に英国で営業走行が始まり、そこからも新たな知見を得られます。こうした新しい経験をフィードバックしていくことで、さらに新たなシミュレーション技術の発展が生まれてくると考えています。そしてシミュレーション技術の発展が、海外市場で日本国内では想定していなかった課題に直面した時にも、短時間で解答を見出すことに役立つと思います」。

## 「衝突時の安全確保」を求める英国・欧州基準に応える

「Class 395」の開発で初めて取り組むこと

けた時に車両がどのように変形するかという車両変位についての実物試験とシミュレーション結果の比較検証などが求められたが、ここでもダイナミクスシミュレーションが活躍した。実際の車両を傾けた実験結果とシミュレーション結果がよく一致し、シミュレーションの高い精度が証明された。



になったシミュレーションは定置試験だけにとどまらない。英国および欧州の鉄道車両の規格に挙げられている衝突時の規定も、日本の車両開発にはない項目だ。これは、信号システムなど鉄道システム全体の統一的な運用で衝突が起らないように設計している日本と、鉄道システムの異なる複数の国の車両が相互乗り入れする欧州と、異なる歴史的な背景が生んだ車両設計思想の相違点と言える。しかも、英国の規格では車両単体の衝突時の衝撃吸収性能が規定されており、欧州の規格では車両編成全体が貨物列車や大型トラックと衝突した時の安全基準を規定している。それらの規定を満たすには、衝突時に車両の一部が計算通りに壊れることで、衝突の衝撃を吸収し、乗員や乗客の安全性を確保することが必要だ。

こうした衝突時の性能の検証は、シミュレーション技術の活躍の場の一つといえる。部分的な実物試験は可能だが、編成全体の衝突試験などは実物による実験が行えないからだ。日立にとって鉄道車両の衝突時のシミュレーション自体は、「Class 395」の開発で初めて経験するものだ。シミュレーションと実験による計測結果を突き合わせながら、シミュレーションの精度アップを図っていった。日立では原子力発電機器などの大型機器で培った高度なシミュレーション技術があり、これに応用することで短期間のうちに高い解析精度をもつシミュレーションが可能になった。

「Class 395」は、衝撃吸収の役割を果たす

エネルギー吸収部分と乗員・乗客が乗る客室部分を別のモジュールとすることで、衝突時にも乗員・乗客の安全性が確保できる構造になっている。衝撃を吸収する先頭部分は素材と構造、製造技術の各面から工夫を凝らし、エネルギー吸収部材だけが変形する構造を実現した。この開発過程で行われたシミュレーション結果は、実物の車両先頭部分を使った実験結果と高い精度で一致している。

「複数の利害関係者に車両の安全性を理解してもらうには、シミュレーションが非常に高い精度であることを納得してもらうことが必要です。それには実験とシミュレーション結果の突き合わせで、精度を証明することが重要です。シミュレーション技術は、つねに実験・計測技術といっしょになって精度を上げていくプロセスが不可欠です」と鈴木は言う。

高速車両の開発で、もう一つ重要なポイントとなるのが、トンネルに車両が入る時に発生する圧力変動の問題だ。これは国内の新幹線などでもよく知られているが、車両が高速でトンネルに入るとトンネル内の空気を圧縮して、その圧力波がトンネル内を伝わり出口側から外に放射される際に騒音や振動をもたらし、この圧力波は、車両の先頭形状とトンネルの出入口の形状によって変化する。この先頭形状の開発で活躍するのが流体シミュレーション技術だ。トンネル内の空気の挙動を予測して圧力波が形成される状況を解析・評価する。

山あり谷ありという起伏に富んだ環境を走る