

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

# 新幹線の発展に資する 鉄道総研の電気技術

低炭素社会への移行や社会全体のデジタルトランスフォーメーションが進められようとするなか、新幹線においても「電力供給」と「情報・通信」を核とする電気技術の重要性は、これまでになく大きくなっています。ここでは、新幹線に導入されている電気技術の最近の動向と、今後鉄道総研が鉄道事業者に対して行う技術的提案について紹介します。なお、前半では電力供給に関わる技術を、後半では信号通信に関わる技術を、それぞれ紹介します。



**池田 充**  
Mitsuru Ikeda  
前 電力技術研究部長  
(現 企画室長)  
【専門分野】 架線・パンタグラフ系の動的相互作用



**川崎 邦弘**  
Kunihiko Kawasaki  
信号・情報技術研究部長  
【専門分野】 対列車通信システム、電波環境

## はじめに

1964年の東海道新幹線開業から56年を経て、新幹線も、これをとりまく社会も、大きく変化しました。そして今、低炭素社会への移行や社会全体のデジタルトランスフォーメーションが進められようとするなかで、新幹線においても「電力供給」と「情報・通信」を核とする電気技術の重要性は、これまでになく大きくなるものと思われれます。

ここでは、新幹線に導入されている電気技術の最近の動向と、今後鉄道総研が鉄道事業者に対して行う技術的提案について紹介します。

## 電力供給技術の動向

東海道新幹線開業から今日に至る新幹線の電力供給技術の流れを、東海道新幹線開業前の黎明期も含めて概観したものを図1に示します。図の下半分には、き電方式、架線、パンタグラフの技術的系譜を簡単に示します。

全体を俯瞰していえば、東海道新幹線開業時の代表的な電力供給技術、すなわちBTき電方式、合成コンパウンド架線、下枠交差型パンタグラフ、の

組み合わせは、開業後25年頃を境として現在主流の技術、すなわちATき電方式、高張力ヘビーコンパウンド架線あるいは高速シンプル架線、低騒音パンタグラフ、の組み合わせへと移行しています。その結果、現在用いられている電力供給設備は、東海道新幹線開業時とは大きく異なるものとなっています。

2010年以降の代表的な技術開発としては、省メンテナンス化や経済性向上のための設備の簡素化技術があげられます。具体的には、PHCシンプル架線やルーフ・デルタ結線変圧器などです。

新幹線の架線構造は、東海道新幹線開業時よりコンパウンド架線(3本の線条で架線を構成)が主流でした。しかし、1998年に開業した北陸新幹線(高崎～長野)において初めてシンプル架線(2本の線条で架線を構成)が全面的に導入されました。このときに用いられたCSトロリー線は銅と鉄の複合材で、高い強度を有することが特徴です。ただし、複合材料であるがゆえにリサイクルに難があったため、鉄道総研ではリサイクルが容易でしかも強

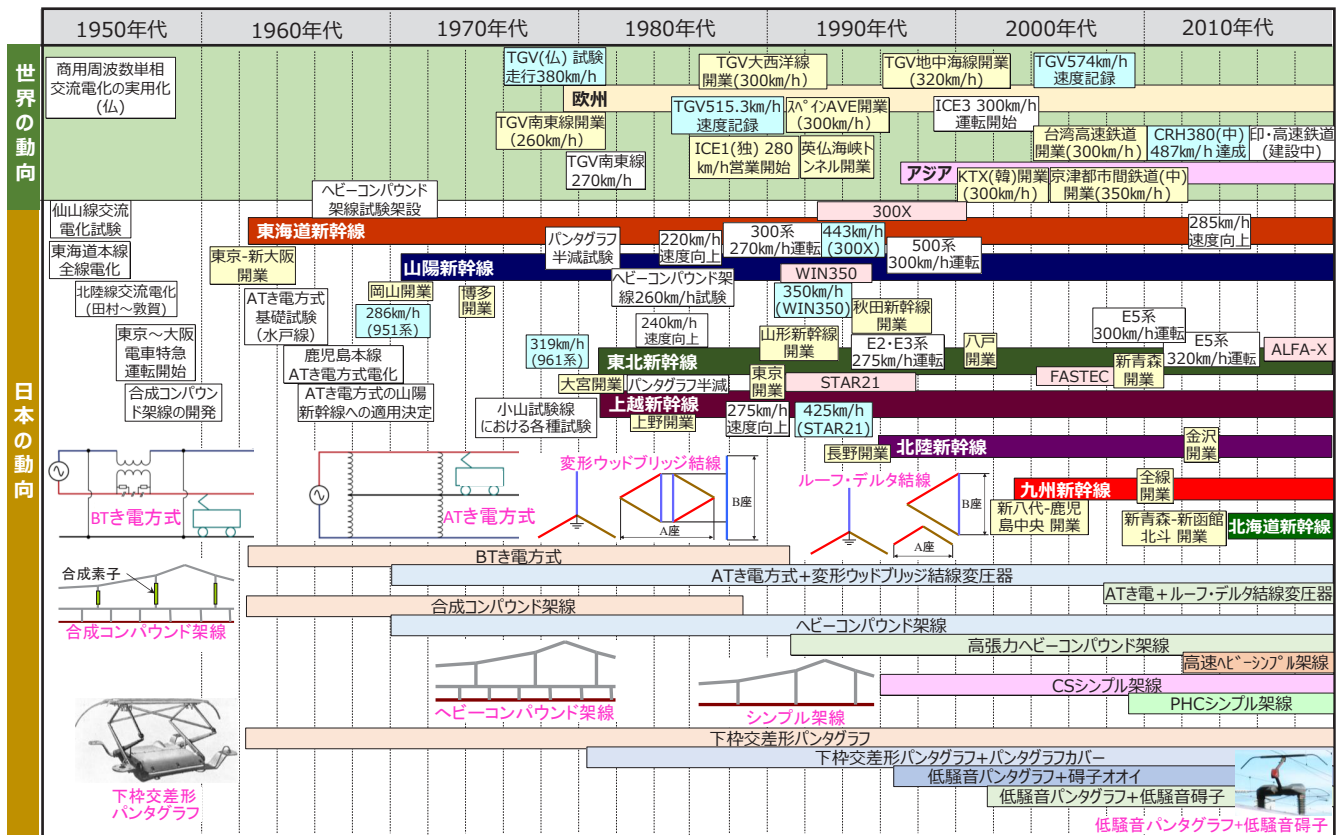


図1 新幹線に関わる電力供給技術の推移

度の高いPHCトロリー線を開発しました。このトロリー線を用いたPHCシンプル架線が2010年の東北新幹線八戸～新青森間の開業以降、整備新幹線で全面採用されています。

これとほぼ同じタイミングで実用化された技術としてルーフ・デルタ結線変圧器があります。山陽新幹線の開業以降、電力会社から受電した三相交流を2組のより低い電圧の単相交流に変換する変圧器には変形ウッドブリッジ結線変圧器が用いられていましたが、構造がやや複雑でした。そこで鉄道総研が中心となり、よりシンプルな構造のルーフ・デルタ結線変圧器を開発しました。小型で低損失という特徴があり、新設変電所への適用のみならず、既設変電所の老朽取替用としての適用例もあります。

### 新しい電力供給技術の提案

次に、現在鉄道総研が鉄道事業者と開発を進めている新しい電力供給技術を二つ紹介します。

一つは300km/hを超える運転に対応した高速シンプル架線(図2)です。前述のとおり、最高速度260km/hの整備新幹線区間ではシンプル架線が全面的に採用されています。また、もともとコンパウンド架線を使用していた東海道新幹線でも、設備簡素化のために高速用ヘビーシンプル架線への更新が始まっています。この架線は285km/h運行に対応しています。鉄道総研では、JR東日本と共同で300km/hを超える速度域でも適用可能な高速シンプル架線を開発しました。すでに試験架設を終え、東北新幹線、上越新幹線への導入が予定されています。

この高速シンプル架線には前述のPHCトロリー線が適用可能ですが、PHCトロリー線は製造工程が多いことから、製造コストが高く、小ロット生産への対応が困難という課題がありました。そこで鉄道総研ではこの課題を克服したCPSトロリー線を三菱マテリアル、菱星尼崎電線と共同で開発



図2 300km/h超運転に対応した高速シンプル架線と高張力コンパウンド架線

し、実用化に向けた実証試験をすでに終えています。

もう一つの新しい技術は電車線の検測技術です。今後の労働力人口減少に対応するため、設備簡素化に加え、設備検査方法の高度化により人手をできるだけ介さない保全体制の確立が求められています。そこで鉄道総研では、車両屋根上から電車線を構成する各線条と架線金具(ハンガーなど)の状態を検測する電車線非接触測定装置(図3)を開発しました。

電車線非接触測定装置は、画像解析とレーザー計測の併用により電車線を

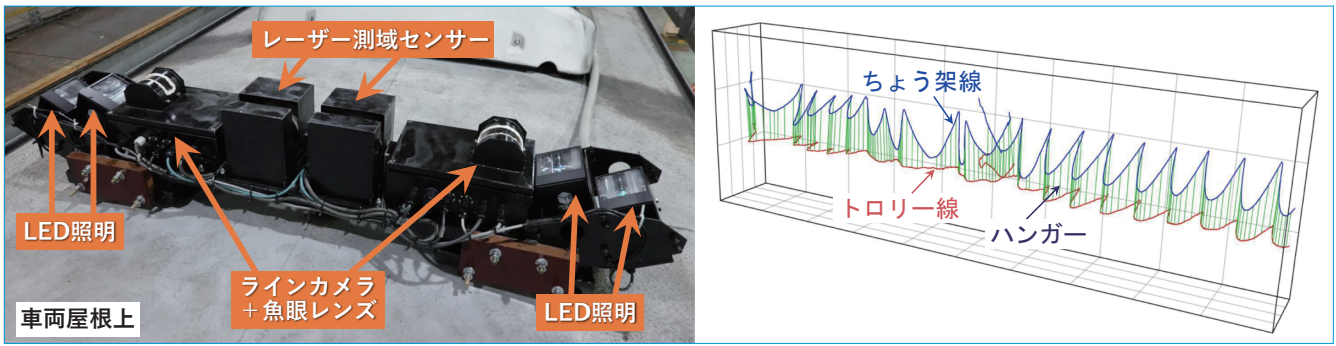


図3 電車線非接触測定装置と電車線計測例

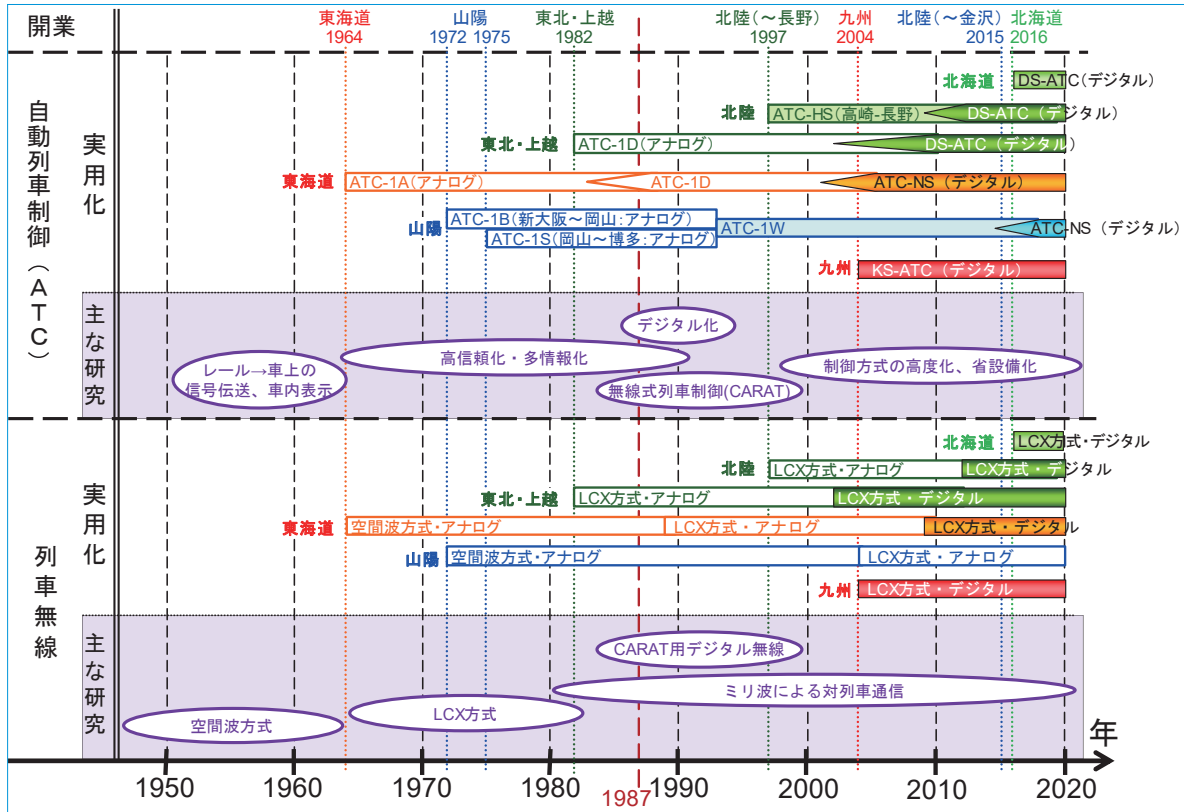


図4 自動列車制御(ATC)と列車無線の推移と研究開発の流れ

構成する各線条の3次元位置を非接触で精度よく計測できます。さらに、機械学習により各種金具の自動抽出と診断を可能としました(明電舎との共同研究)。本装置をできるだけ早く実用化し、保全のシステムチェンジを実現したいと考えています。

### 信号通信技術の動向

高速列車の安全・安定運行を支えるため、新幹線にはさまざまな信号通信設備が導入されています。なかでも自動列車制御(ATC)と列車無線は、新幹線の高い安全性と信頼性を実現するために、各時代の最新技術を投入して

構築・発展してきた代表的なシステムです。ATC、列車無線の実用化とこれに関連する主な研究の流れを図4に示します。

ATCは列車の安全運行の要となるシステムで、先行列車との間隔や曲線・分岐などに応じた制限速度を列車に指示するとともに、制限速度以下で走行するよう自動でブレーキを制御します。レールに信号電流を流して列車に情報を伝送し、運転台に速度信号を表示すると同時に、走行速度と比較してブレーキを自動で制御する方式は1954年頃から研究が始まり、東海道新幹線開業時にはじめて導入されました。そ

の後、新しい線区が開業するごとに、信頼性向上と多情報化に関する研究成果が導入されていきました。1980年代に入ると、アナログ信号で送っていた情報をデジタル化して伝送する方式の研究が始まり、2002年の東北新幹線盛岡～八戸間開業時に実用化されました。アナログでは段階的な速度信号を列車に送っていましたが、デジタルでは停止すべき位置までの距離などの情報も送れるので、運転間隔の短縮や、乗り心地のよいブレーキ制御が実現しました。現在はすべての線区でデジタル化されています。

列車無線は、列車と地上との間で情

報を送受するために欠かせないシステムで、指令員～乗務員間の通話など運行やサービスに必要な情報を伝送しています。東海道新幹線開業時は音声信号をそのまま電波に乗せるアナログ無線で、沿線の数km～十数kmごとにアンテナを配置して列車と通信する空間波方式でした。アナログ無線で安定した伝送品質を保つのは難しいのですが、全線の99.9%で良好な品質で通信できる高い性能をもっていました。その後、トンネルや電波が届きにくい区間の対策技術としてLCX（漏洩同軸ケーブル）が開発されました。LCXは電波が少しずつ漏れるケーブルで、列車のすぐ横に地上アンテナが並んでいるのと同じ状態にできるため、他の電波の影響を受けにくく、全線の99.99%以上で安定した通信ができます。1982年の東北・上越新幹線への導入以降、現在は全線区で使用されています。

2002年にはデジタル無線が導入されました。デジタル無線は、伝送途中で発生するデータ誤りを訂正でき、高い伝送品質を確保できます。また音声以外の情報も同時に送れるため、車両の状態情報や旅客サービスなどさまざまなデータの伝送に活用されています。

### 新しい信号通信技術の提案

ATC、列車無線とも、1990年代までは信頼性向上と多機能化、2000年代以降はデジタル化が進みました。図4からは、これらの発展につながる研究開発が、実用化の10年以上前から始まっていたことがわかります。一方、新幹線にはまだ導入されていない研究開発も行っていました。それは無線式列車制御システム（CARAT：Computer And Radio Aided Train control system）とミリ波通信です。

CARATは、列車制御システムをゼ

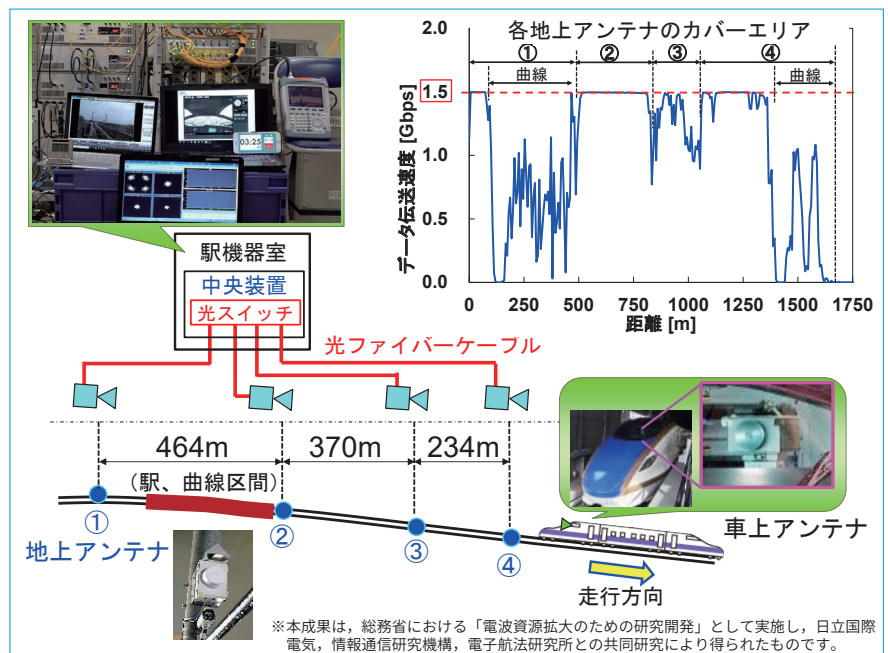


図5 90GHz帯ミリ波による対列車通信の実験構成と試験結果

ロから再検討し、コンピューターとデジタル無線を活用することで地上設備の少ない列車制御システムとして開発したもので、ATCの発展形といえます。新幹線における試験により、高速列車を安全に制御できることをすでに実証済みです。CARATの技術は、在来線の無線式列車制御システムに活用されました。無線式列車制御システムは、列車の位置や速度を詳細に把握・制御できるため柔軟な運行を実現でき、自動運転への展開にも有効です。

2015～2019年度の5年間、無線式列車制御システムをベースに、旅客流動や保守などのリアルタイム情報を活用して柔軟な運転を行う運行制御システムの開発に取り組みました。この研究では在来線への適用を想定しましたが、新幹線の運行制御システムへの展開も可能と考えています。

一方、ミリ波通信は1980年代から新幹線への適用が研究されてきましたが、高価な無線機を沿線に多数配置する必要があり、導入には至りませんでした。近年、ミリ波デバイスの性能向上と低価格化が進むとともに、無線信号を光ファイバーで配信することで1台の無線機で長い区間をカバーす

る技術が開発されるなど、ミリ波通信を低コストで実現する環境が整ってきました。また、車内の映像や運行制御情報の伝送など列車無線の大容量化に対するニーズも高まっています。そこで、2014年から40GHz帯や90GHz帯を利用した列車無線の開発に取り組み、2019年1月には90GHz帯を使って240km/hで走行する新幹線と地上との間で1.5Gbps（現行の約750倍）のデータ伝送を連続的に行えることを世界で初めて実証しました（図5）。将来の新幹線への導入に寄与すべく、シミュレーションによる設計支援や鉄道向けアンテナ開発などを今後も継続する予定です。

### おわりに

新幹線の電力供給設備と信号通信設備について、これまでの技術開発の経緯と、さらなる発展に資するための取り組みを紹介しました。今後も、より安全・安心で快適な新幹線の実現に向けて、最新の材料技術・デジタル技術を積極的に活用しながら、革新的な電気技術を開発、提供していきたいと考えています。[RRR]