

平成27年度 産業創出講演会 in 岡山 開催報告

主催 : (公財)ちゅうごく産業創造センター

共催 : 中国経済連合会、(公財)中国電力技術研究財団、(一社)中国地域ニュービジネス協議会、
(独)中小企業基盤整備機構 中国本部

後援 : 中国経済産業局、国立研究開発法人産業技術総合研究所 中国センター、
岡山県、岡山市、中国地方商工会議所連合会、
(公財)鳥取県産業振興機構、(公財)しまね産業振興財団、(公財)岡山県産業振興財団、
(公財)ひろしま産業振興機構、(公財)やまぐち産業振興財団

■日時 : 平成27年11月26日(木) 13:30~15:00

■会場 : ホテルグランヴィア岡山 4階「フェニックス」

■参加人数 : 115名

【概要】

山陽新幹線は昭和50年の岡山駅—博多駅開業から、40年を迎えています。この間、山陽新幹線の車両は0系から現在のN700系へと多くの課題を克服しながら、高速性と安全・静粛・快適性とを両立させてきました。

この度、当センターでは、山陽新幹線500系や最新の北陸新幹線の設計を担当された西日本旅客鉄道株式会社鉄道本部 車両部 車両設計室長 則直 久氏をお招きし、新幹線構想の始まりである弾丸列車構想から、東海道新幹線、山陽新幹線の車両の進化の歴史や山陽新幹線特有の車両編成など設計者ならではの技術的な話と熱い思いをさまざまなエピソードを織り交ぜてご講演いただきました。経営者、技術者の方々はもちろん新幹線に関心のある社会人・学生の方々に参考となるお話を伺うことができました。

【会場風景】



「山陽新幹線の技術動向 ～O系からN700系へ～」

西日本旅客鉄道（株）鉄道本部 車両部 車両設計室長
則直 久 氏

1. はじめに（新幹線の歴史）



戦争の激化で中断となった「弾丸列車計画（東京大阪間4時間）」が新幹線の最初の構想で、東海道新幹線は1959年着工、1964年開業とわずか5年間で完成しました。山陽新幹線の1972年の岡山開業と1975年の博多開業を経て、九州新幹線が2011年に全線開業しました。（写真：東海道新幹線開通）



2. 新幹線の技術の進展

鉄道システムは、電力、保安、信号などの「電気設備」とレール、トンネル、駅などの「土木設備」と「車両」といったハードとそれらを運用するソフトが一体となった総合システムです。

（1）電力供給・動力システム

山陽新幹線へは電力会社から供給された220kVを、当社変電所で25kVに落とし架線から車両に供給して、車両の変圧器で1kVから2kVに落とします。東海道新幹線では50Hzと60Hzが混在しており、富士川の東側の周波数変換所で50Hzを60Hzに周波数を変換しています。

東海道新幹線の架線は、「ちょう架線」「トロリー線」「補助ちょう架線」の3本の線の合成コンパウンド構造でした。山陽新幹線ではヘビーコンパウンドとし架線を太くし振動を減し、トロリー線も、銅から銅とスズの合金になり、最新のものは銅の中に鉄の芯がある強度の高いものを採用しています。

（2）ATCについて

ATC（Automatic Train Control）とは自動列車制御装置のことで、最初は多段式の1周波方式のもので、1組の周波数の中から速度にあった周波数を送受信しました。15Hzの信号で最高速は時速170kmと判断し、駅に止まるときは36Hzの信号で時速30kmと判断するが周波数に限りがあったうえ、東北新幹線が東京駅に乗り入れ東海道新幹線の真横に50Hzの新幹線が来て、周波数の割り方が困難になり2組の周波数の組み合わせで速度を判断するようになりました。

東海道新幹線と九州新幹線は1段式のATCを採用しています。多段式は周波数を感知しますが、1段式では、デジタル信号を車両が感知し滑らかに短い距離で止まり乗り心地も向上させ、最適な運転時隔と運転時分を実現させました。

（3）コムトラックについて

①コムトラックとは

コムトラック（Computer Aided Traffic Control）とは新幹線運行管理システムのことで、東海道・山陽新幹線を東京指令所のコムトラックが指令し、バックアップ機は大阪にあります。

②EDP（計画系）とPRC・MAP（実行系）

コムトラックでは、計画系のEDPが、運転計画を担当し、列車スジの検討、臨時列車の運用まで自動

でダイヤを作成し、車両系のEDPが車両の検査計画を作成し、乗務員系のEDPが乗務員がどの列車に乗るかまで作成し、最終的に人間が判断承認します。

実行系のPRCが運行管理、進路制御、列車の追跡、予測を担当し、進路制御系からCTCを介して駅のポイントを自動で動かし、MAPは気象による規制の指示を自動的に表示します。指令（人間）はコマトラックの前で監視していて、必要であれば変更を行います。

（４）土木・線路設備について

山陽新幹線はトンネルが土木・線路設備の半分を占め、東京から新潟まで山岳地帯を走る上越新幹線よりもトンネルが多いのが特徴です。レールを支える構造を軌道構造といい、バラストを敷いた上を走るのが有道床軌道、コンクリートで固めたのがスラブ軌道です。東海道新幹線は全てバラストだが、山陽新幹線は岡山以西では7割位がスラブです。バラストは維持が必要ですが、スラブではその手間が不要になりました。

JRは3つの震災を教訓に、構造物への耐震対策を進めました。阪神・淡路大震災では橋脚が崩壊、新潟県中越地震では脱線、東日本大震災では電柱が倒壊したため、次の3つの対策をとることになりました。

① 被災箇所への侵入防止

阪神・淡路大震災では山陽新幹線の高架橋が崩れました。始発前であり大事に至りませんでした。地震を検知して、早く止めるために山陽新幹線では沿線に地震計を多数設置しました。大地震発生時には、日本南端や日本海側の地震計が初期微動のP波を検知して緊急停止の信号を送り、主要動のS波が来るまでに列車の速度を遅くし、変電所の送電を止め非常ブレーキよりも15%強い停電ブレーキで止めます。

② 構造物の崩壊対策

高架橋などの柱を鉄板で巻く鋼板補強で座屈対策とし、急激に断面が変わるところは太い鉄線で補強しました。東日本大震災では架線の電柱が湾曲したので、倒壊防止策としてコンクリート柱の鋼管への変更、上りと下りの間の接続などを行っています。

③ 線路からの逸脱防止対策

中越地震の経験から、脱線しても逸脱しない防止ガードをレールとレールの間に敷設することとし、大阪から姫路まで高速走行区間への敷設を完了しました。

（５）車両について

① 主回路の変遷

車両の電気の主回路は、0系、100系は直流、今は交流の誘導電動機で、主回路を制御する素子もダイオードからサイリスタ、GTO、IGBTと変わり効率がよくなりました。

500系は、時速300kmで走るために、全て電動車とし4両単位で同じにし、主変圧器の付いた車の前後に制御装置を2つずつ付け、それぞれで誘導電動機を動かしECB（渦電流式ブレーキ）を付けませんでした。

N700系も時速300kmだが、モーターを大きくし、両先頭をT車（モーターのないトレーラー車両）とし、4両ユニットと3両ユニットの両方がある16両編成になりました。ECBはモーターと同じくらい重いので、N700系ではECBがなく先頭車には電気ブレーキがありません。ブレーキ時には、ほかのM車（モーター付きの車両）のブレーキで補います。T車のディスクは300系は2枚、700系は1枚、N700系ではなくなりました。

主回路の進化を通じて、0系では主回路1kgあたりの出力が0.1kW、N700系は0.3kWと同じ重さでも出力が3倍になりました。ECBをなくし直流電動機から誘導電動機になり、主回路機器が小型化し出力が向上しました。

②ブレーキ

N700系は、0系の階段状のブレーキを滑らかにし、駅には滑走しないで止めます。先頭車はECBがなく、ブレーキをかけないで中間車で補い滑走はほとんどありません。8両の「さくら」「みずほ」の場合は、先頭車にECBを付けず、全てモーターを積み、先頭と2両目のブレーキを緩くし他の車両で補っています。

非常ブレーキも、滑走しすぎないように500系以降は増粘着剤のセラミック（二酸化ケイ素）を入れるタンクを台車のところに設けて車輪の踏面に勢いよく吹き付けています。

③車体

新幹線の車体は、大別すると4種類あります。最初が0系、100系の鉄のモノコック構造で、柱に鉄板を張った当時一番軽い構造でした。300系は、骨にシングルスキンというたわまない板を張って、骨と合わせトータルで軽量化したアルミニウムの第3世代構造です。500系はさらなる軽量化のため、蜂の巣構造の六角形のアルミハニカムを間に挟んだアルミパネルを側面に使い、肩部から屋根にかけては300系同様柱に押し出し形材を使用しアルミハニカム+シングルスキン構造としました。最新のN700系車体は、ダブルスキンで縦の柱はなく、外と内の2枚のパネルの間のトラスによって柱の機能を出したパネルを心太^{ところてん}のように押し出し、形材の継ぎ目に沿って溶接します。加工性がよく、車両メーカーでの作業が軽減されるということで採用し、300系や500系に比べると少し重くなりました。

車両性能を比較すると、気密強度が強いのが500系でトンネルに入ったときに耳がツンとしません。曲げ剛性は乗り心地につながりN700系は硬く乗り心地が良い車両です。

④台車

300系以降は、空気バネだけで変位を吸収し、ヨーダンパーで台車の蛇行動（左右の振れ）を抑えます。ダンパーは速度に比例しシミュレーションが容易になりました。モーターが小さくなりブレーキ装置を付けていた「はり」がない小型軽量の台車になり、時速300kmで走っても安定性が上がりました。

設計者としては、ダンパーとバネで乗り心地をよくするのが基本ですが、さらによくするためにセミアクティブダンパーを500系に導入しました。制御ダンパーを入れ、ダンパーを若干可変にし車体の動きを解析してダンパーを制御するのがセミアクティブ制御装置で2つのパターンがあります。500系タイプは、普通のダンパーは減衰力パターンが1本のところを数種類の減衰力パターンがあり揺れ方に応じて制御します。N700系タイプは、減衰力パターンを選ぶのではなく、電気制御により細かなダンパー力を選択し、乗り心地もよくなりました。山陽新幹線はトンネルが多く、トンネル区間での乗り心地をよくするため、セミアクティブダンパーを設計し、トンネル内では普通のダンパーに動揺が半分抑制されています。

⑤走行抵抗

走行抵抗は、機械抵抗と空気抵抗に分けられ、回転部品、ベアリング、ギヤなどの機械抵抗は列車の速度に比例します。

空気抵抗は基本的には空気密度、列車速度、列車断面積、列車の側面の摩擦係数、列車長などで決まり、16両だと400mもの全長になるので側面の空気抵抗を小さくすることが有効です。100系、300系は0系に比べ、屋根上や床下の機器が滑らかになり空気抵抗は小さくなり、500系やN700系ではさらに小さくなりました。TGVというフランスの高速列車は空気抵抗が小さいが、TGVを400mの長さに換算して比較すると、500系やN700系はTGVよりも高速時の走行抵抗が小さい非常に効率のいい車両です。

（6）高速化技術について（騒音を減すには）

①WIN350

JR西日本では、試験車WIN350で1990年から試験を繰り返した結果を500系に反映させ、1996年最

終の性能試験を経て1997年3月に500系の営業運転を開始しました。

②き電方式

東海道新幹線は最初BTというき電方式で、25kVを架線に送ってレールから戻しました。レールに流れた電流を負のき電線が吸い上げ、電流が地面に流れないようにして地上の機器にいろいろな影響が出るのを防ぎます。この方式はアーク発生の問題があり、パンタグラフは一つずつにしていました。ATき電では50kVで送り出し、架線とレールの間は25kVで送り、それが車両に流れた後、ATに戻るときに同じ電流が流れます。変電所から送り出す電気は半分になり、東海道新幹線は変電所間隔が20km位ですが、山陽新幹線では50kmから70kmにできました。

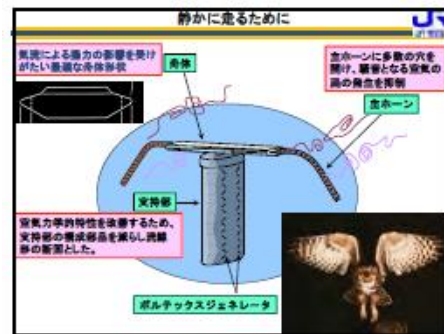
東海道新幹線では、ほかに実例がなくBTを採用しました。その後、鹿児島本線などで実証し山陽新幹線にATを採用し、今では東海道新幹線もATに変わっています。

③パンタグラフ

0系では、パンタグラフの横を覆い音を聞こえにくくした原始的なパンタグラフカバーによる最初の環境対策を行いました。100系からはATき電になり、6つのパンタグラフをつなぎアークも出ず騒音が低くなりました。300系は2つの種類のパンタグラフカバーを作り時速270km走行でも騒音の問題をなくしました。

500系からは風洞試験も行い、関西の風洞をお持ちの会社に、いろいろなパンタグラフとパンタグラフカバーの模型を持ち込んで計測しました。フクロウの剥製の騒音を測ってみるととても静かでした。

トンネル内での乗り心地も、いろいろな風洞を使って試験し、パンタグラフ自身も音を出さないように、途中から横型パンタグラフを考えました。パンタグラフの揚力がトロリー線を押し上げるので、高速時も揚力があまり変動しないことが必要です。翼型パンタグラフは、自動車のテストコースで車の屋根に載せて揚力を測りました。500系では鳥が翼を広げたようなパンタグラフができ、ホーンに穴を開けると音が出にくいことも発見しました。パンタグラフを付けるときに、楕円のボルテックスジェネレーターの表面にギザギザを付け音を小さくし、フクロウの剥製の実験がここに生かされました。



700系、N700系では、揚力を維持できたのでシングルアームパンタグラフにしました。

④車両のつなぎ

車両間のケーブルヘッドによる25kVのつなぎ部分を、100系は、ケーブルヘッドを車両間に立て電線でつなぎ、300系は、より低騒音とするために斜めのケーブルヘッドにしました。

WIN350で直接25kVの線を車両間でつなぎ、実用化が見込まれたので、500系営業車は25kVの線を切れるようにし車両間のケーブルヘッドの音を下げました。N700系は全周ほろを車両間に搭載し音を下げ走行抵抗も小さくしました。

⑤先頭車両の形状

トンネル微気圧波とは、トンネルに車が突入すると反対の出口でドーンという音がする現象で、突入した急激な圧力により圧縮波が出口側で破裂するのです。これを防ぐには圧縮波を下げ、圧力変化を緩和しますが、そのためには500系のように車両の先頭部を滑らかにするのが重要です。N700系では、断面積がゼロに近いところは実質関係ないのでこれを落として、500系と同様の効果をより先頭部が短い形で出すことができました。

3. 山陽新幹線の特情（特殊な事情）

山陽新幹線には 16 両では長すぎるため短編成車両があります。新大阪から博多を 2 時間 59 分で結んだ「ウエストひかり」は 12 両でしたが、2+2シートで従来の 2+3シートに比べ、グリーン車に近い快適な椅子でした。ファミリーカーにお子様が遊べるスペースを作るなど多くの世代の人が乗りやすい車を目指し、一部には映画を上映するシネマカーを導入しました。「ひかりレールスター」は、2+2シートのコンセプトは同じで、自由席は乗客増を考慮し、2+3としました。グループ旅行用のコンパースメントルームを用意



したり、パソコンを使われる方を想定しパソコンオフィスシートを採用し、旅行にもビジネスにも適したものを目指しました。「みずほ」「さくら」もシートのコンセプトは同じで、座席のリクライニングは最新のものとし、女性のニーズが高いパウダールームなどを設け、山陽新幹線・九州新幹線の車内で快適に過ごしていただけるようにしました。

0系は2両ごとに同じなので、4両まで短編成化が容易で短編成車両は非常に多くありました。広島への東のセノハチ（瀬野と八本松の間の急な峠）と、関門トンネルの海面下 65m の急な坂が問題でした。モーターや変圧器が熱くなり、セノハチを登るのが難しく 0系の4両は博多から広島までしか運用しませんでした。100系のひかりは、2階建てのT車を抜いたりしてセノハチも十分登れる短編成車両を造ることができました。

500系は16両で4両ずつ同じ機器を搭載しており、短編成は容易でした。2号車と7号車には新しく^{がいし}碇子カバーを付けてパンタグラフを載せ、「さくら」「みずほ」編成などN700系と同じ喫煙ルームを設け「こだま」に乗られるお客さまにも、分煙で喫煙できるサービスを提供しました。

最後になりましたが、山陽新幹線 40 周年を記念して、500系の1編成を使ってエヴァンゲリオン列車を運行しています。1号車をコックピットに見立て展示スペースも配置、2号車は特別内装でエヴァンゲリオンの床やカバーになっています。車両ができたときに多くの人が見に来られ、非常に興味がある人が多いことが分かりました。外装は、現場の方で「シールでは曲線が忠実に再現できない」と塗装にしとてもきれいな車両ができています。(写真：エヴァンゲリオン列車)

