

新幹線高速化の技術開発について

JR東日本研究開発センター 先端鉄道システム開発センター 所長
小笠原 稔



JR東日本では2002年4月新幹線高速化プロジェクトを立ち上げ、新幹線ネットワークの拡大に伴うサービス向上、航空機との競争力強化、世界最高レベルの高速化技術を目指して「走行速度の向上」、「安全性・信頼性の確保」、「快適性の向上」、「環境への適合」をテーマに営業最高速度360km/hを技術目標とした新幹線高速化の技術開発を行っています。新幹線高速試験車「FASTECH360S(新幹線専用タイプ)」「FASTECH360Z(新在直通タイプ)」を製作するとともに地上設備を改良して、実環境、実負荷状態での車両・地上設備の総合的な検証を目的に東北新幹線の仙台・北上間を主体に高速走行試験を2005年6月から行っています。2010年度末頃に予定している新青森開業をターゲットに2007年時点の開発技術状況や費用対効果を評価した結果、「2010年度末から段階的に速度向上を行い、2013年度末に全ての「はやて・こまちタイプ」を320km/h化する予定」と発表しました。いままでの開発成果とさらなる速度向上に向けた課題について紹介します。

1. はじめに

JR東日本の新幹線は東京を中心に東北、上越、長野、山形・新庄、秋田の5方面に延びて、当社管内の主要都市を結んでいます。東北新幹線は2010年度に新青森開業、2015年度に新函館開業、北陸新幹線は2014年度に富山・金沢開業する予定です。また、世界の高速鉄道は、ドイツのICE、フランスのTGVが数年前から300km/h運転、2007年6月からはTGV東ヨーロッパ線が開業し、320km/h運転が行われています。世界の高速鉄道は300km/h超の領域に入ったといっても過言ではありません。

このような状況下、新幹線ネットワークの拡大に伴うサービス向上、航空機との競争力強化、世界最高レベルの高速化技術を目指して、「走行速度の向上」「安全性・信頼性の確保」「環境への適合」「快適性の向上」をテーマに、営業最高速度360km/hを技術目標とした新幹線高速化の技術開発を行っています。



図1 新幹線高速化の開発課題

2002年4月高速化プロジェクトを立ち上げ、新幹線高速試験車「FASTECH360S」、「FASTECH360Z」を製作するとともに地上設備を改良して、実環境、実負荷状態で車両・地上設備の総合的な検証を目的とした高速走行試験を2005年6月から行っています。

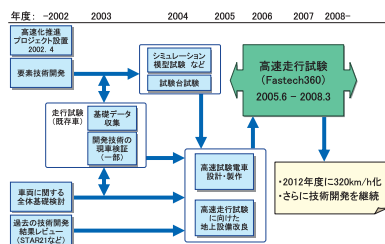


図2 新幹線高速化の開発プロセス

高速走行試験は東北新幹線の仙台・北上間を主体に新幹線専用試験車「FASTECH360S」は盛岡・八戸間、新在直通試験車は秋田新幹線区間も含め、走行性能評価試験、環境試評価試験、すれ違い試験、併合試験、耐久性評価試験を実施しています。

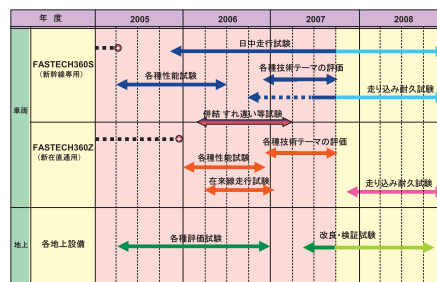


図3 高速試験計画

2. 新幹線高速試験車「FASTECH360」の概要

高速試験車「FASTECH360」は「360km/h運転車両のプロトタイプ」「高速走行時の現象解明の実験プラットフォーム」「近未来快適移動空間の提案ステージ」をコンセプトとした試験専用車であり、新幹線専用試験車「FASTECH360S」と新在直通試験車「FASTECH360Z」の2編成があります。



図4 新幹線高速試験電車「FASTECH360」
(左：FASTECH360Z 右：FASTECH360S)

2.1 新幹線専用試験車「FASTECH360S」

新幹線専用タイプの試験車で、形式名はE954です。編成は8両編成で、両先頭車が付随車、中間の6両が電動車の6M2Tの構成です。先頭はトンネル微気圧波対策のために16mのロングノーズとなっており、微気圧波性能比較のために両先頭で異なる先頭形状となっています。その他の外観上の特徴としては、空気抵抗増加装置、車両間全周ホロ、車体下部に取り付けた吸音パネル、片持ち式シングルアームパンタグラフ等があります。

主回路は2両1ユニットが3ユニットあり、比較評価のためにそれぞれ異なるシステムを搭載しています。

曲線通過時の乗り心地向上のために、最大2度傾斜の空気ばねストローク式車体傾斜制御装置を備えています。

2.2 新在直通試験車「FASTECH360Z」

新在直通タイプの試験車で、形式名はE955です。編成は6両編成で、両先頭台車のみが付随台車（先頭車両の反運転台側台車と中間車両の全台車は電動台車）となっていて、編成全体のMT比は5M1Tに相当します。新在直通運転のために車体が小さいことと直通運転に必要な機器を装備していることを除けば、高速走行や環境対策のための主要装備はFASTECH360Sと共通です。

新在直通用台車は、新幹線区間での高速走行性能と在来線区間での小曲線通過性能を確保するため、E3系では台車軸距を2250mmとしています。新幹線区間での速度向上を目指す新在直通試験車「FASTECH360Z」では高速走行時の安定性を重視して台車軸距を新幹線専用試験車と同じ2500mmとしました。その代わりに、在来線区間における小曲線通過時の横圧低減を図るために台車ヨーダンバを切替式として在来線走行中は減衰力を小さくしています。

3. 主な技術開発内容

3.1 走行速度の向上

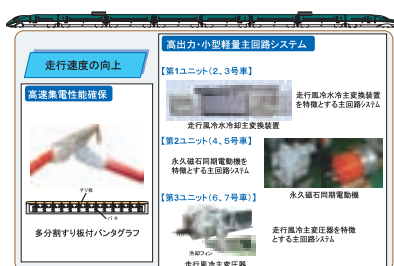


図5 FASTECH360の概要（走行速度の向上）

3.1.1 集電システム

高速走行における沿線騒音のうち、集電系から発生する騒音の寄与度が高いため、1編成1台のパンタグラフ（現状1編成2台のパンタグラフ）による集電システムの開発を行いました。パンタグラフについては、すり板を細かく分割し、それぞれをばねで支えて振動する架線へ柔軟に追従する「多分割すり板」付舟体を搭載した新型低騒音パンタグラフを開発しました。これにより、速度域に応じたトロリ線の軽量化、高張力化等と合わせて、高速走行においても極めて安定した集電が可能となりました。

3.1.2 駆動システム

安定した高速運転を実現するため、電動機方式や冷却方式に異なる特徴を有する複数種類の高出力、小型・軽量主回路システムを開発しました。いずれの方式も、これまでの試験走行において大きな問題が発生することなく所要の性能を発揮しており、それぞれ耐久性やメンテナンス性、コスト等の視点から評価を行う段階に入っています。

3.1.3 編成トルク制御・ブレーキ制御

車上に情報ネットワークを構築し、制御指令の伝送化や機器コントロールを行う車両情報制御装置を搭載しました。これを使い、高速域での粘着力を最大限活用して、車輪の駆動力・ブレーキ力を有効にレールに伝えるために、空転・滑走が発生した場合には編成内の軸位に応じた最適なトルク・ブレーキ配分を行って、編成全体の加速力やブレーキ力を確保するようにしました。

3.2 安全性・信頼性の確保



図6 FASTECH360の概要（信頼性の確保）

3.2.1 台車および台車部品の信頼性

走行速度向上に伴う台車や台車部品の負荷増大に対応するため、台車枠・輪軸については過去に製作した試験車両（425km/hまで確認済）のデータをもとに設計し、基礎ブレーキ装置、車軸軸受、駆動装置等は負荷増大に対応した新方式のものを開発しました。これらについては、「FASTECH360」製作前に当社の台車試験装置で60万kmの耐久試験を実施し、一定の信頼性検証を行いました。また、高速走行中の台車状態をモニタリングするために、

台車異常振動、車軸軸受、駆動装置の異常を検知する台車モニタリング装置を新たに開発しました。

2008年度末までに営業線で60万キロの走り込みを行い、耐久性、メンテナンス性の評価を行います。

3.2.2 走行安全性

高速走行時の走行安全性(輪重、横圧、脱線係数)については、実際に400km/h域までの現車走行試験を行って問題のないことを確認しました。

新在直通試験車「FASTECH360Z」については在来線小曲線の通過性能確保のため、軸箱前後支持剛性、空気バネの前後支持剛性の最適化と必要な地上対策の検証評価を行いました。

3.2.3 自然災害に対する安全

① 地震に対する走行安全性

プロジェクト発足時より、地震発生時の安全性確保についても高速化の重要な課題の一つとして認識していましたが、2004年に発生した新潟県中越地震に伴う上越新幹線の脱線事故に鑑み、非常ブレーキ指令の迅速化(架線停電検知時間の短縮)と万一脱線しても車両が軌道から大きく逸脱することを防止する「逸脱防止車両ガイド」の開発を行いました。これらの成果については現在の営業車両にも反映しています。

また速度向上に伴う地震発生時のリスク上昇を抑制するために、編成内各車の粘着力を最大限活用する編成ブレーキ制御や滑走空転時のブレーキ制御方法の改良に加え、これまでにない方式として空気抵抗増加装置を開発しました。これにより非常ブレーキ停止距離4000メートルの確保が360km/h走行でも可能なこと、また340km/h走行までは基礎ブレーキ装置のみで可能なことを確認しました。

② 雪害対策

新幹線車両に付着した雪が高速走行中に落下すると、地上設備や車両を破損させる原因となります。そこで車両への着雪量を減らすため、雪の着きにくい台車構造、ヒータによる融雪、膨張・収縮性ブーツによる着雪防止などの試験を行っています。

また、豪雪地帯の在来線区間からの持込み雪対策として、地上からの温水ジェットで車両に付着した雪を溶かす方法も開発中であります。

3.2.4 地上設備への影響

軌道、架線、土木構造物等の地上設備への影響について、補強等の必要範囲を明らかにし、軌道・土木構造物については大規模な改修は不要との結論を得ました。架線については、集電性能確保の観点から速度域に応じた高張力化、トロリ線の線種変更等の改修が必要であるとの結論を得ました。

3.2.5 列車風による影響

走行速度が向上すると列車風によるホーム上のお客さまや保守係員等に影響が出ることが懸念されましたが、これまでの試験から、これらの影響は現状より大きく悪化することはないとの結果を得ました。これは、車両の先頭形状や車体全体の平滑化による効果と考えられます。

3.3 環境への適合

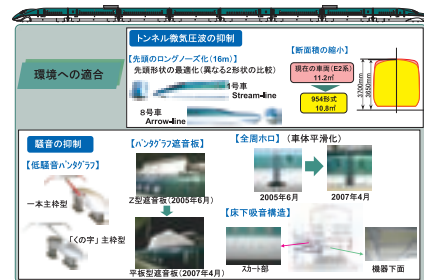


図7 FASTECH360の概要（環境との適合）

3.3.1 騒音の抑制

騒音の抑制は新幹線高速化における重要な課題の一つであります。このために高速試験車「FASTECH360」製作前からさまざまな要素開発を行うとともに、走行試験開始後も音源探査によるデータ解析等を行って騒音性能の向上を図ってきました。車両対策の主なもの、パンタグラフの空力音対策としてパンタグラフ台枠の低騒音化、一本主枠型低騒音パンタグラフ、パンタグラフ遮音板、(新在直通試験車「FASTECH360Z」は在来線区間で車両限界から、在来線区間で遮音板を下げる格納式遮音板を採用)、全周ホロ、乗務員乗降口の取手部の平滑化、スノープラウカバー、特高压ケーブル、プラグ式ドア、台車カバーの空力音対策、車体下部スカート部・床下部の吸音構造の開発を行ってきました。また地上のスポット対策として、上部を改良して回折減衰効果を高めた新型防音壁の技術開発を行ってきました。

各種騒音低減対策により新幹線専用試験車「FASTECH360S」と新在直通試験車「FASTECH360Z」の併結時の騒音レベルが、現行の「はやて」タイプ新幹線車両「E2系」と「こまち」タイプ新幹線車両「E3系」の併結時の騒音レベルに比較し大幅な騒音低減ができたものの、到達速度は360km/hに届きませんでした。特に車体寸法の制約が大きい新在直通試験車「FASTECH360Z」の騒音低減が非常に難しく、新在直通車両が全体の到達レベルを支配する結果となりました。360km/h走行実現に向けてはパンタグラフ回りの低騒音化、構造物音対策等さらなる理論面、実証面からの騒音対策の深度化が必要であります。

一方、各種騒音対策の中にはコストや重量の増加を伴うものもあるため、騒音性能の向上と並行してそれぞれの対策の寄与度評価を行うとともに、格納式遮音板の信頼性・耐久性・メンテナンス性の向上の開発を行っています。

3.3.2 トンネル微気圧波の抑制

トンネル微気圧波は高速で車両が突入した時に発生する圧縮波が音速でトンネル内を伝播して出口で放出され、発破音を発生させたり建具を揺らす現象であります。

新幹線の高速化に伴って増大するトンネル微気圧波も現状レベル以下に抑えることが必要であります。360km/hの速度域では車両対策だけでこれを実現することは不可能であります。このため、出来る限りの車両対策を行った上で、不足分を地上設備改良で補う方針で開発を進めました。

新幹線専用試験車「FASTECH360S」は16メートルのロングノーズ化の2タイプ(アローライン、ストリームライン)の比較、新在直通試験車「FASTECH360Z」は16メートル、13メートルのロングノーズ化の比較試験を行い、アローラインの形状が性能的に優れていること、新幹線専用試験車「FASTECH360S」の16メートルの先頭形状と新在直通試験車「FASTECH360Z」の13メートルの先頭形状が同等のトンネル微気圧波性能であること、及び当初予測していたレベルでの速度域に応じたトンネル緩衝工地上対策が必要であることを確認しました。また、地上対策としてコストダウンを目的にダクト付緩衝工、軽量パネル型緩衝工の技術開発を行っています。

3.4 快適性の向上

3.4.1 乗り心地

高速走行中の左右・上下の振動を大幅に低減するために、台車の諸元を基本から見直すとともに、走行試験を通じてさまざまなチューニングを実施しました。さらに動揺防止装置のアクチュエータを空気式から電磁直動式・回転ローラーねじ式に変更し、応答性、制御力を高め、高速化に伴う左右振動対策を図りました。これらにより新幹線専用試験車「FASTECH360S」は現行新幹線車両「E2系」275km/h走行時の乗り心地レベルを上回ることができました。

さらに曲線通過時の乗り心地向上のために構成がシンプルな空気ばねストローク片上げ方式の車体傾斜制御機構を導入しました。これにより、超過遠心加速度を抑制しながら曲線通過速度を向上(R4000mで330km/h以上、R6000mで360km/h以上)することが可能となりました。曲線通過時のローリング対策としてローリング剛性と空気バネ車体傾斜のチューニングを行うとともに、併結走行時の空力加振によるトンネル内動揺防止対策として動揺防止装置の制御方法のチューニングを行い、乗り心地の向上を図りま

した。

この結果、320km/h走行においては現在の新幹線を上回るレベルを確認しましたが、360km/h走行では現時点で満足できるレベルに到達しておらず、今後課題を残しました。

3.4.2 静粛性の向上

高速走行中も車内の静粛性を維持することはお客さまの快適性にとって重要なことであります。高速試験車「FASTECH360」では、360km/h走行中でも車内で普通に会話ができる程度の静粛性を目指し、車体の遮音性向上(側窓、側パネル、天井、床)と空調・床下機器等の低騒音化を行いました。この結果、FASTECH360の360km/h走行時の車内騒音はE2系275km/h走行時と同等以下となり、実用的には十分な静粛性を実現しました。

4. 今後の技術開発に向けて

当社は2007年11月6日「2010年度から東北新幹線で段階的な高速化を行い、2013年度末にすべての「はやて・こまち」を320km/h化する予定」と発表しました。これは新幹線高速試験車「FASTECH360」の試験結果等から当面の高速化としては320km/hが環境対策やコスト対効果か妥当であると判断したためであります。これにともない東北新幹線新青森開業を睨んだ新幹線専用車両の量産先行車両を320km/hの車両性能で設計・製作し、2009年度から約2年間にわたり、性能試験、耐久試験を行うことを計画しています。また、新在直通車両は現在実施中の高速試験車「FASTECH360Z」の走行試験結果の評価から車両の仕様を決定する予定であります。

今後の技術開発の進め方としては、まずこの速度での営業運転を確実にするために各種調整や耐久性検証を深度化していくことにしています。

また、当面の高速化としては360km/h化が見送りとなりましたが、引き続き次の速度向上に向けた技術開発に挑戦していきます。新幹線高速試験車「FASTECH360」の研究開発を通じて、360km/hの速度域を目指すための課題は項目としてはかなり絞り込まれてきましたが、残された課題のハードルはそれぞれ非常に高いことははっきりしています。これらは一朝一夕に解決できる課題ではありませんが、次なる飛躍を目指して今回の経験をもとに、現象解明のための基礎研究の深度化、新たな視点も含めた再アプローチの研究、各種地上対策のコストダウンの研究に引き続き取り組んでいきます。

あわせて、新幹線ネットワークのシステムチェンジの技術開発にも取り組んでいきます。

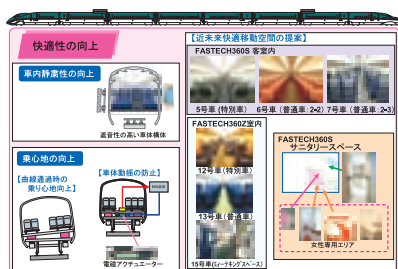


図8 FASTECH360の概要(快適性の向上)