

FASTECH360による技術開発

東日本旅客鉄道株式会社 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
中村 泰之



JR東日本研究開発センターでは2002年4月に新幹線の高速化に向けて「新幹線高速化推進プロジェクト」を立ち上げ、2005年6月から新幹線高速試験電車のE954形式「FASTECH360S」、2006年4月からはE955形式「FASTECH360Z」を製作し、それらを用いて2009年6月までの間営業最高速度360km/hを技術目標とした各種の走行試験を実施して研究開発を推進してきました。そこで得られた成果の概要と量産先行車として製作された次期新幹線専用営業車両「E5系」および、次期新在直通用営業車両「E6系」への反映内容についてご紹介します。

また、今後の課題を「320km/h営業運転を確実にを行うための検証」、「更なる高速化に向けた技術開発」、「新幹線ネットワーク拡大に対応するための技術開発」、「新幹線のシステムチェンジに向けた技術開発」に分けてご紹介します。

1. はじめに

新幹線の高速化に向けて「新幹線高速化推進プロジェクト」が立ち上がったのは2002年4月です。

- ・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

をめざした私たちの挑戦はそのときから始まりました。2005年6月にはFASTECH360S、2006年4月にはFASTECH360Zを開発し、それらを用いて「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」を大きなテーマとして掲げ、営業最高速度360km/hを技術目標とした技術開発を進めてきました。

これら高速試験車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走行試験を2005年6月から2009年6月まで行いました。

東北新幹線大宮・八戸間を中心に、FASTECH360Sは仙台・八戸間、FASTECH360Zは仙台・北上間で高速走行試験を行い、走行性能評価試験、環境評価試験、すれ違い試験、併合試験、耐久評価試験を実施しました。

また、今後の新幹線車両設計に反映させるための解体調査を、FASTECH360Zは2008年10月に実施しFASTECH360Sは2009年8月に実施しました。

新幹線の高速化に向けては車両のみの開発に留まらず現状の軌道側に影響を与えないことの確認、高速で通過するパンタグラフに追従できる架線構造や高速でトンネルに突入する際に発生する微気圧波を低減させるトンネル緩衝口などの

いくつもの技術開発がありました。それらを進めるにあたっては多くの関係者の協力と技術ノウハウによって成り立ったものであると言っても過言ではありません。これら試験の結果が2009年6月から走行試験の始まったE5系、2010年7月から走行試験の始まるE6系につながったのです。

2. 新幹線高速化に向けた主な技術開発内容

2.1 走行速度の向上



図1 FASTECH360の概要 (走行速度の向上)

2.1.1 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。これとあわせて速度域に応じたトロッコ線の軽量化、

高張力化などを実施することにより、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。

E5系・E6系には成果として多分割スリ板を用いた新型低騒音パンタグラフを採用し、営業運転時は1パンタグラフでの走行を基本としました。また、これと併せて2013年度末の東北新幹線（宇都宮駅～盛岡駅間）の320km/h営業運転をめざして、順次同区間のトロッコ線高張力化改修工事などを進めています。

2.1.2 駆動システム

安定した高速営業運転を実現するため、電動機本体の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方式自体には大きな問題が発生することなく所要の性能を発揮することを確認しました。

2.1.3 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。これを使うことにより、高速域での粘着力を最大限活用して、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・ブレーキ配分を行う制御方式としました。この編成全体の加速力やブレーキ力を確保する制御方式について有効性を確認しました。

開発された成果については、E5系・E6系に反映し乗り心地向上に貢献しています。

2.2 安全性・信頼性の確保



図2 FASTECH360の概要（信頼性の確保）

2.2.1 台車および台車部品の信頼性

走行速度向上に伴う基礎ブレーキ装置、車軸軸受、駆動装置などは負荷増大に対応した新方式として、過去に製作した試験車両 STAR21 によって得られた 425km/h までのデータをもとに設計、開発をしました。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、高速走行中の台車振動、車軸軸受、駆動装置の異常を検知するモニタリング装置を新たに開発しました。

FASTECH360S を用いて 2009 年 6 月まで営業線で 60 万キロの走り込みを行い、耐久性、メンテナンス性に関して問題のないことを確認しました。

また、FASTECH360Z で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、空気バネの前後剛性の最適化を行いました。

開発された基礎ブレーキ装置、車軸軸受やモニタリング装置などは E5 系・E6 系に採用されています。

2.2.2 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。

「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。

2.2.3 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「車両逸脱防止 L 型ガイド」の開発を行いました。これらの成果についてはすでに営業車両に反映しています。

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力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 走行まで空気抵抗増加装置を使用しなくても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

行いました。その結果、融雪ヒータの有効性を確認しました。現在、実用化へ向け耐久性を確認するために継続して「こまち」タイプ新在直通用車両「E3系」を用いて検証中です。

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についても一定の成果が確認できました。

2.2.4 地上設備への影響

軌道、架線、土木構造物などの地上設備への影響について、補強など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て高張力化や場合によってはトロッコ線の軽量化などの改修が必要であるとの結論を得ました。

なお、E5系・E6系の営業運転最高速度は320km/hであることから高張力化のみを実施していきます。

2.2.5 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お客さまや保守係員など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。

2.3 環境への適合

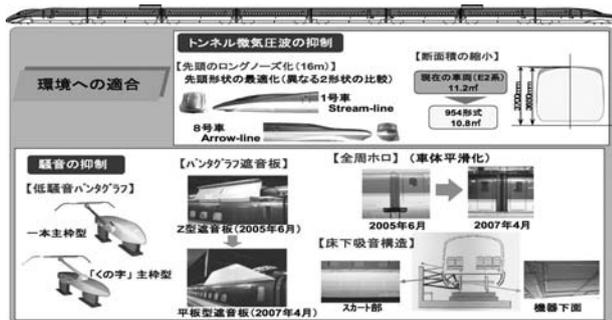


図3 FASTECH360の概要（環境との適合）

2.3.1 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す。このために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など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には低騒音パンタグラフ（「くの字」主枠型および一本主枠）、パンタグラフ遮音板（FASTECH360Zにおいて在来線区間では遮音板が車両限界を支障することから、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、スノーブラウカバー、特高

圧ケーブルの屋根下化、プラグ式ドア、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。また地上側の対策として、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E5系、E6系で計画されている320km/h営業運転速度でのFASTCH360SとFASTTECH360Zの併結時の騒音レベルは、現行275km/h営業運転での「はやて」タイプ新幹線専用車両「E2系」と「こまち」タイプ新在直通用車両「E3系」の併結での現状の騒音レベルと比較し大幅な騒音低減ができたものの、360km/hでは現状レベルを達成できませんでした。特に車体寸法の制約が大きいFASTTECH360Zの騒音低減が非常に難しく、新在直通用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、構造物音対策など、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す。

E5系・E6系に対しては全周ホロ、乗務員乗降口の取手部の平滑化、特高圧ケーブルの屋根下化、車体下部スカート部の吸音構造について採用されており、現在E5系・E6系でそれらの効果の最終確認を実施しています。

2.3.2 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伝播して出口で放出されて発破音を出し、建具を揺らす現象です。

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す。このため、できる限りの車両対策を行ったうえで、不足分を地上設備改良で補う方針で開発を進めました。

FASTTECH360Sの先頭形状では16メートルのロングノーズ化された2タイプ（アローライン、ストリームライン）の形状の比較を、FASTTECH360Zではアローライン先頭形状における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ました。その結果、アローラインの形状が性能的に優れていることおよび、FASTTECH360Sの16メートルと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を確認しました。また、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。さらに、地上対策としてコストダウンを目的にダクト付き緩衝工、軽量パネル型緩衝工の技術開発を行い、320km/h営業運転に向けた地上対策に反映しております。

2.4 快適性の向上



図4 FASTECH360の概要（快適性の向上）

2.4.1 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FASTECH360Sは360km/h走行でも「はやて」タイプ新幹線専用車両「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式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。FASTECH360Zについては空気ばねストローク式車体傾斜制御機構の改善、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走行においては現行の新幹線を上回る乗り心地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。

動揺防止装置と車体傾斜制御機構についてはともにE5系・E6系に採用され、乗り心地向上に貢献しております。

2.4.2 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めざし、車体の遮音性向上（側窓、側パネル、天井、床）と空調・床下機器など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「はやて」タイプ新幹線専用車両「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ています。E5系・E6系においてはその構造を参考にして製作されています。

3. FASTECH開発成果の量産車への適用

当社は2007年末に「東北新幹線でE5系・E6系を用いて運転する列車は段階的な高速化を行い2010年度から300km/h営業運転、2013年度末には320km/h営業運転の予定」と発表しました。これは新幹線高速試験車「FASTECH360」の試験結果など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が妥当であると判断したためであります。これにともないE5系および、E6系は国内最高速となる320km/hでの営業運転性能を有する仕様で設計・製作をしておりE5系（10両編成）量産先行車（図5）は2009年6月に、E6系（7両編成）量産先行車（図6）は2010年7月に完成予定です。

量産先行車の特徴は以下のとおりです。

- ①環境性能
 - ・ロングノーズタイプの先頭形状
 - ・車体下部スカート部の吸音構造、全周ホロ、低騒音パンタグラフ（「くの字」主柱型および一本主柱）
- ②走行性能の向上と信頼性の確保
 - ・主回路装置、パンタグラフ、ブレーキ装置
- ③快適性の向上
 - ・フルアクティブサスペンション（編成全車両）
 - ・空気ばねストローク式車体傾斜制御機構

E5系の量産先行車は2009年度から性能試験、耐久試験を行い、量産車を2010年度末に東北新幹線に営業投入する計画です。

E6系の量産先行車は2010年度に性能試験、耐久試験を実施します。



図5 次期新幹線専用営業車両「E5系」量産先行車

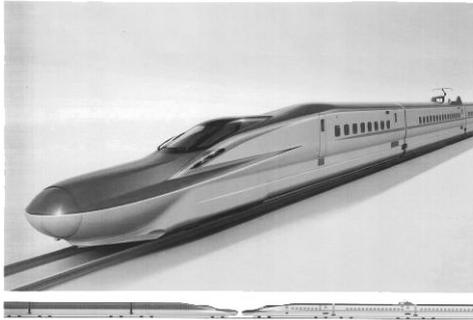


図6 次期新在直通用営業車両「E6系」量産先行車イメージ

4. 新幹線に関する技術開発の進め方

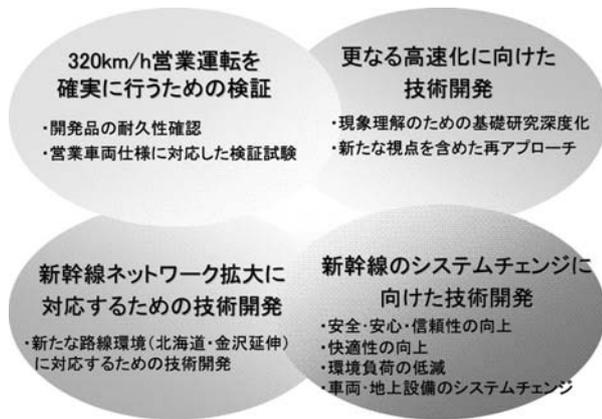


図7 新幹線に関する技術開発の進め方

4.1 320km/h 営業運転を確実にするための検証

2013年度末東北新幹線においてE5系・E6系を用いた列車は320km/h営業運転が行われますが、この320km/h営業運転を確実にを行うため、台車検査周期に相当する約60万kmの走り込みによりFASTECH360Sに搭載した各種開発品の耐久性の確認を行い、あわせて解体調査を行いました。これにより今後のメンテナンスに必要なデータを検証するとともに一部を改良して量産車の設計に反映させました。

また、320km/hの車両性能で設計・製作されたE5系の量産先行車を用い、2009年度から約2年間にわたり、性能試験、耐久試験を行う計画です。

4.2 更なる高速化に向けた技術開発

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。FASTECH360Sの台車検査周期に相当する約60万kmの走り込みを行った結果、360km/hの速度域をめざ

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。具体的に取組んでいく項目は以下のとおりです。

① 走行速度の向上

集電に関し、320km/hを超える速度では軽量化したトロリ線への張替えが必要となります。

② 安全性の確保

安全性の確保では、次の開発を行っていきます。

- ・地震対策として、耐脱線性能を向上させる左右動ダンパ特性の改善
- ・補助排障器などの強度向上による排雪能力の向上
- ・高速域での軌道変位と走行安全性の相関の把握

③ 環境への適合

環境への適合、特に騒音対策はさらなる高速化に向けて大きな課題となります。具体的な開発内容としては、発生する各騒音の音源解析と全体騒音に対する寄与度の分析など、基礎検討段階からきちんと体系立てて整理していくことが必要です。

- ・音源寄与度分析と対策の要素開発
- ・構造物音・地盤振動・低周波音の発生メカニズムの解明とその対策の開発
- ・可動式パンタグラフ遮音板装置の信頼性向上
- ・トンネル緩衝工のコスト低減に関する開発

④ 快適性の向上

車両の快適性の向上に向けて、FASTECH360でも多くの試験を実施しました。高速走行における快適性を向上させるため、次の開発を行います。

- ・車体びびり振動対策の開発
- ・曲線通過時の乗り心地向上のため、車体傾斜システムの改良開発
- ・新在車両併結時のトンネル内乗り心地向上のため、先頭車両の空力的な改良と動揺防止制御装置の改良開発

残された課題のハードルはそれぞれ非常に高いものです。これらは一朝一夕に解決できる課題ではありません。しかし、今回の経験をもとに、沿線騒音低減対策、トンネル微気圧波対策、曲線通過時などの乗り心地の向上対策に対して、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。

4.3 新幹線ネットワーク拡大に対応するための技術開発

2010年には東北新幹線が新青森まで延伸されますが、その後も函館へ、北陸新幹線は金沢へと延伸していきます。その新幹線ネットワーク拡大に向けた研究開発に取り組んでいきます。具体的には、次の項目について開発を行っていく予定です。

- ・北海道への延伸対策として、想定される低温・耐雪・青函トンネル内高湿度・塩分に対応できる機器および部品の開発
- ・平地・切り取り区間での効果的な騒音対策



図8 新幹線ネットワークの拡大

4.4 新幹線のシステムチェンジに向けた技術開発

東北新幹線大宮・盛岡間が開業したのは1982年6月です。その後、上越新幹線開業や東京延伸、長野新幹線開業、東北新幹線八戸開業などを経て今日に至っています。新幹線を走らせるシステムは信頼性の高いものですが、さらなる安全・安心・信頼性の向上、さらなる快適性の向上、環境負荷の低減、車両・地上設備のシステムチェンジをめざし、技術開発に取り組めます。

5. まとめ

東北新幹線開業時の最高速度は210km/hでした。その最高速度は240km/h、275km/hと向上し、2012年度末には国内最高速度となる320km/hでの営業運転を開始する予定です。

FASTECH360という愛称名からもわかるとおり、高速試験電車は当初360km/h運転をめざして開発を行いました。残念ながら360km/hでの営業運転は現時点では達成できていません。360km/h運転は2012年度末から行われる営業運転速度320km/hに対し、高々40km/hの速度向上と思いがちです。

しかし、曲線通過速度を向上するには速度の2乗に比例して大きくなる超過遠心加速度を抑制して、車輪への影響、

軌道への影響を少なくし、かつ乗り心地を維持しなければなりません。また騒音対策をより進めるには速度の6乗で音源レベルが大きくなる空力騒音をいかに抑えるかというさまざまなハードルをクリアしなければいけません。

鉄道は脱炭素社会、省エネに将来性があること、時間距離を短縮することで大幅な経済効果をもたらすことが期待できます。また、「グループ経営ビジョン2020-挑む-」には、継続する挑戦で「新幹線ネットワークを拡大し、鉄道事業の収益を伸ばす」と掲げています。以上のことから、新幹線高速化は当社にとって大きな柱となるはずです。

関係の皆さまのこれまでのご協力に感謝申し上げますとともに、私たち研究開発に携わるものは、これからも新幹線の360km/h運転実現をめざしてなお一層努力していきたいと考えています。