

次世代通勤電車の実現に向けて

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



研究開発センターでは、新たな鉄道システム「e@train」の構築に向けた研究開発を推進する中で、「AC Train(Advanced Commuter Train)」の開発を進めてきました。具体的な開発モデル検証用車両としてE993系試験電車を試作して、2002年2月から実用化に向けた現車走行での検証を実施しました。ここでは、AC Train開発の経緯やE993系試験電車による評価などについて述べます。

●キーワード：通勤・近郊形車両、連節構造、直接駆動式同期電動機、情報技術、バリアフリー

1 はじめに

JR東日本グループの中期経営構想「ニューフロンティア21」では、鉄道輸送の安全性・正確性を向上させるとともに、今後ますます多様化するお客さまのニーズに対応した新しいサービスを低コストで提供することを目指しています。さらに、情報技術（IT）をはじめとした先端技術を取り入れ、On Demandなサービスを提供していく新たな鉄道システム「e@train」の構築に向けた研究開発を行い、名実ともに「世界一の鉄道システム」を目指すこととしています。この中で、「AC Train」開発は、首都圏における「e@train」構想を実現するための具的な取り組みです。

研究開発センターでは、21世紀初頭にふさわしい通勤・近郊形電車として、さらなる技術的ブレークスルーをはかったAC Trainの開発を進め、2002年2月からE993系試験車による現車走行での検証・評価を実施してきました。

2 開発の経緯

2.1 AC Train開発のねらい

首都圏において、JR東日本をご利用いただくお客さまは、毎日約1,400万人であり、朝ラッシュ1時間では約125万人です。首都圏の鉄道網は中心部の山手線から6方面に放射状に延びていて、約8,200本の列車が運行されており、この輸送を担っているのが、約8,000両の通勤・近郊形電車です。JR発足以降、新型車両の開発に取り組み、1993年には209系通勤形電車を完成させ京浜東北線に投入しました。209系はライフサイクルコストを大幅に低減するために、製造コスト低減・軽量化・メンテナンスフリー化を図ることを目標に開発が進められ、その結果、旧型車両に対して電力使用量・メンテナンスコストの半減が達成されました。

また、1998年にはE231系の原型となる209系950番代を完成させました。量産タイプのE231系は通勤形・近郊形両方の性能を有し、特に情報伝送技術を取り入れた列車情報管理システム（TIMS）を搭載しているのが特徴で電車のインテリジェンス化が進んでいます。

ここで、今後の首都圏における大量輸送を担う次世代の通勤・近郊形電車の在り方を考えた場合、求められるニーズを満足するものとするためには、現行の車両構造及びシステムを踏襲することでは、さらなるブレークスルーは困難であり、そのためには大幅なシステムチェンジを図ることが必要です。また、ますます多様化・高度化するお客さまのニーズに対応するために、ITをはじめとした先端技術を活用して新たな輸送サービスを提供することも重要です。そこで、私たちは新世紀にふさわしい次世代通勤・近郊形電車AC Trainの開発を進めることとしました。

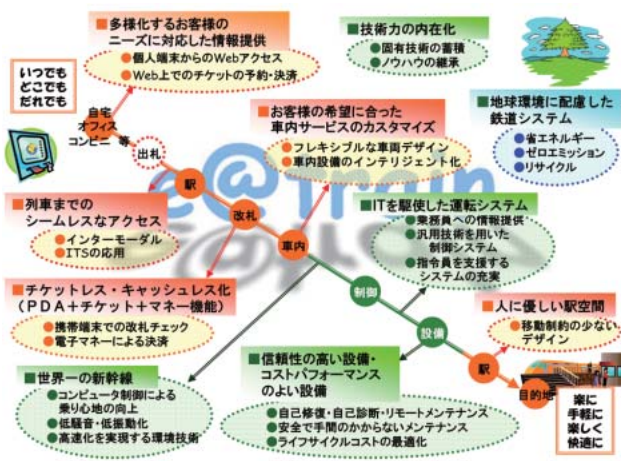


図1：「e@train」の構築

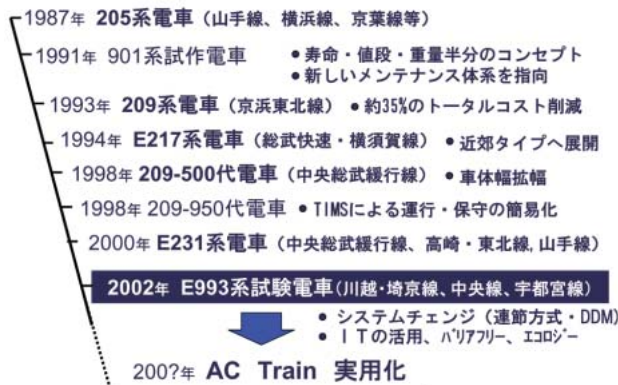


図2：通勤・近郊形電車の開発経緯

2.2 AC Train開発のコンセプト

今後の通勤輸送に求められるニーズは、情報サービスや快適空間の提供をはじめとした“旅客サービスの向上”をすること、さらなる“輸送の安定性向上”を確保すること、そして、これらを安価な運賃で提供し続けることです。まず、従来の車両に対する基本構造面から見直しを行ない、大幅な『システムチェンジ』を図ることとしました。併せて、現在のキー・テクノロジーである『ITを積極的に鉄道車両へ活用』することによって、車内での“情報サービスの提供”、“輸送の安定性向上（車両の信頼性向上、復旧の迅速化）”“コストダウン”等をさらに進めることが可能となります。

また現在では、バリアフリーやエコロジーに対する配慮は必須の課題となっています。

これらを考慮して“今後の車両に求められる課題”を明確にしたAC Train開発のコンセプトは、次の5つの柱です。

- (1) システムチェンジによるトータルコストダウン
 - ・連節方式の導入
 - ・車体構造の変革
 - ・直接駆動式主電動機（DDM）
- (2) 輸送の安定性向上
 - ・車両の信頼性向上
 - ・輸送障害の早期復旧
 - ・旅客に対する安全性の向上
 - ・車両制御の自律分散化
- (3) 旅客サービスの向上
 - ・IT活用による車内での情報サービス提供

- ・快適な輸送空間の提供（混雑緩和等）
- (4) バリアフリー
 - ・車椅子用スロープ、車椅子用ステップ
 - ・ユニバーサルデザイン
 - (5) エコロジー
 - ・省エネルギー
 - ・ゼロエミッション



図3：AC Trainの目指すコンセプト

3 開発技術の概要

3.1 システムチェンジ

AC Train開発では、車両の基本構造面から抜本的に見直しを行い、システムチェンジによるコストダウンを図るため、車両構造の変革・コンポーネントの変革に視点を置いた開発技術に取り組みました。その技術をE993系試験電車に適用し、車両トータルとしての評価を行いました。

3.1.1 車両構造の変革

(1) 連節方式の導入

日本において連節車両の導入例は多くありませんが、近年欧州各国における通勤列車への活用例は増加しています。連節車両は、1編成における台車数、動力軸数を減らすことが可能で、総体的な部品点数の減となりコストダウンにつながります。また、車体幅の拡大や貫通路部の立席利用により混雑緩和に有効な構造となります。E993系試験電車では、車体支持構造（2点空気ばね支持方式と4点空気ばね支持方式）と貫通路部の構造をそれぞれ開発し、車体支持方式ごとの乗り心地や低速・急曲線における走行安定性等さまざまな観点から検

証を行ないました。



図4：連節部分の外観

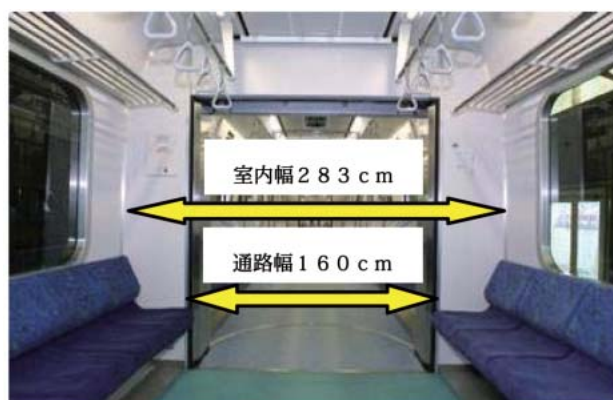


図5：連節方式の採用により広がった室内

(2) 車体構造の変革

ステンレス鋼は軽量化、車体の外板塗装省略可能、比較的安価である等のメリットのゆえに、近年日本の通勤近郊形電車の構造部材として広範囲に使用されています。一方、アルミニウムは、軽量化のプライオリティーの高い新幹線車両や特急車両に主に使用されていますが、最近ではダブルスキン工法が確立し、仕上がり精度の高い車体が効率的に製造されるようになってきました。

E993系試験電車では、骨組み等が省略され部品点数が減少するとともに、ダブルスキンの内面を活用して内装工事の簡素化が図れるなどの特徴があるステンレス鋼によるダブルスキン工法の車体構造の開発にも取り組みました。なお、他の工法との比較をするため、編成中には、ステンレス鋼によるシングルスキン工法とアルミ合金によるダブルスキン工法の車体も構成しました。



図6：ステンレス鋼によるダブルスキン車体

3.1.2 コンポーネントの変革

(1) 直接駆動式主電動機（DDM）

現在、日本の新型電車ではカルダン駆動式誘導電動機が広く使用されていますが、これに代わる駆動システムとして、直接駆動式主電動機（DDM：Direct Drive Motor）の実用化開発を進めてきました。E993系試験電車に採用したDDMは、永久磁石方式同期電動機で車軸にモーターの回転子が結合しているインナーローター方式です。DDMでは、歯車装置が廃止でき、モーター回転数が低下するため、モーター効率が向上するとともに、モーター周辺の騒音低減が実現可能です。また、全密閉構造とすることによりメンテナンスフリー化を図ることができます。



図7：直接駆動式主電動機（DDM）の外観

3.2 ITの活用

AC Train開発では、ITを最大限に活用したシステムを構成することとし、E993系試験電車には、実用化例として列車内情報サービス提供システムや機器相互バックアップシステム、車両制御情報システムを開発し、搭載しました。

3.2.1 列車内情報サービス提供システム(ATISS)

列車内情報サービス提供システム(ATISS: Advanced Train Information Service System)では、「お客さまの欲しい情報をいつでも、どこでも提供する」ことをコンセプトに車内で様々な情報を提供する環境の整備を図ることを目指しました。具体的なコンテンツとしては、一方方向のマスメディア情報(運行情報、案内情報、ニュース、広告等)、さらに優等列車の座席を想定した双方向のインターネット通信・電子メール等のWeb機能があります。E993系試験電車では、地上との無線授受を行う送受信装置や車上サーバーを設けた列車内LANを搭載しました。また、E993系試験電車車内には情報提供用の15インチLCD10台、18インチLCD4台を設置し、特急仕様を配したスペースには、座席用Web端末、無線LANアクセスポイント、イーサネット接続口、専用電源コンセント等を設置しました。



図8：車内の情報提供用LCD



図9：特急座席用のWeb端末

3.2.2 IT活用による輸送の安定性向上

(1) 機器の相互バックアップ化

保安装置、ドアの開閉制御装置、ブレーキ制御装置等で万一故障した場合の影響度合いの高い機器について、別の同型機器からバックアップすることとし、機器を構成しました。

(2) 自己診断機能と応急処置システム

車両故障発生の場合、車両自身に自己診断機能を持たせ、必要に応じて自動的に応急処置がなされ、故障影響を最小限に抑えることが可能となります。E993系試験電車では、補助電源装置について、2台のインバータを並列運転し、1台のインバータが停止しても電源誘導の不要な構成としました。これにより機器が不具合箇所を診断し、自動的に開放処置と負荷半減処置を行うことができます。



図10：自己診断・応急処置機能を持つ補助電源装置

(3) 輸送指令への故障情報・画像情報の伝送

輸送におけるトラブルが発生した際に、指令に現場の状況を正確に伝えることによって、的確な判断・指示が可能となります。そこで、E993系試験電車では車両に搭載した車両制御モニタの情報やCCDカメラでとらえた画像情報(列車前方や客室内など)を、指令へ伝送することが可能な構成としました。

(4) 車両制御の自律分散化

これまでの、車両の制御システムに関しては、可能な限り統合化をはかり、機能の集中化を進めることにより、コストダウンに大きく寄与してきました。しかし、仮に制御系の重要機器に故障が発生すると、車両全体に影響を与えることになります。そこで、AC Train開発では、従来とは逆の発想で制御システムを自律分散化して、万一個々の機器に故障があっても全体のダウンにつながらないこととし、輸送の安定性に大きく寄与することを可能としました。一方、この方式では、機器の数が増加することとなりますが、連節方式の採用効果(機器数の削減)によりトータルコストダウンを図ることができます。E993系試験電車では、“DDMと制御装置”、“ブレーキ制

御装置（BCU）と台車”を1対1で対応させて車両制御の自律分散化を図っています。

3.2.3 次世代車両制御情報システム（AIMS）

当社の鉄道車両は、これまで伝送技術を活用してモニタリング装置の機能向上を図ってきました。その結果、E231系電車搭載のTIMSでは、車両間引き通し線の大幅な削減・出区点検の自動化・編成全体制御の自動化等の機能が付加され「列車情報管理システム」と呼べるレベルにまでブラッシュアップされてきました。E993系試験電車では、世界標準として汎用の伝送技術イーサネットを編成全体の幹線系伝送に活用し、端末装置を柔軟に配置することと合わせて、システムインフラのコストダウンに取り組みました。また、それぞれの車両内の支線系伝送においては、汎用通信チップLON(Local Operation Network)を活用して、車両内の制御線を大幅に削減させ、さらに、車内状況・車両前方状況等の画像伝送機能を備えるとともに、車上データの地上への伝送機能を有しています。



図11：AIMS(Advanced Train Information Management System)を使用した運転台モニタ装置

3.3 人と環境にやさしい車両

3.3.1 バリアフリー

今後、鉄道事業においてバリアフリーに対する取り組みは必須課題であり、E993系試験電車では車椅子ご利用のお客さまの乗降支援として、車両からスロープがホームに伸びる「車椅子用スロープ」や、ドア開閉に連動したホーム・車両間の隙間を縮小させる「車椅子用ステップ」を開発し、搭載しました。さらに、外吊りドア方式を試行し、出入り口部床のドア下レールを無くして平滑化を図りました。また、視聴覚の不自由なお客さまを考慮し

て、ドアの開閉時に音声や表示灯で案内方式を採用するとともに、室内のデザインについてもユニバーサルデザインに基づいた配色や吊り手形状などを構成しています。



図12：車椅子ステップ



図13：車椅子スロープ

3.3.2 エコロジー

21世紀は環境の世紀と言われ、地球環境にやさしい車両造りが求められています。E993系試験電車では、さらなる省エネルギーに向けて、高効率のDDMの採用や軽量化に取り組みました。また、ゼロエミッション(廃棄物ゼロ)を目指して、内装材料を中心に、よりリサイクルしやすい材料や分別しやすい材料・構造を採用するなど、エコロジーを課題とした開発にも取り組みました。

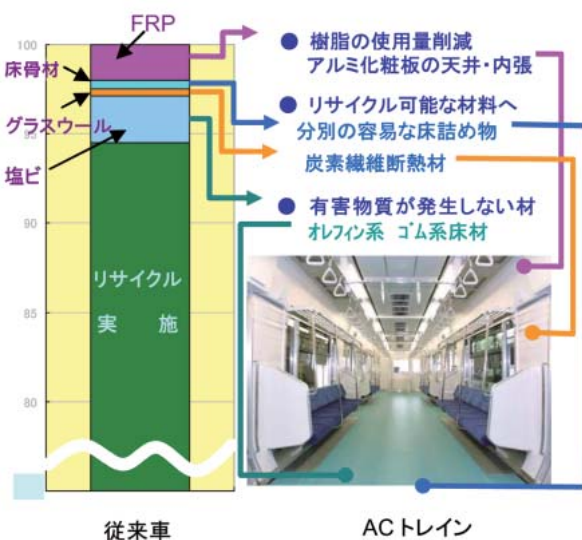


図14：ゼロエミッションの実現

4 開発技術の評価

AC Train開発のコンセプト実現に向けた開発の仕上げとして、E993系試験電車に構成した開発アイテムの評価を2002年2月から現車走行により検証を進めてきました。

図15に走行試験ステップを示します。

まず第一に、連節台車・DDMなどの大幅なシステムチェンジをはかった技術を中心に鉄道車両としてベーシックな要求事項である走行安定性にかかわる評価を実施しました。評価対象が従来車両にない構造・装置であるため、速度40km/hから走行安全性を確認しながら徐々に速度を向上する形で試験を開始し、120km/h走行を確認した後、車両トータルの性能試験、急勾配線区でのDDM評価試験、急曲線での連節構造の確認をしました。また、乗り心地や空転制御、ブレーキディスクの耐久性などの機能向上評価試験を実施しました。さらに、130km/hでの走行試験も実施しました。平行してITの評価を実施しました。また、2002年9月に有識者並びに一般公募者による試乗アンケートを実施し、お客様の立場からの開発テーマの評価をいただきました。

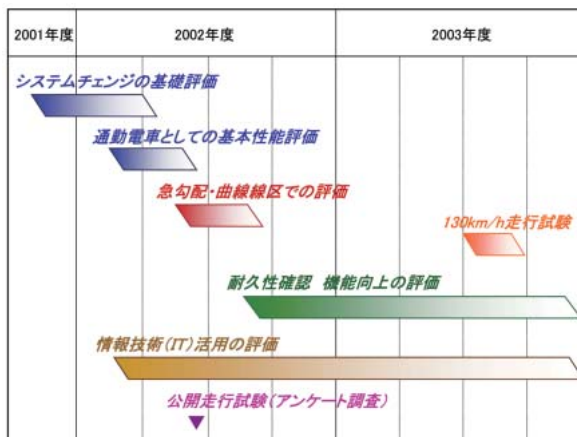


図15：走行試験ステップ

4.1 連節方式

連節構造は、台車数・動軸数の低減によるコストダウンが可能であること、室内スペース拡大や貫通路の立席利用による混雑緩和に有効であることを確認しました。

車体支持方式については、4点空気ばね支持方式とした場合が、非連節車と同様にシンプルな車体構造とすることができ、コスト的に有利であるとともに、曲線出口側緩和曲線の輪重抜けが少ないなど曲線通過時の乗り上がり脱線に対する性能が優位な構造でした。また、前後の車体で荷重が偏った場合を想定した荷重搭載による走行安定性の評価でも走行安全性、軸重差等、問題ないことを検証しました。

貫通路については、連節部床板の浮き上り防止、側パネルのずれ防止等の改良を行いました。

現在は、新たな取り組みとして在来線高速化に向けたセミアクティブ制御などの乗り心地改善試験を実施しています。

4.2 DDM

DDM駆動軸数を低減させコスト低減を図るとともにモータの高効率化により5%以上の省エネルギー化、約5dBの車内騒音の低減および軌道への衝撃緩和効果などを確認しました。また、全閉自冷化による気吹き作業の解消、騒音低減などライフサイクルコスト低減および環境改善に優れたシステムであることが実証できました。

現在は、冷却構造の改善や仕様見直しによる、さらなる軽量化に取り組んでいます。

4.3 ステンレスダブルスキン車体

車体構造の簡素化により製造コストダウンを目指したステンレスダブルスキン車体は、一定の工数低減効果を確認しましたが、パネル製造メーカの撤退により量産の見通しが得られないため、当面の導入を見送ることとなりました。

4.4 AIMS

汎用伝送技術(イーサネット・LON)を活用して、さらなる配線削減を実現するとともに、高速で拡張性の高い(機器の接続が容易な)AIMSを構築し、運転台計器のディスプレイ化を図ることと合わせて約50%の車両内配線削減(対E231系)の見通しを得ました。

4.5 輸送の安定性向上

システムの自律分散化・相互バックアップ・自己診断と応急処置などのシステム構成を行うことで、機器故障時の輸送影響を最小限にすることが可能である見通しを得ました。また、車上モニタ画面で表示する故障情報や前方画像を輸送指令に伝送する機能を付加し、指令などからの迅速な支援を可能とするとともに、車内カメラやドア部カメラの画像をモニタ画面に表示し、車内の状況把握を可能としました。これらの開発成果は、今後の新造車両への導入が検討されています。

4.6 旅客サービスの向上

連節構造の採用により、車体幅を従来車両に比較して80mm拡大するとともに、貫通路部の立席利用が十分可能であることが確認され、車内スペースはE231系と比較して5%増加しました。

ATISSによるサービス機能向上では、山手線に導入した情報サービスシステム(VIS)の機能をさらに向上し、豊富な画像表示や双方向サービスを可能としました。これ

により、車種やサービスレベルに応じた今後の導入検討のメニューができました。

4.7 バリアフリー

車椅子の乗降を容易にするスロープ・ステップ装置の開発は、耐久試験の実施、異常時の処置方法の確認等を行いました。また、聴覚の不自由な方に配慮した側引戸開閉表示灯に取り組み、各開発機器の基本機能と導入効果を確認しました。このチャイムと表示灯による扉開閉案内が東海道線用E231系で導入されるなど、順次、実用化されています。

4.8 エコロジー

DDMの導入・車両の軽量化によって、さらなる省エネルギー化に取り組んだ結果、E231系電車と比較して10%以上の省エネルギー効果の見通しを得ました。また、リサイクル可能な材料への変更(産業廃棄物ゼロ)、樹脂量削減、分別の容易化などでゼロエミッションを実現しました。現在は、内装材に使用しているF R P製品のリサイクル(ガラス繊維や充填材のリユース)に取り組み、エコロジー車両にふさわしいレベルアップを図っています。

4.9 アンケート調査

開発内容の評価や今後の次世代通勤電車のあり方などを調査するため、公開走行試験を中央線東京～武蔵小金井間で実施し、有識者143名や一般公募340名の方々によるアンケートを実施しました。

有識者は、システムチェンジ技術や装置に対する評価に、一般公募者は、サービス向上策や接客設備に対する評価に意見が集中しましたが、いずれも開発内容に対して高い評価を頂きました。

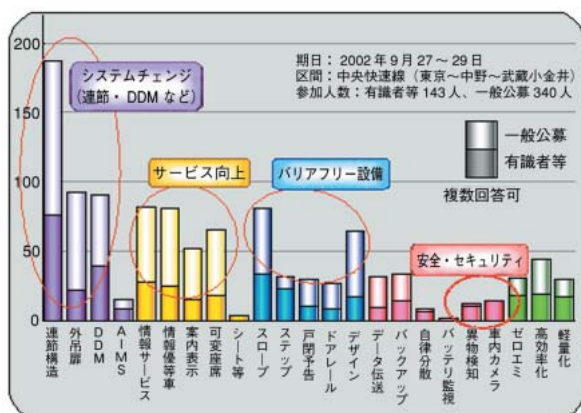


図16：アンケート調査の結果

5 おわりに

E993系試験電車は、次世代通勤・近郊形電車AC Trainに求められる様々なコンセプトを盛り込んで開発し、2003年度で新機軸として盛り込んだ諸機能の評価を完了しました。E993系試験電車でも実用化評価した技術を盛り込んだAC Train量産先行車構想は、今後の首都圏における次世代通勤・近郊形電車として位置付けられ、実現に向けて準備段階に入っています。

私たちは、AC Train開発のコンセプトを実現する取り組みを鋭意行ない、成果をあげてまいりましたが、これで次世代通勤・近郊形電車は完成したものではありません。実際にお客さまにご乗車いただき、信頼された鉄道車両であるという“真の評価”をいただくまで、これからも開発の手を緩めることはできません。今後さらに「e@train」構想の実現に向けて、ニーズの掘り起こしから技術動向の調査・開発を進めてまいります。

参考文献

- 1) 遠藤 隆；次世代通勤近郊型電車ACトレインの開発，J R E A，Vol.45, No7, pp.14～18, 20027