

高速・軽量化車両

High Speed, Light Weight Electric Cars

新幹線や在来線では輸送サービス向上を目指して車両の高速化が推進されている。東海旅客鉄道株式会社では最高速度270 km/h程度で走行可能なスーパーひかり300系新幹線電車の開発を推進中であり、このほど量産先行試作車1編成が完成した。日立製作所は、そのうち6両の製作を担当した。また、北海道旅客鉄道株式会社では最高速度130 km/hの785系特急形交流電車を新製投入し、日立製作所は、そのうち20両の製作を担当した。これらの車両は、軽量アルミおよびステンレス構体技術、高速・軽量ボルスタレス台車技術、高速走行に伴う空力音の抑制を図る低騒音化技術、高速走行にふさわしい外観、内装デザインなどの新しい技術を盛り込んで製作された。

岡崎正人* *Masato Okazaki*
 平石元実* *Motomi Hiraishi*
 檜垣 博** *Hiroshi Higaki*
 平岡一彦*** *Kazuhiko Hiraoka*

1 緒 言

近年、JR各社は新幹線、在来線ともに他の輸送機関との競争に打ち勝つため、高速化による目的地到達時間の短縮による輸送サービス向上を目指して車両の高速化を推進している。

車両の高速走行の実現のためには、車両の走行安定性の向上に加え、軽量化、低騒音化など多くの技術開発課題がある。日立製作所では、これらJR各社のテーマに対応した技術開発を行うことによって積極的にこれに協力している。

東海旅客鉄道株式会社では、東京～新大阪間の高速化のため、最高速度270 km/h程度で走行可能なスーパーひかり300系

新幹線電車の開発を推進しており、このほど量産先行試作車1編成を完成した¹⁾。また、北海道旅客鉄道株式会社では、札幌を中心とする在来線の高速化のため、最高速度130 km/hで走行可能な785系特急形交流電車を新製投入した²⁾。これらの外観を図1および図2に示す。

日立製作所では、300系電車1編成16両中、6両(11号車～16号車)の製作を担当し、大形押出アルミ形材を使用した軽量構体、低騒音化のためのパンタグラフカバー、高速用ボルスタレス台車の開発・設計、および運転室の内装デザインなど

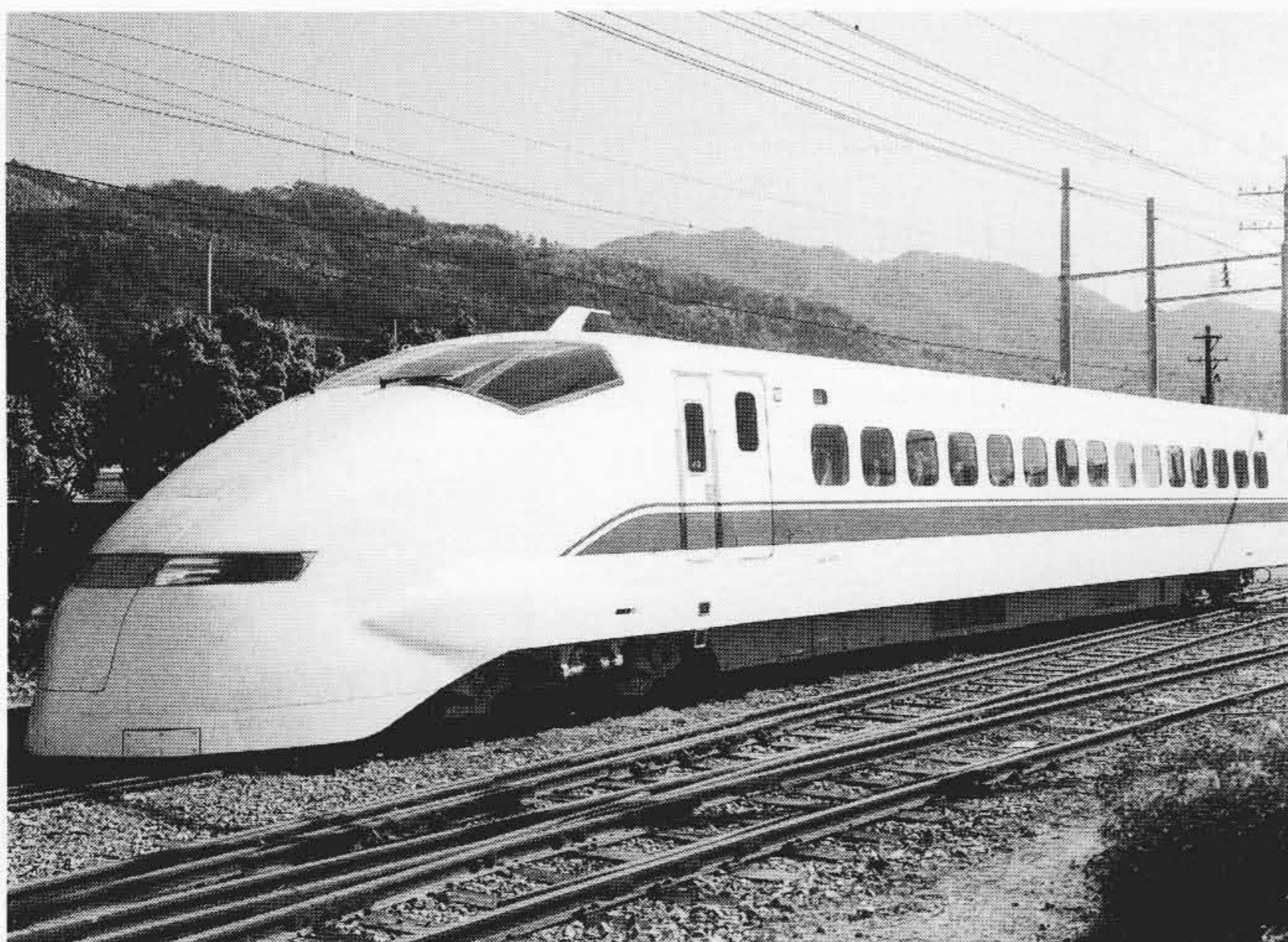


図1 300系新幹線電車の外観 軽量化のため、大形押出アルミ形材を使用した構体とし、また低騒音化のため車体形状を滑らかにした。

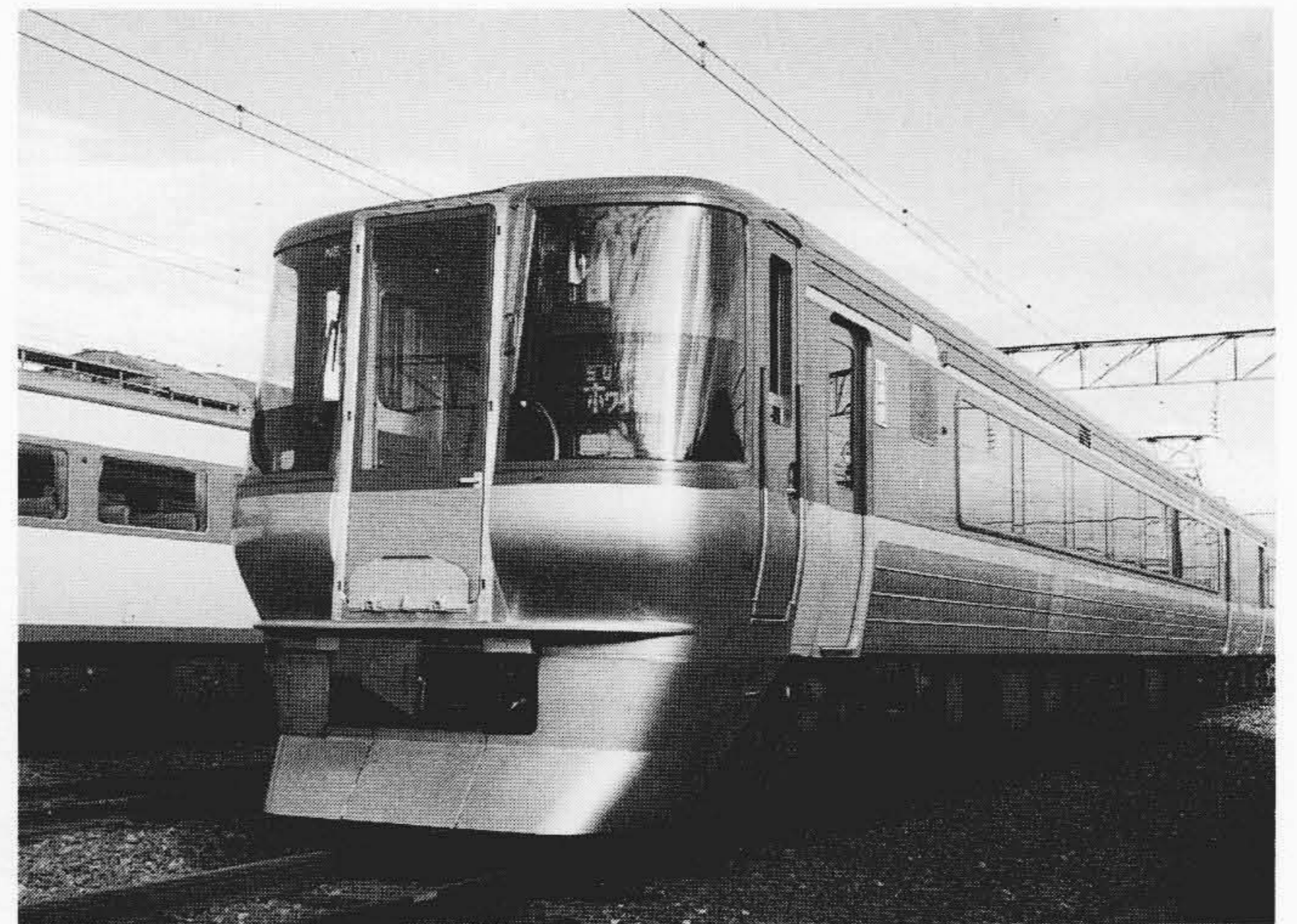


図2 785系特急形交流電車の外観 軽量ステンレス構体とし、高速車両にふさわしい先頭形状とした。

* 日立製作所 笠戸工場 ** 日立製作所 機械研究所 *** 日立製作所 デザイン研究所

を担当した。また、785系電車では、軽量ステンレス構体の設計、先頭および内装デザインなどを担当した。

2 高速車両車体

高速車両の車体では、第一に軽量化が必要である。比較的大きな質量を持つ構体の軽量化は、車両全体の軽量化に大きく寄与できるため、300系電車では大形押出アルミ形材を使用したアルミ合金製構体を、785系電車ではビード出し外板を使用した軽量ステンレス構体としている。特に、300系電車のアルミ合金製構体は、大幅な軽量化と構体生産性向上を両立するため、ほぼ全面的に大形押出アルミ形材を使用した。形材どうしはすべて室内側から連続溶接で結合し、側柱は前記の形材の室内側に適切な間隔で設けられたリブの上に溶接結合して組み立て、側外板のひずみを防止する構造とした。300系電車の構体構造を図3に示す。側柱は後述するダクトシステムのため、内部をダクトが貫通できるコの字形の構造とした。

床板は従来の構体で使用されていたキーストンプレートに代わり、リブ付きの大形押出アルミ形材で構成し、かつ円弧状に形成することにより、270 km/hでのトンネル突入、列車のすれ違いによって生ずる車内外の圧力差に耐えられるように計画した。構体荷重試験を実施した結果、300系電車の構体特性は従来の新幹線電車に劣らぬ諸特性を持ち、かつ270 km/hでの上記の車内外の圧力差にも耐えられることを確認した。300系電車の構体荷重試験の実施状況を図4に、構体特性を

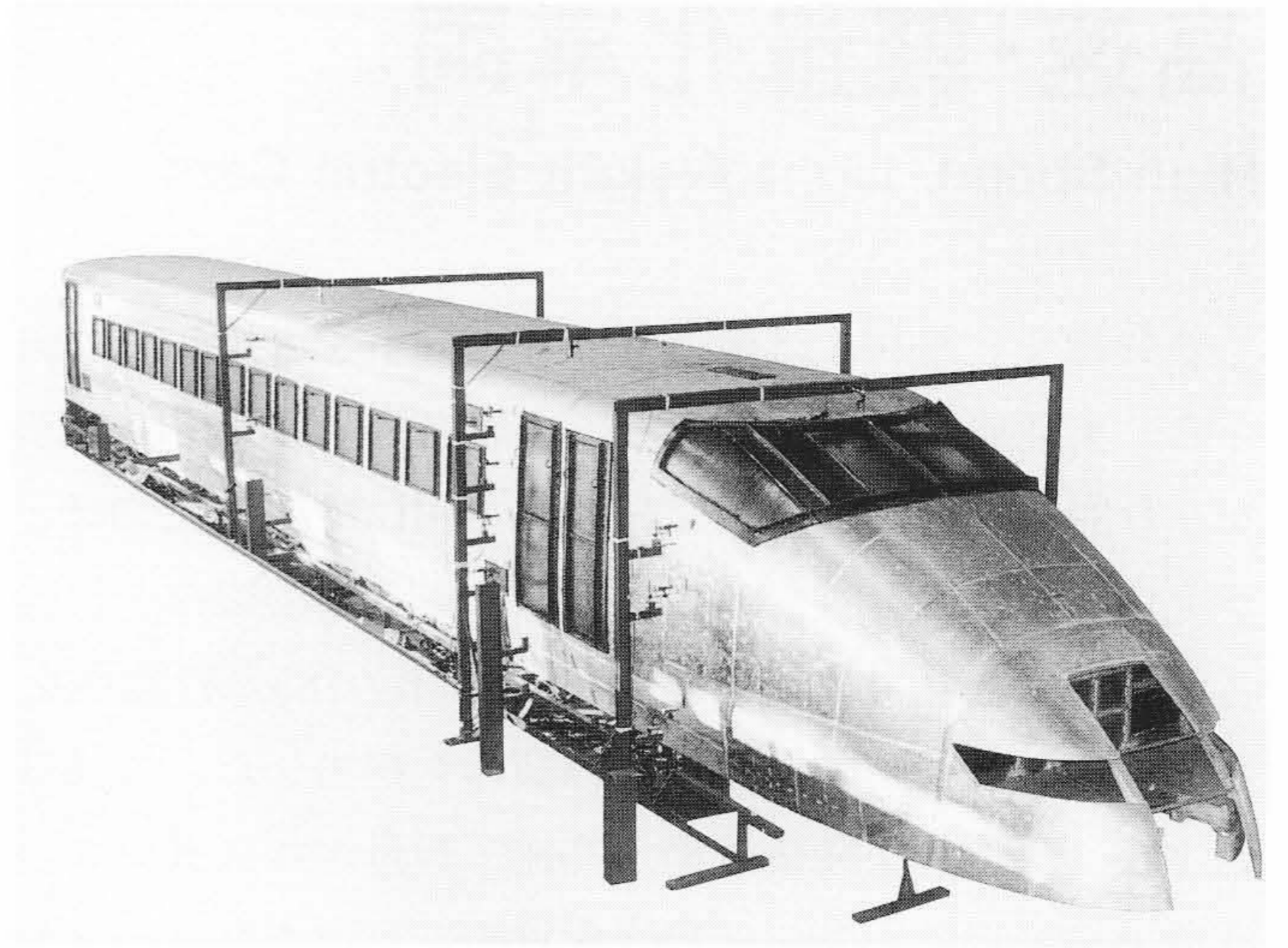


図4 300系新幹線電車構体荷重試験の実施状況 270 km/hでのトンネル突入、列車のすれ違いによって発生する車内外の圧力差を構体に加えている。

表1に示す。

また、高速時の空力音・走行抵抗低減、走行安定化を図るために、重心低下をねらって、従来の新幹線電車で屋根上に取り付けていた空調・換気機器をすべて床下取付として、屋根上を完全に平滑化した。空調・換気ダクトシステムは、床下の空調・換気機器から床中を経て、側柱の中を天井に立ち上げ、天井からラインフロー方式で室内に吹き出すシステム

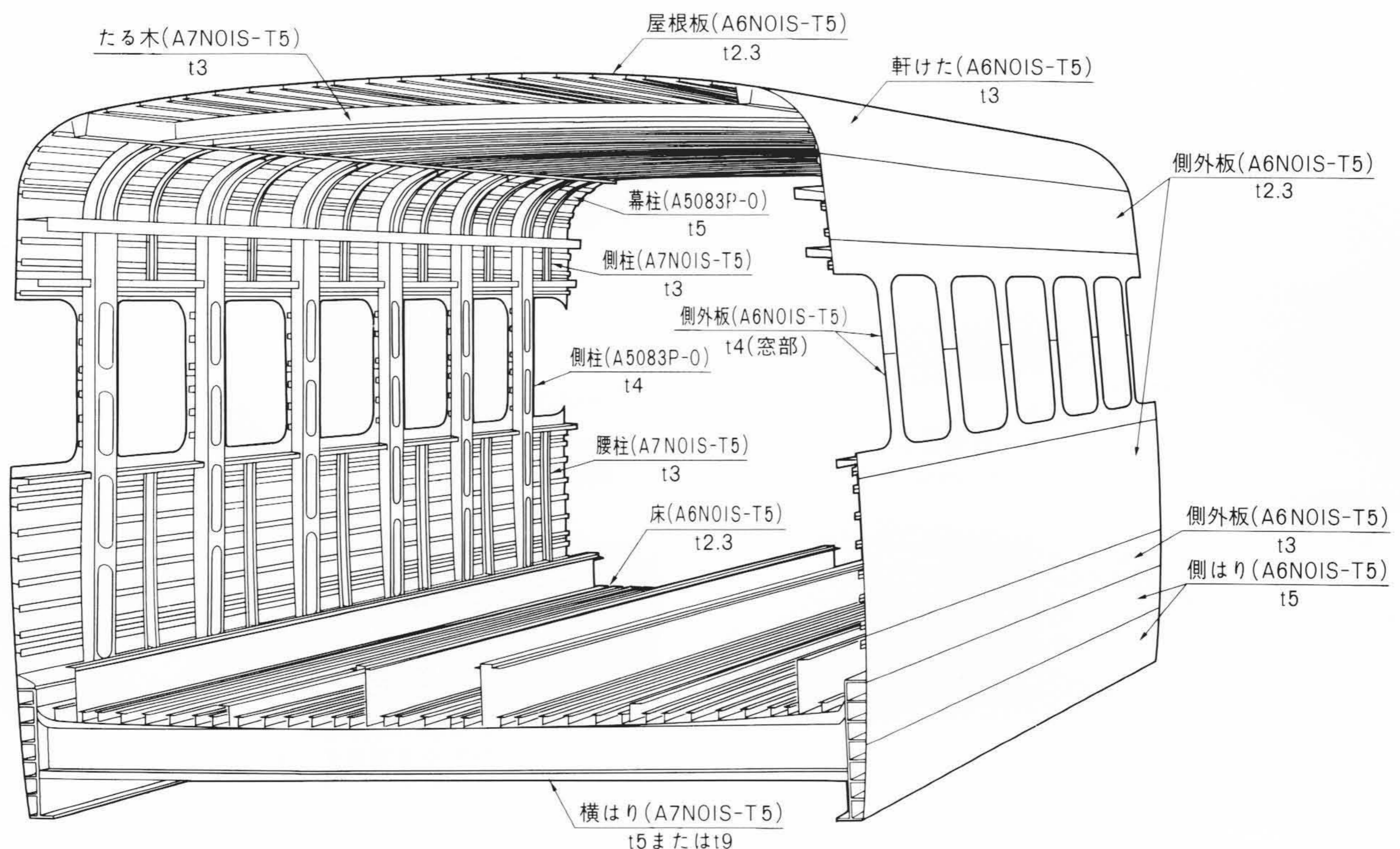


図3 300系新幹線電車の構体構造 ほぼ全面的に大形押出アルミ形材を使用し、形材の室内側に設けたリブの上で側柱と溶接組立した。

表1 300系新幹線電車の構体特性 構体の軽量化，耐圧強化を行いながら，従来の100系新幹線電車に劣らぬ諸特性を得ている。

項目 車種	質量 (構体試験時)	相当曲げ剛性	垂直曲げ固有振動数 (構体試験時)
100系新幹線電車(先頭車)	9.3 t	1.7 GN・m ²	12.0 Hz
300系新幹線電車(先頭車)	6.8 t	1.7 GN・m ²	12.1 Hz

とした。したがって，床構造および床厚さは床の内部に空調・換気ダクトを内蔵可能なように設定してある。

さらに，車体外部は先頭部形状，ドアおよび窓周りの段差を極力なくした構造として，高速時の空力音・走行抵抗低減を図っている。

3 高速車両用台車

高速車両用台車については，高速走行安定性の確保と曲線通過性能の向上という相反する性能をバランスよく並立させることが，軽量化とともに最も重要な課題である。従来の高速車両用台車の考え方は，高速走行時の安定性の確保のため，軸箱支持剛性は前後・左右方向に十分に硬く，台車の回転抵抗も比較的大きな値を採用しており，このことが曲線走行時の走行性能を阻害し，軌道保守の増加・車輪フランジ摩耗の増大につながっていた。しかし，最近ではシミュレーション技術の精度が向上し，高速走行時の安定性が精度よく予測できるようになった。この技術によれば前後・左右方向の支持剛性を柔らかくしても，適切な支持剛性を選定すれば，高速走行安定性を低下させることなく曲線走行性能を向上できることが明らかになってきた。

台車の回転抵抗は，従来のボルスタ付き台車では側受の摩

擦力によって与えていたが，高速ボルスタレス台車では低速で曲線を走行する場合には小さな減衰力を，高速走行時には大きな減衰力を発生し，安定した回転抵抗を与えることができる粘性減衰形ヨーダンパを採用している。

また，高速車両用台車では，最高速度を向上するとともに曲線をできるだけ速く走ることが必要である。曲線を高速で走行する場合，車体の曲線外側への傾斜によって左右定常加速度が増加するために乗り心地が悪化する。これを防止するために，軸ばねの上下ばね定数を適切に選定し，空気ばねには可変絞り方式を採用し，曲線走行時の乗り心地の改善を図っている。

台車の軽量化に関しては，

- (1) 車輪の小径化(新幹線)，波打車輪の採用(在来線)
- (2) 中ぐり車軸の採用(新幹線)
- (3) アルミ歯車箱・アルミ軸箱の採用(新幹線)
- (4) 端ばりを廃止し，基礎ブレーキを横はりに取り付ける(新幹線)
- (5) ボルスタレス車体支持方式の採用(新幹線・在来線)

などを実施することにより，従来の台車に比べ約30%の軽量化を図った。

以上の高速化・軽量化技術を結集した300系電車用TDT203台車を図5に，現行100系新幹線電車用台車との比較を図6に示す。

4 高速化研究開発

高速車両では，特に空気力学的現象への配慮が重要である。空気抵抗(速度の二乗に比例して増加し，かつ270 km/hで走行抵抗の80%以上を占める)，空力音(速度の六乗にほぼ比例して増加)などの空力的問題に対しては，車体高さの低減，先頭形状の変更，車体の平滑化，パンタグラフカバー設置などが実施されなければならない。これらの効果を事前確認するためには，風洞実験およびコンピュータによる流れ解析が有効である。

先頭形状変更による空気抵抗への影響については， $\frac{1}{30}$ の縮小モデルを用いた風洞実験により，先頭車および後尾車としての空気抵抗を測定するとともに，スモークワイヤ法による流れの可視化を行って検討した。一例として，先頭車の空気抵抗測定状況を図7に示す。実験はいずれも固定地面方式で行った。空気抵抗測定時での最大風速は70 m/sである。先頭形状を流線形化し，かつ車体高さを低くしたことにより，従来車両と比べて大幅な空気抵抗低減効果を確認した。さらに，別途行った後尾車としての空力横揺れ特性についても良好な結果が得られた。

空力音低減のためのパンタグラフカバーの設置による空気抵抗の増加割合についても，同様に風洞実験によって検討した。パンタグラフカバーの形状のくふうと，パンタグラフ数



図5 300系新幹線電車用TDT203台車 ボルスタレス車体支持方式とし，端ばりを廃止した高速・軽量台車である。

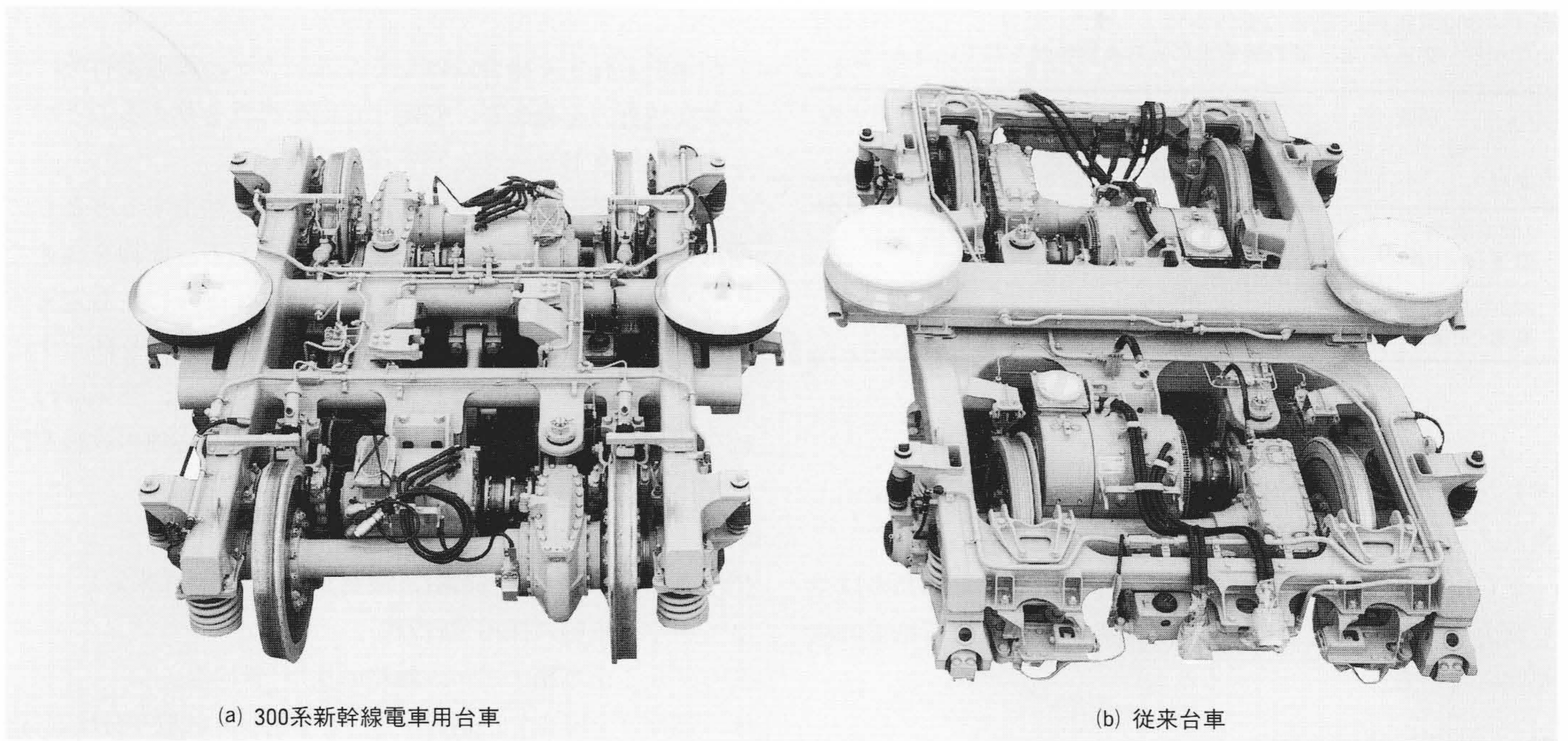


図6 300系新幹線電車用台車と100系新幹線電車用台車の比較 (b)の従来の台車に比べ、(a)の300系新幹線電車用台車が大幅に小形、シンプル化されていることがわかる。

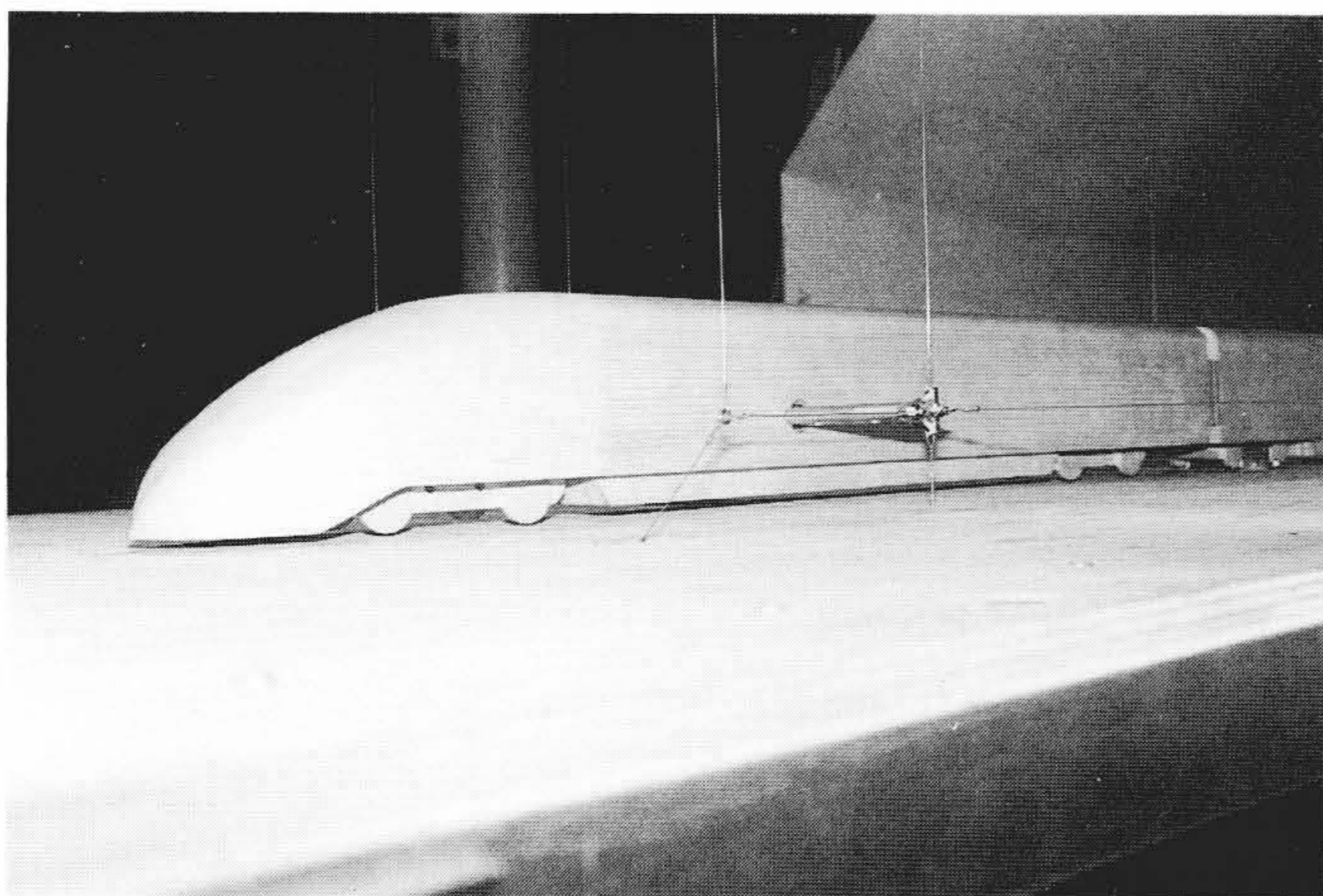


図7 先頭形状に関する風洞実験状況 先頭形状の改良による空力特性の改善を、風洞実験によって把握する。

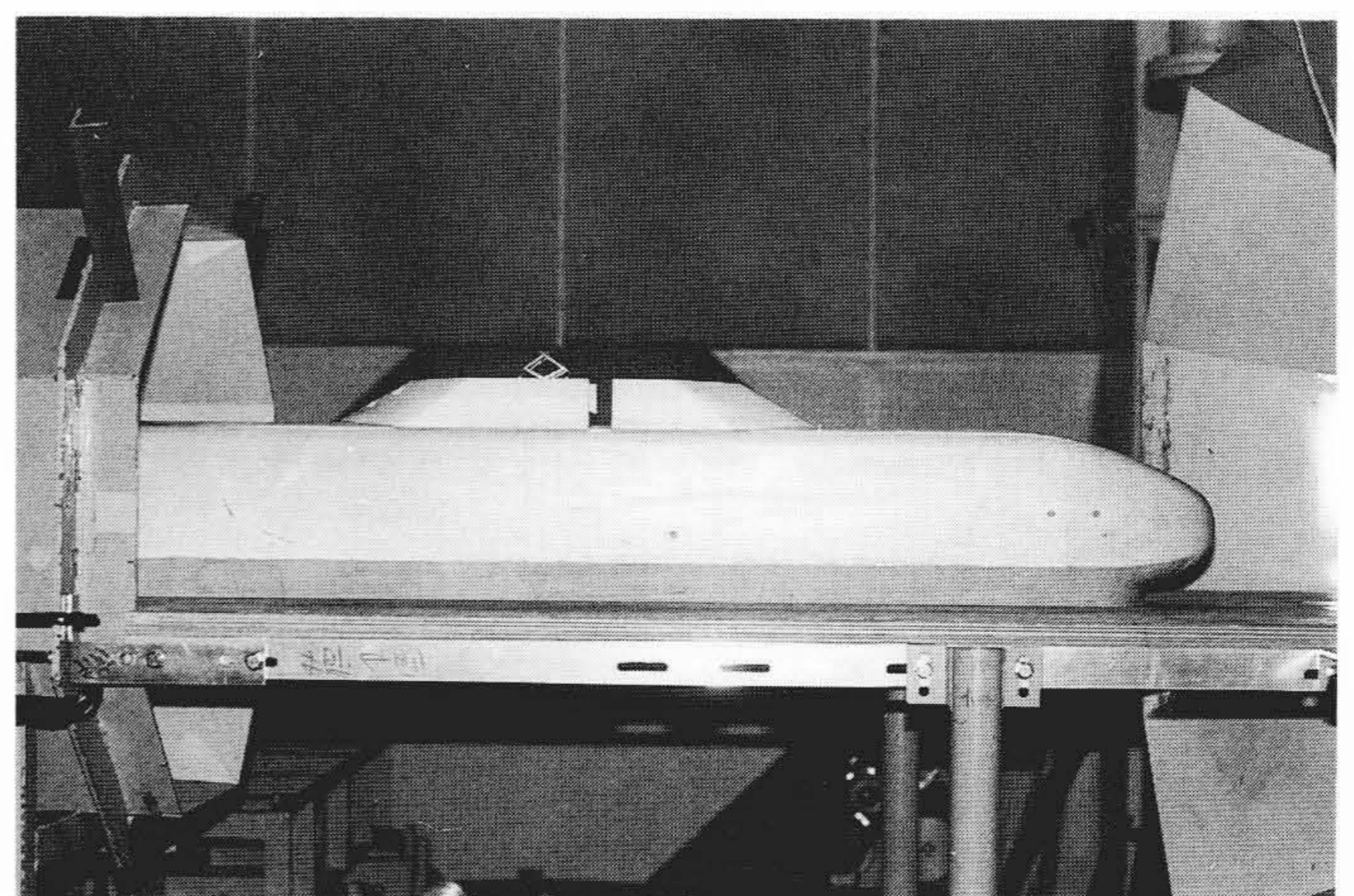


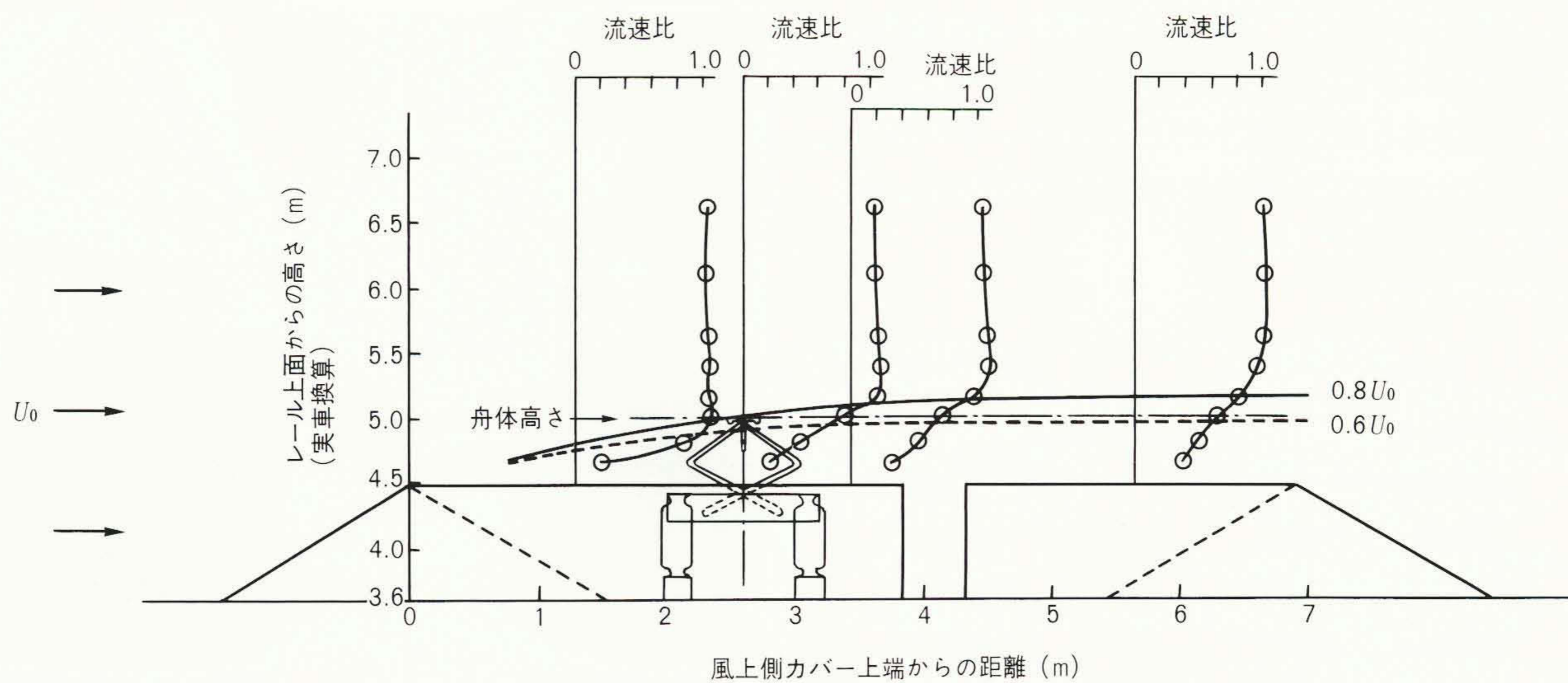
図8 パンタグラフカバーの風洞実験 パンタグラフカバーによる気流制御による、パンタグラフ風切音の低減状況を把握する。

の削減によるカバー数の減少により、車体高さ低減効果と合わせて、パンタグラフカバーを設置しても、従来車よりも空気抵抗を低減できる見通しを得ている。

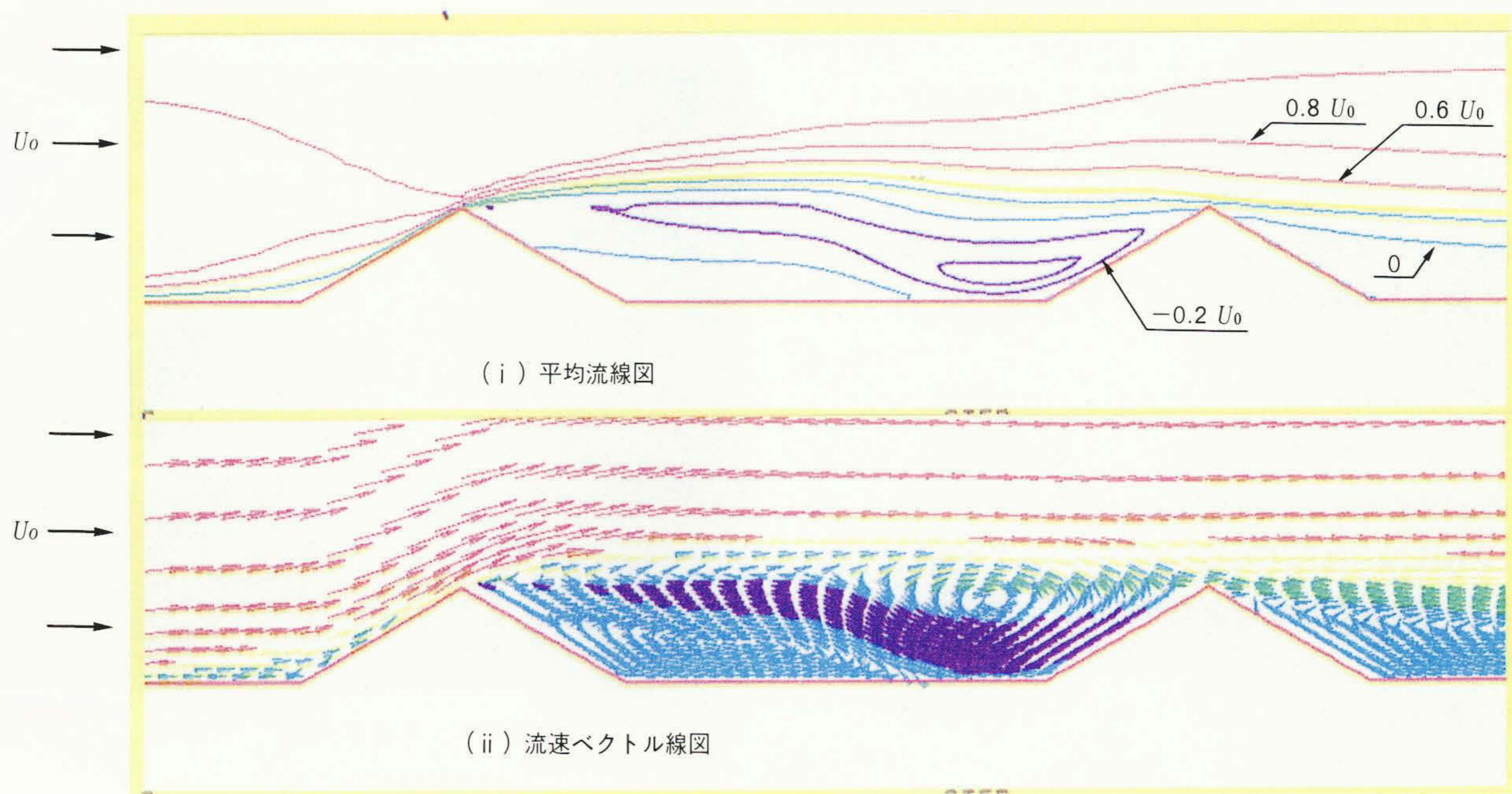
パンタグラフカバーによるパンタグラフ空力音の低減効果については、カバーの前面傾斜角および形状を変えた数種類の縮小モデル($\frac{1}{15}$)を用いて風洞実験を実施し、側方での空力音測定およびカバー上部の平均流速の測定を行った。実験状況を図8に示す。パンタグラフ単体(カバーなし)で発生する舟体や天井管・斜管のピーク周波数は、パンタグラフカバーによる防風効果およびカバー上方の平均流速を弱める効果によって減少しており、遮音効果と合わせてパンタグラフ空力

音の大幅な低減が可能となっている。

パンタグラフカバー上方の平均流速測定結果を図9(a)に示す。カバーに沿った空気流は、風上側カバー上端でその境界層が表面からはく離し流れの中に押し出され、はく離せん断層となり、風下側カバー後方で再付着する。このため、はく離点後方ではカバー内面とはく離せん断層の間に逆流領域が発生し、パンタグラフに当たる平均流速を低速化させているものである。パンタグラフカバーを対象とした二次元非圧縮性流れ解析例として層流解析結果を平均流速図および流速ベクトル図の形で表したものが同図(b)であり、(a)の風洞実験での実測結果と定性的によく一致している。



(a) パンタグラフカバー上部の平均流速測定結果



(b) 解析結果

図9 平均流速測定結果と解析結果の比較 パンタグラフカバーを対象とした二次元流れ解析結果は、実測値と定性的により対応がみられる。

5 高速車両のデザイン

5.1 エクステリア(外観)

車両のデザインは沿線環境との調和や対比などを考慮する「環境からの発想」、それらを加味して造形の美しさを高めていく「美しさの追求」、また人が利用する上で危険性や不便さを解消する「人への優しさ」の三つの視点を軸に進めている。これらを基本にしてさらに時代性や車両の目的、沿線の特質を加味した検討を行っている。特に高速車両で最も留意する点は空気抵抗の少ない形状と魅力的な造形との調和である。

ダイナミックで理知的、しかも人の目にすなおに映る威圧感のない形態や色を探ることに努めている。

以上の考え方を表現するとき、最も重要な部分は先頭形状であり、全体のバランスを考慮しなければならない。特に新幹線電車は高速化が開発の重要な要素であり、単に見た目の形だけでなく、凹凸の少ない滑らかな面構成による空気抵抗と風きり音の低減が必要である。また、先頭部以外でも窓やドア、連結部や床下機器の処理も同様である。しかし、在来線高速車両では空力特性よりも適度な高速イメージが重要であり、また地域性を考慮しその環境の中で、いかに風土を表

現するかが重要である。785系電車では先の図2に示すように、広大な自然の中を走る車両にふさわしいダイナミックさをスカート部周りの形状と全体の塗り分けで、またシンプルにするために、ライトや表示類を運転室の窓内に収めることや客室窓を連続化することで表現した。

5.2 インテリア(室内)

従来のインテリアは機能性を重視していたが、これからはいかにくつろげる雰囲気的空間になっているかが重要であり、心理的な安定感や品格と落ち着きが必要である。ここでも前項で述べた視点から発想することは同様であるが、単に風土などの表現だけでなく室内全体を環境としてとらえ、細部に至るまで一貫した思想で室内環境を構成することが重要である。そして明解な面の組み合わせや面分割による空間構成、落ち着いた色調や品格ある素材、刺激の少ない照明を組み合わせることでそれが表現できると思われる。ただし、素材は難燃性や軽量化などの問題を解決しなければならず、物理面と美との両立が必要である。

以上の考え方の表現は、新幹線電車も在来線高速車両も基本的には同じであるが、300系電車はより上級車両としての表現がなされている。一方、785系電車は図10に示すように、適度な高級感と安らぎ感をソフトなイメージの壁表面材と間接光プラス直接光の照明で表現し、風土の「香り」を感じさせる色調とした。

運転室についても、機能面の追求だけでなく感性の面でも考慮すべきであり、特に新幹線電車では高速時の安心感や信頼感の表現が必要である。300系電車は図11に示すように、機能面では見る機器と操作する機器のゾーニングや運転者正面の機器のシンプル化を図り、前方を注視しやすいように考慮した。感性ではハンドルに至るまで柔らかい造形でまとめ、色彩も落ち着いた色調と艶(つや)を抑えた柔らかい仕上げで人に優しいデザインとした。



図10 785系特急形交流電車の客室内部 客室内は、高級感と安らぎ感を壁表面材と照明効果で表現した。



図11 300系新幹線電車の運転室内部 内部機器配置のシンプル化を図り、前方を注視しやすいようにした。

6 結 言

新幹線や在来線の高速・軽量化車両である300系電車および785系電車は、それぞれ東京～新大阪間の高速化、および札幌を中心とする在来線の高速化を目指した車両である。軽量アルミ大形押出型材構体、軽量ステンレス構体の軽量構体技術、高速・軽量ボルスタレス台車技術、高速走行に伴う空力音の抑制を図る低騒音化技術、高速走行にふさわしい外観、内装デザインなど、車体構造や台車構造で種々の高速化・軽量化技術を盛り込んで製作された。

今後、300系電車は量産先行試作車編成による数多くの試験走行から貴重なデータを得て、それを反映して量産に移行してゆく予定であり、785系電車はすでに営業運転での実績を重ねつつある。

これらの高速車両に適用した車体構造、台車構造の高速化・

軽量化技術は、その開発手法、デザイン手法と合わせ、今後の高速車両設計にとって重要な基礎技術としてさらにブラッシュアップを図っていきたいと考えている。

終わりに、終始ご指導をいただいた東海旅客鉄道株式会社および北海道旅客鉄道株式会社の関係各位に対し、深謝の意を表す次第である。

参考文献

- 1) JR東海 新幹線鉄道事業本部 車両部 車両課：スーパーひかり300系(試作車)、車両と電気、第41巻第6号、8～11(平2-6)
- 2) 谷地：785系特急形交流電車、車両と電気、第41巻第9号、4～7(平2-9)