ヨーロッパの都市間高速列車と通勤電車

土 岐 実 光*
Sanemitsu TOKI

1. ま え が き

ヨーロッパにおける都市間列車の高速化と地下鉄を中心とする近距離通勤電車の近代化とは、近年特に著しいものがある。

都市間鉄道的高速化は既設線的高速化と新幹線の建設とにわけられる。既設線的高速化としては、イギリス国鉄における HST の営業運転開始 (1976 年 10 月)、APT-P の投入計画、イタリア国鉄においては振り子電車の営業運転開始 (1976 年)、フランス国鉄のガスタービン動車 RTG の投入や電車 TGV の投入計画、ドイツ国鉄における ET 403 形電車による 220 km/h 運転開始 (ただし現在は 160 km/h にて使用) (1974 年 4 月) などがあげられる。新規高速鉄道の建設としては、フランス国鉄のパリーリオン間、イタリア国鉄のローマーフィレンツェ間、ドイツ国鉄の 950 km に及ぶ新線計画などがあげられる。

一方、都市の地下鉄及び近郊電車の近代化や建設も盛んである。例えば、イギリスのニューカッスル地区のタイン・アンド・ウェア鉄道の新規開業 (現在試作車でテスト中)、ロンドン地下鉄のヒースロー空港延長に伴う新車投入計画、イギリス国鉄の 313 系電車の営業開始 (1976 年 11 月より)、314, 315 系電車の投入計画などがある。

つぎにフランスでは、フランス国鉄のドゴール空港—パリ間の Z 6400 形電車の営業開始 (1976 年 5 月)、パリ地下鉄の新設計車 RF 77 形を 1000 両投入する近代化計画、パリ近郊高速線 RER の車両増強、パリにつぐ大都市リオン、マルセイユ両市の地下鉄開業 (前者は 1978 年、後者は 1977 年営業開始)、その他アムステルダム、ロッテルダム、ブリュッセルなどの地下鉄開業、マドリード地下鉄 7 号線の営業開始、イタリア・ミラノ地下鉄、ローマ地下鉄の新車投入、ミュンヘン地下

鉄、フランクフルト地下鉄など、数えきれないほどである。

2. 日本とヨーロッパの考え方の相違

日本とヨーロッパの車両を比較した場合、一般的にいて、次のような顕著な差異が認められる。

すなわち、ヨーロッパの車両は、いかに快適に人を運ぶかということにおいてすぐれており、日本の車両はいかに多くの人間を早く運ぶかということにおいてすぐれている。具体的にいえば、ヨーロッパの車両は室内騒音、振動及び乗りごころ、加減速のなめらかさ、暖冷房の快適さの研究においてわれわれより真剣に研究がなされているように思う。

暖冷房でいうならば、常に夏冬とも 22°C に保たれるようになっているとか、騒音レベルを地上区間で 65 dB (A) 以下にしているとかいうことは、やはり注目しなければならない。これらのために車両構造、使用機器の選定には細心の注意が払われている。わが国の場合にはこれらの研究よりも、いかに多くの人間を目的地まで運搬するかということが重点になっているようである。鉄道旅客サービスの本質は何かという点でヨーロッパと日本では基本的な差異があるように思う。たとえば、ヨーロッパではまれに起こるかもしれない火災に対して、車両のすべてを極めて燃えにくい材料にすべきか、これを多少犠牲にしても快適なサービスを提供するかという点でやや差異があるようである。たとえば金属サンドイッチ合板は日本では A-A 基準で床材として許されないが、ヨーロッパではごく普通に使われている。このため床下騒音のしゃ断、断熱性能にすぐれている。これは乗客の混雑度に差異があるから直ちに応用することはできないにしても、定員制の優等車などでは、わが国も再考の余地があるものと思われる。

つぎに発想力の豊かさがあげられる。ヨーロッ

* 正員、東急車輛製造会社 (〒 236 横浜市金沢区釜利谷町 1)。

パの車両は国が異なるせいもあるが、いずれも独創的な手法が大胆に採り入れられ、ここ10年間で車両設計の考え方が大幅に変わってきている。そういう点で日本の車両は基本的な考え方は極めて類似しており、独創性においては見劣りするのではないだろうか。それでいて標準化されない多種類の電車が少量ずつ多くの私鉄で使われているのは日本の特殊現象のように思う。

つぎにヨーロッパと日本の車両生産の大きな差異はヨーロッパが長期計画による大量発注、多量生産方式をとるのに対し、日本は会計年度ごとに区切り、更に細かく発注する少量多種生産方式となっている点である。なるほど日本でも、ある形式の車両は10年間に例えば1000両作ってはいえる。しかしこれは、ある生産会社が1000両を連続多量生産したのではなく、数十両ずつ、毎年他の車両と混ぜながら作っては納めていた結果なのである。ところが、ヨーロッパの場合は1000両を連続して長期計画で作るのであって、そのためのコストの低減やできばえの向上は著しい。このため製作者側も十分の事前準備と思い切った設計にふみきることができると思われる。

鉄道車両の設計は国民の生活環境、風俗習慣、気候風土に強く影響される。沿線住宅が密集せずこう配も少なく、また寒暑の差の少ないヨーロッパの風土では車両の設計もわれわれとは異なってくる。また歴史も無視することはできない。UICの外開きドアが馬車時代からの伝統であるといっ

3. 車体および装

都市間高速列車と都市内通勤電車とは車体特に内装の設計は、はっきり区別されている。

わが国では内装は腰かけが多少異なるほか、内装材、床材、車体構造は変わらないが、ヨーロッパでは、前者はヘッシュンクロスや豪華なおうとつのあるビニルクロスの張りあげ、じゅうたんの敷きつめ、照明やあみだなも独得のものが用いられている。一方通勤電車ではかなり実用的で、FRP成形材、塩ビ系の床張り材、実用的なあみだな、カバーなしのけい光燈などが用いられ、明らかな差異がある。

高速列車の内装は内部にフェルト状のものを入

吸音効果が大きく客室内は極めて静かである。通勤車にはわが国でみられるようなつり皮は全くなく、ほとんど握り棒がクロスシート背ずりの握り金具によっている。

最近設計されたものの室内騒音は極めて低い。わが国の最近の車両にくらべて優等列車、通勤車ともに騒音が10~20 dB(A) 低い。これは前述のように吸音に努めた内装材、床はサンドイッチベニヤ、空気層を設けるなどしゃ音をはかると共に、床材を軟らかくして吸音に努めているからであろう。床構造の一例を図1に示す。この床の相違と同様の相違が側壁にもあるので、しゃ音効果はかなり異なるものと思われる。また車両のすきまをへらすことに注意を払っており、これは、防寒上にもよいが、しゃ音にも役立っているものと思われる。まず窓は、最近のものは通勤車でもはめ殺しのものが増えており、はめ殺しでないものでも、上半分をヒンジ式にしている。これは、わが国のような上昇または下降のスライド式にしたのでは、がたつきによる騒音を皆無にすることがむずかしく、また完全密閉もむずかしいためと思われる。また乗客の乗降用ドアも通勤車にプラグドアが急速に普及している。新しい地下鉄はほとんどプラグドアになったといっても過言ではない。プラグドアの考え方を図2に示す。これは、このドアが戸袋を必要とせず、また車体を軽量設計することができ、雪や氷に対しても有利であることのほか、閉まったとき密閉されてしゃ音に効果があることを考えてのことであろう。次に連結部からの騒音、寒気の侵入についても見るべきものがあり、ホロやサン板からの音の侵入も絶無である。

工数低減によるコストダウンにも多くのくふうがこらされている。たたき出しによる三次曲面はできるだけ避け、FRPによる前面が多い。内装材もできるだけモジュール化し、1, 2等車も窓ピッチや内装材をできるだけ共通にしている。また押

図1 床構造の例

し面およびビスによる工数をへらすため押し面なしの内装がふえている。しかもインテリアにもくふうがこらされている。窓の固定方法もゴムを用いて防振支持にすると共に工数の低減がはかられている。

鋼体の強度計算は各国とも有限要素法を用い、コンピュータによる立体解析が行われるようになり、イギリス国鉄ではダービー研究所においてディスプレイによるそのデモンストレーションがあった。この手法の開発により今後更に構体の軽量化、合理化がはかれるであろう。

4. 性能および電機品

性能は車両によっていろいろ異なるものの、高速優等列車では、従来の路線で各国とも 160 km/h で営業運転をすることが普通となっており、200 km/h 用の車両も実用に入ろうとしている。

またフランスの Z 7001 は 300 km/h の実験中である。一方通勤・地下鉄車両では、リオン地下鉄が加速度 1.2 m/s^2 、減速度 1.2 m/s^2 と、ゴムタイヤとはいえ、すばらしい加減速を誇っており、しかもチョップ制御とジャークコントロールにより乗りごころは極めて快適である。

運転室は広々としており、運転ハンドルはこれまでの垂直軸のまわりの回転運動から前後方向のものに変わりつつある。この方式は人間工学的にも自然であり、足元の空間があくことにより運転手の居住性が改善されるので当然のことと思われる。更に力行とブレーキを1本のハンドル操作に

まとめたものもふえており、また速度司令にして事実上1本ハンドルの操作で運転するものも増えている。新しい地下鉄は ATO, ATC 付きとなり完全自動運転に移りつつある。

各地下鉄はワンマン運転となっており、乗務員の最も重要な仕事はドアの開閉となっている。

電気車の制御にはサイリスタの採用がめだっており、もっとも慎重なイギリスでも 314 系からチョップ制御に切りかえるという。既に実用化されているサイリスタ制御の交流電車としては、フランス国鉄 Z 6400 (回生制動付き)、ドイツ国鉄の ET 420, ET 403 などがある。リオン地下鉄は主回路、界磁ともにチョップ制御である。

このようにサイリスタ制御またはチョップ制御とする理由は、エネルギーの節約はもとより、乗りごころの改善、粘着性能の向上など多くの利点があるからと思われる。

また特に最新設計のリオン地下鉄では思い切った小形軽量の電機品が用いられている。機器はボデーマウントであるが保守点検は容易である。

つぎに Z 6400 では主抵抗器やサイリスタを屋根上に設置し走行風による冷却を行っている。ET 403 ではブレーキ抵抗器を屋根上に設置している。変圧器は油循環式が多い。主電動機はアクスローラ式のつり掛架装が多く電動機回りはコンパクトにまとまっている。

主電動機の出力は国によって差異があり、フランス Z 6400 形電車は 290 kW 4 個で MTM 編成であるのに対し、イギリス 313 系電車は 82.5 kW 4 個で MTM 編成である。わが国と異なりほとんどが1両ごとの制御方式となっている。

5. 台 車

わが国の概念と異なるのはまくらばねであって、通勤電車はほとんど空気ばねなのに、都市間高速列車はコイルばねを用いている。これは空気ばねが荷重が変わっても高さを変えないですむため荷重変化の多い通勤車に用いるのだと思われる。

台車は軸はり式が多く、乗りごころもよいが、そのほか最近

図 2 プラグドアの動作一片開き (フランス TEE の例)

の傾向として、ボルスタレス台車が急に増えてきたこと、シェブロン形軸ばねが普及したことがあげられよう。ボルスタレス台車はドイツ MAN 社が数年前に開発し、ET 403, ET 420, ミュンヘン地下鉄などに用いられたが、その後開発されたイギリス国鉄 313 系通勤電車、フランス国鉄 Z 6400 形通勤電車がいずれもボルスタレス台車を採用したことにより、ヨーロッパ主要各国の新設計の通勤電車はほとんどこの方式となったことになる。ボルスタレス台車の一例を図 3 に示す。ボルスタを廃止することにより、重量軽減がはかられコストも下げることができるが、これによる回転抵抗の制御はコンチネンタル形空気ばねで行われている。左右のつりリンク作用も空気ばねで行われ、けん引力の伝達は Z リンクや積層ゴムで行われる。試乗した結果もよく、保守の容易さ、軽量化、構造の簡素化などを考えるとわが国でもこの形式の台車が研究されるべきだと思う。

つぎにシェブロンゴムはロンドン地下鉄で用いられ、また路面電車で普及していたが、最近では地下鉄や通勤電車にもこれを採用するものが増えた。イギリス国鉄 313 系はこれを屋根形に使用しているし、ミュンヘン地下鉄、フランクフルト地下鉄、新しいローマ地下鉄、ミラノ地下鉄、フランス 2 階建客車など、イギリス、フランス、ドイツ、イタリア各国の地下鉄及び通勤車はほとんどシェブロンゴムになってしまった。一般的にいえば、軸ばねにシェブロン、まくらばねにコンチネ

ンタルタイプの空気ばね、そしてボルスタレスという組合せが最近のヨーロッパの通勤車両用台車の標準であるといえよう。シェブロンゴムは乗りごころはコイルばねに比し特にすぐれているとは思えないが台車構造が簡単になり、摩耗部分がなく保守が容易であるなど多くのすぐれた特長を持っている。特に上下、左右、前後のばね定数を自由に選べることは設計上重要である。シェブロン台車の代表例としてフランス国鉄 2 階建客車用 Y 30 P 台車を図 4 に示す。

6. 主要各国における都市間高速列車と通勤電車

6・1 イギリス イギリス国鉄は都市間高速列車として時速 250 km/h の APT-E を試作した。これはガスタービン車で十分な走行テストを行い種々のデータをとった。そして石油危機後これを電車化した APT-P を現在製作中である。

また非電化区間の高速列車として HST が製作され、1976 年 10 月より営業運転に入っている。これは電気式ディーゼル機関車を両端に配し中間に 7 両の MK III 客車を連結した、一種の編成列車で最高速度 200 km/h、客室の乗りごころはすばらしくよいイギリス国鉄の誇る列車である。両端の機関車はパクスマン 2 250 PS をそれぞれ 1 基備え交流発電機を駆動する。

つぎに中間の客車はイギリス国鉄の標準の MK

図 3 Z 6400 用ボルスタレス台車

Ⅲで、ただ両端の動力車の遠隔操縦と固定編成のため、引通線が追加されたほか、サイドバッファなしの連結器となっている。

客室内装は優雅の一語につきる。すなわち押し面、ねじ類その他の金属面はほとんど見えず、内張りには窓周辺の FRP を除き、すべてヘッシャークロス張りで床はじゅうたんの敷きつめである。騒音は極めて低く 65 dB(A) であった。

イギリス国鉄の通勤電車としては 313 系電車が注目される。

McTMc 3 両固定編成の交直両用電車であって、中間の T 車にパンタグラフ、トランス、整流器など高圧 AC 機器を持ち、地上の AC 25 kV 区間ではこの T 車から両端の Mc 車に、整流した DC 750 V を供給する。また地下の DC 750 V 区間では各 Mc 車の第三レールから集電するという独得の方式をとっている。地上 AC 区間では最高 115 km/h、地下では 50 km/h に制限運転中で、当面 64 編成が投入される。

台車は軸はり式で軸箱と一体の鋳鋼製ラジアスアームを台車わく側にゴムブシュを介して連結し、軸ばねはシェブロンゴムであるが、普通の配置と異なり車軸と直角方向に配置している。まくらばねはコンチネンタルタイプの空気ばねでボルスタはない。

6・2 フランス フランス国鉄の最も新しい近

図 4 Y30P 台車

郊通勤形電車は Z 6400 形である。これは MTM の 4 両固定編成で、先頭車は荷物・1 等合造車、他の 3 両は 2 等車である。電動車は 290 kW 電動機を持ち、加速も 1 m/s^2 と在来車より高くなっている。フランス国鉄の通勤電車は在来の Z 6100 形は MTTT と、動力集中の考え方が強かったが、この車も日本やイギリスに比し動力集中の色彩が強い。そのため動力車は付随車にくらべ非常に重く、空車で 62 t あり T 車の 2 倍以上となっている。

ブルーの塗装を施したステンレス車体、サイリスタ力行位相制御、定速制御、電力回生ブレーキなど多くの新機軸をもった交流電車で、また内装にも新しいくふうがこらされている。各電動機は独立してサイリスタブリッジに接続されており、主変圧器の二次巻線は 1 分割である。主整流器はアルストム製で屋根上におかれ走行風を利用した冷却を行う。

台車はアルストム軸箱支持装置をもったボルスタレス空気ばね付きである (図 3 参照)。

パリ近郊通勤客車として、フランス国鉄は 2 階建客車を投入している。この客車はすでに多数就役しているほか、現在生産中であり、当面 500 両の配備を予定している。この客車は 4 種類あるが、そのうち運転席付きのものの形式図を図 5 に示す。この車両は通常 8 両連結で座席数は 1234

となり立ち席も含めると 2260 名を運ぶことができる。従来の 1 階建客車に比し、8 両の場合、座席数は 60% の増加、全定員でも 42% 増加することができる。

リオン地下鉄の電車はもっかのところ世界でもっとも進んだ、あらゆる意味で最高の電車であろう。パリ地下鉄と同じくゴムタイヤ式であるが、乗りごこちのよいこと、静粛なこと、高加減速であること、車の内外部にわたるデザインの美しいことなど、すべてにわたって注目に価する電車であろう。現在、試作車 3 両で試運転を行っており、1978 年より 60 両で営業を開始する予定である。3 両 MTM 編成で ATC 制御、集中 CTC 制御、列車安全制御をもつ完全自動運転可能であるが、手動もできる。

制動はチョップ制御で、回生制動付き、1 モータ当たり 2 種のチョップ装置を有する。すなわち一つは電機子に直列に接続して主回

図 5 フランス国鉄2階建客車

図 6 ET 403 形電車

路制御を行い、他の一つは界磁に並列に接続して界磁電流を連続的に制御する。30 km/h までの平均加速度 1.2 m/s^2 、減速度 $1 \sim 1.2 \text{ m/s}^2$ 、最大減速度 1.96 m/s^2 とアメリカ BART と共に世界でももっとも高い性能を誇っている。

車体は全アルミ溶接構造で大形押し出し材を使用し、きわめて軽量である。MTM3 両編成の総重量 78 t にすぎない。マルセイユ地下鉄もリオンと同一規格で作られており類似点が多い。

そのほかフランス国鉄ではコライユ形客車が有名で大量に生産され、既に多数の車が使用されている。

6・3 ドイツ, その他 ドイツではドイツ国鉄の長距離高速電車 ET 403 (図 6)、標準形通勤電車

ET 420 が有名である。いずれも電源が 15 kV, $16 \frac{2}{3} \text{ Hz}$ なので電機品は大きくなりぎ装問題が起きるのをたくみに解決しており、特に ET 403 は最高速度 220 km/h の性能を有する。制御はサイリスタブリッジによる位相制御、車体は大形押し出し材によるアルミ溶接構造、台車はボルスタレスで強制振り子が可能である。

イタリアでは ETR-Y-160 形振り子電車が営業運転に入った。これも強制振り子で、パンタグラフが台車に固定されていることが特長である。

紙数の関係で十分意をつくせなかったが鉄道車両工業会の報告書(昭和 52 年 9 月刊行予定)を参照されれば幸いである。

(原稿受付 昭和 52 年 4 月 5 日)