

地下鉄電车用リニアモータ駆動システム

Linear Motor Driven System for Subway Railcars

平成2年3月にリニアモータ駆動車両を適用した地下鉄が、大阪市交通局地下鉄7号線で開業した。また、東京都交通局でも地下鉄12号線を建設中である。

リニアモータ駆動車両は、リニアモータが扁(へん)平構造のため車両の低床化が図れ、これによって車両を小形化できる。また、駆動方式が従来の車輪とレール間の粘着によらず、非粘着駆動である。さらに、操舵台車の採用が図れる。これによって急こう配、急曲線の走行が可能になる。これらの特長から、トンネル断面を縮小でき、路線設定の自由度が拡大し、建設費の低減が期待できる。

リニアモータ駆動システムを適用した交通システムは、今後の新しい都市交通システムの一つとして発展することが期待される。

増田誠吉* *Seikichi Masuda*
 松村泰幸** *Hiroyuki Matsumura*
 磯部栄介*** *Eisuke Isobe*
 森久 至**** *Itaru Morihisa*

1 緒 言

都市の抱える交通問題を解決する交通機関として、地下鉄の整備が進められている。しかし、その建設費は膨大な金額であり、1 km当たり300億円程度と言われその整備が進みにくいのが現状である。

地下鉄建設費の約 $\frac{1}{2}$ を占めるトンネル工事費は、シールド工法の場合、掘削断面積に比例すると言われている。このため、トンネル断面を縮小できる地下鉄は建設費を低減するために有効である。

大都市での現行の地下鉄や現在計画中の地下鉄は大量輸送を前提に建設されているが、さらに大量輸送機関の補助となる地下鉄や地方都市での中核となる中量輸送に適した地下鉄などが要求されている。

これらのことから、乗客の居住空間を損なうことなく車両を小形化し、トンネル断面を縮小した地下鉄が望まれる。そこで、駆動装置にリニアモータを適用したリニアモータ駆動車両が開発された。

リニアモータ駆動車両の特長は次のとおりである。

- (1) モータが扁(へん)平構造のため、車両の床を低くすることが可能で、車両の小形化が図れる。これにより、トンネル断面の縮小による建設費の低減や、同一トンネル断面での客室空間の拡大による客室機能、居住性を改善できる。
- (2) 非粘着走行のため、従来鉄道よりも急こう配の走行が可能である。急こう配走行を採用した地下鉄は駅位置を浅く設置できるので、建設費の節減および乗客の利便性の向上が図

れる。

(3) 車輪を直接駆動しないので、操舵方式の台車が採用でき急曲線をスムーズに走行できる。また、車輪やレールの摩耗が軽減されるので保守の簡易化が図れる。急曲線の採用は、民有地の通過距離を短くすることができ、用地費の負担が軽減される。急こう配の採用と相まって路線計画の自由度が大きくなり、建設費の低減が期待できる。

(4) モータの回転音や歯車装置による騒音がない。また、曲線通過時のきしみ音防止などによって低騒音化が期待できる。

昭和56年度からの社団法人日本鉄道技術協会での基礎的研究、運輸省および社団法人日本地下鉄協会での実用化研究を経て、平成2年3月大阪市交通局地下鉄7号線の実用化に至るまで、日立製作所はリニアモータ駆動システムの開発を行ってきた。さらに、建設中で走行試験が行われている東京都交通局地下鉄12号線では、リニアモータ駆動システムを含め車両の運転系を一括して担当した。

以下にこのリニアモータ駆動システムの開発内容について述べる。

2 リニアモータ駆動地下鉄適用路線の概要

(1) 大阪市交通局地下鉄7号線

大阪市交通局地下鉄7号線は、京橋から鶴見緑地へ至る5.2 kmの路線となっている。

この大阪市交通局地下鉄7号線は大阪市東部の交通需要に

* 日立製作所 日立工場 ** 日立製作所 水戸工場 *** 日立製作所 電機システム事業本部 **** 日立製作所 システム事業部

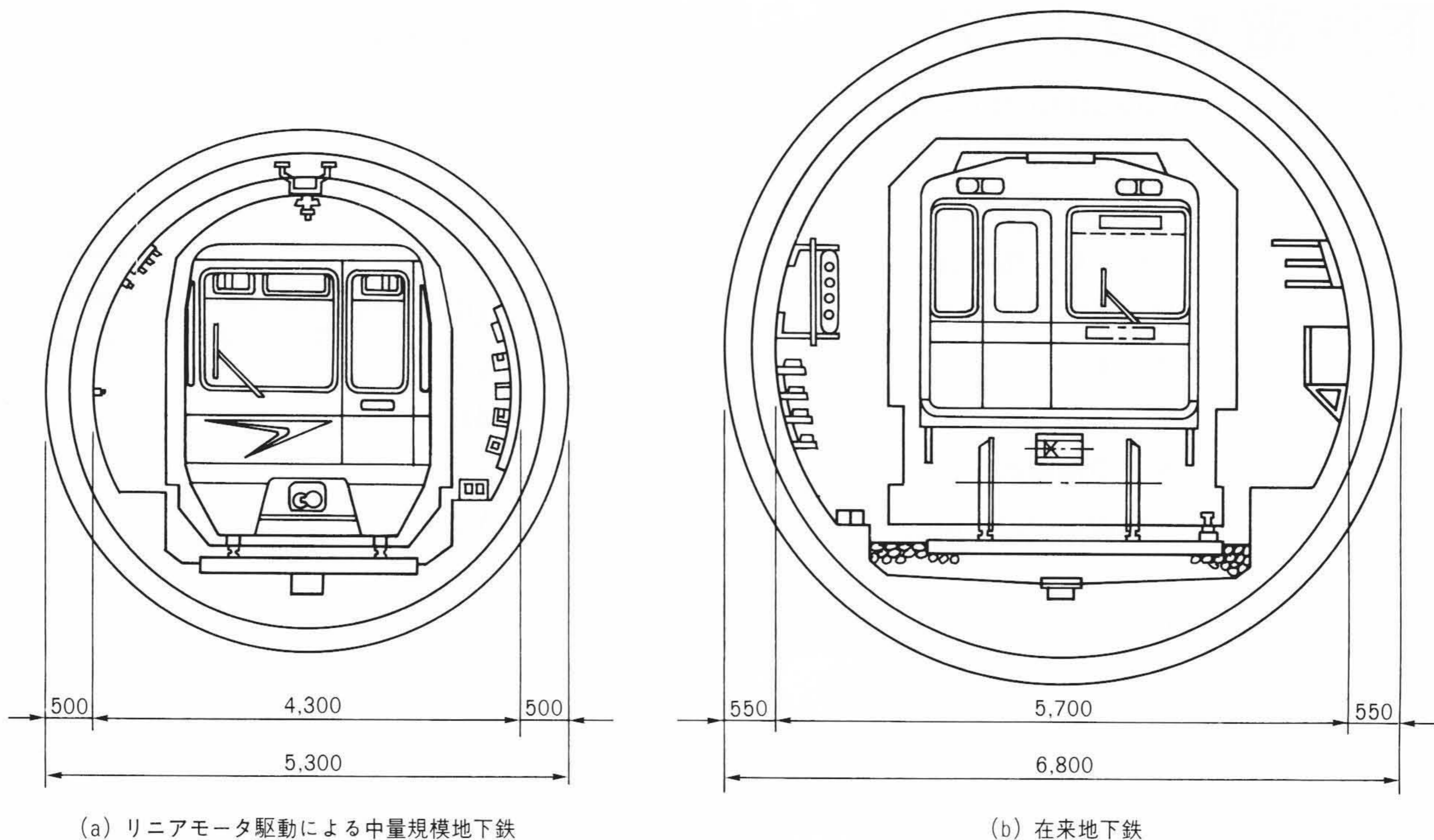


図1 トンネル断面の比較 リニアモーター駆動地下鉄の掘削断面は大阪市交通局での比較で、在来地下鉄の60%に縮小されている。

対応するとともに、「国際花と緑の博覧会」会場への鉄道アクセスとして建設されたもので、輸送量最大3万人/時片道を目指した中量規模の地下鉄である。

トンネル断面は掘削部の外径で5.3mであり、従来の外径6.8mに比べ断面積比で60%に縮小されている。トンネル断面の比較を図1に示す。

大阪市交通局地下鉄7号線用の70系車両(以下、70系車両と言う。)はM_{2c}、M_{1e}の2両を1ユニットとした4両編成のオ



図2 大阪市交通局地下鉄70系車両の外観 平成2年3月に開業した大阪市交通局地下鉄7号線の車両である。

ール電動車である。将来の輸送需要の増大への対応として、中間に車両を増結して6両、8両とすることも可能となっている。

70系車両の外観を図2に示す。

車両の性能は、最高速度70 km/h、加速度2.5 km/h・s、減速度は常用最大3.5 km/h・s、非常4.5 km/h・sである。車両高さは3,120 mm(パンタグラフ折りたたみ高さ)である。

(2) 東京都交通局地下鉄12号線

東京都交通局地下鉄12号線は、副都心新宿を基点とした環状部29 kmと、新宿から光が丘に至る放射部約14 kmから成る全長約43 kmの路線である。

この東京都交通局地下鉄12号線は都内を放射状に走る他の鉄道との交差が多く、東京での新しい交通ネットワークの形成や交通不便地域の解消、沿線各地域の活性化などに大きく寄与することが期待されている。

トンネル断面は掘削部の外径で5.3 mである。

東京都交通局地下鉄12号線用の12-000形車両(以下、12-000形車両と言う。)はM₂、M₁の2両を1ユニットとした6両編成のオール電動車である。将来は輸送需要の増大への対応として、中間に車両を増結して8両となる。

12-000形車両の外観を図3に示す。

車両の性能は、最高速度70 km/h、加速度3.0 km/h・s、減速度は常用最大3.5 km/h・s、非常4.5 km/h・sである。車両高さは3,150 mm(パンタグラフ折りたたみ高さ)である。

70系および12-000形車両の主要諸元を表1に示す。

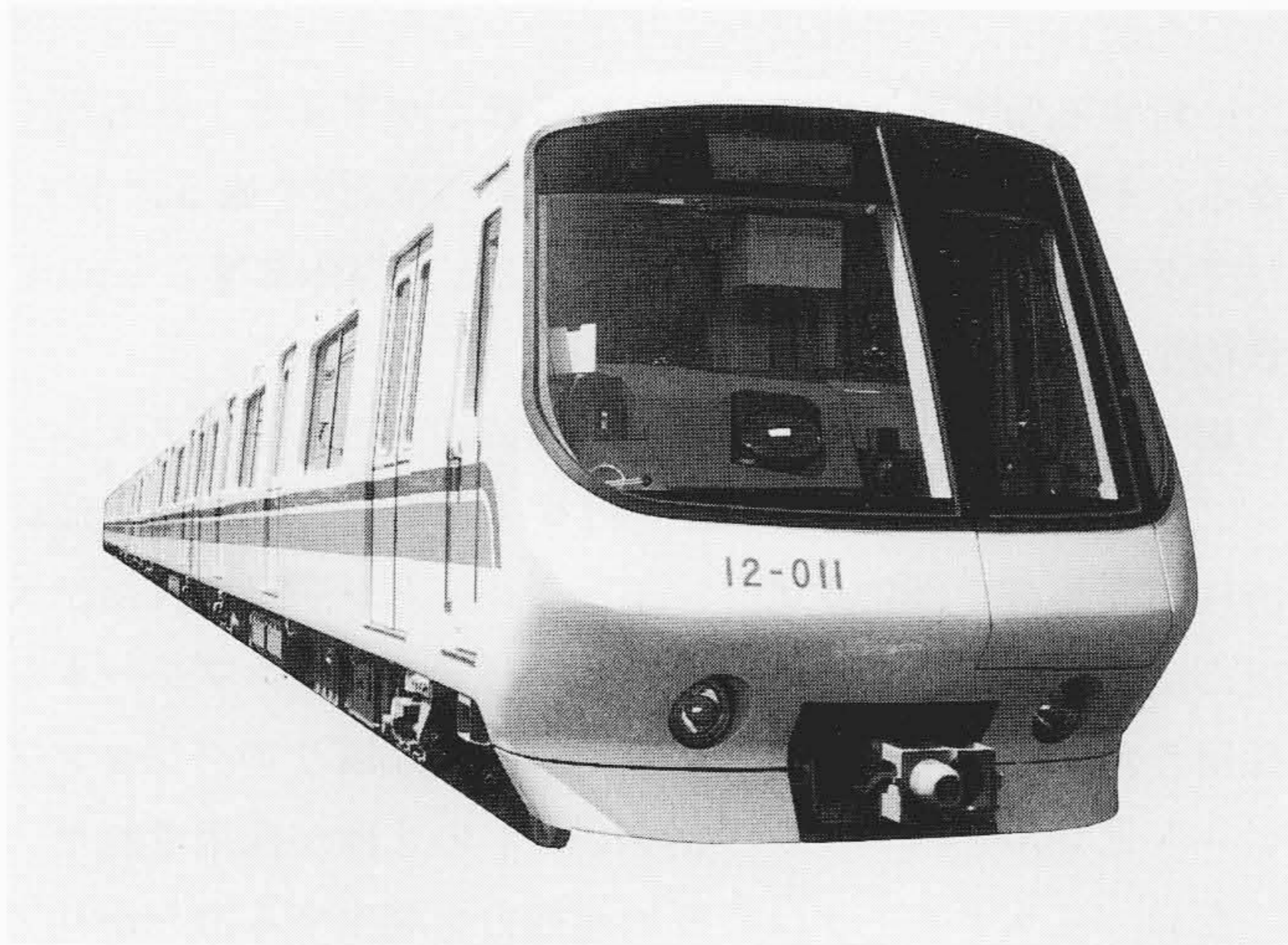


図3 東京都交通局12-000形車両の外観 東京都交通局地下鉄第12号線の車両で、営業前の走行試験が行われている。

3 リニアモータ

リニアモータ駆動車両のリニアモータは、片側式リニアインダクションモータで、一次側(以下、リニアモータと言う。)を車両の台車に取り付け、二次側(以下、リアクションプレートと言う。)は軌道中央のまくら木上に固定設置する方式である。

3.1 リニアモータの設計要目

リニアモータは車に取り付けられるため、車体や台車寸法からの制約を受ける。

長さは端効果の減少の点から長いほうがよいが、台車寸法の関係から、軸距プラス車輪径が一応の長さの目安となる。

幅方向は車輪の内側に設置される部品に制約される。また、幅方向寸法はリアクションプレート建設費にも関係する。

リニアモータ駆動車両ではリニアモータ1台当たりの出力を小さくし、全車両が電動車の構成とした。

70系車両、12-000形車両のリニアモータの設計要目を表2に示す。70系車両のリニアモータ外観を図4に示す。

リニアモータの冷却方式は、保守性の向上を目的として自然冷却方式とした。このため、リニアモータの一次抵抗値は強制冷却方式に対して約30%となる。このことは直接、高効率リニアモータ実現の一つの要因となっている。

12-000形車両用リニアモータは、小形化のために一次鉄心長を短くし、高効率化のために鉄心積み厚をやや長めに設定した。また、毎極毎相のスロット数を3としてコイル数の低減を図った。

3.2 空隙(げき)

空隙は、レールに対するリアクションプレート敷設精度やリニアモータの取り付け精度などの精度寸法、走行時の振動やたわみなどの動的変動寸法、保守回帰期間中のレールや車輪の摩耗寸法などによって決定されるものである。現在は、リニアモータの特性、地上設備の管理、保守性、種々の試験

表1 リニアモータ駆動車両の主要諸元 在来鉄道の車両に比べ、小形化が図られた車両となっている。

項目	大阪市交通局70系車両	東京都交通局12-000形車両
車種	リニアモータ駆動	同左
車両形式	70系	12-000形
編成	M _{2c} ・M _{1e} ・M _{1e} ・M _{2c}	M _{2c} ・M _{1'} ・M ₂ ・M ₁ ・M _{1'} ・M _{2c}
軌間	1,435 mm	同左
電気方式	DC1,500 V 架空電車線方式	同左
車両自重	M _{2c} 車26.5 t, M _{1e} 車24.5 t	25.5 t
定員	先頭車90人, 中間車100人	同左
車両寸法	幅2,490×長さ15,600×高さ3,120(mm) (先頭車長さ15,800 mm)	幅2,500×長さ16,500×高さ3,150(mm)
最高速度	70 km/h	同左
加速度	2.5 km/h・s	3.0 km/h・s
減速度	常用最大: 3.5 km/h・s 非常: 4.5 km/h・s	同左 同左
台車	自己操舵式空気ばね台車 固定軸距1,900 mm 車輪径660 mm	同左 同左 車輪径610 mm
主電動機	100 kW三相リニア誘導電動機	120 kW三相リニア誘導電動機
制御装置	回生ブレーキ付きVVVFインバータ制御装置	回生ブレーキおよび逆相ブレーキ付きVVVFインバータ制御装置
ブレーキ装置	回生ブレーキ併用電気指令式電磁直通ブレーキ方式, 保安ブレーキ付き	同左

注: 略語説明 VVVF (Variable Voltage and Variable Frequency)

表2 リニアモータの設計要目 車上一次片側式のリニアモータで、冷却方式は自然冷却方式である。

項目	大阪市交通局70系車両	東京都交通局12-000形車両	
定格	方式	車上一次片側式リニア誘導電動機	同左
	定格の種類	1時間	同左
	極数	8極	同左
	出力	100 kW	120 kW
	電圧	1,100 V, 三相	同左
	電流	151 A	170 A
	周波数	21 Hz	同左
同期速度	42.5 km/h	同左	
	42.5 km/h	同左	
冷却方式	自然冷却方式	同左	
絶縁種別	H種	同左	
装架方式	台車枠装架方式	主軸受装架および台車枠装架方式	
質量(実測)	1,230 kg	1,340 kg	
	長さ	2,465.4 mm	2,476 mm
	高さ	124 mm	同左
	積厚	270 mm	300 mm
	極ピッチ	280.8 mm	同左
コイル	導体数/スロット	16	18
	直列導体数/相	512	432
	結線	Y	同左
標準空隙(げき)(満車時)	12 mm	同左	
標準二次導体	方式	アルミ平板式	銅クラッド式
	幅	360 mm	同左
	厚み	アルミ 5 mm 鉄 22 mm	銅 5 mm 同左

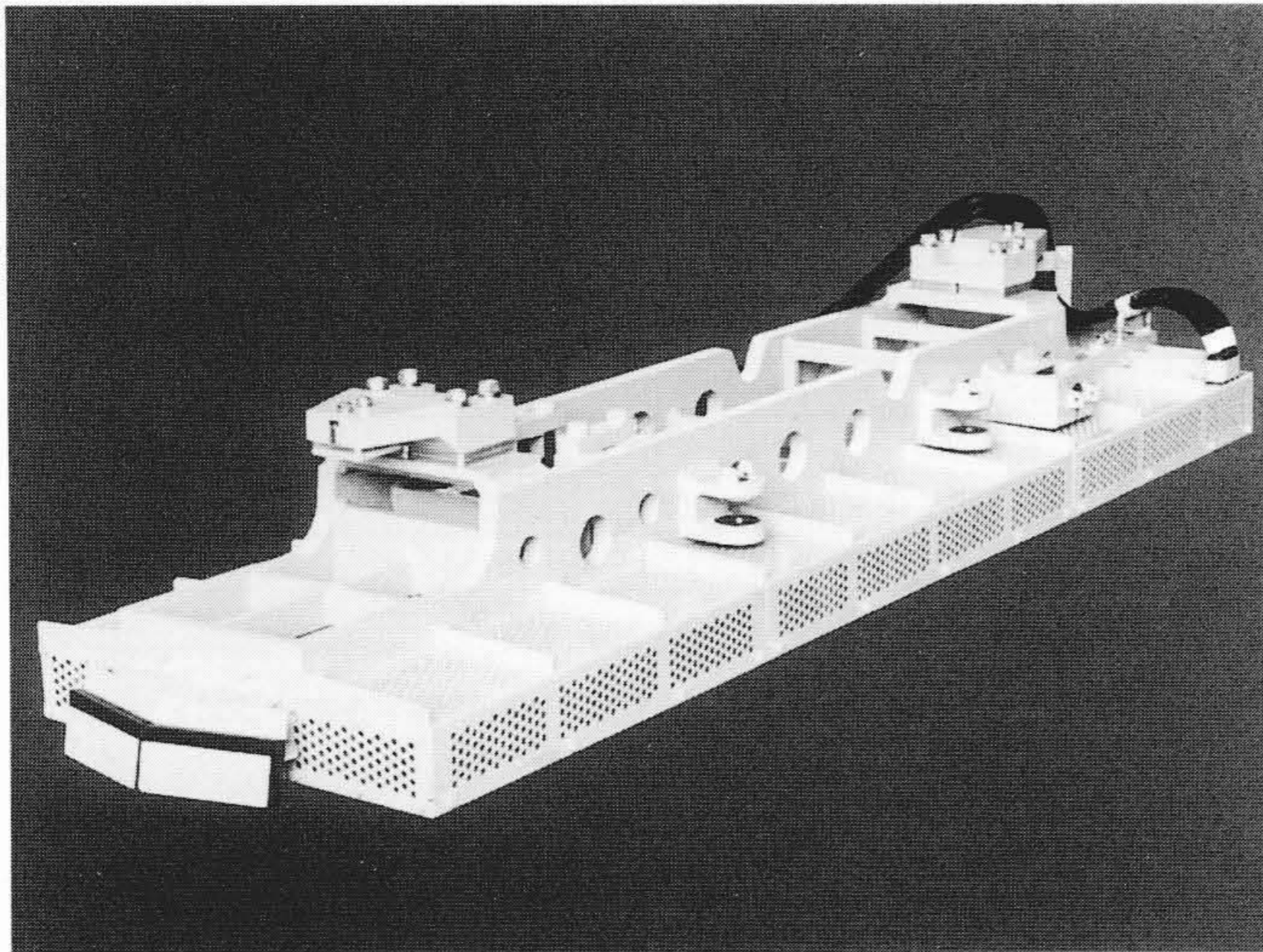


図4 リニアモータの外観 大阪市交通局70系車両用の出力100 kWのリニアモータで、台車枠に装架される。

状況などから総合的に判断し、標準空隙を12 mmと設定した。

空隙を小さくすると、効率、力率ともに向上し、電力消費量の低減につながる。しかし、空隙の縮小は長期的な走行実績に基づき決定されることが必要であり、空隙短縮による吸引力の増加、精度管理作業に対する影響の把握も含め、今後の課題である。

なお、12-000形車両での効率改善の検討結果では、空隙12 mmに対し10 mmでは約0.8%、7 mmでは約2%上昇する。一次抵抗損の小さな自然冷却式リニアモータでは全損失に占める一次抵抗損の割合が低いため、空隙変化に対する効率変化の割合が低くなる。

3.3 リアクションプレート

車上のリニアモータが発生する移動磁界に同期した移動磁界がリアクションプレート上に発生し、両者の間に働く電磁力が推力となる。リアクションプレート上に発生する移動磁界の大きさは、リアクションプレートに流れる電流の大きさに左右されるため、リアクションプレートの材質は誘導電流が流れやすい電気抵抗の小さい銅板やアルミ板と、磁路を形成する鉄板をはり合わせた複合板が使用されている。

(1) リアクションプレートの材質

銅を導体部に使用したリアクションプレート(以下、銅リアクションプレートと言う。)と純アルミを導体部に使用したリアクションプレート(以下、アルミリアクションプレートと言う。)を導体部厚さを同一として比較すると、比抵抗の小さい銅リアクションプレートのほうが、アルミリアクションプレートよりも同一滑りでの推力が大きくなる。また、滑りに対する効率の傾向は、銅、アルミのいずれも同一傾向を示し、滑り約0.1以下では、端効果による推力低下の影響を受け急激に低下する。

したがって、効率最高点よりも滑りの大きい範囲で同一推力に対する効率を比較すると、銅のほうがアルミよりも高くなる。その一例として12-000形車両での検討²⁾を図5に示す。リアクションプレートは銅、純アルミとも導体部厚さ5 mm、鉄板厚さ22 mm、幅360 mmである。

銅リアクションプレートの電気的特性がアルミリアクションプレートよりも若干良いことは従来わかっていた。主に経済性の面からアルミリアクションプレートが開発された。大阪市交通局地下鉄7号線ではアルミリアクションプレートが採用され、東京都交通局地下鉄12号線では銅リアクションプレートとアルミリアクションプレートの2種が採用された。

なお、リニアモータは所要加速推力を発生する滑りがリアクションプレートの最高効率となる範囲で設計した。

(2) リアクションプレートの導体部厚さ

導体部の厚みと効率の関係をみると、効率はある一定値で最高効率となり、それ以上厚くすると逆に低下する。これは等価的なエアギャップが広がることにより、力率が低下するためである。リニアモータは、大阪市交通局地下鉄7号線ではアルミ厚さ5 mmで、東京都交通局地下鉄12号線では銅厚さ5 mmで最高効率となるよう設計した。

(3) リアクションプレートの幅

リアクションプレート幅を変化した場合、効率はリアクションプレート幅を広げるに従って上昇するが、ある値以上ではほぼ飽和傾向を示す。検討結果から、大阪市交通局地下鉄7号線ではアルミリアクションプレート幅360 mmを、東京都

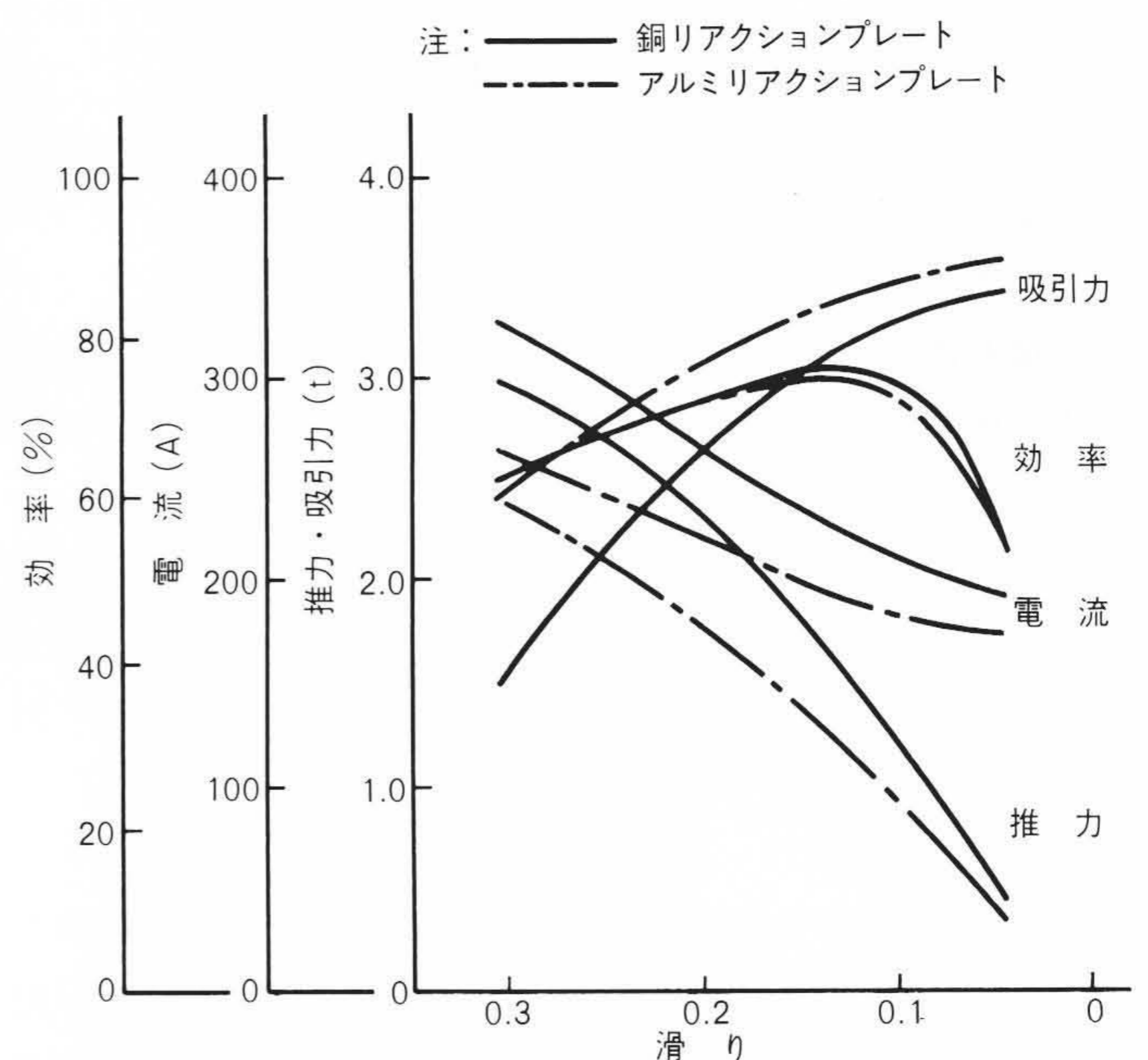


図5 リアクションプレートによるリニアモータ特性の違い 東京都交通局12-000形車両用120 kWリニアモータでの比較を示す。比抵抗の小さい銅のほうが同一滑りでの推力が大きくなる。

交通局地下鉄12号線では銅リアクションプレート幅は360 mmを最適幅とした。

4 制御装置

リニアモータの制御装置は回転形誘導電動機と同じVVVF

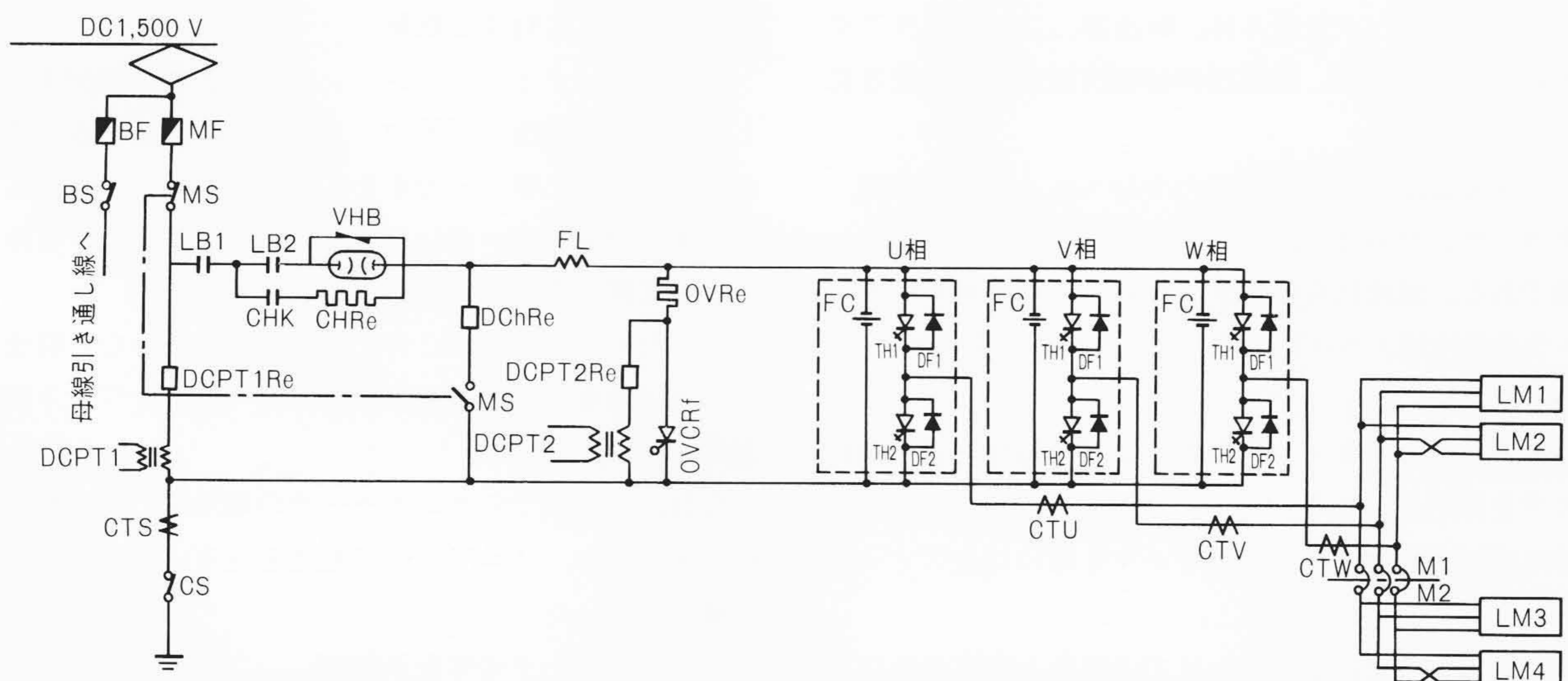
(Variable Voltage Variable Frequency)インバータであるが、リニアモータの空隙変動に対する制御、リニアモータの効率最適制御、さらにはリアクションプレート材質変化などに対する制御が設計上の留意事項となる。

インバータ装置の主要諸元を表3に、12-000形車両の主回

表3 VVVFインバータ制御装置の諸元 VVVFインバータ制御装置には、大容量GTOサイリスタを適用している。

項目	大阪市交通局70系車両	東京都交通局12-000形車両
インバータ方式	電圧形PWM (4,500 V, 2,500 A GTOサイリスタ使用)	同左 (4,500 V, 3,600 A GTOサイリスタ使用)
制御方式	VVVFインバータによる自動加減速制御方式, 回生ブレーキ付き	VVVFインバータによる自動加減速制御方式, 加減速度補正制御付き, 回生ブレーキ付き
制御容量	1,640 kVA(100 kW LIM×4台)	2,300 kVA(120 kW LIM×4台)
リニアモータ接続	力行, 回生ともIS4P	同左
制御方式	力行時 ●起動時: 非同期式, 滑り周波数一定, V/fパターン制御 ●低速: VVVF定推力制御 (滑り周波数一定, V/fパターン制御) ●高速: CVVF定電圧制御 (滑り周波数パターン制御, 定電圧)	力行時 ●起動時: 同左 ●低速: 同左 ●高速: 同左
	回生時 ●高速: CVVF定電圧制御 (滑り周波数パターン制御, 定電圧) ●中速: VVVF定推力制御 (滑り周波数一定, V/fパターン制御)	回生時 ●高速: 同左 ●中速: 同左
起動方式	ソフトスタート制御方式	同左
インバータ制御周波数	0 ~ 50 Hz	同左
回路遮断方式	正常時: インバータによる減流遮断 異常時: 高速度遮断器による一段減流遮断	正常時: 同左 異常時: 高速度真空遮断器による遮断
ブレーキ方式	常用ブレーキ: 補足空気ブレーキ付き回生ブレーキ 非常ブレーキ: 空気ブレーキ	常用ブレーキ: 補足空気ブレーキ付き回生ブレーキ, 逆相ブレーキ付き 非常ブレーキ: 空気ブレーキと回生ブレーキの併用

注: 略語説明 CVVF(Constant Voltage and Variable Frequency)



注: 略語説明 BF(母線ヒューズ), BS(母線断路器), CHR(充電抵抗器), CTU, V, W(相電流検出用変流器), DCPT1, 2, 3(直流電圧検出用変圧器) DCPT1, 2Re(DCPT用直列抵抗器), DF1, 2(フリーホイールダイオード), FC(フィルタコンデンサ), FL(フィルタリアクトル) GS(主接地スイッチ), VHB(高速度真空遮断器), LM1~4(リニアモータ), LB1, 2(単位スイッチ), MF(主ヒューズ), MS(主断路器) DChRe(放電抵抗器), CHK(電磁接触器), OVCRf(過電圧抑制抵抗サイリスタ), OVRe(過電圧抑制抵抗器), TH1, 2(主サイリスタ) CTS(電力計用変流器)

図6 主回路つなぎ図 東京都交通局12-000形車両の主回路つなぎ図で、4台の120 kWリニアモータを1台のインバータ装置で制御する。遮断器には高速度真空遮断器を適用している。

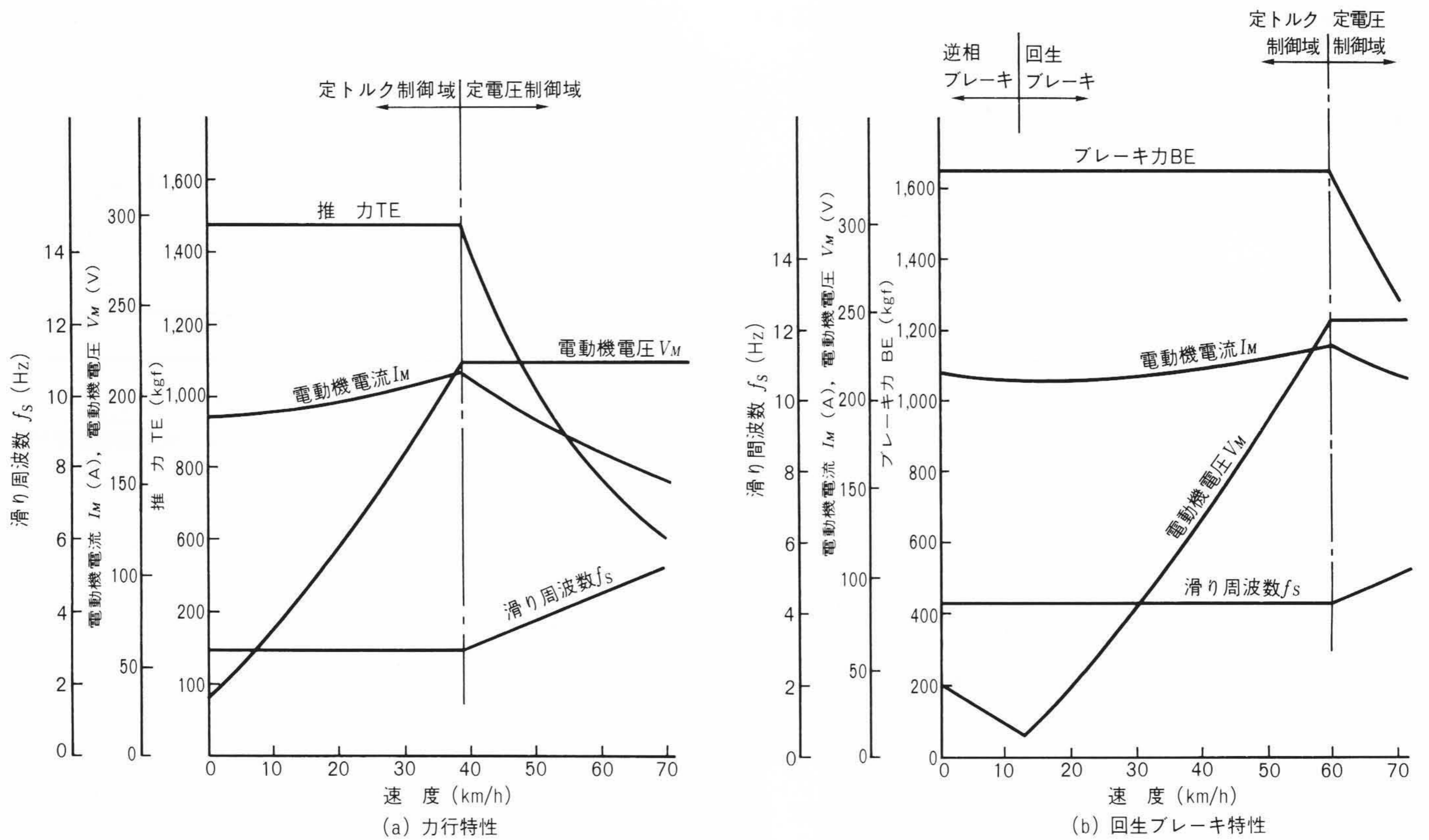


図7 電車特性 東京都交通局12-000形車両の特性を示す。V/f制御域ではリニアモータ端効果による推力低下を補正し、推力一定制御を行っている。

路つなぎ、電車特性を図6、7に示す。

4.1 装置の構成

車両1ユニット2両分計4台のリニアモータを1台のVVVFインバータで一括制御する。入力電圧はDC1,500V、出力電圧はAC1,100Vである。

制御装置はインバータ装置本体、断流器、フィルタリアクトル、充電・減流抵抗器、過電圧抑制抵抗器などで構成される。

インバータ装置は、主回路素子の冷却ユニット、論理部、フィルタコンデンサのほか、ブレーキ受信装置などを収納した一体箱である。低床化を実現するために、冷却ユニットを集中クーラ自然冷却ユニット構造とし、機器高さを500mmに抑えている。

主回路素子には高耐圧・大容量形のGTO (Gate Turn Off) サイリスタを採用している。

論理部は16ビットマイクロプロセッサを用いた全デジタル制御である。

フィルタコンデンサは小スペースで大容量とするために、アルミ電解コンデンサを採用した。この大容量化は、リニアモータの定格周波数が通常の誘導電動機の約30%と低く、電流リップルを小さく抑えるためと、リアクションプレート欠落部通過時の無効電流増加によるフィルタコンデンサの電圧変動を小さくするためである。

また、12-000形車両では、遮断時間の短縮を大幅に図った直流高速度真空遮断器を採用し、変電所の遮断器との保護強調の面から必要とされていたフィルタリアクトルのインダクタンスを低減し、小形・軽量化を図った。

4.2 リニアモータ制御方式

(1) 空隙変化に対する制御

リニアモータとリアクションプレートの空隙が大きくなると励磁電流が増加し、推力・力率ともに低下する。空隙が小さくなれば逆に推力・力率ともに増加する。したがって、リニアモータ電流が一定になるように制御すれば、空隙の変化によって推力の変動が大きくなる。

このため、空隙変動に対して推力変化の少ない特性を得るために、速度に対する電圧値をフィードフォワード制御する方式とした。

なお、中速域でのリニアモータの端効果による推力低下を補正するため、リニアモータ電流を速度に応じて増加させる制御も適用した。

(2) リニアモータ効率最適制御

リニアモータの効率は、定格周波数以上のいわゆる特性領域では、滑り率15%付近で最も高くなるので、特性領域では滑り率を一定として制御すればよい。

このため、電力消費量を極力低減させるためにリニアモータの効率が最高となる滑り周波数を選定し、V/f制御領域では、

その滑り周波数を一定に制御する方式とした。

(3) リアクションプレート材質変化に対する制御

東京都交通局地下鉄12号線では制御効率と車両性能向上のため力行・制動区間は銅リアクションプレート，惰行区間はアルミリアクションプレートを標準仕様としている。このように二次側が2種のリアクションプレートで構成されるため，加速度補正制御³⁾を行うこととした。

これはインバータ出力電圧と滑りのパターンを銅リアクションプレートを基準に設定し，アルミリアクションプレート部では基準加速度に対して実加速度が変動した場合には滑り周波数を変える滑り周波数補正制御を行うものである。

また，この滑り周波数補正制御を応用し，こう配区間の走行でも同様の一定加速度となるよう加速度補正制御を行い，リニアモータの非粘着特性を最大限に活用することとした。

(4) 回生ブレーキ力補正制御

リアクションプレート欠落部への進入による回生ブレーキ力の失効および空隙変化による回生ブレーキ力の変動に対して力率を考慮した回生ブレーキ力の補正演算を行い，回生ブレーキ力を空気ブレーキ装置へフィードバックする。

4.3 インバータの制御

インバータは出力周波数，電圧，電流を制御し，その内容は次のとおりである。12-000形車両の制御部ブロック図を図8に示す。

(1) インバータ出力周波数の制御

インバータ周波数 f_{INV} は，電車の速度を周波数に換算した

速度周波数 f_r と滑り周波数 f_s を加算または減算して制御するもので，

$$\text{力行時} \dots \dots \dots f_{INV} = f_r + f_s$$

$$\text{回生ブレーキ時} \dots \dots \dots f_{INV} = f_r - f_s$$

で演算される。

滑り周波数は，定格周波数以下では一定に制御し，定格周波数以上の中速域ではリニアモータの端効果による推力低下を補正する制御とし，高速域ではリニアモータの効率最良となるように選定した滑り率を一定にする制御とした。

(2) リニアモータ電圧の制御

リニアモータ電圧 V_M は，変調率によって制御される。この変調率は，インバータ周波数 f_{INV} ，パルスモード，フィルタコンデンサ電圧 E_{FC} ，電圧・周波数 V/f パターンを入力として演算され，その結果としてPWM(Pulse Width Modulation)変調部でのパルス幅を制御する。定格周波数以下では V/f パターンに対応した電圧が出力され，定格周波数以上では架線電圧に対応する出力電圧がリニアモータ電圧となる。

(3) リニアモータ電流の制御

リニアモータとリアクションプレート間の空隙が大きくなると，リニアモータ電流 I_M は大きくなる。そこで回転形誘導電動機の制御で用いられている定電流制御系は設けず，インバータの最大制御電流以下では，リニアモータ電流は自由に変動可能とした。なお，リニアモータ電流 I_M が最大電流制限値を超えると，PWM変調度を制御しリニアモータ電圧 V_M を減少させる最大電流値リミッタを設けた。

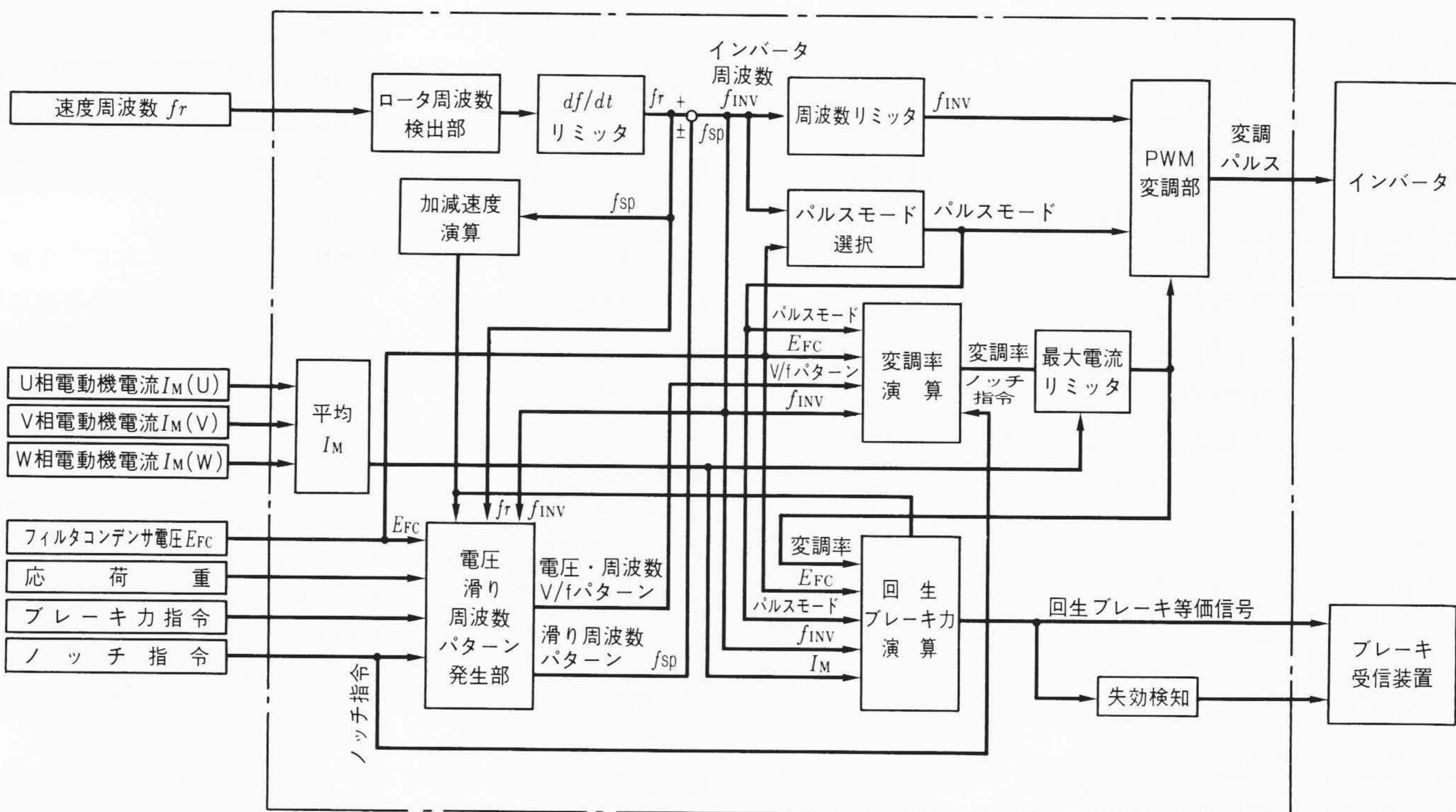


図8 制御部ブロック図 東京都交通局12-000形車両のブロック図を示す。一点鎖線で示した範囲が論理部である。

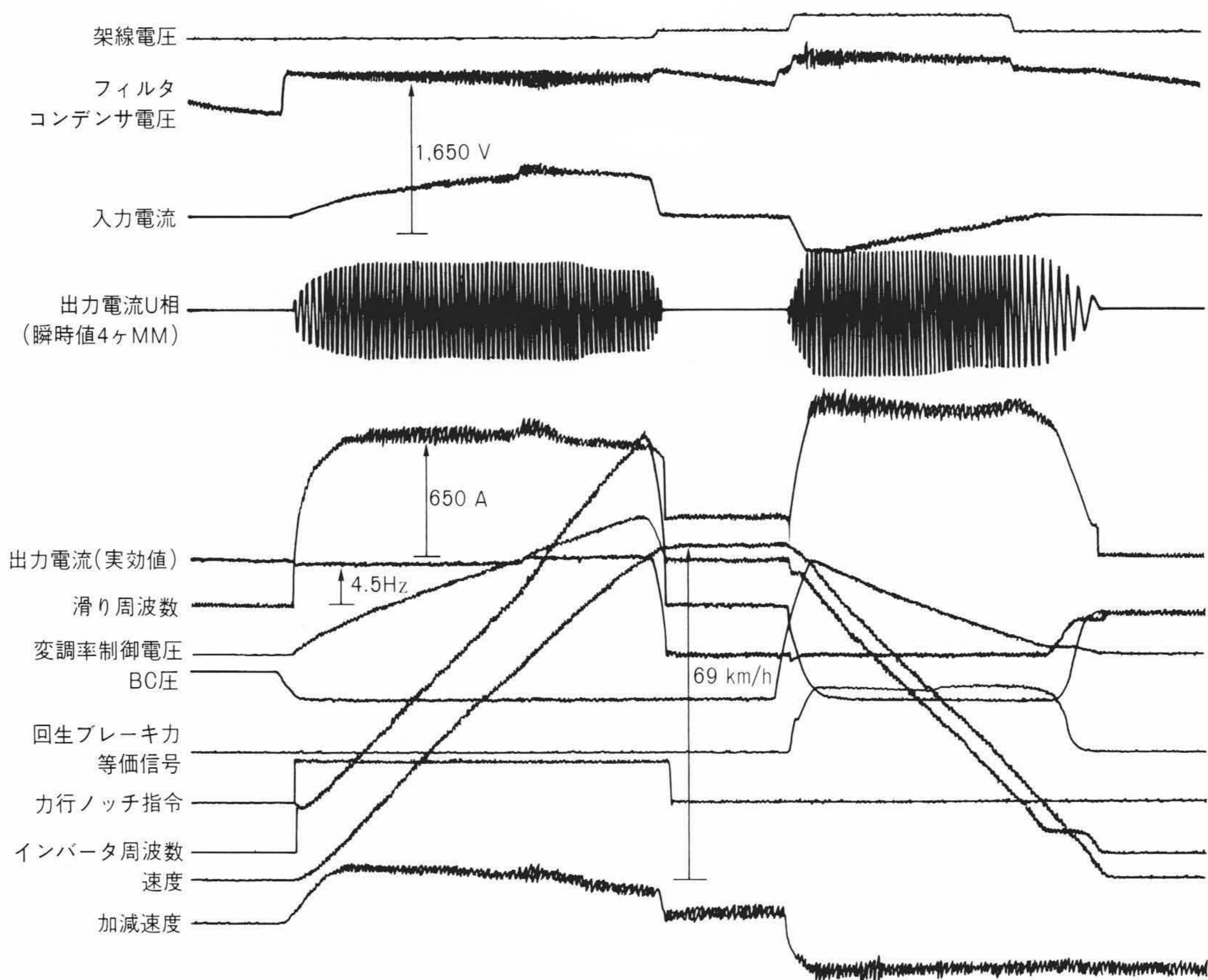


図9 走行試験時のオシログラム(一例) 大阪市交通局70系車両のオシログラムを示す。インバータから出力される周波数、電圧、電流は良好に制御されている。

5 走行試験結果

ここでは、すでに営業運転が行われている70系車両の本線での各種走行試験結果について述べる。

走行試験時の代表的なオシログラムを図9に示す。

このオシログラムにみるように、各電流、電圧および周波数は安定に制御されており、回生ブレーキ投入時の電流の立上りなども良好で、かつ回生ブレーキと空気ブレーキとの協調も良好に制御されている。

加速性能は計画値 $2.5 \text{ km/h}\cdot\text{s}$ を十分満足し、ショックなく円滑な制御が行われている。こう配起動、高加速扱いでの起動加速、37%上での併合推進および分岐部でのリアクションプレート欠落部の通過でも円滑な制御が行われている。

営業運転での主回路の電力消費量は、約 $53.3 \text{ Wh/t}\cdot\text{km}$ ($1.51 \text{ kWh/車}\cdot\text{km}$)で、補機を加えた電力消費量は従来のインバータ車の約3割増とされている⁴⁾。

6 結 言

地下鉄建設費の低減を図る中量規模の輸送力に適したリニアモータ駆動車両の駆動システムを開発し、大阪市交通局地下鉄7号線および東京都交通局地下鉄12号線に採用された。

リニアモータ駆動方式は、新しい駆動方式であり、今後の課題として電力消費量の改善や実走行結果に基づくりニアモータ空隙量の適正化などが残されている。

しかし、リニアモータ駆動方式は非粘着駆動を実現した新しい駆動方式であり、その特長を活用するとともにさらに性能の改善を図ることにより、都市交通システムの一つの手段として大きく発展することが期待される。

最後に、リニアモータ駆動車両を開発するにあたりご協力いただいた大阪市交通局および東京都交通局の関係各位に対し深謝する次第である。

参考文献

- 1) 服部, 外: 片側式リニアインダクションモータの検討, 電気学会論文誌B, 95, 531(昭50-11)
- 2) 草刈, 外: 東京都営地下鉄12号線用リニアモータ駆動車両の研究開発について[2], 電気車の科学, Vol.42, No.9(1989-9)
- 3) 草刈, 外: 東京都営地下鉄12号線用リニアモータ駆動車両の研究開発について[3], 電気車の科学, Vol.42, No.10(1989-10)
- 4) 山中, 外: 大阪市営地下鉄リニアモータ車両の運行実績, 鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集, 538~542(平2-11)