

21世紀の都市交通システムを担うリニア地下鉄

Linear Metro Transport Systems for the 21st Century

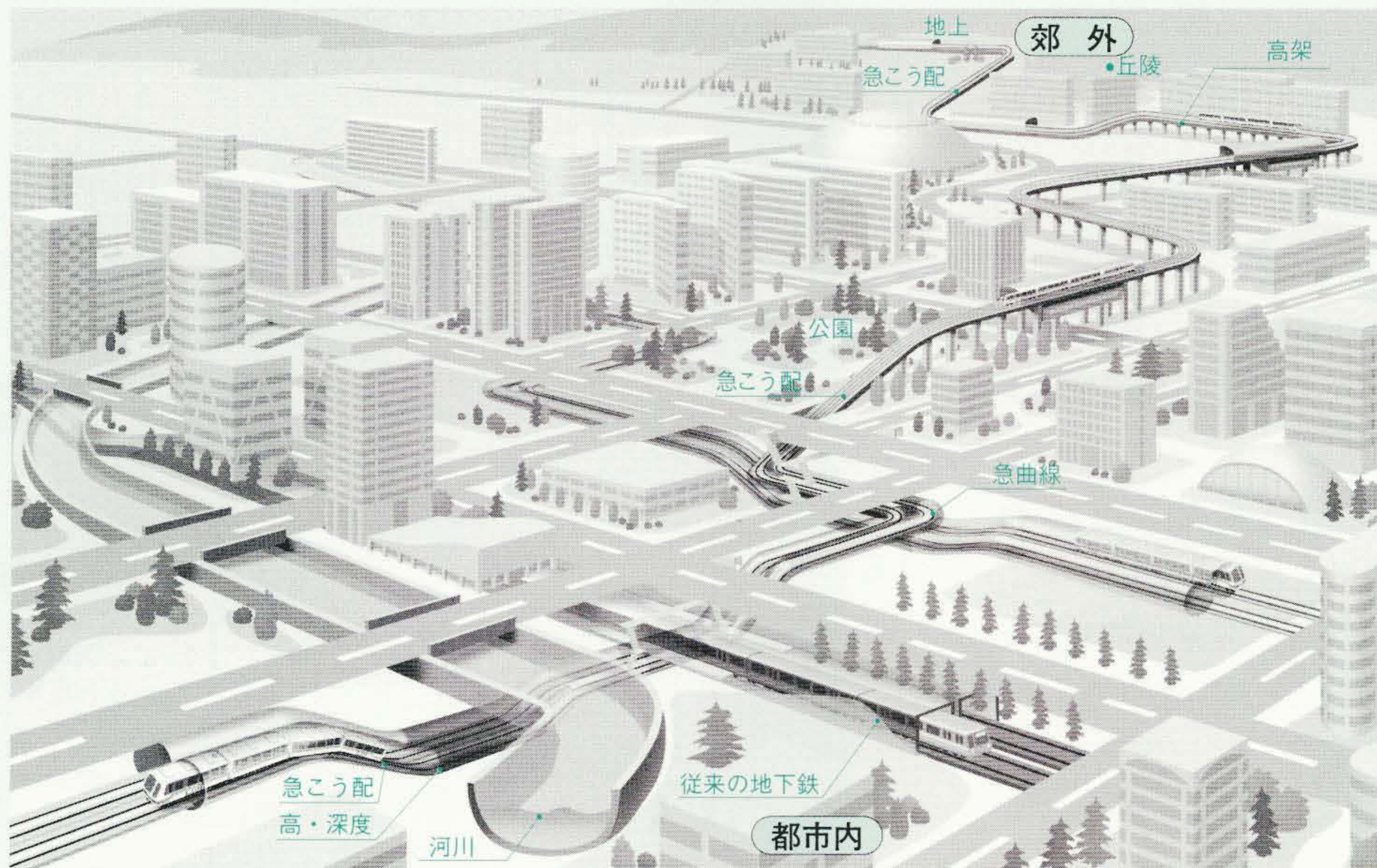
磯部栄介 Eisuke Isobe

関澤俊彦 Toshihiko Sekizawa

張 仁浩 Jinkô Chô

田中龍治 Ryûji Tanaka

森久 至 Itaru Morihisa



都市交通システムの整備に適したリニア地下鉄のイメージ

リニアモータのメリットを最大限に追求したリニア地下鉄は、建設費の低減や保守の省力化などの優れた経済性、急こう配や急曲線の制約の少ない自由な路線計画、全天候型や低騒音を含めた環境への配慮など、数々の優れた特徴を持つ。

都市交通システムには、建設費と維持・運営費の低減、利便性の向上、快適な環境の創出などが求められている。これらのニーズにこたえるため、日立製作所は、1978年からリニア地下鉄の開発を推進してきた。リニア地下鉄は、鉄車輪支持式リニアモータ電車を主体とする都市交通システムであり、他の交通システムにはない種々の特徴を持つ。

このシステムは大阪市と東京都で採用され、営業運転中である。現在、東京都営地下鉄12号線の環状部が建設中であり、日立製作所は、この増備のための12-000形車両の設計・製作をトータルシステムとして取りまとめている。この車両は、リニア地下鉄の特徴を最大限に生かし、低騒音インバータ装置やワンマン運転システムの採用、車両のインテリジェント化など、21世紀を指向した地下鉄車両である。

リニア地下鉄については、トンネルの小断面化が可能、急こう配・急曲線の路線の走行が容易などの特徴を持つため、多くの都市で関心が高い。日立製作所は、このニーズにこたえて、リニア地下鉄の開発に努めていく考えである。

1 はじめに

リニア地下鉄とは、鉄車輪支持式リニアモータ電車を主体とする都市交通システムであり、世界で初めてわが国の地下鉄に採用された。大阪市営地下鉄が1990年に、東京都営地下鉄が1991年にそれぞれ開業した。現在、東京都営地下鉄12号線(以下、東京都営12号線と言う。)の環状部が建設中であり、さらに、国内の他の3都市でも建設および計画中である。

ここでは、21世紀を指向したリニアモータ電車の一例として、東京都営12号線の車両、電気品、情報制御、お

よびワンマン運転システムについて述べる。

2 リニア地下鉄の概要

2.1 リニア地下鉄の特徴

リニア地下鉄とは、リニアモータでの非粘着駆動により、鉄レールの上を鉄車輪の支持、案内で走行する、電車を主体とする都市交通システムである。リニア地下鉄は、他の多くの交通システムと比べて、以下の特徴を持つ。

- (1) 急こう配、急曲線の路線の走行が容易
- (2) 地下鉄トンネルの小断面化が可能
- (3) 駆動系保守の省力化が可能

(4) 電車運転が天候に左右されず、定時性の確保が容易
(5) 回転モータや駆動ギヤがないので、低騒音化が可能
これらの特徴を持つことから、都市交通システムに求められる建設費の低減、維持・運営費の低減、利便性の向上、快適な環境の創出などのニーズにこたえることができる¹⁾。リニア地下鉄の特徴をまとめて図1に、また、従来地下鉄との比較を表1にそれぞれ示す。

2.2 リニア地下鉄の実用化

わが国のリニア地下鉄の研究開発は、1978年に日立製作所が基本構想をまとめた後、運輸省の指導の下に研究開発委員会が発足し、1981年から1984年に行われた基礎研究開発、1985年から1987年に行われた実用化研究開発の2段階で進められた。

日立製作所は初期の段階からこれらの研究開発に参画し、リニア地下鉄の開発、実用化に大きく貢献してきた。その成果により、大阪市営地下鉄長堀鶴見緑地線が1990年に、東京都営12号線が1991年にそれぞれ開業を迎えた。

3 リニア地下鉄車両

3.1 東京都営12号線の概要

東京都営12号線は、放射部と、環状部から成る全長約41 kmの地下鉄路線である。1997年12月の延伸開業により、現在、放射部全線が開業しており、2000年度に環状部の開業が予定されている。

日立製作所は、放射部延伸開業と環状部開業の増備用12-000形車両388両の設計・製作をトータルシステムとして取りまとめた。

3.2 12-000形車両の概要

3.2.1 設計コンセプトと特徴

12-000形車両では、先に述べたリニア地下鉄の特徴を

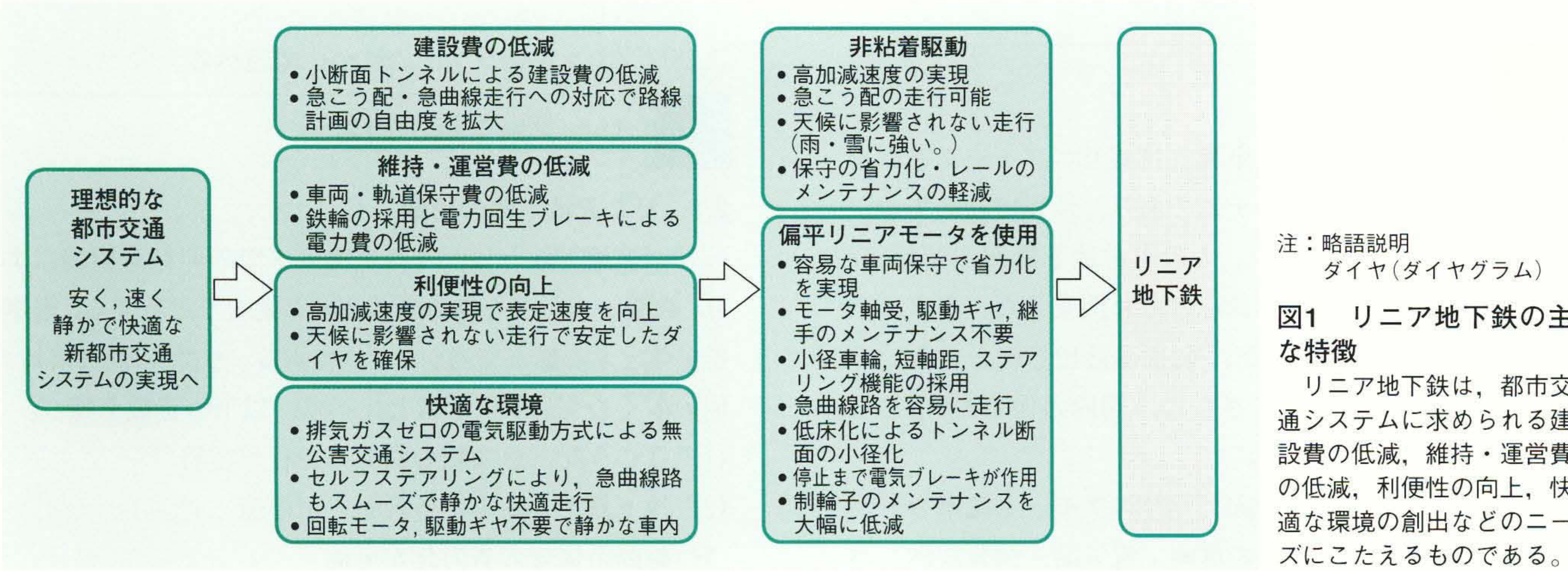
表1 従来地下鉄とリニア地下鉄の比較

リニアモータ式は、非粘着駆動、偏平モータ、容易なステアリングなどの特徴により、トンネルの小断面化を可能にし、急こう配・急曲線の走行を容易にする。

項目	従来地下鉄	リニア地下鉄	リニア地下鉄の効果
推進方式	摩擦力 車輪と レール間	電磁力 リニアモータと リアクションブ レート間	●こう配走行性能の向上 最急こう配 3.5%→6~8%
モータ 方式	回転モータと 歯車装置	非回転リニア モータ	●車輪とレールの摩耗低減 ●モータ・駆動装置の回転 音無し(低騒音化が可能)
モータ 形状	丸形モータ	偏平リニアモー タとリアクショ ンプレート	●電車の低床化・居住性の確保 ●地下鉄トンネルの小断面化 断面積比 約50%
VVVF インバータ 装置	電流パターン制 御	電圧パターン制 御、効率最大す べりパターン制 御、加速度補正 制御	●空げき変動に対応 ●リニアモータの最大効率 域の利用 ●リアクションプレート材 質が変わっても電車特性 を維持
台車方式	車軸角度固定	車軸角度可変 (セルフステアリング)	●急曲線通過性能の向上 最小曲線半径 約160 m→ 約50 m ●曲線通過時のキシリ音低減 ●車輪フランジとレール 摩耗低減

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

最大限に生かしている。低騒音化のためのIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)・VVVFインバータ装置の採用、ATO (Automatic Train Operation：自動列車運転) 装置とホーム監視用光空間画像伝送装置によるワンマン運転システムの採用、ATI (Autonomous Train Integration：車両情報制御) システムによる車両のインテリジェント化と



地上のDSK(電車総合保守管理システム)との連携など、21世紀を指向した地下鉄車両を設計のコンセプトとした²⁾。

3.2.2 小型・軽量アルミ車体

車体は、軽量化と将来のリサイクルを含めたライフサイクルコスト低減を考慮してアルミ車体とし、外板表面は、保守低減を考慮して無塗装ヘアライン仕上げとした。また、外板溶接には、溶接ひずみを最小とするため、日立製作所が車両用で初めて実用化したFSW(Friction Stir Welding: 摩擦溶接法)も採用した。客室内は、リニアモータによる車両の低床化と高さ200 mmの屋根上搭載式超薄型空調装置の採用により、小断面地下鉄ながら十分なスペースを確保した。

3.2.3 リニアモータ

主電動機として、車上一次式リニア誘導電動機(リニアモータ)を採用した。これにより、車両の低床化、急こう配・急曲線の走行、保守の省力化などを実現している。

このリニアモータでは効率を重視した設計としており、モータ二次側となる地上のリアクションプレートの適切配置(力行と回生ブレーキ区間に効率の良い銅リアクションプレートを、惰行区間に低コストのアルミリアクションプレートをそれぞれ選択的に配置)により、建設コストを抑えながら、消費電力量の低減を達成している³⁾。

3.2.4 VVVFインバータ制御装置

制御装置には、リニアモータとリアクションプレートの磁気ひずみ音の大幅低減による静音化を主目的として、IGBT 3レベルインバータを採用した²⁾。

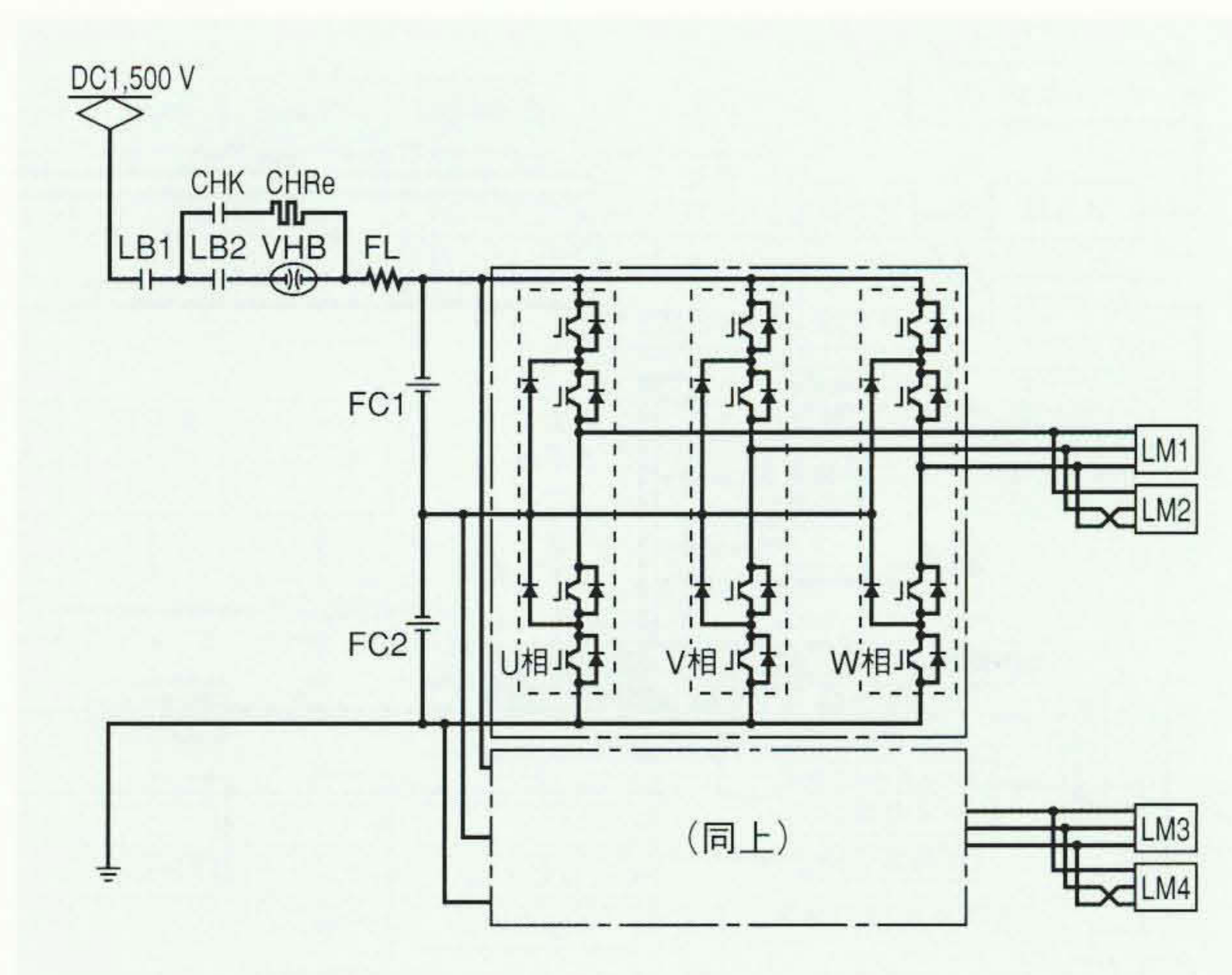
この制御装置は、先に述べた地上側リアクションプレートの違い(銅またはアルミ)やリニアモータとリアクションプレート間のギャップ変化で生じる車両性能の変化を自動的に補正する機能を持つとともに、リニアモータ駆動方式の特性を生かした、電気逆相ブレーキ制御機能も併せ持っている。

また、自己診断機能と動態モニタ機能付きゲート制御部やVHB(高速度真空遮断器)の採用により、高信頼性と保守性の向上を図っている。VVVFインバータ制御装置の主回路の概略構成を図2に示す。

4 車両の情報化とワンマン運転システム

4.1 車両の情報化システム(ATC・ATO・ATI)

12-000形車両では、ATC(Automatic Train Control: 自動列車制御)・ATO・ATIの一体化構成により、運転制御情報、サービス情報、各機器のモニタ情報、および保守情報の共有化を図り、また、光ファイバ伝送系を用



注：略語説明

CHK (Charging Contactor), CHRe (Charging Resistor)
LB (Line Breaker), FL (Filter Reactor), FC (Filter Condenser)
LM (Linear Motor)

図2 12-000形車両用VVVFインバータ制御装置の主回路の概略

IGBT3レベルインバータの採用により、リニアモータとリアクションプレートの磁気ひずみ音を大幅に低減し、静音化を達成した。

いた情報の一元化伝送により、ぎ装電線の低減と、機器の小型化、機能の向上を図った⁴⁾。さらに、光空間データ伝送装置により、車両と地上のDSKとの情報伝送システムを構築し、検修のスピードアップ、精度の向上、および作業の省力化を実現している。システム構成を図3に示す。

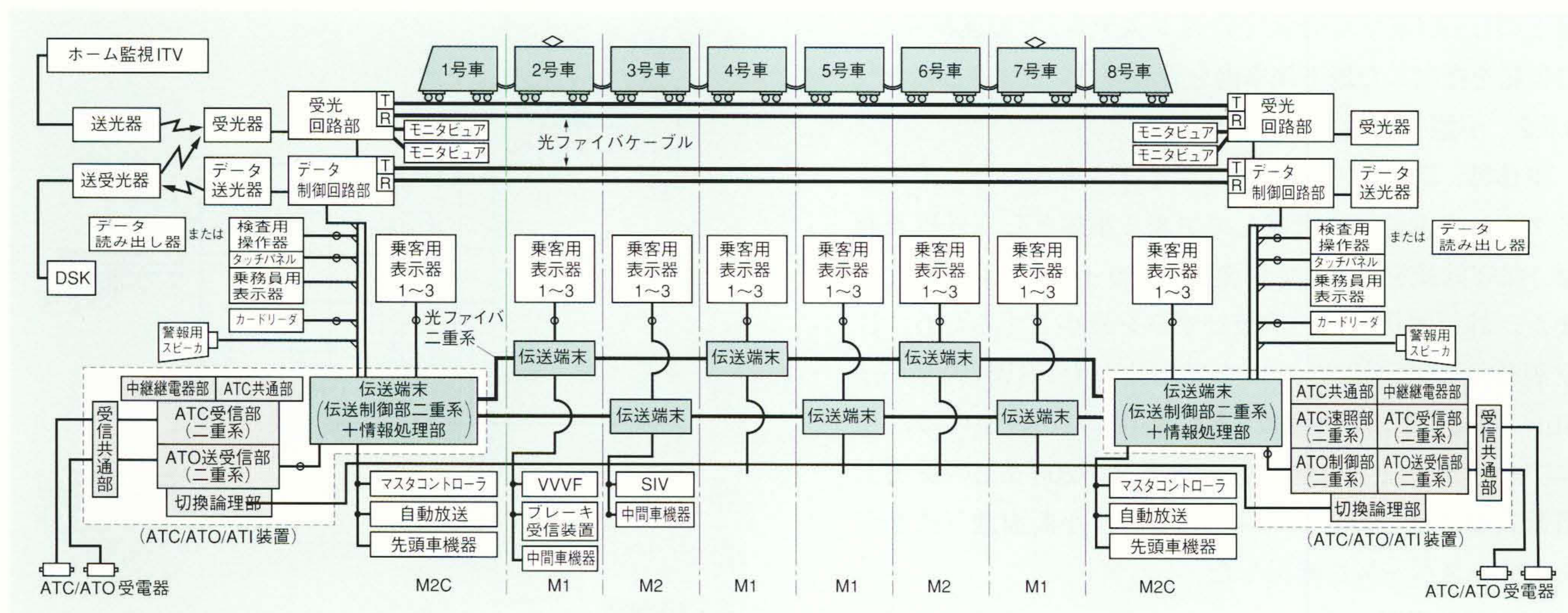
4.2 ワンマン運転システム

都市交通システム運営の省力化のためには、ワンマン運転システムは欠くことのできないものとなっており、東京都営12号線では開業当初からワンマン運転システムを導入してきた。

12-000形車両では、ファジィ制御方式ATO装置、光空間画像伝送装置によるホーム監視システム、およびATI装置の「乗務員支援モニタ機能」や「サービス機能」により、ワンマン運転をサポートしている。今回、車両の6両から8両編成化およびカーブした駅ホームに対応するため、地上設備とともに画像伝送の2チャンネル化を実現しており、このため、運転台のホーム監視用ディスプレイ(10.4型液晶ディスプレイ)を従来の1台から2台に増設した。

5 おわりに

ここでは、リニア地下鉄の概要と実用化までの開発経過、東京都営12号線のリニア地下鉄車両、車両情報制御システム、およびワンマン運転システムについて述べた。



注1: ----- [同一筐(きょう)体内の装置], — (東線), — (光ファイバケーブル), — (シリアル伝送を含む箇所)

注2: 略語説明 SIV (Static Inverter), M (モータ車両), ITV (Industrial Television)

図3 12-000形車両のATC・ATO・ATIシステムの構成

ATC・ATO・ATI各装置の一体化により、運転制御情報、サービス情報、各装置のモニタ情報、保守情報を共有化し、車両のインテリジェント化を図った。

現在、新たに国内の3都市でリニア地下鉄の採用が決定しており、実用化路線と計画路線を合わせると、現時点で総延長は約120 kmを超えている。

21世紀の新しい都市交通システムの担い手として数々の特徴を持つリニア地下鉄では、保守性のいっそうの向上と環境改善を含めた省エネルギー化のために、現在も種々の研究が進められている。日立製作所も、これまでの豊富な経験を生かし、これらの目標が達成できるように引き続き努力していく考えである。

終わりに、リニア地下鉄の開発、設計、製作にあたっては、行政、学術機関、事業者など関係各位から多大なご指導をいただいた。ここに感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) リニア地下鉄海外普及調査委員会：LINEAR METRO パンフレット，社団法人日本地下鉄協会 編(1998-8)
- 2) 福田，外：東京都営地下鉄12号線12-000形3次車，車両技術，213号(1997-6)
- 3) 増田，外：地下鉄電車用リニアモータ駆動システム，日立評論，73，3，311～318(平3-3)
- 4) 清水，外：新型車両用ATC/ATO/ATI装置(都営12号線12-000形3，4次車用ATC/ATO/ATI装置)，第35回サイバネティクス利用シンポジウム，No. 524(1998)

執筆者紹介



磯部 栄介

1971年日立製作所入社，交通事業部 所属
現在，鉄道の車両システムの取りまとめに従事
技術士(電気・電子部門，機械部門)
電気学会会員
E-mail: e_isobe @ cm. head. hitachi. co. jp



張 仁浩

1980年日立製作所入社，交通事業部 車両システム部 所属
現在，公民鉄の車両システムの取りまとめに従事
E-mail: j_choh @ cm. head. hitachi. co. jp



森久 至

1975年日立製作所入社，システム事業部 所属
現在，地下鉄関係システムの取りまとめに従事
技術士(電気・電子部門)
電気学会会員
E-mail: morihisa @ cm. head. hitachi. co. jp



関澤 俊彦

1986年日立製作所入社，水戸工場 交通設計部 駆動システム計画設計グループ 所属
現在，電気車用制御装置のシステム設計取りまとめに従事



田中 龍治

1991年日立製作所入社，水戸工場 交通設計部 運転システム計画設計グループ 所属
現在，列車用保安装置(ATC/ATO/ATI(モニタ))の設計・取りまとめ業務に従事
E-mail: ru-TANAKA @ cm. mito. hitachi. co. jp