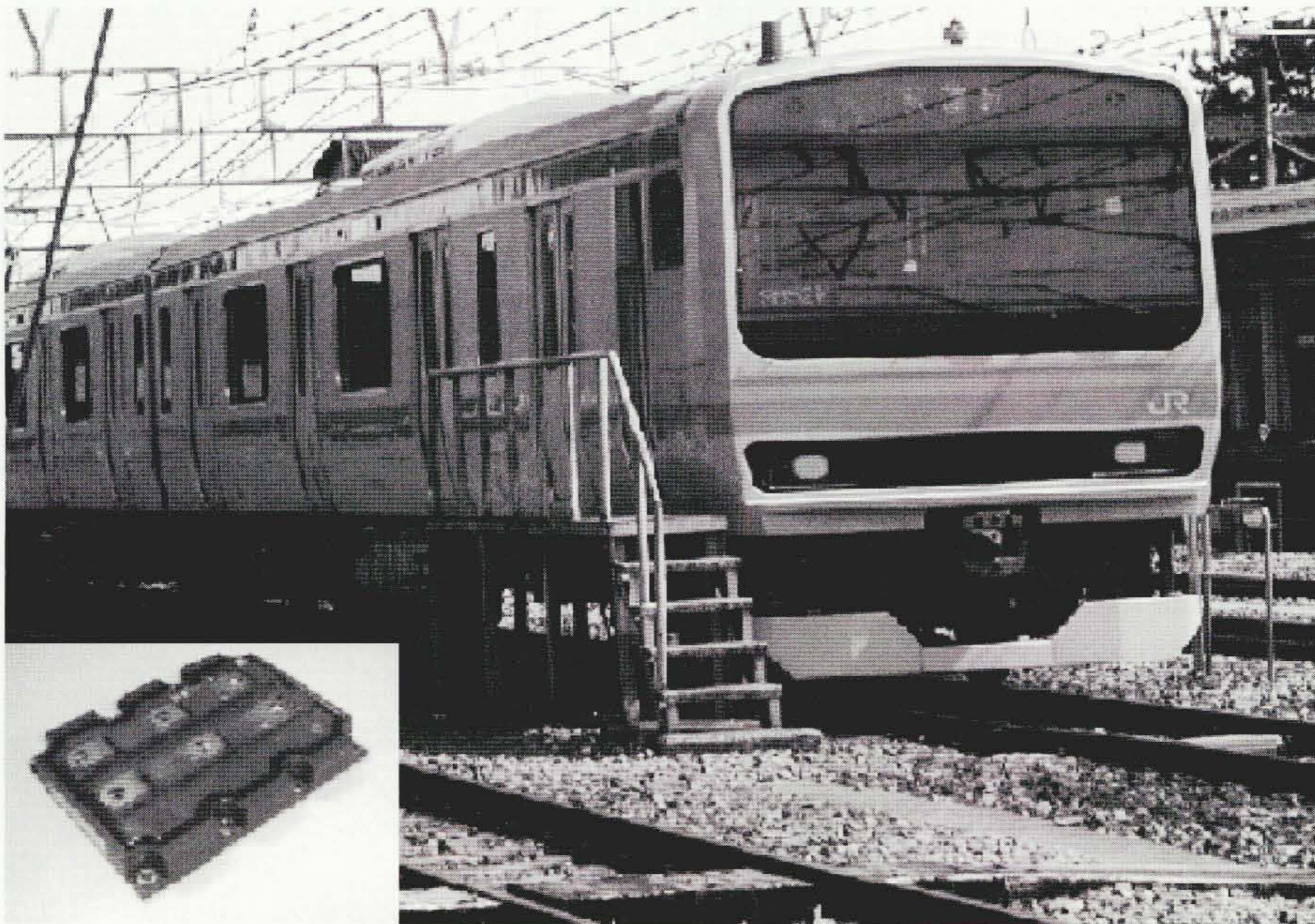


東日本旅客鉄道株式会社 E231系電車の インバータ駆動システム

Traction Inverter System for Series E231 E.M.U. of East Japan Railway Company

畑 正 *Tadashi Hata* 寺澤 清 *Kiyoshi Terasawa* 仲田 清 *Kiyoshi Nakata*
佐藤春雄 *Haruo Satô* 三宅 亙 *Wataru Miyake*



(b) 3.3 kV 1,200 A IGBT

(a) E231系近郊型車両

注：略語説明

IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)

東日本旅客鉄道株式会社
E231系近郊型車両と
3.3 kV 1,200 A IGBTモジュール

E231系通勤・近郊電車は、3.3 kV 1,200 A IGBTモジュールの採用など、209系950番代量産先行試作車両で導入、評価したさまざまな新技術を引き継いでいる。

東日本旅客鉄道株式会社は、首都圏電車の今後の標準形となるE231系通勤・近郊電車を開発した。E231系は量産の通勤・近郊電車として初めて3.3 kV 1,200 A IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)モジュールを主回路素子に採用した車両であり、その駆動システムとして2レベルIGBTインバータシステムを適用している。主回路の2レベル化により、同容量の3レベルGTO(Gate Turn-off Thyristor)インバータに比べて体積を33%、質量を54%低減した、軽量・コンパクトな駆動システムを実現している。最新の実装技術を駆使して高耐圧・大容量IGBT素子をスナバ回路、ゲートドライバなどとともに一つの筐(きょう)体(パワーユニット)にまとめ、その冷却には純水を冷媒とした非圧接形自冷式ヒートパイプを使用し、環境面を配慮した、高信頼の冷却構造を実現している。

また、E231系は通勤車と近郊車両方の性能を持っており、インバータ制御ソフトウェアで制御パターンを切り替えることにより、主電動機やギアなどの駆動機械系を変更することなく、運用路線を変えることが可能である。モータ制御には、回生効率や粘着性能のいっそうの向上をねらって、高精度かつ高速なトルク制御が可能なベクトル制御を採用し、IGBTの特徴を生かした、高品位の制御を可能にしている。

1 はじめに

東日本旅客鉄道株式会社は、以前の通勤電車とは異なる、まったく新しいコンセプト「ライフサイクルコストのミニマム化」に基づいて209系通勤電車を開発し、1992年度から首都圏を中心に大量配備を進めてきた。209系は、誘導電動機の制御にVVVF(Variable Voltage, Variable

Frequency)インバータ制御方式を適用し、徹底した軽量化により、省エネルギー・省保守化に大きく寄与した車両である。今回、209系が投入されてから5年以上が経過したのを機に、車体構成の見直しやいっそうの先進技術の導入を図り、209系950番代を先行試作し、その量産車としてE231系通勤・近郊電車を開発した。

E231系には、互換性を持つSC59A形とSC60A形の2種

類の電車駆動制御システムがある。ここでは、SC59A形VVVFインバータ駆動システムの構成、特徴、および主電動機組合せ試験結果について述べる。

2 SC59A形インバータ駆動システム

2.1 システムの構成と主な仕様

SC59A形インバータ駆動システムは、高速度遮断器、断流器箱、フィルタリアクトル、VVVFインバータ装置、主電動機などの機器で構成している。システムの構成を図1に示す。M車(1群)、M'車(2群)の2両を1ユニットとし、インバータ制御装置は2群分をまとめて一つの装置に構成し、M車に搭載している。高速度遮断器は2群間で共通であるが、それ以降の機器は各群独立であり、M車単位の冗長性を持たせている。

E231系電車とこのシステムの主要諸元を表1に示す。2レベルインバータ方式で1群当たり最大1,288 kVAのインバータ出力容量を確保し、95 kW誘導電動機4台の並列運転を実現している。

2.2 システムの特徴

今回開発したSC59A形インバータ駆動システムの特徴は以下のとおりである。

(1) 耐圧3.3 kVクラスの車両用IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)モジュールの採用により、DC1,500 V架線で主回路の2レベル化を実現し、主回路の構造的な小型・軽量化[同容量の3レベルGTO(Gate Turn-off Thyristor)インバータに比べてサイズを約33%、

表1 主要諸元(SC59A形)

E231系は、4M6T編成で加速度2.5 km/h/sの性能を持つ。また、情報伝送技術の大幅な採用により、すべてのインバータ制御情報をTIMSとの通信で処理している。

項目	仕様
電気方式	DC1,500 V
編成	基本編成(4M6T)、付属編成(2M3T)*
最高速度	120 km/h
加速度	0.694 m/s ² (2.5 km/h/s)
制御方式	三相電圧形2レベルPWMインバータ
主電動機	三相誘導電動機95 kW4台並列×2群
インバータ出力容量	最大1,288 kVA×2群
使用素子	3.3 kV1,200 A IGBTモジュール 1並列接続
素子冷却	ヒートパイプ自冷(水冷媒)
主な制御機能	(1) TIMSとの制御指令・制御状態伝送
	(2) 定速制御, 抑速制御, 低定速制御
	(3) 通勤・近郊性能切換機能
	(4) 故障車開放機能, 任意開放機能
	(5) 車上検査機能
	(6) TIMSへの故障モニタデータ送信

注：略語説明など

4M6T(4 Motor-car and 6 Trailer-car)

2M3T(2 Motor-car and 3 Trailer-car)

PWM(Pulse Width Modulation)

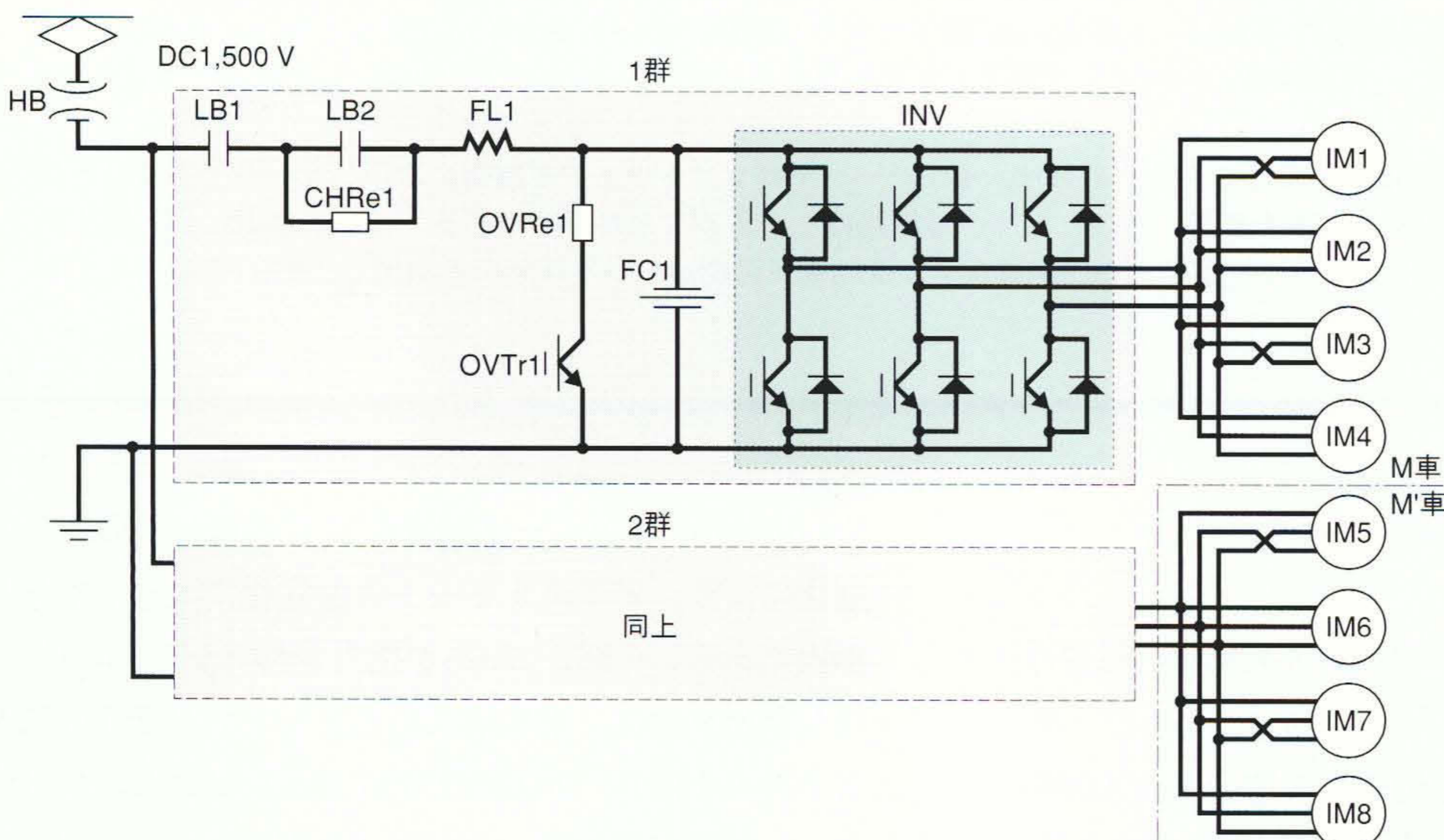
TIMS(Train Information Management System; 列車情報管理装置)

*付属編成は近郊型だけ

質量を約54%低減]を図った。

(2) 3.3 kV 1,200 A IGBTモジュール(1並列接続)の採用により、GTOインバータ並みの大容量化を実現し、1インバータ当たり4台の誘導電動機の一括制御を可能とした。

(3) 素子・ケース間絶縁耐圧AC 5,400 Vを確保したモ



注：略語説明

HB (High-Speed Breaker)

LB (Line Breaker)

CHRe (Charging Resistor)

FL (Filter Reactor)

OVRe (Overvoltage Resistor)

OVTr (Overvoltage Transistor)

FC (Filter Capacitor)

INV (Inverter)

IM (Induction Motor)

図1 SC59A形インバータ駆動システムの構成
高速度遮断器以降の機器を各群独立とした、1C4M×2群構成としている。

ジュール形IGBTの使用により、シンプルでコンパクトな非圧接形のヒートパイプ冷却の採用を可能とし、高信頼の冷却構造を実現した。ヒートパイプの冷媒には純水を使用し、環境に配慮している。

(4) IGBTのスイッチング状態を無接点制御装置にフィードバックし、異常時には速やかに主回路を保護するゲート制御を行うことにより、信頼性と安全性のいっそうの向上を図っている。

(5) 主電動機の制御方式にベクトル制御を採用することにより、通常の力行・回生制御はもとより、空転・滑走時や軽負荷回生時のトルク制御の高精度化と応答性の向上を図っている。

(6) 無接点制御装置は1群、2群一体構造として各群独立部分と共通部分を集約し、いっそうの小型化と群間での速度情報共有による粘着制御の高性能化を図っている。

(7) 通信専用マイコンの採用により、TIMS(列車情報管理装置)との高速・大容量通信を実現した。また、制御指令やブレーキ力指令などの制御情報をすべて伝送化することにより、インバータ制御用信号配線の量を従来車比で約82%削減した。

3 SC59A形VVVFインバータ装置の構成

インバータ装置は、車体片側から取り扱えるように進行方向に長い「長手箱構造」である。両端にはパワーユニットとフィルタコンデンサが群ごとに、中央には無接点制御装置、電源ユニットなどがそれぞれ配置されている。インバータ装置の外観を図2に示す。保守時に取り扱う無接点制御装置や制御回路開放スイッチ、耐圧試験コネクタなどの機器はすべて中央部車体側面側に配置してアクセスしやすくし、保守性の向上を図っている。

パワーユニットは、IGBTモジュール、スナバ回路などの主回路部品、IGBT素子を冷却するヒートブロック、ヒートパイプから成る。パワーユニットの外観を図3に示す。2レベル主回路方式の採用により、シンプルかつ小型・軽量の三相一体形パワーユニットとしている。ヒートパイプと一体のアルミブロック表面にIGBTモジュールを実装する際には、素子内部で絶縁されているため、冷却器をアース電位で使用することができる。これにより、ヒートパイプの冷媒に伝熱性能の優れている純水を使用でき、無公害化を図っている。

IGBTモジュールは、低熱膨張ベースの採用や内部端子構造の適正化などの高信頼モジュール設計により、高いはんだ疲労耐量と電流均一性を持ち、従来の車両用

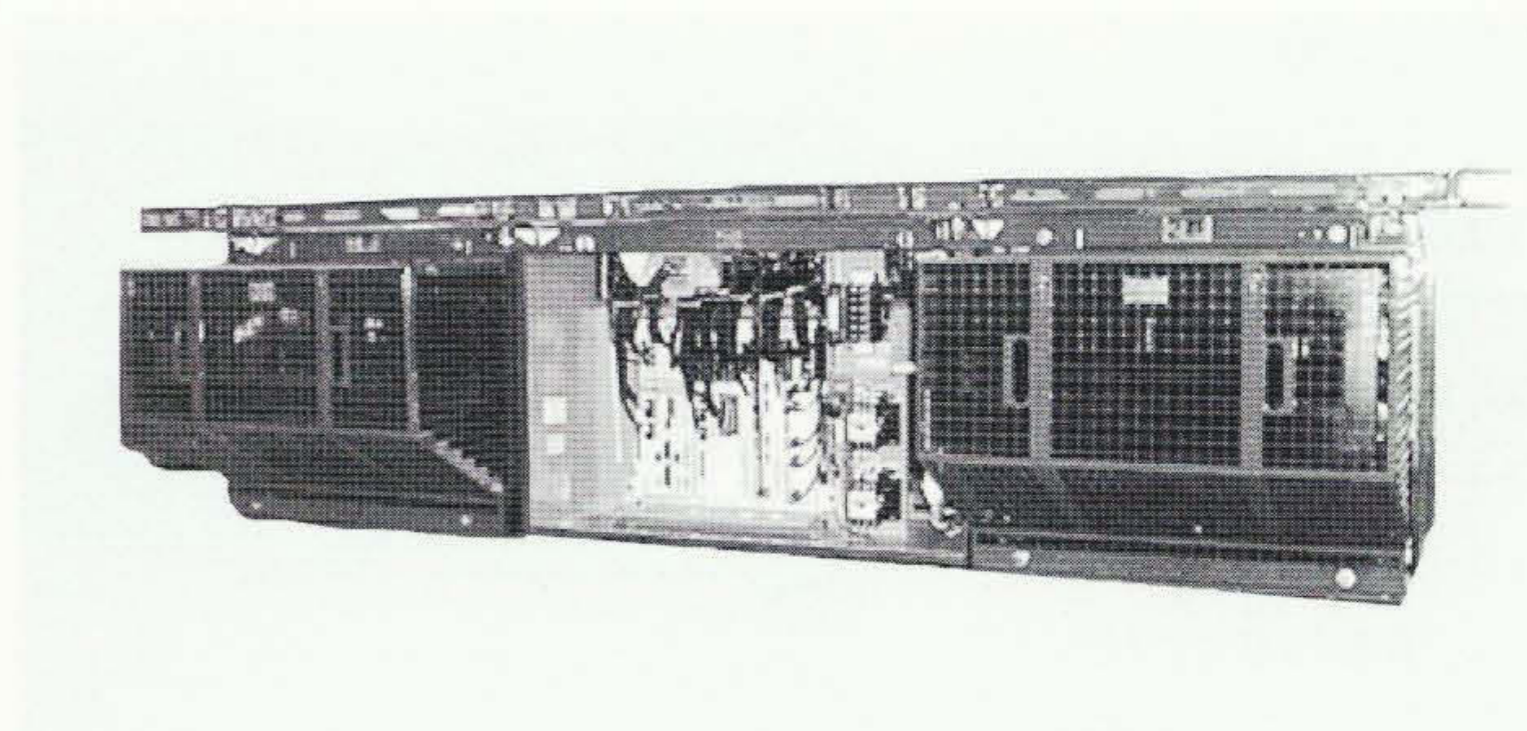


図2 SC59A形VVVFインバータ装置の外観

3.3 kV 1,200 A IGBTモジュールの採用によって主回路を2レベル化し、小型[幅2,500×奥行き1,100×高さ650(mm)]・軽量化(968 kg)を図っている。

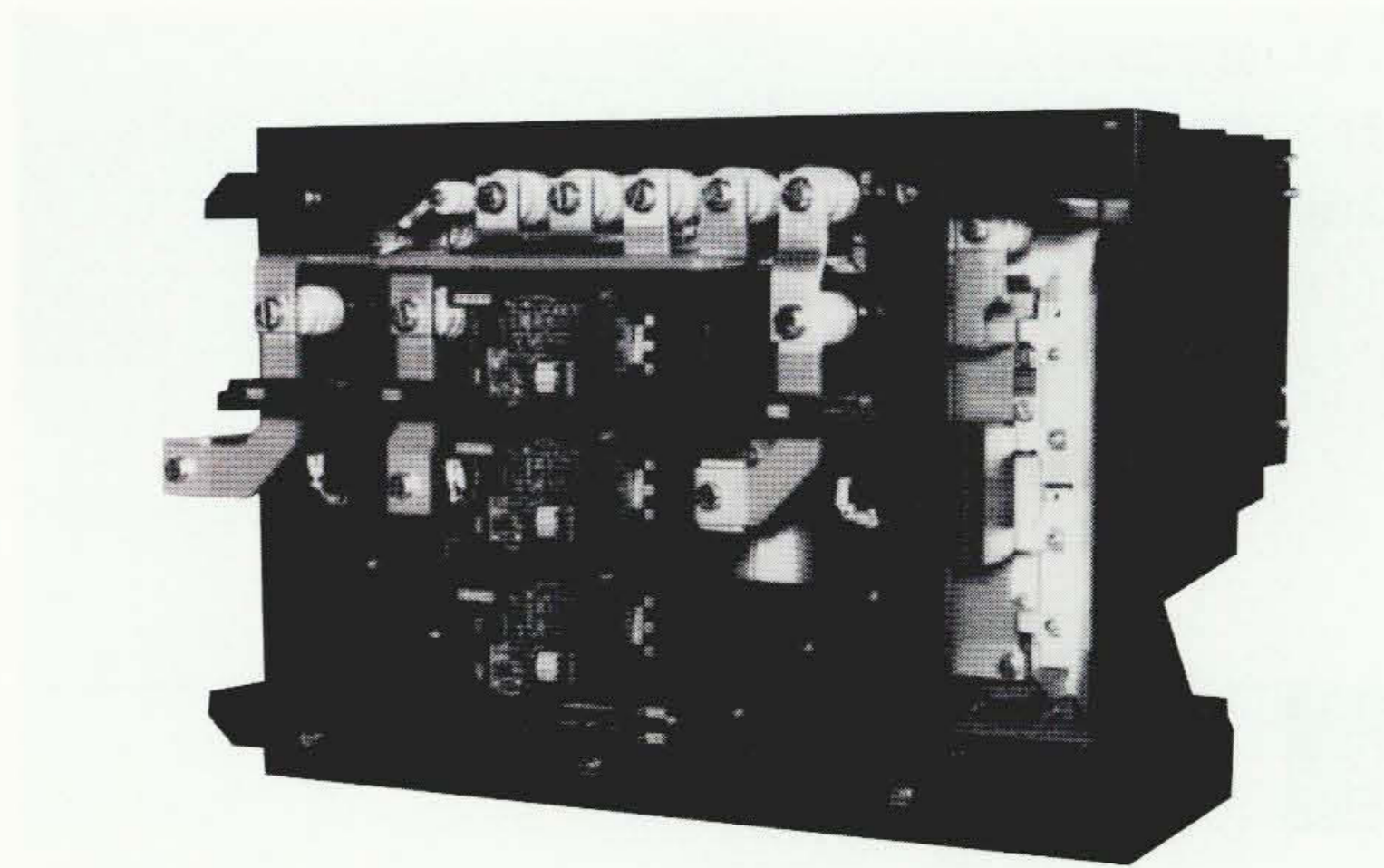


図3 三相一体形パワーユニットの外観

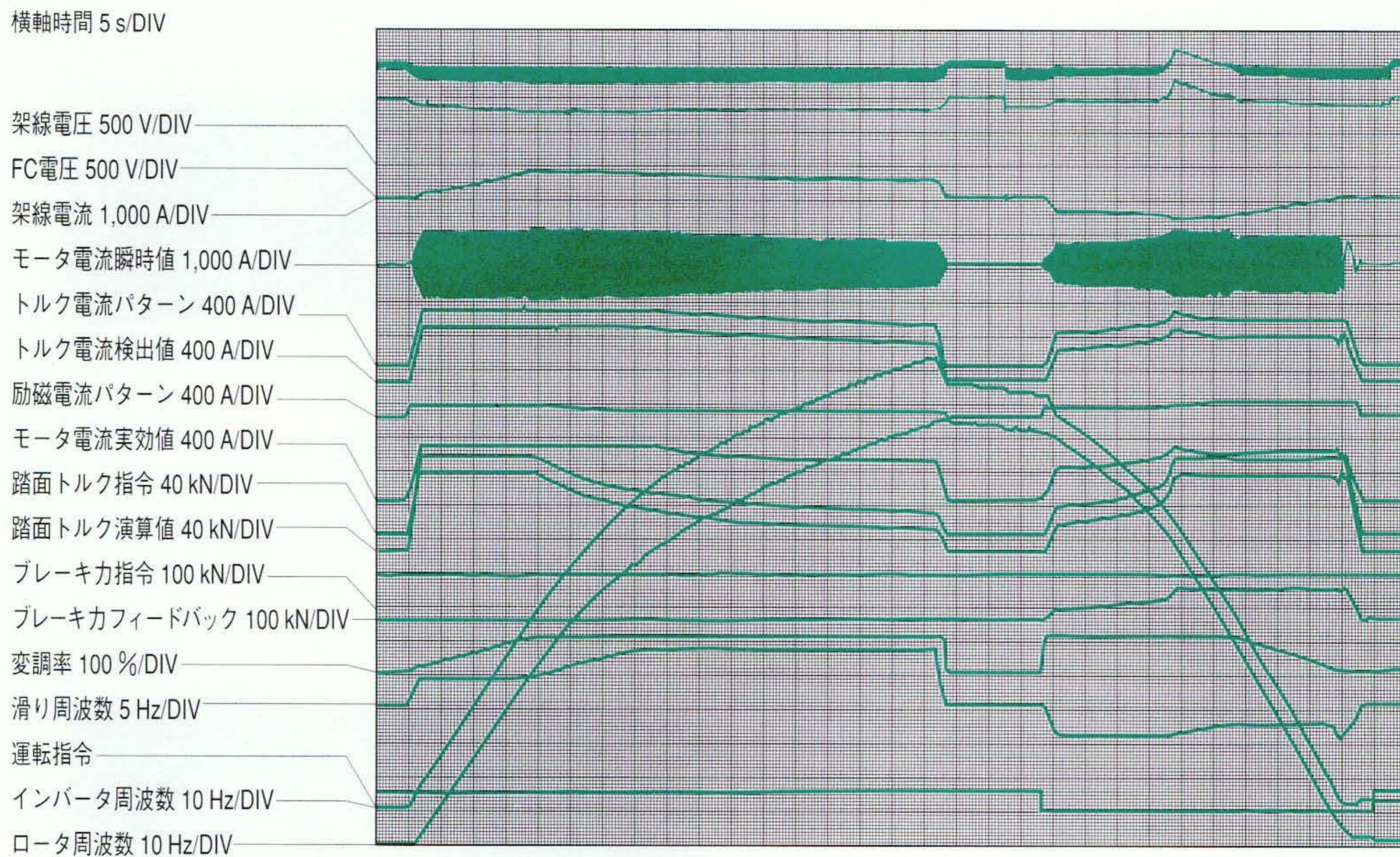
IGBT素子の冷却は、シンプルでコンパクトな非圧接形のヒートパイプによる自冷式とし、高信頼の冷却構造を実現している。

2 kV IGBTモジュールと同様、車両用として十分な高信頼性を確保している。

冷却器の性能劣化などによる異常な温度上昇からIGBT素子を保護するため、アルミブロック表面にサーミスタを設置し、温度情報を無接点制御装置に取り込んでいる。サーミスタを採用したことにより、運用条件の変更など過温度検知設定値を変更する場合には、ソフトウェアの変更だけで柔軟に対応することができる。

4 主電動機組合せ試験結果

SC59A形VVVFインバータと主電動機を組み合わせ、ベンチテストを実施した。このときのオシログラムを図4に示す。主電動機の制御方式には全PWMモード対応型単一制御系ベクトル制御方式を採用しており、車両駆動用インバータの特色である1パルス領域でも、制御モードの切換なしに安定したトルク制御の高精度化と応答性の向上を実現している。



注：略語説明
DIV (Division)

図4 主電動機組合せ試験のオシログラム（力行5ノッチ，回生ブレーキ8ステップ）

全PWMモード対応型単一制御系ベクトル制御方式を採用することにより，制御モードの切替なしに安定したトルク制御の高精度化と応答性の向上を実現している。

5 おわりに

ここでは，東日本旅客鉄道株式会社のE231系通勤・近郊電車のSC59A形インバータ駆動システムの構成，特徴，および主電動機組合せ試験結果について述べた。

今後は，SC59A形インバータ駆動システムの性能試験を近郊型車両で実施し，現車での粘着性能，軽負荷回生制御などの確認後，東北本線に投入する予定である。

東日本旅客鉄道株式会社は，通勤・近郊電車の標準形としてE231系の適用を，首都圏を中心に順次拡大していくことを計画している。引き続き，次世代の電車用として，このインバータ駆動システムの使いやすさ，環境への優しさ，高い信頼性を追求し，いっそうの性能向上を進めていく考えである。

参考文献

- 1) 新井，外：3.3 kV IGBTを応用した通勤電車駆動用2レベルインバータの開発，平成9年電気学会産業応用部門全国大会，No.182
- 2) 堀江，外：エネルギー効率向上とメンテナンスの省力化を目指した電車駆動制御システム，日立評論，81，3，219～222(平11-3)
- 3) 畑，外：209系950番代の主回路システム，第36回鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム(平11-11)

執筆者紹介



畑 正

1977年日本国有鉄道(現 東日本旅客鉄道株式会社)入社，鉄道事業本部 運輸車両部 企画課 車両開発プロジェクト所属
現在，新幹線車両，在来線車両の電車駆動用制御装置，補助電源装置の設計に従事
電気学会会員，日本機械学会会員
E-mail : hata @ head.jreast.co.jp



佐藤春雄

1982年日本国有鉄道(現 東日本旅客鉄道株式会社)入社，鉄道事業本部 運輸車両部 企画課 車両開発プロジェクト所属
現在，新幹線車両，在来線車両の電車駆動用制御装置，補助電源装置の設計に従事
E-mail : haruo-satou @ head.jreast.co.jp



寺澤 清

1993年日立製作所入社，電力・電機グループ 水戸交通システム本部 車両電気システム設計部 所属
現在，電車駆動用インバータシステムの設計に従事
電気学会会員
E-mail : ky-terazawa @ em.mito.hitachi.co.jp



三宅 互

1982年日立製作所入社，電力・電機グループ 水戸交通システム本部 交通システム開発センター 所属
現在，電車駆動用インバータシステムの開発に従事
電気学会会員
E-mail : wt-miyake @ em.mito.hitachi.co.jp



仲田 清

1985年日立製作所入社，電力・電機グループ 水戸交通システム本部 交通システム開発センター 所属
現在，電車駆動用インバータシステムの開発に従事
電気学会会員
E-mail : ky-nakata @ em.mito.hitachi.co.jp