

# 快適な移動空間を提供し、省保守を追求した 車両電気システム

Train Traction System Achieving Passengers' Comfort and Easier Maintenance

稲荷田 聡 Satoru Inarida 嶋田基巳 Motomi Shimada  
 児島 徹郎 Tetsuo Kojima 増田 誠吉 Seikichi Masuda

**高効率化**

- 回生ブレーキ領域の拡大
- 低損失高耐圧スイッチング素子

**省保守化**

- 速度センサレスベクトル制御
- 軽保守化モータ
- 冷却装置の簡素化

**快適性の向上**

- 車上传送装置を利用した主回路の編成制御
- SIVの並列運転による車上電源装置の信頼性の向上

高耐圧HiGTモジュール

軽保守化モータ

三相一体型パワーユニット

注1：  
● (駆動軸)  
○ (従軸)

注2：略語説明  
 HiGT (High-Conductivity Insulated Gate Bipolar Transistor)  
 SIV (Static Inverter)

社会的ニーズと日立製作所が目指す車両電気システム  
 昨今の社会情勢の変化を反映し、車両電気システムでもいっそうの高効率化、省保守化、乗客の快適性向上のニーズが高まってきている。日立製作所は、このようなニーズにこたえる車両電気システムを開発している。

これまで日立製作所は、車両電気システムの高機能化、小型・軽量化、省保守化に対応するために、ベクトル制御、高耐圧IGBT、スナバレスインバータ、ソフトゲート回路、エアレス断流器、電子マスタコントローラを開発し、車両電気システムへの適用を進めてきた。

少子高齢化、他交通機関との競争激化、対環境性の改善といった昨今の社会情勢の変化を反映し、車両電気システムでは、いっそうの省保守化、エネルギー効率の向上、冷却装置の簡素化(冷媒レス化、ブローレス化)による小型・軽量化、高機能化(乗客の快適性向上)のニーズが高まってきている。

この車両電気システムに対する新たなニーズにこたえるために、(1)冷却装置の小型・軽量化を実現する低損失高耐圧スイッチング素子、(2)車両制御の高度化、高機能化の実現に向けた制御方式、(3)車上传送装置を利用した主回路の編成制御、(4)軽保守化モータを開発した。

日立製作所は、これらの技術を展開し、乗客の快適性の向上、省保守化および小型・軽量化を実現する車両電気システムを提供していく。

## 1 はじめに

これまで日立製作所は、ベクトル制御、高耐圧IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)、スナバレスインバータ、エアレス断流器、電子マスタコントローラなどを適用して、車両電気システムの高機能化、小型・軽量化、省保守化を進めてきた。昨今の社会情勢の変化を反映し、車両電気システムでは、いっそうの省保守化、冷却装置の小型・軽量化、高機能化のニーズが高まってきている。これらの新たなニーズにこたえるため、日立製

作所は、インバータの制御技術、デバイス、電動機の開発を進めている。

ここでは、これら新しいニーズにこたえる技術について述べる。

## 2 車両電気システムのニーズ

車両電気システムに対するニーズとその対応技術を図1に示す。

日立製作所は、省保守化、乗客の快適性の向上、エネルギー効率の向上のニーズにこたえるため、以下の技術



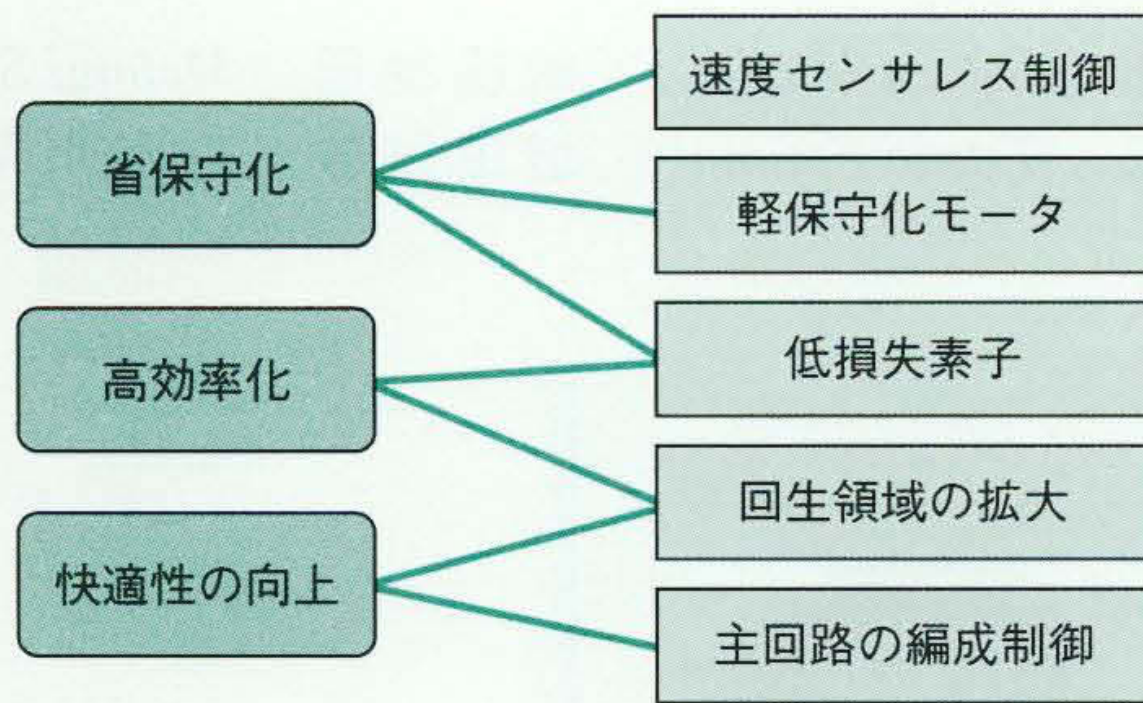


図1 車両電気システムに対するニーズと対応技術

車両電気システムでは、昨今の社会情勢を反映し、省保守化、乗客に対する快適性の向上、エネルギー効率向上のニーズが高まりつつある。

開発に取り組んでいる。

(1) 省保守化

- (a) 保守を必要とする部品の排除を目的とした、ベクトル制御を応用した誘導電動機速度センサレス制御
- (b) 回生ブレーキ領域拡大によるブレーキシューの保守低減
- (c) 冷却装置の簡素化による保守性向上を目的とした、低損失高耐圧スイッチング素子の適用
- (d) 軽保守化モータ

(2) 快適性の向上

- (a) インバータ装置の編成制御により、電動車けん引力を最適化し、乗り心地を向上
- (b) SIV(補助電源装置)の並列運転により、車上電源の信頼度を向上

(3) エネルギー効率の向上

- (a) 回生ブレーキ領域の拡大
- (b) 低損失高耐圧スイッチング素子の採用

車両電気システムの制御技術、システムを構成するスイッチング素子、軽保守化モータについて以下に述べる。

### 3 車両電気システムの制御技術

#### 3.1 速度センサレスベクトル制御

鉄道車両用インバータでは、モータに取り付けられた速度センサによって検出したロータ回転周波数に基づいてモータを制御している。速度センサは、振動や温度の面で厳しい状況下に設置されるため、定期的な保守が必要である。また、モータと対でぎ装されることから、モータの容積拡大の障害となっている。

このような課題を解決するため、速度センサを必要とせずに従来のセンサ付きベクトル制御と同等以上の制御

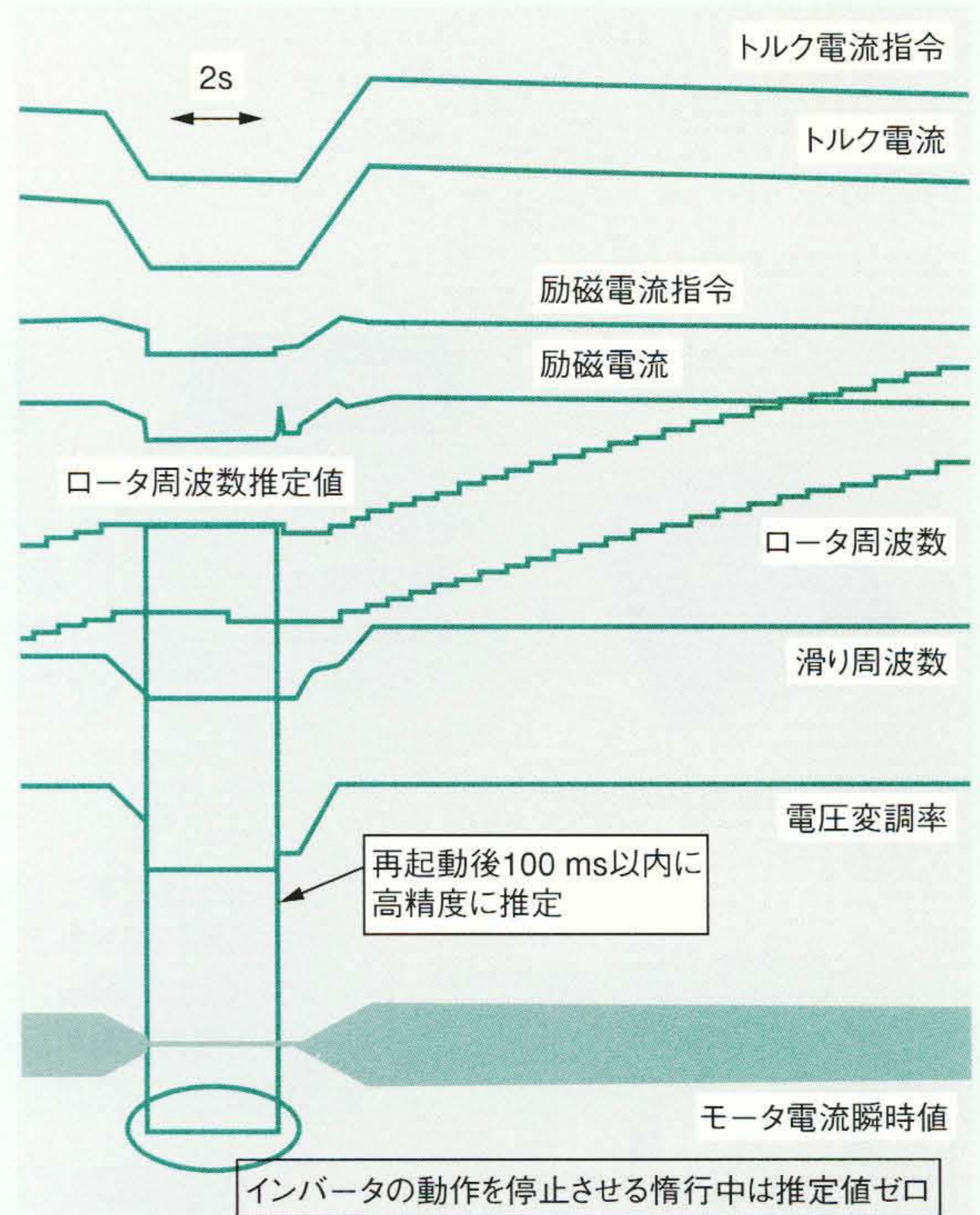


図2 速度センサレスベクトル制御での再起動時の動作波形

速度センサレスベクトル制御では、電流と電圧に基づいて速度演算を行う。このため、再起動時(再力行、回生立ち上げ)の速度推定が課題となる。開発した方式では、再起動時速度推定時間100ms以下を達成した。

性能を持つ速度センサレスベクトル制御を開発した。

速度センサレスベクトル制御では、インバータ電圧、モータ電流などからロータ回転周波数を推定することにより、速度センサを必要とせずに高トルク制御を実現する<sup>1)</sup>。

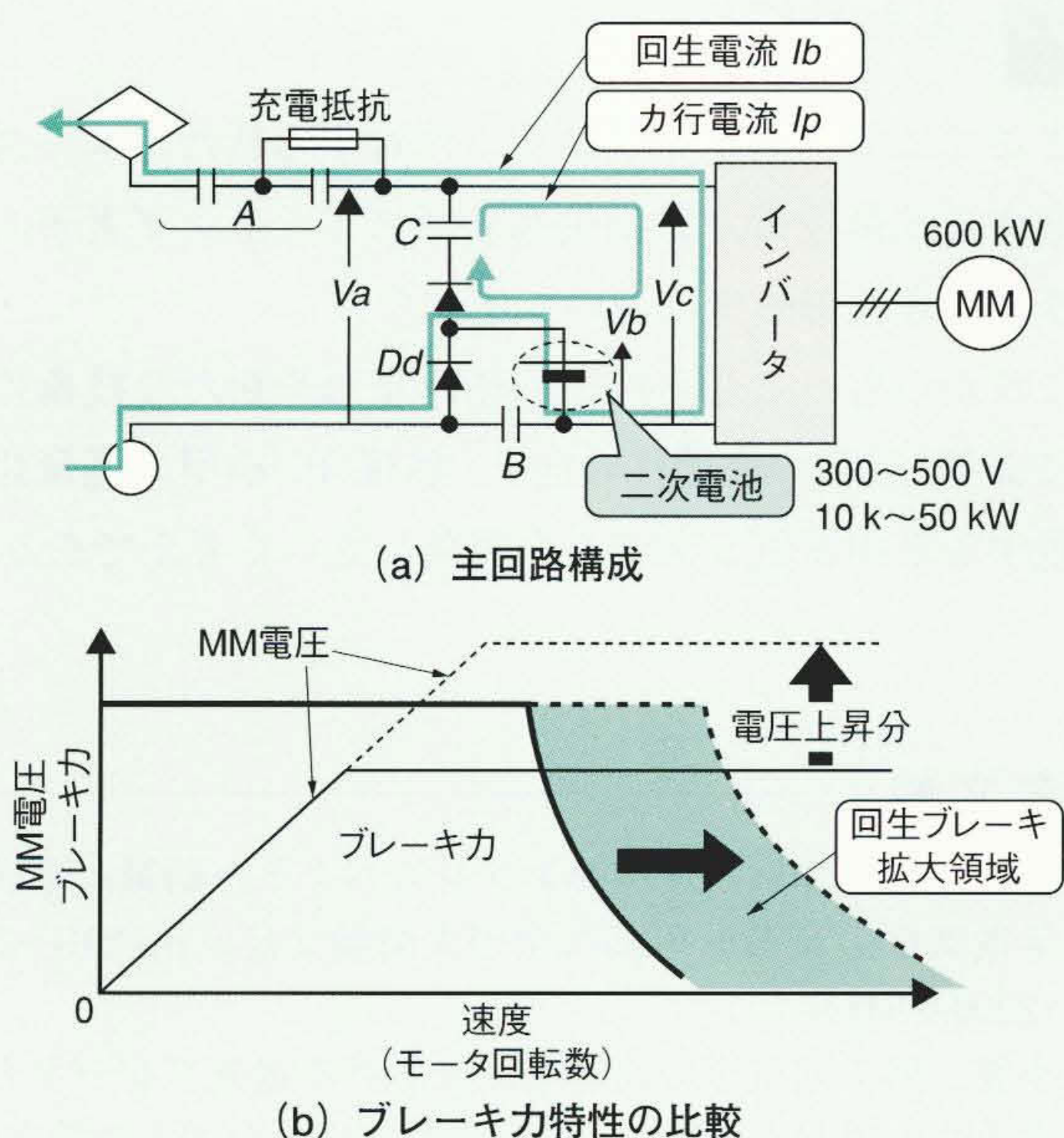
速度センサレスベクトル制御により、保守作業の軽減、モータの容積拡大を容易に実現することができる(図2参照)。

#### 3.2 回生ブレーキの適用領域拡大

空気ブレーキを併用していた高速域および停止直前のブレーキ力を、回生ブレーキだけで負担する全電気ブレーキ制御の開発を進めている。高速域でのブレーキ力を回生ブレーキだけで負担することで、回生エネルギー効率の向上、ブレーキシューの負担軽減による保守頻度の低減が期待できる。高速域での回生ブレーキ力を全回生ブレーキで負担するためには、(1)モータ最大出力トルクの増大、(2)モータ力率の改善(コンデンサ挿入)<sup>2)</sup>、(3)モータ端子電圧の昇圧(直流電圧の昇圧)が考えられる。

高速域での全回生ブレーキ実現の手段の一例として、





注：略語説明 MM(Main Motor), Va(架線電圧), Vb(二次電圧)  
Vc(インバータ直流入力電圧), C(Capacitor)  
Dd(Diode)

図3 二次電池による回生ブレーキ領域の拡大

(a)では、二次電池によって直流電圧を昇圧し、回生時のモータ印加電圧を増大させる。(b)では、直流電圧の昇圧により、高速域のブレーキ力が増大する。これにより、エネルギー効率の向上と、ブレーキシューの省保守化を実現することができる。

二次電池を用いたインバータ直流電圧添加方式について以下に述べる。

直流電圧添加方式の主回路構成およびブレーキ力特性の比較を図3に示す。この構成では、回生時に、必要に応じてインバータ入力電圧に二次電池を直列に挿入する。通常は、接触器Bを閉じ、電池を主回路から切り離しておく。高速ブレーキ時には接触器Bを開くことで、架線電圧Vaと二次電圧Vbを直列に接続し、インバータ直流入力電圧Vcを、「 $Vc=Va+Vb$ 」とする。この結果、モータ印加電圧を上昇することができ、高速領域での回生ブレーキ力を増大することができる。これにより、エネルギー効率の向上、ブレーキシューの省保守化が期待できる。

また、遮断器Aを開放し、遮断器Cを閉じることで二次電池の電力をインバータに供給することができる。低電圧の電池で起動することにより、低騒音での起動が可能となる。

### 3.3 編成制御システム

日立製作所は、制御、モニタ、サービス情報などを統合して車内LANで高速伝送する車両情報伝送装置の活

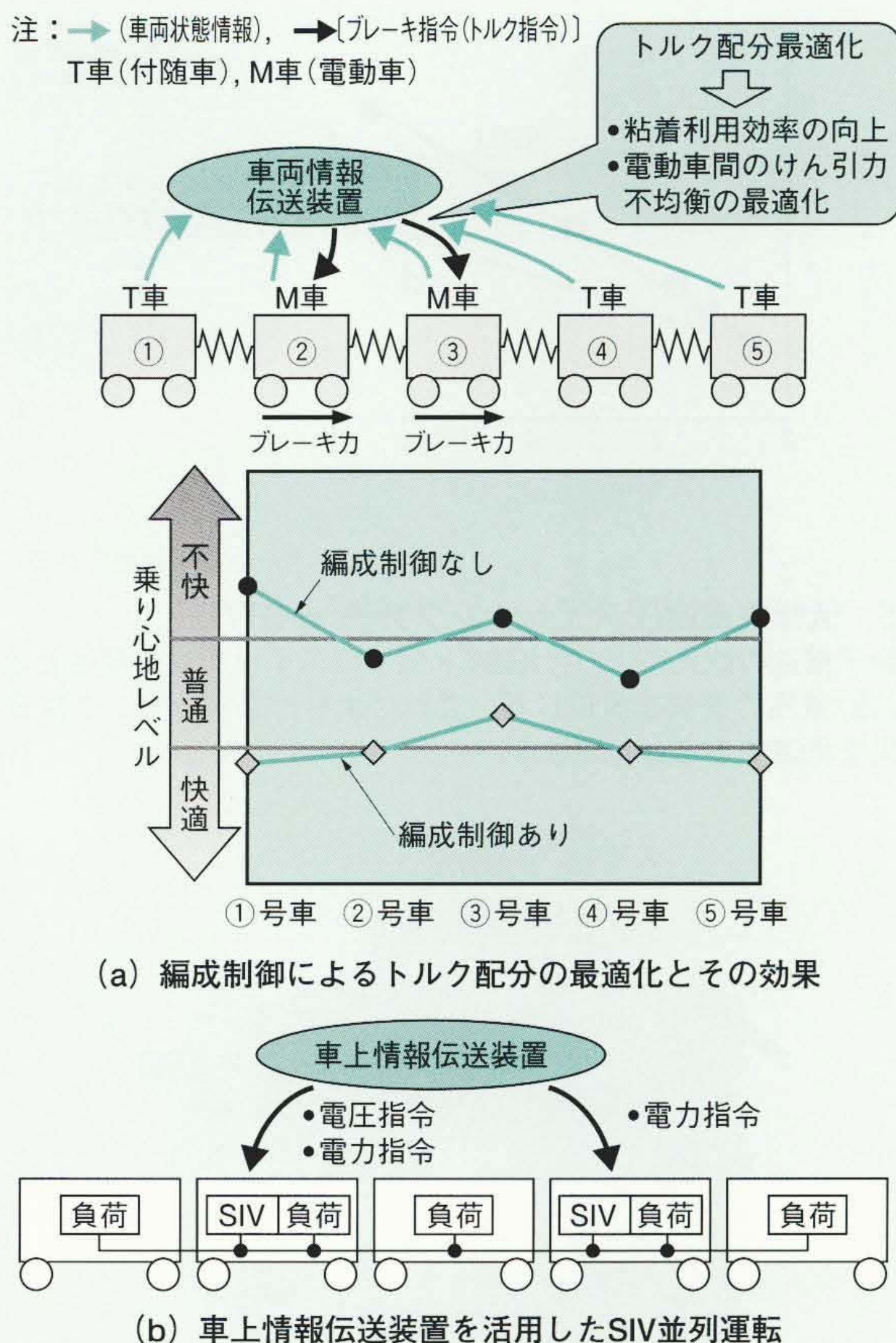


図4 編成制御システムの一例

(a)では、車上情報伝送装置を利用して、電動車のトルクを最適化することにより、編成全体の乗り心地、粘着利用率を向上させた。(b)では、補助電源装置の並列運転により、車上電源システムの信頼度を向上させた。

用により、編成内の複数のインバータ装置間で編成情報を共有する編成制御システムの構築を進めている。編成制御システムにより、(1)トルク最適配分による編成全体の粘着利用効率の向上、(2)乗り心地の向上、(3)SIVの並列運転による車上電源システムの信頼度の向上が可能となる。編成制御システムの一例を図4に示す。

編成制御の適用により、編成全体の乗り心地レベルを改善している。また、SIVの並列運転により、車上電源システムの信頼度を向上することができる。

## 4 車両電気システムのコンポーネント

### 4.1 低損失高耐圧スイッチング素子(HiGT)<sup>3)</sup>

HiGT(High-Conductivity Insulated Gate Bipolar Transistor)素子とIGBTのオン(導通)電圧特性の比較を図5に示す。HiGTは、素子構造の改良により、IGBTと同等のスイッチング特性でありながら、オン電圧をIGBTと比較して25%程度低減することができる。HiGT



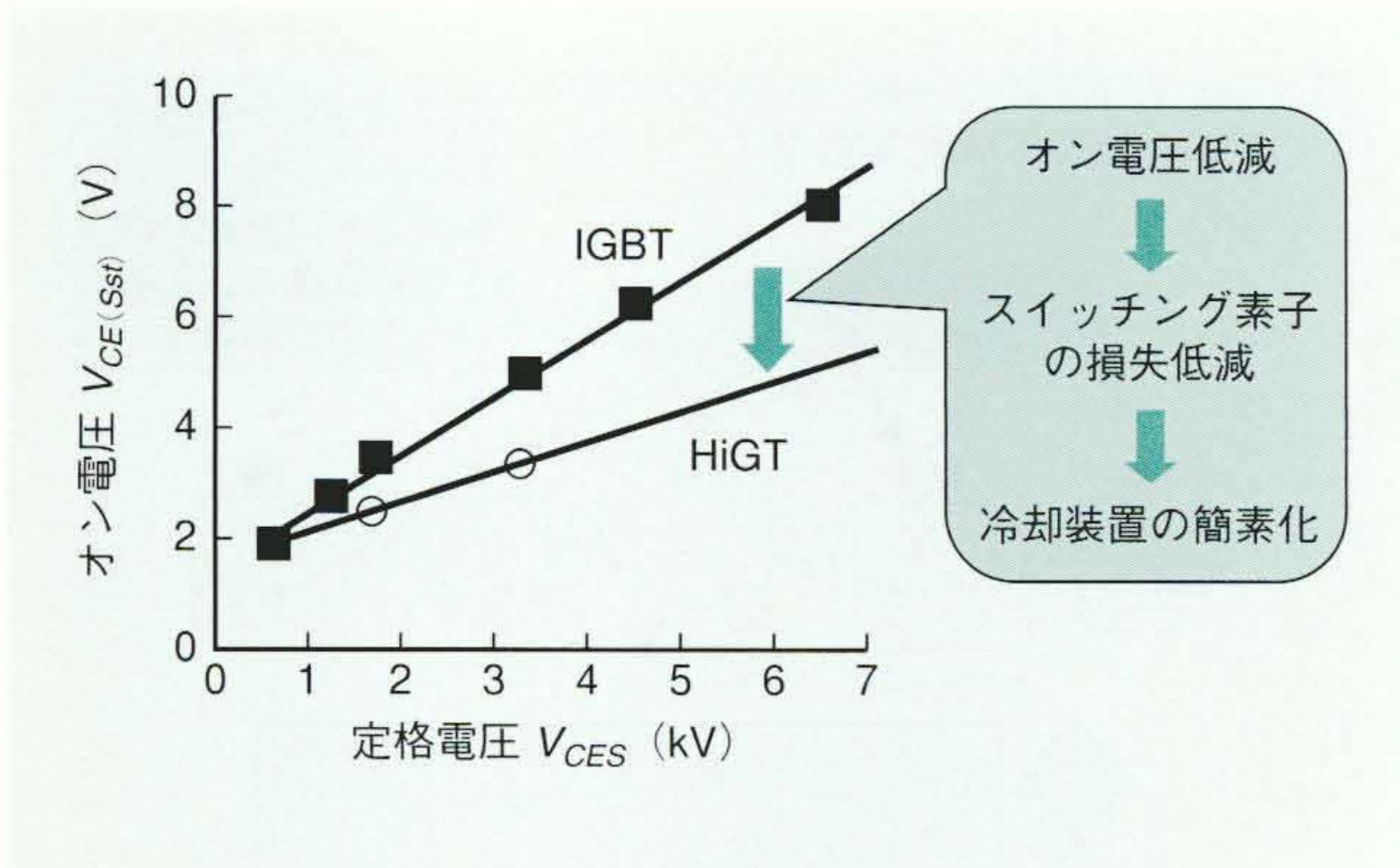


図5 低損失高耐圧スイッチング素子(HiGT)

素子構造の改良により、IGBTと同一のスイッチング特性とオン(導通)電圧の低減を実現した。これにより、スイッチング素子の損失を低減することができる。

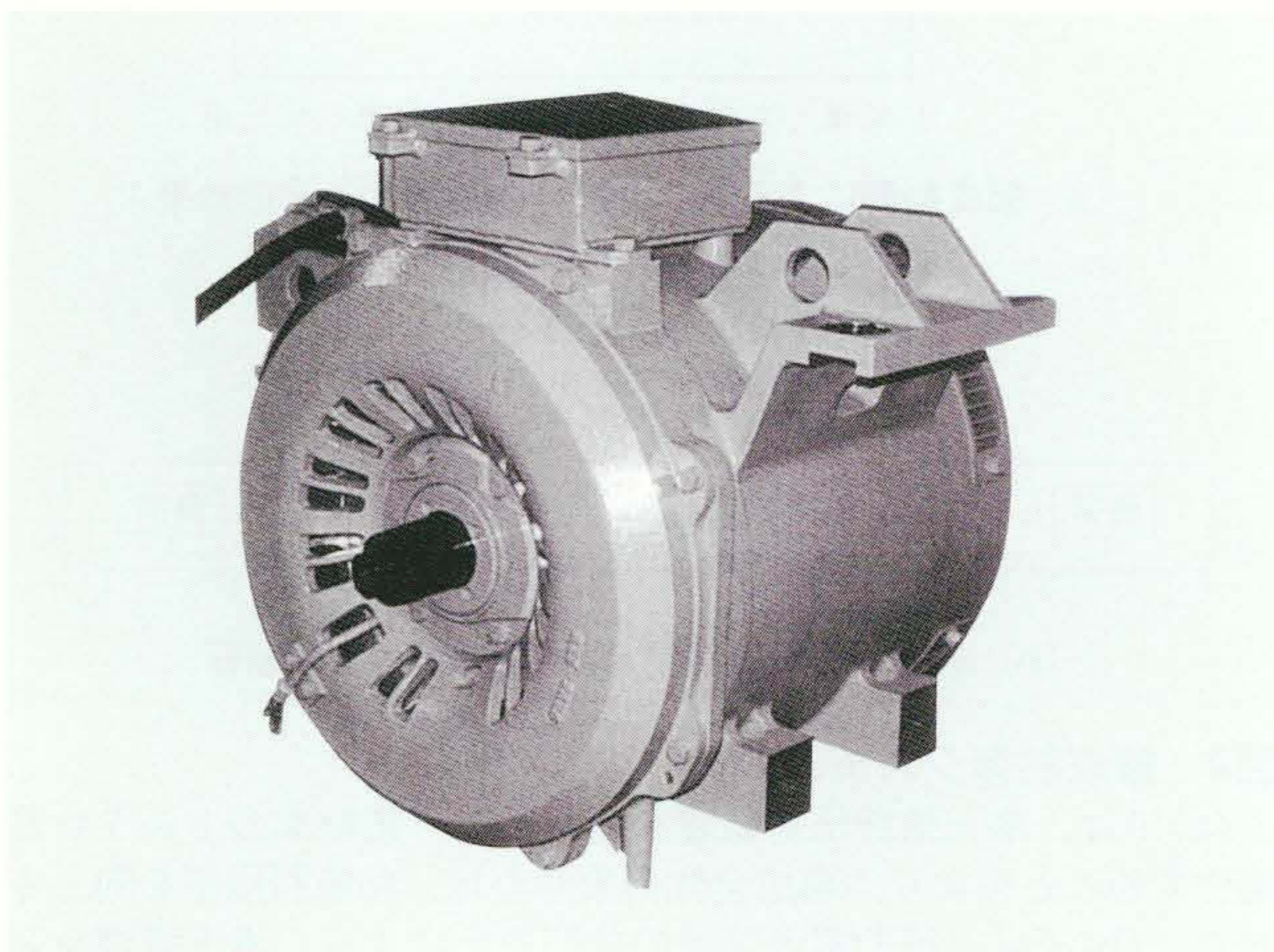


図6 軽保守化モータ

押込ファンによるじんあい分離構造により、主電動機の機内通路へのじんあい堆(たい)積量を低減させた。

の適用によってスイッチング素子の損失を低減することができ、冷却装置の簡素化を実現した。

#### 4.2 軽保守化モータ<sup>1)</sup>

主電動機の機内通風路へのじんあい堆積量を低減するじんあい分離構造を採用した軽保守化モータ(図6参照)を開発した。

軽保守化モータでは、冷却風を機内へ押し込む押込ファン方式を採用し、ファン外周部にポケット状の空間を設け、その外周部にじんあい排出口を設けた。これにより、冷却風に混入したじんあいを、押込ファンのじんあい分離作用で排出口から排出することができる。

現車での長期確認試験を実施し、予定どおりの良好な結果を得ている。また、長寿命新合成グリース潤滑の軸受装置<sup>2)</sup>との組合せにより、保守を大幅に軽減することができる。

## 5 おわりに

ここでは、車両電気システムに対する新たなニーズに対応する制御技術、低損失高耐圧スイッチング素子、および軽保守化モータについて述べた。

これからも、これら技術の積み重ねや新たな技術の推進により、乗客の快適性の向上、省保守、小型・軽量化を実現する車両電気システムを開発していく考えである。

## 参考文献

- 1) 児島，外：車両用速度センサレスベクトル制御，平成12年電気学会産業応用部門全国大会論文誌，pp.213～214(2000年8月)
- 2) 小笠，外：電気車の高速領域における電気ブレーキ力拡大手法の各方式比較，平成13年電気学会全国大会論文誌，pp.255～256(2001年3月)
- 3) M. Mori：A HiGT - A New Generation High-Conductivity IGBT，Proceeding of IPEC-Tokyo 2000，pp.263-268(2000)
- 4) 三田，外：最近の車両用主電動機の軽保守化について，鉄道車両と技術，No.52，pp.13～16(1999年11月)
- 5) 小林：主電動機軸受用グリースの新しい技術，鉄道車両と技術，No.62，pp.10～18(2000年9月)

## 執筆者紹介



### 稲荷田 聡

1992年日立製作所入社，電力・電機グループ 交通システム事業部 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，車両用制御システムの開発に従事  
電気学会会員  
E-mail：st-inarida@em.mito.hitachi.co.jp



### 児島 徹郎

1994年日立製作所入社，電力・電機グループ 交通システム事業部 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，車両用制御システムの開発に従事  
電気学会会員  
E-mail：ts-kojima@em.mito.hitachi.co.jp



### 嶋田 基巳

1995年日立製作所入社，電力・電機グループ 交通システム事業部 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，車両用制御システムの開発に従事  
日本機械学会会員  
E-mail：mt-shimada@em.mito.hitachi.co.jp



### 増田 誠吉

1974年日立製作所入社，電力・電機グループ 電機システム事業部 発電機システム本部 電動機システム部 所属  
現在，車両用電動機的设计に従事  
電気学会会員  
E-mail：seikichi\_masuda@pis.hitachi.co.jp