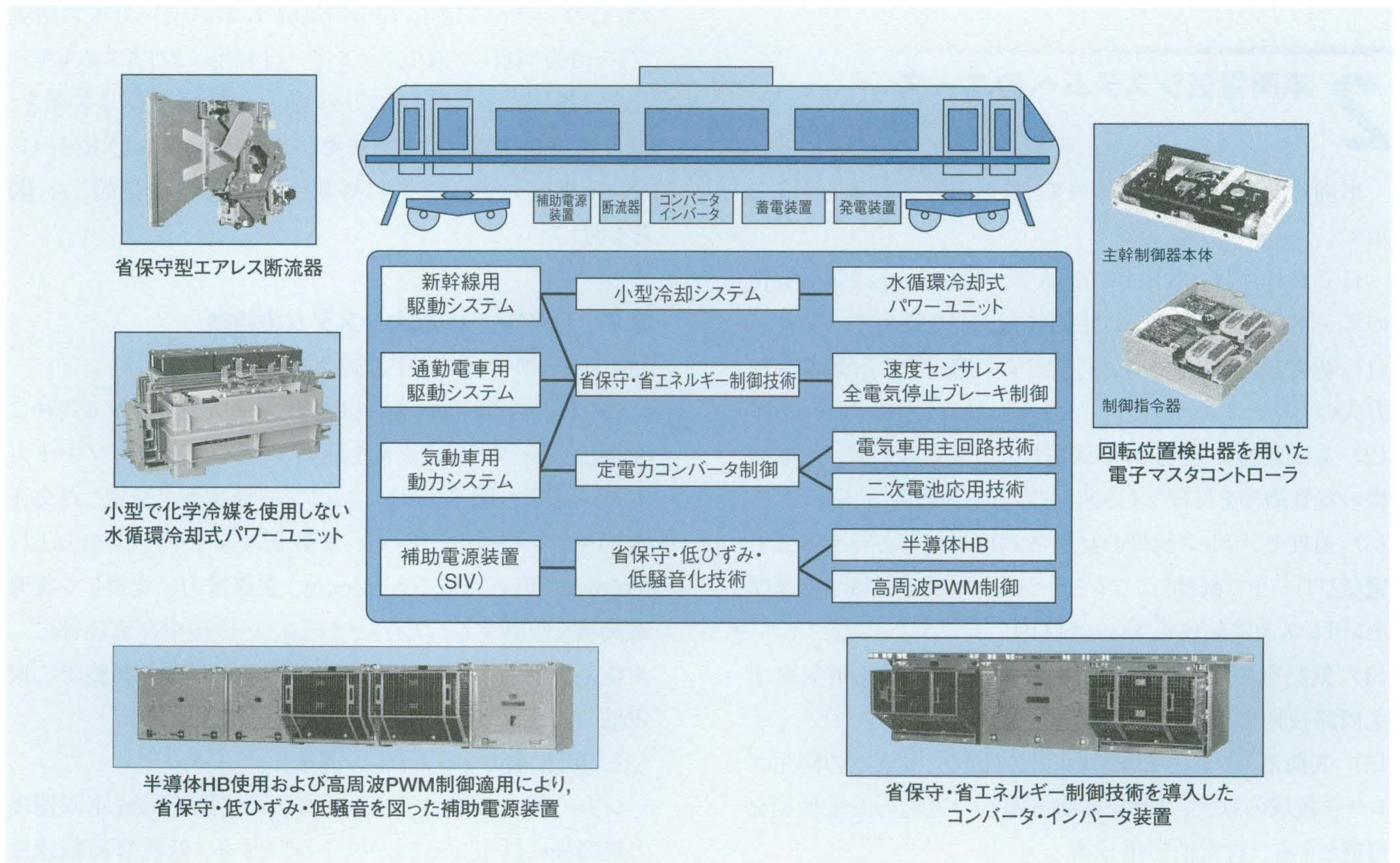


省保守で環境に優しい車両電気システム

Easy Maintenance and Environment-Friendly Train Traction System

金子 貴志 Takashi Kaneko 鯨岡真一郎 Shin'ichirô Kujiraoka
 嶋田 基巳 Motomi Shimada 児島 徹郎 Tetsuo Kojima



注:略語説明 SIV (Static Inverter), HB (High-speed Breaker), PWM (Pulse Width Modulation)

日立製作所の車両電気システム

車両電気システムには、省保守、高信頼、そして高効率で環境に配慮した製品のニーズがますます高まってきている。日立製作所は、このようなニーズに対応した車両電気システムを開発している。

従来、日立製作所は、電気システム関連でベクトル制御、高耐圧IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) を適用したコンバータ・インバータ装置、補助電源装置、エアレス断流器、電子マスタコントローラなどを開発し、飛躍的な機能・保守性・効率の向上を図ってきた。

最近では、気動車の動力システムでは、省保守、高効率、環境性改善のニーズが高まってきており、電気車のシステムでは、いっそうの小型・軽量化が求められてきている。

そのため、日立製作所は、(1) 電気車用電気システムの技術を気動車の動力システムへと展開したハイブリッド動力システム、および(2) 水循環方式による小型冷却システムを、東日本旅客鉄道株式会社と共同開発した。さらに、車両電気システムの省保守、小型化を実現するための車両制御技術として、速度センサの省略が可能な速度センサレス制御と、停止まで電気ブレーキを作用させる全電気ブレーキ制御を併用する技術も開発した。

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)を適用した主回路システムを開発し、車両電気システムの機能・保守性・効率の飛躍的な向上を図ってきた。

近年、気動車に、省保守で環境性の高い動力システムが

求められるようになってきている。また、電気車のシステムでも、いっそうの省保守、高信頼性、高機能、小型・軽量化が要求されている。このようなニーズにこたえるため、日立製作所は、気動車用の電気システム、小型冷却システム、およびインバータの制御技術の開発を進めている。

ここでは、ハイブリッド動力システム、小型冷却システムなどの車両電気システム技術について述べる。

2 車両電気システムへのニーズ

車両電気システムへのニーズと最近の対応技術を図1に示す。

日立製作所は、省保守、高効率、環境性、および小型化のニーズにこたえるため、以下の技術開発を進めている。

- (1) 新幹線など大容量駆動システムに適用する水循環冷却方式のパワーユニット
- (2) 主電動機の世界速度センサを省略し、保守の低減、主電動機の容量増加を可能とする速度センサレス制御
- (3) 速度センサレス制御の高精度速度推定により、停止まで電気ブレーキで制動し、ブレーキシュー摩耗を低減する速度センサレス全電気停止ブレーキ制御
- (4) 気動車の保守低減、環境性向上を実現する電気車用主回路技術応用気動車動力システム
- (5) 気動車のブレーキエネルギーの回収や電気車の回生ブレーキ領域の拡大、および補助電源への電力の安定供給を可能とする二次電池応用技術
- (6) 補助電源装置の省保守・低ひずみ・低騒音を図る半導体HB(High-speed Breaker)、高周波PWM(Pulse Width Modulation)制御技術

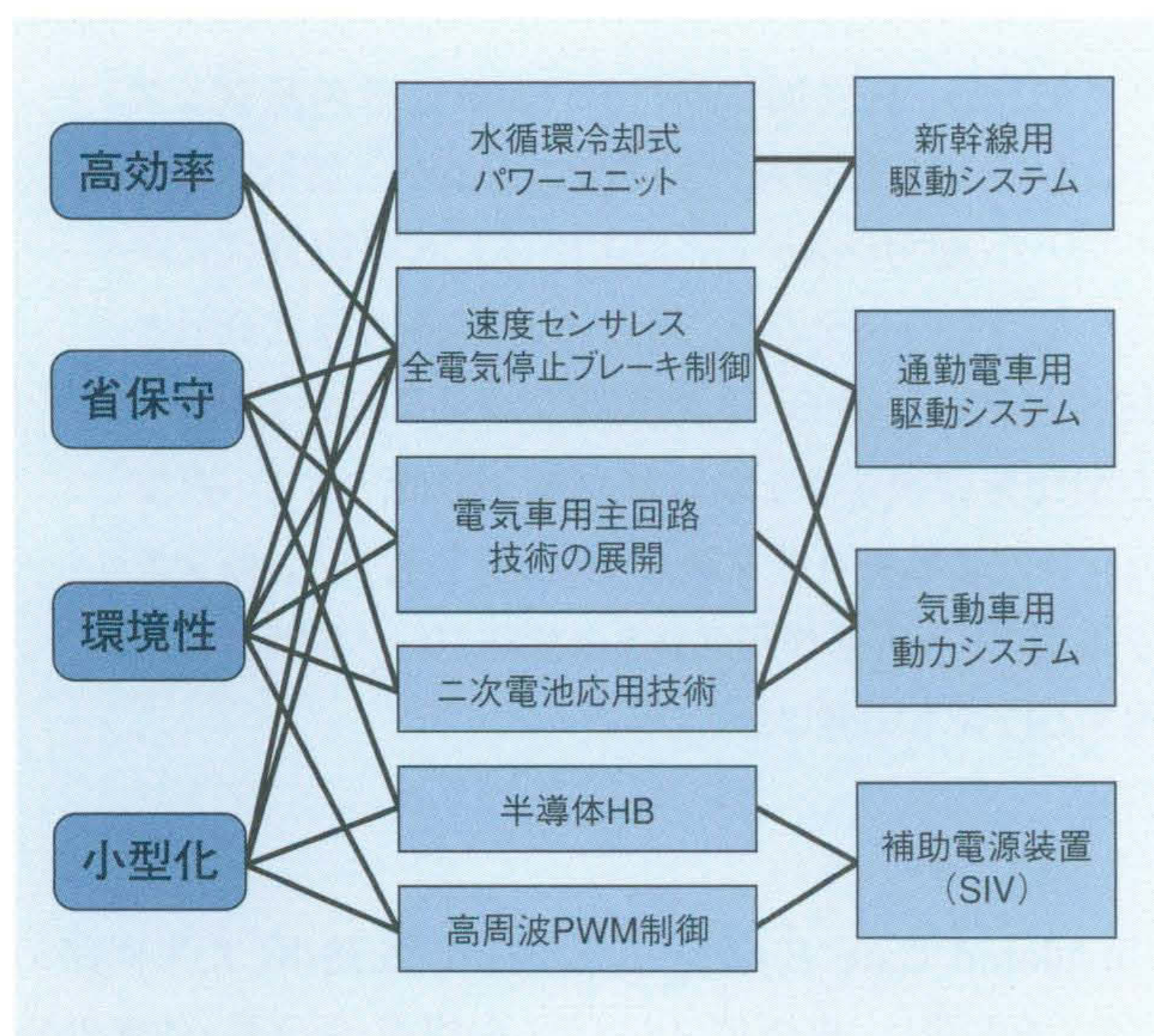


図1 車両電気システムへのニーズと対応技術

車両電気システムでは、省保守、高効率、環境性改善、および小型化のニーズが高まっている。

3 ハイブリッド動力システム

3.1 ハイブリッド動力システムの概略

日立製作所は、東日本旅客鉄道株式会社と共同で、環境に優しい動力システムへの足がかりとして、エンジン発電機と蓄電池を組み合わせたハイブリッド動力システムを開発した。このシステムにより、従来の気動車にはなかった電力回生ブレーキを実現し、回生エネルギー再利用による省エネルギー化を可能とした。このハイブリッド動力システムの試作装置を、東日本旅客鉄道株式会社キヤE991形試験車両〔NETレイン(New Energy train)〕に搭載して性能試験を開始した(図2参照)。

3.2 ハイブリッド動力システムの特徴

(1) シリーズ・ハイブリッド方式の採用

このシステムは、エンジン出力をいったん電気エネルギーに変換し、モータだけで車輪を駆動するシリーズ・ハイブリッド方式を採用した(図3参照)。エンジン発電機で発電した交流電力をコンバータ・インバータ装置でVVVF(Variable Voltage, Variable Frequency)交流電力に変換して誘導電動機を駆動する。コンバータ・インバータの中間直流部に二次電池を配置し、コンバータとインバータの出力調整で二次電池の充放電電力を制御する仕組みである。

(2) 環境に優しいシステムの構築

シリーズ・ハイブリッド方式は、エンジン回転速度を車両速度と無関係に設定することができることから、低燃費回転速度域を多用した高効率発電が図れ、排出ガスの低減も可能となった。また、電気車用インバータ制御技術の適用による電力回生ブレーキにより、蓄電池に一時蓄積した回生エネルギーが次の力行電力や補機電力として利用できるため、従来の気動車に比べて約20%の燃料消費低減が期待できる。さらに、アイドリングストップ制御により、駅停車中の騒音低減を



図2 東日本旅客鉄道株式会社 キヤE991形車両(NETレイン)

ハイブリッド動力システムの試作装置を搭載し、各種の性能試験を行っている。

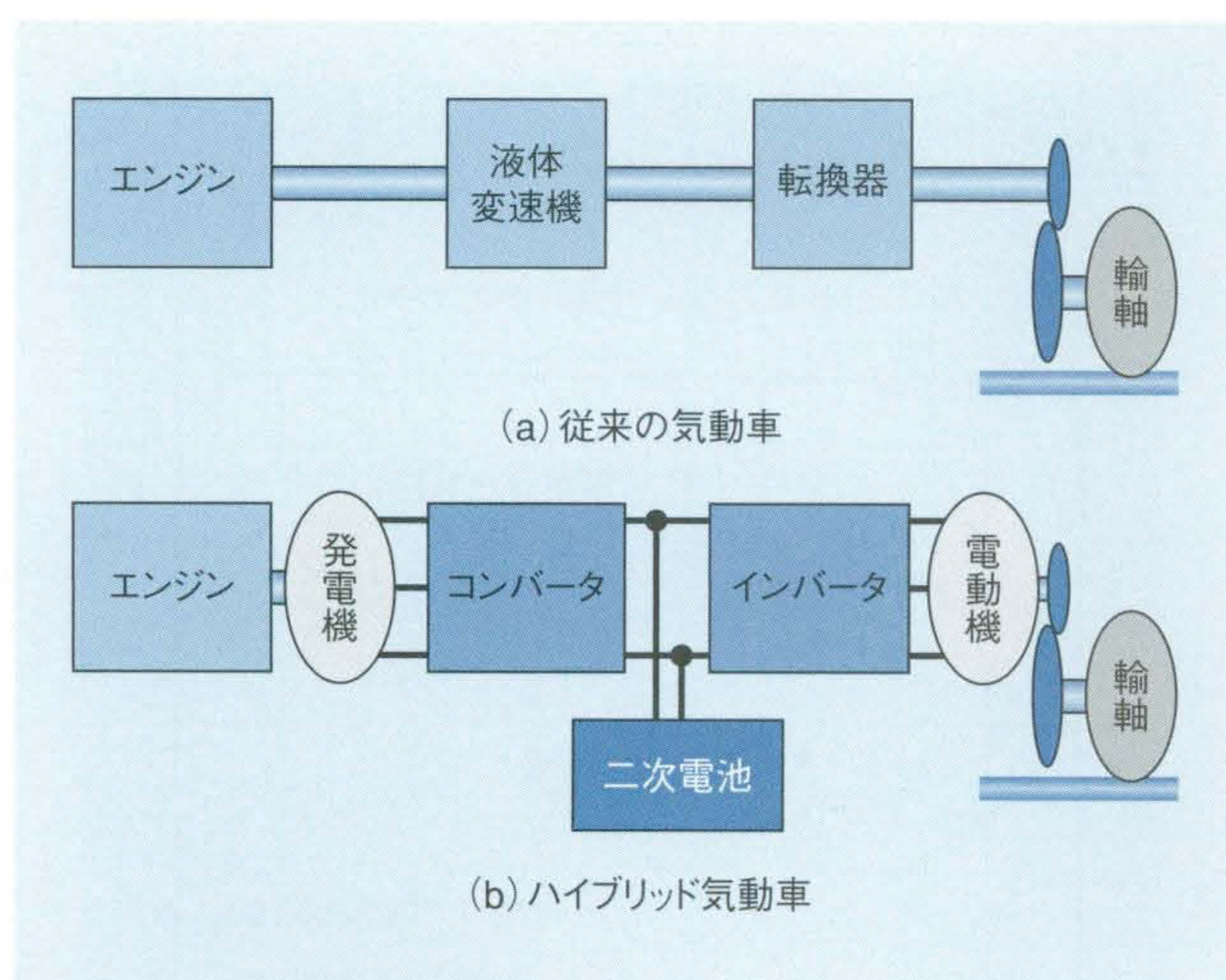


図3 シリーズ・ハイブリッド方式

エンジン出力を電気エネルギーに変換し、モータだけで車輪を駆動する。液体変速機などの機器が不要となり、メンテナンス作業の省力化が可能である。

図っている。

(3) 省メンテナンスに対応

シリーズ・ハイブリッド方式により、従来の気動車で高いメンテナンスコストを要する液体変速機などの機器が不要となるほか、電気車と機器が共通化できるので、メンテナンス作業の省力化、検査機器など保有機器の有効活用が可能である。

3.3 ハイブリッド動力システムの制御

(1) 力行・ブレーキ時のシステム協調

二次電池出力とエンジン出力を走行状態に応じて制御する。

(a) 力行時: 低速域は電池だけで力行し、中高速域はエンジン発電で出力を補足する。

(b) ブレーキ時: エンジン発電を停止し、回生ブレーキ制御によって回生電力を蓄電する。

(c) 抑速運転: ブレーキ発電電力をエンジンブレーキで消費し、電気ブレーキ力を確保する。

(d) 停車中: 駅構内および周辺への騒音防止と燃費向上のためアイドルを停止する。

(2) 定電力型コンバータ制御

ハイブリッド動力システムでは、直流部エネルギー収支を電力で管理する定電力型コンバータ制御を適用した。

これは、コンバータ・インバータ間の直流部電圧が二次電池蓄電量に応じて増減するので、従来の定電圧型コンバータ制御では充放電制御ができないからである。今回、直流部エネルギー収支を電力値で管理する定電力型コンバータ制御を新たに開発したことにより、適切な充放電制御を可能とした。

(3) エンジンブレーキ制御

ハイブリッド動力システムでは、下りこう配の定速度制御(抑速運転)にエンジンブレーキを併用する抑速エンジンブレーキ制御を適用した。シリーズ・ハイブリッド方式では、電動機・インバータのブレーキ発電電力でコンバータ・発電機を逆駆動し、

エンジン負荷でエネルギーを吸収するエンジンブレーキにより、車両速度によらずにエンジンブレーキパワーが設定できる。この特長により、ハイブリッド動力システムでは、どのような走行状態でも安定した抑速運転ができる。

4 最近の車両電気システム

4.1 小型冷却システム

新幹線電車用制御装置では、パーフロロカーบอนを密封したアルミ製のラジエタの端面に半導体素子(IGBT)を取り付けて、ブローでラジエタに送風することによって素子を冷却している。このため、ラジエタと素子(周辺電気品を含む。)で構成する大型冷却ユニットが主変換装置の中央部を独占し、大きなスペースを要している。新幹線の高速化には機器自体の小型・軽量化が必要である。

この課題を解決する技術として、水冷アルミプレート両面に素子を含めた電気品を構成してパワーユニットの小型化を図り、かつ床下機器間の空いたスペースにラジエタを配置することにより、スペースを有効利用することができる水循環冷却方式を考案した。

開発した冷却システムの外観を図4に示す。現行の主変換装置用パワーユニットに対し、約40%の小型化を図った。

このパワーユニットは、パーフロロカーบอนの使用を廃止し、冷媒に水を使用することによって環境性の向上を図っている。また、フィルタコンデンサの乾式化(脱オイル)による環境性の向上、保守低減を目指した主回路ワンタッチ接続構造などを採用した。

4.2 速度センサレス全電気停止ブレーキ

鉄道車両インバータは、主電動機に取り付けられた速度セ

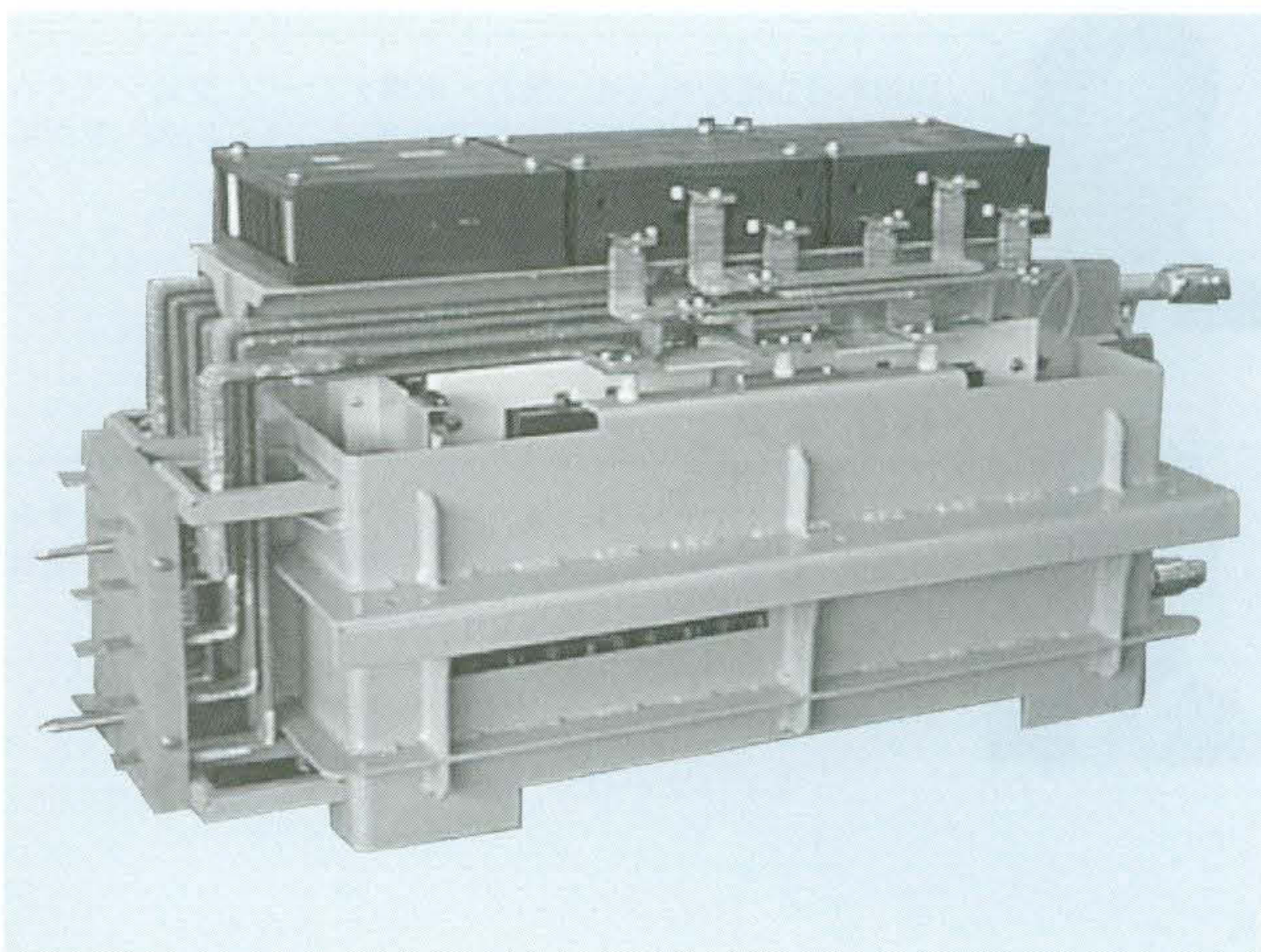


図4 小型冷却システム

現行の主変換装置のパワーユニットを約40%小型化し、環境性改善、保守低減を図っている。

ンサによって検出したロータ回転周波数に基づいて、出力電圧と周波数を制御している。速度センサは、振動や温度の面で厳しい環境下に設置されるので、定期的な保守が必要となる。

インバータ電圧や主電動機電流などからロータ回転周波数を推定することにより、速度センサを省略しても従来の速度センサ付き制御と同等な制御性能が図れる速度センサレス制御が、実用化段階に至っている。この速度センサレス制御により、保守作業が軽減でき、省線化による信頼性が向上できる。

一方、停止までインバータによって制動を行う全電気ブレーキが近年普及しつつある。この全電気ブレーキにより、停止精度の向上やブレーキシューの磨耗低減などが期待できる。しかし、速度センサレス制御は、主電動機の誘起電圧を利用して速度推定を行うことから、速度ゼロ付近の極低速では速度推定誤差が大きくなり、トルク精度が悪化するという課題があり、全電気ブレーキの実現は困難とされていた。

日立製作所は、この課題に対応するために、極低速でも安定したトルク制御が行える新しい速度センサレス制御方式を開発した¹⁾。この結果、速度センサレス制御でも全電気ブレーキが可能となった(図5参照)。

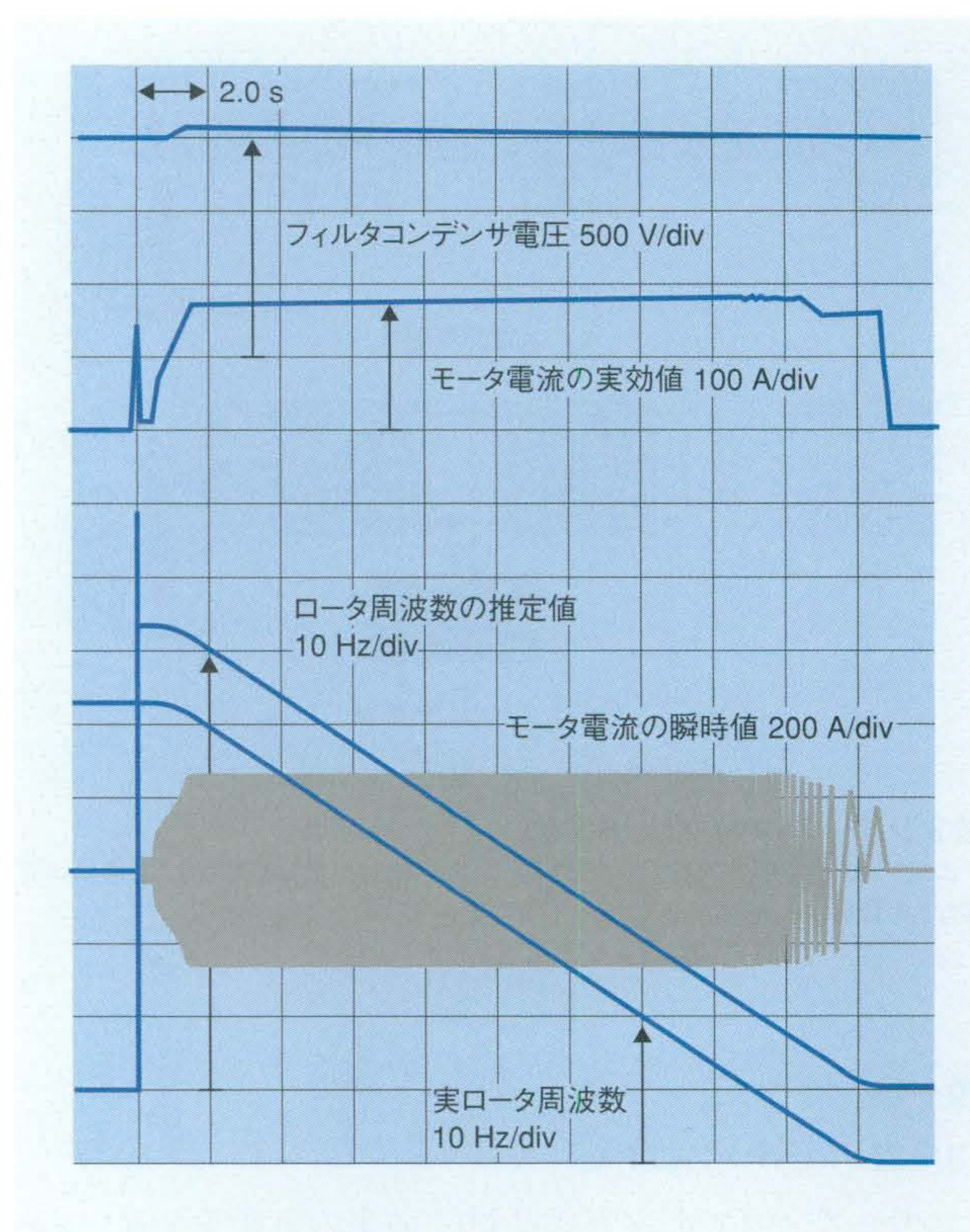


図5 速度センサレスベクトル制御での全電気ブレーキ動作波形

極低速でも安定したトルク制御を実現したことにより、従来困難とされていた、速度センサレス制御による全電気ブレーキを可能とした。

5 おわりに

ここでは、車両電気システムの新たなニーズに対応する、ハイブリッド動力システム、小型冷却システム、および車両制御技術について述べた。

日立製作所は、これからも技術開発を推進し、車両電気システムのいっそうの保守性、効率の向上、環境性の改善、小型・軽量化を図るとともに、新たなニーズにこたえるための

技術開発に取り組んでいく考えである。

参考文献

- 1) 小川, 外: 鉄道車両用速度センサレスベクトル制御による現車試験, 2003年電気学会全国大会, 5, 296~297 (2003.3)
- 2) 稲荷田, 外: 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, 日立評論, 83, 8, 515~518 (2001.8)

執筆者紹介



金子 貴志

1993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 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の設計に従事
E-mail: tk-kaneko @ 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 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



鯨岡真一郎

1989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 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の設計に従事
E-mail: sn-kujiraoka-te @ 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 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