

鉄道車両に有効な回生電力吸収装置

Regenerating Power Absorbing Equipment for Railway Systems

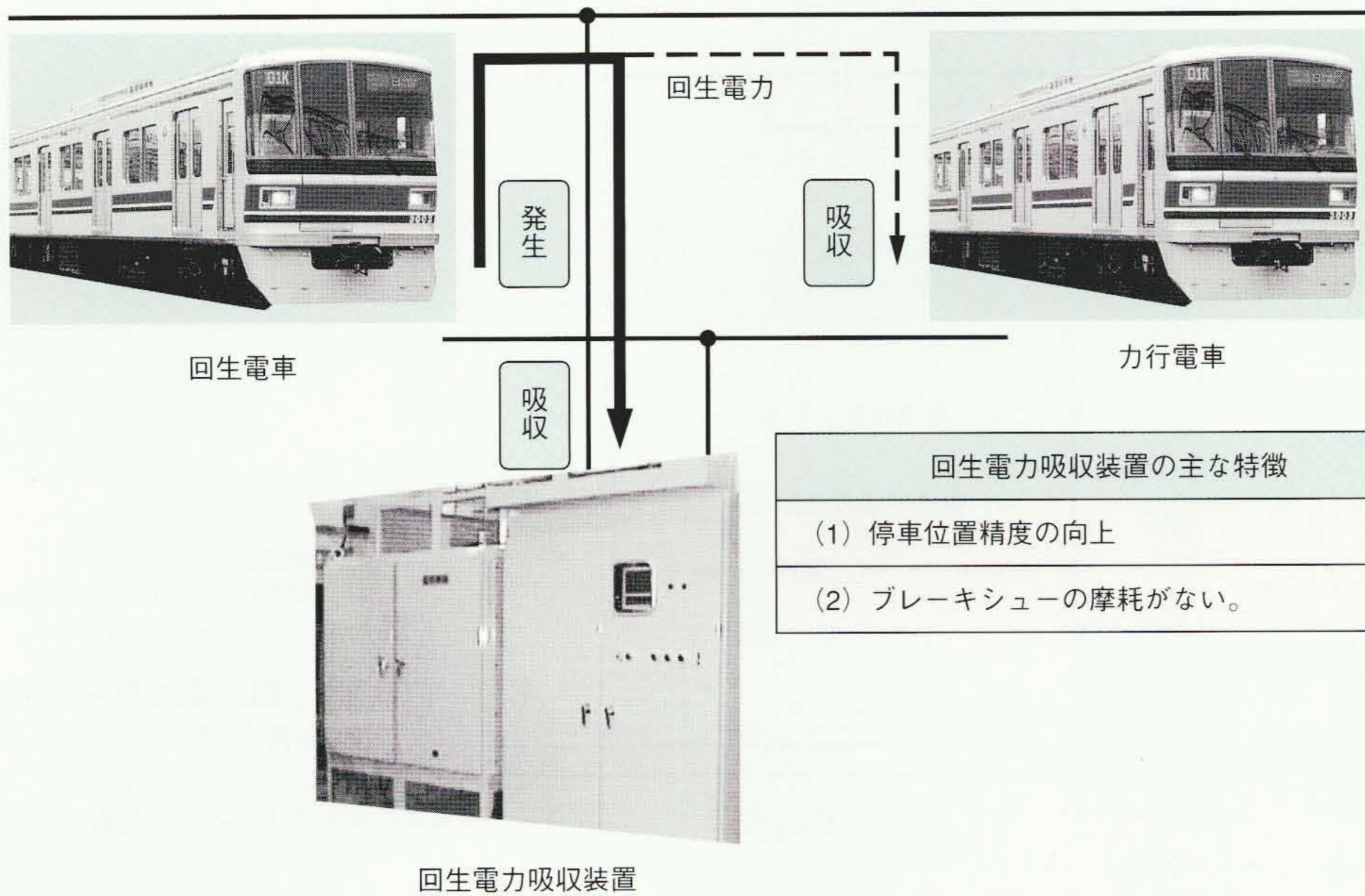
小塩敏貢 Toshitsugu Koshio

石田俊彦 Toshihiko Ishida

江口 弘 Hiroshi Eguchi

加藤哲也 Tetsuya Katô

松竹 貢 Mitsugu Matsutake



回生電力吸収装置を含む電車き電システム

回生電力吸収装置を設置したき電システムでは、回生ブレーキの有効利用による電車の停止位置精度の向上と、ブレーキシューの摩耗軽減を図ることができる。

写真の電車は東京急行電鉄株式会社の3000系電車である。

電車では、回生(電車の減速)ブレーキを有効に使用することにより、目標停止位置のオーバーランを防止し、また、空気ブレーキシューの摩耗を軽減できる。回生ブレーキを有効にするには余剰回生エネルギーを吸収する必要がある。これには、近くに力行(電車の加速)電車がいるか、回生インバータや回生電力吸収装置(チョップアップ抵抗など)が必要である。回生電力吸収装置は高圧配電システムの負荷がない場合でも有効であり、設置場所の制約を受けにくいなどの特徴がある。

日立製作所は、今回、高圧大電流IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)素子を使用し、ヒートパイプで冷却する回生電力吸収装置を開発した。これを東京急行電鉄株式会社でフィールド試験に入れ、回生電力吸収装置の有効性を確認した。

1 はじめに

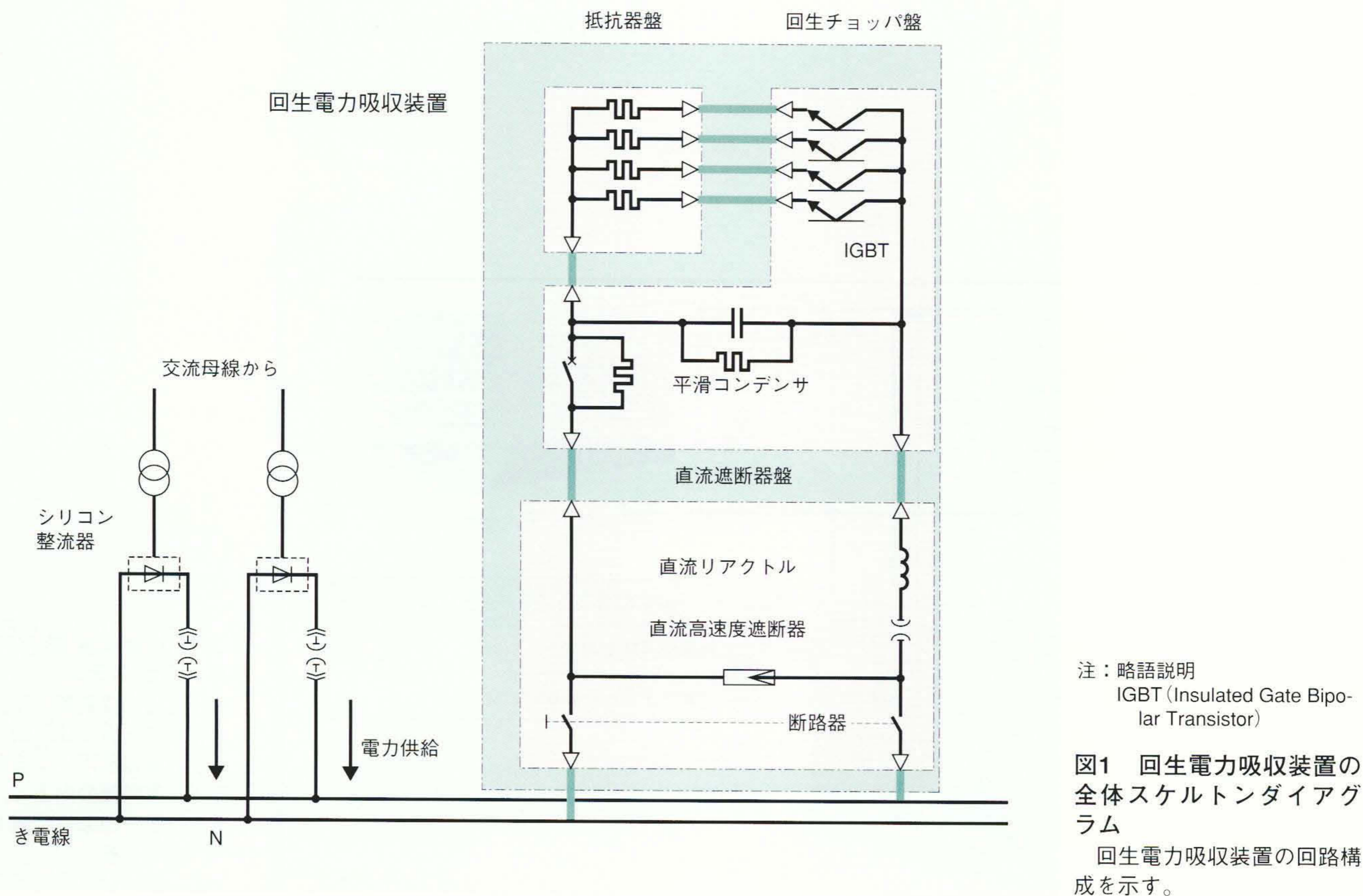
電車では、回生ブレーキの有効利用によって電車停止位置精度を向上させ、空気ブレーキシューの摩耗を少なくでき、メンテナンスの軽減を図ることができる。回生ブレーキを有効に利用するには、近くに力行電車がいるか、地上側の設備に回生電力を吸収する装置が必要である。回生電力を吸収する方法として、(1) 回生ブレーキによって発生した直流電気エネルギーを交流に変換し、駅構内などの高圧配電システムの負荷に供給する「回生インバータ」と、(2) 高配負荷がない場合でも適用が可能な「回

生電力吸収方式」がある。今回、回生電力吸収装置を開発し、東京急行電鉄株式会社でフィールド試験を実施した。

ここでは、この製品の概要と、フィールド試験の結果について述べる。

2 製品の概要

今回開発した回生電力吸収装置の全体スケルトンダイアグラムを図1に示す。この装置は、断路器、直流高速遮断器、直流フィルタ(直流リアクトルと平滑コンデンサ)、IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)アセンブリと抵抗器、および制御装置で構成する。IGBTア



センブリと抵抗器は、回生電力量に応じてIGBT素子のオンとオフの期間の比率(通流率)を変えることにより、抵抗器に消費させる電力量を制御する。制御的には、平滑コンデンサの電圧が一定となるように定電圧制御を行うことによって通流率を制御する。また、直流フィルタは、き電線側に流出する高調波電流を抑制する。直流高速度遮断器は、万が一装置内で短絡が生じた場合に、事故電流を遮断する働きをする。

3 製品の特徴

今回製品化した回生電力吸収装置は、以下の特徴を持つ。

- (1) 主回路は、部品点数が最小限となる構成とした。
 - (a) 大容量IGBT(3.3 kV, 1.2 kA)を採用し、IGBT素子構成は4並列とした。
 - (b) IGBT周辺の配線を高圧ラミネートブス化することによって極低インダクタンス化を図り、スイッチング時のサージ電圧を抑制した。これにより、IGBTオフ時の損失が軽減できた。
 - (c) IGBT素子の冷却は、環境問題に配慮して、純水

を使用したヒートパイプ方式とした。また、冷却ファンなどを使用しない自冷方式とし、低騒音化と省保守化を図った。

- (2) 制御は全デジタル化することにより、以下のことが可能となった。

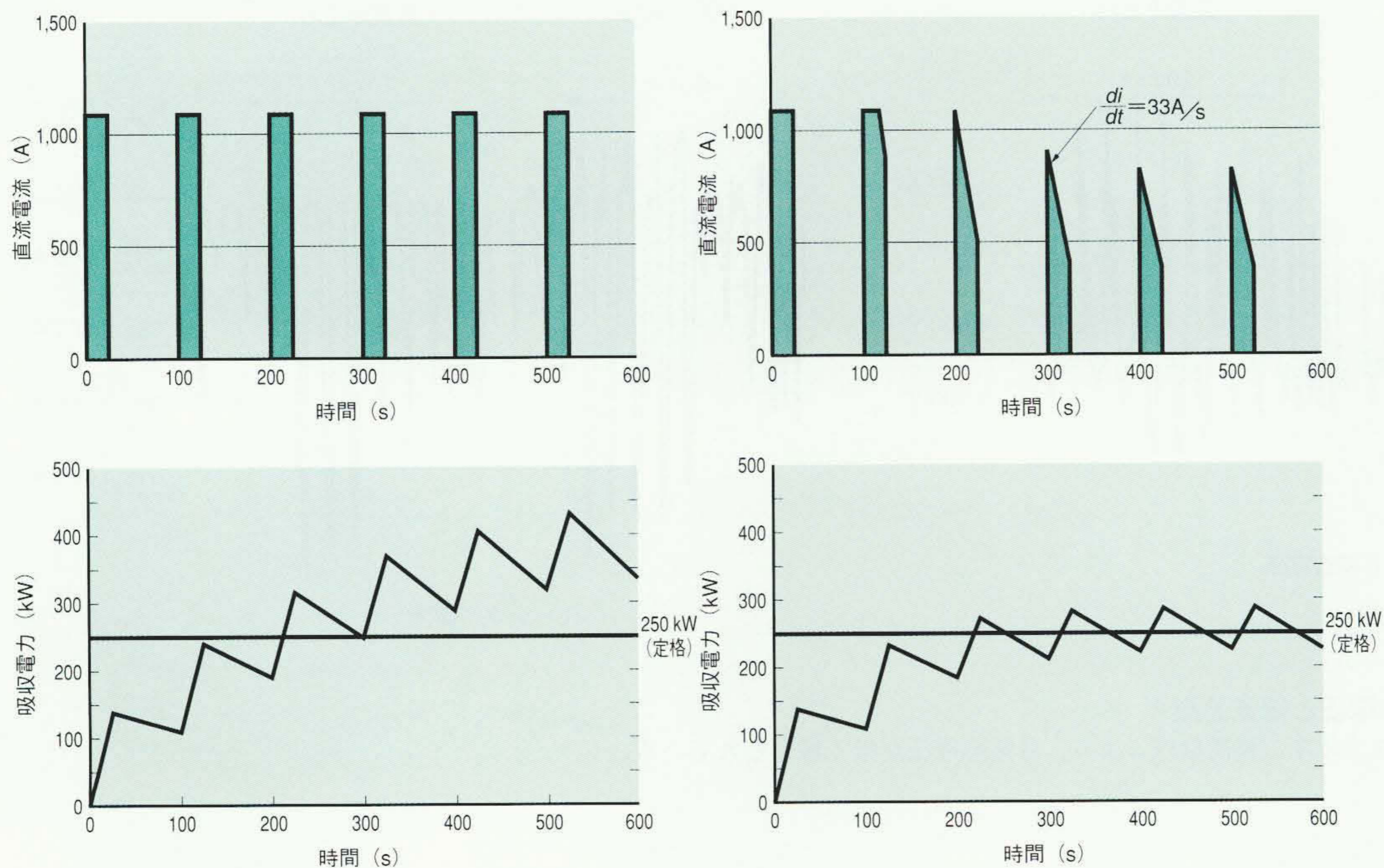
(a) 制御には32ビットRISC(Reduced Instruction Set Computer)SHマイコンを使用し、調整の簡易化やドリフトレス化などを図った。

(b) 万が一の故障時のデータ記録が可能なトレースバック機能を装備することにより、原因究明の容易化を図った。

- (3) システム的には、誘導障害対策と容量の最適化を図った。

(a) 誘導障害対策のために、IGBTのキャリア周波数を、12相整流器の整流リップルと同一周波数に設定した。

(b) まれな過負荷を想定して装置本体をつくると装置の大型化につながるため、過負荷時に回生電力吸収装置の容量に応じてIGBTの通流率を下げ、装置が過負荷にならない機能を装備した。この過負荷抑制制御方式のシミュレーション結果を図2に示す。



(a) シミュレーション結果(1):過負荷時の絞り込み制御なしの場合(現状) (b) シミュレーション結果(2):過負荷時の絞り込み制御を入れた場合

図2 過負荷抑制機能のシミュレーション結果

過負荷時にIGBTの通流率を制限し、過負荷を抑制する。

4 フィールド試験

開発した回生電力吸収装置の効果を確認するため、東京急行電鉄株式会社つきみ野変電所にこの装置を設置して、5か月間にわたるフィールド試験を実施した。

フィールド試験に用いた製品の仕様は以下のとおりである。製品の外観を図3に示す。

- (1) 容量：250 kW
- (2) 定格直流電圧：DC1,650 V
- (3) 定格：100%連続，800% 30秒
- (4) 制御：電流制限付き定電圧制御方式

この装置の動作時のき電線電圧と直流電流波形を図4に示す。この装置を使用しないときに比べて、き電線電圧が低く抑えられていることがわかる。回生ブレーキによって発生するエネルギーを吸収する他の力行電車が近くにいないときは、回生ブレーキをかけることにより、き電線電圧は上昇する。この電圧がおおむね1,800 Vを超えると、ブレーキは、暫時、回生ブレーキから空気ブレーキに切り替わる。この回生失効レベルである1,800 Vを超える回数を、この装置の停止・動作時にカウントした。その結果、この装置の動作時には1,800 Vに達した回数が約 $\frac{1}{10}$ に低減できた。ただし、回数には、回生失効には至

らないサージ電圧もカウントした。このため、実際に回生失効したかどうかを車上で調査した。この結果を表1に示す。今回の車上で調査は、回生失効が比較的多い末端の区間と、列車運行密度の小さい夜間の時間帯を対象に行った。これまでは、回生失効が15%発生していたが、この装置を運転することにより、回生失効がなくなったことを確認した。



図3 回生電力吸収装置の外観
250 kW 800% 30 sの仕様としている。

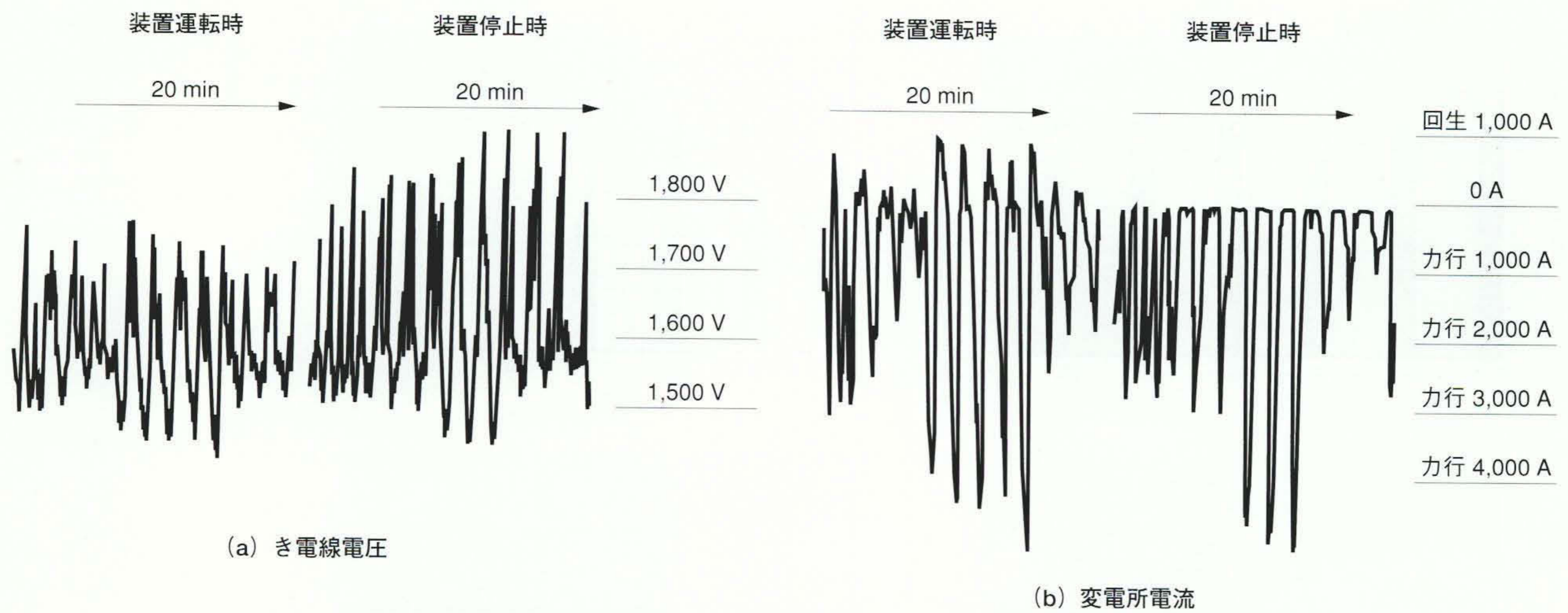


図4 フィールド試験時の電圧と電流波形

装置運転・停止時のデータを示す。装置動作により、き電線電圧が低く抑えられている。

表1 回生動作状況

フィールド試験により、回生電力吸収装置の有効性を確認した。

回生動作	装置停止	装置運転
正常	85%	100%
回生失効	15%	0%

5 おわりに

ここでは、日立製作所が最近製品化した回生電力吸収装置と、この装置の有効性を検証するために行った東京急行電鉄株式会社でのフィールド試験の概要について述べた。

今後も、鉄道システムに有効なインフラストラクチャーの製品化を強力に推進していく考えである。

執筆者紹介



小塩敏貢

東京急行電鉄株式会社 電力司令所 司令長



江口 弘

東京急行電鉄株式会社 変電区 助役



松竹 貢

1973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 日立生産本部 パワーエレクトロニクス部 所属
現在、モータドライブシステムの設計に従事
電気学会会員

E-mail: mitsugu_matsutake @ pis. hitachi. co. jp



石田俊彦

1983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 日立生産本部 パワーエレクトロニクス部 所属
現在、電力変換装置の設計に従事
電気学会会員

E-mail: toshihiko_ishida @ pis. hitachi. co. jp



加藤哲也

1989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 日立生産本部 パワーエレクトロニクス部 所属
現在、電力変換装置の設計に従事

E-mail: tetsuya-a_katou @ pis. hitachi. co. jp