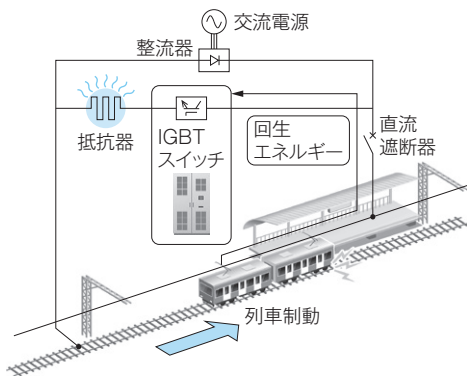


回生抵抗装置の開発

高橋 慎 Shin Takahashi

キーワード 回生電力吸収装置、回生失効、直流き電

概要



IGBT: Insulated Gate Bipolar Transistor

システム概要

電気鉄道の列車回生時に発生する回生失効対策製品として、当社には電力貯蔵するキャパポスト・直流を交流に変換して再利用する回生インバータ・電流を熱に変換する回生抵抗装置カイセイプラスがあるが、カイセイプラスの機能を見直しコストダウンした新回生抵抗装置を開発した。

カイセイプラスとの主な違いは、回路方式を段階制御にしたことで設備を簡略化し、冷却方式を自冷式にした。さらに、海外向けでは電磁両立性も考慮している。本製品で、新たな市場を開拓する。

1 まえがき

電気鉄道のブレーキには「機械ブレーキ」や「回生ブレーキ」などがある。機械ブレーキは運動エネルギーを摩擦エネルギーに変えて制動し、回生ブレーキはモータを発電機のように利用し、運動エネルギーを電気エネルギーに変えて制動する。機械ブレーキはブレーキパッドの消耗が列車のメンテナンスコスト上昇につながるため、回生ブレーキが多く使われている。

当社は直流の回生失効対策製品として、回生エネルギーを電気二重層キャパシタにためて再利用する「キャパポスト」、交流に変換し交流配電設備に供給する「回生インバータ」、抵抗器に流して放熱させる「カイセイプラス」の三つの方式をラインアップしていた。しかし、列車の運行状況や費用対効果を考慮し、導入・採用を見送られるケースがあった。本

稿では、回生電力対策製品のうちカイセイプラスの機能を見直し、コストダウンした新回生抵抗装置の特長と機能を紹介する。

2 カイセイプラスとの機能比較

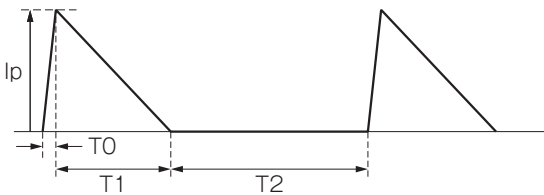
2.1 定格仕様

第1表に新回生抵抗装置の国内仕様・海外仕様及びカイセイプラスの定格仕様の比較を示す。**(第1表の「時間」項目のT0・T1・T2は、第1図の回生波形モデルを参照。)** カイセイプラスは海外市場向けのため、定格電圧DC750Vのみであるが、新回生抵抗装置はDC750Vと国内向けのDC1500Vの機種も開発した。**第1表**の定格電流では、国内向けが2000A・3000A・4000A、海外向けが3000A・4000A・5000Aとなるが、**第2図**で示すように3000Aの定格電流では、スイッチを3台実装するこ

第1表 定格仕様比較表

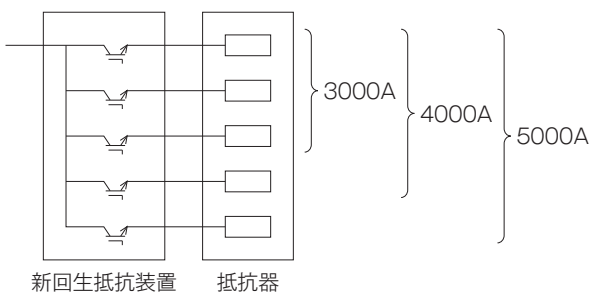
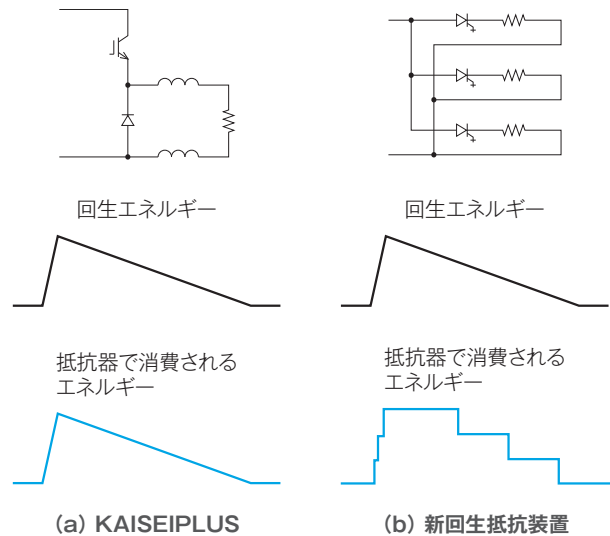
新回生抵抗装置の国内仕様・海外仕様及びKAISEIPLUSの定格仕様の比較表を示す。

項目	新回生抵抗装置（国内向け）	新回生抵抗装置（海外向け）	KAISEIPLUS（現行機）	備考
準拠規格	JEC2440-2014	IEC60146-2-1999	IEC60146	
定格種別	S種	S種	S種	
公称電圧 (V)	1500	750	750	
定格電流 I_p (A)	2000 3000 4000	3000 4000 5000	2600 3600 4500	電流ピーク
時間 T0 (ms)/T1 (s)/T2 (s)	50/30/150	50/20/100	100/20/100	※第1図 参照
入力	標準設定電圧 (V)	1600	800	750
	回生開始電圧 (V)	1540~1800	770~850	770~850
	最大電圧 (V)	2000	900	900
回路方式	段階制御	段階制御	PWMチョップ方式	
構造	設置場所	屋外	屋内	屋内
	冷却方式	ヒートパイプ式自冷	気中自冷	風冷
環境	標高	1000m以下	1000m以下	1000m以下
	周囲温度 (°C)	-20~40	-5~40	-5~40
	相対湿度 (%)	15~100	15~95	15~95
その他	運転回数 20回/時間 最大1200回/日	300回/日 最大1200回/日	300回/日	



第1図 回生波形モデル

車両回生時の波形モデルを示す。



第2図 新回生抵抗装置構成

定格電流とIGBTの台数の関係を示す。

とで回生抵抗装置のスイッチ数で定格電流を調整している。

2.2 回路方式

KAISEIPLUSとの主な違いは、回路方式である。

第3図 KAISEIPLUSと新回生抵抗装置の違い

KAISEIPLUSと新回生抵抗装置の違いを示す。

KAISEIPLUSはパルス幅変調（PWM）チョップ方式であるが、新回生抵抗装置は段階制御方式となる。第3図にKAISEIPLUSと新回生抵抗装置の違いを示す。列車の回生エネルギーは、横軸に時間、縦軸にエネルギーの強さを示し、ブレーキをかけると同時に直線的に立ち上がり、ピークを迎えるとただちに下がる三角波形になる。これに対し、

KAISEIPLUSではPWM制御によって同じような三角波に制御され、エネルギーが回収される。新回生抵抗装置では階段状に制御される。ここが大きな機能の違いとなるが、段階制御することで回路が単純になり、コストを削減できる。

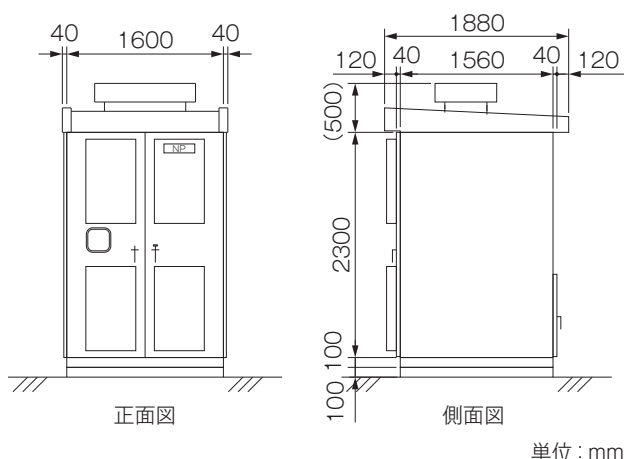
2.3 冷却方式

新回生抵抗装置では冷却方式を見直し、自冷式（自然換気）としている。KAISEIPLUSは風冷式（強制換気）であったが、段階制御とすることで発生損失が減り、自冷式にできた。メンテナンス時のファン交換など不要になるため、ライフサイクルコストも低減できる。第1表の運転回数に示すように、運転を繰り返す条件で熱サイクルを考慮し、最適な平形のIGBT素子を採用した。国内向け

は屋外設置を考慮しヒートパイプ式冷却とした。海外向けは屋内設置であるため、気中自冷とした。これにより、導入コスト、メンテナンスコストを抑えることができた。

2.4 機器外形

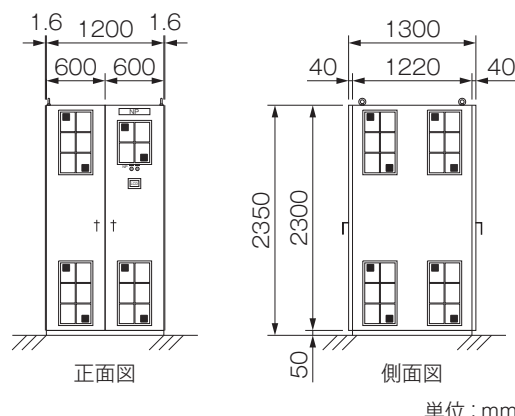
第4図に国内向け、第5図に海外向け新回生抵抗装置の外形を示す。



単位：mm

第4図 国内向け新回生抵抗装置の外形

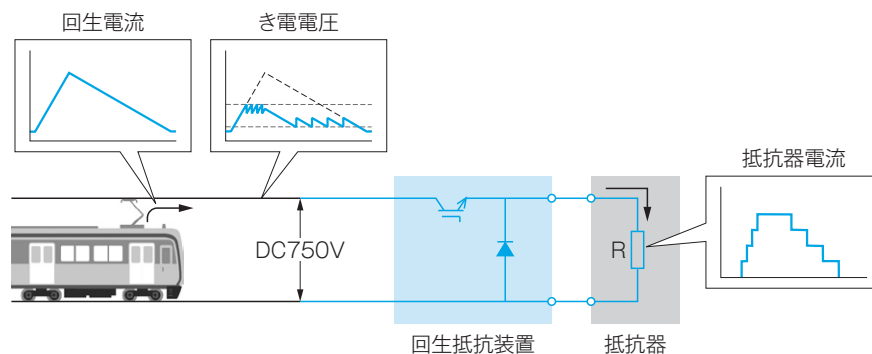
国内向けの新回生抵抗装置（定格電流3000A）の外形を示す。



単位：mm

第5図 海外向け新回生抵抗装置の外形

海外向けの新回生抵抗装置（定格電流3000A）の外形を示す。



第6図 新回生抵抗装置の動作概要

新回生抵抗装置の動作概要を示す。



第7図 EMC試験の様子

EMC試験時の様子を示す。

抗のスイッチを入れていく。回生エネルギーが大きい場合には4段のスイッチが連続して投入され、ピークに達した後、段階ごとにスイッチを開放している動作が分かる。抵抗器にはスイッチが入るごとに電流値が階段状に上がり、その後、階段状に下がっている。

4 電磁両立性 (EMC)

半導体式の電力変換装置にはIGBT素子などの半導体製品が多く使われている。半導体製品は周りの電磁波に影響を受け、自身も電磁波を出しているためEMCを考慮して設計する必要がある。海外向けでは、お客様仕様書にEMCの第三者試験機関での認定を求められることがあり、EMCを考慮し試験を受けている。第7図に試験中の様子を示す。

5 むすび

当社は、これまでお客様の要求に合わせ多様な回生抵抗装置を開発してきたが、今回、コスト面でお客様が導入しやすい機種を開発した。これにより、コスト面の問題で採用されなかった市場への参入が期待される。

今後、国内外ともに本装置を納入し、鉄道の安全・安定運転に貢献する所存である。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《執筆者紹介》



高橋 慎
Shin Takahashi

変電技術部電鉄技術部
電鉄用配電設備のエンジニアリング業務に従事