

# 電力貯蔵鉄道用変電システム

Energy Storage for Traction Power Supply System

高橋 弘隆 Hirotaka Takahashi

伊藤 智道 Tomomichi Ito

加藤 哲也 Tetsuya Kato

郡司 藤雄 Fujio Gunji



図1 稼働開始した蓄電池式回生電力吸収装置の外観

稼働開始した蓄電池式回生電力吸収装置の外観を示す。左奥からチョップ盤(フィルタ盤・整流盤構成)、蓄電池盤、直流スイッチギアの配置となっている。

これまで、鉄道用変電システムでは環境に配慮したシステムをめざし技術開発を進めてきたが、今後ますます深刻化する地球温暖化問題に対応すべく画期的なシステムの構築が望まれている。

日立製作所は、ハイブリッド自動車用で使用されているリチウムイオン電池を適用し、回生電車の回生電力を貯蔵して有効利用することが可能な新しい回生電力吸収装置を開発、実用化した。また、このシステムは、貯蔵電力を電車の力行運転時の電線電圧降下対策やピークカットにも効果を発揮できるものになっている。

さらに、装置設置にあたっては、導入計画前に電力シミュレータにより、最適なシステムを評価、提案することが可能である。

## 1.はじめに

近年、鉄道用変電システムには、環境調和、省エネルギー、省スペース化などのニーズが高まっている。

特に、環境調和については、全世界で地球温暖化問題がクローズアップされており、従来の省エネルギー対策以上の効果を上げるべく画期的なシステムの構築が必要になっている。

日立製作所は、このような社会的なニーズに応え、地球温暖化ガス排出削減の基本理念の下に、ハイブリッド自動車などに使用されているリチウムイオン電池(以下、Li電池と言う。)を適用した蓄電池式回生電力吸収装置(以下、B-CHOPと言う。)を開発し、現在納入サイトにおいて順調に稼働中である。

ここでは、これらの製品の概要と導入時のエンジニアリングツールについて述べる(図1参照)。

## 2. 開発の背景

日立製作所は、1985年から回生失効対策として、回生インバータ装置や抵抗式回生電力吸収装置を順次開発し、鉄道用変電所に納入してきた。

しかし、各装置とも表1に示すように長所短所があるため、どちらの長所も備え、省エネルギー効果が発揮できる蓄電池式回生電力吸収装置を今回開発した。

表1 回生装置の比較

回生インバータ装置、抵抗式回生電力吸収装置、蓄電池式回生電力吸収装置の比較を示す。

No	項目	回生インバータ装置	抵抗式回生電力吸収装置	蓄電池式回生電力吸収装置(今回開発品)
1	回生方式(回生電力の利用可否)	回生電力は交流系統の付帯負荷利用する。または、電力会社へ戻す。	回生電力は、抵抗器で熱として消費する。回生電力は利用できない。	蓄電池で回生電力を貯蔵する。貯蔵した電力は力行電力として再利用できる。
2	電圧降下対策への適用可否	(不可)	(不可)	(可) 貯蔵した電力を力行電力として供給
3	設置場所の制約の有無	(あり) 付帯設備を備えた変電所	(なし) 回生失効の多い場所に設置可能	(なし) 回生失効の多い場所や電圧降下の起きている場所に設置可能
4	付帯設備の要否	(要) ●インバータ用変圧器 ●高調波フィルタ ●進相コンデンサ	(不要)	(不要)
5	省エネルギー貢献度	●回生電力を付帯負荷などへの有効利用可能 ●機器損失:比較的大 ●省エネルギー効果:あり	●回生電力を熱として消費 ●省エネルギー効果:なし	●回生電力を電車力行電力として利用 ●省エネルギー効果:大

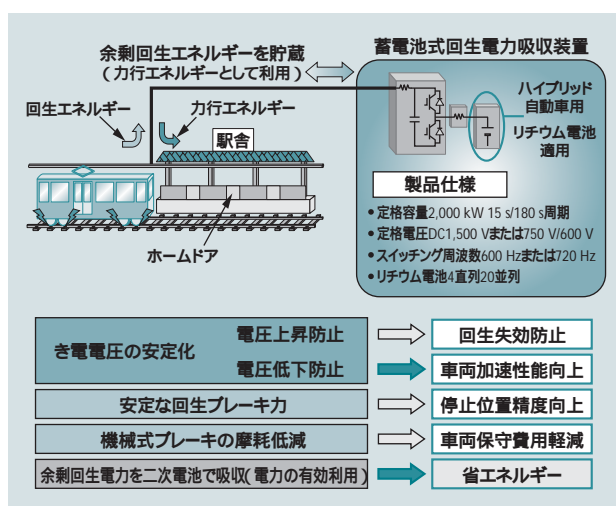


図2 蓄電池式回生電力吸収装置の概要

回生インバータ装置と抵抗式回生電力吸収装置の長所を備える蓄電池式回生電力吸収装置の適用効果を示す。

適用効果としては、き電電圧の安定化による回生失効防止対策とともに、電圧降下対策(車両加速性能向上)を実現できる装置とした。また、き電電圧の安定化により、回生ブレーキ力が安定となり、電車の停止位置精度向上も可能となり、合わせて機械式ブレーキの摩耗低減などが期待できる。蓄電池式回生電力吸収装置の適用効果概要を図2に示す。

## 3. 蓄電池の選定

車両の回生電力は急峻(しゅん)に立ち上がる特性を持っている。したがって、適用する蓄電池の選定には電力吸収時の充電特性、逆の放電特性が鍵になる。これらの特性を加味して各種二次電池を比較し、電池の特性および寿命などのデータを採取し、Li電池を蓄電池として適用することとした。

Li電池の特徴は、電気二重層キャパシタやニッケル水素電池と比較してエネルギー密度・出力密度が高く、小型・軽量であり、他の蓄電媒体と比較して優位なことから、急速な充放電を繰り返す用途に製作されており、電鉄負荷への使用に最適なことである。

また、使用材料の改良などによって長寿命化技術が確立されており、変電所での設置環境や負荷条件で15年以上使用が可能であり実用上問題はない。

今回使用するLi電池は、ハイブリッド自動車などに使用する汎用電池を使用している(図3参照)。今後、ハイブリッド自動車などの環境に配慮した自動車の導入促進が加速すれば、量産効果によりLi電池のコストダウンが期待できる。

## 4. 製品仕様と適用

### 4.1 製品仕様

製品化したB-CHOPの仕様は以下のとおりである。

- (1) 定格容量:2,000/1,000/500 kW(180 s周期で20秒運転)
- (2) 定格電圧:1,650 V(ただし、充電開始/放電開始電圧は



図3 リチウムイオン電池モジュール(日立ビークルエナジー株式会社製)ハイブリッド自動車用のリチウムイオン電池を使用している。モジュール定格は170 V 5.5 Ahである。

表2 蓄電池式回生電力吸収装置の仕様  
製品化した装置の基本仕様を示す。

No	定格電圧 <sup>*1</sup> (V)	定格容量 (kW)	定格電流 (A)	負荷パターン <sup>*2</sup>	リチウム電池			変換器	
					モジュール 定格	モジュール 構成	定 格	IGBT構成	周波数 <sup>*3</sup>
1	1,650	500	300	300 A 10 sec + 150 A 10 sec(充電) 150 A 30 sec(放電)	170 V 5.5 Ah	4S × 5P	680 V 25 Ah	2並列	600/720 Hz
2	1,650	1,000	600	600 A 10 sec + 300 A 10 sec(充電) 300 A 30 sec(放電)	170 V 5.5 Ah	4S × 10P	680 V 50 Ah	4並列	600/720 Hz
3	1,650	2,000	1,200	1,200 A 10 sec + 600 A 10 sec(充電) 600 A 30 sec(放電)	170 V 5.5 Ah	4S × 20P	680 V 100 Ah	6並列	600/720 Hz

注:略語説明ほか IGBT( Insulated Gate Bipolar Transistor )  
 \* 1 充電開始/放電開始電圧は可変可能(現地/オプションで遠方切り替え機能あり)  
 \* 2 基本パターンを示す。インターバルは180秒周期  
 \* 3 周波数は基本仕様で、現地で変更可能

可変可能)

(3) スwitching周波数:600 Hz/720 Hz

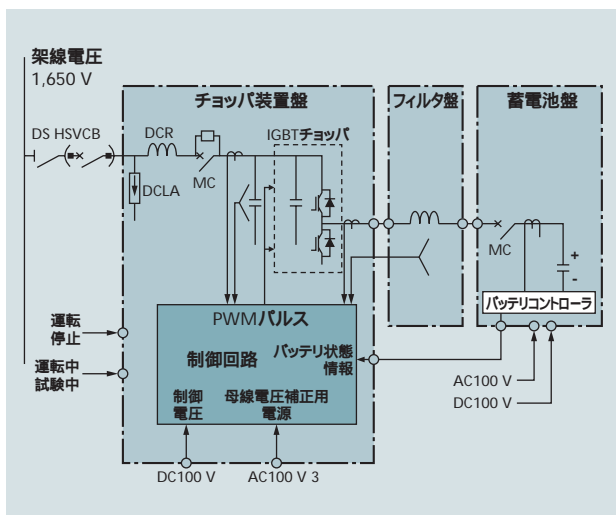
(4) Li電池モジュール構成:4直列20並列(2,000 kWの場合)  
 その他の仕様も含め、表2に示す。

#### 4.2 回路構成

回路構成を図4に示す。装置は、チョッパ装置盤、フィルタ盤、蓄電池盤の3ブロックで構成している。

この装置の大きな特徴は、場所を限定することなく、任意の場所に設置が可能なことである。

チョッピング周波数は、多くの実績がある抵抗式回生電力吸収装置と同様に、12相整流器のリプル周波数、50 Hz地域では600 Hz、60 Hz地域では720 Hzを標準とした。上記周波数で干渉した場合でも容易に周波数を変更でき、他システムと協調がとれるように考慮した。



注:略語説明 DS( Disconnecting Switch ),HSVCB( High Speed Vacuum Circuit Breaker ),DCR( Direct Current Reactor ),DCLA( Direct Current Lighting Arrester ),MC( Mechanical Contactor ),PWM( Pulse Width Modulation )

図4 蓄電池式回生電力吸収装置の概略回路  
製品化した装置の回路構成を示す。

変換器については、3,300 V 1,200 AのIGBT( Insulated Gate Bipolar Transistor )素子を使用し、双方向チョッパを4多重構成として、き電線側と蓄電池側へのリプル電流の減少を図っている。

なお、万一、1系が故障しても残り2系で運転できるように考慮している。

蓄電池はLi電池モジュールが4直列20並列を標準とした。個々のLi電池ではバッテリーコントローラで充電率、内部抵抗などの運転状態監視と保護を行い、この情報はチョッパ装置側に送信され、Li電池に最適な運転制御を実現している。チョッパ装置での運転制御には、Li電池の充放電により、き電線電圧を所定範囲内に制御するためのき電線電圧制御と、待機時には次の充電(回生電力吸収)のために充電率を下げしておく充電率制御を組み込むことにより、き電電圧の一定制御と蓄電池の長寿命化制御を両立させている。

#### 4.3 製品適用

この装置は、変電所に設置する場合と電圧降下の大きい変電所の中間や路線の末端の電圧降下が大きい場所に設置する場合のいずれでも効果を発揮する。

実際のき電システムに1 MWのB-CHOPを接続したときの運用波形例を図5に示す。き電線電圧が1,500 V以下になると放電を開始することで電圧の低下を抑制、またき電線電圧が1,650 V以上になると充電を開始することで、き電線電圧の上昇を抑制し、き電線電圧の安定化に大きく寄与することを確認した。

また、変電所に設置する場合は、従来2バンク設置している変電所に整流設備更新に合わせ、1バンクをこの装置とすることで整流装置の補完および回生電力の吸収が可能となる(図6参照)。この場合、変電所が万一停電になっても、B-CHOPは停電の影響を受けずに運転することができ、蓄電池からの放電による電力供給が可能であることから、変電所付近を走行している電車はそのまま運転を継続できる。

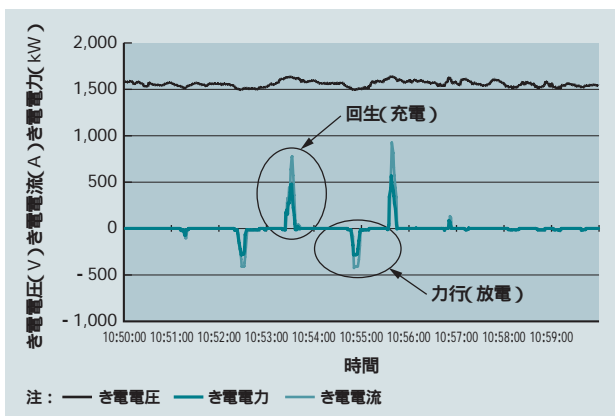
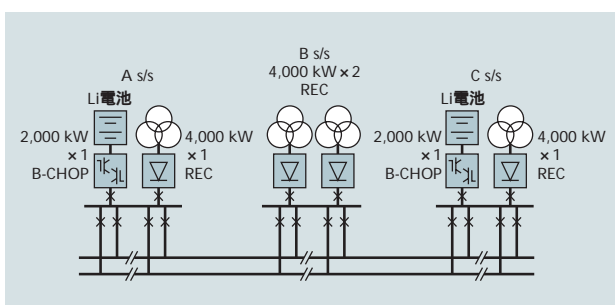


図5 現地測定1sサンプリンググラフ  
当初の性能どおりの充放電機能が働いている。き電電圧は回生電力を吸収し安定させている。電車の力行時に放電し、き電電圧の低下を抑制している。



注:略語説明 REC( Rectifier ), S/S( Sub Station )  
B-CHOR 蓄電池式回生電力吸収装置

図6 導入計画事例  
導入計画の一例を示す。この図はピークカットにも対応できる例である。

#### 4.4 適用導入に対する支援

B-CHOPを必要最低限の投資で有効活用するためには種々のエンジニアリングが必要となる。主なエンジニアリングは以下のとおりである。

- (1) 設置位置の検討
- (2) 装置容量の検討
- (3) 周辺システムとの協調検討

日立製作所は、装置の導入計画を策定するにあたり、設置位置および容量の検討について、鉄道総合電力シミュレータ New-Jumps によって支援を行っている。このシミュレータに、

#### 執筆者紹介



**高橋 弘隆**  
1991年日立製作所入社、電機グループ 交通システム事業部 輸送システム本部 信号・変電システム部 所属  
現在、鉄道変電システムのエンジニアリング業務に従事



**加藤 哲也**  
1989年日立製作所入社、情報・通信グループ 情報制御システム事業部 パワーエレクトロニクス部 所属  
現在、鉄道用変電システム用変換器の開発に従事

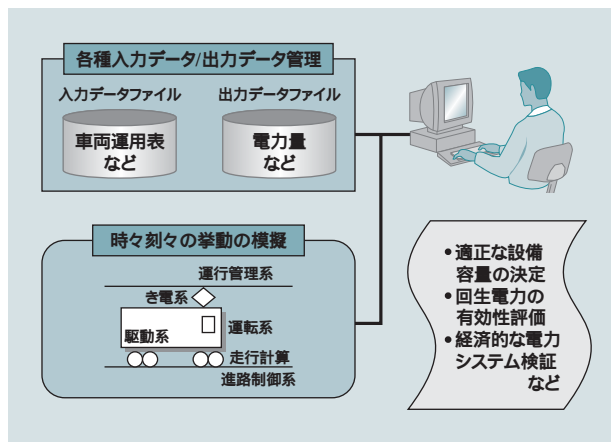


図7 鉄道総合電力シミュレータの概要  
所有していたシミュレータを改良し、エンジニアリングツールも整備した。

電力貯蔵の解析モデルを組み込み、有効利用できる設置場所、必要最低限の容量の算出を実施し、机上にて導入効果を導けるエンジニアリング支援ツールとして整備した。これを活用し、各種ニーズにマッチした、最適なシステム提案ができるようになっている( 図7参照 )。

#### 5. おわりに

ここでは、地球温暖化ガス排出削減をめざした、電力貯蔵鉄道用変電システムについて述べた。

日立製作所は、今後も、全世界的問題の地球温暖化ガス排出削減の社会的ニーズに応えるため、さらに技術の向上を図り、さまざまな変化のスピードに対応した、新しい鉄道用変電システムの研究開発を努めていく考えである。

#### 参考文献

- 1) 高橋:回生電力の有効利用, 鉄道と電気技術(2005.6)
- 2) 伊藤, 外:リチウム電池式回生電力吸収装置の開発, 電気学会 交通・電気鉄道研究会(2005.9)
- 3) 高橋, 外:回生電力の有効利用方法の確立, 第42回サイバネ・シンポジウム, 606(2005.11)
- 4) 井藤, 外:蓄電池式回生電力吸収装置のフィールド試験の概要, 鉄道と電気技術(2007.1)
- 5) 高橋, 外:回生電力の有効利用方法の確立, 鉄道車両と技術(2007.2)



**伊藤 智道**  
2000年日立製作所入社、日立研究所 情報制御研究センター イノベーションセンタ 所属  
現在、電力系統連系用電力変換器の開発に従事  
IEEE会員, 電気学会会員



**郡司 藤雄**  
1994年日立製作所入社、電力グループ 日立事業所 国分生産本部 受変電生産統括部 所属  
現在、鉄道変電システムのエンジニアリング業務に従事