

電気二重層キャパシタを用いた地上用電力貯蔵装置の開発

長谷 伸一(株式会社新陽社 製品開発部長(元 鉄道総合技術研究所 電力技術研究部長))

はじめに

直流電気鉄道における電力貯蔵装置の歴史は古く、明治から大正にかけて鉛電池を用いたバッテリーポスト¹⁾が回転変流器、同期電動機などとの並列運転設備として使用されていました。また、1980年には鉄道技術研究所(現鉄道総合技術研究所)が可部線において、約3年間の試験を行いバッテリーポストが電圧降下の低減に有効である事を確認しています。1988年には回生エネルギーを有効利用するフライホイールを使用した電力貯蔵装置が京浜急行電鉄に設置され現在も稼動しています²⁾。

1990年台後半には、電気自動車に代表される電力貯蔵媒体と、その充放電を制御するパワーエレクトロニクスの発展が著しく、さらに省エネの施策として電力貯蔵装置が注目されるようになりました。鉄道総研として2000年より研究開発を進めた、貯蔵媒体として電気二重層キャパシタ(以下、EDLC)を用いた電気鉄道地上用電力貯蔵装置の開発経緯を述べます。

電力貯蔵装置の概要

電力貯蔵装置は電気鉄道用の変電所、あるいは変電所間に設備されます。図1に示すように、回生ブレーキを搭載した電車がブレーキ時に発生する回生電力を電力貯蔵装置に充電し、電車が加速時には放電して電車に電力を供給することにより、変電所電流を低減できるため、電車線の電圧降下の低減、回生電力の有効利用が可能となります。2000年当時の有力な電力貯蔵媒体としては、リチウムイオン電池とEDLCがありました。それぞれ長短がありましたが、EDLCは、電極と電解液界面に生じるイオン分極か

らなる電気二重層に静電エネルギーを貯蔵する装置であり、化学反応が伴わないため、急速充放電が可能で、短時間出力に適していて、長寿命であるなどの理由から、貯蔵媒体として選択しました。

充放電制御はパワー半導体素子であるIGBTを用いた昇降圧チョッパを採用しました。その主回路図を図2に示します。双方向チョッパ構成としており、電力貯蔵媒体へ充電する場合は、降圧動作を行い、電力貯蔵媒体から放電する場合は昇圧動作を行います。貯蔵装置は、架線電圧が下限設定値以下に低下したとき(電車負荷が生じたとき)に放電(電車へ電力を供給)し、電車が回生ブレーキをかけた際に架線電圧が上限設定値以上に上昇したときに回生電力を充電するように制御されます。また、下限設定値、上限設定値は装置の使用目的(電圧降下対策、回生電力吸収)によって現地負荷実態に合わせて微調整の上決定されます。

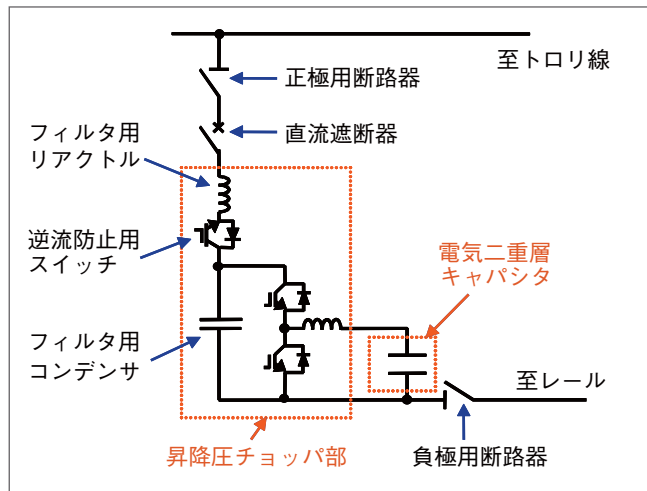


図2 電力貯蔵装置主回路例

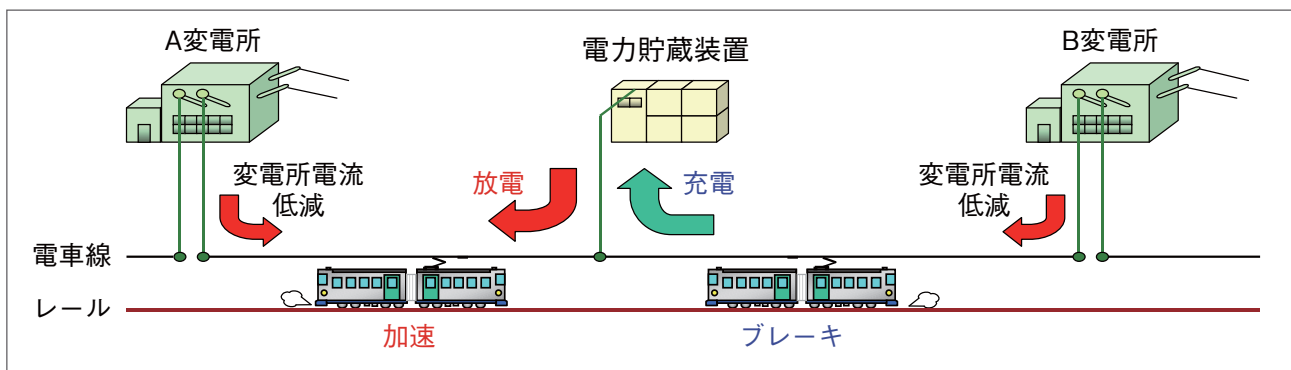


図1 電力貯蔵装置の概念

電力貯蔵装置開発の経緯

開発は、2000年～2002年の3年間に鉄道総研所内実験棟に図3に示すような、直流400V系の模擬き電回路、電車負荷モデル、電力貯蔵装置のミニモデルを試作し、基礎試験を実施し、地上用設備としての電力貯蔵装置の有効性を確認しました。

さらに、2003年度～2004年度には実用化に向けた研究開発を実施しました。2003年度は、直流600V線区において電圧降下補償機能の試験を実施しています。貯蔵装置を2つの変電所間のほぼ中間に設備し、電力貯蔵装置近傍の駅での同時力行時の電圧降下の補償効果を確認しました。この時電力貯蔵装置の基本仕様を検討するため、事前に2つの変電所電流と、電力貯蔵装置設置箇所付近での電圧を測定し、150kW・10秒間の充放電可能な貯蔵装置の容量仕様を決定しました。試験では、電車のノッチ進段時に発生するノイズに電力貯蔵装置が反応し、過電流機能が働くアクシデントがありましたが、電圧降下が補償できることを確認しました。

2004年には直流750V線区において回生吸収機能の確認を目的とした現地検証試験を実施しました。電力貯蔵装置は当該線区の末端駅構内に設備し、この駅に電車が停車する際の回生時、発車する際の力行時の電力貯蔵装置の機能確認を実施しました。電力貯蔵装置容量は500kW・10秒間の連続放電・充電が可能としました。試験では、充放電開始電圧の適切な下限設定値、上限設定値の設定に時間を費やしましたが、最終的には適切に設定が可能となり、充放電バランスが保て回生吸収効果も十分であることが確認されています。日本の直流き電電圧として多く採用されている直流1500Vにおける貯蔵装置および直流き電回路の保護システムに対する信頼性を確認するため、所内検証試験を実施しました。

試験は電力貯蔵装置の充放電の際に生じる高調波電流の起動回路などへの影響、負荷抵抗の投入、開放による過度変動時の挙動、き電電圧変動時の充電・待機・放電モードへの移行、変電所脱落直後の挙動、貯蔵装置近傍における低抵抗地絡時の挙動確認などを行い、電力貯蔵装置は直流き電回路の保護システムに対する信頼性が補償されていることを確認しました。

西武鉄道における実用化³⁾

西武鉄道では秩父線への電力回生プレーキ車両の導入計画に伴い、2007年12月に秩父線の2箇所の変電所に



図3 電力貯蔵装置試験用ミニモデル概観

EDLC(使用電圧範囲512～1280V, 最大電流2000A, 静電容量20.25F)を用いた電力回生吸収装置が導入されました。秩父線は単線区間で正丸駅から吾野駅までは25%以上の連続下りこう配となっている線形であり、回生車導入に伴う回生失効を防止するとともに、省エネルギー、CO₂削減を目的としています。また、EDLCを採用したことにより運用開始後15年間は原則メンテナンスフリーとなっています。

おわりに

今後の電力貯蔵装置の鉄道への適用としては、鉄道の電車負荷のように力行・だ行・回生に伴う大きな負荷変動に対して、それぞれの特徴を生かし、目的(負荷平準化、電圧降下補償、回生電力有効利用)に応じた電力貯蔵媒体を選定することが必要となります。電源事情の悪い特殊な環境を除きコスト的には他のシステムにはまだ劣りますが、今後の電力貯蔵媒体および電力変換装置の発展により、性能アップによる相対的なコスト低下も含めコストの低下が十分期待されます。

日本の鉄道はエネルギー消費効率に関する技術については世界の鉄道をリードすると言われていています。電力貯蔵技術についても貯蔵媒体として何が良いのか、車両側設置での優位性、地上側設置での優位性などの議論も活発に行なわれている昨今であり、制御方法も含め今後の大いなる発展が望まれます。

文献

- 1) 電気鉄道技術発達史：鉄道電化協会、1983
- 2) 交通とエネルギー：電気学会技報、597、1996
- 3) 清水、他：電気二重層キャパシタを用いた電力回生吸収装置の導入、JREA、Vol.51、No.6、2008