

S3-1-3 地上用電力貯蔵装置の信頼性に関する検証

[電] 長谷 伸一 [電] 小西 武史 [電] 中道 好信 ((財) 鉄道総合技術研究所)

Verification of Energy Storage System for Reliability

Shin-ichi Hase, Member Takeshi Konishi, Member Yoshinobu Nakamichi, Member
(Railway Technical Research Institute)

Interest has been shown in the concept of an energy storage system aimed at leveling load and improving energy efficiency by charging during vehicle regeneration and discharging during running. Such a system represents an efficient countermeasure against pantograph point voltage drop, power load fluctuation and regenerative power loss. We selected an EDLC model as an energy storage medium and a step-up/step-down chopper as a power converter to exchange power between the storage medium and overhead lines. This paper gives its experimental characteristics of reliability.

キーワード：電力貯蔵, 電気二重層キャパシタ

Keywords : energy storage, electric double layer capacitor

1. はじめに

直流電気鉄道では、電鉄用変電所からき電線などの送電線やレールを介して車両に電力が供給される。従って、変電所から車両までの距離が長く車両が大きな負荷をとる場合、変電所から車両へ大電流が流れるため、送電線の抵抗分により車両のパンタ点電圧降下も大きくなる。仮にその車両の近くに電力貯蔵装置がある場合、車両の負荷が大きいときに貯蔵装置が放電することにより変電所からの電流が抑制されるため、電圧降下も抑制される。また、変電所電流が抑制されることにより、変電所電力のピークカット効果につながり契約電力量の削減などが期待できる。さらに車両の回生電力が電力貯蔵装置を充電することにより、回生電力の有効利用による省エネルギー効果、車両の回生ブレーキ失効対策にもつながる。2変電所間の距離が長大であり、その間にさらなる変電所を設置することが困難な地域では、電力貯蔵装置の導入が特に有効であると考えられる。これまでに、低圧(直流 600V, 750V)き電の直流電気鉄道に、大容量の電気二重層キャパシタ (Electric Double-Layer Capacitors:EDLC)を用いた電力貯蔵装置を設置し、電圧降下補償もしくは回生電力吸収を目的とした検証試験を実施し、装置の有効性を確認した¹⁾。しかしながら、直流電気鉄道の大部分を占める直流 1500V 系に適用するためには、高圧化に伴う貯蔵装置の注意すべき点を明らかにし、直流き電回路の保護システムに対する信頼性を保証する必要がある。そこで、所内直流 1500V 設備を用

いて、厳しい負荷条件あるいは故障条件を模擬した各種確認試験を実施した。本報告では、試験結果および得られた知見について述べる。

2. 試験概要

2.1 電力貯蔵装置の仕様

今回の直流 1500V 系試験に使用した電力貯蔵装置の仕様を表 1 に、回路図を図 1 に示す。電気二重層キャパシタは、200 個のユニット(1 ユニット当たり最大 125V, 8.5F)で構成され、8 直列 25 並列に接続し、500kW で 10 秒以上の連続放電あるいは充電が可能な容量である。昇降圧チョッパは 2 多重であり、等価チョッピング周波数は 2kHz である。チョッピング周波数に起因する高調波を除去するため、リアクトルおよびコンデンサを接続し、フィルタを構成する。

表 1 電気二重層キャパシタを用いた電力貯蔵装置

電気二重層キャパシタ	使用電圧範囲	500~1000V
	最大電流	600A
	充放電容量	500kW 10 秒
	静電容量	26.5F
	内部抵抗	92mΩ
昇降圧チョッパ	充電電圧範囲	1800~1500V
	放電電圧範囲	1600~1100V
	最大充放電電流(外線側)	400A
	最大充放電電流(キャパシタ側)	600A
	フィルタ用コンデンサ	25,000μF
	フィルタ用リアクトル	1mH

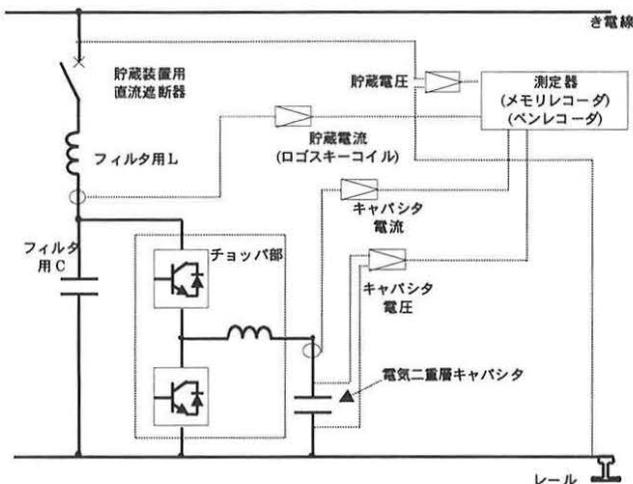


図1 電力貯蔵装置の主回路構成

2.2 試験回路

試験回路を図2に示す。短絡発電機を起動することにより、試験回路に電力を供給する。短絡発電機より供給される電力の周波数は60Hzであり、整流器は1号のみを用いる。空芯リアクトルおよび可変抵抗の定数を変更することにより、変電所から貯蔵装置までの距離を模擬的に変更す

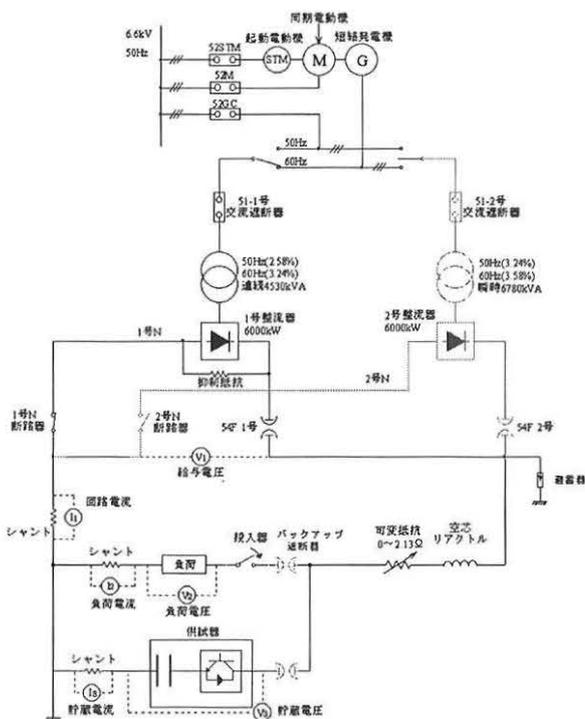


図2 試験回路

る。なお、人工地絡試験の際には、上位系統への擾乱を除

くため、電動機を受電を開放し、系統側と分離した後に実施した。

2.3 試験項目

直流1500V用電力貯蔵装置の試験項目を表2にまとめて示す。

表2 試験項目

項目	確認内容	
3-1	高調波確認	電力貯蔵装置の充放電時に生じる高調波電流を確認する
3-2	過渡変動	負荷抵抗の投入、開放による過渡変動時の挙動を確認する
3-3	制御モード	き電電圧変動時の、各モードへの移行を確認する
3-4	変電所脱着	変電所脱着直後の挙動を確認する
3-5	人工地絡	貯蔵装置近傍における低抵抗地絡時の挙動を確認する

3. 試験結果

3.1 高調波確認試験

電力貯蔵装置の充放電に伴う高調波電流を確認する試験である。充電時は負荷がない状態での特性、放電時は純抵抗負荷(1Ω)接続時の特性を測定した。測定にはログスキューコイルを用い、0~16,000Hzまでの周波数帯における高調波を分析した。

図3に充電時の解析結果を示す。貯蔵装置の充電時、整流器のリプルに相当する周波数成分(360Hz, 720Hz, ...)は比較的大きな高調波電流を示していることがわかる。一方、昇降圧チョップパのチョッピング周波数に起因する高調波電流(2kHz, 4kHz, ...)は、上述の高調波電流よりも概して小さく、踏切制御子に影響を与えない許容最大電流である60mA以上の値は示していない。また、ATCに関連する10kHz以上では10mA以内に収まっており、同様に誤動作を与える電流レベルにはない。

一方貯蔵装置の放電時では、整流器のリプルに相当する周波数成分は高次で表れず、チョッピング周波数に起因する高周波成分が勝っていた。ただし電流値そのものは10mA以下である。また、ATC搬送周波数に関連する10kHz以上でも10mA以内に収まっており、同様に誤動作を与える電流レベルにはない。

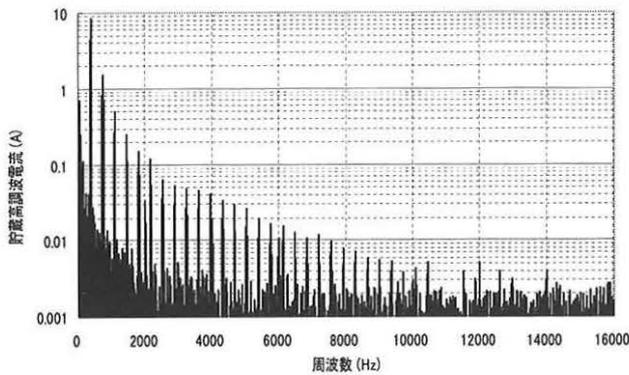


図3 充電時の高調波解析結果(充電電流 300A)

以上より、踏切制御子や ATC の搬送周波数が、昇降圧チョッパのチョッピング周波数の整数倍と一致したとしても、適切なフィルタ用コンデンサおよびリアクトルを適用することにより、電力貯蔵装置の充放電電流の高周波成分が踏切系、信号系に誤動作を与える可能性はないと考えられる。

3.2 過渡変動試験

負荷(抵抗器)の投入、開放により負荷変動を模擬させ、そのときに電力貯蔵装置に不要なトリップが生じないか否

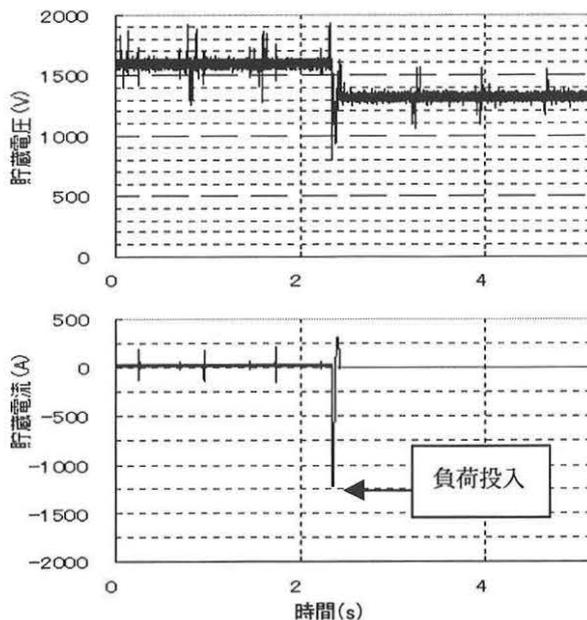


図4 負荷投入時の貯蔵電圧・電流

かを確認する試験である。負荷抵抗側の投入器の投入により電圧急降下時の特性を、負荷抵抗側遮断器の開放により電圧急上昇時の特性を確認した。

図4に負荷投入時の状況を示す。負荷を投入すると、貯蔵装置の電圧は瞬時に800V付近まで低下し、1200A以上の電流で放電していることがわかる。これは貯蔵装置のフィルタ用コンデンサから供給された電流であり、電気二重

層キャパシタ本体から電流はほとんど流れていない。この瞬時の大電流により、貯蔵装置の過電流トリップ動作により図1の遮断器を開放した。

本試験のような負荷変動は、直流電動機で抵抗制御型の電車が運行されている線区、あるいは貯蔵装置付近における電車の再力行によって生じる可能性があるが、負荷電流が瞬時に(数10msec以内)1000A以上流れるような極端な変動でなければ、電力貯蔵装置は過電流トリップに至らず、継続動作可能と考えられる。

3.3 制御モード試験

発電機の界磁調整により直流電圧を約1分間のうちに変化させ(1600→1700V→1400V→1600V)、電車の力行、回生による実際のき電電圧の変化を模擬し、充電、待機、放電モードが正常に移行することを確認した。

試験結果を図5に示す。き電電圧低下時に放電モードに、逆に上昇時に充電モードに移行していることが、キャパシタ電圧の変動から判断できる。一方、き電電圧が1500V付近において貯蔵装置は充放電を行うことなく待機モードとなった。き電電圧の変化に応じて、充電、待機、放電モードが正常に移行したといえる。

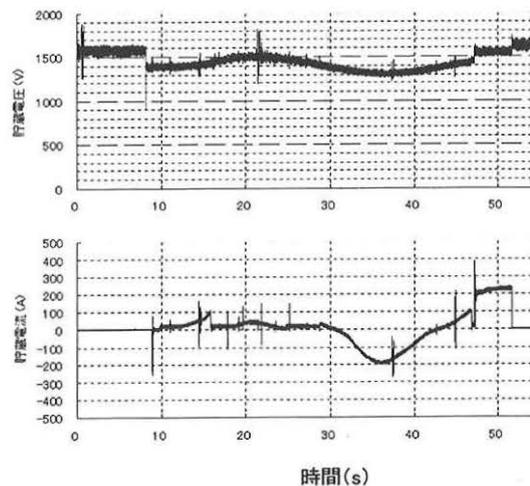


図5 制御モード試験時の貯蔵電圧・電流波形

3.4 変電所脱落試験

貯蔵装置を動作させ、充電または放電を開始した後に整流器側の直流遮断器を開放し、変電所脱落を模擬した。

図6は貯蔵装置が約11秒後に充電を開始し、約13秒後に変電所脱落を模擬したものである。図より、変電所脱落后、当然ながら貯蔵装置は充電を停止したものの、き電電圧は1400V付近に維持されており、貯蔵装置が連動して停

止し遮断器が開放する動作に至っていない。これはフィルタ用コンデンサによって外線電圧が維持されているためである。従って隣接変電所が脱落した場合においても、貯蔵装置は運転を継続し、外線が加圧された状態となる。以上の試験により、貯蔵装置が充電モードもしくは待機モードの場合、隣接変電所が脱落しても貯蔵装置はトリップしないといえる。また、放電モードの場合でも、負荷電流が大きくない場合、貯蔵装置はトリップしない可能性がある。従って、連絡遮断装置等が必要である。

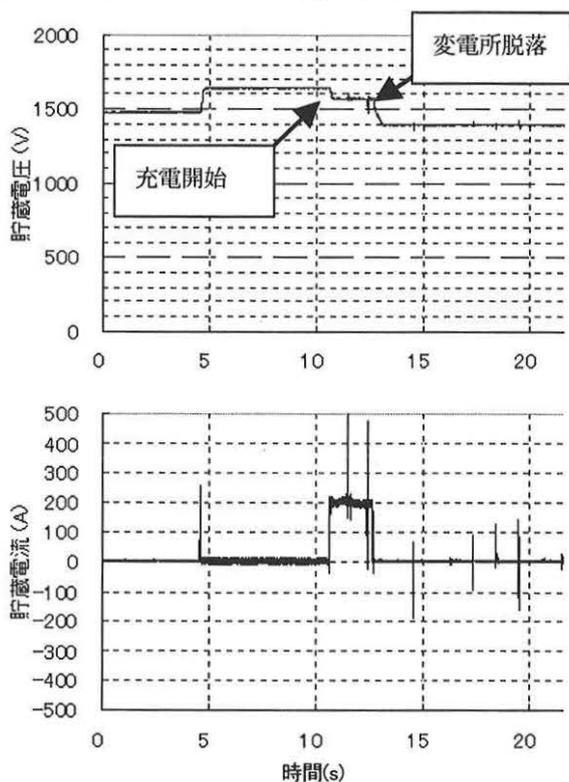


図6 変電所脱落模擬時の貯蔵装置電圧・電流波形

3.5 人工地絡試験

電力貯蔵装置の直下にて、低抵抗の投入による模擬的な人工地絡を発生させ、その挙動を確認した。電力貯蔵装置の有無により、変電所過電流継電器(50F)の検出特性に変化が生じる可能性があるため、貯蔵装置の有無による比較を行った。地絡抵抗 0.01Ω による試験結果を図7に示す。

「チョッパ過電流」の故障判定が生じ、即運転停止に至った。地絡抵抗の投入後、抵抗の近傍にある貯蔵装置のフィルタ用コンデンサからの瞬時の立ち上がり放電電流により生じたものである。従って、低抵抗による地絡が貯蔵装置近傍で生じたとき、貯蔵装置は即座に停止し装置がない状況となり、仮に地絡が継続したとしても、変電所過電流継

電器の動作により検出し、事故遮断できる。フィルタ用コンデンサからの放電電流は 5ms 以内で最大値まで立ち上がり、その間に過電流検知し、貯蔵装置の遮断器に切指令を出し、 $30\sim 80\text{ms}$ 後に遮断器が開放されることによって外線側と遮断される。従って切指令を出してから貯蔵装置の遮断器が開放される時間の分、変電所の過電流継電器の動作に数十 ms 程度の遅延時間が生じることになるが、直流き電回路の保護としては問題のないレベルと考えられる。

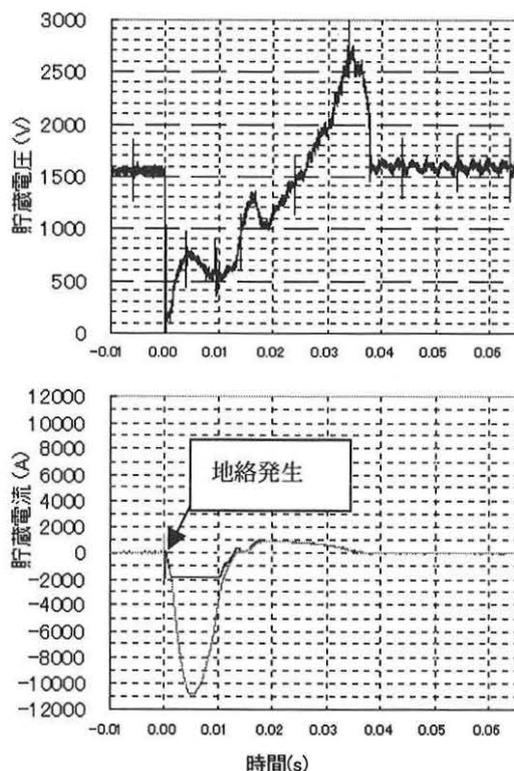


図7 人工地絡時の貯蔵電圧・電流波形

4. むすび

本試験の結果、直流 1500V 設備への適用に伴い大きな技術上の課題はないと考えられる。今後、き電電圧、EDLC電圧等の各条件を踏まえて充放電を最適にする制御法を確立することにより、電力貯蔵装置はさらに効果的になると考えられる。なお本研究は国土交通省の補助金を受けて実施したものである。

参考文献

- 1)長谷他:「電気二重層キャパシタを用いた電力貯蔵装置の電気鉄道への適用に関する基礎的検討」電学論 D, Vol123, No. 5 pp.517-524,2003-5