

2605 在来線交流き電区間における電力貯蔵の基礎検討

An Energy Storage on AC Fed Electric Railway

正〔電〕 ○兎束 哲夫 (鉄道総研) 正〔電〕 久水泰司 (鉄道総研)

正〔電〕 岸川 吉行 (九州旅客鉄道)

Tetsuo UZUKA, Railway Technical Research Institute, 2-8-38, Hikari-Cho, Kokubunji City
Yasuji HISAMIZU, Railway Technical Research Institute
Yoshiyuki KISHIKAWA, Kyushu Railway Co.

There are several approaches about energy storage technologies for AC fed electric railway. At first, we measured the load characteristics at substation. Next, we simulated the efficiency of energy storage technologies for AC fed electric railways using new storage devices such as lithium-ion batteries and electric double layer capacitors.

The examination showed that strategy for demand reducing is available for AC fed electric railway and some kinds of batteries are suitable for this method.

Keyword: Energy Storage, AC fed electric railway

1. はじめに

交流電気鉄道への電力貯蔵技術導入に関して、各種の検討が行われ、次のメリットが提唱されている。(1)(2)

(1) 電気料金の削減

負荷変動の平準化により、契約電力低減による基本料金削減、時間帯別電力量料金制度の適用による電力量料金削減が期待できる。

(2) 回生電力の有効活用

車両回生電力の充電と力行時の放電によって回生電力の有効活用と回生失効の防止が可能となる。

(3) き電システムの弱点对策

弱電源個所でのき電電圧降下対策や三相電圧変動対策といった、従来の変電所等の設備では困難な状況を改善することができる。

本報告では、在来線交流き電変電所での負荷電力測定結果を基にして、最近開発が進む電力貯蔵媒体の適用について検討した。

2. 電力貯蔵媒体の検討

最近開発が進む電力貯蔵媒体である、リチウムイオン電池、電気二重層キャパシタの現状を調査した結果をTable1に示す(2)。比較のため、鉛蓄電池も加えた。なお、理論エネルギー密度以外は、現時点での概数である。

Table 1 New energy storage devices

項目	リチウムイオン電池	電気二重層キャパシタ	鉛蓄電池
理論エネルギー密度	583Wh/kg	5~7Wh/kg	35Wh/kg
出力密度	1500W/kg	1500W/kg	200W/kg
サイクル寿命推定	1000回以上	10万回以上	2000回以上
備考	高率充放電可能	回路電圧変動大	低価格安全

(1) リチウムイオン電池

エネルギー密度が極めて高く、また高率の充放電も可能であることから、鉄道車両搭載の試作例がある。しかし、サイクル寿命は電気二重層キャパシタにおよばない。

(2) 電気二重層キャパシタ

サイクル寿命が極めて大きいことから、直流き電区間での電圧降下救済・回生失効防止等、負荷変動回数の多い電気鉄道分野での使用が期待されている。一方、エネルギー密度が小さいため、大容量電力貯蔵には向かない。

3. 負荷実態調査

現状の負荷実態を測定し、結果を基にして電力貯蔵技術の適用方針を検討した。

3.1 測定結果

在来線交流き電変電所において測定した負荷実態を、30分デマンドの形でFig.1に示す。朝の通勤時間帯に最大値4.6MWを記録しており、日中はほぼ一定している。深夜帯を除く平均値は2.4MWであった。なお本線区では回生電力量は小さかった。

また、一時間の動きをFig.2に示す。負荷測定結果では一日約1000回の電力変動があり、そのほとんどは列車の発進加速である。1列車1回の力行電力量は15~40kWh程度であり、ピーク電力が上下線合計で8MWを

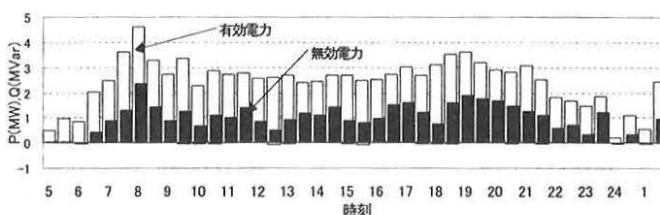


Fig.1 Load characteristic(whole day)

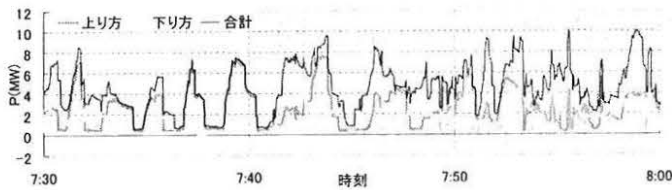


Fig.2 Load characteristic(one hour)

超えた回数は50回以上、10MWを超えた回数は8回であった。

3.2 短時間ピークカットの検討

負荷有効電力(瞬時値)が目標上限電力以上になった時に、その差分を補償する制御方式である。受電電力ピークの低減によって、受電設備容量の低減、き電電圧降下補償、受電電圧変動補償等の効果がある。補償電力分のデマンド量も低減する。測定結果から一日あたり数回～数十回程度、年間1万回の補償充放電を考える場合、必要な電力貯蔵量は数十kWh程度、一回の充放電電力は1～3MW程度となる。

3.3 デマンド低減の検討

負荷電力を積算してデマンド電力を求め、目標デマンドとの差分を補償する制御方式を考える。デマンド電力の低減は契約電力削減につながり、経済効果が大きい。

目標デマンドは、最終目標デマンドを時間比例した値、負荷電力の大きい時間帯の予測値等が考えられる。負荷測定結果から、30分デマンドの最大値4.6MWに対して、2番目最大値の差は1MW程度であった。この差分のデマンド低減を行うと仮定すれば、電力貯蔵装置の瞬時の充放電電力は最大で1MW程度あればよい。電力貯蔵量は1MWhの1/2時間分、すなわち500kWh必要である。また、充放電は一日一回となる。

4. 電力貯蔵技術適用検討

4.1 検討条件

以上のデータを元に、交流き電変電所への電力貯蔵技術適用について試算した。設備構成としては、三相電圧変動補償等の付帯効果が期待できる、変電所き電用変圧器二次側両座への電力貯蔵設備設置を想定した。

制御目標として、一日一回1MWのデマンド低減、一日数十回程度の2MWのピークカット、および三相電圧変動補償を設定した。

電力貯蔵媒体としてはリチウムイオン電池、電気二重層キャパシタおよび鉛電池を仮定し、直流電圧を800Vとした。また放電深度は10年のサイクル寿命を前提に、デマンド低減では20%とした。

Table 2. Simulation result

検討項目	無設備	ΔV補償	デマンド低減	ピークカット
デマンド電力 (MW)	4.61	4.61	3.61	4.54
ピーク受電電力 (MW)	10.0	10.0	10.0	8.0
三相電圧変動率(%)	1.11	1.00	1.11	1.09
電力変換器容量	-	M座 0.74 T座 0.66	M座 0.63 T座 0.63	M座 1.00 T座 1.00
蓄電媒体容量 (キャパシタ) (リチウムイオン) (鉛電池)	-	-	500kWh 4600F 625,000Ah 1,250,000Ah	33kWh 300F 272,000Ah 550,000Ah
削減電力料金 (年間)	-	-	2400万円	140万円

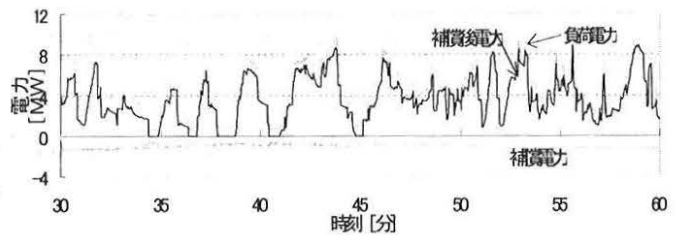


Fig.3 Active power with demand reducing control strategy

4.2 試算結果

試算結果をTable 2に、またラッシュ時にデマンド低減動作中の有効電力の動きをFig. 3に示す。

デマンド低減制御方式では年間2400万円程度と大きな経済効果が期待される。これに対して、ピークカット制御方式の経済効果は年間140万円程度と小さい。在来線交流電気鉄道ではき電設備の縮小化にも結びつきにくい、メリットが小さい。

一方、デマンド低減制御を行うための500kWh電力貯蔵に必要な貯蔵媒体容量および体積はリチウムイオン電池で625,000Ah、13m³となる。これが電気二重層キャパシタでは、4600F、2000m³以上となった。このように、大電力貯蔵ではエネルギー密度が大きい媒体が有利である。

5. まとめ

今回の測定と試算によって、交流電気鉄道に対する電力貯蔵装置の適用について以下の結論を得た。

- (1) デマンド低減を目的とする電力貯蔵装置は、電力料金削減効果が大きく、充放電回数が少なく、かつ瞬時の充放電電力が比較的小さい。
- (2) 短時間ピークに由来するき電末端電圧降下、三相電圧変動といった問題は、電力貯蔵装置の適用効果が小さい。無効電力を制御するSVCのような既存の対策が、費用対効果の面で有利である。
- (3) デマンド低減に用いる電力貯蔵媒体には、エネルギー密度が大きい電池使用が適している。
- (4) ピークカットを目的とする電力貯蔵媒体としては、充放電許容回数が多い電気二重層キャパシタが適している。
- (5) 電力貯蔵装置によって回生電力を有効活用できる。ただし、回生車両が少ない場合の経済効果は小さい。
- (6) 電力貯蔵技術の検討では、全体としての電力貯蔵量(単位MWh)と、断面としての装置容量(特に電力変換器容量、単位MVA)のバランスを考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 持永、兎束、茂木、北島、近藤、多田:「交流電気鉄道への電力貯蔵装置の適用に関する検討」、平成12年電気学会産業応用部門全国大会、No. 112, 2000
- 2) 飯田、岡井、横山:「新幹線き電システムにおける電力貯蔵小型モデルの検討」、電気学会電気鉄道研究会、TER-02-32, 2002