

直流電気車用車載蓄電装置の電車線電圧に応じた充放電制御の改善

～ラッシュ時における I-V 特性制御との比較～

Improvement of the Voltage-based Charge/Discharge Control of the Energy Storage Systems On-board DC Electric Railway vehicles

～Comparison with Conventional Control Under Peak Traffic Conditions～

森井 大輔 (電気システム工学科)

DAISUKE MORII

交通・電力・環境システム研究室 指導教員 高木 亮 准教授

1. はじめに

直流電気鉄道における回生失効や電圧降下などの問題を解決する手段として蓄電装置(Energy Storage System:ESS)の導入が期待されている。実績をみると ESS を地上設置する事例が多いが、これを車載する可能性もある。車載 ESS の充放電制御手法は一般的に地上設置のものとは異なるが、筆者の研究室では車載の場合にも地上設置 ESS と同様電車線電圧に基づく制御 (以下 I-V 制御と称する) を採り入れた場合のシミュレーション結果を報告している⁽¹⁾。本研究では、地上設置 ESS 向けに文献(2)で試みられた I-V 制御の改良手法を車載 ESS にも適用する検討を行った。

2. I-V 特性を用いた ESS の充放電制御

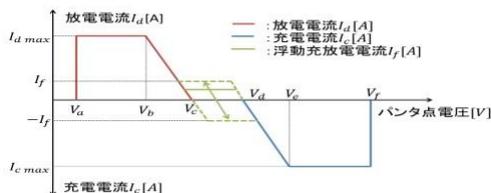


図1 I-V 特性を用いた ESS の充放電制御

文献(1)では、ある直流電化線路を走行する列車すべてに図1のような I-V 充放電制御による ESS を導入したと仮定した。本研究でも比較のためにこの考え方に基づいたシミュレーションを行うが、そのパラメータは平均 SOE 値が約 50%となるよう、表1のような値とした。

表1 I-V 特性で使用したパラメータ

Va[V]	Vb[V]	Vc[V]	Vd[V]	Ve[V]	Vf[V]
1200	1465	1515	1575	1625	1900

3. 車載 ESS の電車線電圧による充放電制御の改善

本研究での充放電制御は、ESS の充電度(SOE:State Of Energy)に応じて Vb, Vc, Vd および Ve のパラメータ図2のように変化させるもので、浮動充放電が不要になり、その際の損失が抑えられる。以下、この制御を V-SOE 制御と称する。

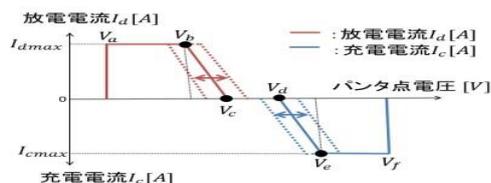


図2 本研究で検討する ESS の電車線電圧による制御

Vb, Vc, Vd および Ve はいずれも電圧 - SOE の平面上で直線となるよう変化させることとし、平均 SOE 値が約 50%となるように表2に示す値とした。

表2 V-SOE 特性のパラメータ

SOE[%]	Va[V]	Vb[V]	Vc[V]	Vd[V]	Ve[V]	Vf[V]
0	1200	1366	1416	1476	1526	1900
50	1200	1466	1516	1576	1626	1900
100	1200	1566	1616	1676	1726	1900

4. シミュレーション条件

モデル路線とシミュレーション条件の概要を以下に示す。

- ・路線：長さ約 37.5km, 複線, 15 駅
- ・饋電システム：1.5kV 直流電化, 上下別饋電方式,
- ・饋電抵抗：0.03Ω/km
- ・変電所：9 箇所, 全てシリコン整流器を使用
- ・変電所容量：線路両端 3.0MW, 線路中間 4.5MW
- ・列車本数：6 両編成×24 本
- ・列車ダイヤ：約 3.75 分間隔, 全列車各駅停車のダイヤ
- ・車載 ESS：全車搭載, 500MJ/編成

5. シミュレーション結果

各種饋電評価量のシミュレーション結果を表3に示す。

表3 シミュレーション結果

饋電評価量	V-SOE制御	I-V制御
ESSにおける充放電損失[kWh/h]	-169.4	-171.6
変電所総合入力エネルギー[kWh/h]	13230.7	13388.6
平均パンタ点電圧[V]	1551.3	1550.6
最大パンタ点電圧[V]	1610.4	1616.1
最低パンタ点電圧[V]	1477.3	1475.1
ESSのRMS電流[A]	841.7	948.4
平均SOE[%]	50.0	49.9

これを見ると、V-SOE 制御と I-V 制御で平均パンタ点電圧はほとんど同じ値になっているが、最大パンタ点電圧と最低パンタ点電圧の差は、I-V 制御の 141.0[V]に対し、V-SOE 制御では 132.1[V]となり、電圧変動範囲が狭くなっている。また ESS における充放電損失と ESS の RMS 電流は、いずれも I-V 制御より V-SOE 制御の方が小さくなっている。饋電システム全体のエネルギー消費を示す変電所総合入力エネルギーも 1%程度 V-SOE 制御のほうが下回る結果が得られた。

6. まとめ

以上のように、ラッシュ時の負荷条件によるシミュレーションの結果によれば、V-SOE 制御は I-V 制御に比べ電圧変動を抑制でき、消費エネルギー削減も達成できていることがわかった。今後、V-SOE 制御用のパラメータの最適化や、今回とは異なる路線・負荷条件での検討などが課題である。

参考文献

- (1)佐々木龍一：「直流饋電システムにおける車載蓄電装置の電車線電圧による充放電制御～フィードフォワード制御との比較～」工学院大学卒業論文(2012年)
- (2)名村伸生，他：「直流電鉄用蓄電装置の充放電制御パラメータの SOE 値による調整手法に関する基礎検討」, 第 22 回鉄道技術連合シンポジウム(J-Rail2015), 3208, 2015