

直流電気鉄道用地上設置型エネルギー蓄積装置のフィードフォワード制御の検討 ～I-V 特性による充放電制御との性能比較～

Feed-Forward Control of Trackside Energy Storage Systems for DC Electric Railways ～Performance Comparison with the I-V Characteristics based Charge/Discharge Control～

川又 保之 (電気システム工学科)

Yasuyuki KAWAMATA

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

当研究室では、直流饋電システムに地上設置型エネルギー蓄積装置 (Energy Storage Systems : ESS) を導入し、余剰回生電力を充電して回生失効を防止するとともに、電圧降下時には放電して電圧降下を抑制する手法について検討を行ってきた。しかし、ESS の蓄積容量は近年の蓄積素子のめざましい研究開発の進展にもかかわらず十分ではなく、少ない容量で最大限の効果を得るための「賢い」充放電制御の開発が求められている。

そうした制御の1つとして、当研究室では車載 ESS 向けに充電度 (State of Charge : SOC) カーブに基づく充放電制御 (フィード・フォワード制御)⁽¹⁾ を提案し、シミュレーションによる評価や最適化まで行ってきた⁽²⁾。現在、これと同様の制御を地上設置型 ESS に導入する手法の検討を行っている。⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾ 本研究では、この手法と従来の制御法である I-V 特性との性能の比較を行う。

2. I-V 特性による充放電制御

現在、国内の直流電気鉄道において稼働中の地上設置型 ESS は、饋電系統接続点の電圧に応じ充放電電流が定まる I-V 特性制御⁽⁶⁾ によって図 1 のように V_a から放電を開始、 V_b から電流の絞込みを行う、 V_c で放電を終了する。充電側の V_d 、 V_e 、 V_f も同様である。また、充放電を行わない領域を設け、SOC 値を 50% に引き戻す浮動充放電電流を流す。

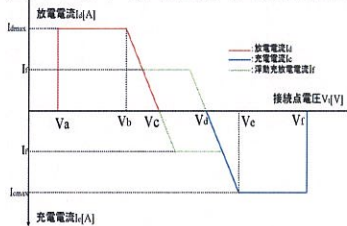


図 1 I-V 特性

3. SOC カーブによる充放電制御

列車の位置情報から、各 ESS が取るべき SOC 値を算出する。そのデータを元に各 ESS が充放電制御の目標値 (リファレンス SOC) として利用する。位置に対するリファレンス SOC (Ref_SOC) の関数を SOC カーブと称し、それを用いて充放電を行う制御を Ref_SOC 制御とする。詳細については文献⁽⁴⁾を参照する。

4. シミュレーション条件

シミュレーション条件を下記に示す。

- 路線長 : 26.5km, 複線, 24 駅,
- 饋電系統 : 1.5kV 直流電化, 上下一括饋電方式, 饋電抵抗 0.03Ω/km
- 変電所 : 5 ヵ所, シリコン整流器使用 (定格 : 3MW × 2 ヶ所, 6MW × 3 ヶ所)
- ESS 3 ヶ所 (4.2km, 11.2km, 21.8km) 設置, 各容量 1000 MJ
- 列車ダイヤ : 全各駅停車平行ダイヤ ÷ 列車密度 10 本/h
- I-V 特性の各パラメータを表 1 に示す
- Ref_SOC 制御は共同研究者のデータ⁽⁵⁾を用いる

表 1 I-V 特性の各パラメータ

パラメータ	V_a	V_b	V_c	V_d	V_e	V_f
饋電電圧 [V]	1200	1500	1550	1700	1701	1900

5. I-V 特性による充放電制御との性能比較

図 2, 3 及び表 2 の結果から I-V 制御と Ref_SOC 制御の充放電動作の比較を行った。I-V 制御では饋電電圧を見てい

るため SOC 遷移を制御できないが、Ref_SOC 制御では事前に SOC カーブを設計しているので遷移を制御できる。また、回生率では Ref_SOC 制御の方が高くなるがこれは、I-V 制御の方が低い電圧で充電を開始しているため Ref_SOC 制御より回生率が低くなると思われる。

しかし回生失効率や変電所総合入力エネルギー、饋電損失は I-V 制御より劣るので、改善を行う必要がある。

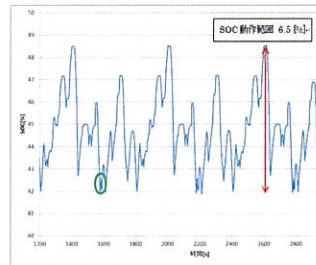


図 2 I-V 制御における ESSNo.1 の SOC 遷移

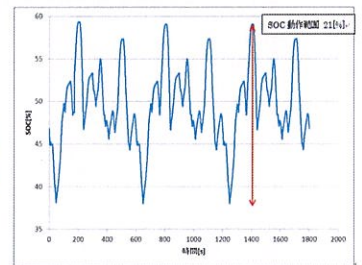


図 3 Ref_SOC 制御における ESSNo.1 の SOC 遷移

表 2 饋電特性評価量の比較

制御方法	I-V	Ref_SOC
回生エネルギー [kWh/h]	2448.8	2535.7
力行エネルギー [kWh/h]	4730.4	4654.1
列車消費エネルギー [kWh/h]	2381.5	2218.4
饋電損失 [kWh/h]	163.7	259.2
変電所入力エネルギー [kWh/h]	2545.3	2477.6
回生失効率 [%]	0.0	0.4
回生率 [%]	50.5	54.5

6. まとめ

今回行った検討において、I-V 制御と Ref_SOC 制御の性能の違いを見つけることができた。その上で、我々の現状のシステムでは Ref_SOC 制御において回生失効率を 0% にするのは難しいため I-V 制御と Ref_SOC 制御を上手く組み合わせることでより良い制御が出来ると考え検討していくことが課題である。

文献

- (1)天野哲生・高木亮:「エネルギー蓄積装置搭載車を含む直流饋電システムの饋電特性シミュレーション」, 平成 22 年電気学大会, No.5, p.p.100-101 (2010)
- (2)天野哲生・高木亮:「車載エネルギー蓄積装置の充放電制御に用いる Ref_SOC カーブの最適化」, 第 18 回鉄道技術・政策連合シンポジウム (J-Rail 2011), S3-3-4 (2011)
- (3)山下智大・長島匡太郎・高木亮:「SOC カーブに基づいた地上設置型エネルギー蓄積装置の充放電制御」平成 23 年電気学会全国大会, 5-089 (2011)
- (4)寺島光哉:「直流電気鉄道用地上設置型エネルギー蓄積装置のフィードフォワード制御の検討～制御系の設計と饋電特性シミュレーションプログラムへの組み込み～」工学院大学卒業論文要旨 (2012)
- (5)高田修平:「直流電気鉄道用地上設置型エネルギー蓄積装置のフィードフォワード制御の検討～実践路データを用いた定量的評価～」工学院大学卒業論文要旨 (2012)
- (6)塩川浩太・塚越一成:「地上設置型エネルギー蓄積装置の放電特性と饋電特性」平成 23 年産業応用 (2011)
- (7)高木亮:「直流饋電系と列車群制御の統合インテリジェント化」, 東京大学学位論文 (1995)