

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 ～実路線データを用いた定量的評価～

Feed-Forward Control of Trackside Energy Storage Systems for DC Electric Railways
～Evaluation Using Actual Line Data～
高田 修平(電気システム工学科)

Syuhei TAKADA

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いる。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向けについて充電度(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⁾を提案するとともに、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⁾。そこで、これと同様の考え方を地上設置型ESSに導入する手法の検討を行っている。⁽³⁾

本研究では、設計したSOCカーブ⁽⁴⁾を用いて、饋電特性を評価することを目的とする。

2.SOCカーブの概要

先行研究の車載ESSにおけるフィードフォワード制御⁽¹⁾を地上ESSに導入することを考え、ある列車が地上設置ESSの存在する路線を走行する場合、その路線にある地上設置ESS1箇所につき1つのSOCカーブを用意する。

ESSの充放電制御において予め用意するデータが「SOCカーブ」である。すなわち、列車が鉄道路線のある位置に存在するときのESSの「あるべきSOC値」を示す、列車位置に対する目標SOC(リファレンスSOC)値の関数をSOCカーブと称する。

3.シミュレーションによる評価方法

<3.1>SOCカーブの設計 当研究室で開発・維持されている饋電特性シミュレータRTSS⁽⁵⁾を使って、モデル路線に単一列車を走行させた場合のシミュレーションを行う。得られた列車位置毎の入出力電力から、各ESSの蓄積エネルギー推移を算出する。蓄積エネルギー推移をSOCに換算すると、各ESSの1列車分のSOCカーブが完成する。ESSの各パラメータの図及びその値を図1、2と表1に示す。

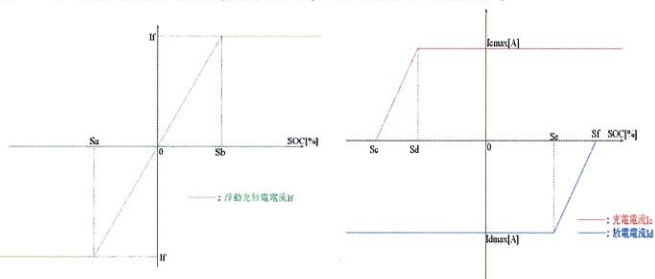


図1. 乖離補正制御

図2. 最大充放電電流

表1. 各パラメータの値

Sa [%]	Sb [%]	If [A]	Sc [%]	Sd [%]	Se [%]	Sf [%]	Icmax [A]	Idmax [A]
-5	5	2000	10	20	80	90	-5000	5000

<3.2>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, 駅数: 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 ヲ所, シリコン整流器使用 (定格: 3MW×2 ヲ, 6MW×3 ヲ所)

- ・ESS3 ヲ所 (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

各ESSは変電所の間で動作させるものとする。ESS1は0~7.2km, ESS2は7.2~16.5km, ESS3は16.5~26.57kmを動作範囲として図3に示す。

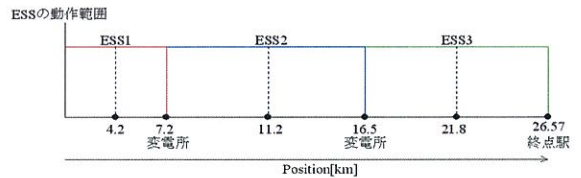


図3. ESSの設置位置と動作範囲

4.シミュレーション結果

作成したデータを元にモデル路線でシミュレーションを行った。モデルにESSを導入しない場合とESSを導入した場合について比較を行った結果を表2に示した。

表を見ると導入後の方が回生失効、変電所総合入力等が減っていることが判る。そのため、フィードフォワード制御を導入することによって省エネルギー効果が見られた。

表2. 饋電特性評価量

饋電特性評価量	導入前	導入後
主回路力行エネルギー[kWh/h]	4640.3	4654.1
主回路回生エネルギー[kWh/h]	2055.9	2535.7
列車消費エネルギー[kWh/h]	2684.4	2218.4
饋電損失[kWh/h]	209.7	259.2
変電所総合入力エネルギー[kWh/h]	2894.1	2477.6
主回路回生率[%]	44.3	54.5
回生失効率[%]	19.1	0.4

5.まとめ

今回の検討で地上設置ESSにフィードフォワード制御を導入した場合の定量的評価をおこなうことが出来た。そのうえでESSのエネルギー容量および動作範囲、SOCカーブの最適化などの検討の必要がある。

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年電気学全大, No.5, 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)