

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の検討
～フィードフォワード制御との比較～

Examination of the I-V characteristic based Charge / Discharge Control of On-board Energy Storage System in the DC Railway Power Feeding Network

～Performance Comparison with Feed-Forward Control～

佐々木 龍一 (電気システム工学科)

Ryuichi SASAKI

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

回生失効や電圧降下といった直流電気鉄道が抱える問題を解決するため、エネルギー蓄積装置(Energy Storage System : ESS)を車載する提案がされている。我々の研究グループでは、位置に応じた ESS の充電度(State Of Charge : SOC)のフィードフォワード制御による充放電制御⁽¹⁾と、電流-電圧(I-V)特性を用いて、電車線電圧によって充放電制御⁽²⁾を提案している。フィードフォワード制御は、位置に対して予め SOC の目標値を計算し、必要な充放電電力を計算する手法であり、I-V 特性を用いる手法は、電車線電圧によって充放電制御を行う手法である。そこで、本論文では、これらの2つの制御手法を比較し、それぞれの手法が饋電特性に及ぼす影響を実績ある饋電特性シミュレータを用いて定量的に比較、評価した。

2. 電車線電圧による充放電制御 (I-V 制御)

I-V 制御は、図1のように充放電を行う。

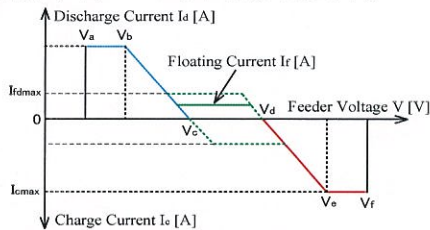


図1. ESSの電車線電圧による充放電 (I-V 特性)

図1のパラメータ $V_a \sim V_e$ を予め設定し、電車線電圧によって充放電制御を行う。本研究では、図1のパラメータ V_a と V_f をそれぞれ 1200V と 1900V に固定し、パラメータ $V_b \sim V_e$ と $V_d \sim V_e$ の幅を 50V に設定し検討を行った。

3. SOCカーブによるフィードフォワード充放電制御

モデル路線に1列車を走行させ、或る位置におけるESSが取るべきSOC値を定める。そのSOC値を車上で記憶し、実際の列車走行時に呼び出して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の関数をSOCカーブと称し、充放電を行う制御をSOCカーブ制御とする。

4. シミュレーション条件

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：路線両端3.0MW, 路線中間4.5MW
 - ・列車ダイヤ：6両編成, 6本/時間, 10分間隔
 - ・車載ESS：全車搭載, 500MJ/編成, 重量18.72t
- 以下に、I-V 特性の各パラメータを示す。

表1. I-V 特性の各パラメータ

| パラメータ | Vb | Vc | Vd | Ve |
|---------|------|------|------|------|
| 設定電圧[V] | 1440 | 1490 | 1640 | 1690 |

5. シミュレーション結果

図2, 3にシミュレーション結果を示す。また、その結果から表2にI-V 特性制御とSOCカーブ制御の饋電評価量を示す。なお、充電深度が似ているもので比較を行った。

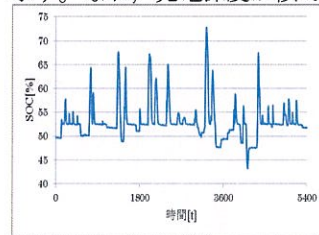


図2. I-V 特性制御による1列車のSOC遷移

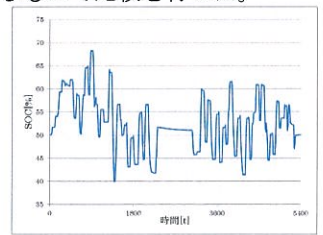


図3. SOCカーブ制御による1列車のSOC遷移

表2. 饋電特性評価量の比較

| 饋電評価量 | I-V | SOCカーブ |
|-------------------|---------|--------|
| 列車消費エネルギー[kWh/h] | 5638.3 | 6888.8 |
| 変電所入力エネルギー[kWh/h] | 5916.91 | 7158.6 |
| 回生失効率[%] | 0 | 0.24 |
| 回生率[%] | 28.9 | 19.3 |
| 加速時の平均パンタ点電圧[V] | 1582.7 | 1545.7 |

表2の結果より、SOCカーブ制御と比較して変電所入力エネルギーが小さくできることが分かった。これはI-V 特性制御により、ESSが充放電を行うことで饋電システムの電圧が上がり、他車へのアシストが行えたと考えられる。また、アシストを行ったことで、列車消費エネルギーの減少や回生率が向上し、省エネルギー化することができた。また、SOCカーブ制御では回生失効が僅かに出てきているがI-V 特性制御ではゼロにすることができた。

5. まとめ

今回の検討により、車載ESSのI-V 特性制御とSOCカーブ制御の比較・検討を行うことができた。しかし、今回搭載したESSの容量が500MJと大きいため、ESSの小容量化を行うことが課題である。

文献

- (1) 天野：「饋電特性シミュレーションによる車載エネルギー蓄積装置の充放電制御の評価」, 2009年度工学院大学卒業論文(2009)
- (2) 滝本・國方・高木：「車上蓄電装置搭載編成の部分的導入による直流饋電システムの電圧平準化」, 平成23年電学全大, No.5-091 (2010)
- (3) 高木：「直流饋電系と列車群制御の統合インテリジェントシステム化」東京大学学位論文(1995)