

# 車載蓄電装置を用いた列車電流抑制による饋電損失低減手法の検討

## ～SOCカーブ制御とI-V制御との比較～

Reduction in the Feeding Losses of DC Electric Railways by the Suppression of Train Load Currents with the Onboard Energy Storage Systems

## ～Comparison of Feed-forward Control and Voltage-based Control～

松下 大樹 (電気システム工学科)

Hiroki MATSUSHITA

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

比較的大きな饋電損失や回生失効などの直流電気鉄道がかかえる問題を解決する手段として、蓄電装置(Energy Storage System: ESS)を車載する方法<sup>(1)</sup>が提案されている。本研究では特に饋電損失の低減に主眼をおき、パンタ点入力電流の最大値をある値にまで抑制することで省エネルギー化を図る手法について検討を行った。本稿では、SOCカーブによる充放電制御<sup>(1)</sup>と電車線電圧による充放電制御<sup>(2)</sup>においてこの考え方を適用した場合の特性の違いについて検討した結果を報告する。

### 2. 本検討に用いた充放電制御

SOCカーブによる充放電制御とは、列車位置に対する車載ESSの望ましいSOC値の関数(SOCカーブ)を事前に計算等で求め、車上に記憶しておき、列車走行時にこれを充放電制御目標値として利用する制御方法である<sup>(2)</sup>。本検討においては、文献(2)と同様の考え方でSOCカーブの設計を行っている。

一方、電車線電圧による充放電制御(I-V制御)では、充放電電流は電車線電圧により決定される。I-V制御による充放電動作を図1に示す。図1において、 $V_a$ は1200V、 $V_f$ は1900Vとし、残る4つのパラメータは文献(3)に示された方法により設定した。充放電電流( $I_{dmax}$ ,  $I_{cmax}$ )は、力行時最大電流より2290A、不動充放電電流( $I_{fdmax}$ ,  $I_{fcmax}$ )は1/2の1145Aとした。過充放電を防ぐためSOC値は50~70%の範囲で使用する。

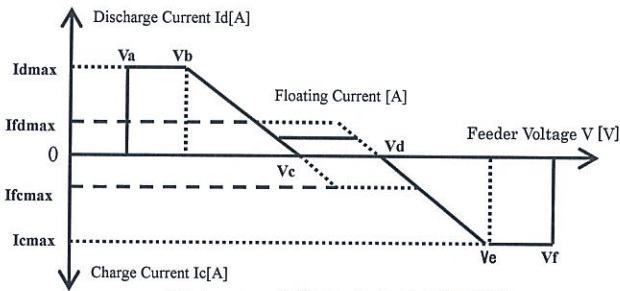


図1. I-V制御による充放電制御

設定した電圧パラメータ  $V_b \sim V_e$  を表1とし以下に示す。

表1 I-V特性の電圧パラメータ

パラメータ	$V_b$	$V_c$	$V_d$	$V_e$
設定電圧[V]	1510	1560	1620	1670

### 3. 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 26.6 km, 複線, 駅数 24 駅
- ・饋電システム：1.5 kV 直流電化  
上下一括饋電方式, 饋電抵抗 0.03  $\Omega$ /km
- ・変電所：5 箇所, 全てシリコン整流器を使用
- ・変電所容量：路線両端 3.0 MW, 路線中間 6.0 MW
- ・列車本数：8 両編成 $\times$ 6 本/h
- ・車載 ESS：全車搭載, 1239.9 MJ/編成 重量 8.32 t

### 4. シミュレーション結果

図2に、I-V制御においてパンタ点最大電流値と饋電特性評価量との関係を示す。表2には、I-V制御とSOCカーブ制御<sup>(5)</sup>とで、それぞれ変電所総合入力エネルギーが最小になったケース同士の結果を示した。

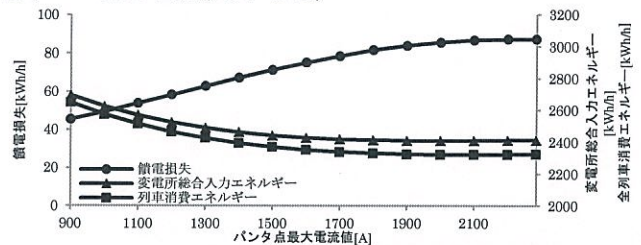


図2 パンタ点最大電流と饋電評価量の関係

表2 饋電評価量の比較

饋電評価量	ESSなし	I-V制御		SOCカーブ制御	
		1800	2000	1800	2000
パンタ点最大電流値[A]					
全列車消費エネルギー [kWh/h]	2616	2332	2323	2404	2393
饋電損失[kWh/h]	205	81	85	126	153
変電所総合入力エネルギー [kWh/h]	2822	2414	2409	2530	2547
回生失効率[%]	20.4	0.0	0.0	0.0	0.0

表2よりSOCカーブ制御とI-V制御の饋電評価量を比較したところ、変電所総合入力エネルギーと饋電損失が共にSOCカーブ制御よりも小さくなっていることが分かった。本検討では容量の大きな車載ESSを用いたためI-V制御でも大きな問題が生じなかったこと、およびSOCカーブ制御におけるフィードフォワードデータ(SOCカーブ)自体があまりよく設計されていなかったことが要因として考えられる。

### 5. まとめ

今回の検討により、いずれの制御についても列車パンタ点最大電流を抑制することで饋電損失を減少させることができることは示せた。しかし、最大電流を低い値に抑制すると変電所総合入力エネルギーはかえって上昇してしまうこともわかったため、その要因について考察を深める必要がある。

### 文 献

- (1) 天野哲生：「電気鉄道向け車載エネルギー蓄積装置のフィードフォワード制御の提案」, 2011年度工学院大学修士論文
- (2) 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の検討～フィードフォワード制御との比較～」, 2011年度工学院大学卒業論文
- (3) 村山智史：「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～閑散時の場合～」, 2011年度工学院大学卒業論文
- (4) 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システム化」, 東京大学学位論文(1995)
- (5) 芝鷹文：「車載蓄電装置を用いた列車電流抑制による饋電損失低減手法の検討～列車電流抑制値を駅間によらず一定としたSOCカーブ制御～」, 2013年度工学院大学卒業論文