

S3-1-1 高速域回生能力向上車導入における地上側での回生失効対策とその効果

○神山純一, 佐藤司, [電]曾根悟, [電]高野奏(工学院大学)

Wayside Measures against Regeneration Failure and Its Effects
 at Introduction of Trains of Improved Performance of Regeneration in High-speed Region
 Junichi KOUYAMA, Tsukasa SATO, Satoru SONE and Susumu TAKANO (Kogakuin University)

Our group has proposed method to improve performance of regenerative braking in high-speed region. This is realized by using over-voltage durability of traction motor and on-board energy storage devices that store surplus regeneration electric power. On introduction of higher performance trains, this paper deals with necessity of wayside measures against regeneration failure and discusses effectiveness by introducing energy storage devices.

キーワード: エネルギー蓄積素子, 過電圧耐量の活用, 高速域回生能力向上, 地上側での回生失効対策

Keyword: energy storage devices, usage of over-voltage durability, improved regeneration over high-speed region, wayside measures against regeneration failure

1. はじめに

常用ブレーキに全て電気ブレーキを用いるという真の純電気ブレーキ実現の第一ステップとして, 完全に停止するまで全て電気ブレーキを用いることはすでに広く実用化されるに至っている。第二ステップは常用ブレーキを全て電気ブレーキ化することである。これを実現するためには高速域における回生能力の向上と回生失効や回生絞込みを軽減する必要がある。我々のグループはその解決策として, 車上にエネルギー蓄積素子を導入しモータの過電圧耐量を活用する方法を提案してきた。本稿ではその高速域回生能力向上車(以下高速回生車と呼ぶ)を導入するにあたり, 高速回生能力の向上を前提として地上側での回生失効対策の必要性和導入した際の効果について検討する。ただし, 地上側での回生失効対策に関して, 本稿では回生インバータの導入は考えない。吸収した電力を交流系統に戻すという方法は有効である。しかし, 現状としては電力会社との契約上, 交流系統へ電力を戻すことは鉄道事業者にとって利益につながらない。一方, エネルギー蓄積素子は蓄積したエネルギーを自由に放電し活用することができるため有益性があると思われる。従って, 本稿では地上への回生失効対策ではエネルギー蓄積素子を導入することを前提とする。

2. 地上側での回生失効対策の必要性

2.1 高速回生車の基本回路と考え方

高速域における回生能力の向上策は様々な方式が提案されている。本稿では参考文献¹⁾で提案された高速回生車を検討に

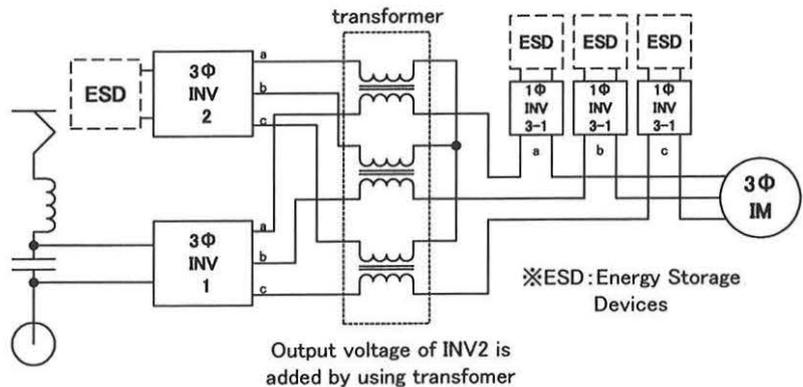


図1 高速回生車の基本回路

用いる。文献ではトランス方式とトランスレス方式が提案されているが, インバータやエネルギー蓄積素子の利用率の観点から実用性に近いトランス方式について検討する。高速回生車の基本回路は図1のようになる。簡単に基本的な考え方を説明すると, モータの過電圧耐量を活かし電流を増すことなく, 電圧を増して電力を大きくする。つまり, 交流側において電車線電圧と回生電流の積に相当する電力を回生し, 残りの電圧と回生電流の積に相当する電力を変圧器を介してエネルギー蓄積素子に蓄積することにより回生能力の向上を図る。詳細は参考文献¹⁾を参照されたい。高速回生車と従来車の特性の違いは図2のようになる。

2.2 高速回生車導入の問題点

上記の 2.1 で述べたように, 高速域における回生能力を向上するには電車線側には電車線電圧と回生電流の積に相当する電力が回生されることが必要である。そのため, 回生失効が生じた際に高速回生能力を発揮できなくなる。高速回生能力を維持するには地上側で対策をして回生失効をさせないか, 電車線側で受け入れていた分を車上で受け入れることで回生失効対策をさせないようにすることが必要になる。車上側については, 車載質量の制約があるため現在の電気二重層キャパシタなどで

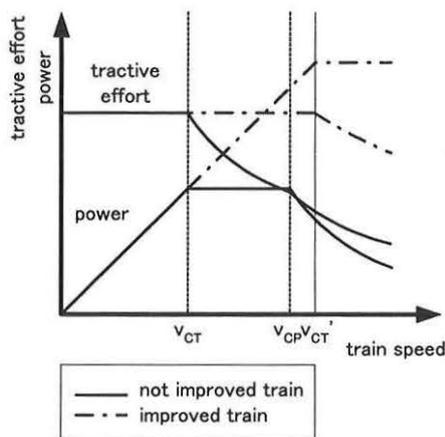


図2 従来車と高速回生車の特性の違い

全回生エネルギーを蓄積することは難しいと考えられる。そこで、地上側での回生失効対策が必要ということになる。

2.3 導入するエネルギー蓄積素子の設置箇所と容量

高速回生車を導入した際の地上側での設置箇所と容量については検討が必要である。理由は従来車と同様の駅間距離を走行する場合、駅間所要時間やブレーキ距離などに違いが出てくるため、列車による電力負荷変動にも違いが出てくる。これらのことから、まずはシミュレーションにより地上にエネルギー蓄積素子が無い場合の従来車及び高速回生車の電力負荷変動や電線損失などを比較する。その結果からどの箇所にどの位の容量の素子を設置するかを検討する。そして、選定した箇所に設置した場合の効果を検証する。

3. シミュレーションによる回生失効対策の検討

3.2 素子の種類

直流電気鉄道の電力負荷は1列車数で数 MW 単位と大きく、しかも変動が激しい。そのため、素子については高パワー密度、高エネルギー密度である必要がある。これらに対応できる素子として急速に開発が進められているリチウムイオン二次電池。また、従来パワー密度が高いがエネルギー密度が低いとされてきた電気二重層キャパシタの改良が進み、エネルギー密度の高いもの

表1 条件設定値

従来車及び高速回生車の設定値	
編成	4M4T
乗車率	50%
列車総質量	256t
起動加速度	3.3km/h/s
常用最大減速度	3.3km/h/s
電気ブレーキ最大減速度	3.3km/h/s
ダイオード変電所の設定値	
無負荷送出電圧	1590V
電圧変動率	6%
定格電圧/定格電流	1500V, 4000A
変電所間距離	5.5km
駅間距離の種類	
最大/最小/平均駅間距離	1300m, 700m, 1100m

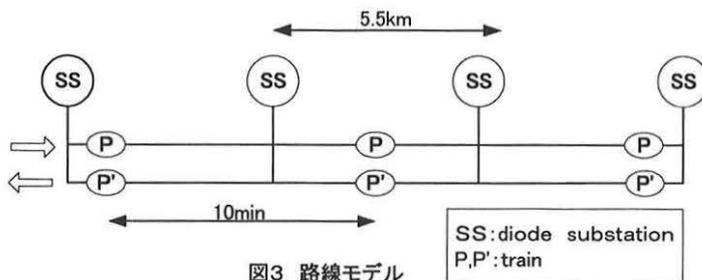


図3 路線モデル

が開発されてきたので、これらの2つが考えられる。ここで、注意したいことは次のことである。それは車載と違い地上側では質量の制限がないため、放電深度により寿命に違いがでるリチウムイオン二次電池は寿命を考慮した使い方ができるという点である。

3.3 路線モデル

路線は平坦な複線を想定する。図3のように変電所を実在路線を元に平均変電所間距離を算出し、等間隔に設定した。駅間距離はシミュレーション結果に一般性を持たせるため、同様にして3パターン(最大, 最小, 平均駅間距離を算出)用意しランダムに配置することにする。その他の諸定値は表1のように設定した。

3.4 車両モデルと運転方法

従来車, 高速回生車は共に最大加速→惰行→最大減速で走行することにする。常用減速度は電空併用ブレーキにより3.3km/h/s 一定とする。摩擦ブレーキの使用を減らすため、電気ブレーキの最大減速度も同じ3.3km/h/s とした。中高速域での不足分と電車線電圧の変動による影響で不足した分は摩擦ブレーキにより負担する。また、乗車率は表1のように回生失効の生じやすい昼の閑散時を想定し、共に50%とする。運転間隔は10分とし、各駅停車とする。高速回生車に関して、従来車は定トルク終端速度が電車線電圧の変動の影響を受け変化する。よって、高速回生車はエネルギー蓄積素子の加算可能な最大電圧の範囲まで定トルク領域を拡大できるものとする。

3.5 評価パラメータ

評価パラメータとしては変電所出力変動及び消費エネルギー、電線損失、パンタ点電圧変動抑制効果、地上側のエネルギー蓄積素子の入出力及び蓄積エネルギーの変動、摩擦ブレーキによる損失の低減、回生エネルギーなどを評価する。

4. おわりに

本稿では高速回生車を導入する際に地上側での回生失効対策の必要性を示した。また、エネルギー蓄積素子を導入した際の回生失効対策を検討した。現在、上記で述べた条件設定でシミュレーションを行っている。

参考文献

1) 曾根, 佐藤, 神山:「高速回生ブレーキ実用化に向けて～真の純電気ブレーキ実現のために～」電気学会 交通・電気鉄道研究会 TER05-26 pp.71-74 (2005.05)