

PWM 変換器を用いた直流電気鉄道における

高速回生ブレーキ導入効果の饋電特性シミュレータによる評価

○ [電] 永田 康明 [電] 高木 亮 [電] 曾根 悟 (工学院大学)

Introduction of the High-speed Regenerative brake on the Evaluation of DC Railway Systems with PWM Converter by Multi-train Power Supply Simulation

○Yasuaki NAGATA, Ryo TAKAGI, Satoru SONE, (Kogakuin University)

Since 2005, PWM converters have been successfully in service operation at feeding substations of a DC electrified commuter railway. These converters have the capability to work as regenerating inverters as well as rectifiers. However, the rate of deceleration of commuting train is generally constant over the entire speed region (0-130km/h), and it is a common practice to use friction brakes in parallel with the regenerative brakes in high-speed region to supplement the braking effort.

In this paper, the authors aim at the evaluation of the idea of pure electric braking. By reducing the rate of deceleration of a train at high-speed region, it will be possible to bring the train to standstill using regenerative brakes only. The authors are implementing a model of such trains in a multi-train power network simulator RTSS to evaluate its effect on an existing railway.

キーワード：饋電特性シミュレーション, PWM 変換器, 純電気ブレーキ

Key Words : multi-train power supply simulation, PWM converters, pure electric brake

1. はじめに

近年、直流電鉄用変電所にPWM変換器を用いた変電所(以下PWM変電所と称する)が導入されている。PWM変換器は直流電気鉄道に饋電するための順変換動作だけではなく、余剰回生電力吸収のための逆変換動作もそれ一台で行うことができる。電圧・電流も設計の範囲内で自由に出力することが可能である⁽¹⁾。いっぽう、現状の電気車は速度によらずブレーキ減速度が一定であり、高速域では機械ブレーキによる補足を行っているので、回生能力を十分に活用しているとはいえない。

そこで本論文では、PWM 変換器を用いた路線において電気車の回生能力をより活かすために、高速から回生のみで停車できるよう減速度を速度により変更することによる改善可能性を、饋電特性シミュレータを用いて議論する。

2. 高速回生ブレーキの導入

2.1 従来のブレーキ方式

電圧形インバータ制御の誘導電動機駆動車の減速特性を図1に示す。この特性は、最大ブレーキトルクを得られる「定トルク制御領域」とブレーキトルクが速度に反比例する「定電圧制御領域」の2つの領域に分けられる。電動機に誘導機を用いた車両において、高速域では誘導機の端子電圧の上限が電車線電圧により制限されるために、高速域での回生ブレーキ力が低下している。

現状の通勤電車等の鉄道車両は速度に関係なく一定の減速度を得られるように制御されていて、回生ブレーキ力が

不足する場合、不足分は機械ブレーキで補足している。また、回生エネルギーを消費する消費する負荷が近くないと架線電圧が上昇してしまうため、保護のために主回路を開いて回生絞り込みを行う。その結果、性能通りの電気ブレーキ力が得られないことによるエネルギーコストの増加に加え、機械ブレーキの摩耗によるコストが増えてしまう。

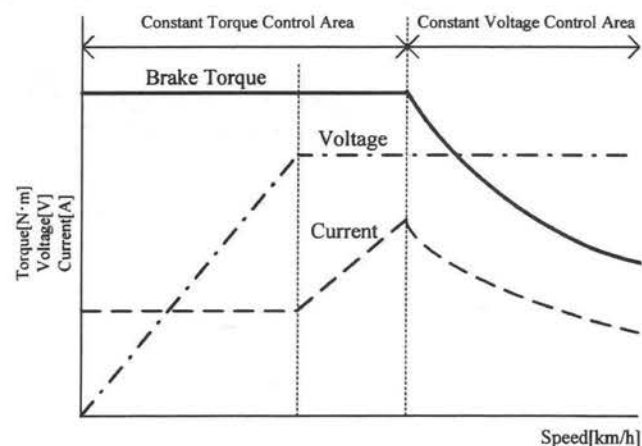


図1 インバータブレーキ制御モード

Fig.1. Mode of inverter brake control

2.2 地上回生機能を活用した高速回生ブレーキ

従来の変電所はダイオード変換器を用いて電力系統から饋電系統に供給しており、電車から回生された電力を電力系統に戻すことは出来ない。しかし、PWM 変電所は余剰回生電力吸収機能があり、回生失効や絞り込みがほとんど起こらないので、回生ブレーキの性能を十分に発揮できる。そこで、本研究ではこの地上回生機能を活用して、回生ブ

レーキのみをブレーキ力とする高速回生ブレーキ方式の導入効果をシミュレーションにより定量的に示す。

2.3 高速回生ブレーキの導入によって期待される効果

高速回生ブレーキを導入する事によって、以下のような効果が考えられる。

- 高速域での電気ブレーキ負担割合が増加することによる回生電力の増大・回生率の増加
 - 機械ブレーキ負担割合が減少することによるブレーキシュー摩耗の低下・メンテナンスコスト削減
- 一方、高速域での減速度低下によって制動距離が延びてしまったり、駅間走行時分が増加してしまう可能性がある。

3. 高速回生ブレーキのモデル実装

3.1 現行のシミュレーションプログラム

我々の研究グループでは饋電特性シミュレータ RTSS⁽²⁾を用いて様々なシミュレーションを行っている。RTSSは駅間走行時分一定化アルゴリズムを用いた饋電特性シミュレータであり、パンタ点電圧の変化による力行特性の変化が再現できるものである。しかし、現状のRTSSの減速運動のモデル、および実際の列車の制動は図2に示すように電空併用ブレーキにより、マクロな減速度は一定となっている。したがって、シミュレーションで高速回生ブレーキ導入効果の評価を行うにはRTSSに列車速度に応じた減速度を設定するモデルを開発する必要がある。

3.2 高速回生ブレーキのモデル化

高速回生ブレーキのモデルを作るために、速度に反比例する「定電圧制御領域」の曲線部分をどう近似するかを考える。速度に応じた減速度を連続的に設定して、曲線の形に出来るだけ近づけるのが理想だが、今回は図2に示すように列車の減速度を速度域に応じていくつかのグループに分ける簡単なモデルを作成してシミュレーションを行う。

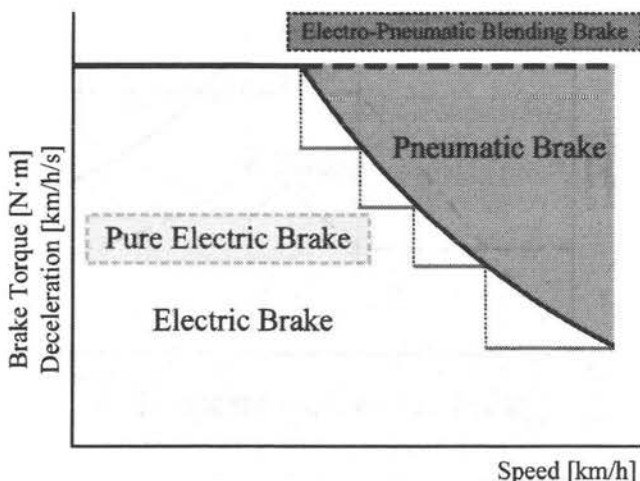


図2 ブレーキ力曲線

Fig.2. Brake force curve

4. 高速回生ブレーキの評価と適用

4.1 シミュレーションの条件設定・評価

前章で述べた高速回生ブレーキのモデルを RTSS に実装することで、高速回生ブレーキの評価が可能となる。RTSS

で高速回生ブレーキを評価するにあたり、各シミュレーションパラメータを以下のように定めた。

- ・上下線別饋電方式 饋電抵抗 0.0366[Ω/km]
- ・列車 6両編成 4M2T 乗車率 100%
- ・路線長 37.7[km] 駅数 15 駅
- ・変電所配置・容量 図3 全変電所が PWM 変電所

評価については、列車が始点から終点まで走行を行った時の片道当たりの力行エネルギー・回生エネルギー・回生率、全ての変電所からの送出エネルギーの総和で評価を行う。現在、RTSS に組み込む高速回生ブレーキのモデルの作成を行っている最中であるため、評価結果と考察は当日発表で述べる。

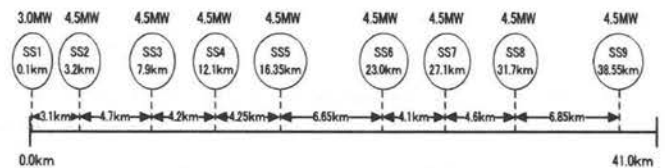


図3 変電所配置・定格容量

Fig.3. Position of substations and their rated capacity.

4.2 高速回生ブレーキの適用可能性

高速回生ブレーキは高速域で減速度が大きく低下するため、従来の運転士によるマニュアル運転ではブレーキ操作が煩雑になる点から実施は難しい。しかし、近年導入が進んできている ATO を用いれば、ブレーキ力の設定変更を行うことで高速回生ブレーキ方式を容易に実現できる。

5. まとめ

PWM 変電所の地上回生機能を活用した直流電気鉄道において、回生ブレーキのみをブレーキ力とする高速回生ブレーキ方式の導入効果をシミュレーションにより定量的に示した。前章で述べたが、現在 RTSS に組み込む高速回生ブレーキモデルの作成途中であるため、評価結果と考察は当日発表を行う。

また、変電所送出電圧上昇と高速回生ブレーキを併用して実施することによって、加速性能向上に伴う駅間走行時分短縮、回生能力向上による回生ブレーキ力の向上により更なる省エネルギー化が考えられる⁽³⁾⁽⁴⁾。今後は変電所送出電圧上昇と合わせて評価を行い、高速回生能力の重要性を示したいと考えている。

参考文献

- 1) 高木：「饋電システムと車両の新技术による電気鉄道省エネルギー化の願望」, 特集 電気鉄道技術の最近の動向, 電気評論, 91-6, pp29-35(2006)
- 2) 高木：「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)
- 3) 永田, 高木, 曾根：「直流電気鉄道用 PWM 変電所の V-I 特性と饋電特性評価量に関する一検討」, 第 14 回鉄道技術連合シンポジウム J-Rail2007, pp347-350(2007)
- 4) 永田, 高木, 曾根：「直流電気鉄道用 PWM 変電所の送出電圧を高め設定することによる効果の検討」, 第 20 回電気学会全国大会, 5-074, 2pages(2008)