

補機消費電力の積極的利用による 直流電気鉄道での回生ブレーキ有効利用

福田吉紀*，岡田万基，古関隆章（東京大学）

Efficient Regenerative Braking in a DC-electrified Railway
by Intentional Power Consumption of Auxiliary Equipment
Yoshinori Fukuda, Yuruki Okada, Takafumi Koseki (The University of Tokyo)

1. はじめに

本研究の目的は、補機の使用によって、回生ブレーキをより効率的に作用させるための、電力制御を考えることである。

一般的に、変電所に余剰回生電力を返すことのできない直流き電システムでは、列車の回生ブレーキによって生じた電力は、き電システム内で消費しなければならない。その際、架線電圧の大幅な上昇を防ぐために、架線電圧が高い場合には、回生電力を絞り込む、いわゆる回生絞り込み制御を行っている。この回生絞り込み制御は、架線電圧に対して、その電圧で流すことのできる主電動機電流を決めておき、架線電圧が上昇する際には、それをもとに主電動機電流を減少させるというものである。

しかし、平成12年10月に筆者らによる実車試験の結果、電気設備の保護を優先した結果、絞り込みが過度に行われる傾向があることが分かった。その対策の一つとして、変電所に、余剰電力を系統側に返せる設備を設置すること(1)が挙げられるが、これは付加的な設備投資を本質的に要する解である。そこで、本研究では、車上側の制御プログラムの変更で対応が可能な、電車の補機の電力消費の利用による、回生エネルギーの有効利用方法について、計算機により定量的検討を行う。

2. 回生ブレーキ効率的利用における補機

< 2.1 > 回生ブレーキ

回生ブレーキとは、電気がブレーキ動作を行う際に、加速のために使用している電動機を発電機として動作させ、生じた電力を回生負荷に供給することで、制動力を得るブレーキの方式である。

問題点は、生じた電力を、主に加速している列車（以後力行車と呼ぶ）に供給しているため、ブレーキ力が力行車の状態に、大きく影響されることである。そこで、本研究では、補機の消費電力をうまく利用し、回生ブレーキを有効利用する方法を考える。

< 2.2 > 補機による電力消費の実態

現在、補機としては、空調（暖房）・圧縮機などがある。

ある8両編成の列車の補機について、表1にその定格をまとめる。主回路の消費電力は、最大で約3000kWであるので、表1より補機を最大に利用しても、約10%にしかならないことが分かる。

表1 補機の負荷定格

Table1 Typical nominal powers consumption of major auxiliary equipment

	夏季	冬季	中間季節
圧縮機	36kVA	36kVA	36kVA
冷房	164kVA		
暖房		90kVA	
その他	36kVA	36kVA	36kVA
合計	236kVA	162kVA	72kVA

3. 補機の動作特性

補機は、圧縮機の場合は圧力、空調の場合は温度も考慮しなければならないので、電力消費のみを考えて、連続で使用することは不可能である。例えば圧縮機であれば、図1の様に圧力が600kPaまで下がると稼働し、800kPaになると運転を停止させるという動作を行っている。しかし、圧力や車内温度の変化の時定数は、電力消費に比べて著しく大きい。そこで、補機を短時間対応の回生負荷として積極的に活用する事を、考える。例えば、図2の様に、気圧が600kPaまで下がっていても、回生負荷が十分でない場合は、回生負荷として利用することなどが考えられる。この提案する制御論理を表2にまとめる。常に圧力と電圧の両方の状態を確認し、圧力が600kPaから800kPaの間にある時、パンタ点電圧が設定電圧よりも高いと、圧縮機が作動する。

しかし今回は補機を連続運転させる定電力源と仮定し、実路線を対象に計算機上で電回路の計算を行い、補機の消費電力に依存するエネルギー回生量の評価を行った。

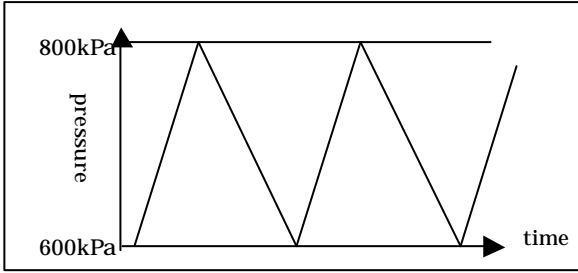


図1 補機自身の論理のみで行う圧縮機の動作
Fig. 1 An example of conventional compressor behavior based on its own logic

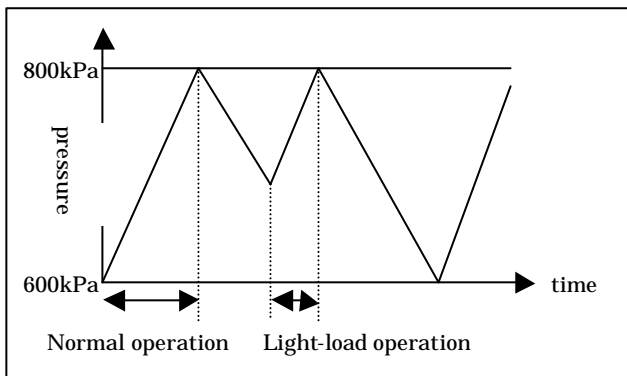


図2 軽負荷回生補助のための補機運転制御
Fig. 2 Proposed compressor behavior for assisting regenerative braking operation

表2 圧縮機動作特性を表す真理値表

Table 2 Truth table of the proposed compressor operation

600kPa 以下	800kPa 以 上	V 1 (圧縮機 稼働電圧) 以上	結果 (稼働 停止 ×)
	×		
	×	×	
×			×
×		×	×
×	×		
×	×	×	×

4. 補機の消費電力を一定とした場合の補機の効果に関する予備的検討

図3に補機を考慮して最適化を行い、補機の電力を変えたときの、回生電力の推移を示す。ここで、236kWは、補機を最大に使用したときの値である。

図3から、力行車の消費電力が小さい軽負荷時(0~7s)

では、補機の消費電力寄与が相対的に大きいこと、電力回生向上への寄与も大きいことが分かる。

ここで、軽負荷時に補機の値を変えた場合の、回生エネルギーを図4に示す。図4から、最大である236kWのときは、0kWのときに比べて、約50%も増加しているのが分かる。もちろんこの236kWは圧縮機と冷房を連続運転を前提としており、実際にはこのような連続運転は不可能だが、少なくともこの結果は、補機制御を連動させることによる回生ブレーキ効率化の可能性が無視できないことを示している。

5. まとめ

4章の検討から軽負荷時では、補機の消費電力により、最大で約50%もの回生エネルギー増加が見込める事が分かった。つまり、補機を使うタイミングを考慮すれば、回生ブレーキ効率化の可能性があると示された。今後は、補機を連続運転するのではなく、圧力、温度、架線電圧の状態まで考慮した検討、また電車のコンデンサーやリアクトルを考慮し、より現実的なモデルを完成させ、時間軸に沿った過渡回路解析を行っていく予定である。

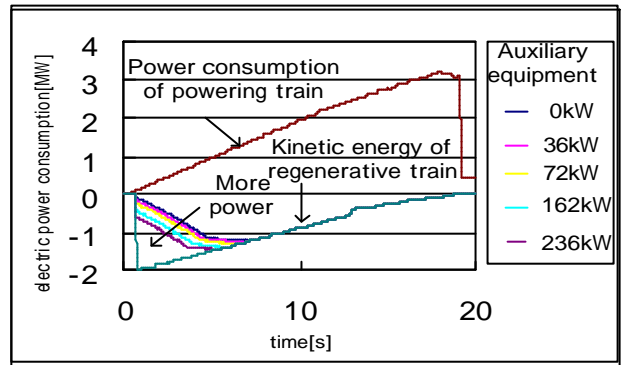


図3 補機を考慮し最適化を行った場合の回生電力

Fig. 3 Regenerated power with optimal operation of the auxiliary equipments.

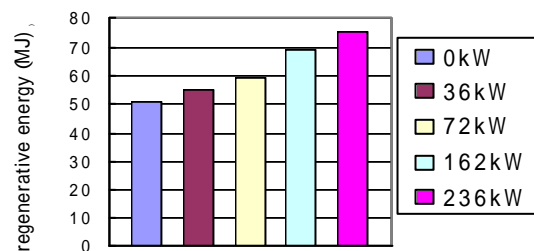


図4 軽負荷時に補機の値を変えた時の回生エネルギー

Fig. 4 Regenerated energy dependency on the nominal power consumption of the auxiliary equipments when the power consumed by accelerating trains is small.

文献

- (1) 曾根 悟、回生車時代のき電特性と絞り込み特性の再検討：電気学会 交通・電気鉄道リニアドライブ合同研究会、TER-02-49 LD-02-64, 2002