

### 第 68 回

# 電気ブレーキ

## 電気ブレーキ

ブレーキは車両の運動エネルギーを別のエネルギーに変換し、車両を減速停止させる装置です。表1に鉄道のブレーキ装置の分類を示します。表の中の装置には、特殊なものも含まれていますが、基本的に運動エネルギーを他のエネルギーに変換するというエネルギーの流れは同じです(図3、図4)。鉄道車両において、最もよく使用されている機械ブレーキの一つにディスクブレーキがあります。これは、車両の運動エネルギーを摩擦により熱エネルギーに変換し、その後大気中に放散させることで、減速、停止を行うものです。一方、電気ブレーキは、「駆動電動機を発電機として働かせ、主軸からのトルクにより発電し作用させるブレーキの総称。発電ブレーキと回生ブレーキがある。」と文献<sup>1)</sup>にあります。この文章だけでは、構造や原理がよくわか

りませんが、電車や電気機関車の電動機を発電機とすることによってブレーキの機能を得るものといえます。

以上のように電気ブレーキは、摩擦によって熱を発生するものではないので、装置の摩耗がありません。また、電気エネルギーとして得られるため、他の車両などで有効利用することで、エネルギーのリサイクルが可能となります。

このように電気ブレーキは省エネルギー、省メンテナンスに適したブレーキ装置ですが、停車時の保持トルクを得るのが難しい(パーキングブレーキに使えない)、電力の制御が必要、停車時のバックアップブレーキを用意するなどフェールセーフの確保に工夫が必要であり、機械的なブレーキに比べて考慮しなければならないことも多々あります。

ここでは、電気ブレーキの歴史を振り返るとともに、非接触式レールブ

レーキなど将来に向けた新しい技術なども紹介したいと思います。

## ブレーキの原理と歴史

陸海空を問わず、移動体や乗り物を安定して動かすためには、三つの力

- ・推進力
- ・案内力
- ・支持力

が必要です。船舶などではこの三つの力が分担されていて、スクリューで加減速し、舵で曲がって、船体の浮力で支持しています。通常の鉄道車両では、この三つの力をすべて車輪とレールの接触で発生しています。すなわち、車輪で加減速して、車輪でカーブを曲がって、車輪で台車と車体を支えています。

乗り物では加速するための方法が話題の中心となりますが、実際は減速(ブレーキ)も重要であり、安全に止まれ

表1 近年使用されている鉄道のブレーキ

種類	方式	構造、機構	エネルギーの最終形態
機械ブレーキ	ディスクブレーキ(図1) 踏面ブレーキ	車輪や円板に、シューを押し付けたり 挟みこんだりし、摩擦熱を発生	熱
	空力ブレーキ(図2)	空力板を広げ、空気抵抗を増加	熱
電気ブレーキ	レールブレーキ (接触式)	シューをレールに押し付けたり、電磁 的に吸着させて摩擦熱とレールに渦電 流を発生	熱
	発電ブレーキ	電動機で発電し、電気に変え、さらに 抵抗で熱に変換	熱
	回生ブレーキ	電動機で発電し、電気に変え、他の車 両や装置で使用	電気
	レールブレーキ (非接触式)	電機子を励磁し、レールに渦電流を生 じさせ熱に変換	熱 電気

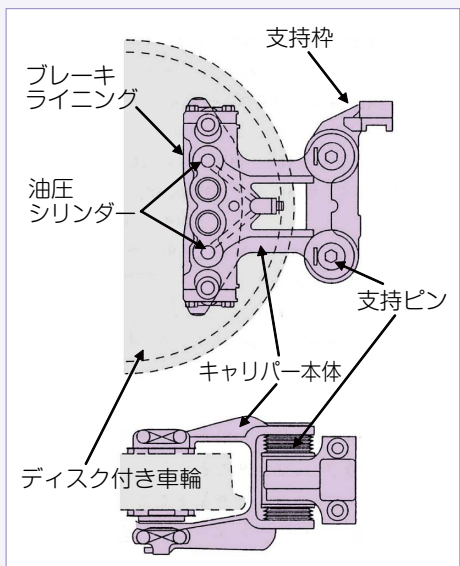


図1 ディスクブレーキ<sup>2)</sup>

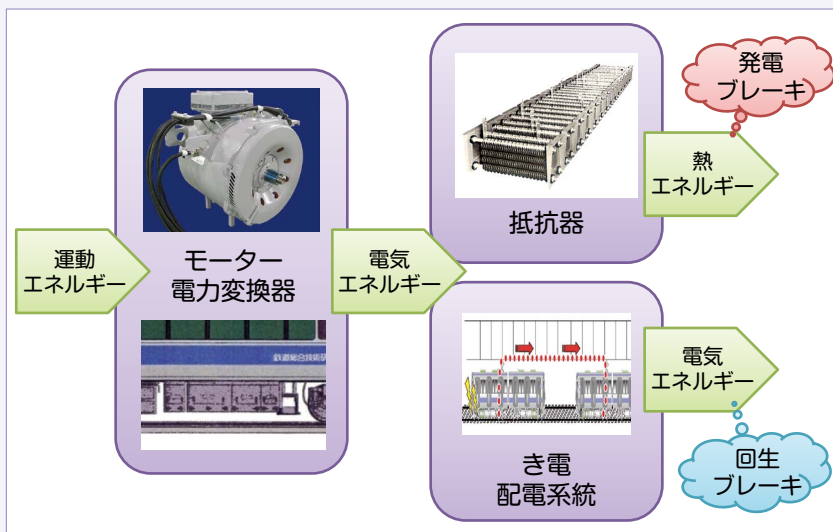


図3 電気ブレーキのエネルギーの流れ

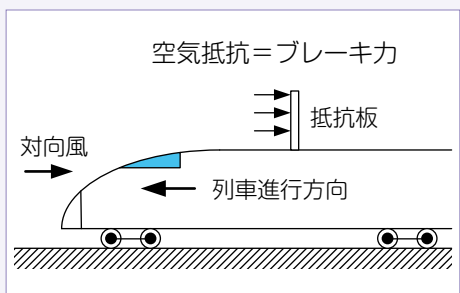


図2 空力ブレーキ<sup>3)</sup>

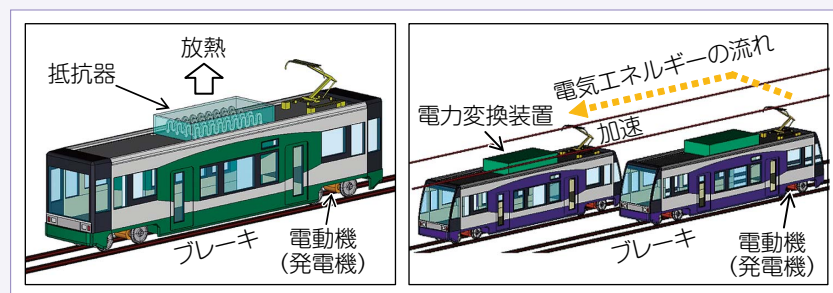


図4 発電ブレーキと回生ブレーキ<sup>4)</sup>

ることが必須条件です。鉄道ではこの安全に止まれることが非常に重視されていて、どんなことがあっても、対向車や前の列車に衝突しないことが求められています。ブレーキは安全に止まれるための最重要装置です。

表2に鉄道のブレーキの歴史、変遷を示します。1730年の手ブレーキから始まって、当初は、すべて車輪などにブレーキシューを押し付けることでその摩擦力で熱を発生し減速するものでした。その押し付ける力を得る方法として、手(人力)や真空(大気圧)、空気(圧縮空気)が利用されてきました。1955年ころになると、動力方式も蒸気機関から電気に逐次置き換えられてきたため、電気ブレーキが目立ちます。特許の出願も散見するようになり(図5)<sup>6)</sup>本格的な導入が開始され

表2 鉄道のブレーキの歴史<sup>5)</sup>より抜粋

西暦	国	事柄
1730	英	鉱山鉄道の手ブレーキ
1844	英	真空ブレーキ
1869	米	空気ブレーキ
1872	日	新橋-横浜開通(蒸気ブレーキ+手ブレーキ)
1904	日	初めての電車運転(直通空気ブレーキ)
1955	日	発電ブレーキ
1964	日	新幹線開業(空気ブレーキ+発電ブレーキ)

ます。1964年の新幹線の開業は鉄道システムの革新となりましたが、ここでも電気ブレーキ(発電ブレーキ)が重要なカギを握ります。

すなわち高速域での制動は基本的に電気ブレーキが担うようになり、機械ブレーキは保安ブレーキや低速域での制動に役割分担がされます。さらに平成に入り、300系以降の交流電動機車(インバーター車)においては、コンバーターを主回路に搭載し、交流架

線に電力を回生することで、省エネルギーと車両の軽量化を実現することになります。20世紀末には、磁気浮上列車(超電導リニア、リニモ)やリニア地下鉄などリニアモーターで駆動する列車が登場しますが(図6)、これらのシステムでは、加速も減速もリニアモーターで行うため、最高速度から停止までほぼ電気ブレーキで行っていると考えると差し支えありません。

一般の鉄車輪方式の鉄道でも全電気





(a) 常電導リニア(上海)



(b) 超電導リニア(山梨)

図6 磁気浮上列車

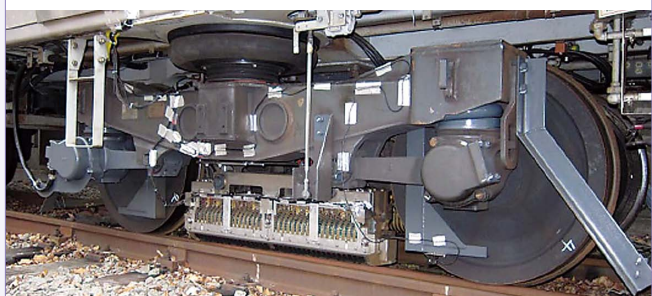
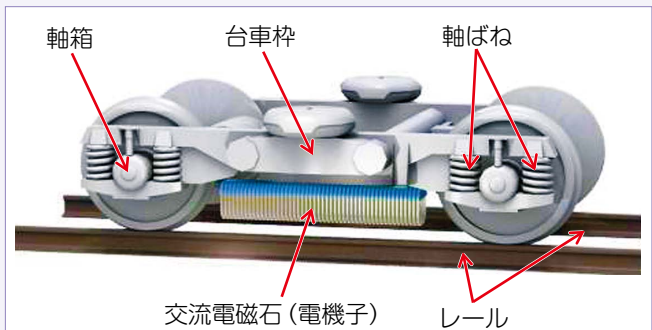


図7 リニアレールブレーキ<sup>8)</sup>

方式を採用することで、粘着力の制限を受けることなく、レールの温度上昇も抑えられ、停電時も動作可能で、高速域でも制動力が落ちることのない、ブレーキシステムが実現できます。

レールブレーキは車載する装置が増えて重量が増すなどの課題もあるため、高速化のためなど目的をもった車両に搭載が限定されると思われますが、粘着力に頼らないという原理的なブレークスルーがあり、今後の研究開発が期待されます。

高信頼で停止時でも動作するディスクブレーキや踏面ブレーキを鉄道システムから排除することは恐らく無理と考えられます。

一方で電気ブレーキの高性能化や非接触型レールブレーキの搭載によって、車両全体として制動力の増加や速度域の拡大が見込まれるため、ディスクブレーキや踏面ブレーキの負担を減らすことができます。これは高速化に資するだけでなく、省エネルギーや省メン

テナンスが期待できます。電気ブレーキと他のブレーキ装置の競い合いではなく、補完しあって、バランスの良いブレーキシステムを搭載することが車両の軽量化や信頼性向上につながるでしょう。

最後に、電気ブレーキは制御もエネルギーも電気で行うため、高速高応答な制御ができます。SiC素子による回生領域拡大や回生失効防止の蓄電装置の搭載などハードウェアの進歩もありますが、ICTやセンシング、大規模データなどの情報処理技術などの親和性がよいことも示しています。

たとえば電気ブレーキをかけている時の電流の変化などを読み取ることによって、車輪とレール間の状態がどのようになっているかを予測することができ、空転や滑走の防止制御をすることもできます。とりまおさず、ブレーキ装置がセンサー、動態監視装置を兼ねることになります。鉄道システムが情報化、インテリジェント化されていく方向で、電気ブレーキの役割も今以上に大きくなっていくと思われます。

(長谷川均/車両制御技術研究部  
水素・エネルギー研究室)

#### 文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道技術用語辞典online, <http://yougo.rtri.or.jp/dic/>
- 2) 狩野泰：ディスクブレーキ装置, RRR, Vol.66, No.3, p.38, 2009
- 3) 高見創：空力ブレーキで高速鉄道の緊急停止距離を短縮する, RRR, Vol.71, No.8, pp.12-15, 2014
- 4) 大江晋太郎：電気ブレーキ, RRR, Vol.67, No.5, pp.36-37, 2010
- 5) 内田清五：鉄道車両のブレーキ百科(1), 運輸協会誌, Vol.43, No.1, 2001
- 6) 日立製作所：電気車電気制動装置, 特公昭26-2160, 1951.5.1
- 7) 小笠正道：回生ブレーキとエネルギー, 鉄道車両と技術, No.78, pp.10-19, 2002
- 8) 坂本泰明, 渡邊晃秀, 米山崇, 嵯峨信一：リニアレールブレーキの実用化に向けて, RRR, Vol.71, No.8, pp.16-19, 2014