

ブレーキのすべり率滑走制御装置

熊谷 則道 ((財)鉄道総合技術研究所 理事)

すべり率滑走制御装置が担う役割

車両のブレーキ動作時に車輪の滑走を抑止し、車輪の損傷を未然に回避するために備え付ける装置が滑走防止装置です。滑走防止装置は滑走制御装置、滑走再粘着装置とも呼ばれます。鉄道での滑走防止装置の導入は早く、1964年の東海道新幹線開業時の車両に装備されました。レール上の雨、雪、油、汚れ、低気温などにより、車輪とレール間の摩擦係数が低下する状態で強いブレーキが作用すると車輪の滑走が発生します。車輪の滑走を放置すると、車両は進んでいるにもかかわらず車輪の回転が停止するので、車輪の踏面が部分的に削られる車輪フラットと呼ばれる擦傷痕ができます。車輪フラットは騒音を発生させ、車軸軸受の損傷や軌道の劣化を促進させる要因ともなるので、車輪滑走を抑止することが不可欠です。自動車の滑走防止装置はABS(アンチスキッドブレーキシステム)と呼ばれ、雨天時等の車両のステアリング制御に欠かせない装置になっています。

車輪のすべりを検知して、車輪滑走時の車輪すべり率を目標範囲内に制御する装置がすべり率滑走制御装置です。車輪すべり率とは滑走した車輪の速度の低下分を車両の走

行速度で除した値です。車輪滑走を抑止するためには滑走を検知したのち、直ちにブレーキを緩めればよいのですが、緩めすぎることによってブレーキ距離が長くなります。すべり率滑走制御装置は、車輪フラットを防止するとともにブレーキ距離の延伸を最小限にするためのブレーキ装置です。本方式のほか、ファジー推論による車輪滑走制御方法なども鉄道車両に導入されています。

車輪滑走防止装置の課題

滑走防止装置では、各車輪の発生パルスをカウントし、速度差、すべり率、車輪減速度などを算出する演算・論理回路の制御部およびブレーキシリンダ(以下「BC」という。)の空気圧力を制御する抑止電磁弁と吐出電磁弁の滑走防止弁部で構成されます(図1)。論理回路では各車輪の速度差、すべり率および車輪減速度の3種の検知要素にそれぞれにしきい値(限度値)が設定され、車輪の滑走開始点、滑走停留点、再粘着点を検知します。滑走開始点では、車輪の再粘着を促すため、抑止電磁弁をONとして空気タンクからBCへの流入を止めるとともに吐出電磁弁をONとしてBC内の空気圧力を排出します。滑走停留点では吐出電磁弁をOFFとして空気の排出を停止させます。再粘着点では抑止電磁弁をOFFしてBCに圧力空気を供給します。

従来の滑走防止方法では、車輪の滑走固着と車輪フラットを防止することを最優先し、また、車輪速度や減速度の演算に要する時間が長かったため、滑走開始点等の検知に遅れが生じ、BC圧力を必要以上に低下させていました。図2で示すように、一部の従来制御方式では斜線に示す領域がブレーキ力の損失分として見込まれることになり、ブレーキ距離の延伸の原因となっていました。

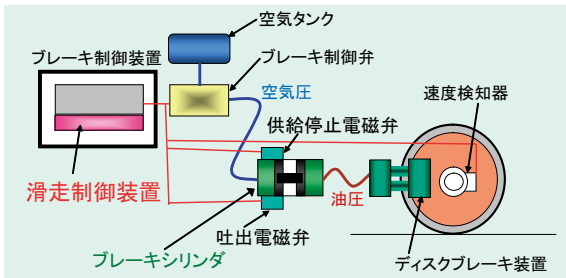


図1 新幹線車両の機械ブレーキ装置の例

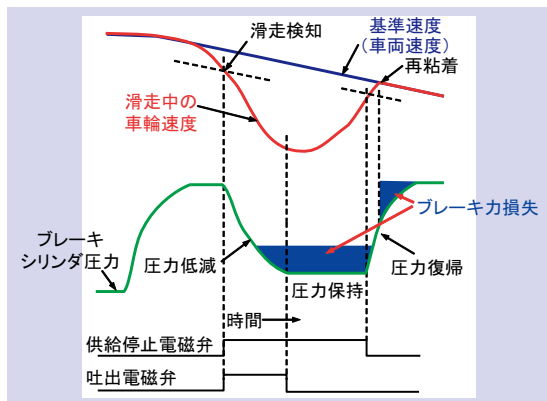


図2 従来の滑走防止装置の制御方法(イメージ)

滑走中の接線力係数の変動

車輪がレール上を転がるときの車輪・レール間の摩擦係数を接線力係数と呼んでいます。接線力係数と輪重の積を粘着力といい、車輪からレールに伝達されるブレーキ力の最大値を表す数値です。接線力係数は車輪のすべり率が変化するにつれて変動することが実験的に知られています。図3ではすべり率と接線力係数の関係を概念的に示しています。多くの場合、車輪滑走が開始した後すべり率がおよそ0.2%程度の微小すべり領域では接線力係数とすべり率

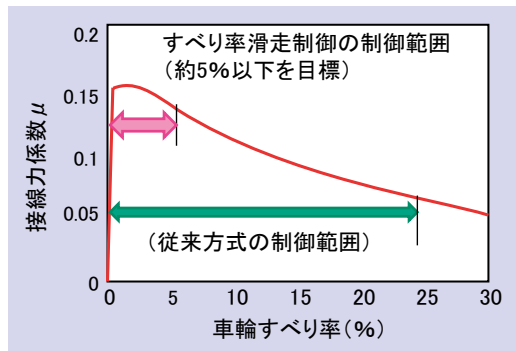


図3 すべり率滑走制御の制御範囲

がほぼ比例して増加し、この値を超えてすべり率が大きくなると接線力係数は低下する傾向が報告されています。

粘着力を有効利用するためのすべり率滑走制御

車輪滑走時にはブレーキ力を高めるために、接線力係数を常に高い値に保つことが必要となります。車輪が滑走を開始した後でも、すべり率を適切に保つことによって、その時の最大のブレーキ力を発揮させることが可能となります。一方、滑走中の車輪のすべり率が大きい状態であると、接線力係数は低くなり、本来発揮できるはずのブレーキ力が低くなることが予測されます。

すなわち、滑走時にすべり率を適切に選定することにより、車輪からレールに伝達される粘着力（ブレーキ力）を最大限に利用する、有効に利用することがブレーキ距離の延伸防止につながることになります。このため、すべり率滑走制御ではすべり率の範囲を従来方法に比べて小さい範囲になるように制御します。

すべり率滑走制御のための圧力制御方法

レール上の湿潤状態の程度によって粘着力は変動し、それにより車輪の滑走の大きさも変動します。そこで、各車輪のすべりの大きさを監視しつつ圧力を制御する方法として図4に示すように、車輪・レール間の粘着力の高低に合わせて小滑走の場合BC圧力を小さく、大滑走ではBC圧力を大きく低下させる制御とし、減圧をステップ状に変化させる方法とします。このため、滑走検知直後に抑止電磁弁と吐出電磁弁の作用時間（圧力低減時間 t_1 、圧力保持時間 t_2 ）をパルス状に短く設定することにより、きめ細かな圧力制御を行います。

滑走が継続し車輪が再粘着しない場合、さらにBC圧力を低下あるいは保持して滑走の状態を常時モニターし、圧力制御動作を繰り返す方法としています。目標の車輪すべり率を0～約5%の範囲に維持するため、試運転試験にお

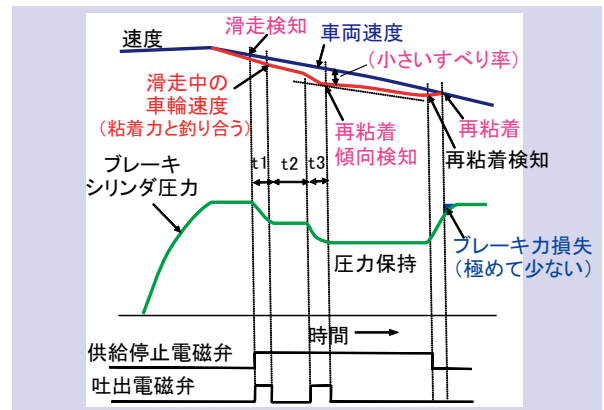


図4 すべり率滑走制御による滑走車輪速度の変化(イメージ)

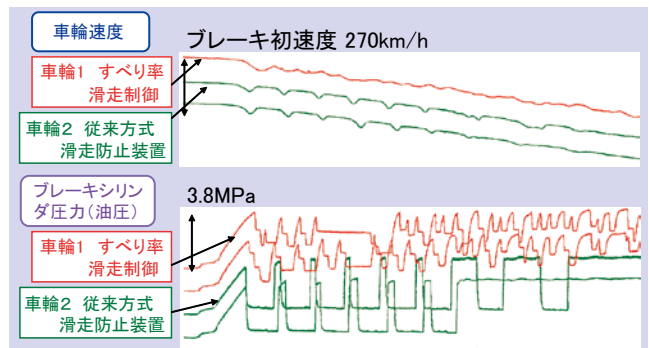


図5 すべり率滑走制御による車輪速度、BC圧力の変化

いて滑走を再現し、電磁弁等の性能を考慮して制御時間 t_1 、 t_2 を50～200msの範囲で設定するためのチューニングを行います。

図5はすべり率滑走制御による車輪の速度およびBC圧力の変化を従来方式制御と比較した状態図です。従来方式（車輪2）ではBC圧力が大きく低下しブレーキ力が減じられています。すべり率制御（車輪1）ではBC圧力が大きく低下せず、車輪1の速度は微小の滑りを継続している状態がわかります。力学的にはブレーキ力が粘着力とほぼ釣り合い、粘着力を有効に使っていることが推測されます。

本方法は新幹線車両、在来線の特急型、通勤型車両に装備されています。特に、新幹線区間の高速走行時の滑走制御およびブレーキ力がより高い在来線区間での滑走制御を併用する新幹線・在来線直通車両に有効です。日本のすべての車両に滑走制御装置が装備され、車輪フラットの発生が皆無になることを願っています。

文献

- 1) 熊谷則道, 長谷川泉, 内田清五, 渡邊一範: 同期化パルス速度演算を用いた新幹線用すべり率滑走制御システム, 日本機械学会論文集(B編), 70巻, 689号, (2004-1), 135-141