

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

空気ばね圧力でブレーキ 空走時間を短縮する

現在、新幹線電車の営業速度は320km/hに到達しており、将来的には360km/hを目指したブレーキの技術開発が進んでいます。このうち、機械ブレーキであるディスクが吸収すべき運動エネルギーは速度の自乗で増大するため、速度向上した場合はこれまで以上の性能が要求されます。加えて、地震を想定し、停止距離を従来程度に留めることが前提となり、技術開発では多くの課題に直面しています。そこで、停止距離の短縮を図る手法の一つとして空走時間の短縮に着目し、定置試験とシミュレーションにより効果を確認したので、これらについて紹介します。



嵯峨 信一
Shin-ichi Saga
車両制御技術研究部
ブレーキ制御研究室
主任研究員
【専門分野】ブレーキの熱的問題、車輪/レールの粘着問題



服部 大志
Taishi Hattori
西日本旅客鉄道株式会社
車両部 車両設計室
課員
【専門分野】ブレーキシステム

はじめに

現在、新幹線電車に代表される高速鉄道車両の営業速度は、世界的にも300km/hを達成しています。日本国内の営業速度は320km/hに到達していますが、将来的に360km/hを目指した技術開発が進められています¹⁾。

速度向上する際に必要な技術開発としては、台車の走行安定性や走行騒音のほか、ブレーキがあります。なかでも、摩擦力で走行車両を止めるディスクブレーキシステム(図1)が吸収すべき運動エネルギーは莫大で、これまで以上の性能が要求されます。さらに、地震時にはいち早く安全に車両を止

めるために停止距離を従来程度に留めることが前提となり、技術開発では多くの課題に直面しています。

そこで、停止距離を短くする手法の一つとして、空走時間の短縮に着目しました。

空走時間とは、ブレーキ指令が出力されてからブレーキが有効に働き始めるまでの時間で、ブレーキシリンダー圧力(以下、BC圧)の立ち上がりが整定値の63%に達するまでの時間、あるいは車両の減速曲線の交点で表したもので、図2に示した $t_0 + t_1$ です。ここで、 t_0 とはブレーキ指令からBC圧が立ち上がり始めるまでのむだ時間、

t_1 とはBC圧が立ち上がり始めてから整定値の63%に達するまでの時間を意味しています。

一般に、鉄道車両の空走時間は自動車の0.75秒(人が危険を認知してからブレーキペダルを踏み、車両が減速し始めるまでの時間)よ

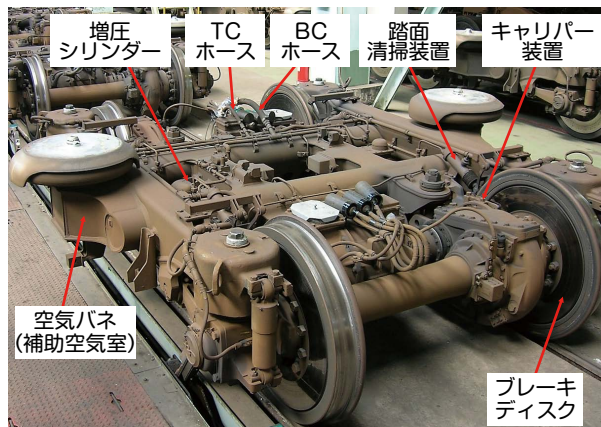


図1 ディスクブレーキシステム

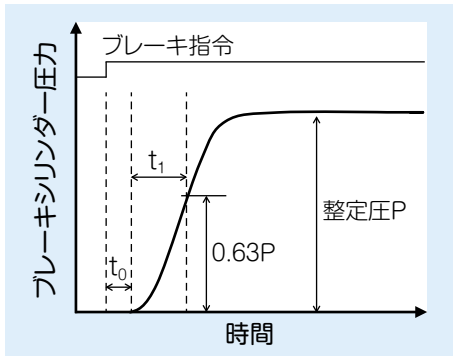


図2 空走時間の概念図

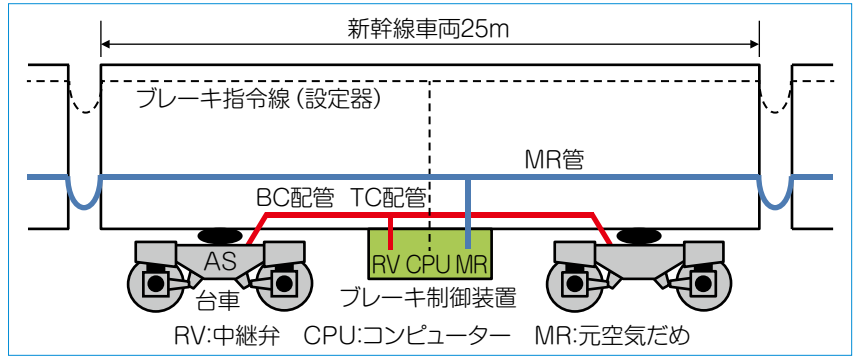


図3 新幹線電車の空気ブレーキ配管

りも長く、設計上1.5秒(ブレーキ指令出力から車両が減速し始めるまでの時間)とする場合があります。これは、回生ブレーキの立ち上がり時間に要することや油圧に比べて圧縮性が大きい空気圧を用いていること、および指令部のブレーキ制御装置から作用部の制輪子あるいはパッドまでの配管距離が長いことが考慮されているためです。

しかし、空走時間の停止距離に対する影響は高速で走行する車両ほど大きく、将来的には空走時間の短縮がさらに求められるものと考えられます。

新幹線電車のブレーキ配管

新幹線電車の空気ブレーキ配管の模式図を図3に示します。あるノッチ

(参照)のブレーキ指令がブレーキ設定器などから出力されると、これを受けたブレーキ制御装置はノッチと台車の空気ばね圧(以下、AS圧)から応荷重演算(参照)した指令圧(以下、AC圧)を電空変換弁(参照)の電流制御により発生させ、中継弁へ供給します。

その後、中継弁から大流量のBC圧が増圧シリンダーまたは空圧式キャリアへ直接供給され、キャリア装置のピストンがパッドをディスクに押し当てることにより、ブレーキ力が発生します。このとき、AC圧の調圧時間と中継弁から増圧シリンダーまたはキャリア装置までの配管長(約10m)による圧力伝播時間を要するため、前述の空走時間が生じることになります。

また、ある速度以上ではブレーキ指令と同時に踏面清掃装置に動作圧力(以下、TC圧)を供給する仕組みになっています。この際、TC圧の配管長もBC圧と同程度の長さをもつため、踏面清掃装置にも時間的遅延が生じます。踏面清掃装置とは増粘着研磨子を車輪踏面に押し当てて清掃し、車輪踏面に粗さを生成して空転や滑走を抑制するもので、踏面制輪子を用いない新幹線電車では粘着ブレーキの性能に及ぼす影響が大きい装置です。

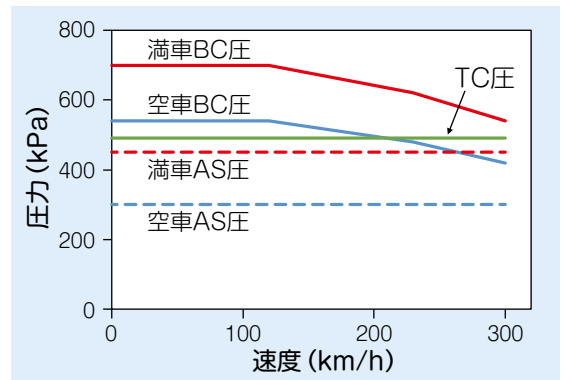


図4 圧力の設定値(非常ブレーキ)

空気ばね圧を用いた空気ブレーキシステム

空走時間を短縮する方法として、台車枠内にある空気ばねの圧力(補助空気タンク内の圧力)、すなわちAS圧を用いる方法(以下、本システム)を検討し、次に示す4条件を考慮したシステム構成を考案しました。

- ①配管長をできるだけ短くする
- ②圧力調整弁や制御装置を用いない
- ③脱線などのBCホース切断時やブレーキ制御装置故障時にもブレーキ作用が得られること
- ④検圧できること

新幹線電車の非常ブレーキ時における設定BC圧と設定TC圧の例を図4に示します。いずれの条件においてもBC圧およびTC圧はAS圧よりも高い設定であることから、AS圧を直接的に増圧シリンダーまたは空圧式キャリア装置および踏面清掃装置に供給しても過大なブレーキ力にならず、著しい摩擦熱や滑走を招くおそれがないことが推測されます。

ノッチ

一般に、抵抗器などの抵抗値を切り換える接点またはその装置を表します。鉄道車両では、減速する際はブレーキノッチとして、ブレーキ力が7~8段階に刻まれて設定されています。これとは逆に、加速する際は力行ノッチとよばれています。

応荷重演算

車両の積載質量に応じて、常に一定のブレーキ力およびブレーキ距離が得られるようにする演算。

電空変換弁

入力電流に比例した空気圧力が出力される弁。大流量の出力が得られないため、中継弁が必要。中継弁とは、電空変換弁で調圧された指定空気圧を受け、同等の圧力で流量の大きい圧縮空気をブレーキシリンダーに供給する弁。

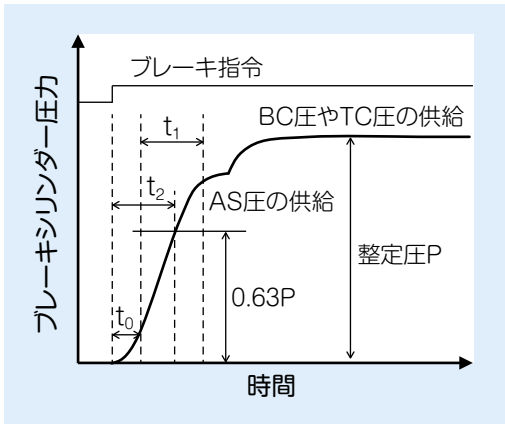


図5 合成圧力の概念図

また、台車枠にある2つの補助空気タンクのAS圧に最大差圧120kPaが生じた場合を想定すると、空車条件で240~360kPa、満車条件で390~510kPaの変動AS圧となり、この場合もBC圧をほぼ超過しません。なお、AS圧はBC圧と同様に圧力検出ユニットで常時監視しており、空気ばねのパンク時も検知可能です。

本システムの圧力挙動は、ブレーキ指令と同時に近接のAS圧が大量に供給され、空走時間が短縮されます。その後遅れて、所定のBC圧およびTC圧が供給され、やがて整定圧に到達します。すなわち、合成された圧力は図5のようになり、空走時間 $t_0 + t_1$ が t_2 に短縮できるものと推測されます。

実物大台車の定置試験

AS圧を利用した本システムを台車に適用した模式図を図6に示します。新幹線電車の実台車を用いた試験を行うにあたり、補助空気タンク(左右で140L)から電磁弁付きの複式逆止弁(☞参照)を経由して台車側BCホースおよびTCホースへ合流させる方法としました。

試験条件は、車両重量条件として

☞ 複式逆止弁

入力ポートを2つ設けて圧力を比較し、常に高い圧力を出力する弁。

空車(0%乗車)、積車(75%乗車)、満車(150%乗車)の3種類とし、それぞれAS圧とBC圧を設定しました。また、車体の左右偏積状態を模擬するため、差圧弁が動作しない不感帯の最大圧力差として120kPaの差圧(±60kPa)を種別①~③としてAS圧に付与しました。

AS圧供給の効果比較を図7に示します。なお、実車両で調べた増圧シリンダー油圧および研摩子押付力の空走時間は、増圧シリンダー油圧が0.95s、研摩子押付力が0.9sでした。

供給するAS圧がBC圧およびTC圧の各整定値の63%に達している場合、図7(a)のように空走時間が0.6~0.7s短縮されます。一方、供給するAS圧が各整定値の63%に達していない場合、図7(b)のように空走時間の短縮は0.1s程度にとどまります。しかし、空走時間が実車両並みとなった条件においても、整定BC圧の約40%、整定TC圧の約50%が早い段階で供給され

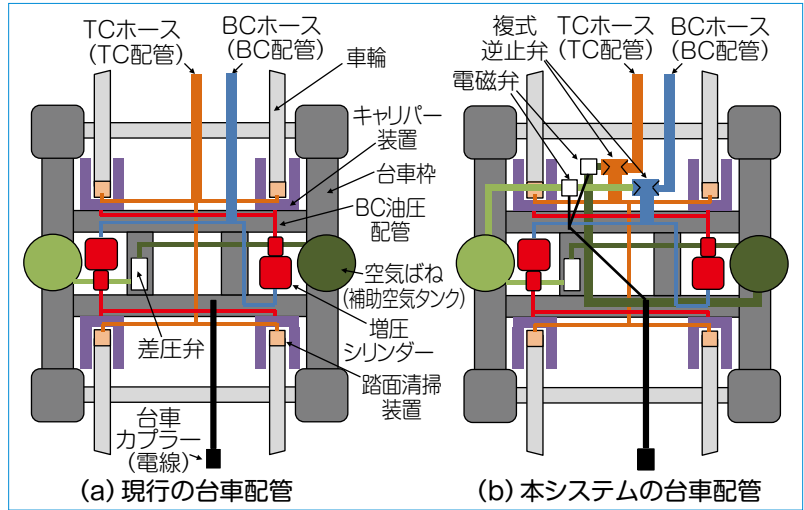


図6 台車配管の比較

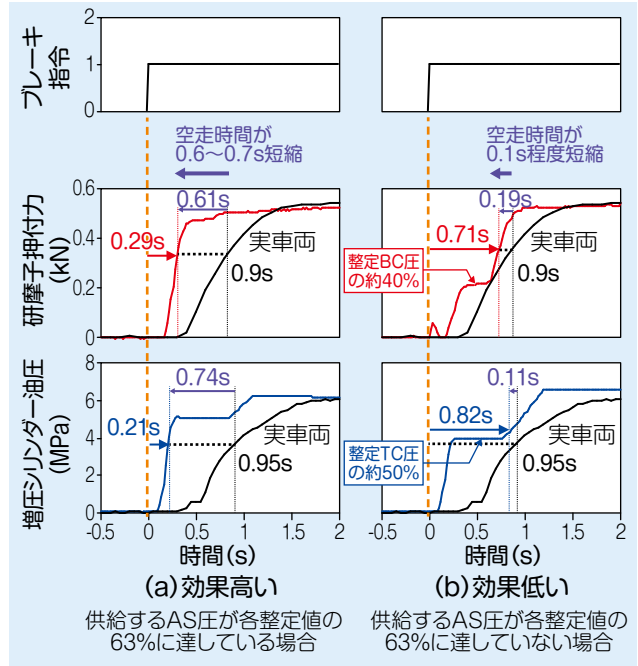


図7 AS圧供給の効果比較

ており、むだ時間 t_0 は短縮されるとともにパッドと研摩子にはある一定の押付力が生じブレーキ性能の向上に寄与するものと考えられます。

設定BC圧およびTC圧と供給AS圧の圧力比に対する増圧シリンダー油圧および研摩子押付力の空走時間の関係を図8に示します。「AS圧供給なし」とは複式逆止弁を設置した条件でAS圧を供給しない場合です。

AS圧供給ありの条件における増圧シリンダー油圧の空走時間は、圧力比が0.66以上の場合で0.2s程度となり、

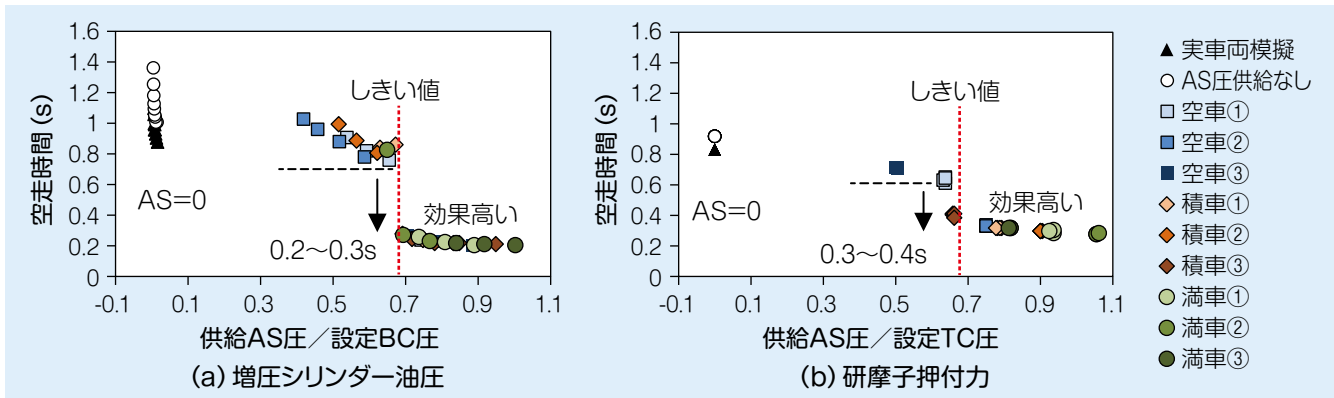


図8 圧力比と空走時間の関係

実車両模擬と比較して0.7s程度
の短縮が認められます。なお、その空走距離は速度270km/hで約60m程度短縮されます。研摩子押付力の空走時間も同様に、圧力比が0.66以上の場合で0.3s程度に短縮されます。すなわち、いずれも空走時間の算出しきい値である圧力比0.63を上回るAS圧があれば空走時間は短くなること、逆に圧力比が0.63を下回ると実車両と同等になることがわかります。

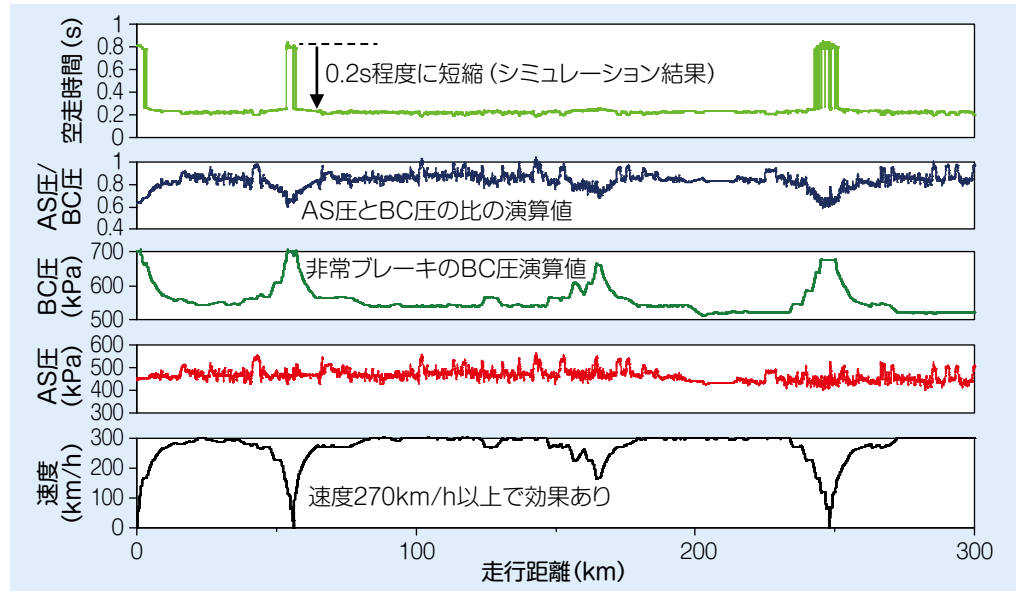


図9 営業列車データを用いたシミュレーション結果

営業列車データを用いたシミュレーション

営業列車の情報記録装置から得られる全号車のAS圧データを用いて、本システムが非常ブレーキとして動作した場合の増圧シリンダー油圧の空走時間をAC圧/BC圧の瞬時値からシミュレーションした結果を図9に示します。空走時間は、駅停車ごとに固定値に設定される制御AS圧データを基に、走行速度に応じた非常ブレーキのBC圧を応荷重演算し、さらにAS圧との圧力比から求めました。

台車単体による定置試験の結果と同様に、速度270km/h以上の高速走行時における空走時間は約0.2s程度に短縮されること、左右いずれのAS圧

を用いても、空走時間には明確な差異は認められないことがわかりました²⁾。

まとめ

地震などの異常時にいち早く新幹線電車を停止させる方策の一つとして、車体支持空気ばね圧を用いたブレーキ空走時間の短縮手法を考案しました。この手法は、車体配管やブレーキ圧力の制御装置を経ることなく、既存の台車側補助空気タンクからキャリア装置へ圧縮空気を直接的に供給してブレーキ圧力を立ち上げることで、空走時間の短縮を図るものです。

実物の新幹線台車を用いた定置試験により、ブレーキの空走時間は約1sから約0.2sにまで短縮できること、

踏面清掃装置に供給する場合においても同様の短縮効果が得られることを確認しました。さらに、AS圧の営業列車データを用いたシミュレーションにより、走行速度270km/h以上の区間で定置試験と同等の短縮効果が得られることを示しました。[RRR]

文献

- 1) 新井浩, 菅野悟, 藤野謙司, 加藤博之, 浅野浩二: 新幹線高速化に向けたブレーキの開発, JR EAST Technical Review, No.31, pp.17-21, 2010
- 2) 嵯峨信一, 服部大志: 空気バネ圧力を用いたブレーキ空走時間の短縮手法, 鉄道総研報告, Vol.31, No.6, pp.29-34, 2017