

空気バネ圧力を用いたブレーキ空走時間の短縮手法

嵯峨 信一* 服部 大志**

Method of Shortening Idle Running Time by the Use of the Air Spring Pressure of the Body Suspension

Shin-ichi SAGA Taishi HATTORI

As one of the measures to quickly stop high speed vehicle in the emergent event such as an earthquake, we have devised a method of reducing brake idle running time by supplying the vehicle body suspension air spring pressure preferentially to the brake cylinder pressure. In this paper, we report on the verification of the shortening effect by means of tests of the Shinkansen bogie on the test plant and show the result of the numerical simulation by use of the data from the commercial train.

キーワード：車体支持空気バネ，空走時間，ブレーキ制御装置，台車，補助空気タンク，複式逆止弁

1. はじめに

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る¹⁾。このうち，機械ブレーキであるディスクブレーキシステム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減速度が同じ条件でも機械ブレーキにはこれまで以上の性能が要求される。加えて，地震を想定すると，速度向上しても停止距離を従来と同等の4000m程度（初速300km/hからの停止距離）に留めることが望ましく，技術開発では多くの課題に直面している。

そこで，本研究では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た。過去の研究事例²⁾では，既存の滑走防止弁を活用した手法が提案されているが，ブレーキ前にあらかじめ弁まで空気圧を込めておける場合にのみ適用が可能であった。このため，本研究ではより普遍性の高い手法を検討した。

空走時間とは，図1のようにブレーキ指令開始からブレーキが有効に働き始めるまでの時間で，ブレーキシリンダ圧力（以下，BC圧）の立ち上がりが整定値の63.2%に達するまでの時間 $t_0 + t_1$ を指す。なお， 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圧の63.2%に達するまでの時間である。

一般に，空走時間は自動車では0.75秒（人が危険を認知してからブレーキペダルを踏んで，車両が減速し始めるまでの時間）程度とされるが，鉄道車両ではこれよりも長く，設計上1.5秒（ブレーキ指令が出てから車両

が減速し始めるまでの時間）とする場合が多い。これには，回生ブレーキの立ち上がり時間に時間を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ライニングまでの配管距離が長いことが考慮されている。

しかし，停止距離に対する空走時間の影響は高速で走行する新幹線ほど大きく，空走時間の短縮は必要性が大きいものと考えられる。

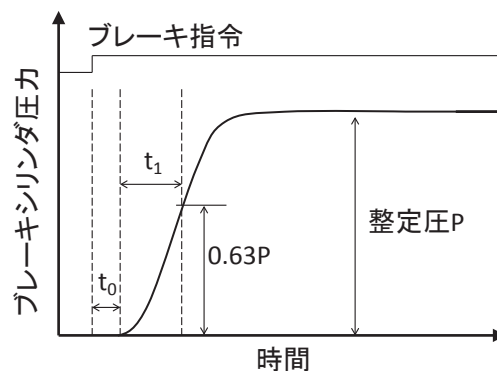


図1 空走時間の模式図

2. 新幹線電車の空気ブレーキシステム

2.1 ブレーキ配管経路

現在，営業走行を行なっている新幹線電車の空気ブレーキ配管の経路を図2に示す。図のように，滑走防止弁を空圧式とするか油圧式とするか，また，キャリパ装置を空圧式とするか油圧式とするかは，鉄道事業者における車両設計思想に基づいて決定されている。

一般的に，滑走防止弁は空圧式の方が段階的な込めやユルメのようなBC圧の細やかな制御が可能であるのに対し，油圧式は一段込めとユルメの2モードに限定され

* 車両制御技術研究部 ブレーキ制御研究室

** 西日本旅客鉄道株式会社 車両部 車両設計室

特集：車両技術

るが応答速度が速いという利点がある。

近年は滑走制御の高度化により空圧式滑走防止弁を採用する車両が増えてきている。特に、比較的新しい車両によく用いられる (c) では、キャリパ装置までをすべて空圧式で統一しているのが特徴的である。

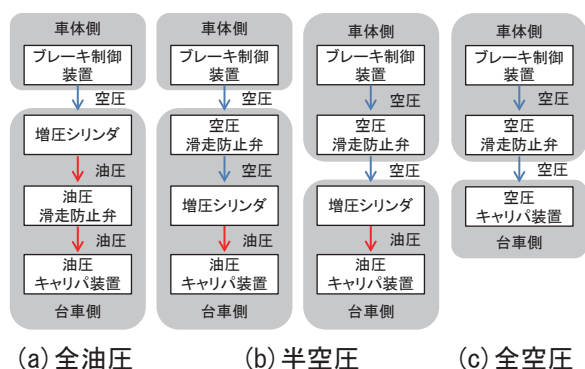


図2 ブレーキ配管の経路

2.2 空気ブレーキシステム

空気ブレーキシステムの模式図を図3に示す。青線の矢印が空気配管、赤線の矢印が指令電線である。なお、滑走防止弁については図示を省略している。

ある所定のブレーキ指令（常用1～常用8ノッチ、非常）がブレーキ設定器等から出力されると、ブレーキ制御装置はこれを受けてノッチと車体支持空気バネ圧（以下、AS圧）から応荷重演算した指令圧（以下、AC圧）を電空変換弁の電流制御により発生させ、中継弁に送る。

その後、中継弁から大流量の圧縮空気が増圧シリンダまたは空圧式キャリパへ直接供給され、キャリパ装置の

ピストンがライニングをBC圧でディスクに押し当てることにより、ブレーキ力が発生する。このとき、AC圧の調圧時間と中継弁から増圧シリンダまたはキャリパ装置までの配管長（約10m以上）による圧力伝播時間により、前述の空走時間が生じることになる。

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）を送る仕組みになっている。この際、TC圧の配管長もBC圧と同程度の長さを持つため、踏面清掃装置にも時間的遅延が生じる。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ある。

3. 空気バネ圧を用いた空気ブレーキシステム

3.1 システム概要

空走時間を短縮する方法として、台車枠内にある補助空気タンク内の空気圧、すなわちAS圧を用いる方法を検討した。システムの構成を検討するにあたり、以下に示す4条件を考慮した。

- ① 配管長をできるだけ短くすること
- ② 圧力調整弁や制御装置を用いないこと
- ③ 脱線等の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圧の例を表1に示す。この表から、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。

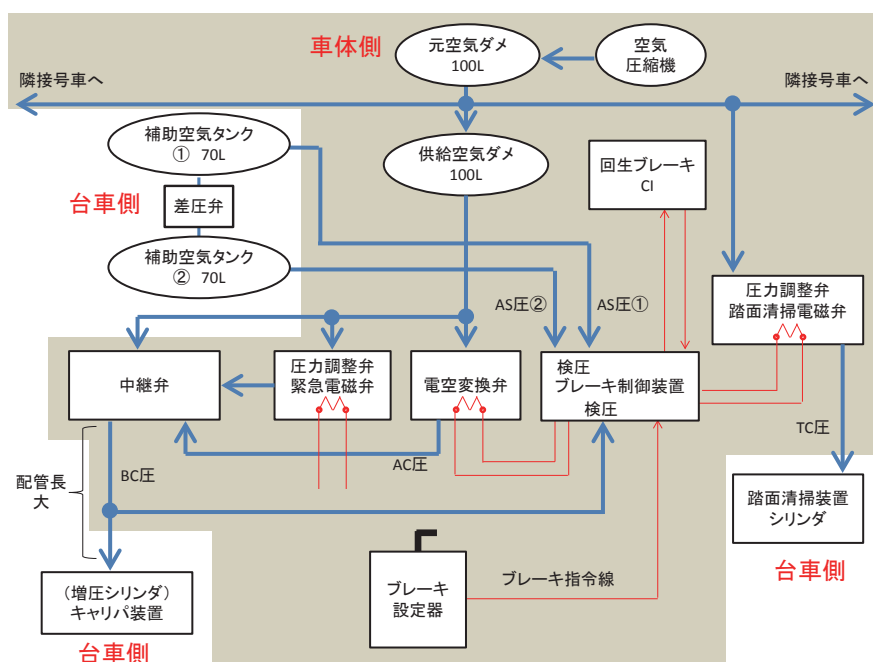


図3 空気ブレーキシステム

すなわち、AS圧を直接的に増圧シリンダまたは空圧式キャリパ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分かる。

また、台車枠内にある2つの補助空気タンクに最大差圧が生じていた場合を想定しても、差圧弁の動作圧力は仕様上147kPa（走行時における実測値の98.6%が120kPa以下）であることから、空車条件で240～360kPa、満車条件で390～510kPaのAS圧となり、この場合もBC圧をほぼ超過しないことが分かる。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、空気バ

表1 非常ブレーキ時の設定圧の例 単位：kPa

速度 (km/h)		0	70	120	230	300	320
空車 AS 圧 (300kPa)	BC	540	540	540	480	420	400
	TC	490					
満車 AS 圧 (450kPa)	BC	700	700	700	620	540	520
	TC	490					

※許容範囲は±20kPa

ネのパンク時も検知可能である。

圧力の挙動としては、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る。その後遅れて、所定の BC 圧および TC 圧が供給され、やがて整定圧に達する。すなわち、合成された圧力は図4のようになり、空走時間 $t_0 + t_1$ が t_2 に短縮できると推測される。

そこで、AS 圧供給の有無による効果を比較するため、圧力シミュレーションを実施した。実車両の空気ブレーキシステムについて、コンプレッサ～ブレーキ制御装置～キャリパ装置 (1 台車分) までの配管類を模擬したシミュレーションモデルを構築し、キャリパ装置の上流近傍部における圧力を比較した。ただし、各圧力の設定値は AS 圧 300kPa、BC 圧 400kPa とし、増圧シリンダのない空圧式キャリパシステムとした。

圧力シミュレーションの結果、空走時間は AS 圧供給なしの場合の 1.2s に対して AS 圧供給ありの場合、約 0.77s となり、約 36% の短縮効果が得られるものと考えられる (図5)。

AS 圧を利用した本システム (以後、AS ブレーキ) の模式図を図6に示す。補助空気タンクから BC ホースおよび TC ホースへの供給はそれぞれ左右の補助空気タンクから行うものとした。

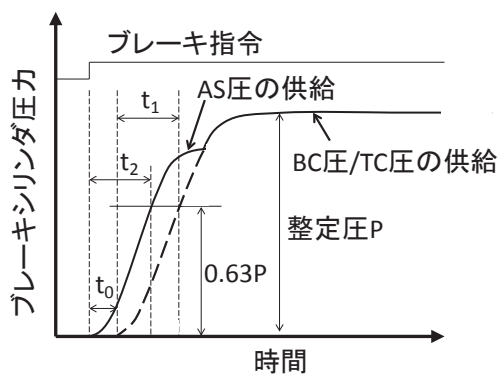


図4 合成圧力の模式図

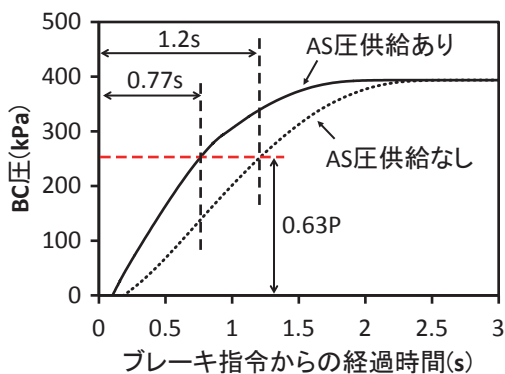


図5 圧力シミュレーション結果

3.2 台車単体の定置試験

3.2.1 実車両の模擬

新幹線電車の実台車を用いた試験を行うにあたり、図7のように補助空気タンク (左右で 140L) の水圧試験用栓から 3 ポート電磁弁 (DC100V) を取り付けた複式

逆止弁を経由して台車側 BC ホースおよび TC ホースへ合流させる方法とした。また、実車で調べた増圧シリンダ油圧および研摩子押付力の空走時間は、増圧シリンダ油圧が 0.95s、研摩子押付力が 0.9s であった。これを模擬するために、ブレーキ指令から台車へ圧力供給するまでに、BC 圧を 0.25s、TC 圧を 0.5s それぞれ遅延させて供給指令を与え、「現車相当」とみなした。ただし、圧力供給は実車両に搭載されているブレーキ制御装置から行った。

3.2.2 試験条件

試験条件を表2に示す。車両重量条件として空車 (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

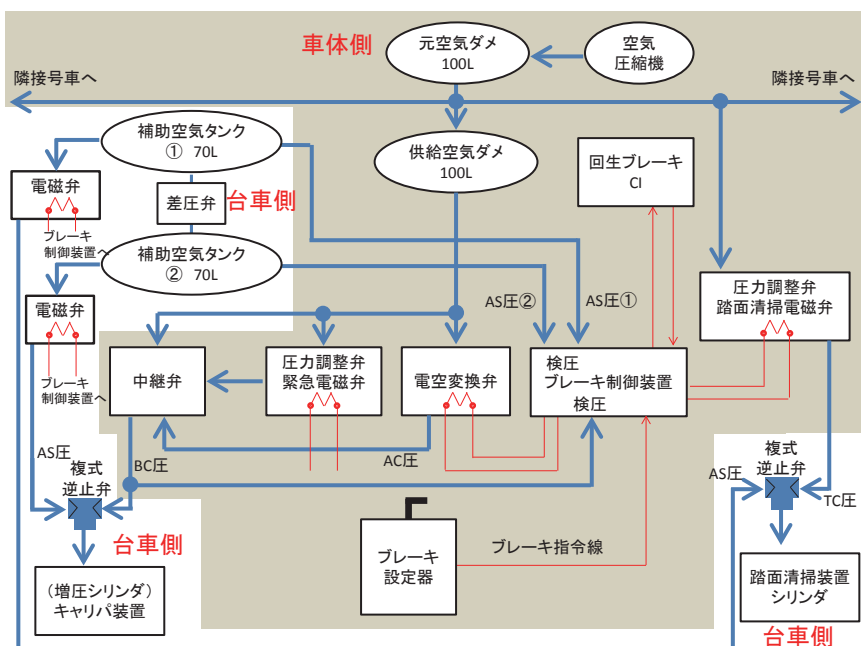


図6 空気バネ圧を用いた空気ブレーキシステム

特集：車両技術

BC 圧を設定した。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 圧に付与した。試験装置と各測定位置を図 7 に示す (図中の赤丸は圧力センサあるいはロードセル)。測定項目は、ブレーキ指令、BC 圧指令 (ブレーキ制御装置からの圧力供給)、TC 圧指令 (ブレーキ制御装置からの圧力供給)、AS 圧指令のほか、各圧力、増圧シリンダ油圧、ライニング押付力、研磨子押付力とし、各条件 3 回のブレーキ作用を行った。

AS 圧から BC 圧への供給はブレーキ指令と同時にを行い、滑走制御時の圧力変動を妨げないようにする目的で、2 秒後に供給停止かつ供給電磁弁と複式逆止弁の間に接続した排気電磁弁を用いて残圧を開放するものとした。ここで、「現車相当」の試番における台車の圧力配管は、現車と同様に BC ホースおよび TC ホースを接続した。一方、「AS ブレーキ」の試番では、上記の各ホースおよび補助空気タンクからの配管をそれぞれ複式逆止弁の入口側に接続したのち、複式逆止弁の出口側から再び BC ホースおよび TC ホースを用いて台車配管に接続した。

表 2 試験条件 単位：kPa

車重	種別	AS1 圧	AS2 圧	BC 圧 TC 圧は 490kPa 固定
		⇒ BC	⇒ TC	
空車	①	300	300	550, 500, 450, 400 108 ~ 321km/h に相当
	②	240	360	
	③	360	240	
積車	①	375	375	600, 550, 500, 450 154 ~ 328km/h に相当
	②	315	435	
	③	435	315	
満車	①	450	450	600, 550, 500 245 ~ 333km/h に相当
	②	390	510	
	③	510	390	

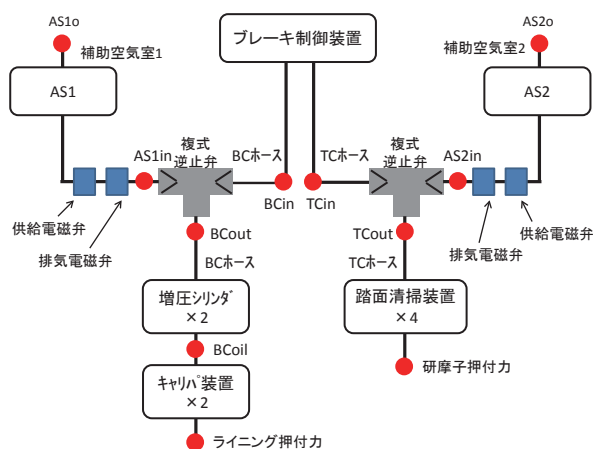


図 7 試験装置の模式図

3.2.3 試験結果

(1) 空走時間

空走時間の短縮効果が高かった場合を図 8 (a)、効果が低く、現車相当並みとなった場合の例を図 8 (b) に示す。供給する AS 圧が BC 圧および TC 圧の各整定値の 63.2% に達している場合、図 8 (a) のように空走時間が 0.6 ~ 0.7s 短縮される。

一方、供給する AS 圧が各整定値の 63.2% に達していない場合、図 8 (b) のように空走時間の短縮は 0.1s 程度にとどまる。しかし、現車相当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% までは早い段階で供給されており、むだ時間 t_0 が短縮されるとともにライニングと研磨子にはある一定の押付力が生じてブレーキ性能の向上に寄与するものと考えられる。なお、AS 圧が設定 BC 圧や設定 TC 圧を若干超過する条件があるが、いずれも設定圧力の調整範囲内 (± 20kPa) であった。

設定 BC 圧と供給 AS 圧の圧力比に対する増圧シリンダ油圧および研磨子押付力の空走時間の関係を図 9 に示す。ここで、「AS 圧なし」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ある。

AS 圧供給ありの条件における増圧シリンダ油圧の空走時間は、圧力比が 0.66 以上の場合で 0.2s 程度となり、現車相当と比較して 0.7s 程度の短縮が認められた。研磨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 程度に短縮された。すなわち、いずれも空走時間の算出閾値である圧力比 0.632 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 0.632 を下回ると現車と同等になることが分かる。

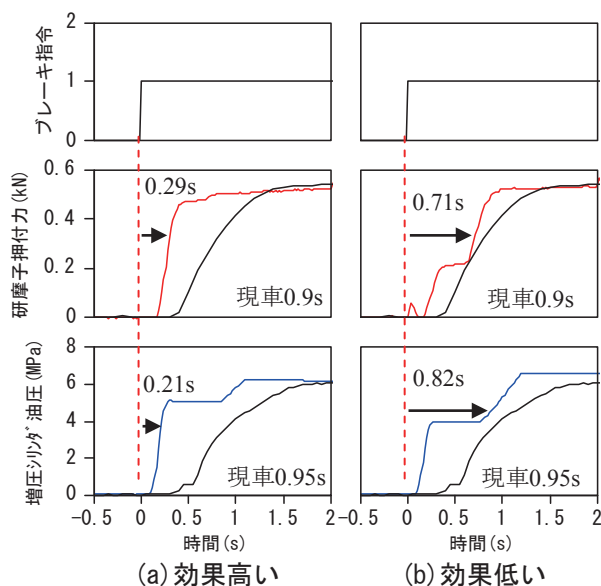


図 8 試験結果の例

各車両条件と設定 BC 圧の関係から求めた走行速度と空走時間の関係を図 10～図 12 に示す。走行速度 270km/h 以上の一部積車条件～満車条件において短縮効果が認められ、その空走距離は速度 270km/h で約 60m 程度短縮されるものと推測される。

(2) AS 圧の低下量

AS ブレーキ時における各 AS 圧の低下量は、BC 圧に供給する AS1 圧が最大で 28kPa、TC 圧に供給する AS2 圧が最大で 21kPa であった (図 13)。なお、本試験では実車両で搭載されているような空気バネを設置しない条件で行ったため、総貯気容量が少なく、低下量は比較的大きく現れたと考えられる。この低下量は差圧弁が作動するほどの圧力変動ではないことから実用上の影響はないものと考えられるが、車体の上下振動に与える影響について調べていく必要がある。

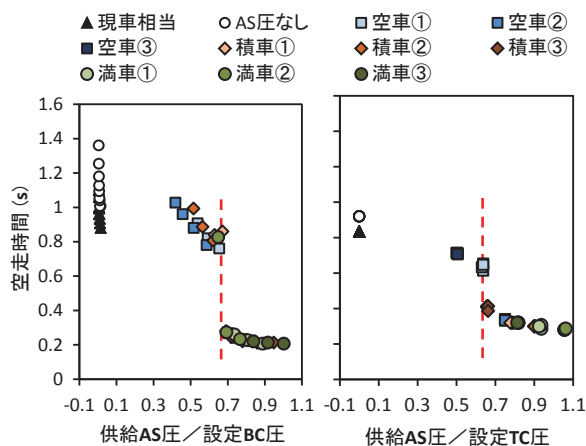


図 9 圧力比と空走時間の関係

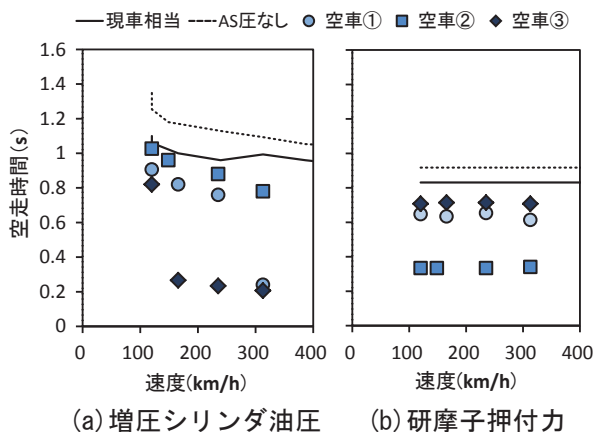


図 10 走行速度と空走時間の関係 (空車)

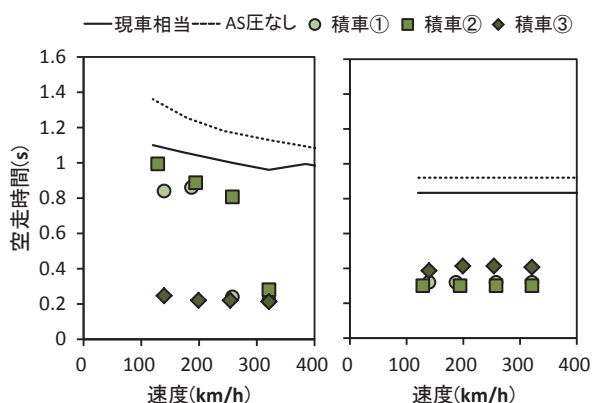


図 11 走行速度と空走時間の関係 (積車)

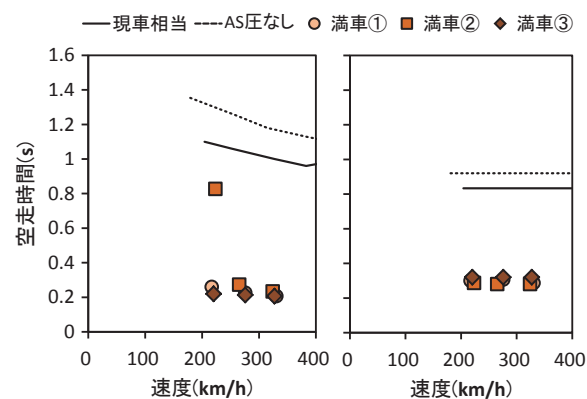


図 12 走行速度と空走時間の関係 (満車)

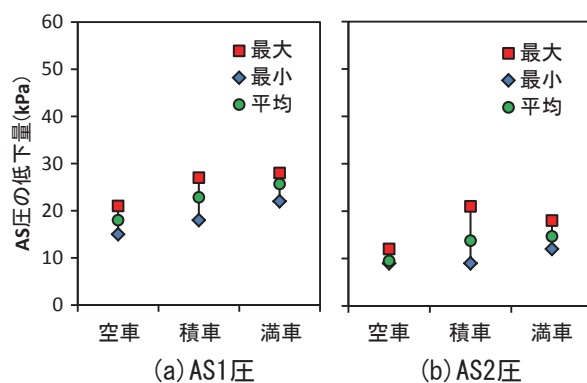


図 13 ブレーキ時における AS 圧の低下量

3.3 営業列車データを用いたシミュレーション

営業列車の全号車における AS 圧データを用いて、AS ブレーキが動作した際の増圧シリンダ油圧の空走時間をシミュレーションにより推定した結果を図 14 に示す。

空走時間は、駅停車毎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た。

前項の台車単体による定置試験の結果と同様に、速

特集：車両技術

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分かった。

4. まとめ

本研究では、地震等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、車体支持空気バネ圧を用いたブレーキ空走時間の短縮手法を考案した。

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パ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により、空走時間の短縮を図るものである。

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を約 1s から約 0.2s にまで短縮できることを

確認した。また、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た。

今後は実車両を用いた効果の検証を行う予定である。

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開発, JR EAST Technical Review, No.31, 2010
- 2) 中澤伸一, 土方大輔: ソフトウェア改良による空気ブレーキシステムの高応答・高効率化, 鉄道総研報告, Vol.30, No.4, 2016

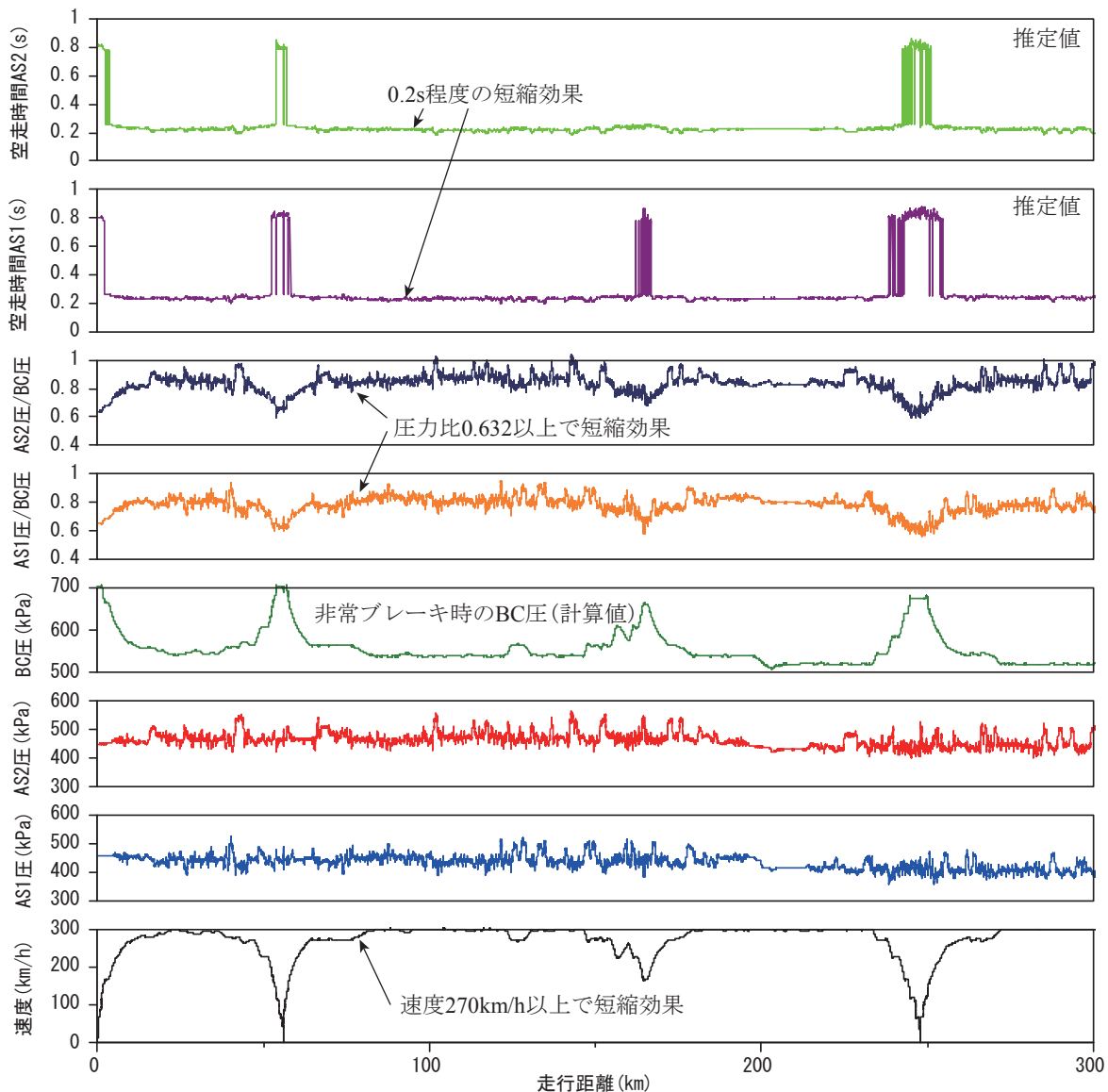


図 14 営業列車のシミュレーション結果