

空気抵抗を利用して 高速列車を減速する

走行している車両自身の空気抵抗を一時的に増加させることで、車両を減速させる空力ブレーキ装置は、地震などの緊急時における高速鉄道の停止距離を短縮する新技術として、開発が進められています。ここでは、過去の開発経緯を紹介するとともに、装置の大幅な小型化を達成した小型空力ブレーキ装置の特徴と、その性能について紹介します。



高見 創
Hajime Takami
環境工学研究部
車両空力特性研究室
上席研究員

はじめに

もう2年ほど前のテレビCMですが、プロテニスプレイヤーの錦織圭選手がパラシュートを背負って砂浜を走るシーン¹⁾に見覚えはないでしょうか？あだ名の「エア・K」とかけた洒落かと思いましたが、そうではなくパラシュートが抵抗となって走るときの負荷を増やすトレーニングだそうです（図1）。

昔なら、タイヤを引きずって砂まみれで走ったりしましたが、重く大きいタイヤはかさばることに加え、負荷の調整が難しく、重いタイヤを引っ張って走ると体の体勢が下向きに崩れやすいなどの課題があったようです。



図1 トレーニング用パラシュート例
(写真提供/ゼット株式会社)

確かにパラシュートなら、使わないときは小さく畳んで持ち運びが簡単です。また、パラシュートの大きさや、個数を変えることで、負荷の大きさも調節できます。さらに、パラシュートは、自身が走ることで受けた向かい風によって開き、空気の抵抗を生じるので、負荷は走る方向と逆向きの、ほぼ水平に働きます。このときの空気の力は、走る速度（向かい風の速度）の2乗に比例して大きくなる、物理的な特性があります。つまり、速く走れる人ほど、負荷も大きくなってトレーニングには効果的です。

このように、スポーツ・トレーニング用としてかなり理想的な特性をもつパラシュート（空から降りる際のパラシュートと区別して、ドラッグ・シュートとよばれます）とよく似たものが、空力ブレーキ装置です。

鉄道用の空力ブレーキ

通常は流線形をしている列車の表面から空気の抵抗となる板（抵抗板とよびます）を外に出し、増加した空気の抵抗によって列車を直接減速させるのが、鉄道用の空力ブレーキ装置です。

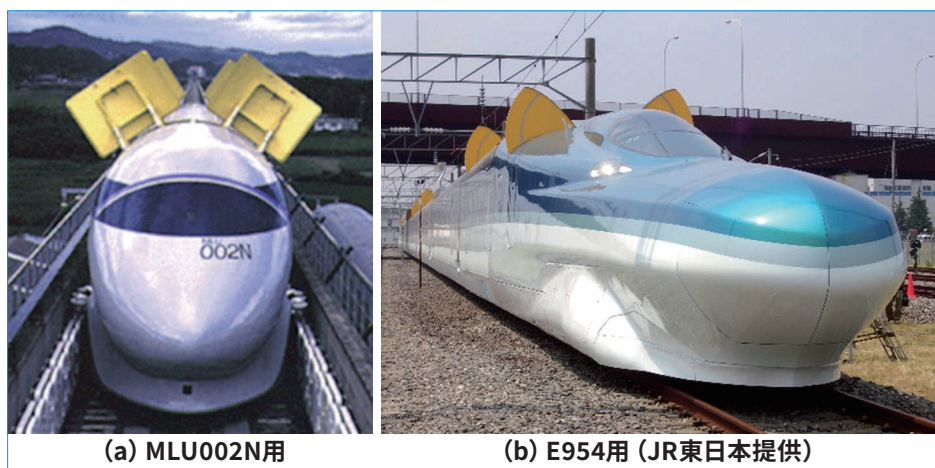


図2 空力ブレーキ装置の例

ただし、列車の速度が下がると（おもむね200km/h以下）、空気の抵抗力が列車の慣性力に比べてかなり小さくなり、減速効果はほとんどなくなります。このため、空力ブレーキ装置はあくまで高速時の補助的なブレーキとして機能します。この意味で、ブレーキ装置ではなく「空気抵抗増加装置」ともよばれます。

車輪を使った通常のブレーキに比べて、雨や雪などのときも車輪がレール上を滑ることもなく、安定して減速できることが最大の利点です。また、先ほどのトレーニング用パラシュートと同じく、装置を軽量・コンパクトに作りやすいことや、列車の速度が高いほど強いブレーキ力が得られること、さらには使用する際の動力や制御が不要なことなども利点となります。

一方で、使用時に抵抗板で乱された空気から騒音を生じる点が最大の欠点となり、これまでに営業列車へ採用された例はありません。しかし、地震などの緊急時に限った使い方であれば、騒音の問題は許容されるため、試験車両に搭載された実績があります。

空力ブレーキ装置の開発例

航空機の空力ブレーキ装置（☞参照）はすでに実用化されていますが、鉄道

用ではまだ開発段階にあり、いくつかの方式が存在します。それらの各方式は、とくに抵抗板を出し入れする機構に特徴があります。

これは、航空機やレースカーと異なり、障害物の多い線路上では緊急時であってもパラシュートは使えないことに加え、長編成の列車では相当数の空力ブレーキ装置を搭載する必要があるからです。仮に、抵抗板を出し入れする機構が重かったり、動きが遅かったり、信頼性が低かったりすれば、せっかくの利点が失われてしまいます。

ここでは、これまでに開発された代表例を2つ紹介します。

(1) 超電導リニア実験車両 MLU002N 用

新幹線よりも高速な超電導リニア車両では、空力ブレーキ装置が必須の装備として、当初から開発が進められました。その最初の方式が図2 (a) に示す通称エリマキトカゲです²⁾。自分の体を襟で大きく見せて相手を威嚇する動物になぞらえて、正面からみた車体を抵抗板で大きく見せています。

抵抗板は畳1枚ほどの大きさがあり、出力の大きなアクチュエーターを使って、ドアのように開きます。抵抗板の格納が自動ではできないので、動作後は車庫に入れて手動で格納する必要があります。

その後も超電導リニア車両用として開発が進み、現在は山梨の実験車両によりスマートな装置が搭載され、走行試験が継続して行われています。

(2) 新幹線試験車 E954 用

新幹線の高速試験車用として開発されたのが図2 (b) に示す通称ネコ耳です³⁾。抵抗板を車体の横方向に回転させながら開くため、正面から見ると抵抗板は扇状の形になります。また、緊急時のみ開く抵抗板は注意のため黄色に塗装されていたため、正面からはちょうど猫の耳のように見えました。

レール上を走る鉄道車両としては、世界で初めて試験された空力ブレーキ装置です。

☞ 航空機の空力ブレーキ装置

写真のような戦闘機用のドラッグ・シュートや、大型の B52 爆撃機用、スペースシャトル用などがよく知られています。また、旅客機などの主翼に搭載されたスポイラーも空力ブレーキ装置の一種です。



写真：Adelén Wilhelmsen / Norwegian Armed Forces

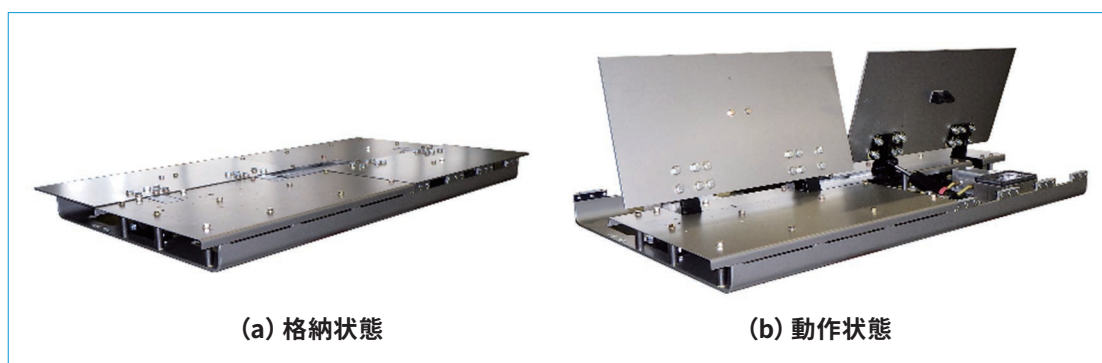


図3 開発した小型の空力ブレーキ装置

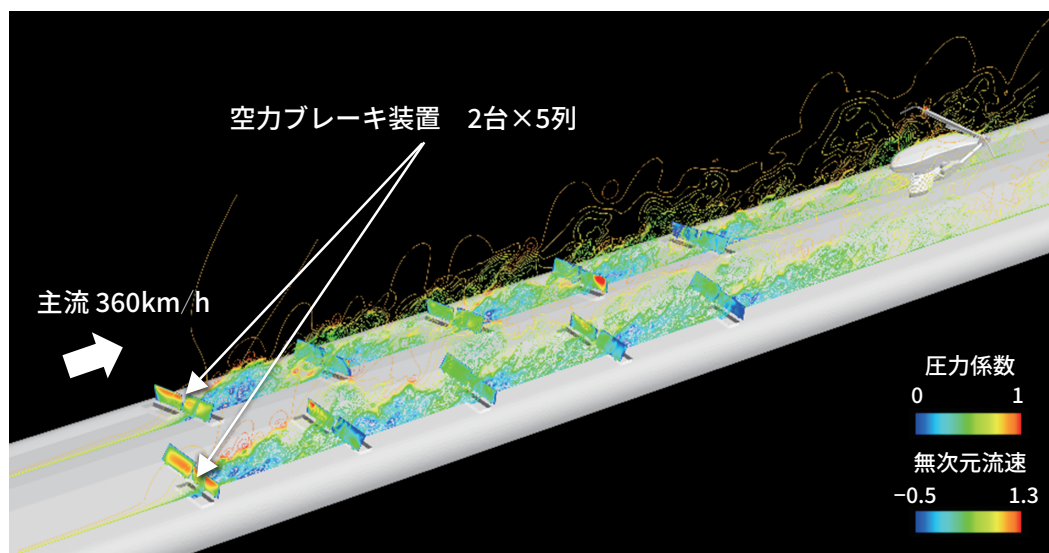


図4 抵抗板表面の圧力分布と装置周りの流速分布の解析例

小型の空力ブレーキ装置の開発

緊急時しか使わない空力ブレーキ装置を営業車両に搭載する際の課題は、信頼性や保守性など一般的な要求のほか、既存の客室定員との両立です。このため、鉄道総研では装置の大幅な小型化を目的に、まったく新しい空力ブレーキ装置を開発しました(図3)⁴⁾。

その特徴の一つは、従来は畳1枚ほどあった大きさの抵抗板を、約1/3まで小型化したことです。それでは力が足りないのでは？と思われるでしょうが、その分、搭載できる抵抗板の数を増やしています。空力ブレーキ装置は制動中の動力や制御が要らない特長から、車両の1か所に集中して大型の装置を搭載するよりも、小型の装置を車両全体に分散して配置する方が、設置

場所を確保しやすい利点があります。

また、その配置を流体解析で検討した結果、各装置の前後間隔を適切に設定した上で、車両の左右へ千鳥状に配置することにより、大型の抵抗板を1車両1か所設置する場合と比較して、1.5倍から2倍の力を得られることがわかりました(図4)。

もう一つの特徴は、走行による向かい風を利用して2枚の抵抗板を自立させる仕組みです(図5)。この図で、鎖錠装置の解除と初動は小型のエアシリンダーで行います。これにより、抵抗板をわずかに開くと(約4°)、抵抗板1には風圧でさらに開こうとする回転力が働き、抵抗板2には風圧で閉じようとする回転力が働きます。

このとき、それぞれの抵抗板はその

迎え角によって回転力が異なり、風を受けやすい抵抗板1の回転力は抵抗板2の二倍程度あります。このため、2枚の抵抗板の回転軸を歯車で接続しておけば、抵抗板1から抵抗板2の回転力を差し引いた力が残り、2枚の抵抗板を開く動作力が得られます。抵抗板の迎え角が増してほぼ垂直になると、2枚の抵抗板の回転力はほぼ釣り合って、その状態が保持されます。

列車の停止後は小型のエアシリンダーを逆方向に動かすことで、抵抗板の格納と機械的な鎖錠が行われます。また、装置は上面から見て点対称に構成されているので、列車の走行方向が反転した場合も、制御の切り替えなどは行わずに、同じ原理で動作することができます。

走行風を利用したこのような動作機

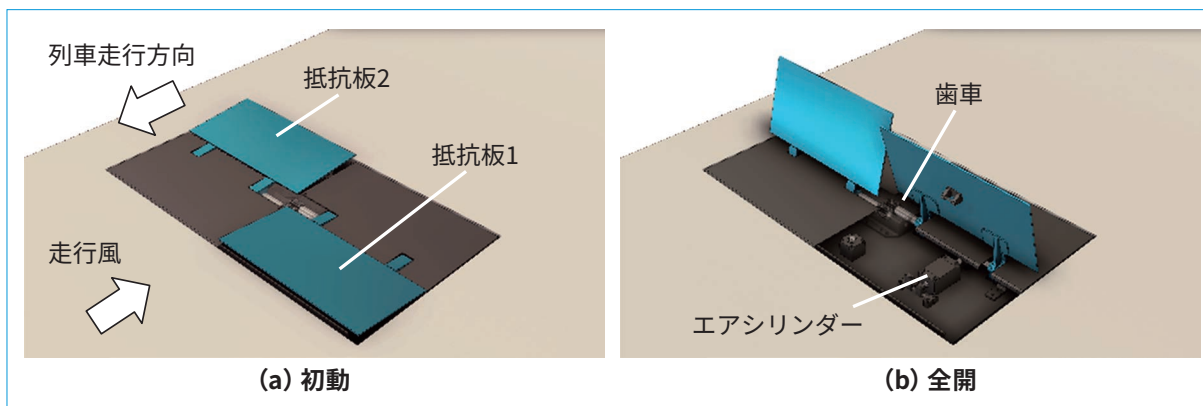


図5 空力ブレーキ装置の動作機構

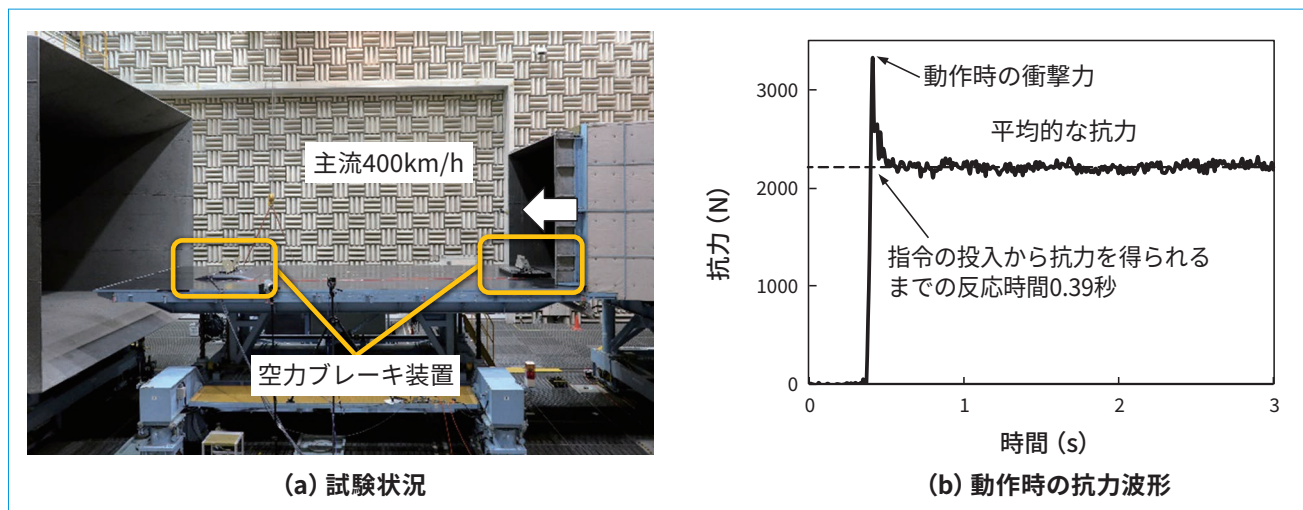


図6 風洞試験による動作検証

構を用いることで、装置の設置容積が大幅に縮小し、装置の厚さは65mmしかありません。

風洞試験による空力ブレーキ装置の動作例を図6に示します。試験風速は400km/hです。動作指令の投入から0.39秒後には、速やかに抵抗板が展開して、安定した抗力が正常に得られています。本試験によって、平均的な抗力の大きさだけでなく、抵抗板が動作するときの慣性によって過渡的に生じる衝撃力の大きさや、動作時間などを把握することができました。

なお、風洞試験の供試体は固定され動かない状態で行うことが一般的ですが、本試験では実際に空力ブレーキ装置が動作して、急激に空気の流れと力を変化させるのが特徴です。このため、

動作試験を行うと、「シュバッ」という音とともに2枚の抵抗板が一瞬で開き、その後「ゴー」という風切り音が響くのは、なかなかの迫力です。

おわりに

ここで紹介した小型空力ブレーキ装置は、JR東日本による改良が加えられ、2019年春から新幹線試験車E956形（通称ALFA-X）に複数台が搭載されています⁵⁾。実車を使った走行試験からは貴重なデータが得られつつあり、次世代の高速鉄道の安全性向上につながるものと期待されます。

ちなみに、くだんの錦織圭選手のCMキャッチコピーは「いい風は未来から吹いてくる」です。なかなか夢のあるコピーですね。RRR

文献

- 1) JACCS：錦織圭選手出演TVCM「未来からの風」篇 30秒、<https://www.youtube.com/watch?v=yI2Sflp3fA0>（入手日：2020/8/28）
- 2) 古村正文、種本勝二：宮崎実験線用車両の空力ブレーキ装置の開発、鉄道総研報告、Vol.8, No.10, pp.13-16, 1994
- 3) 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
- 4) 高見創：新幹線速度向上に向けた空力ブレーキ装置の開発、鉄道総研報告、Vol.34, No.3, pp.5-10, 2020
- 5) 浅野浩二：次世代新幹線の実現に向けてーこれまでの研究開発と新幹線高速試験電車「ALFA-X」の製作、JREA, Vol.62, No.5, pp.4-7, 2019