

鉄道一般
車両
軌道
構造物
防災
電力
信号通信情報
材料
環境
人間科学
浮上式鉄道

# 新幹線用空圧式フローティングキャリパーの開発

ブレーキディスクを任意の力で挟み、ブレーキ力を得る装置をキャリパーと呼びます。新幹線で用いられている軽量でコンパクトな既存の油圧式フローティングキャリパーと互換性を持ち、増圧シリンダーと呼ばれる空油変換装置を用いない、シングルでメンテナンス性に優れた空圧式フローティングキャリパーを開発しました。



**狩野 泰**  
Yasushi Karino  
前 車両制御技術研究部  
ブレーキ制御研究室  
主任研究員  
(現 研究開発推進室 (GCT))  
【専門分野】機械ブレーキ装置、ディスク/ライニングの摩擦問題

## はじめに

新幹線の油圧ブレーキシステム(図1)では、運転台からの電氣的な指令によりブレーキ制御装置が空気圧を調整し、その空気圧は増圧シリンダーと呼ばれる空油変換装置で油圧に変換されキャリパーを動作させます。

増圧シリンダーには、滑走を検知すると空気圧を保持したまま油圧のみを減圧するか、空気圧を直接減圧することで再粘着を促す滑走防止機能が組み込まれています。現在は、在来線のように空気圧を細やかに制御することができる「空圧滑走防止型」が主流となり、増圧シリンダーには空油圧変換としての機能のみが求められるようになってきました<sup>1)</sup>。

このような技術開発の動向は、これまで培ってきた新幹線の油圧ブレーキシステムと同等の制御性を、空気圧のみで構成し確保できることを示した一例と言えます。

本稿では、空気圧を押付力に直接変換できる新たな機構を紹介するとともに、安全と信頼性に十分留意しながら開発した、空圧式フローティングキャリパーについて報告します。

## 基礎ブレーキ装置の進歩と変遷

### (1) テコ式ハサミ装置

新幹線の動力車では、輪軸に電動機からの動力を伝達する歯車装置を持たせる必要があることから、輪軸の車輪間にブレーキディスクを配置する軸ディスク方式の構成ができませんでした。そこで車輪側面にブレーキディスクを取り付けて、摩擦材で挟むことでブレーキ力が得られる車輪側ディスク方式の採用に至りました。

油圧技術を礎として開発された新幹線の基礎ブレーキ装置ですが、新幹線0系、100系、200系電車までは、在来線の軸ディスクブレーキで用いられていたハサミ装置をベースに開発されてきました(図2)。この装置は、2本のブレーキテコの中央をつないだH型の装置で、その一端に油圧シリンダーを配置し、他端のブレーキライニングでブレーキディスクを挟むテコ倍力方式の押付機構となっています。

ブレーキ時は、油圧シリンダーとブレーキテコの作用により、油圧に比例した押付力(挟み力)が働き、緩め時は、油圧シリンダーの圧力低下と緩めばねの力によりブレーキライニングが

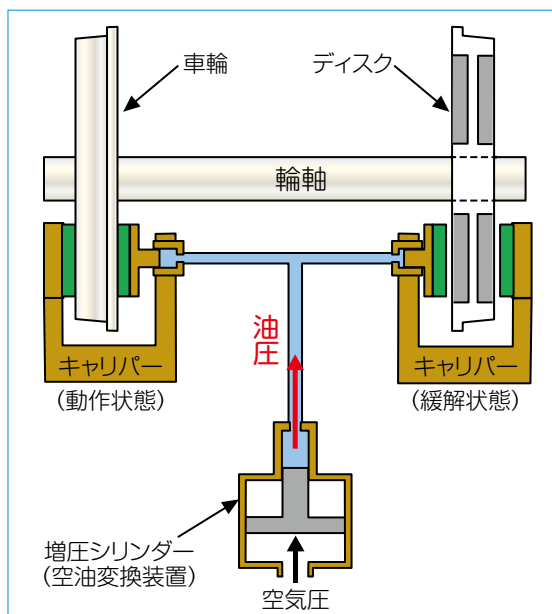


図1 油圧ブレーキシステム

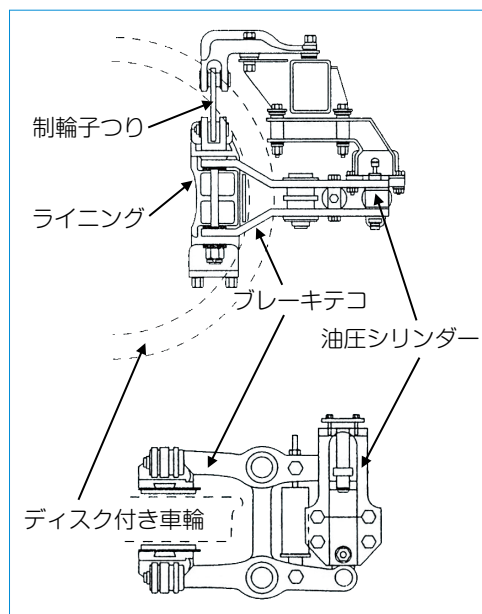


図2 テコ式ハサミ装置

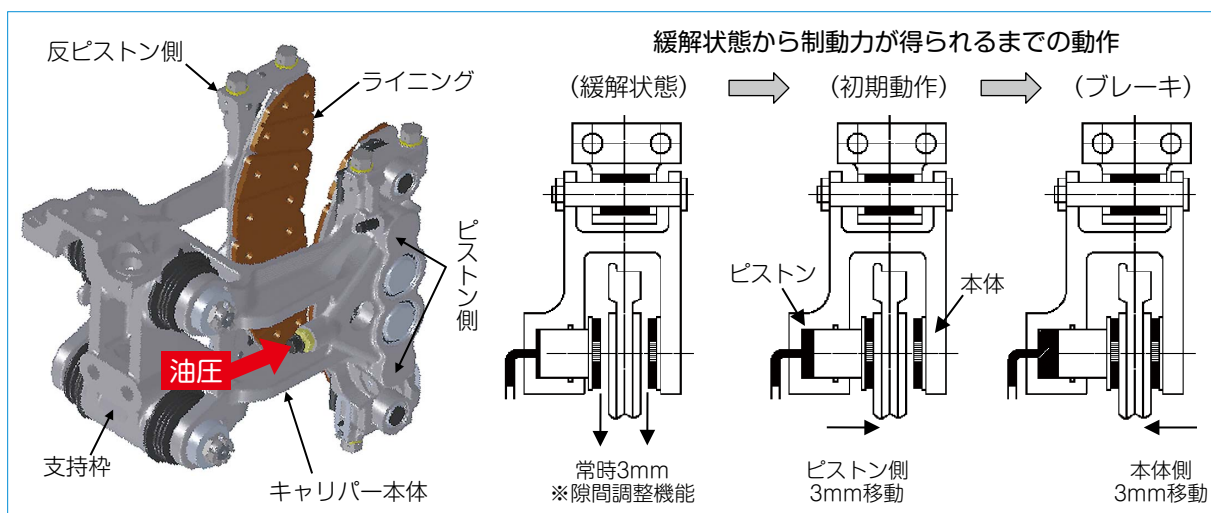


図3 油圧式フローティングキャリパー

ブレーキディスクから離れるものです。なお、ブレーキライニングは台車端ばりに取り付けられた制輪子つりで反力を受ける構成としてありました。

### (2) 油圧式フローティングキャリパー

1992年に営業開始した新幹線300系電車では、台車重量を軽減するため端ばりのないボルスタレス台車が採用されたことから、上記の制輪子つりが廃止され、基礎ブレーキ装置本体でブレーキ反力を受け持つ構造に変更されています。押付機構においても、小径（38～45mm）の油圧シリンダーを本

体に複数内蔵することで、テコと同等の倍力効果が得られる直動式の押付機構が実用化され、テコ式ハサミ装置に比べて大幅な摩耗部品の削減が達成されています。

さらに、図3に示す油圧式フローティングキャリパーでは、新幹線の基礎ブレーキ装置として留意すべき機能が、最小のぎ装スペースで達成されています。キャリパー本体が支持ピン部をスライドするフローティングと呼ばれる機構は、走行中に生じる車輪の傾きや輪軸の左右移動への対策として提

案されたものです。

なお、フローティング動作中のしゅう動抵抗を隙間調整機能の内部抵抗よりもはるかに小さく設計することで、ブレーキ動作の繰り返しによって拡大するディスクとライニングの隙間を常に規定値に調整し、ブレーキ扱いから制動力が得られるまでの空走時間が一定に保たれます。

油圧シリンダーを本体に内蔵した直動式の押付機構とフローティング機構を組み合わせた「油圧式フローティングキャリパー」は、小型で軽量の基礎

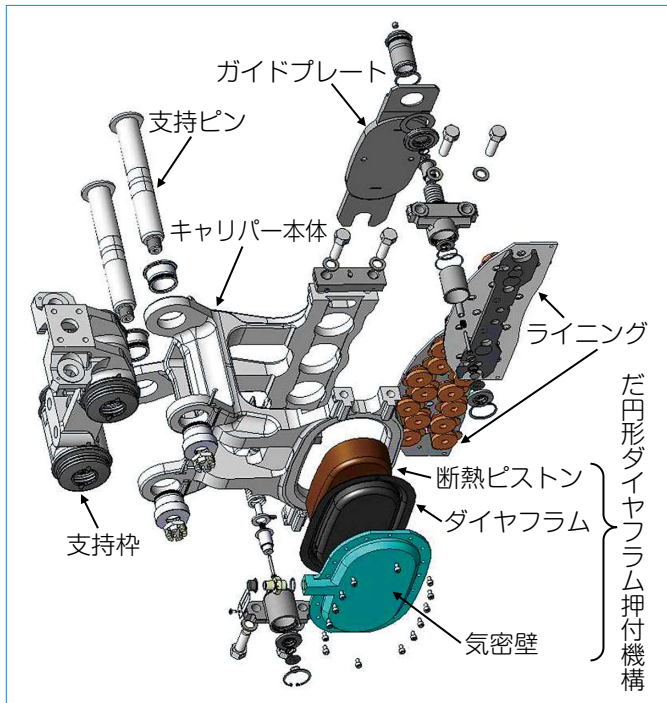


図4 空圧式フローティングキャリパーの構造

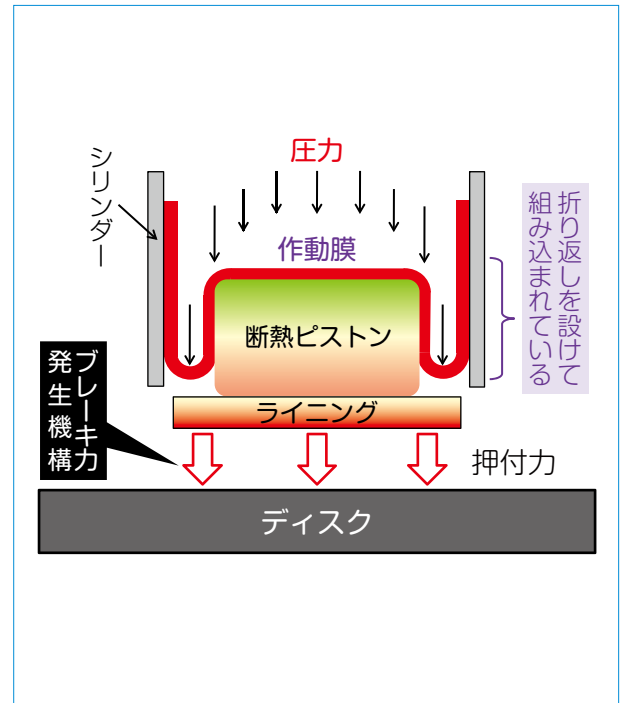


図5 だ円形ダイヤフラム押付機構の動作原理

ブレーキ装置として、既存の新幹線で最も多く採用されています。

### 空圧式フローティングキャリパー

#### (1) 空圧式フローティングキャリパーの構造

図4に空圧式フローティングキャリパーの構造を示します。新たに開発した空圧式フローティングキャリパーでは、テコヤクサビといった仕組みを用いず大きな力を直接伝えることができる「だ円形ダイヤフラム押付機構」を動作アクチュエーターとして用いました。

ダイヤフラムは空気圧を押付力に直接変換できる単純な機構で、薄くて気密性の高いゴム膜を用いるため製作形状の自由度が大きいという特徴があります。そのため、限られたスペースを有効に利用できるだ円形状のアクチュエーターとすることで、既存の新幹線で用いられている油圧式フローティングキャリパーと同等の大きさに構成す

ることができます。

このような、だ円形ダイヤフラム押付機構は構成部品が少ないことも利点の一つであり、新幹線で培われた信頼性の高い油圧式フローティングキャリパーの本体構造と組み合わせることで、メンテナンスで求められる作業の簡素化とコストの低減についても期待できる装置となります<sup>2)</sup>。

#### (2) だ円形ダイヤフラム押付機構

図5にだ円形ダイヤフラム押付機構の動作原理を示します。空圧式フローティングキャリパー用のダイヤフラムは、1.3mmと極めて薄い作動膜ですが、強じんなアラミド繊維で重ね織られた基布を、耐寒性および耐熱性に優れたシリコンゴムで被覆した構造により、その限界耐圧は3MPaで、想定する最大制御圧力720kPaに対して約4倍の強度を有しています。

作動膜は、断熱ピストンとシリンダーの間に折り返し部分を設けながら組み込まれています。空気源から圧縮

空気が供給されると、折り返し部分がピストン壁からシリンダー壁へと摩擦することなく滑らかに転がりながら移動し、空気圧に比例した押付力がライニング背面に直接作用することで、ブレーキ力の発生機構として働きます。

#### (3) 断熱性能

だ円形ダイヤフラム押付機構は、空気圧を押付力に直接変換できる単純な機構ですが、ライニングの背面を直接押圧する構造であるため、ブレーキ時の摩擦熱が押付機構で最も重要なダイヤフラムに伝わり易くなります。

そこで、ライニングを押すピストンに相当する部分に断熱性を持たせる必要があります。高い断熱性を得るためには、熱伝導率の小さな材料を選択し、断熱材を可能なかぎり厚くすることが重要です。ダイヤフラムとライニングの間に配置した断熱ピストンは、必要な断熱性を経済的に得るため、在来線の踏面ブレーキ装置に幅広く採用されている合成制輪子をベースに設計した

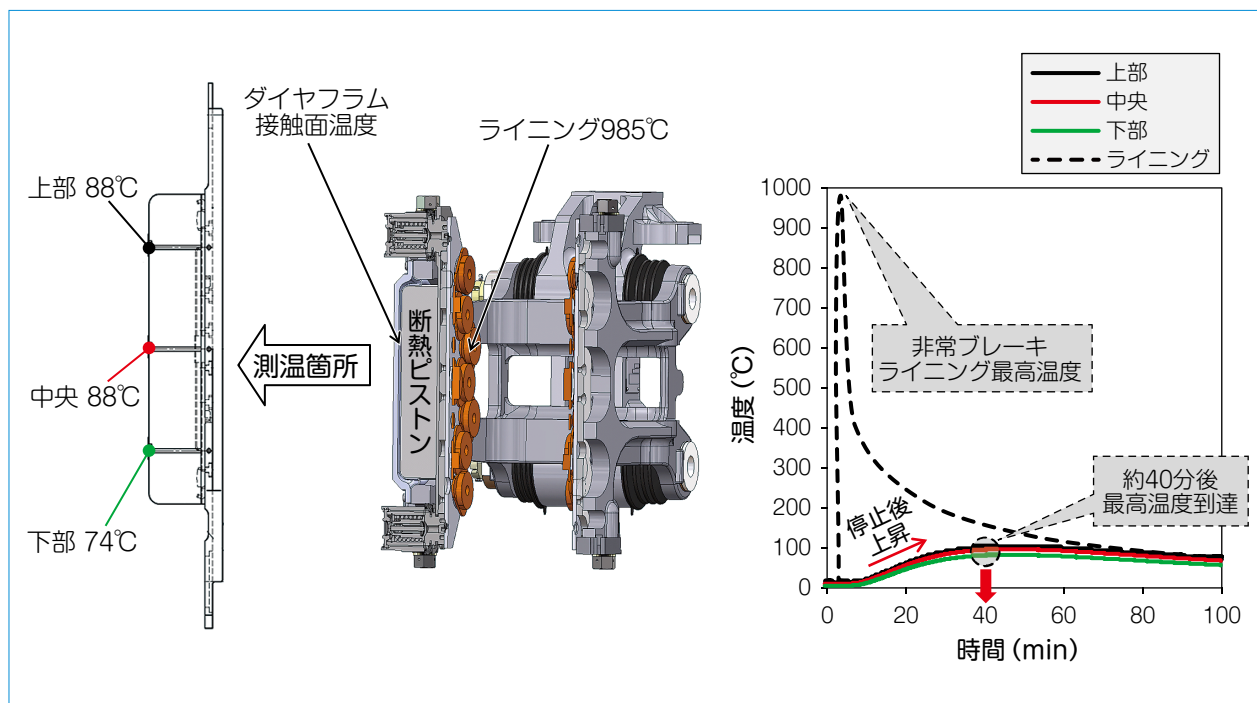


図6 非常ブレーキで上昇するダイヤフラム接触面温度の推移 (実物大台上試験の結果)

もので、熱伝導率 $0.78\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 、厚さ $45\text{mm}$ としてあります。この値であれば、ライニング温度が $900^\circ\text{C}$ を超える高速からのブレーキ動作においても、ダイヤフラム温度は目安温度 $120^\circ\text{C}$ 以下に抑制可能となります。

図6に非常ブレーキで上昇するダイヤフラム接触面温度の推移を示します。試験では断熱性の確認を目的として、初速度 $360\text{km}/\text{h}$ から非常ブレーキを扱い、停留ブレーキを100分間動作した状態のダイヤフラム接触面温度を測定することで、ブレーキ摩擦熱の伝導に対する断熱ピストンの効果を確認しました。

その結果、ダイヤフラム接触面のブレーキ中における温度上昇は $10^\circ\text{C}$ 以下と些少<sup>さししょう</sup>で、停止から約40分後の停留ブレーキの動作中に観測された最高温度は、いずれの測定箇所でも $100^\circ\text{C}$ 以下(上部 $88^\circ\text{C}$ 、中央 $88^\circ\text{C}$ 、下部 $74^\circ\text{C}$ )であり、ダイヤフラムの目安温度 $120^\circ\text{C}$ 以下に抑制できる見通しが

得られました。

#### (4) 現車試験

実用化に向けた最終段階では、現車搭載による性能評価や保守性の検証が必須となることから、空圧式フローティングキャリパーを既存新幹線にぎ装し、最高速度 $320\text{km}/\text{h}$ までのブレーキ試験を実施しました。

現車試験に適用した全てのキャリパーは、分解調査によりだ円形ダイヤフラム押付機構の健全性を調査しました。いずれの装置も、製作時と変わらず良好な押付特性が得られ、ダイヤフラムの物性調査(引張り強さ、伸び、硬さ)においても、製作時の状態を維持しており、ブレーキ摩擦熱による劣化は認められませんでした。

#### おわりに

鉄道車両の機械ブレーキは、車輪やディスクと呼ばれる回転体に対して、制輪子を押し付けることで摩擦力を発生させ列車を止めるものであることか

ら、押付力を生む基礎ブレーキ装置の構造は単純で繰り返しの動作に耐える堅ろうなものでなくてはなりません。

開発した空圧式フローティングキャリパーは、テコクサビといった仕組みを用いず空気圧を押付力に直接変換できる「だ円形ダイヤフラム押付機構」の考案によって、シンプルで信頼性の高い基礎ブレーキ装置として期待できます。

完成した装置については、JIS E 4311に準拠した型式試験を実施し、新幹線の基礎ブレーキ装置としての安全と信頼性を検証しています。[RRR]

#### 文献

- 1) 熊谷則道, 内田清五, 長谷川泉, 仲野政志: 新增圧シリンダーを用いた新幹線用すべり率滑走制御システムの開発, 鉄道総研報告, Vol.12 No.5, pp.5-10, 1998
- 2) 狩野泰: 新幹線用空圧式フローティングブレーキキャリパーの開発, 鉄道総研報告, Vol.26 No.3, pp.23-28, 2012