

# 新幹線用空圧式フローティングキャリパの開発

車両制御技術研究部 ブレーキ制御研究室

主任研究員 狩野 泰

## 1. はじめに

新幹線の油圧ブレーキシステムでは、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と呼ばれる空油圧変換装置で油圧に変換され基礎ブレーキ装置を動作させる。増圧シリンダには、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る。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ている。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る。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について報告する。

## 2. 楕円形ダイヤフラム押付機構

図1にキャリパの基本構造、図2に押付機構の動作原理をそれぞれ示す。開発した空圧式フローティングキャリパは、テコやクサビといった仕組みを用いず必要な押し付け力を空気圧だけで直接伝えることができる「楕円形ダイヤフラム押付機構」を作動アクチュエータとして用いている。ダイヤフラムは、ピストンとシリンダの間に折り返し部分を設けながら組み込まれている。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壁へと摩擦することなく滑らかに転がりながら移動し（以下、ローリング作用）、空気圧に比例した押し付け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く。

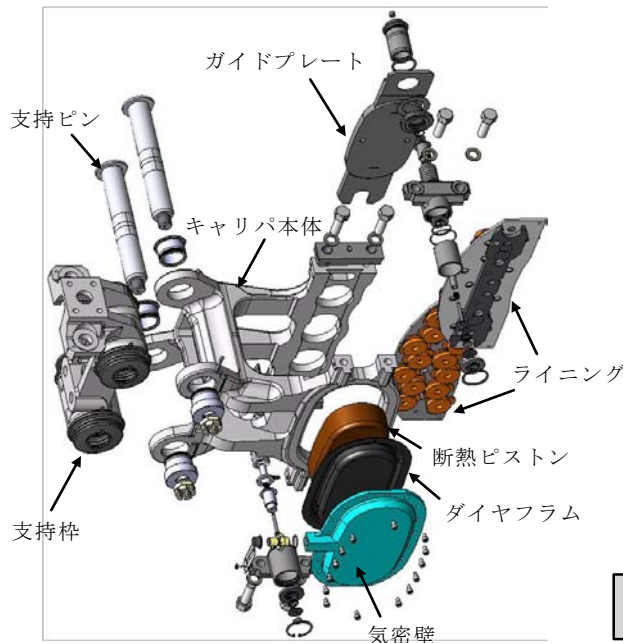


図1 キャリパの基本構造

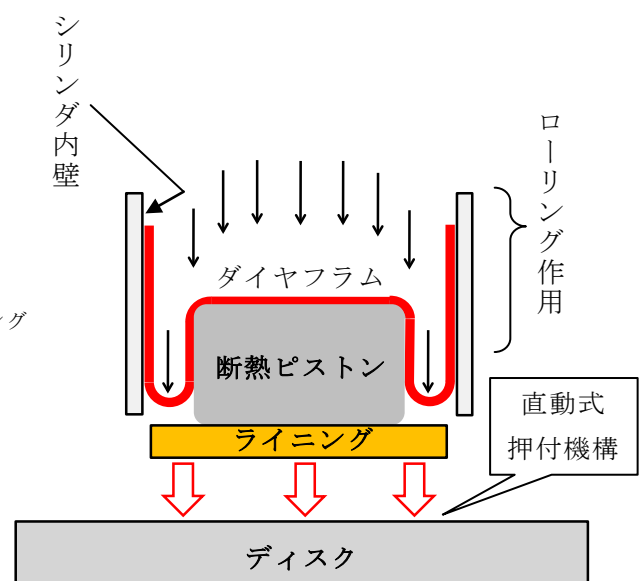


図2 押付機構の動作原理

ダイヤフラムは 1.3mm と極めて薄い作動膜であるが、強靱なアラミド繊維で重ね織られた基布をシリコンゴムで被覆した構造により、その限界耐圧は 3MPa に達し、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る。シリコンゴムは耐熱性に優れており 180℃で連続的に使用できるが、ゴム製品の特長である柔軟性は環境温度により変化し、特に低温下では脆化が進むことで本来の弾性を失い、室温状態に比較して、機能、性能、耐久性が著しく低下することが考えられる。そこで、JIS E 4311 に準拠した型式試験により耐久試験および環境試験を実施した。試験の結果、室温環境においては 4 全検周期に相当する 120 万回の繰り返し動作でも異常は発生せず、従来装置と同等の耐久性が得られた。また、低温環境を模擬し -40℃の雰囲気中で 15 万回、高温環境においても 120℃の雰囲気中で 15 万回、合計 30 万回の 1 全検周期に相当する繰り返し動作を行い、従来装置 (-20℃~80℃) よりも厳しい温度下でも同等の耐久性が確保できることを確認した。

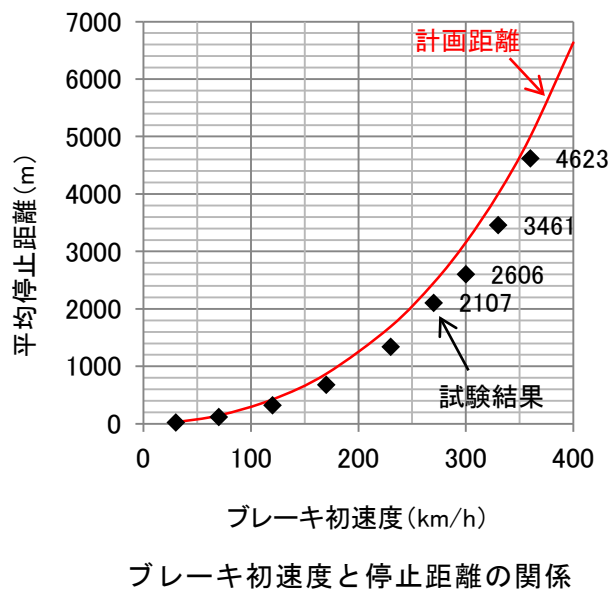
### 3. 実物大台上試験

#### 3.1 ブレーキ性能

表 1 にキャリパの設計諸元と実物大台上試験の結果を示す。最大ブレーキ性能は、既存新幹線（車両質量 50ton 想定）の非常ブレーキに対して 1.3 倍以上の高減速度（最大 5.32km/h/s）が得られる設計としてあり、実物大台上試験では列車速度に応じたブレーキ性能を確認するため、最高速度 360km/h までの停止ブレーキ試験を実施した。最高速度 360km/h からのブレーキ扱いでは、計画していた減速度を確保し停止距離も 4623m と計画を満足するブレーキ性能が確認されており、既存新幹線に対して 1.3 倍のブレーキ力を確保できる見通しが得られた。

表 1 キャリパの設計諸元と実物大台上試験の結果

名称	設計諸元	
	キャリパ	シリンダ面積
隙間調整機能		3 [mm]
機械効率		95 [%]
無効圧力		35 [kPa]
最大押付力		17.16* [kN]
ライニング	摩擦材質	銅系焼結合金
	材料密度	5.3 [g/cm <sup>3</sup> ]
	摩耗代	5.0 [mm]
	有効面積	240 [cm <sup>2</sup> ]
	目安温度	1000 [°C]
	想定摩擦係数	0.40
	ブレーキ有効半径	299.3 [mm]



※最大制御圧力は 720kPa と想定

#### 3.2 断熱性能

楕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あるが、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

ダイヤフラムに伝わりやすい。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る。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、断熱材を可能な限り厚くすることが重要である。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  $45\text{mm}$  としてある。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る。

図3に停留ブレーキで上昇するダイヤフラム接触面の温度推移を示す。試験では断熱性の確認を目的として、初速度  $360\text{km/h}$  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、何れの測定箇所でも  $100^\circ\text{C}$  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  $120^\circ\text{C}$ （前述の高温環境試験条件）以下に抑制できた。

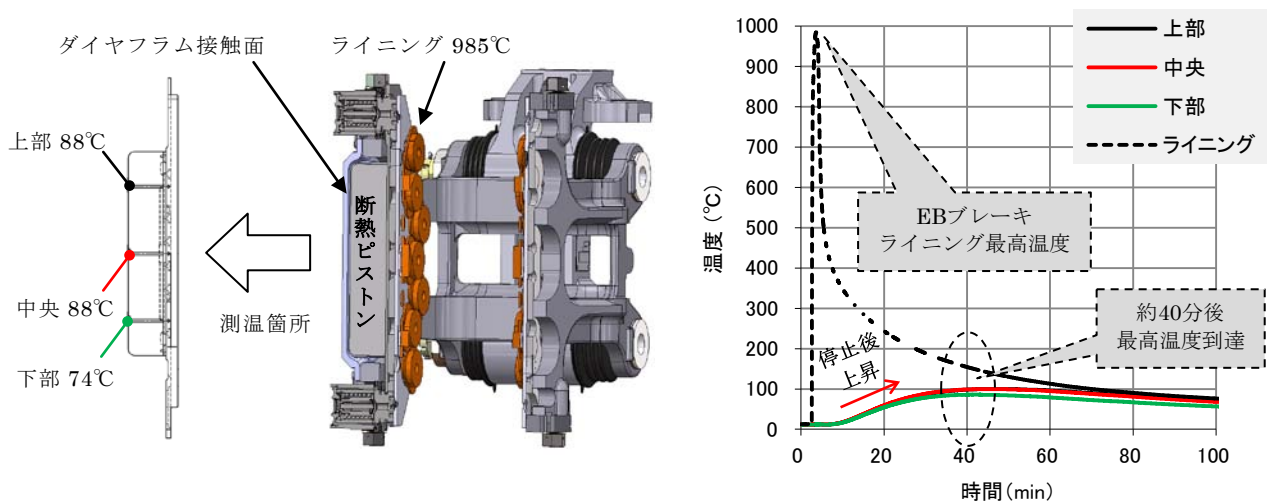
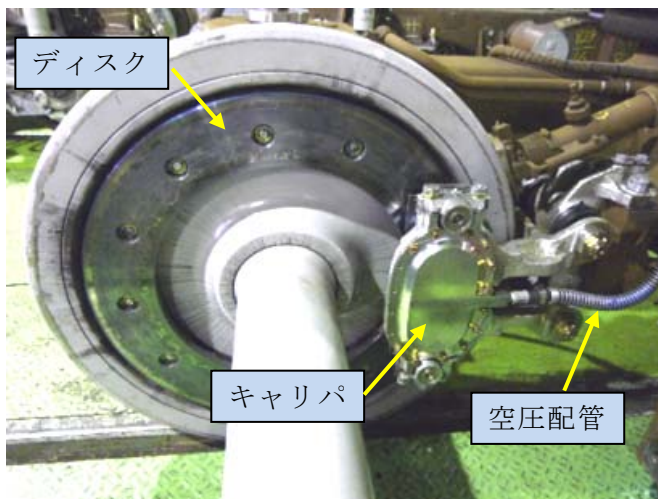


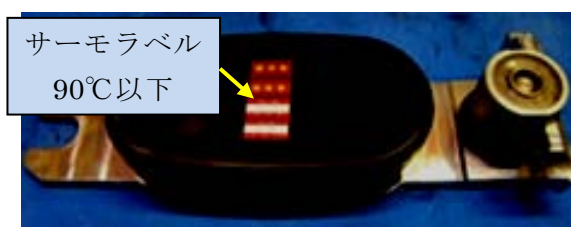
図3 停留ブレーキで上昇するダイヤフラム接触面の温度推移

#### 4. 現車試験後の分解調査結果

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を既存新幹線の3号車 No.2 台車に艤装し、最高速度  $320\text{km/h}$  までのブレーキ試験を実施した。なお、現車試験に適用した全てのキャリパ（5位装置、6位装置、7位装置、8位装置）について分解調査を実施し、楕円形ダイヤフラム押付機構の健全性を調査した。図4に現車試験後の分解作業状況、表2に現車試験後の押し付け力特性変化、表3にダイヤフラムの物性調査結果をそれぞれ示す。調査の結果、何れの装置も製作時と変わらず良好な押し付け特性を維持しており、ピストン表面に施工したサーモラベルに変化は無く、十分な断熱性によりダイヤフラム温度は  $90^\circ\text{C}$  以下に抑制されていた。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ず、空圧式フローティングキャリパが既存新幹線と同等以上のブレーキ要求においても適用できる基礎ブレーキ装置であることが検証された。



(a) 空圧式フローティングキャリパの艤装状態



(b) 断熱ピストンの状態



(c) ダイヤフラムの状態

図4 現車試験後の分解作業状況

表2 現車試験後の押し付け力特性変化

現車搭載部位	製作時			現車試験後		
	無効圧力 (kPa)	押し付け力 (kN)	機械効率 (%)	無効圧力 (kPa)	押し付け力 (kN)	機械効率 (%)
5位	29.0	17.72 <sup>*</sup>	97.3 <sup>*</sup>	30.4	17.83 <sup>*</sup>	97.9 <sup>*</sup>
6位	30.3	17.83 <sup>*</sup>	98.1 <sup>*</sup>	29.8	17.90 <sup>*</sup>	98.4 <sup>*</sup>
7位	28.4	17.98 <sup>*</sup>	98.6 <sup>*</sup>	29.9	18.02 <sup>*</sup>	98.9 <sup>*</sup>
8位	31.7	17.80 <sup>*</sup>	98.1 <sup>*</sup>	30.8	17.82 <sup>*</sup>	98.1 <sup>*</sup>

※押し付け力、機械効率ともに供給圧力 720kPa で得られた結果

表3 ダイヤフラムの物性調査結果

現車搭載部位	引張り強さ (MPa)	伸び (%)	硬さ (HRS)
製作時	120	60	55.8
5位	120	50	55.3
6位	110	60	52.5
7位	120	60	56.7
8位	110	60	53.0

## 5. まとめ

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、押し付け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牢なものでなくてはならない。開発した空圧式フローティングキャリパは、新たに考案した「楕円形ダイヤフラム押し付け機構」を用いることで、テコやクサビといった仕組みを用いず空気圧を押し付け力に直接変換でき、シンプルで信頼性の高い基礎ブレーキ装置にできる見通しが得られた。台上試験および新幹線の本線走行試験により、既存新幹線と同等以上のブレーキ要求に対しても適用できることを確認した。