



# 極低温環境に適応した鉄道車両用空気バネ

## Air Spring for Railways Available in Very Cold Environment

前田 修平\*

Shuhei Maeda

吉田 淳

Jun Yoshida

浦 康彦

Yasuhiko Ura

原口 浩一

Hirokazu Haraguchi

菅原 潤

Jun Sugawara

近年、都市人口の増加に伴う交通需要の増加や環境・エネルギー問題への関心の高まりを背景に、自動車や航空機に比べて輸送効率に優れ、単位輸送量あたりのCO<sub>2</sub>排出量、エネルギー消費量が少ない鉄道が注目されており、世界各国で鉄道網の整備が進められている。最近では、欧州や中国において寒冷地を含む地域への路線拡張が行われており、当社が製造、販売する鉄道車両用空気バネにも高い耐寒性が要求されている。今回、耐寒性向上のニーズに対応すべく、極低温下でも柔軟性を保持するゴム材料を開発し、極低温環境を走行する鉄道車両にも適用可能な空気バネを開発した。

The increase of urban population in recent years results in an increased traffic demand, whereas the interest in environment and energy issues is growing. With the advantage of transporting larger number of passengers with lower CO<sub>2</sub> emissions and consumption energy than automobile and aircraft, railways are attracting international attention. Railway system has been constructed around the world, being extended to cold regions in such as European countries and China in recent years. Thus, Sumitomo Electric Industries, Ltd. has developed a new air spring for railways designed for cold region transportation. This new air spring successfully operates in very cold environment without sacrificing general properties. The key technology of this new product is the rubber compound formulation technology for diaphragm, which enables operation at a very low temperature with high flexibility.

キーワード：空気バネ、ダイアフラム、耐寒性、脆化温度、耐オゾン性

## 1. 緒言

近年、都市人口の増加に伴う交通需要の増加や環境・エネルギー問題への関心の高まりを背景に、自動車や航空機に比べて輸送効率に優れ、単位輸送量あたりのCO<sub>2</sub>排出量、エネルギー消費量が少ない鉄道が注目されている。フランス、ドイツをはじめとした欧州各国、および中国等の東アジアを中心に鉄道網の整備が盛んに進められており、これらの地域以外でも鉄道網の建設が計画されている。

当社は1958年より鉄道車両用空気バネを製造、販売しており、需要が拡大する中国を中心に海外への拡販を進めている。最近では、欧州や中国における寒冷地を含む地域への鉄道路線の拡張に伴い、空気バネにも高い耐寒性が要求されている。とりわけ極低温下では空気バネに使用されるゴム材料の柔軟性が低下し、大きく漏気（パンク）する可能性がある。今回、極低温下でも柔軟性を保持するゴム材料を開発し、極低温環境を走行する鉄道車両にも適用可能な空気バネを開発した。以下、詳細について述べる。

## 2. 空気バネの構造、製造方法

鉄道車両用空気バネの模式図を図1に示す。空気バネとは、鉄道車両と台車の間に装着され、ゴム部材に圧縮空気を封入したダイアフラムで台車の振動を吸収し、乗客の乗り心地を良くする重要部品である。

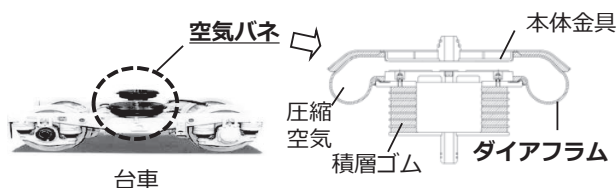


図1 鉄道車両用空気バネ

ダイアフラムは内部に圧縮空気を封入させた状態で台車の動きに合わせて変形するため、ダイアフラムの材料には柔軟で気密性に優れたゴム材料と補強布を貼り合わせ、強度を高めた複合素材を適用している。

ダイアフラムの製造工程を図2に示す。複合素材は、①ベースゴムに加硫剤<sup>\*1</sup>等の添加剤を混合し、②シート状に加工し、③シート状のゴム材料を1枚あるいは複数枚積層し補強布の両面に貼り合わせて製造する。その後、④複合素材を所定の形状に成形し、⑤金型内で加熱してゴム材料を加硫<sup>\*2</sup>し貼り合わせ面を接着させることでダイアフラムを製造している。

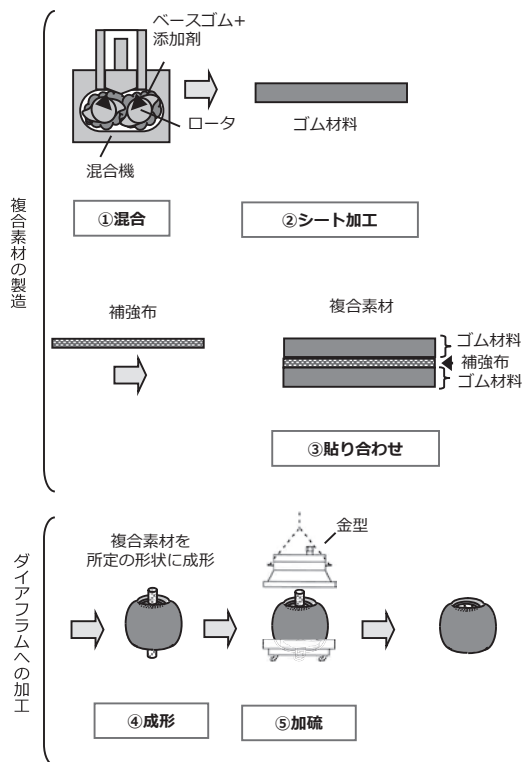


図2 ダイアフラムの製造工程

### 3. ダイアフラム用ゴム材料の耐寒性向上

#### 3-1 開発目標

空気バネの耐寒性を向上するには、ダイアフラムが極低温下でも柔軟性を保持する必要がある。そこで、ゴム材料が柔軟性を失い、脆く割れ易くなる温度（脆化温度）を耐寒性の指標とし、目標を-60℃以下とした<sup>(1)</sup>。また、ダイアフラムにはオゾンによりゴム材料が劣化しないこと、および繰り返し屈曲に伴う貼り合わせ面の剥離が生じないことが必要であることから、耐オゾン性、接着性の目標値を設定した<sup>(2)</sup>。また、ダイアフラムの成形工程において貼り合わせ面に隙間が生じないよう、ゴム材料の粘着性で仮止めさせる必要があることから、未加硫ゴム材料の粘着性も目標に加えた。表1にゴム材料の開発目標をまとめた。

表1 開発目標

項目		目標値
耐寒性	脆化温度 [°C]	≤ -60
耐オゾン性 (動的、オゾン濃度：100±5pphm、伸張率：0～5%、曝露時間：144h)		亀裂なきこと
加硫ゴム材料の貼り合わせ面の接着性 [kgf/25mm]		≥ 10
成形性	未加硫ゴム材料の貼り合わせ面の粘着性 [kgf/25mm]	≥ 0.4

#### 3-2 材料設計

既存品のダイアフラムには、耐オゾン性をはじめ諸特性に優れるクロロプレンゴムをベースとしたゴム材料を使用している<sup>(3)</sup>。しかしながら、このゴム材料の脆化温度は十分低いとは言えず、ダイアフラムは極低温下で柔軟性を保持できなくなる恐れがある。これは、クロロプレンゴムのガラス転移温度<sup>\*3</sup>に起因しているものと考えられ、まずクロロプレンゴムよりもガラス転移温度が低く、耐オゾン性に優れるベースゴムの適用を検討した。

表2に各種ベースゴムのガラス転移温度および耐オゾン性を比較した表を示す<sup>(4)～(6)</sup>。このうち、エチレン-プロピレン-ジエンゴム、ブチルゴム、シリコンゴムはクロロプレンゴムと同様、耐オゾン性に優れるが、接着性をはじめとする諸特性の低下が見られ、単独での適用は困難であることが判った。また、これらはクロロプレンゴムとブレンドしても接着性の大幅な改善は期待できないことから、候補から除外することにした。

表2 各種ベースゴムのガラス転移温度、耐オゾン性

ベースゴムの種類	ガラス転移温度 [°C]	耐オゾン性
クロロプレンゴム	-43 ~ -45	○
天然ゴム	-69 ~ -79	×
エチレン-プロピレン-ジエンゴム	-60 ~ -69	○
ブチルゴム	-67 ~ -75	○
ブタジエンゴム	-75 ~ -110	×
シリコンゴム	-112 ~ -132	○

一方、ブタジエンゴムは耐オゾン性に劣るものの、ガラス転移温度が-75～-110℃と極めて低いことから、耐オゾン性に優れるクロロプレンゴム中に微分散させることで、耐寒性を向上させることを考えた。すなわち、クロロプレンゴムが「海」、ブタジエンゴムが「島」となる海島構造<sup>\*4</sup>にすることで、オゾンによって「島」に万一微細なクラックが生じても、「島」の不連続構造によりクロロプレンゴムの「海」が伝搬を抑える材料を設計した。図3に海島構造の模式図を示す。

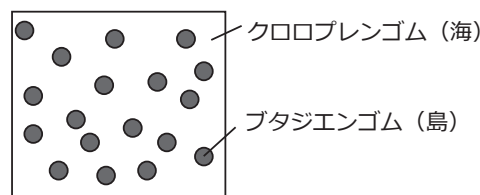


図3 海島構造の模式図

### 3-3 ゴム材料の検討

前述の材料の設計指針をもとに、クロロプレンゴムとブタジエンゴムのブレンドを検討したが、粘着性が低く、成形工程で貼り合わせ面で剥離が生じた。一方、天然ゴムはブタジエンゴムに比べてガラス転移温度は高いものの粘着性に優れることから、クロロプレンゴム/ブタジエンゴム/天然ゴムのブレンドを検討した。クロロプレンゴムが海島構造の「海」となるようクロロプレンゴムの配合比を設定し耐オゾン性を確保しつつ、「島」を形成するブタジエンゴムおよび天然ゴムの配合比を最適化し、耐寒性、接着性、粘着性の両立を検討した。

図4にブタジエンゴムと天然ゴムの配合比と各特性の関係を示す。ブタジエンゴムと天然ゴムの配合比を所定の範囲とすることで耐寒性、接着性、粘着性を両立することができた。

表3に、開発したゴム材料の特性をまとめた。

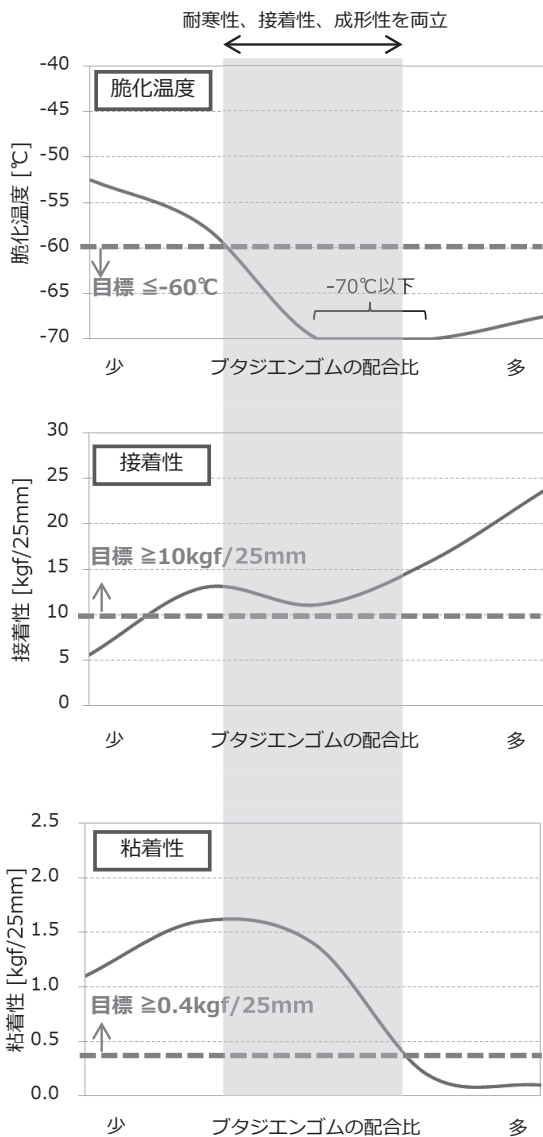


図4 ブタジエンゴムの配合比と各特性の関係

表3 開発したゴム材料の評価結果

項目		目標値	開発したゴム材料
耐寒性	脆化温度 [°C]	$\leq -60$	○
耐オゾン性		亀裂なきこと	○
加硫ゴム材料の貼り合わせ面の接着性 [kgf/25mm]		$\geq 10$	○
成形性	未加硫ゴム材料の貼り合わせ面の粘着性 [kgf/25mm]	$\geq 0.4$	○

### 4. 空気バネの性能評価

開発したゴム材料を用いて空気バネを試作し、常温、および極低温下での性能評価を実施した。評価結果を表4に示す。低温槽にて、ダイアフラムに600kPaの圧縮空気を封入し耐圧試験および気密試験を実施した結果、極低温下でもパンクは発生せず、エアリーク量も目標を達成することを確認した。さらに、空気バネを上下方向、水平方向に変位させた際のエアリークもないことを確認した。

表4 空気バネの性能評価結果 (内圧：600kPa)

試験項目	目標	常温下	極低温下
耐圧試験	異常 (パンク) なし	○ 異常なし	○ 異常なし
気密試験	エアリーク量 [kPa] < 9.8	○ 2.2	○ 1.8
変位試験 (水平方向、上下方向)	エアリークなし	○ エアリークなし	○ エアリークなし

次に、図5に空気バネの硬さの指標であるバネ定数の温度依存性のグラフを示す。内圧は600kPaとし、変位量の大きい水平方向に変形させた際のバネ定数をプロットした。空気バネのバネ定数は、温度による変化が小さいことが望ましい。既存品、開発品ともに極低温下ではダイアフラムの硬度

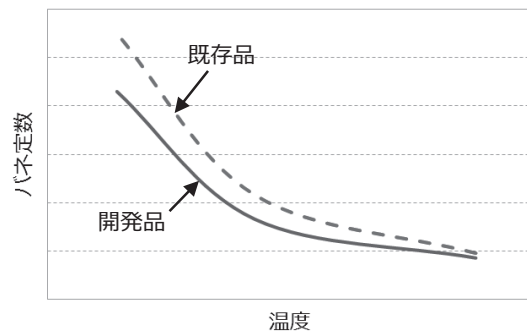


図5 バネ定数 (水平方向) の温度依存性

が増し、バネ定数は上昇する傾向にあるが、開発品はバネ定数の上昇が小さく、既存品に対して最大で約15%小さいことを確認した。

## 5. 結 言

極低温下でも柔軟性を保持するゴム材料を開発し、極低温環境を走行する鉄道車両にも適用可能な空気バネを開発した。本開発品は極低温下でも常温同様、耐圧性能、気密性能をクリアすることを確認した。今後、寒冷地を含む広範囲の温度域で運行される鉄道車両への幅広い適用が期待される。

### 用語集

#### ※1 加硫剤

ベースゴムを加硫させるために添加する配合剤のことで、一般には硫黄が使用される。

#### ※2 加硫

ベースゴムに硫黄や過酸化物を混合して加熱することで、ベースゴムの分子間を橋架け結合で繋ぎ、三次元網目構造を形成させること。これにより、引っ張って力を放しても元の形状に戻るゴム特有の弾性が発現する。

#### ※3 ガラス転移温度

一般に、ゴムは室温では高い柔軟性を示すが、温度が低下すると、ある温度を境にゴム分子の主鎖の運動が抑制され柔軟性が低下してガラス状態となる。この温度をガラス転移温度という。ガラス転移温度はベースゴムの分子構造に依存する。

#### ※4 海島構造

互いに溶け合わない2種類のベースゴムが「海」と「島」にミクロ相分離した構造のこと。一般に、体積比率の高い相が「海」を形成し、体積比率の低い相が「島」を形成する。

### 参 考 文 献

- (1) 高野良孝、「加硫ゴムの耐寒性」、日本ゴム協会誌、第38巻、第10号、p.898-911 (1965)
- (2) 深堀美英、「高分子の寿命と予測 ゴムでの実践を通じて」、技報堂出版 (2013)
- (3) 新刊ゴム技術の基礎 改訂版、日本ゴム協会 (2010)
- (4) J. Brandrup, E. H. Immergut, E. A. Grulke: Polymer Handbook (1999)
- (5) 宇部興産株式会社、ゴム強化スチレン系樹脂、特開2011-26378 (2011-02-10)
- (6) ゴム工業便覧 (第4版)、日本ゴム協会 (1994)

### 執 筆 者

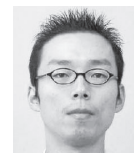
前田 修平\* : エネルギー・電子材料研究所 主査



吉田 淳 : ハイブリッド製品事業部



浦 康彦 : ハイブリッド製品事業部 主席



原口 浩一 : ハイブリッド製品事業部 グループ長



菅原 潤 : エネルギー・電子材料研究所  
グループ長



\*主執筆者