

第78回

空気ばね

はじめに

空気ばねは、空気が持つ圧縮性をばねとして利用したサスペンションです。空気ばねの特徴は、金属製のコイルばねに比べて、柔らかいばねを作れることや、ばね上の重さが変わっても一定の高さを自動的に維持するように高さ調整ができることです。鉄道車両の台車・車体間に用いられるまくらばねでは、新幹線をはじめとして近年新製されるほとんどの旅客車で空気ばねが採用されています。また、バスやトラックなどのサスペンションや、建物の免震装置にも利用されています。

現在の鉄道車両用空気ばねは、車種によって大きさや構成する部品の形状に違いはありますが、基本的な構造は同じです。ここでは、空気ばねの構造

について在来線用空気ばねを例に紹介するとともに、空気ばねの歴史と今後の展望を紹介します。

空気ばねの構造

まくらばねは、台車を構成する要素部品の一つです。図1に示すように我々が乗車する車体を支えるように台車枠上に取り付けられています。図2に、現在のまくらばねにおける空気ばね構造の一例を示します。空気ばねはちょうちん状の「ベローズ（黒いゴム製の膜）」を金属製の上面板とばね座（あるいは下面板）で挟み、それを「ストッパーゴム（積層ゴム）」の上に固定した構造です。ストッパーゴムは、空

気ばねの左右方向のばね力を適度に柔らかくする働きがあります。ベローズのゴム膜は自動車のタイヤのような構造をしており、耐老化、耐屈曲、耐疲労性のある外層ゴムと、空気圧に対する補強を目的とした2層のナイロンコードからなる中層、そして気密性のある内層ゴムで構成されています。空気ばねの特徴を表現する言葉として柔らかい、クッション、ゴムなどが用いられることから、ベローズ自身がゴム風船のように柔らかくて、大きく膨らむ印象を持たれるかもしれませんが、中層のナイロンコードの伸縮はゴムに比べてとても小さいため、ベローズ自身が大きく膨らむことはありません。

空気ばねはダンパーのような減衰機

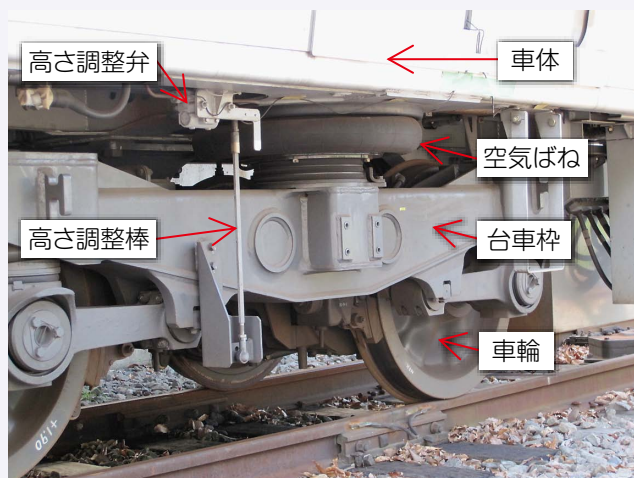


図1 車両に搭載された空気ばね



図2 空気ばね構造の一例

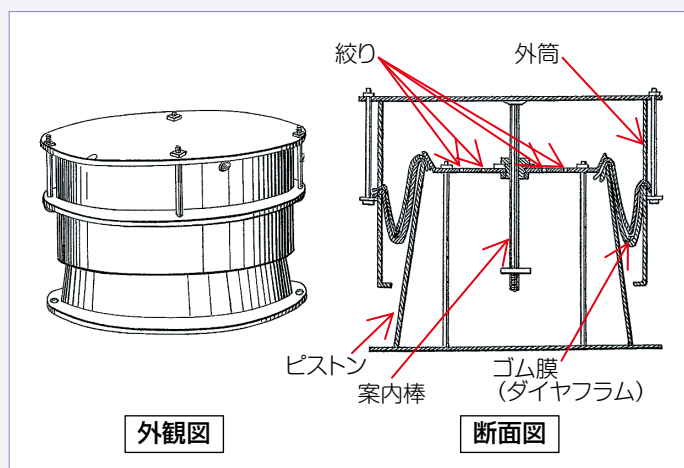


図3 John Lewisの空気ばね¹⁾

能も備えています。空気ばねは、内容積を大きくすると、ばね係数を小さくできることから、補助空気室とよばれる空気タンクとつながっています。この補助空気室につながる配管の一部をすぼめることで、空気ばねの伸縮時に空気ばねと補助空気室間を行き来する空気の流れて抵抗が発生し、その結果、振動を減衰させます。この配管をすぼめた部分を絞りと言っています。絞りの大きさは直径10mmから20mm程度で、適当な減衰が得られるように設計されています。

空気ばねの高さは、空気ばねの給気配管上につないだ車体の高さに応じて動作する高さ調整弁で調整します。高さ調整弁は、空気ばねが所定の高さより低いと給気を、高いと排気を行います。空気ばねが伸びる高さは、車両によって若干異なりますが、パンクした状態に対して30mmから40mmです。使用時の空気圧は200kPaから400kPaになります。この空気圧は、自動車用のタイヤと比べると1~2倍程度になります。

空気ばねの歴史²⁾⁻⁹⁾

空気ばね開発の歴史において、1847年にはすでにアメリカで特許

が出されていました。この発明者はJohn Lewisです。図3に、このとき発案された空気ばねを示します。この空気ばねは、ゴム膜が二重構造であったり、左右方向の動きを拘束する案内棒があるものの、鉄道などのサスペンションに使うことを想定しており、ゴム製の膜を取り入れている点や絞りを備えている点など現在の空気ばねの構造に近いものでした。何よりもこの空気ばねが黒船来航(1853年)よりも前に発案されていたことに驚かされます。しかし、実際に実用化に向けた取り組みが行われたのは、1936(昭和11)年にファイアストーンタイヤ社が自動車用のペローズ形空気ばねを試作したところからになります。その後、1953(昭和28)年に、同社の2段ペローズ形空気ばねが、ゼネラルモータース社によって、バスのサスペンションとして実用化され、多くのバス会社で使用されました。

鉄道車両への応用は、1947(昭和22)年にPullman Carに用いられたのを手始めに、1953(昭和28)年にゼネラルタイヤ・アンド・ラバー社とティムケンローラベアリング社で共同開発した長円形の2段ペローズ形空気ばねが貨車用台車に取り付けられて試験されました。そして、1955(昭和30)

年から1956(昭和31)年にかけて製造された新しい軽量客車Aero train(ゼネラルモータース社製)、Train X(プルマン・スタンダード社製)およびPioneer III(バッド社製)の台車に空気ばねが採用されました。Aero trainやTrainXは一軸台車でしたが、Pioneer IIIは二軸ボギー台車で、2段ペローズ形空気ばねが使用され、揺れ枕の内部には補助空気室が、空気ばねと補助空気室間には絞りが設けられていました。このPioneer IIIの台車は、1958(昭和33)年に電動車用台車として、大手鉄道会社のペンシルバニア鉄道でデビューしました。この後、東急車輛製造(現、総合車両製作所)が同台車の製造技術のライセンスを取得し、1962(昭和37)年に東京急行電鉄向けの台車として製造されました。

日本において空気ばねを鉄道に利用することが考えられ始めたのは、今から70年ほど前になります。1947(昭和22)年ごろから、日立製作所において金属製ペローズを用いた空気ばねの研究が進められ、1950(昭和25)年に横浜市電の台車を使用した試験が行われています。この時の空気ばねは、車体の静荷重を支持するため、コイルばねを内蔵した銅合金製ペローズが採用されましたが、金属ペローズの疲労や剛性、耐久性に問題があり実用化には至りませんでした。その後、前述したアメリカにおける空気ばね式台車の成功をきっかけとして、1955(昭和30)年より汽車製造(現在の川崎重工業)や国鉄の鉄道技術研究所がゴム製ペローズ形の空気ばね開発に着手しました。

汽車製造では、当時の製作の経験や実績からスクータのタイヤの型を基にして直径がおよそ280mmの2段ペローズ形の空気ばねを試作し、この大きさから軸ばねへの利用が考えられました。

この空気ばねは、日本初の空気ばね台車(図4)である京阪電気鉄道1700系電車で試験導入されました。この試験の結果、空気ばねは軸ばねよりまくらばねに利用した方が、乗り心地の向上に有効であることがわかりました。このため、直径約550mmの3段ペローズ形空気ばねを開発し、この空気ばねを採用した台車が1957(昭和32)年に京阪電気鉄道向け台車(KS-51)として納入されました。

一方、国鉄の鉄道技術研究所では1957(昭和32)年にバス向けの空気ばねを実用化しています。鉄道向けには、2種類の空気ばね(図5)が試作され、大型空気ばね試験機などによる試験が行われました(図6)。そして1958(昭和33)年に国鉄初の空気ばね台車(図7)が3段ペローズ形空気ばね(図8)を採用して、特急「こだま」、寝台台車「あさかぜ」で実用化されました。

当初の空気ばねは、車体の上下荷重のみを支えるために使用されましたが、空気ばね台車の営業車両への採

用が進み、耐久性についても十分な実績が積まれたことから、1960(昭和35)年頃から車体の左右方向の支持にも空気ばねを利用する研究が始まりました。初めは3段ペローズ形空気ばねを改良することで実用化されましたが、新幹線試験車両において一部の空気ばねで異常変形を起こし、車体の中立位置に戻らない現象が生じました。そのため、新しい空気ばねの開発が必要となり、住友金属工業と住友電気工業から提案された特殊ダイヤフラム形空気ばねが、1964(昭和39)年に開業した東海道新幹線に採用されました(図9)。この空気ばねは、1段のペローズを外筒とよぶ円形容器で覆う形状で、このような構造の空気ばねはピストンとシリンダーの摺動部分の気密性を保つために考案された自動車用ダイヤフラム形空気ばねと似ていたことから、ダイ

アフラム形とよばれました。

1970年代後半になると、欧州を中心に枕ばりを省略して軽量化したボルスタレス台車が一般化してきました。日本では、1980(昭和55)年に帝都高速度交通営団(現、東京地下鉄)が最初に採用しました。また、新幹線では1990(平成2)年に開発された300系新幹線から導入されています。ボルスタレス台車に用いる空気ばねは、適当な左右剛性を持つほか、上下方向、左右方向に加え、台車の旋回にとまなう前後方向の大きな変形を許容することが求められます。このため、一段のペローズの下部に積層ゴムを配置し、この積層ゴムの変形によって台車の旋回に必要な空気ばね変位を許容する構造が考えられました。300系新幹線に用いられた空気ばね(図10)には、車体のローリングを抑えることを目的に、空気ば



図4 日本で初めて製造された空気ばね台車
(京都鉄道博物館所蔵)

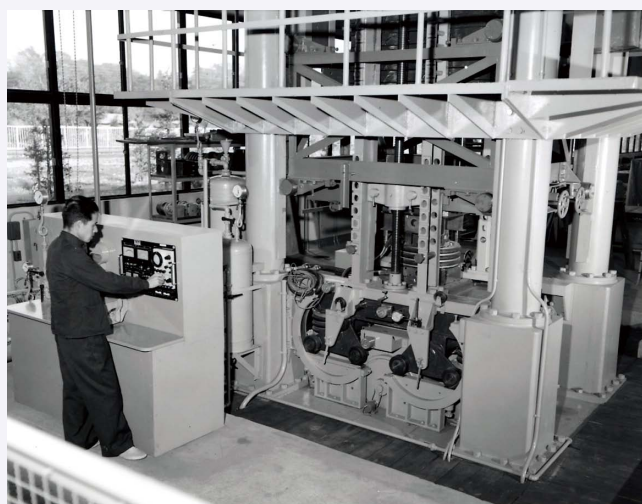


図6 鉄道技術研究所の大型空気ばね試験機

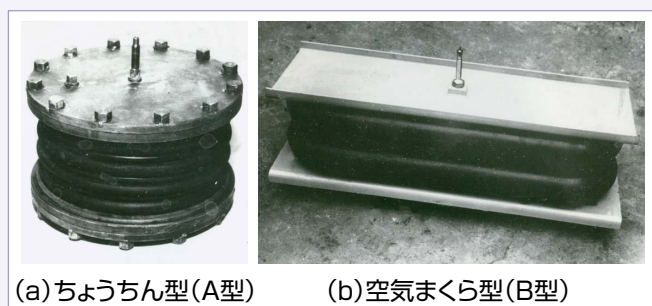


図5 鉄道技術研究所の試作空気ばね

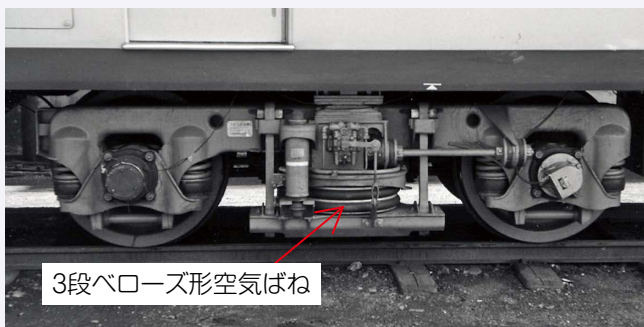


図7 国鉄初の空気ばね台車(DT23形台車)

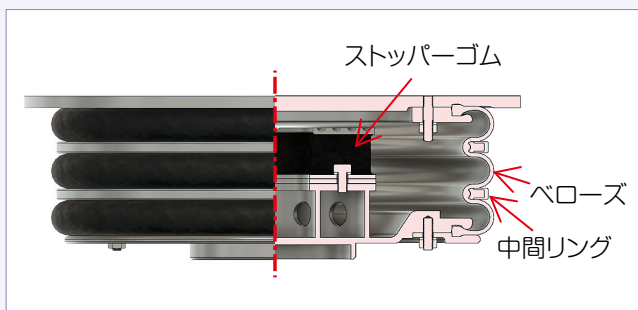


図8 3段ベローズ形空気ばねの一例

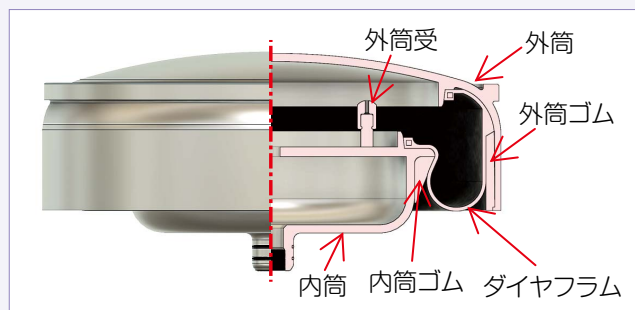


図9 特殊ダイヤフラム形空気ばね(0系新幹線)

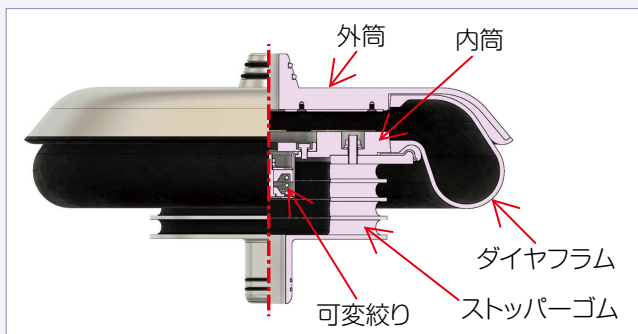


図10 ボルスタレス台車用空気ばね(300系新幹線)



図11 異方性空気ばね(新幹線向け非線形空気ばね)

ねと補助空気室間を行き来する空気
の量に応じて空気ばねの絞りの断面
積が変化し、可変絞りと呼ばれる装
置が組み込まれました。

その後、一部の車両では、左右方
向と前後方向で異なるばね定数を
設定した異方性空気ばね(図11)が
採用されています。これは外筒とダ
イヤフラム(ベローズ)が接触する
外周部(テーパ部)の形状を前後
方向と左右方向で変えることで実
現しています。また、新幹線にお
いては、さらなる高速化のために
、空気ばねの左右方向のばね係
数が2段階に設定された非線形空
気ばねが開発され、500系以降に
開発されたほとんどの車両に採用
されています。

今後の展望

そのほかの空気ばねの活用事例
としては、左右の空気ばね高さを
変えて車体を傾斜させ、カーブ走
行時に掛かる

超過遠心力を抑制する空気ばね
車体傾斜機構が、新幹線や在来線
の特急電車などで実用化されてい
ます。この車体傾斜機構は、既存
の台車構造を大きく変える必要が
ないことから、採用例が増える一
方で、カーブが多い線区では圧縮
空気の消費量が多くなるため、供
給する圧縮空気の確保や消費量の
抑制が課題となっています。また
、メンテナンスの省力化や検査周
期延伸の観点から、空気ばねのベ
ローズ表面に生じるゴムの経年劣
化について、メカニズムの解明や
長寿命化対策などの対応が求めら
れます。

空気ばねは、これまでも走行速
度の向上や乗り心地改善に寄与す
る進化を遂げてきました。今後も
課題を解決しながら、より一層活
用されていくものと考えます。

(遠竹隆行/車両構造技術研究部
車両運動研究室)

文献

- 1) U.S.Patent 4965 : JOHN LEWIS, PNEUMATIC SPRING
- 2) 藤井太一, 岡田幸雄, 井上嘉雄: 空気ばね, 日刊工業新聞社, 1961
- 3) 松平精: 車両用空気ばねについて, 日本機械学会誌, Vol.60, No.464, pp.24-31, 1957
- 4) 小泉智志: 台車技術の系譜(4), 鉄道車両と技術, No.124, pp.43-52, 2006
- 5) 高田隆雄: 台車とわたし⑦, 鉄道ジャーナル, No.105, pp.96-103, 1975
- 6) 森川克二: 車両用空気ばね, 車両と電気, Vol.7, No.7, pp.7-8, 1956
- 7) 村田師男, 別府忠, 平塚幸哉: 空気バネ台車, 日立評論, Vol.39, No.12, pp.74-80, 1957
- 8) 小柳志郎: 乗心地を変えた可変絞り空気ばね, RRR, Vol.47, No.2, pp.9-14, 1990
- 9) 北田秀樹: 新幹線用空気ばねの開発の歴史, SEIテクニカルレビュー, No.190, pp.105-110, 2017