

レアメタル削減合金鋳鉄制輪子の耐摩耗性向上

材料技術研究部 摩擦材料研究室

室長 宮内 瞳

1. はじめに

鉄道のブレーキには、踏面ブレーキという車輪踏面にブロック（制輪子）を押しつけて車両を停止させる方式がある（図1）。制輪子の材質には、鋳鉄、合成樹脂、焼結合金がある。鋳鉄制輪子のうち合金元素を添加していない普通鋳鉄制輪子は古くから使われており、他の制輪子と比較して、摩擦係数や耐摩耗性は低いが、雨や雪によってブレーキ性能が低下しない、車輪／レール間の粘着力を高めるなどの理由から、北海道では主流として使われている。

普通鋳鉄制輪子に合金元素を添加した合金鋳鉄制輪子には、レアメタルであるクロム（Cr）、ニッケル（Ni）、モリブデン（Mo）が含まれている。その中でも Ni、Mo は高価なうえに価格変動が大きい原材料であるため、資源リスク回避の観点からは使用しないことが望ましい。しかしながら、Ni、Mo は、高速での摩擦係数や耐摩耗性の向上への寄与は大きく、特に、在来線では最高速度から機械ブレーキにより 600m 以内に停止しなければならないため、合金鋳鉄制輪子中の Ni、Mo の含有量を削減する場合には、別の要素で摩擦係数の低下を補わなければならない。

一方、合金鋳鉄制輪子の耐摩耗性の向上も大きな課題である。合金鋳鉄制輪子を使用する地域での最も制輪子の摩耗量の多い車種について、走行距離と制輪子の摩耗量の関係を図2に示す。制輪子は、新品は厚さ 60mm で、45mm 摩耗すると交換される。制輪子の摩耗量が 45mm に達するまでの走行距離は約 3 万 km で、早いものでは交番検査周期 90 日の半分の約 45 日で交換されている。そのため、制輪子の寿命を交番検査周期まで延伸することが求められている。

これまでに、高速でのブレーキ距離を短縮し、車両の高速化を目指した、炭化ケイ素発泡体（フォーム）を鑄ぐるんだ鋳鉄制輪子を開発し、高速での摩擦係数が向上することを確認した¹⁾。しかし、Ni、Mo 使用量を削減し炭化ケイ素フォームを鑄ぐるんだ鋳鉄制輪子のブレーキ性能については未検討であり、また、耐摩耗性についての検討も不十分であった。そこで、Ni、Mo を削減した合金鋳鉄制輪子に何種類かのセラミックフォームを鑄ぐるんだ鋳鉄複合制輪子を試作してブレーキ性能を確認し、さらに開発した鋳鉄複合化制輪子の実用化を目指して、実用に即したブレーキ試験を実施して性能を確認したのでここに紹介する。

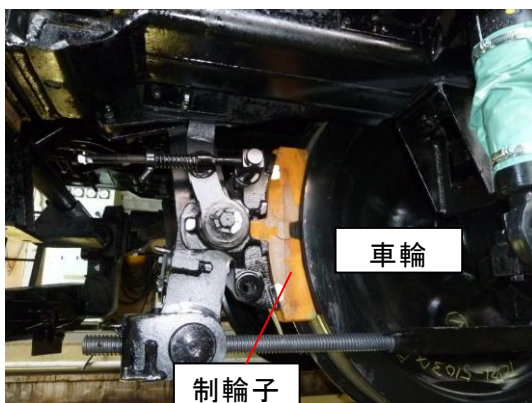


図1 踏面ブレーキ

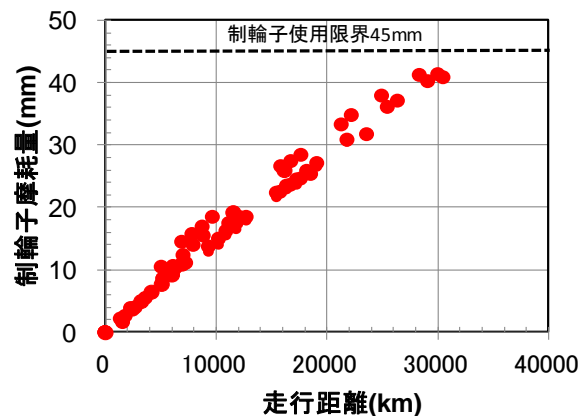


図2 走行距離と制輪子摩耗量の関係

2. セラミックフォーム鑄ぐるみレアメタル削減制輪子²⁾

2.1 供試制輪子

新たな制輪子を試作するにあたって、試作方針は以下の通りとした。

(1) 現用の合金鑄鉄制輪子（以下、現用品とする）の Ni、Mo 含有量を可能な限り減らす

合金鑄鉄制輪子は、使用済みの制輪子をリサイクルして製造されるため、Ni、Mo 含有量を 0.1mass% 以下にすることは困難である。現実的な削減量の目標として、Ni 含有量を 0.5 から 0.3mass%（40%削減）、Mo 含有量を 1.0 から 0.3 mass%（70%削減）とした。

(2) セラミックフォームを鑄ぐるむことにより Ni、Mo 削減に伴うブレーキ性能低下を補う

既開発の炭化ケイ素（SiC）フォーム以外に、アルミナフォーム開発品（Al-1）と汎用品（Al-2）、チタン酸アルミニウム（Ti-Al）フォームを鑄ぐるむことにより、Ni、Mo 削減に伴うブレーキ性能低下を補うとともに現用品より高い耐摩耗性を目標とした。

供試制輪子は、現用品と Ni、Mo を削減した制輪子に、上記セラミックフォームを1つの制輪子につき、二箇所ずつ鑄ぐるむんだものの計5種類とした。アルミナフォーム開発品(A1-1)の外観を図3に示す。

制輪子に鑄ぐるまれるセラミックフォームは、外径60mm、高さ40mmであり、製造時にガイドバーを挿入するため中央にφ6mmの穴が開けられている。

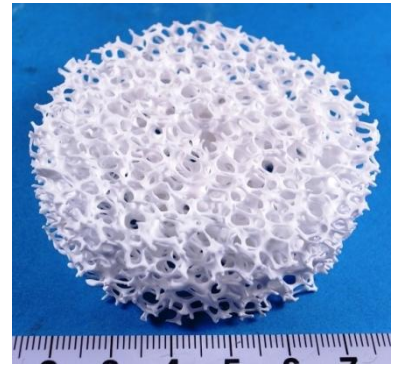


図3 アルミナフォーム開発品(A1-1)

2.2 ブレーキ試験条件

ブレーキ試験には、実物大ブレーキ試験機を用いた。相手材の車輪径は810mm、慣性モーメントは1068kg m²（輪重64kN相当）である。ブレーキ初速度は95、125、135km/hとして、押付力は95km/hのみ25kN両抱き、125、135km/hでは40kN両抱きとした。試験回数は5回、車輪の初期温度を60℃とした。

ブレーキ試験では、各制輪子のブレーキ距離、摩耗量、温度ならびに車輪温度を測定し評価した。

制輪子の摩耗量は各ブレーキ初速度でのブレーキ1回毎の制輪子1個分の摩耗厚さで示した。

2.3 試験結果および考察

ブレーキ距離の測定結果を図4に示す。ブレーキ初速度125、135km/hでのブレーキ距離は、セラミックフォームを鑄ぐるむことにより、現用品より大幅に短縮した。測定した中では、Al-1のブレーキ距離が最も短かった。

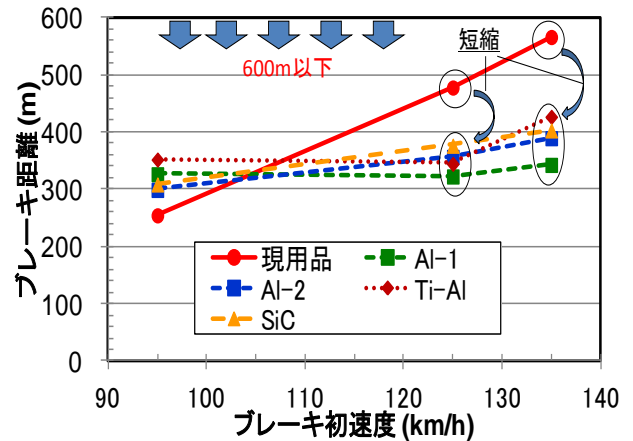


図4 ブレーキ距離

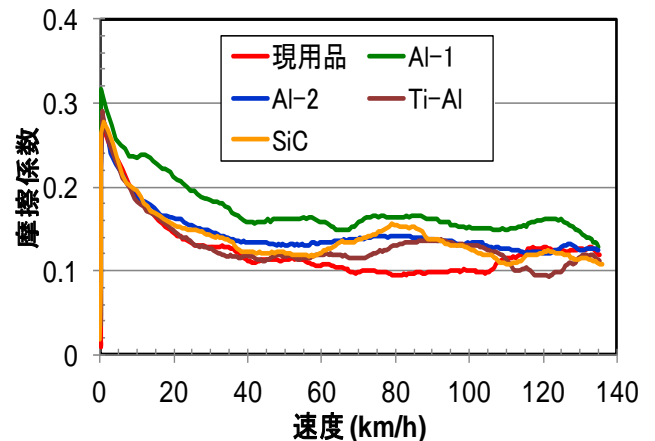


図5 135km/hからの摩擦係数

135km/h からの摩擦係数を図 5 に示す。現用品では、135km/h からブレーキが動作すると摩擦係数は 0.1 まで低下してそのまま維持し、40km/h から停止にかけて約 0.3 まで上昇した。セラミックフォームを鑄ぐるんだ制輪子では、セラミック粒子が車輪／制輪子間に介在することにより、ブレーキ動作開始からの摩擦係数の低下が少なく、現用品と比較して摩擦係数が高くなると考えられる。

制輪子の摩耗量の測定結果を図 6 に示す。現用品より高速での摩耗量が最も少なかったのは Al-1 で、ブレーキ初速度 125、135km/h では現用品より約 40% 低減した。

ブレーキ試験後の制輪子の断面組織を図 7 に示す。Al-1 の摩擦面近傍は、母材の鑄鉄が硬質なアルミナフォームと一体化して強化され、現用品と比較して、塑性流動が小さくなっており、これにより摩耗量が低減したと考えられる。

3. 開発品の実使用条件でのブレーキ性能

合金鑄鉄制輪子に含まれるニッケル (Ni)、モリブデン (Mo) をそれぞれ 40%、70% 削減し、その代替として、アルミナフォーム開発品 (Al-1) を鑄ぐるんだ鑄鉄複合制輪子 (以下、開発品とする) を開発し、実用に即したブレーキ試験を実施し、摩擦係数、制輪子と車輪の摩耗量を測定、評価した。

3.1 試験方法

現用品と開発品の実用に即したブレーキ試験を実施した。試験条件は、ブレーキ初速度が 135km/h、押付力はブレーキ 3 ノッチ相当である 16kN 両抱き (以下、B3 条件と表記) と非常ブレーキ相当である 40kN 両抱き (以下、EB 条件と表記) の 2 条件、試験回数は各押付力毎に計 60 回 (15 回×4)、試験開始の車輪初期温度は 60℃以下とした。15 回毎に制輪子の摩耗量 (試験前後の質量測定) や車輪踏面形状を測定した。なお、相手材の車輪径や慣性モーメントは 2.2 節と同様である。

3.2 試験結果および考察

平均摩擦係数の測定結果を図 8、摩耗量の測定結果を図 9 に示す。各プロットは平均値、エラーバーは最小値・最大値を示す。B3 条件での平均摩擦係数は、現用品と開発品はほぼ同等であった。EB 条件での平均摩擦係数は、開発品はばらつきが小さく 0.14 程度、現用品はばらつきが大きく 0.08 程度であり、開発品は現用品より著しく高かった。この理由としては現用品では多くの摩耗粉が車輪踏面へ移着する現象が見られ、このことが影響していると考えられる。開発品の摩耗量は、現用品より少ない傾向にあった。B3 条件の摩耗量の平均は、開発品は現用品より 8.5%

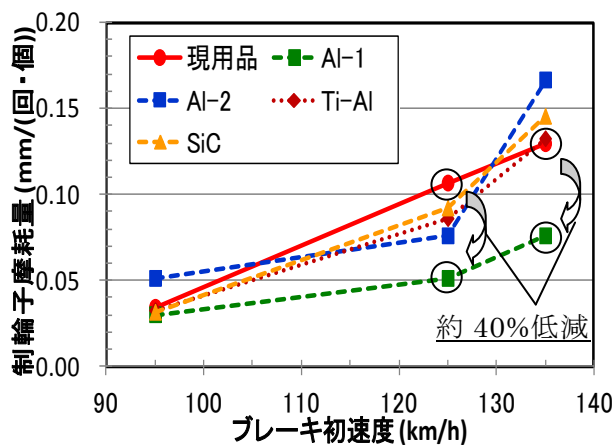


図 6 制輪子摩耗量

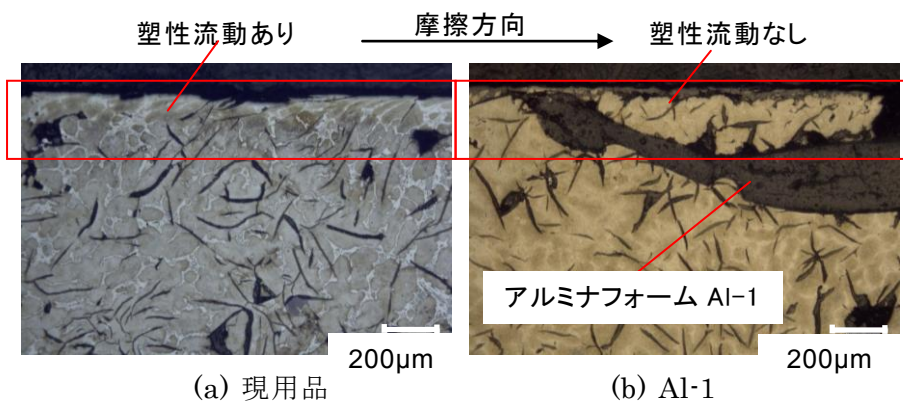


図 7 ブレーキ試験終了後の断面組織

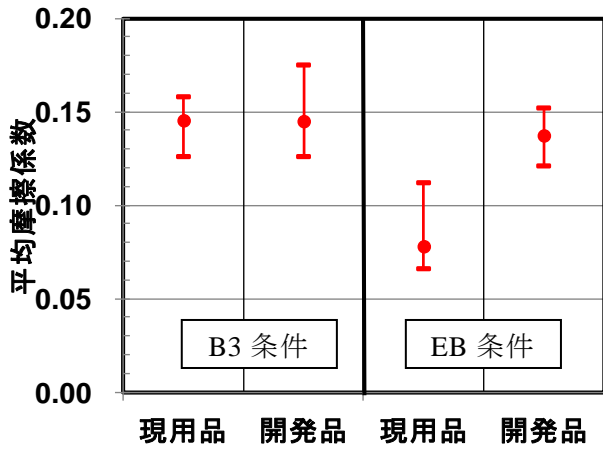


図 8 平均摩擦係数

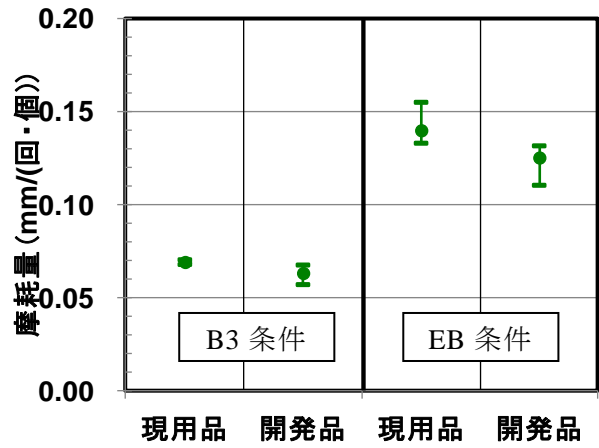
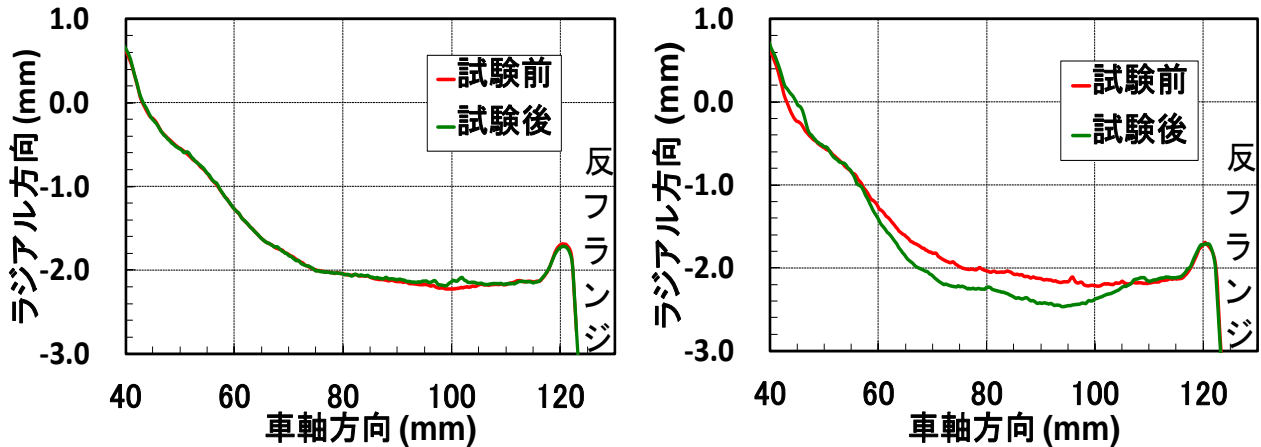


図 9 制輪子の摩耗量

少なく、EB 条件の摩耗量の平均は、開発品は現用品より 10.5%少なかった。

開発品における EB 条件での車輪踏面形状の測定結果を図 10 に示す。車輪踏面の摩耗が認められた反フランジ側の一部を拡大して示している。EB 条件での現用品では、車輪踏面の形状に大きな変化は見られなかったが、開発品では、図に示すように車軸方向 55~108mm の範囲に踏面形状の変化がみられ、最大の変化量（車輪踏面の摩耗量）は 90mm の箇所で 0.3mm であった。



(a) 現用品

図 10 EB 相当条件での車輪踏面形状

(b) 開発品

4. 結言

以上をまとめると次のようになる。

- (1) Ni、Mo を削減した合金鋳鉄制輪子中に炭化ケイ素、アルミナ、チタン酸アルミのフォームを鋳ぐるむことにより、高速でのブレーキ距離は著しく短縮した。さらにアルミナフォーム開発品 (Al-1) を鋳ぐるむことで高速での制輪子の摩耗量が約 40%低減した。
- (2) 実使用条件でのブレーキ試験において、平均摩擦係数は B3 相当では現用品も開発品も同等であったが、EB 相当では、開発品は現用品と比較して著しく高かった。制輪子の摩耗量は、B3、EB 相当ともに開発品は現用品より少なかった。車輪踏面の摩耗は、B3、EB 相当ともに現用品では認められなかったが、開発品では最大約 0.3mm の摩耗が認められた。

参考文献

- 1) 森本文子, 宮内瞳苗, 半田和行, 辻村太郎, 川口清: 摩擦特性に優れた鋳鉄複合化制輪子の開発, 鉄道総研報告, Vol. 22, No. 4(2008), pp.17-22.
- 2) 宮内瞳苗: RRR, Vol.69, No.10, (2012.10), pp.20-23.