

- 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

合金鋳鉄制輪子を複合構造にしてレアメタルを減らす

合金鋳鉄制輪子には希少金属（レアメタル）が含まれており、その中のニッケル（Ni）、モリブデン（Mo）は、高価で、価格変動も大きい原材料であるため、使用しないことが望まれます。一方、それらは、合金鋳鉄制輪子の高速での摩擦係数や耐摩耗性の向上に大きな役割を果たしています。そこで、Ni、Moを削減した合金鋳鉄制輪子をセラミック発泡体との複合構造にして、そのブレーキ性能の低下を補い、さらには耐摩耗性の向上を検討したので紹介いたします。



宮内 瞳
Toru Miyachi
材料技術研究部
摩擦材料研究室
主任研究員
【専門分野】 鋳鉄制輪子、
ブレーキ材料

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ります（図1）。制輪子の種類には、鋳鉄、合成樹脂、焼結合金があります。鋳鉄制輪子の中で、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のですが、雨や雪によってブレーキ性能が低下しない、車輪／レール間の粘着力が高いなどの理由から、北海道では主に使われてきました。

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、レアメタルであるマンガン（Mn）、クロム（Cr）、ニッケル（Ni）、モリブデン（Mo）が含まれています。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、使用しないことが望ましいのですが、一方、Ni、Moは、高速

での摩擦係数や耐摩耗性の向上に寄与しています。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ので、合金鋳鉄制輪子中のNi、Moの含有量を削減するには、別の要素で摩擦係数の低下を補う必要があります。

また、合金鋳鉄制輪子の耐摩耗性の向上も大きな課題です。合金鋳鉄制輪子を使用する地域での最も制輪子摩耗量の多い車種の走行距離と制輪子摩耗量の関係を図2に示します。制輪子は、新品は厚さ60mmで、45mm摩耗すると交換されます。制輪子摩耗量が45mmに達するのは、走行距離約3万

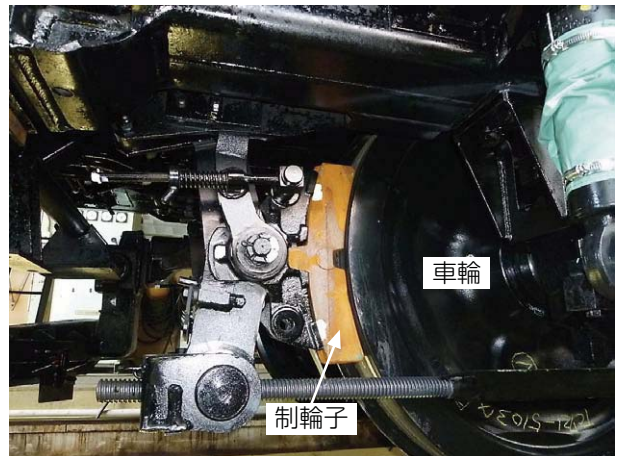


図1 踏面ブレーキ

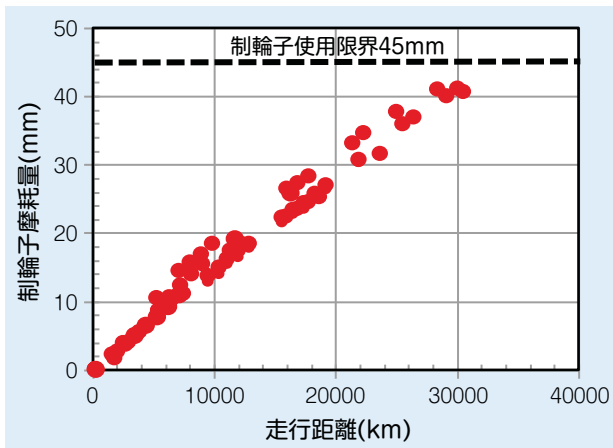


図2 走行距離と制輪子摩耗量の関係

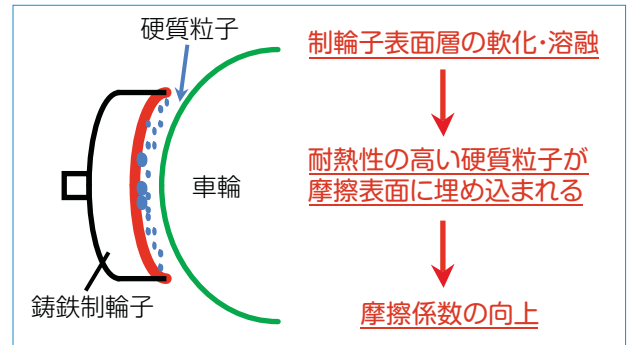


図4 高速での制輪子と車輪界面のイメージ

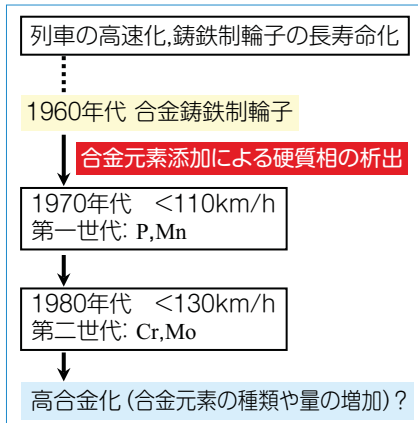


図3 合金鋳鉄制輪子の開発経緯

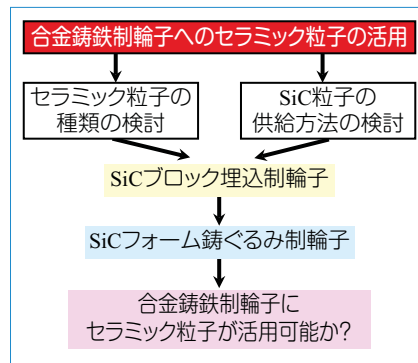


図5 合金鋳鉄制輪子へのセラミックス活用可能性の検討

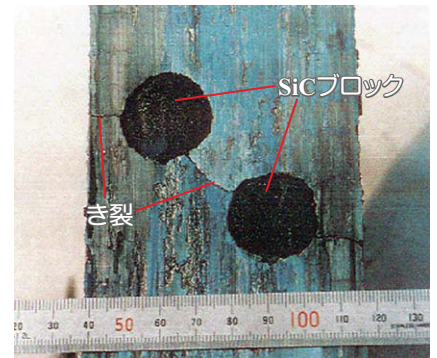


図6 ブレーキ試験後のセラミックブロック入り制輪子

kmで、早いものでは交番検査90日の半分で制輪子が交換されています。そのため、制輪子の寿命を交番検査まで延伸することが求められています。

Ni, Moを削減した合金鋳鉄制輪子にセラミック発泡体(フォーム)を鑄ぐるんで複合構造にし、高速での摩擦係数の低下を抑え、さらに耐摩耗性の向上を検討しました。

合金鋳鉄制輪子の開発の変遷

鋳鉄制輪子の摩擦係数や耐摩耗性を向上するため、普通鋳鉄制輪子中に合金元素を多く添加した合金鋳鉄制輪子が開発されてきました(図3)。

1960年代の合金鋳鉄制輪子の開発の主目標は、高速化に向けられました。1970年代は、リン(P)やMnを添加して、車両の最高速度110km/h化に成功し、1980年代は、CrやMoを添加して、車両の最高速度130km/hに成功しました。

それ以降も、すでに含まれている合金元素の添加量を増加したり、新しくバナジウム(V)などの合金元素を添加して制輪子の摩擦係数を向上し、車両の高速化を目指してきましたが、これ以上の合金元素添加は、脆くなったりするなど材料的な問題から困難でした。

合金元素添加による制輪子の性能向上は、主に金属組織中に硬質なステダイトと呼ばれる鉄とリンの化合物を形成することにあります。そこで、セラミック粒子などの硬質粒子の活用が考えられました。高速からのブレーキ時に鋳鉄制輪子の表面が溶融する際、車輪/制輪子間にセラミックスなどの硬質粒子を介在させれば、摩擦係数の低下を防ぎ、ブレーキ距離を短縮できると考えられました(図4)。

合金鋳鉄制輪子へのセラミック粒子使用可能性の検討

合金鋳鉄制輪子へのセラミック粒

子の使用可能性の検討は図5の流れに従い進め、どのようなセラミック粒子が最も高速からのブレーキ距離を短縮できるかを検討しました。炭化ケイ素(SiC)、部分安定化ジルコニア、アルミナの3種類のセラミック粒子を125km/hからのブレーキ動作中に車輪/制輪子間に介在させる試験を行った結果、これらの中でSiC粒子が最も摩擦係数を向上させることがわかりました。

次に、SiC粒子をどのようにブレーキ動作中に、車輪/制輪子間に供給するかを検討しました。様々な方法を試した結果、SiC粒子をブロック状にすると、制輪子中に埋め込み可能であることがわかりました。その制輪子により、高速での摩擦係数を向上、すなわち、ブレーキ距離が短縮することを確認できましたが、SiCブロックの欠けやブロック間のき裂発生が認められ、使用上問題があったため、供給方法の再検討が必要となりました(図6)。

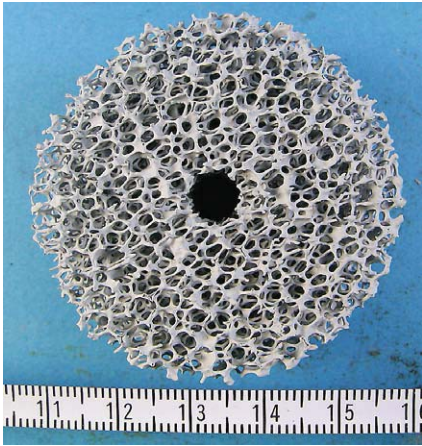


図7 SiCフォーム

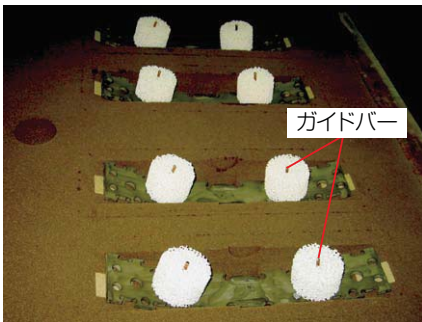


図8 SiCフォームの設置状況(下型)

鋳鉄制輪子は鋳造により製造されま
す。鋳造とは、溶けた金属(溶湯)を
鋳型に流し込み、製品を作ること
ですが、溶湯を鋳型に流し込む(注湯)際
にゴミ(ノロ)をこすためのフィルタ
が使われます。このフィルタは、セ
ラミックフォームで、SiCやアルミ
ナ、ジルコニアなどの材質でできてい
ます。SiCブロックの代わりに、SiC
のセラミックフォーム(図7)を使用
すれば、フォームの空孔に溶湯が入り
込み、SiCフォームと鋳鉄が一体化し
て、SiCフォームの割れや欠けを防ぐこ
とができると考えられます。

砂型におけるSiCフォームの設置状
況(下型)を図8に示します。SiCフォ
ームの中心に穴を開けておき、あらか
じめ、砂型に突き刺したガイドバーに挿
入します。その後、上型が置かれ、注
湯されます。SiCフォームは、溶湯よ
り軽いため、ガイドバーにそって摩擦
面に浮き上がります¹⁾。

SiCフォームを鑄ぐるんだ鋳鉄制輪
子でのブレーキ初速度145km/hから

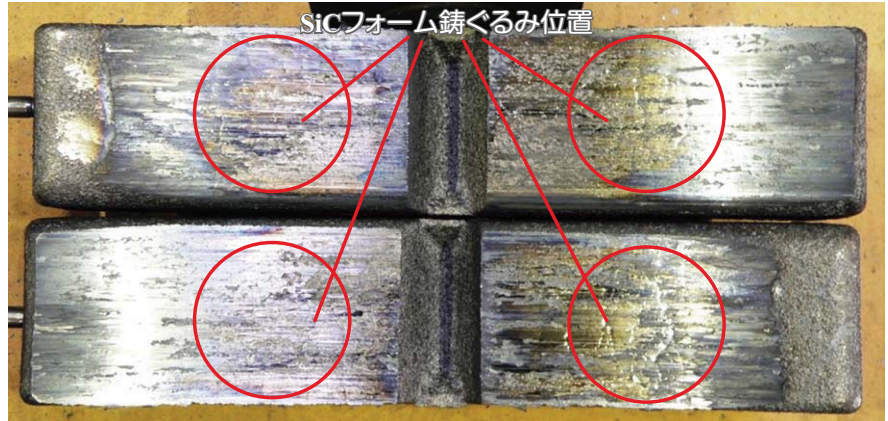


図9 ブレーキ初速度145km/hからのブレーキ試験後の制輪子摩擦表面

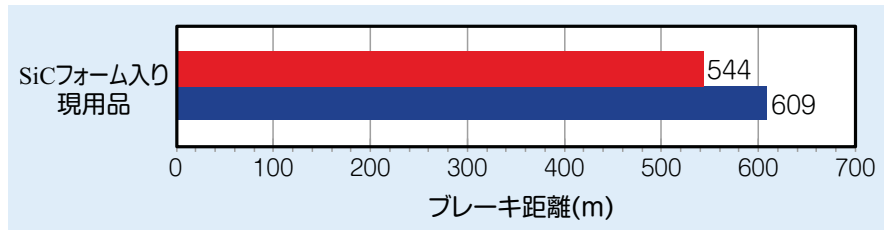


図10 ブレーキ初速度145km/hからのブレーキ距離

のブレーキ試験後の制輪子摩擦面の状
態を図9に示します。SiCフォームの
位置はよく見ないとわからないぐらい
鋳鉄と一体化しており、SiCフォーム
には割れは認められませんでした。さ
らに、ブレーキ初速度145km/hから
のブレーキでは、ブレーキ距離が現用
品より約1割短縮して、600m以下と
なり、車両の140km/h化の可能性も
見いだせました(図10)。

これらのことから、合金鋳鉄制輪子
にセラミックフォームを鑄ぐるむこと
で、摩擦特性向上にセラミックスを活
用できることがわかりました。

レアメタル削減合金鋳鉄複合 制輪子の開発

セラミックフォームを鑄ぐるむ技術
の応用により、レアメタルであるNi,
Moの削減と制輪子の摩耗量の低減が
図れるのではないかと考えました。そ
こで、合金鋳鉄制輪子中のNi, Moの
削減で、摩擦係数や耐摩耗性が低下し
た分をセラミックフォームで補うこと
を考えました。

先に述べた通り、SiCフォームを合

金鋳鉄制輪子に鑄ぐるむ手法の適用
例²⁾はありますが、その目的は、高速
での摩擦係数の向上であり、制輪子の
耐摩耗性の向上ではありません。また、
Ni, Moを削減した合金鋳鉄制輪子に
セラミックフォームを鑄ぐるむことは
検討したことはありません。

そこで、レアメタル削減合金鋳鉄複
合制輪子を開発するにあたり、次の点
を目標としました。

(1) 現用品のNi, Mo含有量を現実的 な下限値にする

鋳鉄制輪子は、制輪子が摩耗限度に
達すると、回収され、製造工場に戻っ
てきます。回収された合金鋳鉄制輪子
はNi, Moを含有したまま再溶解され
ます。従って、Ni, Moの含有量をゼ
ロにすることは困難であり、現用品か
らNi含有量は40%削減、Mo含有量
は70%削減としました。

(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 ーキ性能低下を補い、耐摩耗性の向上 をめざす

高速での摩擦係数や耐摩耗性を向上
させるには、母材の鋳鉄よりも軟化温

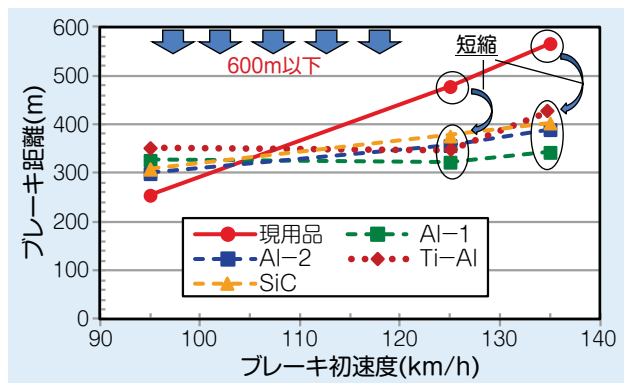


図11 ブレーキ距離

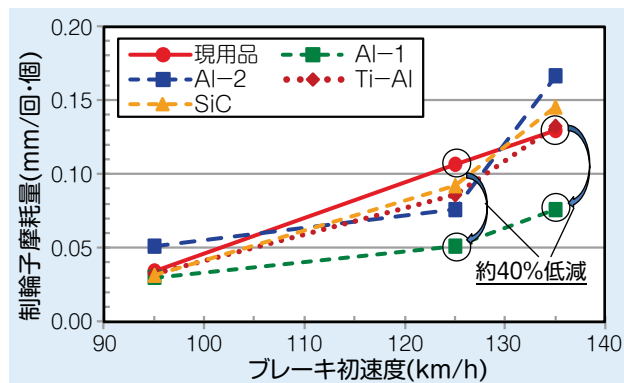


図13 制輪子摩耗量

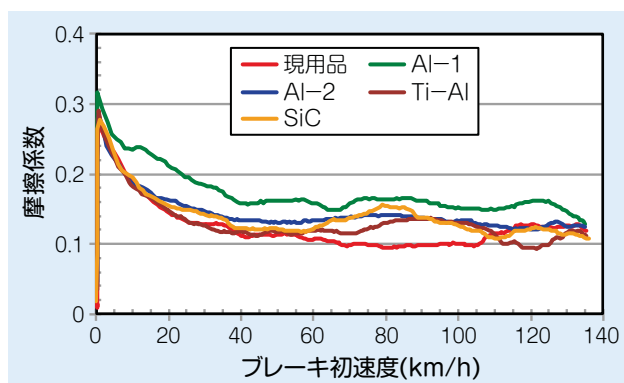


図12 135km/hからの摩擦係数

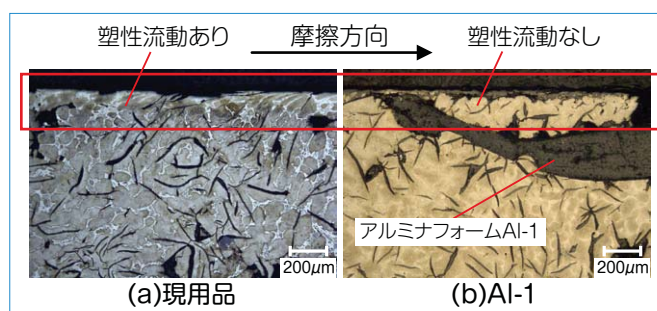


図14 ブレーキ試験終了後の断面組織

度が高く、硬さが高いものが適するため、これまで用いてきたSiCのフォームだけでなく、結合剤を変更したアルミナ2種類Al-1（結合剤：リン酸アルミ）、Al-2（結合剤：酸化ケイ素）とチタン酸アルミ（Ti-Al）の4種類のフォームを铸ぐるみました。制輪子の摩耗量は、セラミックフォームを铸ぐるむことにより低減が期待されます。

レアメタル削減合金铸铁複合制輪子のブレーキ性能

供試制輪子は、現用品とNi、Moを削減した合金铸铁制輪子に、アルミナフォーム2種類（Al-1、Al-2）、チタン酸アルミニウムフォーム（Ti-Al）、SiCフォーム（SiC）を铸ぐるんだものの計5種類です。

ブレーキ距離の結果を図11に示します。ブレーキ初速度125km/h、135km/hでのブレーキ距離は、Ni、Moを削減した制輪子にいずれのセラミックフォームを铸ぐるんでも著しく短縮しました。135km/hからの摩擦係数を図12に示します。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まで上昇します。セラミックフォームを铸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ます。

制輪子摩耗量の結果を図13に示します。ブレーキ初速度125km/h、135km/hにおいて、Al-1は、現用品より40%低減しました。ブレーキ試験後の制輪子断面組織を図14に示します。Al-1の摩擦面近傍は、母材の铸铁が硬質なアルミナフォームと一体化して強化されることにより、現用品と比較して、塑性流動が小さく、制輪子摩耗量が低減したと考えられます。

まとめ

レアメタル削減合金铸铁複合制輪子のブレーキ試験結果をまとめると次のようになります。

- (1) 合金铸铁制輪子中のNi含有量は40%、Mo含有量は70%削減可能であることがわかりました。
- (2) いずれのセラミックフォームもレアメタル削減合金铸铁制輪子に铸ぐるむことにより、高速でのブレーキ距離を短縮することがわかりました。さらにリン酸アルミニウムを結合剤としたアルミナフォームを铸ぐるむことにより（Al-1）、現用品と比較して高速での制輪子摩耗量が約40%低減しました。

おわりに

今後、レアメタル削減合金铸铁複合制輪子の実用化に向けて、さらに研究を進めたいと考えています。RRR

文献

- 1) 特許第4705887号
- 2) 森本文子，宮内瞳也他：摩擦性能に優れた铸铁複合化制輪子の開発，鉄道総研報告，Vol.22, No.4, pp.17-22, 2008.4