

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年4月1日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2009～2011

課題番号：21656043

研究課題名（和文） ナノ気孔を有する硬質多孔性炭素粒子を配合した高摩擦・耐摩耗
エラストマーの開発研究課題名（英文） Development of high friction and high wear resistant elastomer
filled with hard porous carbon particles with nano-scale pores

研究代表者

堀切川 一男 (HOKKIRIGAWA KAZUO)

東北大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：60173605

研究成果の概要（和文）：本研究では、合成ゴムに硬質多孔性の RB セラミックス粒子を配合した複合材料が水潤滑下、油潤滑下において高摩擦を示すための、最適なベースゴムの硬度、RB セラミックス粒子の平均粒径、配合率を実験的に明らかにした。さらに、RB セラミックス粒子配合ゴムを鞋底に用いたサンダルを作製し、水で濡れた床面における耐滑性評価試験を通して、同材料が耐滑鞋底材料として応用可能であることを示した。

研究成果の概要（英文）：The present study revealed optimal conditions, such as hardness of rubber, mean diameter and fraction of RB ceramics particles, in order for synthetic rubber/RB ceramics composites to show high friction under water or oil lubricated condition. Sandals using the rubber/RB ceramics composite sheets as outsole was designed and manufactured. The sandal showed high slip-resistance against wet floor surfaces, which showed the rubber/RB ceramics composites can be applied to high slip-resistant outsole materials.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,300,000	0	1,300,000
2010年度	900,000	0	900,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	270,000	3,370,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：多孔質、RB セラミックス、摩擦、摩耗、エラストマー、潤滑

1. 研究開始当初の背景

自動車タイヤの水濡れ路面での高摩擦化、靴底の高摩擦化、潤滑油中での動力伝達を行うベルトなど、流体存在下におけるエラストマーの高摩擦化は、現在急務の課題となっている。

一方、研究代表者らによって開発された米ぬかを原料とする RB セラミックスは、焼入鋼並みの高硬度を示すとともに、ナノ～マイ

クロススケールの気孔からなる多孔質構造を有している。近年では、粉末状の RB セラミックスの製造にも成功している。この硬質多孔性の RB セラミックス粒子をエラストマーに配合することにより、表面に露出した RB セラミックス粒子が、接触面に介在する流体膜を吸収・除去するとともに、相手面に食い込むことによって、流体存在下においても、高い摩擦係数が得られることが期待される。

2. 研究の目的

本研究の目的は、米ぬかを原料とする硬質多孔性炭素材料 RB セラミックスを合成ゴムなどのエラストマーに配合することにより、水や油などの流体存在下におけるエラストマーの高摩擦化及び耐摩耗性の向上を目指すことである。

3. 研究の方法

(1) 合成ゴム/RB セラミックス複合材料の開発

ショア硬度が 55HS(A/15)~75HS(A/15)の 6 種類の合成ゴム (ニトリルブタジエンゴム: NBR)に、平均粒径 161 μm , 314 μm , 690 μm , 1462 μm の RB セラミックス粒子を、それぞれ 2mass%, 5mass%, 8mass% 配合した RB セラミックス粒子配合ゴムを作製した。

(2) 摩擦試験方法

RB セラミックス粒子を配合したゴムの摩擦・摩耗特性を明らかにするため、直動往復型摩擦試験装置を用いて摩擦試験が行われた。相手材料として半径 4mm の軸受鋼(SUJ2) 研磨球を用い、垂直荷重 0.196N~0.98N, すべり速度 0.01m/s のもとで実験は行われた。摩擦繰返し数は、100 回である。

(3) サンドルの耐滑性評価試験方法

水潤滑下における摩擦試験において、高摩擦を示した RB セラミックス粒子配合ゴムをシート状に成形し、市販のサンダルの底に貼り付け、試験サンダルを作製した。比較として、塩化ビニル (PVC), エチレン酢酸ビニル (EVA) を靴底素材とする市販のサンダルを用意した。耐滑性の評価試験として、携帯型の靴・床すべり測定器を用いて、各試験サンダルと床面の静摩擦係数を測定した。床面は、樹脂製床面、タイル製床面の 2 種類であり、乾燥状態と水濡れ状態の 2 条件とした。

4. 研究成果

(1) RB セラミックス粒子配合ゴムの水潤滑下における摩擦特性

図 1 に、水潤滑下における RB セラミックス粒子配合ゴムの静摩擦係数に及ぼすベースゴムのショア硬度の影響を示す。同図より、RB セラミックス粒子配合ゴムの静摩擦係数は、ベースゴムのショア硬度が 58HS(A/15) 以上の場合、ベースゴム単体よりも高い値を示し、耐滑性の向上が得られることが判る。

図 2 に、平均粒径がそれぞれ 161 μm , 314 μm の RB セラミックス粒子を 5mass% 配合したゴムとベースゴムの静摩擦係数に及ぼす荷重の影響を示す。同図より、RB セラミックス粒子の平均粒径が 161 μm ではベースゴムにおける静摩擦係数とほぼ同等の値を示す

のに対して、RB セラミックス粒子の平均粒径が 314 μm の場合、ベースゴムの場合に比べ、水潤滑下での静摩擦係数の値が荷重条件によらず高くなり、高摩擦化が達成されることが判る。

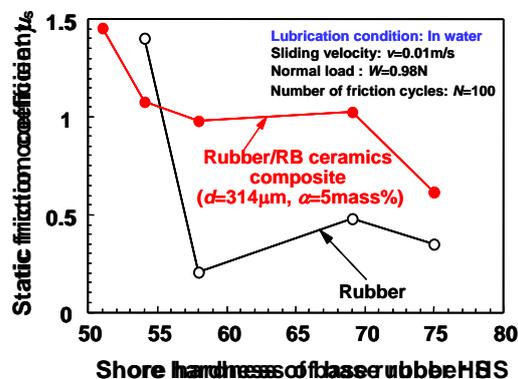


図 1 RB セラミックス粒子配合ゴムの水潤滑下における静摩擦係数に及ぼすベースゴムのショア硬度の影響

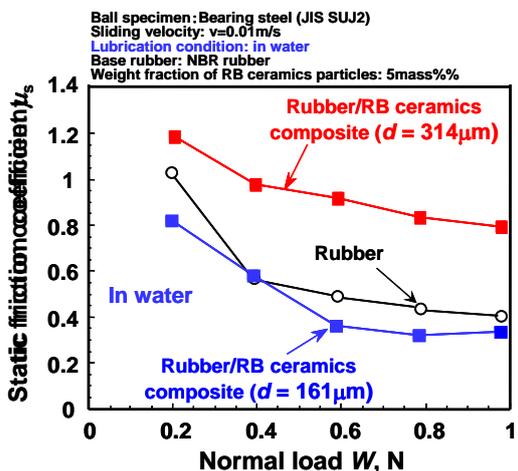


図 2 RB セラミックス粒子配合ゴムとベースゴムの水潤滑下における静摩擦係数に及ぼす荷重の影響

図 3 は、RB セラミックス粒子の配合率と水潤滑下における静摩擦係数の関係である。同図より、RB セラミックス粒子の配合率が、5mass% の場合、荷重条件によらず、静摩擦係数が最も高い値を示すことが判る。

以上の結果より、RB セラミックス粒子配合による水潤滑下での高摩擦化発現のための、好適なベースゴムの硬度は 58HS 以上であり、RB セラミックス粒子の平均粒径は 314 μm 以上、配合率は 5mass% であるといえる。

図 4 に、ショア硬度 58 の NBR に対して、平均粒径 314 μm の RB セラミックス粒子を 5wt% 配合した RB セラミックス粒子配合ゴムとベースゴム単体の水潤滑下における静摩

擦係数と荷重の関係を示す。同図より、RB セラミックス粒子配合ゴムの静摩擦係数は、幅広い荷重条件下で 1.0 以上となり、ベースゴム単体に比べ、2.2 から 4.8 倍の極めて高い値を示すことが判った。これは、RB セラミックス粒子のマイクロスパイク効果と水膜吸収効果の発現によるものと考えられる (図 5)

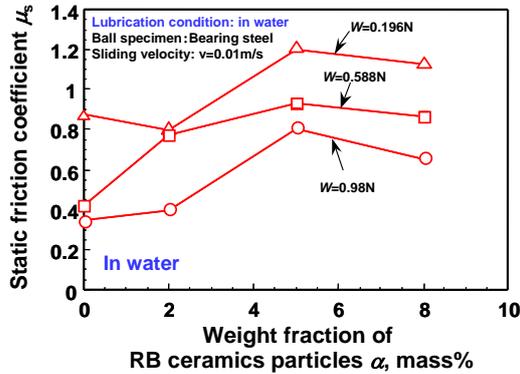


図 3 RB セラミックス粒子の配合率と水潤滑下における静摩擦係数の関係

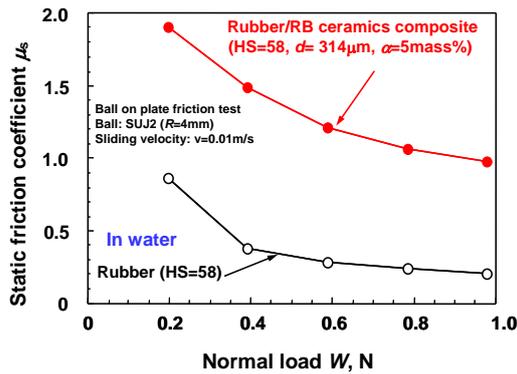


図 4 ショア硬度 58 の NBR に対して、平均粒径 314 μm の RB セラミックス粒子を 5wt% 配合した RB セラミックス粒子配合ゴムとベースゴム単体の水潤滑下における静摩擦係数と荷重の関係

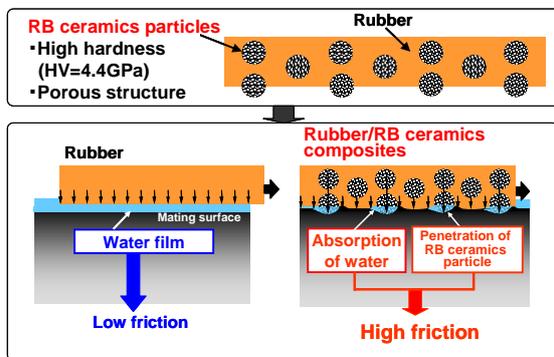


図 5 RB セラミックス粒子配合による水潤滑下での高摩擦発現メカニズム

(2) RB セラミックス粒子配合ゴムの耐摩耗性

図 6 に平均粒径 1462 μm の RB セラミックス粒子配合ゴムの比摩耗量に及ぼす RB セラミックス粒子配合率の影響を示す。同図より、RB セラミックス粒子を配合することで、ベースゴム単体に比べ大幅に比摩耗量を低減できることが判る。特に RB セラミックス粒子の配合率が 5mass% の場合、比摩耗量の低減率は 83% となり、飛躍的な耐摩耗性の向上が見られた。これは、図 7 に示されるように、ゴム単体では摩擦によるゴム表面の大規模な流動に起因して摩耗が増大するのに対して、硬質な RB セラミックス粒子を充填することで表面層に存在する RB セラミックス粒子がゴムの流動を抑制するためであると考えられる。また、RB セラミックス粒子は多孔質であることから、ゴムとの密着性に優れるため、粒子の脱落が少なく、このことも耐摩耗性の向上に寄与していると考えられる。

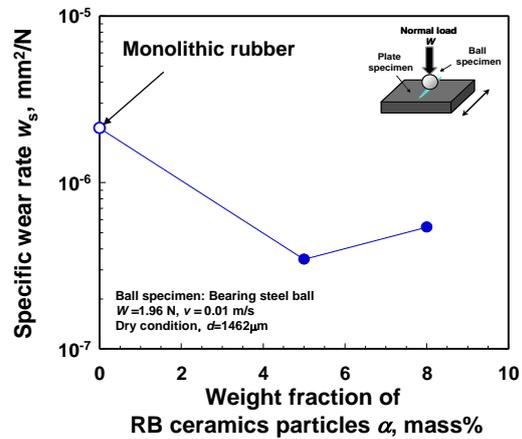


図 6 RB セラミックス粒子配合ゴムの比摩耗量に及ぼす RB セラミックス粒子配合率の影響

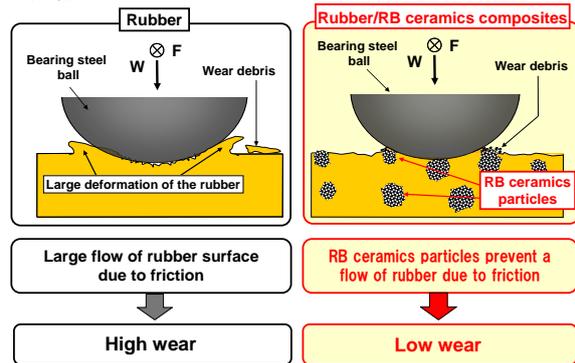


図 7 RB セラミックス粒子配合による耐摩耗性向上メカニズム

(3) RB セラミックス粒子配合ゴムの耐滑靴底材料への応用

図 8 に各試験サンダルの乾燥床面、水濡れ床面に対する静摩擦係数と動摩擦係数の関係を示す。同図より、EVA 及び PVC 製の靴

底を有する市販サンダルは、水濡れ床面に対して 0.4 あるいはそれ以下の静摩擦係数を示すのに対して、RB セラミックス粒子配合ゴム製の靴底を有するサンダルは、乾燥床面、水濡れ床面いずれに対しても、0.5 付近あるいはそれ以上の高い静摩擦係数を示すことが判る。人間がすべりを生じずに安全に歩行するために靴底と床面の間に求められる静摩擦係数は 0.5 以上であることから、水濡れ床面においても RB セラミックス粒子配合ゴム製の靴底を有するサンダルは、実用に耐え得る、優れた耐滑性を有していることが明らかとなった。

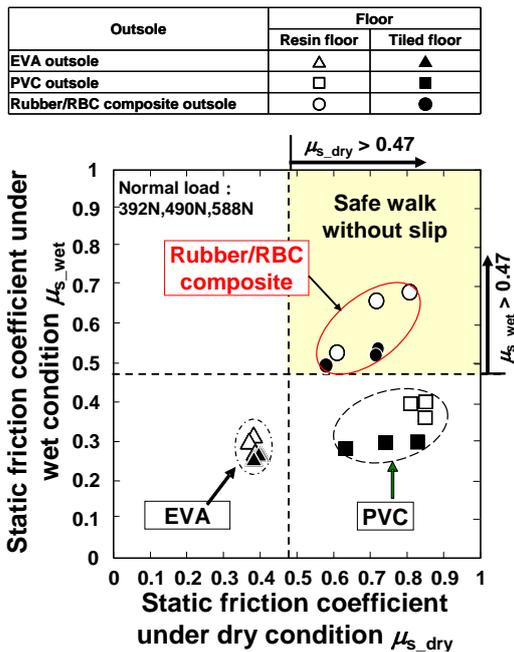


図 8 各試験サンダルの乾燥床面、水濡れ床面に対する静摩擦係数の関係

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

1. 山口健, RB セラミックス粉体を用いた複合材料の開発と応用, 日本機械学会誌, 査読無, 8, 2012, 472
2. 山口健, 堀切川一男, 秋山元治, 松本邦裕, RB セラミックス粒子を充填した熱可塑性樹脂のトライボロジー特性, 査読無, 月刊トライボロジー, 8, 2010, 44-47.
3. 山口健, 堀切川一男, RB セラミックス粉体を用いた低摩擦および高摩擦複合材料の開発と応用, 査読無, 粉体技術, 1, 2009, 80-85.

[学会発表] (計 7 件)

1. 堀切川一男, 産学官によるものづくり成功の秘訣 — 短期間に多数の新商品を生み出す「仙台堀切川モデル」の概要 —, 筑波研究学園都市交流協議会 (産学官連携委員会) 『若手研究者等の交流会』, 2012 年 2 月 3 日, つくば
2. 山口健, RB セラミックス及びその複合材料の開発と応用, 第 52 回高分子材料のトライボロジー研究会, 2011 年 11 月 15 日, 東京
3. 堀切川一男, 若きトライボロジストに贈る「筋の良い答えの見つけ方」-堀切川式・因果短縮思考法-, 第 2 回トライボロジー秋の学校 in 呉, 2011 年 11 月 4 日, 広島
4. 堀切川一男, トライボロジーとモノづくり成功の秘訣 — トライボマテリアルの開発事例 (RB セラミックスなど), 摩擦・摩耗の基本がわかるセミナー, 2011 年 3 月 11 日, 東京
5. 堀切川一男, 暮らしの安全を考える工学, 宮城県塩釜地区交通安全協会特別講演会, 2010 年 9 月 25 日, 多賀城
6. 山口健, 石塚脩之, 春日憲一, 伊藤貴之, 石沢智, 堀切川一男, すべり転倒防止のための耐滑靴底パターンに関する研究, トライボロジー会議 2010 秋 福井, 2010 年 9 月 15 日, 福井大学 文京キャンパス
7. 堀切川一男, 筋の良い答えをみつけるための工学的発想とは～オリンピック日本チーム用低摩擦ボブスレーランナーの開発, 米ぬかセラミックスの開発などの事例を通して～, 宮城・山形次世代人材育成事業 特別講演会, 2010 年 7 月 18 日, 山形県

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計 1 件)

名称: 防滑靴底
発明者: 堀切川一男, 山口健, 相内亮慶, 梅津智樹, 春日憲一, 伊藤貴之, 石沢智
権利者: 弘進ゴム株式会社

種類：特許
番号：第 4693068
取得年月日：2011 年 3 月 4 日
国内外の別：国内

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

堀切川 一男 (HOKKIRIGAWA KAZUO)
東北大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：60173605

(2) 研究分担者

山口 健 (YAMAGUCHI TAKESHI)
東北大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：50332515

(3) 連携研究者

()

研究者番号：