

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25630031

研究課題名(和文) 低摩擦耐摩耗ゴム系複合材料及び高摩擦耐摩耗プラスチック系複合材料の開発

研究課題名(英文) Development of low-frictional, high-wear-resistant elastomer and high-frictional, high-wear-resistant resin composites

研究代表者

堀切川 一男(Hokkirigawa, Kazuo)

東北大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：60173605

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、一般的に高摩擦を示すゴム材料と低摩擦を示すプラスチック材料に対して、「摩擦調整剤」として、安価で低環境負荷な植物由来の低密度粒子系材料を充填することにより、低摩擦ゴム複合材料と耐滑プラスチック複合材料を開発した。また、同複合材料の摩擦・摩耗特性の体系的な解明を行った。その結果、米ぬかを原料とする炭素粒子を充填することで、無潤滑下、水潤滑下においてゴム材料では成し得ない低摩擦を得ることが可能であり、また、竹粉粒子を充填することにより、水濡れ、油濡れ時に未充填の樹脂よりも高摩擦を得ることが可能であることが分かった。

研究成果の概要(英文)：In the present study, a low-frictional elastomer and high-frictional resin composites were developed using low-density particles, which are plant-derived materials, as a friction conditioner. According to the friction tests under a wide range of conditions, the carbon particles which are made from rice bran can contribute to extremely low friction under dry and water lubrication, which the pure elastomer cannot achieve. In addition, the bamboo particles can contribute to higher friction under water and oil lubrication, compared with the pure resin. The elastomer composite filled with the carbon particles was expected to use as bearing, mechanical seal used in water. The resin composite filled with bamboo particles was expected to use as a chopsticks material.

研究分野：トライボロジー

キーワード：低摩擦ゴム 高摩擦プラスチック 複合材料 植物由来充填剤 摩擦 摩耗

1. 研究開始当初の背景

ゴム材料は、乾燥面に対して1以上の極めて高い静・動摩擦係数を示すことから、自動車等のタイヤなど高摩擦を必要とする部材に多く用いられている。近年、グリスなどを使用しない低環境負荷・メンテナンスフリーの観点から、しゅう動部材においても、ゴム材料特有の弾性変形し易い性質と低摩擦・優れた耐摩耗性を同時に満たすことが可能な材料の開発が強く望まれている。このような材料は、低せん断強度を有し、かつ、高充填が可能な低密度の硬質粒子状充填剤の充填により実現できると考えられる。一方、プラスチック材料は、しゅう動部材としてだけではなく構造部材としても多く用いられている。しかし、水濡れ時や油濡れ時に高い摩擦係数を示すものではなく、水膜、油膜を吸収できる多孔質、かつ高充填可能な低密度の充填剤を用いることにより高摩擦を得ることができれば、滑りにくいプラスチックシートや床、壁材などへのさらなる応用分野の拡大が期待される。

また、申請者らは、これまでに、植物由来の材料を用いた複合材料を数多く開発してきており、優れた摩擦・摩耗特性を有することを明らかにしている。

以上のようなトライボロジー的考察から、「摩擦調整剤」として、安価で低環境負荷な植物由来(米ぬか、竹)の低密度粒子系材料を充填することにより、従来の材料開発の方向とは全く逆の概念である低摩擦ゴム複合材料と耐滑プラスチック複合材料の開発を可能にする、と着想するに至った。

2. 研究の目的

本研究では、一般的に高摩擦を示すゴム材料と低摩擦を示すプラスチック材料に対して、「摩擦調整剤」として、安価で低環境負荷な植物由来の低密度粒子系材料を充填することにより、低摩擦ゴム複合材料と耐滑プラスチック複合材料を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 低摩擦ゴム複合材料製試験片の作製
低摩擦ゴム複合材料のベース材料として、耐候性に優れたエチレンプロピレンジエンゴム(EPDM)を用いた。摩擦調整剤には、米ぬかを原料とする硬質多孔性炭素材料 rice bran セラミックス(RB セラミックス)粒子を用いた。平均粒径 $3\ \mu\text{m}$ の RB セラミックス粒子を 10, 20, 40, 60 wt% と充填率を 4 段階に変化させて充填し、混練、成型することにより 4 種類の EPDM/RB セラミックス複合材料製のディスク試験片を作製した。図 1 に、EPDM/RB セラミックス複合材料の製造工程を示す。また、比較材料として、EPDM 単体を作製した。これらの試験片について、引張強度、破断伸び、ショア硬さ、圧縮弾性率等の機械的性質を明らかにした。

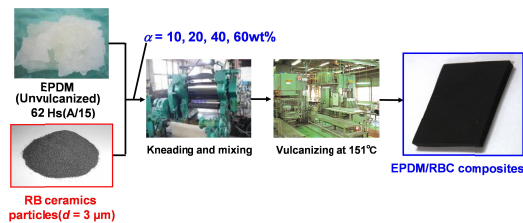


図 1 EPDM/RB セラミック複合材料の製造工程

(2) 低摩擦ゴム複合材料に対する摩擦・摩耗試験方法

大気中無潤滑下では、回転型ボールオンディスク摩擦試験機を用いた。相手ボール試験片として、半径 4 mm の軸受鋼(SUJ2)研磨球を用いた。すべり速度 1.0 m/s、垂直荷重 1.96 N、摩擦繰返し数 1×10^4 回のもとで実験は行われた。

水潤滑下では、低すべり速度条件下(0.01 m/s)において直線往復型ピンオンディスク摩擦試験機を用いて、高すべり速度条件下(0.1 m/s, 1.0 m/s)において回転型ボールオンディスク摩擦試験機を用いた。相手ピン試験片として、直径 8 mm のステンレス鋼(SUS304)ピンを用いた。垂直荷重 0.98, 4.9 N、摩擦繰返し数 1×10^4 回のもとで実験は行われた。

(3) 耐滑プラスチック複合材料製試験片の作製

耐滑プラスチック複合材料のベース材料として、ポリプロピレン(PP)を用いた。摩擦調整剤には、竹を原料とする多孔性の竹粉粒子を用いた。平均粒径 $50\ \mu\text{m}$ の竹粉粒子を充填し、ペレットを作製した。作製したペレットを用いて射出成形することにより、PP/竹粉複合材料製のプレート試験片を作製した。比較材料として、PP 単体を作製した。これらの試験片について、ビッカース硬さ等の機械的性質を明らかにした。

(4) 耐滑プラスチック複合材料に対する摩擦・摩耗試験方法

大気中無潤滑下、水潤滑下、食用油潤滑下のいずれにおいても、直線往復型ボールオンディスク摩擦試験機を用いた。相手ボール試験片として、直径 7.94 mm のポリアミド 66 樹脂球を用いた。垂直荷重 0.49 N、すべり速度 10 mm/s、摩擦繰返し数 50 回の条件下で実験を行った。

4. 研究成果

(1) 低摩擦ゴム複合材料の機械的性質

表 1 に、各樹運転率における EPDM/RB セラミック複合材料の機械的性質を示す。RB セラミック粒子の充填率の増加に伴い、ショア硬度及び圧縮弾性率は単調に増加するのに対して、引張強さ及び破断伸びは RB セラミック充填率が 10wt% あるいは 20wt% までは充填率の増加に伴い増加する

ものの、それ以上の充填率では減少する傾向を示す。これは、RB セラミックス粒子の充填率が高い場合には、圧縮荷重に対しては、RB セラミックス粒子が荷重を負担するために圧縮方向の機械的強度は向上する一方、引張荷重に対しては、RB セラミックス粒子と EPDM の界面で剥離が生じやすく、引張方向の機械的強度が低下すること、EPDM の体積占有率が少なくなること、などが原因として考えられる。各ゴム試験片の摩擦試験前の表面粗さは、 $0.08\sim 0.09\ \mu\text{m}$ である。

表 1 EPDM/RB セラミックス複合材料の機械的性質

Disk specimen	Pure EPDM	EPDM/RB ceramics			
Weight fraction of filler a , wt%	—	10	20	40	60
Tensile strength T_s , MPa	14.86	15.62	12.57	7.08	6.64
Braking elongation E_b , %	430	520	510	430	150
Shore A hardness HS_A , °	62	67	69	78	90
10% compression modulus E_{10} , MPa	3.3	4.5	4.9	7.2	14.3
Surface roughness R_a , μm	0.09	0.08	0.09	0.09	0.08

(2) 低摩擦ゴム複合材料の摩擦・摩耗特性

図 2 に、大気中無潤滑下における RB セラミックス粒子の充填率と摩擦係数の関係を示す。同図より、RB セラミックス粒子の充填率の増加に伴い、摩擦係数は減少する傾向を示すことが分かる。また、未充填の EPDM が 1.1 以上の高い摩擦係数を示すのに対し、RB セラミックス粒子の充填率が 60wt% の場合、0.3 もしくはそれ以下の低い値を示す。このことから EPDM に RB セラミックス粒子を 60wt% 充填することにより、大気中無潤滑下において EPDM よりもはるかに低い摩擦係数が得られることが分かる。

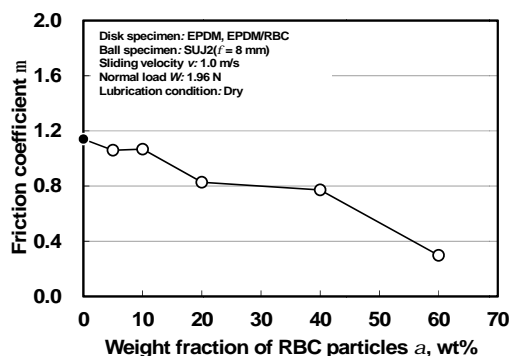


図 2 大気中無潤滑下における RB セラミックス粒子の充填率と摩擦係数の関係

図 3 に、大気中無潤滑下における RB セラミックス粒子の充填率と比摩耗量の関係を示す。同図より、比摩耗量は、RB セラミックス粒子の充填率が 20wt% あるいは 40wt% までは、RB セラミックス粒子の充填率の増加に伴い増加傾向を示した後、60wt% で急激に減少することが分かる。また、RB セラミ

ックス粒子を 60wt% 充填することにより、 $1.0 \times 10^{-7}\ \text{mm}^2/\text{N}$ 以下の低い比摩耗量を示し、EPDM 単体と比較して耐摩耗性が大幅に改善することが分かる。このことから、EPDM と RB セラミックス粒子の複合化により、EPDM よりも優れた耐摩耗性が得られることが分かる。

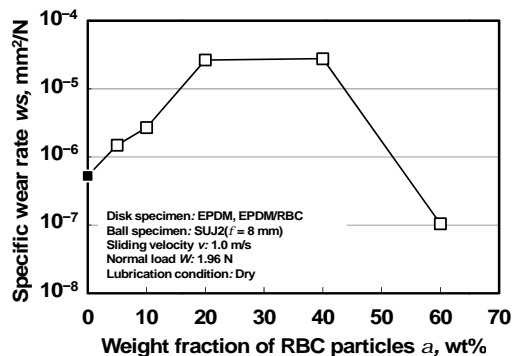
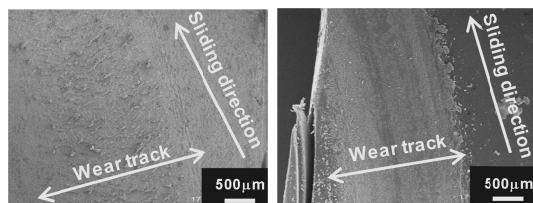


図 3 大気中無潤滑下における RB セラミックス粒子の充填率と比摩耗量の関係

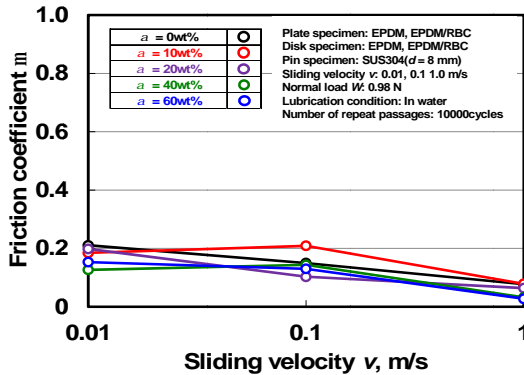
図 4 に、大気中無潤滑下における摩擦試験後の摩耗痕の SEM 像をそれぞれ示す。未充填の EPDM において、アブレーションパターン形成型摩耗の発生が確認できる。一方、充填率 60wt% においては、摩耗痕表面にき裂はほとんど見られず滑らかな表面となっており、微細な粉状の摩耗粉が観察できる程度のマイルドな摩耗であることが分かる。このアブレーションパターンの発生抑制が、充填率 60wt% における耐摩耗性の飛躍的な向上に寄与したものと考えられる。



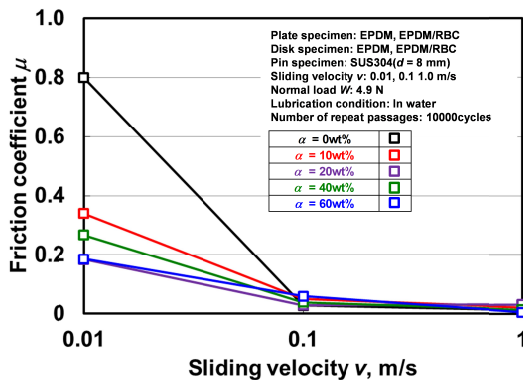
(a) Pure EPDM (b) RB ceramics 60wt%
図 4 大気中無潤滑下における摩擦試験後の摩耗痕の SEM 像

図 5 に、水潤滑下におけるすべり速度と摩擦係数の関係を示す。垂直荷重が 0.98 N の場合、充填率 10wt% の複合材料の摩擦係数はすべり速度が 0.1 m/s においては、0.01 m/s に比べ、若干上昇するが、他の実験条件では、いずれの試験片もすべり速度の増加に伴い、わずかに減少する傾向を示すことが分かる。一方、垂直荷重が 4.9 N の場合、試験片によらず、低すべり速度条件において、摩擦係数は最大の値を示し、すべり速度の増加に伴い著しく減少する傾向を示す。また、未充填の EPDM ではすべり速度に対して摩擦係数が著しく減少するのに対して、EPDM/RBC 複合材料では、低すべり速度での摩擦係数が低いため、すべり速度に対する摩擦係数の低下の割合が小さい。このことから、RB セラミックス粒子を充填することで、水潤滑下にお

ける起動・停止を繰り返す低すべり速度での摩擦係数の大幅な低減及び、摩擦音や摩擦振動の要因となるスティックスリップ抑制効果が得られると考えられる。すなわち、船舶用の船尾管軸受や水力発電機のメカニカルシール材料などへの応用が期待される。



(a) 垂直荷重 0.98 N



(b) 垂直荷重 4.9 N

図5 水無潤滑下におけるすべり速度と摩擦係数の関係

(3) 耐滑プラスチック複合材料の機械的性質

未充填のPPのビッカース硬さは、75 MPaであるのに対し、PP/竹粉複合材料のビッカース硬さは、121 MPaと約1.6倍高い値を示した。これにより、竹粉粒子は、圧縮時に荷重負担効果を有することが分かった。一方、表面粗さは、未充填のPPにおいて0.03 μm、PP/竹粉複合材料において1.53 μmであった。

(4) 耐滑プラスチック複合材料の摩擦特性

図6に、各潤滑下における静摩擦係数を示す。なお、静摩擦係数は、各摩擦回数のすべり出し時において見られる摩擦力の鋭いピークより算出した。同図より、PP/竹粉複合材料は、PP単体に比べ大気中無潤滑下において同等の高い静摩擦係数を示すことが分かる。水潤滑下においては、PP/竹粉複合材料の摩擦係数は、PP単体に比べおよそ1.7倍もの高い値を示す。食用油潤滑下においては、PP/竹粉複合材料の摩擦係数は、PP単体に比べおよそ1.3倍もの高い値を示す。

Ball : PA66 (r = 7.94 mm)
Normal load W: 0.49 N Sliding velocity v: 10 mm/s
Number of repeat passages N: 50 cycles

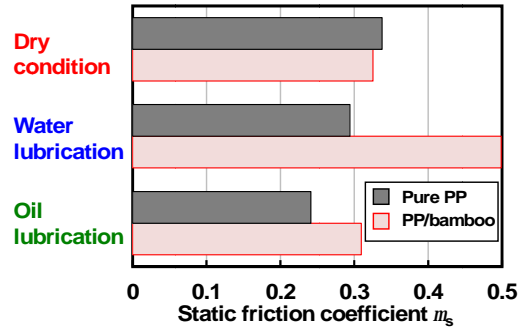


図6 各潤滑下における静摩擦係数

この結果より、PP/竹粉複合材料は、水濡れや油濡れ条件において使用される管等の耐滑材料として好適であることが分かった。管材料としてPP/竹粉複合材料を用いる場合、摩擦特性とは異なる観点から利点を挙げると、竹による抗菌性の向上が考えられる。

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 0件)

[学会発表](計 1件)

吉田直人, 山口健, 林美佳, 高橋桂, 村上修, 堀切川一男, RBセラミックス粒子を充填した低摩擦・耐摩耗ゴム材料の開発, 日本トライボロジ学会トライボロジ会議 2014 秋 盛岡, 2014年11月05日~11月07日, アイーナいわて県民情報交流センター(岩手県・盛岡市)

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

柴田 圭(SHIBATA, Kei)
東北大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 60612398