

リサイクル処理で生じる炭素性残渣粉末を応用した摩擦低減手法に関する研究

Study on Friction Reduction by Employing Carbonaceous Residues Generated by Recycling Process

岐阜大・工（院）*山口 智大 岐阜大・工（正）裴 水旼 岐阜大・工（正）上坂 裕之

MS 製作所（非）諏訪 裕吾

Tomohiro Yamaguchi*, Hiroyuki Kousaka*, Su-Min Bae*, Yugo Suwa**

*Gifu University, **MS Manufacturing Department Co., Ltd.

1. はじめに

近年、地球温暖化対策の一環として、産業活動に伴って発生する温室効果ガスの排出削減が強く求められている。とりわけ、産業廃棄物の焼却等に伴う温室効果ガス排出は深刻な問題とされており、その代替処理技術の確立が急務となっている。そのような中、過熱水蒸気を用いて高温・無酸素状態で熱処理を行うシステムが注目されている。このシステムでは、温室効果ガスを排出することなく産業廃棄物処理が可能であり、温室効果ガスの排出を大幅に抑制できるとされている。処理の結果、得られるのは炭素性残渣であるが、これらの炭素性残渣の利用方法は現時点で確立されておらず、有効な再利用方法の早急な確率が課題となっている。

本研究では、近年注目されているカーボンナノ材料の潤滑材添加への応用事例に着目し、木材や高分子材料などの産業廃棄物を再資源化処理する際に生じる炭素性残渣（以下、CR）を潤滑グリースのナノ添加剤として応用する可能性を検討した。カーボン系のナノ材料は、摩擦係数の低減や耐摩耗性の向上に寄与することが報告されており¹⁾、本研究でも同様の効果が期待される。そこで、各種由来のCRをリチウムグリースに添加し、摩擦試験を用いて、トライボロジー評価を実施した。

2. 実験方法及び実験装置

2.1 炭素性残渣粉末

Figure 1 に 4 種の異なる由来の炭素性残渣粉末に対して実施したラマン分光分析の結果を示す。各粉末の由来は 家庭ごみ由来プラスチック (CR-P)、建築用木材 (CR-W)、タイヤ (CR-T)、およびウレタン (CR-U)、である。ラマン分光分析は、炭素材料における結晶性や欠陥構造、グラファイト化の程度などを評価する手法として広く用いられており、本研究でもそれぞれの炭素性残渣の構造的特徴を明らかにする目的で実施した。CR-P および CR-T はナノ結晶グラファイト様の低い結晶性をもつと考えられる。一方で、CR-U、および特に CR-W は I_D/I_G が低く、グラファイト様の比較的高い結晶性を有すると推察される²⁾。

2.2 リチウムグリースへの炭素性残渣添加方法

ビーカーに適量のリチウムグリース(住友潤滑株式会社製)を取り、各種炭素性残渣粉末を 1 wt.% 添加した。添加後、ガラス棒を用いて十分に攪拌した。攪拌時には、粉末が凝集することなくグリース全体に均等に行き渡るよう、視覚的に確認しながら処理を行った。得られた炭素性残渣粉末添加グリースは、直径 22.5 mm、厚さ 4mm、の高炭素クロム軸受鋼鋼材(SUJ2, JIS)製ディスク試験片に塗布した。塗布量は平均 5 mg/cm² となるよう電子天秤で秤量を行いながら塗布密度を管理した。塗布は表面全体を均一に覆うように行い、試験中の潤滑状態にばらつきが出ないように配慮した。

2.3 実験方法及び実験条件

Ball-on Disk 型摩擦試験装置を用いて摩擦試験を実施した。Ball 試験片には高炭素クロム軸受鋼 (SUJ2) 製の直径 8 mm 球を使用した。試験条件は、サイクル数 3050 回、Ball と Disk 間の平均接触面圧を 360, 520, 780 MPa の 3 条件で設定した。再現性を確認するため、1 試験片あたり 3 回の繰り返し試験を行った。試験後は、光学顕微鏡(オリンパス株式会社, BX53M)を用いて Ball 側の摩耗痕を観察した。

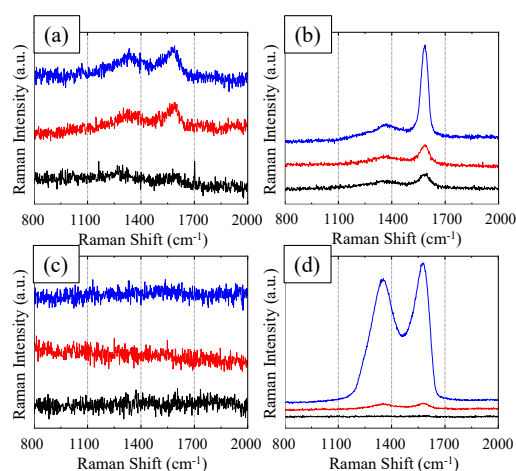


Fig. 1. Raman spectra of carbonaceous residues derived from (a) plastics (CR-P), (b) woods (CR-W), (c) tires (CR-T), and (d) polyurethanes (CR-U).

3. 実験結果および考察

Figure 2 に平均接触面圧と最終 500 サイクルにおける平均摩擦係数の関係を示す。

Li グリース、CR-W および CR-U を添加したグリースにおいては、平均接触面圧にかかわらず摩擦係数の優位な低下は確認されなかった。一方、CR-P および CR-T を添加したグリースでは、平均接触面圧が低下するにつれて摩擦係数が減少する傾向が見られた。特に CR-T では、平均接触面圧 320 MPa 時において、Li グリースと比較して約 60%の摩擦係数低減効果が確認された。

Figure 3 に摩擦試験後の球側試験片の摩耗痕の光学顕微鏡像を示す。摩耗痕径に関しては、炭素性残渣粉末を添加した各グリースおよび Li グリース間で大きな差は見られなかった。一方で、炭素性残渣粉末を添加したグリース 4 種すべてにおいて、摩耗痕上にスクラッチ痕のような損傷が確認された。これらの傷は、Li グリース単独使用時にはあまり見られないことから、炭素性残渣粉末が摺動境界面に入り込み、研磨剤のように作用した可能性が考えられる。特に CR-T においては、スクラッチ痕が顕著であった。

Figure 4 に炭素性残渣粉末 4 種の SEM 像 (日立製, S-4300, 倍率 1000 倍)を示す。観察の結果、CR-P, CR-T は比較的丸みを帯びた粒子形状であることが確認された。このことから、CR-P および CR-T は摺動界面に入り込み、転がり運動のような挙動を示すことで摩擦係数の低減に寄与した可能性がある。一方で、CR-W および CR-U は鋭利な角を有する粒子であることが確認された。さらに、ラマン分光によって得られたスペクトルを考慮すると、これらの粉末は CR-P および CR-T と比較して、結晶性が高いと推察される。これらの粒子形状および結晶性の違いが、摩擦係数の低減効果の発現に影響を与えているものと考えられる。

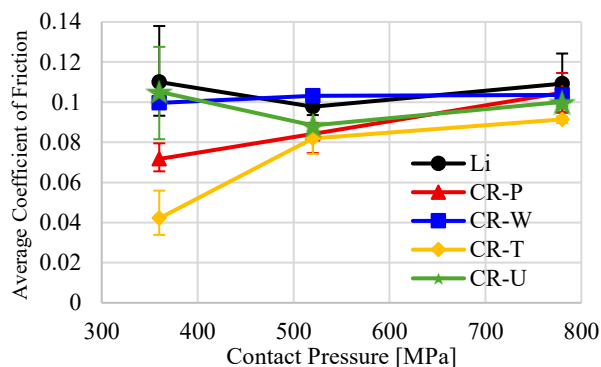


Fig. 2. Average coefficients of friction (COFs) of lithium grease with different carbonaceous residues under

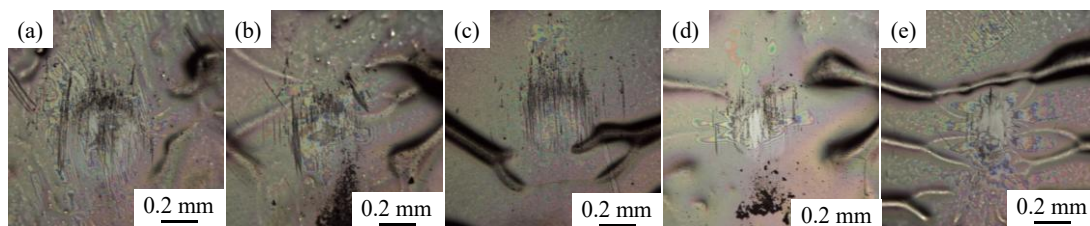


Fig. 3. Optical microscope images of wear scars on ball specimens: (a) plastics (CR-P), (b) woods (CR-W), (c) tires (CR-T), (d) polyurethane (CR-U), and (e) Li grease (no additive).

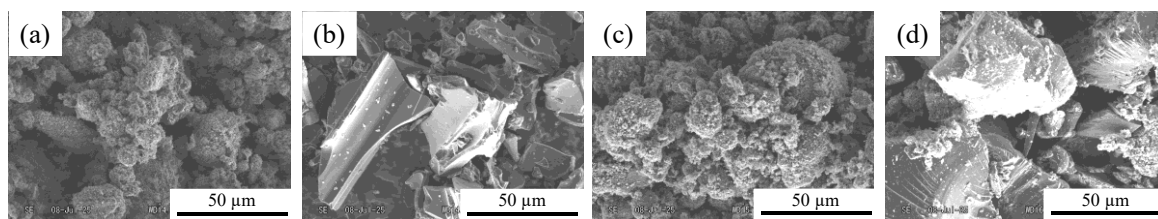


Fig. 4. SEM images of carbonaceous residues: (a) plastics (CR-P), (b) woods (CR-W), (c) tires (CR-T), and (d) polyurethane (CR-U)

4. 結言

本研究では、木材や高分子材料などの産業廃棄物を再資源化处理する際に生じる炭素性残渣をリチウムグリースにナノ添加剤として添加し、トライボロジー特性への影響を評価した。得られた結論を以下に示す。

- 炭素性残渣粉末の粒子形状や結晶性により潤滑特性に違いが見られた。
- CR-P および CR-T は摩擦係数を低減し、ナノ添加剤として有望であることが示された。
- 一方で、これらは摺動界面への侵入によりアブレッシブ摩耗も助長した。

5. 文献

- 1) M. G. Nassef, H. S. Hassan, G. A. Nassef, B. G., Nassef, M., Soliman & M. F. Elkady: Activated carbon nano-particles from recycled polymers waste as a novel nano-additive to grease lubrication. Lubricants, 10, 9 (2022) 214.
- 2) A.C. Ferrari & J. Robertson: Interpretation of Raman spectra of disordered and amorphous carbon. Physical Review B, 61 (2000) 14095