

摺動部材ブロベアの開発

Development of "brobea" for Sliding Members

佐藤知広* 平井良政*

Tomohiro Sato, Yoshimasa Hirai

摺動部材用鉛フリー銅合金「ブロベア/brobea」は、青銅合金中に硫化物が分散し良好な摺動性能を発揮する。これまで主に鉛青銅との比較において優位性を確認してきたが、摺動部材として使用範囲を拡大するための性能向上を目的に、テクスチャリングや黒鉛圧入の適用を検討した。これらの技術の最適な組合せによって、摩擦初期の摩擦面のなじみの改善や、摩擦係数の低減を実現することができた。

The lead free copper alloy, "brobea" for sliding members, which includes sulfides in the Cu-Sn matrix, shows the excellent sliding properties. Its superior sliding properties has been confirmed mainly by comparisons with lead bronze. Moreover, in order to broaden its applications in sliding members, sliding properties have improved by using texturing and graphite penetrating techniques. As a result, an improvement in the initial contact between surfaces and a reduction of the coefficient of friction have been achieved by optimization of these techniques.

1. はじめに

現在、当社では銅合金摺動部材「ブロベア/brobea」^{*1}の開発を行っている。一般的な機械部品であるすべり軸受や往復摺動部のライナー材などの摺動部材には青銅や黄銅といった銅合金が使用されており、ブロベアもこの範囲での使用を想定している。また、摺動部材は製造プロセスの違いによって主に「鑄造部材」や「焼結部材」に大別されるが、ブロベアはどちらのプロセスによっても製造可能である。過去にクリモト技報においてこれら製造プロセスの異なる鉛フリー銅合金としてこれらの摺動部材の摩擦性能を鉛青銅との比較で評価した¹⁾。今回は摺動部材として使用範囲を拡大するための性能向上を目的に、テクスチャリング技術や黒鉛圧入技術の適用を検討した。摺動面など材料表面に適切な加工を付与して摺動性能を向上させる技術を総称してテクスチャリングと呼び、摺動性能や寿命の向上を目指した取組みが行われている。

2. ブロベアの材料的特徴

2.1 鑄造材

日本工業規格（JIS）に規定されている銅合金のなかで、鉛青銅やリン青銅といった青銅系合金や高力黄銅といった黄銅系合金は、用途例として軸受や摺動部材が挙げられている。この中で鉛青銅などの鉛含有合金に対して、近年の鉛フリー化の流れを受け代替合金が登場している。しかし、JIS 合金として登録されている鉛フリー系の合金で摺動部材の用途として登録されているものは見られない。ちなみに、ブロベアは当初 JIS 合金である CAC603 をターゲットとした成分設計を行った経緯がある。

ブロベアの特徴は、鉛の代替として硫化物を使用している点である。鉛が有する固体潤滑性能を代替する目的で硫化物が使用されている。鉛青銅では、青銅（銅とすずの合金）の基地組織の中に鉛が分散しており、鉛とその他元素（銅やすず）の間で化合物が形成されない。一方、ブロベアは硫黄と銅が化合物を形成し硫化銅として存在する。

2.2 焼結材

自動車や各種機械で使用されるすべり軸受には焼結材が多く利用されている。ブロベアも先に紹介した鑄造材と同様の成分系で焼結材としての利用が可能である。例えば、アトマイズ粉末を還元炉で焼結して、軸受材やバイメタル材として適用できる。このとき焼結材は特有の制御可能な気孔を有しており、潤滑油の含浸や摩擦粉の埋収などの機能発現が期待できる。また、図1に示すように青銅の基地中にも硫化物が均一分散されている。

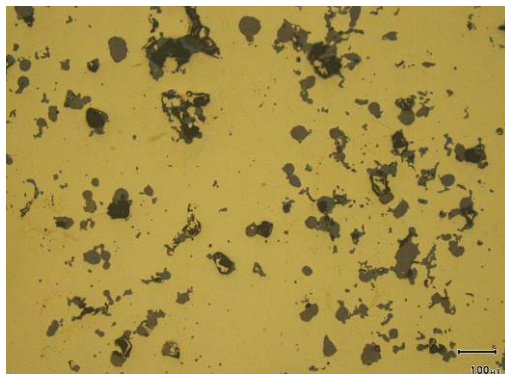


図1 焼結材の組織の一例

*1：ブロベア/brobea は、当社の登録商標です。

* 技術開発室 金属材料技術開発部

3. 摩擦特性～テクスチャリングの適用

ここまではプロベアの材料的な特徴を示した。これら材料と鉛青銅との摺動性能比較については他の文献で詳細を述べているが²⁾、鋳造部材・焼結部材ともに鉛青銅と同等以上の性能を有している。今回はプロベアにテクスチャリングを適用し、その検討結果について述べる。具体的にはまず潤滑油を用いたスラストタイプの試験³⁾を行なった。他にもドライ環境でのジャーナルタイプの試験⁴⁾も検討した。微細テクスチャは初期なじみ改善に有効なことが報告されており⁵⁾、マイクロショットピーニングやマイクロサイズの溝加工を開発材に施した場合も同様な効果を期待している。さらに固体潤滑剤としての黒鉛をテクスチャに圧入した場合の効果についても検討した。

3.1 潤滑環境でのスラスト試験

試験片はバイメタル形状で銅板上に焼結銅合金がラインングされた、 $\phi 50 \times \phi 28 \times t10\text{mm}$ のディスク形状で表面の加工方法によって表1の6種類に分類し記号を付した。

それぞれ加工後の試験片表面を図2から図7に示す。

表1 試験片一覧

試験表面の加工法	平坦化	
	無	有
旋削加工	A	B
ピーニング処理	C	D
ピーニング処理後に黒鉛圧入	E	F

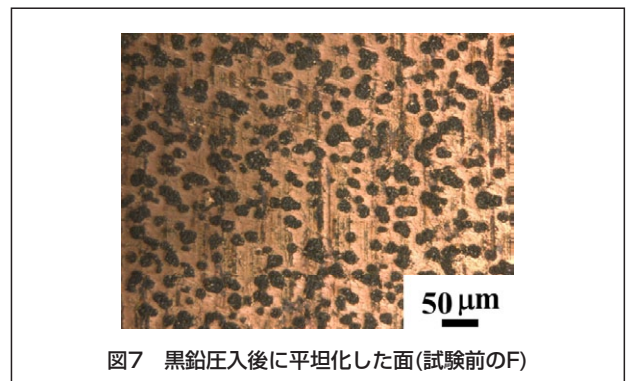
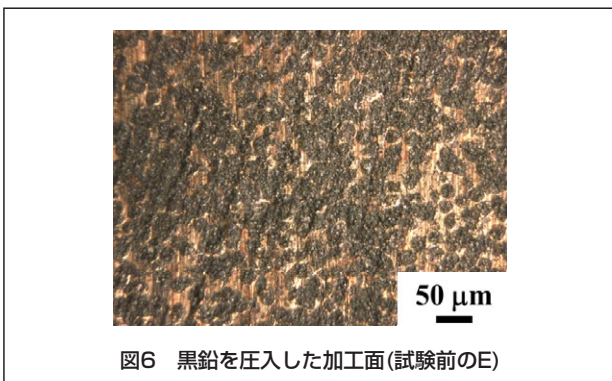
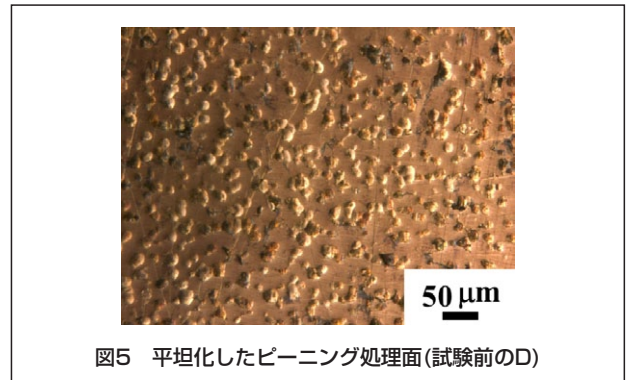
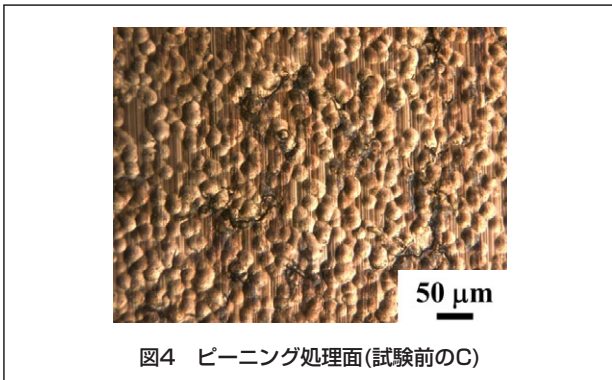
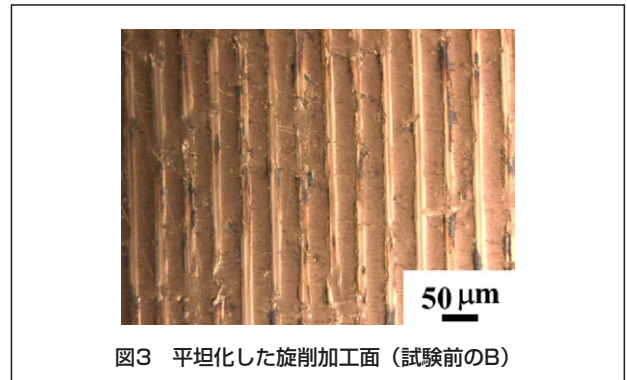
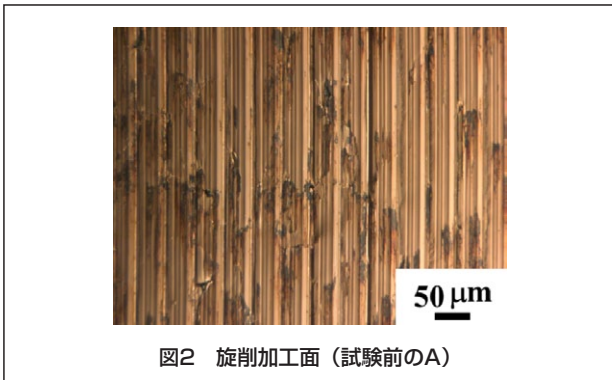


図2は旋削面仕上げ(A)されており、その後平坦化(バニシング)加工を施したもの(B)を図3に示す。図2のような加工溝凸部が図3では平坦化されていることがわかる。次に、マイクロショットピーニング装置を用いてガラスビーズを投射したもの(ピーニング処理面、C)を図4に、その後平坦化加工を施したもの(D)を図5に示す。図4では試験片表面全体にわたってショットピーニング処理によって形成されたディンプルが確認できる。一方、図5では選択的にディンプルの凸部が平坦化されている様子がわかる。さらに、ピーニング処理面に黒鉛を圧入した試験片(E)を図6に、その後平坦化加工を施したもの(F)を図7に示す。図6では試験片表面全面に渡って黒鉛が分布しており、図7では平坦化により選択的にディンプル部だけに黒鉛が圧入されている様子がわかる。

一方、相手材はS45Cリング材($\phi 40 \times \phi 30 \times t14\text{mm}$)であり、一端面を高周波焼入れによって700Hv程度まで硬質させた後に平面研削およびダイヤモンドスラリーによるラップ仕上げを施し鏡面($Ra 0.01\mu\text{m}$ 以下)とした。このリング材は試験ごとに交換する。摩擦特性はリングオンディスク型の試験装置(スラスト試験)で評価し、その試験条件は表2のとおりである。

リングおよびディスク試験片を装置に固定した後に、潤滑油を供給し試験片を接触させ特定距離(360m)を摺動させた。ディスク試験片固定部外周には、実験中の摩擦抵抗測定用にひずみゲージが接着されたリン青銅板ばねが設置されている。このひずみゲージから換算される摩擦抵抗Fと負荷荷重Nから摩擦係数($\mu = F/N$)を算出している。

表2 試験条件

負荷荷重	80N
すべり速度	0.05m/s
試験時間	120min
すべり速度距離	360m
潤滑油粘度	5cSt (40℃)

図8に旋削面仕上げディスク(A)に対する試験結果を示す。横軸に摺動距離、縦軸には摩擦係数を示す。ここでの摩擦係数は5Hz(=0.2sec)での測定結果を平均して表示しており、以降の結果も同様である。摩擦係数は試験を通して0.12から0.14の間で推移している。摺動距離が300mを超えたあたりから摩擦係数が微増する傾向にある。

次に、旋削面仕上げ後に平坦化処理した場合(B)の試験結果を図9に示す。摩擦係数の推移は図8に示す旋削面仕上げの場合と大きな差は無く、ほぼ同様の挙動を示すことがわかる。

図10はピーニング処理面のみの試験片(C)に対する摩擦試験結果である。摺動距離が100mに達するまでは摩擦係数が0.15で推移しており、旋削面仕上げあるいは旋削面仕上げ後平坦化加工した場合の試験結果よりも高い摩擦係数を示している。その後、摺動距離が150mに達するあたりで摩擦係数が0.12程度まで低下するものの、再び摩擦係数は上昇に転じ、試験終了までに摩擦係数は0.2を超えている。

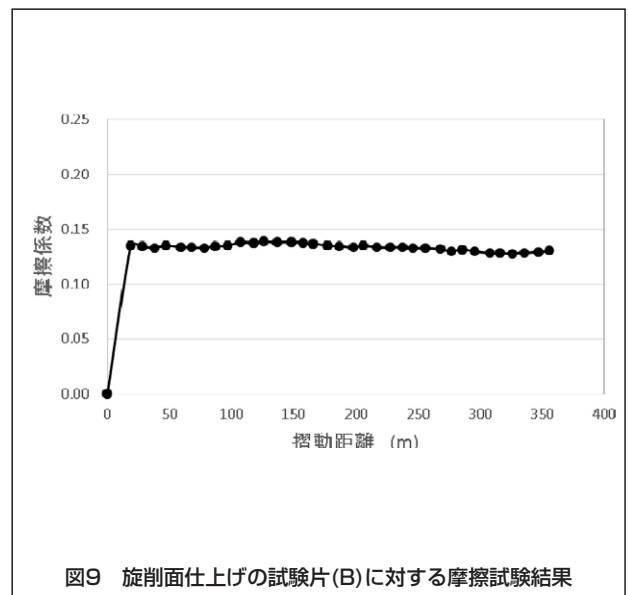
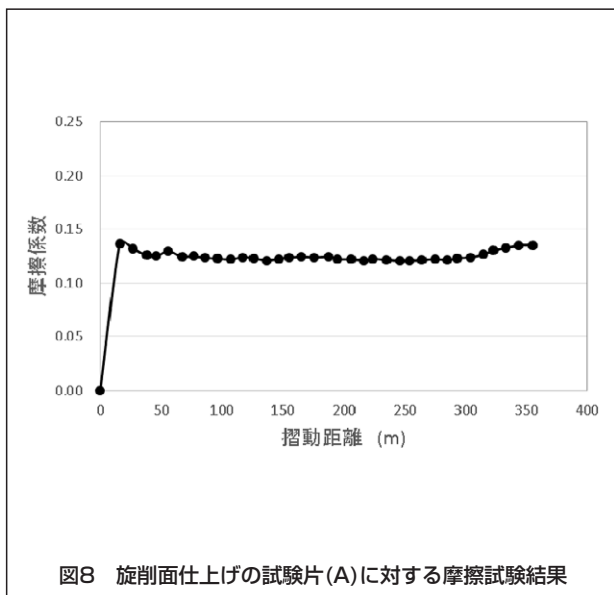
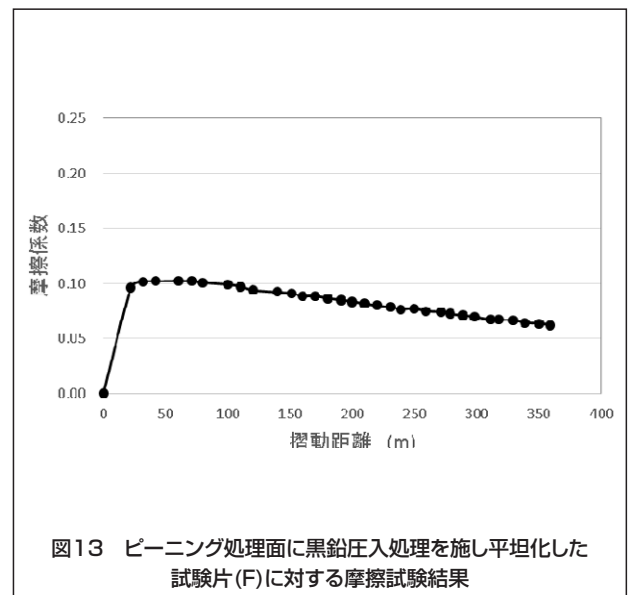
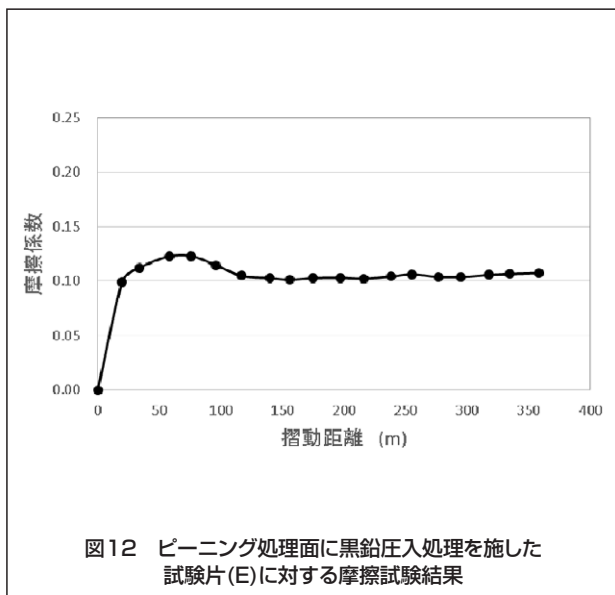
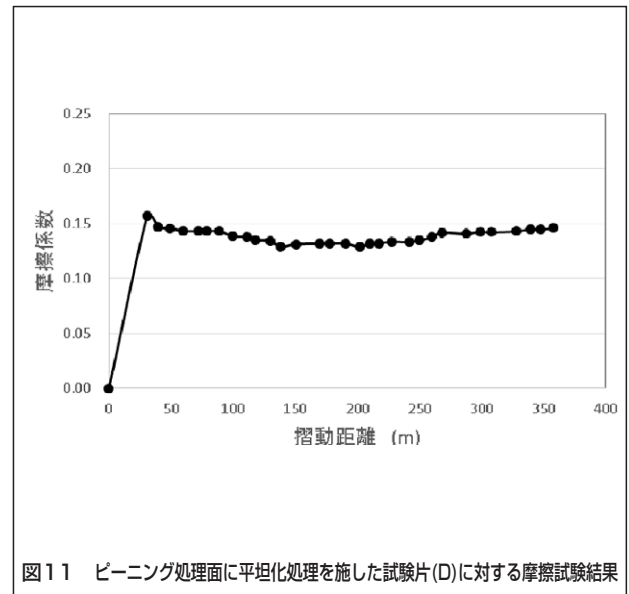
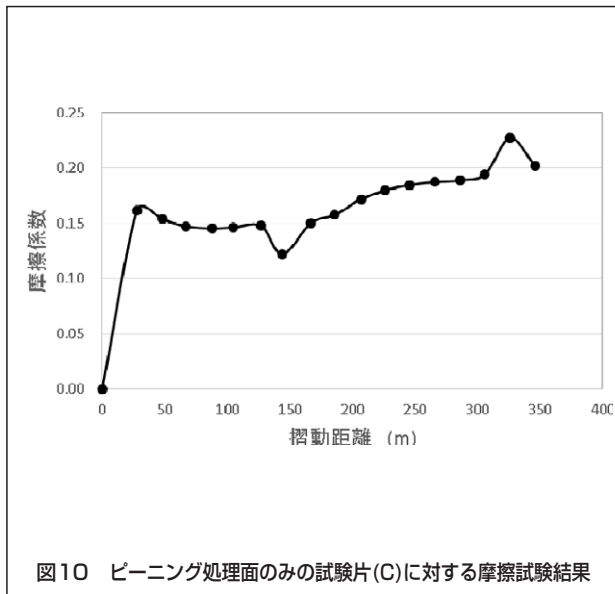


図11にピーニング処理面に平坦化加工を施した場合(D)の結果を示す。平坦化が無い図10で示した結果と比べて、摺動距離が100mに達するまでの摩擦係数推移は大きな違いはないが、その後摩擦係数が上昇することは無い。

図12はピーニング処理面に黒鉛圧入処理を施した試験片(E)に対する摩擦試験結果である。試験開始直後から摩擦係数は0.10付近で安定し、黒鉛圧入処理を施していない試験結果に比べて摩擦初期のなじみが改善され

ていると言える。その後の摩擦係数の推移は0.10付近で安定していることがわかる。

図13にピーニング処理面に黒鉛圧入処理を施し平坦化した試験片(F)に対する摩擦試験結果を示す。図12で示したピーニング処理面に黒鉛圧入処理を施した試験結果と同様に試験開始直後から摩擦係数は0.10付近で安定している。そこからさらに、摩擦係数が低くなっていく点がこの試験片の特徴で、最終的には摩擦係数は0.06程度まで低下している。



次に、各試験片ディスク（プロベア）の試験前後の表面粗さの変化と各試験片リング（S45C）の試験後の表面粗さを表3に、各試験後の試験片表面の様子を示す図14から図19に示す。表3と先の試験結果から試験終了時の摩擦係数が高いとリングの表面粗さが粗くなる傾向になることがわかる。また、ディスクの表面粗さの変化について摩擦係数が0.2以上に達した試験（C）以外は粗くなっている。図14は試験後の旋削加工面（A）で、加工溝が観察できる部分はあるがほぼ摺動痕が確認できる。一方、図15より、平坦化した旋削加工面においても摺動痕が確認できる。

表3 試験片の表面粗さ(Ra)の変化 (μm)

試験表面の加工法	試験片	平坦化	
		無し	有り
旋削加工	ディスク (試験前後)	A 0.15 → 0.24	B 0.11 → 0.18
	リング (試験後)	0.03	0.04
ピーニング処理	ディスク (試験前後)	C 0.42 → 0.21	D 0.28 → 0.37
	リング (試験後)	0.07	0.05
ピーニング処理後に黒鉛圧入	ディスク (試験前後)	E 0.31 → 0.39	F 0.24 → 0.35
	リング (試験後)	0.02	0.01

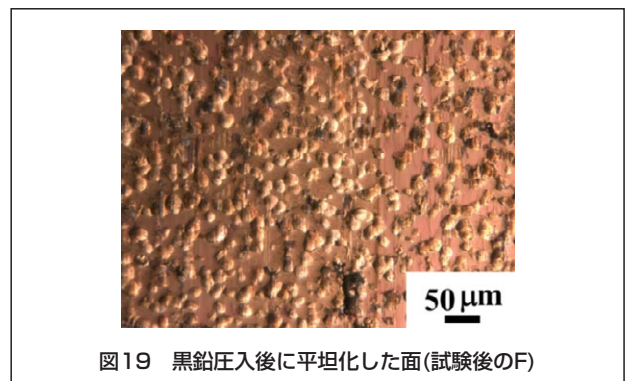
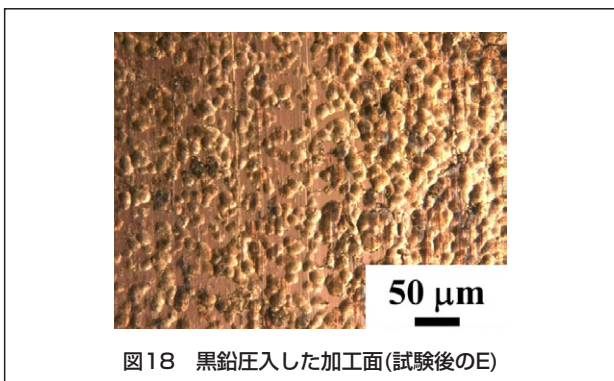
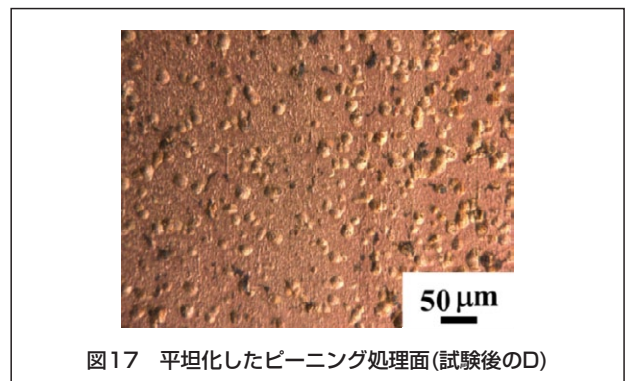
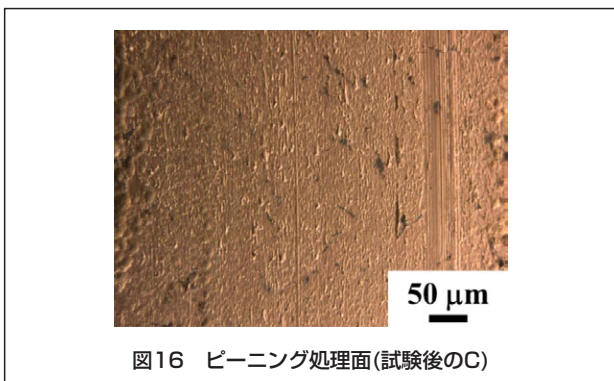
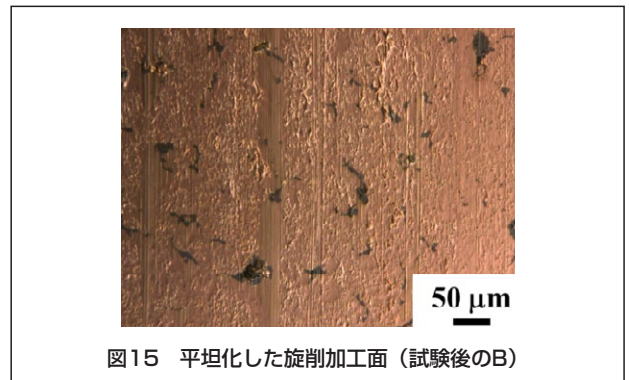
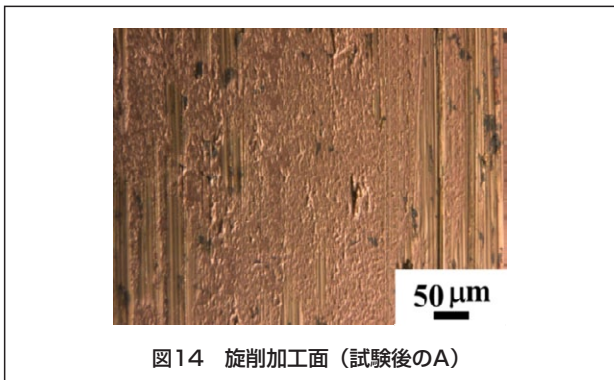


図 16 は試験後のピーニング処理面 (C) で、試験前にあったディンプルが摩滅していることがわかる。また、図 17 は試験後の平坦化したピーニング処理面(D) で、摺動痕の一部にディンプルの形跡が残っていることがわかる。

続く、図 18、図 19 には黒鉛を圧入した試験片の様子だが、摺動痕は見られずディンプルの形跡は残っているが、黒鉛はほとんど残っていないことがわかる。

以上の結果から、黒鉛を圧入しているディスク試験片は粗さの変化はあるもののディンプルの分布は維持されており、リング試験片の粗さ変化も少ないことがわかる。黒鉛がディスクとリングの間に介在することで、ディスクが接触することを防ぎ、銅合金成分がリングに凝着しないため摩擦係数が低くなると考えられる。また、凝着せずにリングとディスク間のなじみが進むことで図 13 で示したように摩擦係数が減少していくと考えられる。

4. まとめ

ブローア表面に種々のテクスチャリング加工を施し摩擦試験を行った結果、以下のことがわかった。

- (1) ディンプル形状のテクスチャを与え黒鉛を圧入することで初期の摩擦係数が低下する傾向であった。
- (2) 黒鉛を圧入することで相手材表面への銅の凝着が抑制され摩擦係数が低減されることがわかった。
- (3) 以上の結果から、ブローアが鉛フリー摺動部材だけでは無く、初期なじみを改善した部材として適用できる可能性を示せた。

謝辞

本稿における研究の一部は新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 平成 23 年度イノベーション推進事業の支援を受けました。ここに記して謝意を表します。

また、研究を推進する上で御指導御鞭撻を頂いた、名城大学 宇佐美初彦教授にも厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 佐藤 他、クリモト技報 60 (2011) 9
- 2) T. Sato et al, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, 6, 1 (2012) 158
- 3) 佐藤 他、トライボロジー会議予稿集北海道室蘭 2012-9 (2012) 299
- 4) 谷澤 他、トライボロジー会議予稿集北海道室蘭 2012-9 (2012) 297
- 5) 沢田 他、トライボロジスト、52, 4 (2007) 310

執筆者

佐藤知広

Tomohiro Sato

2007 年入社

博士 (工学)、技術士 (金属部門)

新材料の研究・開発に従事



平井良政

Yoshimasa Hirai

1991 年入社

新材料の研究・開発に従事

