

# 銅モリブデン複合酸化物による高温潤滑特性

Lubrication Properties of Copper-Molybdenum Oxide at High Temperature

豊橋技科大(正) \*竹市 嘉紀 豊橋技科大・院(学) 岡本 直毅  
豊橋技科大(学) 片山 陽太 豊橋技科大・院(学) Bazarragchaa Ichinnorov  
豊橋技科大・院(学) 小林 央朋 豊橋技科大(正) 上村 正雄

Yoshinori Takeichi, Naoki Okamoto, Youta Katayama,  
Bazarragchaa Ichinnorov, Hiroto Kobayashi, Masao Uemura  
Department of Mechanical Engineering, Toyohashi University of Technology

## 1 はじめに

アルミニウム青銅は 300°C程度までの高温用すべり軸受材料として広く利用されるが、400°Cを超える高温域では、材料の軟化等により摩擦摩耗特性が大きく低下してしまう。我々は、アルミニウム青銅にシリコンとマンガンの硬質粒子を添加した試料の摩擦摩耗特性を調べ、これらの添加により高温雰囲気下で摩耗量が低減できることを報告した<sup>1)</sup>。一方、しゅう動相手材料であるステンレス鋼表面に、高温での潤滑性を示すことが報告されている MoO<sub>3</sub><sup>2)</sup>粉末を塗布することにより、高温での摩擦摩耗特性が改良され、500°C以上でアルミニウム青銅の摩耗量を大幅に低減できたことを報告した<sup>3)</sup>。この摩擦痕からはアルミニウム青銅、MoO<sub>3</sub> および相手材料のいずれとも異なる結晶構造を有する物質が形成されており、これが潤滑特性改善に大きく影響をおよぼしていると考えられた。この実験において、付着力の乏しい MoO<sub>3</sub> を塗布するため、ステンレス表面に塗布した MoS<sub>2</sub> を大気中加熱し MoO<sub>3</sub> 塗布膜を形成していたが、加熱によるステンレス表面との反応生成物も形成されており、この摩擦摩耗特性への影響の有無が明らかでなかった。そこで本報では、MoO<sub>3</sub> の塗布方法を見直すとともに、摩擦痕に形成された物質の同定を行い、この物質自体の高温での潤滑特性を調べることを目的とした。

## 2 実験

### 2.1 摩擦生成物の同定

アルミニウム青銅の摩擦痕に形成された物質を同定するためX線回折法による分析を行った。アルミニウム青銅には微量の鉄が含まれており、Cu 管球のX線では回折スペクトルのバックグラウンドが大きくなってしまったため、Co 管球のX線にて回折スペクトルを取得した。JCPDS データベースとの照合の結果、摩擦痕に形成された物質は Cu<sub>3</sub>Mo<sub>2</sub>O<sub>9</sub> である可能性が高いと考えられ、以降、この物質を Cu<sub>3</sub>Mo<sub>2</sub>O<sub>9</sub> として記す。図1(a)には、JCPDS の Cu<sub>3</sub>Mo<sub>2</sub>O<sub>9</sub> の回折強度データを Co 管球のX線波長に換算して示す。また、図1(b)にはアルミニウム青銅の摩擦痕から得られた回折スペクトルを示す。ただし、摩擦痕が試験片表面からわずかに奥まっていることなどから回折角位置のズレを考慮し、最大ピークの回折角が一致するように得られたスペクトルを高角側に約 0.4° シフトしてある。その結果、データベースのピーク強度パターンとよく一致することが分かる。また、図1(c)には CuO と MoO<sub>3</sub> の混合加熱粉末から得た回折スペクトルを示す。これも同様にピーク位置がよく一致することから、Cu<sub>3</sub>Mo<sub>2</sub>O<sub>9</sub> の粉末が形成されていると考えられ、以下、この物質の潤滑性を調べる。

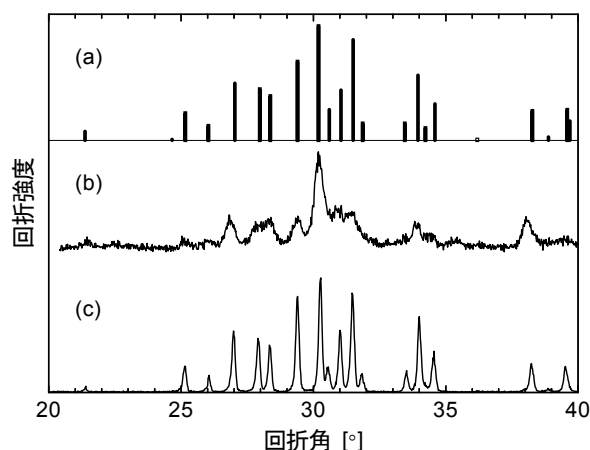


図1 X線回折スペクトル. (a) Cu<sub>3</sub>Mo<sub>2</sub>O<sub>9</sub> ピーク強度パターン (JCPDS 01-070-1495), (b) アルミニウム青銅の摩擦痕, (c) CuO と MoO<sub>3</sub> の混合加熱粉末

### 2.2 試料

摩擦材料にはステンレス鋼(SUS304)の組み合わせを用いた。MoO<sub>3</sub> は純度 99.5%の粉末を用いた。Cu<sub>3</sub>Mo<sub>2</sub>O<sub>9</sub> 粉末は CuO 粉末(純度 99%, 平均粒径 45μm)と上記の MoO<sub>3</sub> 粉末を 1:1 の質量比で混合し、大気中にて 700°C で 1 時間加熱して得たものを用いた。

これら酸化物粉末は付着力が乏しいため、次の手順で塗布膜を形成した。リング試験片表面にサンドブラストにより適度に凹凸を設け、所定量の粉末を混ぜたアセトン中に処理面を上にして設置し、超音波洗浄器により粉末をアセトン全体に拡散させた後、沈殿させる。これを暖めてアセトンを蒸発させ、試料表面に乾燥した均一な粉末の膜を形成する。なお、膜形成前後の重量変化より得られる粉末の付着重量が一定範囲内に収まった試料のみを摩擦試験に供した。

### 2.3 摩擦試験

摩擦試験はリング・オン・ディスク方式で行った。リング試験片は内径 15mm、外径 20mm で、この表面に塗布膜を形成した。ディスク試験片はエメリー紙による研磨により表面粗さ 0.05μm (Ra) 以下に仕上げ、アセトンで超音波洗浄をしてから試験に供した。試験片は摩擦試験機の炉内に設置され、リング試験片は粉末膜面を上向きにして回転し、上方からディスク試験片を押しつけて摩擦力を計測するレイアウトである。

試験は大気中にて行った。試料直近の温度を室温から 700°C の範囲で設定し、目的の温度に到達後 30 分間保持し、その後試験を行った。摩擦速度は 55mm/sec、面圧は 0.456MPa、摩擦距離は 200m で、各条件につき

3回の試験を行った。

### 3 結果と考察

雰囲気温度ごとの摩擦係数を図2(a)に示す。全試験時間の平均値を摩擦係数とした。無塗布試料については、室温で0.52程度の摩擦係数を示し、700°Cまで温度の上昇とともに摩擦係数も上昇し、700°Cでは0.66程度の係数を示した。MoO<sub>3</sub>塗布およびCu<sub>3</sub>Mo<sub>2</sub>O<sub>9</sub>塗布試料については、室温では0.76~0.80と無塗布よりも高い摩擦係数を示すが、400°Cにかけて摩擦係数が低下し、無塗布試料と同程度の値を示す。さらに高温になると、MoO<sub>3</sub>塗布試料では温度の上昇とともに摩擦係数も上昇するが、Cu<sub>3</sub>Mo<sub>2</sub>O<sub>9</sub>塗布試料では500°Cから700°Cにかけて摩擦係数が低下し、700°Cで最も低い摩擦係数0.36を示した。

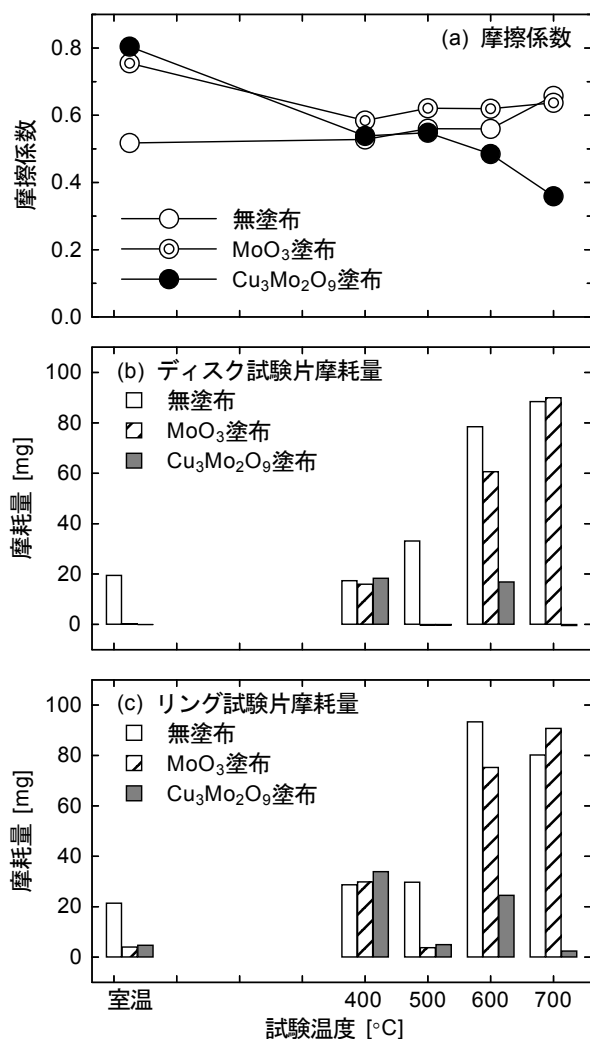


図2 各雰囲気温度における(a)摩擦係数, (b)ディスク試験片の摩耗重量, (c)リング試験片の摩耗重量

雰囲気温度ごとのディスク試験片およびリング試験片の摩耗量をそれぞれ図2(b)および2(c)に示す。摩耗量は試験前後の重量変化より求めており、負の摩耗量は相手材からの摩耗粉の凝着などにより、試験後に重量が増加したことを意味する。室温では、MoO<sub>3</sub> およびCu<sub>3</sub>Mo<sub>2</sub>O<sub>9</sub>を塗布することにより摩擦係数が増加してしまうが、摩耗量は大幅に低減できた。400°Cになると、摩

擦係数と同様、摩耗量についても大差が見られなかった。さらに温度が上昇するにつれ、無塗布試料では摩耗量も増加した。MoO<sub>3</sub>塗布試料では500°Cで摩耗量が低減したが、さらに高温では摩耗量が増加した。これに対し、Cu<sub>3</sub>Mo<sub>2</sub>O<sub>9</sub>塗布試料では500~700°Cの温度域において大幅に摩耗が低減でき、特に500°C, 700°Cで顕著な効果を示した。

図3に700°Cで摩擦した後のディスク試験片摩耗痕の様子を示す。無塗布およびMoO<sub>3</sub>塗布試料では試料表面が凝着によりむしり取られたような摩耗痕を示すのに対し、Cu<sub>3</sub>Mo<sub>2</sub>O<sub>9</sub>塗布試料では平坦で滑らかな摩耗痕を示す。

CuとMoの複合スパッタ膜を加熱したCuMoO<sub>4</sub>膜が高温で良好な潤滑性を示すことが報告されているが<sup>4)</sup>、摩耗低減については報告されていない。本実験で作成したCu<sub>3</sub>Mo<sub>2</sub>O<sub>9</sub>はCuMoO<sub>4</sub>とは結晶構造が異なるが、高温での潤滑性とともに摩耗低減に効果を示した。

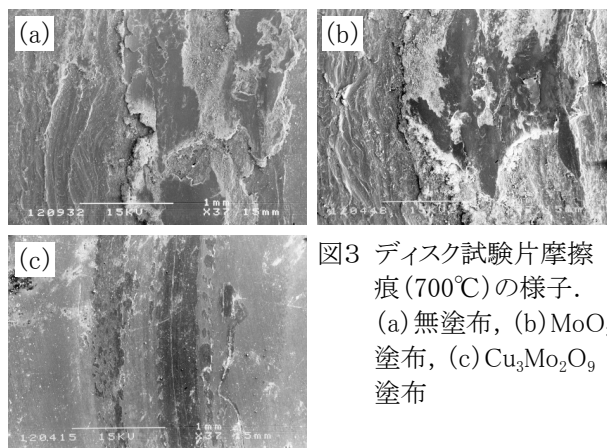


図3 ディスク試験片摩擦痕(700°C)の様子。(a)無塗布, (b)MoO<sub>3</sub>塗布, (c)Cu<sub>3</sub>Mo<sub>2</sub>O<sub>9</sub>塗布

### 4 まとめ

前報にて、摩擦面に形成され、高温での潤滑性および摩耗低減効果を示した物質はCu<sub>3</sub>Mo<sub>2</sub>O<sub>9</sub>であると考えられる。CuOとMoO<sub>3</sub>の混合粉末を加熱して得られる物質はCu<sub>3</sub>Mo<sub>2</sub>O<sub>9</sub>と同じXRDパターンを示し、この粉末をステンレス鋼同士の摩擦界面に供給した結果、500~700°Cの高温雰囲気にて低摩擦を示すとともに、摩耗低減に大きな効果を示した。

### 文献

- 1) 須山英治・竹市嘉紀・山田豊和・洪秀明・上村正雄: アルミニウム青銅ブシュ材の高温摩擦摩耗特性, トライボロジー会議予稿集 2001-5, pp.211-212.
- 2) M. B. Peterson, S. F. Murray & J. J. Florek: ASLE Trans. 2 (1960) 225-234.
- 3) 中條隆史・岡本直毅・Havetta Ivan・竹市嘉紀・上村正雄: アルミニウム青銅の摩擦摩耗特性におよぼす金属酸化物固体潤滑の効果, トライボロジー会議予稿集 2008-5, pp. 87-88.
- 4) K. J. Wahl, L. E. Seitzman, R. N. Bolster, I. L. Singer & M. B. Peterson, "Ion-beam deposited Cu-Mo coatings as high temperature solid lubricants", Surface and Coatings Technology, 89 (1997) 245-251.