[一般論文]

油境界潤滑における固体潤滑剤としての複合酸化物

 $\text{Sr}_x\text{Ca}_{1-x}\text{CuO}_2$ の潤滑特性鈴木 雅裕^{†1)}, 泉 和博^{†2)}, 広中 清一郎^{†1)*}, 佐々木 雅美^{†2)}^{†1)} 東京工業大学工学部無機材料工学科, 152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1^{†2)} 東海大学開発工学部素材工学科, 410-0395 静岡県沼津市西野 317

(1999 年 8 月 26 日受理)

複合酸化物, $\text{Sr}_{0.14}\text{Ca}_{0.86}\text{CuO}_2$, SrCuO_2 および CaCuO_2 を SrCO_3 , CaCO_3 および CuO から焼結法によって作製した。試料粉末は粘度の異なるパラフィン系鉱油に添加し, 油境界潤滑下におけるこれらの潤滑特性を Falex 型試験機で評価した。

その結果, これら複合酸化物粉末を鉱油に添加することで, 低粘度油でもその潤滑性が改善された。また, その時の添加量は 2~5 mass% の低濃度で効果を示し, 耐焼付き性および低摩擦係数が得られた。これらの潤滑特性は油性剤および分散剤としてのオレイン酸をともに用いることでさらに向上する。特に, 無限層構造をもつ $\text{Sr}_{0.14}\text{Ca}_{0.86}\text{CuO}_2$ は, 低粘度基油でさえもオレイン酸を併用することで, よりよい摩擦摩耗特性を示した。

1. 緒 言

近年, $\text{Sr}_x\text{Ca}_{1-x}\text{CuO}_y$ 複合酸化物は超伝導物質として期待され多くの研究がなされている¹⁾。 $\text{Sr}_x\text{Ca}_{1-x}\text{CuO}_y$ は, x のある値で無限層 (Infinite-Layer) 構造と呼ばれる酸素欠陥ペロブスカイト (Perovskite) 構造になることが知られている^{2~4)}。このため, 層状構造を有する二硫化モリブデンやグラファイトと同様に潤滑性が期待され, しかも酸化物系セラミックスであるために二硫化モリブデンやグラファイトよりも耐熱性に優れ, 地球環境にもやさしい新しい固体潤滑剤として期待される。

この観点から, 著者らは固体潤滑剤として $\text{Sr}_{0.14}\text{Ca}_{0.86}\text{CuO}_2$ に注目してきた。この構造は CuO_2 層と $\text{Ca}(\text{Sr})$ 層が無限に交互に積み重なった構造で, 酸素欠陥ペロブスカイト構造を母構造とした層状構造である^{2),3)}。この構造を有する $\text{Sr}_{0.14}\text{Ca}_{0.86}\text{CuO}_2$ を炭化水素油およびグリースに高濃度で単独添加した試料は, MoS_2 添加と同等もしくはそれ以上の耐焼付き性を示し, さらに低摩擦も得られたことは, この層状構造に起因する層間の低せん断性によるものと考えられた⁵⁾。また, 酸化物であるための耐熱性から無潤滑下で室温から 500℃ の広温度範囲で約 0.1 の低摩擦係数が得られ, 高温用固体潤滑剤としても有望であることがわかった⁶⁾。さらに, 類似構造を有する $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ や $\text{Pb}(\text{Y})\text{-(Ca)-Cu-O}$ 系の複合酸化物の潤滑性を検討した結果, 低摩擦が得られており⁷⁾, このような層状構造を有する複合酸化物は固体潤滑剤として有望であることが明らかになった。

本研究では, Sr-Ca-Cu-O 系における先の研究結果⁵⁾ から固体潤滑剤として特に期待される $\text{Sr}_{0.14}\text{Ca}_{0.86}\text{CuO}_2$, SrCuO_2 , および CaCuO_2 の三種類に注目した。これらを油潤滑用の固体潤滑添加剤として鉱油に添加した場合の耐焼付き性, 耐摩耗性および摩擦特性について Falex 型試験機で評価した。特に, これら

複合酸化物添加による潤滑性の乏しい低粘度油の改善, 低濃度添加による潤滑性の向上および分散剤の同時添加による潤滑性のさらなる改善について検討した。

2. 実 験

2.1. 複合酸化物の作製

複合酸化物の合成は通常の常圧焼結法 (粉末冶金法) で行った。作製した試料は $\text{Sr}_{0.14}\text{Ca}_{0.86}\text{CuO}_2$, SrCuO_2 , および CaCuO_2 であり, 組成および出発原料を Table 1 に示す。出発原料 (SrCO_3 : (株)高純度化学研究所, CaCO_3 : 和光純薬工業(株)および CuO : 添川理化学(株)) はいずれも純度 99.99% の高純度のものをそのまま用いた。

これらの粉末を目的組成になるようにそれぞれの質量比率でひょう量し, めのう乳鉢で十分に混合した後, マッフル炉において空气中, 930℃, 8 h で仮焼し, 粉碎・混合の後, さらに 940℃, 8 h で仮焼した。得られた試料は再びめのう乳鉢で十分に粉碎・混合した後, マッフル炉において空气中, 980℃, 8 h で焼結させた。焼結した試料はめのう乳鉢で十分に粉碎して粉末試料とした。得られたセラミックス粉末の粒径はレーザー回折式粒度分析装置 (マイクロトラック粒度分析計 (Model 7995-30 SPA), 日機装(株)) により測定し, 平均粒径は 20 μm であった。

2.2. X 線回折

焼結して得られた粉末は, 粉末 X 線回折法を用いて回折パターンを測定した。X 線回折は $\text{CuK}\alpha$ 線を用い, $2\theta = 4 \sim 70^\circ$ (0.04 deg/s) の範囲で室温下において測定した。各試料粉末の同定はハナワルト法で行った。

2.3. 試料油の調製

試料油には粘度の異なる三種のパラフィン系鉱油 (出光興産(株) 提供, Table 2) を基油として用いた。これらの油中に各試料粉末を 0.5 mass% 添加したものと, 最も低粘度の鉱油に試

* 連絡先

Table 1 Structures of Complex Oxide Samples

Composition	Sample abbr.	Structure	Raw material
SrCuO_2	Sr	SrCuO_2 (Orthorhombic)	SrCO_3 , CuO
$\text{Sr}_{0.14}\text{Ca}_{0.86}\text{CuO}_2$	IL	Infinite-layer	SrCO_3 , CaCO_3 , CuO
CaCuO_2	Ca	Ca_2CuO_3 (Orthorhombic) and CuO(Monoclinic)	CaCO_3 , CuO

Table 2 Properties of Base Oil

Base oil	Low viscosity oil	Medium viscosity oil	High viscosity oil
Viscosity, mm^2/s at 40°C	8.142	30.57	92.83
at 100°C	2.271	5.273	10.95
Viscosity index	82	104	103
% C_A	0.3	0	0
% C_N	43.9	32.9	28
% C_P	55.8	67.1	72

Fig. 1 Schematic Diagram of Falex-type Friction Machine

料粉末を 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, および 5.0 mass% 添加し, さらに油性剤および分散剤としてオレイン酸 0.01 mass% (大同化学工業(株)) を添加したものを試料油とした。これらの試料はいずれもスターラーを用いて 30 min かくはんして均一に分散させた。オレイン酸未添加油では, 少量の沈降が認められたことにより, オレイン酸が油中分散剤として作用していることが分かった。

2.4. 試験装置および試験片

各複合酸化物添加油の焼付き荷重を評価するために Falex 型試験機 (高千穂精機(株) 製) を用いた (Fig. 1)。試験方法および試験片は ASTM D-2670, D-2625 および D-3233 に準拠し, 試験片は Table 3 に示した標準試験片を用いた。これら試験片は試験前にトルエンおよびアセトン中でそれぞれ 15 min 超音

Table 3 Specification of Pin and V-Block Specimen

Pin	SNC-236 $\phi 6.37 \times 31.75$ mm Ra : 0.1-0.3 μm HRB: 87-91
V-Block	SUM-41 $\phi 12.83 \times 10.16$ -10.41 mm V-angle: $96 \pm 1^\circ$ Ra : 0.1-0.3 μm HRC: 20-24

波洗浄を行い, 室温下で乾燥させた。試験機に試験片を取り付けた後, オイルバスに試料油を満たし, 試験片を油中に完全に浸漬した状態で試験を行った。

2.5. 試験方法

2.5.1. 焼付き試験

焼付き試験は, 油中, 室温下で行った。一定速度 290 rpm (0.097 m/s), 初期荷重 100 kgf (980 N) とし 1 min 試験を行い, 焼付きが生じない場合, 荷重を 20 kgf (196 N)/min の割合で増加させ, これを摩擦トルクが急増する荷重まで繰り返した (ステップロード法)。急激な摩擦トルクの上昇により試験装置が停止した荷重を焼付き荷重とした。各試料について数回試験を行い, その平均値を採用した。

2.5.2. 摩耗試験

摩耗試験は, 油中, 室温下で, 一定速度 290 rpm (0.097 m/s), 一定荷重 100 kgf (980 N) で 2 min 試験を行い, 試験前後の試験片の重量変化 (ピンとブロックの和) から摩耗量を求めた。また, 数回の試験で得られた摩耗量と摩擦係数の平均値を各試料油での摩耗量と摩擦係数とした。

2.6. 摩擦面の表面観察および元素分析

摩耗試験後の試験片について摩擦面のモルホルジーを走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察により検討し, 元素分析をエネルギー分散型 X 線アナライザー (EDX) により行った。これらの結果と摩擦試験の結果とを併せて各複合酸化物セラミックス添加油の潤滑機構を検討した。

Fig. 2 X-Ray Diffraction Patterns of Complex Oxides

3. 結果および考察

3.1. X線回折結果

常圧焼結で得られた粉末のX線回折パターンをFig. 2に示す。Fig. 2(a)に示す試料粉末の回折パターンは、 $2\theta = 34.48^\circ$, 29.97° , および 31.72° がそれぞれ (111), (130), および (041) に相当し、斜方晶 SrCuO_2 であった。Fig. 2(b)の粉末の回折パターンは、 $2\theta = 36.41^\circ$, 47.04° , および 32.83° がそれぞれ (101), (200), および (110) に相当し、“Infinite-Layer” (無限層, Fig. 3) であることが確認された。Fig. 2(c)の粉末の回折パターンは、 $2\theta = 36.41^\circ$, 35.24° , および 32.30° がそれぞれ斜方晶 Ca_2CuO_3 の (011), (301), および (310) に相当し、 $2\theta = 35.58^\circ$, 38.77° , および 38.96° がそれぞれ単斜晶 CuO の (002), (111), および (200) に相当することを確認した。本研究の焼結条件の範囲において、 CaCuO_2 に相当する組成は単相では得られず、 Ca_2CuO_3 および CuO 相からなる混合物になることが知られており⁸⁾、本研究の結果も同じであった。本報では、調製時に使用した化学組成 (SrCuO_2 , $\text{Sr}_{0.14}\text{Ca}_{0.86}\text{CuO}_2$, および CaCuO_2) で各試料粉末を記し、以後それぞれを Sr, IL, および Ca と略す。

3.2. 摩擦および摩耗特性

Fig. 4に、基油としての粘度の異なる三種のパラフィン系鉱油の焼付き試験と摩耗試験の結果を示す。鉱油の粘度の増大とともに焼付き荷重は約2倍になり、摩耗量は約1/1000に著しく減少した。高粘度油の場合、厚い油膜が摩擦面間に形成され流体潤滑効果が得られやすくなるが、粘度が低下するに従い油膜が薄くなり、摩擦面同士の直接接触や凝着などがより起こり

Fig. 3 Crystal Structure of Infinite Layer

Fig. 4 Load Carrying Capacities (a) and Antiwear Properties (b) of Base Oil

やすい境界潤滑となり、潤滑性は低下した。

低粘度油および高粘度油に各試料粉末を0.5 mass% 添加した場合の焼付き試験と摩耗試験の結果をそれぞれFigs. 5および

Fig. 5 The Effect of Addition of Complex Oxide Powders on Low Viscosity Base Oil (content of complex oxide: 0.5 mass%)

Fig. 6 The Effect of Addition of Complex Oxide Powders on High Viscosity Base Oil (content of complex oxide: 0.5 mass%)

6に示す。いずれの粘度の場合も、これらの粉末を少量添加することによって耐焼付き性が約10~30%向上し、耐摩耗性は約20~30%向上した。中粘度油については両者のほぼ中間の結果が得られた。しかし、基油の粘度効果が大きく、特に耐摩耗性に関しては高粘度油での摩耗量は低粘度油より著しく少なく、基油の粘度効果とこれら粉末の添加効果の双方が作用してよりよい潤滑性が得られることが示唆された。一方、グリースへのIL ($\text{Sr}_{0.14}\text{Ca}_{0.86}\text{CuO}_2$) の添加効果⁹⁾と比較した場合、グリースへの5~15 mass% 添加より高粘度油への0.5 mass% 添加の方がよりよい耐焼付き性とかなりの耐摩耗性が得られた (Fig. 6)。このことから、摩擦面への固体潤滑剤としてのILの供給面から流動性も重要であることが分かった。また、低粘度油への0.5 mass% IL添加でも無添加グリースとはほぼ同程度の耐焼付き性が得られた (Fig. 5)。

Fig. 7 The Effect of SrCuO_2 Powder and Oleic Acid Added to Low Viscosity Base Oil on Seizure Load (a) and Wear Amount [w.a.] and Friction Coefficient [f.c.] (b)

以上の結果から、基油の粘度と流動性が潤滑特性に大きく影響をもつことが明らかとなった。基油の粘度効果を極力避け、固体潤滑剤としてこれらの複合酸化物粉末の潤滑特性とその潤滑機構を明らかにするために、以後の試験では低粘度油を基油として使用することとした。

低粘度油中へ固体粉末を分散することは重要であり、その添加油の潤滑特性に少なからず影響を与える。沈降させずに十分な油中分散が可能ならば、粉末を摩擦面間により効果的に供給することができ、その添加効果は向上すると考えられる。そこで、低粘度油に分散剤としてオレイン酸を0.01 mass% 添加し、分散性を向上させた試料油を調製して試験を行った。各試料粉末の添加濃度とオレイン酸の添加効果についての結果を Figs. 7~9に示す。また、これらの図中にオレイン酸無添加の基油と粉末のみ0.5 mass% 添加した場合の結果も比較のためプロットした。

オレイン酸を添加した場合、分散剤としての効果とともに潤滑油添加剤としても効果を示し、基油の耐焼付き性、耐摩耗性および摩擦特性を向上した。Figs. 7(a), 8(a), および 9(a)

Fig. 8 The Effect of $\text{Sr}_{0.14}\text{Ca}_{0.86}\text{CuO}_2$ Powder and Oleic Acid Added to Low Viscosity Base Oil on Seizure Load (a) and Wear Amount [w.a.] and Friction Coefficient [f.c.] (b)

Fig. 9 The Effect of CaCuO_2 Powder and Oleic Acid Added to Low Viscosity Base Oil on Seizure Load (a) and Wear Amount [w.a.] and Friction Coefficient [f.c.] (b)

に示すように、さらにいずれの粉末を添加しても焼付き荷重はオレイン酸のみを添加した油よりも大きく、添加量とともに増大する傾向を示した。1.0 mass% 添加時で約 200 kgf (1960 N) の焼付き荷重を示し、これは基油の約 2 倍、オレイン酸のみ添加した油の約 1.5 倍であった。また、これら粉末をオレイン酸添加低粘度油へ 1~2 mass% 程度添加すれば、0.5 mass% 添加高粘度油のレベル程度である約 2000 N まで向上することが分かった。

耐摩耗性への添加効果については粉末の種類により異なる結果が得られ、Sr および Ca 粉末添加の場合では、添加濃度による明確な効果は得られず、オレイン酸のみ添加した油とほぼ同等の耐摩耗性であった (Fig. 7 (b) および Fig. 9 (b))。これに対して、IL 粉末を添加した場合、Fig. 8 (b) に示したように、本研究の添加量の範囲で減少傾向が認められ、5.0 mass% の IL 粉末添加の場合とオレイン酸のみの添加油を比較すると前者の摩耗量は約 1/2 になった。これは後述するように、構造とその摩擦せん断による粉砕されやすさによるものと考えられる。つ

まり、無限層構造 (酸素欠陥 Perovskite 構造) を有する IL の層間の結合が、層状構造ではない Sr や Ca 構造の原子間の結合と比較して弱いためだと考えられる。

摩擦係数に関しても基油へオレイン酸を添加することによって、オレイン酸は油性剤として作用して低摩擦係数を与えた。また、粉末のみを 0.5 mass% 添加した場合、いずれの粉末添加でも基油と同等またはより低い摩擦係数を示した。粉末とオレイン酸の併用の Sr および Ca 系では 0.5~5.0 mass% の濃度範囲では濃度依存性はなく、0.11 程度の摩擦係数であったが、IL 系では 5.0 mass% 添加になると、0.09 のより低い摩擦係数が得られた。このことは添加量が増えたことと、IL 粒子が微細化され易く摩擦面間に存在する粒子数が増加したためと考えられる。

Fig. 10 に示すように、各種複合酸化物粉末 5.0 mass% 添加油の摩擦係数の経時変化をみると、ほとんどの場合、摩擦初期に一度摩擦係数が上昇した後、約 0.11 の摩擦係数で安定した。しかし、IL の場合のみ傾向は異なり、初期の極く低摩擦から始まり、以後上昇して約 0.09 の安定した低摩擦を示した。

Fig. 10 The Friction Coefficient as a Function of Sliding Time in Complex Oxide Powder-added Oils

以上の結果から、各粉末をオレイン酸と併用することで潤滑性に乏しい低粘度油の潤滑特性を改善することができた。オレイン酸との併用により分散性が向上した結果、オレイン酸無添加の場合よりさらに効果的に粉末が摩擦面間に供給され、オレイン酸の潤滑作用と併せて、金属接触を軽減し、摩耗や焼付きの原因である凝着を起り難くしたためと考えられる。後述するように、平均粒径が $20\text{ }\mu\text{m}$ の IL は摩擦面間で $2\sim 5\text{ }\mu\text{m}$ に粉砕された状態で摩擦表面に多数存在しているのに対し、Sr および Ca は $5\sim 8\text{ }\mu\text{m}$ に粉砕され、IL と比べると摩擦面での存在量が非常に少なかった。これらのことは IL 粉末が層状構造であるために摩擦せん断に対してせん断・粉砕されやすく、その結果摩擦面間に効果的に存在し、摩耗や摩擦係数を減少することができたと考えられる。しかしながら、IL 系は Sr 系よりわずかに耐焼付き性が低いことから、IL は摩耗や摩擦係数を低減する添加剤として、Sr 系は耐焼付き性を向上する添加剤として考えられる。今後、これらの構造と潤滑性との関係を明らかにされるべきである。

3.3. 表面観察と元素分析

Fig. 11 には、オレイン酸単独添加油およびオレイン酸と各粉末添加油について摩耗試験後の V ブロックの摩耗表面（超音波洗浄後）の SEM 観察像を示す。オレイン酸単独添加での摩耗表面には、比較的深い溝が滑り方向に発生していた。これに対して、さらに試料粉末を添加すると、摩擦表面は平滑化し、特にオレイン酸と IL 添加 (Fig. 11(b)) では摩耗こん幅の小さい、非常に滑らかな面が得られた。各々のオレイン酸/試料粉末添加油系における粉末の添加濃度に対する摩耗こん幅と表

Fig. 11 SEM Photographs of Worn Surface of V-Blocks Obtained with Oils Containing Oleic Acid and/or Complex Oxide Powders

Fig. 12 SEM Photograph (a) and Spectroscopy (b) of EDX Analysis of Worn Surface of V-Block Obtained with 5.0 mass% IL and 0.01 mass% Oleic Acid Added Oil

面モルホルジーの比較では、Sr 添加系および Ca 添加系では摩耗こん幅や表面状態は濃度によらず、各濃度でも Fig. 11(c)や(d)とは同じであった。しかし、IL 添加系では濃度の増加に伴い摩耗こん幅は減少し、摩擦表面は平滑化する傾向を示した。これらの結果は摩耗および摩擦特性とよく対応する結果であった。

よい結果が得られた上記のオレイン酸/IL 添加油について、その潤滑機構を考察するために未洗浄の摩耗表面の分析を行った。Fig. 12(a)に示すように、SEM 観察では表面には未使用の平均粒径 20 μm に比較して 10 μm 程度の粒子からさらに小さい 2~5 μm の微細粒子が多数と、より大きい試験片の摩耗粒子が確認された。試料粉末と考えられる微細粒子 (Fig. 12(a)下の矢印) について EDX の点分析より、Fig. 12(b)に示すように IL 試料粉末であることが確認された。これに対し、Sr 添加油や Ca 添加油系では、IL 添加油系に比べて微細粒子の径は幾分大きく 5~8 μm 程度で、存在量も非常に少なかった。また代表例として、IL 添加油系における試料油流出部付近の SEM 写真とそこに多量に存在する粒子の EDX 分析結果を Fig. 13 に示す。他の試料についても同様な結果が得られた。

以上の結果から、油境界潤滑における固体潤滑剤としてのこれら複合酸化物粉末の潤滑機構として次のように考えられる。試料粉末は基油の流動によって摩擦面間への出入りを繰り返す。摩擦面間に存在する粉末は潤滑作用をしながら摩擦せん断によって粉砕されると考えられる。摩擦面間に流入した粉末は、固体接触を抑制し、表面の平滑化とともに焼付きや摩耗を低減させる。特に、IL ではその無限層構造がせん断されやすく、Sr 系や Ca 系より微細化が進み、摩擦面間により多数の固

Fig. 13 SEM Photograph (a) and Spectroscopy (b) of EDX Analysis of the Oil-outlet Part of V-Block Obtained with 5.0 mass% IL and 0.01 mass% Oleic Acid Added Oil

体潤滑剤としての粒子が存在するために、摩耗や摩擦によりよい効果を示すものと推論される。

4. 結 論

固体潤滑剤として有望である複合酸化物、 $\text{Sr}_{0.14}\text{Ca}_{0.86}\text{CuO}_2$ 、 SrCuO_2 、および CaCuO_2 を合成し、それらをパラフィン系鉱油に添加して作製した潤滑油の潤滑特性を評価した結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 常圧焼結で得られた各複合酸化物の X 線回折パターンから、 SrCuO_2 は斜方晶、 $\text{Sr}_{0.14}\text{Ca}_{0.86}\text{CuO}_2$ は無限層 (Infinite-Layer) 構造の単相であった。 CaCuO_2 は斜方晶 Ca_2CuO_3 および単斜晶 CuO からなることが分かった。
- (2) 基油の潤滑特性は粘度の増加とともに向上した。各試料粉末を添加すると、基油の粘度効果と粉末の添加効果の両方が作用してさらに潤滑性が向上した。
- (3) これらの粉末を鉱油に添加することで低粘度油でも潤滑性を改善できた。また、その添加量は 2~5 mass% の低濃度でよく、同時に分散剤および油性剤としてのオレイン酸を添加すると潤滑性がさらに改善された。特に、 $\text{Sr}_{0.14}\text{Ca}_{0.86}\text{CuO}_2$ 粉末 5.0 mass%、およびオレイン酸添加油ではより優れた摩擦・摩耗低減効果が得られた。また、耐焼付き性は SrCuO_2 添加による効果が大きかった。
- (4) 摩擦表面の SEM 観察による表面モルホルジーと表面に存在する粒子の EDX 分析結果は、摩擦・摩耗特性によく対応していた。
- (5) 本研究で合成した複合酸化物の潤滑機構は以下のように考

えられる。基油の流動性により摩擦面間に流入した粉末が破碎され、その摩擦面間に存在する粒子が固体接触を抑制し、表面を平滑化するとともに焼付きや摩耗を減少する。特に、 $\text{Sr}_{0.14}\text{Ca}_{0.86}\text{CuO}_2$ 粉末は層状構造を有するため、摩擦せん断により他の試料粉末より微細化され、摩擦面間に多数の粒子が存在できたため、他の粉末よりもよい効果が得られたと考えられる。

References

- 1) Liu, C.-J., Koriyama, S., Yamauchi, H., *Physica C*, **215**, 395 (1993).
- 2) Siegrist, T., Zahurak, S. M., Murphy, D. W., Roth, R. S., *Nature*, **334**, (21), 231 (1988).
- 3) Azuma, M., Hiroi, Z., Takano, M., Bando, Y., Takeda, Y., *Nature*, **356**, (30), 775 (1992).
- 4) Yamane, H., Miyazaki, Y., Hirai, T., *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **97**, (2), 143 (1989).
- 5) Suzuki, M., Sasaki, M., Hironaka, S., *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **105**, (8), 808 (1998).
- 6) Suzuki, M., Sasaki, M., Murakami, T., *Tribologist*, **43**, (12), 1064 (1998).
- 7) Suzuki, M., Hironaka, S., Sasaki, M., Murakami, T., *Material Technology*, **17**, (3), 110 (1999).
- 8) Roth, R. S., Rawn, C. J., Ritter, J. J., Burton, B. P., *J. Am. Ceram. Soc.*, **72**, (8) 1545 (1989).
- 9) Suzuki, M., Hironaka, S., Matsuo, Y., Sasaki, M., Murakami, T., Preprints of the Conference on Tribology, Nov. 1998, Japanese Soc. Tribologists, Tokyo, p.152.

Summary

Lubricities of Complex Oxides $\text{Sr}_x\text{Ca}_{1-x}\text{CuO}_2$ as Solid Lubricants in Oil Boundary Lubrication

Masahiro SUZUKI^{†1)}, Kazuhiro IZUMI^{†2)}, Seiichiro HIRONAKA^{†1)}, and Masami SASAKI^{†2)}

^{†1)} Dept. of Inorganic Materials, Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 O-okayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8552, JAPAN

^{†2)} Material Science and Technology, School of High-Technology for Human Welfare, Tokai University, 317 Nishino, Numazu, Shizuoka 410-0395, JAPAN

Complex oxides $\text{Sr}_{0.14}\text{Ca}_{0.86}\text{CuO}_2$, SrCuO_2 , and CaCuO_2 were prepared from SrCO_3 , CaCO_3 , and CuO by sintering method. The powdered complex oxides were added to three paraffinic base oils having different viscosities, and their lubricities in oil boundary lubrication were evaluated using a Falex-type tribometer.

When these complex oxide powders were added to the base oil of very low viscosity, they improved the lubricity of the

base oil even with addition of low concentration (2-5 mass%). Furthermore, these lubricities were enhanced by using the base oil and oleic acid together as an oiliness agent and dispersant. Especially, $\text{Sr}_{0.14}\text{Ca}_{0.86}\text{CuO}_2$ having an infinite layer structure indicated better friction properties and also better wear resistance even by using it together with oleic acid and the low viscosity base oil.

Keywords

Infinite-layer structure, Extreme pressure additive, Solid lubricant, Lubrication, Tribology, Wear