

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 30 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420094

研究課題名(和文)正20面体クラスター構造を持つ水潤滑用低摩擦・低摩耗ホウ化物セラミックスの開発

研究課題名(英文) Developments of the icosahedral cluster-boride ceramics exhibiting low friction and low specific wear rates in water

研究代表者

村上 敬 (Murakami, Takashi)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・製造技術研究部門・主任研究員

研究者番号：40344098

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：水は生態系に優しいことから水潤滑システムは最近水圧ポンプや食品機械、医療機器の分野で注目されている。しかし水中で低摩擦・低摩耗を示す材料はほとんど見られない。以前研究代表者らはAlB12、SiB6ベースのセラミックスが水中で低摩擦・低摩耗を示すことを明らかにしている。本研究では不純物をほとんど含まないAlB12、SiB6セラミックスの摩擦係数が0.1以下になること、水潤滑の後AlB12、SiB6ベースセラミックス試験片の摩耗痕上にH3B03被膜がほとんど形成されないことを明らかにした。さらに韌性を改善したAlB12-NiAl系サーメットが放電プラズマ焼結により作製可能であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Lubricating systems with water are receiving attention in industries related to water pumps, food machinery and medical devices because water is an eco-friendly material. However, there are not few materials exhibiting low friction coefficients and low specific wear rates in water. It was found in our previous study that AlB12- and SiB6-based ceramics exhibited low friction and low specific wear rates in water. In this study, it was found that AlB12 and SiB6 ceramics containing little amount of contamination exhibited friction coefficients lower than 0.1 in water, and that few H3B03 films were not formed on the worn surfaces of the AlB12 and SiB6 ceramic specimens after sliding in water. In addition, it was found that AlB12-NiAl cermet could be obtained by spark plasma sintering.

研究分野：トライボロジー

キーワード：水潤滑 ホウ化物 トライボロジー トライボケミカル反応 粉末冶金 放電プラズマ焼結

1. 研究開始当初の背景

油を使わないクリーンな水潤滑システムは最近水圧ポンプや食品機械などの分野で注目され、既に河川・ダム用水門扉用水圧ポンプや水圧制御弁、あるいは潜水調査船用海水ポンプのピストンシリンダなどに応用され始めている。現在水潤滑用しゅう動材料としては、主に Si_3N_4 、 Al_2O_3 、樹脂などが使用されている。しかし Si_3N_4 (摩擦開始直後など) や Al_2O_3 は摩擦・摩耗が大きく、樹脂は硬度、耐摩耗性が劣る欠点がある。

研究代表者は、今まで潤滑油、エタノール、高温など様々な環境下で低摩擦・低摩耗を示す材料及びそのコーティングを開発してきているが、最近加圧焼結法で作成したバルク状 AlB_{12} 基及び SiB_6 基セラミックスが、水中において、低摩擦層状・ゲル状化合物を形成することにより窒化珪素やアルミナ (摩擦係数約 0.6、比摩耗量約 $10^{-5}\text{mm}^3/\text{Nm}$) より非常に小さい摩擦係数 (0.1~0.2) 及び低摩耗 (比摩耗量 $10^{-7} \sim 10^{-6}\text{mm}^3/\text{Nm}$) であることを明らかにした。さらに AlB_{12} 、 SiB_6 は B 原子同士の結合力が強く、高硬度 (ビッカース硬度 20GPa~30GPa) になる正 20 面体 B 原子クラスターを含む結晶構造であるため、低摩耗を示すと考えている。また AlB_{12} 、 SiB_6 などのホウ素を高濃度に含むホウ化物セラミックスは耐腐食性にも優れていることから、水潤滑システム用しゅう動材料として非常に適していると考えている。

従って、本研究において低摩擦・低摩耗機構を解明しながら、かつ改良を加えることで、工業的に容易に製造でき、かつ水中でより低摩擦・低摩耗を示すバルク状、及びコーティング状のホウ化物セラミックスを開発できれば、従来の水潤滑システムの運転コスト低減及び長寿命化に大きく貢献できると考えている。

2. 研究の目的

本研究では、研究代表者が水中で低摩擦・低摩耗であることを明らかにした AlB_{12} 基及び SiB_6 基セラミックスから、より低摩擦・低摩耗のバルク状、及びコーティング状のホウ化物セラミックスを開発するために、「ホウ素を高濃度で含む高硬質ホウ化物の低摩擦・低摩耗機構の解明」、「低摩擦・低摩耗のホウ化物セラミックスコーティングの開発」等を行い、最終的に水中で低摩擦・低摩耗を示し、かつ靱性も良好なバルク状及びコーティング状のホウ化物セラミックスを開発することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) XPS、SEM-EDS、ラマン分光分析等の表面分析法を用いて AlB_{12} 、 SiB_6 基板上に形成される摩耗痕の分析を行い、低摩擦・低摩耗のメカニズムを明らかにする。

(2) 放電プラズマ焼結法を用いて、水中で低摩擦・低摩耗を示し、かつ靱性も良好なバ

ルク状ホウ化物セラミックスを開発する。

(3) RF イオンプレーティング法、大気プラズマ溶射法、めっき法などを用いて、 AlB_{12} や SiB_6 ベースの高硬度、低摩擦、低摩耗コーティング法を開発する。

4. 研究成果

(1) 水中で低摩擦・低摩耗を示す AlB_{12} や SiB_6 について、従来作製した試験片はそれぞれ Al_2O_3 、ポロシリケートを高濃度で含み、これら不純物を減らしたときの摩擦摩耗特性がどうなるか不明であったため、これら不純物の濃度を大幅に抑えた試験片を放電プラズマ焼結法により作製し、水中における摩擦摩耗特性を調べてみた。その結果、不純物の濃度を大幅に抑えた AlB_{12} 、 SiB_6 試験片は従来作製した試験片に比べて摩擦係数とともに半分程度にまで下げられること、及び耐摩耗性も高いまま維持されることを明らかにした。さらにこれら AlB_{12} 、 SiB_6 試験片は水中のみならず、大気中無潤滑条件下でも低摩擦・低摩耗を示すことがわかった。

(2) 一方高真空チャンバーで測定する必要がある AlB_{12} 及び SiB_6 試験片の摩耗痕表面の XPS 分析について、トライボケミカル反応で形成されていると考えられている H_3BO_3 が元々蒸気圧が高く、測定前に蒸発している可能性が明らかになった。このため検出深さは XPS よりかなり深くなるものの大気中での分析が可能なラマン分光法による分析を実施したが、当初予想していた H_3BO_3 がほとんど検出されないことがわかった。このため AlB_{12} 、 SiB_6 の低摩擦・低摩耗特性は H_3BO_3 の形成以外の要因がありそうであること、また仮に H_3BO_3 が形成されていたとしても、生成量は極めて微量であることがわかった。この AlB_{12} 及び SiB_6 の低摩擦・低摩耗メカニズムについては、まだ不明な点が多く、類似材料などの摩擦試験などを実施する必要があると考えている。しかし元々 H_3BO_3 の形成は摩擦低減には効果的ではあるものの、環境負荷的にはあまり好ましくないため、 H_3BO_3 がほとんど形成されない点は、水潤滑材料として非常に適していると考えている。

(3) コーティングについては、RF イオンプレーティングを取り上げ、 AlB_{12} 膜のコーティングに取り組んだ。しかし被膜は形成されたものの被膜中の B 濃度が不十分で、コーティング中に B 含有のガスを流す必要のあることがわかった。本研究では設備、予算的にガス供給が困難であったために、代わりに方法として大気プラズマ溶射及び Ni めっき法による Ni- AlB_{12} 被膜の形成を試みた。大気プラズマ溶射については、相手材の SUS304 基板上の一部に AlB_{12} 被膜を形成させることができ、基板表面の硬度、摩擦、摩耗特性の改善が見られたが、基板前面にコーティングできるレベルには達することができなかった。このため全面コーティングを得るには、溶射条件をより絞り込む必要があると考えている。Ni め

つきについては、 AlB_{12} 粒子濃度が 5 ~ 10vol% であるため、さらに改善の必要があるが、 Ni-AlB_{12} 被膜を作製することができた。

(4) 今回調べたホウ化物は低摩擦・低摩耗ではあるものの、韌性に乏しいため、サーメットにして利用する方法がある。本研究では、韌性が比較的高い NiAl をバインダーとした AlB_{12} - NiAl 系サーメットを放電プラズマ焼結法を用いて作製し、最終的にヌープ硬さ 1700 以上の AlB_{12} -20vol% NiAl サーメットが AlB_{12} より 500 低い焼結温度で得られることを明らかにした。

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 3 件)

T. Murakami, H. Inui, Friction and Wear Properties of AlB_{12} - NiAl Cermet Prepared by Spark Plasma Sintering, Materials Science Forum, 査読有, Vol. 879, 2016, pp.1338-1343, DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.879.1338.

村上敬, 乾晴行, トライボケミカル反応を考慮したしゅう動材料の開発、トライボロジスト, 査読有, Vol. 61, 2016, pp.161-166, DOI:http://doi.org/10.18914/tribologist.61.3_161.

T. Murakami, H. Inui, Friction and wear properties of spark-plasma-sintered AlB_{12} and SiB_6 powder compacts in water, Tribology International, 査読有, Vol. 92, 2015, pp. 446-453. DOI: 10.1016/j.triboint.2015.07.029.

[学会発表](計 11 件)

村上敬, 乾晴行, 放電プラズマ焼結法により作製した AlB_{12} - NiAl 系複合材料の組織, 日本金属学会 2017 年春期大会, 2017 年 3 月 16 日, 首都大学東京(東京都八王子市)

村上敬, 乾晴行, ホウ化物被膜の摩擦・摩耗特性, トライボロジー会議 2016 秋新潟, 2016 年 10 月 12 日, 朱鷺メッセ(新潟県新潟市)

村上敬, 乾晴行, AlB_{12} - NiAl 系複合材料の組織及び機械的性質, 日本金属学会 2016 年秋期大会, 2016 年 9 月 22 日, 大阪大学(大阪府豊中市)

T. Murakami, H. Inui, Friction and wear properties of AlB_{12} - and SiB_6 -based ceramics, THERMEC' 2016, 2016 年 5 月 30 日, グラーツ(オーストリア)

村上敬, 乾晴行, AlB_{12} , SiB_6 粉末焼結体の水中及び大気中における摩擦・摩耗特性, 日本金属学会 2016 年春期大会, 2016 年 3 月 25 日, 東京理科大学(東京都葛飾区)

T. Murakami, H. Inui, Friction and Wear Properties of Boride-Based Composite, ITC Tokyo 2015, 2015 年 9 月 19 日, 東京理科大学(東京都葛飾区)

村上敬, 乾晴行, 無潤滑条件下におけるホウ化物の摩擦・摩耗特性, トライボロジー会議 2015 春姫路, 2015 年 5 月 29 日, 姫路商工会議所(兵庫県姫路市)

村上敬, 乾晴行, AlB_{12} 、 SiB_6 粉末焼結体の組織及びトライボロジー特性, トライボロジー会議 2014 秋盛岡, 2014 年 11 月 7 日, アイーナ いわて県民情報交流センター(岩手県盛岡市)

村上敬, トライボケミカル反応を意識した金属間化合物、ホウ化物系しゅう動材料の開発, 第 10 回固体潤滑シンポジウム, 2014 年 10 月 22 日, 東京理科大学(東京都新宿区)

T. Murakami, Friction and wear properties of Fe_7Mo_6 -, $\alpha\text{-FeSi}_2$ - and SiB_6 -based alloys, EMN Open Access Week meeting, 2014 年 9 月 22 日, 成都(中国)

村上敬, 境界潤滑下で固体潤滑膜を形成させる硬質材料の開発, トライボロジー会議東京 2014, 2014 年 5 月 21 日, 国立オリンピック記念青少年総合センター(東京都渋谷区)

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村上 敬 (MURAKAMI, Takashi)

産業技術総合研究所・製造技術研究部門・主任研究員

研究者番号：40344098

(2)研究分担者

廣瀬 伸吾 (HIROSE, Shingo)
産業技術総合研究所・製造技術研究部門・
主任研究員
研究者番号：10357874

(3)連携研究者

乾 晴行 (INUI, Haruyuki)
京都大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：30213135

(4)研究協力者

()