

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 18 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560156

研究課題名(和文) 海洋環境適合摩擦材の開発に関する基礎研究

研究課題名(英文) Basic Study on Development of Friction Material Used in Seawater

研究代表者

志摩 政幸 (SHIMA, Masayuki)

東京海洋大学・海洋科学技術研究科・教授

研究者番号：70092583

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：海洋環境中で使用できる摩擦材の開発に関する基礎研究を行った。その一つは、ほとんどすべての材料に対して低摩擦を有するダイヤモンドライクカーボン(DLC)膜の耐摩耗性改善に関するものである。二つは、ステンレス鋼に低摩擦と耐摩耗性を付与する表面改質に関する研究である。もう一つは、工業的によく使用される炭素鋼に耐食・耐摩耗性、及び低摩擦を付与する表面改質に関する研究である。これらの研究から、摩擦特性改善に有用ないくつかの成果が得られた。

研究成果の概要(英文)：We have been conducting three basic studies to develop sliding materials that can be successfully used in seawater. The first is improvement of the wear resistance of diamond-like carbon(DLC) films in seawater: such films are known to exhibit low friction against almost all mated materials. The second study is on the use of surface modification to confer low friction and high wear resistance to corrosion-resistance stainless steel. The third study concerns surface modification of carbon steel, which is often used in industry, in order to increase its corrosion and wear resistance, and its coefficient of friction. From these studies several findings which are useful for improving sliding properties in seawater were obtained.

研究分野：トライボロジー

科研費の分科・細目：機械工学、設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：耐摩耗性 海水中 フレッチング摩耗 犠牲陽極 亜鉛 DLC膜

1. 研究開始当初の背景

(1) 海洋資源の利活用は今後ますます進展してくるものと考えられ、それに伴い海洋探査機器・構造物等の性能や信頼性が重要となっている。これらには多くの摩擦部分や微小な滑りを伴う継手等の接触部があり、その摩擦・摩耗や腐食に対する技術的課題の解決が急務となっている。

(2) 海洋環境に適合する摩擦材に必要とされる条件は、耐食性と低摩擦・耐摩耗性がまず挙げられるが、これらを海洋環境を汚染させることなく満足する摩擦材は、強度・耐久性に難がある高分子材料を除けばほとんどなく、またこの分野の研究自体少ないのが現状である。

2. 研究の目的

(1) 本研究は、海洋環境中で使用できるトライボロジー特性に優れた摩擦材を開発するための基礎研究である。具体的には、次の3つの観点から研究を行う。

(2) 一つは工業的に多用されている鋼に、表面改質により耐食性・低摩擦・耐摩耗性を付与すること、二つはステンレス鋼等の耐食性材に低摩擦・耐摩耗性を付与すること、三つは低摩擦・耐摩耗性を有する DLC (ダイヤモンドライクカーボン) 膜を海洋環境中での使用に耐えるようにすること、である。

3. 研究の方法

(1) 炭素鋼 (S45C) に、シリコン (Si) 粉末とハイス (HSS) の混合粉末により摩擦改質処理を施し、主に耐摩耗性を付与する。さらに、亜鉛 (Zn) ピンにて摩擦攪拌処理を行ない、犠牲防食作用を付与する。このようにして作成した試験片に対して、人工海水への浸漬試験から耐食性を調べ、また往復動摩擦試験により耐摩耗性を調べる。

(2) 代表的な耐食材料であるステンレス鋼 (SUS304) にシリコン (Si) 粉末とハイス (HSS) の混合粉末により摩擦改質処理を施し、その表面の性状 (組織変化、表面硬さ) を調べるとともに、無潤滑下、油潤滑下、および人工海水中的摩擦・摩耗特性を調べる。

(3) クロムモリブデン鋼 (SCM435) およびステンレス鋼 (SUS304) に、DLC 膜を PVD 法により被覆し、主に海水中における DLC 膜の耐摩耗性を調べる。またその耐摩耗性の向上を狙って、Zn を種々の方法により試験片上あるいは相手材などに付与し、その効果を調べる。

4. 研究成果

(1) 改質された炭素鋼の耐食性と耐摩耗性
改質された炭素鋼表面は、Si が攪拌被覆された層 (基材に比べて硬化した層) HSS 埋入部、および Zn 被覆層が混在する。

浸漬腐食試験から、改質材の人工海水に対する耐食性は向上し、2 週間にわたる浸漬では鋼特有の赤錆の発生は見られない。これは、Zn の犠牲防食作用が機能したためである。

改質材の耐摩耗性を調べるために、人工海水中にはマルテンサイト系ステンレス鋼 (SUS440C、Hv660) を相手材とし、また無潤滑および油潤滑中では軸受鋼 (SUJ2、Hv760) を相手材として、共に点接触形態の往復動試験を行った。耐摩耗性を比較するための基準材料として、人工海水中には SUS304 を、また無潤滑と油 (油圧作動油) 潤滑中では S45C 高周波焼入れ材 (Hv650~750) を用いた。図 1 は、各摩擦環境に対する摩耗試験の結果を、摩耗体積比 (対象とする材料の比摩耗量を基準材料の比摩耗量で除した値) で表示した結果である。これより、改質材の摩耗体積比は、いずれも 1 より小さく、無潤滑と油潤滑では焼入硬化された S45C よりも耐摩耗性が向上していること、また人工海水中には SUS304 に比べて著しく耐摩耗性が改善されることを示している。

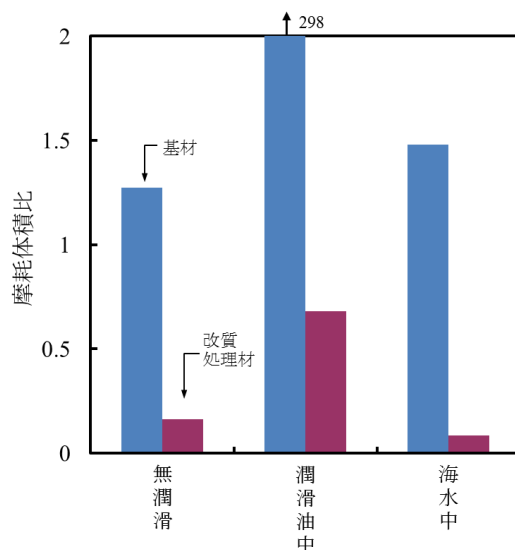


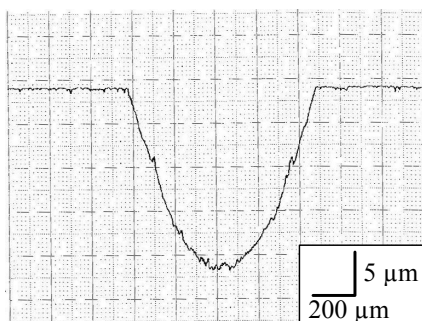
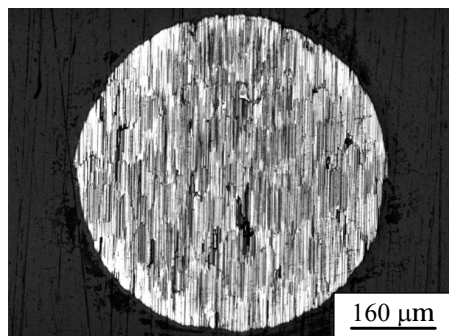
図 1 摩耗体積比 (基準材料の比摩耗量に対する比)

無潤滑: S45C 焼入れ材の比摩耗量に対する比
潤滑油中: 同上, 油圧作動油中
海水中: SUS304 の比摩耗量に対する比

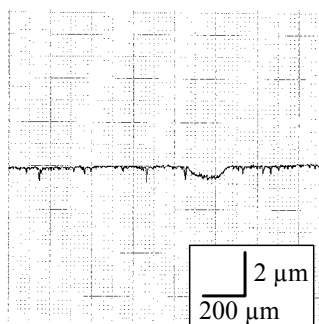
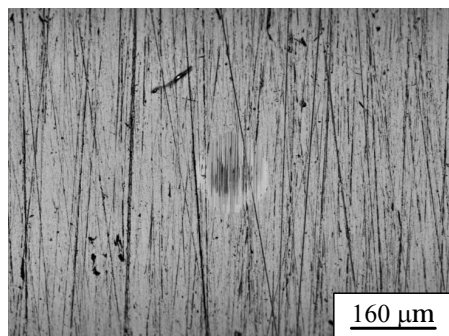
(2) ステンレス鋼 (SUS304) に、Si と HSS の混合粉末による摩擦改質を施し、さらにその上にリン青銅ピンによる、摩擦攪拌を施した。この摩擦改質材を、SUS440C を相手材として、無潤滑、油潤滑および人工海水の中で往復動摩擦試験を行った。その結果、無潤滑と油潤滑では摩擦係数に改質による効果はないこと、一方、人工海水中には改質による摩擦係数低減があることがわかった。また、無潤滑と油潤滑では、改質による摩耗低減効果は顕著ではないのに対し、人工海水中には改質材の耐摩耗性は向上し、摩耗量は SUS304 基材 (未

改質材)の約1/4に低減することが明らかとなった。

(3) DLC 膜の海水中における耐摩耗性、特に耐フレッチング摩耗特性を調べ、その改善を試みた。その結果、DLC 膜の寿命は相手材の影響が大きく、セラミックスなどの硬質材よりもリン青銅のような比較的軟質な材料の方が良いことを明らかにした(図2)。



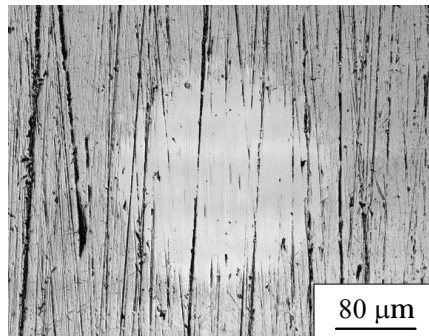
(a) 相手材: Al_2O_3



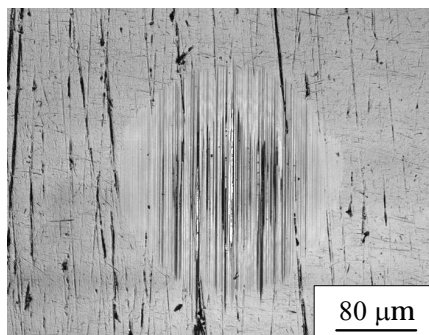
(b) 相手材: リン青銅

図2 DLC 膜のフレッチングに及ぼす相手材の影響

後者に関しては、そのメカニズムを EPMA 分析、腐食電位測定などを行うことにより調べた。その結果、人工海水中で溶け出した Zn イオンが摩擦面に酸化物あるいは水酸化物として付着し、それが潤滑作用をする可能性があることを明らかにした。また、Zn の効果は実海水中においても顕著に表れることを確認し、この技術の実用化への可能性を示した(図3)。



(a) 実海水中



(b) 人工海水中

図3 実海水中における DLC 膜の損傷に及ぼす Zn の効果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

志摩政幸、黄 童林、根田康弘、菅原隆志、地引達弘、SUS304 鋼に被覆された DLC 膜のフレッチング摩耗 - 海水中における摩耗特性とその改善、日本マリンエンジニアリング学会誌、査読有、49 巻 2 号、2014、98 - 105

志摩政幸、菅原隆志、根田康弘、秋田秀樹、地引達弘、炭素鋼の耐食・耐摩耗性改善に関する基礎研究、日本マリンエンジニアリング学会誌、査読有、48 巻 2 号、2013、112 - 118

志摩政幸、根田康弘、菅原隆志、伊藤聡史、地引達弘、Cr-Mo 鋼に被覆された DLC 膜の海水中における耐摩耗性改善、日本マリンエンジニアリング学会誌、査

読有、47巻2号、2012、139 - 146

〔学会発表〕(計3件)

黄 童林、SUS304 に被覆された DLC の海中におけるフレッチング摩耗特性、日本マリンエンジニアリング学会、2013年9月3日、グランシップ静岡

根田康弘、炭素鋼の耐食・耐摩耗性向上の試み、日本マリンエンジニアリング学会、2012年9月21日、サンポートホール高松

黄 童林、SUS304 に被覆された DLC 膜のフレッチングとその耐摩耗性改善、日本トライボロジー学会、2012年9月16日、室蘭

〔産業財産権〕

出願状況(計4件)

名称：炭素鋼の表面改質方法
発明者：志摩政幸、菅原隆志、他2名
権利者：国立大学法人東京海洋大学・日立建機(株)

種類：特許

番号：特願 2012 - 174839

出願年月日：2012年8月7日

国内外の別：国内

名称：被覆方法及び装置、並びに被覆部材
発明者：秋田秀樹、志摩政幸、他4名
権利者：日立建機(株)・国立大学法人東京海洋大学

種類：特許

番号：特願 2012 - 176357

出願年月日：2012年8月8日

国内外の別：国内

名称：炭素鋼の表面改質方法
発明者：志摩政幸、菅原隆志、他2名
権利者：国立大学法人東京海洋大学・日立建機(株)

種類：特許

番号：PCT/JP2013/071294

出願年月日：2013年7月31日

国内外の別：外国

名称：被覆方法及び装置、並びに被覆部材
発明者：秋田秀樹、志摩政幸、他4名
権利者：日立建機(株)・国立大学法人東京海洋大学

種類：特許

番号：PCT/JP2013/070940

出願年月日：2013年8月1日

国内外の別：外国

〔その他〕

ホームページ等

<http://www2.kaiyodai.ac.jp/~jibiki/ouriki/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

志摩 政幸 (SHIMA, Masayuki)
東京海洋大学・大学院海洋科学技術研究科・教授
研究者番号：70092583

(2) 研究分担者

地引 達弘 (JIBIKI, Tatsuhiko)
東京海洋大学・大学院海洋科学技術研究科・教授
研究者番号：40322094

菅原 隆志 (SUGAWARA, Takashi)
東京海洋大学・大学院海洋科学技術研究科・助手
研究者番号：90456319

(3) 研究協力者

根田 康弘 (KONDA, Yasuhiro) 及び 黄 童林 (KOU, Dorin)
東京海洋大学・大学院海洋システム工学専攻学生