

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 27 日現在

機関番号：32607

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420083

研究課題名(和文)人工関節摩擦部分からの金属イオン溶出のメカニズムの解明とその予防指針の策定

研究課題名(英文) Design of the guideline of the prevention of ion release from the frictional surface with the micro motion in a joint prosthesis by the clarification of fretting corrosion mechanism.

研究代表者

馬淵 清資 (Kyoshi, Mabuchi)

北里大学・医療衛生学部・名誉教授

研究者番号：70118842

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)：人工股関節材料として一般に用いられているコバルトクロム(CoCr)合金は、表面の不動態被膜が耐食性を支えている。その不動態膜は、骨頭と頸部のテーパ結合部分では、金属同士の接触面におけるフレットングと呼ばれる微小振幅の摩擦により損傷しやすいと考えられている。不動態被膜の損傷、その後続く再形成に対して、摩擦ストロークの違いはどのように影響しているかを明らかにするため、本研究では、CoCr合金同士の往復動摩擦実験において、電気化学計測を行った。その結果、摩擦に伴う腐食電位の低下は、ストロークが短いほど、損傷度が大きい傾向があり、また、損傷の回復が遅い傾向があることがわかった。

研究成果の概要(英文)：A hip prosthesis is designed to be modular, so that there is an interface of two solids where they contact, e.g., the bearing surface consists of a liner and the femoral head or the taper junction between a femoral stem and a head ball. Recently, it has been reported that release of metal ions from these interfaces caused the serious adverse reactions in the patients' body. The main mechanism was supposed the fretting corrosion. The present study aimed to investigate the effects of friction stroke length under reciprocating motion on damage and restoration of the passive film on the interface of contacting flat surfaces of CoCr alloy. As the results of electrical sensing of ion release from the metal surfaces, friction with short strokes can cause damage to the passive film with plastic deformation. Friction with long stroke shortens the restoration time because of mechanical activation of the surface.

研究分野：医用機械工学

キーワード：人工股関節 微動摩擦 不動態被膜 摩擦試験 腐食電位 摩擦ストローク

1. 研究開始当初の背景

人工関節の構造材料として用いられてきたコバルトクロム合金やチタン合金には、高い耐食性があり、60年に及ぶ人工関節の歴史において、金属イオンの溶出が大きな問題となることは希であった。しかし、近年、ポリエチレン対金属の摩擦面に代わって導入された金属同士の摩擦面を有する人工股関節において、高頻度で異常な生体反応が発生し、その原因が、金属イオンの溶出と推定されていた。耐食性の喪失は、摩擦に伴う金属表面の不動態膜の破壊のためと考えられることから、トライボロジーの観点からの対策が急務となっている。

2. 研究の目的

本研究課題では、金属同士の骨頭臼蓋間のみならず、骨頭と頸部の間のはめ合い接合部の微動摩擦耗について、不動態膜の破損のメカニズムを明らかにし、金属イオンの溶出を防ぐための設計基準の策定を目指した。

人工股関節の材料としてコバルトクロム (CoCr) 合金がある。表面に形成された不動態被膜は耐食性に寄与している。これは非常に薄いため低い剪断応力でも容易に損傷される。その結果、損傷部位は基材合金が露出し金属イオンが溶出する。しかし周囲環境との反応により不動態被膜は再形成される性質がある。テーパー結合は金属同士の接触面になっている。そのためフレッシングと呼ばれる微小振幅の摩擦が発生し、不動態被膜を損傷するのではないかと考えられている。一方、ベアリング面は関節の動作のためテーパー結合で予想されるよりも長いストロークの摩擦にさらされていることは明白である。しかし抜去したヘッドにテーパー結合で報告されたような変色は確認されない。不動態被膜の損傷、その後続く再形成に対して、摩擦ストロークの違いはどのように影響しているかは明確ではない。

こうした種々の摩擦条件下での、不動態膜の挙動を観察するために、本研究課題では、電気化学的手法による CoCr 合金の電位の測定を行い、不動態被膜の損傷と再形成を観察した。ピンオンフラット摩擦試験機を用いて CoCr 合金同士の往復運動による摩擦を行う際に概略的に摩擦ストローク長さを幅広く

(1 から 20 mm) 設定した。また表面の構造や化学組成の分析の必要性が示唆された。フレッシングは微小な摩擦現象であり、過去の報告では 100 μm 程度のストローク長さを設定しているものもある。本研究では摩擦試験機を変更し、前章よりも微小なストローク長さを設定可能にした。摩擦前後を通して試料合金の電位の測定による不動態被膜の挙動の観察を行なった。摩擦の後は電子顕微鏡による表面の観察を行い、CoCr 合金不動態被膜の損傷、再形成と組成に対する微小摩擦ストローク長さの影響を調べることを目的とした。

3. 研究の方法

CoCr 合金 (ASTM F75 - 07, 奈良精工, 奈良) ピンと同素材ディスクを用いた (図 1)。それらの摩擦面を SiC 耐水研磨紙 (三共理化学, 埼玉) で粒度 #600, 800, 1000, 1500 の順に研磨した。さらに 15 μm ダイヤモンド懸濁液 (丸本ストルアス, 東京) と絹製琢磨布 (丸本ストルアス, 東京) でバフ研磨し鏡面仕上げとした。ピンに導線を巻き付け導電性接着剤 (藤倉化成, 東京) で接着した。ピンとディスクの摩擦面以外を絶縁するためカプトン®テープ (寺岡製作所, 東京, 厚さ 0.05 mm) で覆った。蒸留水で 5 min 超

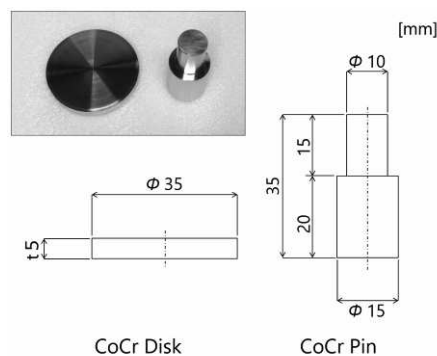


図 1 試料寸法および形状

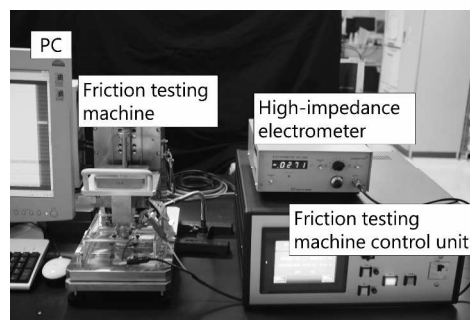
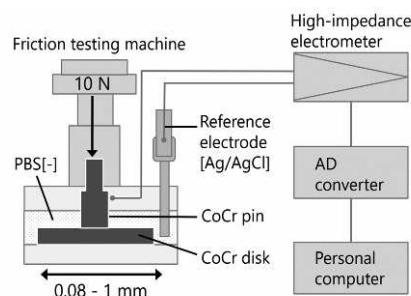


図 2 微動摩擦試験機と電位計測装置で構成した試験装置

音波洗浄しアセトンで仕上げた。

試料を摩擦試験機 (米倉製作所, 大阪, 図 2) にて摩擦した。ピンは摩擦試験機のピンホルダーに固定した。ディスクは PBS[-] 200 ml で満たした容器の中央に固定した。ピンは荷重 10 N を加えたまま、ディスクに垂直に接触させ 30 min 静止させた。続いて固定したピンに対して、ディスク側を PBS[-] で満たした容器ごと往復運動させ 30 min 摩擦した。

摩擦の往復ストロークは0.08 mmから1 mmとした。摩擦終了後は荷重をかけたまま再び30 min 静止させた。90 min 間のピンの電位変化をAg/AgCl参照電極 (RE-1C; BAS, 東京) とハイインピーダンスエレクトロメータ (HE-104A; 北斗電工, 東京) で測定した。測定は各摩擦ストロークで6回行った。摩擦と電位測定は全て大気開放, 室温 (約 25 °C) のリン酸緩衝液中で行った。

①電位変化の解析 摩擦直前の安定した電位 E_{corr} と摩擦後の低下した電位 V_1 との差 ΔV を求め, 不動態被膜の損傷の指標とした。

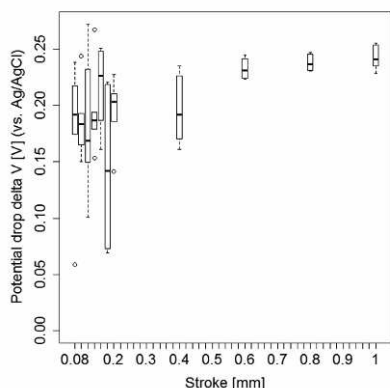


図3 各摩擦ストローク長さにおける電位低下 ΔV .

また摩擦停止時の電位から摩擦直前の安定した電位の63%まで回復する時間 τ を求め, 不動態被膜の再形成の指標とした。

②試料表面の観察 電界放射型走査電子顕微鏡 (SEM, JSM-7001F; 日本電子, 東京) で摩擦後のディスク表面を観察し, エネルギー分散型 X 線分析 (EDX) で存在する元素を同定した。

4. 研究成果

(1) 電位低下 確認した全ての摩擦ストローク長さにおいて摩擦に伴う電位の低下と摩擦停止後の電位の上昇が見られた (図3)。0.08 から 0.2 mm の範囲の結果は最大値, 最小値, 中央値のばらつきが目立ち, 摩擦ストローク長さと ΔV に明確な関係は確認されなかった。外れ値は比較的短い摩擦ストロークである 0.08, 0.1, 0.14, 0.2 mm で見られた。一方, 0.6 から 1 mm の比較的長い摩擦ストロークでは, 値のばらつきも小さくなった。中央値に着目すると摩擦ストロークと比例してわずかに大きくなる傾向が見られた。

(2) 不動態膜回復速度 各摩擦ストローク長さにおける回復速度の時定数 τ は, 0.12 mm のときに最大だった (図4)。外れ値は摩擦ストローク 0.08, 0.14, 0.16, 1 mm で確認された。摩擦ストローク長さと τ の明確な比例関係は確認されなかったが, 摩擦ストロークが短い方が中央値も高く現れていた。摩擦ストロークが長くなるにつれ, τ は低い値となり, ばらつきは小さくなる傾向が見られた。

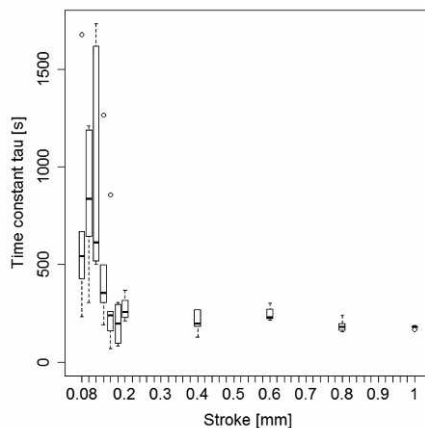


図4 各摩擦ストローク長さにおける回復速度の時定数 τ .

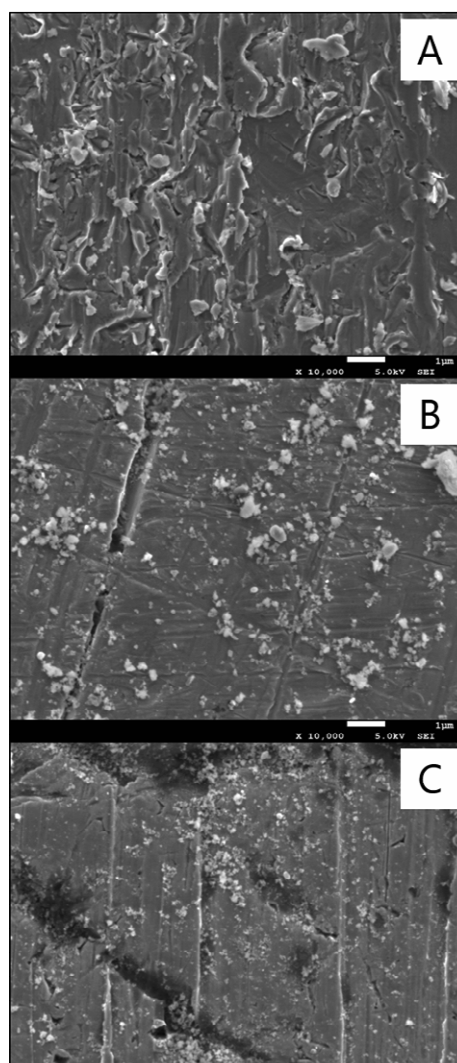


図5 摩擦後のディスク表面の二次電子像. A: 摩擦ストローク 0.08 mm, B: 0.18 mm, C: 1 mm.

(3) 試料表面観察 摩擦後のディスク表面の二次電子像によると, 摩擦ストローク 0.08 mm ではランダムによじれたような塑性変形が確認された (図5A)。付着物はほとんど確

認められなかった。また摩擦ストローク 0.18 mm ではよじれた塑性変形は確認されなかったが微粒子状の付着物が全体に確認された (図 5B)。摩擦ストローク 1 mm のときは直線状の塑性変形が確認された (図 5C)。ストロークが 0.18 mm のときの画像と同様に付着物が全体に確認された。付着物は平坦な無傷の表面に存在するのではなく、摩擦実験前の試料調整における研磨の際にわずかに残った研磨痕や実験で生じた塑性変形のような平坦でない部分に多く付着していることが確認された。

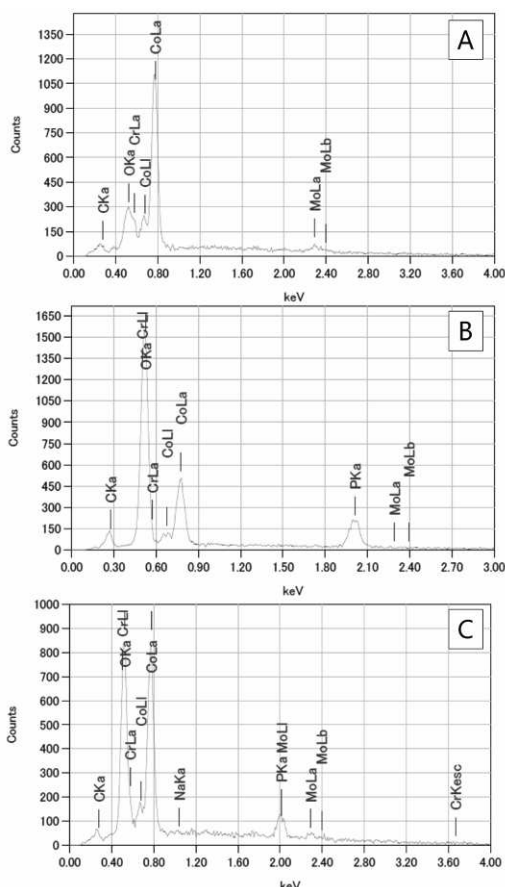


図 6 摩擦後のディスク表面の EDX スペクトラム。A: ストローク長さ 0.08 mm, B: 0.18 mm, C: 1 mm。

(4) 試料表面元素の同定 EDX スペクトラムの解析により、摩擦ストローク 0.08 mm に見られたよじれた摩擦痕には Co, Cr, Mo, O の存在が確認された (図 6A)。一方 0.18 mm で見られた付着物は大部分が P であった (図 6B)。また、1 mm で見られた微粒子は、Co, Cr, Mo, O, C のほか、Na, P が存在していた (図 6C)。

短い摩擦ストロークにおいて、比較的小さな値の ΔV と SEM 像での表面の塑性変形が確認された。一方、長い摩擦ストロークにおいて ΔV の増加と SEM 像での線状の塑性変形が確認された。微小な摩擦ストローク下でも A_R を形成している凝着部を塑性変形し破断させることで不動態被膜を損傷させている

が、さらに摩擦ストロークが長くなると接線方向に破断する凝着部の個数を増加させ、不動態被膜の損傷領域を拡大していると考えられる。これは次に述べる不動態被膜の回復時間を示す τ の結果にも影響していると思われる。

本研究では人工股関節の材料である CoCr 合金同士の往復動摩擦実験と表面分析を行った。その結果、調べた全ての摩擦ストロークで不動態被膜の損傷と再形成が生じることが確認された。摩擦ストローク長さで不動態被膜の損傷はやや比例傾向にあった。この損傷の機序は、真実接触面積を形成する微小な凝着の塑性変形と滑りによる破断、すなわち凝着摩耗と考えられた。一方、摩擦ストローク長さが短いと不動態被膜の再形成速度は遅い傾向にあった。再形成の機序は不動態被膜の破断による新生面の露出がもたらす化学活性と考えられた。これらの結果は、人工股関節のモジュラーのデザインや表面加工精度の改善により凝着摩耗を抑制することで、不動態被膜を維持し腐食を遅らせ、インプラントとしての寿命を向上させたり生体の有害反応の誘発を減少させたりできる可能性を示唆していた。

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 8 件)

- (1) Mika HONNA, Kiyoshi MABUCHI, Kazuhiro YOSHIDA, Rina SAKAI, Masanobu UJIHIRA: Effect of friction stroke length on damage and restoration of the passive film of cobalt chromium alloy. *The Kitasato Medical Journal*, 査読有, Vol. 47, No.1, 2017, pp. 10-16.
- (2) Kiyoshi MABUCHI, Rina SAKAI, Mika HONNA, Masanobu UJIHIRA: Ig Nobel Prize-winning episode: Trip from a slip on a banana peel to the mysterious world of mucus. *Biosurface and Biotribology*, 査読有, Vol.2, 2016, pp. 81-85.
- (3) 酒井利奈, 内野正隆, 伊藤大器, 田中健誠, 中尾将輝, 本名 美佳, 山田 拓哉, 占部憲, 五味勉, 馬淵清資: 上腕骨近位部骨折に対する逆行性髓内釘の固定性評価。バイオメカニズム学会誌, 査読有, Vol.40, No.2, 2016, pp. 131-136.
- (4) 酒井利奈, 内野正隆, 伊藤大器, 田中健誠, 中尾将輝, 占部憲, 馬淵清資: 上腕骨近位端部骨折に対する内固定法の比較。骨折, 査読有, Vol.38, No.1, 2016, pp. 210-214.
- (5) 馬淵清資, 酒井利奈, 氏平政伸: 脳動脈瘤破裂予防処置の適応判定パラメータ。臨床バイオメカニクス, 査読有, Vol. 35, 2014, pp. 331-336.
- (6) Rina SAKAI, Takeaki YAMAMOTO, Katsufumi UCHIYAMA, Kentaro UCHIDA,

Masaki NAKAO, Kiyoshi MABUCHI:
Correlation between the Bone Mineral Density
and Stress on Femur around a Duetto SI Stem.
The Scientific World Journal, 査読有, Vol.
2014, Article ID 786185.
<http://dx.doi.org/10.1155/2014/786185>.

- (7) Rina SAKAI, Terumasa MATSUURA,
Kensei TANAKA, Kentaro UCHIDA, Masaki
NAKAO, Kiyoshi MABUCHI: Comparison of
internal fixations for distal clavicular fractures
based on loading tests and finite element
analyses. The Scientific World Journal, 査読有
Vol. 2014, Article ID 817321, 6 pages.
<http://dx.doi.org/10.1155/2014/817321>.

〔学会発表〕(計 59 件)

- (1) 中野雅也, 酒井利奈, 小島千裕, 馬淵清
資, 吉田和弘, 氏平政伸: 後方支持型人工
膝関節のポストに対する圧力測定と有限要
素解析の実証. 第 47 回日本人工関節学会,
沖縄コンベンションセンター, 宜野湾市,
沖縄県 2017.2.24.
- (2) 小島千裕, 酒井利奈, 福島健介, 中尾将
輝, 中野雅也, 高平尚伸, 内山勝文, 森谷
光俊, 馬淵清資, 吉田和弘, 氏平政伸: 人
工股関節寛骨臼側カップの形状による回旋
安定性の比較. 日本機械学会 第 29 回バイ
オエンジニアリング講演会, ウィンク愛知,
名古屋市, 愛知県, 2017.1.20.
- (3) 中野雅也, 酒井利奈, 小島千裕, 馬淵清
資, 吉田和弘, 氏平政伸: 有限要素解析と
圧力測定による後方支持型人工膝関節ポ
ストの圧力分布の比較. 日本機械学会 第 29
回バイオエンジニアリング講演会, ウィン
ク愛知, 名古屋市, 愛知県, 2017.1.20.
- (4) 馬淵清資: 科学技術の目指すべき方向性
ーバナナの皮から医療機器までー. 第 16 回
日本医工ものづくりコモンズシンポジウム
特別講演, 東京工科大学蒲田キャンパス, 東
京都, 2016.11.26.
- (5) 馬淵清資: バナナの皮から慮る科学技術
の方向性. 第 43 回日本体外循環技術医学会
特別講演, タワーホール船堀, 東京都,
2016.10.22.
- (6) 本名美佳, 氏平政伸, 馬淵清資: 人工股
関節材料合金の腐食に対する摩擦ストロ
ークの影響. 第 43 回日本臨床バイオメカニ
クス学会, 道民活動センター, 札幌市, 北海
道, 2016.10.8.
- (7) 中尾将輝, 内田健太郎, 酒井利奈, 馬淵
清資, 氏平政伸: インプラント界面におけ
る定常力学刺激が骨組織に与える影響. 第
43 回日本臨床バイオメカニクス学会, 道民
活動センター, 札幌市, 北海道, 2016.10.8.
- (8) 馬淵清資: 関節の滑りからバナナの滑り,
そして生命科学へ. 第 14 回姿勢と歩行研究
会特別講演, 興和株式会社東京支店大ホ
ール, 東京都, 2016.3.12.
- (9) 馬淵清資: 科学が拓げる精神世界. 平成
27 年度理化学研究所研究員総会「研究の原

点」特別講演, 理化学研究所, 和光市, 埼
玉県, 2016.2.23

- (10) 馬淵清資: 粘液の科学 - 生命現象とし
ての摩擦と潤滑 - 第 16 回神奈川性感染症学
会特別講演, 横浜情報文化センター, 横浜
市, 神奈川県, 2016.2.13.
- (11) Kiyoshi MABUCHI, Rina SAKAI: Limit of
engineering in joint prostheses. International
Symposium on Artificial Hydrogel Cartilage,
Joint Replacement and Related Topics (ISAHC
2016), Kyusyu University Ito Campus, Fukuoka,
Fukuoka, 2016.1.26.
- (12) 田中健誠, 中野雅也, 酒井利奈, 馬淵清
資: PS 型人工膝関節のポストの塑性設計を
目的とした力学試験と応力解析. 日本機械
学会バイオエンジニアリング講演会, 東京
工業大学大岡山キャンパス, 東京都,
2016.1.9.
- (13) 中尾将輝, 福島健介, 内山勝文, 酒井利
奈, 馬淵清資: 3 種類の人工関節セメント
レスカップにおける固定性の評価. 日本機
械学会バイオエンジニアリング講演会, 東
京工業大学大岡山キャンパス, 東京都,
2016.1.9.
- (14) Kiyoshi MABUCHI: Science Outspread
from the Tribology on a Banana Peel.
SmaSys2015, Yamagata University Yonezawa
Campus, Yonezawa, Yamagata, 2015.10.9.
- (15) Kensei TANAKA, Rina SAKAI, Kiyoshi
MABUCHI: Finite Element Analysis for Plastic
Design for the Tibial Post of a PS Knee
Prosthesis. ISTA 2015, Vienna, Austria
2015.10.1.
- (16) Masaki NAKAO, Kentarou UCHIDA, Rina
SAKAI, Kouji NARUSE, Masashi TAKASO,
Kiyoshi MABUCHI: Response of Bone on
Stationary Load From the Inplant. ISTA 2015,
Vienna, Austria, 2015.10.1.
- (17) Mika HONNA, Kiyoshi MABUCHI: Effect
of Sliding Amplitude of the Reciprocating
Micromotion on a Passive Film of Cobalt
Chromium Alloy. ISTA 2015, Vienna, Austria,
2015.10.1.
- (18) Masaki NAKAO, Kentarou UCHIDA, Rina
SAKAI, Kiyoshi MABUCHI: Response of bone
on stationary load from the implant. The 8th
International Biotribology Forum and The 36th
Biotribology Symposium, Yokohama Symposia,
Yokohama, Kanagawa, 2015.9.22.
- (19) Kensei TANAKA, Rina SAKAI, Kiyoshi
MABUCHI: Finite element analysis of the tibial
post in posterior stabilized knee prosthesis. The
8th International Biotribology Forum and The
36th Biotribology Symposium, Yokohama
Symposia, Yokohama, Kanagawa, 2015.9.22.
- (20) Mika HONNA, Kiyoshi MABUCHI: Effect
of friction displacement on a passive film of
cobalt chromium alloy. The 8th International
Biotribology Forum and The 36th Biotribology
Symposium, Yokohama Symposia, Yokohama,

- Kanagawa, 2015.9.22.
- (21) Kiyoshi MABUCHI, Rina SAKAI: A fantasy of an Ig Nobel prize winner -From the tribology on banana peels to a mystery of organics-. The 8th International Biotribology Forum and The 36th Biotribology Symposium, Yokohama Symposia, Yokohama, Kanagawa, 2015.9.21.
- (22) 馬淵清資: 滑る. トライボロジー会議 2015 春 特別講演, 姫路商工会議所, 姫路市, 兵庫県, 2015.5.28.
- (23) 馬淵清資, 酒井利奈: 粘液の潤滑効果に及ぼす荷重条件の影響, トライボロジー会議 2015 春, 姫路商工会議所, 姫路市, 兵庫県, 2015.5.28.
- (24) 馬淵清資: 人工関節の 40 年, 第 155 回科学技術者フォーラム, 品川区立総合区民会館, 東京都, 2015.5.16.
- (25) 本名美佳, 馬淵清資: Co Cr 合金の不動態被膜の挙動に対する摩擦距離の影響. 第 35 回バイオトライボロジシンポジウム, 九州大学西新プラザ, 福岡市, 福岡県, 2015.3.14.
- (26) 馬淵清資, 酒井利奈: 粘液潤滑滑下の摩擦に及ぼす荷重条件の影響. 第 35 回バイオトライボロジシンポジウム, 九州大学西新プラザ, 福岡市, 福岡県, 2015.3.14.
- (27) 川村紗織, 三澤有輝, 成瀬康治, 馬淵清資: 実験的変性関節に対する人工滑液添加の潤滑効果. 第 27 回バイオエンジニアリング講演会, 新潟コンベンションセンター, 新潟市, 新潟県, 2015.1.9.
- (28) 平悠也, 田中健誠, 長谷川航, 酒井利奈, 馬淵清資: PS 型人工膝関節のポスの塑性設計を目的とした有限要素解析. 第 27 回バイオエンジニアリング講演会, 新潟コンベンションセンター, 新潟市, 新潟県, 2015.1.9.
- (29) 長谷川航, 酒井利奈, 馬淵清資: セメントレス人工股関節ステム固定部における応力分布の不安定性. 第 27 回バイオエンジニアリング講演会, 新潟コンベンションセンター, 新潟市, 新潟県, 2015.1.9.
- (30) 中尾将輝, 酒井利奈, 長谷川航, 馬淵清資: 髄腔形態と人工関節ステム周囲部における応力分布. 第 27 回バイオエンジニアリング講演会, 新潟コンベンションセンター, 新潟市, 新潟県, 2015.1.9.
- (31) 馬淵清資: 関節機能再建を目指す人工関節のトライボロジ. 第 24 回 MRS 年次大会シンポジウム H, 開港記念会館, 横浜市, 神奈川県, 2014.12.11.
- (32) 田中健誠, 長谷川航, 酒井利奈, 馬淵清資: PS 型人工膝関節におけるポスの塑性設計. 第 41 回臨床バイオメカニクス学会, 奈良県新公会堂, 奈良市, 奈良県, 2014.11.22.
- (33) 馬淵清資: 人工関節に求められる潤滑性と耐摩耗特性. TKA Revision Seminar, 東京サイエンスセンター, 川崎市, 神奈川県, 2014.11.8.
- (34) Kiyoshi MABUCHI, Kentarou UCHIDA, Taiki ITO, Keisuke SIMIZU, Masaki NAKAO, Kouji NARUSE, Rina SAKAI: Response of Bone Tissues on Stationary and Residual Stress Like as Presumed After the Press Fit Fixation of an Implant. The 27th Annual Congress of ISTA, Hotel Okura, Kyoto, Kyoto, 2014.9.27.
- (35) Mika HONNA, Tokiko OGAWA, Masafumi MORITA, Kiyoshi MABUCHI: Behavior of a Passive Film of Implant Metal Under Different Fretting Conditions. The 27th Annual Congress of ISTA, Kyoto, Kyoto, 2014.9.26.
- (36) Kensei TANAKA; Kou HASEGAWA, Rina SAKAI, Kiyoshi MABUCHI: Design Criterion of the Tibial Post of a Posterior-Stabilized Knee Prosthesis. The 27th Annual Congress of ISTA, Hotel Okura, Kyoto, Kyoto, 2014.9.26.
- (37) Masaki NAKAO, Kensuke FUKUOKA, Rina SAKAI, Naonobu TAKAHIRA, Katsufumi UCHIYAMA, Takeaki YAMAMOTO, Mitsutoshi MORIYA, Kiyoshi MABUCHI: Initial Fixation of a Finite Element Model of a Zweymuller-Type Stem Evaluated by Von Mises Stress. The 27th Annual Congress of ISTA, Hotel Okura, Kyoto, Kyoto, 2014.9.26.
- (38) Kiyoshi MABUCHI, Taiki ITO, Kentaro UCHIDA, Kouji NARUSE, Keisuke SHIMIZU, Masaki NAKAO, Rina SAKAI: Response of cortical bone on stationary mechanical stimulation, from within outward. International Union of Materials Research Societies-The15th IUMRS International Conference in Asia, Fukuoka University, Fukuoka, Fukuoka, 2014. 8.29.
- (39) Mika HONNA, Tokiko OGAWA, Masafumi MORITA, Kiyoshi MABUCHI: Behavior of the passive film of implant alloy under the sliding conditions. International Union of Materials Research Societies-The15th IUMRS International Conference in Asia, Fukuoka University, Fukuoka, Fukuoka, 2014. 8.29.
- (40) 本名美佳, 小川登紀子, 森田真史, 馬淵清資: 微小振幅往復動摩擦に起因する人工関節用金属材料の耐食性低下. 第 36 回バイオトライボロジ研究会, 富士教育研修所, 裾野市, 静岡県, 2014.8.9.
- (41) Kiyoshi MABUCHI, Yuuki Misawa, Mika HONNA, Masaki Nakao, Rina SAKAI: Role of mucus in the lubrication of synovial joints. 7th World Congress of Biomechanics, Boston, USA, 2014.7.7

6. 研究組織

(1) 研究代表者

馬淵 清資 (MABUCHI, Kiyoshi)
北里大学・医療衛生学部・名誉教授
研究者番号: 70118842