

図 11 に示めされるように、紫外線強度が増加するに従って、CLPE 表面に形成する MPC 層の厚さは増大した。この結果は前述の考察を支持しているといえる。

PMPC 処理 CLPE の機械的特性 (引張り破断強度・伸び) は、いずれの紫外線強度による処理においてもほぼ一定であった。それらの値は未処理の CLPE の機械的特性とほぼ同等であった。CLPE 表面の PMPC 層は、紫外線を用いた光開始グラフト重合法により形成されるが、この方法は基材となる CLPE の材料特性に影響を与えないことが分かった。

E. 結論

紫外線強度の制御により表面にグラフトされる PMPC 層が制御できた。紫外線強度 $3.5 \sim 7.5 \text{ mW/cm}^2$ において、高密度な PMPC 層で覆われた CLPE 表面の調製ができた。これにより、安定性と耐摩耗性に優れ、高齢者の寝たきり予防に有効な革新的人工関節を実用化することができる。

F. 健康危険情報

特になし。

G. 研究発表

1. Kyomoto M, Moro T, Takatori Y, Kawaguchi H, Ishihara K: Cartilage-mimicking, high-density brush structure improves wear resistance of crosslinked polyethylene: a pilot study. *Clin Orthop Relat Res* (in press).
2. Kim H, Ishihara K, Lee S, Kim HY, Suh D, Kim MU, Seo JS: Tissue response to poly(L-lactic acid)-based blend with phospholipid polymer for biodegradable cardiovascular stents. *Biomaterials* 32: 2241-7, 2011.
3. Ishiyama N, Moro T, Ohe T, Miura T, Ishihara K, Konno T, Ohyama T, Yoshikawa M, Kyomoto M, Saito T, Nakamura K, Kawaguchi H: Reduction of peritendinous adhesions by hydrogel containing biocompatible phospholipid polymer MPC for tendon repair. *J Bone Joint Surg Am* 93: 142-9, 2011.
4. Jingushi S, Ohfuji S, Sofue M, Hirota Y, Itoman M, Matsumoto T, Hamada Y, Shindo H, Takatori Y, Yamada H, Yasunaga Y, Ito H, Mori S, Owan I, Fujii G, Ohashi H, Iwamoto Y, Miyanishi K, Iga T, Takahira N, Sugimori T, Sugiyama H, Okano K, Karita T, Ando K, Hamaki T, Hirayama T, Iwata K, Nakasone S, Matsuura M, Mawatari T: Osteoarthritis hip joints in Japan: involvement of acetabular dysplasia. *J Orthop Sci* 16: 156-64, 2011.
5. Takatori Y, Ito K, Sofue M, Hirota Y, Itoman M, Matsumoto T, Hamada Y, Shindo H, Yamada H, Yasunaga Y, Ito H, Mori S, Owan I, Fujii G, Ohashi H, Mawatari T, Iga T, Takahira N, Sugimori T, Sugiyama H, Okano K, Karita T, Ando K, Hamaki T, Hirayama T, Iwata K, Matsuura M, Jingushi S: Analysis of interobserver reliability for radiographic staging of coxarthrosis and indexes of acetabular

- dysplasia: a preliminary study. *J Orthop Sci* 15: 14-9, 2010.
6. Jingushi S, Ohfuji S, Sofue M, Hirota Y, Itoman M, Matsumoto T, Hamada Y, Shindo H, Takatori Y, Yamada H, Yasunaga Y, Ito H, Mori S, Owan I, Fujii G, Ohashi H, Iwamoto Y, Miyanishi K, Iga T, Takahira N, Sugimori T, Sugiyama H, Okano K, Karita T, Ando K, Hamaki T, Hirayama T, Iwata K, Nakasone S, Matsuura M, Mawatari T: Multiinstitutional epidemiological study regarding osteoarthritis of the hip in Japan. *J Orthop Sci* 15: 626-31, 2010.
 7. Kyomoto K, Moro T, Iwasaki Y, Miyaji F, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, Ishihara K: Lubricity and stability of poly(2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine) polymer layer on Co-Cr-Mo surface for hemi-arthroplasty to prevent degeneration of articular cartilage. *Biomaterials* 31: 658-68, 2010.
 8. Kyomoto M, Moro T, Takatori Y, Kawaguchi H, Nakamura K, Ishihara K: Self-initiated surface grafting with poly(2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine) on poly(ether-ether-ketone). *Biomaterials* 31: 1017-24, 2010.
 9. Liu G, Iwata K, Ogasawara T, Watanabe J, Fukazawa K, Ishihara K, Asawa Y, Fujihara Y, Chung UI, Moro T, Takatori Y, Takato T, Nakamura K, Kawaguchi H, Hoshi K: Selection of highly osteogenic and chondrogenic cells from bone marrow stromal cells in biocompatible polymer-coated plates. *J Biomed Mater Res A* 92: 1273-82, 2010.
 10. Ishiyama N, Moro T, Ishihara K, Ohe T, Miura T, Konno T, Ohyama T, Kimura M, Kyomoto M, Nakamura K, Kawaguchi H: The prevention of peritendinous adhesions by a phospholipid polymer hydrogel formed in situ by spontaneous intermolecular interactions. *Biomaterials* 31: 4009-16, 2010.
 11. Moro T, Takatori Y, Kyomoto M, Ishihara K, Saiga KI, Nakamura K, Kawaguchi H: Surface grafting of biocompatible phospholipid polymer MPC provides wear resistance of tibial polyethylene insert in artificial knee joints. *Osteoarthritis Cartilage* 18: 1174-82, 2010.
 12. Goda T, Goto Y, Ishihara K: Cell-penetrating macromolecules: direct penetration of amphipatic phospholipid polymers across plasma membrane of living cells. *Biomaterials* 31: 2380-7, 2010.
 13. Shimizu T, Goda T, Takai M, Ishihara K: Super-hydrophilic silicone hydrogels with interpenetrating poly(2-methacryloyloxyethyl

- phosphorylcholine) networks. *Biomaterials* 31: 3274-80, 2010.
14. Xu Y, Jang K, Konno T, Ishihara K, Mawatari K, Kitamori T: The biological performance of cell-containing phospholipid polymer hydrogels in bulk and microscale form. *Biomaterials* 31: 8839-46, 2010.
 15. Ukawa M, Akita H, Masuda T, Hayashi Y, Konno T, Ishihara K, Harashima H: 2-Methacryloyloxyethyl phosphorylcholine polymer (MPC)-coating improves the transfection activity of GALA-modified lipid nanoparticles by assisting the cellular uptake and intracellular dissociation of plasmid DNA in primary hepatocytes. *Biomaterials* 31: 6355-62, 2010.
 16. Ye SH, Johnson CA, Woolley JR, Murata H, Gamblee LJ, Ishihara K, Wagner WR: Simple surface modification of a titanium alloy with silanated zwitterionic phosphorylcholine or sulfobetaine modifiers to reduce thrombogenicity. *Colloids and Surfaces B Biointerfaces* 79: 357-64, 2010.
 17. Ishihara K, Kyomoto M: Photo-induced Functionalization on Biomaterials Surfaces. *J Photopolym Sci Technol* 23: 161-6, 2010.
 18. Ishihara K, Goto G, Matsuno R, Inoue Y, Konno T: Novel polymer biomaterials and interfaces inspired from cell membrane functions. *Biochim Biophys Acta-General* 1810: 268-75, 2010.
 19. 石原一彦、井上祐貴、松野亮介: 細胞膜模倣ポリマーマテリアルのナノバイオ機能. *膜* 35: 217-23, 2010.
2. 学会発表
- ① 国内学会
1. 石原一彦、松野亮介、井上祐貴: 細胞膜模倣ポリマーマテリアルのナノバイオ機能. 日本膜学会第32年会. 2010. 5. 13-14 (東京)
 2. 立石崇晴, 京本政之, 石原一彦: 自己開始光グラフト重合による poly(ether-ether-ketone) (PEEK) の表面改質. 第59回高分子学会年次大会. 2010. 5. 26-28 (横浜)
 3. 赤坂義之, 高取吉雄, 荻田達郎, 伊藤英也, 茂呂徹, 馬淵昭彦, 中村耕三: 白蓋形成不全股における寛骨臼縁の骨性欠損 —3D-CTを用いて—. 第82回日本整形外科学会学術総会. 2010. 5. 27-30 (東京)
 4. 井上祐貴、塚原剛彦、石原一彦: リン脂質ポリマーブラシ表面における水和状態がタンパク質吸着力に与える影響. 第59回高分子学会年次大会. 2010. 5. 26-28 (横浜)
 5. 井上和臣、井上祐貴、塚原剛彦、石原一彦: リン脂質ポリマーブラシ表面の水和状態の定量解析. 第59回高分子学会年次大会. 2010. 5. 26-28 (横浜)
 6. 小田悠加、金野智浩、坂田利弥、石原一彦: 可逆形成性を有する細

- 胞親和性ハイドロゲル内に固定化した細胞機能の解析. 第59回高分子学会年次大会. 2010. 5. 26-28 (横浜)
7. 増田紘一、松野亮介、金野智浩、高井まどか、石原一彦：細胞内での分子動態をイメージングするリン脂質ポリマー被覆量子ドット. 第59回高分子学会年次大会. 2010. 5. 26-28 (横浜)
 8. 中西智亮、井上祐貴、松野亮介、高井まどか、石原一彦：タンパク質吸着における精密ポリマーブラシ表面の構造の効果. 第59回高分子学会年次大会. 2010. 5. 26-28 (横浜)
 9. 北川ともみ、井上祐貴、高井まどか、石原一彦：構造明確なポリマー表面への細胞初期接着挙動のQCM-Dによる連続解析. 第59回高分子学会年次大会. 2010. 5. 26-28 (横浜) 石原一彦：リン脂質ポリマーブラシ表面の水和状態の定量解析. 第59回高分子学会年次大会. 2010. 5. 26-28 (横浜)
 10. 石原一彦：生体に啓発されたポリマー分子設計からの先端医療への貢献. 高分子学会ポリマーフロンティア. 2010. 6. 11 (東京)
 11. 中村洋、角田俊治、田中健之、伊藤英也、荻田達郎、茂呂徹、高取吉雄、中村耕三：股関節に発症した色素性絨毛結節性滑膜炎の1例. 関東整形外科学会月例会 第654回整形外科集談会. 2010. 6. 26 (東京)
 12. 石原一彦：バイオインターフェイスを構築するポリマーの設計と応用. 2010. 7. 14-16 (仙台)
 13. 井上祐貴、石原一彦：生体親和性ポリマーブラシ表面の水和状態. 第39回医用高分子シンポジウム. 2010. 7. 26-27 (東京)
 14. 高取吉雄、荻田達郎、馬淵昭彦、中村耕三：人工股関節で用いる寛骨臼コンポーネント「Q5LPカップ」の初期固定性. 第59回東日本整形災害外科学会. 2010. 9. 17-18 (盛岡)
 15. 京本政之、立石崇晴、石原一彦：ポリ芳香族ケトン上での自己開始グラフト重合による水和潤滑軟骨模倣表面の創製. 第59回高分子討論会. 2010. 9. 28-30 (北海道)
 16. 徐知勲、松野亮介、金野智浩、高井まどか、石原一彦：両親媒性リン脂質ポリマーの内部拡散によるシリコーンエラストマーの親水化特性の評価. 第59回高分子討論会. 2010. 9. 28-30 (北海道)
 17. 井上祐貴、塚原剛彦、石原一彦：タンパク質吸着を劇的に抑制するリン脂質ポリマーブラシ表面における水和状態. 第59回高分子討論会. 2010. 9. 28-30 (北海道)
 18. 柴山崇、徐知勲、石原一彦、高井まどか：PDMS/PMPC ジブロックコポリマーを用いたナノドメイン構造表面における細胞接着挙動の解析. 第59回高分子討論会. 2010. 9. 28-30 (北海道)
 19. 松野亮介、高見公章、石原一彦：マイケル付加を利用したホスホリルコリン化合物ライブラリの構築. 第59回高分子討論会. 2010. 9. 28-30 (岡山)
 20. 北川ともみ、井上祐貴、高井まどか、石原一彦：細胞初期接着挙動に基づくバイオメディカルポリマーブラシ表面の創製. 第59回高分子討論会. 2010. 9. 28-30 (北海道)
 21. 角田俊治、田中健之、伊藤英也、中村耕三、茂呂徹、高取吉雄：重度臼蓋形成不全を伴う前・初期股

- 関節症に対する寛骨臼回転骨切り術の長期成績. 第37回日本股関節学会学術集会. 2010. 10. 1-2 (福岡)
22. 伊藤英也, 高取吉雄, 茂呂徹, 馬淵昭彦, 角田俊治, 田中健之, 中村耕三: シンポジウム「寛骨臼回転骨切り術」 寛骨臼回転骨切り術の長期成績. 第37回日本股関節学会学術集会. 2010. 10. 1-2 (福岡)
23. 角田俊治, 高取吉雄, 茂呂徹, 伊藤英也, 田中健之, 中村耕三: 股関節外転拘縮をきたした大理石骨病の1例. 第33回股関節懇話会. 2010. 10. 30 (東京)
24. 京本政之, 茂呂徹, 雑賀健一, 立石崇晴, 高取吉雄, 石原一彦: 自己開始光グラフト重合を用いた生体軟骨模倣PEEK摺動面の創製. 第32回日本バイオマテリアル学会大会. 2010. 11. 29-30 (広島)
25. 井上祐貴, 塚原剛彦, 石原一彦: ポリマーブラシ表面の水和状態を指標としたタンパク質吸着挙動の解明. 第32回日本バイオマテリアル学会大会. 2010. 11. 29-30 (広島)
26. 松野亮介, 高見公章, 石原一彦: マイケル付加反応を用いたホスホリルコリン化合物 ライブラリーの構築. 第32回日本バイオマテリアル学会大会. 2010. 11. 29-30 (広島)
27. 中西智亮, 井上祐貴, 松野亮介, 高井まどか, 石原一彦: タンパク質吸着力に対する精密ポリマーブラシ表面構造の効果. 第32回日本バイオマテリアル学会大会. 2010. 11. 29-30 (広島)
28. 増田紘一, 松野亮介, 金野智浩, 高井まどか, 石原一彦: 細胞内環境応答型分子イメージングを特徴とするリン脂質被覆量子ドットの創製. 第32回日本バイオマテリアル学会大会. 2010. 11. 29-30 (広島)
29. 茂呂徹, 高取吉雄, 石原一彦, 京本政之, 荻田達郎, 伊藤英也, 角田俊治, 田中健之, 山脇昇, 雑賀健一, 中村耕三, 川口浩: ポリエチレンライナー表面のMPCグラフト処理による長寿命型人工関節の開発—粗面化した骨頭がMPC処理に与える影響の検討—. 第41回人工関節学会. 2011. 2. 25-26 (東京)
30. 茂呂徹, 高取吉雄, 石原一彦, 京本政之, 雑賀健一, 中村耕三, 川口浩: 人工膝関節の脛骨コンポーネント摺動面に対するMPCポリマー処理. 第41回人工関節学会. 2011. 2. 25-26 (東京)
31. 雑賀健一, 京本政之, 茂呂徹, 伊藤英也, 川口浩, 中村耕三, 石原一彦, 高取吉雄: ポリエチレン厚さがライナーの摩耗・破壊に与える影響—ピンオンディスク型試験機による繰り返し衝撃—摺動試験. 第41回人工関節学会. 2011. 2. 25-26 (東京)
32. 角田俊治, 伊藤英也, 田中健之, 馬淵昭彦, 中村耕三, 高取吉雄, 茂呂徹: セメントレス人工股関節におけるデジタルテンプレートの信頼性. 第41回人工関節学会. 2011. 2. 25-26 (東京)
33. 田中健之, 伊藤英也, 角田俊治, 馬淵昭彦, 中村耕三, 高取吉雄, 茂呂徹: bipolar型人工股関節に対しセメントレス寛骨臼コンポーネントを用いた再置換術の検討. 第41回人工関節学会. 2011. 2. 25-26 (東京)

34. 伊藤英也, 角田俊治, 田中健之, 高取吉雄, 茂呂徹, 中村耕三: 両側再置換手術を行った metal-on-metal THA の 1 例. 第 41 回人工関節学会. 2011. 2. 25-26 (東京)
 35. 田中健之, 伊藤英也, 角田俊治, 茂呂徹, 高取吉雄: OSMED の両側股関節症に対する治療経験. 第 34 回 関東股関節懇話会. 2011. 3. 5 (東京)
- ② 国際学会
1. Moro T, Takatori Y, Ishihara K, Kyomoto M, Karita T, Ito H, Tsunoda T, Saiga K, Nakamura K, Kawaguchi H: Biocompatible phospholipid polymer grafting improves the wear resistance of artificial hip joints regardless of the degree of cross-linking. 2010 Annual Meeting & Exposition of the Society for Biomaterials (SFB). 2010. 4. 21-24 (Seattle, USA)
 2. Kyomoto M, Moro T, Saiga K, Onomoto H, Takatori Y, Ishihara K: Self-initiated surface graft polymerization from PEEK brings smart orthopaedic biomaterials. 2010 Annual Meeting & Exposition of the Society for Biomaterials (SFB). 2010. 4. 21-24 (Seattle, USA)
 3. Seo JH, Matsuno R, Lee Y, Konno T, Takai M, Ishihara K: Conformational stability of proteins conjugated with water-soluble phospholipid polymer from heat-induced denaturation: Effect of the hydrophilicity of the polymer materials. 2010 Annual Meeting & Exposition of the Society for Biomaterials (SFB). 2010. 4. 21-24 (Seattle, USA)
 4. Nakanishi T, Inoue Y, Matsuno R, Takai M, Ishihara K: Significant Parameters of Polymer Brush Surface Related with Protein Adsorption. 2010 Annual Meeting & Exposition of the Society for Biomaterials (SFB). 2010. 4. 21-24 (Seattle, USA)
 5. Ishihara K, Inoue Y: Essential Factors to Make Excellent Biocompatibility of Phospholipid Polymer Materials. 12th International Conference on Modern Materials and Technologies (CIMTEC) 2010. 6. 9-18 (Tuscany, Italy)
 6. Ishihara K, Kyomoto M: Photoinduced Functionalization on Biomaterials Surface. The 27th International Conference of Photopolymer Science and Technology. 2010. 6. 22-25 (Chiba, Japan)
 7. Ishihara K, Nakanishi T, Takai M, Inoue Y: Nanoforce Measurement During Protein Adsorption to Well-controlled Polymer Brush Surfaces. The Third International NanoBio Conference. 2010. 8. 24-27 (Zurich, Switzerland)
 8. Kitagawa T, Inoue Y, Takai M, Ishihara K: Monitoring of Initial Cell Adhesion Process on Nanometer-scaled and Organized Surfaces. The Third International NanoBio Conference. 2010. 8. 24-27

- (Zurich, Switzerland)
9. Matsuno R, Takami K, Ishihara K: Michael-type addition of 2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine with thiol compounds for preparing biocompatible molecules. The Third International NanoBio Conference. 2010. 8. 24-27 (Zurich, Switzerland)
 10. Fukazawa K, Li Q, Seeger S, Ishihara K: Molecular-nanointegrated Surface for Selective Protein Recognition by Molecular Imprinting Concept. The Third International NanoBio Conference. 2010. 8. 24-27 (Zurich, Switzerland)
 11. Moro T, Takatori Y, Ishihara K, Kyomoto M, Saiga K, Nakamura K, Kawaguchi H: Surface grafting of biocompatible phospholipid polymer MPC provides wear resistance of tibial polyethylene insert in artificial knee joints. 57th Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society (ORS). 2011. 1. 13-17 (Long Beach, USA)
 12. Kyomoto M, Moro T, Takatori Y, Hashimoto M, Kawaguchi H, Nakamura K, Ishihara K: Smart PEEK by self-initiated surface graft polymerization of MPC for orthopaedic applications. 57th Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society (ORS). 2011. 1. 13-17 (Long Beach, USA)
 13. Kyomoto M, Moro T, Saiga K, Hashimoto M, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, Ishihara K: Controlled biocompatible phospholipid polymer-brush mimicking cartilage gives high durability to joint replacement. 57th Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society (ORS). 2011. 1. 13-17 (Long Beach, USA)
- H. 知的財産権の出願・登録状況
特になし。

分担研究報告書

ポリエチレン（PE）厚さが MPC 処理の摩耗低減効果に与える影響の検討

分担研究者 高取吉雄（東京大学大学院医学系研究科 特任教授）
金野智浩（東京大学大学院工学系研究科 特任准教授）

研究要旨：現在、社会の高齢化が進んでいるわが国では、変形性関節症、関節リウマチ、骨壊死など多くの疾患を治療するため、人工関節置換術が適用されている。しかし、人工関節の長期臨床成績を考慮すると、「ポリエチレン（PE）の摩耗粉が引き起こす骨溶解と続発する弛み」および「人工関節置換術後の脱臼」などの問題を抱えている。われわれは、関節面の耐摩耗性と機械的安定性を同時に達成することで、良好な長期臨床成績を達成し、高齢者の寝たきり予防に役立てることができると考え、poly（2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine）（PMPC）を架橋 PE（CLPE）表面に光開始グラフト重合法により結合させた人工股関節材料（PMPC 処理 CLPE）を開発した。

本分担研究では、PMPC 処理 CLPE について、pin-on-disk 型摩耗試験装置を用いて、股関節における摩擦摩耗動作を想定した摩耗特性（多方向摺動）試験を行った。この結果、PMPC 処理により、CLPE の耐摩耗特性が向上することが確認された。また、厚い CLPE は薄いそれに比べ良好な耐摩耗特性を示した。更に、薄い CLPE においても重篤な欠陥は認められず、大径骨頭と組み合わせることが可能な薄い CLPE ライナーの適用の可能性が示唆された。

A. 研究目的

社会の高齢化が進んでいるわが国では、変形性関節症、関節リウマチ、骨壊死などの多くの疾患を治療するため人工関節置換術が適用されている。人工股関節置換術は、術後早期における疼痛の改善が最大の利点であり、成功を収めてきた治療法である。

しかしながら、長期臨床成績を考慮すると、幾つかの問題を抱えている。特に、人工関節の摺動動作により生じるポリエチレン（PE）摩耗粉が引き起こす骨溶解を原因とする人工関節の弛みは大きな問題である。長期臨床成績の向上のためには、人工関節の弛みを予防し、人工関節の耐用年数を延長することが、重要

かつ緊急の課題である。

骨溶解の解決には、これまで多くの研究がなされている。解決法の一つに PE 摩耗粉の発生を減少させることがあげられる。この目的のため、摺動材料の組み合わせや材料の改良といった試みが行われてきた。例えば、クリーブ変形低減のためにカーボン繊維を複合化した PE (Poly II[®]) が開発され、高い耐クリーブ変形を実現したが、摩耗特性は通常の PE にも劣った。また、通常の PE を高温、高压で処理し、分子量の低下なしに密度を増大させた結晶化 PE (Hylamer[®]) が開発され臨床使用されたものの、早期に異常摩耗を発生させた。このように、骨溶解の問題を解決する人工関節材料は未だ開発されていないのが現状である。

一方、人工股関節置換術後の脱臼も術後成績を左右する合併症の一つである。人工関節置換術後の脱臼は、手術手技やインプラントデザインが原因である場合も少なくない。その手術手技的因子としては、アプローチ方法、シェル、ライナーの設置位置・角度、大腿骨ステムの前捻角、軟部組織の剥離、骨性インピンジメントなどが挙げられる。インプラントデザイン的因子としては、人工股関節のカップ-ネックインピンジメントまでの可動域などが挙げられる。カップ-ネックインピンジメントまでの可動域は、カップ外方開角、カップ前方開角、ネック前捻角、ネックステム角、振幅角 (Oscillation

angle) の 5 因子により決定される。中でも、振幅角はその値が大きくなるほど全方向への可動域が拡大するため、特に重要な因子である。より大きな振幅角を得るには、インプラントデザインにおいて、骨頭の大径化およびネックの小径化をすることが有効である。しかしながら、日本人の体型では骨盤の大きさに限界があり、骨頭の大径化は、対向して関節面を形成する PE ライナーの薄化を招くため、摩耗の増大や破壊リスクの上昇が懸念される。

これらの問題に対して我々は、関節面の耐摩耗性と機械的安定性を同時に達成できれば、長期臨床成績を達成し、高齢者の寝たきり予防に役立てることでできると考え、生体の関節軟骨表面で数 10 年にわたり潤滑性の改善に寄与しているナノメートルオーダーのリン脂質層に着目し、poly (2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine) (PMPC) を架橋 PE (CLPE) 表面に光開始グラフト重合法により結合させた人工股関節材料を開発した。これまでの研究から、PMPC 処理は表層のみを修飾する処理であり、基材となる CLPE の性質に影響を与えないことが明らかになっている。つまり、耐摩耗特性のみでなく、機械的強度、耐破壊靱性が要求される大径骨頭と組み合わせられる薄い CLPE ライナーを作製するには、最適な方法であるといえる。また、これまでの基礎研究において、PMPC による人工股関節表面へ

のグラフト重合処理は摩耗試験において CLPE の摩耗量を著しく減少させることが明らかになっている。

本研究では、PMPC 処理 CLPE について、pin-on-disk 型摩耗試験装置を用いて、股関節や膝関節における摩擦摩耗動作を想定した摩耗特性（多方向摺動）試験を行った。

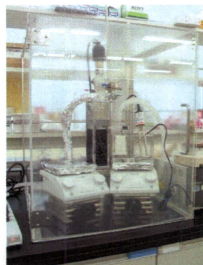


図 1-1. PMPC 処理装置全景

B. 研究方法

1. PMPC 処理 PE (CLPE) の作製

① 試薬

ベンゾフェノンおよびアセトンは、和光純薬製を用いた。MPC モノマーは、日本油脂製を用いた。PE 基材には、人工股関節に使用されている CLPE を用いた。

② PMPC 処理

CLPE 試験体を 10 g/L に調製したベンゾフェノン含有アセトン溶液に 30 秒間浸漬した後、速やかに引き上げた。室温にて試験体表面のアセトン溶媒を除去した。完全に脱気した純水を用いて、MPC 水溶液 (0.5 mol/L) を調製した。ベンゾフェノンを表面にコーティングした CLPE 試験体を、MPC 水溶液に浸漬し、5 mW/cm^2 の紫外線 (中心波長 350 nm) を 90 分間照射することでグラフト重合を行った。照射中、MPC 水溶液を 60℃ になるよう調整した (図 1-1 および 1-2)。重合後、CLPE 試験体を超純水およびエタノールにて十分に洗浄し、PMPC 処理 CLPE を得た。



図 1-2. PMPC 処理装置 (処理槽拡大)

2. Pin-on-disk 型摩耗試験装置を用いた、PMPC 処理 CLPE の摩耗特性試験

今年度は、pin-on-disk 型摩耗試験装置を用い、PMPC 処理 CLPE の摩耗特性試験を行った。

具体的には、ASTM F732-00 規格を参考に、pin-on-disk 型摩耗試験装置 (AMTI 製 Ortho-POD) を用い (図 2)、多方向摺動試験 (股関節における通常歩行時に生じる摩擦動作を想定した試験) を行った。

さらに昨年度、衝撃-摺動試験による疲労特性評価を行った Disk 型試験片について、その変形量を詳細に評価した。

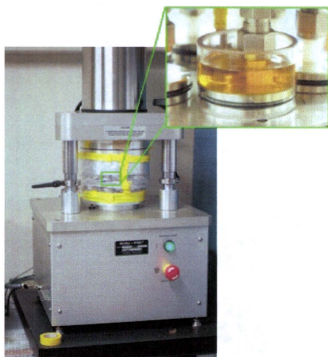


図 2. Pin-on-disk 型摩耗試験装置 (AMTI 製 Ortho-POD)

Disk 型試験片には、厚さ 3 mm または 6 mm の未処理 CLPE および PMPC 処理 CLPE を用い、pin 型試験片には、コバルトクロム合金 (Co-Cr) を用いた。多方向摺動試験は、37℃ のウシ血清中にて行った。最大荷重は 213 N とし、摺動距離 30 mm、摺動速度 1 Hz の条件で 100 万回まで試験を行った。disk 型試験片の位置 (変位)、pin 型試験片の位置 (変位) および垂直荷重による動作波形を、図 3 に示す。

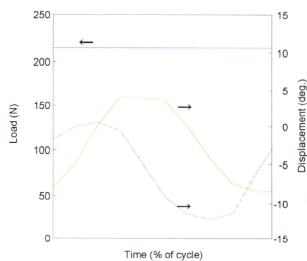


図 3. 衝撃-摩耗試験の動作波形
—: 荷重, - -: disk 変位, —: pin 変位

多方向摺動試験は、25 万サイクル毎に潤滑液の交換を行うと同時に、disk 型試験片の回収、洗浄、乾燥、重量測定を行い、disk 型試験片の摩耗量として算出した。あわせて、外観観察を行うとともに、デジタルマイクロスコープ (キーエンス製 VHX-200) を用いて摺動部の観察を行った。Disk 型試験片の変形量は、非接触式表面性状測定機 (AMETEK Taylor Hobson 製 TALYSURF CCI Lite) を用い評価した。

C. 研究結果

1. Pin-on-disk 型摩耗試験装置を用いた、PMPC 処理 CLPE の多方向摺動試験

図 4 に、多方向摺動試験における未処理 CLPE および PMPC 処理 CLPE の摩耗量を示す。

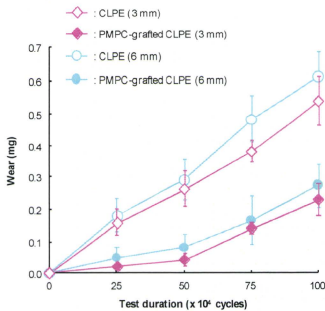


図 4. 多方向摺動試験における未処理 CLPE および PMPC 処理 CLPE の摩耗量

100 万回の試験後、厚さ 3 mm および 6 mm の試験片とともに、未処理 CLPE に比べ PMPC 処理 CLPE は高い耐摩耗性を示した。また、その重量変化には厚さの違いによる有意な差は認められなかった。

図 5 に、多方向摺動試験における未処理 CLPE および PMPC 処理 CLPE 摺動表面の各試験回数での代表的な外観写真を示す。

未処理 CLPE 群および PMPC 処理 CLPE 群のいずれも、試験回数の増加とともに摺動面のツールマークが失われている様子が観察された。また、背面は治具ホールによる円状の跡が形成され、試験回数とともに傷より外側のツールマークが消失している様子が観察された。

図 6 に、摩耗試験における未処理 CLPE および PMPC 処理 CLPE 摺動表面の各試験回数での代表的なマイク

ロスコーブ観察像を示す。

未処理 CLPE 群および PMPC 処理 CLPE 群のいずれも、試験回数の増加とともに摺動面のツールマークが失われている様子が観察された。25 万回の試験回数において、背面では治具ホールによる円状の跡が形成されており、試験回数の増加とともに傷より外側のツールマークの消失が進行した。この背面摩耗 (back-side wear) の進行は、未処理 CLPE 群および PMPC 処理 CLPE 群ともに、厚さ 3 mm の disk 試験片で顕著であった。

未処理 CLPE 群および PMPC 処理 CLPE 群のいずれの試験片においても、100 万回の試験終了時までデラミネーションや破損などの発生は認められなかった。

図 7 に多方向摺動試験および昨年度実施した衝撃-摩耗試験後の未処理 CLPE および PMPC 処理 CLPE の表面性状測定結果を示す。

摺動面の変形量は厚さにより変化し、厚さ 3 mm の試験片において大きな変形を認めた。背面の変形量も厚さによる差が認められ、厚さ 6 mm 試験片ではほぼ変形が見られないのに対し、厚さ 3 mm 試験片では大きな変形が認められた。

CLPE (3 mm)

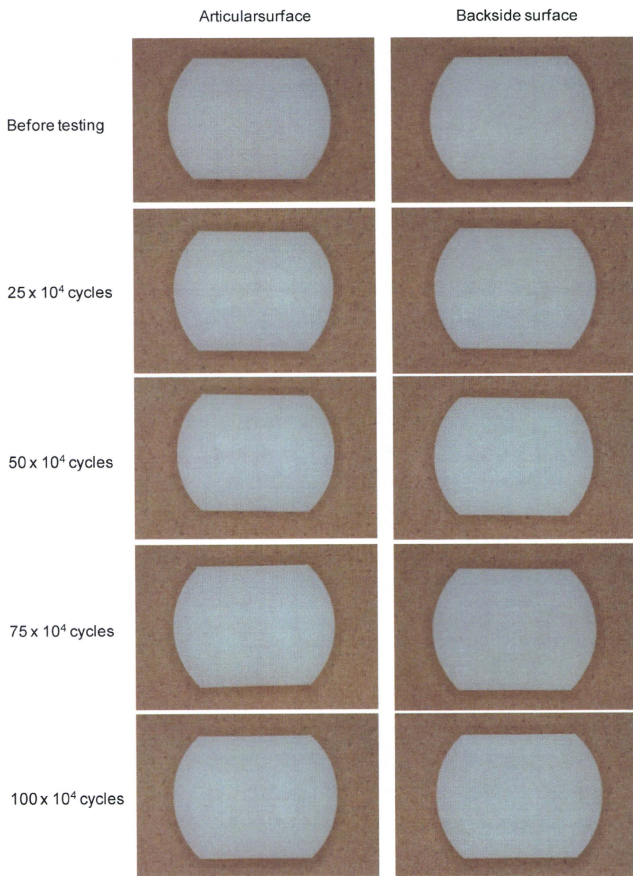


図 5-1. 摩耗試験前後の未処理 CLPE (3 mm 厚) の外観写真

MPC-grafted CLPE (3 mm)

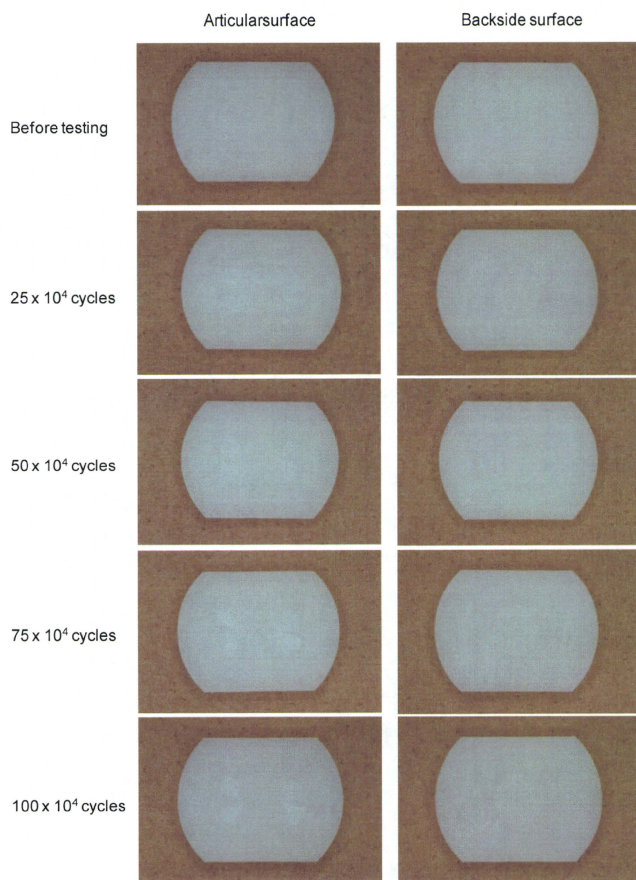


図 5-2. 摩耗試験前後の PMPC 処理 CLPE (3 mm 厚) の外観写真

CLPE (6 mm)

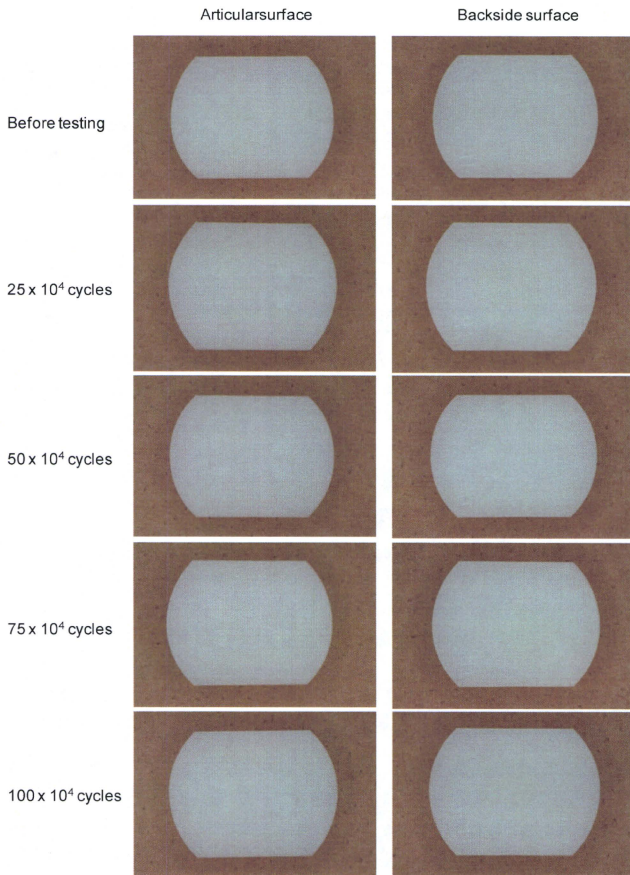


図 5-3. 摩耗試験前後の未処理 CLPE (6 mm 厚) の外観写真

MPC-grafted CLPE (6 mm)

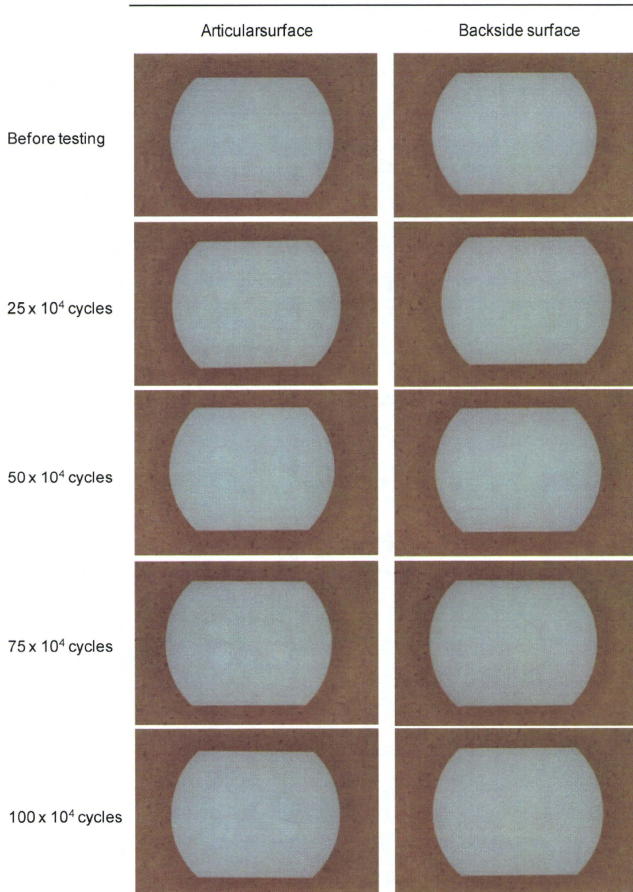


図 5-4. 摩耗試験前後の PMPC 処理 CLPE (6 mm 厚) の外観写真

CLPE (3 mm)

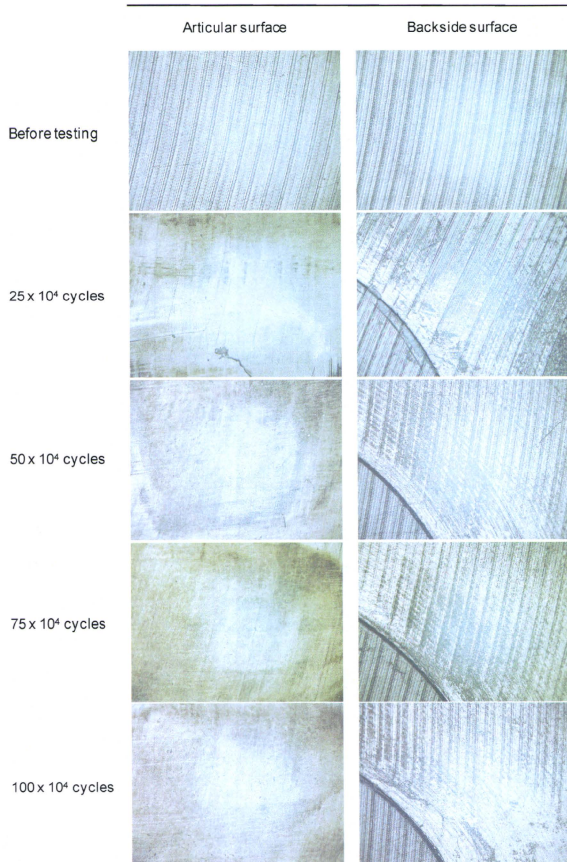


図 6-1. 多方向摺動試験前後の未処理 CLPE (3 mm 厚) の摺動部および背面ホール部のマイクロスコプイメージ

MPC-grafted CLPE (3 mm)

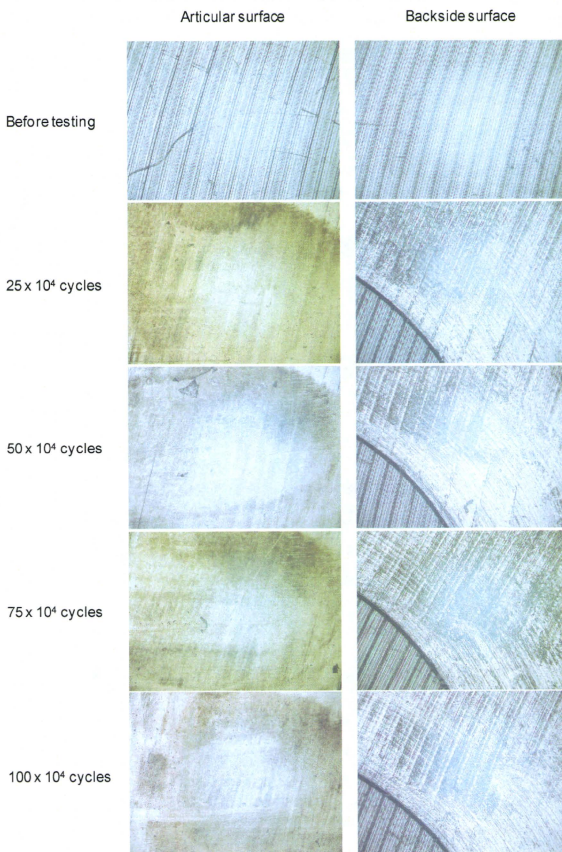


図 6-2. 多方向摺動試験前後の PMPC 処理 CLPE (3 mm 厚) の摺動部および背面ホール部のマイクロスコピーイメージ

CLPE (6 mm)

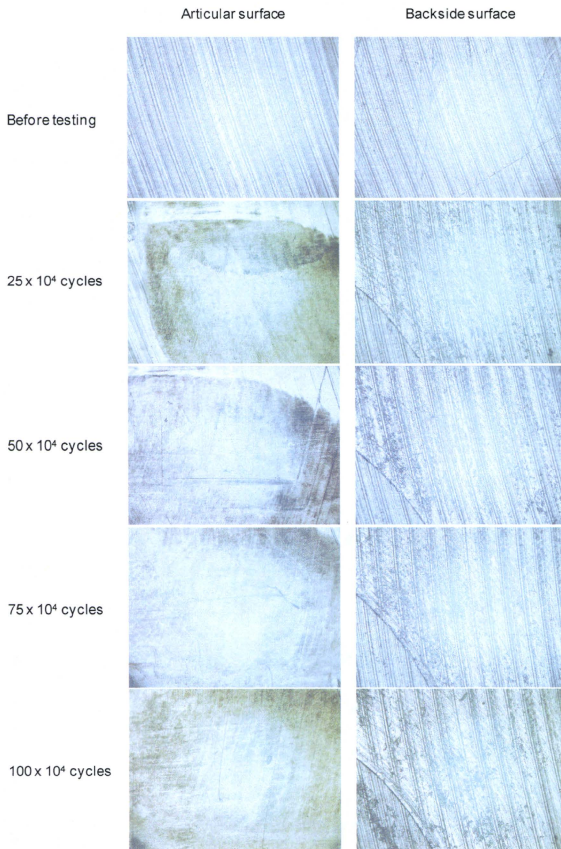


図 6-3. 多方向摺動試験前後の未処理 CLPE (6 mm 厚) の摺動部および背面ホール部のマイクロスコープイメージ

MPC-grafted CLPE (6 mm)

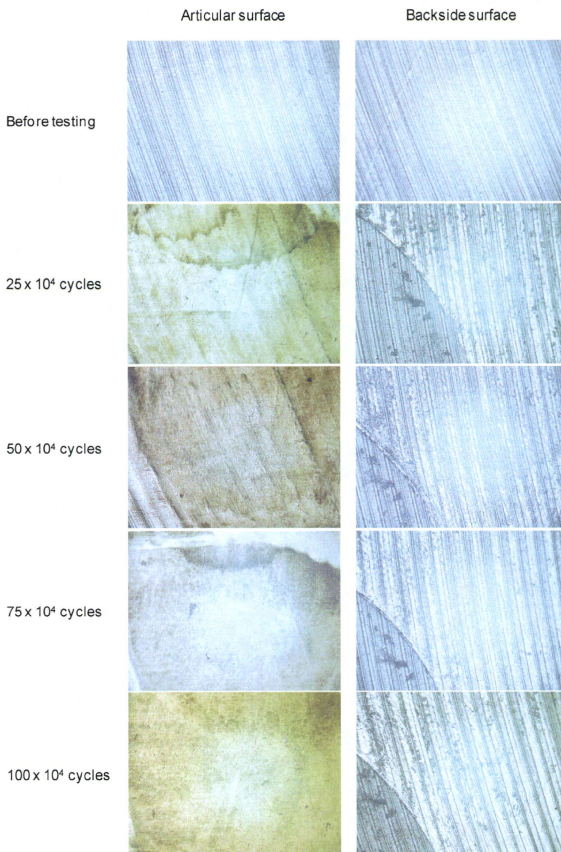


図 6-4. 多方向摺動試験前後の PMPC 処理 CLPE (6 mm 厚) の摺動部および背面ホール部のマイクロスコピーイメージ