

るリン酸指数が 0.3~0.5 と変化した。これは CLPE 表面を覆っている PMPC 層において、ポリマー鎖密度が変化しているためと考えられる。表面のリン酸指数が高い PMPC 処理 CLPE 試験体は、定常摩耗率が低いと期待される。

続いて、重合に用いられるモノマー濃度について検討した。一般にラジカル重合において、重合に用いられるモノマー濃度は、ポリマーの分子量に対応するため、グラフト重合においては、基材表面に形成するグラフト層の厚さに対応すると考えられた。表 4 に示めされるように、MPC 水溶液の濃度が 0.50 mol/L にまで増加するに従って、表面の原子組成において窒素、リンの濃度が増加することにより確認される。MPC 水溶液の濃度 0.50 mol/L の PMPC 処理 CLPE の原子濃度は 5.2、5.2 であり、理論的な PMPC の値とほぼ同じになっている。これらと同様に、図 10 に示される断面 TEM 写真においても、MP 水溶液の濃度が増加するに伴い、形成する PMPC 層の厚さも増加した。よって、重合に用いられるモノマー濃度は、ポリマーの分子量に対応し、本報告におけるグラフト重合においては、基材表面に形成するグラフト層の厚さに対応したと考えられた。一方で、この MPC 水溶液の濃度が 0.67 mol/L 以上の PMPC 処理 CLPE の原子濃度は、0.50 mol/L のそれと比較して低下した。図 10 の断面 TEM 写真において、1.00 mol/L の PMPC 処理 CLPE の表面に見られた PMPC 層は、約 250 nm と最も厚かったが、図 6 に示される顕微鏡写真からもわかるとおり、その被覆が不均一であった。モノマー濃度が濃いと、グラフト重合速度よりも、水溶液中での単一重合速度のほうが速くなるためと考えられる。MPC 水溶液の濃度 0.25~0.50 mol/L の PMPC 処理

CLPE は、10~150 nm の PMPC 層が均一に形成していた。また、MPC 水溶液の濃度 0.25~0.50 mol/L の PMPC 処理 CLPE は接触角も著しく低下しており（ぬれ性が著しく向上しており）、これに伴って、摩擦係数も低下した。表面が PMPC 層により均一に覆われている 0.25~0.50 mol/L の MPC 水溶液を用いて重合した PMPC 処理 CLPE 試験体は、その低い摩擦抵抗により定常摩耗率が低いと期待される。

MPC 処理 CLPE を人工関節などの医療機器として使用する場合、滅菌処理は不可欠である。例えば、ガンマ線滅菌は人工関節に施される滅菌方法として一般的な方法の一つである。しかしながら、ガンマ線などの高エネルギー線照射は、高分子材料へ幾らかの影響を及ぼすことが考えられたので、本報告書では、ガンマ線滅菌の照射線量を制御し、その影響を評価した。

その結果、図 18 の模式図に示すようにガンマ線滅菌は、PMPC 処理 CLPE の 3 つの部分：①PMPC 層、②PMPC 層と CLPE 基材との界面、③CLPE 基材に影響を及ぼすことが分かった。

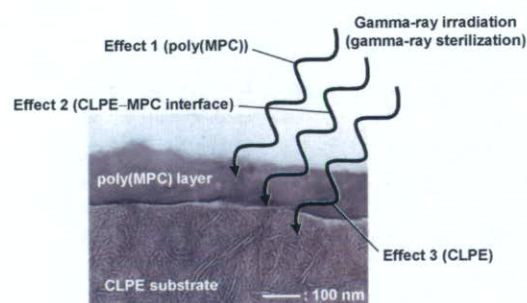


図 18. ガンマ線滅菌の影響の模式図

図 16-B に示されるように、PMPC 処理 CLPE の動摩擦係数は、ガンマ線滅菌の照射量が増加するに伴って、わずかに増加した。これらは、混合潤滑時に、潤滑剤として働く PMPC 層の粘度

が増加したためと考えられる。PMPC 層の粘度は、PMPC の運動性を反映していると考えられる。つまり、PMPC の架橋により運動性が制限されたため、結果として動摩擦係数が増大したといえる。PMPC の架橋は、図 13 および表 5 の結果より推察される。図 17 において、ガンマ線滅菌された PMPC 処理 CLPE は、安定した非常に高い耐摩耗特性を示した。一方、ガンマ線滅菌を行っていない PMPC 処理 CLPE の摩耗量は、個体による差が大きかった。ガンマ線滅菌により、PMPC 層と CLPE 基材との界面に架橋が起こりより強固に結合されたため、安定した非常に高い耐摩耗特性を示したと考えられる。ガンマ線照射は CLPE の作製にも用いられている通り、CLPE 基材そのものの架橋も導くことは、既によく知られている。また、照射線量 25~50 kGy の照射を行っても、PMPC 処理 CLPE の特性に変化はなく、この範囲は適当なガンマ線照射線量といえる。

E. 結論

PMPC 処理 CLPE の分析方法として、XPS 分析、FT-IR 分析、水による静的接触角の測定、蛍光物質ローダミン 6G を用いた染色による顕微鏡観察、TEM 観察を検討した。いずれの方法においても、CLPE に処理された PMPC、もしくは PMPC 処理 CLPE の特性を把握するのに有用であると考えられた。

また、PMPC 処理の至適条件として、①紫外線の照射時間 90 分、②0.25~0.50 mol/L の MPC 水溶液、③照射線量 25~50 kGy のガンマ線滅菌を確立した。これらの条件にて得られた PMPC 処理 CLPE により、長寿命型人工股関

節の実現が期待される。

F. 健康危険情報

特になし。

G. 研究発表

1. 論文発表

①和文

- 1) 茂呂徹, 高取吉雄, 中村耕三, 川口浩: 関節のナノ表面処理による人工股関節の弛みの阻止. *整形外科* 56: 170, 2005.
- 2) 茂呂徹, 高取吉雄, 中村耕三, 川口浩, 石原一彦: 新素材による人工股関節の開発. *整・災外* 48: 245-250, 2005.
- 3) 茂呂徹: 人工関節 新素材採用で長寿命化に成功. *治療* 87 (4): 1642-1645, 2005.
- 4) 茂呂徹: ナノ表面制御による新しい人工股関節の開発. *リウマチ科* 33 (6) 639-645, 2005.
- 5) 石原一彦, 茂呂徹, 金野智浩: 人工細胞膜表面構築による超機能人工関節の開発: *材料科学* 42 (4) 2-6, 2005.
- 6) 茂呂徹: 高潤滑人工関節インターフェイス. *バイオマテリアル* 23 (4) 296-302, 2005.
- 7) 茂呂徹: 生体適合性ポリマーのナノ表面処理による人工股関節の弛みの阻止. *バイオマテリアル* 23 (6) 407-412, 2005.
- 8) 茂呂徹, 石原一彦: MPC ポリマー. *整形外科* 56 (12) 1600, 2005.

- 9) 茂呂徹, 高取吉雄, 中村耕三, 川口浩, 石原一彦: ポリエチレンライナー表面の MPC ポリマー処理は人工股関節の弛みを抑制する — ナノ表面制御による長寿命型人工股関節の開発—. *Hip Joint* 31 469-474, 2005.
- 10) 茂呂徹, 高取吉雄: 人工臓器 最近の進歩 人工関節. *人工臓器* 34 (3): 166-170, 2005.
- 11) 茂呂徹: ポリマーナノグラフト表面構築を基盤とした耐摩耗人工股関節の創製. *バイオマテリアル* 24 (2): 108-114, 2006.
(2005年日本バイオマテリアル学会「科学奨励賞」受賞)
- 12) 高取吉雄, 茂呂徹, 川口浩, 中村耕三, 石原一彦, 高玉博朗, 山脇昇: MPC ポリマーによるポリエチレンライナーのナノ表面処理. *日本人工関節学会誌* 36: 242-243, 2006.
- 13) 京本政之, 茂呂徹, 石原一彦: 高潤滑性ポリマーナノグラフト法による革新的な人工関節の開発. *Materials Integration* 20 (9): 28-32, 2007.
- 14) 茂呂徹: 人工臓器. *医療ナノテクノロジー—最先端医学とナノテクの融合—*片岡一則監修, 杏林図書, p139-146, 2007.
- 15) 石原一彦: ナノバイオインターフェイス. *医療ナノテクノロジー—最先端医学とナノテクの融合—*片岡一則監修, 杏林図書, p109-126, 2007.
- ②英文
- 1) Konno T, Hasuda H, Ishihara K, Ito Y: Photo-immobilization of a Phospholipid Polymer for Surface Modification. *Biomaterials* 26 (12): 1381-1388, 2005.
- 2) Moro T, Takatori Y, Ishihara K, Nakamura K, Kawaguchi H: 2006 Frank Stinchfield Award: Grafting of biocompatible polymer for longevity of artificial hip joints. *Clin Orthop Relat Res* 453: 58-63, 2006.
- 3) Goda T, Konno T, Takai M, Moro T, and Ishihara K: Biomimetic Phosphorylcholine Polymer Grafting from Polydimethylsiloxane Surface Using Photo-induced Free Radical Polymerization. *Biomaterials* 27: 5151-5160, 2006.
- 4) Goda T, Watanabe J, Takai M, Ishihara K: Water structure and improved mechanical properties of phospholipid polymer hydrogel with phosphorylcholine centered intermolecular cross-linker. *Polymer* 47: 1390-1396, 2006.
- 5) Koyama Y, Miyashita M, Kazuma K, Suzukamo Y, Yamamoto M, Karita T, Takatori Y: Preparing a version of the Nottingham Adjustment Scale (for psychological adjustment) tailored to osteoarthritis of the hip. *J Orthop Sci* 11: 359-364, 2006.
- 6) Kyomoto M, Iwasaki Y, Moro T, Konno T, Miyaji F, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, Ishihara K: High lubricious surface of cobalt-chromium-molybdenum alloy prepared by grafting poly(2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine). *Biomaterials* 28: 3121-3130, 2007.

- 7) Kimura M, Konno T, Takai M, Ishiyama N, Moro T, Ishihara K: Prevention of tissue adhesion by a spontaneously formed phospholipid polymer hydrogel. *Key Engineering Materials* 342-343: 777-780, 2007.
- 8) Kyomoto M, Moro T, Konno T, Takadama H, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, Yamawaki N, Ishihara K: Effects of photo-induced graft polymerization of 2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine on physical properties of cross-linked polyethylene in artificial hip joints. *J Mater Sci Mater Med* 18: 1809-1815, 2007.
- 9) Kyomoto M, Moro T, Konno T, Takadama H, Yamawaki N, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, Ishihara K: Enhanced wear resistance of modified cross-linked polyethylene by grafting with poly(2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine). *J Biomed Mater Res A* 82: 10-17, 2007.
- 10) Kobayashi M, Hosaka N, Kaido M, Suzuki A, Yamada N, Torikai N, Ishihara K, and Takahara A: Friction behavior of high-density poly(2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine). *Brush in Aqueous Media Soft Matter* 2: 740-746, 2007.
- 11) Kitano K, Matsuno R, Konno T, Takai M, Ishihara K: Nanoscale surface grafting with phospholipid polymer to lubricate polypropylene surface. *Trans. Mater. Res. Soc. Jpn* 32(2): 579-582, 2007.
- 12) Nagase U, Oku M, Iwasaki Y, Ishihara K: Preparations of aromatic monomers and copolyamides containing phosphorylcholine moiety and the biocompatibility of copolyamides. *Polym J*; 39: 712-721, 2007.
- 13) Goda T, Ishihara K: Photografting of 2-Methacryloyloxyethyl phosphorylcholine from polydimethylsiloxane: tunable protein repellency and lubrication property. *Colloid and Surfaces B: Biointerfaces* 63: 64-72, 2008.
- 14) Fujii K, Matsumoto HN, Koyama Y, Iwasaki Y, Ishihara K, Takakuda K: Prevention of biofilm formation with a coating of 2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine polymer. *J Vet Med Sci* 70: 167-173, 2008.
- 15) Kyomoto M, Moro T, Miyaji F, Konno T, Hashimoto M, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, Ishihara K: Enhanced wear resistance of orthopaedic bearing due to the cross-linking of poly(MPC) graft chains induced by gamma-ray irradiation. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*, 84: 320-327, 2008.
- 16) Kyomoto M, Moro T, Miyaji F, Hashimoto M, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, Ishihara K: Effect of 2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine concentration on photo-induced graft polymerization of polyethylene in reducing the wear of orthopaedic bearing surface. *J Biomed Mater Res A*, in press.
- 17) Kyomoto M, Moro T, Miyaji F, Hashimoto M, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, Ishihara K: Effects of mobility/immobility of surface modification by 2-methyl

phosphorylcholine polymer on the durability of polyethylene for artificial joints. *J Biomed Mater Res A*, in press.

- 18) Kyomoto M, Moro T, Iwasaki Y, Miyaji F, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, Ishihara K: Super-lubricious surface mimicking articular cartilage by grafting poly(2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine) on orthopaedic metal bearings. *J Biomed Mater Res A*, in contribution.
- 19) Liu G, Ogasawara T, Watanabe J, Ishihara K, Asawa 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*, in contribution.

2.学会発表

① 国際学会

- 1) Ishihara K, Moro T, Takatori Y, Kawaguchi H, Nakamura K, Konno T: Biomimetic surface on polyethylene liner for obtaining excellent lubrication. *19th European Conference on Biomaterials*. Sorrento, Italy, September 11-15, 2005.
- 2) Moro T, Takatori Y, Ishihara K, Takadama H, Nakamura K, Kawaguchi H: Nano-grafting of biocompatible phospholipid polymer on the polyethylene liner surface for preventing aseptic loosening of the artificial hip joint. *18th Annual Symposium of the International Society for Technology in Arthroplasty (ISTA)*. Kyoto, Japan, September 30-October 1, 2005.
- 3) Karita T, Takatori Y, Yamamoto M, Mabuchi A, Moro T, Ushida M, Miura S, Nakamura K: A metal head vs a zirconia head in regard to the rate of polyethylene wear in cementless total hip replacements. *18th Annual Symposium of the International Society for Technology in Arthroplasty (ISTA)*. Kyoto, Japan, September 30-October 1, 2005.
- 4) Moro T: Extending longevity of artificial hip joints by surface grafting on cross-linked polyethylene liner with biocompatible MPC polymer. *52nd Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society (ORS)*. Chicago., USA, March 19-22, 2006.
- 5) Moro T: The Frank Stinchfield Award Grafting of biocompatible MPC polymer on cross-linked polyethylene liner surface for extending longevity of artificial hip joints. *73rd Annual Meeting of the American Academy of Orthopaedic Surgeons (AAOS)*. Chicago, USA, March 22-26, 2006.
- 6) Moro T, Takatori Y, Ishihara K, Konno T, Takadama H, Yamawaki N, Kyomoto M, Yamamoto M, Karita T, Nakamura K, Kawaguchi H: Biocompatible MPC polymer grafting prevents aseptic loosening of the artificial hip joints. *JOA-KOA Joint Symposium*. Yokohama, Japan, May 18-21, 2006.
- 7) Kimura M, Konno T, Takai M, Ishiyama N, Moro T and Ishihara K: Antiadhesion by a Spontaneously Formed Phospholipid Polymer Hydrogel. *7th Asian Symposium on Biomedical Materials (ASBM-7)*. Jeju Island, Korea, August 20-23, 2006.

- 8) Kyomoto M, Moro T, Konno T, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, Yamawaki N, Ishihara K: Surface and bulk properties of 2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine grafted cross-linked polyethylene. *19th Annual Symposium of the International Society for Technology in Arthroplasty (ISTA)*. New York, USA, October 6-9, 2006.
- 9) Ishihara K, Moro T, Takatori Y, Kawaguchi H, Nakamura K, Konno T: Antiwearable and biocompatible surface of artificial hip joints by nano-scaled grafting with phospholipid polymers. *AICHE Annual Meeting*. San Francisco, USA, November 12-17, 2006.
- 10) Kitano K, Konno T, Takai M, and Ishihara K: Nanoscale surface grafting with phospholipid polymer to lubricate polypropylene surface. *NanoBio-Tokyo 2006*. Tokyo, Japan, December, 2006.
- 11) Ishiyama N, Moro T, Ohe T, Miura T, Ishihara K, Konno T, Kimura M, Nakamura K, Kawaguchi H: Biocompatible phospholipid polymer hydrogel prevents tendon adhesion without impairing the healing. *53rd Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society (ORS)*. San Diego, USA, February 11-14, 2007.
- 12) Kyomoto M, Moro T, Konno T, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, Miyaji F, Yamawaki N, Ishihara K: Advanced wear resistance of MPC grafted surface with various phosphate density on cross-linked polyethylene. *53rd Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society (ORS)*. San Diego, USA, February 11-14, 2007.
- 13) Kyomoto M, Moro T, Konno T, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, Miyaji F, Ishihara K: High density grafting of nano-polymer makes ultra-longevity for artificial joints. *The 2007 Society for Biomaterials Annual Meeting and Exposition (SFB)*. Chicago, USA, April 18-21, 2007.
- 14) Kitano K, Matsuno R, Konno T, Takai M, Ishihara K: Surface grafting of biocompatible phospholipid polymers for obtaining excellent lubrication. *The 2007 Society for Biomaterials Annual Meeting and Exposition (SFB)*. Chicago, USA, April 18-21, 2007.
- 15) Goda T, Konno T, Takai M, Ishihara K: Biomembrane mimetic polymer layer constructed on polydimethylsiloxane: antibiofouling characteristics. *The 2007 Society for Biomaterials Annual Meeting and Exposition (SFB)*. Chicago, USA, April 18-21, 2007.
- 16) Ishihara K: Bioinspired phospholipid polymer for medical devices. *The American Association for the Advancement of Science*. Boise, USA, June 18, 2007.
- 17) Ishihara K: Polymer Biomaterials with Artificial Cell Membrane Surface. *SBE's 3rd International Conference on Bioengineering and Nanotechnology*. Biopolis, Singapore, August 15, 2007.
- 18) Goda T, Ishihara K: Biocompatible interface by brush structured phospholipid polymers. *SBE's 3rd International Conference on*

- Bioengineering and Nanotechnology.** Biopolis, Singapore, August 15, 2007.
- 19) Kyomoto M, Moro T, Miyaji F, Hashimoto M, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, Ishihara K: Nano-scale modification with 2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine polymer brings to ultra-longevity for orthopaedic bearing. **3rd UHMWPE International Meeting.** Madrid, Spain, September 14-15, 2007.
- 20) Ishihara K: Polymer Biomaterials with Artificial Cell Membrane Surface. **Polymeric Biomaterials in Future Medicine at Ajyu University.** Suwon, Korea, November 23, 2007.
- 21) Ishihara K: Polymer Biomaterials with Artificial Cell Membrane Surface. **Korean Society for Biomaterials.** Seoul Korea, November 23, 2007.
- 22) Kobayashi M, Matsuda Y, Kaido M, Suzuki A, Ishihara K, Takahara A: Enhance,emt of wear resistance in hydrophilic cross-linked polyelectrolyte brushes under a wet condition. **10th Pacific Polymer Conference.** Kobe, Japan, December 4, 2007.
- 23) Moro T, Takatori Y, Ishihara K, Kyomoto M, Motoi Y, Karita T, Ito H, Nakamura K, Kawaguchi H: Advanced wear resistance of artificial hip joints by nano-scaled grafting with biocompatible phospholipid polymers. **54th Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society (ORS).** San Francisco, USA, March 2-5, 2008.
- 24) Kyomoto M, Moro T, Konno T, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, Miyaji F, Yamawaki N, Ishihara K: Advanced wear resistance of MPC grafted surface with various phosphate density on cross-linked polyethylene. **54th Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society (ORS).** San Francisco, USA, March 2-5, 2008.
- ② 国内学会
- 1) 茂呂徹, 高取吉雄, 中村耕三, 川口浩: 関節摺動面の MPC ポリマー処理は人工股関節の弛みを抑制する—耐摩耗性と生体適合性に優れた新規人工股関節の開発—. **第49回日本リウマチ学会総会・学術集会.** 横浜, 4.17-20, 2005.
- 2) 茂呂徹, 高取吉雄, 石原一彦, 高玉博朗, 山脇昇, 中村耕三, 川口浩: シンポジウム「バイオトライボロジーの最前線」MPC ポリマーのナノ表面処理による長寿命型人工股関節の開発—耐摩耗性と生体適合性の検討—. **第44回生体医工学会大会(日本エム・イー学会).** つくば, 4.25-27, 2005.
- 3) 茂呂徹, 高取吉雄, 石原一彦, 高玉博朗, 山脇昇, 中村耕三, 川口浩: 生体適合性材料・MPCによる関節摺動面のナノ表面処理は人工関節の弛みを抑制する—長寿命型人工股関節の開発—. **第78回日本整形外科学会学術総会.** 横浜, 5.12-15, 2005.
- 4) 茂呂徹, 高取吉雄, 石原一彦, 鄭雄一, 高玉博朗, 松下富春, 山脇昇, 中村耕三, 川口浩: 生体適合性ポリマーのナノ表面処理による高潤

- 滑インターフェイスは人工関節の弛みを抑制する. **第8回日本組織工学会**. 東京, 9.1-2, 2005.
- 5) 茂呂徹, 高取吉雄, 石原一彦, 金野智浩, 高玉博朗, 松下富春, 山脇昇, 中村耕三, 川口浩: 生体適合性リン脂質ポリマーのナノ表面制御による長寿命型人工股関節の開発. **第32回日本股関節学会学術集会**. 新潟, 11.6-8, 2005.
- 6) 茂呂徹: ポリマーナノグラフト表面構築を基盤とした耐摩耗人工股関節の創製. **第27回日本バイオマテリアル学会大会**. 京都, 11.28-29, 2005.
- 7) 茂呂徹, 高取吉雄, 石原一彦, 金野智浩, 高玉博朗, 松下富春, 山脇昇, 中村耕三, 川口浩: ポリマーナノグラフト型人工股関節の生体適合機能. **第27回日本バイオマテリアル学会大会**. 京都, 11.28-29, 2005.
- 8) 石山典幸, 茂呂徹, 大江隆史, 石原一彦, 金野智浩, 木村美都奈, 三浦俊樹, 中村耕三, 川口浩: 生体内解離性リン脂質ポリマーハイドロゲルの癒着防止効果. **第27回日本バイオマテリアル学会大会**. 京都, 11.28-29, 2005.
- 9) 木村美都奈, 金野智浩, 高井まどか, 石山典幸, 茂呂徹, 石原一彦: 生体内解離性リン脂質ポリマーハイドロゲルの特性. **第27回日本バイオマテリアル学会大会**. 京都, 11.28-29, 2005.
- 10) 茂呂徹: ナノ表面制御による人工関節ライナーの低摩擦化と生体適合性に関する研究. **第43回日本人工臓器学会大会**. 東京 11.30-12.2, 2005.
- 11) 茂呂徹, 高取吉雄, 石原一彦, 金野智浩, 高玉博朗, 松下富春, 山脇昇, 中村耕三, 川口浩: シンポジウム「日本発の人工臓器: 基盤技術の創出と開発の現況」生体適合性ポリマーのナノ表面処理による長寿命型人工股関節の開発. **第43回日本人工臓器学会大会**. 東京 11.30-12.2, 2005.
- 12) 高取吉雄, 茂呂徹, 石原一彦, 高玉博朗, 山脇昇, 川口浩, 中村耕三: シンポジウム「ポリエチレン摩耗の問題」MPC ポリマーによるポリエチレンライナーのナノ表面処理. **第36回日本人工関節学会**. 京都, 2.3-4, 2006.
- 13) 茂呂徹, 高取吉雄: 長寿命型人工関節の臨床応用推進に関する研究. **トランスレーショナル研究成果発表会**. 東京, 3.2, 2006.
- 14) 茂呂徹, 中村耕三, 高戸毅, 牛田多加志: 生体適合性ポリマーのナノ表面処理による新規人工臓器・医療デバイスの開発. **第2回先端研究拠点クラスター合同シンポジウム**. 東京, 4.21, 2006.
- 15) 北野和彦, 金野智浩, 高井まどか, 石原一彦: 表面摩擦における親水性グラフトポリマー鎖の効果. **第55回高分子学会年次大会**. 名古屋, 5, 2006.
- 16) 茂呂徹: 「QOL (生活の質)の向上を目指して」材料の進歩. **朝日人工関節セミナー**. 東京, 6.4, 2006.

- 17) 高取吉雄:「QOL (生活の質)の向上を目指して」股関節疾患の治療法. *朝日人工関節セミナー*. 東京, 6.4, 2006.
- 18) 茂呂徹, 高取吉雄, 石原一彦, 金野智浩, 高玉博朗, 山脇昇, 京本政之, 鄭雄一, 中村耕三, 川口浩: シンポジウム「バイオマテリアルと生体の相互作用」生体適合性ポリマーと生体の相互作用 — 摩耗粉が骨吸収に与える影響の検討— **第27回日本炎症・再生医学会**. 東京, 7.11-12, 2006.
- 19) 石原一彦: 人工細胞膜ナノテクノロジーが摩耗による人工股関節の再置換をなくす — ナノバイオ・インテグレーション工学の貢献—. *人工関節学術検証会*, 長崎, 10.14, 2006.
- 20) 茂呂徹, 高取吉雄, 石原一彦, 京本政之, 中村耕三, 川口浩: シンポジウム「新生体材料の開発と臨床応用への関門」ナノ表面処理による人工股関節の長寿命化. **第21回日本整形外科学会基礎学術集会**. 長崎, 10.19-20, 2006.
- 21) 茂呂徹, 高取吉雄, 石原一彦, 金野智浩, 京本政之, 山本基, 荻田達郎, 中村耕三, 川口浩: 生体適合性ポリマーナノグラフトを基盤とした長寿命型人工関節の開発. *東京大学生命科学ネットワークシンポジウム*. 東京, 11.25, 2006.
- 22) 京本政之, 茂呂徹, 金野智浩, 川口浩, 高取吉雄, 中村耕三, 橋本雅美, 山脇昇, 石原一彦: 高潤滑性ポリマーナノグラフト法による革新的な人工関節の開発. **第28回バイオマテリアル学会大会**, 東京, 11.27-28, 2006.
- 23) 北野和彦, 金野智浩, 高井まどか, 石原一彦: リン脂質ポリマーをナノグラフトしたポリプロピレンの表面潤滑特性. **第17回日本MRS学術シンポジウム**. 東京, 12, 2006.
- 24) 茂呂徹, 高取吉雄, 石原一彦, 金野智浩, 山本基, 荻田達郎, 伊藤英也, 橋本雅美, 山脇昇, 京本政之, 中村耕三, 川口浩: 生体適合性リン脂質ポリマーのナノ表面処理による人工股関節の長寿命化. **第37回日本人工関節学会**. 東京, 2.2-3, 2007.
- 25) 高取吉雄, 茂呂徹, 山本基, 荻田達郎, 伊藤英也, 京本政之, 川口浩, 中村耕三: シンポジウム「各部位の人工関節の耐久性と問題点」未来に向けて何年もたせるか人工股関節の耐久性と MPC 処理. **第51回日本リウマチ学会**. 横浜, 4.26-29, 2007.
- 26) 茂呂徹, 高取吉雄, 石原一彦, 金野智浩, 京本政之, 山脇昇, 山本基, 荻田達郎, 中村耕三, 川口浩: ポリエチレン表面のMPCグラフト処理による長寿命型人工関節の開発— 処理密度の制御と耐摩耗効果—. **第80回日本整形外科学会学術総会**. 神戸, 5.24-27, 2007.
- 27) 高取吉雄: 股関節疾患の診断と治療—問題点の検討 **第11回整形外科研修会 Meet the Professional**. 東京, 6.27, 2007.
- 28) 合田達郎, 金野智浩, 高井まどか, 石原一彦: PDMS を基盤とするバイオインターフェイスにおけるリ

- ン脂質ポリマーグラフト量の効果. **第56回高分子学会年次大会**. 京都, 5.29, 2007.
- 29) 北野和彦, 松野亮介, 金野智浩, 高井まどか, 石原一彦: リン脂質ポリマーのナノグラフトによる高度潤滑バイオインターフェイス. **第56回高分子学会年次大会**. 京都, 5.30, 2007.
- 30) 高取吉雄: 人工股関節の問題点と対策. **第69回東京都城北整形外科医会**. 東京, 7.10, 2007.
- 31) 小林元康, 松田靖弘, 海道昌孝, 鈴木厚, 石原一彦, 高原淳: 超親水性ポリマーゲル薄膜の固定化による水潤滑表面の構築. **第56回高分子討論会**. 名古屋, 9.21, 2007.
- 32) 堀口健二, 石原一彦, 岩崎泰彦, 長瀬裕, 下山田直矢: ホスホリルコリン基含有芳香族ポリマーの合成と生体適合性. **第56回高分子討論会**. 名古屋, 9.21, 2007.
- 33) 高取吉雄, 荻田達郎, 馬淵昭彦: 多発性骨端異形成症患者の変形性股関節症に対する外反骨切り術—MATN3 遺伝子の変異を同定できた2例での結果—. **第56回東日本整形災害外科学会**. 軽井沢, 9.22, 2007.
- 34) 小林元康, 松田靖弘, 海道昌孝, 鈴木厚, 石原一彦, 高原淳: 生体模擬環境下における高分子電解質ブラシのトライボロジー特性. **トライボロジー会議 2007 秋 佐賀**. 佐賀, 9.23, 2007.
- 35) 茂呂徹: 関節摺動面の MPC 処理による人工股関節の耐久性の向上. **トライボロジー会議 2007 秋 佐賀**. 佐賀, 9.27, 2007.
- 36) 茂呂徹: 関節摺動面のナノ処理による新しい人工股関節の開発. **第13回人工関節基礎研究会**. 東京, 9.29, 2007.
- 37) 高取吉雄, 伊藤一弥, 祖父江牟婁人, 廣田良夫, 糸満盛憲, 松本忠美, 浜田良機, 進藤裕幸, 山田治基, 安永裕司, 伊藤浩, 森諭史, 大湾一郎, 藤井玄二, 大橋弘嗣, 馬渡太郎, 高平尚伸, 杉森端三, 杉山肇, 岡野邦彦, 荻田達郎, 安藤謙一, 濱木隆成, 平山光久, 岩田憲, 松浦正典, 神宮司誠也: (社)日本整形外科学会学術プロジェクト研究「日本人における臼蓋形成不全による変形性股関節症に関する疫学調査」—変形性股関節症の単純X線写真における病期とX線指数-測定誤差と共同研究での合意形成について—. **第34回日本股関節学会**. 金沢, 10.11, 2007.
- 38) 茂呂徹: 耐摩耗性を高めた新しい人工関節の開発. **茨城整形外科講演会**. 水戸, 10.25, 2007.
- 39) 京本政之, 岩崎泰彦, 茂呂徹, 宮路史明, 金野智浩, 川口浩, 高取吉雄, 中村耕三, 石原一彦: 長寿命人工関節のためのリン脂質グラフトポリマーによる高潤滑性 Co-Cr-Mo 合金の創製. **第29回日本バイオマテリアル学会**. 大阪, 11.26-27, 2007.
- 40) 北野和彦, 松野亮介, 金野智浩, 高

- 井まどか, 石原一彦: 潤滑バイオマテリアル表面の創製に向けたリン脂質ポリマーブラシの構築. **第29回日本バイオマテリアル学会大会**. 大阪, 11.26-27, 2007.
- 41) 茂呂徹: オーガナイズドセッション「ナノメディシン—研究と人材育成—」ナノ表面処理による新しい人工関節の開発. **第51回日本学術会議材料工学連合講演会**. 京都, 11.27-29, 2007.
- 42) 京本政之, 茂呂徹, 宮路史明, 上野勝, 橋本雅美, 川口浩, 高取吉雄, 中村耕三, 石原一彦: 高密度生体適合性リン脂質ポリマー表面による長寿命型人工関節. **第34回日本臨床バイオメカニクス学会**. 東京, 12.7-8, 2007.
- 43) 茂呂徹, 高取吉雄, 石原一彦, 京本政之, 山本基, 荻田達郎, 伊藤英也, 中村耕三, 川口浩: シンポジウム「人工股関節の開発課題とバイオメカニクス」長寿命型人工股関節の開発—生体適合性ポリマーによるポリエチレンライナーのナノ表面処理—. **第34回日本臨床バイオメカニクス学会**. 東京, 12.7-8, 2007.
- 44) 荻田達郎, 高取吉雄, 山本基, 茂呂徹, 馬淵昭彦, 伊藤英也, 齊藤貴志: 人工股関節においてジルコニア骨頭を架橋ポリエチレンと組み合わせた場合の線摩耗率. **第34回日本臨床バイオメカニクス学会**. 東京, 12.7-8, 2007.
- 45) 北野和彦, 松野亮介, 金野智浩, 高井まどか, 石原一彦: ナノ構造制御したリン脂質ポリマーブラシのバイオ特性. **第18回日本MRS学術シンポジウム**. 東京, 12.8, 2007.
- 46) 石原一彦: ナノ医工学による超長寿命型人工関節の創製. **東京大学先端医療開発研究シンポジウム**. 1.22, 2008.
- 47) 齊藤貴志, 伊藤英也, 荻田達郎, 馬淵昭彦, 高取吉雄, 中村耕三: 手術シミュレーション骨モデルの有用性-RAPADILINO 症候群患者に対する人工股関節の経験. **第48回関東整形災害外科学会**. 東京, 2.15, 2008.
- 48) 高取吉雄, 荻田達郎, 馬淵昭彦, 伊藤英也, 齊藤貴志: 寛骨臼回転骨切り術後に起きた臼部後方での寛骨骨折. **第48回関東整形災害外科学会**. 東京, 2.15, 2008.
- 49) 高取吉雄: 長寿命型人工関節の臨床応用推進に関する研究. **トランスレーショナル研究成果発表会**. 東京, 2.26, 2008.
- 50) 高取吉雄, 茂呂徹, 山本基, 荻田達郎, 伊藤英也, 齊藤貴志, 京本政之, 川口浩, 中村耕三: 耐久性に優れた人工股関節の開発—ポリエチレン・ライナーの MPC 処理. **第38回日本人工関節学会**. 沖縄, 2.29, 2008.
- 51) 京本政之, 茂呂徹, 宮路史明, 金野智浩, 川口浩, 高取吉雄, 中村耕三, 石原一彦: 超耐久性高潤滑インターフェイスの構築による長寿命型人工関節. **第56回高分子討論会名古屋**, 3.2-5, 2008.

H. 知的財産権の出願・登録状況

- 1) 「低摩耗性摺動部材及びそれを用いた人工関節」
特願：2006-28529
出願日：2006.2.6
同様の内容で国際出願を予定

- 2) 「生体材料、及びそれを用いた人工関節並びにその製造方法」
特願：2006-91544
出願日：2006.03.29
同様の内容で国際出願を予定

- 3) 「低摩耗性摺動部材及びそれを用いた人工関節」
特願：2006-338601
出願日：2006.12.15
同様の内容で国際出願を予定

- 4) 「生体適合性および低摩擦性部材及びそれを用いた人工関節並びにその製造方法」
特願：2007-260191
出願日：2007.10.3
同様の内容で国際出願を予定

- 5) 「医療用具及びその製造方法」
特願 2007-330917
出願日：2007.12.21
同様の内容で国際出願を予定

分担研究報告書

MPC ポリマー処理した関節摺動面の耐摩耗特性の評価

分担研究者 水野峰男（財団法人ファインセラミックスセンター
材料技術研究所 主席研究員）

橋本雅美（財団法人ファインセラミックスセンター
材料技術研究所 副主任研究員）

瀧川順庸（大阪府立大学大学院工学研究科 助教授）

研究要旨：生体適合性ポリマーである MPC ポリマーをクロスリンクポリエチレンライナー（CL-PE）にナノスケールで処理を施した表面を創製し、その耐摩耗特性を、股関節シミュレーターを用いて評価した。この結果、MPC ポリマー処理は、3000 万回という長期試験においても CL-PE ライナーの摩耗を著しく抑制することが明らかになった。相手材の骨頭としては、コバルトクロム合金およびアルミナを用いた場合も、ほぼ同じ優れた摩耗特性を示した。また、ライナーの含水量を測定した結果、試験回数にともない含水量は増加したが、その変化量は、MPC-CL-PE、CL-PE および通常 PE ライナーでほとんど同じであった。MPC による表面処理条件に関しては、十分な摩耗抑制効果を発揮するためには、紫外線（UV）処理時間は 1.5 時間が好ましく、また、処理範囲に関しては、骨頭が接触する摺動部のみに MPC 処理を行えば、ライナー全体に処理をした場合とほぼ同等に、摩耗を大幅に抑えることができることが明らかとなった。本研究の結果より、長寿命型人工関節の開発が期待できる。

A. 研究目的

人工関節置換手術は、機能を喪失した関節を人工関節に置換し、関節機能の再建を図る手術である。今日では、人工股関節、人工膝関節を始めとして多種類の関節に対して臨床応用され、変形性関節症、関節リウマチ、外傷などの患者の荒廃した関節の疼痛を寛解し、よりよい ADL（activity of daily

living）・QOL（quality of life）の獲得に大きな役割を果たしている。とくに我が国のような高齢社会では有病者が増加し、例えば人工股関節については、日本だけでも年間 7 万件以上の手術が行われている。しかし、その耐用年限（寿命）は一般的に約 10 年とされる。

人工関節の寿命を決める主因は、骨

に固定された人工関節の部品の周囲に骨吸収が起き、固定性が失われること（弛み：loosening）である。looseningを生じた人工関節は加速的に周囲の骨を吸収し、患者のQOLを著しく低下させる。このため入れ替え（再置換術）が必要となるが、再置換術は難度が高く、長期の入院を要する。社会の高齢化とともに、人工関節を入れた患者のその後の人生は長期化している。すなわち人工関節手術を受けた患者は再置換術の潜在的な対象であり、生涯に数回の再置換手術が必要となるため、その件数は今後飛躍的に増加し続けることが予想される。したがって、人工関節の弛みを防止し、寿命を延長することは、重要な課題である。

Looseningは関節摺動面を構成するポリエチレン（PE）の摩耗粉をマクロファージ（MΦ）が貪食して液性因子を分泌し、これが破骨細胞の形成・活性化を促進して人工関節周囲の骨吸収が生じる結果として発生する。そこで我々は、looseningの抑制を達成するため、生体適合性ポリマーである2-メタクリロイルオキシエチルホスホリルコリン（MPC）ポリマーをナノスケールで表面処理したクロスリンクPEライナー（CL-PE）を創製した。

我々はこれまでの先行研究で、表面にMPCポリマー処理を施したCL-PEが摩耗を著しく抑制することを明らかにした。しかし、MPCポリマー処理条件の影響、長期耐久性、ライナーの含水量の影響、骨頭の材質の影響等、まだその詳細は不明である。

本研究の目的は、股関節シミュレーターを用い、MPCポリマー処理を施したCL-PE表面の耐摩耗性の長期試験を行うとともに、MPC表面処理条件の影響や、マスキング効果の影響についても同様の摩耗試験を実施し、その詳細を明らかにすることである。また、ライナーの摩耗量算定のために、ライナーの含水量の測定を行い、さらに、骨頭の材質が耐摩耗性に与える影響を調べた。

B. 研究方法

(1) 摩耗および含水試験

摩耗試験は、図1(a)に示すMTS社製の股関節シミュレーター（Multi-Station Hip Simulator）を用いて行った。

股関節シミュレーターを用いた摩耗試験の試験条件はISO 14242-1に準じ、潤滑液には0.1%のアジ化ナトリウム（NaN₃）と20 mMのエチレンジアミン四酢酸三ナトリウム（3Na-EDTA）を含有する25%牛血清を用い、液量約750 mlで、毎秒1回の歩行周期（1 Hz）に183と280 kgfの2つのピークをもつDouble Peak Paulの歩行条件（図2）で、最大300万サイクルの摩耗試験を行った（図1(b)）。

摩耗試験に関しては、50万サイクル毎に潤滑液の交換を行うと同時に、ライナーの回収、洗浄、乾燥、重量測定を行い、ライナーの乾燥重量の変化を計測した。



(a) 股関節シミュレーター全体像

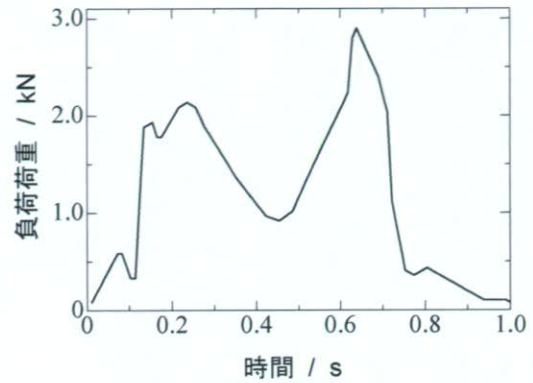
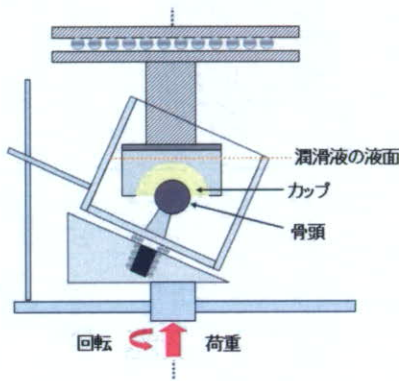
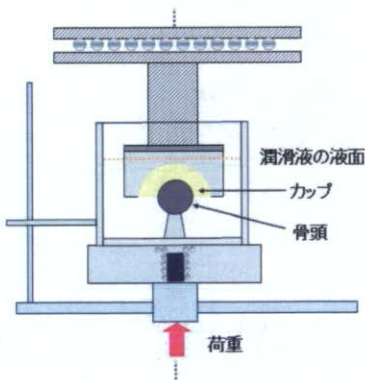


図2 荷重波形



(b) 摩耗試験時の試験片と環境槽



(c) 含水試験時の試験片と環境槽

図1 シミュレーターの外観

ライナーの正確な摩耗量の算出のためには、摩耗試験にともなう重量変化量をライナー自身の吸水量で補正する必要がある。そこで、ライナーの含水量の測定のために、試験溶液には摩耗試験と同じ潤滑液を用いて、含水試験を行った。図 1(c)に示すように、ライナーと骨頭に対して、下部方向から 183 と 280 kgf の 2 つのピークを持つ歩行条件と同じ圧縮応力を繰り返し負荷した。試験回数は、2000 万サイクルまで行った。含水試験に対しても、50 万サイクル毎に潤滑液の交換を行うと同時に、ライナーの回収、洗浄、乾燥、重量測定を行い、ライナーの乾燥重量の変化からライナーの重量変化を計測した。

試験部材のライナーには、(株)日本メディカルマテリアル製の CL-PE ライナーに MPC ポリマー処理を行

ったライナー (MPC-CL-PE) を使用した。対照には通常 PE ライナー (PE)、CL-PE を用い、長期の摩耗特性の違いを評価した。同様に、試験部材の骨頭にも、(株)日本メディカルマテリアル製の直径 26 mm のコバルトクロムモリブデン合金製 (CoCr) またはアルミナ(Al_2O_3) 骨頭を使用した。

(2)MPC 表面処理

MPC ポリマーは、CL-PE ライナー表面に UV 照射を行うことにより、固定化される。その UV 処理時間の影響を評価するために、種々の時間 (0.375h、0.75h、1.5h、3.0h) MPC ポリマー処理した MPC-CL-PE を用い、摩耗特性の違いを評価した。

(3)ライナーのマスキング処理

関節摺動面における MPC ポリマー処理表面の摩耗抑制機序を検討するため、MPC ポリマー処理をライナー全面あるいは一部のみ施した MPC-CL-PE と、対照として未処理の CL-PE を用い、摩耗特性の違いを評価した。特に、ライナーの一部にのみ MPC ポリマー処理を施した試料としては、骨頭が接触する天頂部のみ MPC ポリマー処理したライナー (マスキング)、骨頭が接触しない辺縁部のみ MPC 処理したもの (逆マスキング) の 2 種を用いた (図 3)。

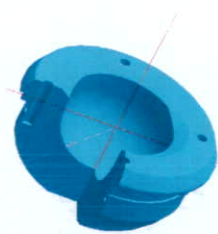


図 3-a 未処理ライナー



図 3-b マスキングライナー：
骨頭が接触する天頂部のみ
MPC ポリマー処理した

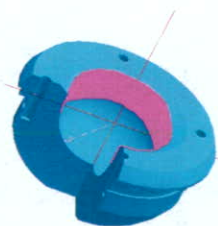


図 3-c 逆マスキングライナー：
骨頭が接触しない辺縁部の
み MPC 処理した

C. 研究結果

(1) UV 照射時間の影響

UV 照射時間の異なる MPC-CL-PE を用いて評価した摩耗試験結果を図4に示す。UV 処理時間が、0.375 時間の試料の場合は、およそ 300 万サイクル以降、重量減少した。一方、処理時間が 0.75、1.5、3.0 時間の試料の場合は、500 万サイクルまで、重量増加し続けた。その増加量幅は、0.75 時間 < 3.0 時間 < 1.5 時間の順に大きかった。ただ処理時間が 0.75 時間の試料では、400 万サイクル以降、重量増加幅が極めて小さくなった。これらの結果から、UV 処理時間が 0.375 または 0.75 時間の試料では、MPC ポリマー処理の効果が摩耗試験過程で失われるか、または非常に小さいことが明らかとなった。そのため、十分な MPC ポリマー処理効果を発揮するためには、処理時間は 1.5 時間が好ましいと考えられる。

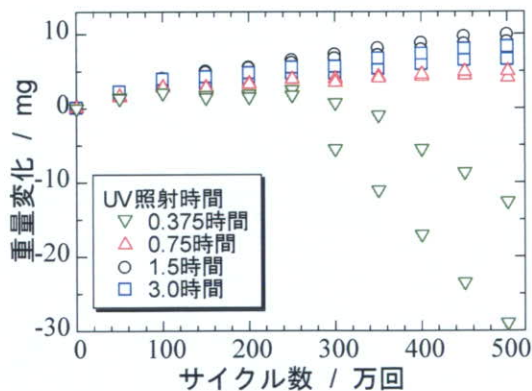


図4 UV 照射時間の異なるライナーの摩耗試験結果

(2) マスキング処理の影響

MPC ポリマー処理による摩耗抑制機序を検討するため、MPC ポリマー処理をライナー全面あるいは一部のみ施した MPC-CL-PE と未処理の CL-PE を用い、摩耗特性の違いを評価した。その結果を図5に示す。ライナーの辺縁部をマスキングし、骨頭が接触する天頂部にのみ MPC ポリマー処理を施した試料（マスキング）では、大きな摩耗を示さず、逆に重量増加した。ただし、その重量増加勾配は、通常の表面処理した試料（MPC-CL-PE）より、少し小さかった。一方、逆にライナーの天頂部をマスキングし、骨頭非接触部（辺縁部）にのみ MPC ポリマー処理を施した試料（逆マスキング）では、MPC 未処理の試料（CL-PE）と比較して摩耗の抑制効果は見られたものの、その効果は軽度であった。

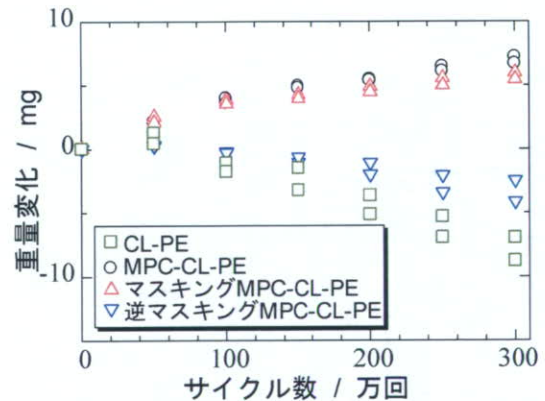
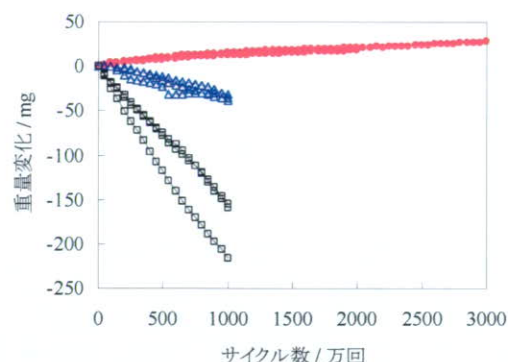


図5 マスキング処理条件の異なるライナーの摩耗試験結果

(3)長期摩耗特性

直径 26 mm の CoCr 骨頭に対する、
表面処理状態の異なるライナー

(MPC-CL-PE、CL-PE、PE) の長期
摩耗試験の結果を図 6 に示す。その
結果、MPC-CL-PE ライナーの重量は、
3000 万サイクルまで単調増加をし
続けた。その増加量は、約 28 mg 程
度であった。摩耗率は、1000 万サイ
クルまでは $-1.5 \text{ mg}/10^6$ サイクルであり、
1000~2000 万サイクルまでは
 $-1.2 \text{ mg}/10^6$ サイクルであり、2000~
3000 万サイクルまでは $-0.95 \text{ mg}/10^6$
サイクルであった。一方、対照の
CL-PE では、最初は含水量が摩耗量
を上回り重量増加を示したものの、
100 万サイクル以降は摩耗量が含水
量を上回り単調減少し続けた。定常
摩耗率は、 $3.3 \text{ mg}/10^6$ サイクルであっ
た。また PE では、最初から大きく
単調減少し、定常摩耗率は、 18
 $\text{mg}/10^6$ サイクルであり、CLPE の約 6
倍の摩耗率を示した。これらの結果
から、MPC ポリマー処理は 3000 万
サイクル試験後まで十分に残存し、
摩耗を低減させる効果を持続しうる
ことが明らかとなった。

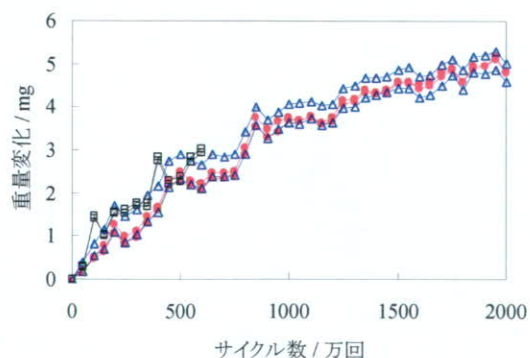


● MPC-CL-PE, △ CL-PE, □ PE

図 6 表面処理条件の異なる
ライナーの長期摩耗試験結果

(4)含水量

ライナーの正確な摩耗量算出のため
に、MPC-CL-PE、CL-PE および PE
ライナーの試験回数にともなう含水
量の変化を図 7 に示す。含水量は、何
れのライナーの場合も、試験回数にと
もない増加し、2000 万サイクル終了
時のその変化量は約 4.8mg 増であっ
た。



● MPC-CL-PE, △ CL-PE, □ PE

図 7 表面処理条件の異なる
ライナーの含水試験結果

(5) 骨頭種類の影響

直径 26 mm の Al_2O_3 骨頭に対する、表面処理状態の異なるライナー (MPC-CL-PE、CL-PE) の摩耗試験の結果を図 8 に示す。300 万サイクル終了時の MPC-CL-PE ライナーの重量は、 Al_2O_3 骨頭を用いた場合も増加することがわかった。定常摩耗率は、CL-PE ライナーの場合には、 $1.9 \text{ mg}/10^6$ サイクルであるのに対し、MPC-CL-PE ライナーの場合には、 $-0.8 \text{ mg}/10^6$ サイクルであった。

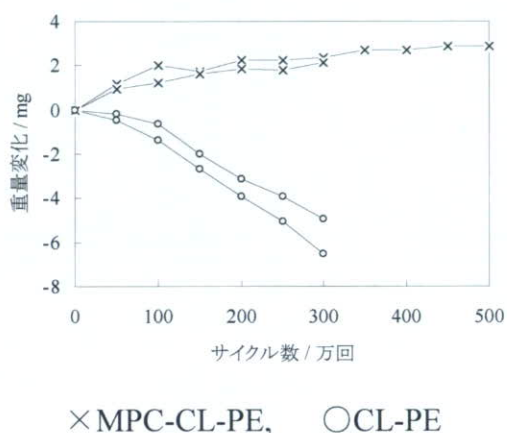


図 8 Al_2O_3 骨頭と組み合わせた MPC-CL-PE および CL-PE ライナーの摩耗試験結果

次に、CoCr または Al_2O_3 骨頭と MPC-CL-PE ライナーの組み合わせにより評価した摩耗試験結果を図 9 に示す。1000 万サイクル終了時の MPC-CL-PE ライナーの重量は、何れの骨頭種においても増加することがわかった。その変化量は、CoCr 骨頭の場合には 13 mg 増であるのに対し、

Al_2O_3 骨頭の場合には 11 mg であった。何れの骨頭の場合も、重量増加量は、ほぼ同じであることがわかった。

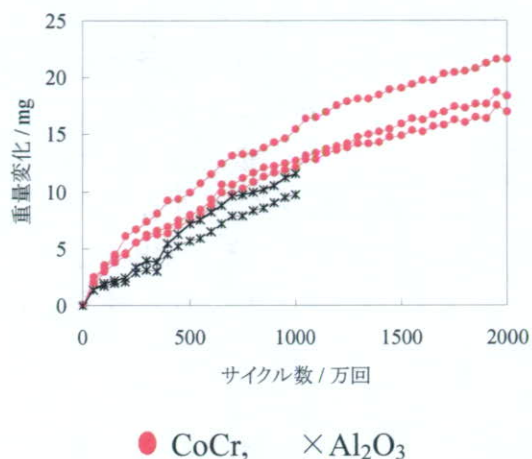


図 9 種々の骨頭と組み合わせた MPC-CL-PE ライナーの長期摩耗試験結果

D. 考察

本研究では、股関節シミュレーターを用いて、生体適合性ポリマーである MPC ポリマーで表面処理を施した CL-PE ライナーの摩耗特性を評価した。その結果、ライナーの耐摩耗性は $PE < CL-PE < MPC-CL-PE$ であることが明らかになった。摩耗を抑制する方法として既に臨床応用されているクロスリンク処理よりも、MPC ポリマー処理を行うことでさらに摩耗を抑制することが可能であることが明らかとなった。さらに、その効果は 3000 万サイクルまで耐摩耗性を維持する程、高いものであることがわかった。

UV 処理時間に関しては、0.375 時間の試料では重量減少し、処理時間が 0.75、1.5、3.0 時間の試料では、500 万サイクルまで、重量増加し続けた。その増加量幅は、0.75 時間 $<<$ 3.0 時間 $<$ 1.5 時間の順に大きかった。この原因は、UV 処理時間が 0.375 または 0.75 時間と短いと、MPC ポリマー処理された表面処理層が非常に薄いため(図 10)、摩耗試験過程ですぐに削り取られて失われてしまうためと考えられる。そのため、十分な MPC ポリマー処理効果を発揮するためには、処理時間は 1.5 時間以上が好ましいと考えられる。ただ、3 時間の UV 照射を行うと、形成される MPC ポリマー鎖が長くなり、親水性部が MPC ポリマー内に潜り込むことが考えられる(図 10)。そのため、最表面に存在する耐摩耗性に影響を与える親水性部の存在割合が低くなる可能性が高い。そのた

め、照射時間は 1.5 時間が最適と考えられる。

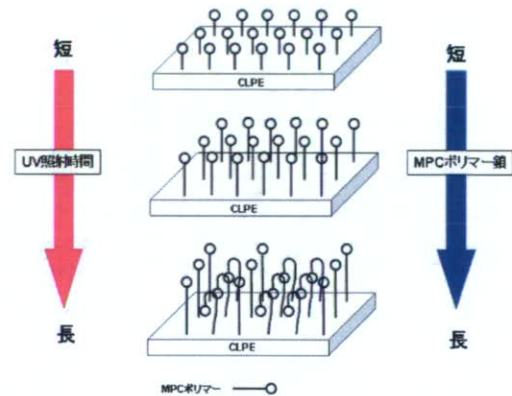


図 10 UV 処理時間を変えた場合に形成される MPC ポリマー層

MPC ポリマー処理による摩耗抑制機序の解明に関しては、マスキング試料では、ライナー全面を処理したものよりは摩耗抑制効果が若干劣ってはいたが、重量増加が見られた。この原因は、MPC ポリマーが摺動部に残存することで、摺動面への潤滑液の導入を促し、摩耗抑制に効果的な摺動面が形成されたため、その結果、含水量が摩耗量を大きく上回り、重量増加したと考えられる。次に、逆マスキング試料では、軽度の摩耗抑制効果が見られるもののすぐに効果を失い、未処理の CL-PE ライナーの傾きと同一になった。この原因は、関節摺動面近傍に存在する MPC ポリマーが摺動面に潤滑液の導入を促し、流体潤滑の改善に若干の寄与を示す一方、関節摺動面には