

CLPE (6 mm)

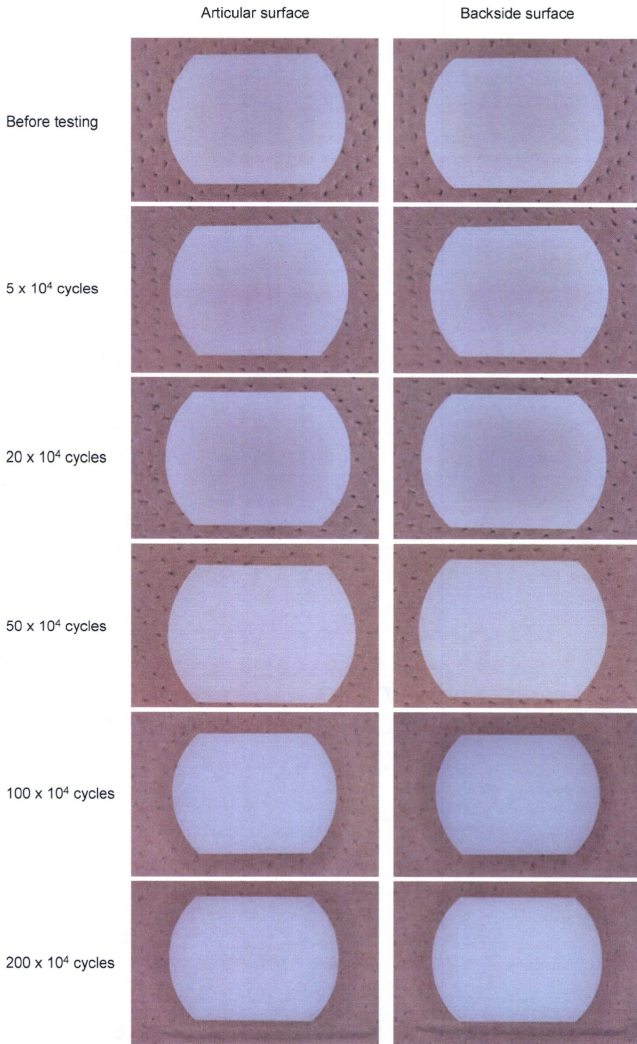


図 6-3. 衝撃-摩耗試験前後の未処理 CLPE (6 mm 厚) の外観写真

PMPC-grafted CLPE (6 mm)

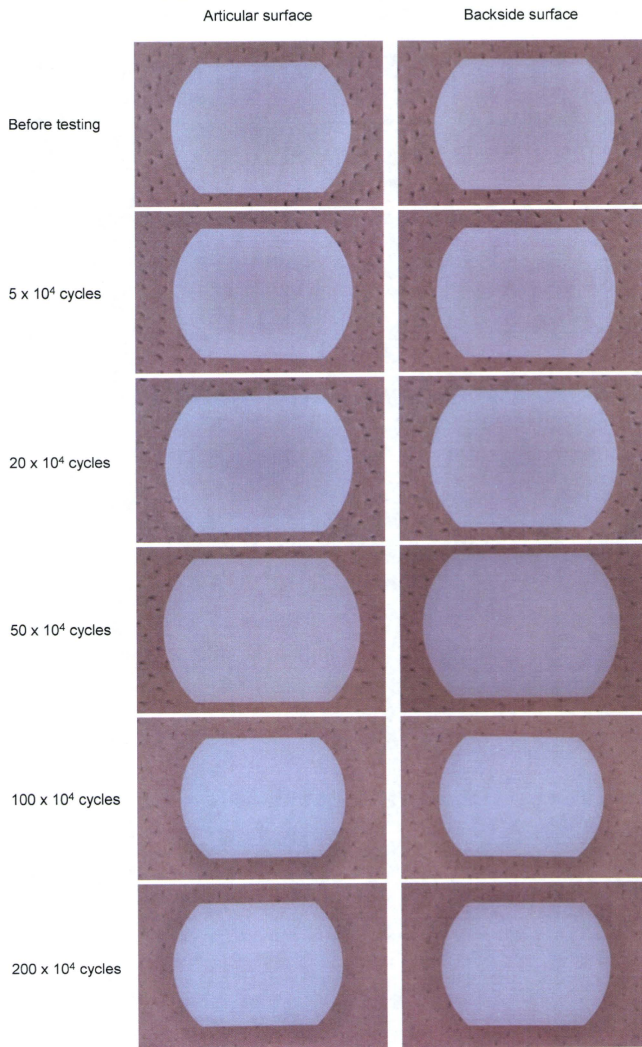


図 6-4. 衝撃-摩耗試験前後の PMPC 処理 CLPE (6 mm 厚) の外観写真

CLPE (3 mm)

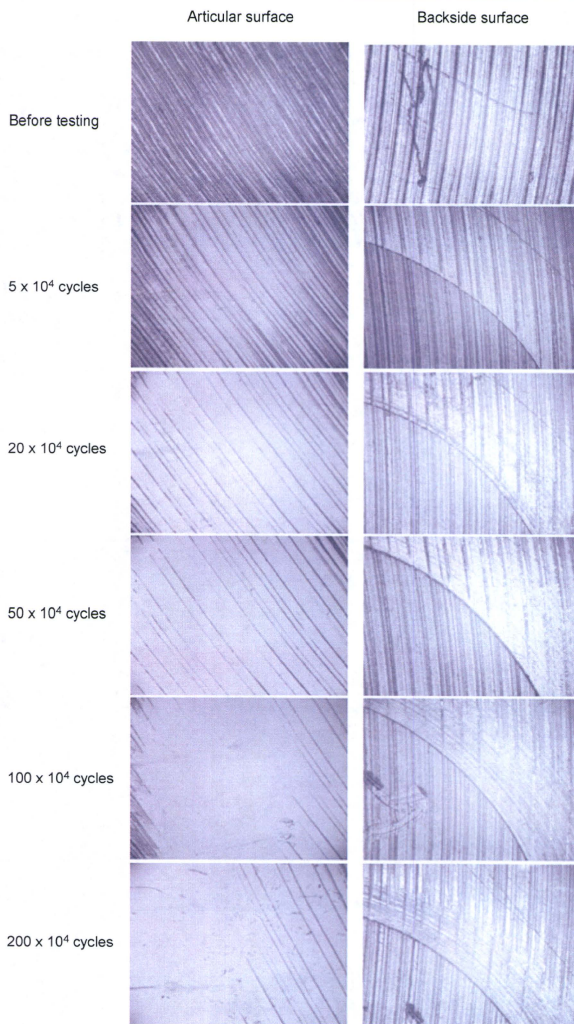


図 7-1. 衝撃-摩耗試験前後の未処理 CLPE (3 mm 厚) の摺動部および背面ホール部のマイクロSCOPEイメージ

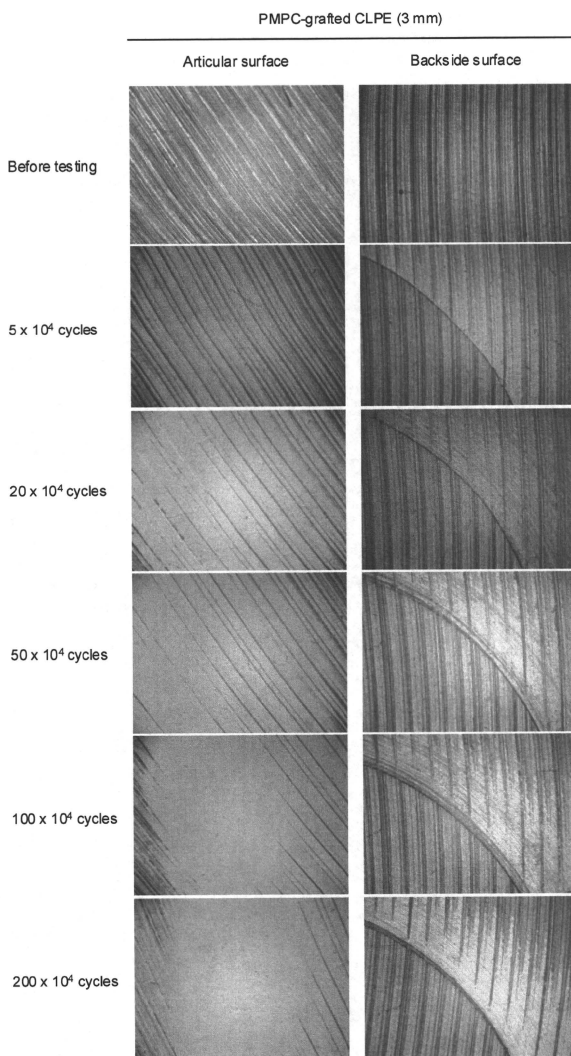


図 7-2. 衝撃-摩耗試験前後の PMPC 処理 CLPE (3 mm 厚) の摺動部および背面ホール部のマイクロコピーイメージ

CLPE (6 mm)

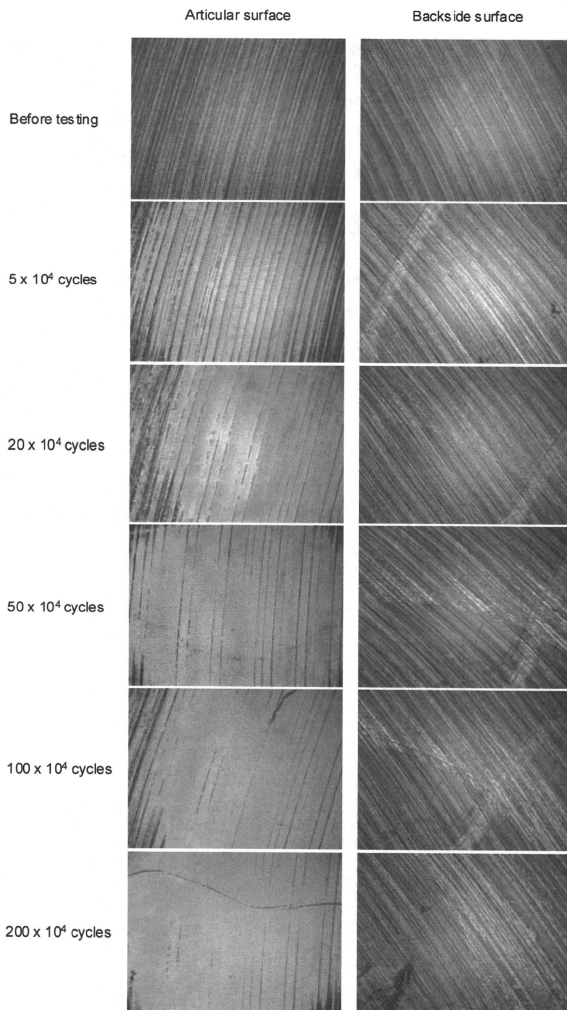


図 7-3. 衝撃-摩耗試験前後の未処理 CLPE (6 mm 厚) の摺動部および背面ホール部のマイクロスコープイメージ

PMPC-grafted CLPE (6 mm)

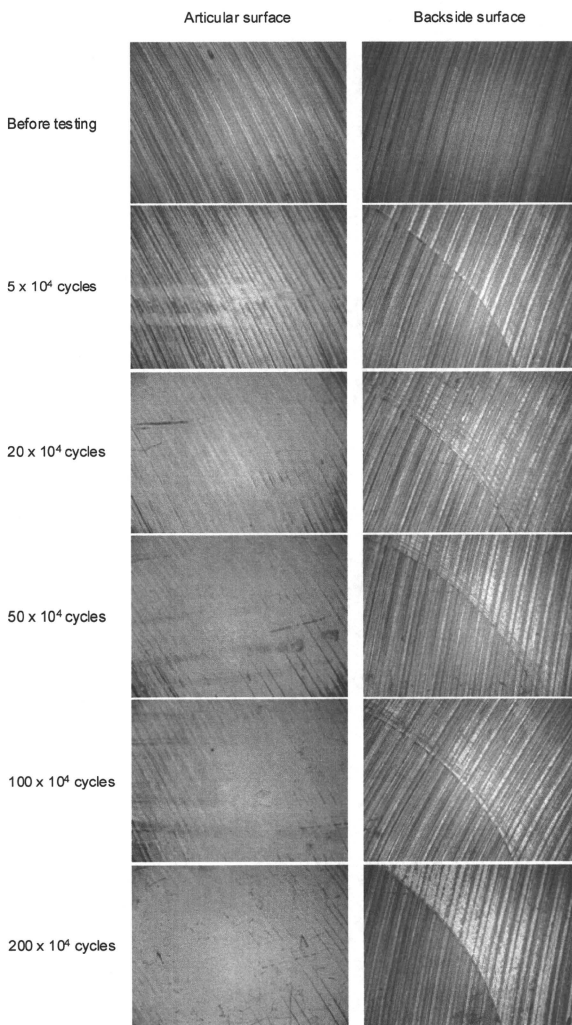


図 7-4. 衝撃-摩耗試験前後の PMPC 処理 CLPE (6 mm 厚) の摺動部および背面ホール部のマイクロスコピーイメージ

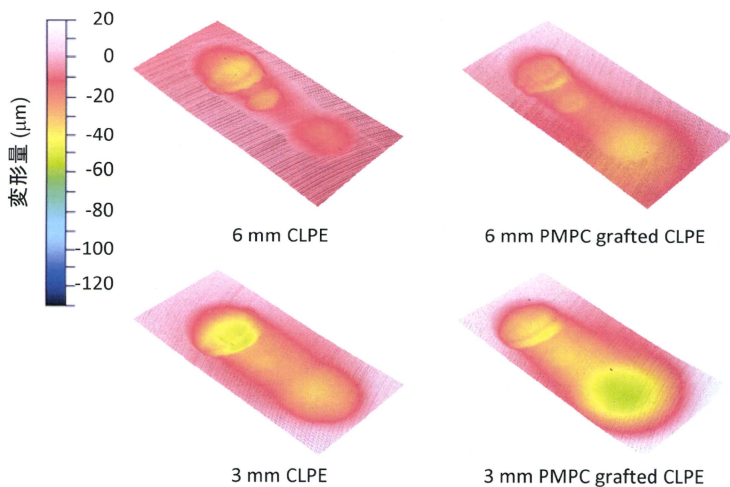


図 8-1. 衝撃-摩耗試験の未処理 CLPE および PMPC 処理 CLPE の摺動部性状測定結果

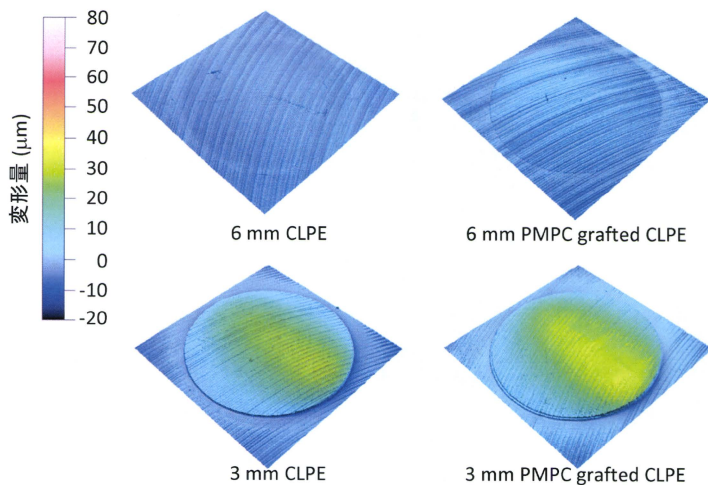


図 8-2. 衝撃-摩耗試験の未処理 CLPE および PMPC 処理 CLPE の背面性状測定結果

②. 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 9 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。

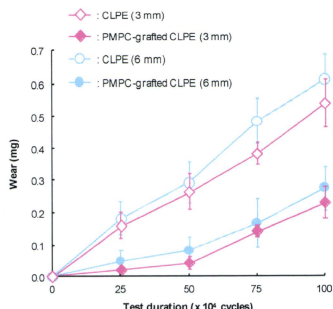


図 9. 多方向摺動試験における未処理 CLPE および PMPC 処理 CLPE の摩耗量

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 10 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 11 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 12 に多方向摺動試験後の未処理 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)

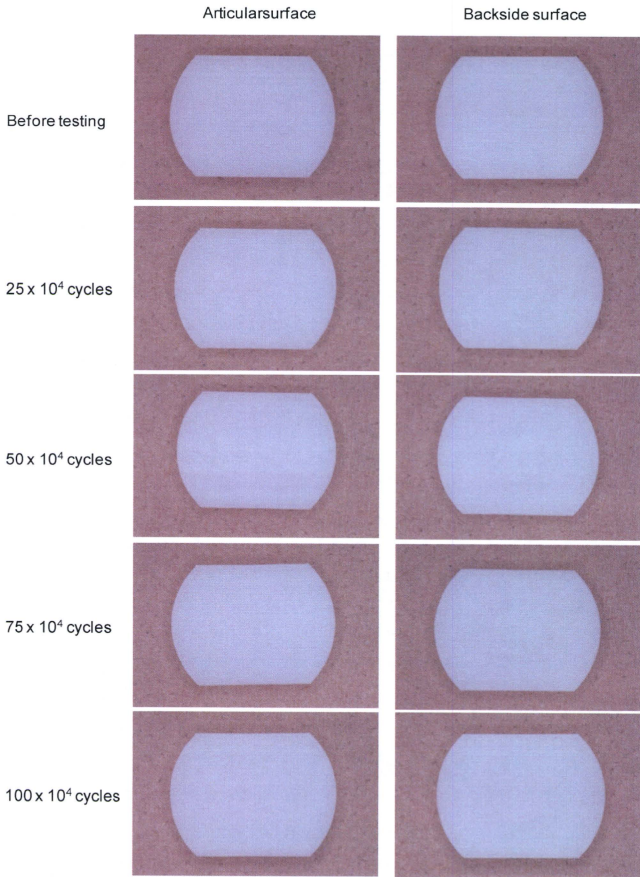


図 10-1. 摩耗試験前後の未処理 CLPE (3 mm 厚) の外観写真

MPC-grafted CLPE (3 mm)

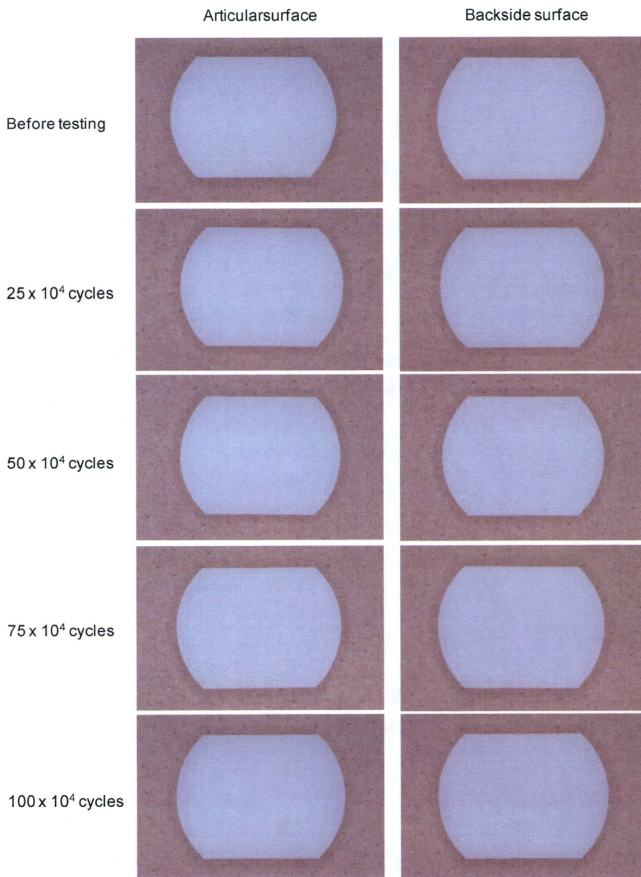


図 10-2. 摩耗試験前後の PMPC 処理 CLPE (3 mm 厚) の外観写真

CLPE (6 mm)

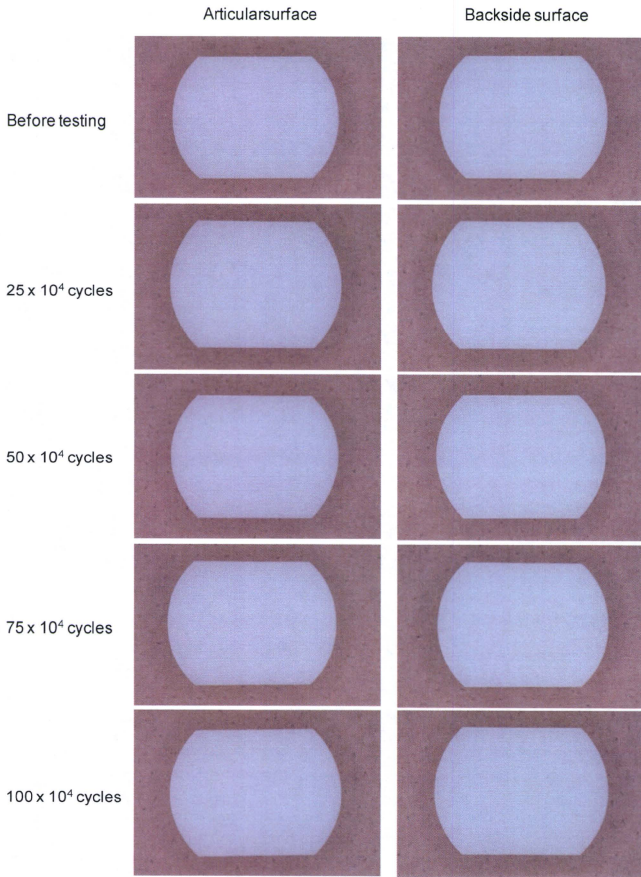


図 10-3. 摩耗試験前後の未処理 CLPE (6 mm 厚) の外観写真

MPC-grafted CLPE (6 mm)

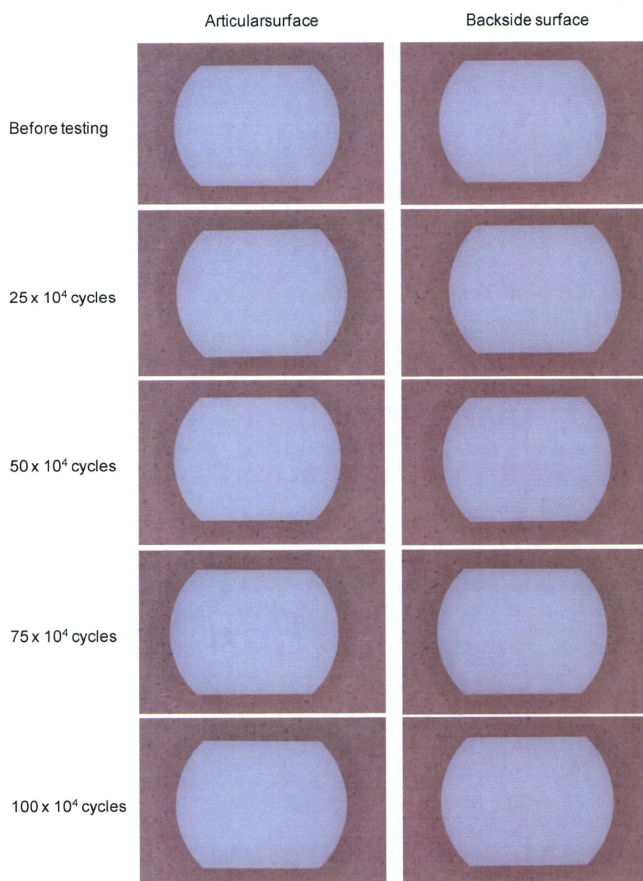


図 10-4. 摩耗試験前後の PMPC 処理 CLPE (6 mm 厚) の外観写真

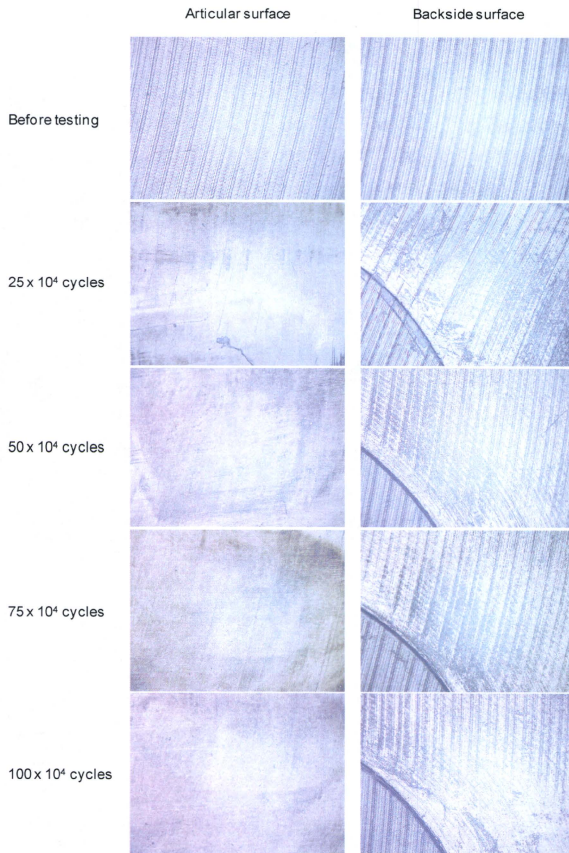


図 11-1. 多方向摺動試験前後の未処理 CLPE (3 mm 厚) の摺動部および背面ホール部のマイクロSCOPE イメージ

MPC-grafted CLPE (3 mm)

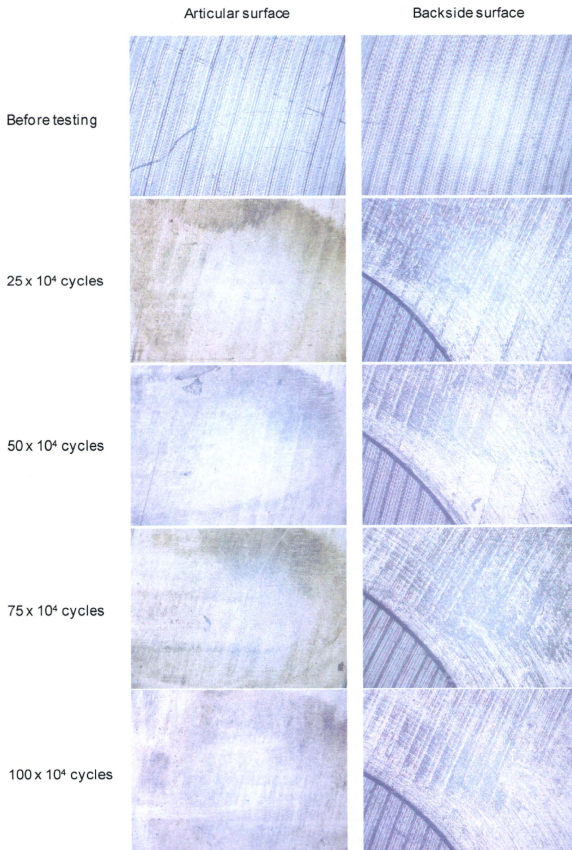


図 11-2. 多方向摺動試験前後の PMPC 処理 CLPE (3 mm 厚) の摺動部および背面ホール部のマイクロスコピーイメージ

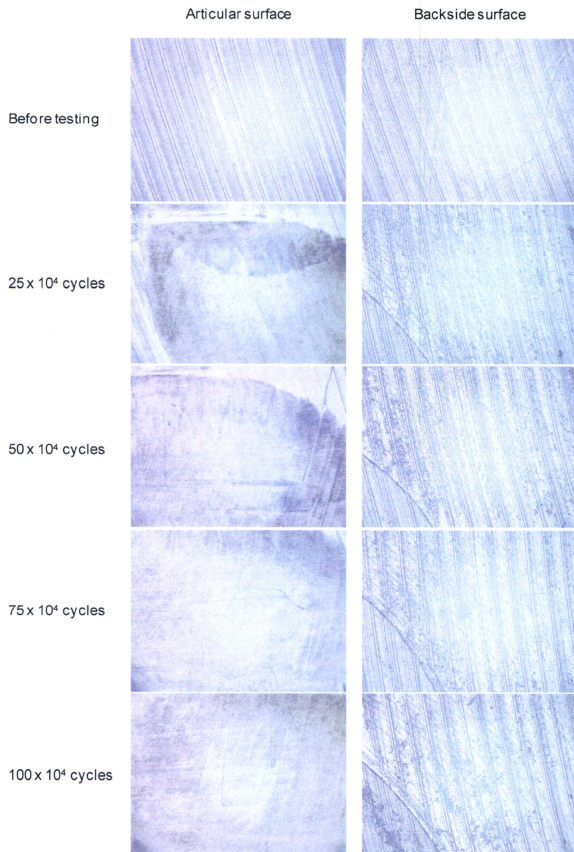


図 11-3. 多方向摺動試験前後の未処理 CLPE (6 mm 厚) の摺動部および背面ホール部のマイクロSCOPE イメージ

MPC-grafted CLPE (6 mm)

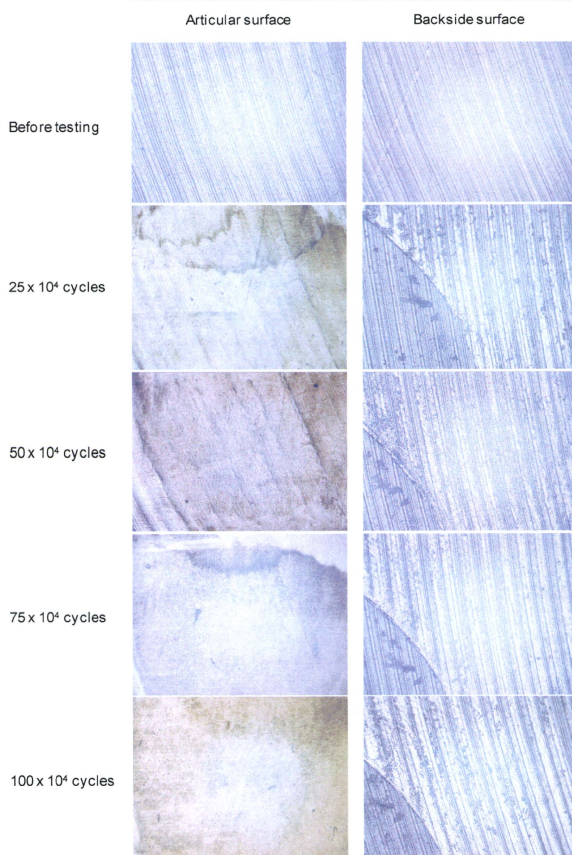


図 11-4. 多方向摺動試験前後の PMPC 処理 CLPE (6 mm 厚) の摺動部および背面ホール部のマイクロスコピーイメージ

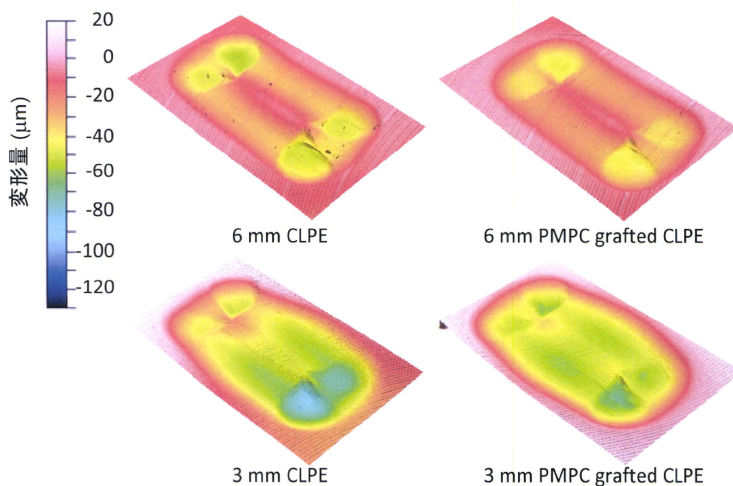


図 12-1. 多方向摺動試験の未処理 CLPE および PMPC 処理 CLPE の摺動部性状測定結果

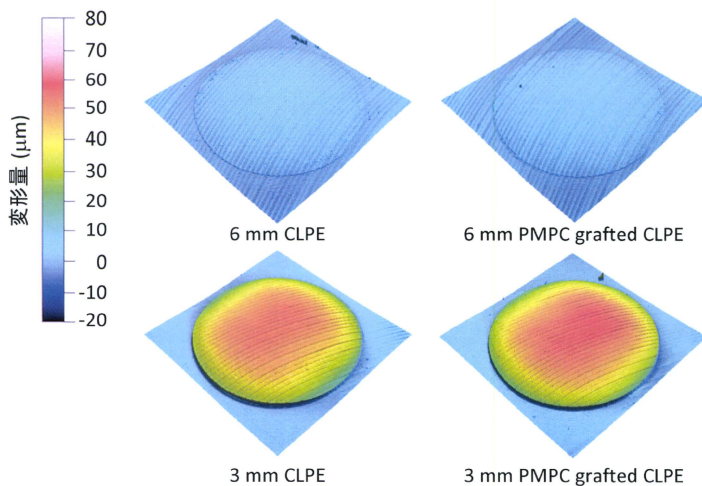


図 12-2. 多方向摺動試験の未処理 CLPE および PMPC 処理 CLPE の背面性状測定結果

D. 考察

CLPE に対して PMPC 処理を行い、PMPC 処理 CLPE を得た。引張り降伏強度、衝撃強度、クリープ変形および硬度において、未処理 CLPE と PMPC 処理 CLPE との間に有意な差が認められなかった。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。

200 万回の衝撃-摩耗試験後、3 mm 厚の CLPE は重量減少（摩耗）を示したのに対し、その他の試験片は重量増加を示した。いずれの厚さにおいても、未処理 CLPE に比べ、PMPC 処理 CLPE は高い耐摩耗特性を示した。

股関節におけるネックインピンジメントやマイクロセパレーションの負荷がかかる環境においても、PMPC 処理による耐摩耗特性の向上は有効であることが分かった。

100 万回の多方向摺動試験後、すべての試験片は重量減少（摩耗）を示した。その摩耗量はいずれの厚さにおいても、未処理 CLPE に比べ PMPC 処理 CLPE は有意に低く、高い耐摩耗特性を示した。また、各材料の厚さ 3 mm 群および 6 mm 群間で摩耗量に有意な差は認められず、多方向摺動環境では厚さによって耐摩耗特性の差は生じないことが示唆された。

股関節における主たる動作モードである多方向摺動環境においても、PMPC 処理による効果は認められ、その耐摩耗特は向上した。また、試験片

の重量増加について、現在の科学技術水準では、摩耗試験中の CLPE 試験片の吸水重量を完全に再現することは難しく、「純粋な摩耗による重量変化量の値」を求めることは困難とされている。しかしながら、今回の衝撃-摩耗試験および多方向摺動試験は、同一試験条件下における試験片群間の摩耗特性の比較という性質を持ち合わせており、コントロールサンプルの吸水重量による補正を含む試験は、試験片の摩耗特性の傾向を評価する方法として頻用されており、妥当であると考えられた。

マイクロスコープ観察および表面性状評価結果から衝撃 - 摩耗試験および多方向摺動試験ともに、未処理 CLPE および PMPC 処理 CLPE のいずれにおいても、背面摩耗が生じることが明らかとなった。背面摩耗の進行は未処理 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。セメントレス人工関節置換術において、PE ライナーを固定する際に設置する白蓋シェルのスクリュー穴部分でも同様の現象が起こることが報告されており、今回の結果は大径骨頭と組み合わせられる薄い PE ライナーのリスクの一つとして留意する必要があるといえる。

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、衝撃 - 摩耗試験および多方向摺動試験ともに試験終了時までデラミネーションや破損などの重篤な欠陥は認められず、大径骨頭と組み合わせられる薄

い CLPE ライナーの適用の可能性が示唆された。

E. 結論

本研究において我々は、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、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、PMPC 処理を行った CLPE の機械特性の評価ならびに pin-on-disk 型摩耗試験装置を用いた疲労特性（衝撃-摩耗）および摩耗特性（多方向摺動）の評価を行った。

紫外線を用いた光開始グラフト重合法は、基材となる CLPE の材料特性に影響を与えないことが明らかとなった。

衝撃 - 摩耗環境および多方向摺動環境ともに PMPC 処理による耐摩耗特性の向上は有効であることが明らかとなった。

衝撃-摩耗環境では PE が厚いほうが良好な耐衝撃-摩耗特性を示した一方、多方向摺動環境では PE の厚さが耐摩耗特性に大きな影響を及ぼさないことが明らかとなった。

以上の結果は、大径骨頭と対向させる薄い CLPE ライナーに対し PMPC 処理を適用することで、通常の摺動動作のみならず衝撃-摩耗動作においても耐摩耗性が向上することを示すものであり、安定性と耐摩耗性に優れた革新的人工関節の実用化を強く示唆するものである。

F. 健康危険情報
特になし。

G. 研究発表

1. 論文発表

1. Kyomoto M, Moro T, Miyaji F, Konno T, Hashimoto M, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, and 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* 84: 320-327, 2008.
2. Kyomoto M, Moro T, Miyaji F, Hashimoto M, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, and 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* 86: 439-47, 2008.
3. Koyama Y, Miyashita M, Irie S, Yamamoto M, Karita T, Moro T, Takatori Y, Kazuma K: A study of disease management activities of hip osteoarthritis patients under conservative treatment. *J Orthop Nurs* 12: 75-83, 2008.
4. Seo JH, Matsuno R, Konno T, Takai M, Ishihara K: Surface Tethering

- of Phosphorylcholine Groups onto Poly(dimethylsiloxane) through Swelling-deswelling Methods with Phospholipids Moiety Containing ABA-type Block Copolymers. *Biomaterials* 29(10): 1367-1376, 2008.
5. Futamura K, Matsuno R, Konno T, Takai M, Ishihara K: Rapid Development of Hydrophilicity and Protein Adsorption Resistance by Polymer Surfaces Bearing Phosphorylcholine and Naphthalene Groups. *Langmuir* 24(18): 10340-10344, 2008.
 6. Morisaku T, Watanabe J, Konno T, Takai M, Ishihara K: Hydration of Phosphorylcholine Groups Attached to Highly Swollen Polymer Hydrogels Studied by Thermal Analysis. *Polymer* 49(21): 4652-4657, 2008.
 7. Kitano K, Matsuno R, Konno T, Takai M, Ishihara K: Nanoscale Structured Phospholipid Polymer Brush for Bionterface. *Tans Mater Res Soc Jpn* 33(3): 771-774, 2008.
 8. Hoshi T, Matsuno R, Sawaguchi T, Konno T, Takai M, Ishihara K: Protein adsorption resistant surface on polymer composite based on 2D/3D controlled grafting of phospholipid polymers. *Appl Surf Sci* 255(2): 379-383, 2008.
 9. Choi J, Konno T, Matsuno R, Takai M, Ishihara K: Surface Immobilization of Biocompatible Phospholipid Polymer Multilayered Hydrogel on Titanium Alloy. *Colloid and Surfaces B : Biointerfaces* 67(2): 216-223, 2008.
 10. 高取吉雄: 股関節痛の診断. 特集 成人における股関節痛の診療. *Monthly Book Orthopaedics* 21: 1-8, 2008.
 11. Kyomoto M, Moro T, Iwasaki Y, Miyaji F, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, Ishihara K: Superlubricious surface mimicking articular cartilage by grafting poly(2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine) on orthopaedic metal bearings. *J Biomed Mater Res A* 91(3): 730-41, 2009.
 12. Moro T, Kawaguchi H, Ishihara K, Kyomoto M, Karita T, Ito H, Nakamura K, Takatori Y: Wear resistance of artificial hip joints with poly(2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine) grafted polyethylene: Comparisons with the effect of polyethylene cross-linking and ceramic femoral heads. *Biomaterials* 30(16): 2995-3001, 2009.
 13. Kyomoto M, Moro T, Miyaji F,