

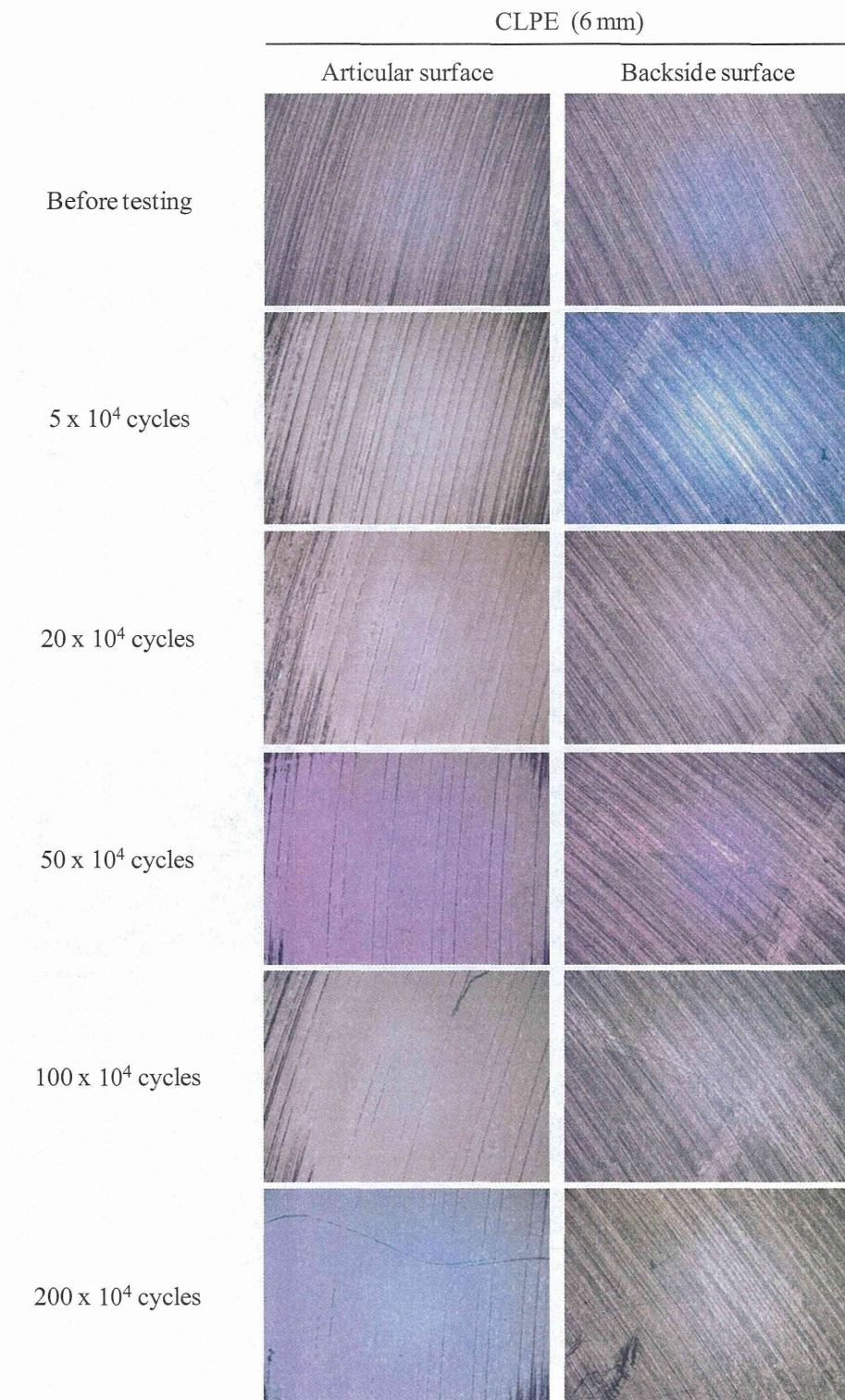


図 9-3. 衝撃-摺動試験前後の未処理 CLPE (6 mm 厚) の摺動部および背面ホール部のマイクロ스코プイメージ

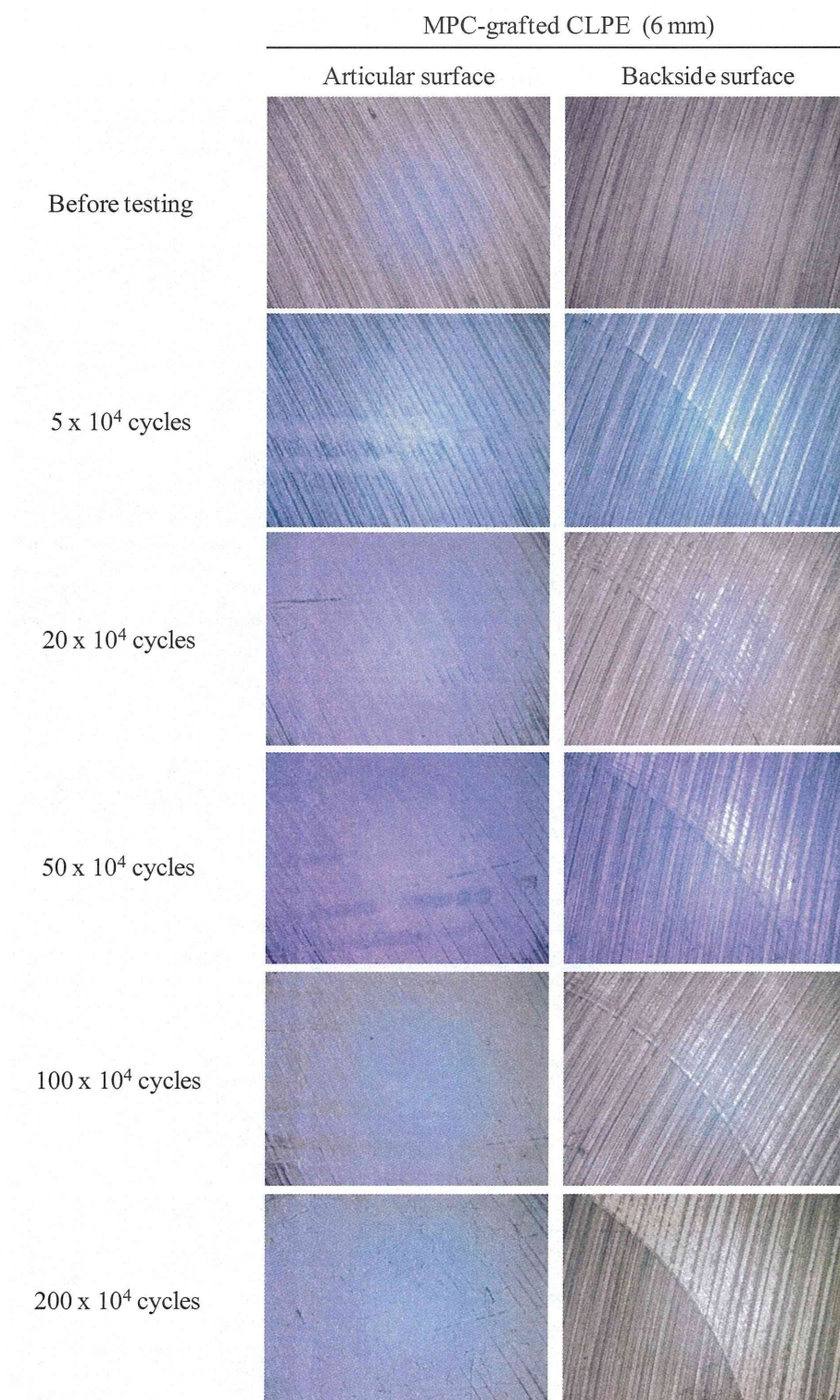


図 9-4. 衝撃-摺動試験前後の PMPC 処理 CLPE (6 mm 厚) の摺動部および背面ホール部のマイクロスコピーイメージ

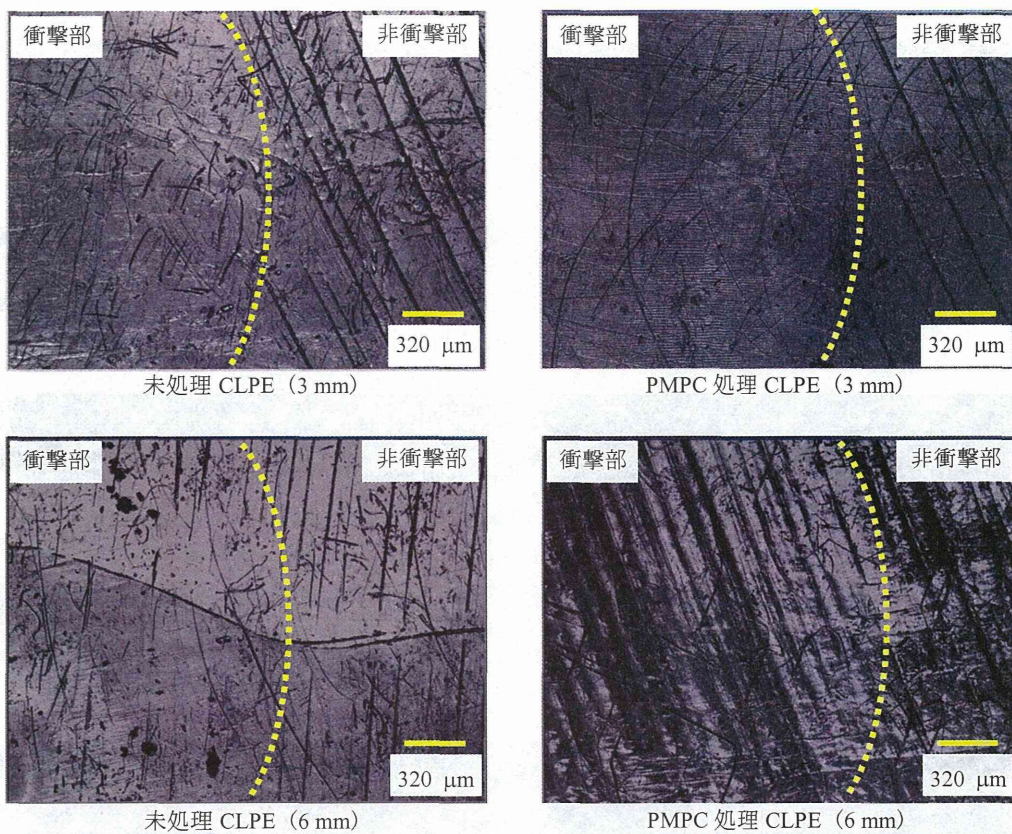


図 10-1. 衝撃-摺動試験前後のディスク表面のレーザ顕微鏡観察像

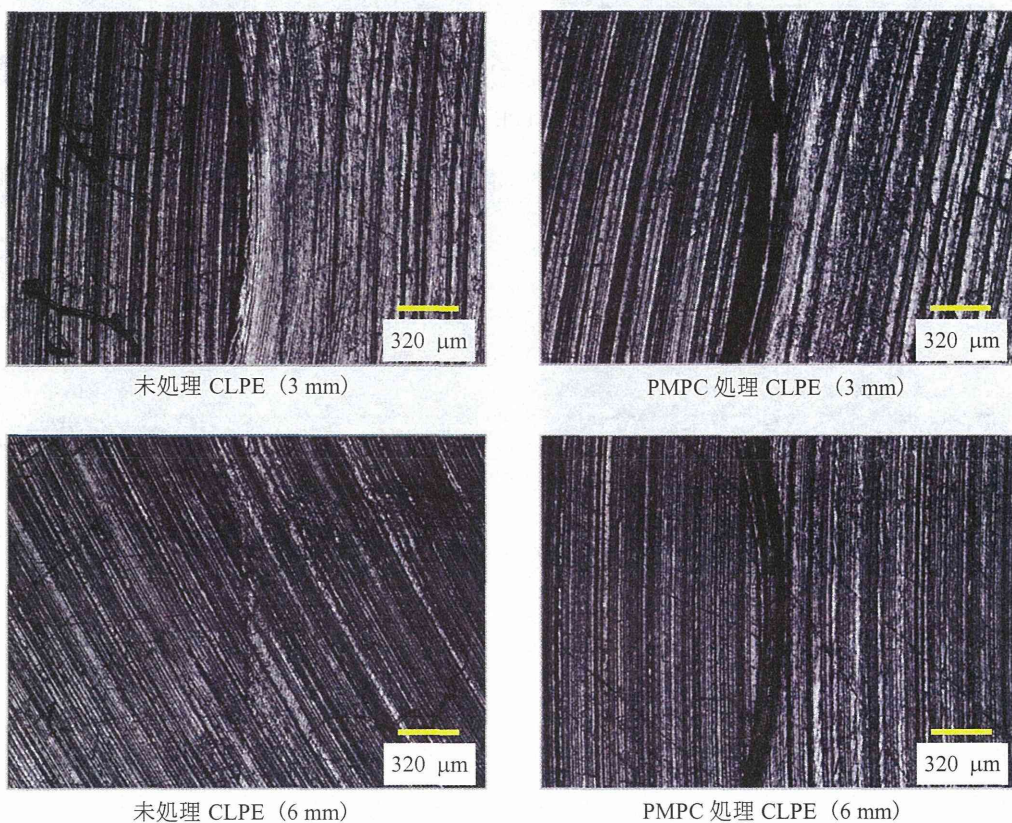
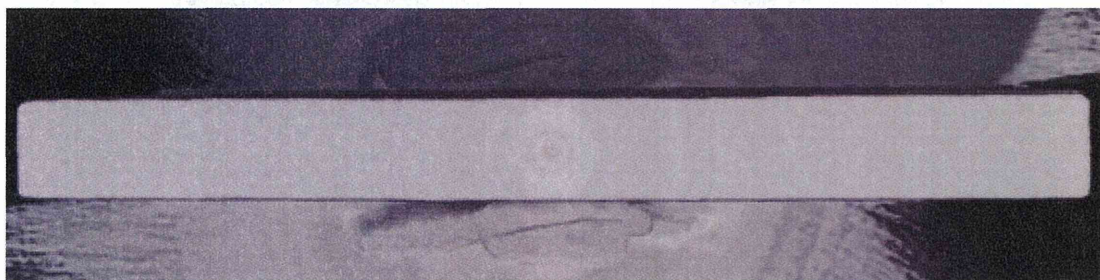
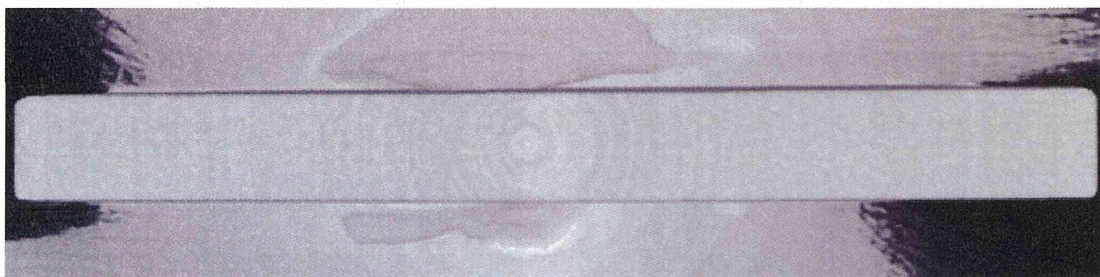


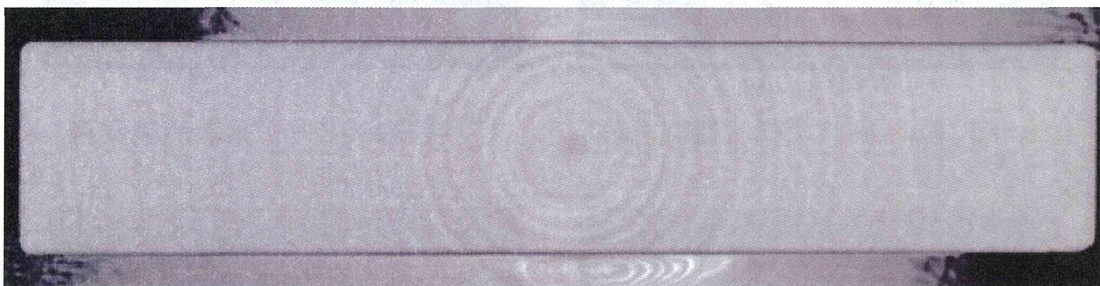
図 10-2. 衝撃-摺動試験前後のディスク背面のレーザ顕微鏡観察像



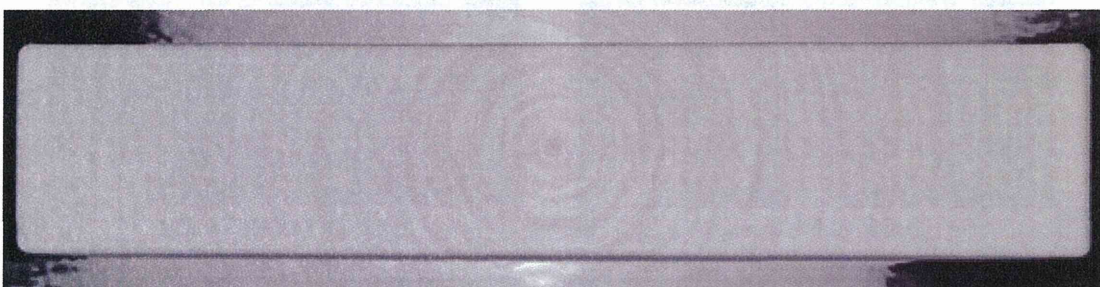
未処理 CLPE (3 mm)



PMPC 処理 CLPE (3 mm)



未処理 CLPE (6 mm)



PMPC 処理 CLPE (6 mm)

図 11. 衝撃-摺動試験前後のディスクの断面像

D. 考察

まず、Roller-on-flat 摩擦試験機を用いて評価した。水環境における摩擦特性評価を行い、すべての試験条件において、摺動速度の上昇に伴い摩擦係数は低下した。この結果より、本試験条件における Roller 試験片と Flat 試験片は混合潤滑モードで摺動していたものと考えられる。また、流体膜の最小膜厚を Hamrock-Dowson の計算式より算出すると、表 1 のようになる。

摺動速度 (mm/s)	最小膜厚 (μm)		
	平面	R35.0	R30.5
9.4	0.002	0.009	0.048
18.8	0.003	0.014	0.075
94.2	0.009	0.040	0.214
1500.0	0.055	0.245	1.300

表 1. Hamrock -Dowson の計算式による流体膜の最小膜厚

一方、Flat 試験片の二乗平均平方根粗さ R_q は約 0.3 であり、100 mm/s 以下の低速域では最小膜厚より大きいことから、Flat 試験片と Roller 試験片の一部分が直接接触していたと推察される。人工膝関節の摺動速度と言われている 100 mm/s 程度の速度域に着目すると、CLPE に比べ PMPC 処理 CLPE の摩擦係数が低く、PMPC 処理により親水性となった表面では、より多くの潤滑液を引き込むことで摩擦係数が低下したものと考えられる。

血清環境における摩擦特性評価では、CLPE および PMPC 処理 CLPE

の摩擦係数に差は見られず、水環境で見られた速度上昇に伴う摩擦係数の低下も見られなかった。これは、タンパク質などの血清成分が摺動界面に介在してしまったため、試験片間の摩擦係数が計測できなかったものと考えられる。

摩擦試験後の PMPC 処理 CLPE 表面の蛍光顕微鏡観察から、377 m の摺動負荷を加えても、試験片加工時に生じる溝部に沿って PMPC 層が残存している様子が認められ、長期に摩擦低減の効果を発揮したものと考えられる。

次に、Pin-on-disk 型摩耗試験機を用い、膝関節における摩擦摩耗動作を想定した衝撃-摺動試験を行った。厚さ 3 mm または 6 mm の未処理 CLPE および PMPC 処理 CLPE の衝撃-摺動試験を行った。いずれの試験片についても摩耗量がマイナスの値を示した。同様の研究を行っている諸家からも報告されているが、静的環境である soak 試験では、動的環境である摩耗試験下の CLPE 試験片の吸水重量を完全に再現することは難しいことが原因として考えられた。しかし、本試験は、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妥当であると考えられた。

200 万サイクルの試験後、いずれ

の厚さにおいても、PMPC 処理 CLPE の摩耗量は未処理 CLPE のそれと比べて低く、PMPC 処理によって高い耐摩耗性を得ることがわかった。また、各材料において、厚さ 3 mm の試験片は、6 mm の試験片と比べて高い摩耗量を示した。

マイクロスコプ観察および表面性状評価結果から未処理 CLPE および PMPC 処理 CLPE のいずれにおいても、背面摩耗 (backside wear) 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。人工膝関節置換術において、PE インサートを設置する際に用いる脛骨トレイのスクリュウ穴においても同様の現象が起こることが報告されている。今回得られた結果は、人工膝関節に用いられる PE インサートの厚さに関する課題の一つとして留意する必要があるといえる。

E. 結論

本研究において我々は、人工膝関節インサートに PMPC 処理を適用することができれば、CLPE インサートの摩耗や摩耗粉による非感染性弛みなどの問題を解決できると考え、Roller-on-flat 試験機、Pin-on-disk 型摩耗試験機を用いた PMPC 処理 CLPE の摩擦特性の評価を行った。

Roller-on-flat 試験機を用いた摩擦試験の結果より、PMPC 処理 CLPE

は混合潤滑のモードで摺動することが推察された。また、人工膝関節に近い速度域において、PMPC 処理による摩擦低減の効果が示された。摩擦試験後表面に PMPC 層の残存が認められ、人工膝関節環境においても長期に PMPC 層が摩擦を低減する可能性が示唆された。

Pin-on-disk 型摩耗試験機を用いた衝撃-摺動条件下において、CLPE 表面に PMPC 処理を施すと高い耐摩耗性を得られることがわかった。また、基材の厚さが薄くなると、摺動面及び背面において摩耗が進行する危険性が示唆された。

F. 健康危険情報

特になし。

G. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Sakai N, Hagihara Y, Furusawa T, Hosoda N, Sawae Y, Murakami T: Analysis of biphasic lubrication of articular cartilage loaded by cylindrical indenter. *Tribology International* 46: 225-236, 2012.
- 2) Masuda K, Chikuda H, Yasunaga H, Hara N, Horiguchi H, Matsuda S, Takeshita K, Kawaguchi H, Nakamura K: Factors affecting the occurrence of pulmonary embolism after spinal surgery: data from the national administrative database in Japan. *Spine J* 12(11): 1029-34, 2012.
- 3) Yoshimura N, Muraki S, Oka H, Tanaka S, Kawaguchi H, Nakamura K, Akune T: Accumulation of metabolic risk factors such as overweight, hypertension,

- dyslipidaemia, and impaired glucose tolerance raises the risk of occurrence and progression of knee osteoarthritis: a 3-year follow-up of the ROAD study. *Osteoarthritis Cartilage* 20(11): 1217-26, 2012.
- 4) Nagata K, Yoshimura N, Muraki S, Hashizume H, Ishimoto Y, Yamada H, Takiguchi N, Nakagawa Y, Oka H, Kawaguchi H, Nakamura K, Akune T, Yoshida M: Prevalence of cervical cord compression and its association with physical performance in a population-based cohort in Japan: the wakayama spine study. *Spine* 37(22):1892-8, 2012.
 - 5) Oshima Y, Seichi A, Takeshita K, Chikuda H, Ono T, Baba S, Morii J, Oka H, Kawaguchi H, Nakamura K, Tanaka S: Natural course and prognostic factors in patients with mild cervical spondylotic myelopathy with increased signal intensity on t2-weighted magnetic resonance imaging. *Spine* 37(22):1909-13, 2012.
 - 6) Muraki S, Akune T, Oka H, Ishimoto Y, Nagata K, Yoshida M, Tokimura F, Nakamura K, Kawaguchi H, Yoshimura N: Incidence and risk factors for radiographic lumbar spondylosis and lower back pain in Japanese men and women: the ROAD study. *Osteoarthritis Cartilage* 20(7): 712-8, 2012.
 - 7) Chikuda H, Yasunaga H, Horiguchi H, Takeshita K, Kawaguchi H, Matsuda S, Nakamura K: Mortality and morbidity in dialysis-dependent patients undergoing spinal surgery: analysis of a national administrative database in Japan. *J Bone Joint Surg Am* 94(5):433-8, 2012.
 - 8) Muraki S, Akune T, Oka H, Ishimoto Y, Nagata K, Yoshida M, Tokimura F, Nakamura K, Kawaguchi H, Yoshimura N: Incidence and risk factors for radiographic knee osteoarthritis and knee pain in Japanese men and women: a longitudinal population-based cohort study. *Arthritis Rheum* 64(5): 1447-56, 2012.
 - 9) Murakami T: Importance of adaptive multimode lubrication mechanism in natural and artificial joints. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J. J Engineering Tribology** 226(10): 827-37, 2012.
 - 10) Omata S, Sonokawa S, Sawae Y, Murakami T: Effects of both vitamin C and mechanical stimulation on improving the mechanical characteristics of regenerated cartilage. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 424(4):724-9, 2012.
 - 11) Cho C, Murakami T, Sawae Y: Wear phenomena of ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) joints. *Chapt.8 in Wear of Orthopaedic Implants and Artificial Joints, ED by S. Affatato. Woodhead Publishing* 221-45, 2012.
 - 12) Ikeda J, Iwamoto M, Yarimitsu S, Murakami T: Differences in Kinetics of Phase Transformation of 3Y-TZP Ceramics between Aging Test under Hydrothermal Environment and Hip Simulator Wear Test, J. *Biomechanical Science and Engineering* 7(2): 199-210, 2012.
 - 13) Sakai N, Hagihara Y, Furusawa T, Hosoda N, Sawae Y, Murakami T: Analysis of biphasic lubrication of articular cartilage loaded by cylindrical indenter. *Tribology International* 46: 225-36, 2012.
 - 14) Muraki S, Akune T, Ishimoto Y, Nagata K, Yoshida M, Tanaka S,

- Oka H, Kawaguchi H, Nakamura K, Yoshimura N: Risk factors for falls in a longitudinal population-based cohort study of Japanese men and women: The ROAD Study. *Bone* 52(1): 516-23, 2013.
- 15) Oka H, Akune T, Muraki S, Tanaka S, Kawaguchi H, Nakamura K, Yoshimura N: The mid-term efficacy of intra-articular hyaluronic acid injections on joint structure: a nested case control study. *Mod Rheumatol* 23: 722-728, 2013.
- 16) Takatori Y, Moro T, Kamogawa M, Oda H, Morimoto S, Umeyama T, Minami M, Sugimoto H, Nakamura S, Karita T, Kim J, Koyama Y, Ito H, Kawaguchi H, Nakamura K: Poly(2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine)-grafted highly cross-linked polyethylene liner in primary total hip replacement: One-year results of a prospective cohort study. *J Artif Organs* 16: 170-175, 2013.
- 17) Murakami T, Yarimitsu S, Nakashima K, Sawae Y, Sakai N: Influence of synovia constituents on tribological behaviors of articular cartilage. *Friction* 1: 150-162, 2014.
- 18) Yarimitsu S, Nakashima K, Sawae Y, Sakai N, Murakami T: Influence of Phospholipid and Protein Constituents on Tribological Properties of Artificial Hydrogel Cartilage Material. *J. Biomechanical Science and Engineering* 8: 257-267, 2013.
- 19) 趙昌熙, 村上輝夫, 澤江義則: 超高分子量ポリエチレン脛骨インサートの微細加工痕の接触解析. *日本臨床バイオメカニクス学会誌* 34: 171-178, 2013.
- 20) Murakami T, Yarimitsu S, Nakashima K, Yamaguchi T, Sawae Y, Sakai N, Suzuki A: Superior Lubricity in Articular Cartilage and Artificial Hydrogel Cartilage. *J. Engineering Tribology* 228: (in press)
- 21) Muraki S, Oka H, Akune T, En-yo Y, Yoshida M, Sasaki S, Nakamura K, Kawaguchi H, Yoshimura N: Association of dietary intake with joint space narrowing and osteophytosis at the knee in Japanese men and women: The ROAD Study. *Mod Rheumatol* (in press)
- 22) Yoshimura N, Akune T, Fujiwara S, Nishiwaki Y, Shimizu Y, Yoshida H, Sudo A, Omori G, Yoshida M, Shimokata H, Suzuki T, Muraki S, Oka H, Nakamura K: Prevalence of knee pain, lumbar pain and its co-existence in Japanese men and women: The Longitudinal Cohorts of Motor System Organ (LOCOMO) study. *J Bone Miner Meta* (in press)
- 23) Muraki S, Akune T, Nagata K, Ishimoto Y, Yoshida M, Tokimura F, Tanaka S, Oka H, Kawaguchi H, Nakamura K, Yoshimura N: Association of knee osteoarthritis with onset and resolution of pain and physical functional disability: The ROAD Study. *Mod Rheumatol* (in press)
- ## 2.学会発表
- ### □ 国内学会
- 1) 茂呂徹, 高取吉雄, 中村耕三, 石原一彦, 京本政之, 安藤嘉基, 宮本比呂志, 伊藤英也, 角田俊治, 田中健之, 大嶋浩文, 雑賀健一, 川口浩: MPC ポリマーの表面処理による人工関節金属表面の細菌付着抑制効果. 第34回日本骨・感染症学会. 淡路島, 7.8-9, 2011.
- 2) 茂呂徹, 高取吉雄, 石原一彦, 京本政之, 安藤嘉基, 宮本比呂志, 伊藤英也, 角田俊治, 田中健之, 大嶋浩

- 文, 中村耕三, 川口浩: 人工関節金属インプラント表面の MPC 処理による細菌付着抑制効果の検討. 第36回日本整形外科学会基礎学術集会. 前橋, 10.20-21, 2011.
- 3) 雑賀健一, 茂呂徹, 京本政之, 伊藤英也, 角田俊治, 田中健之, 大嶋浩文, 川口浩, 中村耕三, 石原一彦, 高取吉雄: MPC 処理による摩耗低減効果に対するポリエチレン厚さの影響 —繰返し衝撃—摺動試験での検討—. 第36回日本整形外科学会基礎学術集会. 前橋, 10.20-21, 2011.
 - 4) 石元優々, 吉田宗人, 長田圭司, 山田宏, 橋爪洋, 瀧口登, 村木重之, 岡敬之, 阿久根徹, 吉村典子: 一般住民における腰部脊柱管狭窄症とその身体運動機能に及ぼす影響 the Wakayama Spine Study: 第41回日本脊椎脊髄病学会 久留米市, 2012.4.19-21
 - 5) 長田圭司, 橋爪洋, 石元優々, 山田宏, 南出晃人, 中川幸洋, 河合将紀, 岩崎博, 木岡雅彦, 瀧口登, 村木重之, 岡敬之, 阿久根徹, 吉村典子, 吉田宗人: 頸椎画像所見と頸髄圧迫との関連 大規模住民コホートをを用いた検討: 第41回日本脊椎脊髄病学会 久留米市, 2012.4.19-21
 - 6) 長田圭司, 橋爪洋, 石元優々, 山田宏, 南出晃人, 中川幸洋, 河合将紀, 岩崎博, 木岡雅彦, 瀧口登, 村木重之, 岡敬之, 阿久根徹, 吉村典子, 吉田宗人: 頸椎脊柱管前後径の年代別評価 大規模一般住民コホートをを用いた頸椎単純 X 線の検討: 第41回日本脊椎脊髄病学会 久留米市, 2012.4.19-21
 - 7) 吉村典子, 村木重之, 岡敬之, 川口浩, 中村耕三, 阿久根徹: シンポジウム6 OA治療学の疫学から治療まで: 住民疫学研究ROADからみえてきた日本のOA 第56回日本リウマチ学会総会 グランドプリンホテル新高輪, 東京 2012.4.26-28
 - 8) 吉村典子, 村木重之, 岡敬之, 川口浩, 中村耕三, 阿久根徹: 要介護移行の予測におけるロコチェックの有用性の検討:The ROAD Study: 第85回日本整形外科学会 京都, 2012.5.17-20
 - 9) 岡敬之, 村木重之, 阿久根徹, 中村耕三, 川口浩, 吉村典子: コンピュータ自動計測を用いた定量評価に基づく3年間での膝 X 線画像縦断変化に関する検討:The ROAD Study: 第85回日本整形外科学会 京都, 2012.5.17-20
 - 10) 村木重之, 阿久根徹, 岡敬之, 中村耕三, 川口浩, 吉村典子: 変形性膝関節症の発生率及びその危険因子 —The ROAD Study—: 第85回日本整形外科学会 京都, 2012.5.17-20
 - 11) 山田宏, 石元優々, 長田圭司, 瀧口登, 橋爪洋, 村木重之, 岡敬之, 阿久根徹, 吉村典子, 吉田宗人: 腰部脊柱管狭窄症の最新知見 腰部脊柱管狭窄症の疫学 The Wakayama Spine Study: 第85回日本整形外科学会 京都, 2012.5.17-20
 - 12) 長田圭司, 吉田宗人, 橋爪洋, 石元優々, 山田宏, 瀧口登, 村木重之, 岡敬之, 阿久根徹, 吉村典子: 大規模一般住民コホートにおける脊柱管前後径の検討: 第85回日本整形外科学会 京都, 2012.5.17-20
 - 13) 安琪, 石川雄己, 山下淳, 岡敬之, 浅間一: "感覚器フィードバックを用いた起立動作誘導システムの設

- 計", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012, 浜松市, 2012.5.27-29
- 14) 石川雄己, 安琪, 田村雄介, 山下淳, 岡 敬之, 浅間一: "個体別モデリングを用いた膝疾患診断手法の構築への提案", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012, 浜松市, 2012.5.27-29
 - 15) 村木重之、岡敬之、田中栄、川口浩、中村耕三、阿久根徹、吉村典子: 膝関節裂隙狭小化および骨棘形成における痛みおよび身体機能への影響の違い —The ROAD Study—: 第 32 回日本骨形態計測学会 大阪、2012.6.7-9
 - 16) 村木重之、岡敬之、田中栄、川口浩、中村耕三、阿久根徹、吉村典子: 経口摂取栄養素が膝関節裂隙狭小化および骨棘形成に与える影響 —The ROAD Study—: 第 32 回日本骨形態計測学会 大阪 2012.6.7-9
 - 17) 村木重之、岡敬之、田中栄、川口浩、中村耕三、阿久根徹、吉村典子: 膝関節裂隙狭小化および骨棘形成が ADL/QOL に与える影響 —The ROAD Study—: 第 24 回日本運動器科学会 東京、2012.7.7
 - 18) 吉村典子、村木重之、岡敬之、田中栄、川口浩、中村耕三、阿久根徹: 高骨密度者の特徴とその経過: ROAD 追跡調査より Characteristics of individuals being high bone density: A follow-up of the ROAD cohorts: 第 30 回日本骨代謝学会 東京、2012.7.19-21
 - 19) 村木重之、阿久根徹、岡敬之、田中栄、川口浩、中村耕三、吉村典子: 複数回転倒の危険因子: ROAD 追跡調査より Risk Factors for Multiple Falls: A follow-up of the ROAD cohorts: 第 30 回日本骨代謝学会 東京、2012.7.19-21
 - 20) 雑賀健一, 茂呂徹, 京本政之, 伊藤英也, 中川匠, 岡敬之, 川口浩, 中村耕三, 石原一彦, 高取吉雄: 人工膝関節環境における MPC 処理架橋ポリエチレンの耐摩耗特性の検討. 第 4 回日本関節鏡・膝・スポーツ整形外科学会. 沖縄, 2012. 7. 19-21.
 - 21) 石川雄己, 安琪, 山下淳, 岡敬之, 浅間一: "三次元筋骨格靱帯大腿膝蓋関節モデルを用いた大腿四頭筋が膝蓋骨へ与える影響", 日本機械学会 2012 年度年次大会, 金沢市, 2012.9.9-12.
 - 22) 鎗光清道, 茂呂徹, 京本政之, 雑賀健一, 村上輝夫, 石原一彦, 高取吉雄: リン脂質ポリマー処理架橋ポリエチレンの潤滑性に対する除荷と再水和の影響. トライボロジー会議 2012 秋 室蘭市, 2012. 9. 17
 - 23) 中川純希, Qi An, 石川雄己, 岡敬之, 山川博司, 山下淳, 浅間一: "ダーツ投擲時の上肢・下肢協調度合いの評価手法提案", 日本ロボット学会第 30 回記念学術講演会, 札幌市, 2012.9.17-9.20.
 - 24) 吉村典子、村木重之、岡敬之、田中栄、川口浩、中村耕三、阿久根徹: 高骨密度を有する者の特徴とその予後: 第 14 回日本骨粗鬆症学会/骨ドック・健診分科会 新潟市、2012.9.27-29
 - 25) 村木重之、阿久根徹、岡敬之、田中栄、川口浩、中村耕三、吉村典子: 大規模住民追跡調査による複数回転倒の危険因子: ROAD スタディ: 第 14 回日本骨粗鬆症学会/骨ドック・健診分科会 新潟市、2012.9.27-29
 - 26) 高取吉雄, 茂呂徹, 京本政之, 石原

- 一彦, 川口浩, 中村耕三: シンポジウム「人工関節成績改善に繋がる近未来の医療用素材」 ポリエチレン摺動面の MPC ポリマー処理. 第27回日本整形外科学会基礎学術集会. 名古屋, 2012.10. 26.
- 27) 森田充浩, 山田治基, 吉村典子, 伊達秀樹, 岡敬之, 村木重之, 阿久根徹, 川口浩: 関節症マーカー・画像診断と関節症の疫学 大規模住民コホートにおける変形性膝関節症と関節マーカー 第40回日本関節病学会 鹿児島市, 2012.11.8.
- 28) 岡敬之, 川口浩, 村木重之, 阿久根徹, 吉村典子: 関節症マーカー・画像診断と関節病の疫学: 単純X線画像における変形性膝関節症のコンピュータ支援診断システム KOACADの臨床利用 第40回日本関節病学会 鹿児島市, 2012.11.8.
- 29) 茂呂徹, 高取吉雄, 京本政之, 岩崎泰彦, 宮路史明, 田中栄, 伊藤英也, 川口浩, 中村耕三, 石原一彦: シンポジウム「メタルベースハイブリッドバイオマテリアル」 生体機能分子固定化による摩擦低減. 第34回日本バイオマテリアル学会シンポジウム. 仙台, 2012. 11. 27.
- 30) 辻 琢真, 山川 博司, 山下 淳, 高草木 薫, 前田 貴記, 加藤 元一郎, 岡 敬之, 浅間 一: "筋緊張計測を用いたラバーハンド錯覚の測定", 第13回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 福岡市, 2012.12.18-20
- 31) 石川雄己, Qi An, 中川純希, 山下淳, 岡敬之, 浅間一: "膝関節靱帯付着位置と歩容が膝関節靱帯張力に与える影響の解析", 第25回自律分散システムシンポジウム, 仙台市, 2013.1.25-26
- 32) レ クオク ズン, 山川博司, 安琪, 石川雄己, 黒田篤, 古川宏嗣, 岡敬之, 魚住光成, 高草木薫, 山下淳, 浅間一: "カーレーサーのレース中のストレス推定のための咀嚼筋活動の計測", 第25回自律分散システムシンポジウム, 仙台市, 2013.1.25-26
- 33) 村上輝夫, 鎗光清道, 中嶋和弘, 澤江義則, 坂井伸朗: 生体関節の潤滑機構における潤滑液成分の影響. 第33回バイオリポロジシンポジウム, 相模原, 2013.03.16
- 34) 中嶋和弘, 村上輝夫: 摩擦挙動に寄与する蛋白質吸着膜の構造. トライボロジー会議 2013 春. 東京, 5.22, 2013.
- 35) 大熊雄祐, 飛松好子, 赤居正美, 藤野圭司, 川畠真人, 畑野栄治, 稲波弘彦, 本田雅人, 土肥徳秀, 中村耕三, 岩谷力: ロコモティブシンδροームにおける活動性に対する痛みの影響. 第86回日本整形外科学会学術集会. 広島, 5.23-26, 2013.
- 36) 岩谷力, 土肥徳秀, 中村耕三, 赤居正美, 星野雄一, 飛松好子, 星地亜都司: ロコモティブシンδροームの操作的定義 ロコモティブシンδροームにおける活動性に対する痛みの影響. 第86回日本整形外科学会学術集会. 広島, 5.23-26, 2013.
- 37) 緒方徹, 土肥徳秀, 赤居正美, 岩谷力, 中村耕三: ロコモティブシンδροームに対するポピュレーションアプローチ ロコモティブシンδροームにおける活動性に対する痛みの影響. 第86回日本整形外科学会学術集会. 広島, 5.23-26, 2013.
- 38) 村木重之, 岡敬之, 阿久根徹, 延與良夫, 吉田宗人, 鈴木隆雄, 吉田英世, 石橋英明, 時村文秋, 山本精三, 中村耕三, 川口浩, 吉村典子: 膝における関節裂隙狭小化および骨棘

- 形成が QOL に与える影響. 第 86 回日本整形外科学会学術総会. 広島, 5.23-26. 2013.
- 39) 村上輝夫: 生体関節におけるバイオレオロジー. 第 36 回日本バイオレオロジー学会年会. 福岡, 6.7, 2013.
- 40) 山口哲生, 村上輝夫: 低摩擦ハイドロゲルにおける応力-拡散結合. 第 36 回日本バイオレオロジー学会年会. 福岡, 6.7, 2013.
- 41) 中嶋和弘, 工藤奨, 村上輝, Stefano Mischler: 蛋白質吸着膜の摩擦負荷による変化のその場観察. 生体医工学シンポジウム. 福岡, 9.20, 2013.
- 42) 阿久根徹, 村木重之, 岡敬之, 田中栄, 川口浩, 中村耕三, 吉村典子: 変形性膝関節症および筋力・運動機能低下は要介護のリスクである: The ROAD study -. 第 15 回日本骨粗鬆症学会. 大阪, 10.11-13, 2013.
- 43) 村木重之, 阿久根徹, 田中栄, 岡敬之, 川口浩, 中村耕三, 吉村典子: 縦断的コホート調査による変形性膝関節症の疼痛および ADL 障害への影響: The ROAD study -. 第 15 回日本骨粗鬆症学会. 大阪, 10.11-13, 2013.
- 44) 村上輝夫: Superior Lubrication Mechanism in Natural Synovial Joints and Its Application to Artificial Joints. 日本機械学会バイオエンジニアリング部門生体システム技術研究会 第 26 回研究会. 九州大学バイオメカニクス研究センター第 6 回バイオメカニクスセミナー. 福岡, 11.7, 2013.
- 45) 趙昌熙, 村上輝夫, 澤江義則: 人工関節用金属部品の表面突起形状の許容基準に関する研究. 日本臨床バイオメカニクス学会. 神戸, 11.22, 2013.
- 46) 村上輝夫: Elucidation of adaptive lubrication mechanism with low friction and minimum wear in natural synovial joints and development of artificial hydrogel cartilage with super lubricity based on bionic design (Part 2). 第 2 回バイオメカニクス研究センター&エレクトロニクス実装学会九州支部合同研究会. 福岡, 2.3, 2014.
- 47) Lei Zhang, Yoshinori Sawae, Teruo Murakami, Hong Yang: Correlation between the oxidation and radiation dose and wear properties of shelf-aged gamma-irradiated ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE). 第 34 回バイオトライボロジシンポジウム. 京都, 3.8, 2014.
- 村上輝夫, 鎗光清道, 中嶋和弘, 澤江義則, 坂井伸朗: 変性関節軟骨の潤滑機構における潤滑液成分の影響. 第 34 回バイオトライボロジシンポジウム. 京都, 3.8, 2014.
- ② 国際学会
- 1) Saiga KI, Moro T, Kyomoto M, Ito H, Kadota T, Tanaka T, Oshima H, Kawaguchi H, Nakamura K, Ishihara K, Takatori Y: Effect of MPC-grafting and PE thickness on wear and fracture in multi-mode pin-on-disk wear test. 6th International Biotribology Forum Biotribology Fukuoka 2001. Fukuoka, Japan, 11.5, 2011.
- 2) Murakami T, Yarimitsu S, Nakashima K, Yamaguchi T, Sawae Y, Sakai N, Araki T, Suzuki A: Adaptive multimode lubrication mechanism in articular cartilage and artificial hydrogel cartilage. International Conference on Biotribology BIOTRIBOLOGY XI'AN 2012, XI'AN, China,

- 2012.06.1
- 3) Yoshimura N, Muraki S, Oka H, Kawaguchi H, Nakamura K, Akune T: Accumulation of Metabolic Risk Factors Raises The Risk of Occurrence and Progression of Knee Osteoarthritis: The ROAD Study. Annual European Congress of Rheumatology 2012, Berlin, Germany, 2012.6.6-9
 - 4) Murakami T, Yarimitsu S, Nakashima K, Sawae Y, Sakai N: Adaptive multimode lubrication mechanisms in articular cartilage and artificial cartilage. ESB2012 18th Congress of European Society of Biomechanics, Lisbon, Portugal, 2012.7.3
 - 5) Ishimoto Y, Yamada H, Hashizume H, Nagata K, Takiguchi N, Yoshida M, Kawaguchi H, Nakamura K, Muraki S, Oka H, Akune T, Yoshimura N: The relation between radiographic lumbar spinal stenosis and symptomatic persons in the general population -The Wakayama. Golden Jubilee Congress of The Asia Pacific Orthopaedic Association(APOA) and 7th Congress of the Asia Pacific Knee Society(APKS), New Delhi, India, 2012.10.3-6.
 - 6) Yoshimura N, Muraki S, Oka H, Tanaka S, Kawaguchi H, Nakamura K, Akune T; Mild Cognitive Impairment Increases The Risk of Knee Osteoarthritis: A 3-Year Follow-Up in The ROAD Study. IOF Regionals - 3rd Asia-Pacific Osteoporosis Meeting, Kuala Lumpur, Malaysia, 2012.12.13-16
 - 7) Muraki S, Akune T, Tanaka S, Kawaguchi H, Nakamura K, Oka H, Yoshimura N: Physical Performance, Bone and Joint Diseases, and Incidence of Falls in Japanese Men and women: The ROAD Study. IOF Regionals - 3rd Asia-Pacific Osteoporosis Meeting, Kuala Lumpur, Malaysia, 2012.12.13-16
 - 8) Moro T, Takatori Y; Kyomoto M, Kamogawa M, Oda H, Morimoto S, Umeyama T, Kawaguchi H, Nakamura K: Clinical results of PMPC-grafted polyethylene acetabular liners. *Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society*. San Antonio, USA, January 26-29, 2013.
 - 9) Moro T, Kyomoto M, Ishihara K, Tanaka S, Oshima H, Tanaka T, Ito H, Nakamura K, Kawaguchi H, Takatori Y: Effect of larger femoral head on the wear resistance of the biocompatible polymer-grafted cross-linked polyethylene liner. *Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society*. San Antonio, USA, January 26-29, 2013.
 - 10) Moro T, Takatori Y, Oda H, Morimoto S, Umeyama T, Kamogawa M, Kyomoto M, Kawaguchi H, Nakamura K: Clinical results of PMPC-grafted cross-linked polyethylene liner in primary total hip arthroplasty. *American Academy of Orthopaedic Surgeons (AAOS) 2013 Annual Meeting*. Chicago, USA, March 19-23, 2013.
 - 11) Murakami T: Superior lubrication mechanism in natural and artificial joints. Fourth Advanced Forum on Tribology. Beijing, China, 4.14, 2013.
 - 12) Akai M, Doi T, Uehara K, Okuma Y, Ogata T, Seichi A, Nakamura K, Iwaya T: "Locomotive Organ Dysfunction" in Elderly People; An Important Aspect of Geriatric Frailty in a "Super-aged" Society. 7th ISPRM Congress. Beijing, China, 6.19, 2013.
 - 13) Nakashima K, Sawae Y, Murakami T, Mischler S: Behavior of Adsorbed Albumin film on CoCrMo Alloy

- under In-situ observation. World Tribology Congress 2013. Torino, Italy, 9.10, 2013
- 14) Yarimitsu S, Nakashima K, Sawae Y, Murakami T: Effect of Synovial Fluid Constituents on Tribological Performance of Artificial Hydrogel Cartilage Material. World Tribology Congress 2013. Torino, Italy, 9.12, 2013.
 - 15) Murakami T, Yarimitsu S, Nakashima K, Yamaguchi T, Sawae Y, Sakai N, Araki T, Suzuki A: Superior Lubricity in Articular Cartilage and Artificial Hydrogel Cartilage. World Tribology Congress 2013. Torino, Italy, 9.12, 2013.
 - 16) Murakami T, Yarimitsu S, Nakashima K, Yamaguchi T, Sawae Y, Sakai N, Suzuki A: Effective biphasic lubrication in artificial hydrogel cartilage for joint prostheses. 26th Annual Congress of International Society for Technology in Arthroplasty. Palm Beach, USA, 10.18, 2013.
 - 17) Murakami T, Sakai N, Yamaguchi T, Yarimitsu S, Nakashima K, Sawae Y, Suzuki A: Superior Lubrication Mechanism in Artificial Hydrogel Cartilage for Joint Prostheses. 60th ORS Annual Meeting. New Orleans, USA, 3.17, 2013.
- H. 知的財産権の出願・登録状況
特になし。

分担研究報告書

摩耗抑制効果の検討

分担研究者 川口 浩（東京厚生年金病院 脊椎脊髄センター センター長）
中川 匠（帝京大学医学部附属病院 教授）
武富修治（東京大学医学部附属病院 助教）

研究要旨：生体内で長期にわたり使用した人工膝関節は、凝着摩耗、層状剥層、孔形成、疲労によるひび割れなど特有の劣化、疲労、破損を示す。我々は、これらの劣化、疲労の抑制を目的として、親水性と生体親和性に優れた 2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine (MPC) ポリマーを用いて、人工膝関節用ポリエチレン (PE) インサート表面処理を行った (PMPC 処理)。本分担研究では、膝関節特有の動作が基材である PE に与える影響を検討するため、手術後の歩行動作を模擬する膝関節シミュレーター試験機を用いて、種々の照射線量でガンマ線架橋された PE インサートの摩耗特性、PMPC 処理 CLPE インサートの摩耗特性、滅菌が PMPC 処理に与える影響を評価した。この結果、ガンマ線架橋を施すことで、PE の摩耗が低減することが明らかとなった。ガンマ線架橋 PE インサートに層状剥層やひび割れなどの劣化、破損は認められず、新たな人工膝関節用材料として有用であることが示唆された。また、PMPC 処理を CLPE 表面に施すことによって、インサートの摩耗が著しく抑制されることが示された。さらに、ガンマ線滅菌およびガスプラズマ滅菌したインサートの両方で、PMPC 処理の摩耗抑制効果が示された。以上の成果により、PMPC 処理 CLPE は、人工膝関節インサートの基材として非常に適した材料であることが示唆された。

A. 研究目的

変形性膝関節症や関節リウマチなどの疾患や事故などの外傷により機能を失った膝関節を、人工の関節で置き換え、その機能の再建を図る人工膝関節置換術は、急速に高齢化が進んでいるわが国において、その患者数は今後も増えると予想さ

れている。したがって、人工膝関節の耐用年限（寿命）を延長することは重要な課題である。

人工膝関節の摺動部から産出されるポリエチレン (PE) 摩耗粉がもたらす骨溶解とそれに続発するインプラント周囲の弛み、またはインプラントの破損および感染は、人工

膝関節を再置換に至らしめる深刻な合併症である。人工膝関節の耐用年数を延長するには、PE インサートの耐摩耗性を向上させ、PE 摩耗粉の発生を抑制することが不可欠である。また、人工膝関節は人工股関節に比べ、関節面の適合性が低く、摺動条件が異なるため、摩耗のほか、層状剥層や疲労によるひび割れなど特有の劣化、疲労、破損を示す。つまり、PE インサートには優れた機械的強度および耐破壊靱性も同時に求められる。そこで、耐摩耗特性と荷重支持性を両立させた新たな人工膝関節インサートの開発に着手した。

これまでに我々は、光開始グラフト重合法を用い、親水性と生体親和性に優れた 2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine (MPC) を架橋 PE (CLPE) 表面に結合させる技術 (PMPC 処理) を開発し、人工股関節の耐摩耗特性を著しく向上させることに成功した。PMPC 処理は、CLPE の表面のみを改質し、基材としての機械的特性に影響を与えないことが明らかになっており、人工膝関節インサートの耐摩耗特性を向上させる方法として最適である。しかし、関節面の適合性に欠ける人工膝関節環境における CLPE の耐摩耗特性および荷重支持性は明らかになっていない。

そこで、本研究では膝関節シミュレーター試験機を用いて、種々の照射線量により架橋された CLPE 製イ

ンサートの耐摩耗特性、PMPC 処理 CLPE インサートの摩耗特性、滅菌が PMPC 処理に与える影響を評価した。

B. 研究方法

1. PMPC 処理 CLPE インサートの作製

① CLPE インサートの作製

PE 基材には、人工関節摺動部材として広く使用されている、GUR1020 レジンを用いた。この PE 基材に、25 kGy、40 kGy、50 kGy および 75 kGy のガンマ線を照射し、続いてフリーラジカルを除去するため、熱処理を実施した。得られた CLPE から、機械加工により人工膝関節インサートをそれぞれ作製した。また、対照として非架橋の PE から作製したインサートも準備した。作製した全てのインサートには、25 kGy のガンマ線滅菌を施した。

② 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、CLPE を用いた。

③ PMPC 処理

CLPE インサートを、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 インサートを、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°C になるよう調整した。重合後、CLPE インサートを超純水およびエタノールにて十分に洗浄し、PMPC 処理 CLPE インサートを得た。CLPE 表面の PMPC 層生成を、静的接触角測定により確認した。

④ 滅菌

滅菌操作が PMPC 処理効果に与える影響を検討するため、 γ 線滅菌またはガスプラズマ滅菌を行った PMPC 処理 CLPE インサートを準備した。

2. 膝関節シミュレーター試験機を用いた摩耗試験

膝関節シミュレーター試験機（Knee simulator, AMTI）（図 1）を用い、インサートの摩耗試験を行った。



図 1. 膝関節シミュレーター試験機

インサートと対向する大腿骨コンポーネントは、コバルトクロムモリブデン（Co-Cr-Mo）合金により作製した。潤滑液には 27% ウシ胎児血清を用いた。シミュレーター試験は ISO 14243 に基づき、ヒトの歩行動作を再現した条件で 500 万サイクルの試験を行った。インサートの位置（変位）、大腿骨コンポーネントの位置（変位）および垂直荷重による動作波形を、図 2 に示す。

膝関節シミュレーター試験は、50 万サイクル毎に潤滑液の交換を行うと同時に、インサートの回収、洗浄、乾燥、重量測定を行い、インサートの摩耗量として算出した。また、摺動部について、三次元形状測定機（Crysta-Apex C574, Mitutoyo）を用いた変形量測定、走査型レーザー顕微鏡（OLS-1200, Olympus）を用いた表面観察を行った。

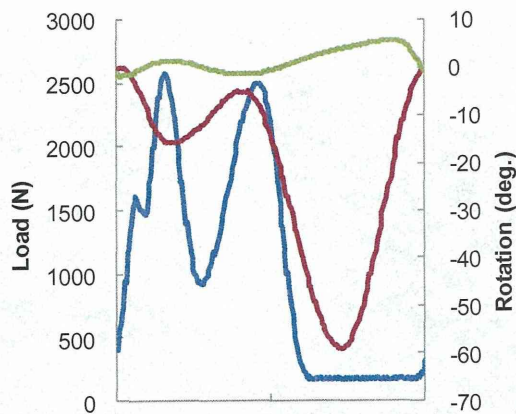


図 2. 膝関節シミュレーター動作波形 —：荷重 —：インサート変位 —：大腿骨コンポーネント変位

さらに、交換時に回収された潤滑液を凍結乾燥させたのち、水酸化ナトリウム水溶液によるタンパク質除去、メタノールによる油脂の分解および遠心分離による不純物の除去を行うことで CLPE の摩耗粉を回収した。得られた摩耗粉について、走査型電子顕微鏡 (S-3400N, Hitachi) により形態観察を行うとともに、円相当径による粒度分布解析を行った。

C. 研究結果

1. 架橋線量が耐摩耗特性に与える影響の検討

図 3 に、膝関節シミュレーター試験における PE および各架橋条件により作製した CLPE インサートの摩耗重量を示す。

非架橋 PE と比較して、CLPE の摩耗量は少なく、ガンマ線の照射線量の増加にともなって、その低減効果は増大した。特に、照射線量 50 kGy の CLPE では顕著に摩耗が抑制

された。

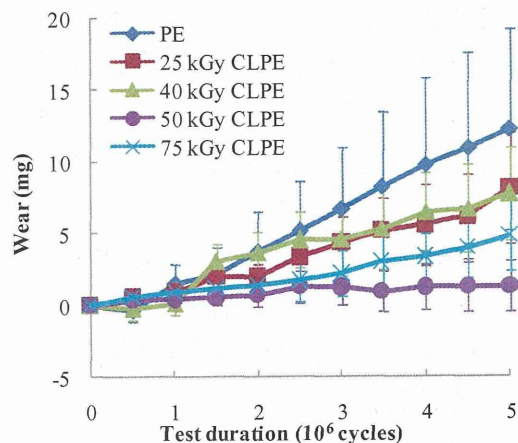


図 3. 膝関節シミュレーター試験による PE および CLPE インサートの摩耗重量

図 4 に、ガンマ線の照射線量と CLPE インサートの摩耗率を示す。

ガンマ線の照射線量の増加とともに、インサートの摩耗率は低下する傾向を示した。

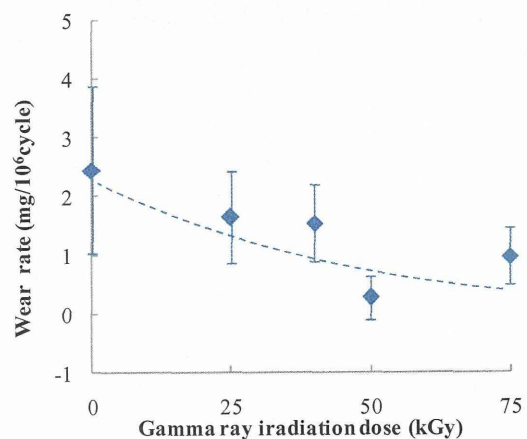


図 4. ガンマ線照射線量と CLPE インサートの摩耗率

図 5 に、500 万サイクル後の CLPE インサート摺動部の変形量測定結果を示す。

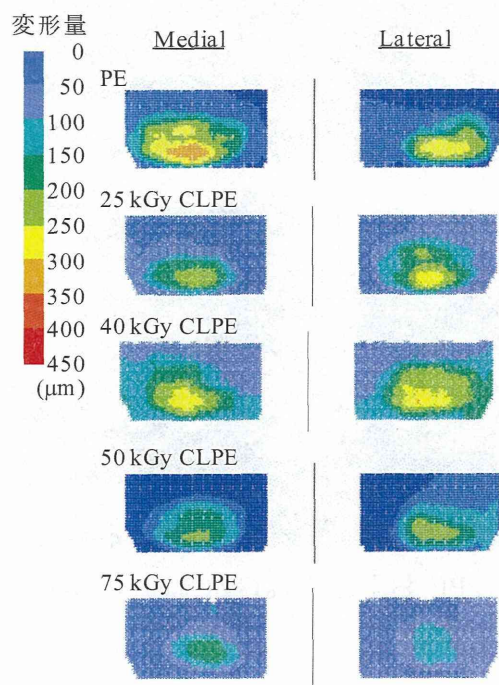


図 5. 500 万サイクル後の CLPE インサート摺動部の変形量

インサート摺動部の変形は、照射線量 50 kGy および 75 kGy の CLPE において顕著に抑制された。

図 6 に、CLPE インサート摺動部のレーザー顕微鏡観察像を示す。非架橋 PE、照射線量 25 kGy および 40 kGy の CLPE の摺動部表面には、摺動方向に沿った深い摩耗痕が認められた。これに対し、照射線量 50 kGy および 75 kGy の CLPE の表面に、大きな摩耗痕は認めらず、摩耗が抑制されていた。また、いずれのインサートにおいても、層状剥層やひび割れなどの破損は認められな

かった。

図 7 に、非架橋 PE および照射線量 50 kGy の CLPE の摩耗粉観察像を示す。非架橋 PE では、視野全体に多くの摩耗粉が分散している様子が見られた。多くの摩耗粉で、その形態は細長い fibril 様であった。これに対し、照射線量 50 kGy の CLPE では視野に見られる摩耗粉の数は少なく、その形態は granular 様为主であった。

図 8 に、非架橋 PE および照射線量 50 kGy の CLPE における円相当径分布の解析結果を示す。円相当径の平均は、非架橋 PE では 0.89 μm 、照射線量 50 kGy の CLPE では 0.87 μm となり、有意な差は認められなかった。一方、照射線量 50 kGy の CLPE の粒子数を、非架橋 PE の粒子数と比較すると、著しく少なく、摩耗の抑制効果が見られた。

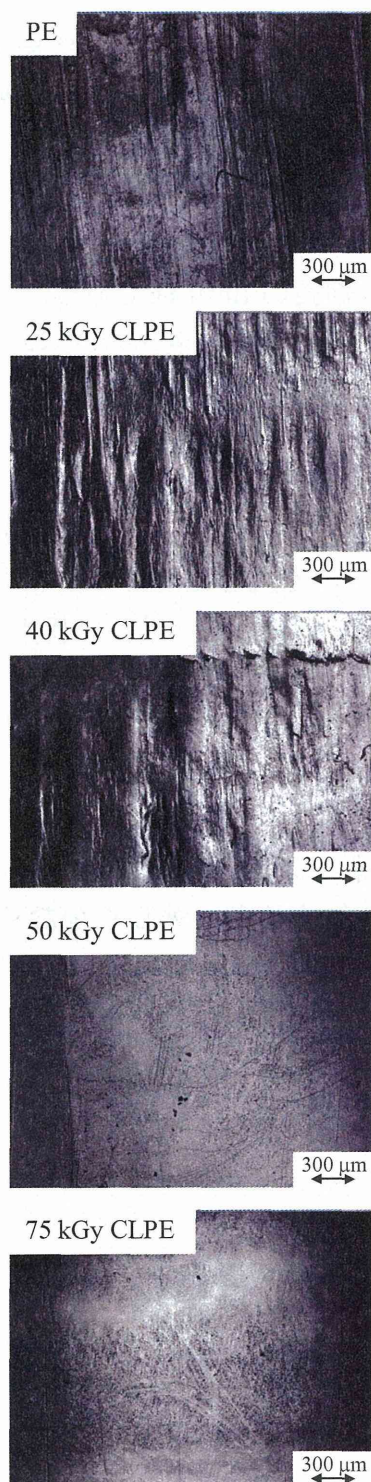


図 6. PE および CLPE インサート摺動部のレーザー顕微鏡観察像

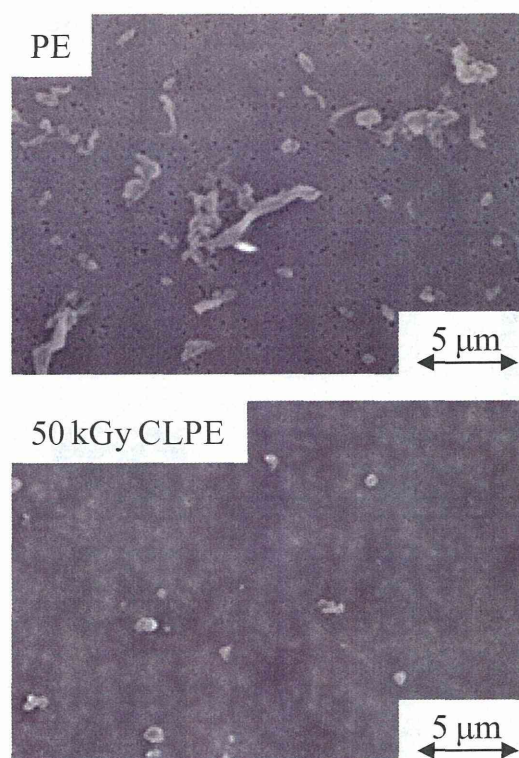


図 7. PE および 50 kGy CLPE の摩耗粉観察像

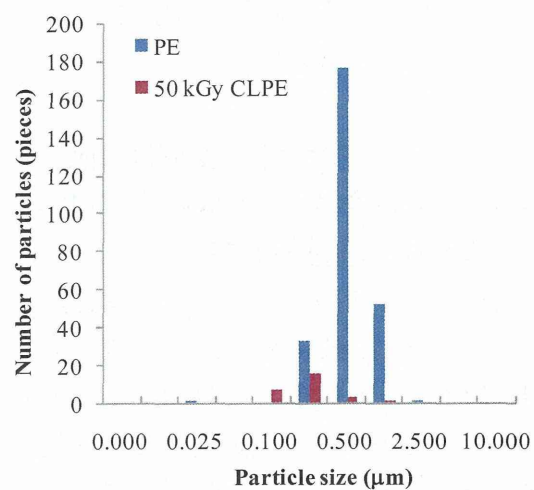


図 8. PE および 50 kGy CLPE の摩耗粉円相当径分布

2. PMPC 処理 CLPE インサートの摩耗特性評価

図 9 に、膝関節シミュレーター試