

械加工により、 $63.5 \times 6.4 \times 12.7 \text{ mm}^3$  の試験体を作製した。得られた試験体に対して、ノッチ深さ  $4.57 \pm 0.08 \text{ mm}$  のダブルノッチを入れた。これらのアイゾット衝撃強度を、オリエンテック製アイゾット衝撃試験機を用い、ハンマー容量  $3.92 \text{ J}$  ( $40 \text{ kg} \cdot \text{m}$ ) にて測定した。

#### ⑤ 硬さ測定

デュロメータ硬さ (ショア D) を、ASTM F648-07 規格に準拠して測定した。

#### ⑥ 結晶化度測定

得られた種々のガンマ線照射量による CLPE 試験体の結晶化度を、示差走査熱量分析装置 (DSC) を用いて測定した。セイコーインスツルメンツ製 DSC-6200 を用い、昇温速度  $10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ 、測定温度は室温 $\sim$  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ 、窒素雰囲気条件にて、アルミ蓋付き容器を用いて溶解熱を測定した。既知である完全結晶の PE の融解熱量  $281.07 \text{ J/g}$  を使用して、CLPE 試験体の融解熱量と完全結晶 PE の融解熱量の比を結晶化度として算出した。

#### ⑦ クリープ変形測定

得られた種々のガンマ線照射量による CLPE 試験体のクリープ変形量を、ASTM F648-98 規格および D621-64 規格に準拠して測定した。

オリエンテック社製クリープ試験機 (CP6-L-1000 型) を用い、室温にて  $1000 \text{ psi}$  ( $6.90 \text{ MPa}$ ) の荷重をかけた

試験片の 24 時間経過後の試験片高さ、および荷重を取り除いた後、1.5 時間後の試験片高さを測定した。試験には、 $12.7 \times 12.7 \times 12.7 \text{ mm}^3$  のブロック状試験片を用いた。

#### ⑧ 微小多軸引張り試験 (スモールパンチ試験)

得られた種々のガンマ線照射量による CLPE 試験体の微小多軸引張り特性を、ASTM F2183-02 規格に準拠して測定した。試験パンチガイドと先端が半球に加工されたパンチを持つカスタムメイドのスモールパンチ試験治具に、直径  $6.4 \text{ mm}$ 、厚さ  $0.5 \text{ mm}$  になるように加工した円板状試験片を固定した後、その試験治具を丸東製作所製骨強度測定装置 (MZ-500S) もしくはインストロン社製万能試験機に設置した。負荷速度  $0.5 \text{ mm}/\text{min}$  にて、試験片が破断するまで試験した。試験では、試験片が多軸変形破断するまで、最大荷重、破断荷重、破断伸び、破断エネルギーを記録した。

## 2. 滅菌方法の検討

総ガンマ線照射量が  $75 \text{ kGy}$  となるよう各試験体を作製した後、PMPC 処理を施した。PMPC 処理 CLPE 試験体の機械的特性を評価するため、引張試験、衝撃試験およびスモールパンチ試験を、物理的特性を評価するため、密度測定および架橋密度測定を、化学的安定性を評価するため、酸化誘導時間測定を実施

した。

## 1). 種々の滅菌条件における PMPC 処理 CLPE の作製

### ① PMPC 処理 CLPE (ガンマ線) の作製

UHMWPE 材 (GUR1020) に、不活性雰囲気にて 50 kGy のガンマ線を照射した。照射後、120℃の熱処理を行い、CLPE を得た。徐冷後、機械加工により CLPE 試験体を作製した。得られた試験体に対し、PMPC 処理を行った。得られた PMPC 処理 CLPE に不活性雰囲気下でガンマ線を照射し、PMPC 処理 CLPE (ガンマ線) を得た。

### ② PMPC 処理 CLPE (GP) および PMPC 処理 CLPE (EOG) の作製

UHMWPE 材 (GUR1020) に、不活性雰囲気にて 75 kGy のガンマ線を照射した。照射後、120℃の熱処理を行い、CLPE を得た。徐冷後、機械加工により CLPE 試験体を作製した。得られた試験体に対し、PMPC 処理を行った。得られた PMPC 処理 CLPE にガスプラズマ滅菌およびエチレンオキシドガス滅菌を施し、PMPC 処理 CLPE (GP) および PMPC 処理 CLPE (EOG) を得た。対照として、滅菌前の PMPC 処理 CLPE (未滅菌) を用いた。

## 2). PMPC 処理 CLPE の評価

### ① 機械的特性

引張試験を ASTM D638 を参考に実施した。機械加工により IV号試験片を

作製し、PMPC 処理 CLPE 試験体を作製した。試験速度 50 mm/min にてオートグラを用い、破断点強度および破断点歪みを評価した。

アイゾット衝撃試験を ASTM F648 を参考に実施した。機械加工により  $63.5 \times 6.4 \times 12.7 \text{ mm}^3$  の試験片を作製し、PMPC 処理 CLPE 試験体を作製した。ノッチ深さ  $4.57 \pm 0.08 \text{ mm}$  のダブルノッチを入れ、ハンマー容量 3.92 J にて、衝撃強度を測定した。

スモールパンチ試験は、ASTM F2183 を参考に実施した。機械加工により  $\phi 6.4 \times 0.5 \text{ mm}^3$  の試験片を作製し、PMPC 処理 CLPE 試験体を作製した。試験速度 0.5 mm/min にて万能試験機を用い、破断点変位、最大荷重および破断エネルギーを評価した。

### ② 物理的特性

各滅菌後の PMPC 処理 CLPE の架橋密度計測を、F.W. Shen et al.; J. Polym. Sci. Part B, Polym. Phys. 34 (1996) の方法を参考に実施した。機械加工により  $23 \times 23 \times 1 \text{ mm}^3$  の試験片を作製し、PMPC 処理 CLPE 試験体を作製した。試験片の重量を測定した後 ( $V_1$ )、0.5 wt% の 2-t-ブチル-4-メチルフェノールを含有する 130℃の *p*-キシレンに 72 時間浸漬した。取り出した後、再度重量を測定し ( $V_2$ )、アセトンに浸漬後、60℃の真空下で乾燥させ、重量を測定した ( $V_3$ )。膨張度  $q$  は重量増加と PE および キシレン の密度 から 求め、架橋密度は下記の計算式を用いて求めた。

(a) 膨張度、 $q$

$$q = V_2 / V_3$$

(b) 網目鎖密度、 $v^*$

$$v^* = \text{Ln}(1-q^{-1}) + q^{-1} + \chi q^2 / V_1 (q^{-2/3} - 0.5q^{-1})$$

$$V_1 = 136 \text{ mL/mol}, \chi = 0.37 \text{ (PE)}$$

(c) 架橋点間数平均分子量、 $M_c$

$$1 / M_c = v^* V$$

$V$ : アルコール置換法により実測した CLPE の密度

(d) 架橋密度、XLD

$$\text{XLD} = M_0 / M_c$$

$$M_0 = 14 \text{ (PE)}$$

### ③ 化学的安定性

酸化誘導時間測定は ASTM D3895 に準拠して TA Instrument 製 DSC-Q100 で評価した。機械加工により  $\phi 2.5 \times 1 \text{ mm}^3$  の試験片を作製し PMPC 処理 CLPE 試験体を作製した。

50 mL/min での窒素供給下にて、30 分間試験片を静置した後、 $20^\circ\text{C}/\text{min}$  で  $200^\circ\text{C}$  まで加熱し 5 分間静置した。その後、50 mL/min で酸素を供給し、酸化誘導時間を測定した。

### 3. 超硬質表面化コバルトクロム (Co-Cr)合金の検討

超硬質表面化 Co-Cr 合金の検討材料には、Co-28Cr-6Mo 合金の熱間圧延丸棒材 (ASTM F1537 合金)を用いた。本丸棒材を機械加工により所

望の試験片形状に機械加工した後、試験片評価面を #2400 までの炭化ケイ素の研磨紙による湿式研磨およびコロイダルシリカによるバフ研磨を施し、浸炭熱処理前の試験片を得た。

上述の試験片を用いて、HF+N<sub>2</sub> 混合ガス雰囲気下で  $350^\circ\text{C}$  にて 2 時間保持の活性化熱処理を施した後、CO+H<sub>2</sub>+N<sub>2</sub> 混合ガス雰囲気下で  $500^\circ\text{C}$  にて 32 時間保持の浸炭熱処理を施した。浸炭熱処理後、スレーティング除去を目的として、35% HNO<sub>3</sub> 水溶液中にて酸洗浄を施し、評価面を再度コロイダルシリカによるバフ研磨を施し、浸炭熱処理試験片を得た。

得られた表面について、X 線回折 (XRD) 分析・マイクロビッカースによる硬さ測定・グロー放電発光分光 (GDOES) 分析・走査型電子顕微鏡 (SEM) による低温浸炭層厚の測定を行った。

#### ① SEM 観察

未処理および浸炭処理 Co-Cr 合金の断面ミクロ組織の評価には、鏡面仕上げした試験体の切断面を塩酸と過酸化水素水の混合溶液中に 5~10 秒間浸漬することでエッチングし、ミクロ組織を露出させた試験体を用いた。ミクロ組織観察は、SEM (日立製 S-3400 型) を用い、加速電圧 15 kV、電流 60 mA の条件で行った。

#### ② XRD 分析

未処理および浸炭処理 Co-Cr 合金表面の各結晶相を同定するため、XRD 分析を行った。リガク製 RINT-2000 型を用い、X 線源には Cu-K $\alpha$ 線、電圧を 40 kV、電流を 300 mA として、回折角 ( $2\theta$ )を 30~80° の範囲について XRD 分析を行った。

### ③ マイクロビッカースによる硬さ測定

未処理および浸炭処理 Co-Cr 合金表面の硬さおよび断面硬さを評価するため、マイクロビッカースによる硬さ試験を行った。マイクロビッカース硬さ測定は、ミットヨ製 MicroWiZhard を用い、押し込み荷重を 20 gf、保持時間を 15 秒の条件で行った。

### ④ GDOES 分析

未処理および浸炭処理 Co-Cr 合金断面 (表面からの深さ方向)の炭素濃度を評価するため、GDOES 分析を行った。GDOES 分析には、堀場製作所製 JY-5000 型を用い、放電電力を 40 W、アルゴン圧力を 775 Pa、測定時間を 750 秒、放電範囲を直径 4 mm とし、アルゴンスパッタ時間に対する炭素元素の発光強度を測定した。得られた発光強度を用い、標準試料で作成した検量線により濃度を求めた。スパッタ深さは、試験片を 750 秒間測定したときの放電痕深さを表面粗度計測で測定することでスパッタ速度を求め、測定時間から深さ位置を算出した。

## C. 研究結果

### 1. 至適架橋条件の検討

#### ① 密度測定

図 1 に、種々のガンマ線照射量にて架橋処理した CLPE の密度を示す。ガンマ線照射線量が増加するにともなう、密度は増加した。また、GUR1050 レジンによる CLPE の密度は、GUR1020 レジンのそれに比べ、いずれのガンマ線照射量においても、高い値を示した。

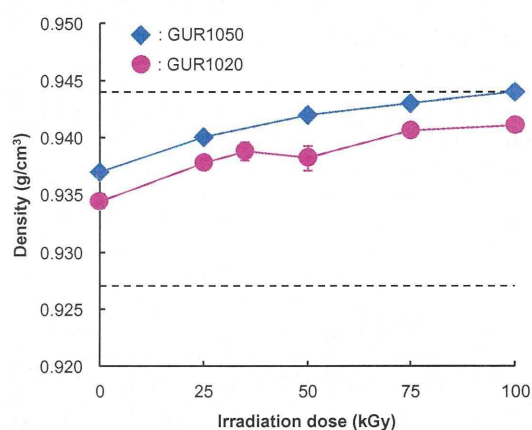


図 1. 種々のガンマ線照射量にて架橋処理した CLPE の密度  
破線は、ASTM 規格および ISO 規格の要求値 (上下限)を示す

#### ② 架橋密度

図 2 に、種々のガンマ線照射量にて架橋処理した CLPE の架橋密度を示す。

ガンマ線照射線量が増加するにともなう架橋密度は増加し、75 kGy でほぼ一定となった。また、GUR1050 レジンによる CLPE の架橋密度は、GUR1020 レジンのそれに比

べ、いずれのガンマ線照射量においても、高い値を示した。

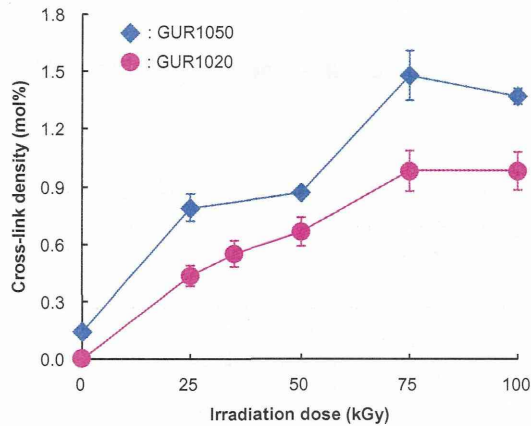


図 2. 種々のガンマ線照射量にて架橋処理した CLPE の架橋密度  
破線は、ASTM 規格および ISO 規格の要求値 (下限)を示す

### ③ 引張り試験

図 3~5 に、種々のガンマ線照射量にて架橋処理した CLPE の引張り特性を示す。ガンマ線照射線量が増加するにともなって引張り降伏強度は増加したのに対し、引張り破断強度および引張り破断伸びは減少した。

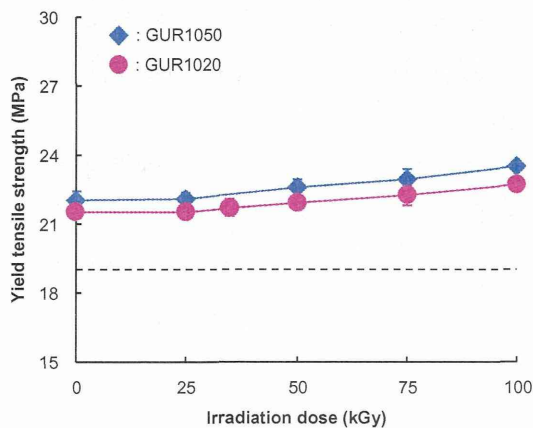


図 3. 種々のガンマ線照射量にて架橋

処理した CLPE の引張り降伏強度  
破線は、ASTM 規格および ISO 規格の要求値 (下限)を示す

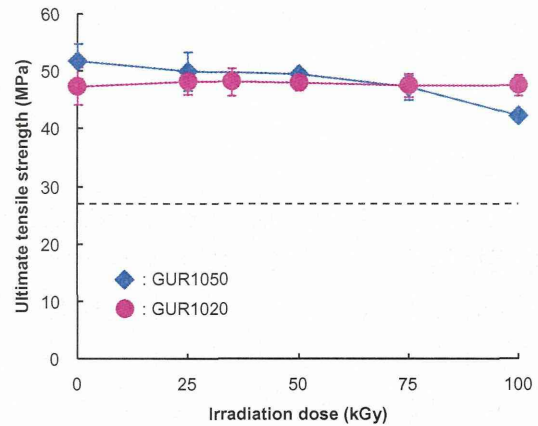


図 4. 種々のガンマ線照射量にて架橋処理した CLPE の引張り破断強度  
破線は、ASTM 規格および ISO 規格の要求値 (下限)を示す

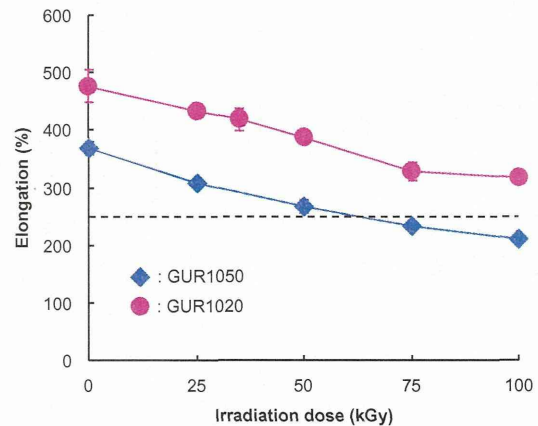


図 5. 種々のガンマ線照射量にて架橋処理した CLPE の引張り破断伸び  
破線は、ASTM 規格および ISO 規格の要求値 (下限)を示す

特に 75 kGy 以上のガンマ線を照射した GUR1050 レジンによる CLPE の引張り破断伸びは、ASTM 規格に

よる要求値を満たしていなかった。  
また、GUR1020 レジンによる CLPE の引張り伸びは、GUR1050 レジンのそれに比べ、いずれのガンマ線照射量においても、高い値を示した。

#### ④ 衝撃試験

図 6 に、種々のガンマ線照射量にて架橋処理した CLPE のアイゾット衝撃強度を示す。ガンマ線照射線量が増加するにともなって、アイゾット衝撃強度は減少した。また、GUR1020 レジンによる CLPE のアイゾット衝撃強度は、GUR1050 レジンのそれに比べ、25 kGy を除くいずれのガンマ線照射量においても、高い値を示した。

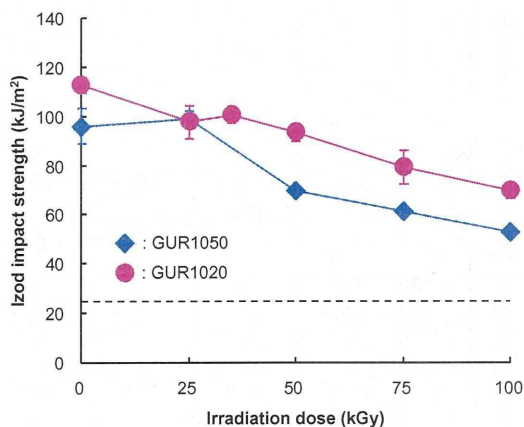


図 6. 種々のガンマ線照射量にて架橋処理した CLPE のアイゾット衝撃強度  
破線は、ASTM 規格および ISO 規格の要求値 (下限)を示す

#### ⑤ 硬さ測定

図 7 に、種々のガンマ線照射量にて架橋処理した CLPE のデュロメー

タ硬さを示す。

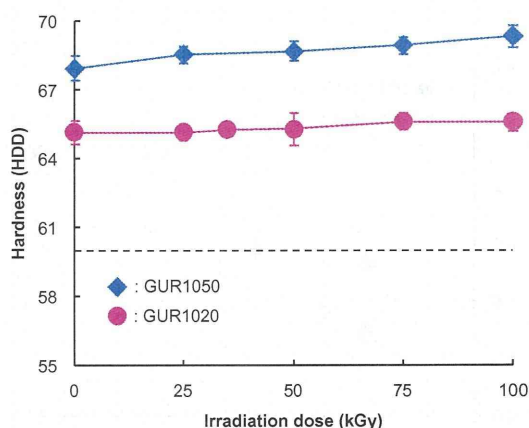


図 7. 種々のガンマ線照射量にて架橋処理した CLPE のデュロメータ硬さ  
破線は、ASTM 規格要求値 (下限)を示す

ガンマ線照射線量が増加するにともなって、硬さは増加した。また、GUR1050 レジンによる CLPE の硬さは、GUR1020 レジンのそれに比べ、いずれのガンマ線照射量においても、高い値を示した。

#### ⑥ 結晶化度測定

図 8 に、種々のガンマ線照射量にて架橋処理した CLPE の結晶化度を示す。

100 kGy 以下のガンマ線照射量の範囲においては、いずれの分子量のレジンによる CLPE の結晶化度も、ほとんど変化しなかった。

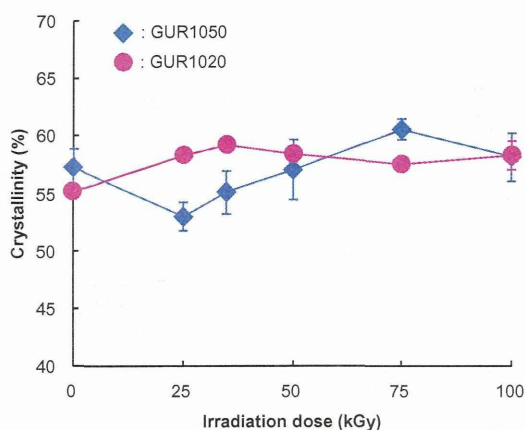


図 8. 種々のガンマ線照射量にて架橋処理した CLPE の結晶化度

⑦ クリープ変形測定

図 9 に、種々のガンマ線照射量にて架橋処理した CLPE のクリープ変形量を示す。

ガンマ線照射線量が増加するにともなって、いずれの分子量のレジンによる CLPE もクリープ変形量は徐々に低下した。100 kGy 以下のガンマ線照射の範囲において、レジンによるクリープ変形量の差は認められなかった。また、いずれの CLPE の値も、ASTM が要求する値を満たした。

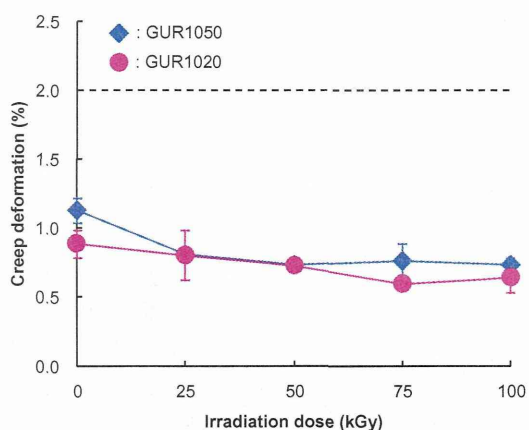


図 9. 種々のガンマ線照射量にて架橋処理した CLPE のクリープ変形量  
破線は、ASTM 規格の要求値（上限）を示す

⑧ 微小多軸引張り試験(スモールパンチ試験)

図 10～12 に、種々のガンマ線照射量にて架橋処理した CLPE の微小多軸引張り特性を示す。

ガンマ線照射線量が増加するにともなって、いずれの分子量のポリエチレンの微小多軸引張り破断荷重も徐々に増加したのに対し、微小多軸引張り破断変位および微小多軸引張り破断エネルギーは徐々に減少した。50 kGy 以下のガンマ線照射の範囲において、レジンによる微小多軸引張り特性の差は認められなかった。

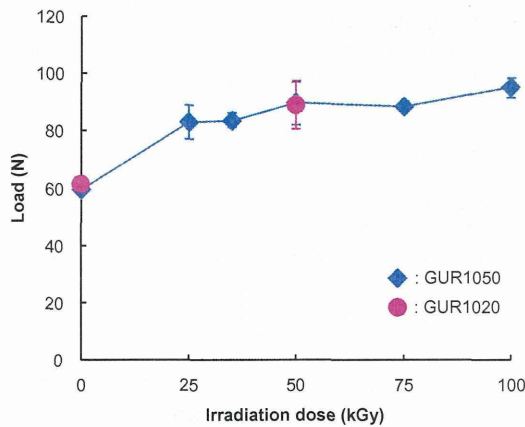


図 10. 種々のガンマ線照射量にて架橋処理した CLPE の微小多軸引張り破断荷重

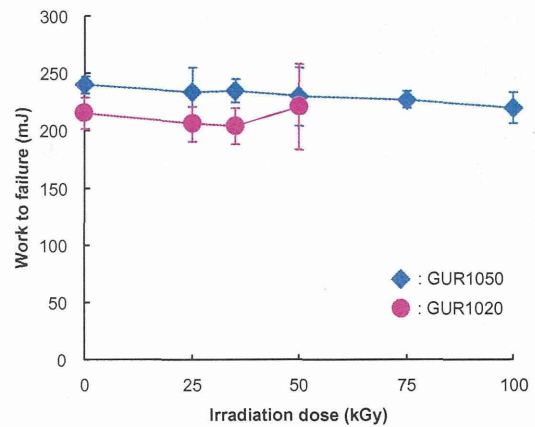


図 12. 種々のガンマ線照射量にて架橋処理した CLPE の微小多軸引張り破断エネルギー

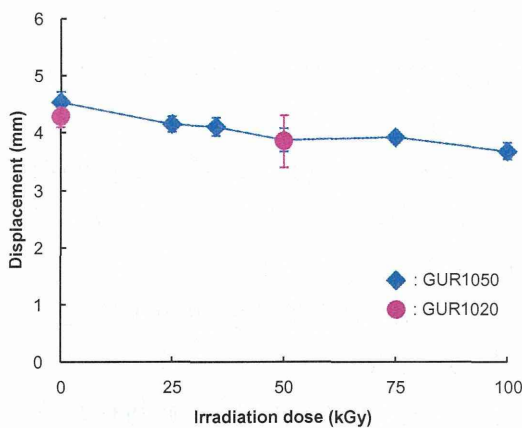


図 11. 種々のガンマ線照射量にて架橋処理した CLPE の微小多軸引張り破断変位

## 2. 滅菌方法の検討

### ① 機械的特性

図 13 に各滅菌後の試験片の引張試験より得られた (a) 最大強度および (b) 破断点歪みを示す。Dunnnett 法により、PMPC 処理 CLPE (未滅菌) と各滅菌後の試験片の評価を行った。PMPC 処理 CLPE (GP) が滅菌前と比較して有意に低い最大強度を示した。破断点歪みは滅菌前後で有意な差がみられなかった。いずれの滅菌条件においても最大強度および破断点歪みともに ASTM F648 の規格を満たす結果であった。



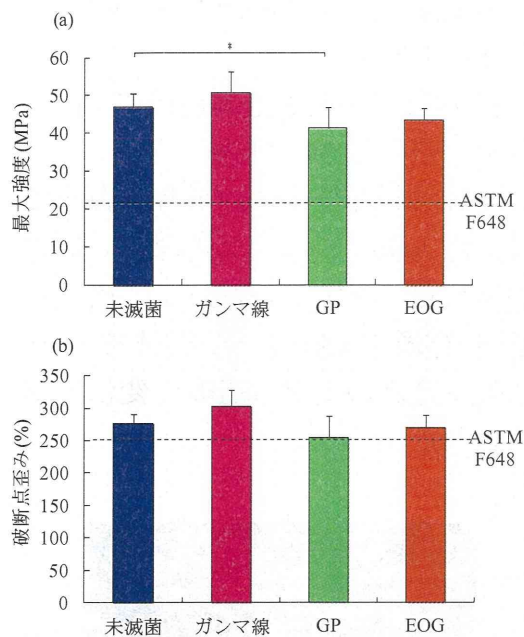


図 13. 各滅菌条件での (a) 最大強度および (b) 破断点歪み (\*:  $p < 0.05$ )

図 14 に各滅菌後の試験片のアイゾット衝撃試験結果を示す。Dunnett 法により、PMPC 処理 CLPE (未滅菌) と各滅菌後の試験片の評価を行ったところ、PMPC 処理 CLPE (GP) および PMPC 処理 CLPE (EOG) は有意に高い衝撃強度を示した。いずれの滅菌条件においても ASTM F648 の規格を満たす結果であった。

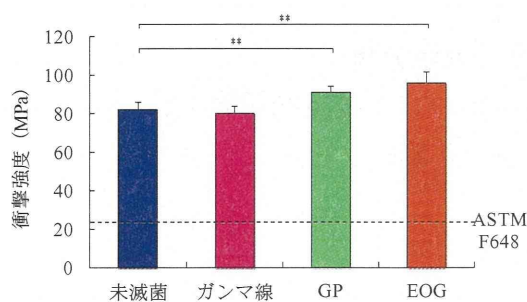


図 14. 各滅菌条件での衝撃強度 (\*\*:  $p < 0.01$ )

図 15 に各滅菌後の試験片のスマールパンチ試験により得られた (a) 破断点距離、(b) 最大荷重および (c) 破断エネルギーを示す。

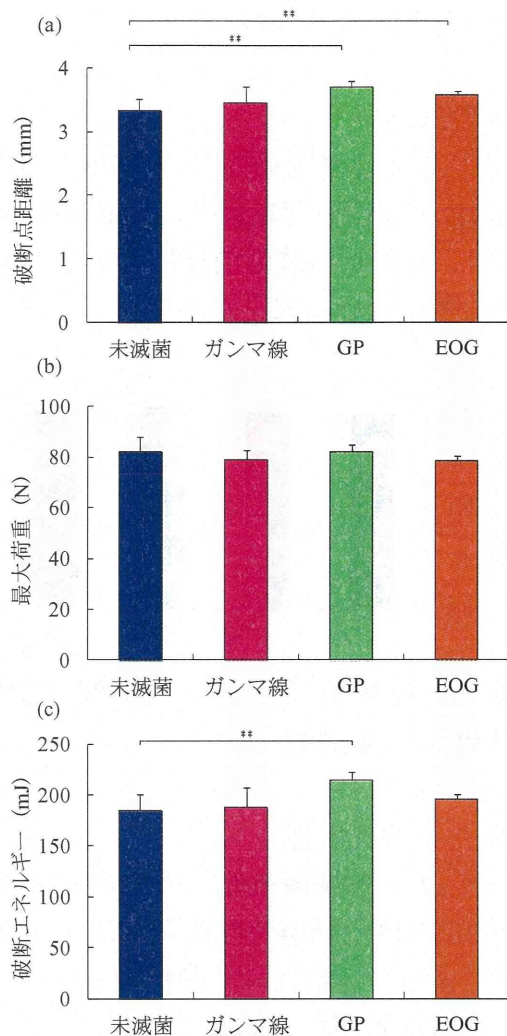


図 15. 各滅菌条件での (a) 破断点距離、(b) 最大荷重および (c) 破断エネルギー (\*\*:  $p < 0.01$ )

Dunnett 法により、PMPC 処理 CLPE (未滅菌) と各滅菌後の試験片の評価を行ったところ、最大荷重はいずれの滅菌前後においても有意差がなかった。破断点距離は、PMPC 処理 CLPE (GP)、PMPC 処理 CLPE (EOG) が

滅菌前と比較して有意に高い値を示した。破断エネルギーは、PMPC 処理 CLPE (GP) が滅菌前と比較して有意に高い値を示した。その他の滅菌前後には有意差はみられなかった。

## ② 物理的特性

図 16 に各滅菌条件での PMPC 処理 CLPE の架橋密度を示す。Dunnett 法により、いずれの滅菌前後においても有意な差がない結果となった。

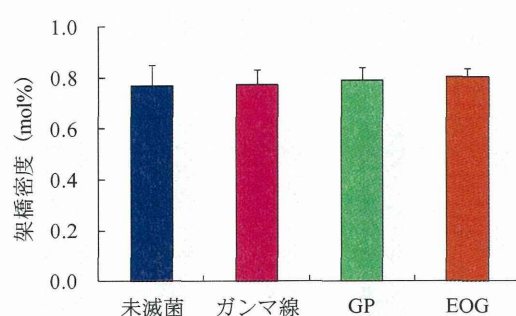


図 16 各滅菌条件での PMPC 処理 CLPE の架橋密度

## ③ 化学的安定性

図 17 に各滅菌条件での PMPC 処理 CLPE の酸化誘導時間を示す。Dunnett 法により、いずれの滅菌前後においても有意な差がない結果となった。

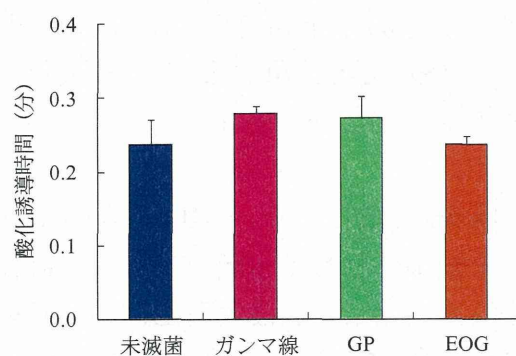


図 17. 各滅菌条件での PMPC 処理 CLPE の酸化誘導時間

## 3. 超硬質表面化 Co-Cr 合金の検討

### ① SEM 観察

図 18 に、浸炭熱処理前後の Co-Cr 合金の断面 SEM 写真を示す。

浸炭熱処理後の Co-Cr 合金表面には、約 20 μm の均一な処理層の形成が認められた。これに対し、浸炭熱処理前後において、基材である Co-Cr 合金のマイクロ組織に変化は認められなかった。

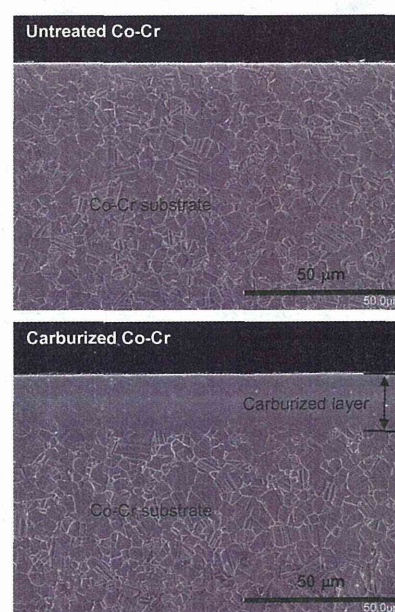


図 18. 浸炭熱処理前後の Co-Cr 合金の断面 SEM 写真

### ② XRD 分析

図 19 に、浸炭熱処理前後の Co-Cr 合金の XRD パターンを示す。

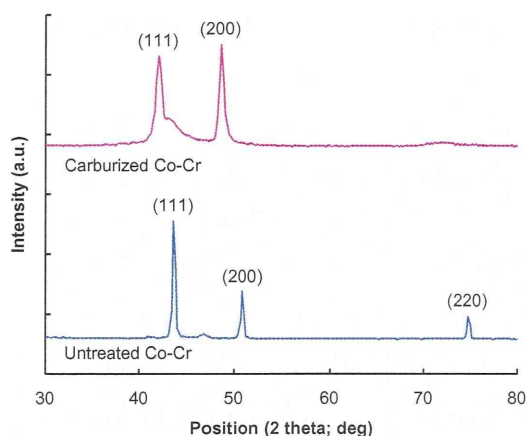


図 19. 浸炭熱処理前後の Co-Cr 合金の XRD パターン

Co-Cr 合金の XRD パターンには、Co の  $\gamma$  相 (111 面、200 面) に帰属されるピークが観察された。浸炭熱処理後の Co-Cr 合金の XRD パターンでは、この Co の  $\gamma$  相 (111 面、200 面) に帰属されるピークが低角にシフトし、また、ブロード化した。すなわち、(111) 面と (200) 面の面間隔が広くなり、格子の規則性も低下した。

### ③ 硬さ測定

図 20 に、浸炭熱処理前後の Co-Cr 合金のマイクロビッカース硬さを、図 21 に、浸炭熱処理 Co-Cr 合金断面 (深さ方向) のマイクロビッカース硬さをそれぞれ示す。

浸炭熱処理後、Co-Cr 合金表面のマイクロビッカース硬さは、未処理のその約 3 倍にまで増加した。この硬質な処理層は、表面から約 20  $\mu\text{m}$  の深さまで存在しており、断面 SEM 写真で認められた処理層の厚さと一致した。また、その硬さは表

面から徐々に減少しており、処理層が傾斜的であることを示した。

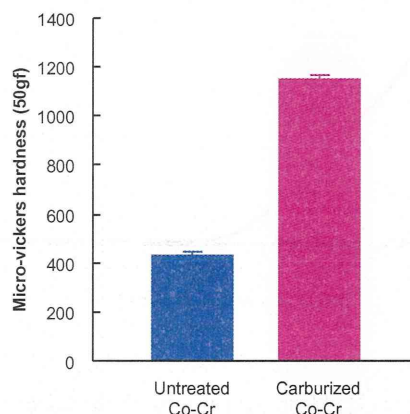


図 20. 浸炭熱処理前後の Co-Cr 合金のマイクロビッカース硬さ

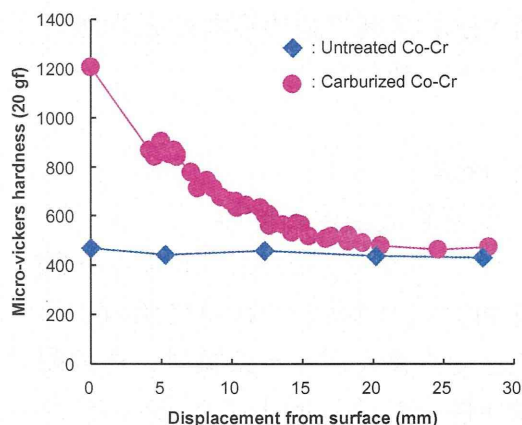


図 21. 浸炭熱処理 Co-Cr 合金断面 (深さ方向) のマイクロビッカース硬さ

### ④ GDOES 分析

図 22 に、浸炭熱処理 Co-Cr 合金断面 (深さ方向) の炭素濃度を示す。

浸炭熱処理後、Co-Cr 合金表面の炭素濃度は約 4 mass% であり、その濃度は表面から徐々に減少した。

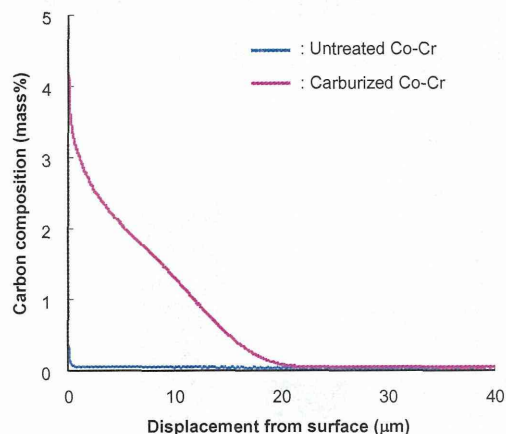


図 22. 浸炭熱処理 Co-Cr 合金断面 (深さ方向)の炭素濃度

炭素が含まれる層は、表面から約 20 μm の深さまで存在しており、断面 SEM 写真で認められた処理層の厚さと一致した。

#### D. 考察

##### 1. 至適架橋条件の検討

ガンマ線などの高エネルギー線を PE などの高分子材料に照射することで、導入される架橋は、その耐摩耗性を劇的に向上させる一方で、その機械的特性を低下させることが知られている。しかしながら、人工股関節寛骨臼ライナーには 90 年代後半より使用されている技術であり、その 10 年以上のおよぶ成績も良好である。一方、関節面の適合性の低い人工膝関節では、局所的な力学的負荷は人工股関節以上であり、その応用は入念に検討する必要がある。本研究では、分子量の異なる PE に対して、25~100 kGy の

ガンマ線を照射し、その物理的特性、機械的特性を評価した。

いずれの PE においても、ガンマ線照射線量が増加するにともなってその架橋密度は増加し、75 kGy でほぼ一定となった。また、分子量の高い GUR1050 レジンによる CLPE の架橋密度は、分子量の低い GUR1020 レジンのそれに比べ、いずれのガンマ線照射量においても、高い値を示した。この架橋密度の増加に対応して、引張り特性、衝撃特性は徐々に低下した。75 kGy 以上のガンマ線を照射した GUR1050 レジンによる CLPE の引張り破断伸びは、国際規格である ASTM F648-10 規格および ISO5834-part2 規格で要求される値を下回っており、その使用は慎重になる必要がある。これに対し、GUR1020 レジンによる CLPE の機械的特性は、これらの要求を十分に満たしていた。これらの結果より、至適な架橋照射線量は 75 kGy、至適 PE レジンは GUR1020 であると考えられた。

##### 2. 滅菌方法の検討

ガンマ線滅菌、GP 滅菌および EOG 滅菌が PMPC 処理 CLPE へ与える影響について検討した。

総ガンマ線照射量を揃えるために、ガンマ線滅菌用試験片は 50 kGy ガンマ線照射 (架橋) → 熱処理 → 25 kGy ガンマ線照射 (滅菌) の工程を経て作製するのに対し、未滅菌、GP 滅菌および EOG 滅菌用試験片は 75 kGy ガンマ線照射 → 熱処理の工程により作製

した。この工程の違いがあるにも関わらず、機械的特性の評価において、ガンマ線滅菌後の試験片は未滅菌のものと比較して有意に差がない結果を示した。

一方、GP 滅菌後の試験片は滅菌前と比較して、有意に低い引張強度および有意に高い衝撃強度とスモールパンチ試験結果と相反する結果を示した。滅菌前後で同一の棒材を使用しており、架橋密度測定の結果からも基材由来の原因とは考えにくい。また、一般に GP 滅菌は基材に影響の少ない低温プラズマを用いており、PE の機械的特性に影響しないと考えられている。今回の試験においても GP 滅菌工程に特段の異常は見られなかった。これらのことより、試験片の製作条件および試験実施時の条件等が機械的特性に大きく影響を与えたと考えられ今後再検討が必要である。

さらに、EOG 滅菌後の試験片について滅菌前と比較して有意に高い衝撃強度およびスモールパンチ試験結果を得た。EOG 滅菌用の基材は未滅菌と同じものを使用している。また、EOG 滅菌は EOG を基材に流通させる滅菌法であり基材への影響が少ないと考えられている。このため、GP 滅菌と同様に、試験片の製作条件および試験実施時の条件等が機械的特性に大きく影響を与えたと考えられ今後再検討が必要である。

しかし、いずれの滅菌を施した PMPC 処理 CLPE も ASTM F648 の規格を満たす結果となり、いずれの滅菌

によっても人工関節材料としての機械的特性を担保できることがわかった。

化学的安定性の評価として各種滅菌後の酸化誘導時間を測定したところ、いずれの滅菌を施した PMPC 処理 CLPE も滅菌前と比較して有意な差がなく、滅菌による基材の化学的変質の可能性がないことがわかった。

以上の結果より PMPC 処理 CLPE への滅菌は、ガンマ線滅菌、GP 滅菌および EOG 滅菌のいずれも選択可能であると考えられた。

### 3. 超硬質表面化 Co-Cr 合金の検討

Co-Cr 合金表面から徐々に炭素を固溶させる浸炭熱処理を行うことで、Co-Cr 合金の超硬質化を達成した。この硬質化は炭素の固溶量に依存しており、硬質化層は表面から約 20  $\mu\text{m}$  の深さまで存在していた。人工膝関節の摺動面形状は比較的低い拘束性であり、異物の介在し易い構造をしている。金属大腿骨コンポーネントの表面を硬質化し、異物による表面損傷を防ぐことで、異常摩耗の発生を抑制することは、人工膝関節置換術の耐用性の向上に大きく貢献すると期待される。

### E. 結論

耐久性に優れた画期的なナノ表面構築型人工膝関節を開発するための至適な架橋照射線量は 75 kGy、至適 PE レジンは GUR1020 であることを明らかにした。また、PMPC 処理 PE の滅菌には、一般的な医療機器の滅

菌法であるガンマ線照射法、ガスプラズマ法、エチレンオキサイドガス法のいずれも適応が可能であることを明らかにした。さらに、表面損傷による異常摩耗を防ぐため、コバルトクロム (Co-Cr)合金に表面から傾斜的に炭素を固溶させ、合金表面を硬質化した、超硬質表面化 Co-Cr 合金を創出した。

F. 健康危険情報  
特になし。

G. 研究発表

1.論文発表

- 1) Ishihara K, Goto Y, Matsuno R, Inoue Y, Konno T: Novel polymer biomaterials and interfaces inspired from cell membrane functions. *Biochim Biophys Acta-General* 1810(3): 268-75, 2011.
- 2) Inoue Y, Nakanishi T, Ishihara K: Adsorption force of proteins against hydrophilic polymer brush surfaces. *React Funct Polym* 71(3): 350-5, 2011.
- 3) Matsuno R, Ishihara K: Integrated functional nanocolloids covered with artificial cell membranes for biomedical applications. *Nano Today* 6(1): 61-74, 2011.
- 4) Ye Y, Fukazawa K, Huang N, Ishihara K: Effects of 3,4-dihydrophenyl groups in water-soluble phospholipid polymer on stable surface modification of titanium alloy. *Colloid and Surfaces B: Biointerface* 88(1): 215-20, 2011.
- 5) Kyomoto M, Moro T, Saiga K, Hashimoto M, Ito H, Kawaguchi H, Takatori Y, Ishihara K: Biomimetic hydration lubrication with various polyelectrolyte layers on cross-linked polyethylene orthopedic bearing materials. *Biomaterials* 33: 4451-4459, 2012.
- 6) Lin X, Konno T, Takai M, Ishihara K: Redox phospholipid polymer microparticles as doubly functional polymer support for immobilization of enzyme oxidase. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 102: 857-63, 2013.
- 7) Ma C, Nagai A, Yamazaki Y, Toyama T, Tsutsumi Y, Hanawa T, Wang W, Yamashita K: Electrically polarized micro-arc oxidized TiO<sub>2</sub> coatings with enhanced surface hydrophilicity. *Act Biomater* 8: 860-5, 2012.
- 8) Hieda J, Niinomi M, Nakai M, Kamura H, Tsutsumi H, Hanawa T: Effect of terminal functional groups of silane layers on adhesive strength between biomedical Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr alloy and segment polyurethanes. *Surf Coat Technol* 206: 3137-41, 2012.
- 9) Nagai A, Tsutsumi Y, Suzuki Y, Katayama K, Hanawa T, Yamashita K: Characterization of air-formed surface oxide film on a Co-Ni-Cr-Mo alloy (MP35N) and its change in Hanks' solution. *Appl Surf Sci* 258: 5490-8, 2012.
- 10) Tsutsumi Y, Bartakova S, Prachar P, Suyalatu, Migita S, Doi H, Nomura N, Hanawa T: Long-term corrosion behavior biocompatible b-type Ti alloy in simulated body fluid. *J Electrochem Soc* 159: C435-40, 2012.
- 11) Akazawa T, Murata M, Tazaki J, Hino J, Nakamura K, Yoshinari S, Tabata Y, Hanawa T, Takahata M, Iwasakai N, Ito M, Ohmori T, Yamachika H, Kikuchi M: Characterization of bio-absorbable and biomimetic granules produced from animal bone

- by the high velocity rotation-crushing and demineralizing technique. *Phosphate Res Bull* 26: 65-70, 2012.
- 12) Inoue Y, Ye L, Ishihara K, Yui N: Preparation and Surface Properties of Polyrotaxane-containing Tri-block Copolymers as a Design for Dynamic Biomaterials Surfaces. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 89(1): 223-227, 2012.
  - 13) Choi J, Konno T, Takai M, Ishihara K: Regulation of cell proliferation by multilayered phospholipid polymer hydrogel through controlled release of bioactive agent. *Biomaterials* 33(3): 954-61, 2012.
  - 14) Mieda S, Amemiya Y, Kihara T, Okada T, Sato T, Fukazawa K, Ishihara K, Nakamura N, Miyake J, Nakamura C: Mechanical Force-Based Probing of Intracellular Proteins from Living Cells Using Antibody-Immobilized Nanoneedles. *Biosens Bioelectron* 31(1): 323-9, 2012.
  - 15) Takahara A, Kikuchi M, Terayama Y, Ishikawa T, Hoshino T, Kobayashi M, Ogawa H, Masunaga H, Koike J, Horigome M, Ishihara K: Chain Dimension of Polyampholytes in Solution and Immobilized Brush States. *Polym J* 44(1): 121-30, 2012.
  - 16) Bhuchar N, Thundat T, Sunasee R, Ishihara K, Narain R: Degradable Thermo-Responsive Nanogels for Proteins Encapsulation and Controlled Release. *Bioconjugate Chem* 23(1): 75-83, 2012.
  - 17) Aikawa T, Konno T, Takai M, Ishihara K: Continuous preparation of a spherical phospholipid polymer hydrogel for cell encapsulation using a flow-focusing microfluidic channel device. *Langmuir* 28(4): 2145-50, 2012.
  - 18) Li Z, Konno T, Takai M, Ishihara K: Fabrication of polymeric electron-transfer mediator/enzyme hydrogel multilayer on an Au electrode in a layer-by-layer process. *Biosensor Bioelectron* 34(1): 191-6, 2012.
  - 19) Yao Y, Fukazawa K, Ma W, Ishihara K, Huang N: Platelet adhesion-resistance of titanium substrate with mussel-inspired adhesive polymer bearing phosphorylcholine group. *Appl Surf Sci* 258(14): 5418-23, 2012.
  - 20) Kotanen C, Nolan A, Ann W, Wilson M, Ishihara K: Anthony Guiseppi-Elie: Biomimetic hydrogels gate transport of calcium ions across cell culture inserts. *Biomed Microdevice* 14(3): 549-58, 2012.
  - 21) Kyomoto M, Moro T, Saiga K, Hashimoto M, Takatori Y, Ishihara K: Biomimetic hydration lubrication with various polyelectrolyte layers on cross-linked polyethylene orthopedic bearing materials. *Biomaterials* 33(18): 4451-9, 2012.
  - 22) Seo J, Kakinoki S, Inoue Y, Yamaoka T, Ishihara K, Yui N: Designing dynamic surfaces for regulation of biological responses. *Soft Matter* 8: 5477-85, 2012.
  - 23) Kobayashi M, Terayama Y, Yamaguchi H, Terada M, Murakami D, Ishihara K, Takahara A: Wettability and antifouling behavior on the super hydrophilic polymer brush immobilized surfaces. *Langmuir* 28(18): 7212-22, 2012.
  - 24) Fukazawa K, Ishihara K: Simple surface treatment using amphiphilic phospholipid polymers to obtain wetting and lubricity on polydimethylsiloxane-based substrates. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 97(1): 70-5, 2012.
  - 25) Byambaa B, Konno T, Ishihara K: Cell adhesion control on photoreactive phospholipid polymer

- surfaces. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 99(1):1-6, 2012.
- 26) Sibarani J, Konno T, Takai M, Ishihara K: Nonbiofouling surfaces covered by bio-inspired 2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine polymer brush by use of polymeric photoinitiator. *Nano LIFE* 2(4):1242003-11, 2012.
- 27) Inoue Y, Ye L, Ishihara K, Yui N: Preparation and surface properties of polyrotaxane-containing tri-block copolymers as a design for dynamic biomaterials surfaces. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 89(1): 223-7, 2012.
- 28) Watarai E, Matsuno R, Konno T, Ishihara K, Takai M: QCM-D analysis of material-cell interactions targeting a single cell during initial cell attachment. *Sensors Actuators B: Chemical* 171-2, 1297-302, 2012.
- 29) Kyomoto M, Moro T, Ishihara K: *Polymeric Biomaterials. Structure and Function. Third Edition.* Chapter 25 Polymers for artificial joints. P. 851-883, 2013. CRS press.
- 30) Kyomoto M, Moro T, Yamane S, Watanabe K, Hashimoto M, Takatori Y, Tanaka S, Ishihara K: Poly(2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine) grafting and vitamin E blending for high wear resistance and oxidative stability of orthopedic bearings. *Biomaterials* (in press)
- 31) Kyomoto M, Moro T, Yamane S, Hashimoto M, Takatori Y, Ishihara K: Effect of UV-irradiation intensity on graft polymerization of 2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine on orthopedic bearing substrate. *J Biomed Mater Res A* (in press)
- 32) Moro T, Takatori Y, Kyomoto M, Ishihara K, Hashimoto M, Ito H, Tanaka T, Oshima H, Tanaka S, Kawaguchi H: Long-term hip simulator testing of the artificial hip joint bearing surface grafted with biocompatible phospholipid polymer. *J Orthop Res* 32(3): 369-376, 2014.
- 33) Moro T, Kyomoto M, Ishihara K, Saiga K, Hashimoto M, Tanaka S, Ito H, Tanaka T, Oshima H, Kawaguchi H, Takatori Y: Grafting of poly (2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine) on polyethylene liner in artificial hip joints reduces production of wear particles. *J Mechan Behav Biomed Mater* 34: 100-106, 2014.
- 34) Fukazawa K, Li Q, Seeger S, Ishihara K: Direct observation of selective protein capturing on molecular imprinting substrates. *Biosens Bioelectron* 40(1): 96-101, 2013.
- 35) Byambaa B, Konno T, Ishihara K: Photoresponsive and cytocompatible polymer substrate for maintaining higher functionality of photoinduced detached cells. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 103: 489-495, 2013.
- 36) Lee S, Matsuno R, Ishihara K, Takai M: Electron transfer with enzymes on nanofiliform titanium oxide films with electron-transport ability. *Biosens Bioelectron* 40: 289-293, 2013.
- 37) Kyomoto M, Moro T, Yamane S, Hashimoto M, Takatori Y, Ishihara K: Poly(ether-ether-ketone) orthopedic bearing surface modified by self-initiated surface grafting of poly(2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine) *Biomaterials* 34: 7829-7839, 2013.
- 38) Lin X, Konno T, Takai M, Ishihara K: Redox phospholipid polymer microparticles as doubly functional polymer support for immobilization of enzyme oxidase. *Colloids and*



- Surfaces B: Biointerfaces* 102: 857-63, 2013.
- 39) Hanawa T: Research and development of metals for medical devices based on clinical needs. *Sci Technol Adv Mater* 13: 064102, 2013.
- 40) Tsutsumi Y, Kobayashi E, Ogo M, Suyalatu, Migota S, Doi H, Nomura N, Noda K, Hanawa T: Accelerated calcium phosphate formation on titanium utilizing galvanic current between titanium and gold in Hanks' solution. *Mater Trans* 54: 149-155, 2013.
- 41) Zhu S, Xie G, Qin F, Wang X, Hanawa T: Ti Particles dispersed Ti-based metallic glass matrix composite prepared by spark plasma sintering. *Mater Trans* 54: 1335-1338, 2013.
- 42) 茂呂徹, 京本政之, 高取吉雄: 人工股関節ポリエチレンライナーのMPC処理. *Bone Joint Nerve* 10(3): 417-424, 2013.
2. 学会発表
- ① 国内学会
- 1) 井上祐貴, 中西智亮, 石原一彦: タンパク質吸着過程のナノ解析による生体親和型ポリマー表面の設計. 第60回高分子学会年次大会. 大阪, 5.25-27, 2011.
- 2) 井上和臣, 井上祐貴, 石原一彦: タンパク質吸着に与えるポリマーブラシ表面の水和状態の効果. 第60回高分子学会年次大会. 大阪, 5.25-27, 2011.
- 3) 石原一彦: ナノバイオマテリアル・インテグレーションと未来医学. ナノ学会第9回大会. 札幌, 6.2-4, 2011.
- 4) 柴山崇, Seo Ji-Hun, 石原一彦, 高井まどか: ブロックコポリマーの自己組織化相分離構造による細胞接着性の制御. 第23回化学とマイクロ・ナノシステム研究会. 千葉, 6.10-11, 2011.
- 5) 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.
- 6) 京本政之: 関節軟骨に学んだ長寿命型人工関節の開発と実用. 第48回三次元臓器造形研究会. 東京, 9.11, 2011
- 7) 石原一彦, 山岡哲二: 未来を拓くナノ医療とは?—新しい医療原則の確立と価値の創出. 第60回高分子討論会. 岡山, 9.28-30, 2011.
- 8) 井上祐貴, 井上和臣, 石原一彦: タンパク質吸着を支配するポリマーブラシ表面近傍の水和状態. 第60回高分子討論会. 岡山, 9.28-30, 2011.
- 9) 坂田翔, 井上祐貴, 石原一彦: 生体親和性ポリマーブラシ表面でのタンパク質との相互作用力のナノ解析. 第60回高分子討論会. 岡山, 9.28-30, 2011.
- 10) 石原一彦: 日本発の高性能ポリマーバイオマテリアル MPC ポリマーの創発と応用. 医療機器フォーラム. 東京, 10.3, 2011.
- 11) 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.
- 12) 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 —繰り返し衝撃—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.
- 13) 石原一彦: 低侵襲医療に役立つ生体親和型ポリマーバイオマテリアル. 東海ライブ研究会. 豊橋, 10.20-22, 2011.
- 14) 雑賀健一, 京本政之, 茂呂徹, 石原一彦: 繰り返し衝撃-摩耗環境におけるポリエチレン厚さが背面摩耗に及ぼす影響. 第 38 回日本臨床バイオメカニクス学会. 神戸, 11.18-19, 2011.
- 15) 茂呂徹, 高取吉雄, 石原一彦, 京本政之, 雑賀健一, 川口浩: MPC ポリマーナノグラフトを基盤にした新しい人工膝関節の開発. 第 33 回日本バイオマテリアル学会大会. 京都, 11.21-22, 2011.
- 16) 京本政之, 茂呂徹, 雑賀健一, 立石崇晴, 高取吉雄, 石原一彦: 対向する摺動面を保護する生体軟骨模倣 CFR-PEEK 表面の創製. 第 33 回日本バイオマテリアル学会大会. 京都, 11.21-22, 2011.
- 17) 石原一彦: MPC ポリマーの基礎と応用. 第 33 回日本バイオマテリアル学会大会. 京都, 11.21-22, 2011.
- 18) 井上和臣, 井上祐貴, 石原一彦: タンパク質吸着に与えるポリマーブラシ表面の水和状態の影響. 第 33 回日本バイオマテリアル学会大会. 京都, 11.21-22, 2011.
- 19) 雑賀健一, 京本政之, 茂呂徹, 伊藤英也, 角田俊治, 田中健之, 大嶋浩文, 川口浩, 石原一彦, 高取吉雄: ポリエチレン厚さが MPC 処理ポリエチレンの耐久性に及ぼす影響 —多方向摺動試験による検討—. 第 42 回人工関節学会. 沖縄, 2.24-25, 2012.
- 20) 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
- 21) 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
- 22) 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
- 23) 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
- 24) 野田岩男, 安藤嘉基, 宮本比呂志, 塚本正紹, 秋山隆行, 米倉豊, 河野俊介, 園畑素樹, 馬渡正明: 銀系抗菌生体材料の開発 (第 6 報). 第

- 35 回日本骨・関節感染症学会. 鹿児島, 2012.4.27-28.
- 25) 塚本正紹, 宮本比呂志, 安藤嘉基, 野田岩男, 秋山隆行, 米倉豊, 園畑素樹, 馬渡正明: 銀系抗菌生体材料の開発—牛血清流動環境下における銀 HA 溶射被膜のバイオフィルム形成阻害作用の持続性の評価—. 第 35 回日本骨・関節感染症学会. 鹿児島, 2012.4.27-28.
- 26) 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
- 27) 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
- 28) 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
- 29) 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
- 30) 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
- 31) 安琪, 石川雄己, 山下淳, 岡 敬之, 淺間一: "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
- 32) 石川雄己, 安琪, 田村雄介, 山下淳, 岡 敬之, 淺間一: "個別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
- 33) 井上祐貴, 井上和臣, 石原一彦: タンパク質との相互作用を回避するマテリアル表面近傍の水のネットワーク構造. 第 61 回高分子学会年次大会. 横浜, 2012.5.29.
- 34) 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
- 35) 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
- 36) 石原一彦: 生体親和型ポリマーによる医療デバイスの表面修飾. プラスチック成形加工学会. 東京, 2012.6.13.
- 37) 京本政之, 石原一彦: 水和潤滑ポリマー表面の創製と人工関節への応用. 第 41 回医用高分子シンポジウム. 東京, 2012. 6. 25-26.
- 38) 井上祐貴, 井上和臣, 石原一彦: ポリマーブラシ表面近傍の水和状態

- によるタンパク質吸着挙動の規定.  
第 41 回医用高分子シンポジウム.  
東京, 2012.6.25-26.
- 39) 村木重之、岡敬之、田中榮、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
- 40) 吉村典子、村木重之、岡敬之、田  
中榮、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
- 41) 村木重之、阿久根徹、岡敬之、田  
中榮、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
- 42) 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.
- 43) 石原一彦: 金属/ポリマー界面にお  
ける高度潤滑機能と長寿命型人工  
股関節の創出. 日本バイオマテリ  
アル学会東北地域講演会, 仙台,  
2012. 9. 3.
- 44) 石川雄己、安琪、山下淳、岡敬之、  
浅間一: "三次元筋骨格靭帯大腿膝  
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.
- 45) 枝川亜希子、木村明生、田中榮次、  
足立伸一、宮本比呂志: レジオネ  
ラ属菌を検出するためのアメーバ  
共培養法に関する検討. 日本防菌  
防黴学会. 東京, 2012. 9. 11-12.
- 46) 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.
- 47) 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.
- 48) 井上祐貴, 石原一彦: タンパク質  
との直接的な相互作用を抑制する  
ポリマーブラシ表面の動的特性.  
第 61 回高分子討論会. 名古屋,  
2012.9.19-21.
- 49) 坂田翔, 井上祐貴, 石原一彦: ポリ  
マーブラシ表面へのタンパク質吸  
着過程を支配する相互作用力の解  
析. 第 61 回高分子討論会. 名古屋,  
2012.9.19-21.
- 50) 吉村典子、村木重之、岡敬之、田  
中榮、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
- 51) 村木重之、阿久根徹、岡敬之、田  
中榮、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
- 52) 高取吉雄, 茂呂徹, 京本政之, 石原