

令和 2 年 6 月 6 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06125

研究課題名(和文) 接触圧力低減を目的とした人工膝関節脛骨インサートの電子線照射による強靱化

研究課題名(英文) Toughening of artificial knee joint tibial insert for reducing contact pressure by electron beam irradiation

研究代表者

菊川 久夫 (KIKUGAWA, Hisao)

東海大学・工学部・教授

研究者番号：50246162

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)： 接触圧力低減を目的とした人工膝関節脛骨インサートの電子線照射による強靱化について検討した。ガンマ線照射したUHMWPE試験片の引張試験ならびに硬さ試験を行い、照射による力学的特性の強靱化に対する明確な変化を見出すことができた。電子線の照射については、ガンマ線の照射線量と同様な条件で予備実験が完了している。試験後の材料分析については、電子スピン共鳴装置により実施しており、ラジカル種の分析とその評価ができる仕組みを構築できた。以上の結果を反映させた関節接触問題解析モデルにより、関節内の環境にできるだけ近い条件で、UHMWPEに加わる応力を評価できると考えている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究成果の学術的意義や社会的意義は、この接着技術を人工関節用高分子材料表面の改質に応用しようとするところにある。すなわち本研究は、接触部分の耐久性向上が困難な現行の人工関節材料において、関節表面に優れた低ヤング率、低摩耗、高強度高分子材料の生成、あるいは高性能異種高分子の接着を電子線処理により実現させ、接触面圧力の低減を図ろうとする独創的なものと考えている。

研究成果の概要(英文)： The toughness of the artificial knee joint tibial insert for reducing contact pressure was investigated by electron beam irradiation. Tensile and hardness tests of gamma-irradiated UHMWPE specimens were carried out and a clear change in mechanical properties due to irradiation to toughness was found. For electron beam irradiation, preliminary experiments have been completed under the same conditions as the gamma ray irradiation dose. The material analysis after the test is carried out by an electron spin resonance apparatus, and a mechanism for analyzing and evaluating radical species was constructed. We believe that the stress applied to UHMWPE can be evaluated under the condition as close as possible to the environment inside the joint by the joint contact problem analysis model that reflects the above results.

研究分野：材料力学

キーワード：強度評価 人工膝関節 超高分子量ポリエチレン 放射線照射 強靱化

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

UHMWPE は人工関節のベアリング材料として使用されている。長寿命化を図るために架橋された UHMWPE は、人工股関節のカップや人工膝関節の脛骨インサートとして現行人工関節の標準材料となっている。UHMWPE を架橋する標準的な方法として、ガンマ線や電子線の照射がある。特に医療用として用いる場合、ガンマ線・電子線照射や酸化エチレンガスによる滅菌処理が一般に行われるが、ガンマ線や電子線照射により UHMWPE の分子構造が変化し、結果として機械的特性も変化することがよく知られている。

人工関節用の UHMWPE の材料改質においては、放射線照射による耐摩耗性高度架橋材の開発をはじめ、ビタミン E などの抗酸化剤の添加によるデラミネーション破壊の抑制などがある。しかし、電子線照射は、UHMWPE の表面改質あるいは異種高分子の接着による接触圧力の低減、摩耗特性の向上にも期待できる技術である。照射が医療用 UHMWPE の圧縮特性や塑性流動圧力に与える影響については、従来技術との併用も可能であるため、製造の低コスト化や簡素化の実現など、さらなる期待が望まれる。

そこで本研究では、電子線照射技術が、医療用 UHMWPE の圧縮特性ならびに塑性流動圧力などの機械的特性に与える影響ならびに接触圧力低減の可能性について調査・検討することとした。

2. 研究の目的

人工膝関節の脛骨コンポーネントなどには、耐摩耗性に優れた超高分子量ポリエチレン(以後 UHMWPE と略す)が使用されている。その強化方法の一つとして放射線による架橋促進が挙げられる。従来までに、UHMWPE の照射による機械的特性の変化と、分子構造の変化(発生ラジカル種、架橋促進、酸化度など)との対応関係を経時的に調査した研究は見当たらず、人工関節に用いられる UHMWPE の寿命予測を難しくしている。

本研究では、接触部分の耐久性向上が困難な現行人工関節材料において、電子線照射技術によって、関節表面に優れた低ヤング率、低摩耗、高強度の高分子材料の生成や接触面圧力の低減の可能性について、照射による医療用 UHMWPE の塑性流動圧力向上と分子構造の経時的変化の観点から考察・検討することを目的としている。

3. 研究の方法

本研究計画を達成するために、電子線照射による医療用 UHMWPE の引張特性(ヤング率・耐力)、押し込み特性(塑性流動圧力・ピッカーズ硬さ)ならびに分子構造(ESR・固体 NMR・FT-IR)について評価し、これらの経時的な対応関係について考察・検討する。その結果をもとに、人工関節表面の接触圧力低減に寄与する最適な材料表面改質条件、すなわち電子線照射条件を見出す。具体的には、UHMWPE 試験片の製作、これらの試験片を用いた UHMWPE の機械的特性評価ならびに力学試験後の UHMWPE の分子構造評価である。

4. 研究成果

(1) 最終年度である 2019 年度までに、進捗状況の遅れに対する対応として、2017 年度に購入した構造解析用のソフトにより、前倒しで準備したシミュレーションをさらに発展させた。すなわち、関節接触問題を考慮した解析モデル構築のために、MRI により取得した医療画像を用いた。これらにより、関節内の環境にできるだけ近い状況で UHMWPE に加わる応力を評価できると考えている。本解析には至っていないが、今後、解析条件の確立、調整を続けていく予定である。

(2) UHMWPE の力学試験については継続的に実施してきたが、国内において医療用の UHMWPE が入手困難であった。よって、予定通り代替材として工業用の UHMWPE を用いて実験を行った。医療用と工業用において、力学的特性について若干の相違を確認したが、未照射の試験片については、ほぼ変化がないということを確認したため本実験に着手した。試験片の製作については、機械加工による材料劣化を最小限に抑え、安定的に試験片を供給できる体制を構築できた。

(3) 以上の試験片を用い、ガンマ線照射による UHMWPE の引張試験ならびに硬さ試験を行い、照射による力学的特性の強靱化に対する明確な変化を見出すことができた。図 1 はガンマ線照射(100 kGy)が引張特性に与える影響の一例を示したものである。未照射の試験片は破断までに大きな塑性変形を示しているのに対し、ガンマ線を照射した試験片では、未照射の半分程度しか変形しなかった。これに対し、ガンマ線を照射した試験片で引張強度は 13%程度増加していた。すなわち、照射によ

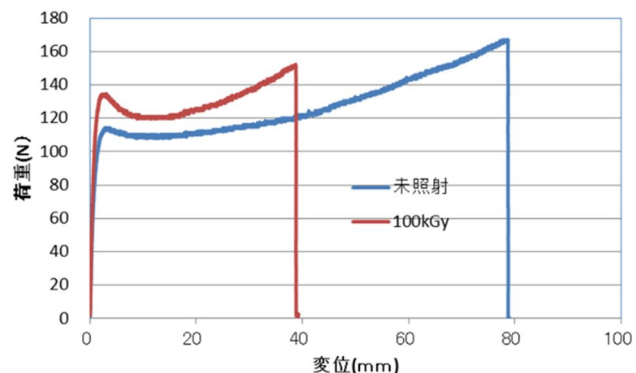


図 1 照射による UHMWPE の引張特性

て強靱化したことがわかる。

(4) 電子線の照射については、ほぼガンマ線の照射線量と同様な条件で行えるように調整できるようになり、予備実験が完了した。試験後の材料分析については、電子スピン共鳴装置により実施しており、ラジカル種の分析とその評価ができる工程を構築できた。以上より、総合的に接触圧力低減を目的とした、電子線照射による UHMWPE の強靱化について評価できる条件が整ったと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----