

## C-2

## 面間圧力を変化させた時の相対密度の異なる GAP-M のトライボロジー特性 Tribological Characteristics of relative density of different GAP-M When Contact Pressures Are Varied

○大石隆太<sup>1</sup>, 高橋博正<sup>2</sup>\*Ryuta Oishi<sup>1</sup>, Hiromasa Takahashi<sup>2</sup>

Abstract : In this study, as artificial joint material, we combined relative density of different three types of hydroxyapatite(GAP-M) with high density polyethylene(HDPE). Then we made a comparative study of tribological characteristics by varying contact pressure by the use of a lubricant. The result is that wear rate of high density polyethylene decreased as contact pressure increased. But coefficient of friction did not make much difference of contact pressure, a lubricant and relative density of hydroxyapatite.

### 1. はじめに

現在の高齢化社会において、関節の痛みにより歩行が困難になる高齢者が増加するであろうと予想されている。そのため日本では、年間約 10 万例の人工関節置換術が行われており、日常生活で支障をきたすような患者にとって有用となっている。しかし、人工関節の長年の使用により、関節部の摩擦が発生し、ゆるみが生じることで再置換の問題が起こる。よって、人工関節の低摩擦化・低摩耗化が必要であり、人工関節の長寿命化のために耐摩耗性に優れた新材料の開発が求められている。

そこで本研究では、人工関節用材料として、カルシウムを主成分としている生体適合性の高いヒドロキシアパタイト（以下 GAP-M）の相対密度を変化させた各試料を相手材とし、耐摩耗性に優れている高密度ポリエチレン（以下 HDPE）と組み合わせ、面間圧力を変化させた時のトライボロジー特性の比較検討を行った。

### 2. 試料および実験方法

実験試料は、HDPE を用い、粉末より押出機にて成形し、これを外径 25 [mm]、内径 19[mm]、高さ約 35[mm]の円筒状に加工し、試料の摩擦面は 1200 番のエメリーペーパーで最終仕上げをした。相手材として GAP-M を用い、放電プラズマ焼結機にて表 1 に示すように、焼結荷重と焼結温度を変化させ、3 種類の GAP-M を焼結作成した。また、各相手材の摩擦面は最終的に 1200 番のエメリーペーパーで仕上げた後、エタノールで洗浄した。

摩擦摩耗実験は、図 1 に示すようなスラストワッシャ型摩擦摩耗試験機を用い、端面を相手材で摩擦する方法にて行った。試料は、主軸に取り付けた試料ホルダにより固定され、相手材は、スライダホルダに取り付け固定し、テーブル上のスラストとトルクを検出する動力計に固定した。主軸は、揺動角 90° のクランク機構を用いて揺動運動を可

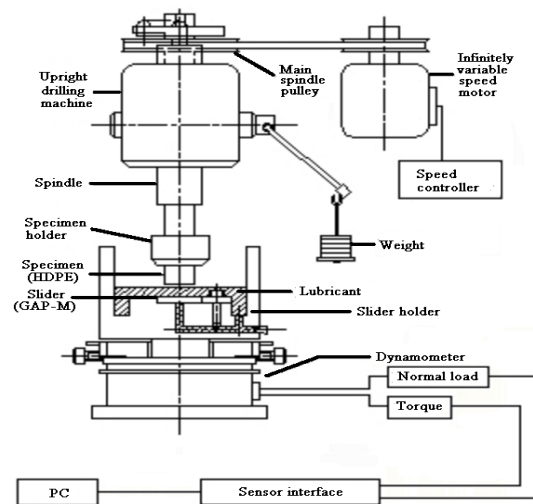


Figure 1. Experimental equipment

Table 1. Sintering conditions of GAP-M

Material	GAP-M		
Sintering pressure [MPa]	39.0	29.4	20.0
Sintering temperature [°C]	800	900	1000
Density [g/cm <sup>3</sup> ]	2.61	3.03	3.05
Relative density [%]	82.57	95.83	96.38

Table 2. Experimental conditions

Contact pressure [MPa]	2.0, 4.0, 6.0
Sliding velocity [m/s]	0.12
Sliding distance [m]	1000
Temperature of laboratory [°C]	23±1
Humidity of laboratory [%]	50±2
Temperature of Lubricating liquid	Uncontrolled
Movement method	Swinging (Swing angle 90°)

能にさせた。実験は、表 2 に示すような条件で行った。摩擦係数は、動力計よりトルクを測定し求めた。摩擦量は、実験前後の試料の重量差を精密直示天秤で測定し求めた。また、潤滑液には精製水と人間の体液に近い生理食塩液の 2 種類を用いた。

### 3. 実験結果および考察

図 2 に HDPE の比摩擦量と面間圧力の関係を示す。これより面間圧力を増加させると比摩擦量は減少傾向にあることがわかる。この要因は、GAP-M との真実接触面積とスクイーズ膜効果によるものと推測される。

接触面には必ず微小な凹凸が存在しており、この凹凸が実際に接触している総和を真実接触面積と言うが、面間圧力の増加により、接触面の凹凸にできた空孔に潤滑液が保持されることで、荷重を支えるスクイーズ膜効果が発生し、接触面の直接的な接触を抑えることで比摩擦量が減少したと考えられる。

さらに、4MPa の時には、相対密度が小さい GAP-M ほど比摩擦量が少ないことが確認できる。これは、密度が小さいほど空孔が多く存在し、その空孔内に潤滑液が保持されたことによるスクイーズ膜効果の発生、さらには真実接触面積の減少によるものと考えられる。

図 3 に GAP-M の摩擦係数と面間圧力の関係を示す。これより、面間圧力に関わらず、どの GAP-M も大きな摩擦係数の差は見られなかった。これは、潤滑液を介することで、それぞれの相対密度、面間圧力でもスクイーズ膜効果を始めとした流体潤滑により、接触面に流体膜が張っている潤滑状態となったことで、摩擦係数の大きな変化は見られなかったと考えられる。

また本研究では、潤滑液として精製水と生理食塩液を使用しているが、潤滑液の違いによる摩擦係数の大きな変化も見られなかったが、平均的に生理食塩液の方が若干低いことが確認できる。これは GAP-M の主成分が、生体親和性の高いカルシウムであるため、より人の体液の成分に近い生理食塩液との相性が良かったものと考えられる。

図 4 に相対密度 96.38% 時の GAP-M の実験前と、面間圧力 4MPa における実験後の摩擦面顕微鏡写真を示す。これより、実験後の顕微鏡写真において、実験前に見られた傷が消え、白みを帯びているが、これは HDPE の移着である。GAP-M との摩擦により、瞬間的に温度が上がることで HDPE が溶融し、移着したと推測できる。さらに潤滑液を介しているため、HDPE が急激に冷やされ、膜を張ることで接触を抑え、空孔のスクイーズ膜効果との相乗効果により、比摩擦量が減少したと考えられる。

### 4. まとめ

以上の実験結果より、次のようにまとめられる。

1. HDPE の比摩擦量の変化には、真実接触面積とスクイーズ膜効果が大きく関係し、面間圧力の増加に対して減少する傾向にある。
2. 潤滑液、面間圧力、GAP-M の相対密度による摩擦係数の大きな差は見られない。

### 5. 参考文献

- [1] 村上輝夫：「関節軟骨組織構造・軟骨細胞と関節のトライボロジー特性」, 生体医工学：日本エム・イー学会誌, pp.537-544, 2006
- [2] 関本良幸, 瀬戸治彦, 佐藤健介, 高橋博正：「ヒドロキシapatite との相対密度の違いによるトライボロジー特性と耐荷重性」, 平成 22 年度理工学部精密機械工学科卒業研究報告書, 2010

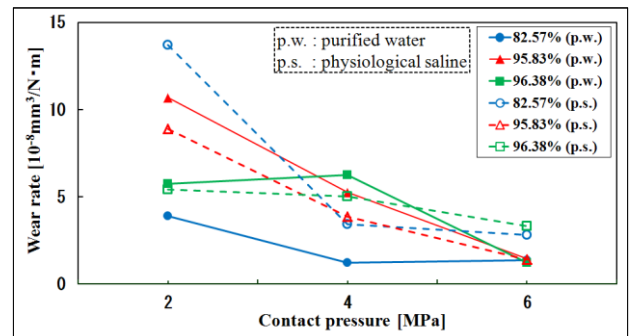


Figure 2. The relationship between wear rate and contact pressure of HDPE

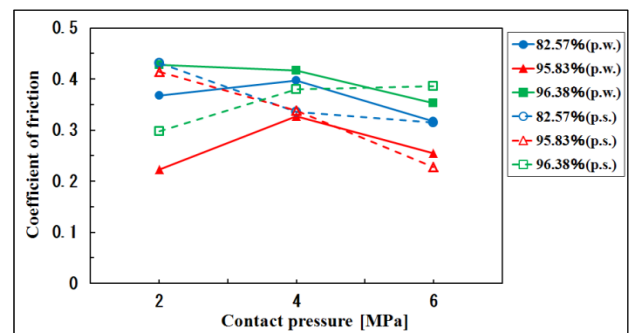
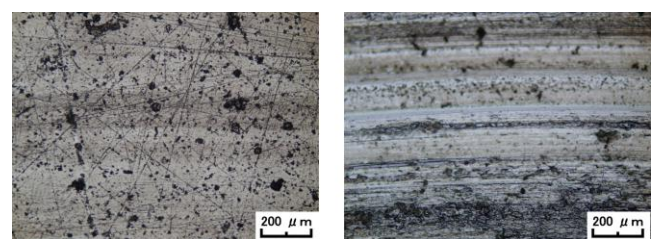


Figure 3. The relationship between coefficient of friction and contact pressure of GAP-M



(a) Before (b) After (4MPa)

Figure 4. Frictional surface of GAP-M (96.38%)