

# 超高分子量ポリエチレンの摺動部材・摺動改質剤として特性および用途展開

## Characteristics and application developments of ultra-high molecular weight polyethylene as sliding material

三井化学（正）\*柳本 泰 三井化学（非）三川 展久 三井化学（非）河相 龍宜

Yasushi Yanagimoto\*, Nobuhisa Mikawa, Ryuki Kawai

\*Mitsui Chemicals, Inc.

### 1. はじめに

超高分子量ポリエチレンは摺動性と耐摩耗性に優れており、産業機器の各種摺動部材や整形外科医療における関節材などに用いられている。一方で超高分子量ポリエチレンはその分子量の高さのため、射出成型や溶融押出成型などの一般的な熱可塑性樹脂の加工方法は適用できず、ラム押出成型や圧縮成形したブロックからの切削加工などに限られている。また超高分子量ポリエチレンは高い破壊強度を有するため粉砕加工による微粒化も困難であり、添加剤としての用途も限定的である。本報告では超高分子量ポリエチレンの加工性を改善した高摺動性特殊ポリエチレンと超高分子量ポリエチレン微粒子について、それぞれの特性と応用評価の事例を示し、超高分子量ポリエチレンのトライボマテリアルとしての新たな可能性を提案する。

### 2. 高摺動性特殊ポリエチレン

高密度ポリエチレン(HDPE)、超高分子量ポリエチレン(UHMWPE)、高摺動性特殊ポリエチレン(LUBMER<sup>®</sup>)の砂摩耗試験及びリングオンディスク摩擦摩耗試験の結果を Table 1 に示す。砂摩耗試験では、UHMWPE(A~C)は HDPE(D~E)より高い耐アブレシブ摩耗特性を示し、分子量の高い銘柄ほど摩耗量が少ない。これは分子量が高いほど材料強度が高く摩擦によるミクロな破壊が起こりにくくなっているためと推察する。リングオンディスク摩擦摩耗試験においても摩耗量は UHMWPE の方が HDPE より少ないが、摩擦係数や摩擦による発熱は UHMWPE の方が高い。HDPE のように直線的な分子構造のポリマーでは、摺動面の分子配向により形成される潤滑薄層が滑り性を発現するが<sup>1),2)</sup>、UHMWPE はポリマー鎖が著しく長い配向が生じ難く、摩擦係数が比較的高くなったものとする。

Table 1 Tribological properties of polyethylene materials

Material	Code	Grade <sup>*1</sup>	Average molecular weight <sup>*2</sup>	MFR <sup>*3</sup> (2.16 kg), g/10min	MFR <sup>*3</sup> (10 kg), g/10min	Sand slurry abrasion loss <sup>*4</sup> , mm <sup>3</sup>	Ring on disk abrasion test <sup>*5</sup>		
							Loss, 10 <sup>-3</sup> mm <sup>3</sup> /kg·km	Coefficient of friction	Heat generation, °C
UHMWPE	A	630M	5,900,000	-	-	2	249	0.31	131
	B	340M	3,200,000	-	-	3	308	0.31	126
	C	030S	500,000	-	-	13	530	0.19	90
HDPE	D	2200J	-	5.2	-	57	1660	0.15	86
	E	1700J	-	16	-	96	4110	0.16	79
Special PE	F	L3000	-	-	15	85	82	0.15	93
	G	L4000	-	-	6	72	86	0.16	97

<sup>\*1</sup>UHMWPE: Mitsui Chemicals Inc., HI-ZEX MILLION<sup>®</sup>, HDPE: Prim Polymer Co. Ltd., HI-ZEX<sup>®</sup>, Special PE: Mitsui Chemicals Inc., LUBMER<sup>®</sup>, <sup>\*2</sup>Average molecular weight =  $5.37 \cdot 10^4 \cdot [\eta]^{1.37}$ , <sup>\*3</sup>Melt flow rate: 190°C, <sup>\*4</sup>Sand slurry abrasion test: sand/water = 3.0/2.6 kg, 25°C, 1600rpm, 3h, <sup>\*5</sup>Ring on disk abrasion test: S45C, 23°C, 0.75MPa, 30 m/min, 3km.

このように、通常のポリチレンは分子量に対し耐摩耗性と滑り性が相反するが、分子量分布を調整した高摺動性特殊ポリエチレン(F・G)は、滑り摩擦に対し HDPE と同等の摩擦係数を示しながら、UHMWPE よりも優れた耐摩耗性を発現している。この特性から軸受けやレールなどの滑り摩擦の生じる各種部材に使用できる。

さらに、高摺動性特殊ポリエチレンは他の熱可塑性樹脂とメルトブレンドが可能のため、摺動改質剤としても使用できる。エンジニアリングプラスチックへの相溶性を高めた高摺動性特殊ポリエチレンの変性グレード(H)の評価事例を示す。ポリアミド 6(PA6)に対して高摺動性特殊ポリエチレン(H)10wt%添加した配合材のリングオンディスク摩擦摩

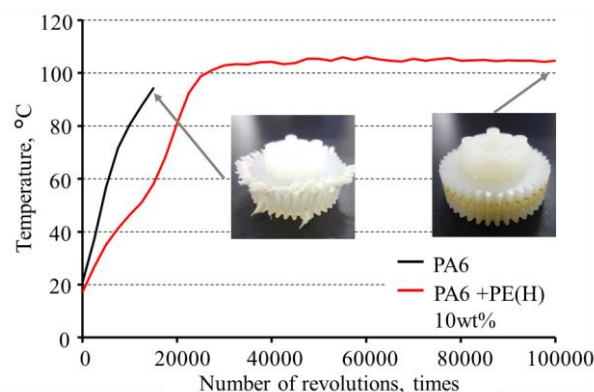


Fig.1 Gear test of PA6 modified with PE(H)

耗試験(上記と同条件)では、摩擦係数が無配合材の 0.62 から 0.20 に低下した。さらに本材料で成形した歯車の耐久性試験を実施した結果を Fig.1 に示す。無配合材では 2 万回転以下で歯面が破壊するのに対して、本配合材は 10 万回転を超えても安定した作動が確認できた。高摺動性特殊ポリエチレンが固体潤滑材として作用し耐久性が向上したと考えている。

### 3. 超高分子量ポリエチレン微粒子

UHMWPE は物理的な方法による微細化が困難であるが、エチレン重合工程のモルフォロジー制御技術により微粒子を製造できる。Fig.2 に走査型電子顕微鏡で観察した UHMWPE 微粒子(MIPELON®)のモルフォロジーを示す。図中 a)、b)の平均粒径(D50)はそれぞれ 30  $\mu\text{m}$ 、12  $\mu\text{m}$  であり、UHMWPE 粒子としては粒径が小さく、粒子サイズの揃ったパウダーとなっている。このように微細な粒子とすることで、フィルム、塗料コーティングなどの薄膜、薄層向けの摺動添加剤として使用できる。

一例として塗料に添加した評価結果を Fig.2 に示す。平均粒径 10  $\mu\text{m}$  程度の各種ポリマー微粒子 10wt%添加した水系ウレタン塗料を、プライマー処理した EPDM 製ゴムシートに塗工し、その塗面を往復摺動試験機(相手材:ガラス平板)により評価した。無添加では塗料特有のタック感のため摩擦係数を計測できなかったが、ポリマー微粒子の添加により摺動性が発現する。PE-Wax 添加品と PTFE 添加品は摩擦係数が高く、往復摺動回数に伴う摩耗の進行が確認されたが、PA12 添加品と UHMWPE 添加品では約 1000 回以降に低い摩擦係数で安定した。特に UHMWPE 添加品は極めて低い摩擦係数を維持し塗膜の摩耗を抑制した。これは微粒子の添加により生じた表面の凹凸で真実接触面積が小さくなったことと、摩擦により露出した UHMWPE 微粒子が優れた摺動性と耐摩耗性を示すことによる効果と推察する。

### 4. おわりに

摺動性特殊ポリエチレンは、レール・ブッシュ・ギア・スイッチなどの部品、チューブやシール材などに使用でき、優れた滑り性と耐摩耗性により耐久性を付与し、さらには省エネ<sup>3)</sup>やノイズ低減、操作性向上などに貢献できる。また超高分子量ポリエチレン微粒子は、塗料コーティングやフィルムのほか、グリースや工業用ロール・薬栓・ワイパーなどのゴム製品に用いることができる。優れた摺動特性を示すこれら超高分子量ポリエチレン材料は、PFAS 規制にともなう PTFE 代替ニーズに応える候補材料として、今後広がっていくと考えている。

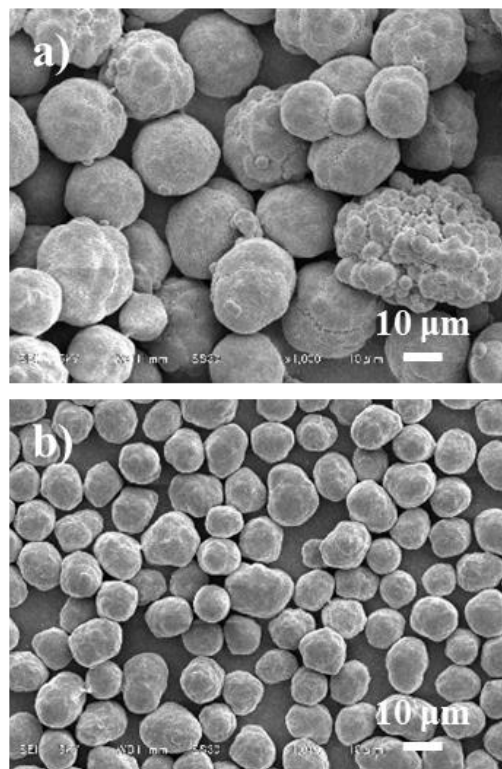


Fig.2 SEM images of UHMWPE particle

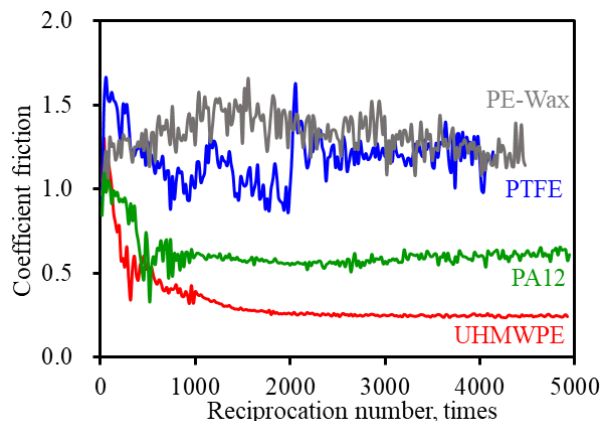


Fig.3 Reciprocating sliding test of urethane coating with various resin particle as sliding modifier

### 文献

- 1) 渡辺真・笠原又一・関口勇・広中清一郎：高分子トライボマテリアル，共立出版(1990) 19.
- 2) 甲本忠史：高分子材料の摩擦・摩耗面の分析と解析，日本ゴム協会誌，80，11 (2007) 24.
- 3) T. Otani, H. Mineshita, K. Miyazawa, Y. Nakazawa, H. Kasuga, R. Kawai & A. Takanishi: Energy Efficiency Improvement of a Robotic Finger with Ultra High Molecular Weight Polyethylene Gear, IEEE Access, 10, (2022) 100033