

ポリエチレン

編集部

ポリエチレン(PE)は最も代表的な熱可塑性樹脂の一つである。調和のとれた機械的物性で、優れた成形性を示し、幅広い分野で使用されている。このPEは液状炭化水素(ナフサ、灯油、重油、原油)

を熱分解して得られたエチレン(C₂H₄)を重合することにより生産され(C₂H₄)_nの化学構造式を持っており、乳白色または半透明のロウ状の軽量のプラスチックである。

PEの主な特徴を表1、また一般的な物性を表2に示す(1)~(4)。

PEは主鎖に対する分岐の程度(重合時の圧力、解媒等の製造条件の異なり)によりさまざまな密度のPEが作られる。低密度PE(LDPE)は、圧力:1,000~2,000気圧、温度:200~300°C下でラジカル重合であり、中密度PE(MDPE)は、圧力:30~70気圧、温度:150~250°Cのイオン重合である。

また、高密度PE(HDPE)は、圧力:数~数十気

表1 ポリエチレン(PE)の主な特徴

高密度ポリエチレン(HDPE)	①化学的にきわめて安定で、多くの薬品に対して耐性があり、常温で溶解させる溶剤はない。	低密度ポリエチレン(LDPE)	④HDPEやLLDPEに比べ、柔軟性がある。
	②剛性、引張強度、耐衝撃性が優れている。		⑤防水性や防湿性が優れる。
低密度ポリエチレン(LDPE)	③極性基をもたないので電気絶縁性がよく、かつ誘電特性が優れる。	直鎖状低密度ポリエチレン(LLDPE)	⑥電気的特性が優れる。
	④吸水性が小さく、透湿度がきわめて低い。		⑦耐薬品性が優れる。
低密度ポリエチレン(LDPE)	⑤熱安定性が良好で、不活性ガス中では約300°Cまでは溶融するのみで安定(熱分解しにくい)である。	低密度ポリエチレン(LLDPE)	⑧安価であり汎用性に富む。
	⑥成形加工性が良好で各種の押出し、射出、中空、真空等のほとんどの成形加工法が適用できる。		①耐酸性、耐アルカリ性が優れる。
低密度ポリエチレン(LDPE)	⑦顔料による着色が容易である。	低密度ポリエチレン(LLDPE)	②異臭がない。
	⑧コスト(安価)、成形加工性、物性のバランスがよい。		③電気絶縁性が優れる。
低密度ポリエチレン(LDPE)	①フィルムを始めとした押出し成形がしやすく、ヒートシール性も優れる。	低密度ポリエチレン(LLDPE)	④ポリオレフィンなど衛生協議会の自主規制基準に適合しており、食品衛生上安全である。
	②HDPEやPPと比べ、分子鎖に長鎖分岐を持つため高温での溶融弾性があり、インフレーション成形や押出しラミネート成形が容易である。		⑤LDPEに比べて (i)機械的強度が優れている。 (ii)軟化温度が高く、耐熱性が優れている。 (iii)熱間シール性が優れている、等がある。
低密度ポリエチレン(LDPE)	③フィルムの耐衝撃強度が優れている。	低密度ポリエチレン(LLDPE)	⑥HDPEに比べて、(i)柔軟であり、強じんである、(ii)射出成形品の外観・光沢・フィルムの透明性が良い、(iii)耐ストレスクラッキング性が良い、等がある。

表2 ポリエチレンの一般的性質

種類	項目	比重	吸水率 24h (%)	引張強さ kgf/cm ² (MPa)	引張伸び (%)	曲げ強さ kgf/cm ² (MPa)	曲げ弾性率 kpg/cm ² (MPa)	アイゾット衝撃 強さ(ノッチつき kgf·cm/cm (J/m)	硬さ ショア	荷重たわみ 温度 (4.6 kgf/cm ²) (°C)
低密度PE		0.910~ 0.925	0.015>	70~160 (7~16)	90~800	—	—	破壊しない	D44~50	40~50
高密度PE		0.941~ 0.965	0.01>	220~320 (22~31)	50~1,000	70~500 (7~49)	8,500~14,500 (830~1,420)	5~20 (49~195)	D66~73	60~83 (43~50) (at 18.6 kg/cm ²)
直鎖状 低密度PE		0.920~ 0.965	0.01>	80~300 (8~29)	100~900	—	—	破壊しない	D55~56	40 (at 18.6 kg/cm ²)
超高分子量PE 平均分子量 200万		0.935	0.01>	降状200 (20) 破断400 (39)	350	—	6,000 (590)	破壊しない	ロックウェル 硬さ Rスケール50	80

圧,温度:常温~90°Cでイオン重合で作られている。MDPEはHDPEとは異なる触媒,重合条件で製造されるが,近年これらは共にHDPEとして取り扱われている(ドイツの「Kショー」のガイドブックでは(PE-MD)と表記区分されていた)。

また中・低圧法でエチレンと高級オレフィンとのコポリマーが作られるが,このPEは密度,分岐構造がLDPEとHDPEとの中間的な直鎖状低密度PEとしてLLDPEと位置づけられている。これらのPEの分岐構造,結晶化度,融点を表3に示す²⁾。またPEの場合,プラスチックとしては少なくとも2~3万以上の分子量を必要とする。分子量が大きくなると,溶融粘度が高くなり射出成形が難しくなる。その一方パイプ,フィルム等の押出成形やブロー成

形では溶融弾性が大きくなることにより成形し易くなるので,これらのためには射出成形より高分子量のグレードのものが用いられている。PEのグレード選定には通常MFR(メルトフローレート)と密度により行われている。このMFRの値が低いほど引張強度,引裂き強度,衝撃強度,耐ストレスクラッキング性等の物性が優れることになる。

その反面,溶融粘度が高く加工時の流動性が悪くなる。MFR値を高くすると樹脂の強度は低下するものの,押出機のモータ負荷の軽減あるいは高速成膜加工性,金型への充填性,成形品の外観の向上等のメリットがある。

なお,透明性に関しては,結晶性が低いほうがよいので,密度の低いものほど透明性は高くなる傾向がある。HDPEに比べて,LLDPEやLDPEのほうが透明性が高い。しかしながら,核剤などを添加すると透明性が良くなることが知られており,一概に密度だけでは,グレード選定は決定づけられない。

このほか,高分子からみたグレードの種類としては,触媒,重合法の選択により分子量を100万以上に高めた超高分子量PE(UHMW-PE)もある。分子量が非常に大きいため溶融粘度が高く,圧縮成形,ラム押出等によって成形されている。

表3 ポリエチレンのグレード(種類)

項目	種類 低密度 ポリエチレン LDPE	直鎖状低密度 ポリエチレン LLDPE	高密度 ポリエチレン HDPE
構造			
密度(g/cm³)	0.910~0.925	0.9918~0.940	0.941~0.970
結晶化度(%)	45~55	50~60	65~85
融点(°C)	98~115	122~124	130~137

1994年9月時点

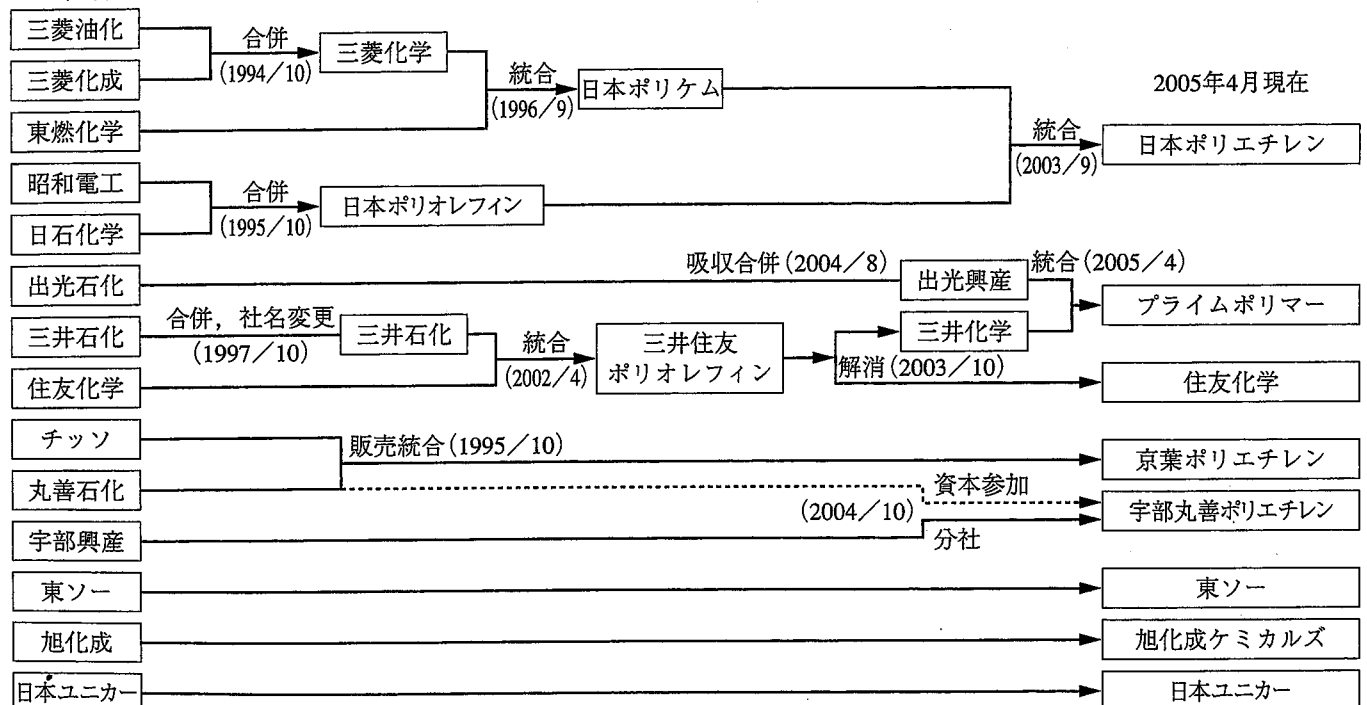


図1 国内PEメーカーの統合・再編動向⁶⁾

る。また、成形機の進化開発により、丸棒・チューブ等の押出成形や射出成形も可能になっている。さらにまた、紡糸方法の検討により高強度、高弾性率のPE繊維も作られるようになってきている。このUHMW-PEの一般的な性質および特徴は、①融点はHDPEと同様で、約136°C、②比重は、0.93~0.94、③耐摩耗性が非常に優れている（一般のPEの数倍から10倍の耐摩耗性）、④摩擦係数が小さく、自己潤滑性が良い等があげられる。

1. 業界動向

PE業界の大きな話題の一つは、2005年4月に三井化学(株)と出光興産(株)石油化学事業部門とが事業統合し、新会社、(株)プライムポリマーが発足したことがあげられる。ここで、これまでのPEにおける総合・再編の状況を振り返ってみると、図1のようになる。国内外での厳しい競争に勝ち残るべく統合・再編は汎用樹脂分野で近年強力に推進されてきた。その結果として、1994年の14社から2005年4月では8社となった。またこのことに関連して、三井化学の榊由之取締役は、「『①高コスト構造の是正、②研究開発力、マーケティング力の強化、③商慣行の改善』の三つがある」ことを指摘している⁹⁾。その他の話題としては、石油価格の高騰がある。その原因としては、①国際石油市場需給における需給タイト化（中国の急激なポリマー需要の拡大化も一つ要因と考えられている）、②アメリカのガソリン需給逼迫、③中東情勢の継続的な不安定化、④石油先物市場における投機的取引の影響等があげられている。この石油高騰の影響により化学関連材料は、原料から製品まで値上げの動きが活発である。PEもその例に漏れず、2004年に引き続き2005年も数次の値上げを実施してきて対応している。

2. 需要動向

2005年上半期のプラスチック原材料の生産数量は702万6,000トンであり、2004年の698万トンに比べ、0.7%の増加に留まった。生産動向に関しては傾向はあまり見られず、樹脂ごとの斑模様になっている。熱可塑性樹脂全体では、629万8,000トンで前年比+0.8%増であるもののPEは160万2,000トン(Δ1.0%)となっている²⁾。

表4 ポリエチレンの用途別出荷内訳 (2004年) (単位: t, %)

樹脂名 用途別	低密度ポリエチレン		高密度ポリエチレン	
	出荷量	構成比	出荷量	構成比
フィルム	855,578	53.3	358,073	35.7
加工紙 (ラミネート)	276,315	17.2	—	—
フラットヤーン	—	—	44,628	4.5
射出成形	81,577	5.1	124,871	12.4
中空成形	45,678	2.8	197,125	19.6
繊維	—	—	35,300	3.5
パイプ	16,614	1.0	81,471	8.1
電線被覆	63,889	4.0	その他に含む	
その他	265,984	16.6	163,061	16.2
合計	1,605,635	100	1,004,529	100

(注) 低密度ポリエチレンの出荷にはLLDPEを含み、EVAを除く。

(出所) 石油化学工業会年次統計

HDPE, LDPE (LLDPEを含む)の2004年における用途別出荷内訳を表4に示す。HDPEでは「フィルム」「中空成形」「射出成形」の三つで67.7%で全体の7割近くを占めている。中空成形では自動車用燃料タンクの需要が好調に推移したのが大きな要因である。LDPEでは「フィルム」「加工紙(ラミネート)」の二つで全体の7割を占めている。ここでも、大口用途フィルム、加工紙が国内で好調だったことに由来しているようだ。

3. 環境問題への取り組み

容器包装リサイクル法によりプラスチックの再商品化が進められている。この容器包装廃物別リサイクルでは、PEはPPと同様の工程でリサイクル化が行われている。すなわち、容器包装に限らず、製造・加工過程中から排出される廃プラスチック等をまず「回収」→「粉碎」→「洗浄」→「比重分離」→「脱水・乾燥」→「ペレット化」の各工程を経て、たとえば①収納容器、②清掃用品、③プラスチックパレット、④プランタ、⑤電線ドラム等へと再商品化される(www.jpm.or.jpより)。

4. 今後の展望

PEは汎用熱可塑性樹脂として、われわれの生活のあらゆるところで活躍している。その一方、欧米をはじめ、東アジア地区等からの価格、技術面での競争の追い上げの最も厳しい樹脂でもある。日本の樹脂メーカーは、現在非常に厳しい状況にあるものの、より高付加価値のある新触媒により差別化商品群が生み出されることが望まれる。

PEの高機能化・高付加価値化の例として、PEと添加剤による難燃化ポリエチレン (FR-PE) の開発がある。たとえば旭電化工業では、用途拡大、需要増大のきっかけとなる従来より低添加量でUL-94 V-0を達成したPE用 (PO用) 難燃剤を上市している⁸⁾。また、PEをハードセグメントとしてゴム成分 (プロピレンゴム) をソフトセグメントする「オレフィン (PO) 系エラストマー」の開発が鋭意進められている。ちなみに、PO (PE, PP) 系エラストマーの国内市場では三井化学、住友化学、三菱化学、エーイーエス・ジャパンの各社が業界をリードしている⁹⁾。この他、ポリマーブレンド複合材料の研究の一環として、「In-situ 繊維強化技術によるポリエチレン系発泡体の耐熱性の向上」等が京都市産業技術研

究所、三和加工で研究論文が発表されている¹⁰⁾。

〈参考文献〉

- 1) 森本孝克, プラスチックの使いこなし術, 工業調査会
- 2) 高野菊雄, これでわかるプラスチック技術, 工業調査会
- 3) プラスチックス, 56(4), 53 (2005)
- 4) プラスチックス, 56(4), 69 (2005)
- 5) プラスチックス, 56(1), 43 (2005)
- 6) 化学経済, 52(5), 11, 2005
- 7) プラスチックス, 56(10), 105 (2005)
- 8) プラスチックス, 56(3), 71 (2005)
- 9) プラスチックス, 56(3), 18 (2005)
- 10) 仙波健, 小原長二, p. 209, 10月号, プラスチックスエージ (2005)