

先端用途で成長する スーパーエンブラ・PEEK (上)

コンポジット・メディカル・3Dプリンタ

熱可塑性ポリマーのなかで最高の性能を有するポリエーテルエーテルケトン (PEEK)は、高い価格水準を維持しながら、用途開発により世界で1万トン/年に届く規模に成長した。宇宙・航空、自動車、メディカル、3Dプリンタなど先端用途で伸びている。

2 0 1 6 年 6 月



株式会社 旭リサーチセンター

シニアリサーチャー 府川 伊三郎、白鳥 直行

まとめ

- ◆スーパーエンブラのポリエーテルエーテルケトン（PEEK）は連続使用温度が260℃で、耐熱性、耐薬品性、耐熱水性、難燃性、力学特性、電気特性に優れた最高の性能を有する熱可塑性樹脂である。価格は約1万円/kgと高価である。 (p. 1～2)
- ◆芳香族ポリエーテルケトン（PAEK）類はベンゼン環をエーテル基とケトン基で結合した構造で、PEEKをはじめPEK、PEKK、PEEKK、PEKEKKなどがあるが、いずれも半結晶性のポリマーでPEEK同様の優れた性能を有している。しかし、PEEKが加工温度、物性、コストの点で総合的に優れるため市場をほぼ独占している。 (p. 3～7)
- ◆業界トップのVictrex（英国）はジフルオロ芳香族化合物とジヒドロキシ芳香族化合物を原料に求核置換反応によりPEEK、PEK、PEKEKKを製造している。Victrexはジフルオロ芳香族化合物を自社生産していることが強みである。 (p. 8～15)
- ◆歴史的には、DuPontがPEKKを、RaychemがPEKを開発した後、ICIがPEEKを開発した。ICI（現Victrex）はPEEKの物質特許を取得し、1982年から1999年まで市場を独占した。特許失効後、Evonik（ドイツ、PEEK）、Solvay（ベルギー、PEEK）、Arkema（フランス、PEKK）が新規参入した。Victrexの増設（2015年完成、全生産能力は年産7,150トン）に続き、新規参入メーカーの新增設が活発である。 (p. 16～19)
- ◆宇宙・航空、自動車、エネルギー/工業、エレクトロニクス、メディカル分野の先端用途が拡大し、2020年まで年率5～10%の成長が期待される。川下分野については、摺動材料、フィルム、パイプ、コンポジット、メディカル・インプラント、3Dプリント用フィラメント用途の開発が盛んである。 (p. 20～26)
- ◆Victrexは先端用途に高価格で販売しているので、収益性が高い（売上高利益率は40～44%）。特にメディカル部門の売上高利益率は約60%と高い。同じ専門メーカーであるKratonのTPS事業に比べ、PEEK事業の収益性の高さが際立っている。 (p. 27～33)

目 次

はじめに	1
1 芳香族ポリエーテルケトン (PAEK) とは	2
1.1 スーパーエンブラとPEEKの位置づけ	2
1.2 PAEKの化学構造	3
1.3 PAEKの性能	5
2 芳香族ポリエーテルケトン (PAEK) の製造法とコスト	8
2.1 PAEKの製造法	8
2.2 モノマーの合成方法	11
2.3 PAEKの使用モノマー	13
2.4 PAEKの原料原単位と原料費	14
3 芳香族ポリエーテルケトン (PAEK) とPESに関する開発の歴史	16
3.1 1960～1980年 黎明期	16
3.2 1980～2000年 PEEK工業化とICI&Viktrexの独占	16
3.3 2000～2010年 後発メーカーの新規参入	17
3.4 2000～2016年 Viktrexの積極的な事業展開	18
4 メーカーの状況——製品、新增設 (計画)、川下加工分野への進出	20
4.1 Viktrex	21
4.2 Evonik	22
4.3 Solvay	23
4.4 Arkema	25
4.5 Celanese	25
4.6 2016年・高性能プラスチック展でのPAEKの展示	26
5 ViktrexのPAEK事業	27
5.1 PAEKの生産能力推移	27
5.2 事業の状況	27
5.3 Viktrex・PEEK事業とKraton・TPS事業の比較	32
おわりに	34
参考・引用文献	35

はじめに

スーパーエンブラのポリエーテルエーテルケトン（以下、PEEKと略す）は連続使用温度が260℃で、耐熱性、耐薬品性、耐熱水性、難燃性、力学特性、電気特性に優れた熱可塑性樹脂としては最高の性能を有する。ただし、非常に高価（約1万円/kg）で需要は限られていた。ところが開発から35年して、このPEEKが先端用途を中心に市場を拡大し、生産能力1万トン/年、販売価格1万円/kgで、近い将来1,000億円規模の市場になることが見えてきた。開発時の高価格が現在も維持されているのは注目に値する。

本レポートはPEEKの特性、合成法、開発の歴史、メーカーの状況を紹介し、次いでPEEKの開発者・リーダーであり事業を成功裡に発展させているViktrex（旧ICI、英国）の詳細について記述した。また、後発メーカーのEvonik（ドイツ、PEEK）、Solvay（ベルギー、PEEK）、Arkema（フランス、PEKK）の状況をまとめた。メーカーが増え、かつ新增設（計画）が盛んであることから、競争は激しくなると予想される。半面、用途開発が活発になり、市場拡大が加速することが期待される。ちなみに、Viktrexは、PEEKの潜在需要は8万トンあると見ている。以上が、本レポートの(上)である。

本レポート(下)では、PEEKの加工品と用途について述べる。特にコンポジット、メディカル、3Dプリンタ用途に焦点を当てる。

【注意書きと略語、用語集】

1. どの章から読んでもわかるようにしたので、内容に一部繰り返しがあつ。
2. 登録商標、商標はすべて「 」で示した。例「Viktrex」PEEK
3. 為替換算は2010～16年平均の1ポンド＝152円、1ポンド＝1.56ドルを使用した。
また1ドル＝100円、1ユーロ＝123円を使用した。
4. 略号

PAEK：芳香族ポリエーテルケトン（Polyaryletherketone）の略号でPEEK、PEKなどの総称である。また、構造を明らかにしたくないときに使用される。

PEEK：ポリエーテルエーテルケトン、PAEK類の代表ポリマーである。

1 芳香族ポリエーテルケトン（PAEK）とは

1.1 スーパーエンブラとPEEKの位置づけ

熱可塑性樹脂には、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレン、ポリ塩化ビニルなどの大量に生産されている安価な汎用樹脂と、それよりも優れた耐熱性と機械的特性をもつエンジニアリングプラスチック（略称：エンブラ）がある。エンブラとしては、ポリカーボネート、変性ポリフェニレンエーテル、ポリアミド、ポリアセタール、ポリブチレンテレフタレート（PBT）、ポリフタルアミドなどがある（表1）。

このエンブラが花開いた1970～1980年代、エンブラの次に来る高付加価値で高成長の樹脂はスーパーエンジニアリングプラスチック¹（略称：スーパーエンブラ）であると喧伝された。スーパーエンブラは連続使用温度が150℃以上と高いことからエンブラと一線を画し、他の性能もエンブラより優れていた。世界的な開発ブームになり、日本でもエンブラメーカーとエンブラを手掛けていない化学メーカーが入り交じって開発競争となった。

しかしながら、欧米メーカーのほうがスーパーエンブラの開発の歴史は古く、先に特許を出願していた。彼らは米国物質特許はもとより、1975年頃に日本を含め世界的に導入された物質特許制度により、多くの国で物質特許を取得した。また、スーパーエンブラは原料モノマーと製造方法がともに特殊でコストが高いという課題があった。この特許とコストの二つの課題をクリアすることは難しく、日本企業で開発に成功した例は少なかった。

数多くのスーパーエンブラの候補のうち事業化されたものは、非晶性のポリスルホン、ポリフェニルスルホン、ポリエーテルスルホン、ポリエーテルイミドおよび結晶性のポリフェニレンサルファイド、液晶ポリエステル、ポリエーテルエーテルケトン（PEEK）である（表1）。しかし、喧伝された割に耐熱性を必要とする用途は少なく、価格が高いこともありスーパーエンブラの需要は伸びず、市場規模はエンブラより一桁ないし二桁小さいものであった（表1）。PEEKはスーパーエンブラのなかで最も性能の優れた樹脂で

¹ 海外では（Ultra）High Performance Thermoplasticsという。

あるが、販売価格は約1万円/kg⁹⁾と一番高価である。汎用樹脂（約200円/kg）の約50倍、エンブラ（約310円/kg）の約30倍、GF強化PPS（約900円/kg）の約10倍である。

表1 熱可塑性樹脂の分類別樹脂名とその特性

分類	樹脂名	略号	構造	T _g (ガラス 転移温度) (°C)	T _m (結晶融点) (°C)	生産量 (千トン)	価格 (円/kg)
汎用樹脂	ポリスチレン	PS	非晶性	94		10,027	235 (HIPS)
	ポリ塩化ビニル	PVC	非晶性	81		40,448	160～170
	低密度ポリエチレン	LDPE	結晶性		104～118	44,334	220 (フィルム用)
	線状低密度ポリエチレン	LLDPE	結晶性		120～127	(上に含む)	*
	高密度ポリエチレン	HDPE	結晶性		127～132	37,952	180 (フィルム用)
	ポリプロピレン	PP	結晶性		167～170	52,815	*
特殊樹脂	ポリメタクリル酸メチル	PMMA	非晶性	100		MMA 3,300	*
	アクリロニトリル-ブタジエン-スチレン共重合体	ABS	非晶性	80～125		7,500	230～270
	ポリエチレンテレフタレート	PET	結晶性		270	*	170～190
(汎用) エンジニアリング プラスチック	ポリカーボネート	PC	非晶性	152		3,100	280～340
	変性ポリフェニレンエーテル	m-PPE	非晶性	211		300	*
	ポリアミド (ナイロン6)	PA6	結晶性		225	2,360	290～330
	ポリアミド (ナイロン66)	PA66	結晶性		265	(上に含む)	380～420
	ポリアセタール	POM	結晶性		178	1,000	240～280
	ポリブチレンテレフタレート	PBT	結晶性		224	758	280～320
	ポリフタルアミド	PPA	結晶性		300～325	*	*
スーパー エンジニアリング プラスチック	ポリスルホン	PSU	非晶性	190		*	*
	ポリフェニルスルホン	PPSU	非晶性	220		*	*
	ポリエーテルスルホン	PES	非晶性	225		*	*
	ポリエーテルイミド	PEI	非晶性	217		*	*
	ポリフェニレンサルファイド	PPS	結晶性		285	84 (PPSコンパウンド*)	800～1000 (GF強化PPS)
	液晶ポリエステル	LCP	結晶性		320～344	*	1,000～2,000
	ポリエーテルエーテルケトン	PEEK	結晶性		343	6	10,000

注：結晶性ポリマーについてはT_mを記し、T_gは省略した。

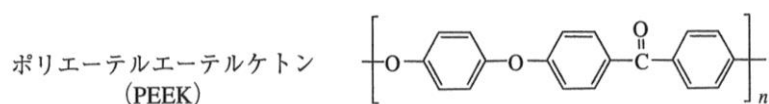
表中の*印は、下記出典に記載されておらず、かつ他の資料からもデータが入手できなかったもの。

出典：①項目の分類からT_mまでは工業有機化学(上)399頁 東京化学同人(2015.10)¹⁾、②生産量は化学経済増刊号 世界化学工業白書(2015)²⁾、③価格は化学工業日報(2016年4月20日)。①～③を基に旭リサーチセンター作成。

1.2 PAEKの化学構造³⁾

PAEKはベンゼン環をエーテル基(結合)とケトン基(結合)で連結した構造の半結晶性ポリマーである²⁾。一例として、PEEKの化学式を下記に示す。

²⁾ PEEKをはじめPAEKは結晶性が30～40%と低いので、半結晶性ポリマーと呼ばれる。



PEEKは英国のICI（現 Victrex）が1978年に開発したもので、結晶融点343℃、ガラス転移温度143℃、連続使用可能温度260℃、機械的特性、化学的安定性、耐熱水性、難燃性、電気特性に優れている。熱可塑性樹脂の中で最高の性能を有するポリマーである。

図1に示すように、PEEK以外にPEK、PEKK、PEEKK、PEKEKKなど数多くの構造のPAEKが開発された。いずれも半結晶性のポリマーであり、高い結晶融点とガラス転移温度をもち、PEEKと同様に優れた特性を有している。

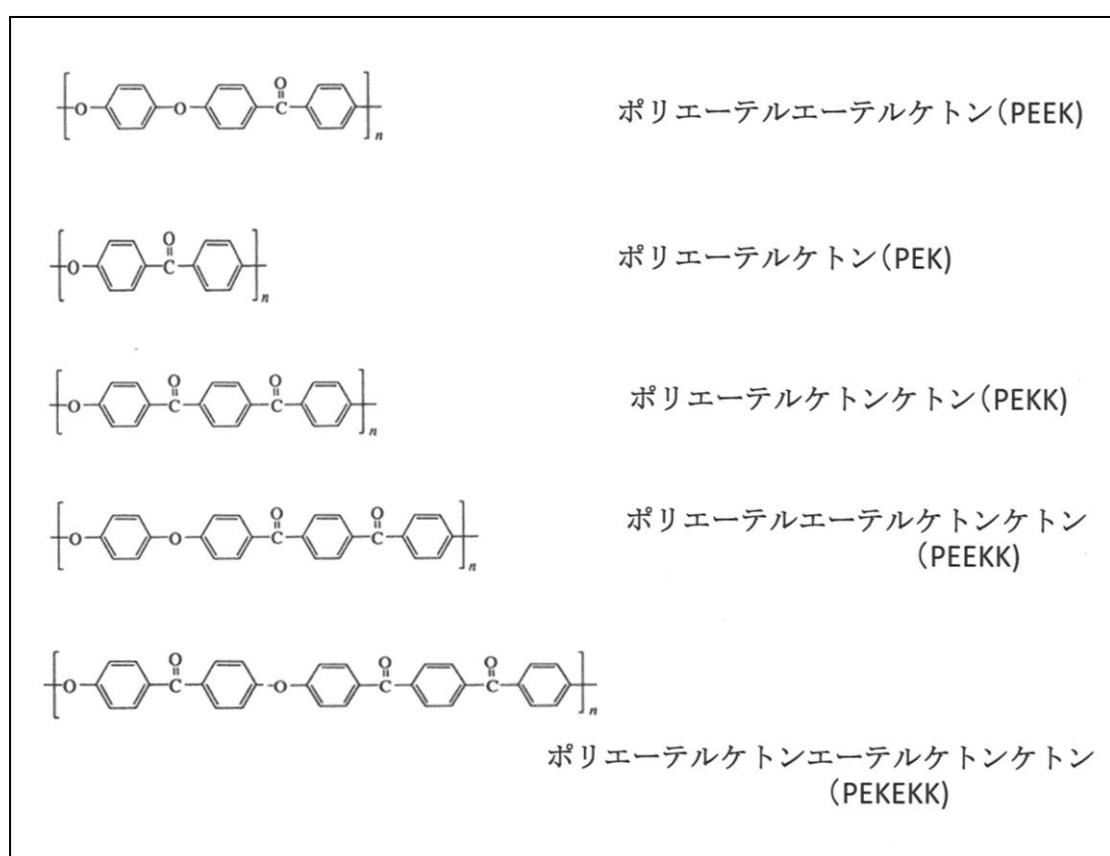


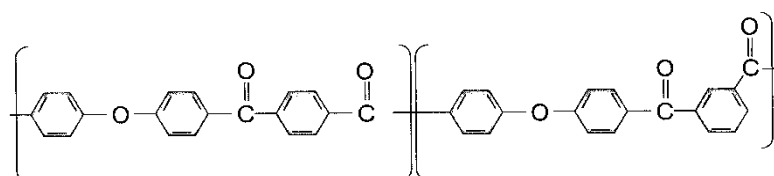
図1 各種芳香族ポリエーテルケトン (PAEK) の化学構造

出典：各種資料³⁾より旭リサーチセンター作成。

注目すべきことは、多くのPAEKの中でPEEKが圧倒的に市場を占有し、他のPAEKの追従を許さなかったことである。即ち、Raychem（米国）がPEK（「Stilan」）を1972～1976年に工業化した中止した。また、BASF（ドイツ）がPEKEKK（「Ultrapek」）を工業化した中止した。PEKとPEKEKKの市場での長い空白の後、Victrexは2006年

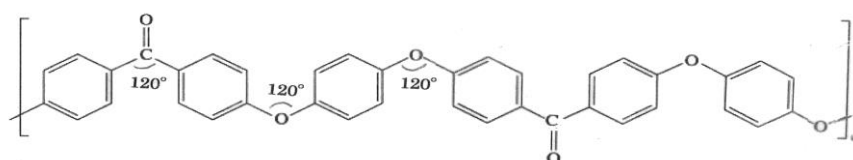
にPEK（「Viktrex HT」）を製品化し、2009年にPEKEKK（「Viktrex ST」）を製品化した。これによって、PEKとPEKEKKを再び市場で入手できるようになった。なお、「 」内は商標を示す。

一方、PEKKについてはテレフタロイル骨格とイソフタロイル骨格を含む共重合体タイプ（下式）のPEKKをArkema（フランス）が現在製造している。以後、このPEKKはPEKK（T/I）と記載し、100％テレフタロイル骨格のPEKKと区別する。



1.3 PAEKの性能

① ベンゼン環とエーテル基（結合）とケトン基（結合）からなるPAEK類はすべて半結晶性ポリマーとなる。理由は下式のPEEKのようにエーテル基とケトン基が同じ角度（約120℃）で折れ曲がった規則的なジグザグ構造をつくるためである。



PEKK（T/I）はイソフタロイル骨格（メタ結合）を含むため規則的なジグザグ構造が崩れるので、結晶化度が低下する。

② ケトン基は極性が強く結晶化状態での分子間の相互作用が強い。一方、エーテル基は回転可能でフレキシブルである。このことからPAEKのケトン基（K）とエーテル基（E）の比率で結晶融点とガラス転移温度は決まる。ケトン基が多いほど結晶融点とガラス転移温度が高くなる（表2）。半面、エーテル基が多いほど樹脂は強靱になる。ケトン基の比率が高いPEKKの融点は400℃以上になり、ポリマーの分解温度に近くなるため溶融成形が難しくなる。

③ PAEKは熱的安定性と化学的安定性（耐熱水性や耐薬品性）に優れる。その理由はベンゼン環、ケトン基、エーテル基がπ共役して、エーテル基の分解が起こりにくいため

といわれる。ただし、エーテル基は隣接するベンゼン環パラ位のケトン基により電子吸引されて活性化され、熱水や化学薬品によりエーテル結合が開裂しやすい方向になる。このためエーテル結合1個当たりのケトン基が多いほど化学的に不安定になる。逆にケトン基が少ないほど化学的に安定になる。その意味で、PEEKはケトン基が少ないので、表2に示すPAEKのうち最も安定な構造といえる。

なお、PEEKよりもエーテル基の比率が高いPEEEK（結晶融点324℃、ガラス転移温度129℃）も知られている。加工温度が低くエーテル結合の安定性が向上すると予想されるので、安価に生産できれば市場から興味をもたれる樹脂である。

表2 各種芳香族ポリエーテルケトン（PAEK）の構造と特性

	E/K	結晶融点 (Tm)	ガラス転移温度 (Tg)	加工温度	結晶性 (イメージ)	エーテル結合の安定性 (イメージ)
PEEK	2	343℃	143℃	400～420℃	◎	◎
PEK	1	373℃	152℃		◎	◎～○
PEKK	1	358℃	154℃		◎	◎～○
PEKEKK	0.7	387℃	162℃	410～420℃	◎	○
PEKK (T/I=100/0)	0.5	400℃以上	170℃	375～385℃ 340～360℃ 320～360℃	◎	○～△
PEKK (T/I=80/20)	0.5	360℃	165℃		◎～○	○
PEKK (T/I=70/30)	0.5	332℃	162℃		○	○
PEKK (T/I=60/40)	0.5	303℃	160℃		○～△	◎～○

出典：結晶融点、ガラス転移温度、加工温度はVictrex⁴⁾とArkema⁷⁾のカタログなどによる。
結晶性とエーテル結合の安定性はともにイメージであり、旭リサーチセンターが作成した。

④ PEEKはニートレジンで使用されるばかりでなくガラス繊維（GF）を充填したGF強化PEEKやカーボンファイバー（CF）を充填したCF強化PEEKの形で使用される。低粘度グレードと高粘度グレードのPEEK、GF強化PEEK、CF強化PEEKのそれぞれの特性を表3に示す。

GF強化PEEKやCF強化PEEKの特徴は、ニートレジン（PEEK）より強度とモジュラスがはるかに高くなることと、短期耐熱性の指標である熱変形温度がよりはるかに高くなることである。

表3 PEEK、GF強化PEEK、CF強化PEEKの特性

低粘度品	項目 (測定条件) 単位	密度 (23℃) g / c m ³	熱変形温度 (1.8MPa) ℃	力学特性			引張強度 MPa
				降伏強度 Mpa	降伏伸び %	破断伸び %	
PEEK	「VESTAKEEP」 2000G	1.3	155	100	5	30	3700
PEEK 30%GF	「VESTAKEEP」 2000GF30	1.5	323	165	2		11000
PEEK 30%CF	「VESTAKEEP」 2000CF30	1.38	330	240	2		23000

高粘度品	項目 (測定条件) 単位	密度 (23℃) g / c m ³	熱変形温度 (1.8MPa) ℃	力学特性			引張強度 MPa
				降伏強度 Mpa	降伏伸び %	破断伸び %	
PEEK	「VESTAKEEP」 4000G	1.3	155	95	5	25	3500
PEEK 30%GF	「VESTAKEEP」 4000GF30	1.5	312	160	2		10800
PEEK 30%CF	「VESTAKEEP」 4000CF30	1.4	325	240	2		23000

注：力学特性測定の見張速度はPEEKでは50mm/min、GFとCF強化PEEKでは5mm/minである。

出典：Evonikの「Vestakeep」物性カタログ⁵⁾より抜粋して作成した。「Vestakeep」はEvonikのPEEKの商標である。

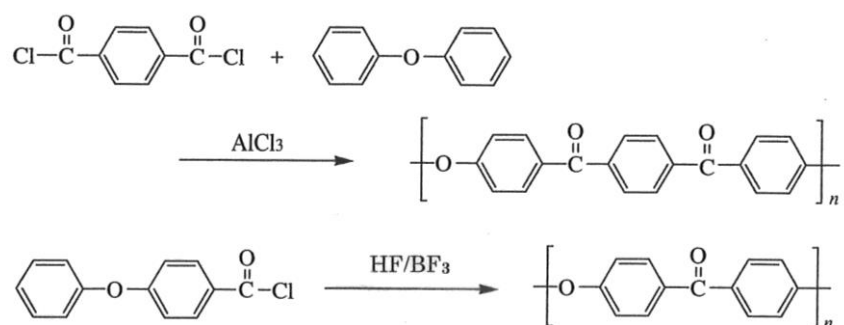
2 芳香族ポリエーテルケトン（PAEK）の製造法とコスト

2.1 PAEKの製造法³⁾

PAEKは求電子置換反応と求核置換反応の両方で行うことができる。

(1) 求電子置換反応（フリーデルクラフツ反応）

多くのポリマーの歴史を遡るとDuPontに行き当たるように、PAEKもDuPontのW. H. Bonnerが開発したPEKKが最初であった（米国特許（USP）3,065,205（1962年登録））。次いでRaychemのK. J. DahlがPEKを開発した（米国特許（USP）3,953,400（1971年出願、1976年登録））。両社は下記の式に示す求電子置換反応（フリーデルクラフツ反応）により、PEKKとPEKをそれぞれ合成した。

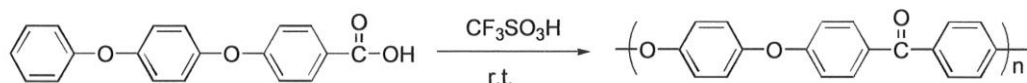


DuPontは塩化アルミニウムを触媒に使用したが、反応のパラ選択性が完全でなく、オルトに反応する副反応や分岐反応があり、構造が不規則になりやすかった。また、重合時に生成ポリマーが結晶性のため溶媒に不溶となり高分子量が得られにくかった。このため、多量の塩化アルミニウムを使い、ポリマーと触媒の錯体形成により溶解度を上げて高分子量を得た。

1971年にRaychemはHF/BF₃を触媒に使用して高分子量のPEKの合成に成功し、工業化した。この場合も生成ポリマーは触媒と錯体をつくり溶解する。PEKはシンプルな構造で耐熱性が高いので、当初はPAEKの本命と目された。

また、1983年にICIは新規な触媒としてトリフルオロメタンスルホン酸を開発し、高分子量の各種PAEKを製造する方法について特許出願した。例えば、下式によりPEEKを合

成する方法を開示している。しかし、高価な超強酸触媒や合成が難しいモノマーを使うことになるので、この方法では工業化していない。



以上のように、求電子置換反応は多量の塩化アルミニウムの使用、有毒で危険な化合物であるHF/BF₃の使用、高価な超強酸であるトリフルオロメタンスルホン酸の使用など安全・環境やコストの観点から工業化には課題があり、以下に述べる求核置換反応が工業的には主流となった。

なお、現在工業化されているArkemaのPEKK (T/I) は、テレフタル酸ジクロライドとイソフタル酸ジクロライドの混合物とジフェニルエーテルを求電子置換反応により共縮合により合成される。PEKK (T/I) は結晶化度が低いので、溶媒（触媒）の溶解性は高く、高分子量体を製造しやすい。Arkemaはどんな触媒を使用しているかは、明らかにしていない。

上述のように、求電子置換反応（フリーデルクラフツ反応）には塩化アルミニウム、HF/BF₃、トリフルオロメタンスルホン酸やそのほか多くの触媒が開発された。しかし、現在工業化されている求電子置換反応プロセスはArkemaのPEKK(T/I)だけである。Arkemaがどんな触媒や溶媒を用いているかは、技術の進歩を知る上で興味のあるところである。

(2) 求核置換反応

求核置換反応を使ってPEEK、PEK、PEEKK、PEKEKKなどをつくることができる。いずれの場合もパラ位にある電子吸引性のケトン基で活性化されたジフルオロ芳香族化合物とジヒドロキシ芳香族化合物との縮合反応である。

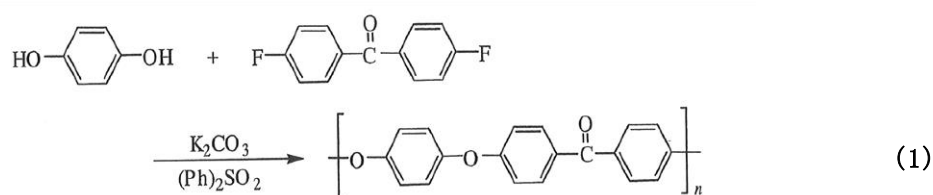
高価なジフルオロ芳香族化合物の代わりに安価なジクロロ芳香族化合物を使用することは当然考えられるが、ジクロロ芳香族化合物はジフルオロ芳香族化合物に比べ反応速度と反応位置選択性の点で劣る。これを克服するために触媒の研究が試みられた。

① PEEK

ICIは1978年に新規構造のPEEKを発明し特許を出願した。そして、世界主要国で物質

特許 (Rose J.B., Staniland P.A. 米国特許 (USP) 4, 320, 224 (1982年登録)) を取得し、ICIと事業を継承したVictrexはPEEKの物質特許が失効する1999年までPEEKを独占した³。物質特許が威力を発揮した典型的な例である。

PEEKは式 (1) の方法により製造される。ハイドロキノンと4, 4'-ジフルオロベンゾフェノン³を、炭酸カリウム (K_2CO_3) の存在下にジフェニルスルホン溶媒中、180～320℃で縮合してPEEKを得る。ジフェニルスルホンは熱的に安定で、高温でPEEKを溶解する力がある。常温で固体のジフェニルスルホンを溶媒に使用するのが発明の一つのポイントである。重合後に、重合溶液を冷却固化した後、粉碎して粉体を得る。粉体をアセトンで洗浄してジフェニルスルホンを除き、水で洗浄して副生物のカリウムフルオライド (KF) を除き、純粋なポリマー粉体を得る。この方法で、VictrexはPEEKを工業的に製造している。



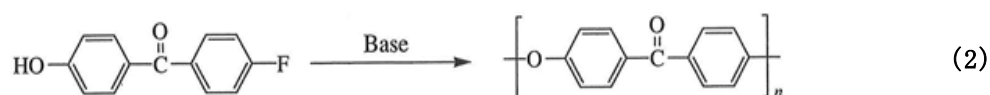
Victrexは高価なモノマーの4, 4'-ジフルオロベンゾフェノンを自社生産 (自製) している。

② PEK

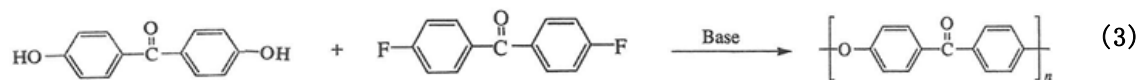
求核置換反応により次ページの式 (2) と式 (3) の方法 (ルート) でPEKを合成することができる。両ルートともモノマーの重合性に差はないので、モノマーの入手しやすさやコストによりルートが選択される。

式 (2) は単一モノマーを使用する方法である。モノマーのモル比を合わせる必要がなくシンプルである。触媒には炭酸カリウム (K_2CO_3) などの塩基 (Base) を使用する。

³ 1995年6月7日以前の米国出願については、「出願日から20年」または「特許付与日から17年」のうちいずれか遅く終了する期間までが存続期間となる。(米国特許法第154条 (c))

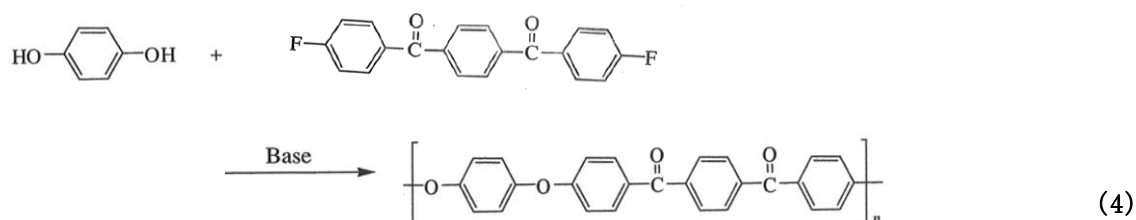


式（3）の方法は2種類のモノマーを使用する方法である。



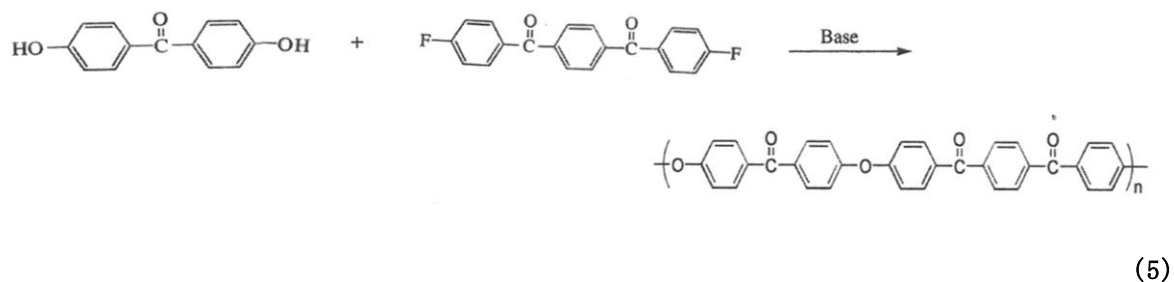
③ PEEKK

式（4）の方法で合成される。まだ、工業化されていない。



④ PEKEKK

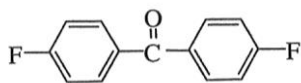
式（5）の方法で合成される。Vitrexはこの方法で「Vitrex ST」（PEKEKK）を製造している。



2.2 モノマーの合成方法

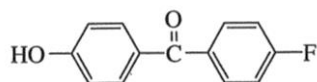
PAEKのコストのかなりの部分をモノマーのコストが占める。市販されていないモノマーが多く、特にフッ素含有芳香族化合物のコストが高い。そのためモノマーをいかに安価に入手できるかが非常に重要である。以下、工業的に使用されているモノマーを中心に合成法をまとめた。

① 4,4'-ジフルオロベンゾフェノン (A)⁴：分子量 218



まず、4,4'-ジアミノジフェニルメタン⁵をジアゾ化した後、フッ化水素で分解して、4,4'-ジフルオロジフェニルメタンをつくる。次に、触媒を用いて4,4'-ジフルオロジフェニルメタンを酸化して4,4'-ジフルオロベンゾフェノン (A) を得る⁶。Victrexはこの2段階の合成法でモノマーを自製している (3.4(18頁)参照)。モノマーを自製していることは大きな強みである。

② 4-フルオロ,4'-ヒドロキシベンゾフェノン (B)：分子量 216

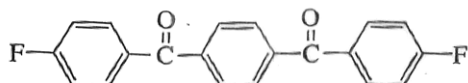


フルオロベンゼンと4-アセトキシ安息香酸クロライドを反応させると4-フルオロ,4'-アセトキシベンゾフェノンが得られるので、これを脱アセチル化して4-フルオロ,4'-ヒドロキシベンゾフェノン (B) を得る。

素原料の4-ヒドロキシ安息香酸は、スーパーエンブラの液晶ポリマー (LCP) の原料である。比較的高価な化合物で、上野製薬が世界のトップメーカーである。

もう一つの素原料のフルオロベンゼンはアニリンのジアゾ化とフッ化水素の分解により合成できる。4,4'-ジフルオロベンゾフェノン (A) の合成と類似した方法である。

③ 1,4-ビス (4-フルオロベンゾイル) ベンゼン (C)：分子量 322



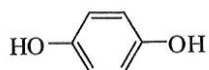
⁴ 東京化成 (試薬レベル) 500g 1万6,800円

⁵ 素原料の4,4'-ジアミノジフェニルメタンはアニリンとホルムアルデヒドを縮合させて製造できる。MDI (4,4'-ジフェニルメタンジイソシアネート) の原料で、工業的に大量に生産されているので安価に入手できる。

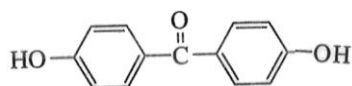
⁶ 本合成法はICI欧州特許：EP 0004710 (1979年10月17日出願)に記載されている。

2モルのフルオロベンゼンと1モルのテレフタル酸ジクロライドを塩化アルミニウム触媒の存在下で反応させると、1,4-ビス(4-フルオロベンゾイル)ベンゼン(C)が得られる。1段反応であることとテレフタル酸ジクロライドが市販品であることから、(C)は4,4'-ジフルオロベンゾフェノン(A)より安価に製造できる。

④ ハイドロキノン(D)：分子量 110、市販品がある。



⑤ 4,4'-ジヒドロキシベンゾフェノン(E)⁷：分子量 214



二つの合成法が知られている。

(a) フェノールと4-アセトキシ安息香酸クロライドを反応させると、4-アセトキシ4'-ヒドロキシベンゾフェノンが得られる。これを脱アセチル化すると4,4'-ジヒドロキシベンゾフェノン(E)が得られる。

(b) 4-ヒドロキシ安息香酸フェニルエステル(4-hydroxyphenylbenzoate)を異性化すると(E)が得られる。

⑥ テレフタル酸ジクロライド(F)、イソフタル酸ジクロライド(G)：分子量 203、市販品がある。

⑦ ジフェニルエーテル(H)：分子量 170、市販品がある。

2.3 PAEKの使用モノマー

求核置換反応を用いて、表4の4つのモノマーを組み合わせ、PEEK、PEK、PEKK、PEKEKの4つのPAEKをつくることができる。Victrexはこの方法でPEEK、PEK、PEKEKを工業的に製造しているものと推定される。

⁷ 東京化成(試薬レベル) 500gが3万円

表4 モノマーの組み合わせによる各種PAEKの合成

	4, 4'-ジフルオロベンゾフェノン (A)	1, 4-ビス (4-フルオロベンゾイル) ベンゼン (C)
ハイドロキノン (D)	PEEK	PEEKK
4, 4'-ジヒドロキシベンゾフェノン (E)	PEK	PEKEKK

出典：各種資料より旭リサーチセンター作成。

2.4 PAEKの原料原単位と原料費

各PAEKの繰り返しユニットの分子量、各製法での原料モノマーの理論原単位、フルオロフェニル基の理論原単位を表5に示す。

各PAEKの原料費は、モノマーの理論原単位と単価から求めることができる。例えば PEEKの場合、原料費＝0.76×（Aの単価）＋0.38×（Dの単価）の数式で計算できる。

フルオロフェニル基の理論原単位は、モノマー全体中のフルオロフェニル基部分の重量比率を示す。求核置換反応においてエーテル結合を生成するためにはフルオロフェニル基が必要となるので、エーテル結合の比率が高いPAEKほど原単位が大きくなる。このため表5に示すように、エーテル結合の比率が高いPEEKのフルオロフェニル基の理論原単位が0.67と大きくなる。

表5 各種PAEKのモノマー理論原単位とフルオロフェニル基の理論原単位

PAEKの構造	PAEKの 繰返しユニット の分子量	製法	モノマーの理論原単位								フルオロフェニル 基の理論 原単位		
			A	B	C	D	E	F & G	H	合計			
PEEK	288	式（１）	0.76	1.1		0.38				1.14	0.67		
PEK	196	式（２）	0.56			0.82				0.29	0.56	1.1	0.49
		式（３）										1.12	0.49
PEEKK	392	式（４）			0.65		0.43		1.11	0.49			
PEKEKK	496	式（５）						1.08	0.387				
PEKK（I/T）	301						0.67	0.57	1.24	－			

注1 A：4, 4'-ジフルオロベンゾフェノン（A） 分子量 218
 B：4-フルオロ, 4'-ヒドロキシベンゾフェノン（B） 分子量 216
 C：1, 4-ビス（4-フルオロベンゾイル）ベンゼン（C） 分子量 322
 D：ハイドロキノン（D） 分子量 110
 E：4, 4'-ジヒドロキシベンゾフェノン（E） 分子量 214
 F：テレフタロイルクロライド（F） 分子量 203
 G：イソフタロイルクロライド（G） 分子量 203
 H：ジフェニルエーテル（H） 分子量 170

注2 黄色地は市販モノマーの原単位を示す。

出典：旭リサーチセンター作成。

各モノマーの入手できる価格がわかれば、各PAEKの原料費を計算できる。現在はモノマー価格が公表されていないが、以下のように考えられる。

- ① 市販モノマーを使って合成できるPEKK (T/I) が最も安い。重合反応で原料のテレ(イソ)フタル酸ジクロライド中の塩素が脱離するので、モノマーの理論原単位合計は大きい、テレ(イソ)フタル酸ジクロライドが安価なので問題にならない。
- ② PEEKは市販のハイドロキノンを使用できる点は有利である。ただし、ハイドロキノンの原単位は0.38と小さく、モノマー(A)の原単位が0.76と高い(同様に、フルオロフェニル基の理論原単位が0.67と高い)。モノマー(A)をいかに安くつくれるかが重要なポイントである。
- ③ PEKは二つの合成ルートがあるが、いずれも難しいモノマーの合成が必要でPEEKよりもコストが高くなる。
- ④ PEEKKとPEKEKKは、コストが安いフッ素含有モノマー(C)を使用できるのがメリットである。PEKKは市販ハイドロキノンを使用するのでさらに有利である。

以上のことから、原料コストが安い順に並べると、PEKK (T/I) < PEEKK < PEEK < PEKEKK < PEKの順になる。

求核置換反応ではPEKKが最も安いことになる。PEKKについては、2015年3月に化学工業日報のインタビューで、中国・長春にある吉林大学の呉忠文元教授がPEKKはPEEKより安くできると言明している^{8 8)}。呉元教授は、JIDA Degussa (吉林大学とDegussa (現Evonik) の合弁会社) のPEEK製造技術をつくった中心人物である。

⁸ “呉教授は、かねてからPEEK樹脂に代表されるポリアリルエーテルケトン (PAEK) 系樹脂の市場規模の小ささは、価格に起因すると考えている。「市場が拡大すれば生産規模も大きくなり、コスト削減ができる。ただ実際には高価なため他樹脂で代替され、なかなか需要が広がっていない」。呉教授は「現状を打破する唯一の道は、原料コスト低減を実現すること」と考えている。

研究の結果、中国独自の原料を用いた第2世代PAEKとしてポリエーテルエーテルケトン (PEKK) の開発に成功した。PEEK樹脂に比べ原料コストを3分の1削減した。「市場に流通している他の次世代品と比較して、価格優位性は明確」と強調する。” (化学工業日報 2015年3月24日、記事抜粋)

3 芳香族ポリエーテルケトン（PAEK）とPESに関する開発の歴史

本章末（19頁）にPAEKとPESの歴史を表6にまとめたので参照されたい。

3.1 1960～1980年 黎明期

DuPont の W. H. Bonner が開発した PEKK が PAEK の最初であった（米国特許（USP）3,065,205（1962年登録））。次いで Raychem の K. J. Dahl が高分子量 PEK を開発した（米国特許（USP）3,953,400（1971年出願、1976登録））。この特許は PEK の物質特許であり、1993 年まで有効であった（脚注3参照）。Raychem は PEK（「Stilan」）を1972～76年に工業化し、主として自家消費（電線被覆用途）に使用した。Raychem が製造を中止して以後、PEK を本格的に工業化する企業はなかった⁹。

その後、ICI は1972年に PES（ポリエーテルスルホン）を開発し、1978年に PEEK を開発した。PES の製造技術が PEEK に生かされた（PES も PEEK も求核置換反応と求電子置換反応の両方で製造できる）。また、非晶性の PES と半結晶性の PAEK（PEEK）はスーパーエンブラのペアと見なされた。このように両者は関係が深いので、表6には PAEK と PES の両方の歴史を載せた。

ICI は1972年に PES の特許を出願したが、当時日本などは物質特許制度が導入されていなかったもので製法特許であった。次いで、ICI は1978年に PEEK の特許を出願した。これについては世界の主要国で物質特許を取得した（Rose J. B., Staniland P. A. 米国特許（USP）4,320,224（1982年登録）など）。1975年に日本にも物質特許制度が導入されたので、日本でも PEEK の物質特許が成立した。

3.2 1980～2000年 PEEK工業化とICI & Victrexの独占

1981年に ICI は PEEK の本格事業化を行い、PEEK、GF強化PEEK、CF強化PEEKを発売した。1992年に ICI は PES 事業から撤退して、PEEK 事業一本に絞る決断をした。1992年頃に PES の特許が失効している。そして、翌年の1993年に ICI の PEEK 事業は MBO（Management Buy-Out：経営陣買収）により独立して新会社の Victrex となった。

⁹ 1980年代に Raychem の PEK 技術は BASF にライセンスされた³⁾。

VictrexはPEEKの物質特許が失効する1999年までPEEKを独占することができた。特許による独占により高い価格設定が許され、高付加価値用途の開発を長年続けることができた。

一方、BASF（ドイツ）は、PEEK「Ultrapek」を事業化し、PEEKと並行して脊柱（Spine）のインプラントの臨床試験まで行われたが、1996年にPEEK事業から撤退した。そして、BASFは既に事業化していた同じスーパーエンブラのPESとポリスルホン（PSU）に力を入れることにした。

Union Carbideは、ICIとは別に、1980年代にPES、PSU、ポリフェニレンスルホン（PPSU）を開発したが、これらはAmocoに譲渡され、次いで2000年にSolvayに譲渡された。Solvayは現在、PEEKとPESの両方を有している。

3.3 2000～2010年 後発メーカーの新規参入

1999年にICIのPEEK物質特許が失効し、インドのGharda（後にSolvay）と中国のJIDA Degussa（吉林大学とDegussa（現 Evonik）の合弁会社）が新規参入した。

まず、Ghardaは1997年にPESの生産を開始し、次いで2001年にPEEKの生産を開始することにより、PESとPEEKの二つのスーパーエンブラを手にした。そして、2006年にSolvayがGhardaのPEEKとPESの事業を買収した。

一方、吉林大学は対共産圏輸出統制委員会（ココム（COCOM））の規制で入手できなかったPEEKの独自開発に取り組み、1992年頃、年産100トン規模の設備を完成させた。2005年にこの大学技術に興味をもったDegussa（現Evonik）は吉林大学と合弁企業を設立し、PEEK事業に参入した。合弁企業の現在の正式名称はJIDA Evonik High Performannce Polymers Co., Ltd. である⁵⁾。

2009年にArkemaが、PEKK（T/I）事業を有する米国の中小企業 Oxford Performance Materialsを買収して、PAEK事業に新規参入した。テレフタル酸ジクロライドとイソフタル酸ジクロライドの混合物とジフェニルエーテルをフリーデルクラフツ反応（求電子置換反応）により共縮合させたものである。

以上のように、多くのPAEKが開発されたにもかかわらず、PAEK市場のほとんどをPEEKが占めることになったことは注目すべきことである。PEEKは加工性、物性に優れ、コスト的にも有利なためと思われる。

3.4 2000～2016年 Victrexの積極的な事業展開

1999年にVictrexはPEEKの素原料であるDFDPM (4,4'-ジフルオロジフェニルメタン、2.2の①(12頁)参照)の委託先工場(英国 Rotherham)を買収し、自社生産に切り替えた。

次いで、2005年にDFDPMからPEEKのモノマーであるBDF (4,4'-ジフルオロベンゾフェノン、2.2の①(12頁)参照)を製造する委託工場(英国 Teeside)を買収し、自社生産に切り替えた。Victrexは二つの買収により、PEEKモノマーの完全な自社生産体制を確立した。

BDFの委託工場はDegussaの子会社が経営していたものである。Degussaは委託工場を2005年にVictrexに売却し、同年PEEK事業に参入することを発表した。

Victrexは、PEEK物質特許失効の1999年以降も積極的にグレード開発、用途開発、川下分野への展開を進め、1999年に2,000トン/年であった生産能力を、2015年に7,150トン/年まで拡大した。用途開発で注目されるのは脊柱(Spine)治療用のインプラントなどのメディカル用途である。2001年にメディカル用途を拡大するため100%子会社のInvibio Biomaterial Solutionsを設立して脊柱(Spine)用インプラント事業の拡大を図り、2012年には義歯製品の「JUVORA」を加えている。脊柱(Spine)用インプラントの治療実績は約15年になる。

Victrexは、2006年にPEEKより耐熱性の優れる「Victrex HT」(PEK)を、2009年にはさらに超耐熱の「Victrex ST」(PEKEKK)を発売し、PEEKより高い耐熱性を望む顧客に対応した。長い空白の後に、PEKとPEKEKKが市場に復活した。

また、PEEK加工品としては、2007年に「APTIV」フィルムを発売し、2011年には「Victrex Pipe」を発売した。

表6 PAEKとPESの開発に関する歴史

年	ポリマーの種類	トピックス	Victrex 生産能力 トン/年
1962	PEKK	DuPontがPEKKを開発、USP 3, 065, 205 (1962)	
1972-76	PEK	RaychemがPEK(「Stilan」)を工業生産、USP 3, 953, 400 (1976)	
1972	PES	ICIがPESを開発(特許出願)	
1978	PEEK	ICIがPEEKを開発(特許出願)、試作開始	
1978	PES	住友化学がICIとPESの再販契約締結	
1981	PEEK	ICIが「Victrex」PEEK、PEEK/GF、PEEK/CFを工業化	
1982	PEEK	住友化学がICIとPEEKの再販契約締結	
1982	PEEK	ICIのPEEK物質特許成立 (USP 4, 320, 224 (1982))	
1980年代 後半	PES	Union CarbideがPESを開発 (その後、事業はUnion Carbide⇒Amoco⇒Solvayに移る)	1, 000 [1987]
1992	PES	ICIがPES事業から撤退 (PES特許が失効)	
1992頃	PEEK	中国の吉林大学が100トン/年のPEEK製造設備をもつ	
1993	PEEK	ICI・PEEK事業のMB0により、新会社のVictrexを設立	
1994	PES	ICIからPESを輸入販売していた住友化学が自社生産開始	
1996	PEKEKK	BASFがPEKEKK(「Ultrapek」)の生産中止、事業撤退	
1997	PES	Gharda(インド)がPES生産開始	2, 000 [1999]
1999	PEEK	ICI (Victrex) のPEEK特許が失効	
1999	PEEK	VictrexがPEEKの素原料であるDFDPMの製造工場を買収	
2000	PES	AmocoはSolvayにPES、PSU、PPSU事業を譲渡	
2000	PEEK	VictrexはInvibio Biomaterial Solutions社設立	
2001	PEEK	GhardaがPEEK生産開始	2, 800 [2003]
2005	PEEK	VictrexがPEEKモノマー・BDFの製造工場を買収(自給体制確立)	
2005	PEEK	Degussa(後のEvonik)は吉林大学と提携してPEEK事業に進出することを表明(合併会社 JIDA Degussaを設立)	
2006	PEK	Victrexは耐熱グレード「Victrex HT」(PEK)を販売開始	
2006	PEEK, PES	SolvayがGhardaのPEEK、PES事業を買収	
2007	PEEK	Victrexは「APTIV」フィルム(PEEK)を販売開始	4, 250 [2007]
2009	PEKEKK	Victrexは超耐熱グレード「Victrex ST」(PEKEKK)を販売開始	
2009	PEEK	Victrexは耐摩耗グレード「Victrex WG」(PEEK)を販売開始	
2009	PEKK(T/I)	Arkemaが米国Oxford Performance Materials(PEKK)を買収	
2011	PEEK	Victrexが「Victrex Pipe」(PEEK押出製品)販売開始	
2011	PEKK(T/I)	Arkemaがフランスで生産開始	
2012	PEEK	Victrexが「JUVORA」(義歯製品)販売開始、増設計画発表	
2015	PEEK	SolvayがEpic Polymersの長繊維強化熱可塑性樹脂事業を買収	
2015	PEEK	Victrexの第三工場完成、全生産能力7, 150トン/年	
2016	PEEK	CelaneseがPEEK事業に参入予定	
2016	PEEK	Solvayが米国新プラントをスタート予定	7, 150 [2015]
2016	PEKK(T/I)	Arkemaがフランス工場を2016年前半に能力倍増の予定	
2018	PEKK(T/I)	Arkemaが米国、アラバマ州 Mobileに新プラント完成予定	

出典：各社ホームページ資料⁴⁻⁷⁾と参考文献³⁾に基づき旭リサーチセンター作成。

4 メーカーの状況——製品、新增設（計画）、川下加工分野への進出

表7に示すように、現在、PAEKメーカーはパイオニアであるVictrex（英国）と、Evonik（ドイツ）、Solvay（ベルギー）、Arkema（フランス）の新規参入メーカー3社である。いずれもヨーロッパのメーカーであることは珍しい。新規参入の3社はそれぞれ中国の大学、インドの企業、米国の中小企業がもつパイロットレベルの技術を買収して参入した。そして、Solvayは買収技術だけでなく自社技術も開発している。

また、Celanese（米国）が2016年にコンパウンドで参入することを表明している。

表7 PAEKメーカーの状況

企業名	市場参入	製品の構造と商標	①スーパーエンブラ ②エンブラ
Victrex (英国)	PEEKのパイオニアで、 1978年にPEEKを発明し、 1981年にPEEKを発売	PEEK 「Victrex」 PEK 「Victrex HT」 PEKEKK 「Victrex ST」	PAEK (PEEKなど) 専業
Evonik (ドイツ)	2005年にDegussa(後のEvonik)が 吉林大学と提携して、PEEK事業 進出を表明、合併会社JIDAを設立	PEEK 「VESTAKEEP」	①なし ②PPA (ホリマクリル酸メチル樹脂)
Solvay (ベルギー)	2006年にインドのGharda (PEEK、PES 事業) 買収	PEEK 「KetaSpire」 PAEK 「AvaSpire」	①PES、PSU、PPSU、 LCP、PPS ②PA66、PPA
Arkema (フランス)	2009年に米国のOxford Performance Materials (PEKK事業) 買収	PEKK (T/I) 「Kepstan」	①なし ②PPA、PVDF、 長鎖ホリアミド (PA 11)
Celanese (米国)	2016年後半にPEEKコンパウンドの 2グレード販売予定	PEEK	①PPS、LCP ②ホリアセタル、PBT

表8に示すように、各社の新增設（計画）は極めて活発である。Victrexの（新設）第3工場稼働に続いて、後発メーカー3社が新增設計画を進めている。各社とも市場の伸びに確信をもっている。2020年まで年率5～10%の成長が予想されている⁹⁾。

表8 PAEKメーカーの新增設（計画）と生産能力

企業名	新增設（計画）	工場所在地	生産能力
Victrex	第1、第2工場	Lancashire (英国)	7,150トン/年
	第3工場 (2015年完成) 9,000万ポンド (137億円) 投資	Thornton-Cleveleys (英国)	
Evonik	中国プラント増設中	吉林省 長春 (中国)	1,000トン/年
Solvay	・インド工場増設中 ・2016年に米国新プラントスタート (上記2件の投資は8,500万ドル (85億円))	Gujarat州 Panoli (インド) ジョージア州 Augusta (米国)	完成時 2,500トン/年 (合計)
Arkema	2011年にフランスで生産開始、 2016年前半に能力倍増予定	フランス	
	米国に新プラント建設 (18年後半稼働)	アラバマ州 Mobile (米国)	

表9に示すように、各社の川下進出（設備増強や買収・投資）も極めて活発である。PAEK事業は量的に小さいので、自ら加工品を手掛けて市場を拡大し付加価値を高めることが重要である。

表9 PAEKメーカーの川下加工分野への進出

企業名	先端用途・加工品	加工分野への進出と投資
Victrex	宇宙航空、自動車、電機、 コンポジット・フィルム パイプ	2015. 7 精密樹脂歯車メーカーのKleiss Gearsを 600万ドル(6億円)で買収
	メディカル(インプラント)	2016. 2 コンポジット設備増強(石油・天然ガス掘削パイプ 用テープとメディカル用外傷・骨折用プレート) 投資額 2,270万ドル(22億円)
Evonik	用途は全般	2015. 11 フィンランドのベンチャーSynosteに投資 (足骨のインプラント)
	メディカル	
Solvay	用途は全般	2015. 7 宇宙航空用コンポジット会社 Cytec Industries を64億ドル(6,400億円)で買収することを発表
	コンポジット	
	メディカル 3Dプリンタ用	2015. 10 Epic Polymersの長繊維強化熱可塑性樹脂 コンポジット事業の買収を発表(PEEK、PAEK用)
Arkema	(CF)コンポジット 3Dプリンタ用	

出典：表7～9は各社ホームページなどの資料に基づき旭リサーチセンター作成

以下、各社の状況を(1)市場参入の経緯、(2)製品とグレード、販売、(3)PAEK以外の（スーパー）エンブラの事業化状況、(4)新增設（計画）、(5)川下加工分野への進出の形でまとめた。

4.1 Victrex⁴⁾

- (1) PEEKのパイオニアであり、リーダーである。生産能力シェア70%超を占めている⁹⁾。
- (2) PEEKを主力に耐熱性の高いPEKとPEKEKKをラインアップしている。世界30か国に販売しており、日本国内はビクトレックスジャパン(株)（2007年設立）が販売している。
- (3) PAEKの専門メーカーであり、他のスーパーエンブラやエンブラ製品はもっていない。
- (4)と(5) 2015年に、英国 Thornton-Cleveleysのコンビナート地区に9,000万ポンド（137億円）を投資して建設した3番目のPAEK製造工場が稼働した。生産能力を70%増強し、全生産能力は年産7,150トンになった。

また樹脂増産と並行して、「APTIV」フィルム、「Victrex Pipe」、テープ、インプラント用医療機器などにも継続して投資しており、PAEK製造にとどまらず、より高い付加価値の提供を追求している。

(5) 既にロッド、フィルム（2007年）、パイプ（2011年）、コンポジットなどの加工製品に進出しているが、最近は、2015年に精密成型部品メーカーのKleiss Gearsを買収し、また2016年に工業用・医療用のコンポジットの強化に投資する。また、メディカル用途は、脊柱（Spine）治療用インプラントが中心であったが、2016年は外傷（Trauma）・骨折用設備に投資する。

① 精密樹脂歯車メーカーのKleiss Gears（米国）を買収⁴⁾

VictrexはKleiss Gearsを600万ドル（6億円）で買収した（2015年7月21日発表）。この買収により、Victrexはギアの設計、評価および製造能力を手に入れることになる。金属製ギアをPEEK製ギアに代替することにより、自動車の燃費向上やNVH（不快なノイズや振動）低減が可能となる。

② PEEKコンポジットの生産設備増強¹⁰⁾

Victrexは、工業および医療分野のPEEKコンポジットの生産設備を増強するため、2,270万ドル（22.7億円）を投資する予定であることを、2016年2月発表した。工業分野は、Magma Global（英国）の石油・天然ガス用パイプに使われる単一方向テープ用途である。軽くてフレキシブルでパイプに巻きやすく、スチールより強く、海水、CO₂、酸性ガスなどに耐食性がある。医療分野は、外傷（Trauma）・骨折用プレートのウルトラ強化複合材「PEEK-Optima」である。PEEK製は金属製と比べて50倍の耐疲労性、手術中および術後の確認が容易なX線透過性、骨の修復に必要な応力の伝達性があり、治癒期間が短縮される。

4.2 Evonik⁵⁾

Evonikは2015年の売上高が135億ユーロ（1兆6,600億円）で従業員が3万3,500人のドイツの会社である。

(1) 中国技術を採用して中国の長春で合弁生産し、Evonikが世界に販売している。国内は合弁会社のダイセル・エボニック株式会社が販売している。

(2) PEEK、GF強化PEEK、CF強化PEEK、メディカル用PEEKを製造・販売している。またメディカルのインプラント製品も販売している。

2015年11月に最近開発したPEEKコンパウンド「Vestakeep」Easy Slide Iについて発表した。低摩擦抵抗で耐摩耗性に優れ、小型真空ポンプなどの構造部品（金属代替）に向いている。また、「Vestakeep」500HCM（加熱圧縮成形用）も最近市場に導入した。

(3) Evonikはポリフタルアミドやポリメタクリル酸メチルを生産している。

(4) Evonikは2015年11月2日に中国プラント（吉林省・長春）の増設計画を発表したが、生産能力の数字は公表していない。

(5) メディカル（インプラント、義歯など）に力を入れている。2015年11月に足骨のインプラント技術を開発中のフィンランドのベンチャーSynosteに投資をした。

4.3 Solvay⁶⁾

Solvayの2015年の売上高は124億ユーロ（1兆5,200億円）、従業員数は3万900人で、本社はベルギーのBrusselsにある。

(1) 2006年にSolvayはGharda（インド）からGujarat州にあるPEEK工場を買収し、2014年末には生産能力を25%増強した¹¹⁾。

(2) Solvayは「KetaSpire」PEEKを事業化した後、「AvaSpire」PAEKを開発した。「AvaSpire」PAEKは「KetaSpire」PEEKの廉価版であるが、性能は優れている¹⁰⁾。「AvaSpire」PAEKの化学構造は公表されていない。PEEKを凌ぐ新PAEKの出現であればその化学構造が大変興味のあるところである。

① コストパフォーマンスのよいPAEKを上市¹²⁾

Solvayは、自動車用に「AvaSpire」PAEKの新シリーズを上市した。2種類のシリーズAV-600およびAV-700の性能はPEEKと同等以上で、価格はPEEKより15～20%低く、コストパフォーマンスに優れる。AV-600は、PEEKと比較して引張強度・剛性・加工性が同程度で、強靱さ・衝撃強度が上回り、高温用コネクター、プッシュプル式ケーブルなどに使われる。AV-700は、AV-600よりも高温性能、耐薬品性、寸法安定性に優れ、燃料インペラー、水ポンプインペラー、点火コイルなどに向いている。

¹⁰⁾ PAEKのポリマーブレンド、あるいはPEEKをベースとしたポリマーブレンドといわれる。

(3) Solvayは、PAEK以外にスーパーエンブラとしてPES、PSU、PPSU、LCP、PPSをもっており、またエンブラとしてPA66とPPA（ポリフタルアミド）をもっている。エンブラとスーパーエンブラを数多くそろえた総合メーカーである¹¹⁾。

(4) Solvayは既にインドのGujarat州PanoliにあるPEEKプラントを25%増設中であるが、新たに米国・ジョージア州Augustaに新プラントを建設することを、2015年2月24日に発表した。新プラントは2016年中頃に稼働の予定である。新增設後はインドと米国のプラントを合わせて生産能力は2,500トン/年になる。全投資額は8,500万ドル（85億円）である。

(5) SolvayはCF強化熱硬化性樹脂コンポジットとCF強化熱可塑性樹脂コンポジット事業に戦略的に進出している。

① 米国の宇宙航空用コンポジット会社を買収^{6、15)}

Solvayは2015年7月に、米国の宇宙航空用コンポジット会社のCytec Industries（以下、Cytec）を64億ドル（6,400億円）で買収する計画を発表した。Cytecの主要製品は、航空宇宙産業用コンポジット材料（熱硬化性樹脂コンポジットと熱可塑性樹脂コンポジット）である。PEEKとPEKKのコンポジット製品も販売している。また、自動車軽量化のためのコンポジットを開発中である。2014年の売上高は20億ドル（2,000億円）で、その3分の2がコンポジット製品であり、また売上高の半分以上が宇宙航空産業用途で占める。

2015年12月9日に米国国防総省連邦警備局（US Department of Defense Security Service：DSS）、および、米国独占禁止法の審査などを受けて認可され買収を完了した。

Solvayは2016年1月1日にCytecを吸収合併して、コンポジット材料を宇宙航空産業に供給する世界第二のメーカーになった。

② 長繊維強化熱可塑性樹脂（LFT）事業を買収⁶⁾

Solvayは、2015年10月にEpic Polymers（ドイツ）のLFT事業を買収することを発表した。

¹¹⁾ ① 2014年にSolvayはChevron Phillips Chemical社のPPS樹脂事業を2億2,000万ドル（220億円）で買収した¹³⁾。

② 2015年8月にSolvayが米国コンパウンダーのRTPに航空機用ポリフェニルスルホン（PPSU）樹脂に関する技術をライセンス供与した¹⁴⁾。航空機内部キャビンに使われ25年以上実績のあるPPSU樹脂R-7000シリーズは、美観、衝撃強さ、耐薬品性に優れ、厳しい米連邦航空局（FAA）の難燃・煙毒性規制もクリアしている。RTPは、コンパウンド配合・生産の自社技術を生かして航空会社各社の要望に細かく対応し、自社流通網を使ってリードタイムを短縮した同樹脂の製造・販売を行う。

EpicのLFT技術は、高機能樹脂を長繊維のCFで強化する画期的な熱可塑性樹脂コンポジットで、高温でも優れた強度、剛性、耐衝撃性があり、自動車や宇宙航空分野の準構造部材用に金属代替として使われ、軽量化に役立つ。SolvayはLFT技術を自社のコア樹脂である「KetaSpire」PEEK、「AvaSpire」PAEKに応用し、自動車分野での金属代替用途を開発する。また、LFTはPEEKとPAEKだけでなく、高耐熱性機能樹脂である「Technyl」PA66、「Amodel」PPA、「Ryton」PPSに応用する予定である。

4.4 Arkema⁷⁾

Arkemaの2015年の全社売上高は77億ユーロ（9,470億円）で、従業員数が1万9,000人のフランスの会社である。

(1)と(2) 2009年2月にArkemaは、米国の中小企業でPEKK（T/I）事業を手掛けていたOxford Performance Materials（略号OPM）を買収したことを発表し、PAEK事業に参入した。その後2011年6月に、Arkemaは工業用途に集中するためにメディカル事業を分離し、元のオーナーに売却した。元オーナーは再びOPMを設立し、メディカル事業を行っている。

日本国内ではアルケマ株式会社がPEKK（T/I）を販売している。

(3) ポリフタルアミド、特殊ナイロンの長鎖ポリアミド（PA 11「Rilsan」など）と特殊フッ素樹脂（ポリフッ化ビニリデン「Kynar」）のメーカーである。

(4)と(5) 2015年3月にArkemaは、PEKK（T/I）の製造設備の新增設計画を発表した。まず、フランス工場の能力倍増工事を2016年前半に完成の予定である。また、米国・アラバマ州 Mobile新プラントを建設する予定で、2018年後半の稼働を予定している。成長分野のCFコンポジットと3Dプリンタ用などの需要に対応するためである。

4.5 Celanese

Celaneseは2016年後半に2グレード（高流動PEEKと高流動繊維強化PEEK）を製品化してPEEK事業に参入すると2015年11月に発表した。

同社は、2014年の売上高が68億ドル（6,800億円）、従業員7,500人の規模で、現有のポリアセタール「Hostaform」/「Celcon」、液晶ポリマー「Vectra」LCP、およびポリフ

エニレンサルファイド「Fortron」PPSなどにPEEKを加えることにより（スーパー）エン
プラのポートフォリオを拡張し、顧客からの様々な要求に応える予定である¹⁶⁾。

4.6 2016年・高性能プラスチック展でのPAEKの展示

2016年4月6日～8日に東京・ビッグサイトで開催された高性能プラスチック展には、
ビクトレックスジャパン、ダイセル・エボニック、アルケマの3社がPAEKを出展した。ビ
クトレックスジャパンは全般的な展示で、樹脂ペレットビジネスからコンパウンド・加
工品ビジネスに展開していることを示した（摺動グレード、ロッド、フィルム、コンポ
ジット、メディカル成形品など）。

ダイセル・エボニックの展示は充実していた¹²。摺動用途のサンプル（歯車など）と
医療用途の成形品サンプル（インプラント、歯、ステント、ピンセットなど）を多数展
示し、それらの用途に力を入れていることがわかった。

アルケマはパイプやコンポジットのサンプルを展示していた。コンポジットサンプル
は、炭素繊維強化の樹脂積層板（数層から数十層）であった。日本の（株）サン・テク
トロが独自に開発したドライパウダーコーティング法により製造した中間材料のPIF
（Powder Impregnated Fabric：高性能熱可塑性樹脂炭素繊維プレプリグ）を積層加工し
たものである。そして、サン・テクトロのPIFのパンフレットを配布していた。

中国の山東凱盛新材料有限公司（Shandong Kaisheng New Materials Co., Ltd.）がPEKK
（T/I）を出品していた。日本の発売元は岡畑興産（株）である。2年前より販売を始め、
PEKK（T/I）の生産能力は150トン/年で、静電塗装用のコーティング用パウダーグレードだ
けを販売している。現在、熱間圧縮成形用パウダーと射出成型用ペレットを開発中であ
る。同社はPEKKの原料であるテレフタル酸ジクロライドとイソフタル酸ジクロライドの
メーカーで各5,000トン/年の生産能力をもっている。

また、ビッグサイトで同時に開催された高性能フィルム展ではデンカがPEEKのフィル
ムを展示していた。

¹² ダイセルは、Celaneseとの合弁会社であるポリプラスチックス（株）のポリアセタール事業を世界のトッ
プグループに育てた実績がある。今回もダイセル・エボニックに経営資源を投入し、同社をPEEKの有力な
第2位メーカーに発展させるかもしれない。

5 VictrexのPAEK事業⁴⁾

5.1 PAEKの生産能力推移

図2にPAEKの生産能力の推移を示す。2003年以降生産能力の増強スピードが上がってきた。2015年に第3工場が完成し、7,150トン/年になった。生産のほとんどがPEEKである。

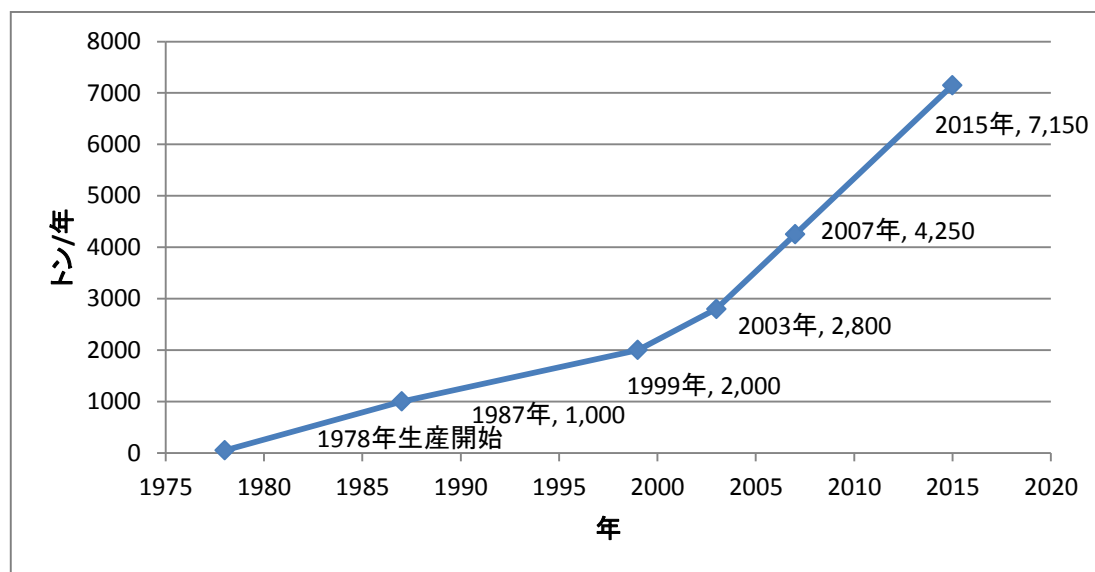


図2 VictrexのPAEK生産能力推移

出典：図2～6はいずれもVictrexホームページ資料を基に旭リサーチセンター作成。

5.2 事業の状況

(1) 売上高と税引前利益の推移

表10と図3に売上高と税引前利益、売上高利益率の年次推移を示す。2010年以降売上高の伸びが大きいことがわかる。直近の2015年の売上高は2.64億ポンド（401億円）で税引前利益は1.06億ポンド（161億円）である。売上高は大きくないが、売上高利益率が40%の高収益事業である。2011～13年の売上高利益率は最高の43～44%であった。

表10 Victrexの売上高・税引前利益（単位は百万ポンド）と利益率（%）の推移

年	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
売上高 (A)	100.9	122.5	131	141.1	103.8	189.5	215.8	219.8	221.9	252.6	263.5
税引前利益 (B)	35.3	46.1	52	55	25.1	74.9	94.2	94.5	94.6	102.7	106.4
利益率 (B/A) %	35	38	40	39	24	40	44	43	43	41	40

注：2009年はリーマンショックの影響で売上高、税引前利益が減少した。

出典：表10～14はVictrexホームページ資料を基に旭リサーチセンター作成。

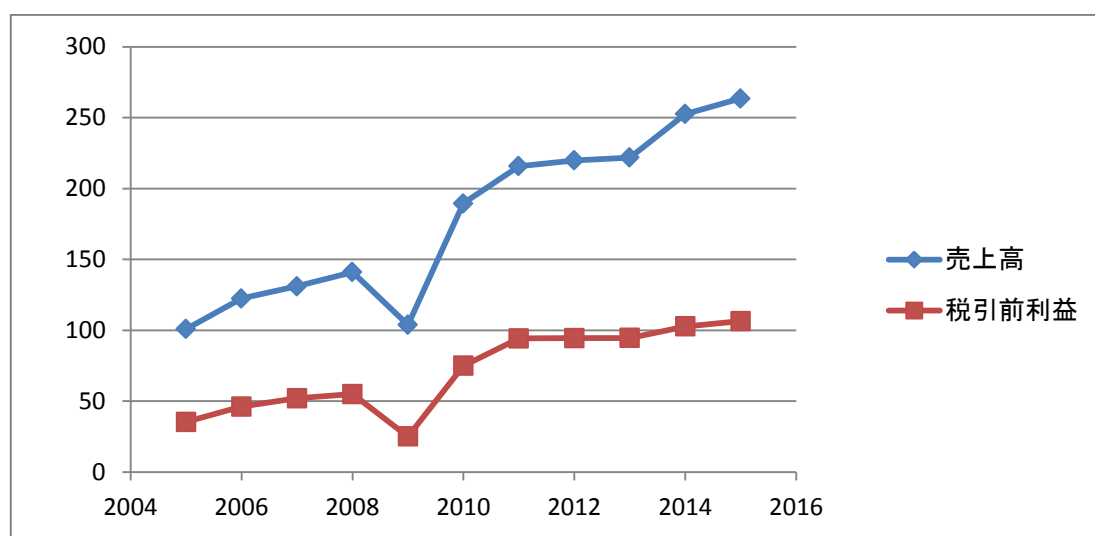


図3 Victrexの売上高と税引前利益の推移 (単位 百万ポンド)

注：2009年はリーマンショックの影響で売上高、税引前利益が減少した。

(2) 販売量と販売単価の推移

表11に示すように、販売量は2014、15年と大きく増加し、15年の販売量は4,217トンと史上最高であった。一方、販売単価は2011～13年に75ポンド/kg (1万1,400円/kg) を超えていたが、2014～15年は下がり気味である。販売単価は表10の売上高を表11の販売量で割って求めた。2015年の販売単価は62.5ポンド/kg (9,500円/kg) に下がった。これは単価の低い消費者用エレクトロニクス用途が増えたことと外貨の影響によるもので、それを除けば72ポンド/kg (1万900円/kg) になるとVictrexは説明している。

表11 VictrexのPAEKの販売量 (トン/年) と販売単価 (ポンド/kg) の推移

年	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
販売量	1,972	2,339	2,508	2,626	1,547	2,535	2,860	2,904	2,920	3,551	4,217
販売単価	51.1	52.4	52.2	53.7	67.1	74.7	75.4	75.7	75.9	71.1	62.5

注：販売単価は売上高を販売量で割って求めた。

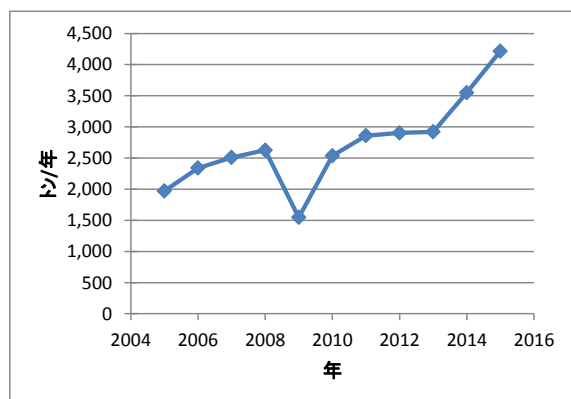


図4 販売量の推移

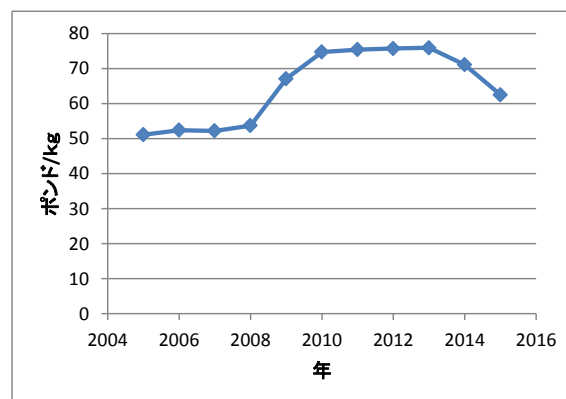


図5 販売単価の推移

(3) 事業のセグメント情報（表12）

Victrexは、Victrex Polymer Solutions（ポリマー部門）とInvibio Biomaterial Solutions（メディカル部門）に分かれており、それぞれの経営状況が公表されている。

① ポリマー部門はメディカル以外のすべての事業が含まれる。2013年の売上高は1.71億ポンド（258億円）、営業利益は0.69億ポンド（105億円）で、営業利益率は40%と高い。ポリマー部門が全社売上高の77%、全社営業利益の71%を占めている。

2015年は売上高が増加して2.13億ポンド（324億円）になり、全社売上高の81%を占めるに至った。メディカル部門の売上高がフラットなので、全社の売上高増はすべてポリマー部門の売上高による。2014～15年の営業利益の数字は公表されていないが、粗利益から見ると売上高とともに増えていると推定される。

② メディカル部門は、売上高に対する粗利益と営業利益の比率が極めて高い。2014年は売上高が5,340万ポンド（81.1億円）、粗利益が4,710万ポンド（71.6億円）、営業利益が2,960万ポンド（45.0億円）で、粗利益率が88%、営業利益率が55%である。

ただし、2012～15年の間の売上高と利益がほぼ一定である。安定的に高収益が得られるビジネスモデルになっていることを示しているが、成長性がみられない。Victrexは成熟した脊柱（Spine）のインプラントから、外傷（Trauma）・骨折や膝のインプラント分野にシフトしようとしている。

表12 Victrexのセグメント情報（単位 百万ポンド）

年		2012	2013	2014	2015
ポリマー部門 (Victrex Polymer Solutions)	売上高	169.3	171.1	199.2	213
	粗利益	101.3	103.1	116.1	123.9
	営業利益	68.5	68.6	na	na
メディカル部門 (Invibio Biomaterial Solutions)	売上高	50.5	50.8	53.4	50.5
	粗利益	44.6	44.7	47.1	44.3
	営業利益	29.2	29.3	29.6	na
Victrex社全社	売上高	219.8	221.9	252.6	263.5
	税引前利益	94.5	94.5	102.7	106.4

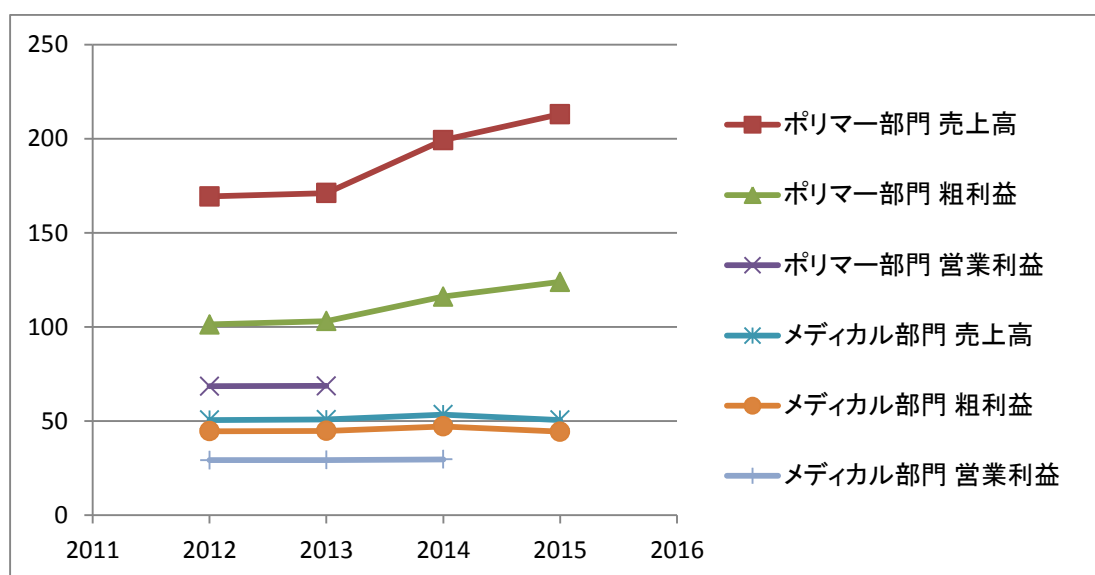


図6 Victrexの年次別セグメント情報 (単位 百万ポンド)

(4) 用途別販売量¹³

2015年のVictrexの用途別販売量は、エネルギー/工業用 26%、輸送（自動車、宇宙・航空など）26%、エレクトロニクス 40%、その他 8%となっている。2014年に比べ、2015年はエレクトロニクスの比率が急増している。半導体や携帯機器などに採用されたためである。薄くても強靱で、耐熱性があり、電気特性の良いPEEKが評価されて採用された。小さな部品であるが、数が多いのでPEEKにとっては大きな需要となる。

なお、用途のその他はメディカルと推定される（脚注13の2012年の用途別販売量参照）。

表13 Victrexの用途別販売量

	2014年		2015年		
	(トン)	比率 (%)	(トン)	(2014年比)	比率 (%)
エネルギー/工業	1,196	34	1,081	(10%減)	26
輸送（自動車、宇宙・航空）	962	27	1,104	(15%増)	26
エレクトロニクス（半導体、携帯機器）	1,031	29	1,680	(63%増)	40
その他	362	10	352	(3%減)	8
合計	3,551	100	4,217		100

なお、表13のエネルギー/工業用、輸送、エレクトロニクスの用途はポリマー部門に属すると考えられるので、同部門の販売量は2014年が3,189トン、2015年が3,865トンに

¹³ 2012年のVictrexの用途別販売量は、工業用39%、輸送（自動車、宇宙・航空など）26%、エレクトロニクス24%、メディカル11%であった。

なる。ポリマー部門の売上高は表12より、2014年が1.99億ポンド、2015年が2.13億ポンドである。これからポリマー部門の販売単価を計算すると、2014年は62.4ポンド/kg(9,490円/kg)、2015年は55.1ポンド/kg(7,750円/kg)となる。2015年に販売単価が低下した。

(5) 地域別販売量¹⁴

2015年のVictrexの地域別販売量は、ヨーロッパ（EMEA：西ヨーロッパ・中東・アフリカ）44%、アメリカ（米州）18%、アジア（アジア・大洋州）39%となっている。アジアの需要が急増している。これは、先のエレクトロニクス用途の急増などによる。

表14 Victrexの地域別販売量

	2014年		2015年		
	(トン)	比率(%)	(トン)	(2014年比)	比率(%)
ヨーロッパ	1,778	50	1,852	(4%増)	44
アメリカ	878	25	739	(16%減)	18
アジア	895	25	1,626	(82%増)	39
合計	3,551	100	4,217		100

なお、IHSのChemical Economic Handbook（2015年10月発刊）によれば、世界の芳香族ポリエーテルケトン（PAEK）の地域別消費量は、EMEA 40%（うち、ヨーロッパ 34%、その他 6%）、アメリカ 31%（うち、米国 25%、その他 6%）、アジア 29%（内訳は日本 8%、韓国 7%、中国 6%、インド 1%、その他 7%）である。

(6) Victrexの戦略

Victrexのホームページによれば、「Victrexは自動車、航空宇宙、エネルギー、エレクトロニクス、医療を注力産業分野としており、その中で成長戦略の軸をより大きな機会に重点を置いています。この中には米国 Magma社とのパートナーシップによる石油ガス掘削用のパイプをはじめ、航空機用ブラケット、携帯用電子デバイス、整形外科用膝関節などが挙げられます。Victrexは上記産業において、全世界におけるPAEKの潜在需要を8万トン超と見越しています。」と記載されている。

PAEKの潜在需要を8万トンと見ていることは注目される。潜在需要が顕在化すれば、PEEKの単価を1万～5,000円/kgとすると市場規模は8,000億～4,000億円になる。

¹⁴ 2012年のVictrexの地域別販売量は、アメリカ（米州）32%、EMEA（ヨーロッパ・中東・アフリカ）50%、アジア・大洋州 18%であった。

5.3 Victrex・PEEK事業とKraton・TPS事業の比較

VictrexはICIが開発したPEEK事業を引き継いで独立した会社で、当初は独占的に事業を世界的に展開し、基本特許失効後もトップメーカーの地位を維持しているPEEK専門メーカーである。ICI時代からの商標（「Victrex」）が、会社名になった。

一方、KratonはShell Chemicalが開発したスチレン系熱可塑性エラストマー（TPS）事業を引き継いで独立した会社で、当初は独占的に事業を世界的に展開し、基本特許失効後もずっと世界トップの専門メーカーである¹⁷⁾。商標（「Kraton」）が会社名になった。

このように、両社は成り立ちに共通点が多いが、その事業内容は大きく異なっている。

まず、PEEKの販売単価は97.5ドル/kgで、TPS 4.1ドル/kgの約24倍であり、両社の製品や市場の性格が大きく異なることを示している。PEEKが過酷な条件で使用される先端材料であるのに対して、TPSは汎用合成ゴムないし汎用に近い特殊合成ゴムの範疇にある。したがって、TPSは大量に生産して利益を生み出す必要があるため、TPSの生産能力（生産量）は、PEEKの60倍（73倍）である。しかし、TPSの販売単価が安いために、売上高にそれほど差はなく、Kratonの売上高はVictrexの3倍にすぎない。

PEEKは研究と用途開発に経営資源を投入する必要があるため、Victrexは売上高に比べ人員が多く、また研究費が多い（Victrexの売上高研究費は5.2%で、Kratonの2.6%の2倍である）。

両社とも世界市場で独占的に販売してきたので、世界の多くの国に販売している。TPSは大消費市場が欧米からアジアにシフトした。一方、PEEKは先進国が中心であったが、最近アジアの需要が増えている。

PEEKについては、需要が小さいため川下の加工品製造（フィルム、パイプ、コンポジット）をVictrex自ら行う必要があったが、結果として付加価値の高いビジネスに育っている。特に、川下のメディカル（インプラント）分野が高収益事業となっている。KratonもTPSの高付加価値加工製品として5型ブロック共重合体を使った逆浸透膜を開発したが、TPSビジネス全体に占める比率は低い。

Victrexは高収益会社であるが、Kratonは近年収益性がかなり低下してきており、対照的である。

表15 VictrexのPEEK事業とKratonのTPS事業の比較

	Victrex	Kraton Performance Polymers (Kraton)	Kraton/ Victrex の比率
オリジンの会社 工業化	ICI PEEK 1981年	Shell Chemical SBS 1965年	
創立 本社 従業員 事業 商品名(商標)	1993年 英国 700名 芳香族ポリエーテルケトン(PEEKなど) PEEK加工品(コンポジット、インプラント) 「Victrex」	2001年 米国 1,106名(フルタイム 934名) スチレン系熱可塑性エラストマー(TPS) 「Kraton」	1.6
売上高(A)	2.64億ポンド(4.12億ドル、401億円)	12.3億ドル(1,230億円)	3
税引前利益(B)	1.06億ポンド(1.65億ドル、161億円)	630万ドル(6.3億円)	0.04
利益率(B/A)	40%	5%	0.1
1株当たりの利益	98ペンス(1.5ドル)	0.07ドル	0.05
販売量(C)	4,217トン	306,000トン	73
販売単価(A/C)	62.5ポンド/kg(97.5ドル/kg)	4.1ドル/kg	0.04
工場 生産能力	英国に3工場 7,150トン/年	米国、ドイツ、フランス、ブラジル 合併会社: 日本(JSR)、台湾(FPC) 417,000トン/年	60
モノマー	主原料(ジフルオロベンゾフェン)自製	ブタジエン、スチレン、イソプレン購入	
販売 用途	世界30か国以上 航空、自動車、携帯機器、石油掘削	世界60か国(顧客800) 履物、粘接着剤、アスファルト、アロイ	2
地域別内訳	販売量 アメリカ(米州) 18% ヨーロッパ・中東・アフリカ 44% アジア・大洋州 39%	販売金額 アメリカ(米州) 39% ヨーロッパ・中東・アフリカ 36% アジア・大洋州 25%	
研究費(D) 売上高研究費(D/A)	1,370万ポンド(2,140万ドル) 5.20%	3,140万ドル 2.60%	1.5 0.5
投資、川下展開	フィルム、コンポジット、歯車、メディカル 2015年7月 歯車メーカーの Kleiss Gearsを600万ドル (約6億円)で買収	逆浸透膜 2016年1月 松脂メーカーの Arizona Chemicalを17.3億ドル (約1,730億円)で買収	
備考	売上高などの数字は2015年度 (2014年8月～2015年9月)	売上高などの数字は2014年度 (2014年1～12月)	

注: KratonはTPSのほかにイソブレンゴムを販売しているが、販売額の比率は小さい。

出典: Victrex、Kratonのホームページ資料などを基に旭リサーチセンター作成¹⁷⁾。

おわりに

本リポート(上)のPEEKの物語は、結局Victrexのサクセスストーリーになった。

その成功のカギは、①PEEKの発見と特許による17年間の独占 ②PEEKが他のPAEKに比べ成形温度が低く（成形性に優れ）、耐熱水性と耐薬品性に優れ、かつ他の性能は同等であったこと ③主原料の4,4'-ジフルオロベンゾフェノンの自社生産によるコスト競争力確保 ④先発メーカーとして長年の先端的用途の開発 ⑤川下の加工分野への進出による用途開発と高付加価値化などが挙げられる。

PEEK以外のPEK、PEKEKK、PEKKなどが有力な競合材料になり得なかったことと、有力なコンペチターが不在であったことがVictrexの独走を許した。

新規参入メーカーのEvonikとSolvayは、パイロットレベルの技術を取得してのスタートで立ち上がりが遅く、またVictrexと同じPEEKでの参入（後発）なのでインパクトが小さかった。今後、Arkemaを含めた新規参入メーカーの新增設や本格的用途開発によりトップメーカーとの競争が本格化するであろう。

今後の競争に重要な影響を与えると考えられる次の2点に興味がある。

① PEEKよりも安価で性能の優れたPAEKが出現するか？

前述のように、吉林大学の呉元教授はPEEKKがPEEKよりはるかに安くできると強く指摘している⁸⁾。また、Solvayの「AvaSpire」はPEEKの廉価版であるが、性能が優れていて注目すべきである。構造を公表していないが、PAEK同士のブレンド、PEEKをベースとしたPAEKブレンドの情報がある。PEEKより安いPAEKがすでに生産されている可能性がある。

② スーパーエンブラ・エンブラ事業は専業が有利か、それとも品ぞろえしたほうが有利か？（PESから撤退してPEEKに資源を集中したVictrexと（スーパー）エンブラの品ぞろえによる相乗効果を狙うSolvayのどちらが強いのか？）

その会社がもつ市場シェアや川下加工分野の強みなどの事業環境によると思うが、どちらの経営戦略が勝つかMOTの観点からも興味がある。

以上で本リポート(上)は終了する。本リポート(下)では加工品と用途について述べる。

参考・引用文献

- 1) Wittcoff・Reuben・Plotkin「工業有機化学(上)」田島慶三・府川伊三郎訳
東京化学同人 (2015)
- 2) 化学経済増刊号「世界化学工業白書」(2015)
- 3) 井上俊英ら「エンジニアリングプラスチック」高分子学会編 共立出版 (2004)
佐竹義克、甲藤卓之「ケトン樹脂」高分子39巻2月号p.100 (1990)
Engineering Plastics: Handbook of Polyethers, R.Cotter, OPA (1995)
Handbook of Thermoplastics, 2nd Edition, O.Olabisi, K.Adervale, CRS Press(2016)
Applied Plastics Engineering Handbook, M.Kurz, Elsevier (2011)
Plastic Materials, J.A.Brodson, BH (1999)
Applied Polymer Science: 21th Century, C.Crever, C.Carreher, Elsevier (2000)
- 4) Victrexホームページ、プレスリリース、アニュアルリポート
- 5) Evinikホームページ、プレスリリース、アニュアルリポート
- 6) Solvayホームページ、プレスリリース、アニュアルリポート
- 7) Arkemaホームページ、プレスリリース、アニュアルリポート
- 8) 化学工業日報 2015.3.24 人と話題 呉忠文(吉林大学元教授)
- 9) Chemical & Engineering News, 2月29日号p.23 (2016)
- 10) Plastics Technology, 2月号p.8 (2016)
- 11) Plastics News.com/China, 5月1日 (2015)
- 12) Plastics Technology, 9月号pp.24~26 (2015)
- 13) Chemical & Engineering News, 9月8日号p.13 (2014)
IHS Chemical Week, 9月8日/9月15日号p.15 (2014)
- 14) IHS Chemical Week, 8月24日/8月31日号p.2 (2015)
Plastics News.com/China, 8月31日 (2015)
- 15) IHS Chemical Week, 11月30日/12月7日号p.4、12月14日号p.10 (2015)
- 16) IHS Chemical Week, 11月16日/11月23日号p.11 (2015)
- 17) 府川伊三郎「スチレン系熱可塑性エラストマー」化学経済 5月号p.58 (2016)

<本リポートのキーワード>

芳香族ポリエーテルケトン、PAEK、PEEK、PES、VICTREX、Solvay、インプラント、
耐熱性ポリマー、スーパーエンブラ、熱可塑性樹脂コンポジット

(注) 本リポートは、ARCのホームページ (<http://www.asahi-kasei.co.jp/arc/index.html>) から検索できます。

このリポートの担当

シニアリサーチャー 府川 伊三郎、白鳥 直行

お問い合わせ先 03-3296-5056

E-mail fukawa.id@om.asahi-kasei.co.jp

株式会社 旭リサーチセンター

東京都千代田区神田神保町1-105 神保町三井ビルディング

電話 (03)3296-3095 (代)

E-mail : arc@om.asahi-kasei.co.jp

注：このリポートはARC会員および旭化成グループを対象としております。内容の無断転載を禁じます。