

東アジアにおける石油化学工業 技術発展の比較研究（3）

ポリエステル繊維・プラスチックの 現状と製造技術の変遷

洪 邦 夫

HONG Pangbu

1. はじめに

アジアの石油化学工業が急速に拡大・発展している。石油化学工業の規模の指標であるエチレン生産能力をみると、21世紀に入った10年間で世界の能力は1.5倍に急増し、1.5億 t/y 近くになっている¹⁾。このような急増は、中国やサウジアラビアなどをはじめとしたアジア新興国における巨大エチレンプラントの新設・増設によるものであり、その背景には、中国が急速な経済成長に伴う石油化学製品需要の急拡大によりエチレンプラントの新設・増設を行っていることと、中東産油国がコストの安い随伴天然ガスを原料とした巨大エチレンプラントを建設し、急速に需要を伸ばしているアジア諸国への石油化学製品の輸出を狙い、石油化学産業に参入していることなどの要因がある¹⁾。2011年の国別エチレン生産能力を見ると、中国、サウジアラビア、日本、韓国、タイ、台湾の6カ国が上位10位に入っており、世界的にもアジアの占める比率は高い。

アジアの産業発展では、織物・衣料という産業分野の相対的規模と成長率が、今日依然として戦略的位置を占めている²⁾。先発工業国ではすでに成熟ないし斜陽化した当該産業分野が、東アジアではなお工業化をリードする位置を占め、「世界の繊維供給センター」として重要な機能を担っており、繊維・

アパレル産業の著しい成長を実現してきた²⁾。繊維・アパレル産業は、業種の構成から見ると、まず素材部門の川上（紡糸・繰り糸）から始まり、次に川中（織・編・染色）、最後に川下（アパレル・縫製）という三分野により構成される。

素材部門では、ポリエステル、ナイロン、アクリルなどの合成繊維が重要な位置を占め、最も生産量の多いのがポリエステル繊維である。2010年の世界主要国のポリエステル繊維生産シェア³⁾をみると、中国の生産シェアが67.4%と圧倒的に高く、インド、台湾、韓国、その他アジアの生産シェアを合計すると、アジアだけで92%超と圧倒的な大きさを示す。

ポリエステル繊維は、ナイロンやアクリルに遅れて登場した合成繊維であるが、英国 Imperial Chemical Industries (ICI) のテリレン、米国 DuPont のダクロンに始まり、世界的には1970年代にその生産量はナイロンを凌駕するようになった。また、ポリエステルは、繊維だけでなく、プラスチックとしてボトル容器や各種フィルムなどにも広く使用されている。このような発展過程で、製造技術も大きく変わり、進化している。同時に、ポリエステルの原料であるエチレングリコールやテレフタル酸などの石油化学工業製品の製造技術も大きく進化している。

前報¹⁾では、東アジアにおける石油化学工業技術の発展を比較研究するなかで、東アジア諸国におけるエチレン生産能力の拡大とその製造技術の変遷について、また欧米諸国からの先進技術の導入と、国産技術化への発展過程について考察した。本報では、石油化学工業製品として重要な地位にあるポリエステル繊維・プラスチックの製造技術の変遷について考察する。また、ポリエステルの原料であるエチレングリコールやテレフタル酸などの製造技術については、別途報告する⁴⁾。

2. ポリエステル繊維の登場

合成繊維は、米国 DuPont 社の Carothers によるナイロンの発明開発に端

を發する。1920年代中頃までに、セルロースや天然ゴム、デンプンなどの分子量が大きいらしいことがわかってきたが、その解釈として、低分子の化合物が何らかの力で凝集した会合体として考える会合説に対して、分子そのものが大きいとする高分子説⁵⁾が長い間の論争となっていた⁶⁾。

Carothers は、ドイツの Staudinger が提唱した高分子説⁵⁾を証明するため、低分子（モノマー）から高分子（ポリマー）を合成する実験を進め、各種の高分子を合成した。その結果、2官能性の脂肪酸、アジピン酸と2官能性のアミン、ヘキサメチレンジアミンからナイロン6,6の合成を1935年に発明し、1938年には工業化に成功した。これが合成繊維の始まりである⁶⁾。Carothers は、ナイロン発明の前に、ポリエステル⁷⁾の合成も行っていたが、脂肪族のポリエステル⁷⁾であったため、融点が低く、実用的な繊維にすることができなかった。

英国の染色加工会社 Calico Printers の Whinfield らは、Carothers の研究内容を検討し、芳香族のジカルボン酸であるテレフタル酸を用い、エチレングリコールとのエステル結合による連鎖を形成することにより、融点（約260℃）の高いポリエチレンテレフタレート（PET）を得ることに成功し、1941年に特許を出願した⁸⁾。このように、ポリエステル繊維はナイロンにやや遅れて英国で発明され、その後、英国 ICI がこの特許をゆずり受けてテリレン（1955年）を、また DuPont が同様にダクロン（1953年）を工業化した。ポリエステル繊維への着手は、ICI のほうが早かったにもかかわらず、DuPont が工業化で先行した理由は、モノマーであるエチレングリコールとテレフタル酸の大量生産の基礎になる、石油化学工業の発展が両国で違っていたことによるものである⁸⁾。

日本では、英米のポリエステル繊維の開発状況を見て、1951年頃に東洋レーヨン（現東レ）と帝国人絹（現帝人）が研究を開始し、1957年にはこの2社が ICI から共同で技術を導入し、1958年からテトロン⁹⁾の生産が始まった¹⁰⁾。日産5tであった。その後、1961年頃に日本レイヨン（現ユニチカ）、東洋紡、倉敷レイヨン（現クラレ）がポリエステル繊維の事業化¹¹⁾に参入し、1968～

1969年にかけて鐘淵紡績（現カネボウ）、三菱レイヨン、旭化成が相次いで企業化¹²⁾した。日本でのポリエステル繊維の生産量は1970年に30.9万 t/yに、1995年には最大の74.3万 t/yになり、その後は減少している。

3. ポリエステルの需給と利用

1) ポリエステル繊維

合成繊維は、強度や寸法特性、耐久性、防虫・防黴性などの実用特性において天然繊維に勝るところが多く、管理された工程により製造されるため、品質の安定性も確保されている。その中でポリエステル繊維は、ナイロンやアクリルよりも遅れて登場したが、現在ではコストと性能のバランスに優れるため、世界的規模で急成長を遂げ、天然繊維を含めた各種繊維の中で、最大の生産量を占めるに至っている。

表1. 繊維の価格（2005年6月）¹³⁾

繊維の種類	価格 (円/kg)
綿花	126
羊毛	673
生糸	2090
ナイロン長繊維	330
ポリエステル長繊維	240
ポリエステル短繊維	145
アクリル短繊維	210

表2. 合成繊維の価格（円/kg）の推移¹⁴⁾

年 ¹⁾	ナイロン 長繊維	ポリエステル 長繊維	アクリル 紡績糸
2006	330	240	350
2007	390	310	600
2008	600	395	650
2009	580	385	610
2010	600	385	650
2011	600	385	650

*1 6月の価格

表1に2005年6月における各種繊維の価格¹³⁾を、表2に2006年から2011年までの合成繊維の価格の推移¹⁴⁾をそれぞれ示した。ポリエステルは合成繊維の中で最も安く、その短繊維（ステープル、SF）¹⁵⁾は綿花よりもやや高いだけである。綿花の価格は、気象条件にも左右され、また採取した時の葉や茎などの夾雑物を含むため、紡績の初期工程で取り除く必要があり、そのような手間が不要な合成繊維であるポリエステル短繊維は最も安い繊維であるといえる。

日本で最初に登場したポリエステル繊維であるテトロンの特徴として、3Wのキャッチフレーズが宣伝に用いられた。すなわち、WASH & WEAR（洗ってすぐ着れる）、WRINKLE-FREE（しわにならず型崩れせず）、WORK-SAVING（取り扱いが簡単）の3つのWである。ポリエステル短繊維は、綿やウールとの混紡にも用いられ、特に、綿との混紡のシャツ地は、ポリエステル繊維の3Wの特徴に加えて、綿の吸湿性の長が備わったため、基本的なシャツ地として定着し、現在に至っている。また、ポリエステル長繊維（フィラメント、FY）は、初期の段階から絹を目標として技術開発が進められ、加工系の形態で編織物全般に普及している。

ポリエステル繊維は衣料用だけでなく、工業材料用にも使用される¹⁶⁾。強くて、硬くて歪みにくい特徴を活かしてタイヤ補強用繊維（タイヤコード）やゴム補強材（ベルトやホース）として使用される。また、高強度、エネルギー吸収性、耐久性、耐光性などが要求されるシートベルトや、テント類などの基布や縫い糸、漁網などにも利用されている。

世界の繊維需要の推移（1990年～2010年）¹⁷⁾を表3に示した。1990年の繊維需要をみると、繊維合計が3827万tで、主要な天然繊維である綿花が1858.7万t(48.6%)、合成繊維とレーヨン・アセテートを合わせた化学繊維が1765.2万t(46.1%)であった。2000年の繊維需要合計は4974.6万tとなり、1990年の1.30倍に伸びた。また、2010年には7348.5万tになり、21世紀に入った10年間では1.48倍と急増している。これらは、急速に増加する世界人口と開発途上国の経済発展による需要増を満たした結果であると考えられる。

化学繊維と天然繊維の比率をみると、1995年に初めて化学繊維が50%超となり、2000年には化学繊維と合成繊維がそれぞれ57.2%、52.7%に達した。2010年には、化学繊維が65.0%、合成繊維が60.0%を占め、天然繊維を大きく上回るようになり、合成繊維が重要な位置を占めるようになった。代表的な合成繊維はナイロン、ポリエステル、アクリルがあり、これらの生産量の推移を表4に示した。

1970年まではナイロンが最も生産量の多い合成繊維であったが、1972年にはポリエステル繊維の生産量がナイロンを抜き、その後も拡大を続け、2010

表3. 世界の繊維需要の推移（単位：1000 t）¹⁷⁾

年	繊維計	化学繊維						天然繊維					
		計	比率 ¹⁾	合 織	比率 ¹⁾	R・A ²⁾	比率 ¹⁾	綿 花	比率 ¹⁾	羊 毛	比率 ¹⁾	絹	比率 ¹⁾
1990	38,270	17,652	46.1%	14,894	38.9%	2,758	7.2%	18,587	48.6%	1,965	5.1%	66	0.2%
95	40,897	20,813	50.9%	18,376	44.9%	2,436	6.0%	18,504	45.2%	1,489	3.6%	92	0.2%
2000	49,746	28,433	57.2%	26,218	52.7%	2,215	4.5%	19,837	39.9%	1,380	2.8%	96	0.2%
05	61,888	36,162	58.4%	33,679	54.4%	2,483	4.0%	24,375	39.4%	1,218	2.0%	133	0.2%
06	65,057	37,894	58.2%	35,260	54.2%	2,634	4.0%	25,768	39.6%	1,234	1.9%	160	0.2%
07	69,225	41,502	60.0%	38,381	55.4%	3,121	4.5%	26,330	38.0%	1,221	1.8%	171	0.2%
08	64,131	39,469	61.5%	36,704	57.2%	2,765	4.3%	23,324	36.4%	1,191	1.9%	148	0.2%
09	65,410	42,249	64.6%	39,069	59.7%	3,180	4.9%	21,853	33.4%	1,167	1.8%	141	0.2%
2010	73,485	47,740	65.0%	44,115	60.0%	3,626	4.9%	24,460	33.3%	1,132	1.5%	153	0.2%

*1 繊維合計に対する比率

*2 レーヨン、アセテート

表4. 世界の合成繊維生産量の推移（単位：1000 t）¹⁸⁾

年	合 成 繊 維									合 計		
	ナイロン		ポリエステル				アクリル	その他合繊		f	s	計
	f	s	f	比率 ¹⁾	s	比率 ¹⁾	s	f	s			
1960	359	48	36	5.1%	87	12.4%	109	22	42	417	286	703
70	1,682	221	638	13.6%	1,007	21.4%	999	39	110	2,359	2,337	4,696
75	2,083	405	1,641	22.3%	1,726	23.5%	1,388	37	71	3,761	3,590	7,351
80	2,595	556	2,094	20.0%	3,033	29.0%	2,057	40	98	4,729	5,744	10,473
85	2,771	671	2,763	22.1%	3,739	29.9%	2,378	41	123	5,575	6,911	12,486
90	3,010	728	3,978	26.7%	4,700	31.6%	2,316	43	115	7,031	7,859	14,890
95	3,138	601	6,406	34.9%	5,501	30.0%	2,441	159	118	9,703	8,661	18,364
2000	3,604	513	10,953	41.8%	8,201	31.3%	2,629	214	105	14,771	11,448	26,218
05	3,497	397	15,441	46.1%	10,969	32.7%	2,693	355	159	19,293	14,218	33,511
06	3,585	367	16,704	47.4%	11,496	32.6%	2,520	423	165	20,712	14,548	35,260
07	3,618	352	18,957	49.4%	12,449	32.4%	2,402	415	188	22,990	15,391	38,380
08	3,404	273	18,658	50.8%	11,916	32.5%	1,872	389	193	22,451	14,253	36,704
09	3,385	224	20,268	51.9%	12,544	32.1%	1,960	469	198	24,123	14,947	39,069
10	3,832	192	23,562	53.4%	13,733	31.1%	1,978	578	239	27,972	16,143	44,115

*1 合成繊維合計に対する比率

東アジアにおける石油化学工業技術発展の比較研究（3）（洪）

年には長繊維2356.2万 t (53.4%)、短繊維1373.3万 t (31.1%) となり、ポリエステル繊維生産量が圧倒的に多く、長・短繊維合わせて、合成繊維の84.5%に達している。

2010年の世界主要国のポリエステル繊維生産量³⁾を表5に示した。中国の生産量は長・短繊維合わせて2513万 t になり、そのシェアは67.4%と圧倒的に高い。今後もこの傾向は続くものと思われる。また、インド、台湾、韓国、その他アジアの生産シェア合計が25.0%となり、アジアだけで92%超になっている。

表5. 世界主要国のポリエステル繊維生産量（2010年、単位：1000 t）¹⁸⁾

国・地域	長繊維	短繊維	計	
日本	189	158	347	0.9%
中国	16,701	8,432	25,133	67.4%
韓国	785	569	1,354	3.6%
台湾	1,101	579	1,680	4.5%
インド	1,969	975	2,943	7.9%
その他アジア	1,542	1,471	3,013	8.1%
西欧	426	435	861	2.3%
東欧	56	199	255	0.7%
米州（アメリカを含む）	689	786	1,475	4.0%
その他	106	129	235	0.6%
世界	23,562	13,733	37,295	100.0%

表6. 日本の化学繊維生産量の推移（単位：1000 t）¹⁹⁾

年	化学繊維計	合成繊維			レーヨン・アセテート				
		計	ナイロン	アクリル	ポリエステル	計	レーヨン	キュブラ	アセテート
1964	832	342	119	62	86	490	436	21	33
65	879	380	118	84	97	499	437	21	40
70	1,540	1,028	303	263	309	512	429	30	53
75	1,452	1,061	278	243	445	391	311	24	56
80	1,832	1,399	318	353	625	432	340	26	67
85	1,834	1,446	315	383	653	388	297	25	67
90	1,812	1,485	289	362	717	327	223	26	78
95	1,804	1,510	215	374	743	294	158	26	110
2000	1,643	1,433	186	381	665	210	86	16	109
05	1,249	1,091	124	261	496	159	36	15	107
06	1,209	1,061	123	243	483	149	36	15	97
07	1,193	1,035	122	236	465	158	41	16	101
08	1,071	902	114	145	435	169	39	16	114
09	835	682	75	124	309	153	36	13	104
10	998	829	---	142	347	169	---	---	---

日本のポリエステル繊維生産量は表6に示したように、1995年に74.3万tの最大生産量を示した後、減少を示し、2010年には34.7万t、世界シェアは0.9%になっている。これは、近年、消費の低迷や製品輸入の増加などが影響したものであるが、他の繊維との差別化、高機能化などの高度化は大きく進んでいる。同様に、ナイロンとアクリルを含めた合成繊維生産量も1995年をピークにして減少を続けている。

2) ポリエステルプラスチック

ポリエステルは、繊維だけでなく、プラスチックとしてボトル容器や各種フィルムなどにも広く使用されている。2011年の世界のポリエステル生産量は前年比6.1%増の5827万tであり、用途別にみると、繊維66.8%、ボトル容器28.5%、フィルムほかが4.6%という構成である²⁰⁾。数量でみるとポリエステル長繊維が2457万t（前年比7.1%増）、ポリエステル短繊維が1438万t（前年比4.1%増）、ボトル用チップ1663万t（6.5%増）、フィルム用チップほかが270万t（4.9%増）になっている²⁰⁾。いずれも前年度よりも増加している。

プラスチックとしてのポリエステルは、ポリオレフィンやスチレン系ポリマーなどの汎用ポリマーに比べ、強度的にも耐熱的においても、より優れた性能をもっており、エンジニアリングプラスチックといわれることも多い。その中で、PETがボトル用に広く使われるようになった最大の要因は、ガラスに比べて耐破壊強度が高く、軽量であること、PP型多層ボトルに比べて透明度が高く、ボトル生産性が高いこと、PVCボトルに対しては廃棄物の焼却におけるダイオキシン発生問題がないことなどにある²¹⁾。

PETフィルムはT-ダイ/テンタ方式で二軸延伸され、工業用絶縁フィルム、磁気記録メディアの磁気テープ、フロッピーディスクの基板のほかに、食品包装フィルムのベースフィルムとして非常に大きなウエイトを占め、現在ではボトル用途に大きく抜かれているが、以前は繊維用途に次ぐウエイトを占めていた²²⁾。

PETフィルムは、食品包装用途の堅実な需要拡大に加えて、情報通信分野や環境・エネルギー分野の成長にけん引される形での成長が見込まれている。

そのうち光学用フィルムについては、主力用途である液晶ディスプレイなどフラットパネルディスプレイ（FPD）関連需要の好調をはじめ、タッチパネルの薄型・軽量化に向けたフィルム部材の普及により、高い成長が見込まれている。2008年の世界需要は年170万トンと推定されている²³⁾。

4. ポリエステル製造技術の進歩

1) バッチ式重合法と連続重合法

ICI社によるPETの製造は、ジメチルテレフタレート（DMT）とエチレングリコール（EG）をバッチ（回分）式に重合して行われた。DMTとEGからの重合は、常圧でメタノールを除去しつつビス-2-ヒドロキシエチルテレフタレート（BHET）を生成するエステル交換反応と、常圧から0.1mmHg程度の真空下でEGを留去しつつBHETを縮合しPETを生成する重合反応の2段階に分けて行われる^{24, 25)}。

図1にバッチ式重合のフロー²⁵⁾を示した。バッチ式重合では、単一攪拌槽にDMT、EG、触媒を送入してエステル交換を行い、次にその生成物であるBHETを単一攪拌槽の重合釜に送入し、高温、高真空下で重合してPETをつくる。PETは重合釜から吐出され、冷却後チップ化され、ブレンド後貯蔵される。チップは乾燥後、加熱により熔融されて紡糸機に送られ、長繊維や

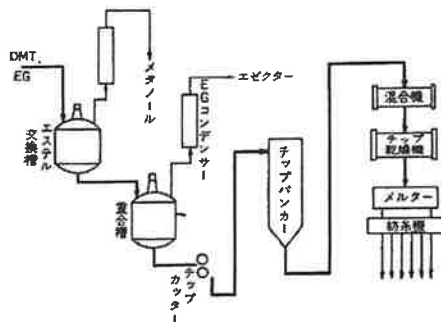


図1. バッチ式重合法フロー²⁵⁾

短繊維になる。

このような2段のバッチ式重合法に代わり、DMTとEGを使用した連続重合・直接紡糸法が東洋レイヨン²⁴⁾と帝人²⁵⁾で開発された。主原料はDMTとEGを使用し、触媒に各種金属化合物を用い、図2に示したようにエステル交換器、初期重合器、最終重合器の3種類の反応器を使用して段階的に重合を進めるようになった。DMTは溶融状態でエステル交換器に連続的に供給し、同時にEGと触媒もポンプ送液される。エステル交換で生成したBHETはそのまま初期重合器へ送り、副生したメタノールは系外に留去回収する。初期重合器では平均重合度を20～30、最終重合器では平均重合度100程度まで重合する。この際に生成するEGは留去回収する。溶融重合物はそのままポンプで紡糸工程に供給することもできる。

連続重合・直接紡糸法は、チップ化、混合、貯蔵、輸送、再溶融のステップが省略され、工程が短縮・合理化され、その結果、生産性が向上し、設備・運用コストを低減することができ、大型化も可能となった。連続重合・直接

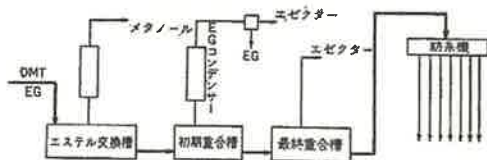
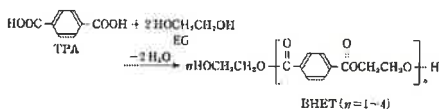


図2. 連続重合・直接紡糸法フロー²⁵⁾

〔1段目の反応〕



〔2段目の反応〕

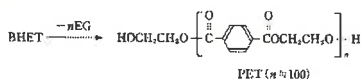


図3. テレフタル酸とエチレングリコールの直接重合反応

紡糸法は、その後、DuPont や ICI でも行われるようになった²⁵⁾。

2) 直接重合法

現在では、DMT を経ることなしにテレフタル酸 (TPA) と EG とのエステル化反応により PET を製造する“直接重合法”が工業化されている。1 段目の反応で TPA と EG の反応により BHET を得、2 段目の反応で重合度 100 程度の PET を得るものである。

当初、このような直接重合法が困難とされた理由は、DMT と同程度の純度を持つ高純度 TPA を得ることができなかつたことと、TPA と EG の反応が遅く、固液反応のために取り扱いが困難であり、EG 間のエーテル化反応が起り、エステル交換法によるポリマーに比して劣化した品質のポリマーが得られるためであった²⁶⁾。

TPA は普通の溶媒に不溶、かつ不融であつて通常的手段では精製することが困難であつた。帝人では、フタル酸ジカリウムの転移反応でテレフタル酸ジカリウムを得る Henkel 法を利用して高純度 TPA (以下 PTA と表記) の製造に成功し、直接重合法の道を切り開いた^{26, 27)}。この技術では、EG の沸点以上で反応させ、エステル化速度を向上させ、固液反応の均一化の工夫を行い、エーテル化反応を防止するために EG/TPA のモル比を調節し、金属触媒の添加を行い、エステル交換法に比して容易に高重合度ポリマーをつくることに成功した²⁶⁾。直接重合法によって得られたポリマーは、DMT を經由するエステル交換法のポリマーに比して、Zn や Mn などのエステル交換反応触媒が不用のため、熱安定性の高い、かつ末端カルボキシル基の少なく、高重合度をもつたもので、好ましい特長を有している²⁶⁾。

帝人では1963年に直接重合法による製造設備を完成し、その後逐次増設を行った。また、東レも三菱化成が安息香酸法により製造した PTA を用いて直接重合法を行った。このように日本で始まった新しいポリエステル製造法と関連して、その後、高純度 TPA (PTA) の製造については、米国の Amoco Chem.、Mobil Chem.、西独の Emser-Gelsenberg、直接重合法については米国の Chemstrand Fiber-Ind、スイスの Emser-Werke が操業に入っ

たようである²⁶⁾。

3) 固相重合法

前述の溶融重合法では、BHETに重合触媒（Sb、Ge、Ti、Snなど）を加え、減圧にして反応を開始させ、反応の進行につれて280～295℃で、130Pa以下の真空に保ち、重合を促進する。重合後、連続的に紡糸機に導き紡糸する直接紡糸法がポリエステル繊維の高い生産性の特徴である。

一方、ポリエステルはプラスチックとして、ボトルやフィルムにも用いられる。ボトル用途の場合、高い機械的強度が求められるために高レベルの重合度が必要となり、溶融重合法のみでは実用上困難である。より重合度の高いPETを得るためには、溶融重合で製造したペレットを結晶化し、融点以下の温度で長時間かけて高分子量化する固相重合法が用いられる。固相重合プロセスでは、高分子量化に加えてPET中のアセトアルデヒドや環状オリゴマーを除去する作用もあり、飲料ボトル用途として欠かせないプロセスでもある²⁸⁾。

フィラメント繊維用やフィルム・ボトル用には、連続法で従来のポリマーペレット化法が使われているが、2槽型式バッチ重縮合法や、オリゴマー製造までを連続化し、溶融オリゴマーを徐々に真空度を上げ運転するために複数のバッチ重縮合に配る方式も、多品種少量生産型グレードの製造に使われている。連続プロセスや後者の連続・バッチ組み合わせプロセスの一系列の大きさは、初期の5,000～6000t/yから、5万t/yを超える大型プラントが海外、とくに韓国や台湾などでは普通になっている²²⁾。

4) 重合触媒

ポリエステルの重合触媒として、工業的に使用されてきたものは、ゲルマニウム、チタン、アンチモンの3種類であり、繊維、フィルム、ボトルなどの用途に合わせて使用されていたが、1970年代以降は、触媒活性や色相など製品品質のバランスがよく、コストパフォーマンスに優れたアンチモン系触媒が中心に使われるようになり、現在では、世界のポリエステル製造の90%以上に使用されている。その一方で、アンチモンの健康への危険性²⁹⁾が指摘

されるようになり、環境安全に優れ、かつ競争力のある、新しい触媒が求められるようになってきている。いくつかの例³⁰⁾を紹介する。

Acordis は二酸化チタンをベースとしたポリエステルの新しい重合触媒を開発した。活性が高く、水分に安定な Ti/Si 混合酸化物を基本成分とし、環境に優しく無害である。また、全ての一般的ポリエステルの製造に使用でき、この触媒でつくられるポリエステル製品は、従来品とほぼ同等か、それに匹敵する技術的性能を示す。

DuPont も有機チタン触媒 TYZOR シリーズを開発している。これにより製造された製品は優れた物性と外観を持つが、チタン触媒はアセトアルデヒドと反応し、ごく僅かながら黄色に呈色する。この着色は真白を要する用途については添加量の制限が必要となるが、それ以外の一般用途向けについては、さほど問題ではない。

帝人も、アンチモンやゲルマニウムなどの重金属を使用しないポリマーの製造を可能にする、新しいチタン系触媒技術を開発した。この触媒技術により製造されるポリエステル製品は、環境負荷が低減するだけでなく、繊維では染色性や色の鮮明性、フィルムでは優れた平坦性を持つなど品質改良効果も併せ持つという。

5. ポリエステル繊維の高機能化

ナイロンやポリエステルの繊維工業の勃興により、化学繊維製造機械も紡糸・巻取り装置やフィラメント加工機などで高速化を競い、より生産性の高い化学繊維工業へと発展してきた。技術の歩みは、プロセスの高速化、連続化、微細な加工技術、技術の複合化などの方向で進められてきた。

日本におけるポリエステル繊維、特に長繊維であるフィラメントは、繊維製造プロセスの革新にとどまらず、絹を頂点とする天然繊維の巧みな構造特性に学び、高機能繊維の製造に取り入れられている。

1) ポリエステル繊維の紡糸

PET は半透明固体で、融点は264～265℃で、2次転移点は67～69℃である。PET は溶剤には普通溶解せず、紡糸³¹⁾ はナイロンとほぼ同様な溶融紡糸法で行われる。図4に溶融紡糸法の概念図³²⁾を示した。

溶融温度は280℃以上で、溶融粘度もナイロンよりも高い。280℃で7～10時間減圧重合させて得られるPETの溶融物を口金より押し出し、モノフィラメントにし、冷却し、チップで切断してチップにする。チップは水分を含むと加熱で加水分解が起り、解重合され粘度が低下するので、チップは溶融紡糸機に入る前に、減圧下に加熱乾燥して完全に脱水する。その後、スクリーコンベアーで溶融機に送られ、窒素気流中で270℃に加熱されている格子上で、溶融し液状となり下に落下し、一定の標線に達したら、1.2～1.5気圧でギアポンプで一定量を送り出し、金網のろ過層を経てノズルに達する。口金をでた糸条は1500m/min程度の速度で巻き取られる³³⁾。紡糸原糸はほぼ完全に非晶性で、引き続き延伸と熱処理により、分子配向と結晶化を進行させて実用繊維となる。

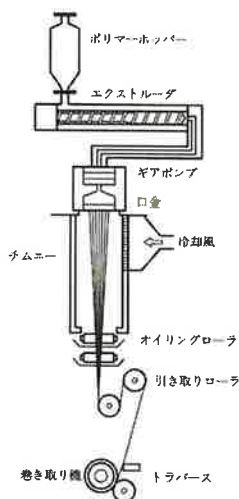


図4. 溶融紡糸法の概念図³¹⁾

2) 極細繊維

通常の合成繊維は、細いもので直径 $50\mu\text{m}$ 程度であるが、 $0.1\mu\text{m}$ （約 $9 \times 10^{-5}\text{d}$ ）程度までの極細繊維の紡糸技術が1970年代に東レで開発された³⁴⁾。一本の細い繊維の紡糸はそれほど困難ではないが、生産性の著しい低下を伴う。これを解決するため、まず第1のノズルを通過した熔融状態の多数の糸条を熔融する低分子中に走らせながら集束して第2のノズルに導くという革新的方法が開発された。第2のノズルの1本に集束された繊維は伸長されながら、冷却・固化後巻き取られる。紡糸後に低分子成分を溶解・除去すれば第1のノズルで形成された糸条は独立した細い繊維になる。

3) 複合紡糸により断面形状を制御した繊維

ノズルの形状を変えて繊維の断面を制御し、繊維の風合いを変えようとする技術はすでにレーヨンの紡糸でも開発されていたが、それとは異なった複合紡糸法によるものが開発された。2種類の高分子成分が独特の形の断面になるように設計されたノズルを使って1本の繊維に紡糸したものが複合繊維である。繊維の太さと断面の形が制御できる技術である。複合紡糸における口金技術の発達で、1成分が他成分中に高度に分散し繊維軸方向には連続的に配列した高分子相互配列体繊維（海鳥型とも呼ばれる）がつくられ、1成分を除去することにより、図5のような超極細繊維を発生させることができる³⁵⁾。

4) 超高速紡糸

紡糸速度を上げることは生産性の向上と同時に、紡糸された繊維の構造にも大きな変化を伴う。PETの場合、紡糸速度は次のように変化した³²⁾。開発

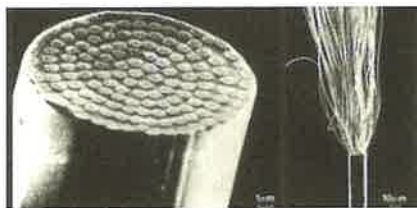


図5. 高分子相互配列体繊維（海鳥型）の断面と一成分除去による超極細繊維の発生例³⁵⁾

当初から用いられてきた1500m/min程度の速度が3000m/min程度の速度になり、紡糸原糸はほぼ非晶性であるが、わずかな結晶化と軽度の分子配向をもつ、POY（pre-oriented yarn）とよばれる状態になった。この場合にも延伸と熱処理を施し繊維化する。その後、超高速紡糸と呼ばれる6000m/min程度の速度で紡糸するようになった。この速度は、新幹線の走行速度を超える時速400kmに達するものである。この段階では結晶化が進行し、結晶は高度に配向し、構造的には繊維化が完了している。このような繊維は染色性が高く、熱収縮性が低いなどの特徴をもつため、衣料用繊維として新しい領域をつくった³⁴⁾。

5) 新合繊

衣料用の分野では、日本のポリエステル繊維メーカーが開発した silk-like な風合いを与える PET 繊維が注目されている。絹は、図6に示すようにセリンとフィブロインの2種類のタンパク質で構成されている。蚕の口から吐

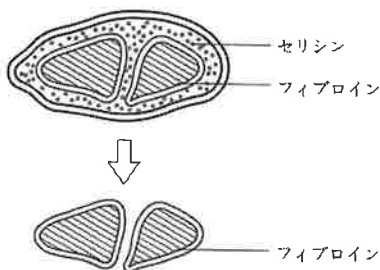


図6. 絹の断面のモデル図

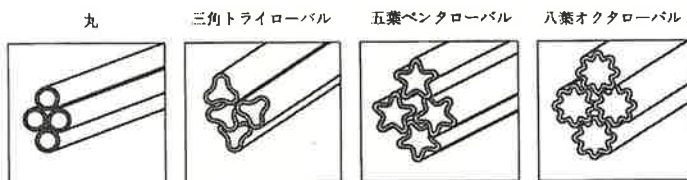


図7. 丸断面および異形断面例

出された繊維（図6）は2本のフィブロンとそれを取り巻くセリンから成り立っている³⁵⁾が、セリンが除去されると、三角断面に近いさまざまな形をしており、絹特有の光沢や衣ずれの原因と考えられている。

これをヒントにして、三角トライローバルの繊維が出現した。そのノズルの孔は図7に示したようなY字のようで、高分子の流動体には界面張力が働くので、吐出孔形と同じにならず吐出直後に丸みを帯び、突出した丸みのあるおにぎり型の断面となる。この異形断面の発想は図7のようないろいろな断面をもった繊維の登場につながった³⁵⁾。

このように、はじめは紡糸ノズルのホールの形を星型や三角形にした異形断面糸が一般化し、最近では異種ポリマーとの複合紡糸繊維や異収縮率の混合繊維などの編織を含めた加工工程の工夫などにより、嵩高で天然繊維に近い風合いをもった製品が開発されている。

高機能化にあっては、天然繊維の形態的模倣に始まり、ポリマー改質技術、複合紡糸技術、混織技術、超極細繊維技術、仮燃加工技術などを駆使して、合成繊維でありながら、1ランク上の新合織 (shingosen) と称されるようになった。

世界に通じる繊維用語になった新合織は「1980年代後半以降に開発上市された合成繊維で、新しい質感を表現できる衣料素材の総称」と定義されている。新合織として、絹の風合いを持つ合織として長い歴史をもつ「ニューシルキー調新合織」、「さらり」とした肌ざわりと涼しい感じを目指す「ドライタッチ調新合織」、短い毛羽をもつ柔らかく、温かい高級感のある薄い織物で、超極細繊維が用いられる「薄起毛調新合織」、梳毛織物のもつ風合いを目指した「ニュー梳毛調新合織」が登場した³⁴⁾。

6. アジアにおけるポリエステル製の製造と技術技術の変遷

前述のように、アジアのポリエステル繊維のシェアは92%超になっている。アジア諸国のポリエステル繊維の製造工場数と生産能力³⁶⁾を表7に示した。推定能力を含むが、中国の生産能力が圧倒的に多く、台湾、韓国、インドネ

表7. アジア諸国のポリエステル繊維生産能力（単位：t/y）

国名	工場数	生産能力 ¹	工場平均
日本	15	577,000	38,467
韓国	10	1,424,400	142,440
中国	133 以上	26,375,300 ²	123,122 ³
台湾	14	2,245,300	160,379
タイ	12	894,700	74,558
マレーシア	3	440,500	146,833
インドネシア	17	1,373,300	80,782
合計	204 以上	33,330,500	109,463

*1 2011 年秋時点の保有能力

*2 推定能力 1100 万 t/y を含む。

*3 確認されている 133 工場の平均値

表8. 日本のポリエステル繊維生産状況（1969年6月現在）

	メーカー	場所	製造法	能力 ¹	認可枠
1	帝人	松山、徳山	DMT 法、直接重合法	186.3	196.3
2	東洋レーヨン	三島、愛媛	DMT 法、直接重合法	180.8	195.8
3	東洋紡績	岩国	DMT 法	82.6	87.6
4	倉敷レーヨン	玉島	DMT 法	65.0	80.0
5	日本エステル	岡崎	DMT 法	66.0	75.6
6	旭化成		DMT 法	7.1	10.0
7	鐘淵紡績		DMT 法	7.5	10.0
8	三菱レーヨン		DMT 法	1.6	10.0

*1 単位：t/d

シアが続いている。工場あたりの平均能力を見ると、台湾、マレーシア、韓国が14万～16万 t/y、中国が12.3万 t/y であり、日本が最も低い3.8万 t/y になっている。

1) 日本

日本では、東洋レーヨンと帝国人絹がICI から共同で技術を導入して、1958年からテトロンを生産を開始し、1961年頃に日本レーヨン、東洋紡、倉敷レーヨンが、1968～1969年には鐘淵紡績、三菱レイヨン、旭化成が相次いで企業化し、8社体制が確立した。その当時（1969年6月現在）のポリエステル繊維生産の状況³⁷⁾を表8に示した。8社全てがDMT法でポリエステルの製造し、東レと帝人は直接重合法を採用し始めていた。この時点での年間

東アジアにおける石油化学工業技術発展の比較研究（3）（洪）

表9. 日本のポリエステル繊維の生産能力と技術

	会社名	工場	短繊維	長繊維	
1	帝人ファイバー	徳山	256.4		ICI技術
2	帝人ファイバー	岩国		59.4	タイヤコード用
3	東レ	三島		144.4	ICI技術
4	東レ	愛媛	226.7		全量直接重合法
5	東レ	石川		95.3	全量直接重合法
6	東レ	岡崎		77.2	タイヤコードなど産業用
7	日本エステル	岡崎	145.4	72.4	インベクタ・自主技術、全量直接重合法
8	ユニチカファイバー	岡崎		49.1	アライドケミカル技術、タイヤコード用
9	東洋紡	岩国	100.0		デュボン技術、全量直接重合法
10	東洋紡	つるが		96.7	グッドイヤー技術、タイヤコード用
11	東洋紡	つるが		69.1	自社技術
12	クラレ	倉敷	33.3		モンサント技術、全量直接重合法
13	クラレ西条	西条		27.8	ヘキスト・ウーデ技術
14	KBセーレン	北陸		92.2	全量直接重合法
15	吉田工業	黒部		32.5	バーマーク技術
16	ダイワボウポリテック	播磨	2.0		自社技術、テストプラント
	合計		763.8	816.1	

単位：t/d

生産量は31万 t/y であった。その後、生産量は増加し、1995年に74.3万 t の最大生産量を示した後、減少を示し、2010年には34.7万 t になった。

2011年現在のポリエステル繊維生産能力と生産技術³⁸⁾を表9に示した。テストプラントであるダイワボウポリテックを除くと8社15工場である。工場あたりの生産能力は、短繊維が33.3～256.4t/d、長繊維が27.8～144.4t/dであり、帝人、東レ、日本エステル、東洋紡、KBセーレンの5社8工場が自社技術で、また他の工場では、ICI、インベクタ、アライドケミカル、デュボン、グッドイヤー、モンサント、ヘキストウーデ、バーマークの技術を製品

東アジアにおける石油化学工業技術発展の比較研究（3）（洪）

	1960	1970	1980	1990	2000
事業化の状況	東レ、帝人	東洋紡 日レ、倉レ	旭・鐘紡・三レ		
生産量(千t/y)	20	310	625	720	665
製造プロセス	DMT法	直接重合法	(直接連続重合紡糸)		
	バッチ重合 紡糸+延伸	連続重合 紡糸直結延伸			
紡糸速度 (m/分)	800~1000	1500~3000		5000~7000	
感性の追求	異形(三角)断面 アルカリ減量加工 複合紡糸	異収縮混織 極細繊維	ムラ感付与 外観審美性	各種新合織	ニューシルキー ドライタッチ 薄紀毛調 ニュー梳毛調

図8. 日本のポリエステル繊維技術の系統化³⁹⁾

に依じて使用しているようである。東レ愛媛、東レ石川、日本エステル、東洋紡岩国、クラレ、KBセーレンの6工場が全量直接重合法である。

日本でのポリエステル繊維技術はたゆみなく進歩し世界をリードして、世界のトップ水準を維持している。その技術の系統化³⁹⁾を図8に示した。

ポリエステル製造法は、1960年代当初のDMTを用いたバッチ重合方式から連続重合法に変わり、さらにPTAを用いた直接重合法が採用されるようになった。また、紡糸法も連続重合紡糸からPTAを用いた直接連続紡糸へと発展し、紡糸速度も6000~7000m/minと高速化した。

繊維の感性についても大きな進歩があった。絹をモデルとして行われた異形(三角)断面繊維の追求による絹に似た光沢の発現と、織物にしてからアルカリ減量加工を施してソフトな風合いを付与する技術が日本で確立した。また、安価なポリエステル繊維と収縮率の高い共重合ポリエステルを混織し、織物としてから熱処理してふくらみを発現させ、ムラ感を付与する技術も導入された。

2種類のポリマーを用いて、繊維の太さと断面の形が制御できる複合紡糸技術により、極細繊維が開発され、外観審美性を備えた織物が開発され、各種新合織が登場するようになった。このように日本で、世界をリードするポリエステル繊維技術の開発が行われた。

ポリエステルプラスチックについても大きな進歩があった。近年では、光

学用 PET フィルム分野に大きな投資が行われている。たとえば、東レは、液晶ディスプレイ（LCD）の反射板、偏光板、タッチパネル用のポリエステル（PET）フィルム“ルミラー”を中心に生産設備を増設し、2012年8月までに供給能力を増強している⁴⁰⁾。

2011年からは、LCDの世界トップメーカーを有する韓国で反射板用フィルムの現地供給体制を確立するのをはじめ、同年夏までに韓国東レ尖端材料（TAK）で拡散板、プリズムシート用フィルムの供給能力を倍増する他、中国の儀化東レポリエステルフィルム有限公司（東レ50%出資、YTP）で現地生産を開始する。今回の追加増産は、フラットパネルディスプレイ（FPD）関連市場の中期的な成長拡大を見据えて、引き続き光学用フィルムの安定供給を維持するために実施するものとしている。

2) 中国

中国のポリエステル生産の世界に占める割合は2010年で長繊維が73%強、短繊維が62%弱にまで拡大しているが、中国でのポリエステル繊維の本格的生産は、1979年に帝人の技術協力のもとで上海石油化工公司以開始された。パラキシレン（PX）からDMTを経る短繊維の一貫生産であった。PXからPTAを経る生産は1982年に北京燕化公司で行われた。1990年には原料のPX、EGを揚子石油化工公司から受給する儀征化纖公司が設立されている。

現在、PET生産能力が5万t/yを超える企業は、長繊維が68社、短繊維が36社となっている。特に浙江省に50万t/yを超える生産能力をもつ5企業が存在する。ポリエステル繊維とその原料、加工で民営石油・石化企業が急速に発展し、なかでも江蘇、浙江両省を中心にこの分野で急速に台頭し、国有企業に代わって国内ポリエステル市場における主導的地位を占めていることを示すものである。

1995年から2003年の中国のPETの生産能力の推移をみると、1995年の約200万t/yから2003年の約1250万t/yまで急速に拡大している⁴¹⁾。2003年のPET生産量は1030万tであり、100万tの輸入量を合わせて、その用途の構成を見ると、長繊維が630万t、短繊維が367万t、ボトル用チップが115万t、フィ

ルム用チップが14万tであった⁴¹⁾。明らかに繊維用に偏っている。

その後、PET生産設備は2004年と2005年の2年間で大增設され、2005年に生産能力が2057万t/yになり、その後は年率6.6%の割合で増設が実施された⁴²⁾。2010年のポリエステル生産能力は2833万t/yであり、生産は2340万tでこの5年間は年平均11%の割合で拡大している。稼働率はリーマンショックで2008年、2009年は77～78%に低下したが、2010年は85%と近年で最高水準になった⁴²⁾。

2010年のポリエステル長繊維生産能力は2027万t/yであり、その内、直接紡糸が870万t/y、チップ紡糸が300万t/y、産業用長繊維が100万t/yである⁴²⁾。直接紡糸とチップ紡糸の比率をみると、直接紡糸が74.4%になっている。2000年の16%、2003年の30%から大きく増え、PET生産技術の向上が伺える。ポリエステル短繊維生産能力は直接紡糸が約500万t/y強であり、2005年に降横ばいである。リサイクル繊維の増加や採算性の悪さから投資が抑制されたためである。中国からのポリエステル長・短繊維と産業用長繊維の輸出は近年増加傾向にある。

中国では、化学繊維生産大国から技術強国に向けた転進を目指し、自主的な創造能力の向上を重視して構造調整と産業の循環経済発展モデルを作り上げ、実現することを目標としてさまざまな施策が執り行われてきた。たとえば、連続重合とバッチ重合の比率をみると、連続重合が2000年に76%、2003年に80%と向上し、2010年には98.9%⁴²⁾と飛躍的に向上し、ほぼ連続重合に移行している状況にある。

また、重合設備の国産化状況にも大きな力が注がれた。2001年に導入した重合設備は国産32%、輸入68%であったが、2001年～2003年に導入した連続重合設備は国産51%、輸入49%と国産化率が向上し、国産設備の仕様は、連続重合設備の容量が450～600t/d、ステーブル設備の容量は1ラインで100～150t/d、フィラメント設備は1工程方式によるPOYまたはFDYの生産を可能にした⁴¹⁾。その後も国産化率は向上しているものと思われる。

中国では、化学繊維工業の高度化を加速化している。2009年に策定された

高度化に向けた計画では、「立ち遅れた技術や生産設備の淘汰」「ハイテク繊維の工業化」「高機能・差別化繊維の開発」の三つの施策が柱になっている。その中で、老朽化した DMT 法やバッチ式重合、高エネルギー消費・低効率設備など（約230万 t）を2011年までに廃棄し、ハイテク繊維として新しいポリエステル繊維（PTT や PEN など）を工業化し、機能性繊維、環境対応繊維、多機能複合繊維などの機能糸を開発して差別化率を2008年現在の39%を2011年までに50%に引き上げる目標を掲げている⁴³⁾。

このような中で、機能糸への需要が高まって、需給にひっ迫感が出ているため、チップ紡糸の再評価が進み、これまで休止状態にあった設備の復活も見られる。特に、レギュラー糸と染め分けのできるカチオン可染糸やストレッチ性のある PBT（ポリブチレンテレフタレート）糸は、スポーツウエアやインナー用途の需要が増えているため、設備の老朽程度や差別化糸を生産する能力などにも当然関わるが、チップ紡糸への要求は根強く、小回りの利く差別化糸生産ではむしろバッチ重合が重宝がられる動きもある⁴⁴⁾。

中国での事業展開を本格化させている東レの関連会社である東麗合成繊維（南通）（TFNL）でもチップ紡糸を増設して商品を高度化しようとしている⁴⁵⁾。TFNL の月産能力は、ポリエステルが連続重合直接紡糸3500トン、チップ紡800トンであるが、チップ紡の増設工事を行っている。衣料用途が多く、難燃性やカチオン可染など価値が認識されやすい特徴ある商品の拡販を進める予定である。カーシートやファスナーなど非衣料用途は2～3割である。

3) 韓国

韓国の合成繊維の生産は1959年のビニロンに始まり、1963年ナイロン長繊維、1967年アクリル短繊維、1968年ポリエステル短繊維、1969年にポリエステル長繊維と3大合成繊維が出そろい、1970年代に入り急激な伸びを示した⁴⁶⁾。合成繊維生産量は、3大合成繊維の合計で1970年の4万 t から1980年には53万 t と12.6倍に増加している。1970年代に最も伸びが顕著であったのがポリエステルであり、長・短繊維を合わせると合成繊維の53%を占めた。

韓国における合成繊維産業の技術導入は、1979年末現在、認可40件、ロイ

東アジアにおける石油化学工業技術発展の比較研究（3）（洪）

表10. 韓国企業グループによる3大合繊の生産能力（1979年、単位：t/d）³⁶⁾

企業グループ	繊維メーカー	ナイロン 長繊維	ポリエステル		アクリル 短繊維
			長繊維	短繊維	
三星	第一合繊			700	
鮮京	鮮京合繊		665	1000	
コロン	コロン（ナイロン）	691			
	コロン（ポリエステル）		840		
暁星	東洋ナイロン	1394			
	東洋ポリエステル		710		
高麗	高麗合繊	450			
韓一	韓一合繊				237.0
三養社	三養社		310	920	
泰光	大韓化繊		300	280	
	泰光産業				108.5

単位：t/d

ヤリティ支払累計は2000万ドルであり、技術導入先は日米、特に日本に集中しており、特許よりも技術ノウハウの比率が大きいといわれている⁴⁷⁾。ポリエステルの技術導入は Chemex 社（米）、帝人、東レなどであった。1979年における韓国企業グループによる3大合繊繊維の生産能力⁴⁷⁾を表10に示した。ポリエステル繊維の生産は、三星の第一合繊、鮮京の鮮京合繊、コロンのコロンポリエステル、暁星の東洋ポリエステル、三養社、泰光の大韓化繊の6社で行われた。ナイロン長繊維はコロンナイロン、東洋ナイロン、高麗合繊で、アクリル短繊維は韓一合繊と泰光産業で行われた。

鮮京合繊は、1969年に帝人との合弁企業として設立され、帝人の技術協力で、1969年にポリエステル長繊維（水原工場、67t/d）、1975年にポリエステル短繊維（蔚山工場、100t/d）に進出している。蔚山工場の建設には、帝人グループから帝人徳山工場をモデルとした工場一式の技術移転が行われた。その後、DMT から PTA への原料転換、生産能力の拡大が図られたが、このような改良や日常の操業活動は、鮮京合繊が独力で行ったようである。1980年当時の蔚山工場の能力は150t/dに拡張され、主原料である PTA と EG は日本などからの輸入と国産が50%ずつで、生産工程は、重合・チップ化が10系列、溶融紡糸が3系列になっていた。

三星グループは、1972年に東レ、三井物産との合弁で第一合繊を設立し、

ポリエステル短繊維を50t/d 規模で生産し、その後、70t/d に拡張した。原料面では、Amoco と三井石油化学も出資した三星石油化学が1980年にPTA 設備（生産能力10万 t/y）も建設した。

ナイロン長繊維の一貫体制を確立し発展したコロングループは、1969年に東レ、三井物産との合弁でコロナポリエステル（当初は韓国ポリエステル）を設立し、1971年にポリエステル長繊維の生産を開始した。

暁星グループは、傘下の東洋ナイロンと旭化成との合弁で東洋ポリエステルを設立し、1975年からポリエステル長繊維（71t/d）の生産を開始し、2010年には570t/d に拡大している。三養社は、本来砂糖や水産品を中心とした食品総合メーカーであったが、事業を多角化するため1970年にポリエステル繊維に進出し、長繊維（31t/d）と短繊維（72t/d）を生産するようになった。泰光グループも大韓化繊で長繊維（30t/d）と短繊維（28t/d）を生産するようになったが、その規模は小さかった。

2011年の韓国のポリエステル繊維生産能力を表11に示した。帝人技術をベースにしたSK ケミカルとユニチカ技術をベースにした三養社が折半出資して設立された Huvis が全州、水原、蔚山の3か所で長繊維1160t/d（年産39万 t）、短繊維700t/d（年産23万 t）の生産能力をもつ。長繊維は世界第4位、短繊維は世界第8位の規模を誇る。

表11. 韓国のポリエステル繊維生産能力

	会社名	工場	短繊維	長繊維	
1	暁星	亀尾		144	旧暁星生活産業、1998年11月に一体化
2	暁星	蔚山		91	タイヤコード用
3	TKケミカル	亀尾		156.7	ケムテックス技術
4	コーロンファッション	亀尾		79.2	タイヤコード4万t
5	Huvis	全州・水原		233.3	三養社とSKケミカルが2000年11月に統合
6	Huvis	全州・蔚山	396.0		同上、ユニチカ・帝人技術
7	星安合繊			75.8	1998年6月に参入
8	Woongjin Chemical	亀尾		64.7	2009年にセハンから買収
9	Woongjin Chemical	亀尾	212.4		同上
10	大韓化繊	蔚山		54	東洋紡技術
11	東レ尖端素材	亀尾		50.4	1999年10月設立
12	KPケムテック	蔚山		32.9	
	合計		608.4	852.0	

単位：千t/d

第一合繊として出発し、韓国化繊産業の発展に貢献してきた Woongjin Chemical は、2009年にセハングループから買収したポリエステル製造設備と織物事業を連携させ、高付加価値繊維素材生産に注力している。短繊維の製造は Huvis に次ぐものである。東レ尖端材料（TAK）は東レセハンが前身で、ポリエステル長繊維・フィルムを生産している。

鮮京合繊から社名変更したSK ケミカルはポリエステル繊維事業をスピンオフして分社化し、ボトル用PET樹脂を主力製品に育てている。韓国で27万t/y能力をもち、インドネシアで4万t/y能力、ポーランドで12万t/y能力を企業化している。

ポリエステルフィルムはコンピュータやオーディオの磁気テープや、マイクロフィルムなどの使用される基礎素材であるが、1970年代初めは、その製造技術はデュポンをはじめとする4カ国7社が寡占していた。韓国では、鮮京化学が12 μ m以下のフィルム製造技術を完成し、900t/y生産能力の工場を建設し、1978年6月から生産を開始した⁴⁹⁾。この事業は、鮮京化学のドル箱の事業となり、現在はSKグループのSKCに引き継がれ、水原で韓国最大の13系列11万t/yのPETフィルム生産設備をもち、米国や中国にも進出している。

4) 台湾

台湾では、2004年に233万tのポリエステル繊維を生産したが、2010年には168万tと大きく減少した。世界的な不況下で、減少したものである。2010年現在のポリエステル生産能力⁵⁰⁾を表12に示した。Inventa、Zimmer、帝人、東レなどの技術が使われており、台湾最大の民間企業である南亜塑膠工業は短繊維750t/d、長繊維1230t/d能力をもつアジア最大のポリエステル繊維製造メーカーである。

今後の方向として、高機能・高性能テキスタイルの開発と非衣料用途の拡大へと進むものと思われる。化学繊維の衣料用:家庭用:産業用の構成比率は、2000年が80:10:10、2007年が62:12:26であったが、2015年には家庭用と産業用を引き上げて50:17:33とし、生産額を23%増にすることを目指している⁴³⁾。ポリエステル繊維も同様な動きをするものと思われる。

表12. 台湾のポリエステル繊維の生産能力（2010年、単位：t/d）

	会社名	工場	短繊維	長繊維	ライセンス
1	遠東新世紀	観音	200		Inventa
2	遠東新世紀	新竹	700	1050	Inventa
3	華隆	中和、頭分、鶯歌	66	792	Inventa/帝人
4	宏州化学	桃園		300	Hoechst
5	台南紡織	台南	390	400	Zimmer
6	新光合成繊維	桃園	485	500	Zimmer、東レ
7	嘉新食品化繊	観音		400	
8	東和紡織	台南	120	140	Zimmer
9	力麗	彰化		300	
10	中興紡織廠	桃園	180	305	Inventa
11	中国人造繊維	高雄		300	帝人
12	東雲	台南	550	480	Chemtex
13	聚隆繊維	彰化		90	
14	南亚塑膠工業	泰山	750	1230	Vickers/Zimmer
	合計		3,441	6,287	

7. おわりに

ポリエステル繊維は、ナイロンやアクリルよりも遅れて登場したが、現在ではコストと性能のバランスに優れるため、世界的規模で急成長を遂げ、天然繊維を含めた各種繊維の中で、最大の生産量を占めるに至っている。

ポリエステル繊維は衣料用だけでなく、タイヤ補強用繊維（タイヤコード）やゴム補強材（ベルトやホース）として工業材料用にも使用される。また、ポリエステルは、繊維だけでなく、プラスチックとしてボトル容器や各種フィルムなどにも広く使用されている。PET フィルムは、食品包装用途の堅実な需要拡大に加えて、情報通信分野や環境・エネルギー分野の成長にけん引される形での成長が見込まれている。

PETの製造は、ジメチルテレフタレート（DMT）とエチレングリコール（EG）のバッチ式重合から連続重合に発展し、さらには高純度テレフタル酸の製造が可能になり、直接重合法が登場した。紡糸方法もチップ紡糸から直接紡糸へと進化した。

このような中で、2010年の世界主要国のポリエステル繊維生産シェアをみると、中国の生産シェアが67.4%と圧倒的に高くなり、インド、台湾、韓国、

その他アジアの生産シェアを合計すると、アジアだけで92%超と圧倒的な大きさを示すに至った。

ポリエステル繊維の導入により、日本の合成繊維工業は発展を続け、次々に新しい技術開発が行われ、現在、技術開発力では世界有数の地位を占めているが、一方では、韓国、台湾さらには近年では中国などアジア諸国の激しい追い上げに合い、経営面では厳しい環境にある。過去に、ICIがDuPontにポリエステル事業を全て売り、DuPontも別会社にするなど業界も変わりつつある。これは技術の拡散が非常に早く行われ、機械の進歩が速く、設備そのもののノウハウが流出したことにある。

ポリエステル繊維の技術の歩みは、プロセスの高速化、連続化、微細な加工技術、技術の複合化などの方向で進められてきた。今後の技術開発目標としては、工場操業技術では、省エネ・省力・無人化によるコストダウン、多品種小ロット生産対応、高品質・付加価値向上、環境保全・工程内廃棄物ゼロエミッションなどの技術開発が進められるであろう。

参考文献と注釈

- 1) 洪邦夫、大阪経済法科大学論集、第103号、p 1、2012年。
- 2) 藤井三男編著、『東アジアにおける国際分業と技術移転－自動車・電機・繊維産業を中心として－』、ミネルヴァ書房、p99、2001年。
- 3) 『繊維ハンドブック2012』、日本化学繊維協会、p168。
- 4) 洪邦夫、大阪経済法科大学21世紀社会研究所紀要、第4号、p55、2013年。
- 5) 小林義郎訳、『スタウディング研究回顧』、岩波書店、p79、1966年。
- 6) 祖父江寛、『改訂合成繊維』、日本化学会編、産業化学シリーズ、大日本図書、p11、1975年。
- 7) ポリエステルとは、それぞれ2官能性の酸成分とアルコール成分とがエステル結合で交互に連鎖した構造によりなり、現在ではPETに限らず、異なった酸やアルコール成分から得られる各種ポリエステル系高分子が製造されている。
- 8) 内田星美、『新訂版合成繊維工業』、東洋経済新報社、p129、1970年。
- 9) 帝人、東レ両社は、ICIの“テリレン”の呼称が使えなかったため、商標名を一般から懸賞つきで募集し、“テトロン”と決定した。
- 10) 内田星美、『新訂版合成繊維工業』、東洋経済新報社、p193、1970年。
- 11) PETに少量のイソフタル酸を共重合したポリマーで、これらの会社は特許の抵触を避けようとしたが、後に特許紛争にいたる。当時の日本における特許に対する認識の程度を物語る歴史的イベントとなった。
- 12) 鐘淵紡績、三菱レイヨン、旭化成は基本特許切れを待って、相次いで企業化した。

東アジアにおける石油化学工業技術発展の比較研究（3）（洪）

- 13) 福原基忠、『衣料用ポリエステル繊維技術の系統化調査』、国立科学博物館 産業技術史資料情報センター 『国立科学博物館 技術の系統化調査報告』 第7集 p125、2007年3月。
- 14) 『繊維ハンドブック2012』、日本化学繊維協会、p70。
- 15) 繊維には、ウールや麻のように短い短繊維と、絹のように長い長繊維がある。短繊維はまとめてねじることにより長くつなげ、扱いやすい太さとした糸になる。長繊維も2本以上をねじることで強度が増した糸になる。合成繊維であるナイロンとポリエステルは長繊維（filament fiber）と短繊維（staple fiber）として、アクリルは短繊維としての需要がある。
- 16) 加藤哲也、向山泰司、『やさしい産業用繊維の基礎知識』、日刊工業新聞社、p50、2011年。
- 17) 『繊維ハンドブック2012』、日本化学繊維協会、p174。
- 18) 『繊維ハンドブック2012』、日本化学繊維協会、p166。
- 19) 『繊維ハンドブック2012』、日本化学繊維協会、p26。
- 20) 赤池龍二、化学経済、2011年3月増刊号、p71。
- 21) 満谷昭夫、ポリマーダイジェスト、2002年11月号、p17。
- 22) 満谷昭夫、ポリマーダイジェスト、2002年12月号、p32。
- 23) <http://techon.nikkeibp.co.jp/article/WORD/20060915/121173/>
- 24) 温品謙二ら、高分子、第17巻、第197号、p774、1968年。
- 25) 岡本佐四朗ら、化学工学、第34巻、第8号、p819、1970年。
- 26) 桜井亮一、小方和夫、有機合成化学協会誌、第24巻、第3号、p174、1966年。
- 27) 小方和夫、下郷一夫、化学、第24巻、第11号、p1025、1969年。
- 28) <http://tdl.libra.titech.ac.jp/z3950/gakuipdf/1717206/171720602.pdf>
- 29) 有害性評価書、Ver.0.4、No.132、アンチモン及びその化合物、化学物質排出把握管理促進法政令号番号：1-25、経済産業省。
www.meti.go.jp/committee/materials/.../g80312b04j.pdf
- 30) http://www.jcfa.gr.jp/news/industry/020120siten_syokubai_doukou.html
- 31) 高分子を繊維化する手段は、一般には、熔融紡糸、湿式紡糸、乾式紡糸の三つに大別される。熔融可能で変質の少ない高分子では、熔融紡糸法が選ばれる。高分子の溶融体を細孔より押し出し、冷風で冷却し、繊維状に固化させて巻き取る。普通は強度や伸度を調節するため、さらに延伸して分子を配行させる。高分子を加熱した時、分解したり、溶融体が得られない場合は、高分子を溶剤により溶解して細孔より押し出して紡糸する。その固化の手段として、加熱気体で溶剤を蒸発させながら固化させる方法が乾式紡糸法であり、凝固液中に吐出する場合を湿式紡糸法という。文献31)、p84。
- 32) 宮坂啓象、岡本三宜、『新合成繊維』、大日本図書、p87、1996年。
- 33) 文献6)、p117。
- 34) 文献31)、p19～22。
- 35) 文献31)、p108～115。
- 36) 重化学工業通信社編、『2012年版アジアの石油化学工業』、重化学工業通信社、2012年、p16。
- 37) 重化学工業通信社編、『1970年版日本の石油化学工業』、重化学工業通信社、1970年。
- 38) 重化学工業通信社編、『2012年版日本の石油化学工業』、重化学工業通信社、2012年、

東アジアにおける石油化学工業技術発展の比較研究（3）（洪）

p 254.

- 39) 文献13)、p172.
- 40) <http://www.toray.co.jp/news/film/nr100930.html>
- 41) 将士成、「中国ポリエステル工業の現状と対策」、第10回中国国際化織会議報告、<http://www.kaizenken.jp/2004/10china/page03.html>
- 42) 日本化学繊維協会 Web ページ、業界ニュース、中国のポリエステル繊維の需給、2011年2月28日。http://www.jcfa.gr.jp/news/industry/110228_882.pdf
- 43) 第15回中国国際化織会議報告、<http://www.kaizenken.jp/2009/15china/page01.html>
- 44) 繊維ニュース、2010年07月14日、<http://202.214.18.226/seninews/viewArticle.do?data.articleId=235307&data.newskey=0a10ce1186ea50d48c96be1fd73c94e>
- 45) 繊維ニュース、2012年07月23日、<http://202.214.18.226/seninews/viewArticle.do?data.articleId=259505&data.newskey=9090998aac26314c5f92cc54664aae62>
- 46) NRF-79-3総合研究開発機構助成研究『1980年代における日韓国際分業の動向に関するケース・スタディー鉄鋼・石油化学・繊維の3業種を中心としてー』、(株)三菱総合研究所、1981年10月、p 218.
- 47) 文献46)、p264～p278.
- 48) 重化学工業通信社編、『2012年版アジアの石油化学工業』、重化学工業通信社、2012年、p 95.
- 49) <http://munhwa.com/news/view.html?no=2004091501011805031002>
- 50) 東西貿易通信社編、『東アジアの石油産業と石油化学工業2011年版』、東西貿易通信社、2011年、p298.