「合成繊維の開発動向」特集

アラミド繊維の特徴と用途

野 間 隆

1. はじめに

アラミド繊維は、耐熱性・難燃性を特徴とするメタ型アラミドと、高強力・高弾性率を特徴とするパラ型アラミドに大別される。これら両アラミド繊維は、コスト／性能のバランスに優れており、高性能、高機能繊維の中で最も生産量が多くかつ今後の拡大も期待されている。

メタ型アラミドの代表が、デュボン社のノーマックス®と帝人のコーネックス®であり、パラ型アラミドの代表がデュボン社のケブラー®, AKZO社のトワロン®, 帝人のテクノーラ®である。

本稿では、アラミド繊維の特徴・用途・開発動向について述べるとともに、帝人の独自技術で開発したコーネックス®, テクノーラ®についても紹介する。

2. アラミド繊維の位置付け

アラミド繊維の種類と特徴を他繊維と比較して表1および図1, 2に示す。メタ型、パラ型アラミド繊維は、それぞれ耐熱・難燃性および高強度・高弾性率において比較した繊維の中では中程度の性能を持つ。

3. メタ型アラミドの製法と特徴

ノーマックス®とコーネックス®は、分子構造において同じポリメタフェニレンイソフタルアミドであるが、製法の違いによって若干異なった特徴を持つ。両者の製法を図3に示す。ノーマックス®が溶液重合／乾式紡糸の組合せであるのに対し、コーネックス®は界面重合／湿式紡糸の組合せである。

コーネックス®は、延伸倍率・熱処理条件を変更するこ

図1 強度 vs 弾性率

図2 耐熱性 vs 難燃性

Properties and Application of Aramid Fibers

著者紹介 TAKASHI NOMA

Quality Management Group, Tetron Fibers Tecnology & Production Division, Teijin Co.,Ltd.

帝人株式会社 繊維技術生産部門長付 管理技術グループ グループ統括

野間氏は、アラミドの重合、製糸を専門とされ、高分子学会賞を受賞されている。趣味は、スポーツ観戦、歴史、カラオケとのこと。

本稿では、テクノーラとケブラーのポリマー構造、製法の違いからくる特徴、用途の違いについて述べていただいた。

表1 アラミド繊維と他の繊維の比較

	名称	会社	構造	強度 (cN/dtex)	伸度 (%)	ヤング率 (cN/dtex)	比重	水分率 (%)	LOI
メタ型 アラミド	コーネックス	帝人	MPIA	5.0	38	64	1.38	5.5	30
	ノーメックス	デュボン	〃	3.6	31	64	1.38	5.5	30
	ケルメル	ローヌプーラン	ポリアミドイミド	3.7	17	51	1.32		33
パラ型 アラミド	ケブラー29	デュボン	PPTA	20	3.8	420	1.44	7.0	29
	〃 49	デュボン	〃	20	2.4	910	1.45	4.5	29
	トワロン	アクゾ	〃	20	3.3	460	1.44	7.0	29
	テクノーラ	帝人	共重合型アラミド	25	4.6	540	1.39	2.0	25
芳香族 複素環	PBI	セラニーズ	PBI	2.8	30	41	1.40	15.0	>41
	P-84	レンチング	ポリイミド	3.7	30		1.41		38
	ザイロン	東洋紡	PBO	38	2.5	1820	1.58	0.5	68
芳香族 ポリエステル	ベクトラン	クラレ	共重合型ポリエステル	21	3.7	510	1.40	0.05	37
高強力 ポリエチレン	ダイニーマ	東洋紡	高重合度ポリエチレン	27~31	3~5	910~1270	0.97		
	スペクトラ	アライド	〃	31	3.5	1820	0.97

図3 ノーメックス[®]、コーネックス[®]の製法

とにより、各種用途に応じたタイプの繊維を作ることができる。レギュラータイプの外、高強力タイプ、原着などの特徴ある銘柄がある。単糸太さは0.9~14.3dtexと範囲が広く、カット長も多岐にわたる。

メタ型アラミド繊維の基本物性は汎用合繊と大差ないが、耐熱性・難燃性に特徴がある。耐熱性の面では、融点・分解点・2次転移点が高い、高温においても機械的特性を失わない、長時間の熱劣化が少ないなどの特徴がある。

難燃性の面では、LOI値(限界酸素指数=試料が燃え続けるために必要な混合ガス(窒素と酸素)中の最低酸素濃度)が高い、発火点・引火点が高いことのほかに、燃焼時のガス発生量、特に有毒ガスの発生量が少ないという優れた特性を持つ。これら特性の比較を表2に示す。

4. メタ型アラミド繊維の用途と開発動向

メタ型アラミド繊維の用途開発例を表3に示す。用途は、産業資材と衣料・寝装・インテリアに大別される。各分野において他素材との競合、同じ分子構造を持つノーメックス[®]とコーネックス[®]の競合は激しい。したがって、その用途において優位に適用されるためには、基本性能である耐熱性・難燃性以外の優れた機能をもつこと、コスト/性能のバランスがよいことが重要である。

産業資材用途では、各種産業分野に関連して、バグフィルター・ドライヤーキャンバス・ランドリークロス・OAクリーナー・電気絶縁材などの織物またはフェルトとして利用される用途と、補強用短繊維としてVベルト・ホース・タイヤフラム・摩擦材・シール材・樹脂補強などの補強材、複合材用途などが主なものである。

表2 引火点, 発火点, LOI値, 発煙性, 燃焼ガス

	コーネックス	ポリエステル	ナイロン66	アクリル	塩化ビニル	木綿	羊毛
引火点(°C)	615	485	485	390	575	420	
発火点(°C)	>800	525	580	660	685	520	
LOI値	29~32	20~21	20~21	19~20	35~37	19~21	25
融点or分解点(°C)	400	255~260	250~260	不明瞭	200~210	140~150	~130
発煙性							
煙濃度(CA)	6	18	27	70	90	9	
最高排気温度(°C)	350	335	412	460	302	380	
燃焼ガス(400°C, ppm)							
CO	536	1166	1030	1633	1967	4000	1000
CO ₂	370	510	135	0	615	3300	1500
NH ₃	0	0	12	499	0	0	600
HCN	0	0	0	250	0	0	130
H ₂ S	0	0	0	0	0	0	480

バッグフィルター用途ではゴミ焼却炉関係の需要はあるが、耐熱性だけではなく耐酸性、ダスト捕集性などが要求され、メタ型アラミド繊維は苦戦している。細デニール、異型断面糸などの利用によりダスト捕集性の改良などが検討されている。

最近、電磁波シールド材や電池セパレータなどの新しい用途でも適用の可能性が検討されている。

つぎに、衣料・寝装・インテリア用途では、耐熱性・防炎性・遮熱性の特徴を生かして、消防・警察・防衛関係の救助服・防火服・航空服・執務服、また自治体などの防災服にも採用されている。また、高温だけでなく低温でも繊維の特性を保つことから、防寒衣・肌着などにも適用されている。また、航空機のブランケットなどの用途にも利用されている。

衣料・インテリア分野においては、難燃性が要求されることはもちろんであるが、衣料特性・着色性・耐光堅ろう度などの特性が求められる。メタ型アラミド繊維はこれらの特性において既存の汎用繊維に比べて劣る。

これらを解決するために、後加工では他素材との混紡・交織、原綿サイドでは原着綿・易染綿などの手段が利用される。コーネックス®では、パラ型アラミドのテクノーラ®との混紡によって接炎穴あき性を改良したエクスファイヤー®や、ポリエステルとの混紡で衣料特性を改良したエスタミド®を開発した。またコーネックス®は、湿式紡糸の特徴をいかした顔料などの添加物ブレンド糸を多種類作っている。

最近防火服用途においては、各種素材の特徴を生かした複合体・多層構造の開発が盛んになってきた。また、これらの複合材料が実際に炎にさらされた時、いかに人体への影響を軽減するかを、視覚にうったえるだけでな

く、人体各所の温度上昇、熱流束などを定量的に把握して火傷の程度を予測しようとする動きが活発である。燃焼マネキンの開発とこれの国際規格化の動きがある。

5. パラ型アラミド繊維の製法と特徴

ケブラー®, トワロン®が一度単離したポリパラフェニレンテレフタルアミド(PPTA)ポリマーを濃硫酸に溶解した光学的異方性溶液を利用してつくられたのに対し、テクノーラ®は全く異なった思想で開発された。その特徴は、PPTAの構造に第3成分としてエーテル結合を含むジアミンを共重合することであり、これによってポリマーの溶解性・糸の延伸性を良くし、光学的等方性溶液からの半乾半湿紡糸、高温高倍率延伸により高強度・高ヤング率を得ている。テクノーラ®の製造工程を図4、ケブラー®の製造工程を図5に示す。

テクノーラ®の特徴は、共重合第3成分として3,4'-ジアミノジフェニルエーテル(3,4'DAPE)を使用することによって発揮される。3,4'DAPE成分のメタ位にある-O-結合は、一見分子軸の直線性を損なうように見えるが、繰返し単位は階段状に規則正しく配列し、全体として1つの直線性が確保され、分子の剛直性を発揮する。これを図6に示す。

パラ型アラミド繊維の特徴は、高強度・高弾性率にある。ケブラー®, トワロン®, テクノーラ®3者と他素材との比較を表4に示す。

パラ型アラミド繊維は引張弾性率においてスチール、Eガラスと遜色ないが、炭素繊維にはおよばない。また、パラ型アラミド間の比較では、テクノーラ®が引張強度、耐薬品性、耐摩耗性においてPPTA繊維より優れているが、弾性率ではHMタイプのPPTA繊維の方が優れている。

表3 メタアラミド繊維の用途開発例

分野・用途			繊維製品適用例	繊維の機能
産業資材	エネルギー	原子力発電 電力、ガス 石油、石炭	排気フィルター 電絶材料(テープ、スリーブ、結束糸等) 排ガス集塵フィルターバッグ、濾過フェルト	耐放射線性 耐熱、電気絶縁性 耐熱、耐薬品性
	公害防止	製鉄、セメント 金属精練 アスファルトプラント ゴミ焼却炉	排ガス集塵フィルターバッグ	耐熱、耐薬品性 強伸度のバランス
	電気・電子	スピーカー 積層版 複写機 電気絶縁	スピーカーコーン、ダンパー、エッジ クッション材 クリーニングフェルト テープ、スリーブ、結束糸、薄葉不織布、ペーパー	耐熱、音響特性 耐熱、断熱、耐薬品
	自動車	ブレーキ、クラッチ Vベルト、ギヤー、ホース ダイヤフラム、濾過材	アスベスト代替 補強材	耐熱、耐摩耗性 摺動特性 自己潤滑性
	その他	ランドリー 製紙 建材 諸工業	ランドリークロス、アイロン台カバー プレスフェルト、ドライヤーキャンバス 屋根材 耐熱ロール、ベルト 断熱材(暖房機排気管カバー等) バックシン、ミシン糸	耐熱、耐湿熱 防炎、低発煙性 燃焼ガスの低毒性 加工性、審美性 耐低温性
衣料・寝装・インテリア	消防 警察 自衛隊		防炎外套、作業服、執務服、救助服 作業服、執務服、マフラー パイロットスーツ、迷彩服	防炎性、遮熱性 衣料特性、快適性
	電力・ガス 石油化学		作業服、執務服	防炎性、遮熱性
	製鉄等 熱職場		炉前服、前掛式保護具、溶接作業服、手袋等	衣料特性、快適性 防炎性、
	寝装 インテリア	航空機シート 寝装	ファイヤーブロッキングレイヤー シートカバー他 毛布、シーツ、ベッドパッド 枕カバー、パジャマ	耐スパッター性 防炎性、遮熱性 低発煙性 衣料特性、吸湿性
	スポーツ		レーシングスーツ、下着、靴下 アウトドア衣料、トレパン、テント等	低発煙性 耐摩擦性
	その他		ホテル、百貨店、病院等の制服 老人、身障者、幼児等の日用品	耐結露性

耐薬品性・耐摩耗性については、テクノーラ®がPPTA繊維に比べて、表面が平滑でかつフィブリル化しにくい

でこのような性質の差が出るものと推定される。この差は、分子構造・製法の違いに起因するものと考え

図 4 テクノーラ®の製造工程

図 5 ケブラー®の製造工程

表 4 パラ型アラミド繊維と他素材の比較

種類	密度 (g/m ³)	引張強度		引張弾性率		破断伸度 (%)	吸湿性 (%)
		(cN/dtex)	(GPa)	(cN/dtex)	(GPa)		
ケブラー 29	1.44	21	2.9	420	72	3.6	7.0
〃 49	1.45	20	2.8	910	130	2.4	4.5
〃 119	1.44	22	3.1	390	55	4.4	7.0
〃 129	1.44	24	3.4	690	97	3.3	6.5
〃 149	1.47	16	2.3	1000	144	1.5	1.5
トワロン(レギュラー)	1.44	20	2.8	460	80	3.3	7.0
〃 (HM)	1.45	20	2.8	870	125	2.0	
テクノーラ	1.39	25	3.4	540	72	4.6	2.0
ザイロン	1.58	38	5.7	1820	360	2.5	0.5
ベクトラン	1.40	21	3.2	510	68	3.7	0.05
ダイニーマ	0.97	30	2.9	1090	107	4.0	
スペクトラ	0.97	31	3.0	1820	170	3.5	
スチール	7.85	3.1	2.4	250	200	1.7	
Eガラス	2.54	8.7	2.2	270	70	4.0	
カーボン(PAN系, HT)	1.80	24	4.2	1270	240	1.7	
〃 (〃, HM)	1.81	14	2.5	2180	400	0.6	
〃 (ピッチ系, CP)	1.65	4.5	0.8	180	30	1.3	

6. パラ型アラミド繊維の用途と開発動向

パラ型アラミド繊維の用途開発例を表5に示す。高強度・高弾性率の特徴を生かせる用途は大きく分けて2つある。1つは繊維単独およびアラミドが主材となる用途、もう1つはゴム・樹脂・コンクリートなど各種マトリックスとの複合材料の補強繊維である。

繊維単独用途としては、ロープ・ネット・漁網などの

海洋水産用途、工事前ロープ・盛土補強などの土木建築用途などが主なものである。海洋水産用途では、ポリアリレート繊維・高強力ポリエチレン繊維との競合が激しくなっている。土木建築用途では、建築用FRP緊張材・補強材としてのロッド・コンクリート構造物の耐震補強などが注目されている。また、施工現場での工事の効率化に寄与するものとして、壁面床補強・テント基布などが開発され今後の展開が期待される。

図6 ケブラー®とテクノラ®の分子構造

表5 パラアラミド繊維の用途開発例

分野		用途例
ゴム補強	タイヤ	乗用車タイヤ, トラックタイヤ, レーシングタイヤ
	ベルト	無段変速ベルト, タイミングベルト, V-ベルト, コンベアベルト
	ホース	高圧ホース, スチームホース, ラジエーターホース, ヒーターホース
一般産業資材	ロープ・ケーブル	石油リグ繫留索, 電設エンジニアリングロープ, スリングロープ アンテナステイ, ヨットロープ, スポーツ用ネットロープ, ロープグリップ
	コード・組紐	ミシン糸, 釣糸, テニスガット, アーチェリー弦, ヒーター線コード イヤホンコード, パラグライダーコード, 光ファイバーテンショナー
	織ベルト・細巾織物	耐熱ベルト, スリングベルト, 安全帯, テープ
	重布・軽布	膜構造体, テント, ドライヤーキャンバス, 防爆シート, カバン他 ヨットセール, パラシュート
	漁網・ネット	無結節漁網, 安全ネット
	フィルター	耐熱フィルター
	不織布・ペーパー	耐熱フェルト・プリント基板・絶縁紙
	土木	盛土補強グリッド, ネット, アンカーバッグ, アスファルト補強材 沈下防止材, 耐震補強
防護衣	防弾衣	防弾チョッキ, ヘルメット
	耐切削衣	安全手袋, 安全エプロン, 安全作業衣, 安全靴, スポーツウェア
	防融衣	耐熱スパッター衣, ライダースーツ
石綿代替	摩擦材	ブレーキパッド, クラッチフェーシング
	ガスケット	エンジンガスケット
	パッキン	グランドパッキン
トセ補強	建築材	カーテンウォール, 床材, 天井材
	土木材	鉄筋代替材, パイプ, トラフ
補樹強脂	FRP(熱硬化型)	航空機部品, スポーツ用品, 産業機器部品, 圧力容器, プリント基板
	FRTP(熱可塑性)	潤滑部材, 事務機部品, 電子機器部品, ケーシング

防弾チョッキ・防刃衣料・耐切削手袋など防護衣料も大きな用途であるが、最近高強力ポリエチレンも参入してきた。防弾チョッキには、高密度の織物構造だけでなく、シート構造との組合せ品が主流となっている。また、従来はメタ型アラミドの領域であった防護衣の分野でも、最近パラ型アラミドが他素材との複合などにより強度、耐熱性を兼ね備えた素材として注目されている。

補強用繊維としては、タイヤ・ベルト・ホースなどのゴム補強に続いて、樹脂補強(FRP)、コンクリート補強(FRC)などの開発がすすめられている。

電子機器用途で最近注目されているのは、プリント基板用ペーパーである。従来のガラス/エポキシに代ってパラ型アラミドペーパーの基板が開発され、軽量化・加工性などのメリットを生かし今後の拡大が期待される。

テクノーラ®は分子構造、製造方法においてPPTA繊維と異なるため、繊維物性・繊維の微細構造に差があり特徴を発揮している。

テクノーラ®は、パラ型アラミドの用途において、その優れた高強度、耐薬品性、耐摩耗性を生かして優位に立っているところもあり、また独自の展開もされつつある。

高強度、耐熱性、耐疲労性を生かした用途としては、繊維単独使用のスリングベルトや安全ベルト、ゴム補強用途の耐圧ホース、自動車用タイミングベルト、コンベアベルト、無段変速ベルトなどがあげられる。さらにテクノーラ®とメタルファイバーを複合加工した発熱繊維(商品名:ソフテック®)は、道路に埋設して融雪車道や歩道として好評を得ている。

耐熱性、耐薬品性を生かした用途の代表例はモルタル

やコンクリート補強用途である。これまでコスト/性能のバランスが見出されず、なかなか適用されなかったが、最近になってビルの外壁補修工事に他素材との複合ネットが採用され始めたのに続き、法面補強棒工法や発砲コンクリートへの適用の検討も進んでいる。

土木関連分野では、網目構造の樹脂複合工事用資材(商品名:アテム®)や特殊な織物袋によるアンカー(商品名:ハイパックアンカー®)が開発され展開されている。

7. おわりに

高機能・高性能繊維の代表としてメタ型アラミド繊維、パラ型アラミド繊維について述べてきた。両者は、量・コストにおいて汎用繊維とは比較にならないほど少ない。アラミド繊維が繊維産業において大型繊維に成長するには、多くの高いハードルがある。

第1の課題はコストダウン、第2の課題は用途開発であり、両者は互いに影響をおよぼしながら進歩していく。コストの最大課題は原料価格であり、原料の新規な製法、安価原料を使う新規な重合法の開発が待たれる。

用途開発では、これまでの主材、補強材といった使われ方に加えて、構造体のパーツとしての用途への進出も考えられる。また、メタ/パラの複合用途もこれからの開発分野と思う。

社会全体としては、地球環境に優しい、人間に優しい方向に動いている。これに対応して、素材に対する規制強化の進行など有利な状況も現れつつある。アラミド繊維のさらなるコストダウン、用途拡大を期待したい。

第2回日本感性工学会総会講演会

21世紀の潮流 感性産業

主 催: 日本感性工学会

協 賛: 日本学術会議, 日本工学会アカデミー, (社)計測自動制御学会, (社)自動車技術会, (社)情報処理学会,
(社)繊維学会ほか

会 期: 2000年9月14(木), 15(金)

会 場: 工学院大学新宿キャンパス(東京都新宿区西新宿1-24-2)

(JR, 京王, 小田急各線新宿駅西口下車徒歩5分)

詳細は下記にお問い合わせ下さい。

〒104-0045 東京都中央区築地4-12-2 ライオンズマンション東銀座1005

日本感性工学会事務局 TEL/FAX: 03-3549-7727, <http://www.soc.nacsis.ac.jp/jske/>

又は

日本感性工学会 広報担当理事 河村 隆

〒386-8567 長野県上田市常田3-15-1 信州大学繊維学部機能機械学科

TEL: 0268-21-5425, FAX: 0268-21-5482, E-mail: kawamura@kappa.shinshu-u.ac.jp