

「PBO 繊維 ザイロンの特性と用途展開」

東洋紡績(株)繊維研究所
黒木忠雄・矢吹和之

1. はじめに

東洋紡が、98年10月から商業生産を開始したPBO繊維「ザイロン®」は、優れた力学特性と耐熱性により注目を集めている。ザイロンはポリパラフェニレンベンゾビスオキサゾール(PBO)を乾湿式紡糸して得られる^{1,2,3)}。得られた繊維は高度に配向した分子鎖からなり、非常に高い力学物性を示す^{4,5)}。本稿ではザイロンの代表的な物性とそその用途展開について紹介する。

表1 ザイロン物性一覧

	強度		弾性率		伸度	密度	水分率	LOI	耐熱性*
	g/d	GPa	g/d	GPa	%	g/cm ³	%		°C
ザイロンAS	42	5.8	1300	280	3.5	1.54	2.0	68	650
ザイロンHM	42	5.8	2000	280	2.5	1.56	0.6	68	650
パラアラミドHM	22	2.8	850	109	2.4	1.45	4.5	29	550
メタアラミド	5.3	0.65	140	17	22	1.38	4.5	29	400
スチール繊維	4	2.8	290	200	1.4	7.8	0	-	-
炭素繊維	23	3.5	1480	230	1.5	1.76	-	-	-
ダイニーマ	40	3.5	1300	110	3.5	0.97	0	17	150
PBI	3.1	0.4	45	5.6	30	1.4	15	41	550
ポリエステル	9	1.1	125	15	25	1.38	0.4	17	260

*分解温度あるいは融点

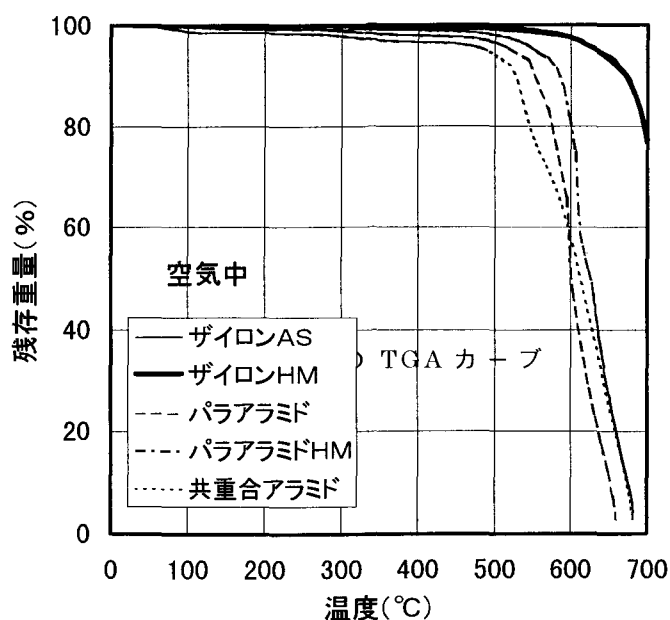
2. 基礎物性

2.1 力学物性

ザイロンには2種類のタイプがあり、紡出糸をAS、弾性率を高めるために熱処理を施した糸をHMと呼ぶ^{6,7,8)}。各タイプの物性を表1に示す。ザイロンは従来の高強度・高弾性率繊維を大きく上回る力学物性を示すことがわかる。

2.2 耐熱性・難燃性

ザイロンは非常に優れた耐熱性及び難燃性を示す。図1にザイロンとアラミド繊維のTGA曲線を示すが、分解温度はアラミド繊維より100°C高い650°Cを示す。難燃性の指標であるLOI値は68と非常に高い。難燃性は高いが、有機繊維であるので燃焼は可能である。しかし燃焼時に一酸化炭素やシアン化水素といった有毒ガスの発生が非常に少なく、安全性に優れている(図2)。高温における力学物性の保持性にも優れ、例えば動的粘弾性測定装置を用いて測定した貯蔵



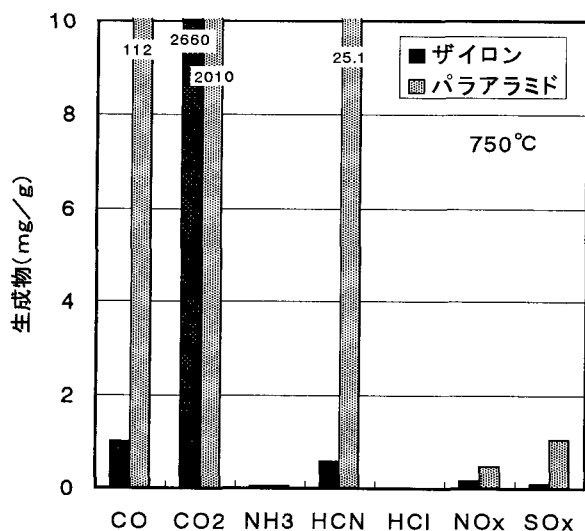


図2 分解ガス成分

弾性率の温度変化を図3に示すが、400°Cの高温においても室温の80%の弾性率を保持している⁹⁾。結晶の弾性率は400°Cまで変化しないことが確認されており¹⁰⁾、繊維微細構造の分子不整部分の緩和に起因すると推定されるが、実際に300°C付近に $\tan \delta$ のなだらかなピークが観察されている。強度の温度依存性を500°Cまで測定した結果を図4に示す。温度の上昇に伴って強度は低下するものの、500°Cにおいても室温の40%の強度を保持しており、有機繊維としては驚くべき耐熱性と言えよう。実用的には、高温熱処理後の強度保持率が必要とされる場合があるが、図5に示すように短時間であれば500°Cの熱処理にも耐え、従来の有機繊維では考えられなかった比較的低温度での金属コーティングなどの処理も可能と考えられる。

2.3 寸法安定性

図6に引っ張り強度の50%荷重下における室温クリープの測定結果をパラアラミド繊維と比較した。図6の傾きから求めたケイロンHMのクリープ速度は、高弾性率パラアラミド繊維の2倍近い荷重条件にも関わらず、1/2以下である。また、熱的寸法安定性にも優れ収縮率はほぼ0である。また平衡水分率がケイロンHM繊維では0.6%であるためパラアラミドで問題になる吸湿による寸法変化も非常に小さい。

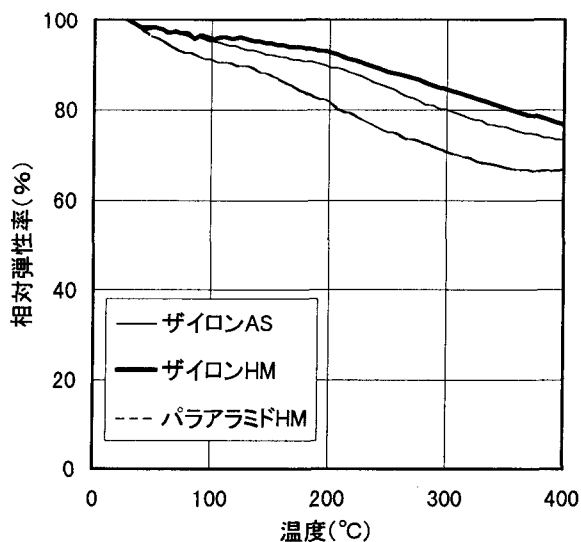


図3 弾性率の温度依存性

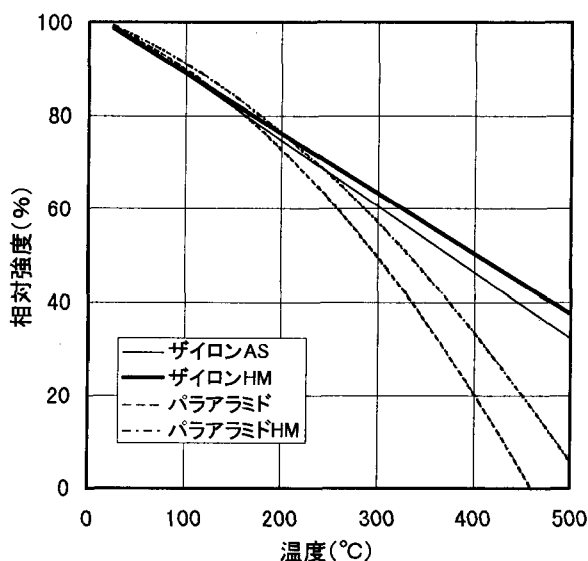


図4 強度の温度依存性

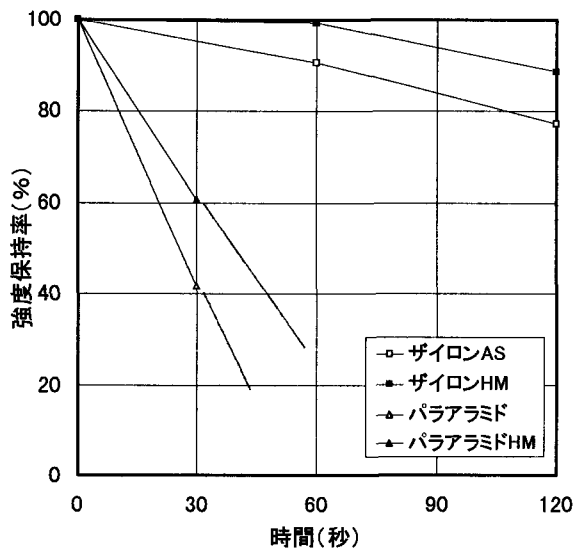


図5 500°C熱処理後の強度保持率

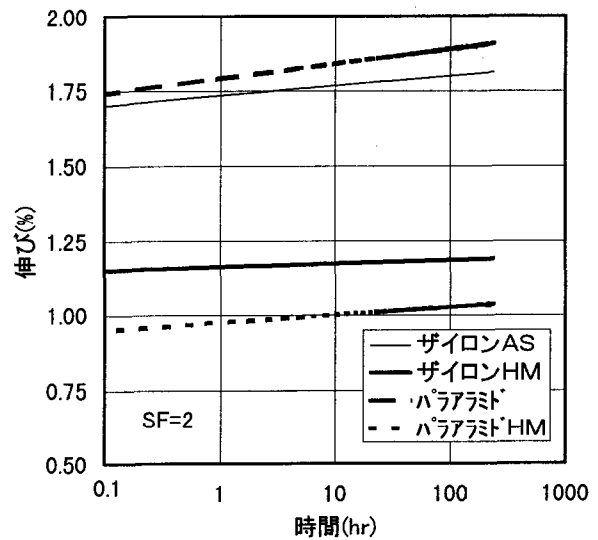


図6 ザイロンのクリープ挙動

2.3 化学安定性

ザイロンは有機溶剤及びアルカリに対して安定であり、その強度はほとんど変化しない。しかし紡糸溶媒でもある酸に対しては強度低下を引き起こすが、室温における低下率は小さい。さらに漂白剤中では、パラアラミド繊維が数十時間で完全に分解するのに対して、ザイロンは300時間後も90%以上の強度保持率を示した。

優れた熱的、化学的安定性を示すザイロンだが、耐光性には問題がある。図7にザイロンの屋外暴露試験結果を示した。2ヶ月程度で強度が約50%に低下することがわかる。パラアラミド繊維では紫外線により強度が低下するのに対して、ザイロンでは可視光領域の波長に対して強度が低下するため屋外の使用では遮光を考える必要がある。

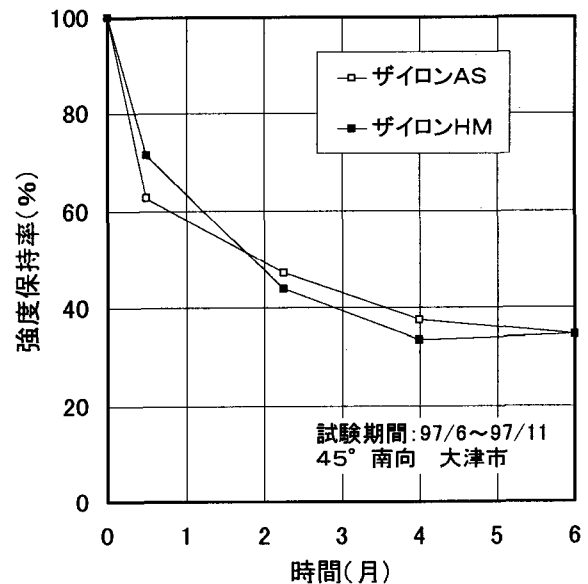


図7 ザイロンの屋外暴露試験結果

3. 用途展開

ザイロンの用途は、力学特性を活かした緊張材、補強材、防弾製品分野と、熱的特性を活かした耐熱産業資材、消防服などの防護衣分野に大別される。各分野からいくつかの用途例を紹介する。

3. 1 各種緊張材

ザイロンの高弾性率、低クリープ速度、絶縁性を活かして光ファイバーのテンションメンバーが検討されている。コードタイプ、ケーブルタイプの双方で、ケーブル径の削減あるいは同一径での通信容量の増加が可能になる¹¹⁾。

3. 2 高性能ヨットセール

競技用ヨットセールは、高強度・高弾性率繊維をフィルムラミネートした製品が主流になっている¹²⁾。補強繊維には、風を受けた場合のセールの変形を最小限に抑え理想的な形態を保つように高弾性率が要求される。ザイロンを使用することによりセールクロスの軽量化が達成できヨットの帆走性能が大幅に向上し、レースで好成績をおさめている。



写真1 ザイロンヨットセール

3. 3 耐熱クッション材

耐熱クッション材としてはアスベストが長い間使用されてきたが、周知のようにその環境問題から代替品への切り替えが進んでいる。その代替素材としては、アラミド、耐炎化繊維あるいはステンレス繊維やセラミック繊維などの無機繊維が中心に検討されている。無機系繊維は、耐熱性は満足するものの耐摩耗性に劣るため寿命が短いなどの問題も多い。さらにはアルミ合金やガラス製品の製造工程では、無機繊維の硬度に起因する製品の傷つきが問題になることも多く、有機繊維の柔らかさが望まれていた。

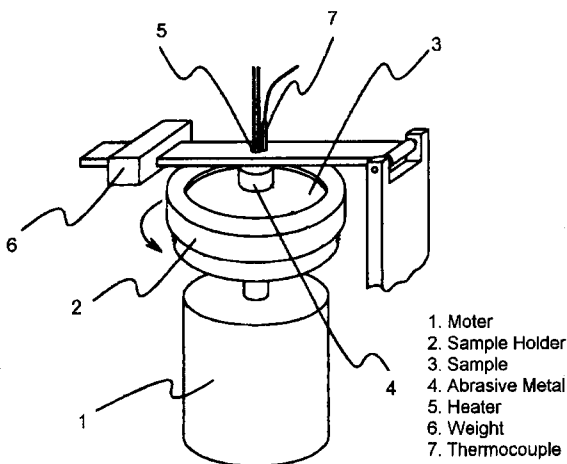


図8 高温耐摩耗性試験機

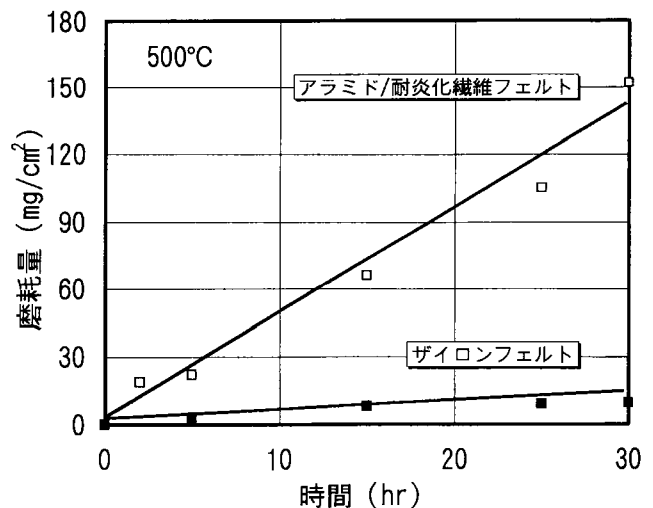


図9 フェルトの高温耐摩耗性比較

ザイロンはこうした要求に応えることのできる素材で、市場の期待が極めて高い。高温耐摩耗性を評価する為に、高温に加熱した摩擦子を一定荷重下で回転させた試料に押し付け、摩耗による重量減少量を測定する装置を試作した(図8)。図9にザイロンフェルトとパラアラミド繊維/耐炎繊維混合フェルトの試験結果を示す。500℃においては、ザイロンフェルトは非常に高い耐摩耗性を示す。具体的用途としては、アルミサッシの製造工程やガラスの製造工程における高温耐熱クッション材がある。

表3 燃焼試験結果

	ザイロン		パラアラミド		メタアラミド	
	たて	よこ	たて	よこ	たて	よこ
炭化長(cm)	0	0	3	2	6	6
残炎時間(sec)	0	0	0	0	0	0
残じん時間(sec)	1	1	16	16	2	2
LOI	68		29			

3.4 消防服

消防服素材としては、防炎加工を施した綿あるいは羊毛などの天然素材が古くから使用されてきたが、メタアラミド繊維の登場によりそれにとって代わられた。その後PBI(ポリベンズイミダゾール:セラニーズ)が登場し、LOIが41という高い難燃性を活かして特に米国でパラアラミドと混紡して消防服素材として広く使用されている。先に述べたように、ザイロンのLOIは68であり、PBIを大きく上回る。表3はザイロン紡績糸織物の燃焼試験結果をパラアラミド、メタアラミドと比較した結果である。ザイロン織物の炭化長はほとんど0であり、接炎後の強度保持率が非常に高いことがわかる。ザイロンはこのような優れた耐炎性により消防服のアウトーフアブリック素材としての期待は大きく、試作品による試着テストが行われている(写真2)。

20番手紡績糸の平織物と比較

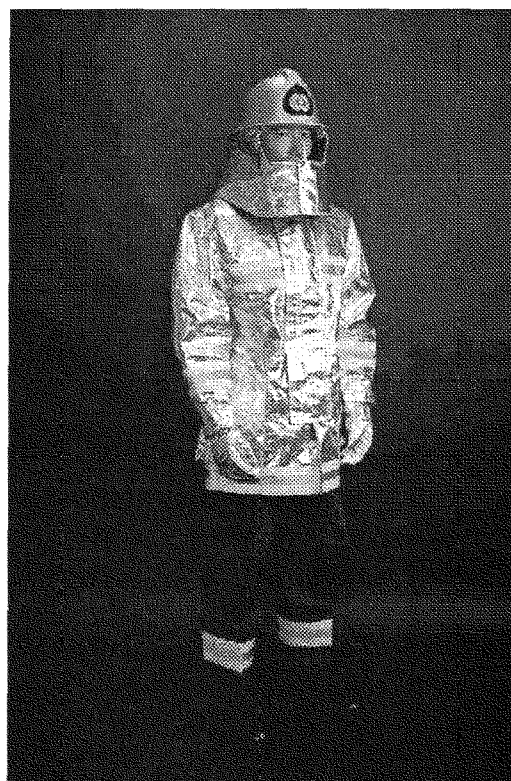


写真2 ザイロン消防服

3.5 防弾製品

古くはナイロン繊維に始まった防弾チョッキは、パラアラミド繊維、高強度ポリエチレン繊維へと高強度繊維の開発とともに高性能化してきた。ザイロンの高い比強度は防弾チョッキ素材としても有望である。米国では、従来製品より35%という大幅な軽量化に成功したザイロン防弾チョッキ

が警察向けに開発、販売されている(写真3)。

3.6 航空宇宙用途

ザイロンはその高い比強度、比弾性率を活かして、航空宇宙分野でも有望視されている。現在JPL(NASA)により計画されている金星あるいは火星といった惑星探査計画でも、ザイロンを使用することが研究されている。金星では気球を使った探査が検討されており、気球素材としてPBOフィルムとザイロンの補強材の組み合わせが検討されている¹³⁾。またザイロンコンポジットによる圧力容器も検討されている。

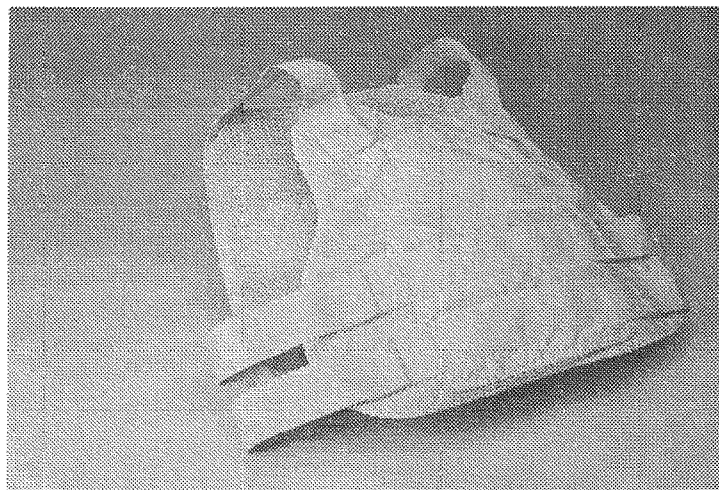


写真3 ザイロン防弾チョッキ

4. まとめ

ザイロンの特性と用途開発状況について述べた。これまで高強度・高弾性率繊維の代名詞でもあったパラアラミド繊維に対して、ザイロンは力学物性、耐熱難燃性で大きく凌駕している。従来のスーパー繊維をもってしても実現できなかった用途を開発する試みが世界中で行われおり、21世紀に向けて、その地位を着実に築いていくものと期待している。

(参考文献)

- 1) H.D.Ledbetter, et al., MRS Symp. Proc., 134,253(1989)
- 2) J.Im, et al., IFS'94, Yokohama(1994)
- 3) 寺本喜彦ら, 化学装置, 36(8), p.83(1997)
- 4) T. Kitagawa, et al., J. Polym. Sci., Polym. Phys., 36, 39(1998)
- 5) T. Kitagawa, et al., PPS-14 Yokohama, 723(1998)
- 6) 矢吹和之ら, 繊維学会誌, 52, P-143(1996)
- 7) 平畑裕嗣ら, 機能材料, 16(6), 5(1996)
- 8) 黒木忠雄ら, 繊維学会誌, 54(1), P-16(1998)
- 9) T. Kuroki, et al., J. Appl. Polym. Sci., 65, 1031(1997)
- 10) 中前勝彦ら, 繊維学会予稿集, 1995, G-149(1995)
- 11) Makoto Sato, et al., Int'l. Wire & Cable Symp. Proc., 374(1996)
- 12) B. P. Doyle, et al., 40th Int'l SAMPE Symp., 232(1995)
- 13) A. Yavrouian, et.al., AIAA-95-1617-C p.68(1995)