

重荷重気球皮膜としてのナイロン-12 フィルムの特性*

福嶋 裕†・原 俊雄†・堀口 太積†
五十嵐 真之†・宮垣 盛男†

1. ま え が き

重荷重気球の材料として従来多く使用されてきたポリエチレン-フィルムについて、われわれは各種の試験を行なってきた。その結果はすでに報告済みである [1]。また気球用ポリエチレン-フィルムの試作とその特性試験の結果が報告されている [2]。それらによると Winzen の Strato-Film がすぐれているが、それに比較して国産のポリエチレン-フィルムも常温ではほぼ同様であり、低温においてもそれほど劣らないことがわかっている。しかしポリエチレンを使用する限り、総浮力が1トン程度の気球では 35,000 m³ 級のものを作る場合、安全係数をほぼ2にとると自重が約 300 kg くらいに達してしまう。そこで従来使用されて来たポリエチレン-フィルムより高性能の新しい材料を開発することが望まれるわけである。われわれはここで、気球用材料として高い性能が期待できる新しい材料ナイロン-12 フィルム (ダイセル F-8500) を紹介し、その特性について行なったいくつかの試験結果を報告する。

2. 試 験 方 法

ポリエチレン-フィルムについて行なった水モデル試験 [1] の結果によると、二軸引張りの破断抗張力は単軸引張りの破断抗張力の 40~50% 程度とかなり小さく、また破断時の伸びも二軸引張りの場合は 10~30% で、単軸引張りの場合に比べてはるかに小さい。ところが実際気球に働く力は不均一な二軸引張りだから、測定 of 簡単な単軸引張りの試験結果をそのまま気球用材料の強度と考えるはいけない。そこでわれわれは、水圧を利用した二軸引張りの試験装置により、実際に近い状態で、(イ)降伏点抗張力、(ロ)疲労、(ハ)破断、の試験を行なった。使用した試験装置の概略を図1に示す。図中 (A) は直径 18 cm の円筒で、上部に注水パイプ (B) と、水深測定用の物指 (D) に沿わせてパイプ (C) が円直に取り付けてある。また試料は円筒の下部 (E) に粘着テープ (F および G) で固定するようになっている。試料に圧力を加えたとき、その底部は図2の写真に示したように非常によく精度で球形とみなせる。したがってその球の最下点から高さ d における断面の直径 x を測定すれば試料の曲率半径は、 $r = x^2/8d + d/2$ で与えられるので、その値と水圧とから均等な二軸引張りに相当する張力を求めることができる。われわれは試料の最下点から 0.275 cm および

* 宇宙研特別事業費による論文

† 神戸大学理学部

‡ 神戸大学教養

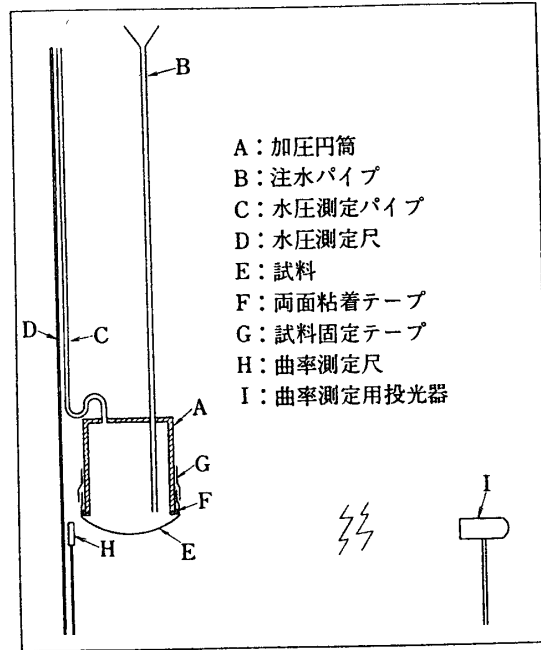


図 1 二軸引張り試験装置の概略

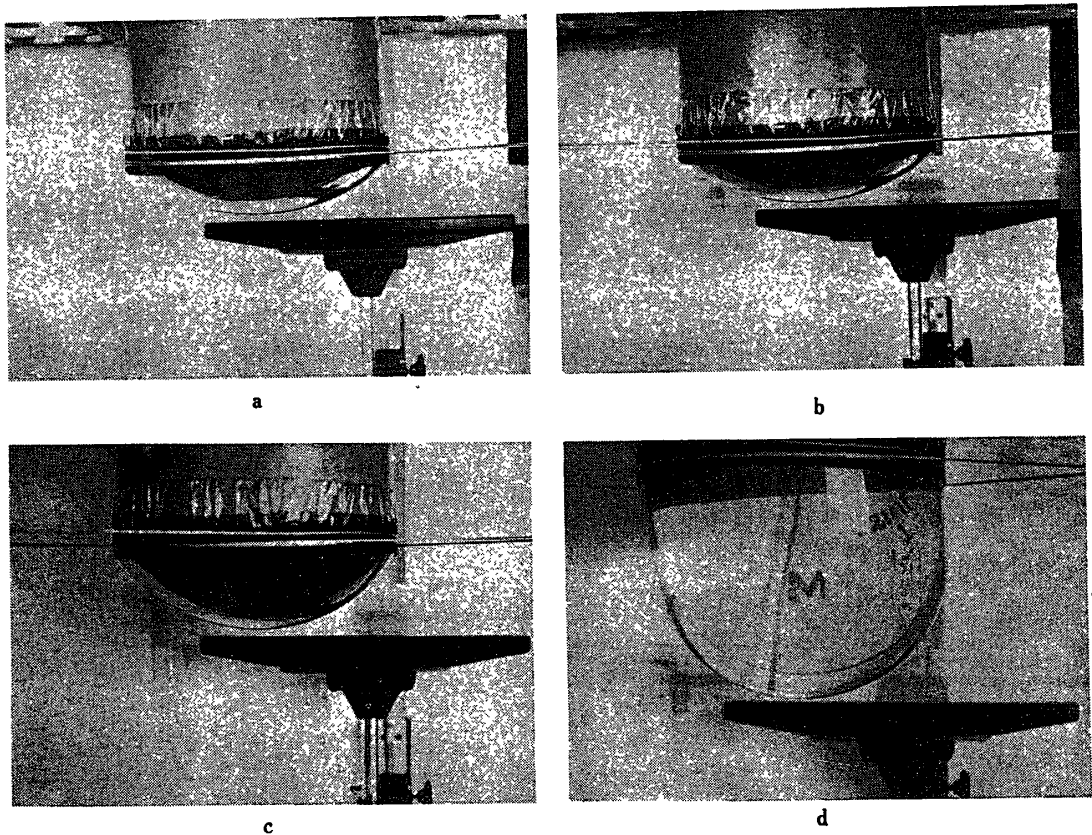


図 2 (a) 降伏前 (b) 降伏点 (c) 降伏後 (d) 破断直前

0.470 cm のところの断面の直径を測定し、球近似が非常によい精度で成り立つことを確認しながら、曲率、水圧、フィルムの伸びを測って強度試験を行なった。

3. 試験結果

(イ) 降伏点抗張力

F-8500 について行なった二軸引張り試験の結果の一例を図3に示す。縦軸は張力、横軸は伸びで、△は材料のM方向、○はT方向を示す。F-8500 では、M方向、T方向ともに約10~15% 伸びたところで降伏し、M方向は130~180%、T方向は200~250% 伸びたところで破断する。

F-8500 とポリエチレン-フィルム (NUC-5505) の降伏点における抗張力を表1に示す。また降伏点付近までの伸びと張力の関係を図4に示す。図4aはF-8500、図4bはNUC-5505 についての側定結果である。

表1より明らかなように、F-8500 では、伸びが11~12% 程度で降伏点に達し、そのときの抗張力は $208.4 \pm 14.2 \text{ kg/cm}^2$ である。それに対し NUC-5505 では、やはり11~12% 伸びたところで降伏し、そのときの抗張力は $70.6 \pm 6.9 \text{ kg/cm}^2$ で、F-8500 の約3分の1に過ぎない。すなわち、ナイロン-12 フィルムは、常温ではポリエチレン-フィルムの約3倍の強度を有する。

(ロ) 疲労試験

上述の二軸引張り試験の装置で水圧を調節することによって張力を一定に保ち、疲労試験を行なった結果を図5に示す。図5aは降伏する少し前のところまで変形させてから、張力を 199 kg/cm^2 に保ったときの疲労の様子を示すものである。また図5bは降伏点を少し越したところまで変形させてから、張力を 203 kg/cm^2 (▲)、および 186 kg/cm^2 (●) に保つ

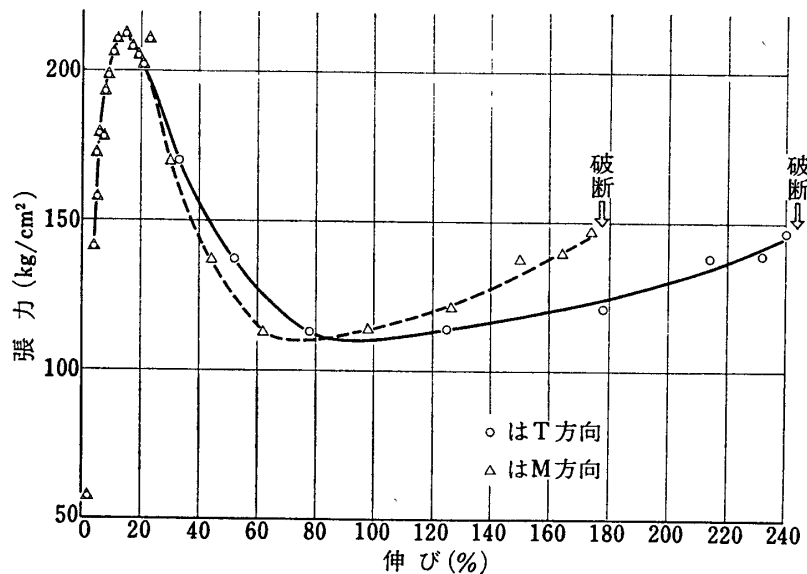
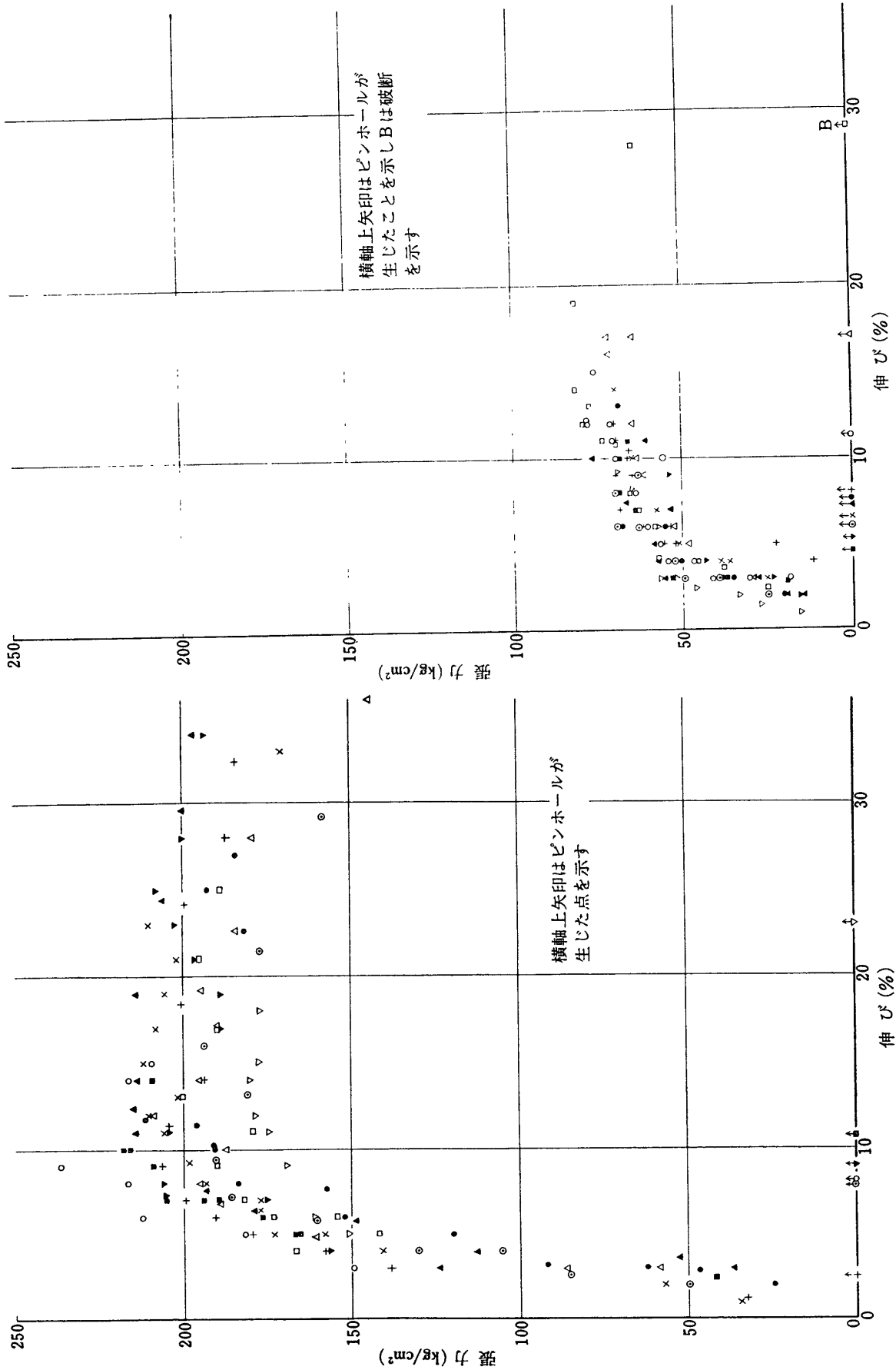


図3 F-8500 の二軸引張り応用-ひずみ曲線



(a) F-8500 の応力 - ひずみ曲線

(b) NUC-5505 の応力 - ひずみ曲線

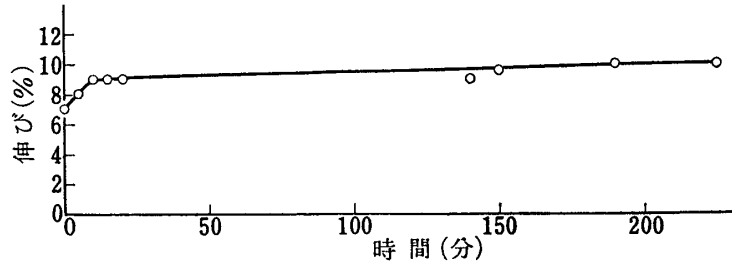
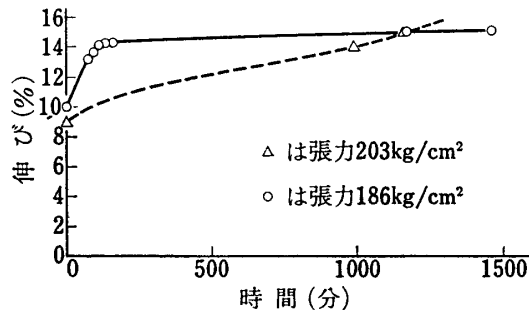
図 4

表1 降伏点における抗張力及び伸び

F-8500	資料番号	降伏点抗張力 (kg/cm ²)	伸び (%)		平均の厚さ (μ)
			T 方向	M 方向	
F-8500	7-22-1	206.3	8.0	8.0	31.5
	7-24-1	218.8	10.0	10.0	31.0
	7-25-6	212.1	15.0	15.0	33.3
	7-26-6	206.6	9.0	8.0	32.8
	7-27-3	216.1	14.0	16.4	32.7
	7-27-5	215.2	12.0	10.0	30.5
F-8500	7-21-1	236.6	10.0	10.0	15.0
	7-26-4	209.0	12.0	13.2	15.0
	7-27-4	190.4	9.4	10.0	16.2
F-8500	7-13-1	179.7	13.0	14.0	22.6
	7-13-5	201.1	13.0	12.0	22.6
平均		208.4 \pm 14.2	11.3	11.5	

NUC-5505	資料番号	降伏点抗張力 (kg/cm ²)	伸び (%)		平均の厚さ (μ)
			T 方向	M 方向	
NUC-5505	7-22-2	68.3	13.0	13.0	38.5
	7-22-3	69.5	14.0	14.0	38.0
	7-24-2	71.4	15.0	17.0	39.2
	7-25-1	81.7	14.0	16.0	55.0
	7-25-2	76.4	10.0	11.0	51.3
	7-25-3	68.5	8.0	10.4	53.7
	7-25-4	78.1	12.4	12.4	52.0
	7-25-5	70.8	12.0	14.0	55.0
	7-26-1	69.1	6.0	8.0	54.3
	7-26-2	69.3	9.0	10.0	53.7
	7-26-3	53.7	9.0	8.0	53.4
	平均		70.6 \pm 6.9	11.1	12.2

て調べた疲労の様子である。図 5c は破断直前の状態まで変形させ、その後張力を 110 kg/cm² に落として一定に保ったときの疲労の様子である。以上の結果から、第一に約 200 kg/cm² の張力が定常的に加わっても、20 時間以上十分耐えることができ、15~16% 以上変形することはないこと、第二に何らかの原因で破断直前の状態 (150~160%) まで変形しても、その後に働く張力が約 110 kg/cm² 程度であれば、40 時間以上破断することはないことがわかる。比較のために 50 μ 厚の Strato-Film について行なった疲労試験の結果 [1] を図 5d に示しておく。

(a) 降伏前の状態での疲労曲線 (張力 199 kg/cm²)

(b) 降伏後の状態での疲労曲線

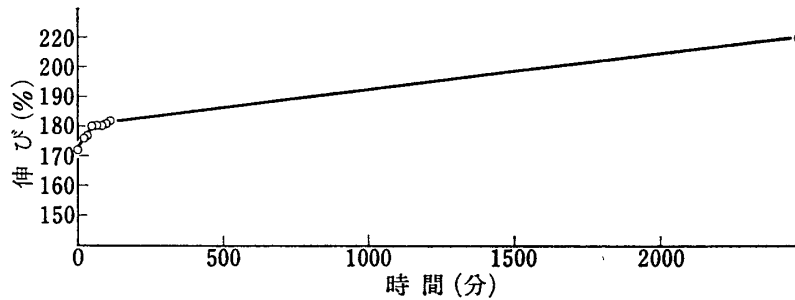
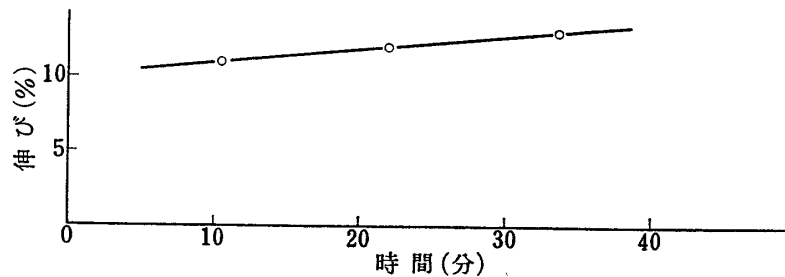
(c) 破断直前の状態での疲労曲線 (張力 110 kg/cm²)(d) Strat Film の疲労曲線 (張力 76.4 kg/cm²)

図 5

(ハ) 破断の様子

破断の様子はナイロン-12 フィルムとポリエチレン-フィルムで著しく異なっている。ポリエチレン-フィルムでは多くの場合降伏に近い状態でピンホールを生じ、フィルムが10~20% 伸びるまでにそれが大きく成長して水圧に耐えられなくなる。したがってはっきり

りした破断強度を求めることはできないが、図4bからわかるように、二軸引張りでは降伏点抗張力以下だと考えられる。一方ナイロン-12フィルムの場合、一例を図3に示したように、M方向が約130~180%、T方向が約200~250%伸びたところで一気に裂けるように破断する。それまでにピンホールを生じることは少なく、まれにピンホールを生じた場合でも約200%伸びて破断するまで、ピンホールはほとんど成長しない。F-8500の二軸引張りの破断抗張力は、試験前の厚さが30 μ のフィルムで460g/cm程度である。

4. ナイロン-フィルムの可能性と問題点

今回試験したダイセルF-8500フィルムの厚さは、公称15 μ および30 μ のフィルムであるが、その厚さは13.7 \pm 3.0 μ および30.9 \pm 0.9 μ で、厚さむらは気球用に製作されたポリエチレン-フィルムに比べてかなり大きい。上述の抗張力および破断強度の数値は平均の厚さに対応するものなので、実際の強度はその約20%程度は大きい。また疲労試験の結果も、気球用材料として十分であるといえる。ただナイロン-12フィルムは、ポリエチレン-フィルムと比較して引裂きに弱いことが難点である。しかし引裂きについては、参考のために表2に示したダイセルKKの公開資料にもあるとうり、マイラーよりは強いことが知られている。また二軸引張りで降伏に近い状態に保ちながら、鋭利な刃物で傷をつくる試験を行なったが、その場合もナイロン-12フィルムでは傷が急速にひろがることはなく、マイラーとは著しい違いを示している。これらを考えあわせると、マイラーは引裂きに対する弱さから単独では気球用材料として実用化できなかったが、ナイロン-12フィルムは、定性的ではあるが気球用材料として十分な強度があると考えられる。

表2 F-8500の一般的性質

性質	単位	F-8500	ポリエステル	高密度ポリエチレン	備考	
比重		1.01~1.02	1.38~1.41	0.94~0.96		
融点	°C	175~180	265	125		
吸水率	%	1.4	<0.8	なし	20°C 水中	
機械的性質	降伏点強度	kg/cm ²	330~450	1,200	100	
	破断強度	kg/cm ²	600~800	2,000~2,500	170~450	
	破断伸度	%	300~550	70~100	10~650	
	引張弾性率	kg/cm ² ×10 ³	6~12	35~50	3~6	
	衝撃強度	kg-cm	15~25	5~10	2	
	引裂強度	g/mil	12~30	4~8	8~300	
脆化温度	°C	-79	-59	-45		
酸素ガス透過度	cc/m ² ·24 hr·mil	750	40	1,300	20°C	
透湿度	g/m ² ·24 hr·mil	75	50	10	40°C 90% R. H.	
燃焼性		徐燃~自消	徐燃~自消	徐燃		

ダイセル KK の公開資料による

またナイロン-12 フィルムの融点は 175~180°C でポリエチレン-フィルムよりも高い。しかしナイロン-12 フィルムは熱熔着，超音波接着，高周波接着が可能であるので，気球の量産には好都合な面がある。われわれは実用的で十分な強度が得られる熱熔着方法を試験検討し，かなりよい成果を得たが，目下さらに改良を重ねて試験を行なっているので，結果は別の機会に報告したい。

以上を総合すると，ナイロン-12 フィルム（ダイセル F-8500）は，マイラーとポリエチレンの中間的な性質を持っており，重荷重気球用材料としてかなりの可能性を有していると考えられる。今回試験に使用したダイセル F-8500 は，大折径（折径 100 cm）の試作品であるために，厚さむらや等方性にあまり注意がはらわれていない。したがって今後一層均質なフィルムが得られるものと期待できる。それゆえわれわれは，低温における材料の特性や，最も適当な接着方法等の検討を続けている。

謝 辞

材料試験全般にわたって有益な議論を下された皆川 理，藤岡伍郎，両先生に感謝します。また，ナイロン-12 フィルム，その他の材料や各種資料の提供など，試験に御協力下されたダイセル株式会社フィルム営業部の方々の御好意に感謝します。

1973年1月31日

参 考 文 献

- [1] 皆川 理ほか：大気球シンポジウム報告，昭和43年度 p. 42
福嶋 裕ほか：大気球シンポジウム報告，昭和45年度 p. 127
- [2] 強度試験についてはたとえば
河田幸三ほか：大気球シンポジウム報告，昭和42年度 p. 25
河田幸三ほか：大気球シンポジウム報告，昭和43年度 p. 33
岡本 智：大気球シンポジウム報告，昭和43年度 p. 46
河田幸三ほか：大気球シンポジウム報告，昭和45年度 p. 140
河田幸三ほか：大気球シンポジウム報告，昭和46年度 p. 34
材料開発についてはたとえば
岡本 智：大気球シンポジウム報告，昭和45年度 p. 130
岡本 智：大気球シンポジウム報告，昭和46年度 p. 25