

# ポリエチレン系気球皮膜材料の力学物性と 気球皮膜に必要な強度規格について

河田 幸三・本 堂 明・橋本 彰三・佐藤 正

## 1. ま え が き

われわれは数年前から大気球開発の一環として気球用材料としてのポリエチレン系などの皮膜の力学物性について研究調査を行ってきた[1]~[7]。研究開始当初、文献[1]および気球材料懇談会\*で報告したように、初期の国産皮膜ではM方向に比しT方向の特性、特に低温特性が劣り、なかんずく、 $-80^{\circ}\text{C}$ でのT方向の破断伸び $\varepsilon_T$ が7%程度で小さいことが見出され、これが気球の縦裂けの一因をなしていると考えられること、この点の改善が国産気球皮膜開発の一つの目指すべき方向であることが指摘された。 $-80^{\circ}\text{C}$ での $\varepsilon_T$ はこれまでのところ、WinzenのStratofilmがすぐれており、事実、気球としての飛しょう性能も同filmによるものはすぐれていた。

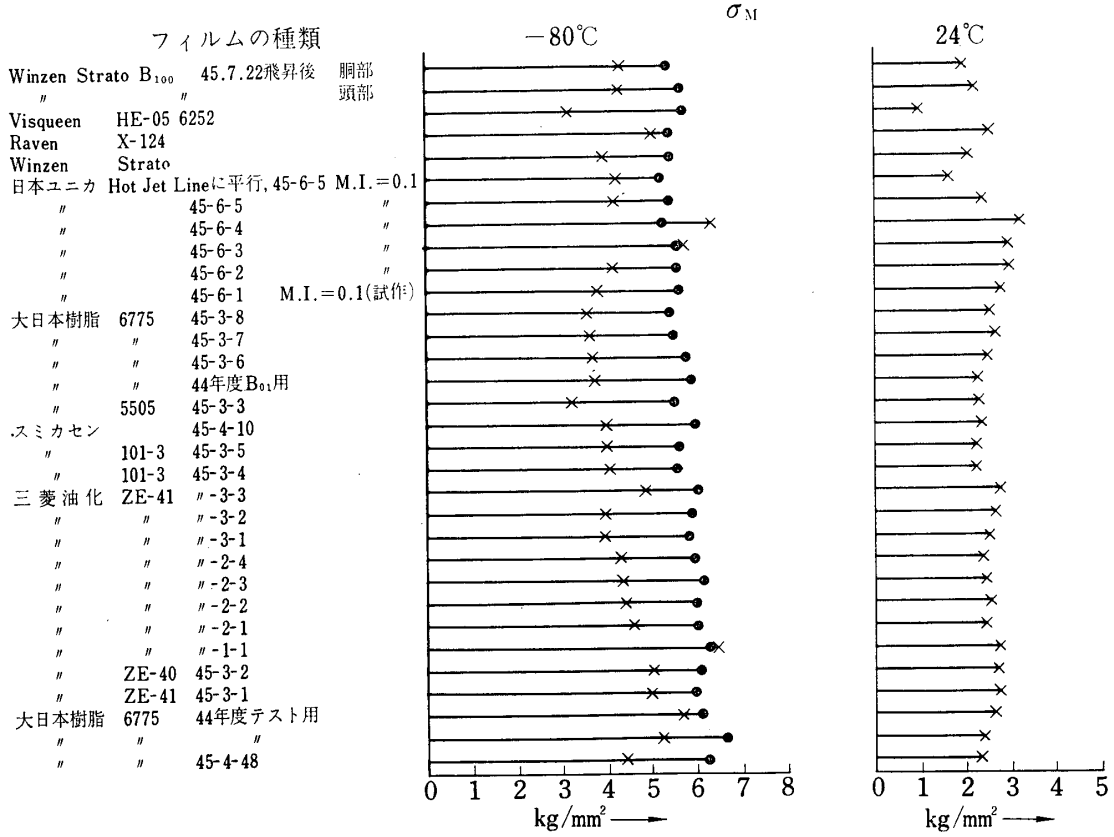
以後、国内でもすぐれた力学物性をもつ皮膜を得るべく研究が進められてきたが、今年度の実測において45年度国産の皮膜中に、力学物性の非常に良好なもの(01と仮称)が見出された。その結果について報告する。同皮膜(M.I.=0.1)の成型その他については、別項岡本 智氏の報告[8]をあわせ参照されたい。

つぎに、わが国での大気球研究も著しい進展をなしつつあるとあってよい。皮膜材料の力学物性の分野でもかなり広範囲にわたる研究が行なわれてきたが、これらの研究と実際上の経験を集積し、その標準的な試験方法およびその規格の設定がほぼ十分な根拠に基づいて行なわれ得る段階になりつつあると思われる。この点に関しては、筆者が1970年3月9日、気球工学部門の広沢春任助教授とNCAR(Boulder, Colo., U.S.A.)を訪れた際、Dr. Hauserらの人々との討論において、標準的試験方法と規格の設定に参考となり得る二、三の知見を得たのであわせで紹介しておきたい。

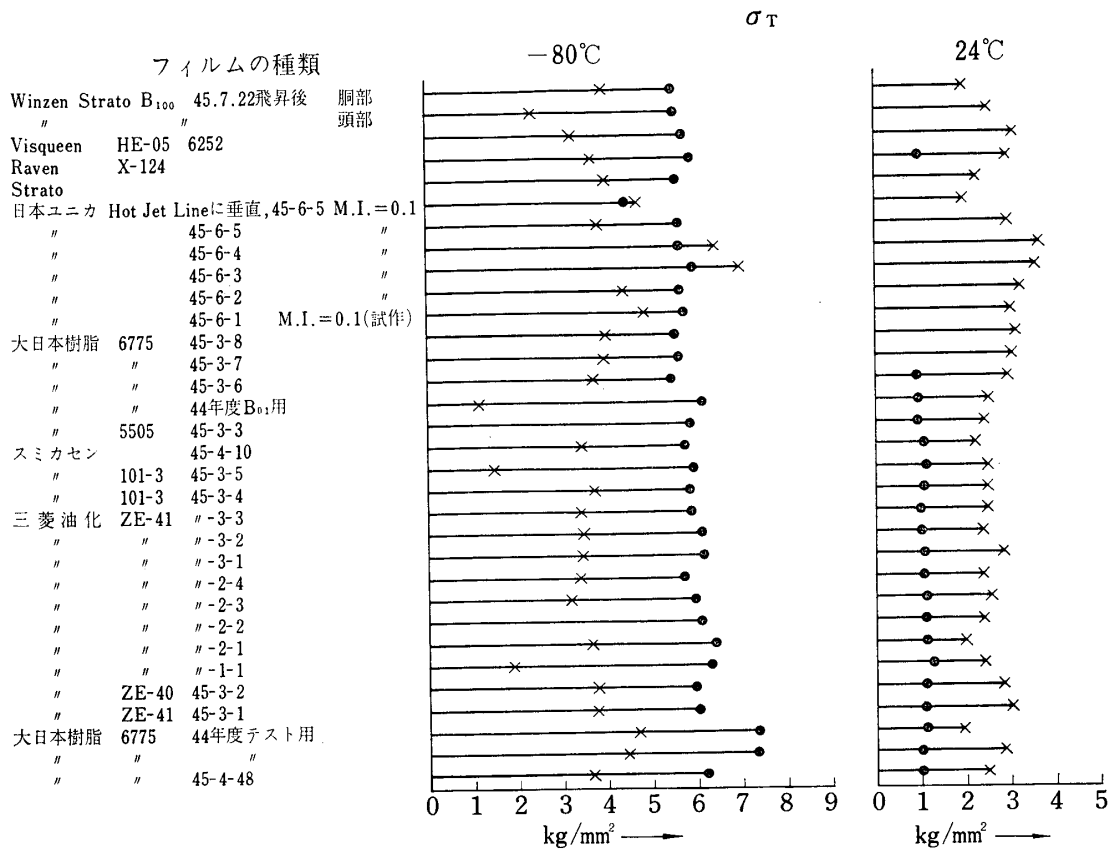
## 2. 皮膜材料の力学物性の実測結果

45年度入手の諸皮膜材料について室温および低温( $-80^{\circ}\text{C}$ )における単軸引張りを行なった結果を第1表および第1~4図に示す。表中、 $\sigma_1, \sigma_2$ はそれぞれ上降伏点、破断応力； $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ はそれぞれ上降伏点ひずみ、破断ひずみを示す。また、図中の $\sigma, \varepsilon$ はそれぞれ応力、ひずみ；M, TはそれぞれM方向、T方向； $\bullet$ は上降伏点値、 $\times$ は破断点値を示す。( $\bullet$ は上

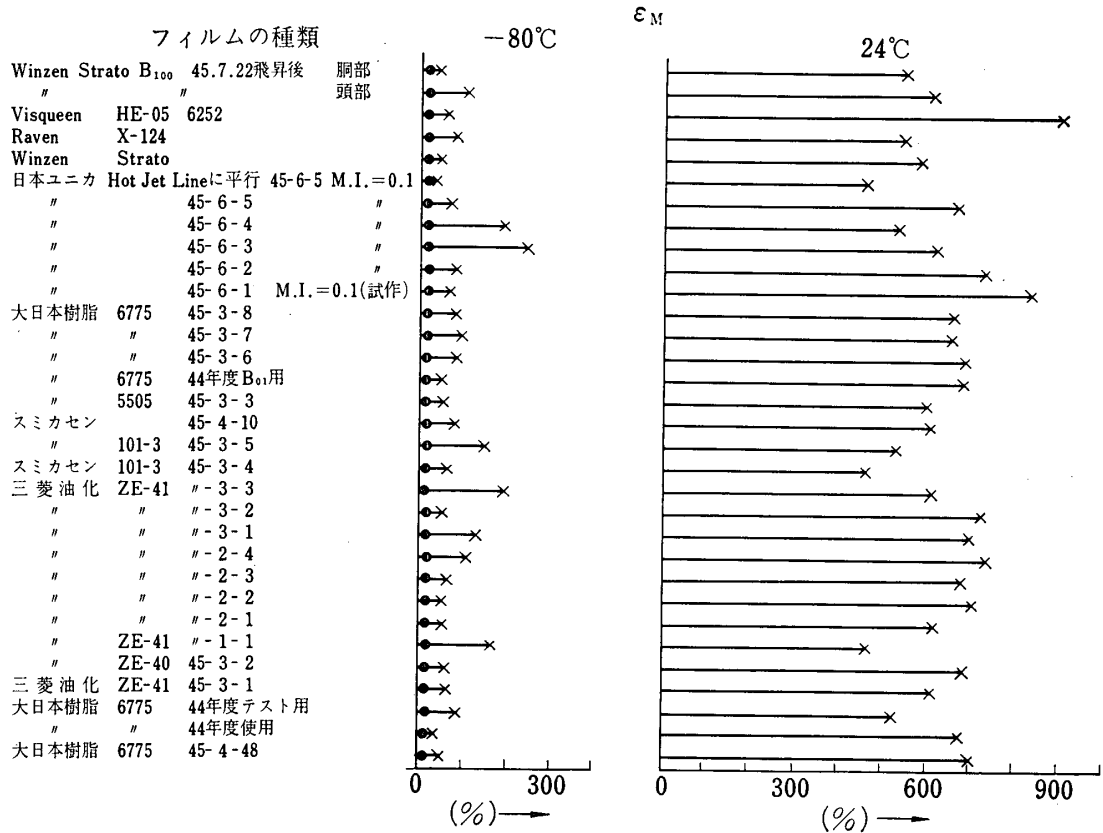
\* 宇宙研を中心とする気球皮膜材料の研究、検討結果や方針は、気球材料懇談会で討議され共通の理解とされるようにされている。特にメンバーは固定していないが、出席者はほぼ、平尾(収)、神戸、倉谷、河田、西村、小原、三田、岡本、藤井の諸研究者(順不同)である。



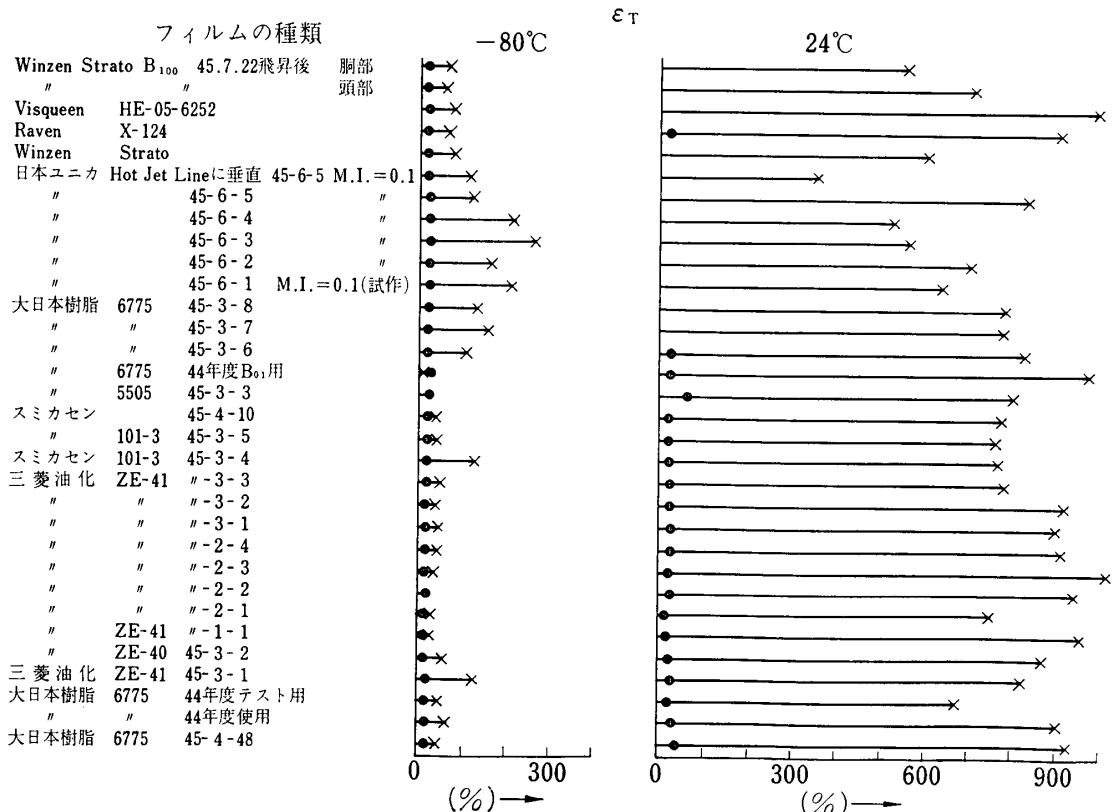
第1図 45年度入手皮膜材料の単軸引張りでの $\sigma_M$



第2図 45年度入手皮膜材料の単軸引張りでの $\sigma_T$



第3図 45年度入手皮膜材料の単軸引張りでの $\epsilon_M$



第4図 45年度入手皮膜材料の単軸引張りでの $\epsilon_T$

第1表(1) 45年度入手皮膜材料の単軸引張り力学物性

メーカー	型	試片 No.	方向	厚さ $\mu$	$\sigma_1$ kg/mm <sup>2</sup>	$\sigma_2$ kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_1$ %	$\epsilon_2$ %	温度 °C	曲線
大日本樹脂	6775		M	20.7	6.30	4.48	9.5	55	-80	
			T	20.1	6.18	3.64	8	34	"	
	M		21.6		2.28		701	23		
	T		21.0	1.01	2.50	42	929	"		
"	6775		M	23.4	6.67	5.18	11.3	28.3	-80	
			T	18.0	7.33	4.44	10	54	"	
	M		20.2		2.46		682	23		
	T		18.7	1.04	2.90	29	901	"		
"	6775 44年度 テスト用		M	18.2	6.14	5.87	8	88	-80	
			T	15.8	7.28	4.68	10	38	"	
	M		18.2		2.72		526	23		
	T		17.8	1.07	1.92	20	678	"		
三菱油化	ZE-41	60~79	M	25.7	6.01	4.98	9.9	62	-80	
			T	27.0	5.96	3.80	9.0	121	"	
	M		25.0		2.76		611	24		
	T		26.0	1.08	2.98	27.9	822	"		
"	ZE-40	80~99	M	25.5	6.13	5.09	8.9	52	-80	
			T	26.4	5.93	3.78	8.2	45	"	
	M		25.7		2.75		683	24		
	T		27.0	1.05	2.82	23.0	865	"		
"	ZE-41	100~	M	21.3	6.49	6.54	8.2	159	-80	
			T	20.3	6.30	1.93	8.4	12	"	
	M		20.7		2.79		460	24		
	T		21.4	1.17	2.38	15.3	956	"		
"	ZE-41	120~	M	22.0	6.06	4.58	9.2	55	-80	
			T	18.5	6.38	3.66	9.9	22	"	
	M		22.2		2.49		620	24		
	T		18.1	1.12	1.97	21.2	746	"		
"	ZE-41	140~	M	23.3	6.07	4.30	9.0	49	-80	
			T	22.6	6.08		8.1		"	
	M		18.5		2.56		703	24		
	T		22.9	1.11	2.40	21.7	946	"		

第1表(2)

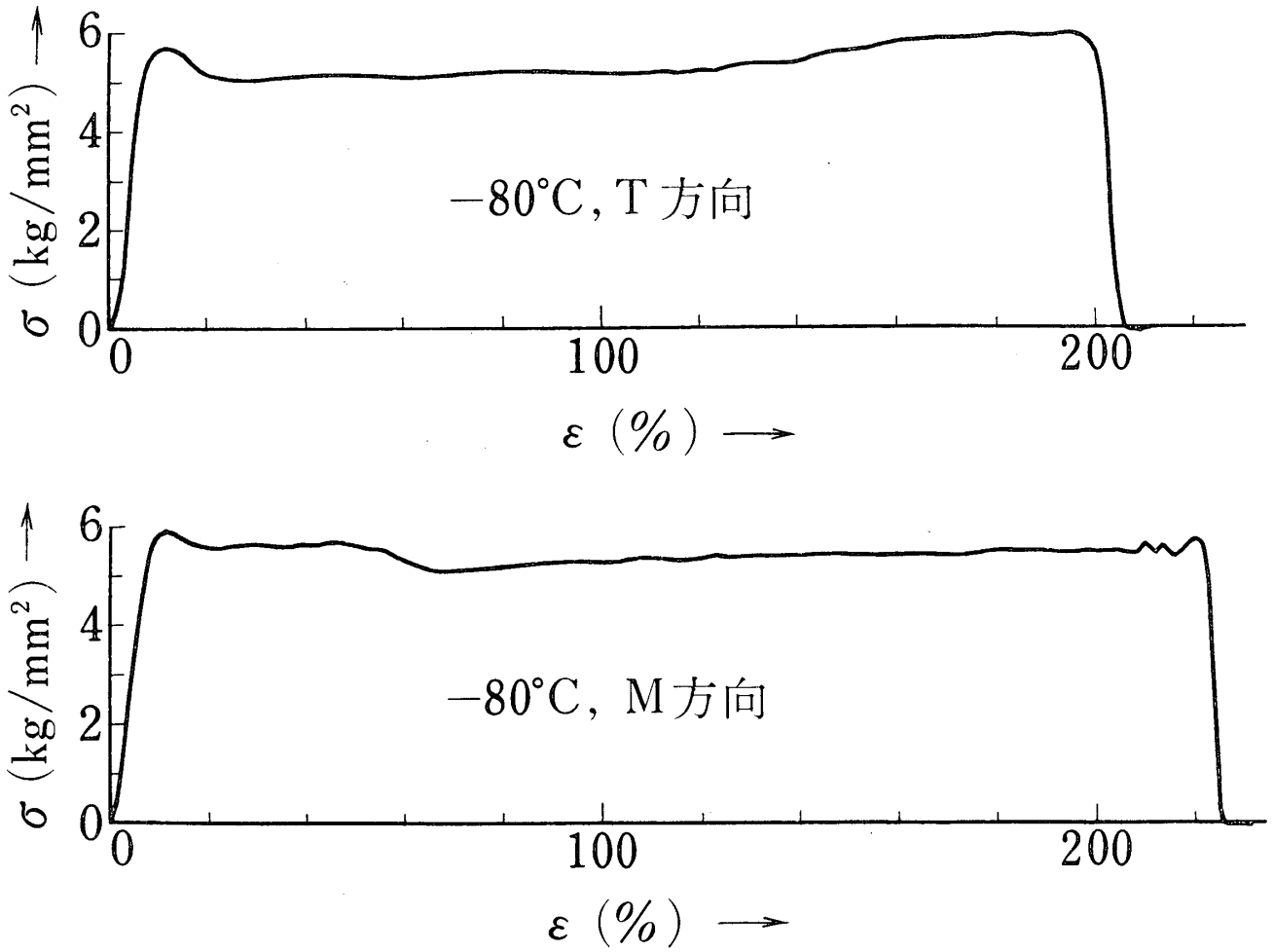
メーカー	型	試片 No.	方向	厚さ $\mu$	$\sigma_1$ kg/mm <sup>2</sup>	$\sigma_2$ kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_1$ %	$\epsilon_2$ %	温度 °C	曲線
三菱油化	ZE-41	160~	M	20.5	6.22	4.52	9.7	66	-80	
			T	22.0	5.95	3.20	8.6	23	"	
	2-3	179	M	21.8		2.49		678	24	
			T	22.0	1.10	2.57	21.8	1023	"	
"	ZE-41	180~	M	22.1	6.02	4.26	9.3	111	-80	
			T	21.2	5.73	3.40	8.6	30	"	
	2-4	199	M	23.0		2.52		739	24	
			T	20.9	1.08	2.42	22.9	922	"	
"	ZE-41	200~	M	25.6	5.90	4.00	9.8	127	-80	
			T	30.8	6.07	3.54	8.4	38	"	
	3-1	219	M	29.7		2.56		703	24	
			T	31.8	1.05	2.83	23.6	906	"	
"	ZE-41	220~	M	26.7	5.99	4.05	8.9	50	-80	
			T	28.1	6.08	3.51	8.7	28	"	
	3-2	239	M	29.9		2.67		723	24	
			T	31.2	1.02	2.41	22.9	921	"	
"	ZE-41	240~	M	21.0	6.07	5.14	8.4	185	-80	
			T	21.7	5.86	3.44	8.9	41	"	
	3-3	259	M	23.7		2.81		607	24	
			T	17.6	1.03	2.44	21.1	788	"	
スミカセン	101-3	260~	M	28.7	5.63	4.11	9.4	60	-80	
			T	29.9	5.81	3.70	8.7	121	"	
	45-3-4	279	M	29.2		2.32		457	24	
			T	30.4	1.05	2.50	20.2	767	"	
"	101-3	280~	M	30.4	5.63	4.10	9.0	148	-80	
			T	30.9	5.92	1.46	9.3	38	"	
	45-3-5	299	M	30.1		2.34		528	24	
			T	29.5	1.06	2.50	20.5	770	"	
"	45-4-10	300~	M	20.0	6.01	4.04	9.8	77	-80	
			T	21.1	5.68	3.36	9.3	35	"	
	319	319	M	19.9		2.41		666	24	
			T	20.9	1.03	2.23	22.3	781	"	

第1表(3)

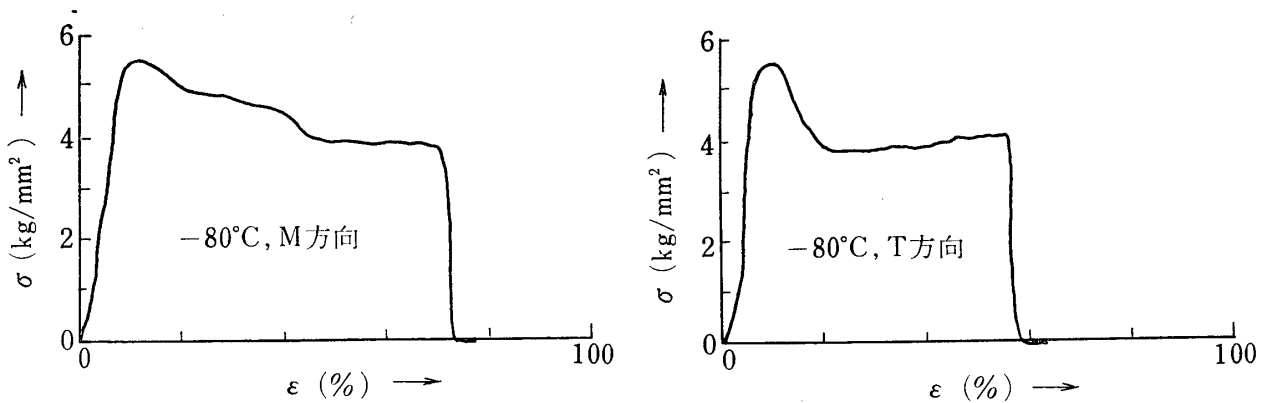
メーカー	型	試片 No.	方向	厚さ $\mu$	$\sigma_1$ kg/mm <sup>2</sup>	$\sigma_2$ kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_1$ %	$\epsilon_2$ %	温度 °C	曲線
スミカセン	5505	320~	M	29.6	5.52	3.35	8.3	50	-80	
			T	28.4	5.83		9.1		"	
	45-3-3	339	M	26.7		2.33		603	24	
			T	27.2	0.93	2.42	59.6	812	"	
大日本樹脂	6775 44年度 B01用	340~	M	27.0	5.90	3.85	9.0	45	-80	
			T	24.4	6.16	1.23	8.7	7	"	
		359	M	26.2		2.33		692	24	
			T	25.3	0.95	2.47	24.3	984	"	
"	6775	360~	M	29.2	5.74	3.74	8.8	81	-80	
			T	29.3	5.43	3.69	7.7	103	"	
	45-3-6	379	M	29.3		2.56		689	24	
			T	29.3	0.92	2.95	27.8	845	"	
"	6775	380~	M	26.1	5.49	3.72	9.5	95	-80	
			T	26.6	5.61	3.95	8.9	146	"	
	45-3-7	399	M	24.5		2.72		663	24	
			T	26.6		3.04		788	"	
"	6775	400~	M	24.8	5.41	3.71	9.0	84	-80	
			T	25.0	5.52	3.98	9.0	124	"	
	45-3-8	419	M	24.4		2.55		666	24	
			T	24.1		3.13		790	"	
日本ユニカ 加工技術研 究所	45-6-1 M.I.=0.1 試作品	420~	M	29.8	5.62	3.88	9.4	68	-80	
			T	32.4	5.67	4.85	9.6	204	"	
		439	M	31.2		2.87		834	24	
			T	32.6		3.03		649	"	
"	45-6-2	440~	M	26.5	5.78	4.33	10.0	76	-80	
			T	28.8	5.62	4.39	10.1	154	"	
		459	M	29.5		3.03		736	24	
			T	28.6		3.31		707	"	
"	45-6-3	460~	M	20.6	5.84	6.06	10.2	242	-80	
			T	22.5	5.89	7.03	10.4	255	"	
		479	M	23.9		3.06		625	24	
			T	21.8		3.60		576	"	

第1表(4)

メーカー	型	試片 No.	方向	厚さ $\mu$	$\sigma_1$ kg/mm <sup>2</sup>	$\sigma_2$ kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_1$ %	$\epsilon_2$ %	温度 °C	曲線
日本ユニカ 加工技術研 究所	45-6-4	480~	M	16.3	5.67	6.47	10.2	193	-80	
			T	20.3	5.64	6.43	10.0	213	"	
		499	M	18.5		3.27		532	24	
			T	20.0		3.69		537	"	
"	45-6-5	500~	M	22.6	5.48	4.21	8.0	71	-80	
			T	22.8	5.64	3.83	9.6	114	"	
		519	M	21.4		2.52		673	24	
			T	23.1		2.98		845	"	
"	45-6-5 Hot Jet line 平行M,垂直T	520~	M	17.7	5.17	4.25	8.6	36	-80	
			T	17.5	4.44	4.65	6.7	108	"	
		539	M	13.8		1.74		460	24	
			T	16.5		1.95		359	"	
Winzen	Strato Film	540~	M	20.9	5.42	4.06	9.2	45	-80	
			T	19.9	5.55	4.05	9.2	73	"	
		559	M	20.8		2.14		592	24	
			T	20.5		2.25		616	"	
Raven	X-124	560~	M	20.6	5.41	5.09	10.0	79	-80	
			T	20.1	5.93	3.69	10.4	54	"	
		579	M	19.5		2.62		552	24	
			T	20.2	1.01	2.94	20.8	914	"	
Visqueen	HE 05	580~	M	40.7	5.73	3.25	9.5	57	-80	
			T	42.9	5.73	3.34	10.0	64	"	
	6252	599	M	42.2		1.02		906	23.3	
			T	42.3		3.06		994	"	
Winzen	45.7.22飛昇 B100用 SF19 $\mu$ 頭部	600~	M	16.9	5.69	4.43	10.4	106	-80	
			T	17.6	5.52	2.37	8.6	50	"	
		619	M	18.2		2.33		619	23.3	
			T	16.9		2.54		715	"	
"	" 胴部	620~	M	17.7	5.42	4.37	10.3	38	-80	
			T	20.3	5.47	3.97	10.1	59	"	
		639	M	16.6		2.11		561	23.3	
			T	20.9		2.00		570	"	



第 5 図 45-6-3 の 01 film の  $\sigma \sim \epsilon$  線図

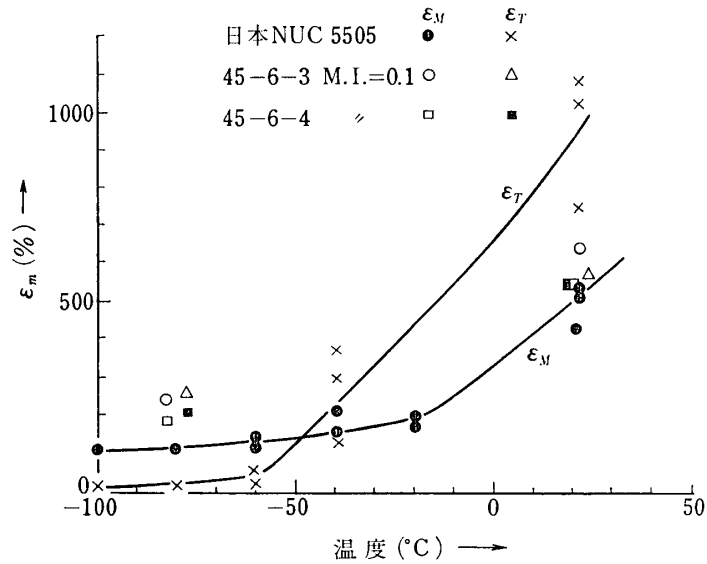


第 6 図 Winzen Stratofilm の  $\sigma \sim \epsilon$  線図

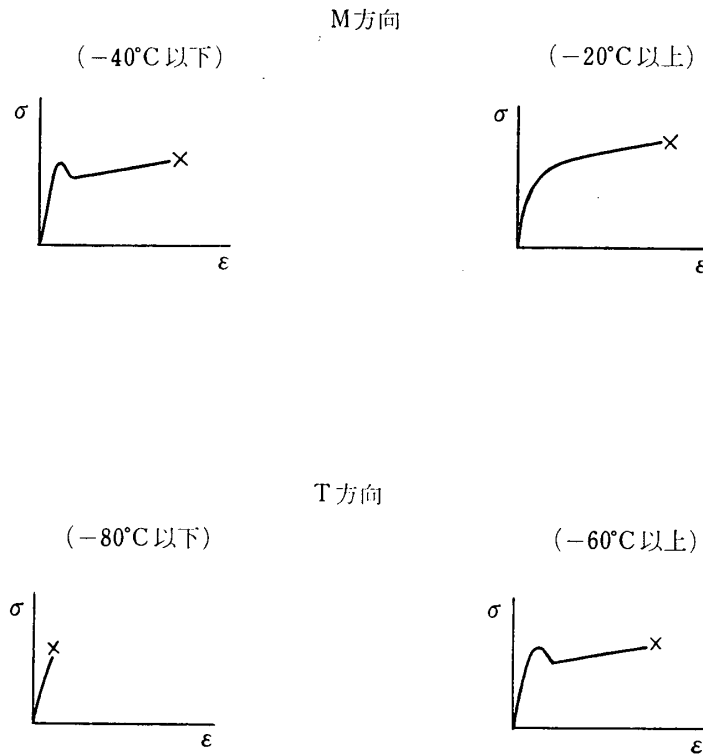


降伏点が破断点値より高い場合に示した。) 第5, 6図は, 低温での応力~ひずみ線図の代表例である.

第1図から第4図までを通して, 多数の皮膜材料の中で, M.I.=0.1の45-6-3および



第7図 日本 NUC 5505 の伸びの温度変化



第8図 日本 NUC 5505 の  $\sigma \sim \epsilon$  線図  
(初期データの例)

45-6-4 の二種について着目すると、第 1 図と第 2 図において、低温、室温ともに  $\sigma_M$  は他種のフィルムと同程度の値、 $\sigma_T$  は他種のフィルムよりすぐれた値を示している。第 3 図で、 $\epsilon_M$  の低温での値は特に著しい。室温での値はほかよりも小さいが 500~600% あり、室温ではこれで十分といえる。第 4 図では、 $\epsilon_T$  の低温での値が Strato film も含めたほかのものよりも一段と大きく、 $\epsilon_M$  とほぼ同程度の値を有している。このように、低温での  $\epsilon_T$  が十分大きく、 $\epsilon_M$  とバランスのとれた値を有することは大いに注目すべき事実である。初期の国産フィルムの値の一例を示したのが第 7 図で、図中白い丸印 ( $\epsilon_M$ ) および三角印 ( $\epsilon_T$ ) が上述新皮膜の値である。これでわかるように上述のフィルムはこの点で飛躍的に良くなっており、単軸力学物性でみる限り、当初の目的をほぼ達成したに近いと思われる。

また、 $\sigma \sim \epsilon$  線図についても、従来の皮膜では第 8 図に示すごとく、M 方向と T 方向ではその線図に大きな違いが見られるが、01 皮膜では先に第 5 図、第 6 図にあるように M、T 両方向ともに、かなり似た形状の線図で、上降伏点よりわずかさかった下降伏点が  $\sigma$  軸にほぼ平行に長くのびている点に特色がある。

### 3. 標準的な試験方法および規格の設定についての二、三の参考データ

従来、わが国では静的、単軸および二軸のテスト及び引裂きテストなどが主用されていた。標記の目的の参考に資するため、NCAR での実際について述べる。試験の種類としては第 5 表のようになる。静的のテスト法については大差ない。われわれの重視している低温の  $\epsilon_T$  がいくらあればよいかについては NCAR では明確に規定をしていないが、Dr.

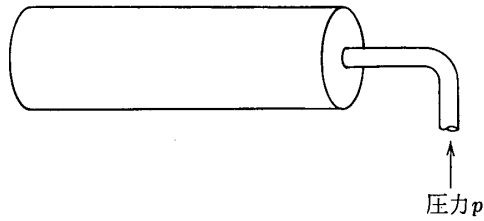
第 5 表 試験の種類

		室温 (20°C)	低温 (-80°C)
静的	単軸	$\sigma_M, \sigma_T$ $\epsilon_M, \epsilon_T$	$\sigma_M, \sigma_T$ $\epsilon_M, \epsilon_T$
	二軸	(降伏, 破断)	(降伏, 破断)
動的 (衝撃)	二軸		低温衝撃特性 斜面落下 由自落下 Tear length による判定

Hauser によれば 20% 以上あればよいとしている。彼らが必要性を強調していたのは低温脆性テスト (Cold Brittleness Test) で、第 9 図(ハ)に示すような Inclined plane (斜面落下) によるものと、Straight drop (自由落下, 高さ 27 吋) の二つがある。

これは直径 2", 重さ 1lb の鋼球を一定の運動エネルギーで皮膜面に落下させ、裂目の長さの合計 (引裂き長さ, tear length) を計算し、これに一定の限界値を設定して、それ以上であれば延性、未満であれば脆性と判定するものである。裂目の模様は通例第 10 図のようになる。引裂き長さの限界値には経験値がとられるので、上記の分類は定性的なものに過ぎない。

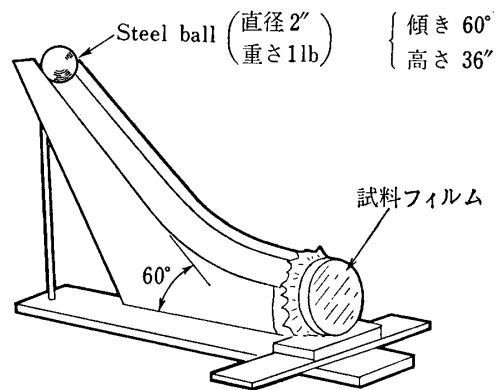
(イ) 低温二軸応力テスト



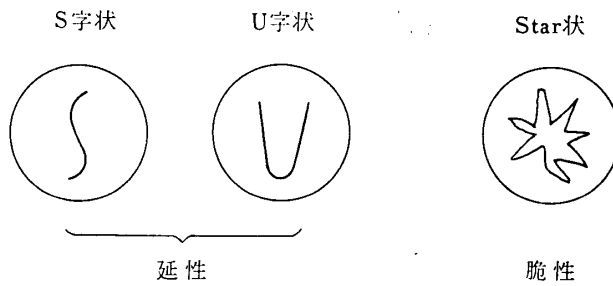
(ロ) 低温での疲労テスト



(ハ) Cold Brittleness Test (Inclined plane)



第9図 試験方法



第10図 延性, 脆性の判定

いが、てっとりばやく皮膜材料のスクリーニングを行なうのに参考となるようで、米国内の現場では広く利用されている。単軸および二軸の低温衝撃特性はわが国でも考慮されてよからう。ジェット気流の領域で皮膜材料のもまれることを想定して、第9図(ロ)の型の疲労も検討されている。

気球飛しょう時の皮膜ひずみ測定については、著者らの実測[2]~[6]に大いに興味を示し、NCARでもこの目的のために皮膜ひずみ測定ゲージの開発を行なっていることを明らかにしたが、飛しょう時のデータはまだとっていないようである。

#### 4. 結 言

- (1) 初期の国産ポリエチレン皮膜では、低温( $-80^{\circ}\text{C}$ )でのT方向破断伸び $\varepsilon_T$ がきわめて小さく、気球の縦割れの原因の一つと推測された。したがって、 $-80^{\circ}\text{C}$ での $\varepsilon_T$ 向上が気球皮膜材料開発の一つの方向と考えられた。
- (2) 従来総合的に Winzen の Stratofilm がすぐれた力学物性を示していたが、今年度テストした中の 01 皮膜中に、 $-80^{\circ}\text{C}$   $\varepsilon_T$  の点でこれをしのぎ、総合的にもこれに劣らぬ性能を示すもののあることが見出された。この成型については、岡本 智氏の論文を参照されたい。
- (3) 同皮膜の応力ひずみ線図は、上降伏点よりわずかさかった下降伏点が応力軸に平行に長く続く形で、望ましい性質と考えられる。
- (4) 1970年3月 NCAR を再訪した際の Dr. Hauser らとの討論で得た知見は、
  - (i)  $-80^{\circ}\text{C}$  の  $\varepsilon_T$  について明確な規定はないが、一応 20% 以上あればよいと考えている。
  - (ii) 落下鋼球による衝撃を用いる Cold brittleness test は有用で、米国内では規格化されている。
  - (iii) 気球飛しょう中のひずみ測定用ゲージの開発をはじめているが、データはまだない。
  - (iv) ジェット気流でもまれることを想定した疲労テストもある。
- (5) 単軸および二軸の低温衝撃テストは今後、わが国でも検討の要があらう。

1971年2月18日 材料部

#### 参 考 文 献

- [1] 河田幸三：ポリエチレン製気球皮膜材料の力学的諸性質の評価について、昭和41年度大気球シンポジウム(1966年11月), 44.
- [2] 河田幸三：気球皮膜の歪測定, 同上, 52.
- [3] 河田幸三, 小林 昭, 橋本彰三, 本堂 明, 大谷信男：ポリエチレン皮膜の強度と二, 三の気球ひずみ測定実験について, 昭和42年度大気球シンポジウム(1968年1月), 25.
- [4] 河田幸三, 小林 昭, 橋本彰三, 大谷信男, 本堂 明：ポリエチレン皮膜の強度と気球飛しょう時の皮膜ひずみ測定, 昭和43年度大気球シンポジウム(1968年12月), 33.
- [5] 同上：PE皮膜の強度と飛しょう時皮膜ひずみ測定, 昭和44年度大気球シンポジウム(1969年

12月), 35.

- [6] 河田幸三, 小林 昭, 橋本彰三, 大谷信男: 気球皮膜のひずみ測定, 東大宇宙研報告, 3巻2号(B) (1967年6月), 398.
- [7] 河田幸三, 橋本彰三, 本堂 明, 佐藤 正: ポリエチレン系気球皮膜材料の力学的諸性質の評価について, 東大宇宙研報告, 3巻2号(B) (1967年6月), 385.
- [8] 岡本 智: 気球用ポリエチレンフィルムの開発 (主として低温二軸延伸性能を考慮した場合), 東大宇宙研報告, 7巻1号(C) (1971年3月), 240