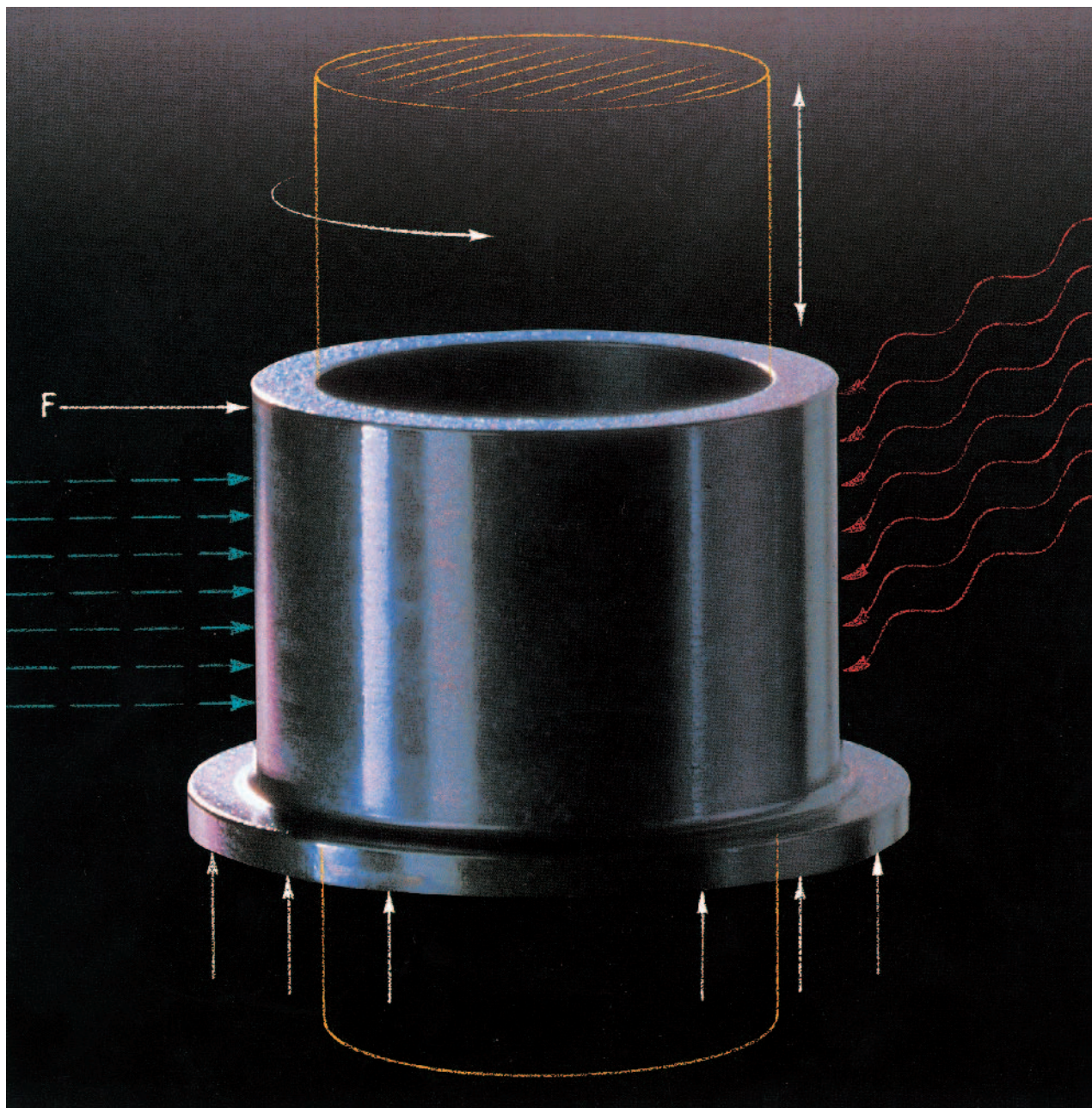


デュポン

技術資料

ベスペル[®]SP

ポリイミドパーツ



The miracles of science™



VESPEL®: The material for the new age

目 次

ベスペル®SPとは	2
ベスペル®SPの代表的物性一覧表	3~6
1.熱的特性	7~10
1-1 耐熱性と物性劣化	
1-2 熱膨張	
1-3 燃焼性	
2.物理的特性	11~14
2-1 機械特性	
2-2 応力／ひずみ曲線	
2-3 クリープと疲労	
2-4 疲労	
3.摩擦摩耗特性	15~18
3-1 摩耗転移温度	
3-2 限界PV値	
3-3 摩耗	
3-4 攻撃性	
3-5 摩擦特性	
3-6 他スーパーエンブラとの違い	
4.電気的特性	19・20
5.環境特性	21・22
5-1 水分による寸法変化	
5-2 耐薬品性	
5-3 真空特性	
5-4 耐照射性	
6.代表的エンブラとの比較	23・24
7.加工用素材リスト	25
8.ベスペル®SP製品の取り扱いについて	26

ベスペル®SPとは

ベスペル®SPはデュポン社が開発した全芳香族ポリイミド樹脂の粉末を高度な技術を用いて成形した部品の総称です。ベスペル®SPは現在上市、量産されている高機能樹脂の中で最高の耐熱性と耐摩耗性を有しており、1962年の商品化以来航空機、宇宙、軍需産業から始まり、今日では自動車、OA機器、電子、電気機器、科学機器、産業機械、生産設備等の部品として中広く使用されています。

ベスペル®SPには丸棒、板、チューブ等の加工用素材（以下丸棒材で総称）と、粉末冶金法により圧縮プレスと焼成プロセスで作られる直接成形部品（以下成形品で総称）があります。両者は製造プロセスが異なるため丸棒材の方が密度が高く、そのために同グレードでも丸棒材の物性値は成形品よりも高くなります。また、成形品には、0.5%以下のふっ素樹脂を添加しています。

量産部品の場合には、コストの面から成形部品が推められます。開発当初から成形グレードで評価されることが望ましいでしょう。

ベスペル®SPの特長は次の通りです。

- 超耐熱性 連続使用温度288℃、断続480℃
極低温（1K以下）にても使用可。
- 耐摩耗性 無潤滑下でのPV限界値は一般のエンジニアリングプラスチックの10倍以上。たたき摩耗や揺動摩耗に対しても強い耐性を持つ。
- クリープ 高温においても軟化せず高荷重を支えます。260℃、18.2MPaでのクリープは、1,000時間でわずか0.6%。
- 電気絶縁 絶縁耐力22KV/mm
- 耐プラズマ、放射線
- 耐薬品性 耐グリース、オイル、溶剤
- 真空中での耐ガス放出性 高真空 10^{-10} Torr
- 優れた機械加工性

ベスペル®SPの種類・特長および用途例

グレード	特長	用途例
SP-1 ポリイミド樹脂100%	耐熱・絶縁性、高機械強度	断熱・絶縁部品、バルブ スラスト軸受、分離爪
SP-21 重量比15%グラファイト	高PV値下での耐摩耗性	スラストワッシャー、ピストンリング、シールリング ギア、各種軸受
SP-22 重量比40%グラファイト	耐クリープ性、低熱膨張	ラジアル軸受、プラテン、ベーン
SP-211 重量比15%グラファイト、10%テフロン	低摩擦係数	スラスト軸受、スラストワッシャー、シールリング スライド軸受
SP-3 重量比15%二硫化モリブデン	真空中での潤滑特性	中・高真空中での摺動部品

SP-1以外は摺動グレードです。用途に適した材料選択については弊社のベスペル®担当営業まで御相談ください。

ベスペル®SPの物性一覧表 (SI単位)

表 1

特 性	温度 K	測定法 ASTM	単 位	SP-1		SP-21		SP-22		SP-211		SP-3
				丸棒	成形	丸棒	成形	丸棒	成形	丸棒	成形	丸棒
引張強さ	296	D-1708 or E8 §	MPa	86.2	72.4	65.5	62.0	51.7	48.3	44.8	51.7	58.5
	533			41.4	36.5	37.9	30.3	23.4	26.2	24.1	24.1	
引張破断伸び	296	D-1708 or E8 §	%	7.5	7.5	4.5	5.5	3.0	2.5	3.5	5.5	4.0
	533			7.0	7.0	3.0	5.2	2.0	2.0	3.0	5.3	—
曲げ強さ	296	D-790	MPa	110.3	82.7	110.3	82.7	89.6	62.1	68.9	68.9	75.8
	533			62.1	44.8	62.0	48.3	44.8	37.9	34.5	34.5	39.9
曲げ弾性率	296	D-790	MPa	3102	2482	3792	3171	4826	4826	3102	2758	3275
	533			1724	1448	2551	1792	2758	2758	1379	1379	1862
圧縮応力	296	D-695	MPa									
	1% ひずみ			24.8	24.1*	29.0	22.8*	31.7	24.1*	20.7	14.5**	34.5
	10% ひずみ			133.1	112.4**	133.1	104.8**	112.4	93.8**	102.0	75.8**	127.6
	0.1% offset***			51.0	33.1**	45.5	33.8**	41.4	25.5**	37.2	27.6**	—
圧縮弾性率	296	D-695	MPa	2413	2413**	2895	2275**	3275	2654**	2068	1379**	2413
軸方向疲労限界			MPa									
	10 ³ サイクル	296		55.8	46.2	—	—	—	—	—	—	—
		533		26.2	22.8	—	—	—	—	—	—	—
	10 ⁷ サイクル	296		42.1	32.4	—	—	—	—	—	—	—
		533		16.5	16.5	—	—	—	—	—	—	—
曲げ疲労限界			MPa									
	10 ³ サイクル	296		65.5	65.5	—	—	—	—	—	—	
	10 ⁷ サイクル	296		44.8	44.8	—	—	—	—	—	—	
せん断強さ	296	D-732	MPa	89.6		77.2						
アイゾット衝撃強さ(ノッチ付き)	296	D-256	J/m	42.7		42.7						21.3
アイゾット衝撃強さ(ノッチなし)	296	D-256	J/m	747		320						112
ポアソン比	296			0.41		0.41						
摩擦係数*** PV=0.875Mpa m/s				0.29	0.29	0.24	0.24	0.30	0.12	0.12	0.12	0.25
	PV=3.5Mpa m/s			—	—	0.12	0.12	0.09	0.09	0.08	0.08	0.17

注) 物性値はカタログ値であり、保証値ではありません。

特性	温度 ℃	測定法 ASTM	単位	SP-1		SP-21		SP-22		SP-211		SP-3
				丸棒	成形	丸棒	成形	丸棒	成形	丸棒	成形	丸棒
線膨張係数	296~573	D-696	μm/m/K	54	50	49	41	38	27	54	41	52
	211~296			45	—	34	—	—	—	—	—	—
熱伝導率	313		W/m k	0.35	0.29**	0.87	0.46**	1.73	0.89**	0.76	0.42**	0.47
比熱			J/kg/k	1130	—	—	—	—	—	—	—	—
荷重変形140.6kg/cm ²	323	D-621	%	0.14	0.20	0.10	0.17	0.08	0.14	0.13	0.29	0.12
熱変形温度18.6kg/cm ²		D-648	K	~633	—	~633	—	—	—	—	—	—
誘電率	296	D-150										
	10 ² Hz			3.62	—	13.53	—	—	—	—	—	—
	10 ⁴ Hz			3.64	—	13.28	—	—	—	—	—	—
	10 ⁶ Hz			3.55	—	13.41	—	—	—	—	—	—
誘電正接	296	D-150										
	10 ² Hz			0.0018	—	0.0053	—	—	—	—	—	—
	10 ⁴ Hz			0.0036	—	0.0067	—	—	—	—	—	—
	10 ⁶ Hz			0.0034	—	0.0106	—	—	—	—	—	—
絶縁耐力 短時間2mm厚		D-149	MV/m	22.0	—	9.8	—	—	—	—	—	—
体積抵抗率	296	D-257	Ω-m	10 ¹⁴ - 10 ¹⁵	—	10 ¹² - 10 ¹³	—	—	—	—	—	—
表面抵抗率	296	D-257	Ω	10 ¹⁵ - 10 ¹⁶	—	—	—	—	—	—	—	—
吸水率		D-570	%									
	24時間	296		0.24	—	0.19	—	0.14	—	0.21	—	0.23
	48時間	323		0.72	—	0.57	—	0.42	—	0.49	—	0.65
	50%RH 平衡			1.0-1.3	1.0-1.3	0.8-1.1	0.8-1.1	—	—	—	—	—
比重		D-792		1.43	1.36	1.51	1.43	1.65	1.58	1.55	1.46	1.60
表面硬さ		D-785	ロックウェルE	45-58	20-30	32-44	10-30	15-40	1-20	5-25	1-15	40-55
限界酸素指数		D2863	%	53	—	49	—	—	—	—	—	—

§印は、ASTM D-1708用丸棒材からの試料とE8用の直接成形試料(粉末冶金法により作れる棒状品)

※印は、成形方向と平行に計測せるもの、他は全て成形方向と直角に計測したのもの。

※※印は、空気中無潤滑で安定な状態。

※※※印は、圧縮応力-ひずみ曲線で直線部分(比例限界)より0.1%余計のひずみに対応する圧縮応力。

注1) 成形品は、圧縮プレス成形法により作られるため方向性があります。

注2) 表面硬さは、パーツの形状により値が大きく変化することが予想されます。

注3) 成形品には、0.5%以下のふっ素樹脂を添加しています。

ベスペル®SPの物性一覧表 (CGS単位)

表 2

特 性	温度 ℃	測定法 ASTM	単 位	SP-1		SP-21		SP-22		SP-211		SP-3
				丸棒	成形	丸棒	成形	丸棒	成形	丸棒	成形	丸棒
引張強さ	23	D-1708 又は E8 §	kg/cm ²	878	738	668	633	527	492	457	527	597
	260			422	372	387	309	239	267	246	246	—
引張破断伸び	23	D-1708 又は E8 §	%	7.5	7.5	4.5	5.5	3.0	2.5	3.5	5.5	4.0
	260			7.0	7.0	3.0	5.2	2.0	2.0	3.0	5.3	—
曲げ強さ	23	D-790	kg/cm ²	1125	844	1125	844	914	633	703	703	773
	260			633	457	633	492	457	387	351	351	407
曲げ弾性率	23	D-790	10 ³ kg/cm ²	31.6	25.3	38.7	32.3	49.2	49.2	31.6	28.1	33.4
	260			17.6	14.7	26.0	18.3	28.1	28.1	14.0	14.0	19.0
圧縮応力	23	D-695	kg/cm ²									
	1% ひずみ			253	246*	295	232*	323	246*	211	147*	352
	10% ひずみ			1356	1146*	1356	1068*	1146	956*	1040	773*	1300
	0.1% offset***			520	337*	464	344*	422	260*	380	281*	—
圧縮弾性率			10 ³ kg/cm ²	24.6	24.6*	29.5	23.2*	33.4	27.1*	21.1	14.1*	24.6
軸方向疲労限界			kg/cm ²									
	10 ³ サイクル	23		569	471	—	—	—	—	—	—	
		260		267	232	—	—	—	—	—	—	
	10 ⁷ サイクル	23		429	330	—	—	—	—	—	—	
260		168	168	—	—	—	—	—	—			
曲げ疲労限界			kg/cm ²									
	10 ³ サイクル	23		668	668	—	—	—	—	—	—	
10 ⁷ サイクル	23	457	457	—	—	—	—	—	—			
せん断強さ	23	D-732	10 ³ kg/cm ²	0.91	—	0.78	—	—	—	—	—	—
アイゾット衝撃強さ(ノッチ付)	23	D-256	kg cm/cm	4.35	—	4.35	—	—	—	—	—	—
アイゾット衝撃強さ(ノッチなし)	23	D-256	kg cm/cm	76.2	—	32.6	—	—	—	—	—	—
ポアソン比	23			0.41		0.41	—	—	—	—	—	—
摩擦係数** PV=8.9kg/cm ² ・m/sec				0.29	0.29	0.24	0.24	0.30	0.30	0.12	0.12	0.25
				—	—	0.12	0.12	0.09	0.09	0.08	0.08	0.17

注) 物性値はカタログ値であり、保証値ではありません。

特性	温度 ℃	測定法 ASTM	単位	SP-1		SP-21		SP-22		SP-211		SP-3
				丸棒	成形	丸棒	成形	丸棒	成形	丸棒	成形	丸棒
線膨張係数	23~300	D-696	10 ⁻⁵ cm/cm/℃	5.4	5.0	4.9	4.1	3.8	2.7	5.4	4.1	5.2
	-62~23			4.5	—	3.4	—	—	—	—	—	—
熱伝導率	40		kcal/m hr℃	0.295	0.248*	0.738	0.390*	1.477	0.763*	0.652	0.356*	—
比熱			kcal/m kg℃	0.27	—	—	—	—	—	—	—	—
荷重変形140.6kg/cm ²	50	D-648	%	0.14	0.20	0.10	0.17	0.08	0.14	0.13	0.29	0.12
熱変形温度18.6kg/cm ²		D-648	℃	~360	—	~360	—	—	—	—	—	—
誘電率	23	D-150										
	10 ² Hz			3.62	—	13.53	—	—	—	—	—	—
	10 ⁴ Hz			3.64	—	13.28	—	—	—	—	—	—
	10 ⁶ Hz			3.55	—	13.41	—	—	—	—	—	—
誘電正接	23	D-150										
	10 ² Hz		×10 ⁻³	1.8	—	5.3	—	—	—	—	—	—
	10 ⁴ Hz			3.6	—	6.7	—	—	—	—	—	—
	10 ⁶ Hz			3.4	—	10.6	—	—	—	—	—	—
絶縁耐力 短時間2mm厚	23	D-149	KV/mm	22.0	—	9.8	—	—	—	—	—	—
体積抵抗率	23	D-257	Ω-m	10 ¹⁴ - 10 ¹⁵	—	10 ¹² - 10 ¹³	—	—	—	—	—	—
表面抵抗率	23	D-257	Ω	10 ¹⁵ - 10 ¹⁶	—	—	—	—	—	—	—	—
吸水率		D-570	%									
	24時間	23		0.24	—	0.19	—	0.14	—	0.21	—	0.23
	48時間	50		0.72	—	0.57	—	0.42	—	0.49	—	0.65
	50%RH 平衡			1.0-1.3	1.0-1.3	0.8-1.1	0.8-1.1	—	—	—	—	—
比重		D-792		1.43	1.36	1.51	1.43	1.65	1.58	1.55	1.46	1.60
表面硬さ		D-785	ロックウェルE	45-58	20-30	32-44	10-30	15-40	1-20	5-25	1-15	40-55
限界酸素指数		D2863	%	53	—	49	—	—	—	—	—	—

§印は、ASTM D-1708用丸棒材からの試料とE8用の直接成形試料（粉末冶金法により作れる棒状品）

※印は、成形方向と平行に計測せるもの、他は全て成形方向と直角に計測したものの。

※※印は、空气中無潤滑で安定な状態。

※※※印は、圧縮応力-ひずみ曲線で直線部分（比例限界）より0.1%余計のひずみに対応する圧縮応力。

注1) 成形品は、圧縮プレス成形により作られるため方向性があります。

注2) 表面硬さは、パーツの形状等により値が大きく変化することが予想されます。

注3) 成形品には、0.5%以下のふっ素樹脂を添加しています。

1.熱的特性

1-1 耐熱性と物性劣化

ベスペル®SPは大気中下では融点をもたず、288℃までの連続使用が可能です。

370℃において引張強さが初期の50%になるまで、SP-21（15%グラファイト）で約200時間を、SP-22（40%グラファイト）は350時間を要します（図1参照）。400℃までの温度で時間とともに失われる性能はそのほとんどが酸化による劣化が原因となっています。不活性な雰囲気、例えば窒素ガスまたは真空状態ではベスペル®SPの耐熱性は向上します。ベスペル®SPは融解せず、ガラス転移点（Tg）をもたず、また軟化点もありません。

温度による強度や弾性率の低下は、ほとんど線状の動きをします。このことは、通常の熱可塑性エンブレがTgに近づくにつれてその性能を大きく低下させる点と対比的です。

図2から5までは、丸棒材および成形品についての引張強さと曲げ弾性率の代表的な変化を示したものです。

ベスペル®SPの最高使用温度はTgまたは軟化点で決定されず、劣化の程度によって決定されます。短時間使用の限度限界は炭化劣化の始まる480℃です。

また、ベスペル®SPは低温域でも極めて安定しており、液体窒素中でのバルブや絶対零度に近い液体ヘリウム中での治具部品としても使用されております。

表3 SP-1の耐熱性

ガラス転移点	なし
荷重たわみ温度(1.82MPa)	360℃
長期連続使用温度*	288℃
断続使用温度	480℃

*長期連続使用温度は、その温度で1000時間大気中暴露すると、元の強度の50%に達する温度です。

(注) SP-21とSP-22の長期連続使用温度は図1に見られるようにSP-1より高くなります。SP-211はテフロン含有のため低くなります。

図1 ベスペル®SPのヒートエージングにより50%強度に到達する時間と温度の関係

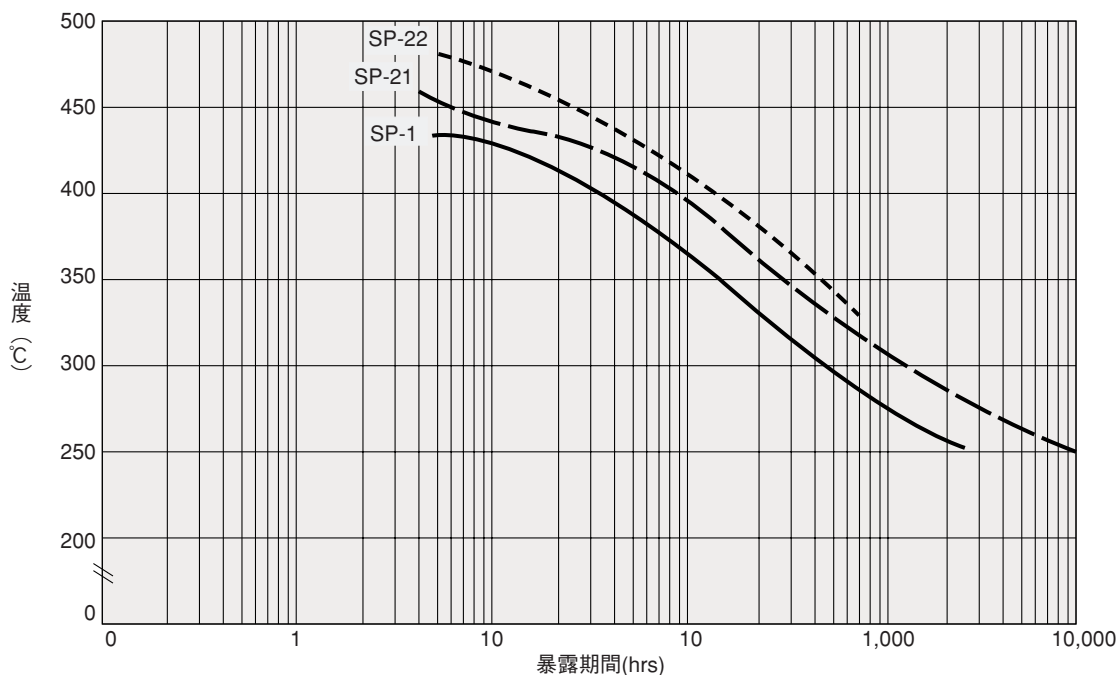


図2 丸棒材の代表的な引張強さと温度の関係
ASTM D-1708

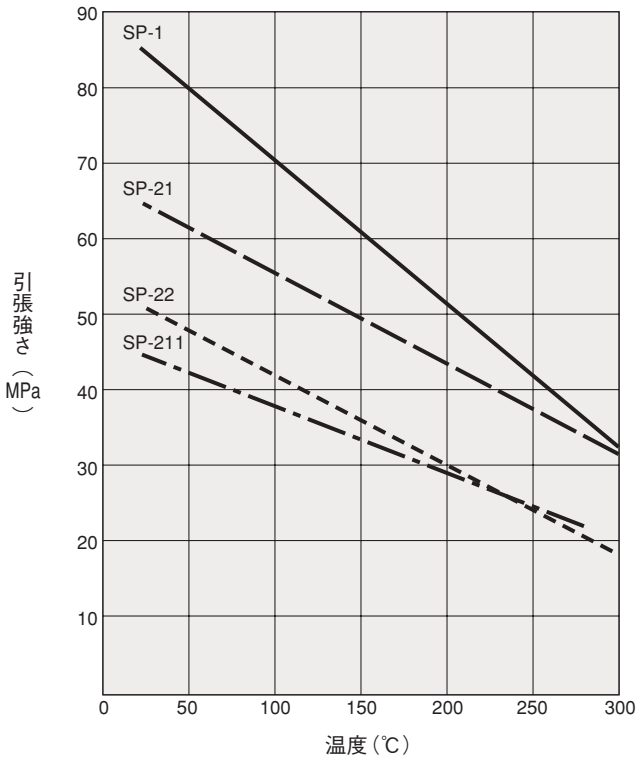


図3 成形品の代表的な引張強さと温度の関係
ASTM E8

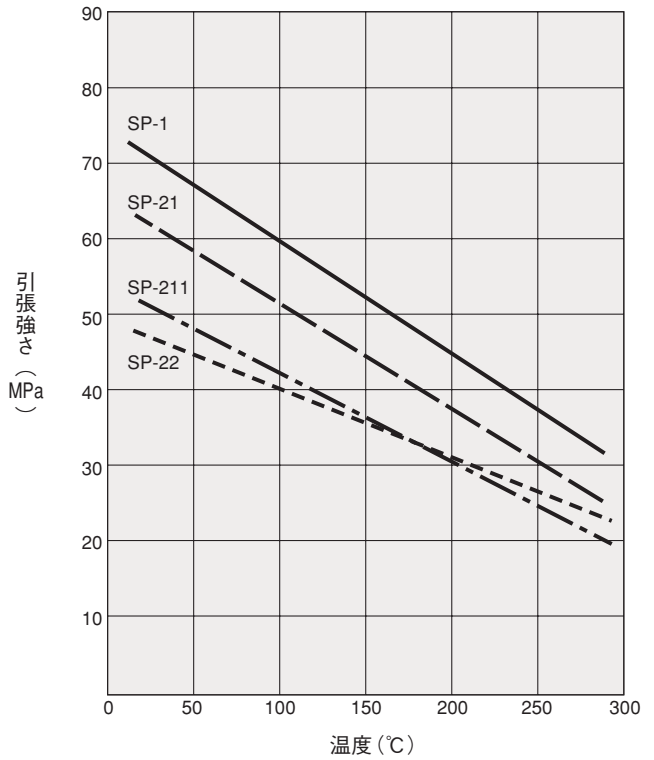


図4 丸棒材の代表的な曲げ弾性率と温度の関係
ASTM D-790

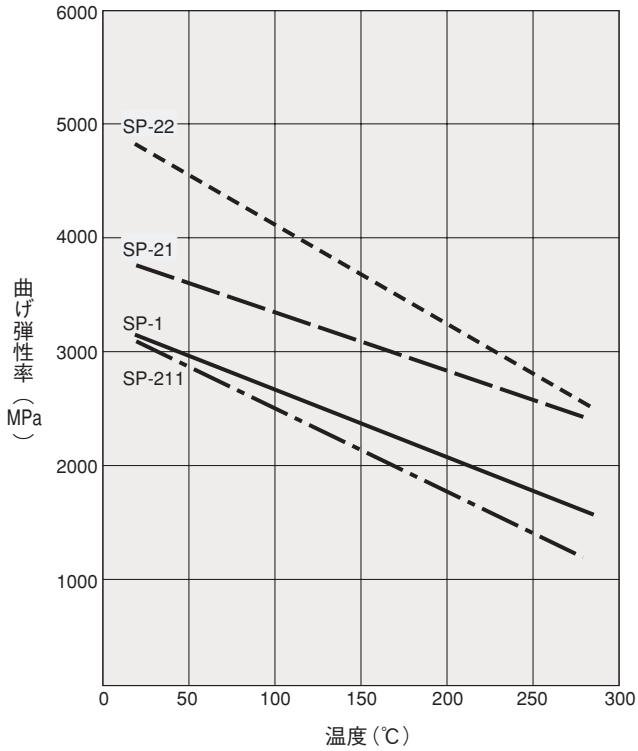
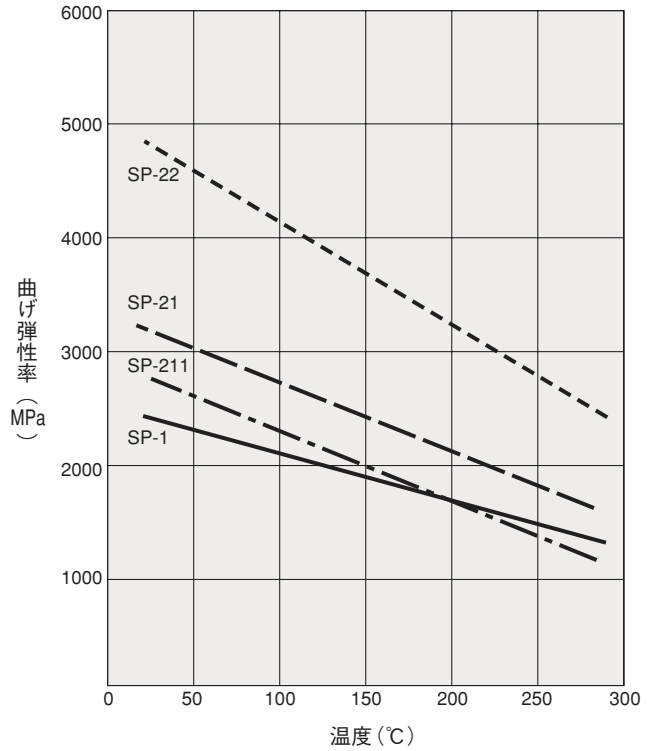


図5 成形品の代表的な曲げ弾性率と温度の関係
ASTM D-790



1-2 熱膨張

ベスペル®SPは他のエンジニアリングプラスチックと同様に温度により寸法が変化します。その値は、グレードによって異なりますが、フッ素樹脂材料の半分程度で充填材入りナイロンとほぼ同じ値を示します。

図6に丸棒材、図7に成形品の温度による変化を示しました。すべてのグレードで成形品の熱膨張は丸棒材よりも小さくなっていますが、これは成形品にみられる方向性のためです。

グラファイト充填は、熱膨張を低下させます。SP-21は未充填のSP-1よりも膨張度は小さくなり、SP-22はさらに小さく、その値はアルミニウム材料とほぼ同等です。

表4 ベスペル®SPの平均線膨張係数

グレード		平均線膨張係数 ($10^{-5}\text{cm/cm/}^{\circ}\text{C}$)
SP-1	丸棒材	5.4
	成形品	5.0
SP-21	丸棒材	4.9
	成形品	4.1
SP-22	丸棒材	3.8
	成形品	2.7
SP-211	丸棒材	5.4
	成形品	4.1

(注) 成形品は成形方向に直角

図6 丸棒材の線方向熱膨張
ASTM D-696

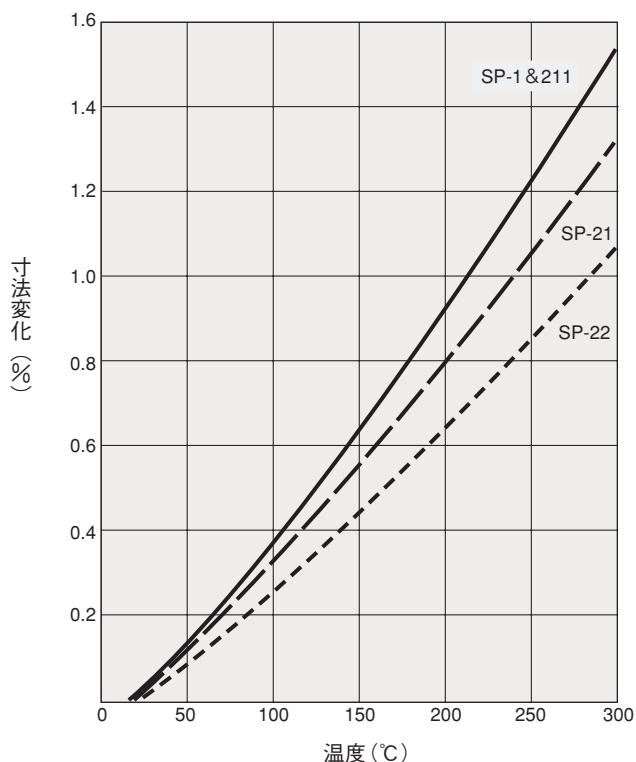
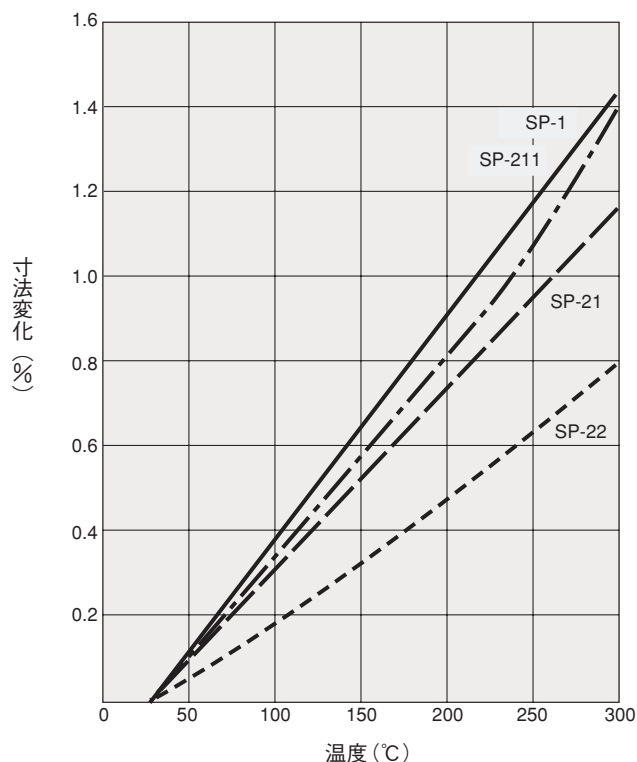


図7 成形品 (成形方向に直角) の線方向熱膨張
ASTM D-696



1-3 燃焼性

ベスペル®SPのすべてのグレードは、米国ULの燃焼規格 94V-0/5Vに合格しております。従って大気中下では炎をあげて燃えることはありません。また、物質が燃焼を継続するために必要とする最低酸素量を示す限界酸素指数

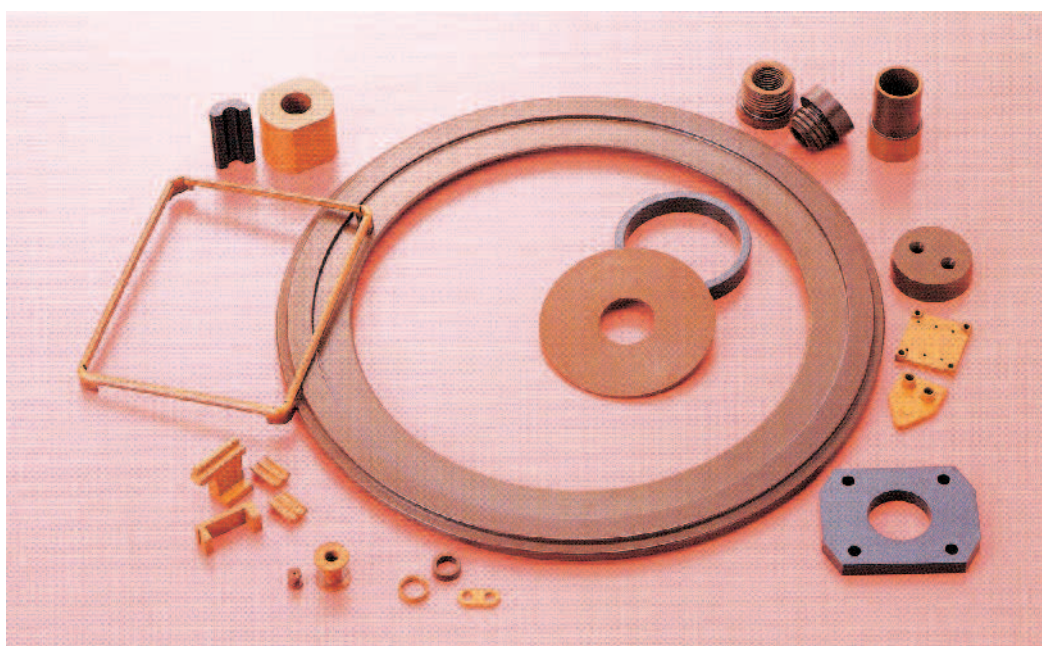
は、SP-1で53（%）、SP-21で49（%）です。この値は大きくなればなる程燃えにくくなります。

他のエンジニアリングプラスチックでは、芳香族ポリエステル36、ポリカーボネイト33、PPO30、ナイロン66で28です。

SP-1の空气中高温下曝露試験（1分間）



耐熱部品



2.物理的特性

2-1 機械特性

ベスペル[®]SPは他の耐熱性樹脂とは異なり、可撓性に富んだ材料です。

引張強さは、常温下ではポリアセタールの1.2倍、100℃では常温下のポリアセタールとほぼ同等です。温度による引張強さ及び曲げ弾性率の変化については図2～5、その他の代表的諸機械物性値については表1を参照してください。

2-2 応力／ひずみ曲線

図8～11に示したのは、丸棒材および成形品の23℃及び260℃での代表的引張り応力－ひずみ曲線です。ベスペル[®]SPは一般的に金属材料と異なり、降伏的は持っておらず比例限界も2%ひずみ以内です。

図12、図13は、圧縮下での応力－ひずみ曲線です。ベス

ペル[®]SPは非常に高いひずみ (>30%) になるまで破壊せず圧縮できますが、実際には塑性変形したものになってしまいます。

設計の際は最高5%までのひずみ量での検討をお願いします。表1の圧縮応力0.1%オフセットは部品に0.1%の永久変形を生じさせるためにかけた圧縮応力を示します。ベスペル[®]SPは熱硬化樹脂と異なり、この変形に達する数%直前まで圧縮できます。この優れた弾性のためベスペル[®]SPは、各種のシール部品（O-リング、シールリング、ガスケット等）やバルブ部品（ポール、バルブ、バルブシート等）としても幅広い用途をもっています。ベスペル[®]SPのバルブは400気圧の水素ガスをもシールし、ベスペル[®]SPのガスケットは 1×10^{-9} Torrの真空装置のシールにも使われています。

図8 丸棒材の23℃での代表的な引張り 応力－ひずみ曲線 ASTM D-1708

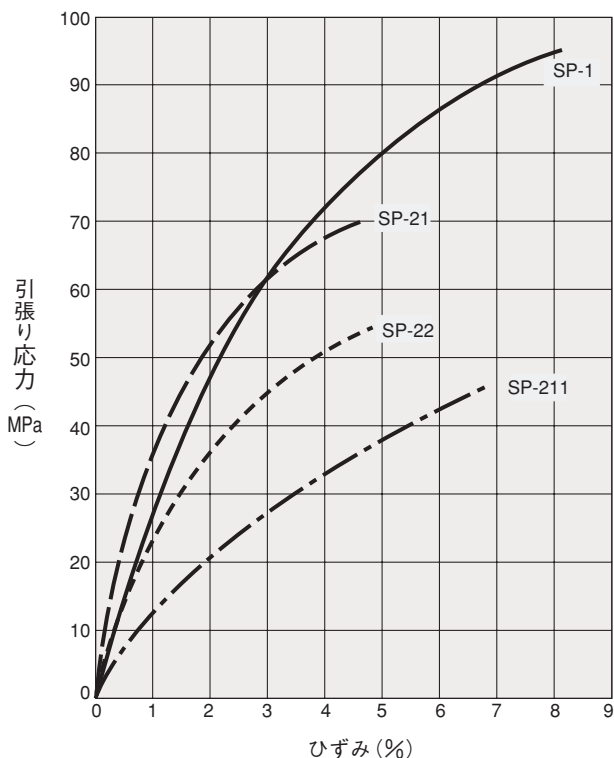


図9 丸棒材の260℃での代表的な引張り 応力－ひずみ曲線 ASTM D-1708

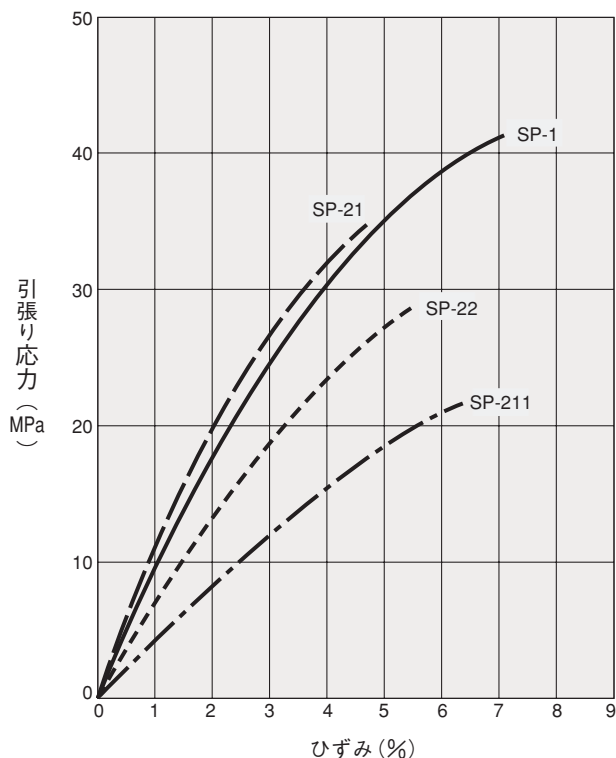


図10 成形品（成形方向と直角）の23℃での代表的な引張り 応力-ひずみ曲線 ASTM E8

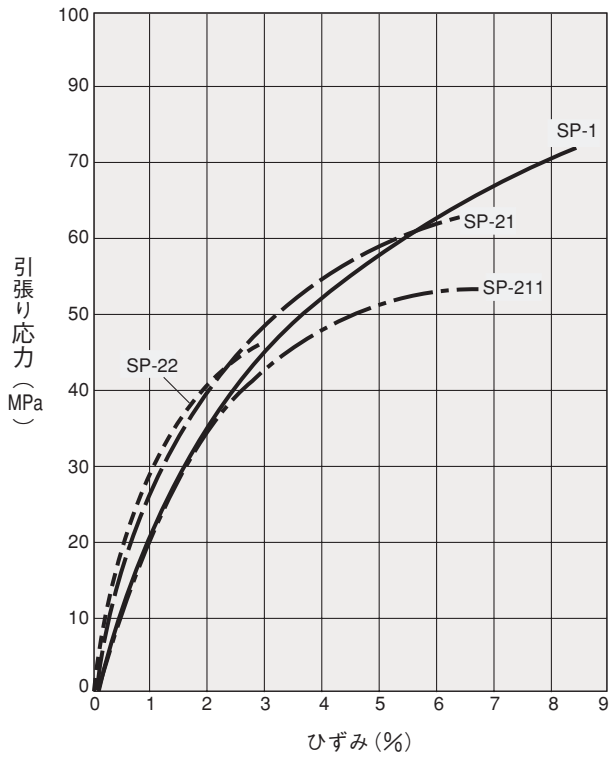


図11 成形品（成形方向と直角）の260℃での代表的な引張り 応力-ひずみ曲線 ASTM E8

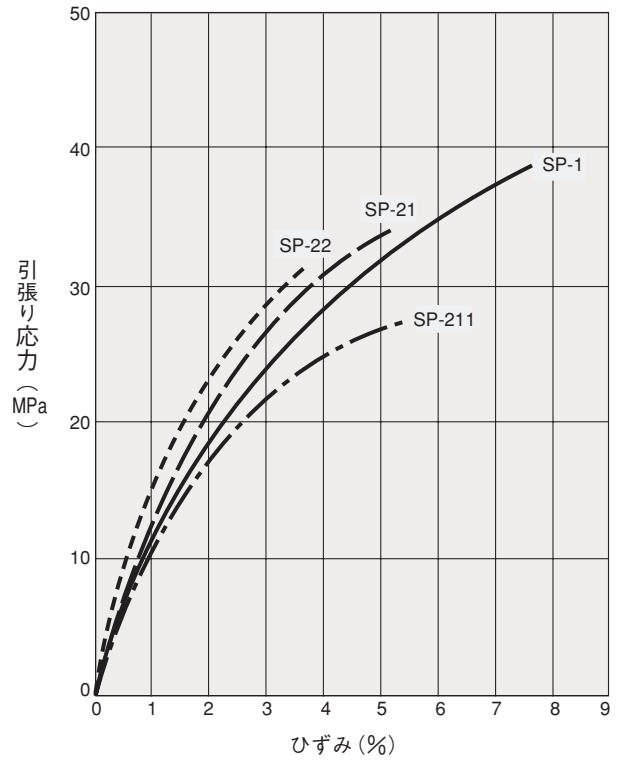


図12 23℃で圧縮下にある丸棒材の 応力-ひずみ曲線 ASTM D-695

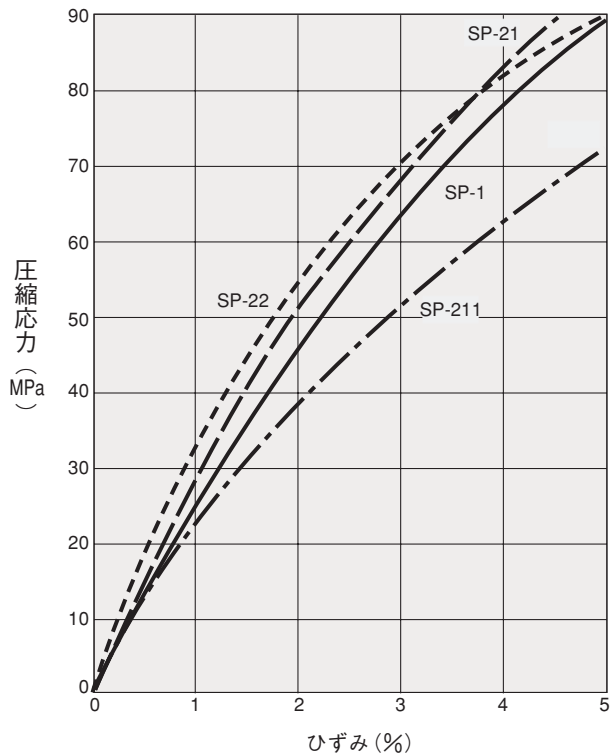
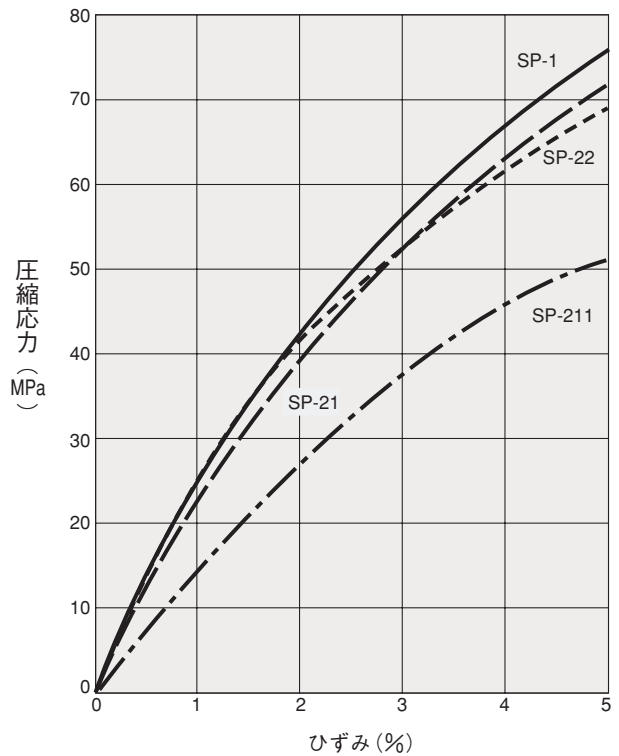


図13 23℃で圧縮下にある成形品（成形と平行方向）の 代表的な応力-ひずみ曲線 ASTM D-695



2-3 クリープと疲労

ベスペル[®]SPは軟化せず、また優れた耐熱性を有していますから、ほとんどのプラスチックが耐えられない温度でも荷重を支えることができ、繰り返しかかる応力に対しても強い耐性を示します。300℃で17.1MPaでのSP-22のクリープ変形量は1,000時間でわずか0.5%です。

図14 丸棒材SP-1とSP-21のクリープ変形量

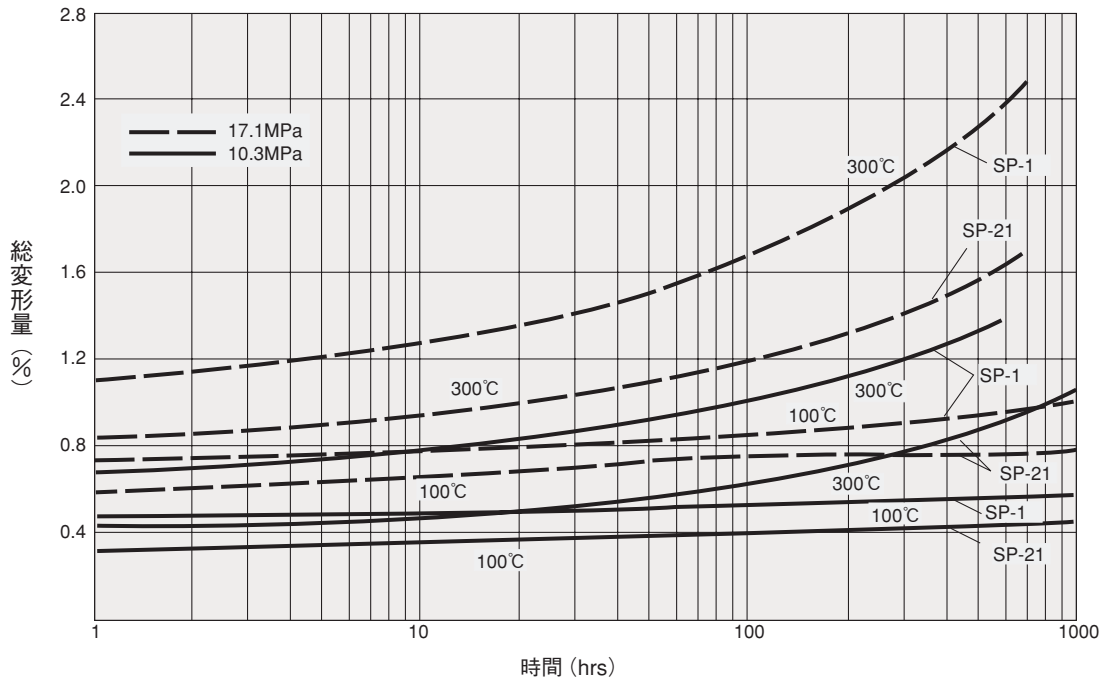
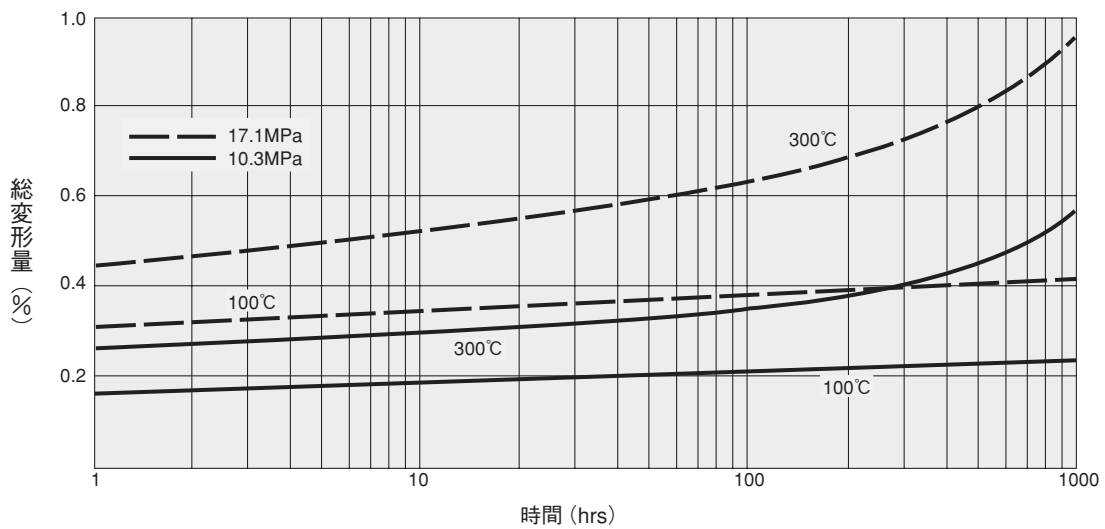


図15 丸棒材SP-22のクリープ変形量

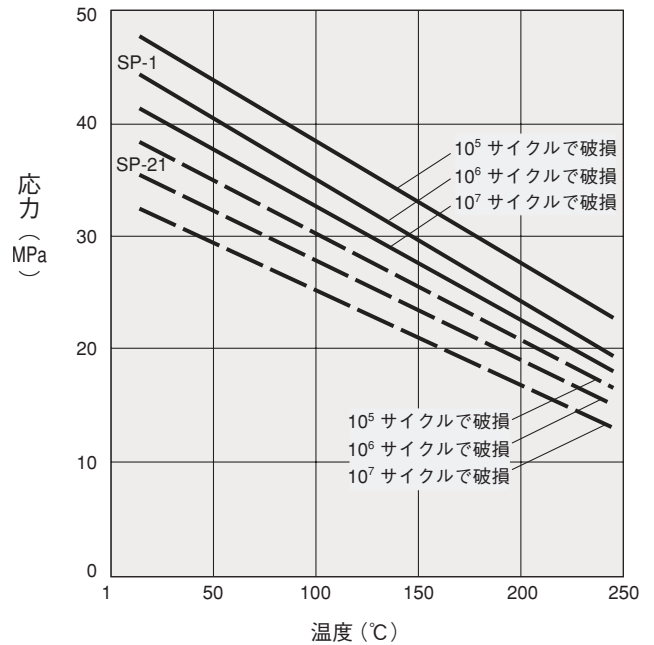


2-4 疲労

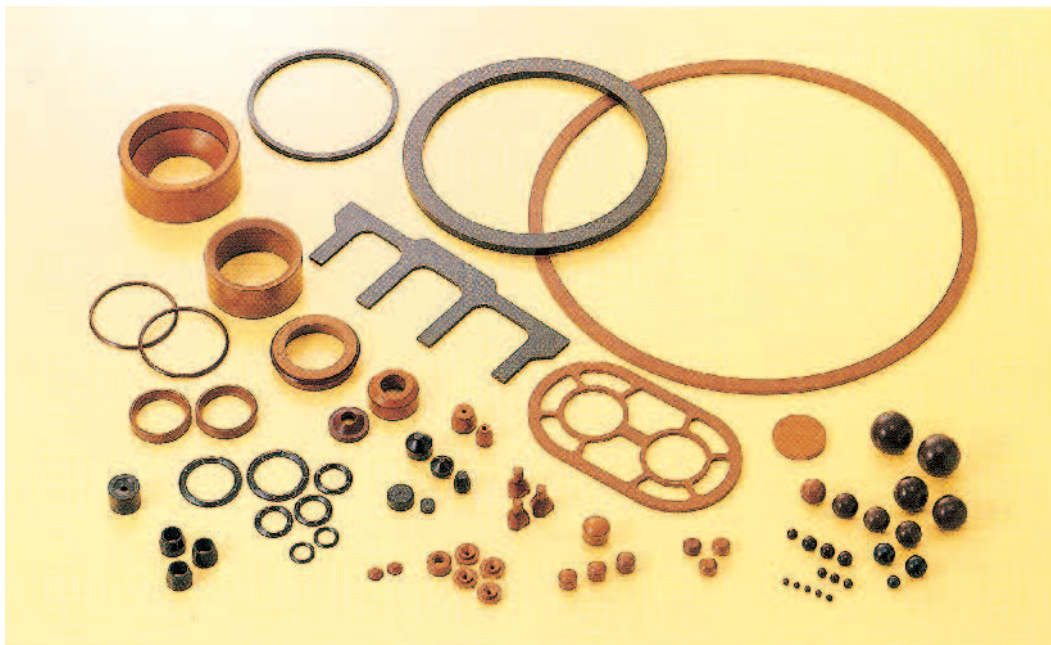
応力が繰り返し周期的にかかっている場合、その引張強さ以下の応力で材料が破損するのを、疲労破壊と呼びます。10⁵から10⁷サイクルで丸棒材SP-1とSP-21を破損させる応力と温度をプロットしたのが、図16です。応力は、分当たり1,800サイクルで、交互にかかる引張りと圧縮です。サンプルを早期破壊させるのに加熱はほとんど影響がないので、破壊の原因はかかった応力の頻度という事になります。

テストで得られた疲労に関する資料は、部品設計の手引きになります。環境状況や応力集中に適切な考慮を払わないで直接使用することは出来ません。また、このテストは平滑な試料に対し行なったものですが、ノッチ、スクラッチ、孔、または鋭角のある場合には応力集中の影響が考えられます。部品を実際的に、あるいは模擬的に用途テストを行う場合には、以上の要因を考慮して疲労テストを行う必要があります。

図16 丸棒材の代表的な疲労強度と温度の関係
引張り-圧縮繰り返し応力 1800サイクル/分 (30Hz)



バルブ、ガスケット、シール部品



3.摩擦摩耗特性

ベスベル[®]SPのグラファイトを充填したグレードは自己潤滑性とその卓越した耐熱性から、無潤滑、潤滑状態にかかわらず過酷な条件下で優れた耐摩耗性を示し、あらゆる摺動用途に使用されています。

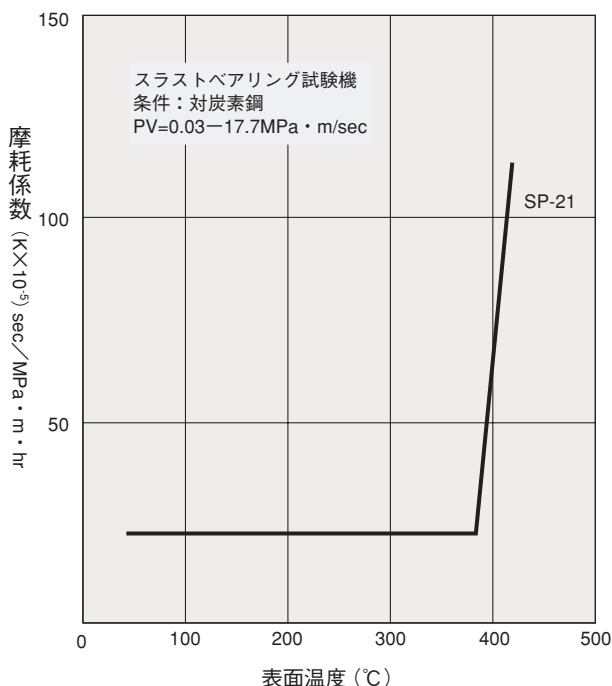
3-1 摩耗転移温度

樹脂材料の摩耗量は、空気中において、表面温度が摩耗転移温度と呼ばれる値以内では、荷重 (P) と速度 (V) の積に比例します。表面温度が摩耗転移温度を超えると摩耗は急激に増加します。

SP-21の摩耗転移温度は、真空中あるいは不活性ガス中で、480～540℃、空気中で370～400℃です。図17に示すようにSP-21の摩耗係数は表面温度が摩耗転移を超えない限りほぼ一定です。

なお、テフロンを含有するSP-211グレードの摩耗転移温度は260℃です。

図17 SP-21の摩耗量と温度の関係



3-2 限界PV値

摩耗転移温度をP、Vの条件で表わしたものを限界PV値といいます。通常の使用では表面温度の測定が困難なので、限界PV値を用いるのが一般的です。限界PV値はP、Vの組み合わせにより値が変化しますので、摩耗転移温度の方がより正確といえます。

代表的な無潤滑PV限界値はSP-21とSP-22が10.4、SP-211が3-5MPa·m/secです。

図18 SP-21の炭素鋼に対するPVと表面温度 (弊社スラストベアリング試験機による)

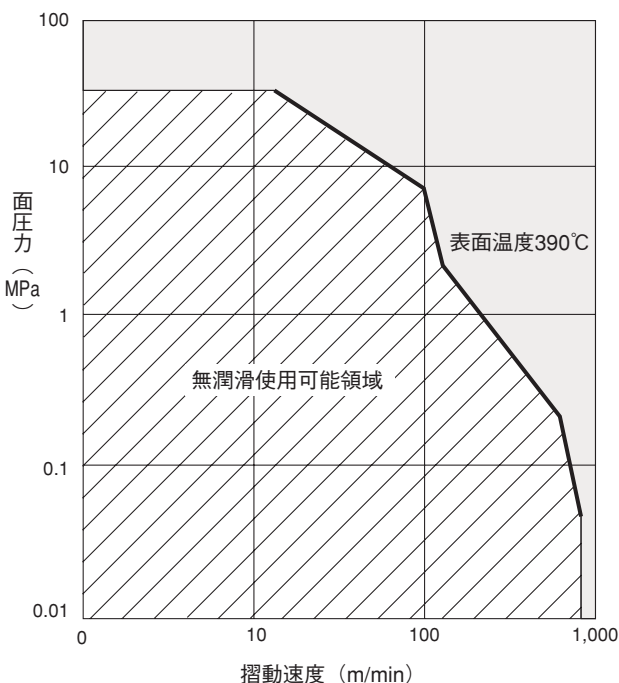


表 5 無潤滑ベアリングの各種材料の限界表面温度と限界PV値

材 料	限界表面温度 (°C)	限界PV値 (MPa·m/sec)
SP-21	390	10.4
SP-22	390	10.4
SP-211	260	3.53
PTFE	260	0.06
PTFE(15-25%ガラス入り)	260	0.44
PTFE(25%カーボン入り)	260	0.70
ナイロン	150	0.14
ナイロン(30%ガラス入り)	150	0.34
アセタール	120	0.12
アセタール(PTFE入り)	120	0.25

(注) これらの値はある一定の条件下における参考値です。PV限界値は、PとVの組み合わせやテスト条件により変化します。詳細については、メーカーの技術資料を参照してください。

3-3 摩耗

ベスベル[®]SPの摩耗の特長は、図19に見られるように非常に短い時間で相手材に対するなじみが達成され（初期摩耗）、摩耗の進行がゆるやかになることです。初期のグリースは初期摩耗を小さくし、トータルの摩耗量を小さくするのに有効です。

材料の摩耗は一般的に、下記の式であらわれます。

$$X=KPVT$$

X：摩耗高さ (cm)

P：面圧力 (MPa)

V：摺動速度 (m/sec)

T：時間 (hr)

K：摩耗係数 (sec/MPa・m・hr)

この摩耗係数Kは限界PV値以内ではほぼ一定の値を示します。しかしながら、様々な使用条件、例えば温度、形状、相手材料の種類、硬さ、表面粗さ、潤滑の程度等により値は異なります。参考までに相手材が炭素鋼の場合の、表面硬さと粗さの影響を図20に示します。

一般に炭素鋼の場合は、相手材は硬く、表面仕上げが良い程ベスベル[®]SPの摩耗は小さくなりますが、コスト対効果の点から表面粗さは3.2~6.3RS程度から検討されるのが妥当でしょう。

詳しい諸条件の効果についてはベスベル[®]の担当に御相談ください。

図19 SP-21の摩耗曲線（鈴木式摩耗試験による）

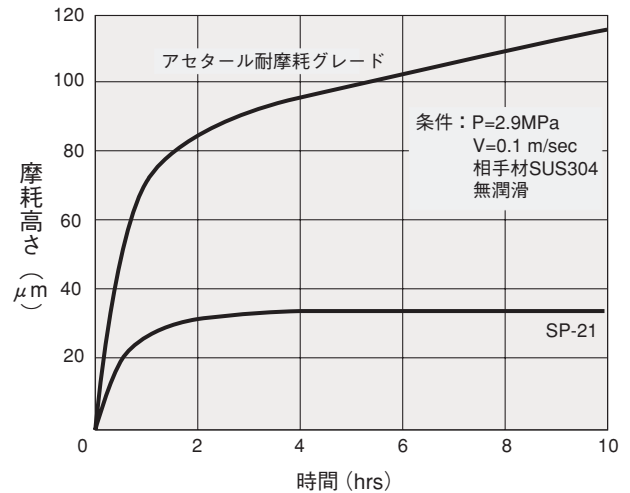
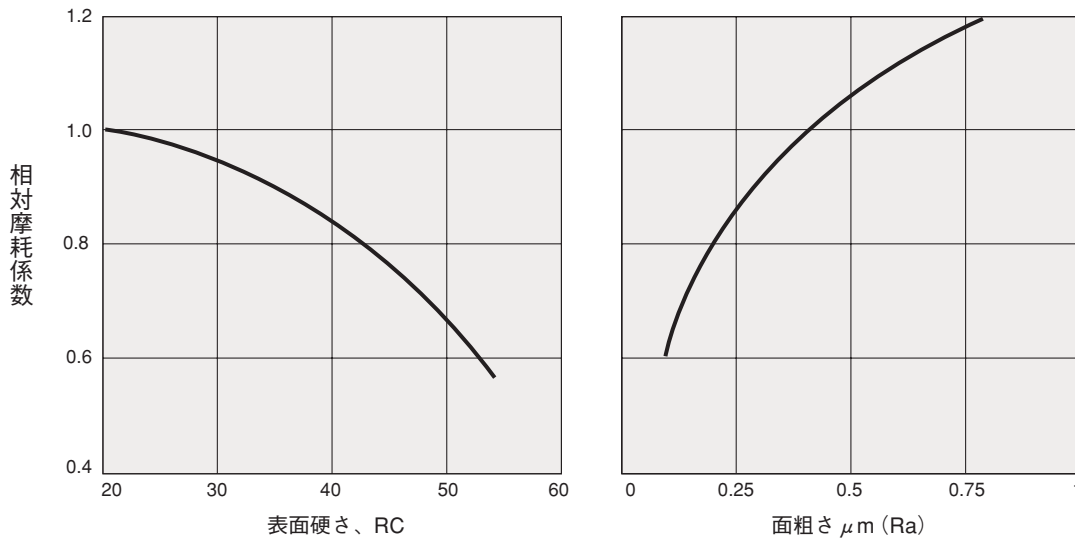


図20 相手材（炭素鋼）の表面硬さと面粗さの摩耗への影響（スラストベアリング試験機、無潤滑）



3-4 攻撃性

相手金属材料を傷つけず、かつ自身の摩耗が小さいのがベスベル[®]SPの特長です。対軟質金属向けグレードもごぞいます。相手が樹脂の場合には、相手側に合わせてPV条件を低くすべきです。また、金属と樹脂の場合よりも樹

脂・樹脂の方が摺動面で熱が逃げにくいことから、摩耗は大きくなります。

3-5 摩擦特性

温度、速度、荷重のいずれもベスペル[®]SPの摩擦係数に影響します。各グレードの諸条件における代表的な摩擦係数を表6に示します。

表6 代表的摩擦係数(無潤滑スラストベアリング試験)

条 件	グレード		
	SP-21	SP-22	SP-211
静	0.30	0.27	0.20
P=343KPa V=2.5m/sec	0.24	0.20	0.21
P=686KPa V=0.5m/sec	0.30	0.24	0.24
P=686KPa V=1.5m/sec	0.28	0.21	0.20
P=686KPa V=5.1m/sec	0.12	0.09	0.08

3-6 他スーパーエンブラとの違い

今までの説明でご理解いただけたかと思いますが、ベスペル[®]SPの優れた耐摩耗性はベスペル[®]SPの耐熱性と密接な関係があります。しかもそれは連続使用温度の288℃ではなく、それより100℃高い390℃域での耐熱性です。

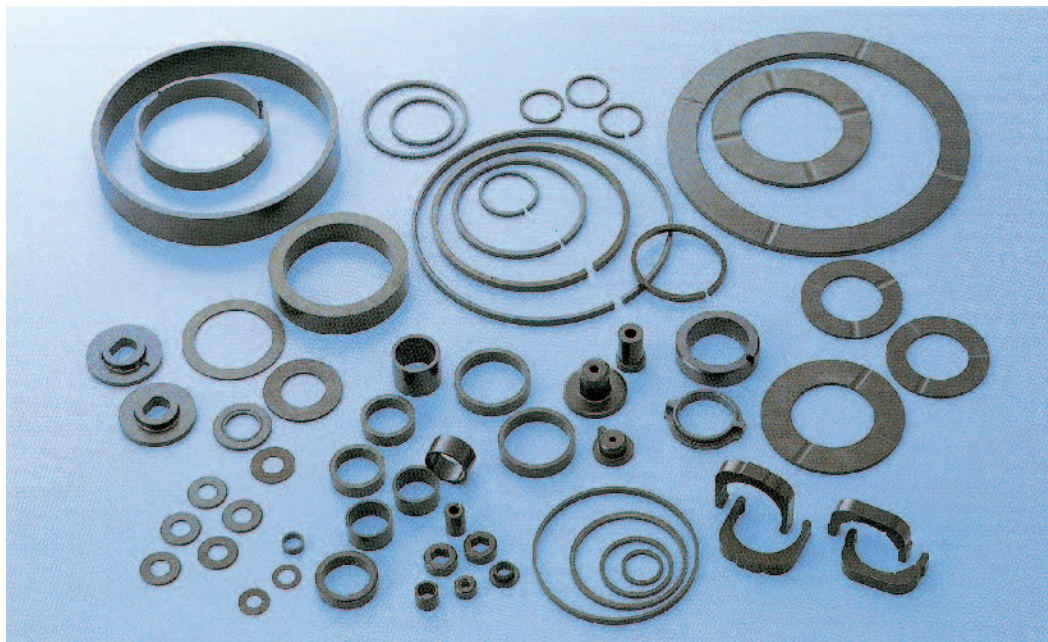
一般にポリイミド樹脂といわれる材料は市場に数多くあります。例えば、ポリアミドイミド、ポリエーテルイミド等がそれにあたります。しかしながら射出成形できるこれらの樹脂は成形が容易な反面、融点あるいはガラス転位点を持ち、それ以上の温度域では摺動に耐えることができません。逆に言えば、ベスペル[®]SPと他のスーパーエンブラの性能の差は390℃と他スーパーエンブラのガラス転移点(T_g)との差であると言えます。例えば熱可塑樹脂としては最高レベルの耐熱性をもつといわれる融点約400℃、T_g250℃の代表的な熱可塑樹脂の場合、無潤滑下での限界表面温度は約230℃で、この温度を超えると摩耗は急激に増加します。(弊社鈴木式摩擦摩耗試験結果による)。

また、樹脂材料自身が固すぎる場合には材料自身は摩耗しなくても相手材を攻撃してしまいます。

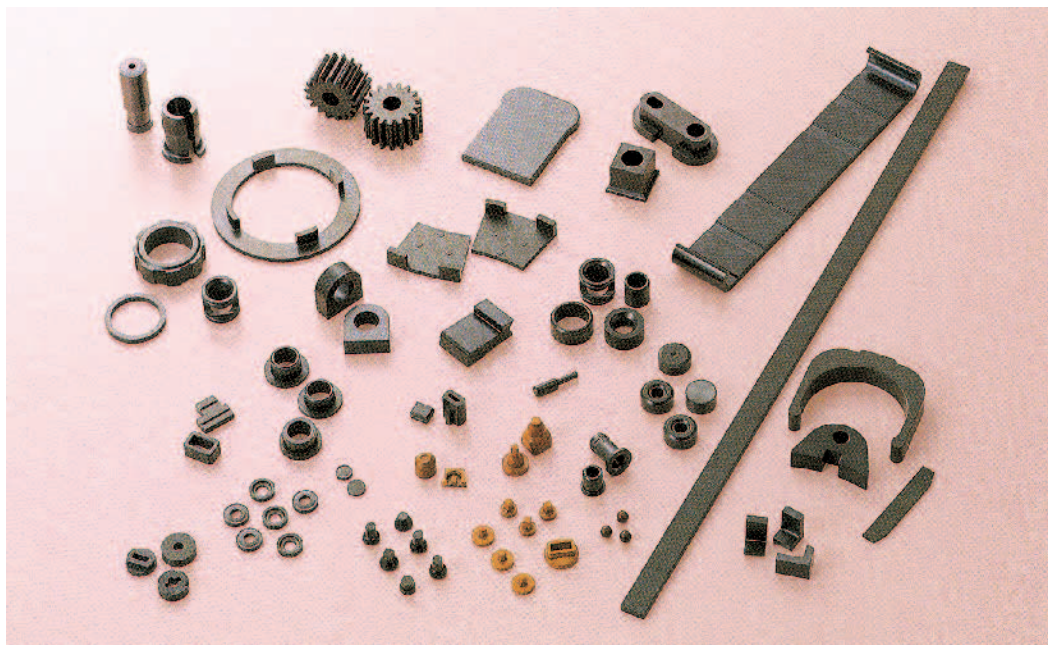
もう一つのベスペル[®]SPの大きな優位点は、ベスペル[®]SPは粉末冶金法による成形法をとっているため、射出成形樹脂のように表面に湯じわやひけ、あるいは内部にボイド(巣)が生じることもなく、またウェルドラインもありません。摩耗に関しても、表面層と深層との結晶度が均一なため、PV限界値内においては摩耗率は非常に安定しており、摺動時間とともに摩耗が急速に進行していくということはありません。

一般に、材料の耐摩耗の実力を知るには無潤滑摩耗試験の条件(PV値)を見れば推測できます。ベスペル[®]SPのそれと比較して下さい。潤滑下では材料の実力より潤滑条件が支配的になることが多く比較が難しくなります。

軸受、ワッシャー、シールリング



各種摺動部品



弊社では他材標準プッシュの置き換え可能なベスペル[®]SP標準プッシュも用意しております。サイズについては、ベスペル[®]担当営業までお問い合わせください。

4.電気的特性

ベスペル®SPは、常温時よりも、高温時でもその良好な電気的特性を保存します。図21は周波数が $10^2 \sim 10^5$ Hzにおいて温度の変化に対してベスペル®SP-1の誘電率が低下することを示しますが、これは試料の水分の除

去に影響されるため、十分に乾燥した試料ではこの傾向はなくなります。ベスペル®SP-1のコロナ抵抗は、ふっ素樹脂やポリエチレン樹脂よりも優れています。例えば7.9KV/mm (23℃、60Hz)でのコロナ寿命は2,200時間です。

図21 丸棒材SP-1の誘電率と温度の関係
ASTM D-150

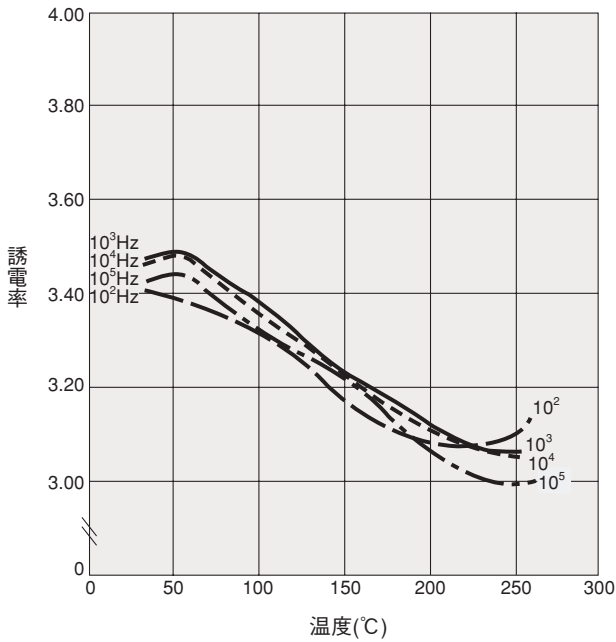


図22 丸棒材SP-1の誘電正接と温度の関係
ASTM D-150

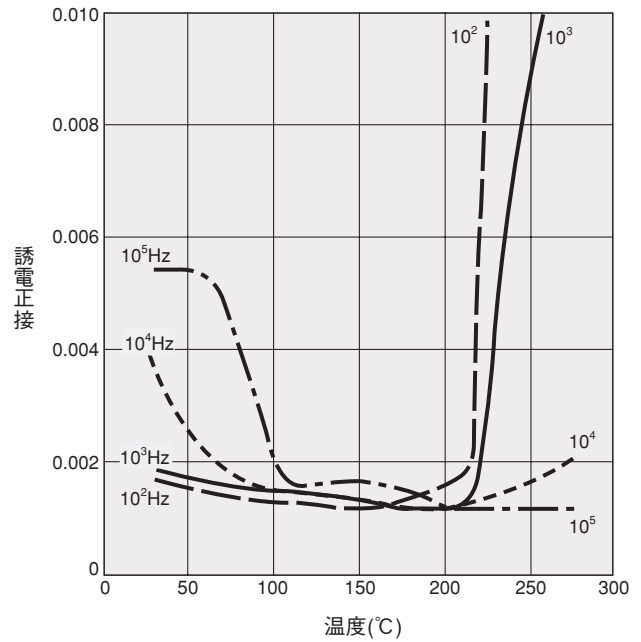


図23 丸棒材SP-1の体積抵抗率と温度の関係
ASTM D-257

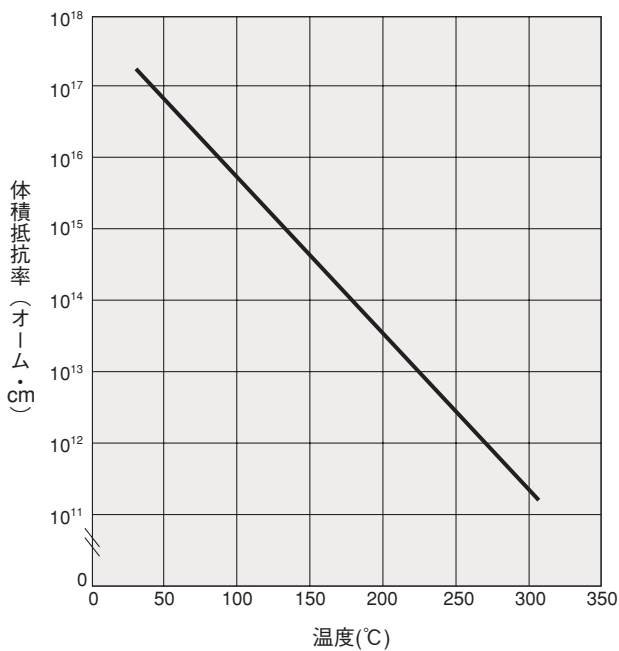


図24 丸棒材SP-1の表面抵抗率と温度の関係
ASTM D-257

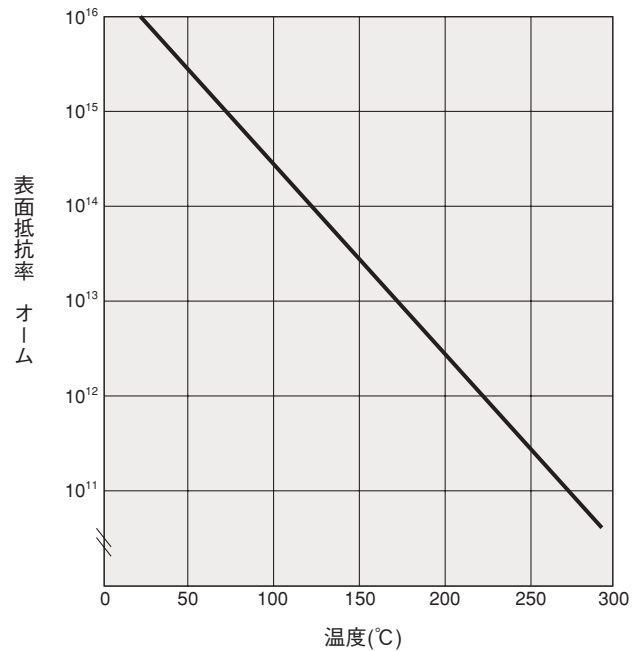


図25 丸棒材SP-1の絶縁耐力と温度の関係
ASTM D-149

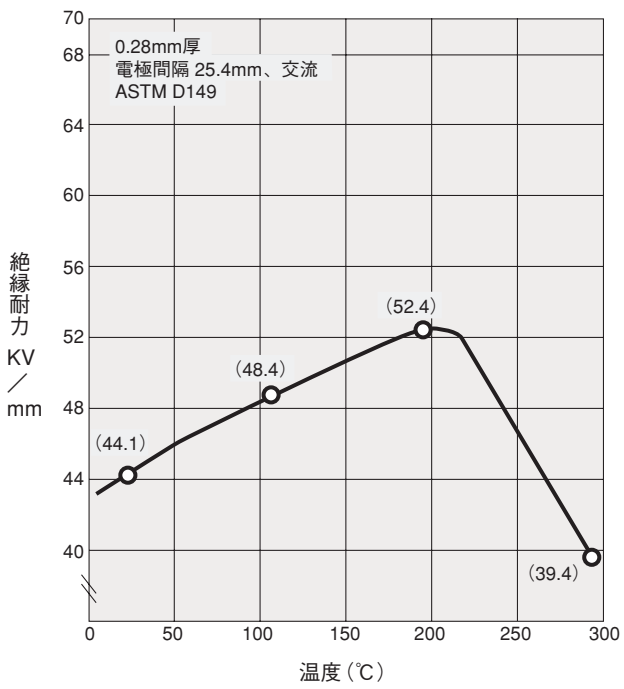
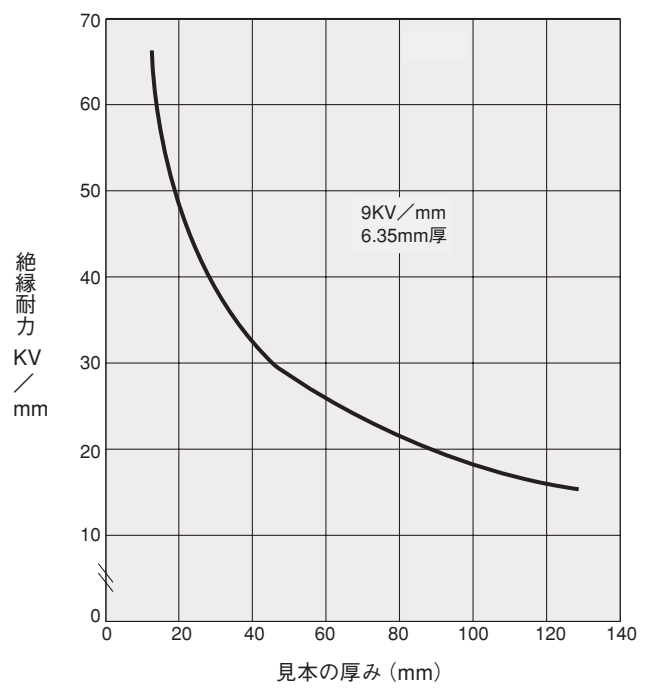
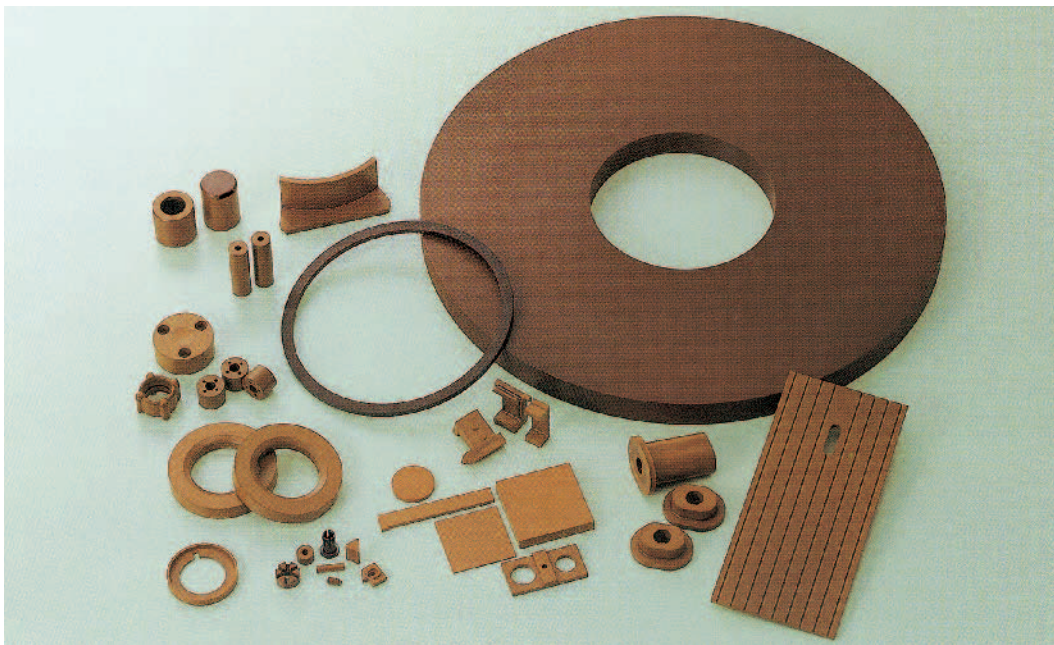


図26 丸棒材SP-1の絶縁耐力と厚みの関係
A-8オイル侵漬 ASTM D-149



電気絶縁部品



5.環境特性

5-1 水分による寸法変化

図27と28はベスペル[®]SPの丸棒材および成形品についての水分吸収による代表的な寸法変化率を示したものです。乾燥状態から平衡水分吸水量に達するまでの時間は非常に長く、数千時間を要します。

図29と30は23℃における丸棒材と成形品の平衡状態時の

寸法変化と相対湿度の関係を示したものです。

いずれの図も、異なった形状の試験片を様々な部位で測定した値の平均を示しています。

従いまして、材質の選定や部品の設計の際は、現物による確認評価を行ってください。

図27 23℃の丸棒材SP-1とSP-21の代表的な寸法変化と時間との関係
相対湿度50%厚み3.2mmの板

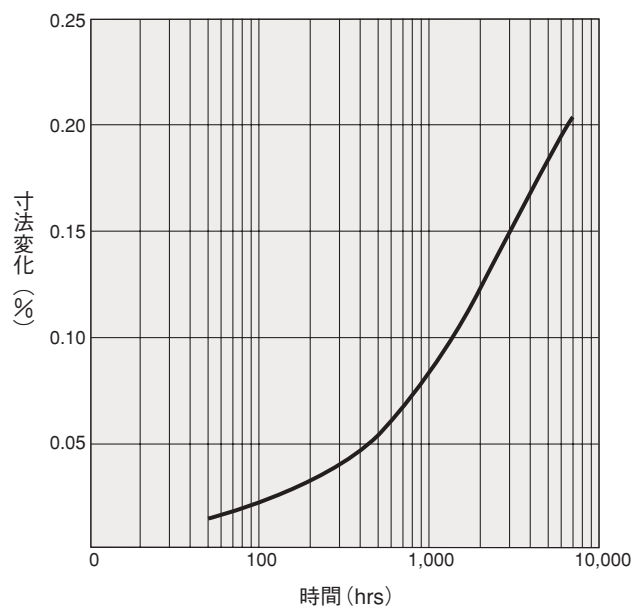


図28 23℃、相対湿度50%と100%時の成形品SP-1とSP-21の代表的な寸法変化と時間との関係
25mm径の円板、2.5mm厚み

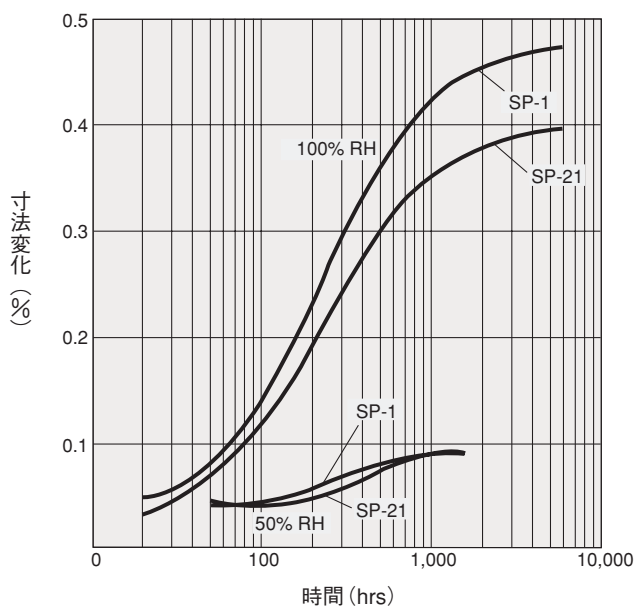


図29 23℃における丸棒材SP-1、SP-21の相対湿度(平衡)と寸法の関係

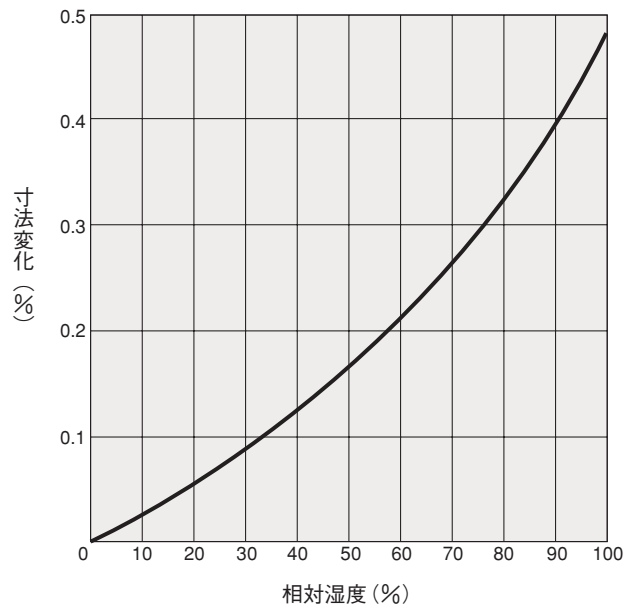
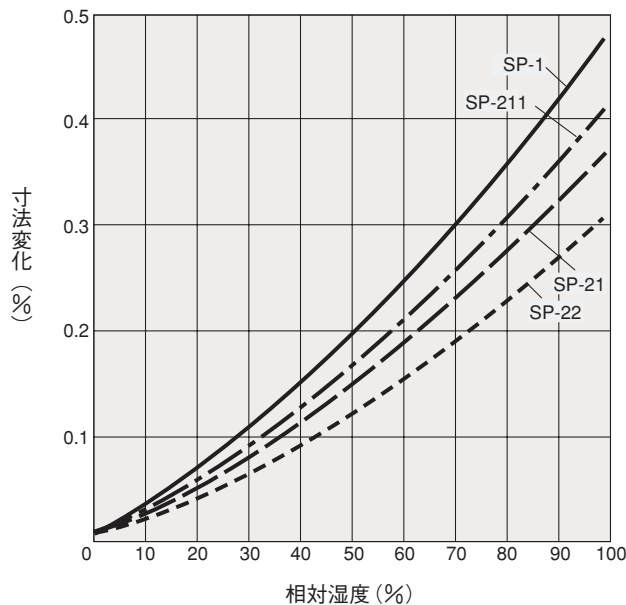


図30 23℃における成形品の相対湿度(平衡)と寸法の関係



5-2 耐薬品性

ベスベル®SPは、広汎な薬品に対して抵抗性をもっています。表7はASTM試験D-543-67による各種溶剤、化学薬品類に対する侵せき後の引張強さへの影響について示したものです。

有機溶剤

一般に、ベスベル®SPの機械的物性や寸法は広い温度域にわたり、有機溶剤に長時間曝されても影響を受けません。

グリース・オイル

ベスベル®SPは一般に使用されている各種グリースやATF、エンジンオイル等の潤滑油に対しては、高温でもまったく影響を受けません。

水および水溶液

ベスベル®SPは約100℃までの水中で使用できますが、機械的性質は低下します。例えば100℃の水で約500時間後の引張強さは初期の値の45%、伸びは30%落ちます。低下した物性は、再度乾燥することにより、ある程度回復します。

100℃を越える熱水または蒸気下での使用は物性劣化が大きく推められません。

各種塩類水溶液に対してもベスベル®SPは水と同様の影響をこうむります。

塩基類

ベスベル®SPは、アルカリに影響を受けやすく、機械的物性の劣化をまねきます。たとえば、アンモニア、ピトラジン（無水または蒸気）、一次および二次アミン類を含めpHが10またはそれ以上の液に曝すことは避けるべきです。

酸化剤

強力な酸化剤の役割をする試薬類、たとえば硝酸、酸化窒素（NO₂）などはベスベル®SPを酸化させます。弱い酸化剤については、最終用途に合わせたテストを前もって行なってください。

5-3 真空特性

十分なベーキングを行った後のベスベル®SPは、きわめて高温な真空下でも使用可能です。NASAのテストによるとベスベル®SPは10⁻⁷Torrで93℃、4時間の乾燥の後10⁻⁸Torrの真空下に放置した場合、260℃以下では10⁻¹⁰g/cm²/sec以下の重量損失で、315-370℃では10⁻⁷g/cm²/secを示しています。

表7 ベスベル®SPの耐薬品性 ASTM D543

薬品名	℃	時間 (hrs)	SP-1の引張強さ維持率 (%)
有機溶剤			
メタクレゾール	204	1,000	75 ⁽¹⁾
O-ジクロールベンゼン	179	1,000	100
ジエチルケトン	99	1,900	100
エタノール	99	1,900	100
ニトロベンゼン	215	1,000	85 ⁽¹⁾
パークロルエチレン	99	1,900	100
トルエン	99	1,900	100
工業用燃料			
ポリリン酸エステル(Skydrol)	120	1,000	100
JP-4ジェット燃料	99	1,900	80
ジェットエンジンオイル	260 260	600 1,000	90 60 ⁽²⁾
鉱油	200	1,000	90 ⁽²⁾
シリコン油	260	1,000	85 ⁽²⁾
トリクレシルホスフェート(添加剤)	260	1,000	80 ⁽²⁾
酸			
酢酸 15%	99	1,900	20
塩酸 38%	23	120	70
塩酸 5%	99	1,900	15
硝酸 70%	23	120	40
アルカリ			
苛性ソーダ	23	120	55
酸化剤			
酸化窒素(NO ₂)	23	120	60

(1) 膨潤 (2) SP-21

5-4 耐照射性

ベスベル®SPは高エネルギーのイオン化照射に耐性もっています。1×10⁸radsのガンマ線照射後のベスベル®SPの重量損失はわずか1.0%以下で、1×10⁸radsの電子ビーム照射でも重量損失は2.0%以下です。

6.代表的エンブラとの比較

限界PV値は摺動グレード、他は未充填グレードでの比較。

表 8 荷重たわみ温度と融点

材 料	荷重たわみ温度 (1.8MPa・℃)	融 点 (℃)
SP-1	360	なし
アセタール	127	175
ナイロン66	90	255
PTFE	55	327

図31 使用温度限界

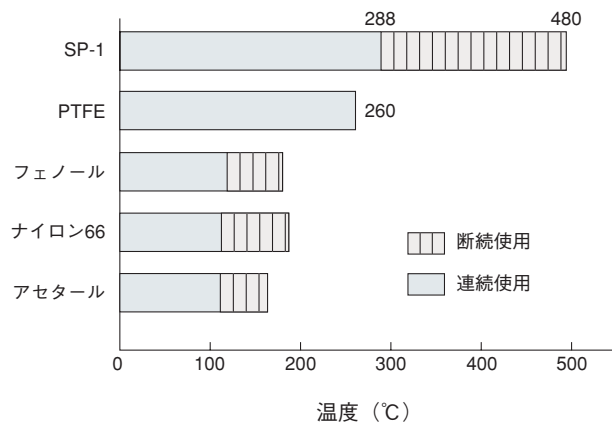


図32 荷重変形 13.7MPa、50℃

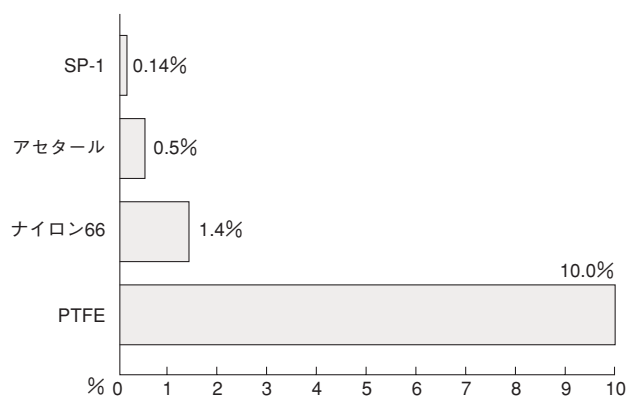


図33 引張強さと温度との関係

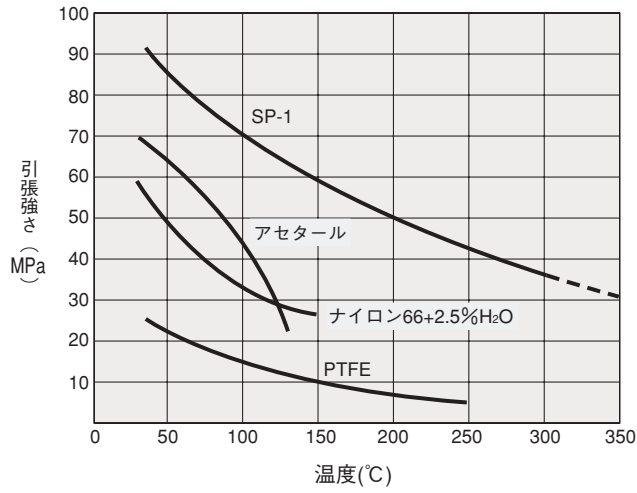


図34 弾性係数と温度との関係

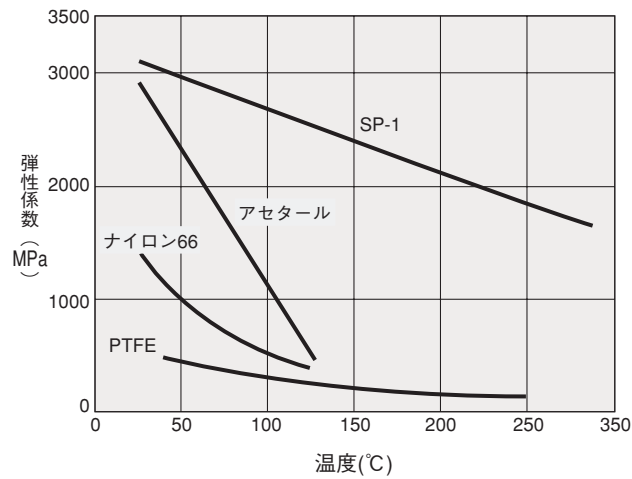
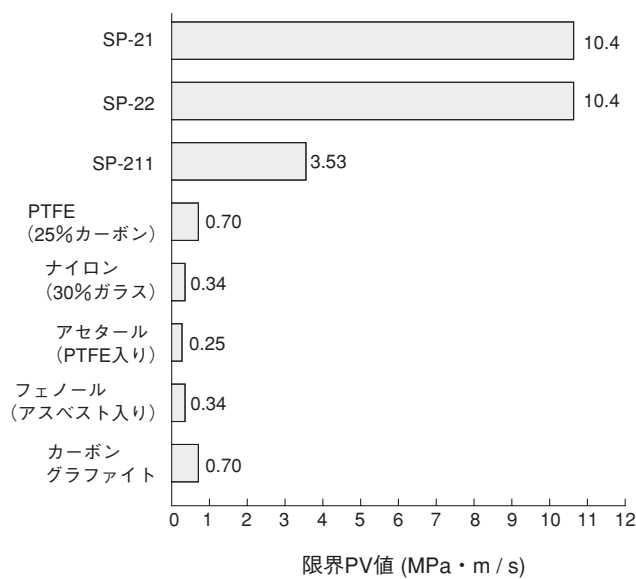
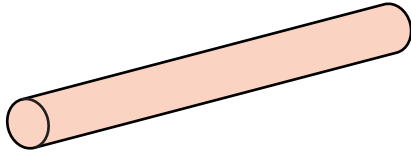


図35 無潤滑限界PV値



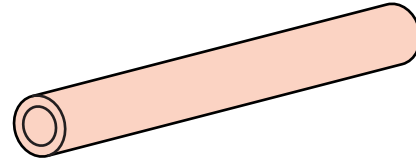
7.加工用素材リスト

丸棒



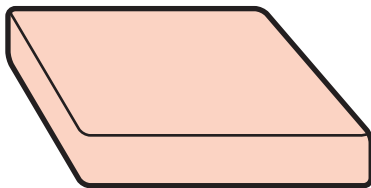
最小径		規格長さ		長尺物長さ	
インチ	mm	インチ	mm	インチ	mm
1/4	6.3	9 1/2	241	38	965
3/8	9.5	9 1/2	241	38	965
7/16	11.1	9 1/2	241	38	965
1/2	12.7	9 1/2	241	38	965
5/8	15.8	9 1/2	241	38	965
3/4	19.0	9 1/2	241	38	965
1	25.4	9 1/2	241	38	965
1 1/4	31.7	9 1/2	241	38	965
1 1/2	38.1	9 1/2	241	38	965
2	50.8	9 1/2	241	38	965
2 1/2	63.5	9 1/2	241	38	965
3 1/4	82.5	9	228	27	685
4 1/4	107.9	4	101		
6	152.4	2	50.8		

チューブ



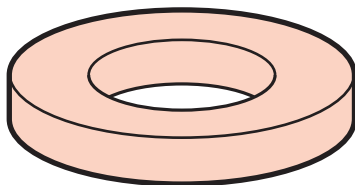
最小外径		最大内径		規格長さ		短尺物長さ	
インチ	mm	インチ	mm	インチ	mm	インチ	mm
12.0	304	10.0	254	33	838		
10.7	271	7.2	183	33	838		
9.5	241	6.2	158	33	838		
8.3	210	6.2	158	33	838		
7.1	180	5.6	143	33	838	8	203
6.7	170	5.6	143	33	838		
6.4	162	5.6	143	33	838		
6.7	170	4.7	120	33	838	8	203
5.9	149	4.7	120	33	838		
5.6	142	4.7	120	33	838		
6.5	165	4.3	110	33	838	8	203
6.1	154	4.3	110	33	838		
5.7	144	4.3	110	33	838		
5.4	137	4.3	110	33	838		
4.8	121	4.3	110	33	838		
5.4	137	3.4	86.4	33	838	8	203
4.9	124	3.4	86.4	33	838	8	203
4.3	109	3.4	86.4	33	838		
3.7	93.9	3.4	86.4	33	838		
5.1	129	2.6	66.1	33	838	8	203
4.7	119	2.6	66.1	33	838		
4.0	101	2.6	66.1	33	838	8	203
3.4	86.3	2.6	66.1	33	838		
4.9	124	1.9	48.3	33	838	8	203
4.4	111	1.9	48.3	33	838		
3.7	93.9	1.9	48.3	33	838	8	203
3.1	78.7	1.9	48.3	33	838		

板材



最小厚み		寸法		
インチ	mm	10"×10"	10"×5"	5"×5"
2	50.8	(254×254mm)	(254×127mm)	(127×127mm)
1 1/2	38.1			
1	25.4			
1/2	12.7			
1/4	6.3			

リング



最小外径		最大内径		最小厚み	
インチ	mm	インチ	mm	インチ	mm
10.1	256	3.5	89	1.92	48
10.1	256	5.3	135	1.92	48
12.0	305	7.7	196	2.04	52
14.2	361	7.7	196	2.04	52
16.3	415	8.3	210	2.04	52
18.0	457	8.3	210	2.04	52
21.5	545	14.4	365	2.04	52

上記以外の特注サイズ、丈径、薄板などについてはお問い合わせください。

8.ベスペル®SP製品の取り扱いについて

1. 保管について

本製品の特性は、通常的环境下において長期にわたり安定しており、急激な劣化はほとんどありません。また、消防法上の指定可燃物（合成樹脂等）ではありません。ただし、温度、湿度等の外的環境により一時的に寸法と形状が変化することがあります。本製品は、温度、湿度の変化が少ない場所で保管して下さい。

2. 廃棄について

本製品や本製品の切り屑を廃棄する場合は、廃棄物の処理および清掃に関する法律ならびに各自治体の条例、指導に従いプラスチック廃棄物として、貴社の責任において処理して下さい。

3. 医薬用途への制限について

本製品は人体へ移植すること、あるいは体液、体内組織と接触する医療用途に使用することを禁止します。

4. 工業所有権について

本製品並びにその開発・設計・製造・使用に関して貴社と第三者との間で、工業所有権の権利侵害等の紛争が生じた場合は、弊社の技術支援の有無にかかわらず貴社の責任においてその解決をしていただく旨、予めご了承下さい。

5. 輸出規制について

本製品単独では、輸出貿易管理令に定める規約品に該当いたしません。

6. その他

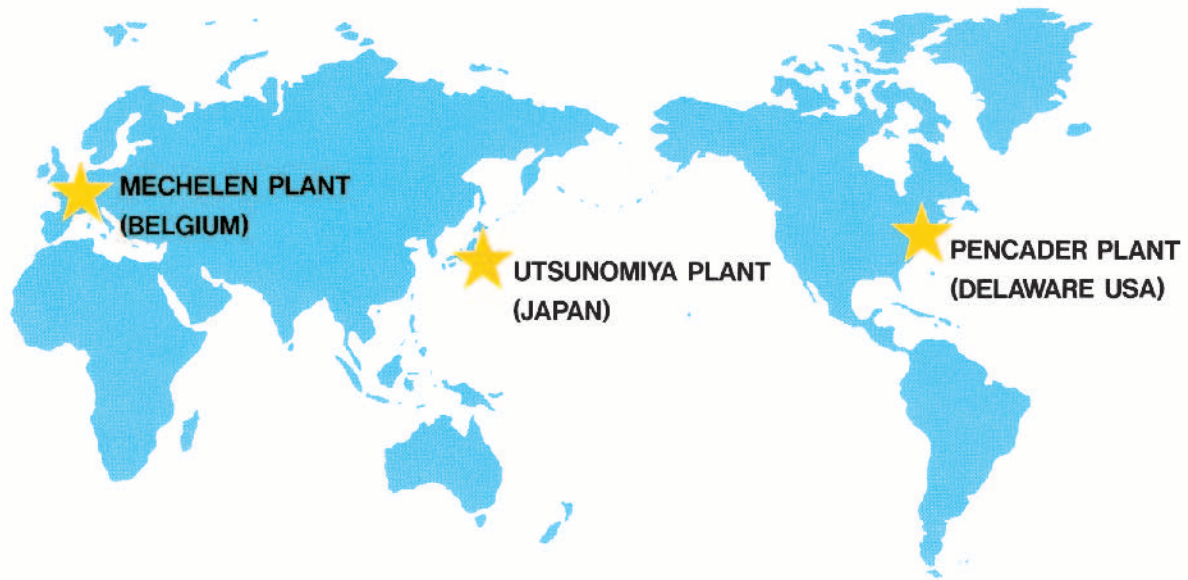
記載内容は、新しい知見や法規の改訂等により、断りなく変更することがあります。

本製品には、各グレード毎に「加工用素材（丸棒等）」と「成形品」があります。本製品の選定にあたっては、本技術資料をご参照の上、事前に十分な確認評価を行って下さい。

本資料において提供される情報は、発行（または提供）時の弊社知識に基づくものです。提供の情報は、新たな知識及び経験が得られた場合、変更されることがあります。提供のデータは、製品特性の通常範囲にあり、指定された特定の材料についてのみ関連するものです。これらデータは、特に明記しない限り、他の材料、添加剤またはいかなる方法と組み合わせられ使用されたとき、適用できない可能性があります。提供のデータは、仕様における限界値を設定するために、または設計における基本値としてのみ使用することはできません。これらデータは、ご利用者が自己の特定の目的に特定の材料が適合するか否かを判断するためにご利用者自身で実施する必要がある試験、評価に替わって、使用されることを意図して提供するものではありません。弊社（デュボン）は、実際の最終用途の多様な態様を予め認識することができないために、ここに提供の情報の使用に係わる保証または責任を負うものではありません。本資料において、何等の特許についても実施許諾するものでなくあるいはそれらを侵害することを推奨するものではありません。

本製品の安全性及び取り扱いに関する更に詳しい情報が必要な場合は、「製品安全データシート（MSDS）」をご参照下さい。

ベスペルは、ヨーロッパ、アメリカ、日本の
3工場生産体制で部品のグローバル供給と
技術サポートが可能です。



ベスペル®はデュボン社の登録商標です。

ベスペル®に関するお問い合わせは…

デュボン株式会社

エンジニアリングポリマー事業部

東京〒153-0064	東京都目黒区下目黒1丁目8番1号	アルコタワー	☎03-5434-6989
名古屋〒450-0003	名古屋市中村区名駅南1-24-30	名古屋三井ビル本館	☎052-571-7714
大阪〒550-0002	大阪市西区江戸堀2丁目1番1号	江戸堀センタービル	☎06-6449-3960
宇都宮〒321-3231	栃木県宇都宮市清原工業団地19-2		☎028-667-5931



The miracles of science™