

POLYPHENYLENE SULFIDE

DIC.PPS

Heat Resistant

High Performance

Engineering Plastics

DIC.PPS の基本的性質

PROPERTIES OF DIC.PPS

DIC.PPSの基本的性質

機械的、熱的、電氣的性質、成形加工他

PROPERTIES OF DIC.PPS

Mechanical, Thermal, Electrical, Processing & Other Properties.

目次	頁/Page	CONTENTS
安全に関する注意事項	P.ii	SAFETY INFORMATIONS
1. はじめに	P. 1	1. GENERAL INFORMATION
2. PPS ポリマーの性質	P. 2	2. PROPERTIES OF POLYMAR
3. DIC.PPS の品番	P. 3	3. VARIATIONS OF DIC.PPS
4. DIC.PPS の基本的性質	P. 4	4. KEY PROPERTIES OF DIC.PPS
5. その他の性質	P.17	5. OTHER PROPERTIES
6. 成形加工	P.19	6. PROCESSING
7. 二次加工	P.30	7. FINISHING OPERATIONS
Table A DIC.PPS の代表物性値	P.33	Table A Representative Properties of DIC.PPS
成形上の注意事項	P.34	Precautions for Moldings

……………ご利用前にお読み下さい

安全性に関する事項

DIC.PPSを安全にご使用いただくために本‘DIC.PPSの基本的特性’に記載の‘成形上の注意事項’およびMSDSをご覧ください。

一般注意事項

1. ‘DIC.PPSの基本的性質’に掲げる情報(‘本情報’)は、DIC.PPSを選択していただくための参考としてご需要家各位に提供されるものです。
2. ‘本情報’は作成時点において弊社が信頼し得ると考えられる試験または調査に基づくものですが、弊社は、その正確性および完全性を保証するものではありません。
3. ‘本情報’をご参考にされるにあたり、ご需要家各位におかれましては、意図される応用、加工または使用に対する適合性の試験を行うことが必要です。‘本情報’は当該試験の必要性を免除するものではありません。
4. 弊社はご需要家各位における‘本情報’または‘DIC.PPS’の応用、加工、使用およびこれらに伴う結果についての責任を負いかねます。
5. ‘本情報’の提供は当社がご需要家各位での具体的応用、加工または使用に関して、第三者の知的財産権を侵害しないことを保証するものではありません。
6. DIC.PPS CZ-1130, CZL-4033などの品番で代表される特定の炭素繊維を充填強化した‘DIC.PPS’を輸出する場合には、日本国政府の許認可が必要な場合があります。この許認可手続の必要性の判断およびその取得についてご需要家各位の責任において実施して下さい。
7. ‘本情報’に含まれる種々のデータは、特に本文中でことわりが無い限り、以下の標準的な成形条件で作成された試験片を用いて計測されたものです。

予備乾燥：130℃ /4Hrs.

シリンダー温度設定：320℃

射出充填時間：1 sec.

保持圧力：60MPa

金型温度設定：150℃

Safety Information:

See ‘Precaution for molding’ in this brochure and Material Safety Data Sheet for safety precautions during use.

Important Notice to Recipient:

1. The Information contained in this brochure (‘Information’) shows typical data of natural resins prepared for the purpose of assisting the selection of DIC.PPS (‘Products’).
2. The Information is based on tests or research DIC Corporation (‘DIC’) believes to be reliable, but no warranty is given by DIC concerning the accuracy or completeness thereof.
3. The supply of the Information does not release the recipient from the obligation to test the Products as to their suitability for the intended applications and processes.
4. DIC has no liability for any consequence of the application, processing or use of the Information or the Products.
5. Information concerning the application of the Products is not and should not be construed as a warranty as to non-infringement of intellectual property for a particular application.
6. The export and use of the following products may require the approval of the government and/or various regulatory agencies of Japan. It is the sole responsibility of the recipient to determine the need for and obtain any such approvals.
Specific carbon fiber filled DIC.PPS compounds including CZ-1130 and CZL-4033.
7. The following standard processing conditions are adopted for preparing to the test pieces unless any comments in this brochure.

Pre drying: 130°C/4Hrs.,

Cylinder set temperature: 320°C,

Injection rate: 1 sec.

Holding pressure: 60 MPa and

Mold set temperature: 150°C.

DIC.PPSの基本的性質

第5版

発行日 2008年4月1日

発行者 DIC株式会社

PROPERTIES of DIC.PPS

5th edition

Issued April 01, 2008

By DIC Corporation

1. はじめに

ポリフェニレンサルファイド (PPS) 樹脂は、Fig.1.1 に示す化学構造を持った結晶性の耐熱性ポリマーです。この樹脂は、約280℃の高い融点を持ち優れた耐薬品性と共に難燃剤を添加せずに自己消火性を示す燃え難い性質を持っています。

ガラス繊維などの繊維状強化材や無機質フィラーで強化、充填されたコンパウンドである DIC.PPS は耐熱性はもちろん高度な機械的性質と同時に優れた寸法安定性を示す典型的なエンジニアリングプラスチックの特性を備えています。

DIC.PPS には大別して二種類が有ります。一つは架橋型ポリマーをベースとしたコンパウンドで、高温領域でも高い剛性を保持し、クリープ変形に対して有利なタイプです。他のタイプはリニアポリマーをベースとし、伸び、靱性に特長が有ります。またリニアポリマーは純度が高いため架橋型ポリマーに比較して高温多湿下ではさらに吸湿が少ない特長を持っています。

以上の DIC.PPS の特性は、以下に示すような応用面の要求性能に応えることのできる成形材料で、デザイナーや、モルダーにとって使い易い高度なエンジニアリングプラスチックと言えます。

- 200℃以上で連続使用が可能な耐熱性
- 広い温度領域での高い剛性と強度保持
- 樹脂固有の UL V-0ランクの難燃性
- 広範な環境条件における優れた寸法安定性
- フッ素樹脂に次ぐ耐薬品性
- 高温、多湿、高周波のもとでの高度な電気特性
- 複雑な高精度成形が可能

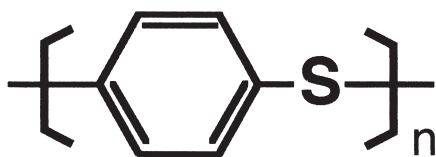


Fig.1.1 PPSはベンゼンと硫黄から成る簡単な化学構造の樹脂
PPS is a simple chemical construction consisting of benzene ring and sulfur atom

1. GENERAL INFORMATION

Polyphenylene Sulfide (PPS) is a heat resistant partially crystalline polymer with simple chemical construction as shown in Fig.1.1. This polymer has a high melting point of about 280°C, has outstanding chemical resistance and is non-burning by established industry flammability test without any flame retardant chemicals.

DIC.PPS which is filled with fiber reinforcement and/or mineral filler possesses a unique combination of properties of interest to the designer and processor. It combines the high performance usually associated with specialty plastics and the excellent processing characteristics of typical engineering plastics. It is thermally stable and exhibits excellent mechanical properties as well as dimensional stability.

Two types of PPS are available. One is the cross-linked molecular construction polymer based compounds; these are especially excellent rigidity and lower creep deformation under elevated temperature. The other is the linear molecular construction polymer based; these have excellent toughness and lower water absorption than former, because of its high purity polymer.

This combination of superior properties and process ability provide the designer and processor with a unique material in applications which require;

- Heat Resistance,
- Superior Strength and Modulus,
- Inherent Flame Resistance,
- Excellent Dimensional Stability,
- Chemical Resistance,
- Excellent Electrical Properties and
- Molding of Intricate and Precision Parts.

2. PPS ポリマーの性質

2.1. 基本的特性

耐熱性に特長ある PPS 樹脂は、Fig.2.1に示す TGA 分析（熱重量分析）によれば空気および窒素雰囲気下で共に熱分解開始温度は500℃以上の高い耐熱安定性を示します。

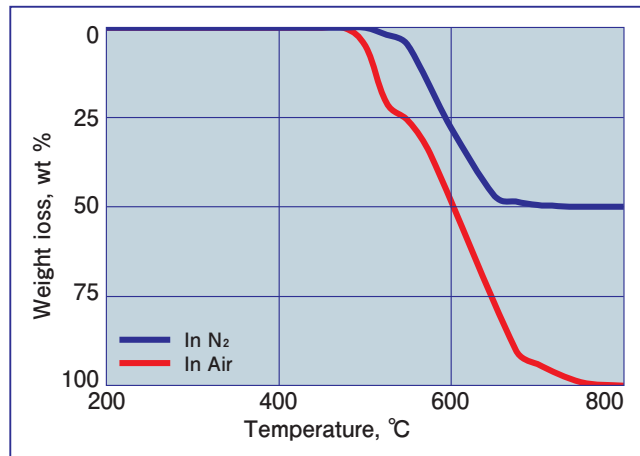


Fig.2.1 PPSポリマーのTGA熱分解曲線
Thermal oxidative stability of PPS

また、Fig.2.2に示すように、PPS 樹脂の DSC 分析によるとガラス転移温度：T_gは約90℃、融点：MPは約280℃、再結晶化温度：T_{Ci}は約125℃を示す部分結晶性のポリマーです。これらの温度は、PPS 成型品の機械的特性をはじめ種々の特性にとって重要な意味を持っています。この重要性は Fig.2.3のポリマーの粘弾性挙動を示すダンピング特性の温度依存性でも明らかです。この特性は、ASTM D-5418に準拠し周波数0.1HZ で二重片持ち曲げ法で測定したもので、ガラス転移温度以上では力学特性が急変する結晶性樹脂特有の性質を示します。

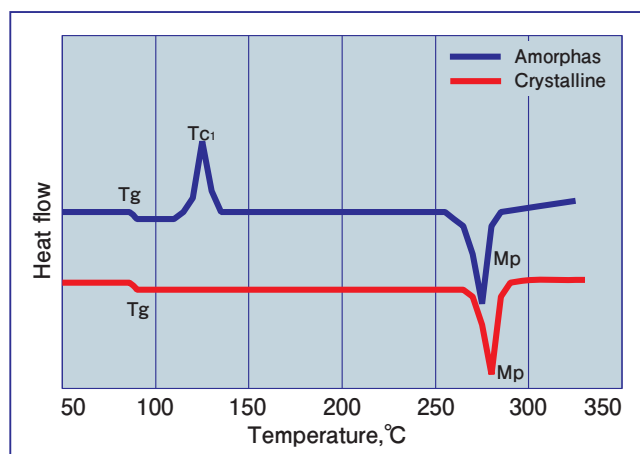


Fig.2.2 PPSポリマーのDSC熱分析チャート
DSC chart of PPS polymer

2.2. 架橋型 PPS とリニア型 PPS

前章でも触れたように PPS には架橋型と呼ばれるものとリニア型と呼ばれるものがあります。架橋型はポリマーの製造工程中、酸素存在下で熱処理することに依って

2. PROPERTIES OF POLYMER

2.1. General Properties

PPS polymer exhibits exceptional resistance to thermal oxidative degradation. Its decomposition temperature, as determined by thermo-gravimetric analysis (TGA), is over 500°C in air and nitrogen atmosphere in Fig.2.1. The high decomposition temperature in the air is indicative of PPS's outstanding resistance to oxidation.

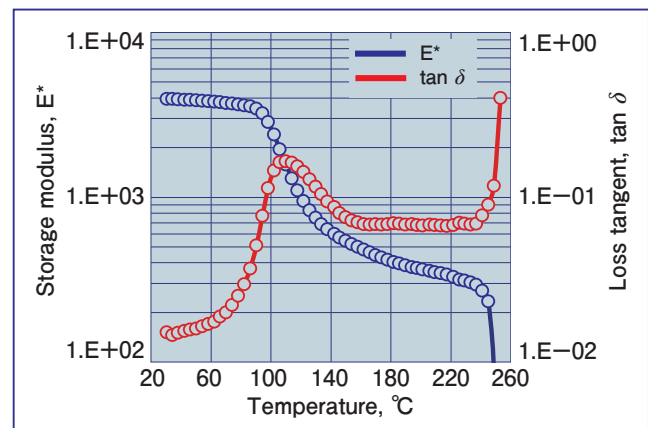


Fig.2.3 PPSポリマーの粘弾性挙動
Mechanical damping behavior of PPS

The PPS polymer is partially crystalline. As shown in Fig.2.2, the glass transition temperature, T_g is approximately 90°C, with the melting point, MP at about 280°C. These values are critical for the mechanical properties of the molding compounds as the function of temperature, as illustrated by the dynamic dumping properties for the neat polymer in Fig.2.3. The properties are measured by ASTM D-5418 used dual cantilever loading. Typical crystalline polymer shows the reduction in mechanical properties at the temperatures above the glass transition region.

2.2. Cross-Linked and Linear Polymers

There are two types of PPS polymers as described in the above. The cross-linked or cured polymer is heat treated during production processes in the atmosphere of air and increased apparent molecular weight.

This polymer contains partially cross linked molecular constructions and is characterized by high rigidity and small creep deformation or relaxation even at elevated temperatures comparing to linear polymer. On the other

ポリマーの分子量を必要な水準に高めたものです。

このポリマーは、ポリマー分子の一部がお互いに酸素を介して2次元あるいは3次元の架橋構造を形成しています。このために次に述べるリニア型ポリマーに比較して高温環境下でさえも高い剛性を保持し、クリープ変形が少ない点や応力緩和し難いと言った特長があります。一方、リニア型ポリマーは、ポリマーの製造において熱処理工程は無いためにポリマー分子中には架橋構造は含まれず、分子は1次元の直鎖状です。一般的にはリニア型PPSは架橋型PPSに比較して剛性が低く、靱性や伸びが多少高いのが特長です。さらにリニア型はポリマーの純度が高く、吸湿が少ないために高温多湿雰囲気でもさらに寸法変化が少なく電気絶縁性の低下も少ないという利点もあります。Table 2.1は、両タイプのPPSポリマーの粘弾性を示す貯蔵弾性率の比較ですが、架橋型の方が高い値を示し剛性が高く、耐クリープ性や緩和性に優れることが判ります。

Table 2.1 架橋型とリニア型ポリマーの貯蔵弾性率：E' Comparisons of storage modulus; E' between cross linked and linear PPS polymers

Temperature	Cross-linked	Linear
23°C	4,000 MPa	3,700 MPa
80	3,700	3,500
100	2,500	2,100
120	1,000	800
140	600	500

以上、架橋型とリニア型ポリマーについて述べましたが、これらポリマーをベースとしたコンパウンドは、ベースポリマーの影響を多分に受け、Fig.2.4に示すような特性差を示します。

3. DIC.PPS の品番

DIC.PPS にはいろいろな用途要求に適應できる品番を用意しています。

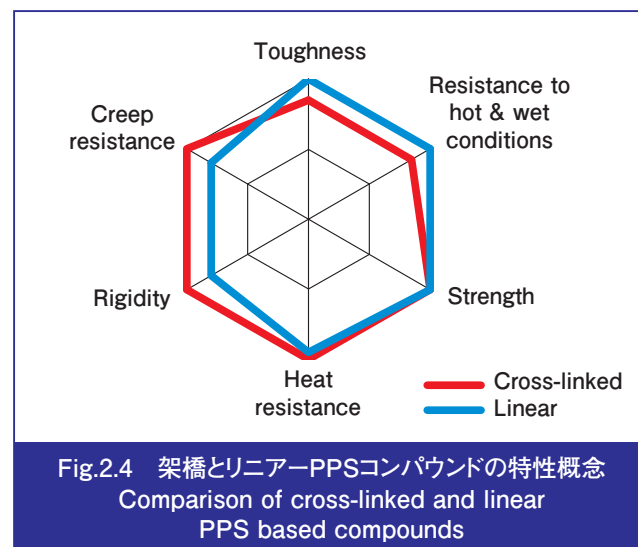
- ガラス繊維強化耐熱タイプ
- ガラス繊維 / フィラー強化充填耐熱タイプ
- ガラス繊維強化靱性タイプ
- ガラス繊維 / フィラー強化充填靱性タイプ
- スーパータフシリーズ
- 摺動、導電タイプ
- PPS アロイ
- 電子素子封止タイプ

本資料では、DIC.PPS の基本である以下の6品番を中心に説明します。他の品番については“DIC.PPS の品番と特性”を参照下さい。

- FZ-1140 : ガラス繊維40%強化架橋型 PPS
- FZ-2140 : ガラス繊維40%強化リニア型 PPS
- FZ-3600 : ガラス繊維 / フィラー充填架橋型 PPS
- FZ-6600 : ガラス繊維 / フィラー充填リニア型 PPS
- Z-230 : ガラス繊維30%強化スーパータフ PPS
- Z-650 : ガラス繊維 / フィラー充填スーパータフ PPS

hand, linear polymer shows low modulus and ductility. Also, this highly purified polymer has excellent dimensional stability even under hot and wet conditions because of its lower water absorption than the cross-linked. In Table 2.1, the cross-linked polymer possesses higher rigidity than that of the linear under broad range of temperatures.

The comparisons of properties between two types of PPS based compounds are shown in Fig.2.4.



3. VARIATIONS OF DIC.PPS

DIC.PPS is available in a variety of grades in order to coincide with various properties of requirements.

- Glass fiber (GF) reinforced heat resistant series,
- GF reinforced/un-reinforced linear PPS series,
- GF and mineral filled heat resistant series,
- GF and mineral filled linear PPS series,
- Super tough PPS series,
- Self lubricant and electric conductive series,
- Alloy and modified PPS series and
- Encapsulation series for electronic devices.

In this information the properties of representative six grades are described and of other various grades are shown in “DIC.PPS Guide Data”.

- FZ-1140: GF40% reinforced cross linked PPS,
- FZ-2140: GF40% reinforced linear PPS,
- FZ-3600: GF and mineral filled cross linked PPS,
- FZ-6600: GF and mineral filled linear PPS,
- Z-230: GF30% reinforced super tough PPS and
- Z-650: GF and mineral filled super tough PPS.

4. DIC.PPS の基本的性質

4.1. 機械的性質

DIC.PPSは広い温度範囲でも優れた機械的特性を示します。Fig.4.1は、代表的な6品番の常温での引張り応力-ひずみ曲線（S-Sカーブ）を示します。この図から明らかにスーパータフタイプのPPSが最も破断伸びの大きいことが判ります。Fig.4.2は引張り強さの温度依存性、Fig.4.3、4.4はそれぞれ曲げ強度と曲げ弾性率の温度依存性です。いずれもガラス転移温度： T_g である90℃以上で強度、剛性共に低下しますが、200℃もの高温でも常温時の約30%の強度と弾性率を保持します。また、架橋型ポリマーをベースとするFZ-1140の方が、リニア型FZ-2140より高温領域で高い剛性を示します。

4. KEY PROPERTIES OF DIC.PPS

4.1. Short-Term Mechanical Properties

DIC.PPS shows excellent mechanical properties over comparatively wide temperature range. Figure 4.1 shows the tensile stress-strain curves at room temperature for the representative six grades. Figure 4.2 illustrates the relationship between tensile strength and temperature. Also Figs.4.3 and 4.4 show the relationship between flexural strength and modulus and temperature respectively. In these figures, over about 90°C which is glass transition temperature of PPS, the strength and rigidity gradually fall lowering. However DIC.PPS retains about 30% of the strength and modulus at room temperature even at high temperature of 200°C. Also cross-linked grade FZ-1140 shows high rigidity than linear grade FZ-2140.

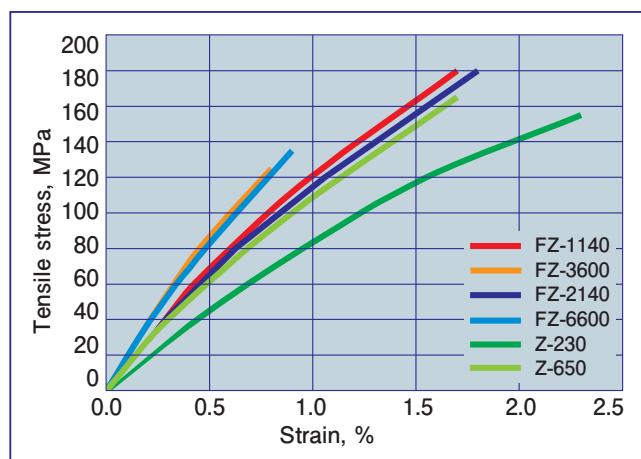


Fig.4.1 引張り応力～ひずみ曲線
Tensile stress-strain curves

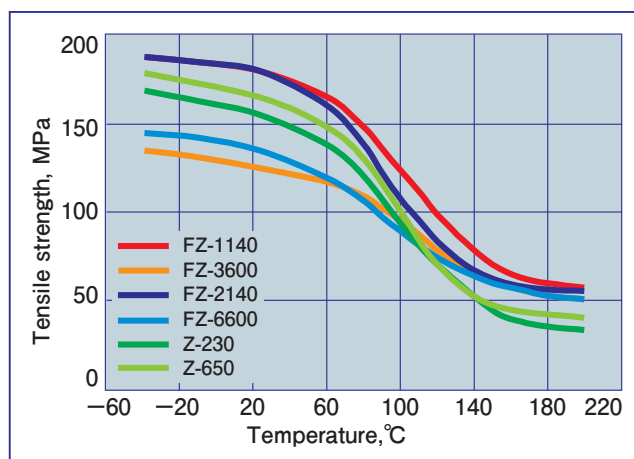


Fig.4.2 引張強さの温度依存性
Effect of temperature on tensile strength

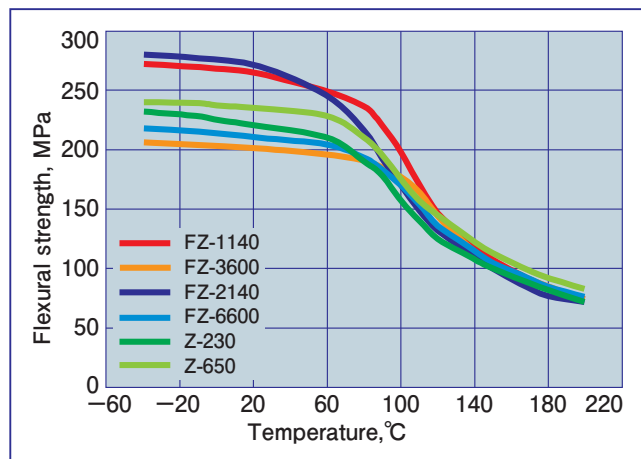


Fig.4.3 曲げ強さの温度依存性
Effect of temperature on flexural strength

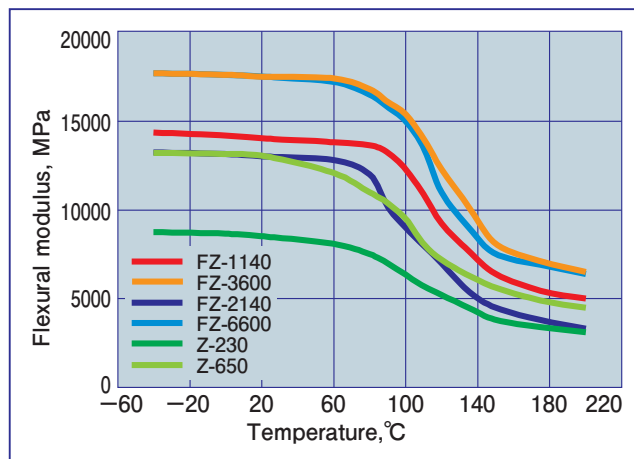


Fig.4.4 曲げ弾性率の温度依存性
Effect of temperature on flexural modulus

Fig.4.5には曲げ破断時の、伸びの温度依存性を示します。ガラス転移点 T_g を越えると大幅に伸びが大きくなります。

圧縮強さ、せん断強さの温度依存性については曲げ特性や引張り特性のそれと同様な傾向にあります。これらを Fig.4.6ならびに Table 4.1に示します。

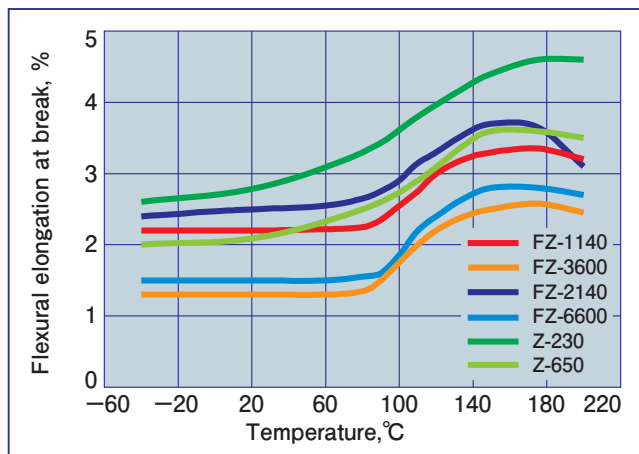


Fig.4.5 曲げ破断伸びの温度依存性
Effect of temperature on flexural elongation at break

ノッチ無しアイゾット衝撃強さの温度依存性を Fig.4.7 に示しますが引張り特性や曲げ特性に比べて温度の依存性は僅かです。特にスーパータフタイプの Z-230、Z-650 は極めて優れた破壊靱性を有しています。なお、ノッチ付の場合はほとんど温度の影響を受けず一定です。

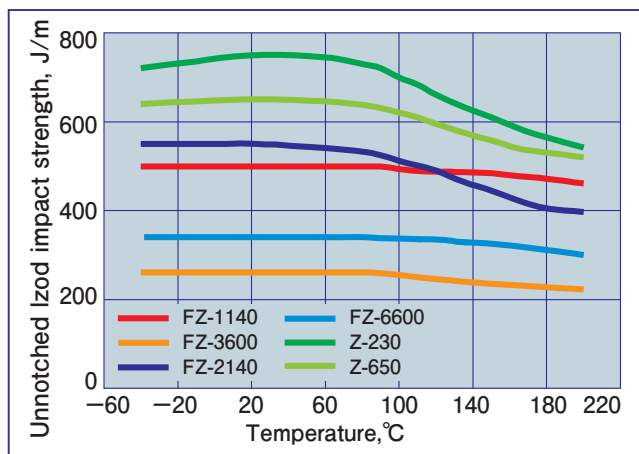


Fig.4.7 ノッチ無し衝撃強さの温度依存性
Effect of temperature on unnotched impact strength

また成型品のウィークポイントの一つであるウエルドは、たいいていの場合避けることができません。Fig.4.8にウエルド引張り強さの温度依存性を示します。ウエルド強さは引張や曲げ強さと同様な環境温度依存性を示し、リニア型ポリマーをベースとした品種やスーパータフタイプの方が架橋型の品種よりも中、低温域では高いウエルド強さをしめします。

The flexural elongation at break affected by temperature is shown in Fig.4.5 and the elongation is increasing at higher temperature than T_g . As shown in Fig.4.6 and Table 4.1, the other properties; compressive and shear properties are the similar to the tensile and flexural of it.

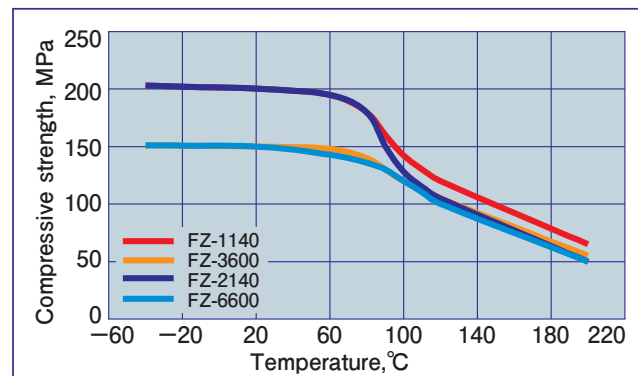


Fig.4.6 圧縮強さの温度依存性
Effect of temperature on compressive strength

Table 4.1 せん断強さの温度依存性
Shear strength depending on temperature

	23°C	80°C	120°C	160°C
FZ-1140	88 MPa	85 MPa	56 MPa	40 MPa
FZ-2140	90	86	50	36
FZ-3600	85	82	52	38
FZ-6600	90	85	54	38

In Fig.4.7, the Izod impact strength without notch affected by temperature shows small temperature dependence compared with tensile and flexural properties. This result shows that super tough grades Z-230 and Z-650 have superior fracture resistance. Also the impact strength with notch is constant for the broad range of temperature. It is almost impossible to avoid weld lines in actual moldings. Figure 4.8 shows the weld strength affected by temperature and super tough and linear polymer based grades have excellent weld strength.

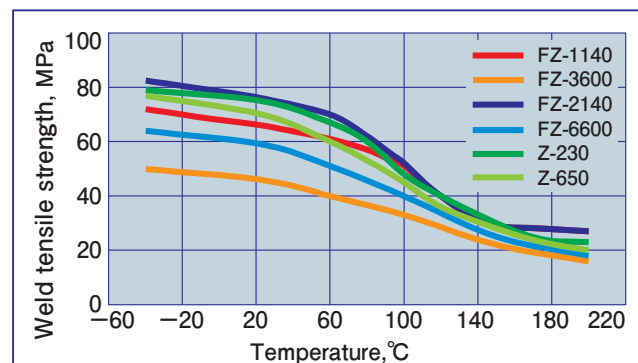


Fig.4.8 ウエルド引張り強さの温度依存性
Effect of temperature on weld tensile strength

4.2. 機械的性質の材料異方性

PPS樹脂にかかわらず、ガラス繊維などの剛性の高い繊維で強化された材料は、成形加工時の繊維の配向によってその性質が支配される材料異方性を示します。PPSの場合、結晶性樹脂のためにさらに分子の配向も加わり異方性を強くしています。

異方性の程度は、成型品の板厚さや成形条件さらにはゲート形状などさまざまな因子に支配されます。配向により影響を受ける特性は、強度、弾性率、伸びなどの機械的性質と、成形収縮率や線熱膨張などの寸法に関わる特性さらには熱変形温度などもあげられます。

本項では機械的特性を中心に材料の異方性につき説明します。また、便宜上、Fig.4.9のように繊維の配向している方向すなわち流動方向をMD（座標軸で“1”）、それと直角の方向をTD（座標軸で“2”）とします。

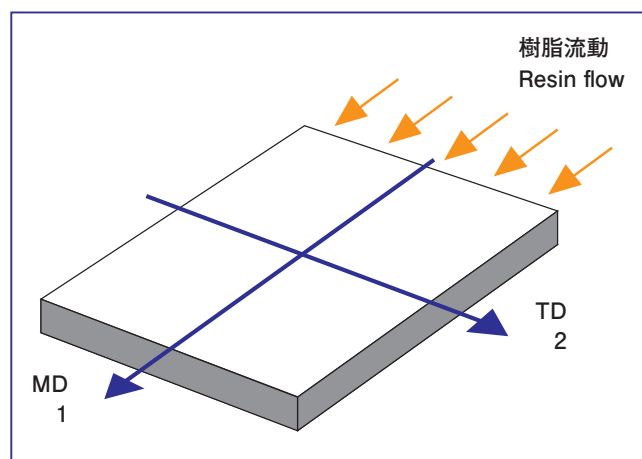


Fig.4.9 樹脂の流れと座標軸
Flow directions and the co-ordinate system

強度については Fig.4.10、弾性率については Fig.4.11、破断時の伸びについては Fig.4.12にそれぞれ曲げ特性で示します。このようにTD方向の強度、弾性率は共に4.1項記載のMD方向の1/2あるいはそれ以下のため、配向が明確な成型品の場合にはウェルド部と同様に配慮が必要です。これらの図から判るようにリニアタイプのFZ-2140、FZ-6600やスーパータフタイプのZ-230、Z-650は、架橋タイプのFZ-1140、FZ-3600に比較してTD方向の強度、伸びが大きく、また Table 4.2のように衝撃についても優れますが、T_g以上の高温域ではTD方向の曲げ強さの差は少なくなります。

Table 4.2 ノッチ無しアイゾット衝撃強度の異方性
Anisotropic properties of unnotched impact strength

Direction	FZ-1140	FZ-2140
MD	500 J/m	550 J/m
TD	250	300

また、異方性の材料の機械的特性を表現する上で重要な弾性率に関しては、以下の表記を行い、常温におけるそれら値を Table 4.3に示します。Fig.4.13にはMD方向に負

4.2. Anisotropy on Mechanical Properties

Molding plastics filled rigid fibrous reinforcement shows anisotropy which is different properties governed by the directions of fiber arrangement. For the PPS which is a semi-crystalline polymer, anisotropy is governed by fibrous arrangement not only molecular arrangement.

An intensity of anisotropy depends on molding wall thickness, molding conditions and gates in the moldings. The characteristics affected with anisotropy are mechanical behaviors including strength, modulus and elongation at break, dimensional properties including mold shrinkage and linear thermal expansion, and heat distortion temperature.

In this section, mechanical properties in the mold direction, MD and transverse direction, TD are described and as shown in Fig.4.9, the two dimensional co-ordinate system is introduced to explain the anisotropy.

Figures 4.10, 4.11 and 4.12 are flexural strength, modulus and elongation at break as a function of temperature in TD respectively. These figures are compared with the properties in MD in the section 4.1. From these results, the super tough and linear polymer based grades have more excellent strength and elongation than cross linked grades. This characteristic also shows in the impact strength in TD as shown in Table 4.2.

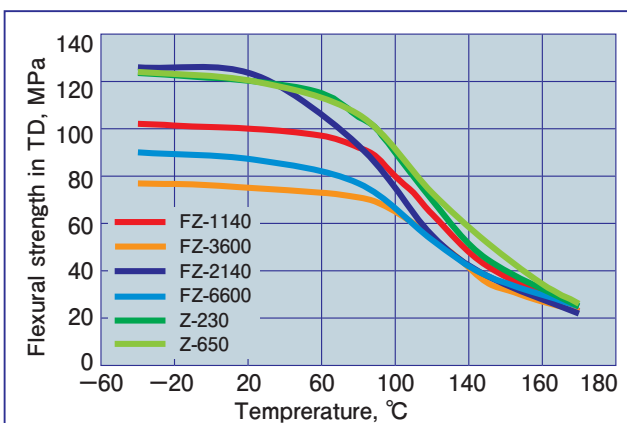


Fig.4.10 TD方向の曲げ強さの温度依存性
Effect of temperature on flexural strength in transverse direction

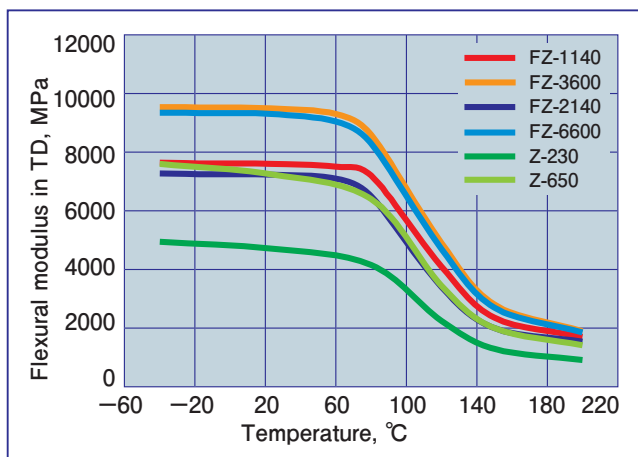


Fig.4.11 TD方向の曲げ弾性率の温度依存性
Flexural modulus in TD as a function of temperature

荷を与えた場合のポアソン比の温度依存性を示しますが、温度上昇と共に上昇する傾向があります。

- E_1 : MD 方向の縦弾性係数 (ヤング率)
- E_2 : TD 方向の縦弾性係数 (ヤング率)
- ν_{12} : MD 方向のポアソン比
- ν_{21} : TD 方向のポアソン比
- G_{12} : せん断弾性係数 (横弾性率)

Table 4.3 DIC.PPS の弾性定数
Elastic moduli of DIC.PPS

	E_1 MPa	E_2 MPa	ν_{12} —	G_{12} MPa
FZ-1140	15000	8200	0.36	2200
FZ-2140	14000	7900	0.36	2000
FZ-3600	18500	10300	0.34	3600
FZ-6600	18500	10100	0.34	3500
Z-230	9300	4700	0.36	1800
Z-650	14500	7250	0.35	2300

$\nu_{21} = E_2 \nu_{12} / E_1$ (Maxwell's reciprocal theory)

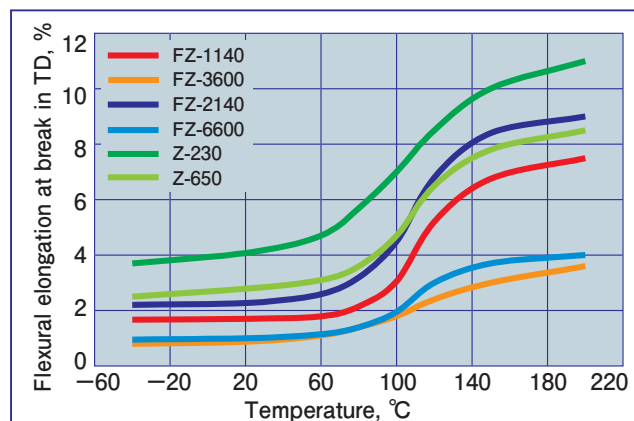


Fig.4.12 TD方向の曲げ破断伸びの温度依存性
Flexural elongation at break in TD as a function of temperature

The description of orthotropy which is special case of anisotropy, is used the following engineering constants for the two dimensional co-ordinate system;

- E_1 : Young modulus in MD,
- E_2 : Young modulus in TD,
- ν_{12} : Poisson's ratio in MD,
- ν_{21} : Poisson's ratio in TD and
- G_{12} : Shear modulus.

And these values at room temperature are shown in Table 4.3. The value of ν_{12} under MD loading increases according to ascent of temperature as shown in Fig. 4.13.

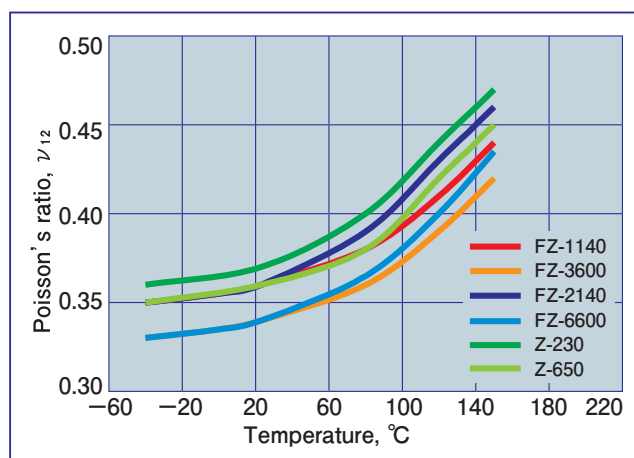


Fig.4.13 ポアソン比の温度依存性
Effect of temperature on Poisson's ratio

4.3. 機械物性の耐久性

PPSは成型品に継続して負荷される、即ちクリープ現象の場合でも極めて変形量が少ないのが特長です。この特性は、クリープのみならず応力緩和特性においても同様です。これらクリープや応力緩和は、PPSの粘弾性に起因する特性であり当然ながら温度の影響を強く受けます。Fig.4.14~4.17にそれぞれ曲げクリープ並びに短時間圧縮応力緩和のデータを示します。これらのデータから架橋型PPSの方がリニア型やスーパータイプよりもクリープ特性が良好であることが判ります。これはTable2.1の架橋型とリニア型PPSポリマーの粘弾性の差からでも推定されます。

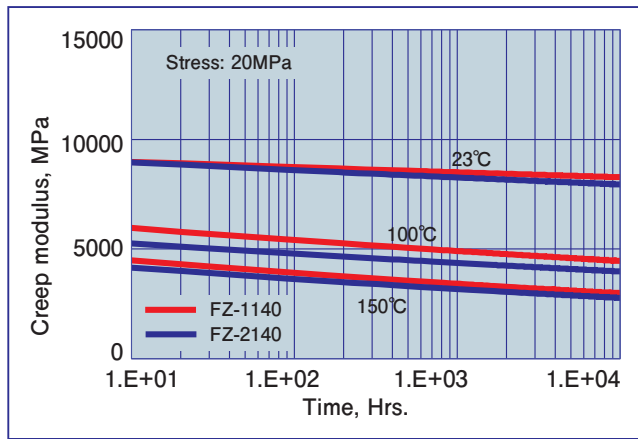


Fig.4.14 曲げクリープ弾性率の温度依存性 (GF40%グレード)
Flexural creep modulus of GF40% grades affected by temperature

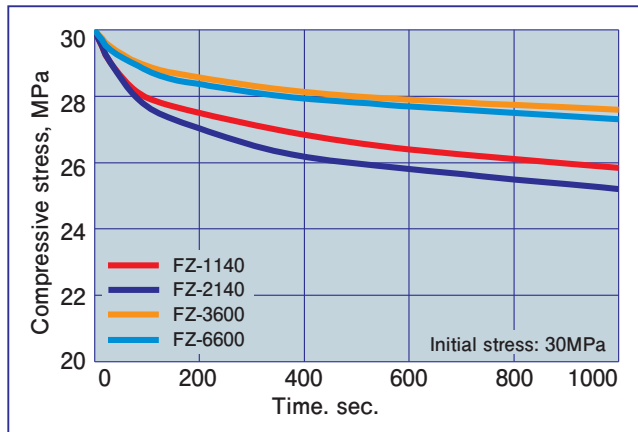


Fig.4.17 120°Cでの板厚方向の圧縮応力緩和特性
Short term stress relaxation in thickness direction at 120°C under compressive stress

クリープ特性に並んで重要な機械特性の耐久性を表す指針として疲労特性があげられます。機構部品は、動的な繰り返し負荷や周期的な応力を受けることがあります。このような場合は、以下の繰り返し曲げ疲労特性を考慮して耐疲労設計を行うことが必要です。Fig.4.18~4.20はASTM D-671に準拠した定応力両振り曲げ疲労試験結果を示します。疲労限度応力(疲労強度)は 10^7 回の繰り返しに耐え

4.3. Long Term Mechanical Properties

PPS molding parts show the small permanent deformation under continuous static loading. It is often understood creep phenomena or stress relaxation and strongly affected by environmental temperature because of the peculiar characteristics to the PPS.

The flexural creep and short term compressive stress relaxation properties are shown in Figs. 4.14, 4.15, 4.16 and 4.17, respectively. These data show that cross linked PPS compounds are superior creep and relaxation resistance compared to super tough and linear PPS compounds. This phenomenon originates in the characteristics of the visco-elasticity of PPS polymers and the comparison of dynamic dumping properties on temperature between linear and cross linked neat polymers in Table 2.1.

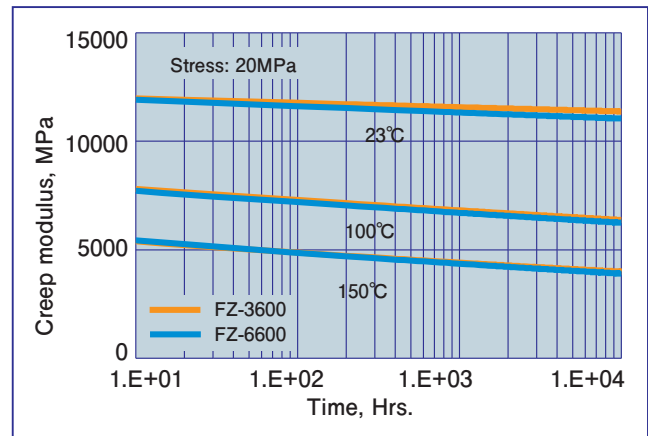


Fig.4.15 曲げクリープ弾性率の温度依存性 (フィラーグレード)
Flexural creep modulus of GF/filler grades affected by temperature

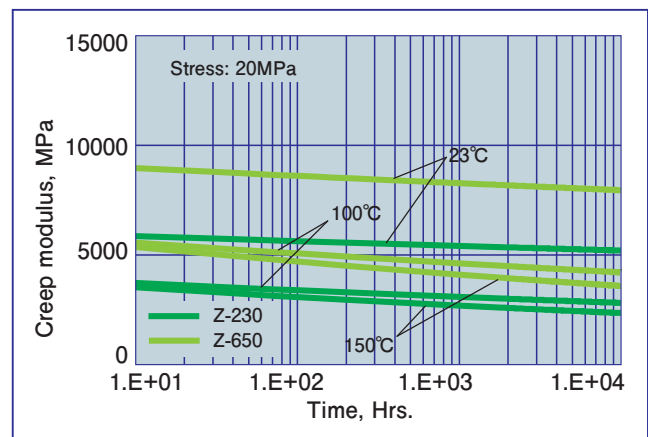


Fig.4.16 曲げクリープ弾性率の温度依存性 (スーパータイプグレード)
Flexural creep modulus of tough "Z" grades affected by temperature

PPS molded parts even withstand the prolonged application of high dynamic or cyclic loads. In this

る最大応力として定義されます。PPS材料は経験上一般に疲労限度応力は、同一環境、同一条件下での静的強度の20-25%が目安です。DIC.PPSの種々の温度条件下での曲げ疲労限度応力を Table 4.4にまとめて示します。

Table 4.4 Flexural fatigue endurance in 10^7 cycles
DIC.PPSの 10^7 回曲げ疲労強度

	23°C	120°C	150°C
FZ-1140	58 MPa	40 MPa	26 MPa
FZ-2140	63	36	24
FZ-3600	40	32	20
FZ-6600	44	32	20
Z-230	56	42	27
Z-650	48	37	23

case, the fatigue characteristics should be considered for the molding design. The fatigue strength or endurance is defined as the maximum stress which should not break at 10^7 repetitive stresses. Generally, the fatigue endurance of PPS is about 20 to 25% of the static strength in the same conditions. Figures 4.18, 4.19 and 4.20 demonstrate the flexural fatigue S-N curves and the fatigue test was carried by ASTM D-671 under the condition of constant stress. The flexural fatigue endurance in various environment temperatures is shown in Table 4.4. The fatigue endurance is defined as maximum stress in 10^7 cycles and is generally 20 to 25% of its static strength.

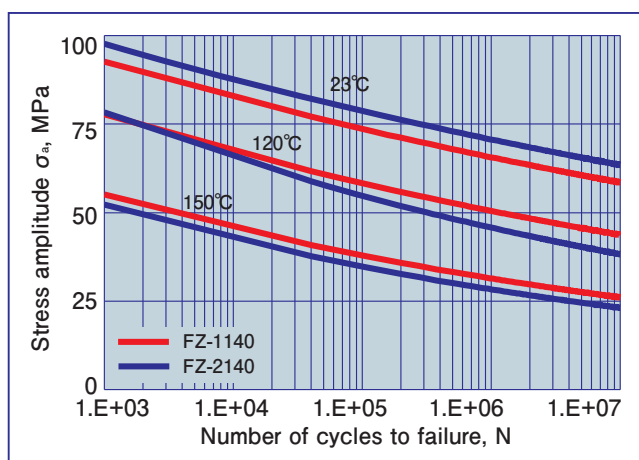


Fig.4.18 GF40%グレードの曲げ疲労曲線
Flexral S-N curves of GF40% grades

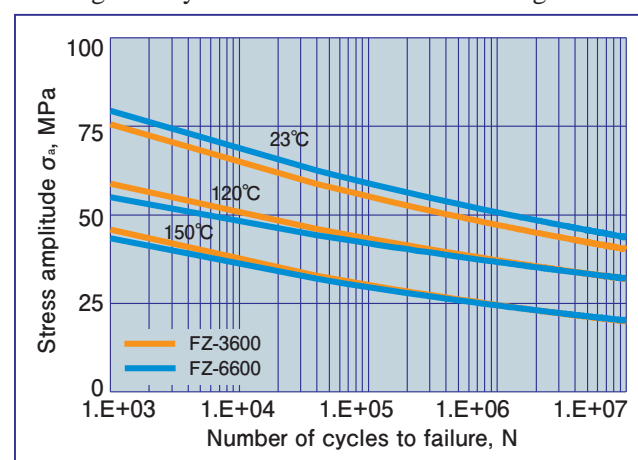


Fig.4.19 フィラーグレードの曲げ疲労曲線
Flexral S-N curves of GF/filler grades

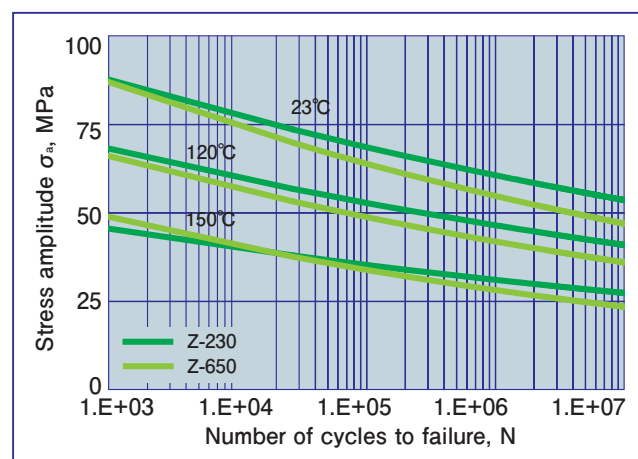


Fig.4.20 スーパータフグレードの曲げ疲労曲線
Flexral S-N curves of tough "Z" grades

4.4. 熱的性質

4.4.1. 線熱膨張係数

DIC.PPSの線熱膨張係数は、他の異方性を示すコンパウンドと同じく強化繊維の配向に依存します。Fig.4.21には配向の強い場合のMD方向とTD方向の線熱膨張係数カーブを示します。配向が不明瞭なピンゲートで成形されたような場合にはMD方向とTD方向の平均の値をとります。これらのDIC.PPSの線熱膨張係数のレベルはアルミダイキャストの 2.4×10^{-5} m/mKに近いものです。

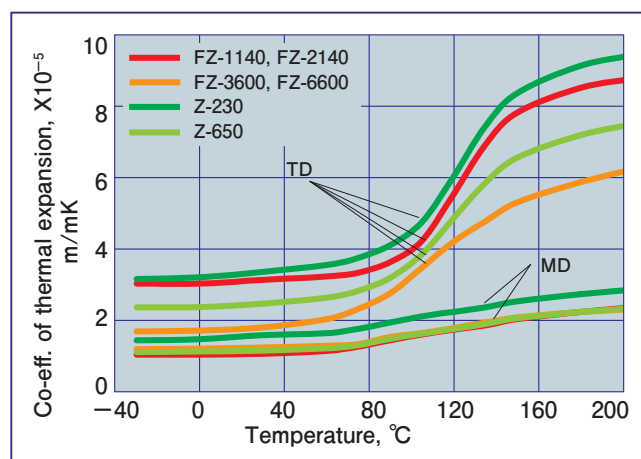


Fig.4.21 線熱膨張係数の温度依存性
Thermal expansion curves as a function of temperature

4.4.2. 長期耐熱性

PPSは、他のエンジニアリングプラスチックに比べて極めて耐熱耐久性に優れた材料です。Table 4.5のUL746Bで認定されている(UL File No. E53829)温度定格はそれを物語っています。Table 4.6には直径50mm厚み2mmの円板の耐熱寸法変化を示しますが極めて安定しています。Fig.4.22は、耐熱劣化性を強度と衝撃性について示しますが200°C以下では劣化はほとんど問題にはならないといえます。ただ、酸素の存在下で200°C以上の高温に曝されると物性の低下や変色が進行します。これらの現象は高温である程、また時間経過と共に顕著になります。

Table 4.6 高温環境下でのFZ-1140の寸法安定性
Heat aging dimensional stability of FZ-1140 using
φ50mm×2mm disc molding with pin gate

Aging condition		Dimensional change,%
150°C	5Hrs.	-0.01
	100	-0.02
	1000	-0.03
230°C	5Hrs.	-0.07
	100	-0.11
	1000	-0.13

4.4. Thermal Properties

4.4.1. Linear thermal expansion

As with any other anisotropic compounds, DIC.PPS undergoes varying degrees of thermal expansion depending on the orientation of the reinforcing fibers. The thermal expansion curves measured in MD and TD are shown in Fig.4.21. If the intensity of anisotropy is weakened, the values of thermal expansion coefficient are middle values between MD and TD. These values are compared with that of aluminum and the thermal expansion coefficient of aluminum is about 2.4×10^{-5} m/mK for broad range of temperature.

4.4.2. Long term heat aging properties

At high temperature in air, aging results in surface oxidation. The degree of oxidation depends on the length of aging time and temperature. When PPS is subjected to high temperature aging, the crystallinity of moldings may increase during the first few hours (annealing) and the annealing causes a slight reduction in strength. Table 4.5 shows the continuous service temperature certified by UL746B in UL file number E-53829. Superior dimensional stability of DIC.PPS under elevated temperature is based on rigid crystal structure of the polymer. The dimensional change after heat aging tests is shown in Table4.6. Figure 4.22 shows the excellent retention of mechanical properties under high temperature heat aging.

Table 4.5 UL746B 認定温度インデックス
UL746B continuous use service temperatures (°C)

Grade ¹⁾	Thickness (mm)	Electrical	Mechanical	
			With impact	Without impact
FZ-1140 & FZ-1140-XY	0.78	200	200	200
	1.57	220	200	220
	3.17	220	200	220
FZ-3600 & FZ-3600-XY	0.73	240	-	220
	1.50	240	200	220
	2.90	240	220	240
FZ-2140 & FZ-2140-XY	0.78	200	200	200
	1.57	220	200	220
	3.17	220	200	220
FZ-6600 & FZ-6600-XY	0.73	240	-	220
	1.59	240	200	220
	2.95	240	220	240

1) 添字 X : A-Z の1文字、添字 Y : 0-9の1数字。

Suffix X:One letter selected from A to Z and suffix Y:one digit selected from 0 to 9.

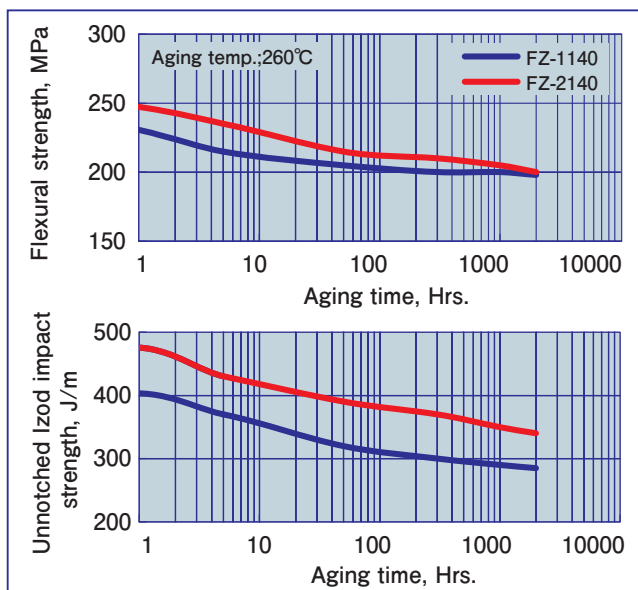


Fig.4.22 260°Cでのエージングによる熱劣化特性
Heat aging degradation of mechanical properties

4.4.3. 熱伝導率

熱は、温度の高い所から低い所に流れます。熱伝導は、定常状態における熱流量の比率を表すもので当然外部温度の影響を受けます。Fig.4.23にそれらを示します。

4.4.4. 定圧比熱

比熱は定圧状態において、単位質量当たりの物質の熱容量を表し温度と共に変化します。Fig.4.24には DIC.PPS の比熱の温度依存性を示します。

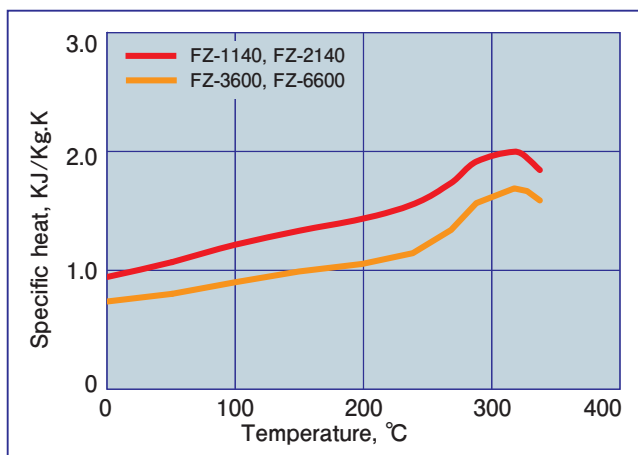


Fig.4.24 比熱の温度依存性
Specific heat as a function of temperature

4.4.5. 熱拡散

熱拡散は、成型品を通しての熱の拡散する速度を示し、材料の冷却のし易さを表す指針となります。すなわち、熱拡散 λ は $\lambda = \text{熱伝導率} / (\text{比熱} \times \text{密度})$ で表されます。

したがってFZ-3600やFZ-6600と比較して冷却・固化の遅いFZ-1140やFZ-2140の方が流動性が高く薄肉成形に適しています。

4.4.3. Thermal conductivity

Thermal conductivity is defined in steady state condition as the flow of heat exchanged, via conduction with the environment. Figure 4.23 shows the thermal conductivity of DIC.PPS.

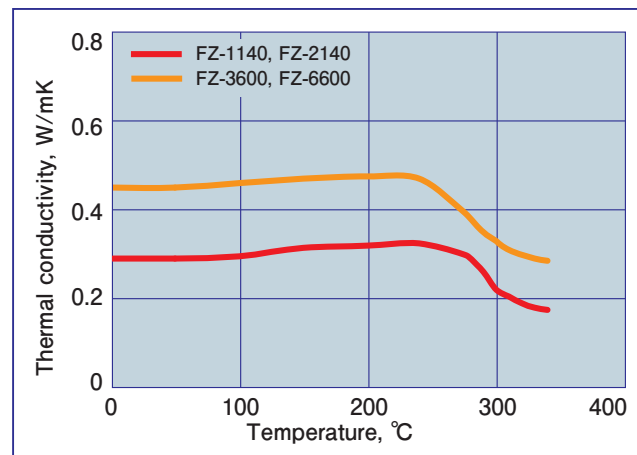


Fig.4.23 熱伝導率の温度依存性
Thermal conductivity as a function of temperature

4.4.4. Specific heat

The specific heat, at constant pressure, measured using an adiabatic calorimeter, varies according to temperature; it is shown in Fig.4.24.

4.4.5. Thermal diffusivity

Thermal diffusivity is a measure of the speed at which heat is diffused through sample. Thermal diffusivity λ is a function of specific heat η , thermal conductivity ζ , and density ρ as;

$$\lambda = \zeta / (\eta \cdot \rho)$$

As highly filled compounds FZ-3600 and FZ-6600 have higher value of λ than that of GF40% grades, these grades have lower molding fluidity.

4.4.6.PVT データ

PVT データは、圧力 (P)、比容積 (V)、温度 (T) の相互関係を表すものです。これは、Fig.4.25~4.28に示すように結晶性樹脂である PPS の場合には融点である 280℃付近で比容積が急変、すなわち固化する時点で、体積が急に小さくなるのが判ります。これが結晶性樹脂成型品の反り変形の一因であり、このデータがコンピュータによる反り解析の基本となります。

4.4.6. PVT curves

The specific volume, the reciprocal of density varies according to the temperature of the material and the pressure applied to the latter. Figures 4.25 to 4.28 show the relation between pressure (P), volume (V) and temperature (T). These data are useful to predict the mold cooling or warp of moldings by computer systems.

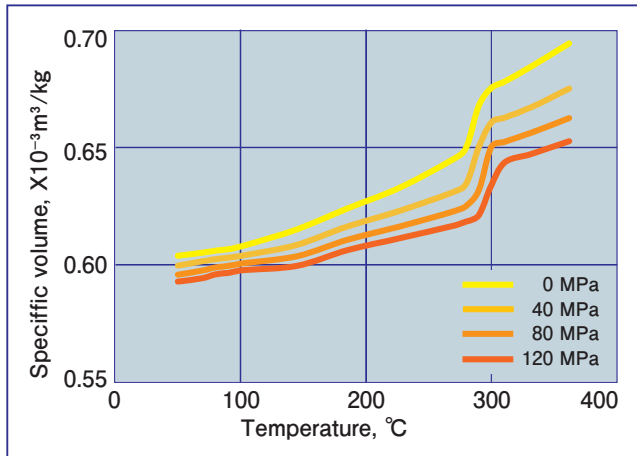


Fig.4.25 FZ-1140, FZ-2140のPVT線図
PVT diagram of FZ-1140 & FZ-2140

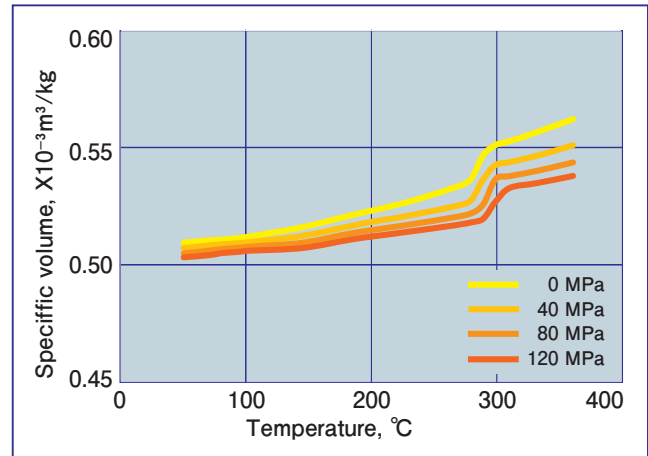


Fig.4.26 FZ-3600, FZ-6600のPVT線図
PVT diagram of FZ-3600 & FZ-6600

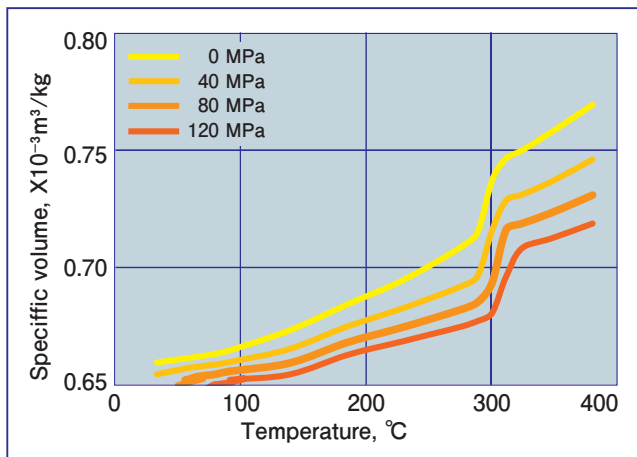


Fig.4.27 Z-230のPVT線図
PVT diagram of Z-230

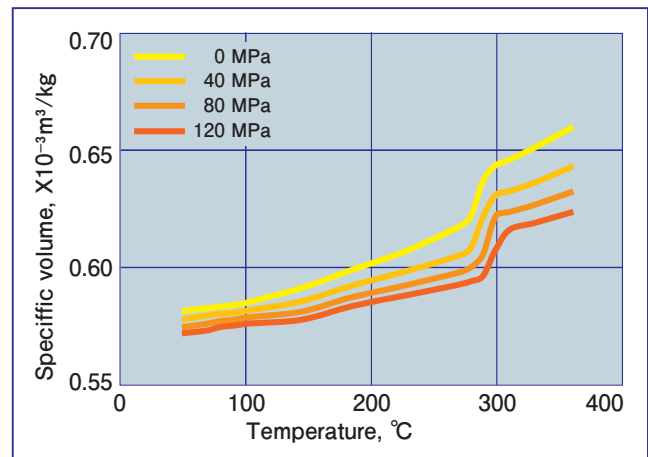


Fig.4.28 Z-650のPVT線図
PVT diagram of Z-650

4.5. 電気的性質

一般的に電気絶縁材料の性能は、絶縁耐力、体積または表面抵抗率で表される絶縁抵抗、誘電率、誘電正接、耐アーク性ならびにトラッキング特性等によって評価されます。

絶縁耐力は絶縁オイル中で、交流電流を徐々に昇圧し、成型品が破壊される時の電圧です。DIC.PPSは、高い絶縁耐力を有していますが、Fig.4.29のように厚み依存性が高く、またFig.4.30のように温度上昇と共に見かけの絶縁耐力も低下の傾向を持っています。

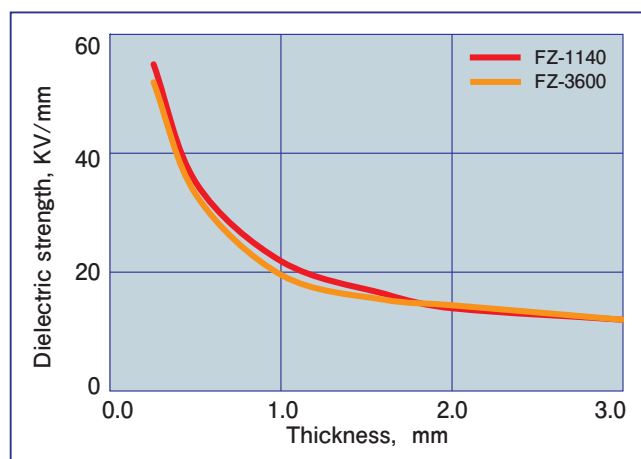


Fig.4.29 絶縁耐力の厚み依存性
Dielectric strength depending on wall thickness

絶縁体に交流電圧を负荷すると絶縁体内部に誘電損と呼ばれる電力消費現象が起こります。この電力消費の大部分は、熱に変換され絶縁体の温度上昇を招きます。この誘電損は、材料固有の誘電率と誘電正接の積によって決まり一般に周波数依存性、温度依存性が高いことが知られています。DIC.PPSは種々の成形材料の中でも特に誘電率、誘電正接共に低くかつ周波数ならびに温度に対して比較的鈍感な材料です。この特性は、電子レンジやコンピュータなど最近の電子回路の高密度小型化に伴い周辺材料として使用されるPPSにとって有利な点です。Fig.4.31およびTable 4.7に各々周波数依存性と温度依存性のデータを示します。

Table 4.7 誘電特性/Dielectric properties

	FZ-2140	FZ-3600	FZ-6600
23°C			
1KHz	0.003/-	0.005/-	0.005/-
1MHz	0.002/4.0	0.007/5.0	0.006/5.0
1GHz	0.002/-	0.006/-	0.006/-
120°C			
1KHz	0.020/-	0.030/-	0.030/-
1MHz	0.015/4.2	0.030/6.0	0.030/6.0
1GHz	0.012/-	0.025/-	0.025/-
200°C			
1KHz	0.030/-	0.040/-	0.045/-
1MHz	0.025/3.8	0.030/6.5	0.035/6.5
1GHz	0.010/-	0.020/-	0.020/-

4.5. Electrical Properties

Generally, electrical insulating properties are estimated by the insulation resistance including volume and surface resistivities, dielectric strength, dielectric constant and dissipation factor, arc resistance and tracking index.

Dielectric strength is determined by the voltage at which a molding becomes blown out by A.C. voltage in insulating oil. DIC.PPS possesses excellent insulating properties under such conditions, even at high temperature, as shown in Figure 4.30. However, dielectric strength is highly affected by wall thickness as shown in Fig.4.29.

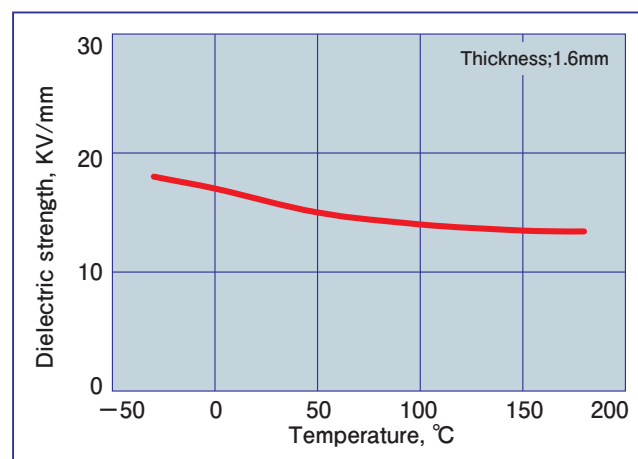


Fig.4.30 FZ-1140の絶縁耐力の温度依存性
Dielectric strength of FZ-1140 depending on temperature

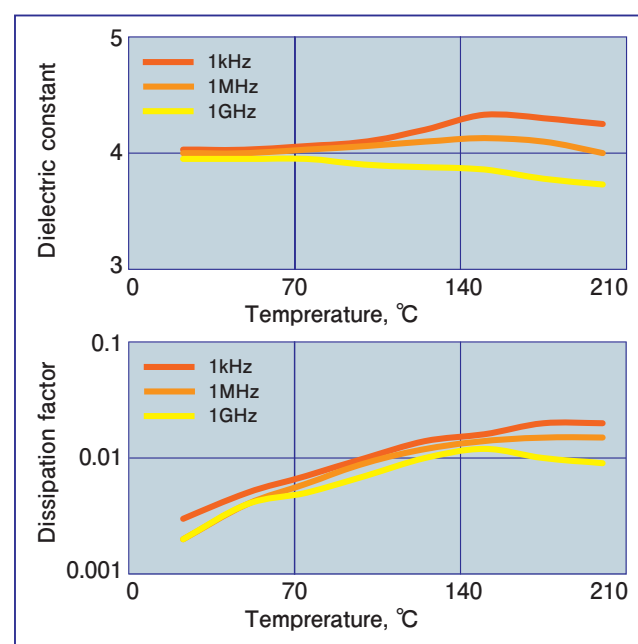


Fig.4.31 FZ-1140の誘電特性の温度依存性
Dielectric properties on temperature of FZ-1140

なお、DIC.PPSの内、無機質フィラーを高充填したFZ-3600およびFZ-6600シリーズは、GF40%強化のFZ-1140、FZ-2140シリーズよりも若干、誘電損が大きいため注意が必要です。

絶縁抵抗は、絶縁材料の特性を示す基本的な性質ですが、DIC.PPSは他のエンジニアリングプラスチックに比べて吸湿性がほとんど無いためにFig.4.32とFig.4.33に示すように温度の依存性が少なく、多湿下においてもその低下は僅かです。特に、ポリマーの純度が高く吸湿性の少ないリニア型FZ-2140、FZ-6600は優れた耐湿絶縁性を有します。

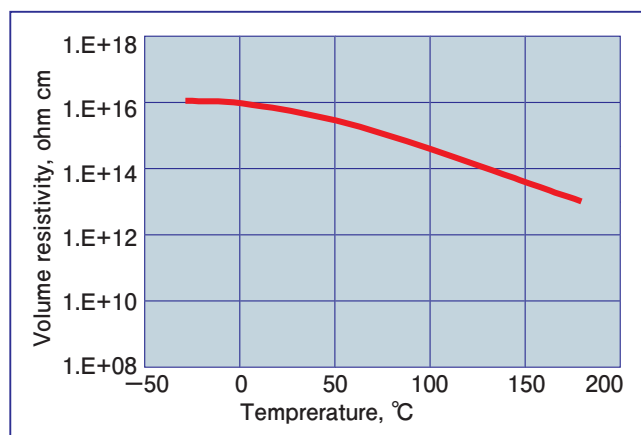


Fig.4.32 FZ-1140の電気絶縁抵抗の温度依存性
Volume resistivity of FZ-1140 depends on temperature

耐アーク特性は、高電圧が作用した時の材料表面の抵抗を表す指針ですが、絶縁材料としては、一般に120秒以上が必要とされます。ASTM D-495の試験法によれば、FZ-1140、FZ-2140、FZ-3600、FZ-6600いずれの品番も120秒以上の耐アーク性を有しておりUL 746Aでも認定されています。

また、材料表面が汚染された状態においては、CTI（耐トラッキング性）という評価が行われます。ただPPS樹脂は耐トラッキング特性に関しては特段優れた材料とはいえませんが特殊な無機質フィラーを充填することによってこれらの特性は改善されます。

なお耐アーク性、CTIの値については巻末のTable A “DIC.PPSの代表物性値”を参照下さい。

Modern electronic circuits, which are becoming increasingly dense and miniaturized, with ever higher quality requirements in term of electric signal transmission, call for dielectrics with a low dielectric constant and low dissipation factor, over a wide range of frequency and temperature. DIC.PPS fulfills these criteria as can be seen in Fig.4.31 and Table 4.7.

As shown in Figs.4.32 and 4.33, insulation resistance is important electric insulating property. Because of low water absorption of DIC.PPS, the volumetric resistivity is not strongly affected by a humidity comparing to other materials, and especially linear type polymer based FZ-2140 and FZ-6600 which are based high purity polymer denote low water absorption and more steady insulation resistance than cross linked FZ-1140 and FZ-3600. Also, DIC.PPS is not strongly affected by a temperature.

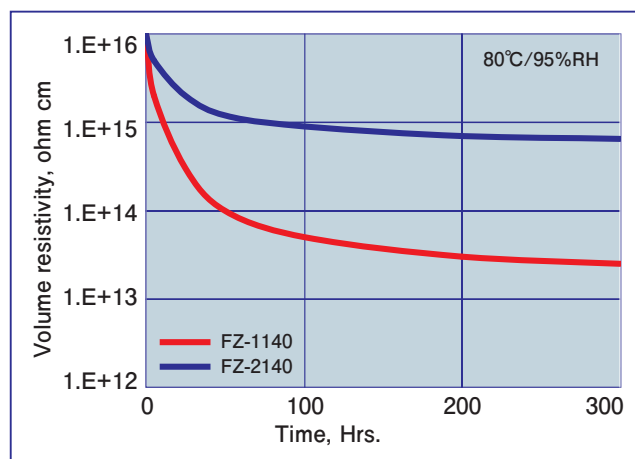


Fig.4.33 体積抵抗の吸湿依存性
Change of volume resistivity by water absorption

Dry arc resistance refers to the resistance of a given insulating material to surface tracking currents caused by a high voltage arc, periodically generated between two electrodes applied to the surface. Generally, a minimum 120 seconds is normally required for the applications exposed to arc formation. FZ-1140, FZ-2140, FZ-3600 and FZ-6600 have an arc resistance of over 120 seconds and also certified its values in UL 746A.

The comparative tracking index (CTI) refers to the resistance of a given insulating material to surface tracking, when the surface of molding is subjected to electric voltage in a humid and/or contaminated environment.

The values of these dry arc resistance and CTI of DIC.PPS are shown in this brochure Table A.

4.6. 耐薬品性

DIC.PPSは、強酸、強アルカリ、有機溶剤、油脂等の広範な化学品に対して常温のみならず高温においても強い耐性を持っています。これは、200℃以下ではPPSを溶かす溶媒は無いことから判ります。ただし、濃硝酸のような酸化性の強い強酸に対しては劣化する事があるので注意が必要です。また濃塩酸は、ガラス繊維とPPS樹脂の接着性を低下させ、機械強度の低下につながることもあるため注意が必要です。

Table4.8に種々の化学品に対するFZ-1140とFZ-3600の耐薬品性試験の結果を示します。またFZ-2140, FZ-6600の耐薬品性は各々FZ-1140, FZ-3600の場合に同等です。

4.6. Chemical Resistance

DIC.PPS has the excellent resistance to a broad range of chemicals including strong acids, strong bases, organic solvents, fuels, motor oil and transmission fluids, even at elevated temperatures and DIC.PPS can not be chemically dissolved below 200°C.

PPS is chemically decomposed by oxidizing media such as nitric acid. Concentrated hydrochloric acid weakens the bond between glass fiber and PPS, leading to a marked fall-off in the mechanical properties of the compounds. Table 4.8 provides an overview of the excellent chemical resistance after storage in various solvents, basis, acids and oils.

Table 4.8 耐薬品性;1000Hrs. 浸せき後の重量変化、寸法変化及び曲げ強さ保持率
Chemical resistance;Weight change, dimensional change and retention of flexural strength after 1000Hrs. immersed in chemicals

Substance	Temp.	FZ-1140			FZ-3600		
		Weight	Flexural strength	Dimension ¹⁾	Weight	Flexural strength	Dimension ¹⁾
		Change	Retention	Change	Change	Retention	Change
H ₂ SO ₄ , 10%	23°C	± %	94%	0.20%	-0.05%	93%	0.15%
HCl, 10%	23	±	94	0.25	-0.07	92	0.22
HNO ₃ , 10%	23	±	96	0.15	-0.07	93	0.25
NaOH, 10%	23	±	95	0.15	±	94	0.15
NaCl, 10%	23	0.15	96	0.12	0.10	94	0.17
	80	0.20	86	0.20	0.20	85	0.22
CaCl ₂ , 10%	23	0.06	95	0.20	0.05	93	0.20
	80	0.28	76	0.31	0.20	78	0.23
Ethanol	23	±	100	0.05	±	100	0.08
Methanol	23	0.43	99	0.25	0.38	99	0.26
Acetone	23	0.20	99	0.12	0.15	100	0.12
Toluene	23	0.11	99	0.05	0.10	97	0.05
Motor oil	23	±	97	0.06	±	97	0.06
	100	±	97	0.08	±	95	0.08
Brake fluid	23	±	97	0.05	±	96	0.10
	80	±	98	0.05	±	95	0.05
Automatic transmission fluid	120	0.23	100	-0.25	0.20	100	-0.21
	160	0.34	98	-0.30	0.30	100	-0.28
Turbine oil	23	0.06	98	0.08	0.06	95	0.06
	80	0.18	89	0.20	0.14	90	0.20
Window washer fluid	23	0.08	94	0.12	0.07	97	0.13
	80	-	98	-	-	97	-
Anti-freeze fluid	23	±	97	0.12	±	97	0.12
	80	±	95	0.13	±	93	0.14
Gasoline	23	0.07	97	0.09	0.10	95	0.12
	80	-	96	-	-	100	-
Kerosene	23	0.20	98	0.15	0.25	96	0.16
	80	-	98	-	-	97	-
Gasohol ²⁾	23	0.09	99	0.08	0.07	100	0.08
	80	-	96	-	-	96	-

1) DC: 流動に直角方向の寸法変化/Dimensional change on Transverse direction.

2) Gasoline/Ethanol=85/15wt.%

4.7. 耐湿熱性

DIC.PPSは、極めて吸水性の低い材料です。この特長は、多湿下においても湿度の影響を受け難いことを示します。しかしながら高温多湿下では多少の吸湿が認められるため用途によっては注意が必要です。Fig.4.34およびTable 4.9は、60°C/95% RH、85°C/95% RH、およびPCT (121°C/2.2気圧) 条件下での2mm厚みシートの吸湿量と時間の関係を表します。この図から明らかなように架橋型PPSコンパウンドのFZ-1140、FZ-3600よりも純度の高いリニアータイプコンパウンドのFZ-2140、FZ-6600のほうがさらに吸湿が少なくなります。

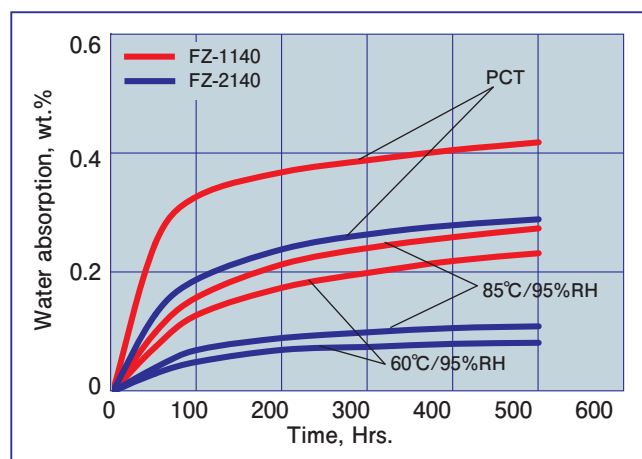


Fig.4.34 高温多湿下での吸水変化
Water absorption under hot and wet conditions

一方、吸湿による寸法変化は吸湿条件に関わらず吸湿量に相関します。吸湿量と寸法変化の関係をFig.4.35に示します。吸湿による強度低下も寸法変化と同様に吸湿量に依存します。

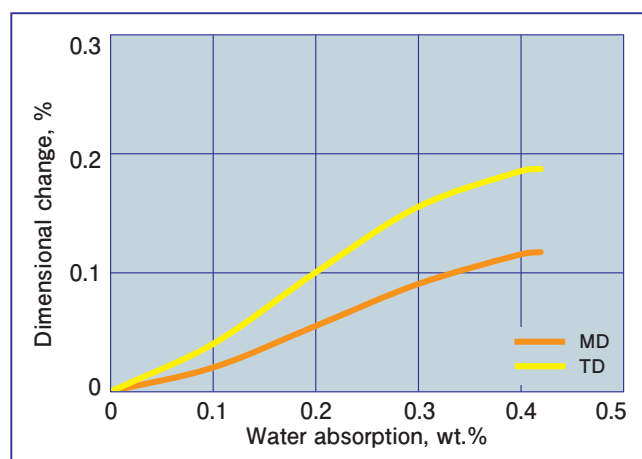


Fig.4.35 吸水による寸法変化
Dimensional change by water absorption

Fig.4.36には85°C/95% RH、およびPCT (121°C/2.2気圧) 条件下の曲げ強さと時間の関係を示します。なお、吸湿についてはもちろん電気特性に影響を与えますが、これらについては“4.5. 電気的性質”の項を参照下さい。

4.7. Resistance to Hot & Wet Conditions

DIC.PPS is characterized by a small quantity of water pick up. This characteristic is almost independent of atmospheric humidity. However, certain precautions should be taken in hot and wet condition. The relation between water absorption and the conditions of 60°C/95%RH, 85°C/95% RH and PCT (pressure cooker test) using 2mm thickness test pieces are shown in Fig.4.34 and Table 4.9. In this figure, highly purified linear polymer based FZ-2140 and FZ-6600 show less water pick up than the cross linked based FZ-1140 and FZ-3600. The quantities of water absorption in wet condition are mainly governed by temperature.

Table 4.9 500時間後の吸湿
Water absorption by weight % after 500 Hrs.

Conditions	FZ-3600	FZ-6600
60°C/95%RH	0.20%	0.12%
85°C/95%RH	0.29	0.15
121°C Pressure cooker test	0.40	0.22

Also water absorption affects to dimensional stability, mechanical and electric properties. These properties are generally governed by the quantity of water absorption. In Fig.4.35, relation between water absorption and dimensional change and Fig. 4.36 shows the relation between flexural strength and time in hot and wet conditions of 85°C/95%RH and PCT.

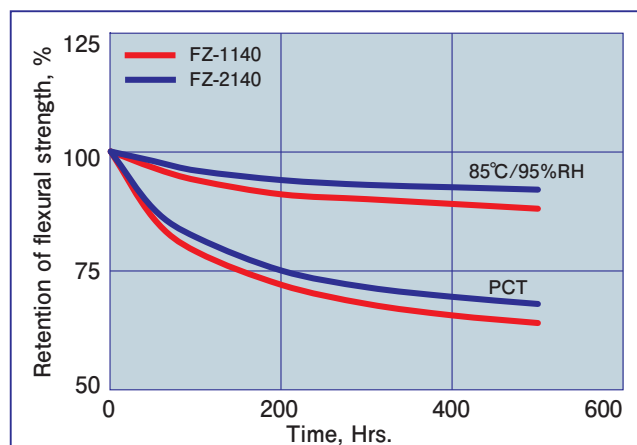


Fig.4.36 高温多湿下での強度変化
Changes of strength under hot and wet conditions

Relation between water pick up and the electrical properties is shown in the paragraph of “4.5. Electrical Properties”.

5. その他の性質

5.1. 耐候性

DIC.PPSは、耐候試験による成型品表面の微細クラック、変色や劣化による剥落が認められます。しかしながらFig.5.1に示すように機械的特性の低下はわずかです。

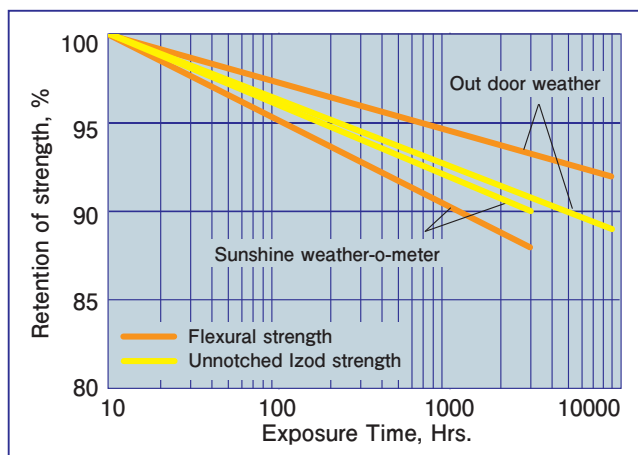


Fig.5.1 FZ-1140の耐候強度変化
Weather resistance of FZ-1140

5.2. 摩擦磨耗

砥石とのざらつき磨耗は、その砥石の粒度によって変わります。また、滑り摩擦については軟鋼との摩擦係数のデータを Table 5.1に示します。なお、摩擦係数はFig.5.2に示すような円筒試験片を用い、PPSと軟鋼とのすべり摩擦特性を測定したものです。ただし、圧力P=150 kPa、速度V=0.3m/sec.の条件です。

Table 5.1 摩擦磨耗特性
Abrasion and frictional properties

	FZ-1140, FZ-2140	FZ-3600, FZ-6600
Taber / Taber abrasion mg/1000 cycles (CS-17)	60	72
Co-efficient of friction DIC.PPS vs. steel		
Dynamic	0.35	0.35
Static	0.35	0.35
DIC.PPS vs. DIC.PPS		
Dynamic	0.44	0.42
Static	0.46	0.43

5.3. 硬度

プラスチックの硬度は一般的にロックウエル硬度で表しますが、ショアー硬度並びにマイクロビッカース硬度と類似のダイナミック硬度との相関を Table 5.2に示します。また硬度は、PPSの結晶性と強い相関が有り結晶化度が高い程、硬くなります。結晶性を左右する金型温度とダイナミック硬度との相関については、“成形条件と物性”の項を参照下さい。

5. OTHER PROPERTIES

5.1. Resistance to UV Weather

When PPS is exposed to UV ray during a certain term, surface micro cracks and color change would be caused. However, degradation of mechanical strength is slight. Weather resistance data are shown in Fig.5.1.

5.2. Abrasion & Wear by Sliding Friction

The resistance to abrasion, which measures wear due to contact with an abrasive substance, is determined using the Taber abrasion tester. Sliding friction caused to a plastic material mounted on a steel rotary cylinder can be measured using apparatus shown in Fig.5.2. The properties of wear and sliding friction data are in Table 5.1.

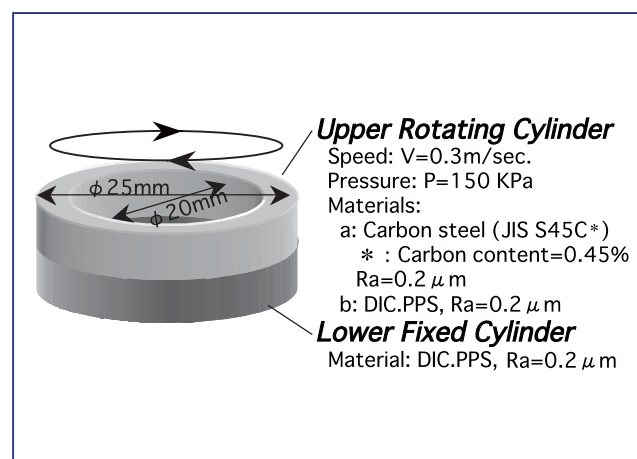


Fig.5.2 摩擦係数測定方法
Test method of the sliding frictional properties

5.3. Hardness

The hardness obtained using the most common testing methods, Rockwell, Shore and Dynamic hardness which is very similar to the Micro-Vickers hardness is shown in Table 5.2. Especially, hardness is governed by the crystallinity of PPS. Therefore, highly crystallized molded parts are harder than the poor crystallized parts.

Table 5.2 DIC.PPSの硬さ
Hardness of DIC.PPS molding surface

Hardness	FZ-1140	FZ-2140	FZ-3600	FZ-6600
Rockwell				
R scale	R-121	R-121	R-121	R-121
M scale	M-100	M-100	M-100	M-100
Shore D	D-86	D-86	D-87	D-87
Dynamic	28	28	28	28

5.4. 限界酸素指数 LOI

限界酸素指数 LOI は、燃焼性を表す相対的な数値で、その材料が燃焼を継続するのにあるいは一定量の材料が燃焼しつくすのに必要とする酸素の最少濃度を示します。したがって指数の高い材料ほど燃え難い材料といえます。

Table 5.3は ASTM D-2863に準じた方法で DIC.PPS と他のプラスチックの限界酸素指数を比較したのですが DIC.PPS は、難燃剤の添加無しで極めて高い指数を示す高度な難燃性材料といえます。

Table 5.3 DIC.PPS と他のプラスチックの限界酸素指数
Limiting oxygen indexes of DIC.PPS and Others

Materials	Limiting oxygen index
DIC.PPS FZ-1140, FZ-2140	47
DIC.PPS FZ-3600, FZ-6600	53
PES GF30	41
LCP GF30	
G.P. grade	35
Heat resistant grade	47
PBT GF30 (FR grade)	33
Nylon-66	28
Modified PPE (FR grade)	30
Polycarbonate (FR grade)	34
POM	16
PTFE	95
Polyolefines	18
PVC	48

5.4. Limiting Oxygen Index

Limiting oxygen index (LOI) is a relative indication of flammability. It is the minimum concentration of oxygen when the test piece continues to burn for a definite time or until a specified amount of piece is consumed.

Table 5.3 shows a comparison of the LOI of DIC.PPS with other plastics under the method of ASTM D-2863. These values indicate that DIC.PPS has more resistance to burning compared with the other plastics.

6. 成形加工

DIC.PPSは複雑な成形も比較的簡単に出来る優れた加工性を持った材料です。以下にその成形法につき解説します。

6.1. 成形準備

6.1.1. 射出成形機

通常のスクリーインラインタイプの射出成形機が使用できます。なお、シリンダーならびにスクリーは、耐磨耗仕様が必要です。逆流防止弁付きのオープンタイプノズルが通常使用されますが、さらに安定成形、高精度成型品を得るために耐磨耗仕様シャットオフノズルの装着が有効です。

6.1.2. 予備乾燥

DIC.PPSは、極めて吸湿性が低いため空気中の湿気は、無視できるほどですが成形安定性や成型品の品質確保のために予備乾燥を実施して下さい。予備乾燥の条件は、乾燥設備や乾燥量に依って多少異なりますが、以下が目安です。

120℃：4～6時間

130℃：3～5時間

140℃：2～3時間

6.2. 成形条件

DIC.PPSの標準的な成形条件をFig.6.1に示します。PPSは、比較的熔融粘度が低いためにバリが発生し易い傾向にあります。バリは、成形圧力依存性が特に高く、バ리를低減化するためにはシリンダー温度を高めとし射出圧力を必要最小にすることにより改善されます。

6.2.1. シリンダー温度

通常300～340℃に設定します。ただし、Z-230やZ-650などのスーパータフタイプならびにフッ素樹脂配合グレードは若干低目の290～320℃に設定します。ホッパー側の温度が必要以上に低いとペレットの噛み込み性が悪くなるばかりかスクリー、シリンダーの磨耗が早くなります。またノズルの設定は、中央部より若干低目にし、ドロリングを軽減することは、可能です。

6.2.2. 金型温度

成型時の金型温度は、常温から150℃以上もの高温迄の広い範囲で成形可能です。ただ重要なのは金型温度に依ってPPSの特性は最も強く影響を受けることです。PPSの性能を発揮させるためには充分な結晶化度の確保の点で120℃以上の高温金型が必要です。好ましい金型温度範囲は、130～150℃が適当です。金型温度が高い方がより高い結晶化度と平滑で光沢の有る表面を得ることができます。一方、120℃以下の金型温度の場合、成型品の結晶化が不十分で耐熱性が低い、表面状態が悪い、離型性が悪いなどのトラブルを招くことがあります。その他寸法安定性、色調、成形収縮、機械物性などさまざまな特性を左右します。なお低温金型での成形の際、ガラス転移温度；T_g付近の90±10℃は特に離型性が悪くなりますので避けて下さい。

6. PROCESSING

The processing characteristics of DIC.PPS make it excellent materials for precision injection molding of intricate and complex parts.

6.1. Preparing to Injection Molding

6.1.1. Molding machine

Any conventional injection molding machine can be used with. Anti-wear screw, cylinder and mold for the glass fiber or mineral filled compounds are recommended to protect machine and mold wear. Normally, open nozzle is used and positive shut-off nozzle also useful in molding DIC.PPS to get the precise moldings.

6.1.2. Drying

Although the absorption of DIC.PPS under moist atmospheric conditions is negligible, pre-drying prior to molding is needed to get high quality molded parts. Drying should be accomplished in the following conditions,

120°C: 4-6 hours,

130°C: 3-5 hours or

140°C: 2-3 hours.

6.2. Operating Conditions

Figure 6.1 shows the standard condition of injection molding. Comparatively low injection pressure and high cylinder temperature are recommended to prevent flashing.

6.2.1. Processing temperature

The PPS's sharp melting point of 280°C enables it to be injection molded at 300 to 340°C is typical for most PPS grades and applications. However, slightly lower temperature of 290 to 320°C is recommended for super tough "Z" series and PTFE, poly tetra fluoro ethylene filled grades.

6.2.2. Mold temperature

A wide range of mold temperatures from room temperature to over 150°C can be selected for use. However, in order to obtain optimum properties, every effort should be made to achieve maximum crystallinity. This requires relatively high mold temperature of at least 120°C, measured at the mold surface. Temperatures of between 130°C to 150°C are normally recommended. A higher mold temperature ensures a higher degree of crystallinity, a better surface finish and reduced post-shrinkage. In the case of low mold temperature use, should be avoided the mold temperature of 80-100°C, which temperature range may be caused reduce of mold release ability.

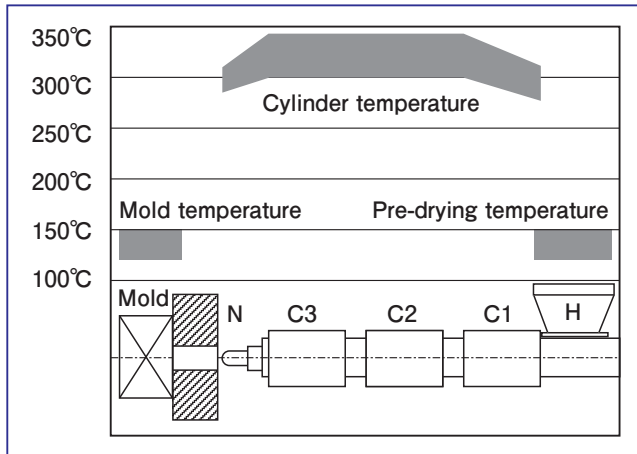


Fig.6.1 標準成形温度条件
Typical molding temperature

6.2.3. 射出速度

良好な外観を得るためには高速が適当です。一方、成型品の反りやガス焼けを招く恐れが有りますので通常は成型品の外観で判断し、充填時間は通常、0.5~1.5秒程度になるように設定します。

6.2.4. 射出圧力

重要なのは、キャビテイへの充填完了後の保持圧力です。通常、50MPa 以上あれば充分です。特に保持圧力は、バリの大小に大きく影響を与えるのでヒケが発生しなければ低目の保持圧の方が好ましいと言えます。

6.2.5. スクリュー回転数と背圧

スクリュー回転数は、40~150rpm が適当です。高過ぎる回転数は、強化材であるガラス繊維の損傷を招く事があり強度低下につながる事が有ります。

背圧は、通常ゲージ圧で1-2MPa 程度です。ただし、計量が不安定、すなわちショートショットが時々発生するような場合、3-4MPa まで上げることができます。なお背圧を高くすると計量時間が長くなる場合があります。

6.2.6. パージング

成形後の成型機のシリンダーは高粘度の、例えばブロー成形用のポリエチレンなどでパージングするのが適当です。また、市販のアクリル洗浄材も使用できます。

6.2.3. Injection rate

Depending on the particular formulation, DIC.PPS grades have high to very high setting and crystallization rates a feature which gives very fast cycle times. High injection rates are therefore necessary to prevent the melt from cooling and solidifying during the injection process, resulting in homogeneous, poor quality surfaces. Suitable filling time range should be settled from 0.5 to 1.5 seconds.

6.2.4. Injection and holding pressure

In view of high injection speeds recommended, correspondingly high injection pressures are often necessary. Holding pressure should be relatively high 50 MPa or over.

6.2.5. Screw speed and back pressure

The plastication process requires slow to medium screw speeds, and low back pressures of between 1-4 MPa. If both screw speed and back pressure are high, excessive crushing of the glass fibers may result, reducing the mechanical properties of the end product.

6.2.6. Purging

Purging can be readily accomplished using high molecular high density polyethylene for blow molding.

6.3. 再生利用

DIC.PPSは、成型時のポリマーの分子量低下やそれに伴う分解の可能性は、極めて少ない材料です。したがってスプルやランナーの再生利用は充分可能です。ただし再生に当たっては3つの重要なポイントが有ります。

まず第一に、再生材が通常の成形を行われたもので有ること。第二に再生材は、篩等で粒度が均一にされていること。特に粉碎粉があると成形安定性を阻害します。第三に成型品が電気絶縁用途の場合、再生材は強力な、例えば9000 Gauss程度の磁石で、粉碎機から発生した金属粉が磁石などで除かれていることなどです。

一般的には再生材比率は、成型品の品質を確認して決めます。ただし再生材の混入量を30%以下にすることをお奨めします。以下の Fig.6.2~6.4には再生材を30, 50, 100%とした場合の曲げ強度、衝撃強度、成形流動性変化を示します。再生使用時の特性の変化は、主に強化材であるガラス繊維の長さ変化に起因しますが、これを Table 6.1に参考として記載します。以上は、FZ-1140の場合ですが、他の品番でも同様です。

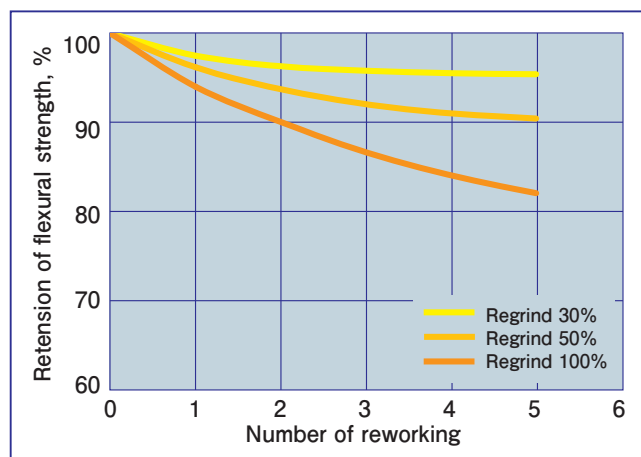


Fig.6.2 再生に依る曲げ強さ変化
Change of flexural strength by reworking

6.3. Reworking of Scrap

There are three important criteria for recycling scrap. Firstly, the original material must have been correctly processed and secondary the scrap must be carefully screened. The use of regrind material with a granule size of less than 2mm and the presence of the powdered has a highly detrimental effect on finished product properties. And thirdly, the scrap should be removed metal fragments mixed during crushing process in order to clear away electric obstacles for electric and electronic appliances. The regrind of less than 30% can be added in the repetition use, depending on the level of property reduction considered acceptable. The following Figs.6.2 to 6.4 denotes the changes of flexural strength, impact strength and flow by repetitive rework of FZ-1140. PPS polymer has excellent heat stability and the cause of degradations or changes in strength and flow will be a change of fiber length in moldings as shown in Table 6.1.

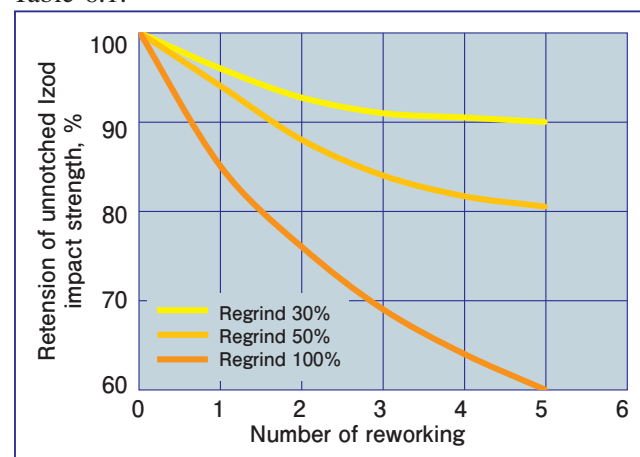


Fig.6.3 再生に依る衝撃強さ変化
Change of impact strength by reworking

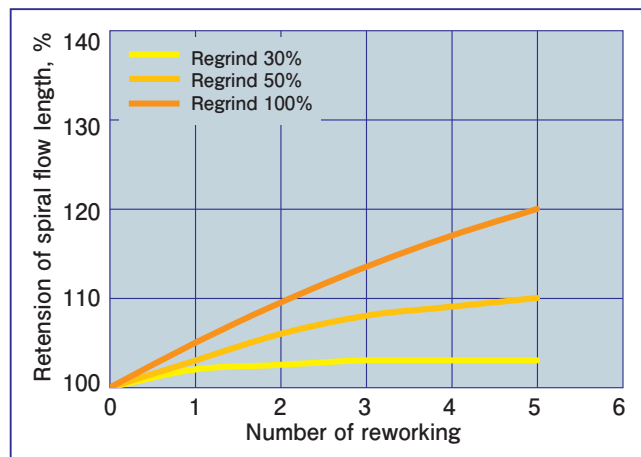


Fig.6.4 再生に依る成形流動性の変化
Change of flow ability by reworking

Table 6.1 再生に依るガラス繊維長さ分布変化
Change of glass fiber length by reworking.

	〈Regrind 100%〉			
Number of reworking	0	1	3	5
Average fiber length, μm	350	310	270	240

6.4. 金型デザイン

6.4.1. 金型材質

金型についても耐食・耐摩耗にすぐれた高合金鋼をお奨めします。具体的には JIS に規定されている SKD-11 が最も一般的です。他に SKD-61 や SUS420、SUS440 系のステンレス鋼材も使用されます。いずれも焼き入れ処理後ロックウエル硬度で R55 以上好ましくは R60 程度で使用します。またゲートなど特に磨耗し易い部分にはタングステンカーバイドやチタンカーバイドのような耐摩耗性材を入れ子方式で使用すると経済的です。さらにイオンプレATING やセラミックコーティングなどの表面硬化処理も金型の耐久性向上に効果が有ります。

6.4.2. 温度調節

金型の温度調節には通常、カートリッジヒータあるいは油温調を使用します。油温度調節の方が金型内の温度が均一になり好ましいと言えます。PPS の金型温度は一般に高温ですから放熱を防ぐために金型とプラテンの間に断熱材を使用します。断熱材料は、例えばフェノール積層板などがあります。

6.4.3. ランナーとスプルー

一般に、断面が円あるいは台形断面のランナーとします。半円や矩形断面は避けます。またコールドスラグウエルは、ランナーおよびスプルーの先端に必ず設けて下さい。スプルーは標準タイプで充分です。

ホットランナーは DIC.PPS に使用できますが温度コントロールが正確でかつチップが十分な耐摩耗性を持っているものを選定する必要があります。

6.4.4. ゲート

サイド、フィルム、ディスク、センター、トンネル、ピンおよびサブマリゲートなどさまざまなゲート方式が可能です。サイドゲートが最もポピュラーです。フィルムゲートは、一般に成形品をフラットに仕上げるのに有効であるのに対してディスクゲートは円形あるいはシリンダー状の成型品の円形精度を確保するのに効果があります。サブマリゲートやトンネルゲートは後行程でのゲートカットが不要のため合理的です。ただし、PPS コンパウンドは、剛直な材料のため特にサブマリゲートの設計には制限があります。Fig. 6.5 に具体的なサブマリゲートのデザインを示します。

6.4.5. 抜き勾配

金型の研磨精度に大きく左右されますが、一般的にはキャビティ深さが 10-50mm の成型品では一般的に片側 0.5 度程度の抜き勾配が必要です。ただし、深さが 10mm 以下のキャビティの場合、0.25 度程度でも成形可能です。また深さ 50mm 以上では 1 度の抜き勾配が必要となります。

6.4. Mold Design

6.4.1. Mold

The choice of steel and finish for cores and cavities for high volume protection is important to their longevity and in helping to hold critical tolerances.

Wear resistant tool steels containing C, Cr, Mo and V have excellent resistance to the erosive effects of glass fiber and mineral filled PPS compounds. These steels should be hardened to over 55 by Rockwell R hardness. Titanium carbide or tungsten carbide tips are effective to minimize wear of the cavity and ion plating or ceramic coating are helpful to protect wear.

6.4.2. Temperature control

Heat should be supplied to the mold by cartridge heaters or heated oil. In any method selected to heat, insulation should be used between the mold and platens to keep down heat transfer to the platens. Laminated phenolic sheet can be recommended to the heat insulation.

6.4.3. Runner and sprue

Generally, full round or trapezoid runners are recommended and half-round and square runner systems are not recommended. The cold slug wells are needed at the ends of sprue and runners. Standard sprue bushings are used with.

Hot runner systems are also used. However, for the introducing of hot runner systems, precise temperature control systems and wear protected tips are needed.

6.4.4. Gating

Side, film, disc, center, tunnel, pin and submarine gates have been used with success in molding DIC.PPS. Disc gate are used to help keep cylindrical parts round while film gates are used to help keep molded parts flat. Submarine gate can be used where automatic operation is required and its tentative design is shown in Fig.6.5.

6.4.5. Draft angles for molds

Generally, a half degree per side is used for 10 to 50mm depth cores. Though, a minimum of quarter degree per side should be used for short cores and shallow cavities less than 5mm. If core depth is over 50mm, draft angle of one degree per side should be used.

6.4.6. エアーベント

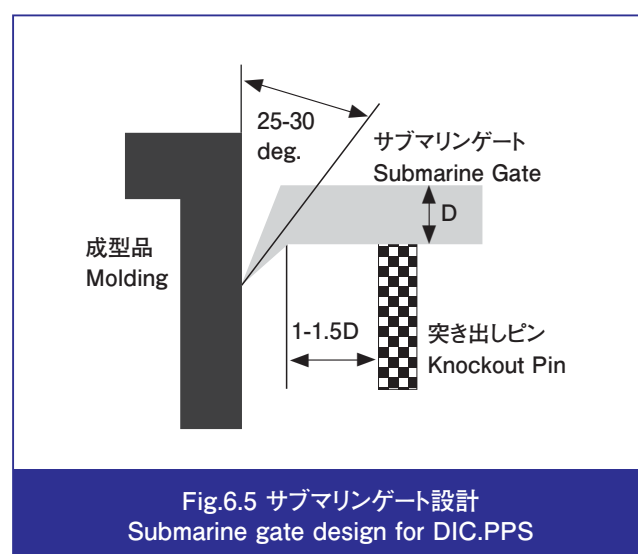
DIC.PPSの金型にはエアーベント（ガスベント）が必要です。通常、深さ5~8/1000mm程度で幅5mm程度が一般的です。深さが8/1000mm以上ではバリの発生や5/1000mm以下ではベント効果に問題が発生する可能性があります。またエジェクタピンの加工に依るエアーベントは、バリの詰まりの可能性があり好ましくありません。

バキュームベントシステムは通常のエアーベントなどの対策では不十分な金型構造や、特に精密な成形が必要な場合、有効です。

6.4.6. Air venting

All molds used to produce parts of DIC.PPS need to be vented. This is usually done by placing vents 0.005 to 0.008mm deep by about 5mm wide on the parting line. They are positioned so that entrapped air in the mold can escape. Venting can be augmented by flattening the sides of ejector pins. Vent pins are not recommended because they will fill with flash and no longer be operable.

Vacuum venting has been used effectively to evacuate a cavity where a blind pocket or area exists which can not be vented by conventional method.



6.5. 成形収縮率

一般的に強化充填されたPPSの成形収縮率は、他の樹脂に較べて、小さい部類に属します。ただし、ガラス繊維などで強化されていること、ならびに結晶性樹脂であるためポリカーボネートなどの非結晶性樹脂に較べて成形収縮率の異方性が大きく製品形状によっては反りを起こすことがあります。

成形収縮率や反りは、流動性、肉厚、ゲート形状、金型温度、樹脂温度を含む成形条件などさまざまな因子に影響されますが、金型温度と次いで肉厚が最も重要な因子です。さらに、強化材や充填フィラーの種類、量によっても影響を受けるため、適切なDIC.PPSのグレードを選択して下さい。

Fig.6.6は、短辺からフィルムゲートを有する50×105×2mmシートの収縮率異方性が極めて大きい場合について金型温度と収縮率の関係を示したものです。またFig.6.7には肉厚依存性について示します。以上のデータは、収縮の異方性の大きい場合ですが、例えばピンゲートの場合には樹脂の流動に伴うガラス繊維や分子の配向は弱く異方性は顕著ではありません。このような場合の収縮率は、Fig.6.6, 6.7の流動方向(MD)と直角方向(TD)の中間の収縮率となります。

6.5. Mold Shrinkage

The mold shrinkage of reinforced PPS is greater anisotropy than other reinforced amorphous thermoplastics. Shrinkage and warping are influenced by the following factors as flow length/section thickness ratio, type and location of gate, melt and mold temperature, injection rate and others. In addition to these factors, the type and content of filler also affect shrinkage and warping. The difference in the shrinkage values measured with and across the flow direction (anisotropy) can be reduced by choosing a suitable grade of DIC.PPS. This is significantly reduces the tendency of flat articles to warp. Figure 6.6 gives the mold shrinkage depending on mold temperature for mold direction (MD) and transverse direction (TD) to flow. These data were measured by using rectangular molded sheet of 50×105×2mm with 1mm thickness film gate at narrow side. Figure 6.7 illustrates the influence of wall thickness to the mold shrinkage. However in the case of weakened anisotropy which has been molded with pin gate, the shrinkage should be adopted the average values between these of MD and TD.

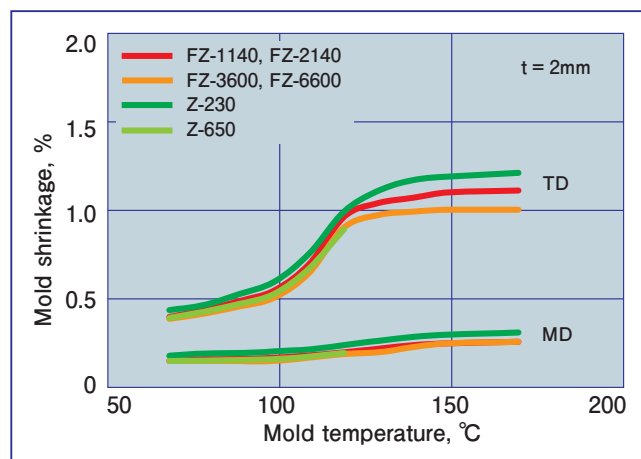


Fig.6.6 成形収縮率の金型温度依存性
Effect of mold temperature on mold shrinkage

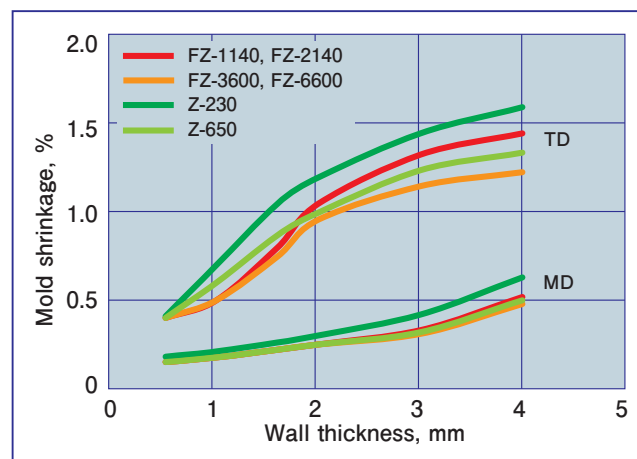


Fig.6.7 成形収縮率の厚み依存性
Effect of wall thickness on mold shrinkage

6.6. 成形流動性

DIC.PPSの大半のグレードは、30~70%もの高い比率の強化材や無機質フィラーで充填されています。これは他の強化エンジニアリングプラスチックに較べてDIC.PPSの成形流動性が基本的に優れるという事実他にありません。

Fig.6.8, 6.9はそれぞれスパイラルフローで測定した流動長と成形条件の関係を示したものです。流動性は、射出圧力と樹脂温度が大きく影響しますが金型温度の影響は僅かです。

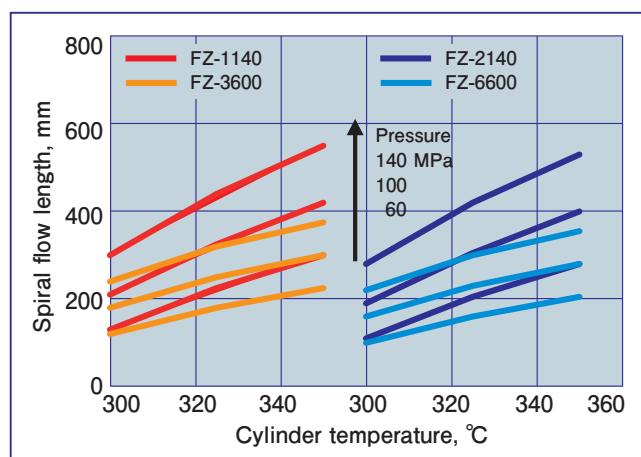


Fig.6.8 成形流動性の射出圧力とシリンダ温度依存性
Flow ability affected by injection pressure and cylinder temperature

一方、樹脂の熔融粘度の基本データあるいはコンピュータに依る流動解析の基データとしての熔融粘度のせん断速度依存性を Fig.6.10~6.15に示します。

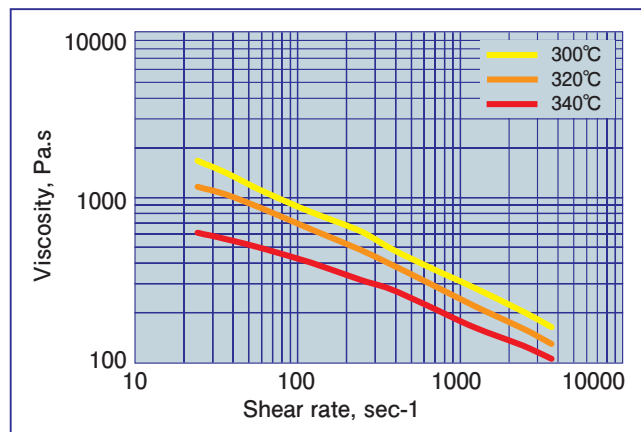


Fig.6.10 FZ-1140の熔融粘度のせん断速度依存性
Melt viscosity of FZ-1140 as a function of shear rate

6.6. Flow Ability

In spite of most grades highly filled; 30-70% by weight, DIC.PPS is having more excellent injection flow ability than other filled engineering polymers.

Figures 6.8 and 6.9 show the relation between flow length and molding conditions. Spiral flow is strongly affected by injection pressure and resin temperature but not strongly affected by mold temperature.

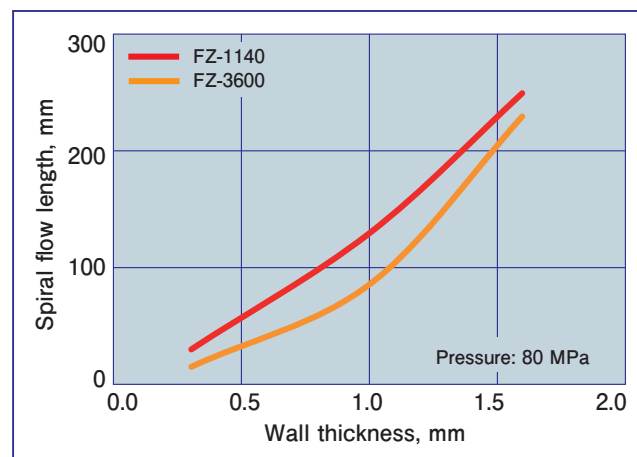


Fig.6.9 板厚みと成形流動性の関係
Flow length depending on wall thickness

Figures 6.10 to 6.15 show the apparent melt viscosity data affected by shear rate. These data are used for computer flow simulation in the molds.

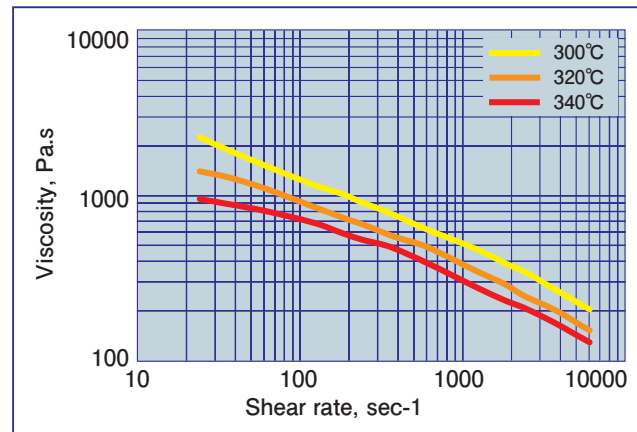


Fig.6.11 FZ-2140の熔融粘度のせん断速度依存性
Melt viscosity of FZ-2140 as a function of shear rate

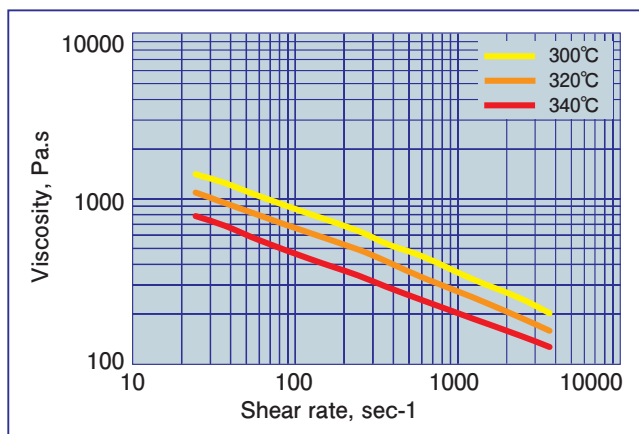


Fig.6.12 FZ-3600の熔融粘度のせん断速度依存性
Melt viscosity of FZ-3600 as a function of shear rate

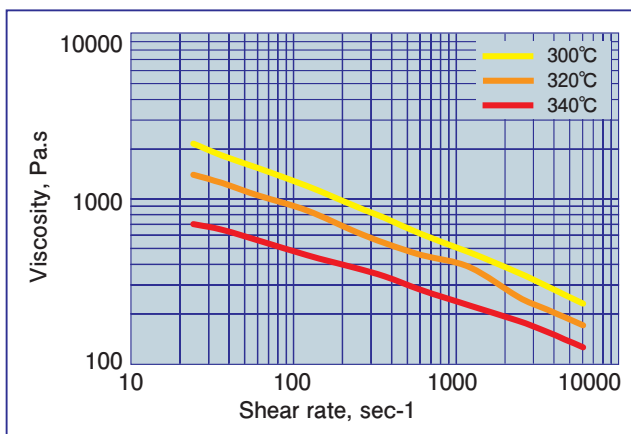


Fig.6.13 FZ-6600の熔融粘度のせん断速度依存性
Melt viscosity of FZ-6600 as a function of shear rate

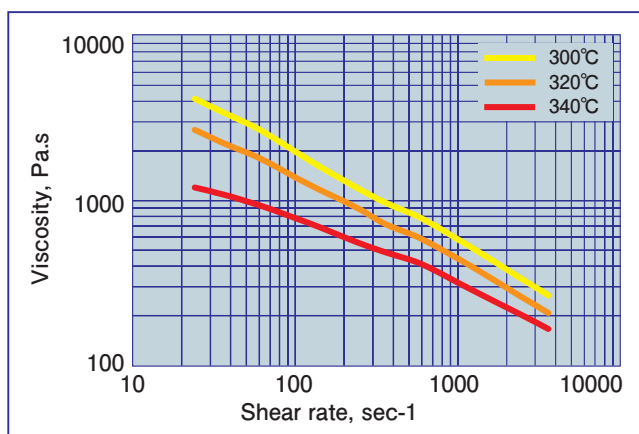


Fig.6.14 Z-230の熔融粘度のせん断速度依存性
Melt viscosity of Z-230 as a function of shear rate

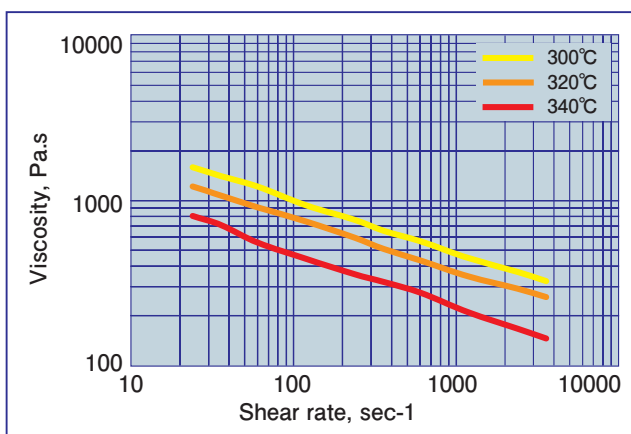


Fig.6.15 Z-650の熔融粘度のせん断速度依存性
Melt viscosity of Z-650 as a function of shear rate

6.7. 成形条件と物性

DIC.PPSの特性は、当然ながら成形条件によって変化します。特性に影響を与える因子として金型温度、射出圧力、樹脂温度などさまざまですが、金型温度が最も大きな影響を与えます。その理由はPPSが結晶性樹脂であり、十分に結晶化させる事によってはじめて本資料に記載の特性が発揮されます。以下に金型温度の影響を中心に射出圧力、樹脂温度のDIC.PPSの特性に与える影響について解説します。

6.7.1. 金型温度

Fig.6.16は耐熱性の指針となる荷重たわみ温度の金型温度依存性であり、金型温度は120℃以上ではじめてPPSの特長である高い耐熱性が得られます。標準的には金型温度は130～150℃を保ちます。Fig.6.17, 6.18は、金型温度と曲げ強さおよび衝撃強さの関係を示しますが、架橋型のFZ-1140やFZ-3600は金型温度が高くなるほど強度は若干低下の傾向にあります。一方、リニア型FZ-2140やFZ-6600は、金型温度が高いほうが見かけの強度は若干高くなります。衝撃強さについては架橋型、リニア型共に金型温度が高い程、耐衝撃性が低下します。すなわち、結晶化の度合いが高いほど硬く脆くなります。これは結晶性樹脂に共通の性質です。

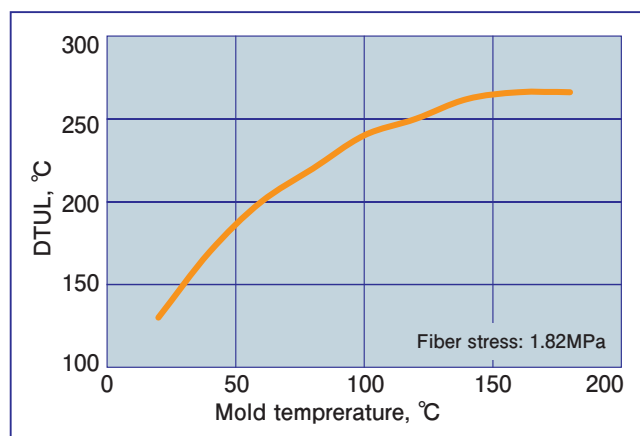


Fig.6.16 FZ-1140の荷重たわみ温度の金型温度依存性
Distortion temperature under load DTUL of FZ-1140 affected by mold temperature

金型温度は耐熱性はもちろん上記の機械的特性の他、成型品の表面状態や表面硬度、耐熱寸法安定性、成形収縮率などのPPSの結晶化度に相関するあらゆる特性に密接に関わっています。Fig.6.19, 6.20に金型温度と成形表面粗度、表面硬度の関係を示します。なお収縮率の金型温度依存性は“6.5成形収縮”の項を参照下さい。

6.7. Properties and Molding Conditions

Properties of DIC.PPS are varied by the molding conditions as mold temperature, melt temperature, molding pressure and so on. The mold temperature is the most important because of the crystallinity mainly governed by the mold temperature. Some properties affected by molding conditions are described as follows.

6.7.1. Mold temperature

PPS is the partially crystalline polymer and the properties of molding; especially heat resistance is affected by degree of crystallinity. Therefore, mold wall temperature is particularly important in injection molding of DIC.PPS. Basically, it should be above 120°C that is the post-crystallization temperature, T_{c1} . The mold wall temperature of 130 to 150°C is generally recommended. The deflection temperature under load (DTUL) is the indicator of heat resistance and the mold temperature dependence of DTUL is shown in Fig.6.16.

The effect of mold temperature on flexural and impact strengths is shown in Figs.6.17 and 6.18 respectively. Flexural strength is slightly reduced as mold temperature is increased on cross linked polymer based FZ-1140 and FZ-3600. On the other hand, flexural strength increases as mold temperature increasing for the linear polymer based. The impact strength is reduced for all compounds as mold temperature is increased.

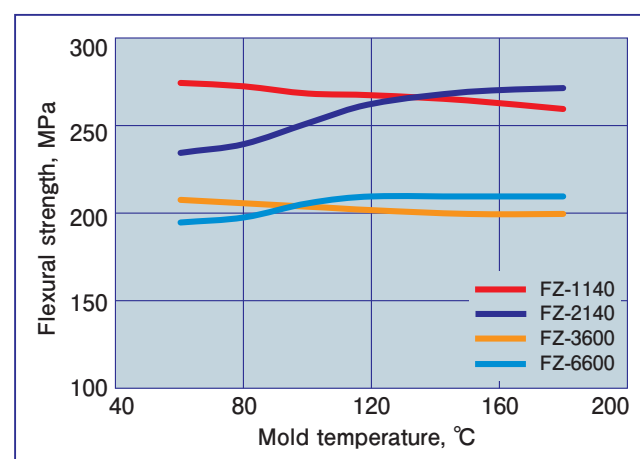


Fig.6.17 曲げ強さの金型温度依存性
Flexural strength dependent on mold temperature

Surface condition, hardness, dimensional stability and mold shrinkage are also affected by mold temperature. These properties closely depend on crystallinity of moldings. Figures 6.19 and 6.20 show the properties affected by mold temperature.

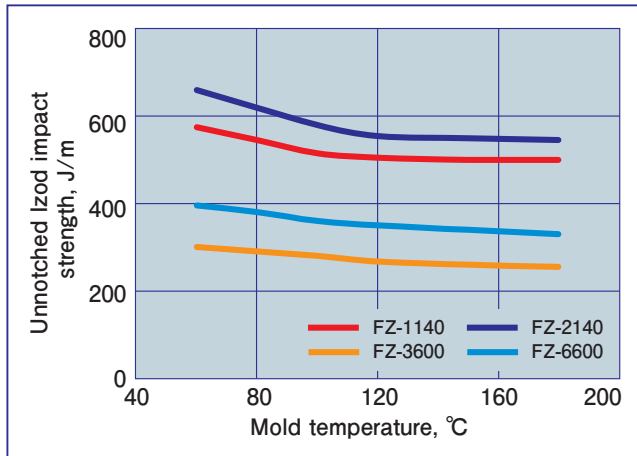


Fig.6.18 衝撃強さの金型温度依存性
Impact strength dependent on mold temperature

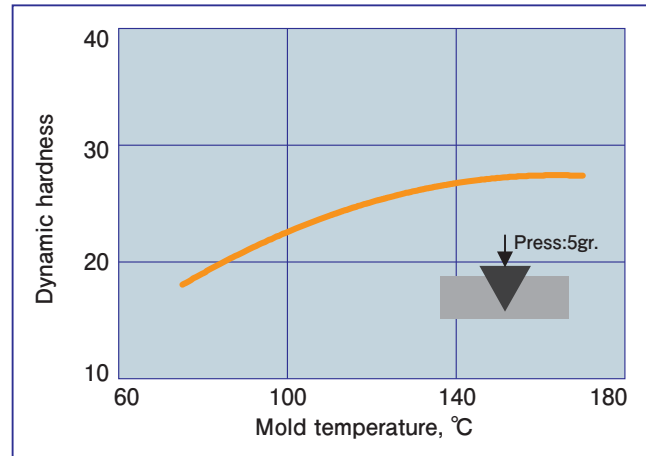


Fig.6.20 FZ-1140の表面硬度と金型温度の関係
Surface hardness dependent on mold temperature

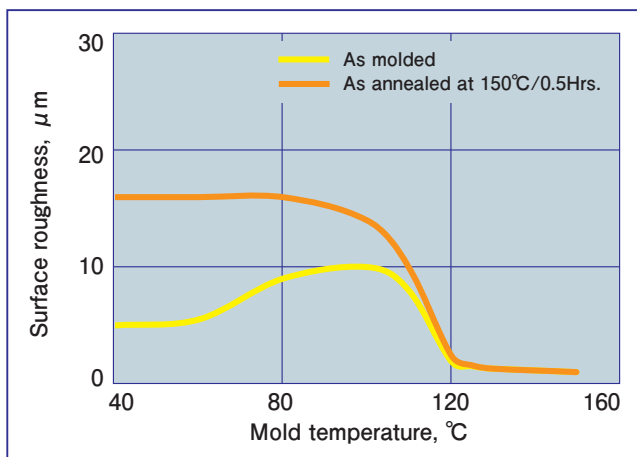


Fig.6.19 FZ-1140の金型温度と表面粗さの関係
Surface roughness depending on mold temperature

6.7.2. 樹脂温度

適正な温度範囲内で樹脂温度がコントロールされていたとしても、シリンダー温度設定の変更などにより樹脂温度が変化すれば、物理的な性質が変化します。これらの変化の原因は溶融粘度の変化、結晶化速度の変化およびガラス繊維の配向の変化などです。特に、樹脂温度が高くなれば引張り強さ、曲げ強さ、衝撃強度、ウエルド強さなど機械的強度が高くなる傾向にあります。これを Fig.6.21 に示します。

6.7.3. 成形圧力

成形圧力は通常、保持圧力で50-100MPaの範囲が使われます。しかしながら、成型品の厳しい寸法精度の確保を必要とする場合などとしてより高い圧力が必要な場合があります。Fig.6.22に示すように一般的に保持圧力が高い程、機械的な物性は若干、高くなる傾向にあります。

6.7.2. Melt temperature

As the melt temperature is varied within a suitable melt temperature range, some changes in physical properties may occur. These changes are largely a result of changes in melt viscosity, crystallinity and glass fiber orientation. Mechanical properties including tensile, flexural, impact, weld strengths increase slightly with increasing melt temperature as shown in Fig.6.21.

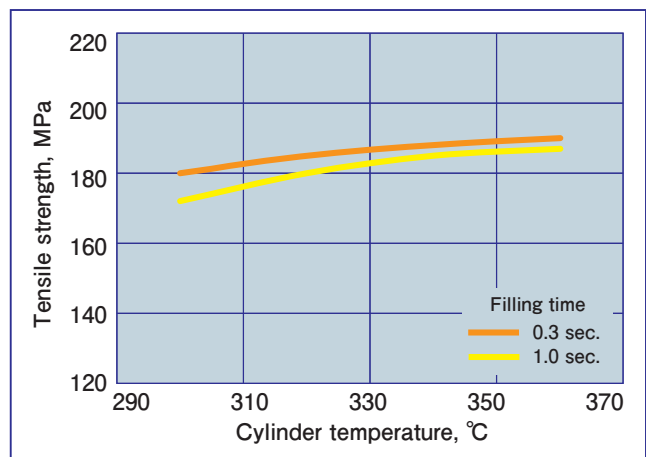


Fig.6.21 FZ-1140のシリンダー温度の引張り強さ依存性
Tensile strength of FZ-1140 affected by cylinder temperature

6.7.3. Molding pressures

Most parts can be molded using holding pressures from 50 to 100 MPa. However, occasionally higher pressures may be needed. The variation of holding pressure may affect the mechanical properties as shown in Fig.6.22.

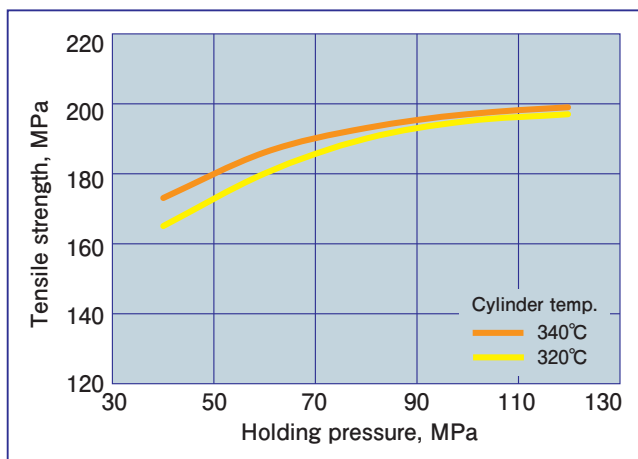


Fig.6.22 FZ-1140の成形圧力の引張り強さ依存性
Tensile strength of FZ-1140 affected by holding pressure

7. 二次加工

DIC.PPSの成型品の機能を付加する目的で二次加工をすることができます。二次加工には機械加工、接着剤接合、熱融着や超音波融着、塗装、メッキ、アニールなどです。

7.1. 機械加工

機械加工には旋盤加工、ボール盤による穴あけ、フライス盤加工、切断などがあります。これらの加工は可能ですが、PPSのほとんどの品番はガラス繊維が充填されているために工具は、耐久性を考慮して硬度が高く耐磨耗に優れた超硬チップを使用されることをお勧めします。また、表面仕上げにはバフ研磨やラップ研磨が可能です。機械加工のみならず成型品のデザインにおいてもエッジ部の仕上げやアール処理は、応力集中を避けることが必要です。Fig.7.1に応力集中係数とアールの関係を示しますので参考にしてください。

7.2. 接着

PPSは極めて耐薬品性に優れる反面、溶剤ベースの接着剤による接合は出来ませんが、エポキシ系、シリコーン系、シアノアクリレート系の接着剤が使用されます。接着強さに関しては、架橋タイプよりもリニアタイプのFZ-6600やFZ-2140の方が高い接着力を示します。接着力を高める手段としては成型品表面を短波長UV処理、コロナ処理、プラズマ処理などを行うと表面活性が高くなり接着力が改善されます。ただし、このような表面改質の効力が時間と共に低下しますので注意が必要です。目安として処理後4-5日以内に接着することをお勧めします。シリコーン接着については成型品を200℃以上で数時間アニール処理後接着すると接着強度が向上します。Table 7.1に参考として接着耐久性に優れた可撓性付与タイプのエポキシ接着剤とシリコーン接着剤の引張りせん断強さのデータを示します。なお接着面積は25×25mmです。

Table 7.1 引張りせん断試験による接着強さ (MPa)
Adhesive bonding by tensile-shear strength. (MPa)

Adhesives	Curing	FZ-6600	FZ-3600
Epoxy			
Super X ¹⁾	Room temp.	2.3	1.4
EP-001 ²⁾	Room temp.	5.2	3.1/6.1 ⁶⁾
XM1938/XV1939 ³⁾	120°C/120min.	6.8	2.6
Silicone			
KE1800TA/TB ⁴⁾	150°C/40min.	3.4	1.5/3.7 ⁷⁾
SE1712 ⁵⁾	150°C/40min.	3.3	1.6

- 1) セメダイン(株)、1液型、常温硬化 /CEMEDINE Corp.
- 2) セメダイン(株)、2液型、常温硬化 /CEMEDINE Corp.
- 3) 日本ペルノックス(株) 2液加熱硬化、電子部品ポッティング用 / NIPPON PELNOX Corp., for electronic parts potting.
- 4) 信越化学(株) 2液加熱硬化 /SHINETSU CHEMICAL Corp.
- 5) 東レダウコーニング(株) 1液加熱硬化 /TOREY-DOW CORNING Corp.
- 6) 短波長UV処理60秒 /Surface improved by UV for 60 sec.
- 7) アニール後接着、200°C/3Hrs./After annealed 200°C /3Hrs.

7. FINISHING OPERATIONS

DIC.PPS offers particular versatility for the effective subsequent treatment of moldings and semi-wrought products. Finishing processes include machining, adhesive bonding to itself or other materials, thermal and ultrasonic welding, painting, metallizing and annealing.

7.1. Machining

Turning, drilling, milling and sawing of DIC.PPS molded parts present no problems provided the machining equipment is fitted with carbide-chipped tools. However, the machined sharp edges should be avoided to stress concentration as shown in Fig.7.1.

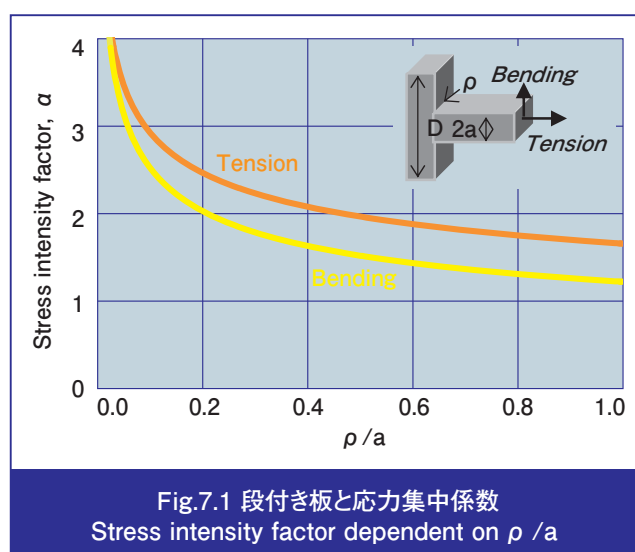


Fig.7.1 段付き板と応力集中係数
Stress intensity factor dependent on ρ/a

7.2. Adhesive Bonding

Because of the excellent chemical resistance, PPS molding parts can not be bonded together using solvent-based adhesives. Best results are obtained with other types of adhesive, such as epoxy based resin, silicone resin and cyanoacrylates. Better bonding strength is obtained by the surface improvement such as corona, plasma and UV. Especially, UV treatment is most suitable method. Also, annealing of moldings is effective for the silicone adhesives before bonding and the annealing condition of recommendation is over 200°C/3-5 hrs.

Table 7.1 shows the results of adhesive bonding by the tensile-shear tests. In this test, 25×25mm bonding area was adopted.

7.3. 溶着接合

DIC.PPSの接合の方法として超音波接合、摩擦融着、熱融着、誘導加熱融着などが利用できます。これらの方法の中で最も簡便で効率の高い方法は、超音波接合です。超音波接合の場合には通常、シエージョイント方式を採用しますが、重要なのはジョイント部分の寸法形状です。Fig.7.2に参考としてジョイント部の断面形状寸法を示します。溶着条件は超音波の振幅を20-50 μ m、溶着時間は0.2-0.4秒、加圧力は低目とします。PPSは、剛性と密度が高くかつ比較的伸びが小さいため、超音波による応力波が減衰し難く溶着条件が厳しい場合にはクラックが発生することがあるので注意が必要です。グレードとしては強化充填材の少ない品番、また伸びの大きいリニアタイプのFZ-2140が溶着条件幅が広いといえます。次いでFZ-1140、FZ-6600の順です。Table 7.2にはFig.7.3の試験片による溶着後の引張り強さを単位長さ当たりで示します。

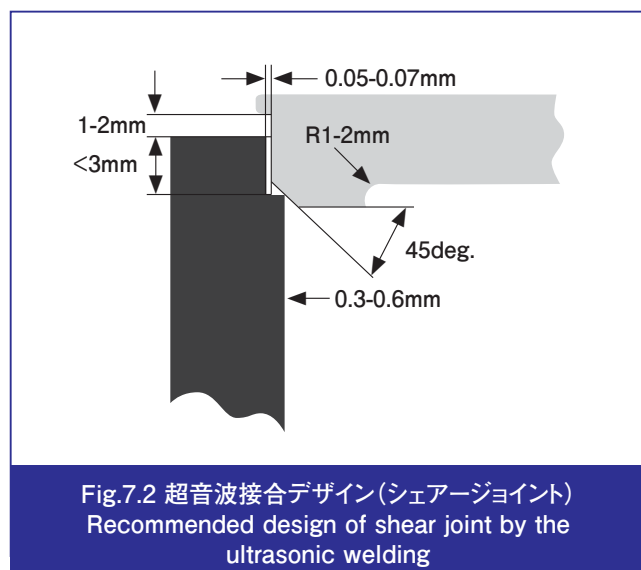


Fig.7.2 超音波接合デザイン(シエージョイント)
Recommended design of shear joint by the ultrasonic welding

7.4. メッキ

アルミ真空蒸着が可能です。プライマー塗装後に真空蒸着すると蒸着面が平滑となりますが、これを省略することはできません。この場合、成型品の表面をアルゴン等の不活性ガス雰囲気下でプラズマ処理を行うことによって蒸着膜との密着性が確保されます。

7.5. 塗装

接着と同じく成型品の表面処理を行うことによって塗膜の密着性が改善されます。DIC.PPSに最も適した塗料は、アクリルウレタン系、次いでアクリルメラミン系、エポキシ系、シリコン系などです。

静電塗装は、‘DIC.PPS品番と特性’に記載の導電グレードでは可能です。

7.3. Welding

Available welding method for DIC.PPS are ultrasonic welding, friction welding, heated tool welding and induction welding. The ultrasonic welding is better method for PPS. Impulse times should be set between 0.2-0.4 sec., welding forces low and amplitudes should be between 20~50 micro meter. Shear joint design is generally recommended as shown in Fig.7.2. Table 7.2 shows the results of ultra sonic welding using the test pieces in Fig.7.3.

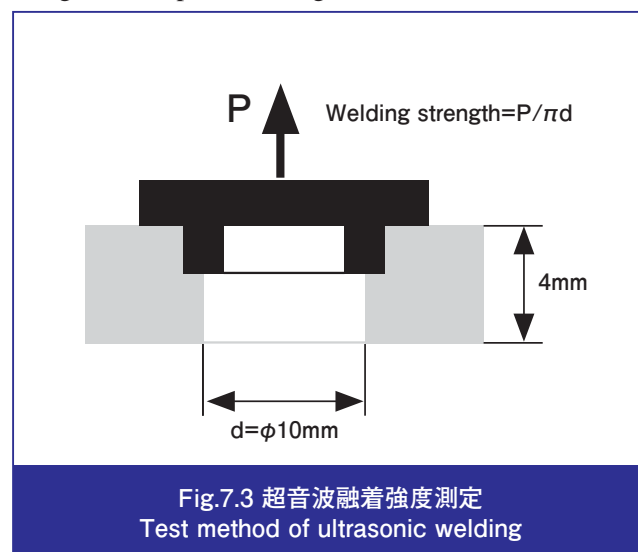


Fig.7.3 超音波融着強度測定
Test method of ultrasonic welding

Table 7.2 超音波溶着強度
Ultra sonic welding strength.

Amplitude	Pressure	Time	Welding strength	
			FZ-1140	FZ-3600
40 μ m	0.28 MPa	0.4 sec.	28N/mm	15N/mm
40	0.28	0.2	21	12
40	0.14	0.4	31	14
20	0.28	0.2	22	13
50	0.28	0.3	30	21

7.4. Metallizing

Vacuum metallizing can be used to produce glossy metallic surfaces, it is possible to dispense with intermediate coating step which is normally necessary to give filled thermoplastics a suitably high gloss surface. Pre-treatment with argon plasma is recommended to ensure good adhesion of aluminum coating during vacuum metallizing.

7.5. Painting

Same as adhesive bonding, surface treatment improves paint adhesion. Suitable painting system for DIC.PPS moldings include one or two component acrylic resin, silicone resin and PU-based coatings, priming with PU is essential. Electro-static coating is possible with the DIC.PPS conductive series.

7.6. セルフタッピング

PPSの成型部品どうしあるいは他の材料からなる部品との結合にしばしばネジやボルトを用いた締結が行われます。この場合、金属ネジのインサート成形や超音波圧入することによって強力な結合が可能です。簡便な結合方法としてセルフタップネジによる結合が良く利用されますが、下穴径やボス部の壁厚みが重要となります。Fig.7.4, 7.5にJIS B1115記載の2種タッピングネジ（溝あり）の場合のデータを示します。セルフタップネジの種類としては上記のほか、二条スクリューネジ（Pタイトなど）がさらに強力です。

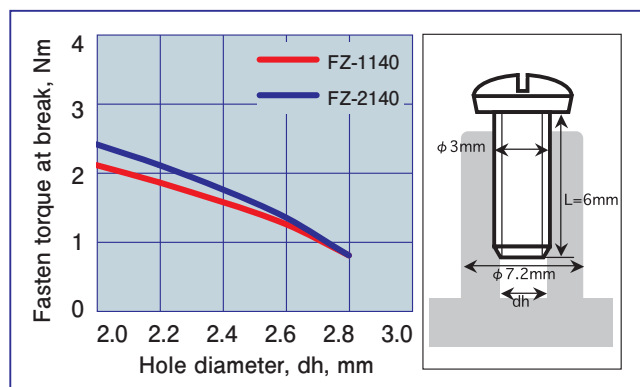


Fig.7.4 締め付け破壊トルクと下穴径の関係
Relation between fasten torque at break and hole diameter

7.7. アニール処理

PPSの到達結晶化度は、ほぼ60%で成型時に120-150℃の高温金型を使用すれば55-60%の高い結晶化度を達成できます。もし120℃以下の金型温度で成形した場合には150℃で1-2時間アニール処理によって充分、結晶化度を高めることができることをFig.7.6は示します。またアニールによる寸法変化をFig.7.7に示します。ただし120℃以下の低温金型で成形した場合でもPPSのガラス転移温度よりも充分低い温度（80℃以下）で使用される場合には、結晶化は進まず品質は安定です。

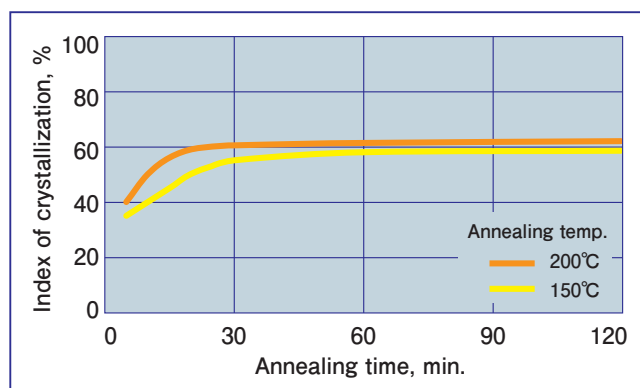


Fig.7.6 FZ-1140のアニール時間と結晶化度
Effect of annealing on crystallinity of FZ-1140

7.6. Fasten by Tapping-Screw

It is often desirable to fasten the PPS moldings together or to connect different materials with bolts or screws. Molded-in metal screw inserts or ultrasonically staked inserts are generally used for good holding force in plastic moldings. Other important connecting method is to use the self-tapping screws. Because of the excellent strength and rigidity of DIC.PPS, DIC.PPS moldings have good tapping screw properties as shown in Figs.7.4 and 7.5.

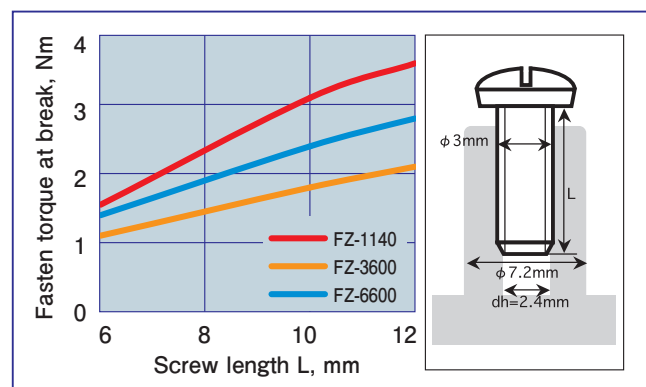


Fig.7.5 締め付け破壊トルクと有効ネジ長の関係
Relation between fasten torque at break and effective screw length

7.7. Post Annealing

Heat history is a primary factor affecting the crystallization of PPS. The crystallization degree can be increased up to a maximum of 55-60% in DIC.PPS by molding part in a hot mold. If an articles have been previously molded in a cold mold (below 120℃), it may be annealed at over 150℃ for one to two hours with approximately high degree of crystallization expected. Fig.7.6 shows the effect of annealing. The dimensional changes are investigated during the annealing in Fig.7.7.

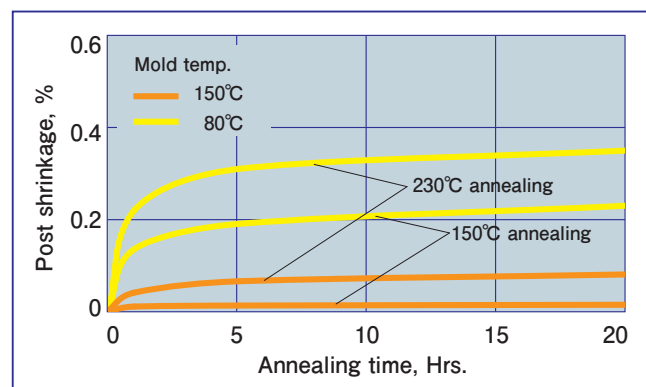


Fig.7.7 アニール処理による収縮の金型温度依存性
Post shrinkage after annealing affected by mold temperature

Table A DIC.PPSの代表物性値
Representative Properties of DIC.PPS

項目	試験方法 Method	単位 Unit	FZ-1140	FZ-3600	FZ-2140	FZ-6600	Z-230	Z-650	Properties
組成と特長	ASTM		GF40% GP	GF/Filler GP	GF40% GP	GF/Filler GP	GF30% Super tough	GF/Filler Super tough	General Information
物理的性質									Physical
比重	D-792	—	1.66	1.96	1.66	1.96	1.53	1.72	Specific gravity
吸水率, 23°C/24Hrs./水中	D-570	Wt.%	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	Water absorption, 23°C/24Hrs./in water
成形収縮率, MD/TD ^a	D-955	%	0.25/1.1	0.25/1.0	0.25/1.1	0.25/1.0	0.30/1.2	0.25/1.0	Mold shrinkage, MD /TD ^a
機械的性質									Mechanical
引張り強さ	D-638	MPa	180	125	180	135	155	165	Tensile strength
引張り弾性率	D-638	MPa	15000	18500	14000	18500	9300	14500	Tensile modulus
引張り破断伸び	D-638	%	1.7	0.8	1.8	0.9	2.4	2.0	Tensile elongation at break
ポアソン比	—	—	0.36	0.34	0.36	0.34	0.36	0.35	Poisson's ratio
曲げ強さ	D-790	MPa	265	200	270	210	220	235	Flexural strength
曲げ弾性率	D-790	MPa	13500	17500	13000	17500	8500	13000	Flexural modulus
曲げ破断伸び	D-790	%	2.2	1.3	2.5	1.6	3.2	2.2	Flexural elongation at break
アイゾット衝撃強さ	D-256	J/m	100/500	70/260	100/550	80/340	140/750	100/620	Impact strength
ノッチ付/ノッチ無し									notched / un notched
圧縮強度	D-695	MPa	200	150	200	150	150	170	Compressive strength
ロックウェル硬度, R/M	D-785	—	121/100	121/100	121/100	121/100	118/—	118/—	Rockwell hardness, R/M
摩擦係数 ^b , 静摩擦/動摩擦	—	—	0.35/0.35	0.35/0.35	0.35/0.35	0.35/0.35	—	—	Coefficient of friction ^b , static /dynamic
熱的性質									Thermal
荷重たわみ温度, 1.82MPa	D-648	°C	265	265	265	265	255	255	Distortion temp. of under load, 1.82MPa
線熱膨張係数 ^c , -30~90°C	D-696	m/mK	2.2×10 ⁻⁵	1.7×10 ⁻⁵	2.2×10 ⁻⁵	1.7×10 ⁻⁵	2.6×10 ⁻⁵	2.0×10 ⁻⁵	Coefficient of thermal expansion ^c , -30 to 90°C
燃焼性 ^d /最低厚み	UL-94	—/mm	V-0/0.36	V-0/0.73	V-0/0.75	V-0/0.73	V-0/1.5	V-0/1.5	UL Flammability ^d /minimum thickness
電気的性質									Electrical
絶縁破壊強さ, t=1.6mm	D-149	kv/mm	16	16	16	16	16	16	Dielectric strength, t=1.6mm
誘電率, 1MHz	D-150	—	4	5	4	5	5	5	Dielectric constant, 1MHz
誘電正接, 1MHz	D-150	—	0.002	0.007	0.002	0.006	0.005	0.005	Dissipation factor, 1MHz
耐トラッキング性 (CTI)	D-3638	Volt	170	250	170	250	—	—	Comparative tracking index (CTI)
耐アーク性	D-495	sec.	125	180	125	180	—	—	Arc resistance
体積固有抵抗	D-257	Ohm.cm	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁶	Volume resistivity
成形条件									Processing Conditions
シリンダー温度	—	°C	300-340	300-340	300-340	300-340	290-320	290-320	Cylinder temperature
金型温度	—	°C	120-150	120-150	120-150	120-150	120-150	120-150	Mold temperature

a: MD; 樹脂流動方向, TD; 流動に直角方向, b: 圧力 P=150KPa, 速度 V=0.3m/s, 対 S45C(PPS vs. Steel), c: MD と TD の平均値, d: UL file No.E53829

a: MD; Mold direction, TD; Transverse direction, b: P=150KPa, V=0.3m/s, PPS vs. carbon steel, c: Average value of MD & TD, d: UL file No. E53829

成形上の注意事項

DIC・PPSの成形作業の際には、安全のために以下の項目をお守り下さい。以下の情報は、この材料を使用するに際し現在弊社が知り得ている範囲のものであります。但しその情報の正確性や完全性につきあらゆる面にわたり確認しているものではない事をおことわりしておきます。なお、安全に関するより詳細な情報は、MSDS（製品安全データシート）を参照下さい。

1. 予備乾燥

ペレットの乾燥温度が高すぎる場合や必要以上の長時間乾燥は、色調の変化や流動性が変化する場合がありますので注意下さい。

2. シリンダ温度設定

適正シリンダ温度設定は、一般的には300～340℃で、350℃以上には加熱しないで下さい。なお、品番により適正シリンダ温度が異なる場合がありますので必ず確認下さい。特にPTFE（フッ素樹脂）を配合した品番は、290～320℃の範囲とし、330℃以上にはしないで下さい。

3. シリンダ内での滞留時間

一般的には300℃で60分以内、320℃では30分以内を目安として下さい。ただし品番、成形条件や成形機種など諸条件により異なります。

4. 成形トラブルの場合

樹脂の分解、それに準じる様な事態の場合、シリンダ温度を下げ、シリンダ内に残留している樹脂を排出して下さい。

5. 成形休止

成形の休止の場合にはシリンダ内残留樹脂の排出の後、ヒーター電源を切って下さい。

6. 弊社がお勧めする以外の着色剤、添加剤等を混入しないで下さい。

7. 作業時の安全確保

7-1. 局所排気または全体換気をお勧めします。特にフッ素系樹脂（PTFE等）を配合したグレードの場合にはフッ酸系等の有毒ガスが発生する可能性がありますので換気に留意下さい。

7-2. 保護メガネ、必要に応じて保護手袋を着用し、長袖上着をお勧めします。

7-3. ノズル近くに近寄らないで下さい。

7-4. 熔融樹脂には火傷防止の為、直接手を触れないで下さい。

8. 廃棄

不要材料、ランナー、スプルー等の廃棄は、“廃棄物の処理および清掃に関する法律”に従って、指定の廃棄物処理業者もしくは地方自治体に委託し処理下さい。

Precautions for molding

Be aware of the followings and the Material Safety Data Sheet. And to the best of our knowledge, the information contained herein is accurate. However, the manufacturers do not assume any liability whatsoever for the accuracy or completeness of the information contained herein.

1. Pre-drying of pellets

Excess of drying temperature and/or time would be caused a color change or change of flow ability.

2. Suitable cylinder temperature

Range of the most suitable cylinder temperature is 300 to 340°C and do not heat over 350°C. However, most suitable temperature for each DIC.PPS grades should be confirmed. Especially for safety, the temperature range of the grades which are filled PTFE* should be 290 to 320°C and do not heat over 330°C.

*: PTFE; Poly Tetra Fluoro Ethylene

3. Residence time in cylinder

The followings give a standard, and may vary on grades of DIC.PPS and different conditions.

300°C: less than 60 min.

320°C: less than 30 min.

4. Degradation or decomposition of resin

In case of degradation or decomposition of resin or any fear of decomposition, reduce the cylinder temperature and purge the resin out.

5. Shutting down

When shutting down the operation, purge resin out completely and the heater off.

6. Do not mix colorants, additives or other resins with DIC.PPS except materials which DIC recommends.

7. For safety during operation

7-1. Ventilation system is recommended and especially is necessary for PTFE filled grades.

7-2. Wear protective goggles and gloves.

7-3. Keep operator away from nozzle section.

7-4. Do not touch molten resin without gloves.

8. Disposal method

Dispose or incinerate under safe conditions of in accordance with local regulations.

