

ユーデル®



SOLVAY

asking more from chemistry®

ユーデル® ポリサルホン

デザインガイド

**SPECIALTY
POLYMERS**

目次

はじめに1

ユーデル® ポリサルホン樹脂 1

化学特性 1

化学構造と特性の関係 1

製品データ3

材料選定 3

命名法 3

包装 3

認可 4

飲料水に関する規格 4

食品との接触に関する規格 4

医療 4

NSF（米国衛生財団） 4

アンダーライターズラボラトリーズ 4

特定グレードのリスト 4

特性データ5

機械特性 5

主要特性表 5

引張特性 8

応力-ひずみ曲線 9

曲げ特性 9

圧縮特性 10

せん断特性 11

衝撃特性 11

ノッチ付きアイゾット 11

ノッチ感度 12

シャルピー試験 12

引張衝撃試験 13

落錘衝撃試験 13

ポアソン比 13

長期クリープ特性 14

引張クリープ 14

水中での引張クリープ 15

見掛けの弾性率とクリープ弾性率 15

熱特性 16

ガラス転移温度 16

機械特性変化 16

熱可塑性樹脂の分類 16

引張特性への温度の影響 17

曲げ特性への温度の影響 17

荷重たわみ温度 18

熱線膨張係数 18

熱伝導率 20

ビカット軟化点 20

比熱 20

比容積 21

燃焼特性 22

UL 94 燃焼性規格 22

酸素指数 23

自己発火温度 23

引火温度 23

煙濃度 23

グローワイヤー試験 23

熱安定性 24

熱重量分析 24

熱老化 25

UL 相対温度指数 25

電気特性 26

絶縁耐力 26

体積抵抗率 26

表面抵抗率 26

誘電率 26

誘電正接 26

アンダーライターズラボラトリーズ（UL）相対温度指数 26

UL 746A 短期特性 26

高電圧低電流耐アーク性（D495） 26

耐トラッキング指数（CTI） 27

高電圧アークトラッキング速度（HVTR） 27

ホットワイヤーイグニッション（HWI） 27

高電流アーク着火性（HAI） 27

耐環境性	29	射出成形	56
耐候性	29	射出成形で使用する装置	56
耐加水分解性	29	スクリー設計	56
温水への長期間暴露	29	スクリーチップとチェックバルブ	56
試験手順	29	ノズル	56
試験結果	29	金型	56
温塩素水	31	抜き勾配と突き出し	56
蒸気滅菌	31	ゲート	56
耐放射線性	32	ベント	56
耐薬品性（応力なし）	32	金型温度のコントロール	56
耐応力割れ性	34	機械設定	57
物理特性	39	射出成形温度	57
吸水	39	金型温度	57
耐摩耗性	39	シリンダー温度	57
摩耗抵抗	39	シリンダー内滞留時間	57
透過度	39	成形プロセス	57
ロックウェル硬度	40	供給特性	57
光学特性	41	背圧	57
設計情報	42	スクリー回転速度	57
機構設計	42	射出速度とベント	58
応力レベル	42	成形品の取り出し	58
応力-ひずみ計算	42	離型	58
曲げ応力	42	収縮	58
引張応力	42	再生材（リグラインド）	60
剛性を目指した設計	45	残留応力測定	60
断面の厚みを増やす	45	押出しブロー成形	61
リブを追加して剛性を保つ	45	乾燥	61
持続性荷重を考慮した設計	46	装置	61
たわみ計算	46	プロセス条件	61
設計限界	47	押出し	62
応力集中	48	予備乾燥	62
ねじ山	48	押出し温度	62
締め込み	49	スクリー設計の指針	62
許容締め代	49	ダイ設計	62
射出成形に適合した設計	50	押出し品のタイプ	62
肉厚	50	ワイヤー被覆	62
肉厚の変化	50	フィルム	62
抜き勾配	51	シート	63
リブ	51	パイプと配管材	63
肉盗み	51	運転の起動と停止およびページ	63
ボス	52	起動手順	63
スナッフフィット	52	停止手順	63
製造	54	ページ	64
乾燥	54	サーモフォーム	64
レオロジー	55	圧縮成形	65

二次加工	66
洗浄と脱脂	66
アニーリング	66
残留応力を減らす処理	66
空気中でのアニーリング	66
急速アニーリング	66
切削加工	67
クーラント	67
ドリリング	67
タッピング	67
ソーイング	67
旋盤加工	67
フライス削りと溝付け	67
仕上げと化粧仕上げ	68
塗装	68
電気メッキ	68
ホットスタンピング	68
印刷	68
真空蒸着	68
組み立てと接合	69
超音波接合	69
ホットプレート溶接	69
溶媒接着	70
スピン溶接	70
接着剤による接合	70
メカニカルファスナー	71
成形ねじ	71
ねじ込みインサート	71
セルフタッピングねじ	71
超音波インサート	72
索引	73

表

表 1：工業材料の使用温度限界	3
表 2：ユーデル ポリサルホンの主要物性値 (US 単位)	6
表 3：ユーデル樹脂の主要物性値 (SI 単位)	7
表 4：ユーデル ポリサルホンの圧縮特性	11
表 5：ユーデル ポリサルホンのせん断強度	11
表 6：ユーデル ポリサルホンのポアソン比	13
表 7：熱線膨張係数	18
表 8：熱伝導率	20
表 9：ピカット軟化点	20
表 10：液相中での温度と圧力に対する PSU の比容積 (cm ³ /g)	21
表 11：UL 分類基準 (V-0、V-1、V-2)	22
表 12：ユーデル ポリサルホンの UL 94 の分類	22
表 13：ユーデル樹脂の酸素指数	23
表 14：ユーデル ポリサルホンの煙濃度	23
表 15：ガラス繊維強化ポリサルホンのグローワイヤー 試験結果	23
表 16：ユーデル ポリサルホンに適用される UL RTI 分類例 ..	25
表 17：高電圧低電流耐アーク性のパフォーマンスレベル カテゴリー (PLC)	26
表 18：耐トラッキング指数のパフォーマンスレベル カテゴリー	27
表 19：高電圧アークトラッキング速度のパフォーマンス レベルカテゴリー	27
表 20：ホットワイヤーイグニッションのパフォーマンス レベルカテゴリー	27
表 21：高電流アーク着火性のパフォーマンスレベル カテゴリー	27
表 22：UL 746A 規格による短期的電気特性	28
表 23：塩素水への浸漬による重量変化	31
表 24：塩素を含む流水への浸漬による重量変化	31
表 25：スチームオートクレーブ処理後の特性保持	31
表 26：ユーデル ポリサルホンの耐ガンマ線照射特性	32
表 27：ポリサルホンの耐薬品性を示す一般指標	32
表 28：ユーデル P-1700 の耐薬品性 (室温で 1 週間の 浸漬試験)	33
表 29：応力を加えた ESCR 試験片のひずみ計算値	34
表 30：環境応力によるクラック発生の各表で使用する シンボル	34
表 31：有機薬品に 24 時間浸漬後の環境応力割れへの耐性 ..	35
表 32：無機薬品に 24 時間浸漬後の環境応力割れへの耐性 ..	36
表 33：自動車用流体に 24 時間浸漬後の環境応力割れへの 耐性	37
表 34：食品に 24 時間浸漬後の環境応力割れへの耐性	38
表 35：ユーデル ポリサルホンの各種ガス透過度	39
表 36：ユーデル P-1700 NT11 の光学特性	41
表 37：波長に依存するユーデル P-1700 NT11 の特性	41
表 38：最大応力とたわみを表す式	43

表 39：一般的な断面形状の面積とモーメント方程式	44
表 40：断続的荷重に対する許容設計応力、psi (MPa)	47
表 41：持続性荷重に対する許容設計応力、psi (MPa)	47
表 42：スナップフィット設計の最大許容ひずみ	52
表 43：スタート時の成形条件	56
ユーデル® PSU トラブルシューティングガイド	59
表 44：4 回の成形後のユーデル P-1700 物性	60
表 45：残留応力試験に使用する試薬	60
表 46：166°C に保ったグリセリン中におけるアニーリング 時間	66



図 1：代表的な応力-ひずみ曲線	8
図 2：応力-ひずみ曲線（図 1 の拡大面）： セカント弾性率 vs タンジェント弾性率	8
図 3：ガラス繊維による引張強さ増加	9
図 4：ガラス繊維によるユーデル ポリサルホンの剛性増加	9
図 5：ユーデル樹脂の引張応力-ひずみ曲線	9
図 6：曲げ試験装置	9
図 7：ガラス繊維による曲げ強さ増加	10
図 8：ガラス繊維による曲げ弾性率増加	10
図 9：ユーデル樹脂の圧縮強さ	10
図 10：圧縮弾性率	10
図 11：アイゾット衝撃試験装置	11
図 12：ユーデル ポリサルホンのアイゾット衝撃	12
図 13：ユーデル P-1700 に対するアイゾット衝撃の ノッチ半径依存性	12
図 14：シャルピー衝撃	12
図 15：ユーデル ポリサルホンのシャルピー耐衝撃性	13
図 16：ユーデル ポリサルホンの引張衝撃	13
図 17：ガードナー衝撃試験の詳細	13
図 18：99℃ の空気中におけるユーデル PSU の引張 クリープ	14
図 19：149℃ の空気中におけるユーデル PSU の引張 クリープ	14
図 20：23℃ の水中におけるユーデル PSU の引張クリープ ..	15
図 21：60℃ の水中におけるユーデル PSU の引張クリープ ..	15
図 22：非強化ユーデル ポリサルホンのクリープ弾性率	15
図 23：典型的な弾性率温度依存性	16
図 24：引張強さ vs 温度	17
図 25：引張弾性率 vs 温度	17
図 26：曲げ強さ vs 温度	17
図 27：曲げ弾性率 vs 温度	17
図 28：ユーデル樹脂の荷重たわみ温度	18
図 29：CLTE vs. 温度（ユーデル P-1700）	19
図 30：CLTE vs. 温度（ユーデル GF-110）	19
図 31：CLTE vs. 温度（ユーデル GF-120）	19
図 32：CLTE vs. 温度（ユーデル GF-130）	19
図 33：ユーデル ポリサルホンの比熱	20
図 34：温度と圧力に対するユーデル ポリサルホンの 比容積	21
図 35：窒素雰囲気中での熱重量分析	24
図 36：空気雰囲気中での熱重量分析	24
図 37：熱老化後の引張強さ：ユーデル P-1700	25
図 38：熱老化後の引張強さ：ユーデル GF-130	25
図 39：熱水（90℃）浸漬後の引張強さ	29
図 40：熱水（90℃）浸漬後の引張伸び	30
図 41：熱水（90℃）浸漬後の引張弾性率	30

図 42：熱水（90℃）浸漬後のノッチ付きアイゾット 衝撃強さ	30
図 43：熱水（90℃）浸漬後のウェルド強度	30
図 44：ユーデル ポリサルホンの吸水率	39
図 45：ロックウェル硬度、M スケール	40
図 46：ユーデル P-1700 NT11 光透過率の材料厚さと 波長依存性	41
図 47：ユーデル P-1700 NT11 屈折率の波長による変動	41
図 48：リブを追加して剛性を強化する	46
図 49：持続性荷重への梁使用例	46
図 50：内側コーナーの応力集中係数	48
図 51：応力が最小になるようにコーナーを設計する	48
図 52：正しいねじ設計	48
図 53：圧入の例	49
図 54：流動長 vs ユーデル P-1700 の厚み	50
図 55：肉厚変化	50
図 56：抜き勾配を使用して離型を容易にする	51
図 57：推奨リブ設計	51
図 58：ボス設計の一般的ガイドライン	52
図 59：垂直梁を使用するスナップフィット設計	52
図 60：テーパ付き梁を使用するスナップフィット設計 ..	53
図 61：テーパ付き梁の比例定数（K）	53
図 62：ユーデル ポリサルホンの乾燥	54
図 63：ユーデル P-1700 樹脂のレオロジー	55
図 64：ユーデル P-3500 LCD 樹脂のレオロジー	55
図 65：射出成形用スクリュウの設計	56
図 66：エネルギーディレクターの設計	69
図 67：接着剤用の接合部設計	70
図 68：メカニカルファスナーの設計	71
図 69：セルフタッピングねじ用のボス設計	72
図 70：超音波インサート用のボス設計	72

ユーデル® ポリサルホン樹脂

ユーデル ポリサルホンは次のような高性能特性を巧みに組み合わせた樹脂です。

- 卓越した熱安定性
- 優れた強靭性と強度
- 耐環境応力割れ特性
- 高い荷重たわみ温度（174℃）
- 難燃性
- 透明性
- 食品との接触や飲料水用に関する規制に適合
- 低クリープ性

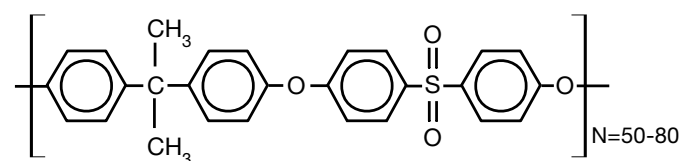
このマニュアルを編集した目的は、樹脂製品の設計者にユーデル ポリサルホンを効果的にご使用いただくために必要な情報を提供することです。製品の機械、熱、化学特性と、各種加工や部品設計にあたっての推奨事項を詳しく説明します。

化学特性

化学構造と特性の関係

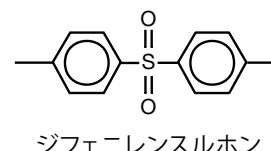
ユーデル ポリサルホンは剛性と強度に優れた高耐熱の非晶性熱可塑性樹脂であり、射出成形、押出成形、サーモフォーム等により様々な形状に成形することができます。

ユーデル ポリサルホンは次に示す基本単位の繰り返し構造をしています。



この構造単位は三種類の異なる官能基（イソプロピリデン基、エーテル基、スルホニル基）を介して結合したフェニレン基から構成されています。それぞれの化学基はポリマーの固有の特性に寄与をしています。これら複雑な反復構造を持つことにより、従来ならば安定剤やその他の改質剤によって得られていた特性をポリマー本来の性質として兼ね備えることが可能となりました。

ジフェニルスルホニル基を主鎖に含むことが最大の特徴です。



ジフェニルスルホニル基が樹脂の特性に与える影響については1960年代の初期から幅広い研究が行われており、電子的特性を調べることによってその影響が判明しました。それぞれの官能基の硫黄原子は最高の酸化状態にあります。さらにスルホニル基は隣接するベンゼン環から電子を引き寄せる傾向を示し、それらのベンゼン環を電子不足の状態にします。また、ジフェニルスルホニル基は強い共鳴構造を持つことにより、熱安定性の向上に寄与します。強い共鳴構造はまた、化学結合自体も強くします。優れた耐酸化性を示す物質は酸化剤に電子を渡しにくい性質を示します。したがって、ジフェニルスルホニル基全体が本質的な耐酸化性を示します。

これらの効果により、熱あるいは電離放射等の形態で大きな照射エネルギーを与えられたとしても鎖の切断や架橋反応などを起こさずにエネルギーが散逸します。非芳香族骨格ポリマーはこのような共鳴性を持たず、このメカニズムによるエネルギー吸収ができないため安定性がより劣ります。

サルホンポリマー分子が高温域においても特有な熱安定性、耐酸化性、剛性を有するのは、ジフェニルスルホニル基のこのような寄与によるものです。

熱可塑性樹脂において、ジフェニルスルホニル構造の持つ優れた特性を発揮させるには、結合させる置換基を工夫する必要があります。具体的には、熱的に安定で耐加水分解性を持ち、優れた加工性、最終製品での高性能を付与するような置換基を選択します。

樹脂骨格にある程度の柔軟性を持たせることにより強靭性を付与できます。エーテル結合が柔軟性を与える役割を果たし、さらにイソプロピリデン結合によってある程度の調節を行います。エーテル結合は熱安定性を付与する効果も持っています。同様に、エーテル結合とイソプロピリデン結合は鎖にある程度の柔軟性を与え、実用的な温度で材料の加工性を向上させます。

これらの優れた特性の組合せは直接ポリサルホンの化学構造から導かれるものであり、改質剤等の添加なしに得られる樹脂本来の特性です。ポリサルホンは剛性と強度に優れ、かつ強靭です。この樹脂は非強化で透明であり、広い温度範囲でこれらの物理、電気特性を保ちます。熔融安定性も優れており、従来の熱可塑加工と同様の方法で製造が可能です。また、耐酸化性と熱安定性に優れており、長期間に亘る高温での使用にも耐えます。

材料選定

ユーデル樹脂は非晶性サルホンポリマーで、耐加水分解性、熱安定性、高温域での機械特性保持に優れ、さらに曇りがなく透明であるなど多くの望ましい特性を備えています。

この材料はガラス繊維強化グレードと非強化グレードの両方が用意されています。非強化グレードについては各種の熔融粘度をもつタイプが用意されています。

ユーデル ポリサルホンは耐熱特性、難燃性、より優れた耐薬品性と機械特性が必要とされる用途に適しています。推奨最高使用温度を表 1 に示しますので、各種工業材料の中でポリサルホンを位置付ける場合の目安としてください。

表 1：工業材料の使用温度限界

工業材料	最高使用温度 °C
フェノール樹脂 ー 汎用	149～177
ポリサルホン	140～160
ポリカーボネート	121
亜鉛ダイキャスト合金	121
変性ポリフェニレンオキサイド	93～104
ポリプロピレン	107
ポリアミド	77～116
ポリアセタール	85～104

通常の樹脂と比較して優れた耐熱性、機械特性、耐薬品性を持つことから、ユーデル樹脂が多くのアプリケーションにおける最適なソリューションであることが分ります。これらのアプリケーションには医療機器、電子部品、電気部品、電気器具、配管材、一般加工機器などが含まれます。弊社 Web サイト <http://www.solvayplastics.com> でユーデル ポリサルホンのその他のアプリケーションについても是非ご覧ください。

ガラス繊維強化グレードはより剛性と寸法安定性に優れ、さらに耐クリープ性、耐薬品性の向上、低い熱線膨張率等の利点を備えています。

ユーデル ポリサルホンは、透明・不透明の両方において広い範囲での着色が可能です。

命名法

ユーデル樹脂の命名法ではガラス繊維非強化グレードを表す接頭語として **P** を使用します。ガラス繊維強化グレードは接頭語 **GF** で表します。**P** に続く数字は熔融粘度（分子量）を表し、市販商品としては最も粘度の高いグレードが P-3500 LCD です。P-3500 LCD は押出成形や多孔性メンブレンに適しています。P-1700 は中程度の粘度を持ち、主として射出成形アプリケーション用に設計された製品です。

ガラス繊維強化樹脂の命名法では **GF** に続く数字の下二桁が製品中に含まれるガラス繊維強化材の割合を重量比で表します。例えば、ユーデル GF-120 は 20% のガラス繊維で強化されたポリサルホン樹脂であることを示します。

着色ユーデル樹脂についても在庫品と特注品を含めた様々なタイプが用意されています。着色は **YY XXX** という形式の接尾語で表示され、**YY** は色を、**XXX** はその濃淡を数字で表しています。例えば、**BK 937** は黒に着色した樹脂を表し、その中の **937** は特定の色の調合を表します。

包装

ユーデル ポリサルホンはペレットを 25 kg 袋詰、または 500 kg 内袋入りカートンボックスで提供しています。

認可

飲料水や食品に直接接触する材料による健康への悪影響を防止するため、世界中で多くの組織や規格が作られています。これらの組織の多くは検査その他の管理を行い、試験の対象としてリストアップされた製品が該当する規格に準拠しているかどうかを継続的に監視しています。以下の規格がこれらに含まれます。

飲料水に関する規格

- ANSI/NSF 規格 61 : Drinking Water System Component - Health Effects
- 飲料水規制に関する勧告 : Items Which Have Passed Full Test of Effect on Water Quality - BS6920
- 飲料水への合成物質使用に関する勧告 (KTW : Kunststoff Trinkwasser Empfehlungen) : ドイツ衛生規格
- DVGW Arbeitsblatt W 270 December 1990 : Micro Organism Growth in Drinking Water
- 材料および付属品に関するフランス ACS 衛生適合認証 (ACS : French Attestation de Conformite Sanitaire)

食品との接触に関する規格

- 米国食品医薬品庁 (FDA) : FDA 21CFR177.1655 規定に指定される条件下での食品に接触する特定の使い捨て用途、および繰返し使用に関する項目に準拠
- 3A 衛生規格 : Plastic Materials Used in Dairy Equipment
- NSF 規格 51 : Plastic Materials and Components Used in Food Equipment
- 欧州委員会指針 2002/72/EC : Commission Directive Relating to Plastic Materials and Articles Intended to Come in Contact with Foodstuffs (食品との接触が伴うプラスチック材料と物品に関する委員会指針)

医療

- ISO 10993 : 弊社は ISO 10993 の要件に適合した何種類かのグレードのサルホン系樹脂を提供しているため、クラス II およびクラス III に該当する医療機器への使用が可能です。詳細については、営業担当にご相談ください。

製品の中で、インプラントされて体液や組織と 24 時間以上接触する医療材料としてお使いいただけるのは Solviva® の生体材料群のみです。

NSF (米国衛生財団)

NSF 規格適合製品の一覧が NSF の Web サイト (<http://www.NSF.org>) でご覧いただけます。

アンダーライタースラボラトリーズ

UL (アンダーライタース ラボラトリーズ) は製品の安全性試験と検定を行う独立した非営利研究所です。ユーデル ポリサルホンのグレードの一部は UL のリストに載っています。リストの詳細については <http://data.ul.com/iqlink/index.asp> をご覧ください。

特定グレードのリスト

ユーデル ポリサルホンのグレードの一部はこれらの規格のリストに載っています。特定のグレードがリストされているかどうかについてはソルベイの担当者にお問い合わせください。



インサートフィッティング

Vanguard Piping Systems は、架橋ポリエチレンパイプに使用する同社の製品であるインサートフィッティング用としてユーデル ポリサルホンを採用しました。ユーデル ポリサルホン選定の理由は、高温の塩素水に高圧下で長期間曝されても十分に耐えること、および NSF に高温水容器用として認可されていることです。HUD 規格に従って製造されたこのフィッティングは、1989 年以降すでに数百万個が家庭に取り付けられています。

材料の機械特性は部品設計において非常に重要な役割を果たします。設計者は最適な部品設計を行う為、アプリケーションからの要求と材料の特性を適合させる必要があります。

ポリマー材料の機械特性は金属の場合と比較して時間と温度により強く依存し、さらに環境因子にも強く影響されることがあります。ポリマー材料を用いた設計で成功するためには、設計者は短期的な機械特性を考慮するばかりではなく、それぞれのアプリケーションに課される時間、温度、および環境からの要求も勘案する必要があります。

機械特性

素材メーカーが提供するデータシートに記載された値に代表される機械特性は短期的な特性値です。場合によっては、これらの値をその材料の絶対的な最大値とみなすことも可能です。

これらの特性値は専用試験片を調製し、最終的に材料が破壊（通常は破断）を起こすまで試験片に順次大きな負荷を加えていくことによって得られます。試験片は理想的な試験条件で再現性のある結果が得られるように特別に設計されたものです。試験は非常に短時間のうちに実行されるため、測定時間による影響はほとんどありません。

また、試験はコントロールされた環境下で実施されるため、環境的な因子は無視され、例えば化学物質への暴露による特性劣化などが表面に出ることはありません。

通常、短期的機械特性には以下の項目が含まれます。

- 引張強さと弾性率
- 曲げ強さと曲げ弾性率
- ノッチ付き、ノッチなしアイゾット衝撃強度
- 圧縮強さ
- せん断強さ
- 表面硬さ

主要特性表

ユーデル ポリサルホン樹脂の代表的な短期特性値を表 2（US 単位）および表 3（SI 単位）に示します。



蛇口カートリッジ

Moen 社は同社製の蛇口 PureTouch™ の材料としてユーデル ポリサルホンを選択しました。このような部品には、浄水に対する耐性と飲料水接触の認可が必要です。非常に複雑な形状でも正確に成形できることと、厳密な寸法許容差に対応できることも重要な考慮事項です。

表 2：ユーデル ポリサルホンの主要物性値⁽¹⁾ (US 単位)

項目	ASTM	単位	P-1700	P-1720	P-3500 LCD	GF-110	GF-120	GF-130
機械特性								
引張強さ	D 638	kpsi	10.2	10.2	10.2	11.3	14.0	15.6
引張弾性率	D 638	kpsi	360	360	360	540	870	1,260
引張伸び - 破断点	D 638	%	50~100	50~100	50~100	4	3	2
曲げ強さ	D 790	kpsi	15.4	15.4	15.4	18.5	21.5	22.4
曲げ弾性率	D 790	kpsi	390	390	390	550	800	1,100
アイゾット衝撃強さ	D 256	ft-lb/in						
ノッチ付き			1.3	1.3	1.3	0.9	1.0	1.3
ノッチなし			NB ⁽²⁾	NB ⁽²⁾	NB ⁽²⁾		9	
引張衝撃	D 1822	ft-lb/in ²	200	160	200	48	52	54
圧縮強さ	D 695	kpsi	13.9		13.9	17.8	22.0	25.6
圧縮弾性率	D 695	kpsi	374		374	590	840	1160
ロックウェル硬度	D 785		M69	M69	M69	M80	M83	M86
熱特性								
荷重たわみ温度 (264 psi)	D 648	°F	345	345	345	354	356	358
熱線膨張係数	E 831	ppm/°F						
流れ方向			31	31	31	22	13	10
直角方向			31	31	31	27	27	27
熱伝導率	C 177	BTU-in/ft ² hr°F	1.8	1.8	1.8			
酸素指数	D 2863	%	26	32	30	31	31	32
UL 94 燃焼性 (0.059")	UL 94		HB	V-0		HB	HB	V-1
電気特性								
絶縁耐力	D 149	V/mil	425		425	475	475	475
体積固有抵抗	D 257	Ω-cm	3x10 ¹⁶		3x10 ¹⁶	3x10 ¹⁶	2x10 ¹⁶	2x10 ¹⁶
表面抵抗	D 257	Ω	4x10 ¹⁵		4x10 ¹⁵	4x10 ¹⁵	4x10 ¹⁵	6x10 ¹⁵
誘電率	D 150							
60 Hz			3.03		3.03	3.18	3.31	3.48
1 kHz			3.04		3.04	3.19	3.31	3.49
1 MHz			3.02		3.02	3.15	3.28	3.47
誘電正接								
60 Hz			0.0007		0.0007	0.0007	0.0008	0.0007
1 kHz			0.0010		0.0010	0.0011	0.0014	0.0014
1 MHz			0.0060		0.0060	0.0060	0.0060	0.0050
その他の特性								
比重	D 792		1.24	1.24	1.24	1.32	1.39	1.48
吸水率 ⁽³⁾	D 570	%						
24 時間			0.30	0.30	0.30	0.29	0.26	0.22
30 日			0.50	0.50	0.50	0.39	0.37	0.34
メルトフロー (650°F, 2.16 kg)	D 1238	g/10 分	7.0	7.0	4.0	6.5	6.5	6.5
成形収縮率	D 955	%	0.7	0.7	0.7	0.4	0.3	0.2

⁽¹⁾ 個々のロットの実際の特性値は、規格値の範囲内で変動します。⁽²⁾ NB = 破断なし⁽³⁾ 成形直後の測定値

表3：ユーデル樹脂の主要物性値⁽¹⁾ (SI 単位)

項目	ASTM	単位	P-1700	P-1720	P-3500 LCD	GF-110	GF-120	GF-130
機械特性								
引張強さ	D 638	MPa	70.3	70.3	70.3	77.9	96.5	107.6
引張弾性率	D 638	GPa	2.48	2.48	2.48	3.72	6.00	8.69
引張伸び - 破断点	D 638	%	50~100	50~100	50~100	4	3	2
曲げ強さ	D 790	MPa	106	106	106	128	148	154
曲げ弾性率	D 790	GPa	2.69	2.69	2.69	3.79	5.52	7.58
アイゾット衝撃強さ	D 256	J/m						
ノッチ付き			69	69	69	48	53	69
ノッチなし			NB ⁽²⁾	NB ⁽²⁾	NB ⁽²⁾		477	
引張衝撃	D 1822	kJ/m ²	420	337	420	100	110	109
圧縮強さ	D 695	MPa	96		96	123	152	176
圧縮弾性率	D 695	GPa	2.58		2.58	4.07	5.79	8.00
ロックウェル硬度	D 785		M69	M69	M69	M80	M83	M86
熱特性								
荷重たわみ温度	D 648	°C						
(1.82 MPa)			174	174	174	179	180	181
熱線膨張係数	E 831	ppm/°C						
流れ方向			57	57	57	40	23	19
直角方向			57	57	57	49	49	49
熱伝導率	C 177	W/mK	0.26	0.26	0.26			
酸素指数	D 2863	%	26	32	30	31	31	32
UL 94 燃焼性 (1.5 mm)	UL 94		HB	V-0		HB	HB	V-1
電気特性								
絶縁耐力	D 149	kV/mm	17		17	19	19	19
体積固有抵抗	D 257	Ω-cm	3x10 ¹⁶		3x10 ¹⁶	3x10 ¹⁶	2x10 ¹⁶	2x10 ¹⁶
表面抵抗	D 257	Ω	4x10 ¹⁵		4x10 ¹⁵	4x10 ¹⁵	4x10 ¹⁵	6x10 ¹⁵
誘電率	D 150							
60 Hz			3.03		3.03	3.18	3.31	3.48
1 kHz			3.04		3.04	3.19	3.31	3.49
1 MHz			3.02		3.02	3.15	3.28	3.47
誘電正接								
60 Hz			0.0007		0.0007	0.0007	0.0008	0.0007
1 kHz			0.0010		0.0010	0.0011	0.0014	0.0014
1 MHz			0.0060		0.0060	0.0060	0.0060	0.0050
その他の特性								
比重	D 792		1.24	1.24	1.24	1.33	1.40	1.49
吸水率 ⁽³⁾	D 570	%						
24 時間			0.30	0.30	0.30	0.29	0.26	0.22
30 日			0.50	0.50	0.50	0.39	0.37	0.34
メルトフロー (343°C、2.16 kg)	D 1238	g/10 分	7	7	4.0	6.5	6.5	6.5
成形収縮率	D 955	%	0.7	0.7	0.7	0.4	0.3	0.2

⁽¹⁾ 個々のロットの実際の特性値は、規格値の範囲内で変動します。⁽²⁾ NB = 破断なし⁽³⁾ 成形直後の測定値

引張特性

引張特性は試験機のクランプに試験片の両端を取り付ける事によって測定します。試験機械は ASTM D 638 に従い指定された変化率で一方向の力を試験片に加えます。試験片を引き離すために要した力を最小断面積で割った値を引張応力と定義します。応力負荷の結果として試験片が伸びますが、このときの伸びの量を本来の試験片の長さで割った値がひずみになります。

負荷応力を発生ひずみに対してプロットすると、ポリサルホンのような延性のある材料については図 1 に示すような曲線が得られます。応力-ひずみ曲線の初期部分は（図 2 参照）、この領域におけるひずみが直接応力に比例し、それによって決まる曲線の勾配が弾性係数を決定するという意味で重要です。しかし、湾曲したカーブの勾配を正確に測定することは難しいため、その測定方法を標準化して試験結果の変動を少なくするためのきまりが設けられています。ある方法ではカーブに接線を引いてその勾配を使用し、別な方法では原点と任意のひずみレベルの点を直線で結んでその勾配を利用します。本書で報告する引張弾性率データは接線法を用いて得られた値です。

延性のあるポリマーは破断する前に降伏現象を示します。クランプの引き離しを始めた直後の段階では、試験片を延伸させるのに必要となる応力すなわち力は、延伸量すなわちひずみに直接比例します。試験が進行すると、試験片はより大きな永久ひずみを示すようになり、さらにあるポイントに達するとひずみの量に比例するよりも小さな応力で延伸するようになります。このポイントが降伏点と呼ばれ、このときの応力レベルは降伏点引張強さと呼ばれます。このときの伸びを降伏点伸びまたは降伏ひずみと呼びます。試験片は試験の進行とともに伸びてゆき、最終的に破断します。このときの応力レベルを破断点引張強さまたは極限引張強さと呼びます。引張特性の決定法を記述した方法である ASTM D638 は、引張強さを降伏点引張応力または破断点引張応力のいずれか大きな方と規定しています。

図 1：代表的な応力-ひずみ曲線

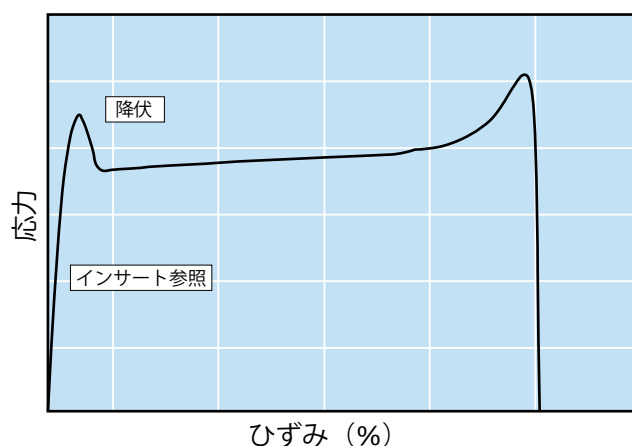


図 2：応力-ひずみ曲線（図 1 の拡大面）：
セカント弾性率 vs タンジェント弾性率

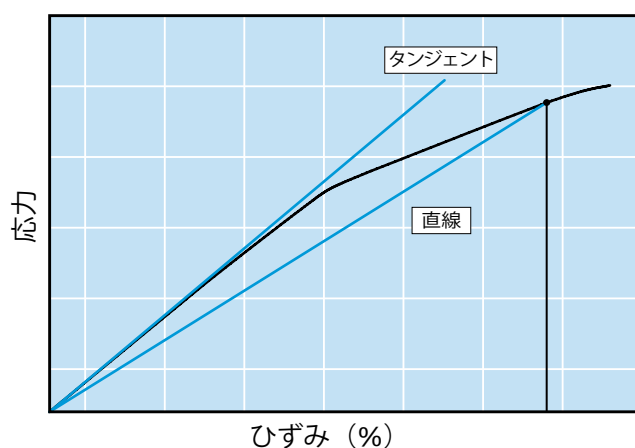


図3と4は、ガラス繊維強化／非強化ユーデル ポリサルホンの引張強さと弾性率を示します。予想されるとおり、ガラス繊維の追加によって強度と剛性の両方が向上します。

図3：ガラス繊維による引張強さ増加

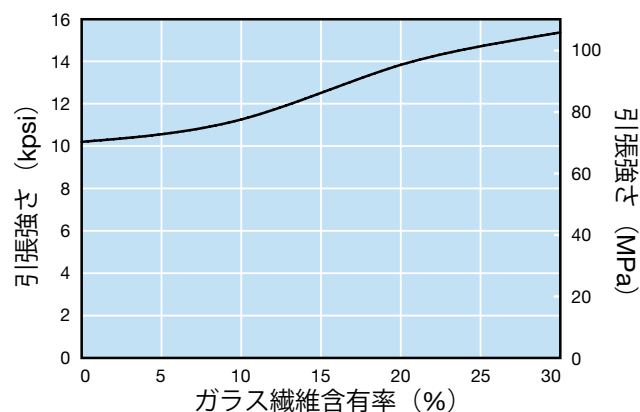
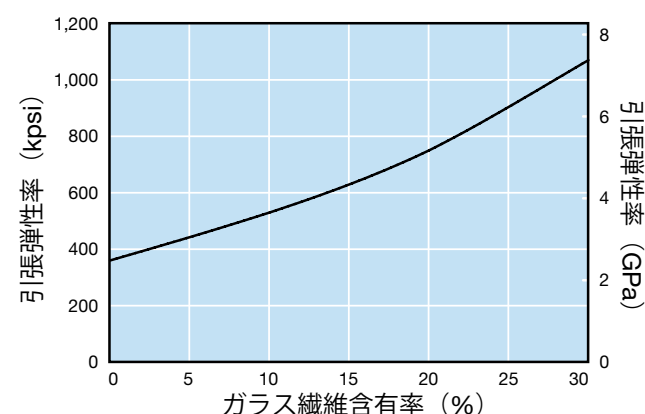


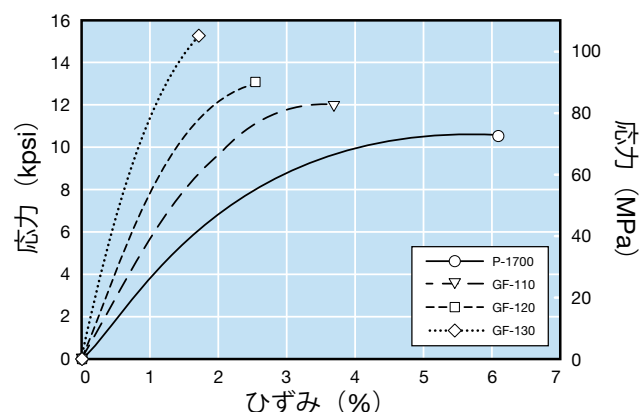
図4：ガラス繊維によるユーデル ポリサルホンの剛性増加



応力-ひずみ曲線

ガラス繊維強化したものとしていない両方のユーデル ポリサルホンについて、その引張応力-ひずみ曲線を図5に示します。

図5：ユーデル樹脂の引張応力-ひずみ曲線



曲げ特性

曲げ特性は ASTM D790 I の指定に従い、図6に示す3点荷重法を用いて決定します。この方法では、127 mm x 13 mm x 3.2 mm の試験片を2点で支え、その中間位置に荷重を加えます。こうして、破断が起こるまで、もしくは外側のひずみが5%に達するまで試験片をたわませます。

曲げ試験により、材料の曲げに対する挙動についての情報が得られます。この試験では、試験片には張力と圧縮力が同時にかけられます。

図6：曲げ試験装置

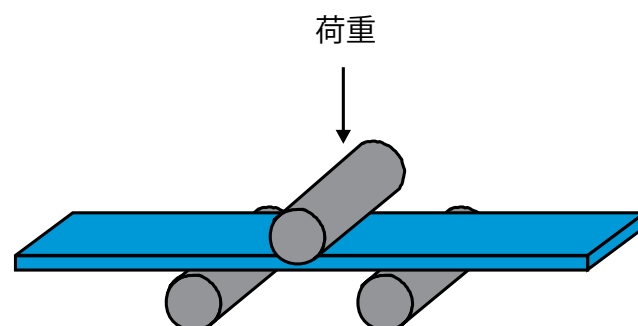


図 7：ガラス繊維による曲げ強さ増加

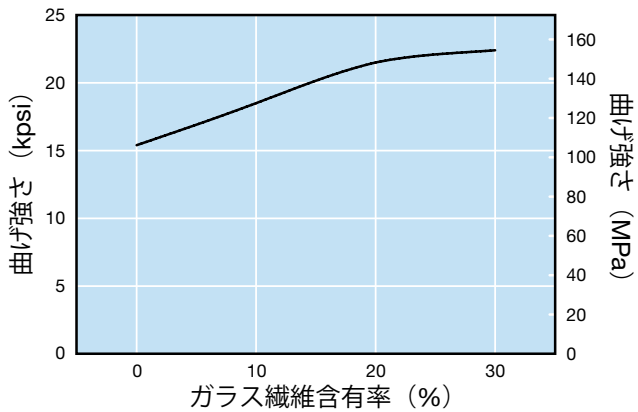


図 9：ユーデル樹脂の圧縮強さ

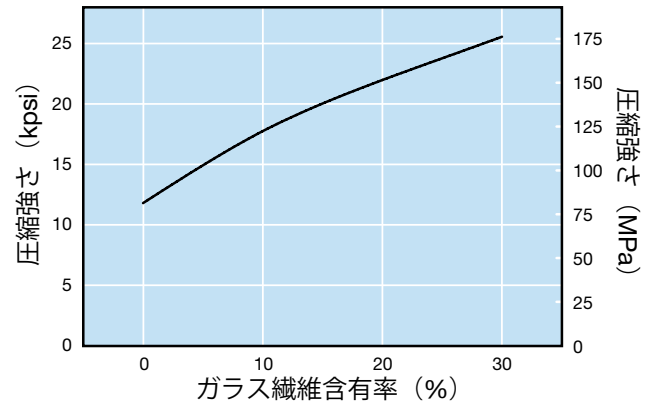


図 8：ガラス繊維による曲げ弾性率増加

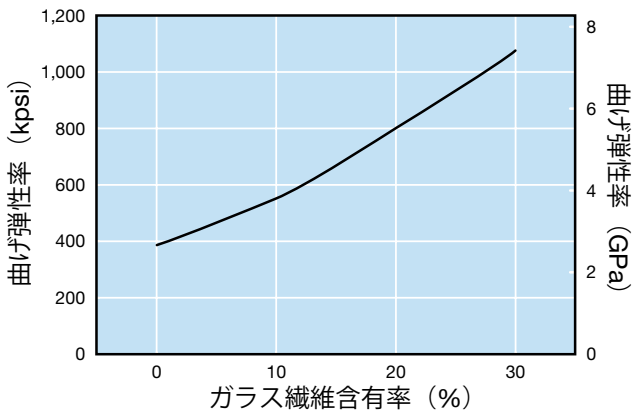
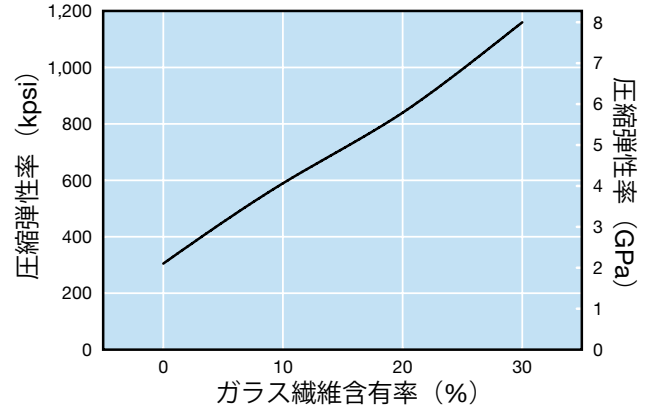


図 10：圧縮弾性率



圧縮特性

圧縮強さと圧縮弾性率は ASTM D695 に従って測定を行います。この試験では試験片を並行なプレート間に置き、プレート間の距離を小さくして行きながら、そのときにプレートを押すために必要となる荷重とプレート間距離の関係をモニターします。試験片が耐える最大応力（通常、これが破断荷重）が圧縮強さであり、応力-ひずみ曲線の勾配が圧縮弾性率になります。

表 4：ユーデル ポリサルホンの圧縮特性

グレード	強度	弾性率
	MPa	GPa
P-1700 / P-3500 LCD	96	2.58
GF-110	123	4.07
GF-120	152	5.79
GF-130	176	8.00

せん断特性

せん断強度は ASTM D732 の規定に従って決定します。この試験ではプレート上に薄い板を置き、プレートには試験片の真下の部分に孔を開けておきます。この孔の直径よりもやや小さなパンチで材料を押し出して試験片を円盤状に打ち抜きます。このとき必要となる最大応力をせん断強度として記録します。

表 5：ユーデル ポリサルホンのせん断強度

グレード		せん断強さ
		MPa
P-1700	降伏点	41
P-1700	破断点	62
GF-110	破断点	56
GF-120	破断点	58
GF-130	破断点	59

衝撃特性

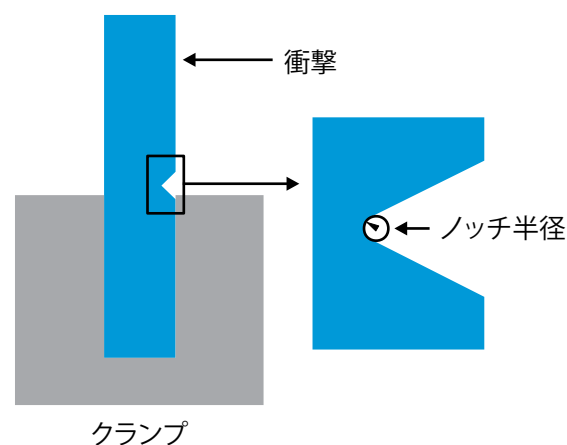
ポリマーは粘弾性を持つため、その特性は荷重を加える速度にも依存します。この荷重変化が急激である場合、その部材は衝撃荷重に影響されていると言えます。

落下試験も一般的な衝撃荷重の例であり、プラスチック部材を既知の高さから例えばコンクリートの床面のような固い、変形しない表面に落下させます。この衝突によってプラスチック部材が損傷を受けなかったとすれば、その部材は衝撃の結果生ずる急激なエネルギー伝達をうまく吸収できたことを意味します。プラスチック部材がエネルギーを吸収する能力はその形状や寸法、厚み、およびプラスチック材料の性質に依存します。現在使用されている衝撃抵抗試験法では、設計者が解析的に利用できる性質の情報を提供できません。この試験では、衝撃への相対的な耐性が分り、相対ノッチ感度の比較ができるだけです。

ノッチ付きアイゾット

ノッチ付きアイゾット試験 (ASTM D256) はポリマー材料を比較するために最も広く使用されている試験方法の一つです。この試験では、試験片を機械加工して規定の形状を持つノッチを作ります。ノッチ加工された試験片に図 11 に示す要領で振り子を当てて衝撃を与えます。

図 11：アイゾット衝撃試験装置

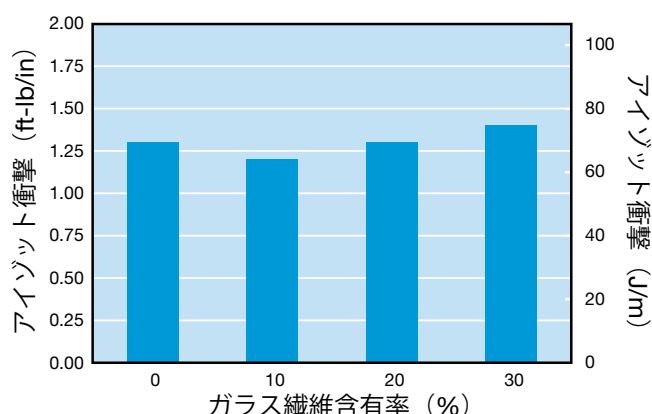


衝撃後も振り子のスイングは続きますが、この衝突によって振り子のエネルギーは失われます。このとき衝撃によって失われたエネルギーがアイゾット衝撃強さとして記録され、その単位は梁の厚さあたりのジュール/m として報告されます。

衝撃が加えられた材料が壊れる原因は、材料内にクラックが生じてそれが試験片内で伝播することです。ノッチ付きアイゾット試験ではノッチがクラックの役目を果たすため、この試験は実質的に耐クラック伝播性を測ることになります。ノッチなしでこの試験を実行する場合は、まずクラックが生じてからクラックの伝播が起こります。

ノッチ付きアイゾット衝撃試験の結果を図 12 に示します。

図 12：ユーデル ポリサルホンのアイゾット衝撃

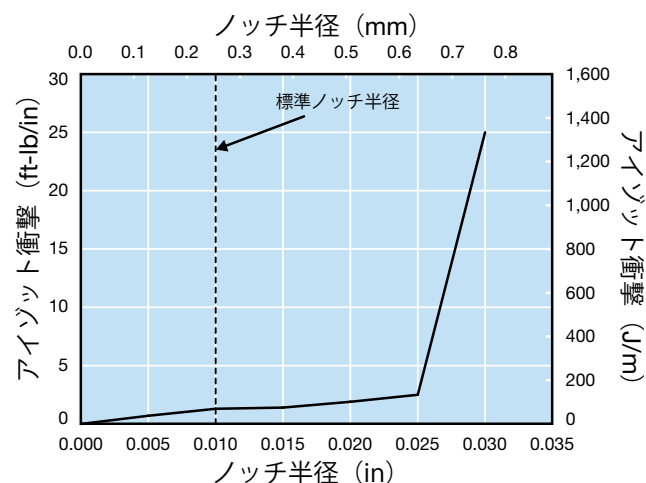


ノッチ感度

アイゾット衝撃試験の標準ノッチ半径は 0.254 mm です。ノッチの鋭さがユーデル ポリサルホンの耐衝撃性にどのように影響するのかを評価するため、種々のノッチ半径を持つ試験片を調製し、ASTM D256 に従って試験を実施しました。図 13 に示す結果から明らかなように、ノッチの半径が 0.76 mm よりも小さい場合は脆性破壊が起こり、それよりも大きな半径では延性と良好な強度を示しています。

一般的には、応力集中による脆性破壊を防ぐために可能な限りコーナーの半径は 0.76 mm 以上にするべきです。

図 13：ユーデル P-1700 に対するアイゾット衝撃のノッチ半径依存性



シャルピー試験

シャルピー衝撃試験は ISO 試験 179 に従って行われます。この試験は、試験片に機械加工でノッチを作るという点ではノッチ付きアイゾット試験と良く似ています。主たる相違点は、シャルピー試験ではバーの両端を支持して中央部に衝撃を与えるのに対して、ノッチ付きアイゾット試験ではバーの片方を支持して他端に衝撃を加えることにあります。この二つの試験の実験配置例を図 11 と 14 に示します。もう一つの相違点はその計算方法です。アイゾット試験ではエネルギーを試験片の厚さで割ってジュール/m で表現するのに対して、シャルピー試験ではエネルギーを試験片の断面積で割ることにより、結果をキロジュール/m² で表現します。

図 14：シャルピー衝撃

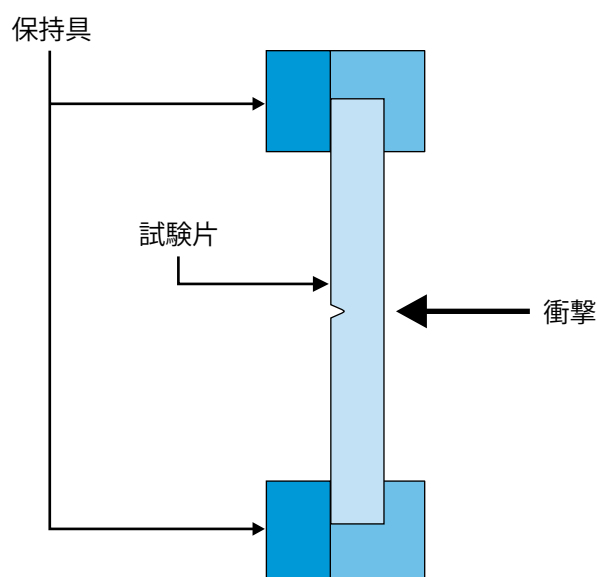
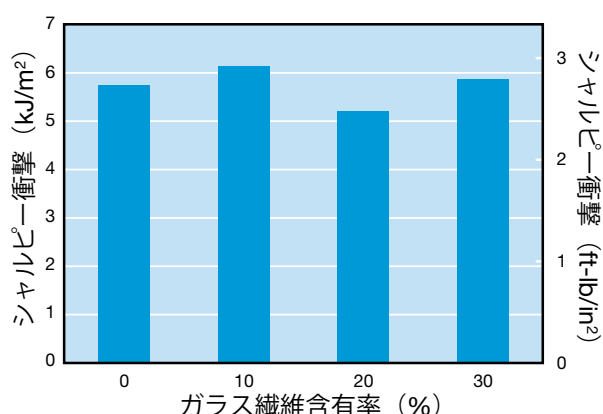


図 15：ユーデル ポリサルホンのシャルピー耐衝撃性

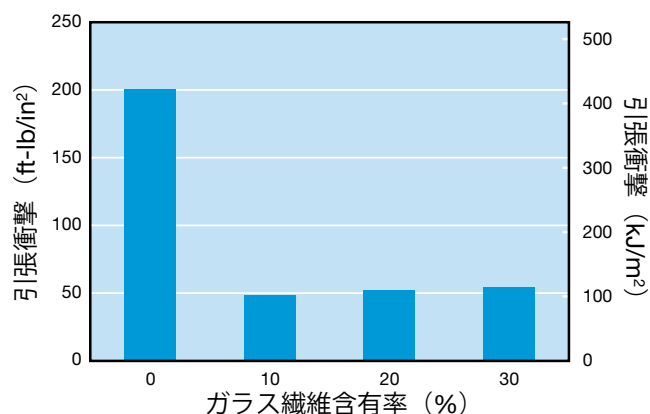


引張衝撃試験

引張衝撃試験は振り子を使用するという点でアイゾット衝撃試験とよく似ています。ただし、アイゾット衝撃試験ではノッチ付きの試験片を片持ち梁モードで保持した自由端に衝撃を加えて高速曲げ試験を行うのに対し、この引張衝撃試験では試験片に高速引張負荷を与えます。この試験の目的はプラスチックが本来持つ耐衝撃性を測定することにあります。試験片にはクラックを起こさせるためのノッチなどは作りません。

ASTM D1822 に規定された方法に従って試験を実施した結果を図 16 に示します。

図 16：ユーデル ポリサルホンの引張衝撃



落錘衝撃試験

相対的な耐衝撃性を決定する別な方法として、物体を試験片に落下させ、その衝撃によって試験片に損傷が発生するかどうかを調べる方法があります。各種の試験片やその支持方法、あるいは落下させる物体の寸法や形状に応じて数多くの標準試験方法が作られてきました。使用した方法は ASTM D5420、Impact Resistance of Flat, Rigid Plastic Specimen by Means of a Striker Impacted by a Falling Weight（ガードナー衝撃試験）です。

図 17：ガードナー衝撃試験の詳細

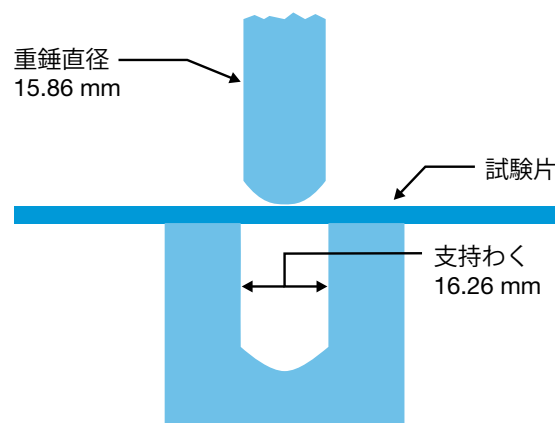


表 6：ユーデル ポリサルホンのポアソン比

ユーデル樹脂グレード	ポアソン比
P-1700	0.37
GF-110	0.43
GF-120	0.42
GF-130	0.41

この試験では、試験片を支持プレート上に置き、その上に重錘を置きます。様々な高さから錘を重錘へ落下させて試験片への影響を調べます。試験片の破壊は、目視で分るクラックが発生したことで判定します。平均破壊エネルギーは 50% の試験片に破壊を起こすのに必要なエネルギーと定義され、一定質量を高さを変えて落下させたときの質量と平均破壊高さの積として表現します。

ここで使用した試験片の厚みは 3.2 mm です。試験方法が規定している形状の選択肢の中から、ここでは GC を使用しました。形状 GC の詳細を図 17 に示します。

この試験から得られたユーデル P-1700 の耐衝撃性は 20 J を超えています。

ポアソン比

ポアソン比とは比例限界内での横ひずみと縦ひずみの比率です。例として、引張応力がかけられた円筒状の試験片を考えてみます。引張応力によって長さ (L) は増加し、同時に直径 (D) は減少します。ポアソン比 (ν) は次式によって計算されます：

$$\nu = \frac{-\Delta D / D}{\Delta L / L}$$

ポアソン比の値は ASTM E132 に従って測定されます。

長期クリープ特性

機械荷重をかけたときの材料への影響はひずみ速度と荷重をかける方法にも依存します。ポリマー材料はほとんどの金属に比較してより強い非線形性を示します。設計者は、一定応力の負荷が、短期的な弾性率から予想されるよりも大きな変形を生ずることを知っておく必要があります。

ポリマー材料から作られた試験片が連続的に応力に曝されると、その応力に対応して寸法が変化します。荷重により即時に発生する寸法変化は弾性率から予測が可能ですが、応力そのまま持続すると寸法もゆっくりと変化し続けます。応力に対する継続的な変形は一般にクリープと呼ばれ、ひずみを時間の関数として測定することによって得られます。

引張モードでは、試験片は応力の負荷により時間とともに伸びます。ひずみという用語は、長さの増加量すなわち伸びを元の長さで割った値を表します。

クリープ現象は曲げモードやたわみモード、または圧縮モードでも観測され、測定されます。たわみモードにおけるひずみは、曲げ外側の表面の伸び量で表します。圧縮モードでは試験片が実際に短くなりますから、この短くなった量でひずみを表します。

部品を設計する場合、強度や剛性、耐衝撃性などの短期特性は必ず考慮に入れなければなりません。部品の変形はその性能に影響を与えますから、最大変形についても当然考慮する必要があります。部品に一定の、もしくは長期間に渡る応力が加えられると、変形は短期的な特性から予想されるよりもさらに大きくなります。

変形をより正確に予測するためには見掛けの弾性率またはクリープ係数を使用するのが有効です。見掛けの弾性率は、一定時間に渡って荷重を加えた後で実測したひずみで負荷応力を割ることによって得られます。見掛けの弾性率を使用すると、長期間にわたり応力が加えられた後の変形のより正確な値を予測することができます。

引張クリープ

非強化ポリサルホン樹脂の 99°C、空気中における引張クリープを図 18 に示します。

この特性の 149°C における挙動を図 19 に示します。

図 18：99°C の空気中におけるユーデル PSU の引張クリープ

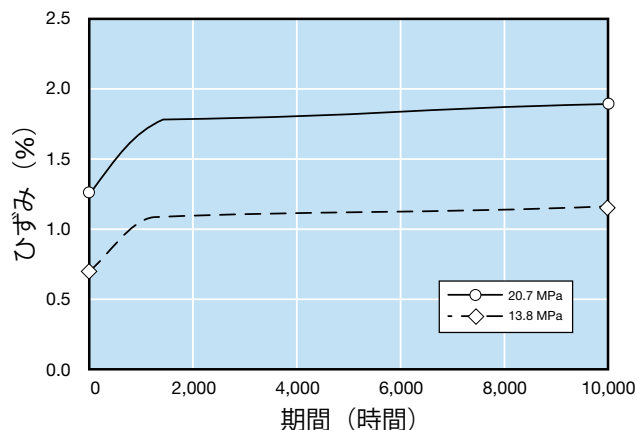
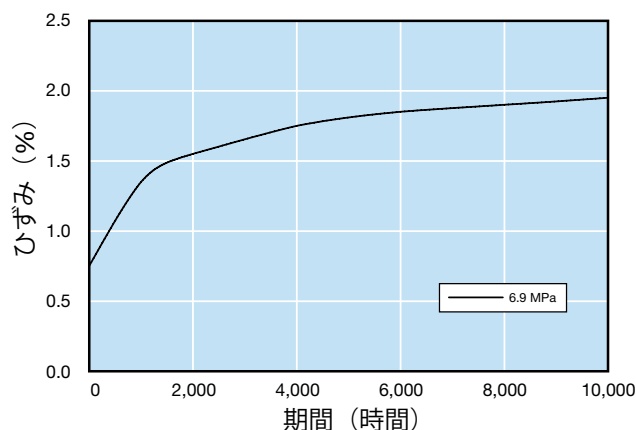


図 19：149°C の空気中におけるユーデル PSU の引張クリープ



水中での引張クリープ

水中に浸漬したポリサルホンの耐クリープ性を図 20 と 21 に示します。室温で 13.8 MPa の一定レベルの応力を加えた場合の 20,000 時間後のひずみは 1.17% でした。また、応力レベルを 20.7 MPa まで上昇させた場合 20,000 時間後のひずみは僅かに 1.55% でした。

60°C の高温においても優れたクリープ抵抗を示し、10.3 MPa の応力を 10,000 時間加えた後のひずみは 1.19% でした。また、60°C において 13.8 MPa の応力を 10,000 時間加えた後のひずみは 1.7% に過ぎませんでした。

図 20：23°C の水中におけるユーデル PSU の引張クリープ

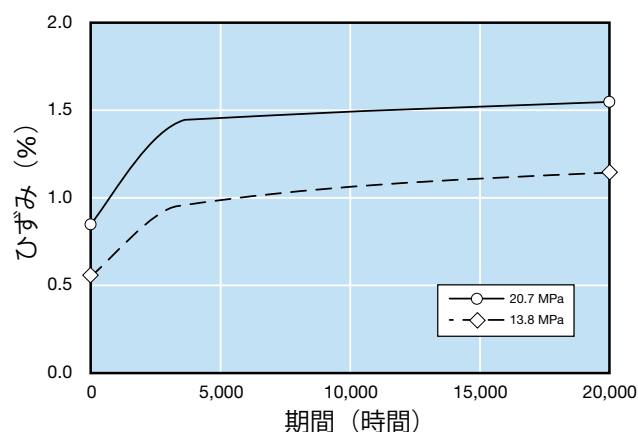
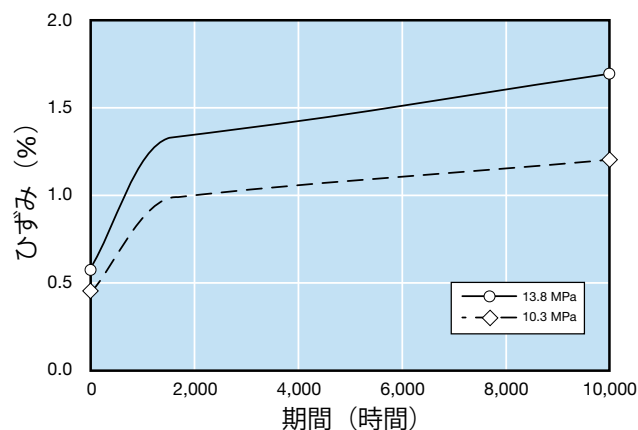


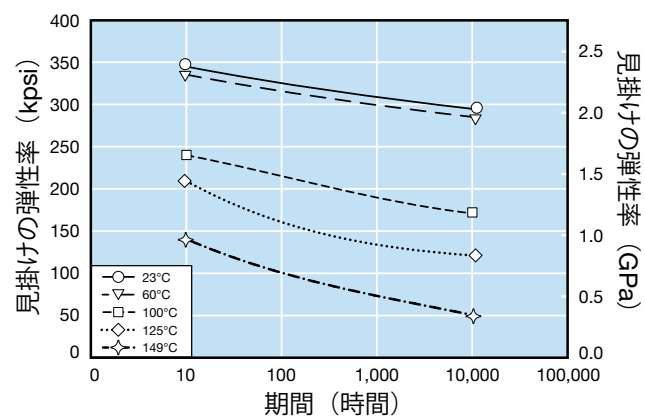
図 21：60°C の水中におけるユーデル PSU の引張クリープ



見掛けの弾性率とクリープ弾性率

図 22 は、様々な温度条件でポリサルホンに引張モードとたわみモードで応力をかけ、その結果生じたひずみから弾性率を計算しまとめたものです。

図 22：非強化ユーデル ポリサルホンのクリープ弾性率



熱特性

材料が周囲温度の変化にどのように応答するかを示すのが材料の熱特性です。熱特性には強度や剛性の変化、寸法の変化、熱や酸化による材質の劣化を含む化学変化、軟化、熔融やひずみ、相変化、および単なる温度変化などが含まれます。熔融時の材料特性については、この資料の成形加工に関するセクションで解説します。燃焼中の物質が示す挙動については燃焼特性のセクションで説明します。

ガラス転移温度

一般的に、ポリマーが加熱されると徐々に剛性が失われていき、最終的にゴムのような状態になります。材料がガラス状態からゴム状態に移行する温度を、ガラス転移温度 (T_g) と定義します。この温度は、いくつかの基本的な変化が起こる温度という意味で非常に重要です。ポリマーの自由体積や屈折率、エンタルピー、比熱の変化などがこれに含まれます。

ガラス転移温度は示差走査熱量測定 (DSC) によって測定されます。この方法では、ガラス転移温度を熱容量変化の開始点として捕らえます。一般的には実測値を 5°C 単位の最も近い数値で表記します。この方法を使用した場合のユーデル ポリサルホンの T_g 値は 185°C です。

一般的に使用されるもう一つの方法では T_g を DSC による熱容量遷移の中央点として報告します。この規則に従えば、 T_g は 190°C となります。

機械特性変化

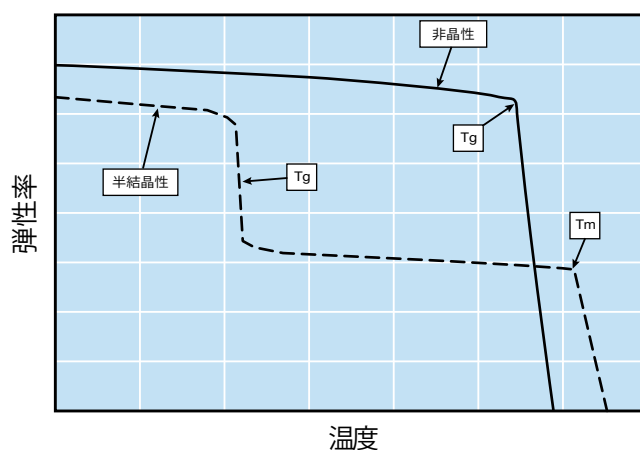
周囲温度の上昇につれて熱可塑性プラスチックは次第に軟らかくなってゆき、最終的には流動性を持つようになります。流動性を持つようになるまで、軟化の進み具合は弾性率を周囲温度に対してプロットすることでモニターできます。

熱可塑性樹脂の分類

熱可塑性樹脂はしばしば非晶性と半結晶性という二つのクラスに分類されます。図 23 はこの二つのタイプの樹脂が示す温度に対する挙動の差を一般化して表したものです。非晶性樹脂の弾性率は、ガラス転移温度 (T_g) に達するまで温度の上昇とともに徐々に低下していき、通常、非晶性樹脂をガラス転移温度以上の温度で使用することはありません。

半結晶性樹脂の場合も、ガラス転移温度に達するまでは非晶性の場合とよく似ています。 T_g に達すると、弾性率は急激に一段下のレベルに降下しますが、次に融点 T_m に達するまではこのレベルまたはこれに近い値に留まります。半結晶性樹脂 (通常は補強材を含むタイプ) はしばしばガラス転移温度を超える周囲温度でも使用されますが、融点以下の温度範囲に限られます。

図 23：典型的な弾性率温度依存性



引張特性への温度の影響

図 24 は、ガラス繊維強化したポリサルホンとしていないポリサルホンの引張強さへの周囲温度上昇による影響をプロットしたものです。図 25 は同様に引張弾性率についてプロットしています。

図 24：引張強さ vs 温度

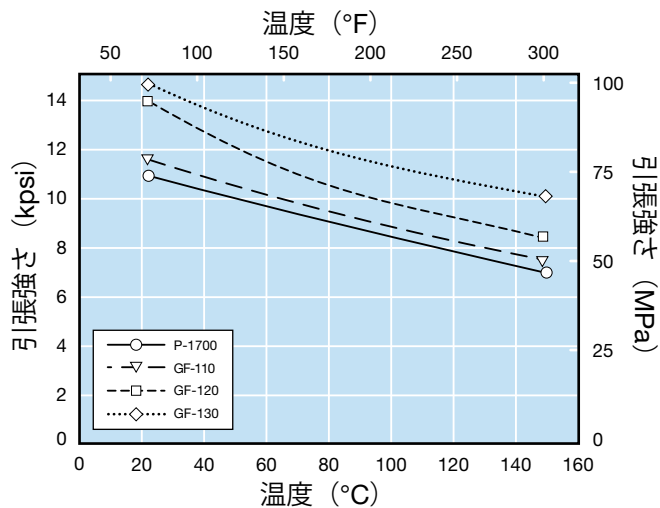
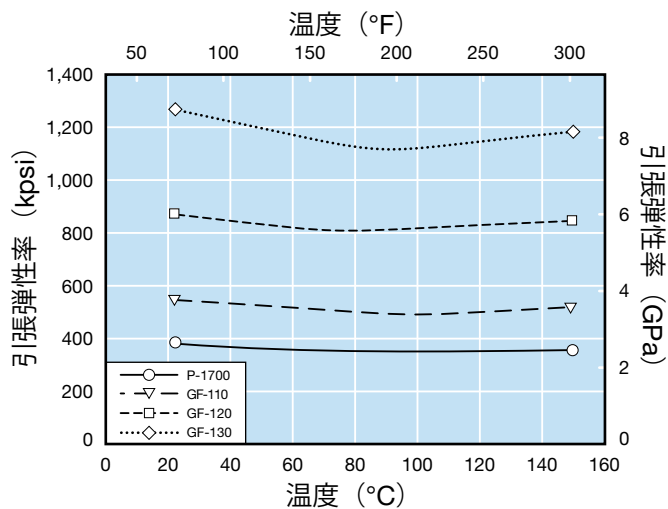


図 25：引張弾性率 vs 温度



曲げ特性への温度の影響

ガラス繊維強化したポリサルホンとしていないポリサルホンの曲げ強さへの温度の影響をプロットしたのが図 26 です。同様に、曲げ弾性率への温度の影響を示したのが図 27 です。

図 26：曲げ強さ vs 温度

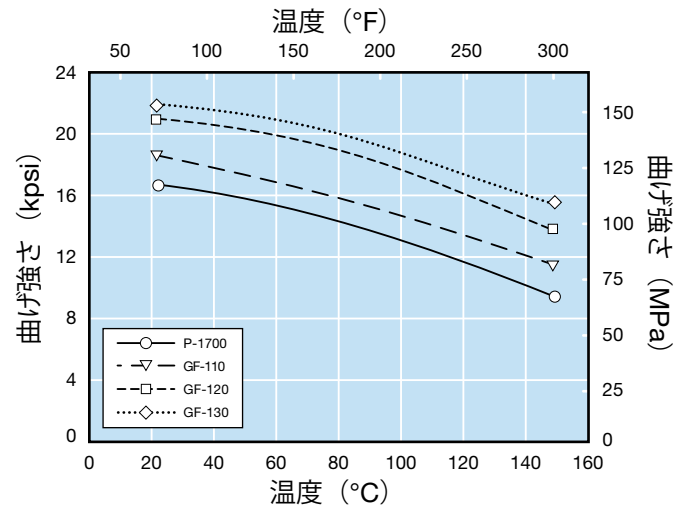
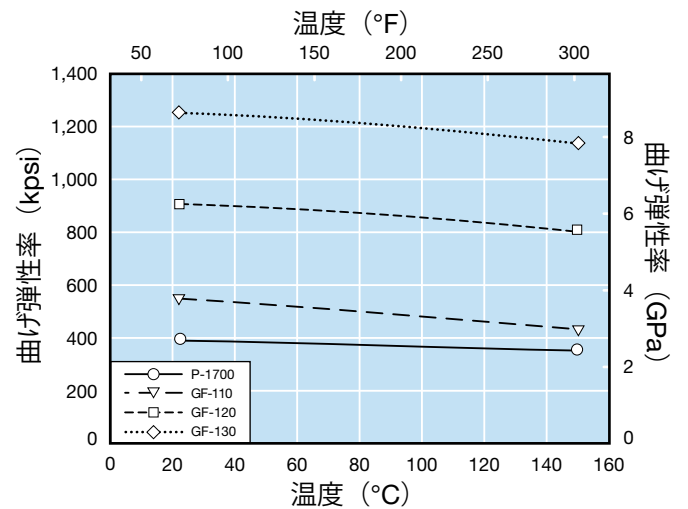


図 27：曲げ弾性率 vs 温度



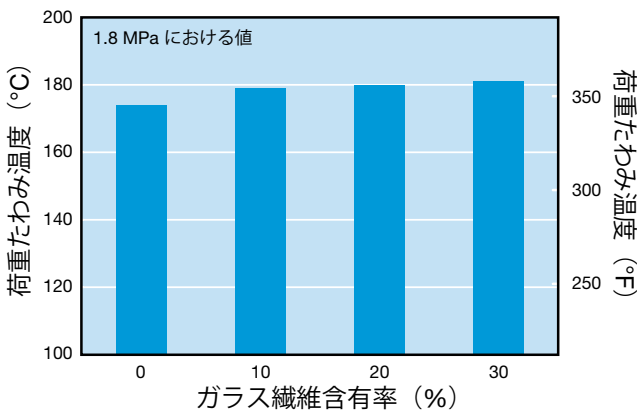
荷重たわみ温度

樹脂の短期的な熱的能力を示すひとつの尺度として、ASTM D648 に規定された曲げ荷重試験下のたわみ温度があります。この試験では、長さ 127 mm の試験片を 102 mm 間の支持台の上に置きます。この試験片に、外側の応力が 0.45 MPa または 1.82 MPa になるまで荷重をかけます。このときの垂直変形を、温度を 2°C/分の割合で上昇させながらモニターします。垂直変形が指定終点値である 0.25 mm に達したときの温度を記録して、これをたわみ温度とします。たわみ温度は一般的に熱ひずみ温度、または荷重たわみ温度（HDT）とも呼ばれます。

この試験で測定しているのは、被試験材料の曲げ弾性率が応力 0.45 MPa の負荷により約 240 MPa になる温度、または応力 1.8 MPa の負荷で 965 MPa になる温度です。

1.8 MPa でのユーデル ポリサルホンの 4 つのグレードの荷重たわみ温度を図 28 に示します。

図 28：ユーデル樹脂の荷重たわみ温度



熱線膨張係数

ほとんどの物質は温度の上昇によって寸法が大きくなります。寸法が増加する割合は次式によって表されます。

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$$

ここに、 L_0 は初期長、 ΔL と ΔT はそれぞれ長さや温度の変化分を表します。熱線膨張係数 (α) は ASTM D696 に従って測定されます。

ユーデル ポリサルホンおよび一般的な金属の何種類かについて室温付近で測定した熱線膨張係数（CLTE）を表 7 に示します。

表 7：熱線膨張係数

材料		ppm/°C
ユーデル P-1700	FD*	56
	TD	56
ユーデル GF-110	FD	40
	TD	49
ユーデル GF-120	FD	23
	TD	49
ユーデル GF-130	FD	19
	TD	49
亜鉛ダイキャスト合金		27
アルミダイキャスト合金		25
ステンレス鋼		18
炭素鋼		14

*FD = 流れ方向、TD = 直角方向

熱線膨張係数は測定の対象となる温度範囲や測定する寸法、あるいは成形試験片の流れ方向によって変わります。図 29 は、温度と流れの方向がユーデル P-1700 樹脂の熱線膨張係数に及ぼす影響を示しています。このタイプはガラス繊維で強化していない非晶性樹脂であるため、熱線膨張係数は実質的に流れの方向には依存せず、温度に対する依存性もごくわずかです。

図 30 に示すのは同じ因子の影響をユーデル GF-110（10% ガラス繊維強化）について示したものです。ガラス繊維の影響は主として流れの方向に現われ、ガラス繊維が流れの向きに整列する傾向があるためにこの方向の熱膨張が抑制されて係数が小さくなります。流れに対して垂直および直角な方向の熱線膨張係数は実質的に非強化樹脂と変わりません。

図 29 : CLTE vs. 温度 (ユーデル P-1700)

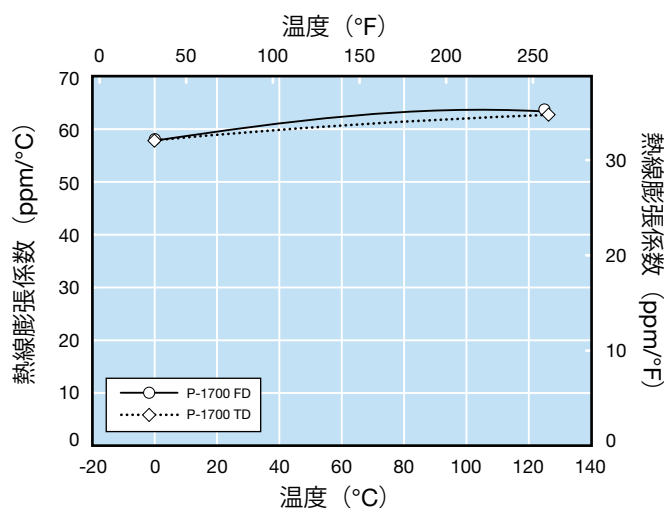


図 31 : CLTE vs. 温度 (ユーデル GF-120)

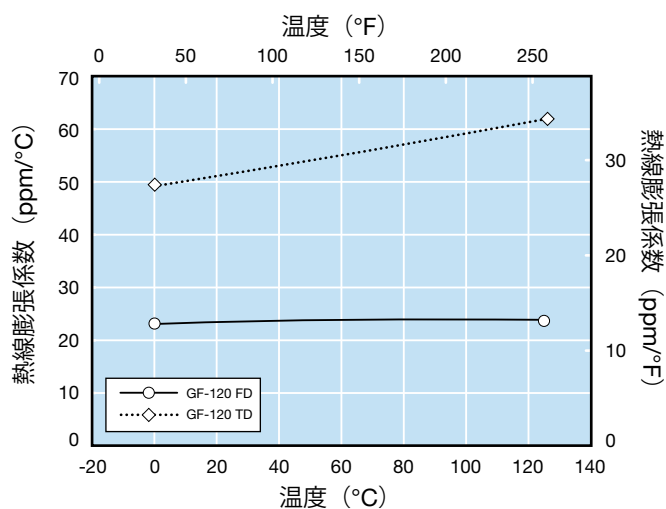


図 30 : CLTE vs. 温度 (ユーデル GF-110)

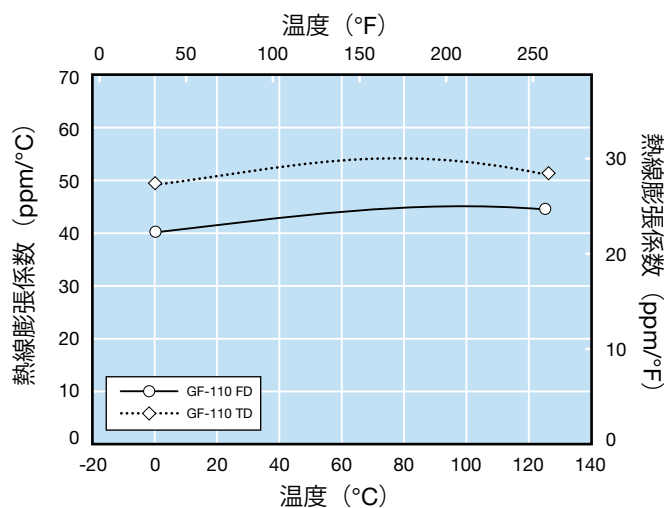
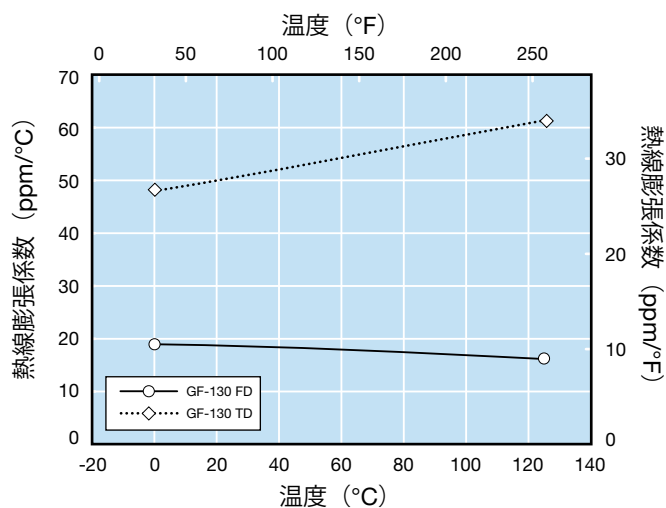


図 32 : CLTE vs. 温度 (ユーデル GF-130)



ユーデル GF-120 (20% ガラス繊維強化) の熱線膨張係数を図 31 に示します。ガラス繊維が流れの方向に整列することによる影響は、流れ方向の CLTE が大幅に減少していることから明らかです。

ユーデル GF-130 (30% ガラス繊維強化) の熱線膨張係数を図 32 に示します。ガラス繊維の存在により、非強化タイプと比較すると流れ方向の膨張が実質的に半分に減少しています。これらの試験片は、ガラス繊維が流れの方向に配向し易い形状になっています。実際の部品では流れのパターンがより複雑になるため、熱線膨張係数も図 32 に示す値の中間の値をとります。

異なる熱線膨張係数を持つ部材を接合すると熱応力が発生します。設計者は、図 29 から 32 に示される値を利用して熱膨張により発生する熱応力の大きさを計算することができます。

熱伝導率

一般的に、ポリマーは熱伝導率が良くありません。このことはポリマーを断熱の目的で使用する多くの用途において好ましい性質と言えます。ユーデル ポリサルホン樹脂とその他の一般的な材質について、ASTM E1530 を用いて相対熱伝導率を測定した結果を表 8 に示します。

表 8：熱伝導率	
	熱伝導率
材料	W/mK
ユーデル P-1700	0.26
ユーデル GF-110	0.19
ユーデル GF-120	0.20
ユーデル GF-130	0.22
ステンレス鋼	20～37
炭素	5～9
木材（パーティクルボード）	1.7
ゴム	0.14

ビカット軟化点

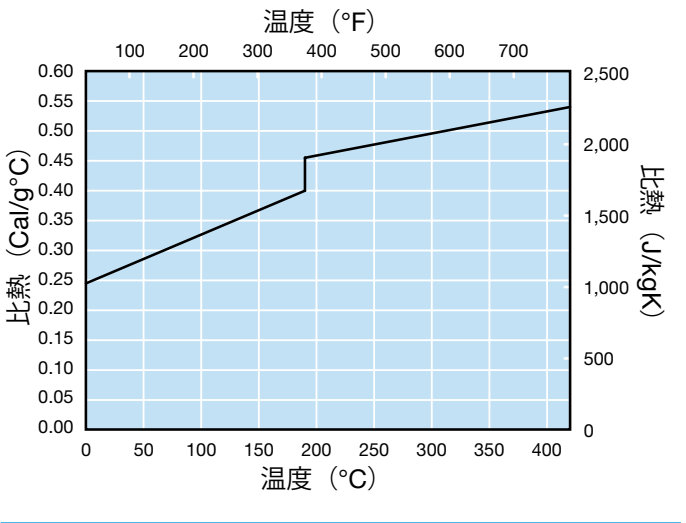
この試験（ASTM D1525）では、端面を平面に仕上げた 1 mm² の円形断面を持つニードルが 1 kg の荷重下で試験片中に 1 mm 侵入する温度を、50℃/h の一定速度で上昇させながら測定します。ユーデル ポリサルホンの試験結果を表 9 に示します。

表 9：ビカット軟化点	
	ビカット軟化点
ユーデル樹脂グレード	℃
P-1700	188
GF-110	192
GF-120	192
GF-130	192

比熱

比熱とは、単位質量の物質の温度を 1℃ 変化させるために必要な熱量と定義されます。ポリサルホンの比熱と温度との関係を図 33 に示します。

図 33：ユーデル ポリサルホンの比熱



温度調節機能付き蛇口カートリッジ

FM Mattsson 社は、シャワーや浴室で使用する温度調節バルブに使用する材質を従来の真鍮に代えてユーデル ポリサルホンを選択しました。この製品はすでに 1980 年代初頭から製造されており、バルブの動作に影響するミネラルの蓄積や腐食などに十分耐えることが実証されています。

比容積

PVT（圧力-体積-温度）データは熱力学特性を表す状態方程式であり、物質の持つ圧縮性や体積膨張係数を説明します。圧縮流体方程式を用いたアルゴリズムで成形充填解析を行う場合にこれらの特性値が使用されます。

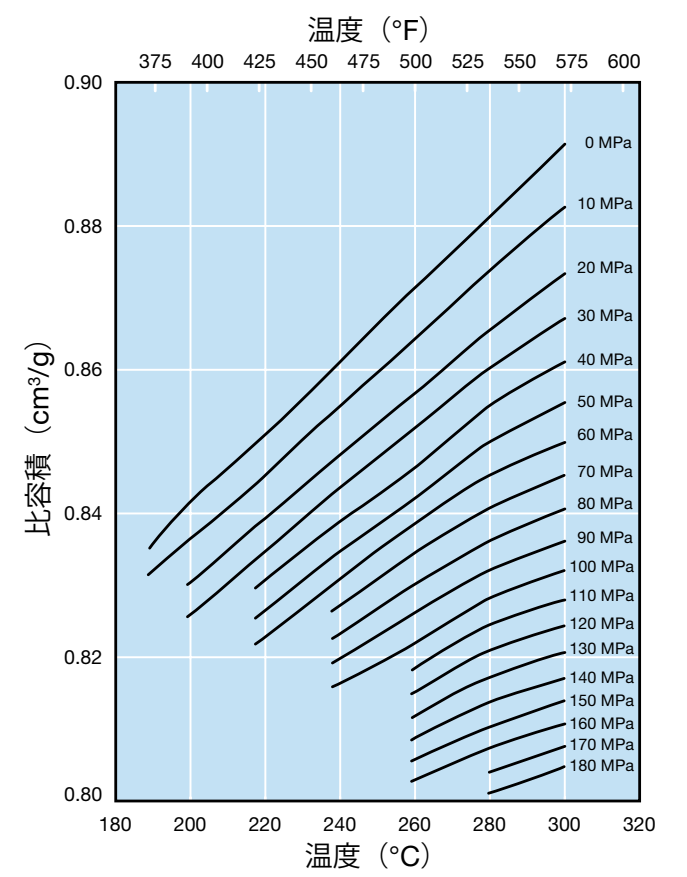
試験片に様々な温度と圧力を加えて体積変化を測定する場合に推奨される方法はディラトメトリー（膨張率測定）です。高圧ディラトメトリー装置では成形試験片を流体中に浸漬し、流体にかかる圧力を変化させます。そして、ペローを使用して温度と圧力を変化させたときの試験片の実際の体積変化を計測します。

ユーデル ポリサルホンの比容積データを表 10 と図 34 に示します。

表 10：液相中での温度と圧力に対する PSU の比容積（cm³/g）

圧力 (MPa)	温度、°C						
	188.8	199.1	217.4	238.0	259.1	279.8	300.1
0	0.8351	0.8413	0.8496	0.8601	0.8710	0.8811	0.8915
10	0.8314	0.8361	0.8440	0.8540	0.8638	0.8737	0.8827
20		0.8300	0.8382	0.8474	0.8563	0.8654	0.8735
30		0.8256	0.8336	0.8428	0.8515	0.8602	0.8672
40			0.8295	0.8382	0.8443	0.8550	0.8610
50			0.8254	0.8340	0.8417	0.8499	0.8554
60			0.8218	0.8301	0.8384	0.8453	0.8499
70				0.8263	0.8347	0.8407	0.8453
80				0.8226	0.8299	0.8362	0.8407
90				0.8192	0.8259	0.8321	0.8362
100				0.8159	0.8217	0.8282	0.8321
110					0.8182	0.8245	0.8281
120					0.8149	0.8209	0.8244
130					0.8116	0.8171	0.8207
140					0.8085	0.8138	0.8172
150					0.8027	0.8103	0.8139
160						0.8073	0.8167
170						0.8040	0.8076
180						0.8010	0.8048
190							0.8020
200							0.7993

図 34：温度と圧力に対するユーデル ポリサルホンの比容積



燃焼特性

UL 94 燃焼性規格

アンダーライターズラボラトリーズが策定した UL 94燃焼性規格は、プラスチック材料をその耐燃焼性を基準として分類するシステムです。プラスチック材料に与えられる燃焼性の評価は、その材料が実験室内で正確にコントロールされた条件下で熱と炎に対してどのような挙動を示すかによって決定され、特定用途におけるその材料の燃焼性を判断する予備的な指標として利用されます。熱と炎に対する熱可塑性樹脂の実際の挙動は、その製品の寸法や形状、使用方法などを含む他の因子の影響を受けます。これに加えて、製品が実際に使用される場面での着火の容易さ、燃焼速度、炎の広がり、燃料の存在の有無、燃焼の激しさ、燃焼生成物等の要素も、材料の燃焼性を左右します。

UL 94 規格は主要な三種類の試験方法から構成されています。すなわち、水平燃焼試験、20 MM 垂直燃焼試験、および 500 MW 垂直燃焼試験の三種類です。最初の二種類の試験の要件に適合するユーデル樹脂グレードが用意されています。

水平燃焼試験

94HB の分類では、射出成形試験片は長さ 125 mm、幅 13 mm、および評価を希望する最小の厚みに制限されています。クランプによって水平に保持されたサンプルの、クランプされていない側の端に、45° の角度で 30 秒間 20 mm の青炎をあて、燃焼の先端が試験片の端から 25 mm の位置に予め付けられているマークに達したらすぐに炎を離します。炎を離してから、燃焼の先端が 25 mm ラインから 100 mm ラインまで延焼する速度を計算します。この方法で少なくとも 3 個の試験片をテストします。厚さが 3 mm 以上の試験片については延焼速度が 40 mm/分を超えなかった場合、また、厚みが 3 mm 未満の試験片については 75 mm/分を超えなかった場合に、そのプラスチックに 94HB の格付けが与えられます。延焼が 100 mm の基準マークに達しなかった製品についても同じ格付けが与えられます。

20 MM 垂直燃焼試験

サンプルを垂直にクランプして燃焼させ、その結果をもとに材料を 94V-0、94V-1、または 94V-2 のいずれかに分類します。

20 MM 垂直燃焼試験は 94HB よりもさらに過酷な試験であり、対象となるサンプルは長さ 125 mm、幅 13 mm、および評価を希望する最小の厚み（標準的には 0.8 mm または 1.57 mm）です。

サンプルを垂直にクランプし、試験片の下端に長さ 20 mm の青炎をあてます。10 秒間あてた後で炎を離します。引火せずに炎が消えてしまうようであれば、もう一度 10 秒間炎をあててから引き離します。同じ方法で、全部で 5 個のサンプルについて試験を行います。この試験で材料を分類する際の基準を表 11 に列挙します。ユーデル ポリサルホン各種グレードの結果を表 12 に示します。ユーデル樹脂の最新の格付け情報についてはアンダーライターズラボラトリーズの Web サイト <http://data.ul.com/iqlink/index.asp> をご覧ください。

表 11：UL 分類基準 (V-0、V-1、V-2)

基準	94V-0	94V-1	94V-2
個々の試料の残炎時間、 (t ₁ または t ₂)	≤ 10s	≤ 30s	≤ 30s
全ての処理による各組の残炎時間の 合計 (5 個の試料の t ₁ + t ₂)	≤ 50s	≤ 250s	≤ 250s
2 回目接炎後の各試料の残炎時間と 残燼時間の合計 (t ₂ + t ₃)	≤ 30s	≤ 60s	≤ 60s
各試料の保持クランプまでの残炎 または残燼	なし	なし	なし
発炎物質または滴下物による 標識用綿の着火	なし	なし	あり

表 12：ユーデル ポリサルホンの UL 94 の分類

グレード	厚さ	
	mm	分類
P-1700	1.5	HB
	3.0	HB
	4.5	V-0
P-1720	1.0	V-1
	1.5	V-0
GF -110	1.5	HB
	3.0	HB
	4.4	V-0
GF -120	1.5	HB
	3.0	HB
	4.4	V-0
GF -130	1.5	V-1
	3.0	V-0

酸素指数

酸素指数は ASTM D2863 で規定され、酸素・窒素混合気中に置かれた試験片が室温から開始した発炎燃焼を維持できる最小酸素濃度を体積パーセントで表した値と定義されています。

通常の空気中には 21% の酸素が含まれているため、酸素指数が 21 よりも明らかに高い物質は、より酸素濃度の高い雰囲気中でなければ燃焼しないことになり、それだけ難燃性が高いと考えられます。

表 13 の酸素指数が示すとおり、ユーデル ポリサルホンは優れた難燃性を持っています。

表 13：ユーデル樹脂の酸素指数

グレード	酸素指数、%
P-1700	26
P-1720	32
P-3500 LCD	30
GF-110	31
GF-120	31
GF-130	32

自己発火温度

ある材料の自己発火温度とは、着火源が存在しない大気中で試験片自体の自己発熱特性によって発火、もしくは自己発火する最低大気温度と定義され、その判定には爆発や炎、または持続的な赤熱の有無を使用します。この特性の測定法は、ASTM D1929 により規定されています。

ユーデル P-1700 の自己発火温度は 550℃、P-1720 の場合は 590℃ です。

引火温度

材料の引火温度とは、指定された試験条件において、小さな口火を短時間接触させるだけで着火するのに十分な可燃性ガスが放出される最低温度と定義されています。

ユーデル P-1700 と P-1720 の引火温度は 490℃ です。

煙濃度

材料が燃えると煙が発生します。発生する煙の量と濃度は多くの用途で重要です。

相対的な煙濃度を評価する方法は ASTM E662 によって規定されています。この試験はもともとは米国国家標準局（NBS）によって開発されたものであるため、しばしば NBS 煤煙濃度試験とも呼ばれます。

表 14 に示すデータは有炎燃焼条件で測定したものです。6 管式バーナーを使用して、試験片の下側の端に小さな火炎の列をあてます。煙が充満する状態を、光度計を使用して垂直方向の透過光によって測定します。この光透過データから特有光学密度 (D_s) が計算されます。最大光学密度は D_m と呼ばれます。

表 14：ユーデル ポリサルホンの煙濃度

測定	ユーデル樹脂グレード	
	P-1700	P-1720
D _s (1.5 分)	1	2
D _m (4.0 分)	65	16

グローワイヤー試験

プラスチック材料が点火し、それを維持する性質を評価するのがグローワイヤー試験です。この試験は、故障や過負荷操作によって通電中の裸導線が絶縁体に接触する状況を作り出します。以下の試験方法は IEC 695-2-1/VDE 0471 part 2-1 および ASTM D6194 に記載されているものです。

グローワイヤー試験が使用する器具は太め（10-14 AWG）のループ状ニッケル-クロム抵抗線と熱電対、およびサンプル取り付けブラケットから構成されます。

試験中は、予め決められた温度になるようにニッケル-クロム抵抗線ループに電流を流します。続いて、サンプルを 30 秒間にわたり抵抗線に接触させます。抵抗線を離れた後でサンプルが炎が発生したり赤熱状態にならなければ、あるいは、もしなっただとしても 30 秒以内に消えればこの試験に合格です。また、抵抗線を接触させた周辺の損傷も最小である必要があります。

表 15：ガラス繊維強化ポリサルホンのグローワイヤー試験結果

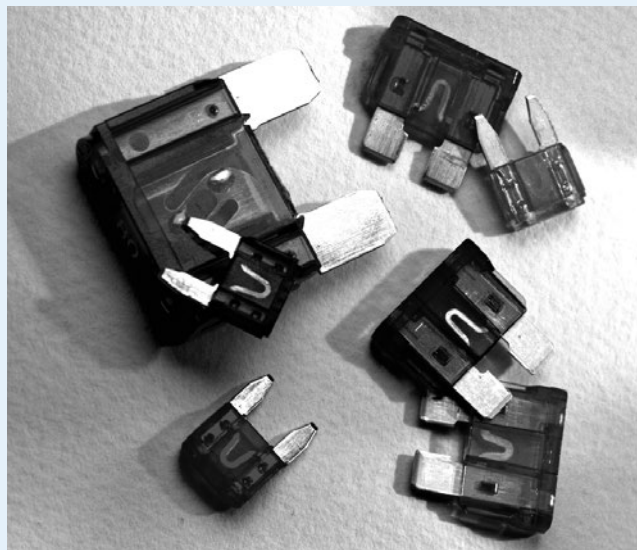
グレード	厚さ、mm	発火温度、℃
GF-120	0.8	875
GF-130	0.8	875

熱安定性

熱重量分析

熱重量分析（TGA）は材料の熱安定性を評価する方法の1つです。この試験では小さな試験片を加熱しながらその重量を連続的にモニターします。通常は不活性窒素ガス雰囲気と空気雰囲気を使用して二通りの試験を行います。この二種類の試験結果に現われる差は、酸素が材料の劣化に及ぼす影響を表しています。

図 35 と 36 が示すように、ユーデル ポリサルホン は本質的に優れた熱安定性を備えています。およそ 426°C を下回る温度範囲ではポリマーの分解による揮発性物質の発生はほとんど見られません。この温度に達するまでは空気中と窒素ガス中の TGA プロットに差異がまったく見られないことから、酸化劣化が極めて限られた範囲でしか起こらないことを示しています。



自動車用ブレードヒューズ

ブレードヒューズは、自動車に搭載する回路保護システムの重要な部品です。万一電源システムに異常な電流やショートが発生した場合、確実に電子・電気系統を保護するためには、この部品の動作信頼性が極めて重要です。ヒューズボックスは通常ボンネットの下に設置されるため、このボックスとその内容物は極端な高温に曝されるばかりでなく、場合によっては腐食性の高い流体が侵入することもあり得ます。ブレードヒューズ製造に使用される材料は、自動車の寿命期間を通してこのような条件に耐え、透明性や電気絶縁特性、強靱性などの特性を維持しなければなりません。

ユーデル ポリサルホンはブレードヒューズ用絶縁材料として非常に優れた特性を示し、例えばポリカーボネートなどの他の非晶性材料の熱特性では十分に対応できない大アンペア電流を流す設計にも使用できます。それに加えて、ユーデル ポリサルホンはポリエーテルイミドのように高価な高温用透明材料の代替として使用できるより経済的な材料でもあります。透明性と高い体積抵抗率、さらに 160°C もの高温での連続使用でもこれらの特性を維持して脆化しないことから、ユーデル P-1700 は世界中でブレードヒューズ用材料として選択されています。

図 35：窒素雰囲気中での熱重量分析

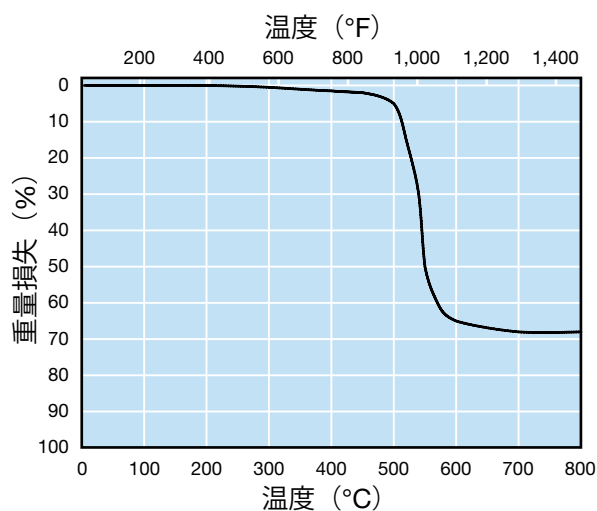
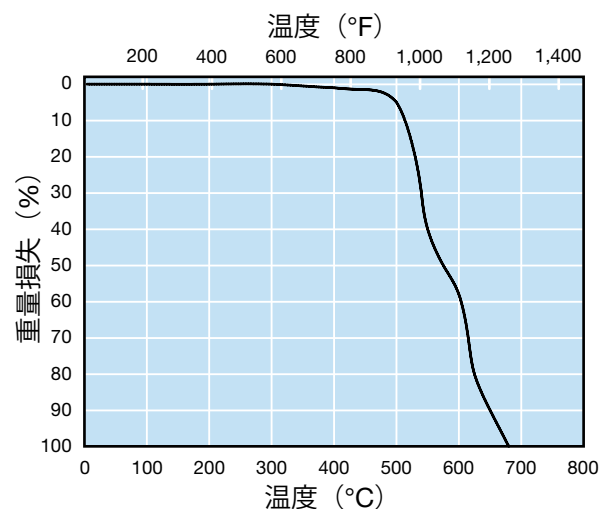


図 36：空気雰囲気中での熱重量分析



熱老化

ポリマーを長期使用できる温度範囲は、その樹脂が持つ熱酸化安定性によって制限されます。高い雰囲気温度に長期間暴露した場合のユーデル ポリサルホンの特性への影響を評価するため、数段階に温度設定したオープンに試験片を入れてエージングを行いました。試験片は定期的に取り出して、室温で引張強さ試験を行いました。

ユーデル P-1700 樹脂の熱老化試験の結果を図 37 に、ユーデル GF-130 の結果を図 38 に示します。

図 37：熱老化後の引張強さ：ユーデル P-1700

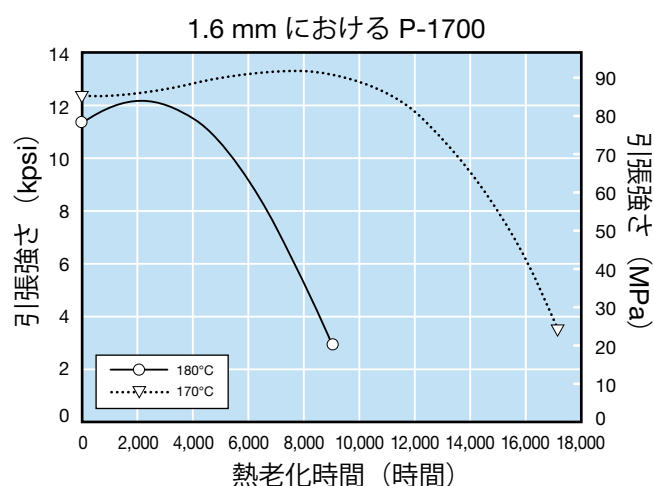
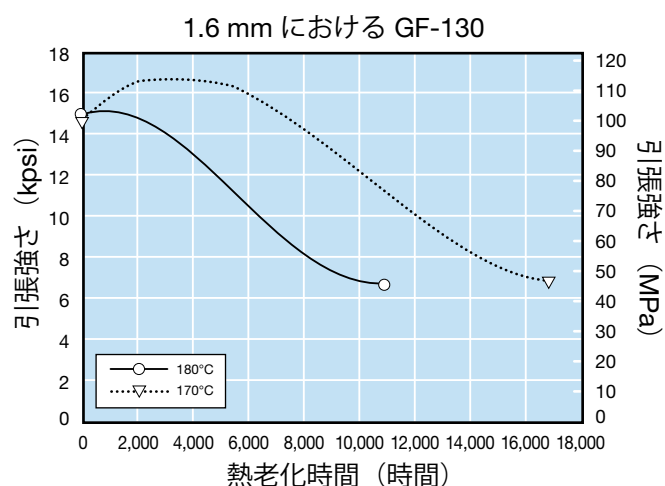


図 38：熱老化後の引張強さ：ユーデル GF-130



UL 相対温度指数

アンダーライタズラボラトリーズ (UL) 規格 746B に準拠した相対温度指数を決定するには、前のセクションに現われたものに類似した熱老化データを使用します。この方法により、100,000 時間その温度条件に暴露された材料がその本来の特性を 50% 以上維持できる温度を決定することができます。この指標温度はしばしば長期間連続使用可能な最高温度であると見なされます。

ユーデル ポリサルホンの主要グレードに対応する相対温度指数 (RTI) を表 16 に示します。最も完全かつ最新の評価情報についてはアンダーライタズラボラトリーズ (UL) の Web サイト <http://data.ul.com/iqlink/index.asp> をご覧ください。

表 16：ユーデル ポリサルホンに適用される UL RTI 分類例

グレード	厚さ、mm	相対温度指数、°C		
		電気特性	機械特性 (衝撃あり)	機械特性 (衝撃なし)
P-1700 ⁽¹⁾	0.51	160	140	160
P-1700 ⁽²⁾	1.5	160	140	160
P-1720 ⁽¹⁾	0.51	160	140	160
P-1720 ⁽²⁾	1.9	160	140	160
P-3500 LCD ⁽¹⁾	0.51	160	140	160
GF-110 ⁽²⁾	1.5	160	140	160
GF-120 ⁽²⁾	1.5	160	140	160
GF-130 ⁽²⁾	1.5	160	140	160

⁽¹⁾ ナチュラルまたは無着色

⁽²⁾ 全色

電気特性

熱可塑性樹脂の多くの用途は、これらの樹脂が電気を絶縁する能力を持つことに依存しています。特定の樹脂が備える絶縁能力の尺度を設計者に提供するため、何通りかの試験方法が開発されています。ユーデル樹脂の電気特性を 6 ページと 7 ページの表 2 と 3 に示します。

絶縁耐力

絶縁耐力は絶縁破壊を起こさずにどの程度の高電圧まで耐えることができるかを示す指標です。この測定では、試験片を電極間に挟み、最終的に絶縁破壊が起こるまで印加電圧を何段階ものステップで上昇させていきます。測定結果は kV/mm 単位で表示されますが、試験片の厚みも結果と無関係ではありません。したがって、異種材料のデータを比較したい場合には試験片の厚みを考慮する必要があります。

体積抵抗率

体積抵抗率は単位立方体の材料の持つ抵抗と定義されます。この試験では材料に 500V の電圧を 1 分間印加して流れる電流を測定します。体積抵抗率の値が大きいほど、その材料は電気絶縁部品として優れた効果を持ちます。

表面抵抗率

ある材料の表面抵抗率とは、試験片の表面に配置した二つの電極間の電気抵抗を意味します。材料に DC 500 V の電圧を 1 分間印加して流れる電流を測定します。ほとんどの場合、表面抵抗率は Ω 、または Ω /面積で表記します。材料の表面だけでなく深さ方向のある程度の部分も電流を流すのに寄与しますが、この厚みを測定することはできません。したがって、表面抵抗率はあくまでも近似的な指標です。

このデータが最も役立つのは、表面漏れ電流が問題となる用途に使用する材料を比較するときです。

誘電率

誘電率とは、コンデンサー内に試験材料を満たした場合と、同じコンデンサー内を真空にした場合の電気容量の比と定義されます。絶縁材料は二つの全く異なる目的に使用されます：(1) 部品相互、または接地ラインとの絶縁と支持部材として、(2) 誘電体として。第一のケースでは低い誘電率を持つ材料が望ましく、第二のケースでは高い誘電率を持つ材料を使用した方が物理的により小さなコンデンサーを実現できます。

誘電正接

誘電正接（損失正接、タンデルタとも呼ばれます）は交流電流が誘電損失（エネルギー散逸）によって熱として散逸する尺度です。一般的に望ましいのは小さな誘電正接です。

アンダーライターズラボラトリーズ（UL）相対温度指数

UL 相対温度指数（RTI）は電気、電子部品を設計する際に考慮すべき項目の一つです。この指数は電気特性というよりは、材料の長期的な熱安定性を示す指標です。このため、UL RTI の評価は 25 ページに示す表 16 の熱特性のセクションに記載されています。

UL 746A 短期特性

ある種の電気特性はアンダーライターズラボラトリーズ（UL）規格 746A にも Standard for Polymeric Materials Short-Term Property Evaluations という表題で含まれており、ほとんどの場合はパフォーマンスレベルカテゴリーとして報告されています。UL はそれぞれの試験ごとに試験結果の範囲と対応するパフォーマンスレベルカテゴリーを明記しています。最も望ましい最高性能に対して PLC（パフォーマンスレベルカテゴリー）は 0 となり、この数値が小さいほど材料の性能が優れていることを示します。ユーデル樹脂が備えるこれらの特性を 28 ページの表 22 に示します。

高電圧低電流耐アーク性（D495）

この試験では、絶縁材料がアークの反復印加に抗し、熱/化学分解、腐食等によって表面に局所的な導電路が発生するのに耐えられる時間を測定します。この試験は主として高電圧動作する交流回路（電流は通常 0.1A 以下）の使用条件を近似的に評価する目的で使用されます。表 17 はアーク抵抗と UL が規定するパフォーマンスレベルカテゴリーとの関係を示します。

表 17：高電圧低電流耐アーク性のパフォーマンスレベルカテゴリー（PLC）

範囲、秒		PLC
$\geq$	$<$	
420		0
360	420	1
300	360	2
240	300	3
180	240	4
120	180	5
60	120	6
0	60	7

耐トラッキング指数 (CTI)

この試験は、試料表面に 50 滴の電解液を 30 秒に 1 滴ずつ滴下しながら電圧を印加したときに材料に永久的な炭化導電路が生ずる電圧を決定します。この試験は絶縁材料のトラッキングへの感受性を示す指標として用いられます。表 18 は耐トラッキング指数と UL が規定するパフォーマンスレベルカテゴリーとの関係を示します。

表 18：耐トラッキング指数のパフォーマンスレベルカテゴリー

範囲、ボルト		PLC
≥	<	
600		0
400	600	1
250	400	2
175	250	3
100	175	4
0	100	5

高電圧アークトラッキング速度 (HVTR)

この試験は、絶縁材料に高電圧、低電流アークを印加したときに、材料表面に目視でわかる炭化導電路が生ずる度合いを評価します。高電圧アークトラッキング速度は、規格化された試験条件下で絶縁材料表面に導電路が成長する速度 (mm/分) を表します。表 19 は高電圧アークトラッキング速度と UL が規定するパフォーマンスレベルカテゴリーとの関係を示します。

表 19：高電圧アークトラッキング速度のパフォーマンスレベルカテゴリー

範囲、mm/分		PLC
>	≤	
0.0	10.0	0
10.0	25.4	1
25.4	80.0	2
80.0	150.0	3
150.0		4

ホットワイヤーイグニッション (HWI)

この試験は、電流を流して加熱したワイヤーをプラスチック材料に接触させたときの着火に至るまでの耐性を測定します。ある種の動作条件、あるいは故障発生時には、部品が非常に高温になることがあります。このような過熱状態にある部品が絶縁材料と密に接触すると絶縁材料が着火する恐れがあります。絶縁材料がこのような条件下で示す相対的な耐着火性を測定するのがこの試験の目的です。表 20 はホットワイヤーイグニッションと UL が規定するパフォーマンスレベルカテゴリーとの関係を示します。

表 20：ホットワイヤーイグニッションのパフォーマンスレベルカテゴリー

範囲、秒		PLC
<	≥	
	120	0
120	60	1
60	30	2
30	15	3
15	7	4
7	0	5

高電流アーク着火性 (HAI)

この試験は、アーク放電による着火に対して絶縁材料が示す耐性を測定します。条件によっては絶縁材料のすぐ近傍でアーク放電が起こる可能性があり、アーク放電の強度と持続時間によっては絶縁材料着火の原因となり得ます。表 21 は高電流アーク着火性と UL が規定するパフォーマンスレベルカテゴリーとの関係を示します。

表 21：高電流アーク着火性のパフォーマンスレベルカテゴリー

範囲、秒		PLC
<	≥	
	120	0
120	60	1
60	30	2
30	15	3
15	0	4

表 22：UL 746A 規格による短期的電気特性

グレード	厚さ、mm	高電圧低電流耐 アーク性 ASTM D495	耐トラッキング 指数 (CTI)	高電圧アーク トラッキング 速度 (HVTR)	ホットワイヤー イグニッション (HWI)	高電流アーク 着火性 (HAI)
		秒 (PLC)	ボルト (PLC)	mm/分 (PLC)	秒 (PLC)	アーク (PLC)
P-1700	1.5	—	—	152 (4)	21 (3)	6 (4)
	3.0	39 (7)	(4)	—	21 (3)	6 (4)
	4.5	—	—	—	63 (1)	14 (4)
	6.0	—	—	—	91 (1)	16 (3)
P-1720	1.9	—	—	279 (4)	12 (4)	14 (4)
	3.0	61 (6)	135 (4)	135 (3)	27 (3)	19 (3)
	6.0	—	—	173 (4)	109 (1)	20 (3)
GF-110/GF-120	1.5	—	—	—	(3)	6 (4)
	3.0	(7)	165 (4)	—	97 (1)	7 (4)
GF -130	0.8	—	—	—	76 (1)	6 (4)
	1.5	—	—	—	98 (1)	6 (4)
	3.0	124 (5)	165 (4)	203 (4)	97 (1)	7 (4)
P-3500 LCD	0.5	—	—	—	—	—
	3.0	—	(4)	66 (2)	35 (2)	—

PLC = パフォーマンスレベルカテゴリー (Performance Level Category)、(0) が最高レベルを表します

耐環境性

耐候性

ポリサルホンは芳香族エーテル骨格を持つため、屋外に暴露しておく化学的な劣化を招く恐れがあります。このため、カーボンブラックを添加して耐候性を向上させることができます。

ポリサルホンを屋外暴露が伴う用途に適用する場合は、個々の用途ごとに暴露条件や必要とされる物質特性を考慮しなければなりません。直射日光に曝される場合には、表面を塗装やコーティングで保護してポリサルホンの特性を維持するの一つの方法です。特殊な耐候性を要求される用途については技術担当者へお問い合わせください。

耐加水分解性

耐加水分解性は加水分解への耐性、つまり水、特に熱水による劣化に耐える能力と定義されます。したがって、耐加水分解性は広い意味での耐薬品性の具体例でもあります。水はどこにでも存在し、しかも多くのポリマーを劣化させますから耐加水分解性は重要です。

温水への長期間暴露

ユーデル ポリサルホンを温水を流す配管に使用することを想定し、温水への長期間暴露が樹脂の物理・機械特性にどのような影響を与えるのかを評価しました。家庭内の水道システムで流水の最高温度はほとんどの場合 60℃ 以下ですが、熱水による加速効果を調べるために 90℃ で試験も行いました。多くの化学反応は温度が 10℃ 上がるごとに反応速度が 2 倍になりますから、予期される最高温度よりもさらに 30℃ 高い温度を使用することにより試験は 8 倍加速されることになります。

試験手順

ASTM D638 (タイプ I) が規定する引張り試験片と ASTM D790 が規定する曲げ試験片を対象として試験を実施しました。これらの試験片は公称厚み 3.2 mm を持ち、標準的な方法で射出成形されたものです。また、機械による衝撃試験用に 102 mm x 102 mm x 3.2 mm の平板も射出成形で作成しました。ゲージ領域の中央にウェルドラインを持つ試験片を、両端にゲートをもつ ASTM D638 タイプ I 引張り試験片用金型を用いて作成しました。

試料は、ステンレスメッシュトレイの上に層ごとに平積にしたものを一定温度の水槽に入れました。浸漬する水は Alpharetta (ジョージア州) の一般水道水を使用しました。加熱後の水が塩素を含まないことを確認してあります。

試験片を定期的に水槽から抜き出し、濡れたままの状態試験を行いました。試験は以下の ASTM に従い室温で実施しました。

- | | |
|-------------------|-------|
| • 引張強さ、引張弾性率および伸び | D638 |
| • 曲げ強さと曲げ弾性率 | D790 |
| • ウェルド引張強さと伸び | D638 |
| • ノッチ付アイゾット衝撃強さ | D256 |
| • 引張衝撃 | D1822 |
| • 機械による衝撃試験エネルギー | D3763 |

試験結果

ユーデル ポリサルホン材料は優れた引張強さ保持率を示します。ユーデル P-1700 NT とユーデル GF-120 NT の引張り強さ保持率を図 39 に示します。

図 40 から分かるとおり、ユーデル P-1700 NT の破断時引張り伸びは暴露試験の初期に大きく減少しますが、それ以降の試験期間を通して僅かの変化しか示しません。初期の大きな減少は延性のある非晶性プラスチックに典型的な性質であり、材料の物理的なアニーリングや緩和と考えられます。

図 39：熱水（90℃）浸漬後の引張強さ

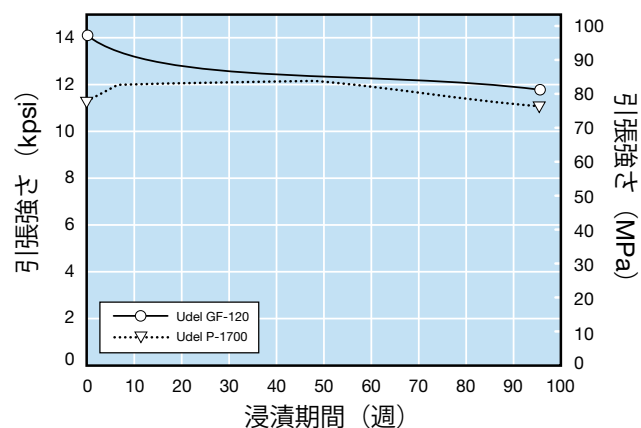
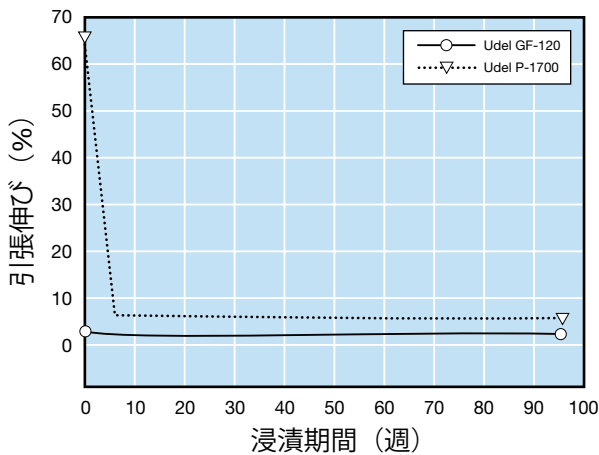
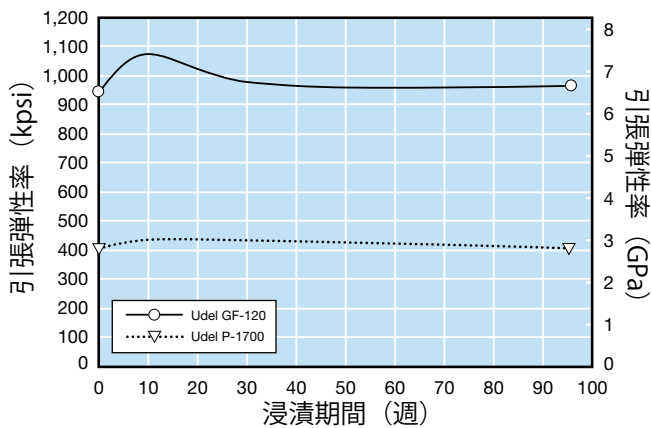


図 40：熱水（90℃）浸漬後の引張伸び



温水への暴露がこれらの樹脂の引張弾性率に及ぼす影響を図 41 に示します。約 2 年間に及ぶ温水への暴露によっても弾性率はほとんど変わっていません。試験片の剛性は実質的に暴露前の状態と変わりません。

図 41：熱水（90℃）浸漬後の引張弾性率



温水暴露の衝撃強さへの影響はノッチ付きアイゾット法で測定しました。その結果を図 42 に示します。暴露の初期段階でわずかの低下が見られますが、それ以後はほとんど変化しなくなります。約 2 年間の暴露試験後も初期値の約 80% の衝撃強さを維持しています。

ユーデル ポリサルホンのウェルド強度も図 43 に示すように優れており、温水への長期間暴露が樹脂にほとんど影響を与えていないことを示しています。

図 42：熱水（90℃）浸漬後のノッチ付きアイゾット衝撃強さ

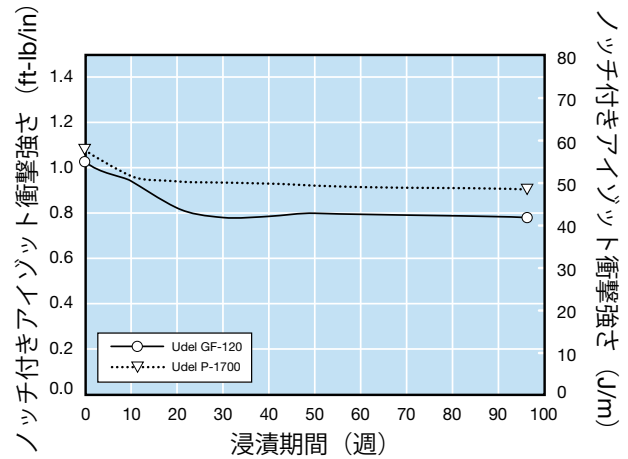
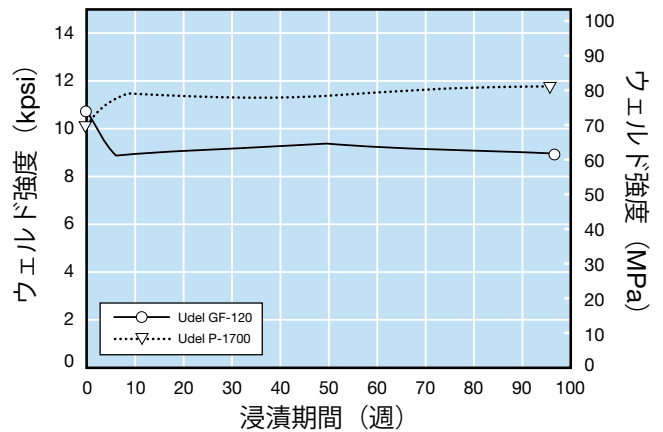


図 43：熱水（90℃）浸漬後のウェルド強度



温塩素水

水道システム中の残留塩素は、特に高温域では酸化環境を作り出すため、単に温水への耐性を持つだけでは不十分です。多くのプラスチックは酸化と酸化剤からの影響を受けるため、ある種のプラスチックから作られた部材は酸化環境中で耐用寿命が著しく短くなります。

米国におけるほとんどの水道システムが含む遊離塩素濃度は、蛇口から取り出す段階で 0.5～2 ppm 程度であり、この塩素添加には次亜塩素酸塩やクロルアミンが使用されます。

様々な研究によって、ユーデル ポリサルホンが温塩素水に優れた耐性を示すことが実証されています。最高 30 ppm までの塩素を含む静水（60℃）に 6 ヶ月間浸漬して試験を行いました。表 23 から分かるとおり、ユーデル ポリサルホンは明らかな重量減少を起こしませんでした。

また、5 ppm の塩素を含む 90℃ の温水での 2 ヶ月間の流水試験も行いました。表 24 が示すように、ユーデル ポリサルホンはこの試験においても明らかな重量減少を起こしませんでした。

表 23：塩素水への浸漬による重量変化

材料	塩素含量、ppm			
	0	10	20	30
ユーデル ポリサルホン	-0.02	-0.02	0.09	0.05
ポリアセタール	-0.15	-2.96	-4.57	-5.47
塩素化 PVC	-0.64	-0.56	-0.04	0.08
60℃ の水に 6 ヶ月浸漬した後の重量変化（％）				

表 24：塩素を含む流水への浸漬による重量変化

材料	塩素含量、ppm	
	0	5
ユーデル ポリサルホン（非強化）	0.0	0.1
ユーデル ポリサルホン（20% ガラス繊維強化）	0.0	0.0
塩素化 PVC	-0.6	1.2
90℃ の水に 2 ヶ月浸漬した後の重量変化（％）		

蒸気滅菌

医療器具の滅菌にはスチームオートクレーブが広く使用されています。ポリサルホンが医療器具に使用される場合、蒸気滅菌への耐性を持つことが要求されます。

蒸気滅菌への耐性を評価するため、127 mm x 13 mm x 3 mm の射出成形試験片をスチームオートクレーブに入れて滅菌処理を行いました。試験サイクルは全部で 45 分間続き、その内の 30 分は蒸気圧 0.18 MPa と温度 132℃ に保たれ、続く 15 分間は大気圧に保たれました。その後、オートクレーブは次のサイクルに備えて 0.18 MPa まで再加圧されました。設定サイクル数を終了した後、試験片をオートクレーブから取り出して室温まで冷やし標準的な調整を行った後、適切な ASTM 試験方法で引張強さ、アイゾット衝撃、および引張衝撃試験を行いました。

試験結果を表 25 に示します。

表 25：スチームオートクレーブ処理後の特性保持

特性	スチームオートクレーブ処理、サイクル		
	0	50	100
引張強さ			
MPa	74	87	88
ノッチ付アイゾット衝撃強さ			
J/m	53	48	43
引張衝撃			
kJ/m ²	347	276	248

耐放射線性

ユーデル P-1700 の射出成形試験片に 50、75、100 kGy のガンマ線を照射しました。暴露後の試験片について特性を測定し、その結果を放射線暴露していない試験片と比較しました。暴露後の特性値を非暴露試料の値で割り、それに 100 を掛けて特性値保持率（%）を計算しました。

表 26 に示すとおり、機械特性については実質的にガンマ放射線照射による変化は認められませんでした、一部で色の黒ずみが起こりました。

ガンマ線照射量*, kGy	特性保持率、%		
	引張強さ	引張弾性率	アイゾット
			衝撃
50	99	100	96
75	99	94	93
100	98	100	98
*1 megarad = 10 kGy			

耐薬品性（応力なし）

ポリサルホン樹脂はほとんどの水性系薬品、アルカリ、無機酸に対して優れた耐薬品性を示します。

その他、脂肪族炭化水素や洗剤、石鹼、ある種のアルコール等に対しても良好な耐性を示します。ポリサルホン製品を溶かしたり、応力割れを発生させることが知られている試薬としては、塩素化炭化水素、芳香族、およびケトンやエーテルなどの含酸素溶媒などがあります。ガラス繊維を 10～30% のレベルで充填することにより、より過酷な化学環境においても大幅な耐性向上を図ることができます。

ポリサルホンの耐薬品性の一般的な指標となるデータを表 27 に示します。また、試験片を室温で各種媒体に 7 日間浸漬するという手法を用いた耐薬品性評価も行いました。7 日経過後の試験片を取り出して重量測定と検査を行いました。試験結果を表 28 に示します。

過酷な環境に置かれたポリサルホンが示す耐性は次の項目に依存します：（1）薬品がポリサルホンに対して持つ溶解性の程度；非溶媒、貧溶媒、良溶媒（2）あらゆる要因に起因する部品にかかる応力。

最高の耐薬品性を発揮させるためには、射出成形から後処理に至る工程全体を通して製品に残る応力を出来る限り小さくする必要があります。場合によっては、残留応力を解放するためにアニーリングが有効なことがあります。アニーリングがもたらす得失については 66 ページに解説があります。

表 27：ポリサルホンの耐薬品性を示す一般指標			
化合物グループ	例	格付け*	
		非強化グレード	ガラス繊維強化グレード
脂肪族炭化水素	n-ブタン、イソオクタン	E	E
芳香族炭化水素	ベンゼン、トルエン	A	G
アルコール	エタノール、イソプロパノール	E	E
ケトン	アセトン、メチルエチルケトン	A	A
エステル	酢酸エチル	A	A
塩素化炭化水素	1,1,1 トリクロロエタン、クロロホルム	A	A
酸化作用のない酸	硫酸（20%）、酢酸（20%）	E	E
塩基	水酸化ナトリウム、水酸化カリウム	E	G
*格付け			
E = 優：変化なし			
G = 良：僅かながら影響あり。顕著な特性変化は認められない			
A = 変化：破壊または溶解			

表 28：ユーデル P-1700 の耐薬品性（室温で1 週間の浸漬試験）

試薬	濃度、%	重量変化、%	コメント
有機化合物			
アセトン／水	5	0.55	変化なし
酢酸	20	-0.52	変化なし
ブタノール	100	-0.83	変化なし
四塩化炭素	100	0.24	変化なし
クエン酸	40	0.41	変化なし
シクロヘキサン	100	0.22	変化なし
ジエチレングリコール モノエチルエーテル	100	0.13	変化なし
エタノール	100	0.08	変化なし
酢酸エチル	100	27.44	軟化、膨潤
ギ酸	10	0.96	変化なし
グリセリン	100	-0.15	変化なし
オレイン酸	100	0.07	変化なし
シュウ酸	20	0.45	変化なし
1,1,1 トリクロロエタン	100	1.03	変化なし
無機化合物			
クロム酸	12	0.28	変化なし
塩化カルシウム	飽和	0.01	変化なし
塩酸	20	0.40	変化なし
フッ化水素酸	50	2.02	変化なし
過酸化水素	100	0.51	変化なし
硝酸	20	0.43	変化なし
硝酸	40	0.33	変化なし
硝酸	71	3.76	侵される、退色
リン酸	100	-0.25	変化なし
水酸化カリウム	20	0.29	変化なし
水酸化カリウム	35	0.13	変化なし
硫酸	40	0.19	軽度の黒ずみ
機能流体			
ブレーキ用流体	100	-0.04	変化なし
ディーゼル燃料	100	0.00	変化なし
ガソリン	100	0.05	変化なし
油圧オイル	100	0.35	変化なし
ジェット燃料 JP-4	100	0.05	変化なし
灯油	100	0.19	変化なし
潤滑オイル	100	0.01	変化なし
トランスミッションオイル	100	0.01	変化なし

耐応力割れ性

環境条件に起因する応力割れに対するユーデル樹脂の耐性を評価するため、長さ 127 mm、幅 13 mm、厚さ 3.2 mm の試験片を定ひずみ治具にクランプしました。治具が湾曲していることにより、試験片にひずみが発生します。それぞれの材料が持つ引張弾性率から計算した応力の値を表 29 に示します。治具に固定された試験片の中央部に薬品を塗布し、その状態で 24 時間経過後の試験片への影響を調査しました。次に説明する耐環境応力割れの表中で使用する評価の定義を表 30 に示します。

環境応力割れに対して重要な影響を及ぼす変数として、温度、応力、時間、および薬品が挙げられます。時間と温度、および応力を変化させて薬品による応力割れ発生を調べると、現象は通常次のように一般化することができます。応力が低い範囲では割れが全く発生しないことがあり、発生する場合でも通常は長い暴露時間が必要です。温度が高くなるにつれ、一般的に割れ発生までの暴露時間が短くなります。樹脂に対して不活性な溶媒で薬品を希釈すると、通常は応力割れの発生を減少、もしくは根絶することができます（薬品と希釈液の性質に依存します）。

部品設計の観点からは、その部品が置かれる化学的環境（特に応力が発生する場合）を考慮に入れることが重要です。

表 29：応力を加えた ESCR 試験片のひずみ計算値

グレード	弾性率, GPa	応力, MPa		
		ひずみ、0.28%	ひずみ、0.56%	ひずみ、1.12%
P-1700	2.48	6.9	13.9	27.5
GF-110	3.65	10.2	20.7	40.5
GF-120	5.17	14.5	28.9	57.4
GF-130	7.38	20.7	41.3	81.9

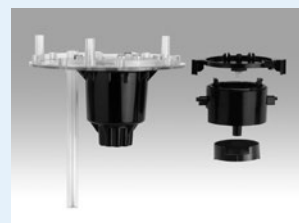
表 30：環境応力によるクラック発生の各表で使用するシンボル

シンボル	定義
OK	外見上の変化、軟化、退色いずれもなし
D	溶解、溶媒和、軟化、膨潤の徴候あり
C	クレージング
R	破壊



コーヒーマーカーの部品

Keurig Premium Coffee Systems™ が独自に特許を取得したコーヒーマーカーシステムの製造にユーデル P-1700 が役立ちました。内部コンポーネント（加熱タンクの蓋、計量カップ、合わせ蓋、ファンネル、K カップホルダなど）



にユーデル樹脂を使用することにより、長時間の高温での使用と、無機酸やアルカリ、塩など水道水に含まれる不純物からの析出物の蓄積にも耐える優れた部品を作ることができました。

表 31：有機薬品に 24 時間浸漬後の環境応力割れへの耐性

試薬	濃度、%	温度	ユーデル樹脂 グレード	ひずみ、%			
		℃		0	0.28	0.56	1.12
アセトン	100	23	P-1700	R	R	R	R
			GF -110	D	D	D	R
			GF -120	D	D	D	R
			GF -130	D	D	D	R
2-エトキシエタノール	100	23	P-1700	OK	C	C	C
			GF -110	OK	OK	OK	C
			GF -120	OK	OK	OK	C
			GF -130	OK	OK	OK	OK
酢酸エチル	100	23	P-1700	R	R	R	R
			GF -110	D	D	D	R
			GF -120	D	D	D	R
			GF -130	D	D	D	R
イソプロパノール	100	23	P-1700	OK	OK	OK	C
			GF -110	OK	OK	OK	C
			GF -120	OK	OK	OK	C
			GF -130	OK	OK	OK	C
メタノール	100	23	P-1700	OK	OK	OK	C
			GF -110	OK	OK	OK	OK
			GF -120	OK	OK	OK	OK
			GF -130	OK	OK	OK	OK
塩化メチレン	100	23	P-1700	D	D	D	D
			GF -110	D	D	D	D
			GF -120	D	D	D	D
			GF -130	D	D	D	D
メチルエチルケトン	100	23	P-1700	D	D	D	D
			GF -110	D	D	D	D
			GF -120	D	D	D	D
			GF -130	D	D	D	D
1,1,1 トリクロロエタン	100	23	P-1700	OK	R	R	R
			GF -110	OK	C	C	R
			GF -120	OK	OK	R	R
			GF -130	OK	OK	C	R
トルエン	100	23	P-1700	D	D	D	D
			GF -110	D	D	D	D
			GF -120	D	D	D	D
			GF -130	D	D	D	D

表 32：無機薬品に 24 時間浸漬後の環境応力割れへの耐性

試薬	濃度、%	温度	ユーデル樹脂 グレード	ひずみ、%			
		℃		0	0.28	0.56	1.12
塩酸	20	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
			GF -110	OK	OK	OK	OK
			GF -120	OK	OK	OK	OK
			GF -130	OK	OK	OK	OK
	100	100	P-1700	OK	OK	OK	OK
			GF -110	OK	OK	OK	OK
			GF -120	OK	OK	OK	OK
			GF -130	OK	OK	OK	OK
水酸化ナトリウム	20	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
			GF -110	OK	OK	OK	OK
			GF -120	OK	OK	OK	OK
			GF -130	OK	OK	OK	OK
	100	100	P-1700	OK	OK	OK	C
			GF -110	OK	OK	OK	C
			GF -120	OK	OK	C	C
			GF -130	OK	OK	C	C
次亜塩素酸ナトリウム (家庭用漂白剤)	5.25	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
			GF -110	OK	OK	OK	OK
			GF -120	OK	OK	OK	OK
			GF -130	OK	OK	OK	OK
	100	100	P-1700	OK	OK	OK	OK
			GF -110	OK	OK	OK	OK
			GF -120	OK	OK	OK	OK
			GF -130	OK	OK	OK	OK
硫酸	50	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
			GF -110	OK	OK	OK	OK
			GF -120	OK	OK	OK	OK
			GF -130	OK	OK	OK	OK
	100	100	P-1700	OK	OK	OK	C
			GF -110	OK	OK	OK	C
			GF -120	OK	OK	OK	R
			GF -130	OK	OK	OK	R

表 33：自動車用流体に 24 時間浸漬後の環境応力割れへの耐性

試薬	濃度、%	温度	ユーデル樹脂 グレード	ひずみ、%			
		℃		0	0.28	0.56	1.12
不凍液（グリコールタイプ）	50	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
			GF-110	OK	OK	OK	OK
			GF-120	OK	OK	OK	OK
			GF-130	OK	OK	OK	OK
		100	P-1700	OK	OK	OK	R
			GF-110	OK	OK	OK	OK
			GF-120	OK	OK	OK	R
			GF-130	OK	OK	OK	R
	100	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
			GF-110	OK	OK	OK	OK
			GF-120	OK	OK	OK	OK
			GF-130	OK	OK	OK	OK
		100	P-1700	OK	OK	OK	R
			GF-110	OK	OK	OK	OK
			GF-120	OK	OK	OK	R
			GF-130	OK	OK	OK	R
無鉛ガソリン	100	23	P-1700	OK	R	R	R
			GF-110	OK	OK	OK	C
			GF-120	OK	OK	OK	R
			GF-130	OK	OK	OK	C
モーターオイル、10W40	100	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
			GF-110	OK	OK	OK	OK
			GF-120	OK	OK	OK	OK
			GF-130	OK	OK	OK	OK
		100	P-1700	OK	OK	OK	R
			GF-110	OK	OK	OK	OK
			GF-120	OK	OK	OK	OK
			GF-130	OK	OK	OK	OK
パワーステアリングオイル	100	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
			GF-110	OK	OK	OK	OK
			GF-120	OK	OK	OK	OK
			GF-130	OK	OK	OK	OK
		100	P-1700	OK	OK	OK	OK
			GF-110	OK	OK	OK	OK
			GF-120	OK	OK	OK	OK
			GF-130	OK	OK	OK	OK
トランスミッション流体（ATF）	100	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
			GF-110	OK	OK	OK	OK
			GF-120	OK	OK	OK	OK
			GF-130	OK	OK	OK	OK
		100	P-1700	OK	OK	R	R
			GF-110	OK	OK	OK	OK
			GF-120	OK	OK	OK	R
			GF-130	OK	OK	OK	R
ワイパー洗浄剤（濃縮）	100	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
			GF-110	OK	OK	OK	OK
			GF-120	OK	OK	OK	OK
			GF-130	OK	OK	OK	OK
		100	P-1700	OK	OK	OK	C
			GF-110	OK	OK	OK	OK
			GF-120	OK	OK	OK	R
			GF-130	OK	OK	OK	R

表 34：食品に 24 時間浸漬後の環境応力割れへの耐性

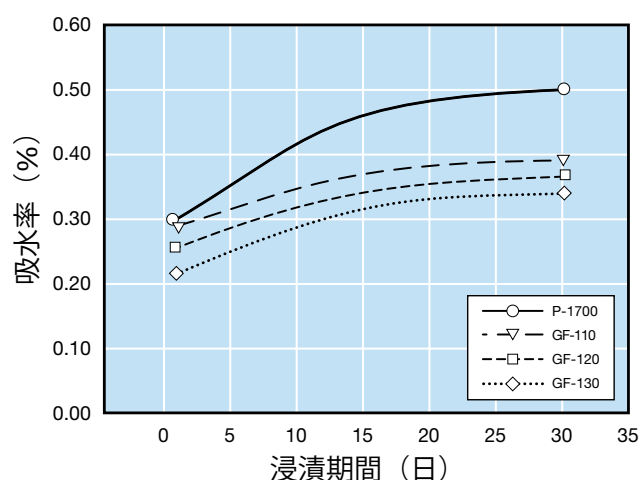
試薬	濃度、%	温度	ユーデル樹脂 グレード	ひずみ、%			
		°C		0	0.28	0.56	1.12
バター	100	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
			GF-110	OK	OK	OK	OK
			GF-120	OK	OK	OK	OK
			GF-130	OK	OK	OK	OK
		150	P-1700	OK	OK	R	R
			GF-110	OK	OK	OK	OK
			GF-120	OK	OK	OK	R
			GF-130	OK	OK	OK	R
コーンオイル	100	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
			GF-110	OK	OK	OK	OK
			GF-120	OK	OK	OK	OK
			GF-130	OK	OK	OK	OK
		150	P-1700	OK	OK	R	R
			GF-110	OK	OK	OK	OK
			GF-120	OK	OK	OK	R
			GF-130	OK	OK	OK	R
マーガリン	100	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
			GF-110	OK	OK	OK	OK
			GF-120	OK	OK	OK	OK
			GF-130	OK	OK	OK	OK
		150	P-1700	OK	OK	R	R
			GF-110	OK	OK	OK	C
			GF-120	OK	OK	OK	R
			GF-130	OK	OK	OK	R
牛乳	100	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
			GF-110	OK	OK	OK	OK
			GF-120	OK	OK	OK	OK
			GF-130	OK	OK	OK	OK
		150	P-1700	OK	OK	OK	OK
			GF-110	OK	OK	OK	OK
			GF-120	OK	OK	OK	OK
			GF-130	OK	OK	OK	OK
オリーブオイル	100	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
			GF-110	OK	OK	OK	OK
			GF-120	OK	OK	OK	OK
			GF-130	OK	OK	OK	OK
		150	P-1700	OK	OK	OK	R
			GF-110	OK	OK	OK	OK
			GF-120	OK	OK	OK	R
			GF-130	OK	OK	OK	R
ピーナッツオイル	100	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
			GF-110	OK	OK	OK	OK
			GF-120	OK	OK	OK	OK
			GF-130	OK	OK	OK	OK
		150	P-1700	OK	OK	R	R
			GF-110	OK	OK	OK	R
			GF-120	OK	OK	OK	R
			GF-130	OK	OK	OK	R
植物性オイル	100	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
			GF-110	OK	OK	OK	OK
			GF-120	OK	OK	OK	OK
			GF-130	OK	OK	OK	OK
		150	P-1700	R	R	R	R
			GF-110	OK	OK	OK	C
			GF-120	OK	OK	OK	R
			GF-130	OK	OK	OK	R

物理特性

吸水

ASTM D 570 に従ってユーデル ポリサルホン樹脂を室温で水に浸漬し、吸水を測定した結果を図 44 に示します。このグラフは、非強化ポリサルホンの吸水が 0.6 重量パーセント以下であり、ガラス繊維強化グレードではさらに少ないことを示しています。吸水に伴う寸法の変動は非常に小さく、ほとんどの用途では無視することができます。

図 44：ユーデル ポリサルホンの吸水率



耐摩耗性

ユーデル ポリサルホンは高温域でも優れた強度と剛性を保持し、良好な長期耐熱性と寸法安定性、および酸／アルカリ環境下での優れた耐性を兼ね備えています。これらの特性と成形時の収縮が異方性を持たないことから、ユーデル ポリサルホンは精密部品の製造に最適な材料です。

摺動速度と荷重に対する要求が低い用途では、ユーデル樹脂の標準グレード（P-1700、GF-120 など）が十分小さな摩擦係数を持ち摩耗を抑えることができます。しかし、用途が大きな荷重と摺動速度を要求する場合には、材料の改質によって摩擦特性を改良しなければならないことがあります。

添加剤を加えることによってユーデル ポリサルホンの摩擦特性を大幅に改善することが可能です。有効性が確認されている添加剤としては、強化用繊維、ある種の粉体充填剤、フッ素樹脂、シリコンオイル、樹脂などがあります。これらの添加剤を加えることにより、摩耗係数と摩擦係数を大幅に減少させ、ユーデル ポリサルホンコンパウンドでの圧力-速度限界値（PV 値）を大きくすることが可能になります。多くのコンパウンドメーカーがユーデル ポリサルホンでこれらの添加剤を組み込んだコンパウンドを提供しています。

摩耗抵抗

ユーデル P-1700 を対象として、テーバー摩耗試験機（CS-17 ホイール装着）を用いて 1 kg の負荷をかけ、1000 サイクルの試験を行いました。この試験による全重量損失は 20 mg でした。

透過度

ASTM D1434 の規定に従い、ユーデル ポリサルホンの各種ガスの透過性を測定しました。この試験は温度と圧力の標準条件下で行いました。試験結果を表 35 に示します。

表 35：ユーデル ポリサルホンの各種ガス透過度

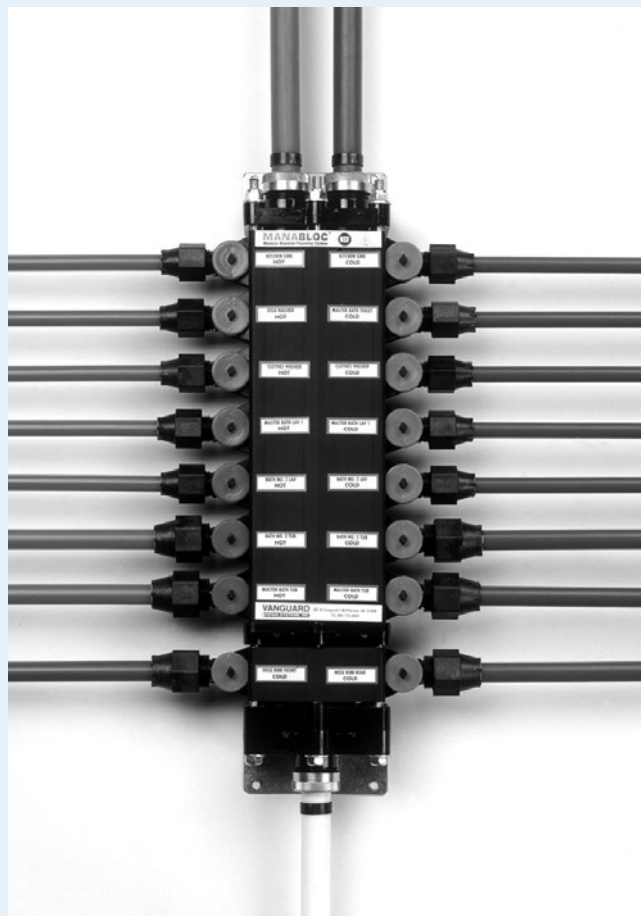
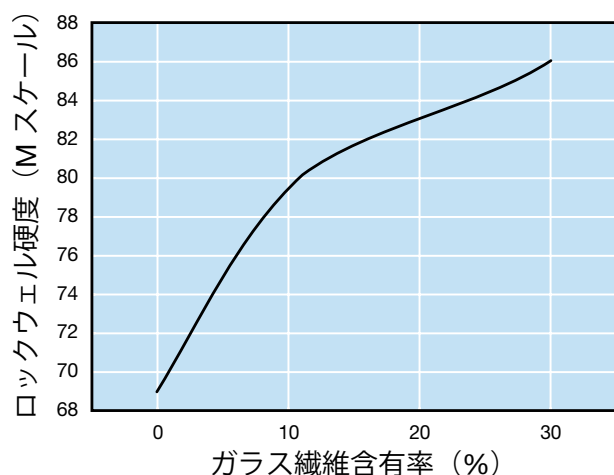
ガス		透過度	
		cc · mil	mm ³ · m
		100in ² · 日 · atm	m ² · MPa · 日
アンモニア	NH ₃	1,070	4,160
二酸化炭素	CO ₂	950	3,690
ヘリウム	He	1,960	7,620
水素	H ₂	1,800	6,990
メタン	CH ₄	38	146
窒素	N ₂	40	155
酸素	O ₂	230	894
六フッ化硫黄	SF ₆	2	7

ロックウェル硬度

ユーデル ポリサルホンのロックウェル硬度を決定するため、ASTM D785 の手順 A に従って直径 6.35 mm の圧子を用い、試験荷重を 100 kg、基準荷重を 10 kg として測定を行いました。この試験は、特定の直径の鋼球を指定した時間、特定の荷重条件で材料表面に押し付けることにより、材料への圧痕を調べるものです。この試験では、まず基準荷重を 10 秒間負荷し、それに続いて試験荷重を 15 秒間負荷後の圧痕の深さを測定します。15 秒が経過してから試験荷重を取り除いて圧痕の測定を行います。硬度の値は、圧痕測定値を 150 から引き算することによって計算します。したがって、同じ基準で測定した場合にはロックウェル硬度の値が大きいほど圧痕が小さいことになります。

ガラス繊維強化をしたポリサルホンと非強化ポリサルホン両方のロックウェル硬度を図 45 に示します。予期されるとおり、ガラス繊維強化によって圧痕が小さく、ロックウェル硬度の値が大きくなっています。

図 45：ロックウェル硬度、M スケール



配水マニホールド

Vanguard Piping Systems Inc.は、同社独自の Manabloc® 配水システム用の材料としてユーデル ポリサルホンを選択しました。ユーデル樹脂の特徴である小さなクリープが、このマニホールドの設計で非常に重要な役割を果たします。この特性により O リングに十分な圧縮力が働き、製品寿命期間を通してモジュールセクション間の十分な密封性を保持します。

設計上重要なそれ以外の要素としては、居住地区の水配管システムが使用される典型的な温度範囲で塩素を含む水圧に長期間耐えること、および飲料水との接触を規定した NSF/ANSI 規格 61 に適合していることなどです。

光学特性

自然状態におけるユーデル ポリサルホンはやや黄色味を帯びた透明な材料です。曇価が小さく、比較的大きな光透過性を持っています。三種類の異なる厚みのユーデル ポリサルホンについての典型的な光透過曲線を図 46 に示します。

ユーデル ポリサルホンの透明性は、それ以外の優れたエンジニアリング特性とあいまって、この樹脂に多くの応用分野をもたらします。例えばコーヒードカンターやプロセス機器ののぞき窓、宇宙服のフェイスシールドなどへの応用などが考えられます。ユーデル ポリサルホンの光学特性のいくつかの項目を表 36 に示します。優れた透明性を持つことに加えて、ポリサルホンの一つの特徴は屈折率が大きいことです。屈折率が大きければ、例えば現在市場で広く用いられているポリカーボネートやアクリル樹脂などの透明なポリマーと比較して、より薄く分解能の高いレンズを作ることができることから、レンズへの応用などで大きな利点となります。

ポリマーの屈折率の入射光波長に対する依存性を定量的に把握するには、分散とアップベ値を使用します。通常この特性値は、可視光スペクトルに含まれる三つの特性波長（F、D、C 線と呼ばれます）における屈折率を測定することによって得られます。これら三種類の特性線の波長はそれぞれ 486.1 nm、589.3 nm、および 656.3 nm です。表 37 に示されたデータは、アップベ屈折計を用いた全内部反射測定法によりこれら三波長における屈折率（ n ）を測定して得られたものです。得られた三種類の屈折率の値から、分散、アップベ値（アップベの V 値としても知られています）、および屈折率-波長プロットの勾配が計算されました。

表 36：ユーデル P-1700 NT11 の光学特性

項目	ASTM	厚さ、mm		
		1.78	2.62	3.33
光透過率	D 1003	86	85	84
曇価 (%)	D 1003	1.5	2.0	2.5
イエローインデックス	D1925	7.0	10	13

図 46：ユーデル P-1700 NT11 光透過率の材料厚さと波長依存性

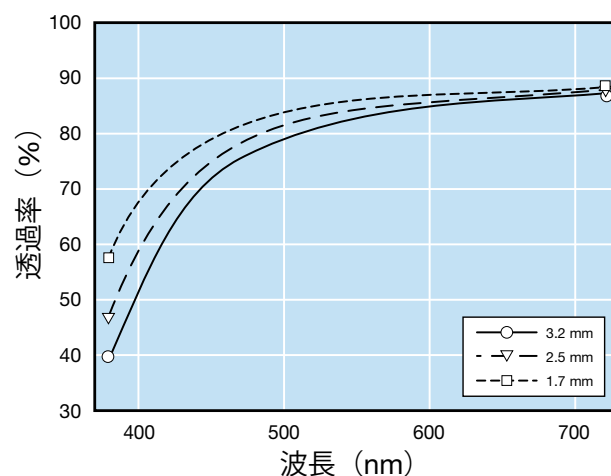
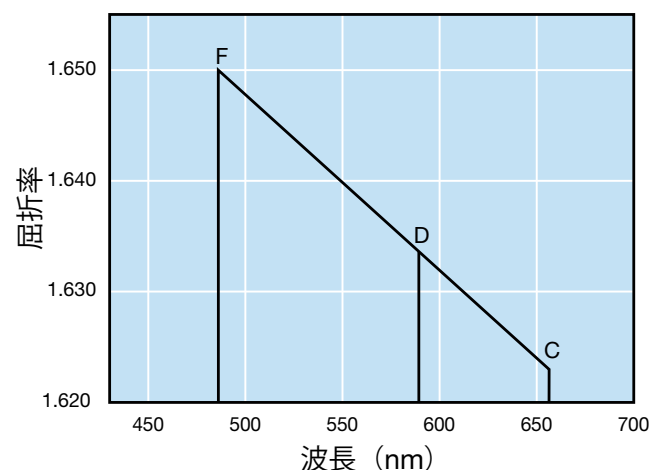


表 37：波長に依存するユーデル P-1700 NT11 の特性

項目	公式	値
分散	$n_F - n_C$	0.027
アップベ値	$\frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$	23.3
勾配	$\frac{n_F - n_C}{C - F}$	-1.6×10^{-4}

図 47：ユーデル P-1700 NT11 屈折率の波長による変動



設計情報

ポリサルホンを使用して製造する部品の設計に適用される指針は他の熱可塑性樹脂の場合とよく似ています。良い設計は単により良い製品を作り出すばかりでなく、製造も容易であり、多くの場合コストの低下にもつながります。プラスチック部品設計の目的は、材料の使用量を最低限に抑えながら物理的強度と変形への要求に応えることであり、その際同時に組み立てによる応力や温度変化、加工の難易、および環境的要素を考慮しなければなりません。

機構設計

古典的な応力とたわみの式が部品設計の基礎になります。ユーデル樹脂に適用する機構設計計算は基本的に他の工業材料の場合と同様ですが、違うのはポリマーの持つ粘弾性を反映した物理定数を使用しなければならないことです。材料の特性はひずみ速度や温度、化学的な環境条件によって変化します。したがって、弾性率などの物理定数は予想される使用条件に適したものである必要があります。

例えば、長期間の連続的な負荷に耐えなければならない使用条件の場合は、短期的な弾性率ではなく見掛けの弾性率、またはクリープ弾性率を使用しなければなりません。長期間に渡り周期的に負荷が加えられる場合には、設計時に想定した疲労強さが制限要因になります。

応力レベル

設計解析の最初のステップは、その部品が曝される荷重を決定し、それによって生ずる応力と変形、すなわちひずみを計算することです。荷重は外部から負荷されるものばかりでなく、部品自体が温度変化や組み立てによって変形することによっても発生します。

例えば、滅菌トレイの上にかかる医療装置の重量などが外部から負荷される例です。変形荷重は例えばスイッチのハウジングをベースプレートにボルト止めしたとき、あるいは組み立て後の温度上昇のためにプラスチック部品がボルト止めした金属部品以上の熱膨張を起こしたときなどに発生します。

応力-ひずみ計算

古典的な計算式を使用するためには、次の仮定を入れて考え方を単純化する必要があります。

1. 部品は1個以上の単純な構造として解析できるものとする。
2. 材料は線形弾性体、かつ等方性である。
3. 負荷は1点に集中しているか、または分布した静負荷が短時間だけ徐々に加えられる。
4. 部品は残留応力／成形による応力を持たない。

曲げ応力

ビーム曲げモデルを使用して様々な部品を解析することができます。何種類かの梁について最大応力とたわみを計算する式を表38に示します。最大応力は梁の中立面から最も離れた表面で起こり、次の式で表現されます。

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{M}{Z}$$

ここに、

M = 曲げモーメント、m.kg

c = 中立軸からの距離、mm

I = 慣性モーメント、mm⁴

Z = $\frac{I}{C}$ = 断面係数、mm³

表39は一般的な何種類かの断面についての断面積 (A)、慣性モーメント (I)、中立軸からの距離 (C)、および断面係数 (Z) を示します。

引張応力

応力-ひずみ曲線の弾性域に属するひずみはフックの法則による負荷応力と関係付けられます。フックの法則は次の式で表現されます。

$$\sigma = \epsilon E$$

ここに、

σ = 引張応力

E = 弾性係数

ϵ = 伸び、またはひずみ

引張応力は次のように定義されます。

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

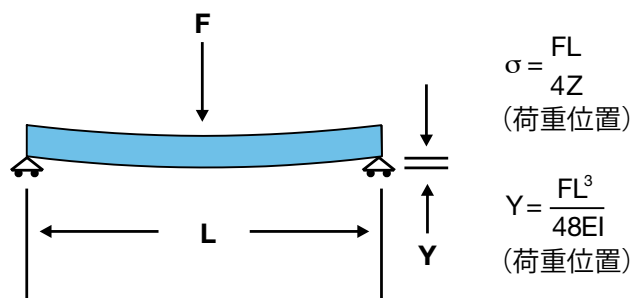
ここに、

F = 全荷重

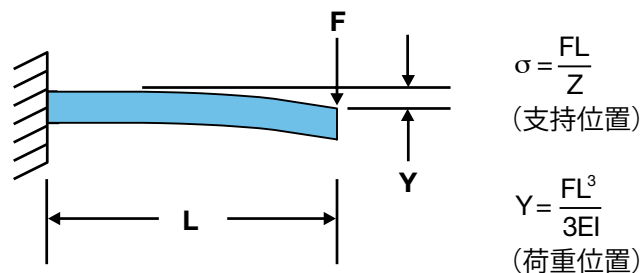
A = 断面積

表 38：最大応力とたわみを表す式

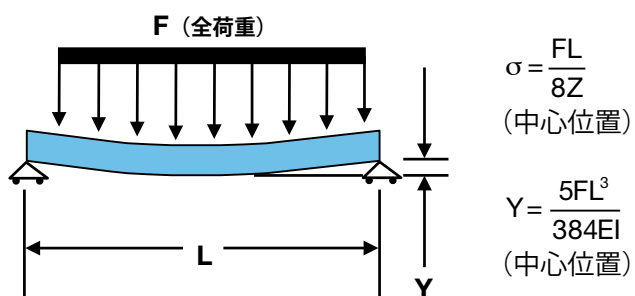
単純支持梁中心集中荷重



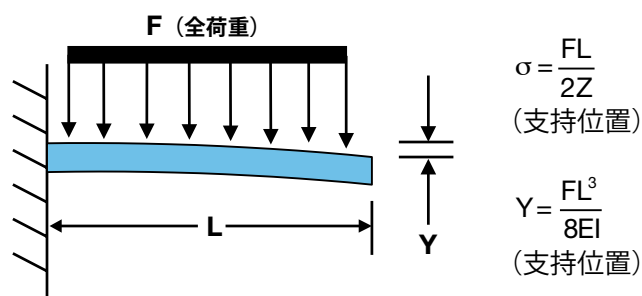
片持ち梁（一端を固定）自由端集中荷重



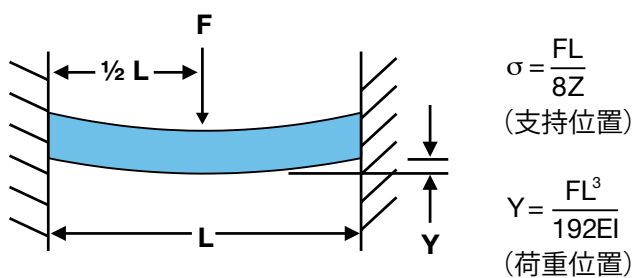
単純支持梁均等分布荷重



片持ち梁（一端を固定）均等分布荷重



両端固定中心集中荷重



両端固定均等分布荷重

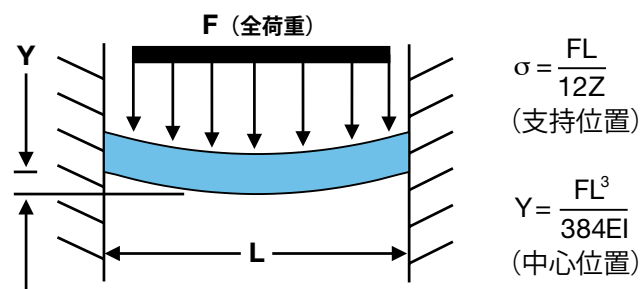
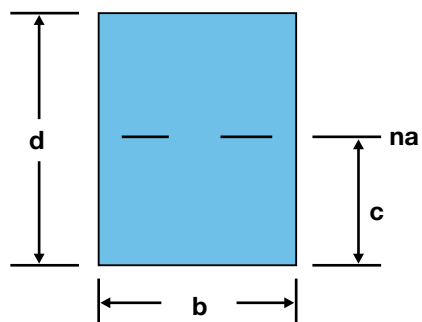


表 39：一般的な断面形状の面積とモーメント方程式

矩形



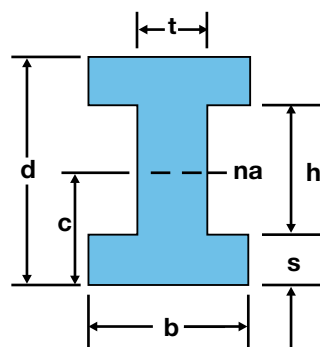
$$A = bd$$

$$c = \frac{d}{2}$$

$$I = \frac{bd^3}{12}$$

$$Z = \frac{bd^2}{6}$$

I字ビーム



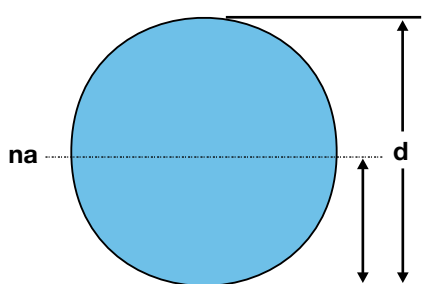
$$A = bd - h(b-t)$$

$$c = \frac{d}{2}$$

$$I = \frac{bd^3 - h^3(b-t)}{12}$$

$$Z = \frac{bd^3 - h^3(b-t)}{6d}$$

円形



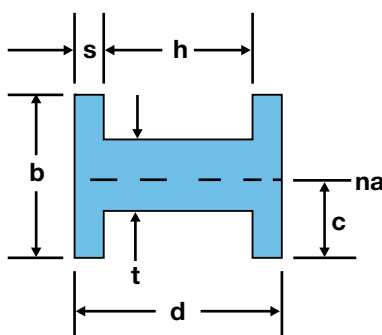
$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$c = \frac{d}{2}$$

$$I = \frac{\pi d^4}{64}$$

$$Z = \frac{\pi d^3}{32}$$

H字ビーム



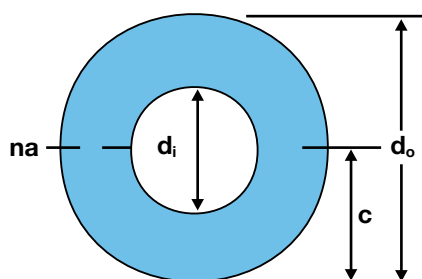
$$A = bd - h(b-t)$$

$$c = \frac{b}{2}$$

$$I = \frac{2sb^3 + ht^3}{12}$$

$$Z = \frac{2sb^3 + ht^3}{6b}$$

チューブ



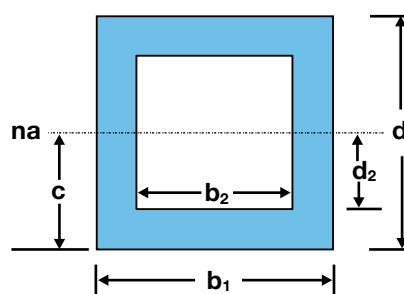
$$A = \frac{\pi(d_o^2 - d_i^2)}{4}$$

$$c = \frac{d_o}{2}$$

$$I = \frac{\pi(d_o^4 - d_i^4)}{64}$$

$$Z = \frac{\pi(d_o^4 - d_i^4)}{32d_o}$$

中抜き矩形



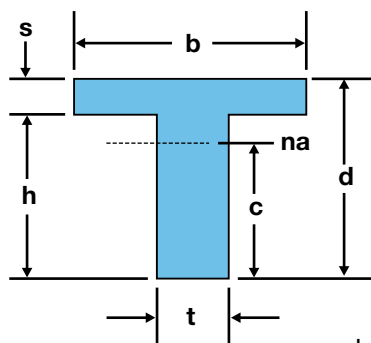
$$A = (b_1 d_1 - b_2 d_2)$$

$$c = \frac{d_1}{2}$$

$$I = \frac{(b_1 d_1^3 - b_2 d_2^3)}{12}$$

$$Z = \frac{(b_1 d_1^3 - b_2 d_2^3)}{6d_1}$$

T字ビーム／リブ



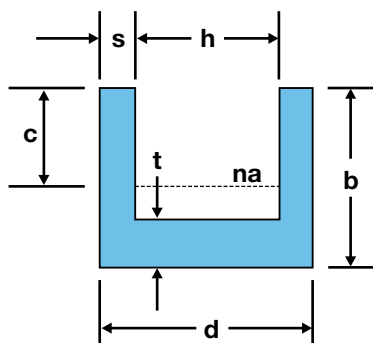
$$A = bs + ht$$

$$c = d - \frac{d^2 t + s^2 (b-t)}{2(bs + ht)}$$

$$Z = \frac{I}{c}$$

$$I = \frac{tc^3 + b(d-c)^3 - (b-t)(d-c-s)^3}{3}$$

U字ビーム



$$A = bd - h(b-t)$$

$$c = b - \frac{2b^2 s + ht^2}{2A}$$

$$I = \frac{2b^3 s + ht^3}{3} - A(b-c)^2$$

$$Z = \frac{I}{c}$$

剛性を目指した設計

設計者が金属部品をプラスチック部品に代替することを考える場合、考慮しなければならない項目に部品の剛性、堅牢性があります。荷重をかけたときの最大たわみが現在の値を維持する必要のある用途では、プラスチック部品には金属部品と同等の剛性が必要になります。

表 38 に各種の梁のたわみを表現する式が示されています。両端を固定して一様に荷重を分布させる条件を選択すると、たわみ (Y) は次式で表現されます。

$$Y = \frac{FL^3}{384EI}$$

同等の剛性を持つ部品を設計するため、まずプラスチックと金属に対応するたわみの式を次のように等置します。

$$\left[\frac{FL^3}{384EI} \right]_{\text{金属}} = \left[\frac{FL^3}{384EI} \right]_{\text{プラスチック}}$$

荷重と梁の長さは一定であるものとして両辺の共通因子を除くと、式は次のようになります。

式 1

$$[EI]_{\text{金属}} = [EI]_{\text{プラスチック}}$$

これらの素材の弾性係数 (E) が大きく異なることから、慣性モーメント (I) を調節するためには明らかに部品の寸法を変更しなければなりません。

例えば、金属部品が弾性率 44.9 GPa を持つマグネシウムで作られているとし、これを弾性係数 7.38 GPa を持つプラスチック材料ユーデル GF-130 に交換することを考えると、必要となる慣性モーメントは (2) 式で計算されます。

式 2

$$(6.5 \text{ psi} \times 10^6 \text{ psi})(I_{\text{マグネシウム}}) = (1.07 \text{ psi} \times 10^6 \text{ psi})(I_{\text{Udel}})$$

$$\text{または、} (44.9 \text{ GPa})(I_{\text{マグネシウム}}) = (7.38 \text{ GPa})(I_{\text{Udel}})$$

$$I_{\text{Udel}} = 6.07 I_{\text{マグネシウム}}$$

断面の厚みを増やす

慣性モーメントを増大させる方法の 1 つは、断面の厚みを大きくすることです。

表 39 に示されているように、矩形断面の慣性モーメントは次式で表現されます。

$$I = \frac{bd^3}{12}$$

ここでは、b は断面の幅、d は断面の厚みを表します。

式 2 に代入して共通因子を除きます。

$$d_{\text{Udel}} = \sqrt[3]{6.07 d^3}_{\text{マグネシウム}}$$

マグネシウムを使用したときの断面の厚みが 2.54 mm であったとすると、次式が得られます。

$$d_{\text{Udel}} = \sqrt[3]{6.07(.001)}$$

$$d_{\text{Udel}} = 0.182 \text{ inch}$$

または、

$$d_{\text{Udel}} = \sqrt[3]{6.07(16.38)}$$

$$d_{\text{Udel}} = 4.63 \text{ mm}$$

単純に断面の厚みを増やすだけで同等の剛性を実現しようとするれば、厚みを 82 % 大きくする必要があります。

リブを追加して剛性を保つ

剛性を満たすためのもう一つの方法は、リブを追加して慣性モーメントを大きくすることです。リブの使用によって厚みと重さを減少させながら必要な剛性を与えることが可能です。

材料は前に説明した例と同じですから、厚さ 4.63 mm のプレートと同等の慣性モーメントを持つようにリブを設計しなければなりません。プレートの慣性モーメントは次式で与えられます。

$$I_{\text{プレート}} = \frac{bd^3}{12}$$

幅の値として 1 インチ (25.4 mm) を代入すると、 $I = 5.02 \times 10^{-4} \text{ in}^4 (209 \text{ mm}^4)$ が得られます。

中立軸から極限ファイバまでの距離 (c)、慣性モーメント (I)、および面積 (A) を導く以下の式を用いて、同じ慣性モーメントを与えるリブと肉厚を計算します。

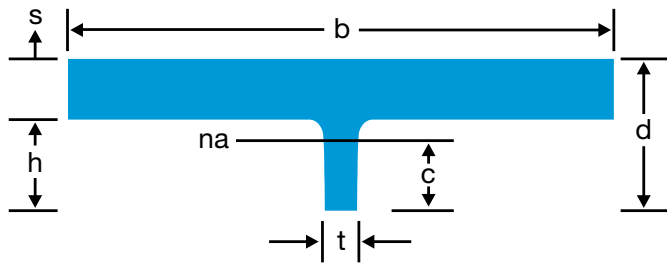
$$c = d - \frac{d^2 t + s^2 (b - t)}{2(bs + ht)}$$

$$I = \frac{tc^3 + b(d - c)^3 - (b - t)(d - c - s)^3}{3}$$

$$A = bs + ht$$

リブの典型的な設計例を図 48 に示します。

図 48：リブを追加して剛性を強化する



経験によれば、加工工程の観点からリブ設計にある程度の制約を課するのが良いとされています。具体的な制約事項は次のとおりです：

$$t \leq 0.6s$$
$$h = 1.5s$$

経験的な反復法を用いてこれらの式を解くことによりオリジナルの金属部品と同じ慣性モーメントを持つリブの幾何形状を決定するか、または 1 インチあたり 1 本のリブを配置した肉厚 4.63 mm のプレート計算すると次の結果が得られます。

$$\text{肉厚 (s)} = 3.2 \text{ mm}$$
$$\text{リブの幅 (t)} = 1.9 \text{ mm}$$
$$\text{リブの高さ (h)} = 4.8 \text{ mm}$$

25 mm あたり 1 本のリブを追加することにより、同等な剛性を与えるのに必要な断面積が 117 mm² から 90 mm² へと減少します。

持続性荷重を考慮した設計

標準的な応力ひずみ計算が説明してくれるのは即時、または短時間だけの負荷応答です。ポリマーは粘弾性特性を持つため、荷重が長時間持続すると予期以上のたわみが生じてクリープと呼ばれる現象が起こります。負荷が長時間持続する状況下でのたわみをより正確に予測するには、弾性率の代わりに見掛けの弾性率またはクリープ弾性率を使用します。負荷が持続する場合の計算例を下に示します。

たわみ計算

図 49 に示す梁に均一に分布した荷重 13.8 Pa を与えた場合の、中心部に瞬時に発生するたわみと、10,000 時間持続的に荷重を与えた後のたわみを計算する方法が表 38 に示されています。単純支持梁に均一に分布した負荷を与えたときのたわみを表現する式は次のとおりです。

$$Y = \frac{5FL^3}{384EI}$$

表 39 によれば、矩形断面を持つ梁の慣性モーメントは次式で表現されます。

$$I = \frac{bd^3}{12}$$

梁の幅を 1 インチ (25.4 mm) とし、式に梁の寸法を代入すれば次の値が得られます。

$$I = \frac{(1)(0.182)^3}{12}$$

$$I = 0.00050238 \text{ in}^4 (209 \text{ mm}^4)$$

この梁がユーデル P-1700 で作られているとすれば、短期的なたわみは次式で与えられます。

$$Y = \frac{5FL^3}{384EI}$$

ここに、

$$F = 10 \text{ ポンド (68.9 Pa)}$$

$$L = 5 \text{ インチ (127 mm)}$$

$$E = 360,000 \text{ psi (2.48 GPa)}$$

$$I = 0.00050238 \text{ in}^4 (209 \text{ mm}^4)$$

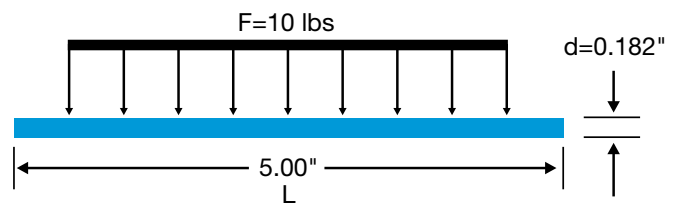
$$Y = \frac{(5)(10)(5)^3}{(384)(360,000)(0.00050238)} = 0.09 \text{ インチ (2.3 mm)}$$

荷重を 10,000 時間に渡って継続的に加えた場合は、引張弾性率の代わりに 15 ページの図 22 で与えられる見掛けの弾性率またはクリープ弾性率を使用します。

$$Y = \frac{(5)(10)(5)^3}{(384)(290,000)(0.00050238)} = 0.11 \text{ インチ (2.8 mm)}$$

クリープにより追加的に発生するたわみは 0.02 インチ (0.5 mm) ということになります。

図 49：持続性荷重への梁使用例



設計限界

最大応力レベルとたわみの計算が終了したら、次に設計者が行うのは応力の値を引張り、圧縮、せん断強さなどの該当する材料特性値と比較することです。この比較により、実用に十分な安全係数が設計に盛り込まれているか、すなわち設計を変更して肉厚を増したりリブを追加する必要があるか、輪郭を修正して断面係数を増す必要があるか等を判断します。

「許容設計」という表現は、目的とする負荷パターンに照らして適切な安全係数が材料の強度に盛り込み済みであることを表現するために作られた用語です。短期断続荷重が加えられる条件下での許容設計応力を表 40 に示します。表 41 に示すのは、荷重が常時加えられ、クリープを考慮するのが重要である許容設計応力です。ただし、これらの表では温度以外の環境因子を考慮に入れていません。化学薬品の存在は許容設計のレベルを大幅に低減する可能性があります。

機械設計の方程式を適用して得られる設計は基本として有用ですが、これだけの解析では重要な要素が考察から抜けてしまいます。例えば設計の耐衝撃性は、その設計が破壊を受けずに衝撃エネルギーを吸収できる能力に直接関係しています。一般的には肉厚を増すことによって、成形部品の耐衝撃性は向上しますが、場合によっては肉厚の増加によって部品が硬くなり過ぎ、たわみによる衝撃エネルギー分散が機能しなくなるために逆に耐衝撃性が劣化することもあり得ます。このため、試作部品を耐衝撃試験によってその設計がどの程度の衝撃に耐える能力を持つのかをチェックする必要があります。

表 40：断続的荷重に対する許容設計応力、MPa

グレード	温度、℃		
	23	93	149
P-1700	36.3	31.2	25.1
GF-110	40.5	33.6	28.3
GF-120	50.2	38.0	33.6
GF-130	55.9	33.6	41.8



産業用バッテリー容器

Saft 社は同社の SRM F3 バッテリーセルコンポーネント（主として鉄道輸送システムの電気系バックアップとして使用）用容器（ジャー）の素材としてユーデル ポリサルホンを選択しました。水酸化カリウム電解液を満たしたこのセルは、液の補充なしに 2 年間機能しなければなりません。バッテリーの長期安定性を実現するには、耐吸水性、耐衝撃性、耐振動性に優れたユーデル ポリサルホンの特性が重要になります。またユーデル ポリサルホンは透明ですから、通気キャップを取らなくても液位を監視することができます。

表 41：持続性荷重に対する許容設計応力、MPa

グレード	温度、℃		
	23	93	149
P-1700	17.6	13.2	8.7
GF-110	19.5	14.8	10.9
GF-120	24.1	17.3	14.1
GF-130	26.9	20.8	18.8

応力集中

古典的な機構設計を適用した部品では予想よりもはるかに短い時間、あるいははるかに低い応力で部品が壊れることがあります。その原因となるのが応力集中です。応力集中はシャープコーナー、穴周り、その他の特徴部分に発生します。応力集中は衝撃や疲労が起こり易い状況で特に問題になります。

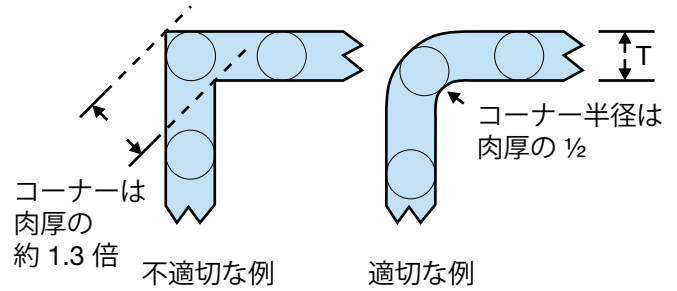
シャープコーナーを減らして応力集中を分散することにより、構造強度のより優れた部品を作ることができます。応力集中の問題が起こらないようにするには、コーナーの内側半径を少なくとも部材の標準肉厚の半分またはそれ以上にすべきです。溝底の半径は少なくとも 0.4 mm 以上としてください。

図 50 はコーナーの内側半径が応力集中係数に与える影響を示しています。例えば、標準肉厚 (t) が 2 mm であり、コーナーの内側半径 (r) が 0.5 mm であるとすれば、厚みに対する半径の比率 (r/t) は 0.25 となって応力集中係数の値は約 2 になります。x という応力はそれがコーナー部分で作用すると実質的に 2x の応力として働きます。

コーナーの外側半径はその内側半径に部材肉厚を加えた値として一様な肉厚を保つようにします。

図 51 はコーナー部分の適正な設計例を示すものです。

図 51：応力が最小になるようにコーナーを設計する



ねじ山

統一ねじ規格 (Unified Thread Standard) の根元が円形処理されたクラスを使用すべきです。ねじ山の最後までねじを切るのではなく、少なくとも 0.79 mm は山の無い部分を残さなければなりません。パイプねじは楔を強く打ち込むのと同様な効果をもたらすことから、その使用は推奨できません。

図 52：正しいねじ設計

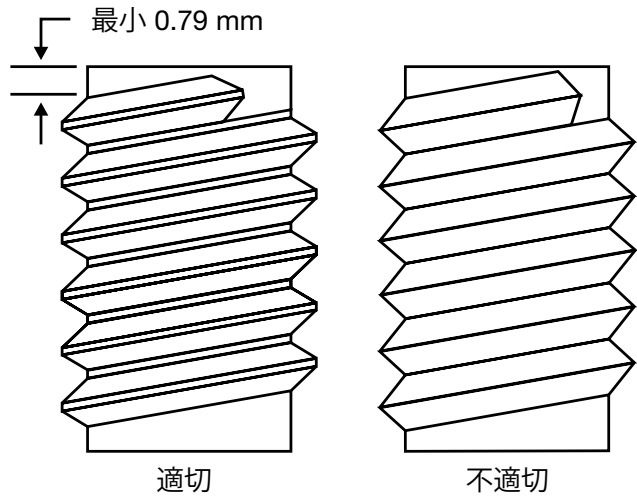
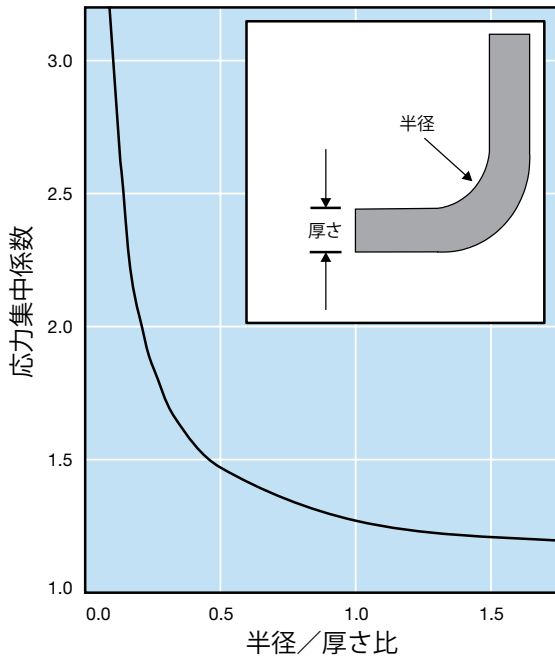


図 50：内側コーナーの応力集中係数



締まり嵌め

2個の部品を組み立てる際に使用できる最も経済的な方法は圧入です。この方法はシャフトとハブで二つの部材を連結し、ねじや接着剤、金属インサート、超音波溶接などを使用しません。この方法ではシャフトの直径よりもやや小さく作られた穴にシャフトを強制的に圧入することによって接合します。このときの穴の直径とシャフトの直径の差を嵌め代と呼びます。接合を保持する主たる力は、シャフトを穴に挿入することによってハブ側に発生したフープ応力がシャフトに加わる圧縮応力です。シャフトとハブ材料の相対的な弾性率の差によっては、シャフト側の圧縮応力も接合の維持に寄与します。ポリマー材料の見掛けの弾性率が時間とともに減少することから、締まり嵌めを保持する応力も時間の経過とともに緩くなる傾向を示し、丁度クリープに似た挙動を示します。

許容嵌め代

シャフトとハブ間の許容嵌め代は次の一般方程式から計算することができます。

$$l = \frac{S_d D_s}{F} \left\{ \frac{F + \nu_h}{E_h} + \frac{1 - \nu_s}{E_s} \right\}$$

幾何形状因子は次式で与えられます。

$$F = \frac{1 + \left(\frac{D_s}{D_h} \right)^2}{1 - \left(\frac{D_s}{D_h} \right)^2}$$

ここに、

l = 嵌め代 (mm)

S_d = 許容応力 (MPa)

D_h = ハブの外周直径 (mm)

D_s = シャフト直径 (mm)

E_h = ハブ材料の弾性係数 (MPa)

E_s = シャフト材料の弾性係数 (MPa)

ν_h = ハブ材料のポアソン比

ν_s = シャフト材料のポアソン比

F = 幾何形状因子

シャフトとハブを同一グレードのユーデル樹脂で製作したとすれば、式は次のようになります。

$$E_h = E_s = E$$

同じように、嵌め代は次のようになります。

$$l = \frac{S_d}{E} D_s \left(\frac{F+1}{F} \right)$$

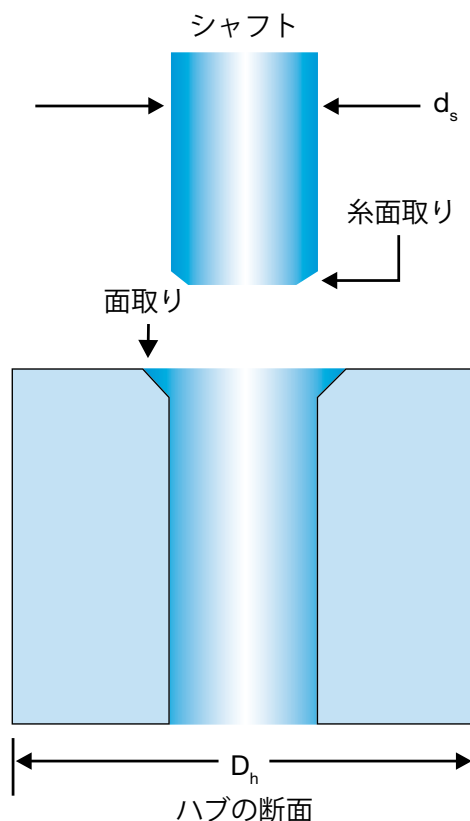
ハブをユーデル樹脂で作成し、シャフトを金属製とすれば嵌め代は次のようになります。

$$l = \frac{S_d D_s}{E} \frac{F + \nu_h}{E_h}$$

異種材料間で圧入を使用する場合は、両者の熱線膨張率の差が増減するため、嵌合部品間の締めも変化します。これに伴って接合強度に影響を与える応力も変化します。

圧入では時間の経過とともにクリープまたは応力緩和が発生しますから、この結果として組み立てを保持する力が減少することがあります。したがって、実際に適用される使用条件でアッセンブリーの状態を試験されるように強くお勧めします。

図 53：圧入の例



射出成形に適合した設計

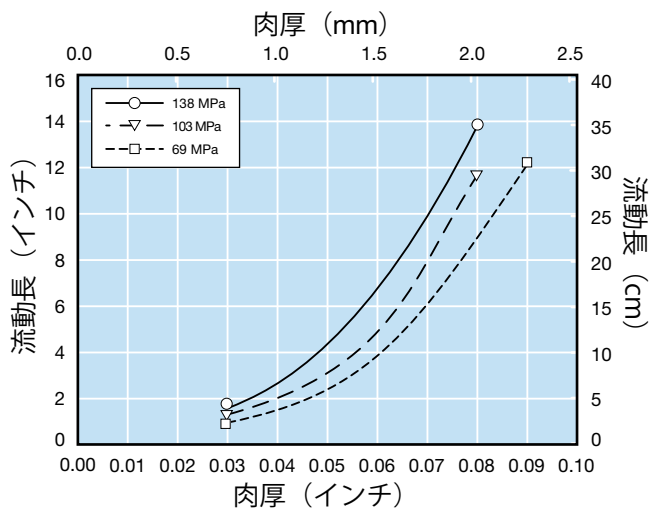
ユーデル樹脂を使用する用途の多くは射出成形部品ですから、部品設計の段階で成形性への影響を考慮しておく必要があります。考慮すべき要素としては肉厚とその厚み変化、抜き勾配、リブ、ボス、および肉盗みなどが含まれます。

肉厚

たわみを設計基準内に収め、適切な流動性を確保し、燃焼性と耐衝撃性への要求を満たしながら、予期される負荷を支えられる十分な構造的強度を保てる最小肉厚を用いて部品を設計するというのが一般的な方針になります。この方法で設計された部品が最も軽量で最短の成形サイクルを持ち、したがってコストも最小限にとどめることができます。

しかし、時には機械的な設計解析が必要とする以上の肉厚を使用して成形する必要が生ずることもあります。他の熱可塑性樹脂と同様に、ユーデル樹脂の流動性は金型設計と加工変数（射出速度、金型温度、溶融温度、射出圧など）ばかりでなく部品の肉厚にも依存します。実用的な肉厚の範囲は一般的に0.8~6.4 mmの範囲です。流動長が短い場合には部分的に0.25 mm程度の厚さを設定することも可能です。金型温度を93℃としたときの異なる肉厚に対応する流動長と射出圧を図54に示します。

図 54：流動長 vs ユーデル P-1700 の厚み

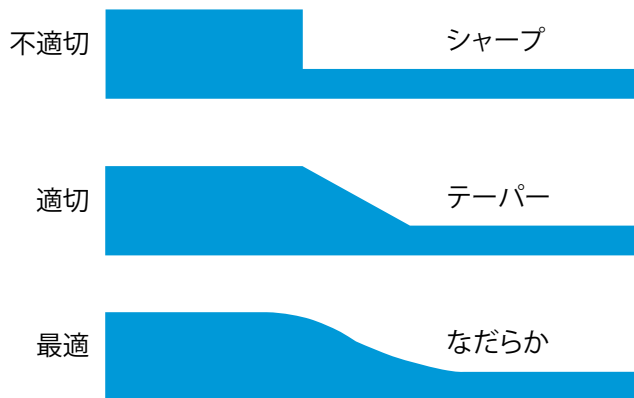


肉厚の変化

理想的なのは一様な肉厚ですが、構造的・外観的、あるいは抜き勾配の要求から肉厚を変化させる必要が生ずる場合があります。壁部分の厚みを変化させる必要が生じた場合、設計者は例えば図55に示す3:1のテーパ付けのように、肉厚を滑らかに変化させるよう考慮してください。肉厚を段階的に変化させると、冷却速度の変動や乱流の発生によって外観および寸法安定性に問題が生じます。

構造上の観点からも、段階的な変化は応力集中を招くため負荷や衝撃に対する部品の性能を劣化させます。

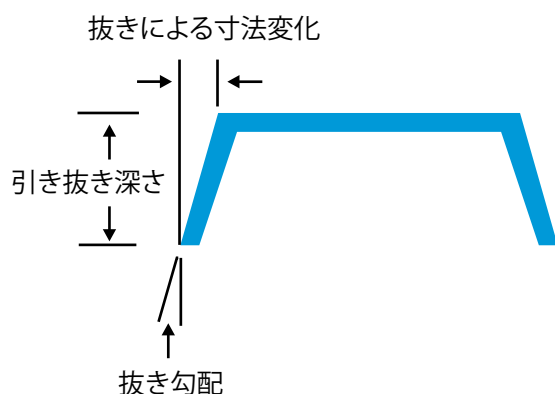
図 55：肉厚変化



抜き勾配

離型を容易にするため、通常は金型の動く方向に合わせて部品にテーパが付くように設計します。このテーパによって金型が動きだすとすぐに隙間ができて部品を簡単に解放して取り出すことが可能になります。このテーパは一般に「ドラフト（抜き）」と呼ばれ、テーパの強さを「抜き勾配」と呼びます。抜き勾配の使用法を図 56 に示します。

図 56：抜き勾配を使用して離型を容易にする



金型から簡単に部品を取り出せるようにするには適切な抜き勾配を付ける必要があります。ユーデル樹脂を使用する場合は一般的に金型の内側と外側両方について片側あたり $1/2^\circ \sim 1^\circ$ の抜き勾配を付けます。ただし、金型表面が艶消し処理されているような特殊ケースでは $1/8^\circ \sim 1/4^\circ$ 程度の小さな抜き勾配が使用されてきています。

また、深絞りや肉盗みを使用する場合には抜き勾配を大きめにします。シボ加工では抜き勾配を大きめにし、片側のシボ深さ 0.025 mm あたり 1° 以上にする必要があります。

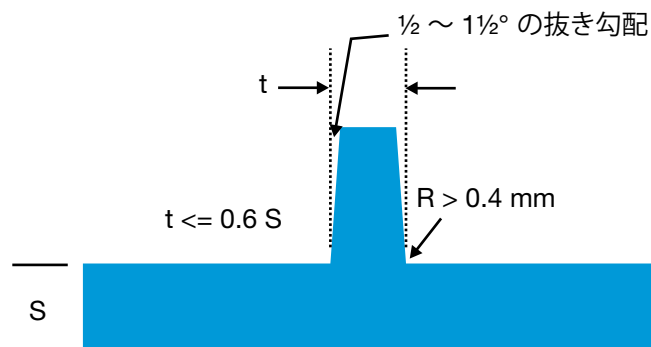
リブ

リブを適切に設計して正しく配置することにより、肉厚の増加を招かずに部品の構造剛性を確保することができます。正しくリブを使用して肉厚を減らすことにより、材料使用量と重量の削減、成形サイクルの短縮、さらにひけ発生の原因となる厚い肉厚部分を取り除くことができます。適正に配置されたリブは金型内部のランナーとしても機能しますから、成形工程で材料を滑らかに流すのに役立ちます。

リブを利用する設計では一般的に次のようなガイドラインに従ってください。リブの根元部分の厚みは隣接する壁面の肉厚の半分にします。リブが化粧面の裏である場合は幅を出来るだけ小さくしてください。成形部品の中に外観よりも構造的強度を重視しなければならない部位がある場合は、リブの大きさはしばしば外側壁面肉厚の 75%、また場合によっては 100% にもなります。リブは側壁やボス、取り付けパッドなどを含む他の構造的な特徴と出来る限り滑らかに接続する必要があります。リブの高さや幅を常に一定にする必要はなく、部品にかかる応力分布に対応して適宜変化させてかまいません。すべてのリブには片側面あたり少なくとも $1/2^\circ$ の抜き勾配を与え、根元部分

には少なくとも 0.4 mm の半径を与える必要があります。リブの寸法に関する推奨事項を図 57 に示します。

図 57：推奨リブ設計



肉盗み

部品全体を通して壁面部分の厚みを一様にするのが適正な設計です。部品の中に厚肉部分があるとサイクルタイムが長くなり、ひけや成形時の応力が増加します。

厚肉部分には肉盗みを施して肉厚を一様にします。単純かつ経済的に射出成形を行うためには、型開きに沿って平行に肉盗みを配置します。それ以外の方向に肉盗みを配置すると、何らかのスライド機構が必要となることが多く、がたのあるコアへの手作業による脱着が必要となります。

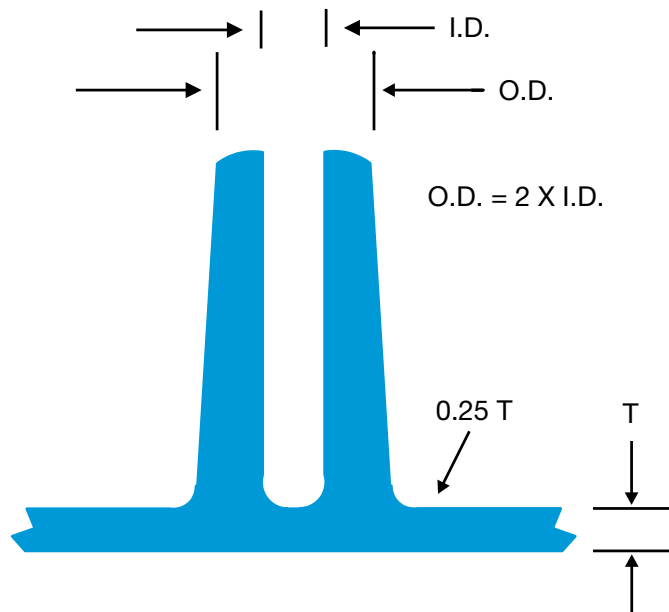
キャビティにまで及ぶ肉盗みは大きな圧力にさらされます。直径が 1.5 mm を超える片止めのコア長は直径の 3 倍を、直径がそれ以下の片止めの場合はコア長が直径の 2 倍を超えないようにします。貫通コアの場合はこれらの推奨値を 2 倍にして計算してください。突き出しを最適化するためにすべてのコアと研磨した型パーツには抜き勾配を付けてください。

ボス

ボスとは、部品の取り付けや固定を目的として部品基準面から突出した部分のことです。ボスの設計は主としてそのボスが部品の中でどのような役目を果たすかによって決まります。圧入やセルフタッピングねじ、あるいは超音波インサートには穴付きボスを使用します。このようなタイプのファスナーはボスの壁面の状況に応じて変化するフープ応力を及ぼします。

一般的なガイドラインとしては、それぞれのボスの外径を孔の内径の2倍とし、各ボスの肉厚が部品自体の肉厚を超えないようにします。これらのガイドラインを図58に示します。

図58：ボス設計の一般的ガイドライン



ボスに加わる力の余った部分がボスから基準面に伝わる場合があります。このため、ボスの根元には肉厚の少なくとも25%以上の曲率半径を与えて十分な強度を確保するとともに応力集中を防ぐ必要があります。ボスにさらに強度を与えるには、ボス周りにガセットプレートで支持するか、または正しく設計されたリブで最寄の壁面へ接続します。部品表面のひけ発生を防止するために厚肉部分は避けてください。

スナップフィット

ユーデル樹脂の持つ延性は、その優れた強度とあいまって、スナップフィット アッセンブリーに適しています。スナップフィットを使用する設計では、成形部品の一部はスプリングのようにたわまなければならない、設計たわみ代を超えて変形してからもとの形状に復帰することによって複数の部品が組み立てられます。スナップフィット設計で重要なのは、材料の弾性または疲労限界を超えることなく十分な保持力を持たせることです。

最も一般的な二つの片持ち梁スナップフィットの例は、垂直梁とテーパ付きの梁です。図59と図60にこれらの代表的なスナップフィット設計の例と、アッセンブリー時に発生する最大ひずみを計算する式を示します。テーパ付き梁の設計で使用する比例定数を図61に示します。設計にあたっては、最大ひずみ値が表42に示す許容ひずみ値を超えないようにする必要があります。

表42：スナップフィット設計の最大許容ひずみ

グレード	最大許容ひずみ (%)
P-1700	5.5
GF-110	3.0
GF-120	1.5
GF-130	1.0

図59：垂直梁を使用するスナップフィット設計

$$\text{最大ひずみ } \epsilon = \frac{3Yh_0}{2L^2}$$

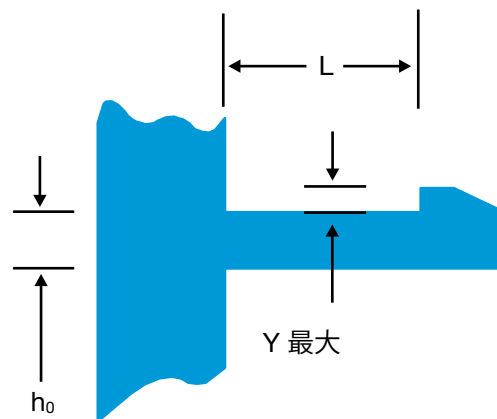


図 60：テーパー付き梁を使用するスナップフィット設計

$$\text{最大ひずみ } \varepsilon = \frac{3Yh_0}{2L^2K}$$

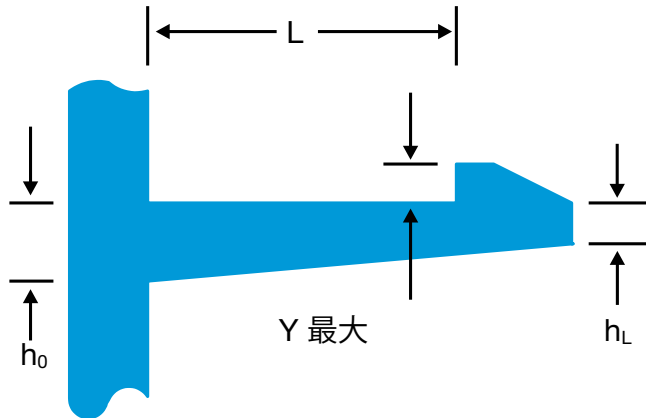
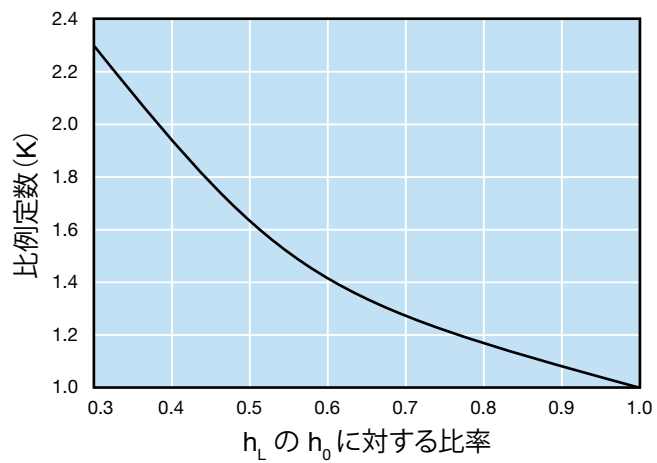


図 61：テーパー付き梁の比例定数 (K)



乾燥

ポリサルホンは保存中に空気中の湿度を最高で 0.3% 程度まで吸収するため、成形や押出しの前に乾燥させる必要があります。水分含量が約 0.05% 以下になるように乾燥させる必要があります。乾燥が不十分な場合、射出成形では表面に流れ模様やスプレー、銀条が現われ、押出しフォームの場合は気泡が発生します。しかし、水分によってポリサルホンが加水分解を起こしたり、何らかの反応によって変色、化学的劣化、特性劣化等の問題を起こすことはありません。未乾燥樹脂で成形した部品に起こるのは、外観上の問題と内部の気泡により強度が不十分であることだけです。水分のために不満足な部品が作られてしまった場合は、再び粉碎・乾燥させてから再度成形することが可能であり、これにより特性が劣化することはありません。

ポリサルホンは、オープンまたは除湿ホッパー乾燥器内にペレットを入れ、加熱空気を循環させて乾燥させます。オープンで乾燥させる場合はペレットをトレイ上に 25~51 mm の厚さに敷いて、ペレット温度が 135℃ に達してから 3.5 時間、温度が 163℃ ならば 2 時間乾燥させます。ユーデル ポリサルホンの乾燥曲線を図 62 に示します。

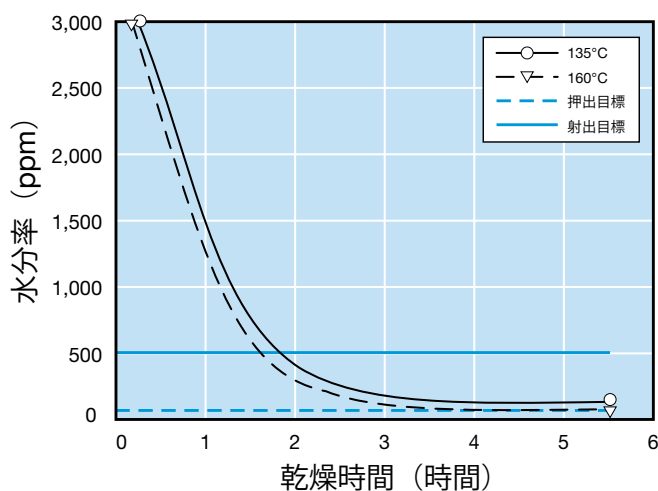
これらは推奨下限条件を表しており、ポリサルホンを「乾燥し過ぎる」ということはありません。実際、135℃ で 1 週間乾かしたとしても、それによって劣化することはありません。ただし非強化グレードを 166℃ を超える温度で乾燥させた場合、オープン内に入れて 3~4 時間後にはペレットが塊になる可能性があります。

非常に湿度の高い気候では乾燥時間を長くしなければならないことがあります。このため、均一で効率的な乾燥を行うためには、乾燥棚上の空気を循環させる除湿ユニットを備えた密閉式オープンの使用を推奨します。乾燥後の樹脂は再び大気中から水分を吸着しないように注意して取り扱ってください。

ベント付き押出機でポリサルホンを加工する場合には予備乾燥の必要はありませんが、それ以外のすべての連続成形や押出し加工では、除湿式ホッパードライヤーを加工装置の直前に設置することをお奨めします。ドライヤーによる効率的な除湿により連続加工製造が可能となります。ドライヤーの容量は材料の消費速度を考えて選択してください。

ポリサルホンの加工では、入口空気温度 135℃ のホッパードライヤー中で 3.5 時間の滞留時間が必要となります。このホッパードライヤーは、平衡状態で 14~19℃ 以上の温度降下を起こさないように断熱されている必要があります。乾燥棚を通して還流する加熱空気の湿度は、ホッパードライヤー入口段階で露点 -32℃ 以下になっていなければなりません。

図 62：ユーデル ポリサルホンの乾燥



レオロジー

ユーデル P-1700 とユーデル P-3500 LCD 樹脂のレオロジーデータを図 63 と 64 に示します。

図 63：ユーデル P-1700 樹脂のレオロジー

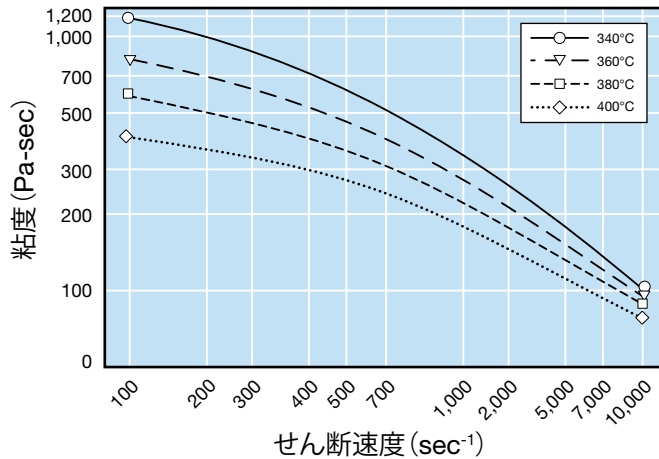
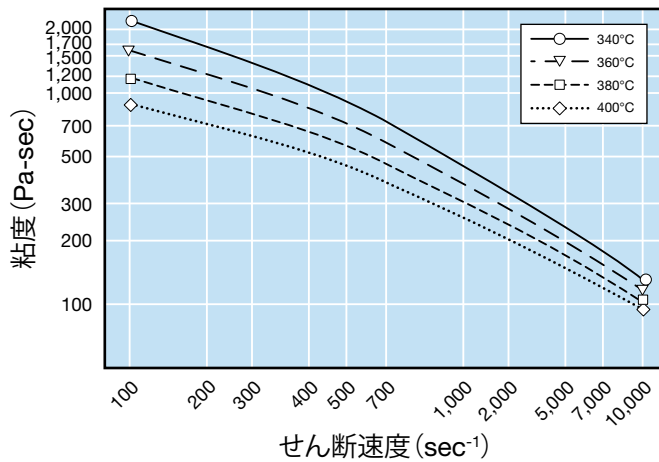


図 64：ユーデル P-3500 LCD 樹脂のレオロジー



電熱給湯器用ディップチューブ

電熱給湯器用ディップチューブは、貯湯タイプの給湯器の頂上部から冷えた水を流し、温水と混合させることなしに容器の底へ水を導く目的で使用されます。多くのディップチューブはヒーター周りで水の対流をおこし、容器底部にスケールが滞積しないように設計されています。ユーデルポリサルホンの薄肉（0.5 mm）チューブはこの種の用途で1970年代初頭から使用されています。この素材は長期的な耐加水分解性を備えるほか、塩素による腐食に耐えることにより、低価格で性能の劣る材料（PP、PEX）で起こることが知られているような製品故障も低減されます。

射出成形

射出成形で使用する装置

ユーデル ポリサルホンの射出成形には、ほとんどのスクリーュー式射出成形機をそのまま使用できます。

スクリーュー設計

ユーデル樹脂に対しては標準的な一般用スクリーューで十分な機能を発揮させることができます。これらの樹脂を加工するための代表的スクリーュー設計例を図 65 に示します。

スクリーューチップとチェックバルブ

適正な加工を行うためにはスクリーューチップとチェックバルブの設計が非常に重要です。チェックバルブ（逆流防止弁）は、射出と保圧工程でのスクリーューのフライトを越えて溶融物が逆方向へ流れるのを防止します。チェックバルブを使用しなければ、一定量のクッションの保持は困難または不可能です。

チェックバルブ／チェックリングシステムはスムーズな流れを保ち、デッドスポットや背圧が発生しないように設計しなければなりません。この意味でボール式チェックバルブは推奨できません。スクリーューチップも流線形にして、スクリーューの前方に滞留している溶融物の量ができるだけ少なくなるようにします。

ノズル

一般用ノズルチップを推奨します。また、シャットオフ機構を備えたタイプよりもオープンノズルをお奨めします。ノズル孔形状はスクリーューチップの形状とぴったり適合していなければなりません。

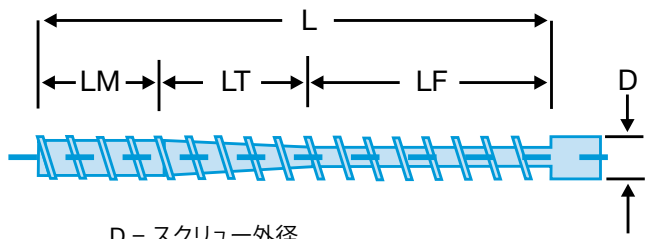
金型

金型設計の一般ガイドラインはユーデル樹脂にも適合します。

抜き勾配と突き出し

一般的に、ユーデル樹脂を使用する射出成形では抜き勾配を $0.5^{\circ} \sim 1^{\circ}$ 程度に設計してください。突き出しピンやストリッパプレートとの接触面は、突き出しの変形や喰い込みを防止するために、できるだけ大きくしてください。

図 65：射出成形用スクリーューの設計



D = スクリュー外径	
L = スクリュー全長	18~22 D
LF = 供給部長さ	0.5 L
LT = 圧縮部長さ	0.3 L
LM = 計量部長さ	0.2 L
CR = 圧縮比	1.8~2.4 : 1

ゲート

ホットランナーを含むすべての標準的なゲートタイプをユーデル樹脂に適用することができます。ホットランナーの設計によっては滞留時間が長くなったりデッドスポットが生じて材料の滞留と劣化が起こる等の問題が生ずることがあります。ゲートは溶融物の温度や圧力を極端に上げなくても部品に充填できる適切な大きさである必要があります。完全充填前に固化するようなゲートはボイドやひけ発生の原因になります。

ベント

ユーデル樹脂用金型のランナーの末端部分、またウエルドが予期される場所にベントを設ける必要があります。このベントは 2~3 mm のランド長と最高 0.08 mm のベント深さを持っている必要があります。

金型温度のコントロール

高品質部品の製造には金型温度の正しいコントロールが不可欠です。特に難しい部品の場合は、複数のコントローラを使用して各々の金型ごとにコントロールしなければならないことがあります。ユーデル樹脂成形で必要となる金型温調には、加熱媒体としてオイルを使用する流体温調システム、または電気ヒーターを使用します。

表 43：スタート時の成形条件

グレード	溶融温度、 $^{\circ}\text{C}$	金型温度、 $^{\circ}\text{C}$	収縮率、%
P-1700	350~390	138~160	0.6 ~ 0.7
P-1720	350~390	138~160	0.6 ~ 0.7
GF-110	360~390	138~160	0.5
GF-120	360~390	138~160	0.4
GF-130	360~390	138~160	0.3

電気ヒーターは最低金型温度に達する補助としては有効ですが、金型を冷却することができないため、流体温調システムを常に優先的に使用します。特に大型部品を成形する場合は金型温度が設定温度を超えて上昇することがあり得ます。

機械設定

射出成形温度

各種ユーデル樹脂に最適な射出成形溶融温度を表 43 に示します。熱劣化を起こす恐れがあるため、一般的にはこれ以上の温度を使用しないでください。原則として、射出成形の溶融温度として 393℃ 以上の温度の使用は避けるべきです。

金型温度

金型の温度は、成形部品の収縮やそり、許容誤差に収まるか否か、外観、残留応力レベルなどを決定する重要な要素です。

ユーデル樹脂用の金型温度は通常 120～160℃ の範囲に設定します。最適な外観を得るためにこれ以上の温度が必要となるのは、ガラス繊維強化グレードだけです。ユーデル樹脂の個々のグレードに適した推奨金型温度を表 43 に示します。

熱損失を減らすためには金型とプラテンの間に断熱板を挿入するのが有効です。高品質の成形部品を得るためには、適切に設計された冷却チャンネルと正しい温度に設定された金型が必要です。

シリンダー温度

バンドヒーターの温度設定がホッパーからノズルの方向へ上昇するように設定されているならば、ユーデル樹脂ペレットを中間の温度条件で溶融させることが可能であり、かつシリンダー内での比較的長い滞留時間も許容できます。滞留時間が短い場合にはすべてのシリンダーヒーターを同一温度に設定してもかまいません。ノズル部分は放射と熱伝導による金型への熱損失が大きいため、少なくとも一つのバンドヒーター（200～300 W クラス）をノズル用として使用する必要があります。この熱損失を緩和するためにはノズルの断熱が有効です。

バンドヒーターのコントロールシステムは監視が必要です。例えば、シリンダーセクションのどれかのヒーターが故障したような場合に、タイミング良くアラームが発生すればスクリュウの破損を防止することができます。

ホッパー周りの温度を 80℃ 程度に保つようにするとペレット供給がより円滑になります。

シリンダー内滞留時間

プラスチックが可塑化シリンダー内に滞留する時間の長さは、射出成形の品質に大きな影響を与えます。この時間が短すぎるとペレットが十分に溶融せず、その一方で長すぎると熱劣化を起こす可能性が高くなり、その結果として変色や黒条、成形部品内に黒点が混入する等の問題が生じます。より小型の可塑化ユニットを取り付けることで滞留時間の短縮を図れる場合が多くあります。ショットサイズをシリンダー容量の 30～70% に設定することで妥当な滞留時間が得られます。表 43 に示す溶融温度から分かるとおり、すべてのユーデル樹脂は 20 分程度までの滞留時間に耐えられますが、望ましいのは 10 分またはそれ以下の滞留時間です。

成形プロセス

供給特性

56 ページの図 65 に示す設計のスクリュウを用いて、ユーデルペレットをスムーズに供給させながら推奨温度で均一に可塑化させることができます。

供給部の温度が高くなり過ぎないように注意が必要です。温度が高過ぎるとペレットが早く溶融してしまい、スクリュウのフライトの詰まりやブリッジが発生します。

背圧

通常は背圧を加えて可塑化時間を一定に保ち、エアの巻き込みを防止し、さらに溶融物の均一性を保ちますが、ユーデル樹脂を使用する場合はこの方法が絶対に必要という訳ではありません。加える背圧が高過ぎると大きな摩擦熱が発生します。

スクリュウ回転速度

スクリュウ回転速度は、サイクル中で可塑化に使用可能な時間をできる限り完全に利用できるように値に設定してください。別な表現をすれば、サイクルタイムが長いほどスクリュウ速度を遅くすることになります。例えば、直径 50 mm のスクリュウであれば多くの場合 60～100 rpm の速度で十分です。高い溶融温度で運転する場合は特にスクリュウ速度の設定が重要であり、スクリュウチップの前方に滞留している溶融物が長時間留まらないようにする必要があります。スクリュウ速度を遅くすると、摩擦に起因する温度上昇もより小さくなります。

射出速度とベント

金型に充填するときの射出速度も成形部品の品質を決定する重要な要素です。適度な射出速度を使用する必要があります。すなわち、熔融物の均一性を保てるだけ十分に速くしなければならず、かつせん断発熱によって焼けない程度に調整する必要があります。速い射出速度は、特にガラス繊維強化グレードを使用する場合に、均一な固化と良好な表面外観をもたらします。

金型は、射出の段階でキャビティから空気が簡単に抜けるように設計しなければなりません。そうでないと、キャビティ内の空気が急激に圧縮されて温度上昇し局所的な過熱と焼けが発生します。ボイドを発生させないためには、冷却時の容積収縮を補うためにスクリー前進時間と保圧を十分高く設定する必要があります。

ゲートを十分に大きくして保圧時間終了前に樹脂がゲートで固化するのを防止します。ゲートの内部または周りで詰りが発生すると金型全体に充填できなくなります。

成形品の取り出し

ユーデル樹脂の部品は取り出しが容易であり、高温であっても金型の壁面に固着しません。一般的に、ユーデル樹脂を使用する射出成形では抜き勾配を $0.5^{\circ}\sim 1^{\circ}$ 程度にしてください。ガラス繊維強化樹脂では収縮が小さくなりますから、抜き勾配をこの値よりもやや大きくする必要があります。エジェクターまたはストリッパーのプレート面積は出来る限り大きくしてください。突き出しピンはあまり細くしないでください。サイクルタイムを短くしたり金型温度を高くしたときに、部品に喰い込んだり変形させる原因になります。

離型

離型剤の中にはユーデル ポリサルホン部品に応力割れを起こさせる成分があります。ポリカーボネート用として推奨されている離型剤は一般にユーデル樹脂にも適合します。しかし、実際の使用前に適合性試験が必要です。

アンダーライターズラボラトリーズ (UL) への登録が必要な部品のために離型剤を使用する場合は、登録されている製品に適合するものとして UL が認定した離型剤を使用しなければなりませんので注意が必要です。詳しい情報についてはアンダーライターズラボラトリーズ (<http://www.ul.com>) へ問い合わせてください。

収縮

収縮は金型の寸法と、それを使用して成形した部品の室温における寸法の差と定義されます。収縮は基本的には熱可塑性樹脂の特性であり、金型内で成形品が冷却するときに体積が縮むことにより起こります。それ以外にも部品の形状、肉厚、ゲートの大きさと位置、および加工条件などが収縮の度合いに影響を与えます。これらの因子が相互に影響を与えるために厳密な収縮の程度を予測することは困難ですが、かなり良好な近似値を得ることは可能です。典型的な値を 56 ページの表 43 に示します。

トラブル			成形要因												金型および成形機											
	樹脂の乾燥を確認	離型グリースを使用	背圧	冷却時間	保圧と保圧時間	射出速度	射出時間	射出圧	サックバック	熔融温度	金型温度	ノズル温度	スクリー速度	ショットサイズ	ノズル後退	ベント増加	型締力の増加	抜き勾配の増加	ゲートサイズの拡大	ランナーサイズの拡大	部品肉厚	ゲート位置の変更	金型のクリーニンングと研磨	ノズルの断熱	ノズル穴径	スプレーノズルの研磨
バリ						3 -		2 -		4 -				5 -		1										
低速射出						2 +		1 +		3 +	4 +								6	7					5 +	
不安定な射出			1 +							2 +																
ノズルの詰まり										3 +	4 +	1 +			5								2	6 +		
スプレー取られ				6 +	4 -	3 -	7 -	5 -		9 -	8 -	2 +														1
スクリーへのきしみ音			1 -							2 +			3 -													
計量遅れ			2 -							3 +			1 +													
ノズルのドロリング									3 +	2 -		1 -													4 -	
スプレー	1		3 -			2 -				5 -		4 -														
ショットショット			8 +		4 +	2 +	9 +	3 +		6 +	5 +	7 +		1 +		11			12	13	14 +				10 +	
ジェットティング						1 -		4 -		2 +	3 +								6			5				
ひけとボイド					4 +	7 +	2 +	3 +		5 -	6 ±			1 +		10			8	9	12 -				11 +	
離型不良	8			3 +		2 -	4 -	1 -		6 -	5 -							9					7			
表面のしわ	9					1 +		4 +		3 +	2 +					7			5		8 +				6 +	
黒条			3 -				4 -			2 -		1 -	5 -			7			8						6 -	
収縮大					3 +			2 +		4 -	5 -			1 +					6							
ウェルドライン						4 +		3 +		1 +	2 +					5			6							
そり				2 +	1 +			5 +		4 -	3 -								6							
艶不足						3 +		4 +		2 +	1 +					6							5			
成形応力大	7					3 -		5 -		2 +	1 +								4						6 +	
ゲート部白化						1 -		4 -		3 +	2 +	5 +							6							

番号の順番に従って対策を施してください。+ 増加 - 減少 ± 増加または減少

再生材（リグラインド）

スプルーやランナー、不良部品などは粉碎してペレットと混ぜ合わせるにより再利用が可能です。粉碎した材料（「リグラインド」とも呼ばれます）は乾燥させる必要があります。ペレットと同様の方法で乾燥させることができます。ポリサルホンは熱安定性が非常に優れていますから、劣化することなく何度でも再生使用することができます。リグラインドを使用する方法として標準的なのは 25% のリグラインドと 75% のペレットを混ぜることです。

材料の安定性を示す例として、リグラインド 100% の試験片を成形し、できた試験片を粉碎してから再度成形し、材料が 4 回成形されるまでこの処理を繰り返しました。この状態で試験片の引張強さ、耐衝撃性、および荷重たわみ温度試験を行いました。表 44 に示された結果から明らかなように、特性の劣化は起こっていません。

表 44：4 回の成形後のユーデル P-1700 物性		
項目	初回成形時	4 回成形後
引張強さ、MPa	68.9	71
アイゾット衝撃、J/m	69	69
たわみ温度、℃	175	173

残留応力測定

ポリサルホン部品を使用するには、成形応力あるいは残留応力をできるだけ小さくすることが重要です。残留応力の大きさを推定する方法が開発されています。この作業には、部品をエタノール／酢酸エチル混合液に浸漬する一連の操作が含まれます。既知の応力を与えた試験片を使って、それぞれの混合液においてクレージングを発生させるに至る応力レベルを測定しました。混合液と応力レベルについて、それぞれがクレーズを発生させる条件をまとめて表 45 に示します。

残留応力を決定する方法として、まず部品を最初の混合液（容積比：エタノール 75%、酢酸エチル 25%）に 1 分間浸漬します。次に部品を試薬から取り出して乾燥させます。乾燥を促進させたい場合は、低圧圧縮空気を部品表面に吹付けてください。

乾燥後の部品を観察してクレーズ発生の有無をチェックします。クレーズの発生は、残留応力が 19 MPa を超えていることを意味します。クレーズがなければ、残留応力は 19 MPa 未満です。次の混合液を使用して試験を継続します。

部品を 2 番目の混合液に浸漬し、1 分後に取り出して乾燥させてからクレーズの有無を観察します。クレーズが発生していれば、残留応力が 15～19 MPa の範囲にあることを意味し、クレーズがなければ残留応力は 15 MPa 未満です。次の混合液を使用して試験を継続します。

クレーズが発生するまで同様の手順をさらに繰り返すか、さもなければ部品が酢酸エチルへの 1 分間浸漬試験に耐えたと判断します。

正確な応力値を得るために、試薬は新しいものを使用してください。時間の経過と共に試薬に水分の吸収や蒸発、汚染等が起こり、正しい応力値を示さなくなります。応力レベル既知の試験片を使用して試薬を較正することも可能ですが、定期的に密閉容器から新しい溶媒に交換する方が実的です。試薬の較正を希望される場合は、ソルベイの担当者にご相談ください。

表 45：残留応力試験に使用する試薬			
混合物	混合組成		臨界応力 MPa
	エタノール 容積 %	酢酸エチル 容積 %	
1	75	25	19
2	50	50	15
3	43	57	12
4	37	63	9
5	25	75	6
6	0	100	3

押出しブロー成形

押出しブロー成形のプロセスは以下のステップから構成されます。

- 「パリソン」と呼ばれるチューブを押し出します。
- 熔融パリソンを金型内に入れます。
- パリソンに空気圧を導入して金型内を満たすように膨張させます。
- 冷却して部品を突き出します。

ユーデル P-1700 と P-3500 LCD 樹脂もブロー成形可能ですが、ブロー成形に適しているのはより大きな熔融強度を持つ P-3500 LCD 樹脂です。

乾燥

ポリサルホン樹脂は成形前に完全に乾燥させなければなりません。乾燥に関する推奨事項については 54 ページをご覧ください。乾燥は射出成形におけるよりもブロー成形でさらに重要な要素です。その理由は、押し出された熱いパリソンが大気圧下にあるため、水分が残っているとそれがすぐに表面に出てくるためです。

装置

315～343℃ の熔融温度で使えるタイプであれば、定速タイプと断続押しタイプを含む一般のブロー成形装置をポリサルホン用として使用することができます。

ポリサルホンのブロー成形ではスクリュウがどのように構成されているのが重要です。熔融温度の均一性と温度コントロール、および動力の要求事項を最適にバランスさせるには、低圧縮比（2.0～2.5：1）のスクリュウが適しています。ポリオレフィンで使われるような高圧縮比スクリュウの使用は避けてください。このようなスクリュウは高い駆動トルクを必要とし、ポリサルホンでは過度の摩擦熱を発生させます。

押し出しで得られるポリサルホン熔融物の温度均一性は、ポリオレフィンの場合よりもはるかに優れています。したがって、スクリーンパックその他の圧力制限要素は通常は必要ありません。

射出成形の場合と同じように、金型温度のコントロールにはオイルを使用して成形時の応力発生を押さえます。ほとんどの部品は一部に比較的薄肉の部分を持つのが普通ですので、金型温度は 120～149℃ の範囲に設定してください。

プロセス条件

ブロー成形は射出成形よりもはるかに低い樹脂温度を使用します。ユーデル P-1700 では 315～329℃、P-3500 LCD では 329～343℃ です。

それ以外のブロー成形条件は、他の材料を使用する場合とほぼ同様です。ボトル類の成形ではブロー空気圧は 0.28～0.48 MPa で十分なことが知られています。成形サイクルはポリカーボネートに使用するのと同様です。ポリサルホンは非晶性で硬化が速いので、ポリオレフィンの場合よりもサイクルを短く設定します。

ポリサルホンのブロー成形を効率的に行うには、ヘッドとダイの設計および温度コントロールに注意を払うのが有効です。ヘッドとダイを流線形にすることにより、滞留を防止して熔融物の均一性をコントロールするのが容易になります。ポリサルホン熔融物は温度に対して非常に敏感ですから、ヘッドとダイの表面温度を注意深く均一にする必要があります。これらの事項に注意を払うことにより、パリソンのコントロールに優れた結果が得られます。

ポリサルホンを使用すれば表面に艶や光沢のある製品をブロー成形で作り出すことができます。ヘッドやピン、ダイの流れ表面を研磨することにより、材料が本来持っている高度の光沢を最終製品表面に再現できます。部品表面の外観を最良にするためには金型表面も研磨するようにお奨めします。ポリサルホンに腐食性はないので、流れ表面をクロムメッキする必要はありません。しかし、ピンやダイ表面を高度に滑らかな状態に保つためにはクロムメッキが有効です。

ポリサルホンの熔融粘度はせん断に対して敏感ではないため、他のほとんどのブロー成形材料と比較してダイから出てくる途端にパリソンが膨張する傾向は小さくなります。したがって、パリソンの肉厚はピンとダイ間のクリアランスに近い値になります。

ポリサルホンから作るパリソンのドローダウンをコントロールする重要な因子は、材料温度とダイからの押し出し速度です。ほとんどの材料がそうであるように、パリソンの押し出し速度が遅すぎたり材料温度が高過ぎると過度のドローダウンが起こります。一般的には滑らかなパリソン表面を実現できる最低温度で速く押し出すことによって最良の結果が得られます。最適に肉厚を実現するため、パリソンを適正にプログラムされるようお奨めします。

押出し

ユーデル ポリサルホン は標準的な押出成形装置を用いて、シートやフィルム、異形品、ロッド、板材、チューブ等を含む多数の製品を製造することができます。

予備乾燥

押出成形品への気泡を防止するため、ユーデル樹脂は押出成形前に完全に乾燥させる必要があります。材料の乾燥に関して 54 ページで説明した推奨事項は、水分が 100 ppm 以下になるまで乾燥を継続する必要があることを除いてそのまま当てはまります。ホッパーで乾燥させる際には十分な断熱を施し、システムの漏れを最小にしてください。取り入れ口の空気温度を十分に高く、かつ空気の水分を十分に低くすることにより、樹脂ペレットの温度を 149°C 以上、空気の露点を -40°C に保ってください。樹脂の水分含量が 100 ppm 以下に落ちるまでこの条件を維持する必要があります。

押出し温度

押出し操作の特定の条件によっては、押出し品の熔融温度を 315~371°C 程度の範囲にしなければならないことがあります。ポリサルホンはせん断に対して敏感ではないため、材料の熔融粘度は直接温度に依存して変化します。

通常シリンダー温度設定として押出し装置の供給側を 302°C とし、ヘッド部分まで温度を上昇させて 315~337°C 程度に設定することをお奨めします。315~371°C の範囲で様な温度に保持した場合、押出し品に必要な温度の値が得られるようなシリンダー温度を設定しなければなりません。比較的浅い計量部を持つスクリーを使用する場合は、許容圧力と動力の範囲内でより良いコントロールを実現するために 315~357°C 程度の高いシリンダー温度設定が必要となることがあります。

スクリー設計の指針

一般的には L/D 比が 20 : 1~24 : 1 程度の値を持つスクリーをお奨めします。また、圧縮比が 2 : 1~2.5 : 1 程度の値が良い結果をもたらします。スクリーのピッチは直径と一致しなければならず、供給部から計量部へ滑らかに移行しなければなりません。この圧縮部と計量部を合わせた長さは、供給部よりも長い必要があります。この圧縮部を最も長くすることによって、実際に押出される前に樹脂が適度に軟化するために十分な時間と熱を与えるようにします。出発点となる構成は供給部に 4 フライト、圧縮部に 14 フライト、そして計量部に 6 フライトという設定です。

溶融物の最適な圧縮がより望ましい場合には、真空ベントを可能にするために 2 ステージ型のスクリーを使用することができます。2 ステージ型スクリーの設計では、最初の計量部に続いて減圧部を設けることによって真空ベントを可能にします。減圧部の後には、1 ステージスクリーの設計原理に従って、さらにもう一つの移行ゾーンと計量ゾーンが続きます。

ダイ設計

ダイ用ヒーターは 315~371°C の温度に達してその値を維持できる能力を持つ必要があります。ポリサルホンの粘度は温度に対して敏感なため、均一な特性の押出成形品を作るためには厳密なダイ温度のコントロールが必要になります。

ポリカーボネート用に設計されたダイはそのまま使用できません。ダイは必ず流線型でなければなりません。流路を流線形にしてパージプレート（例えばブリーダープラグ）をシート押出しダイに組み込むことにより、材料がダイ近傍で停滞状態（滞留と分解発生の原因になります）になる傾向を解消することができます。

ダイは 21 MPa までの圧力下で連続動作できるものでなければなりません。

流路、ダイリップ、およびランドは十分に研磨し、押出成形品の外観を良くするためにはさらにクロムメッキしておくべきです。

ポリサルホンの熔融粘度はせん断速度の影響を受けないため、押出し中にダイスウェルはほとんどありません。さらに、この樹脂の応力緩和が非常に迅速であるため、押出し品の配向性はほとんど見られません。

押出し品のタイプ

ワイヤー被覆

半チューブ状またはチューブ状クロスヘッドダイを使用し、ユーデル ポリサルホン をワイヤーに押出し被覆することができます。密着性を良くするためには、ワイヤー入口温度を溶融物とほぼ同じにする必要があります。ユーデル樹脂を使用すれば溶融物チューブの高いドロダウンを実現できます。ポリマーチューブのワイヤーへの密着性を良くするために、クロスヘッドの真空ベントをお奨めします。被覆されたワイヤーについては急冷を避け、むしろスプレーや水槽を利用してゆっくりと冷やしてください。

フィルム

優れた熔融強度を特徴とするユーデル ポリサルホンは、薄いフィルム製造に適する優れたドロダウン特性を示します。細溝キャストフィルムは広い温度範囲にわたって優れた光学特性と高い弾性率、良好な衝撃強さと電気的特性を示します。フィルムは熱遮断特性を持ち、特別な処理をしなくても印刷が可能です。一般的な押出しフィルム成形にはユーデル P-1700 グレードが最も適しています。

63 mm 押出機用の典型的なフィルム押出装置の構成と条件を次に示します。

ダイ

コートハンガー式やストレートマニホールドチョーカーバー式の標準的なフィルムダイで十分に使用可能です。0.025～0.25 mm 程度のフィルムには、ダイリップの開きが 1～1.5 mm のものを使用してください。ダイは 24.1 MPa での連続使用に耐えるものである必要があります。

ブレーカープレート

いわゆる「ダイライン」ができる原因はブレーカープレートにあるため、ダイアダプターが押出し機に対してシールする効果を持つスリーブと置き換える必要があります。

キャストイングロール

温度 168℃ で動作し、フィルムにしわを発生させないためには直径 21.6 cm のロールが必要になります。

押出し機温度

シリンダー温度は後ろから前方に向けて 302～329℃ の温度を持たせる必要があります。このときのダイ温度は 329～343℃ です。

押出し量

以上の条件で動作させたときの押出し量は 1.36 kg/hr/rpm になります。

シート

標準的な円形またはティアドロップマニホールドシートダイ（チョーカーバー付き）が十分に使用可能です。リップの開きが 3.2 mm のダイを使用して厚みが 0.5～3.2 mm のシートを作ることができます。

シート押出しでは、カールの防止とひずみ発生低減のため、引き取りロールの温度を十分に高く保つことが重要です。ロール温度を 166～193℃ まで上げることが可能であるならば、0.8 mm までの厚みのシートに対していわゆる「S」ラップ技術が十分に機能します。0.8 mm を超える厚みのシートに対しては、ストレートカレンダー技術の使用を推奨します。そのためにはシートの全幅をカバーする二つのロールの間隙に小さなバンクを維持して、ロール温度を 166～177℃ に保つ必要があります。

厚さが 3.2 mm 程度までのシートの場合は、動力シャーでシートを所定の長さに裁断することができます。それよりも厚いシートは鋸で裁断するようにお奨めします。

パイプと配管材

ポリサルホンでパイプや配管材を押出成形するには、標準的なピンとスパイダーダイを使用します。所定の溶融粘度を得るには樹脂温度のコントロールが重要であり、例えばユーデル P-1700 であれば 304～321℃ が適しています。ユーデル P-3500 LCD の場合は、これよりも 17℃ 高い溶融温度を使用します。

寸法は、サイジングプレートと真空タンクを使用する方法で十分にコントロール可能です。長い内部マンドレルはお奨めできません。溶融物をうまくコントロールするには、押出しダイの大きさをサイジングダイよりも 70～100 % 大きくする必要があります。

高品位の押出成形を行うには、加工時の応力を最小にしなければなりません。これを実現するには、寸法条件を満たしながら、真空サイジングバス内での冷却のレベルをできるだけ低く抑えます。水槽の長さとしては、ポリエチレンの場合に必要な長さの 1/4 ないしは 1/5 程度で十分です。

運転の起動と停止およびパージ

起動手順

ベントなし押出し機の場合は、スロート部分を水冷できるホッパーに、予備乾燥した温かい樹脂を供給します。スクリュウの供給部への充填が終わるまではスクリュウ速度を 15～20 rpm とし、この部分への充填終了とともに速度を 5～10 rpm へ落とします。これによりペレットの早すぎる溶融とスクリュウ後部の詰りを防止します。材料がダイから送り出された後でスロート部分の水冷を打ち切り、スクリュウ速度を必要な値に調節します。

停止手順

ポリサルホンの押出成形実行中に装置を停止する必要性が生じた場合を守るべき事項がいくつかあります。停止期間が短い（長くても数時間）場合は、押出し機を空運転させてから供給量を制限して再起動するのが適当です。停止期間が数時間を超える場合は、押出し機を空運転させて装置とダイの温度をできるだけ急速に室温まで下げます。起動時にはまずダイヒーターの電源を入れ、数時間経過してから押出し機ヒーターの電源を入れてください。押出し機温度が 288～349℃ に達すればスクリュウを動かせる状態になるので、スクリュウを一定間隔で回転させて押出し温度に達するのを待ちます。供給量を制限してスクリュウを低速動作させ、ダイから樹脂が送り出され始めれば、これで起動のための作業は完了です。

押出し機内部で、押出し温度のままの熱可塑性樹脂を長期間滞留させておくのは良い手順ではありません。樹脂の分解が起こり易く、機械の再起動と適正なパージの実行が困難になります。

パージ

ポリサルホンは低いメルトインデックスを持つ高密度ポリエチレン、または低いメルトインデックスを持つポリプロピレンを用いて簡単にパージをすることができます。パージを行う際には、まず装置をポリサルホンで空運転させてからダイとアダプター、およびブレーカープレートを取り外します。装置温度を約 288℃ まで冷やしてからエアで吹いて残っている樹脂を取り除きます。

シリンダー温度を 343℃ まで上昇させてからパージ材料を流し、流れ出てくるパージ材料中のポリサルホンが目視では分らなくなるまでパージを続けます。次に温度を 149℃ まで下げます。スクリューを取り外し、シリンダーとスクリューをブラシでクリーニングします。付着したポリサルホン樹脂が取りきれないようであれば、その部品を塩素化溶媒中に一夜浸漬してからブラッシングして樹脂を取り除いてください。

サーモフォーム

ユーデル ポリサルホンのシートはサーモフォームする前に乾燥させておく必要があります。乾燥していないと、サーモフォーム加工時に加熱すると気泡が発生します。押出しラインから直接取り出したシートは乾燥していますから、そのままサーモフォームできます。したがって、押出しとサーモフォームを一つのラインに統合して加工するのが好都合です。シートをきっちりと巻上げたロールならば一般に 8~16 時間程度はサーモフォーム可能な状態にありますが、この時間幅は湿度条件と巻上げステーションで熱い状態に保たれていた時間の長さに依存します。厚さが 0.23 mm 以下のシートは気泡を発生させないので、サーモフォーム前に予備乾燥させる必要はありません。

薄いユーデル ポリサルホンシートを巻いたロールは、ロールのまま乾燥させることができます。例えば、厚さ 0.5 mm のシートをコアの周りに 15.2 cm の厚さに巻上げたロールを乾燥させるには 135℃ で 20 時間が必要です。ロールの乾燥では巻上げたロール全体の温度が 121℃ 以上に上昇する必要があるため、乾燥に要する時間は正味の巻上げ厚さに依存します。

厚さが 0.4 mm から 0.5 mm 程度のユーデル ポリサルホンシートを個別に乾燥させる場合は 135℃ のオープンで 2 時間乾燥させてください。厚さ 0.75 mm のシートでは、乾燥時間を 3 時間に延長してください。

サーモフォームする際には、シート表面の実際の温度が 232~260℃ になっていなければなりません。ヒーターの加熱面には少なくとも 21 kW/m² のエネルギー密度が必要です。一般的には 43~54 kW/m² 程度のヒーター密度が妥当です。エネルギー密度が約 43 kW/m² のヒーターを、0.5 mm ユーデル ポリサルホンシートの両端から約 7.6 cm の内側の温度が 426℃ となるように設定したとすれば、シートは 15 秒程度で加熱されます。約 2.3 mm までの厚みのシートであれば片面加熱で処理が可能です。

加熱中のシートは縮むように見え、軟化にしたがってクランプ間で垂れ下がり始めます。その後、シートはほぼ均一に張られてたわみ始めます。この状態になれば成形を開始する準備が整いました。加熱されたユーデル ポリサルホン（特に重量のかかる大きなゲージの場合）は比較的短時間でたわみ始めます。したがって、金型への位置割り出しを迅速に行わねばならず、かつ下側のヒーターとの間に十分なクリアランスを確保する必要があります。

真空成形や加圧成形、プラグアシスト、スナップバックを含む大部分のサーモフォーム法がユーデル ポリサルホンに広く適用されてきており、9:1 という大きな面積比を持つ部品までが商用的に成形されてきています。

サーモフォームによる試作品は種類の異なる複数の金型（木製、金属充填エポキシ、アルミダイキャスト）を使用することができます。高温条件で使用するため、硬質木材製の金型は 10~30 個の部品を製作すると金型の寿命が尽きます。エポキシダイキャスト金型を使用すると 100~300 個の部品を製造できます。アルミダイキャスト金型ならば数千個の部品を製造できます。

実際の製造用の金型は金属製でなければならず、加熱用に 149℃ の熱伝導媒体を流すコアを設ける必要があります。アルミニウムまたは鋼製の金型が十分に使用でき、金型表面の再現性も優れています。ユーデル ポリサルホンの成形品は一律に 0.7% 程度収縮します。理想的には金型を 149~166℃ で使用することにより残留応力を最小にし、部品の耐環境応力割れ特性を最大にすることができます。ユーデル ポリサルホンは急速に固まるため、成形部品を 149~177℃ の温度で取り出すことができます。

ユーデル ポリサルホン用に使用するサーモフォーム金型の設計にあたっては、剛性のある非晶性材料に標準的に適用される以下の指針に従ってください。

- コーナーには部品設計が許す限りの大きな丸みを与える。
- 絞りの浅い部品の場合は少なくとも 3°、深絞り部品の場合は少なくとも 6° の抜き勾配を付ける。
- アンダーカットは避ける。
- 最大直径 0.397 mm の真空孔をあける。

圧縮成形

切削加工で試作品や形状を作り出す素材となる厚さ 25 mm、長さ 216 mm、幅 216 mm のポリサルホン板材を圧縮成形するためには、例えば以下の手順を実行します。

1. 金型のキャビティに 1,520 g のユーデル P-1700 ペレットを詰込みます。
2. 両方のプレスプラテンを 293°C に加熱します。
3. 金型の上に 13 mm 厚の断熱板を被せます。金型をプレスに入れ、プレスを閉じます。⁽¹⁾
4. 18,144 kg (20 tons) の圧力を加え、そのまま 1 時間保持します。
5. プレスを開いて断熱板を取り出し、再び圧力を 10 分間加えます。⁽²⁾
6. プラテンを 121°C まで冷やし、圧力を解除して金型をプレスから取り出し、金型を引き離します。

厚さだけを 13 mm に変化させ、それ以外の寸法を同じとした板材を作成するには上記の操作を次のように変更してください。ステップ 1 で 760 g のユーデル P-1700 樹脂を使用します。ステップ 4 の時間を 30 分にします。

⁽¹⁾ 片面だけが加熱されるようにするため断熱板が必要です。両面が加熱されると中心部にガスが閉じ込められます。

⁽²⁾ 最後に 2 面から加熱することにより、上側表面に発生した気泡を取り除きます。

二次加工

洗浄と脱脂

ポリサルホン部品の蒸気脱脂と洗浄には Vertrol®XF (E.I.DuPont) の使用をお奨めします。

アニーリング

他の高機能非晶性樹脂と同様、応力のかかったポリサルホンを過酷な環境に曝すとクレージングやクラックが発生します。例えば、アセトンやトルエンなどの溶媒は大きな残留応力を持つポリサルホンにクレージングやクラックを発生させます。実験室での試験や現場での経験によれば、ポリサルホン部品にアニーリングを施して事前に応力を取り除いておけば、このような溶媒で洗浄しても問題がないことが分かっています。しかし、アニーリングは余分な経費を発生させるばかりでなく、引張伸びと衝撃特性を失わせます。

残留応力を減らす処理

アニーリングを検討する前に、まずは発生する応力を最低に抑える成形／押出し方法を考えるべきです。部品の最終的な形状形成に差し支えない範囲でできるだけ高い温度で部品を製造プロセスから取り出してください。これによりゆっくりと冷却されるため残留応力も小さくなります。

射出成形における応力を小さくするには、推奨成形条件に従い、138～149℃の金型温度を使用してください。同様にパイプやチューブ、異形押出しの場合も、後処理での冷却をできるだけゆっくりと行います。

空気中でのアニーリング

どうしてもアニーリングが必要な場合は、166℃に設定した空気循環型オーブンで30分間の処理を推奨します。このアニーリング処理は、引張り伸びなどの強度性能特性値に大きな影響を与えることなく製造時の残留応力を大部分取り去ってくれます。特殊な条件下、あるいは残留応力を完全に取り去ることが必須である場合にはより厳格な条件（温度170℃で1時間）のアニーリングを行うことも可能です。さらにこれを超えるような苛酷なアニーリング条件は樹脂の強度特性を低下させる恐れがあるため望ましくありません。

アニーリング後の部品の応力レベルを評価するには、部品を酢酸エチルに1分間浸漬してください。亀裂が全く生じなければ、実質的に応力は解放されたと見なすことができます。酢酸エチル中で亀裂が発生するようであれば、同様の試験を酢酸エチルとエタノールの75：25（容積比）混合液で実行してください。この混合液中で亀裂が発生しなければ応力レベルが6 MPa以下になっていると考えられます。

アニーリングはそれ自体が複雑な問題ですから予期しない結果が生ずるということもあり得ます。お客様に固有な状況へ対処するガイダンスについてはソルベイの技術サービス担当者に連絡して相談されることをお奨めします。

急速アニーリング

部品を高温の液体、例えば166℃に保ったグリセリンに数分間浸漬するという方法でもアニーリングを行えます。グリセリンに浸漬する前に、部品を沸騰水に5分間漬けておくことをお奨めします。アニーリング終了後、その部品をもう一度沸騰水に5分間漬けます。空気中でのアニーリングが数時間を要するのに対して、この方法は数分でアニーリングが完了するという利点を持っています。様々な厚みの部品に対応する推奨アニーリング時間を表46に示します。

一方、熱い部品と熱い液体を取り扱わなければならないことは、液体を用いるアニーリングの明らかに不利な点です。液体アニーリングは表面現象であるため、活性の高い媒体であると処理後もある種の条件下では部品に影響を与えます。

耐薬品性／耐溶媒性を要求される用途では、一般にガラス繊維強化グレードの方が適しています。通常、ガラス繊維強化した材料はアニーリングなしでも十分な耐応力割れ特性を示します。

表 46：166℃に保ったグリセリン中におけるアニーリング時間

部品厚み	
mm	アニーリング時間、分
1.5	0.75
2.5	1.50
3.2	2.00
6.3	4.00
9.5	5.00

切削加工

ユーデル樹脂は通常の金属加工用工具で切削加工が可能です。軟化温度が高いため、比較的速い切削速度を使用しても固着を起こしません。

しかし、耐加水分解性や耐薬品性の観点から加工品に応力が残るのが好ましくない場合は、鋭い工具を使用して切削速度を遅くする方が良い結果が得られます。鋭い工具を用いて遅い速度で加工する方が加工面での発熱を抑えられますから、その結果として発生する応力も小さくなります。

あらゆる切削加工操作は多かれ少なかれ応力を発生させます。エンドユーザーの使用環境によっては仕上げた部品のアニーリングが必要な場合もあります。

クーラント

クーラントが必要な場合は、何も混ぜない水をそのまま使用できます。金属の切削加工用のクーラントはユーデル ポリサルホンには適合しませんから使用しないでください。

一般市販されているクーラントの中では、Milacron Marketing が提供している Cimcool® Cimtech® 95 を推奨濃度に希釈して使用することができます。

ドリリング

通常の鋼材加工用工具をそのままポリサルホンに使用できます。12°~15°の逃げ角、118°の先端角、および5°のすくい角を持つドリル刃であらゆる穴あけ操作を行うことができます。

小型の孔を拡大することもひび割れなしに簡単に実行できます。ポリサルホン部品をドリルで貫通させる場合は、下側に抜け出るときに部材の一部が壊れたり、孔周りにひび割れることがあります。この問題を解消するには部品に裏当てを施し、送り速度を遅くしてください。

標準的な高速ツイストドリルの使用をお奨めします。送り速度を 0.15~0.40 mm/rev としたときの切削速度として 90 m/分程度を推奨します。

タッピング

標準的な鋼材加工用タップをそのままポリサルホンに使用できます。タップの摩耗を低減するために低潤滑オイルを使用することはありますが、潤滑／切削オイルは本来必要ありません。

二または三溝タイプのタップを 11~23 m/分程度の速度で使用すると良い結果が得られます。

ソーイング

ポリサルホンはどのようなタイプの鋸でも切断できます。木材用の刃の方が金属用の刃よりも多少良好に切断することができます。ごく一般的に使用される 0.7 歯/mm の帯鋸の刃でうまく切ることができます。また、10 ピッチ刃でも良い結果が得られます。切断条件は結果にそれほど大きな差異をもたらしません。

旋盤加工

標準的な速度可変の金属用旋盤（丸先バイトまたは尖頭ツール付き）をそのまま使用できます。切削工具の推奨設定条件は、すくい角が 3°、逃げ角が 10°、およびサイドアングルが 5° です。丸先バイトの方が一般的には滑らかな仕上げが得られます。

ポリサルホンは 4.6~5.1 m/秒までの高速旋削に耐えますが、最良の結果が得られる速度は 1.5 m/秒程度です。ねじ切り加工や旋盤加工ではクーラントや潤滑剤を使用する必要はありません。

0.051~0.102 mm/rev 程度の送り速度と 0.51 mm の切り込み深さが良好な切削と仕上げをもたらします。

フライス削りと溝付け

フライス削りと溝付けは、クーラントや潤滑剤の必要なしに簡単に高速で実行できます。アルミ用工具でうまく加工することができます。例えば、幅が 13 mm で深さが 2.5 mm の溝ならば、送り速度を 114 mm/分、回転速度を 1,750 rpm に設定してうまく底ぐりすることができます。

仕上げと化粧仕上げ

ユーデル樹脂は様々な仕上げに対応する優れた素材であり、装飾的・機能的に要求される仕上げについてあらゆる要求事項を満足します。

塗装

ユーデル樹脂は、有機系ペイントと標準的な塗布方法を用いて様々な色に塗装することができます。塗装は希望する外見を得るための経済的な方法です。

塗装で重要なのは、しっかりと密着して表面が脆化しないことです。塗料の密着を良くするには、部品表面からホコリやオイル、グリース、離型剤などの異物を完全に除去することが重要です。汚れが残っている場合は、まず部品の洗浄が必要です。適正な取扱いが行われていれば通常はそのまま塗装してもかまいません。

ロールや刷毛を使用することもあります。最も標準的に使用されるのはスプレー塗装です。

塗料の種類は、希望する化粧仕上げや機能性、および塗布方法を勘案して選択します。コーティング材として使用されるのは、ポリウレタン、ポリエステル、エポキシ、アクリル、およびアルキド樹脂などです。

塗料の種類に応じて、空気乾燥またはオーブンで焼き付けて硬化させます。ユーデル樹脂は優れた耐熱性を持っていますから、焼き付けが必要なときは比較的高いオーブン温度を使用できます。

電気メッキ

電気メッキされたプラスチック部品は非常に耐久性に優れ、軽量でありながらダイキャストやシートメタルの代わりとなります。プラスチック部品の表面に電気伝導性を持たせる特殊な前処理に続いて、金属のメッキ処理に類似した電気メッキプロセスを行います。

ホットスタンピング

ホットスタンピングは一工程だけで高品位イメージをプラスチック表面に転写できる経済的な技術です。この方法では、加熱されたダイを使用して転写テープに描かれたパターンを平坦なプラスチック表面に移します。レタリングから装飾的なデザインまで様々なパターンを染料、木目仕上げ、金属仕上げなどで描くことができます。

ユーデル樹脂はロールオンまたは垂直動作する塗布装置のどちらでもホットスタンピングが可能です。スタンピングのために特別な処理を行う必要はなく、ごく標準的なダイ温度、圧力、押し付け時間の範囲で処理が可能です。

印刷

ユーデル樹脂への印刷には、シルクスクリーンやパッド転写印刷が使用できます。パッド転写印刷は高速複製が可能なおことから経済性に優れています。同時多色印刷装置を使用すれば、この方法で複数の色を持つイメージを複製することも可能です。シルクスクリーン印刷は主として生産量が限定されている場合に使用されます。パッド転写に比べると低速ですが、シルクスクリーン印刷は起伏のある表面でも装飾が可能であることから多くの成形部品への理想的な印刷方法です。

多くのインクがユーデル樹脂への優れた密着性を示します。ポリオレフィンなどの場合は密着性を良くするために表面を前処理するのが普通ですが、ポリサルホンでは必要ありません。

優れた耐加水分解性を持つことから、ポリサルホンはしばしば蒸気や熱水、化学薬品に曝される用途に使用されます。このような用途に使用される部品に印刷を施す場合は、外見と密着性を維持するためには印刷インクも加水分解に耐える品種を選択する必要があります。このような用途では、二種類の基材を混合するエポキシ樹脂インクが良い結果をもたらします。外部環境における耐性を最大限にするためには、エポキシ樹脂の架橋を強化するために熱硬化樹脂を調合します。多くのベンダーがこのようなインクをシルクスクリーンとパッド印刷用に提供しています。

化粧仕上げに適したその他の方法としては、ホットスタンピング、フレキシフィルム印刷、レーザーエッチングなどがあります。

真空蒸着

ユーデル樹脂は真空蒸着にも適しており、装飾性・機能性のある金属コーティングを行うことができます。コーティング材料として最も頻繁に使用されるのはアルミニウムですが、それ以外にも金、銀、真鍮、銅などを使用できます。

ほとんどの熱可塑性樹脂では、真空蒸着のための最初のステップとして部品表面をエナメルやラッカーで下塗りすることにより表面のむらを取り、光沢を良くします。下塗りは同時に、成形部品表面と金属コーティングを結び付けて密着性を良くする働きをします。

続いて部品を真空チャンバーへ入れ、内部で金属蒸気を発生させて部品表面に析出させます。摩耗や環境への耐性を高めるため、金属薄膜の上にはさらに透明な上塗りを行って保護します。ユーデル樹脂は耐熱性に優れているため、高温での焼き付けが必要な高耐久性、耐摩耗性のコーティング材を使用することができます。

成形部品に金属薄膜を密着させると同時に金型の欠陥が強調されますから、金型表面を十分に研磨しておかなければなりません。

組み立てと接合

超音波接合

超音波接合はプラスチック部品の組み立てに使用する接合技術の一つです。この方法は非常に迅速であり、完全自動化が可能です。ことから高速、高数量生産に向いています。超音波接合には、接合部の設計や溶接変数、治具、水分含量などの詳細条件に特に注意が必要となります。

超音波接合を実行するときの原則は、まず超音波エネルギーを小さな接触面に集中して高周波数の振動で材料を溶かし、圧力を加えたまま振動を止めて溶融していたプラスチックを固化させます。こうして処理された接合部は、本来の材料と同等の強度を持ちます。

溶接性は、単位面積あたりに集中できる振動エネルギーの量に依存します。ユーデル樹脂はポリカーボネートと比較して溶融温度が高いため、材料を溶融させて接合部に流動性を与えるためにはより大きなエネルギーを与える必要があります。

エネルギーディレクターを備えた突合せ接ぎを図 66 に示します。V 字型エネルギーディレクターは超音波エネルギーをこの領域に集中させる機能を果たし、この部分が速やかに溶解して溶融物プールを形成し、部品を押し付けたときに強固な接合を形成します。気密封止が望ましい場合は、嵌め合い溝が使用されます。

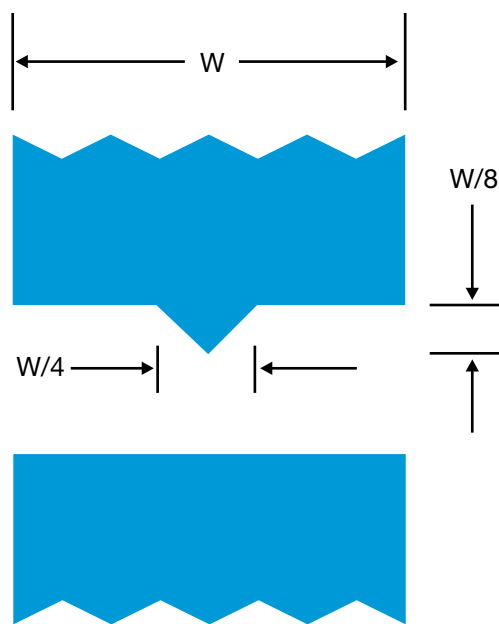
最良の結果を得るためには以下の事項に留意してください。

- 溶接ホーンが適正な接触面積を持つこと
- 接合／溶接領域を、溶接ホーンが実際にプラスチック部品に接触する部位に出来る限り近づけること
- 接合面を小さくすること
- 溶融材料が適当に流れるように接合面を設計すること

ホットプレート溶接

この方法は 371°C まで昇温可能なホットプレートまたは適当な熱源を必要とし、その表面は PTFE（ポリテトラフルオロエチレン）などで粘着性を持たないように処理されていなければなりません。溶接面を 371°C に保ったホットプレートに約 10 秒間押し付けてから直ちに部品を相互に接合させます。ポリサルホンには微量の水分を含みますから、熱溶接を行う前に 121°C で 3～6 時間予備乾燥させるようにしてください。部品を速やかに正しい向きで接合させるためには適当な治具の使用が不可欠です。一般的には金属製治具を 177°C に加熱して使用するとうまく行きます。

図 66：エネルギーディレクターの設計



ポリサルホンは直接加熱溶接法で金属に接合させることも可能です。ポリサルホンをアルミニウムに接合させるには、371°C に加熱した金属を乾燥したポリサルホン部品に直接押し当てます。典型的な重ねせん断試料はこの方法で作られ、引張せん断強度試験に使用します（この接合部よりもポリサルホン自体が先に破断します）。

冷間圧延された鋼材と接合する場合は、予め金属表面をポリサルホンの 5～10% 溶液で下塗りしておく必要があります。下塗り後は 260°C で 10 分間乾燥させてください。その後、下塗りした部品を 260～315°C に加熱してからポリサルホンと接合させます。

溶媒接着

溶媒接着はプラスチックの種類によっては迅速かつ経済的な接合方法です。この方法では液状溶媒を接合部表面に塗布します。溶媒がポリマー表面を軟化、溶解させ、柔らかくなった表面を相互に押し付けて保持しながら溶媒を蒸発除去します。理想的な条件下では真の溶接を実現できます。

ユーデル樹脂から成形した部品の溶媒接着は一般的にはお奨めできません。その理由は、この樹脂に有効な溶媒（例えば塩化メチレン）が人体の健康に有害である可能性があるためです。

スピン溶接

スピン溶接は円周状接合部を持つ部品に便利な迅速接合法です。一方の部品を固定しておき、他方を回転させながら決められた圧力で接触させます。接合部表面間の摩擦による発熱で部材を熔融させ、相対運動を停止させて圧力を加えたまま固化させます。

接着剤による接合

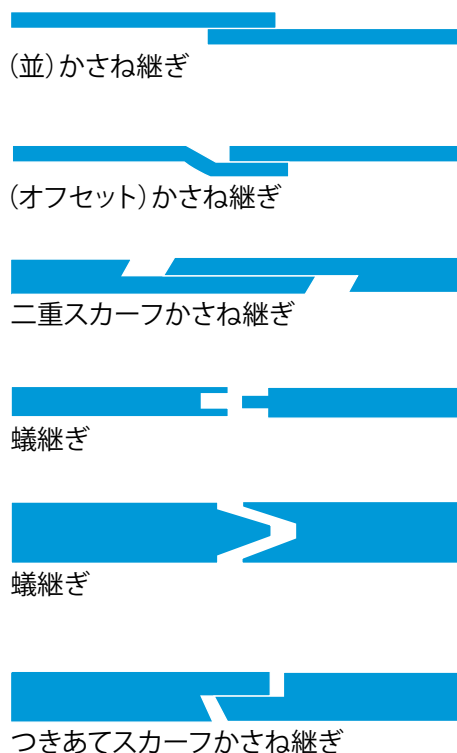
ユーデル樹脂で成形した部品をユーデル樹脂部品あるいは他材料と接着する接着剤が市販されています。接着剤による接合強度は、接合部の設計と負荷応力ばかりでなく、使用温度や化学物質との接触等の使用環境にも強く影響されます。

熱可塑性樹脂に推奨できる接着剤としてはエポキシ、アクリル、フェノール、ポリウレタン、ポリエステル、ビニル樹脂などがあります。特定の接着剤の使用法に関する推奨事項についてはその接着剤メーカーにお問い合わせください。設計者は実際の使用環境において接合部の性能を確認する必要があります。

接着面がグリースやオイル、指紋、離型剤などで汚れていないことが非常に重要です。接着面の汚れは接着強度の劣化を招きます。場合によっては、さらに密着性を良くするために接着面を薬品でエッチングしたり、機械的な方法で粗くしなければならないことがあります。締付は面がしっかりと接触する程度に強くする必要がありますが、同時に部品が変形したり溶媒が接合面から押し出されてしまうほど強くはしないでください。

また、接合面は二つの部品が正確にフィットするように設計しなければなりません。接着剤による接合に適した設計の例を図 67 に示します。部品は残留応力が小さくなるように、また正確な寸法で成形しなければなりません。

図 67：接着剤用の接合部設計

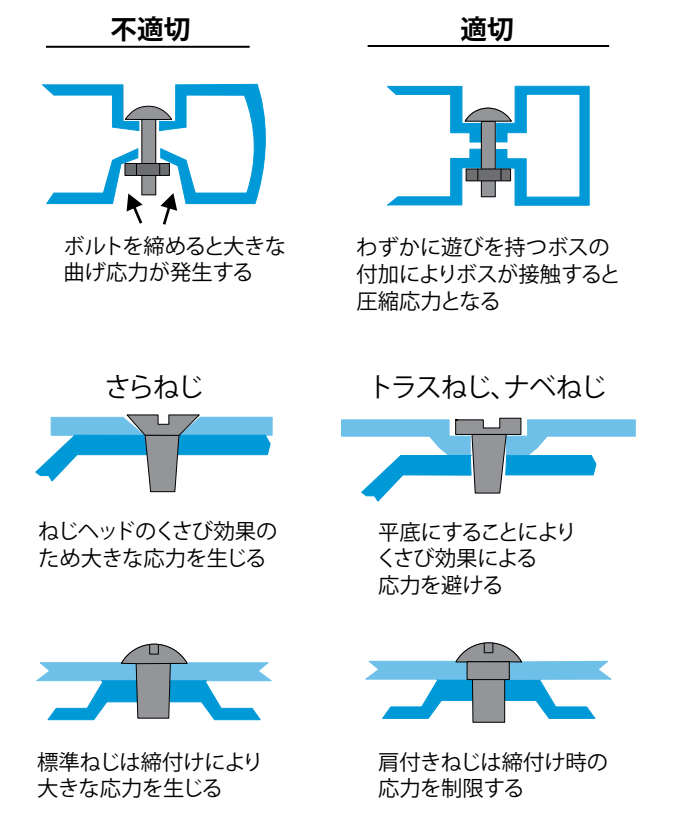


メカニカルファスナー

射出成形部品の組み付けに頻繁に使用されるファスナーには、ねじ、ボルト、ナット、ロックワッシャー、ロックナットなどが含まれます。金属性メカニカルファスナーの使用を想定する場合は、組み付け時にプラスチック部品を締め付け過ぎないように設計の段階から考慮する必要があります。

組み付け時に応力が発生するのを防ぐ最も有効な手順は、トルクドライバーで締めることです。現場での組み付け作業などでトルクを正確にコントロールするのが困難な場合は、段付きねじを使用することによってプラスチック部品にかかる圧力を制限することができます。それ以外の選択肢として、フランジヘッドねじ、大型ワッシャー、段付きワッシャーなどの使用も有効です。メカニカルファスナーを使用するための好ましい設計例を図 68 に示します。

図 68：メカニカルファスナーの設計



成形ねじ

組み付ける部品自体に、嵌合のための雄ねじ、雌ねじを成形することができます。通常、部品内部にねじを成形する場合は、金型にねじ部を離型するために回転抜きやスライド等のメカニズムを必要とします。

場合によっては、パーティングラインに沿って分離する方法で外側にねじを成形することも可能です。28 ピッチを超えるような非常に微細なねじを成形するのはあまり実用的ではありません。

ねじ込みインサート

金属製ねじ込みインサートを使用して、プラスチック部品に恒久的な金属ねじを埋め込むことができます。この種のインサートとして様々なサイズとタイプが用意されています。通常、インサートはそれに適合する内径で設計されて成形されたボスに取り付けられます。インサートの種類によっては圧入されることもあります。多くの場合は応力発生が小さくしっかりと固定できる方法で取り付けが行われます。

超音波挿入が最も好まれる方法です。この方法では超音波溶着に使用すると同じ装置を利用して取り付けを行います。超音波溶着は金属インサート近傍を溶融させるため、取り付けが強固であるばかりでなく比較的応力も小さいのが特徴です。

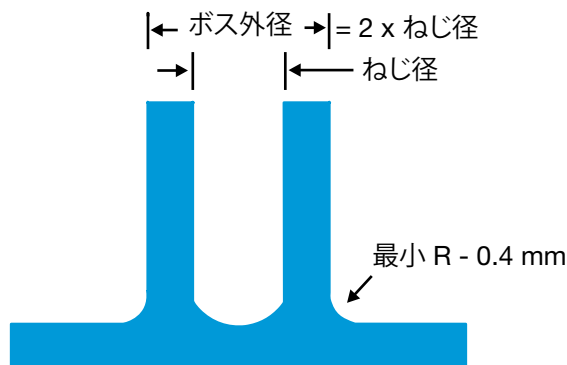
雌ねじ以外にも、雄ねじや位置決めピン、ブッシングなどをインサートに刻むことも可能です。取り付け方法とボスの寸法についての推奨事項は、インサート部品の供給先から得ることができます。

セルフタッピングねじ

ユーデル樹脂はセルフタッピングねじにも適しています。セルフタッピングねじを使用すれば内部ねじの成形や独立したタッピング操作が不要となるため、プラスチックを接合させる経済的な方法です。

セルフタッピングねじには、盛り上げとねじ切りという二種類の主要なタイプがあります。両者ともに特有の利点と欠点を持っています。ねじ切りタイプは機械タッピングと同様、物理的に材料を取り除いて、ねじ切り部分を作り出します。ねじ切りタイプのねじは、ボスにかかる応力が小さいため締めトルクも小さくなり、その結果ストリッピングトルクと引抜き力も小さくなります。盛り上げねじは、ねじを押し込む材料を変形させることによって、プラスチック部品にねじ山を作り出します。盛り上げねじはボスに大きな応力を発生させ、大きな締めトルクを必要としますが、同時にストリッピングトルクと引抜き力も大きくなります。試作品の試験に基づいてどちらかのねじを選択するのが最良の方法です。

図 69：セルフタッピングねじ用のボス設計



セルフタッピングねじ設計にあたっての基本的な設計ガイドラインを図 69 に示します。ガイドラインには次の項目が含まれます。

- 穴径をねじのピッチ直径と同じにします。これにより、ストリッピングトルクと締めトルクの比が最大になります。
- ボスの径をねじ直径の二倍にします。薄すぎるボスはクラックを発生させることがあり、ボスを厚くしてもストリッピングトルクが増加することはありません。
- ねじの噛み合わせとして、ねじのピッチ直径の 2.5 倍を使用します。ストリッピングトルクは、噛み合わせの長さがねじのピッチ直径の 2.5 倍に達するまではこの長さと共に急激に増加します。
- ストリッピングや組み立て時の応力発生を防止するため、アセンブリラインではトルクドライバーを使用します。

セルフタッピングねじを使用するときは、組み立てと分解を何度も繰り返さないようにします。何度も組み立てを行う必要がある場合は、盛り上げねじの使用をお奨めします。

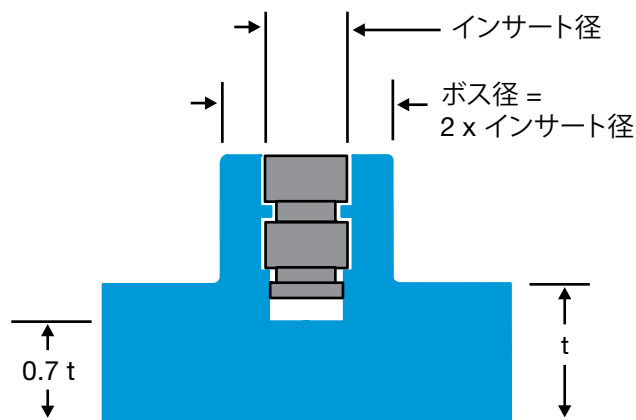
超音波インサート

成形インサートや圧入インサートに代わる方法として、超音波を用いて金属部品をプラスチック部品に挿入することができます。適正な設計が行われていれば、超音波挿入は他の挿入法と比較して残留応力を小さくすることが可能です。

超音波挿入には数種類ありますが、設計原理はすべて非常に類似しています。インサートに加えられる圧力と超音波振動により、金属／プラスチック界面近傍のプラスチックが溶け、インサートが成形／ドリル加工された穴に入り込みます。インサートの直径の大きな部分によって排除された溶融プラスチックが凹んだ部分に入り込んで固化することにより、インサートが所定の位置にしっかりと固定されます。

ユーデル樹脂での使用に適したインサートとボスの設計例を図 70 に示します。

図 70：超音波インサート用のボス設計



N

NSF（米国衛生財団） 4

U

UL 94 燃焼性規格 22

UL 746A 短期特性 26

UL 相対温度指数 25

あ

圧縮成形 65

圧縮特性 10

アニーリング 66

アンダーライターズラボラトリーズ 4

アンダーライターズラボラトリーズ（UL）相対温度指数 26

い

医療 4

引火温度 23

印刷 68

飲料水に関する規格 4

う

運転の起動と停止およびパージ 63

お

応力集中 48

応力-ひずみ曲線 9

応力-ひずみ計算 42

応力レベル 42

押し出し 62

押し出し温度 62

押し出し機温度 63

押し出し品のタイプ 62

押し出しブロー成形 61

押し出し量 63

温塩素水 31

温水への長期間暴露 29

か

化学構造と特性の関係 1

化学特性 1

荷重たわみ温度 18

金型 56

金型温度 57

金型温度のコントロール 56

ガラス転移温度 16

乾燥 54, 61

き

機械設定 57

機械特性 5

機械特性変化 16

機構設計 42

起動手順 63

キャストイングロール 63

吸水 39

急速アニーリング 66

供給特性 57

許容嵌め代 49

く

クーラント 67

空気中でのアニーリング 66

組み立てと接合 69

グローワイヤー試験 23

け

ゲート 56

煙濃度 23

こ

光学特性 41

剛性を目指した設計 45

高電圧アークトラッキング速度（HVTR） 27

高電圧低電流耐アーク性（D495） 26

高電流アーク着火性（HAI） 27

さ

サーモフォーム 64

再生材（リグラインド） 60

材料選定 3

酸素指数 23

残留応力測定 60

残留応力を減らす処理 66

し

シート	63
仕上げと化粧仕上げ	68
試験結果	29
試験手順	29
自己発火温度	23
持続性荷重を考慮した設計	46
締め込み	49
射出成形	56
射出成形温度	57
射出成形装置	56
射出成形に適した設計	50
射出速度とベント	58
シャルピー試験	12
収縮	58
主要特性表	5
蒸気滅菌	31
衝撃特性	11
食品との接触に関する規格	4
シリンダー温度	57
シリンダー内滞留時間	57
真空蒸着	68

す

水中での引張クリープ	15
垂直燃焼試験	22
水平燃焼試験	22
スクリュウ回転速度	57
スクリュウ設計	56
スクリュウ設計の指針	62
スクリュウチップとチェックバルブ	56
スナッフフィット	52
スピン溶接	70

せ

成形ねじ	71
成形品の取り出し	58
成形プロセス	57
製造	54
製品データ	3
絶縁耐力	26
設計限界	47
設計情報	42
切削加工	67
接着剤による接合	70
セルフタッピングねじ	71
洗浄と脱脂	66
せん断特性	11
旋盤加工	67

そ

ソーイング	67
装置	61

た

ダイ	63
耐応力割れ性	34
耐加水分解性	29
耐環境性	29
耐候性	29
体積抵抗率	26
ダイ設計	62
耐トラッキング指数 (CTI)	27
耐放射線性	32
耐摩耗性	39
耐薬品性 (応力なし)	32
タッピング	67
たわみ計算	46
断面の厚みを増やす	45

ち

超音波インサート	72
超音波接合	69
長期クリープ特性	14

て

停止手順	63
電気特性	26
電気メッキ	68

と

透過度	39
特性データ	5
特定グレードのリスト	4
塗装	68
ドリリング	67

に

肉厚	50
肉厚の変化	50
肉盗み	51
二次加工	66
認可	4

ぬ

抜き勾配	51
抜き勾配と突き出し	56

ね

ねじ込みインサート	71
ねじ山	48
熱安定性	24
熱可塑性樹脂の分類	16
熱重量分析	24
熱線膨張係数	18
熱伝導率	20
熱特性	16
熱老化	25
燃焼特性	22

の

ノズル	56
ノッチ感度	12
ノッチ付きアイゾット	11

は

パージ	64
背圧	57
パイプと配管材	63

ひ

ビカット軟化点	20
引張応力	42
引張クリープ	14
引張衝撃	13
引張特性	8
引張特性への温度の影響	17
比熱	20
比容積	21
表面抵抗率	26

ふ

フィルム	62
物理特性	39
フライス削りと溝付け	67
ブレーカープレート	63
プロセス条件	61

へ

ベント	56
-----	----

ほ

ポアソン比	13
包装	3
ボス	52
ホットスタンピング	68
ホットプレート溶接	69
ホットワイヤーイグニッション (HWI)	27

ま

曲げ応力	42
曲げ特性	9
曲げ特性への温度の影響	17
摩耗抵抗	39

み

見掛けの弾性率とクリープ弾性率	15
-----------------	----

め

命名法	3
メカニカルファスナー	71

ゆ

ユーデル® ポリサルホン樹脂	1
誘電正接	26
誘電率	26

よ

溶媒接着	70
予備乾燥	62

ら

落錘衝撃試験	13
--------	----

り

離型	58
リップ	51
リップを追加して剛性を保つ	45

れ

レオロジー	55
-------	----

ろ

ロックウェル硬度	40
----------	----

わ

ワイヤー被覆	62
--------	----



特殊ポリマー

本社

SpecialtyPolymers.EMEA@solvay.com

Viale Lombardia, 20
20021 Bollate (MI), Italy

米州本部

SpecialtyPolymers.Americas@solvay.com

4500 McGinnis Ferry Road
Alpharetta, GA 30005, USA

アジア本部

SpecialtyPolymers.Asia@solvay.com

No.3966 Jindu Road
Shanghai, China 201108

日本事務所

ソルベイスペシャルティポリマーズジャパン株式会社

Solvay Specialty Polymers Japan K.K.

〒105-6207 東京都港区愛宕二丁目5番1号

愛宕グリーンヒルズMORIタワー7階

Tel: +81-3-5425-4320 (大代表)

+81-3-5425-4300 / +81-3-5425-4330 (営業代表)

Fax: +81-3-5425-4321

www.solvay.com

SDS (製品安全データシート) をご希望のお客様は電子メールでご請求いただくか、または弊社の営業担当者へご連絡ください。弊社製品をご使用になられる場合は必ず事前に該当の SDS をお取り寄せの上、ご確認ください。

弊社または関係会社は本製品および関連情報につき、明示または黙示を問わず、いかなる権利を許諾するものでもなく、またそれらの市場適応性および使用適合性を含め、いかなる責任も負いかねます。ソルベイグループの製品が、食用、水処理、医療用、薬用および介護等の用途に用いられる場合、かかる使用が関係法令もしくは国内外の基準またはソルベイグループの推奨に基づいて制限または禁止される可能性があることにご留意ください。埋め込み型医療機器としてお使いいただけるのは、Solviva® の生体材料群として指定された製品だけです。本情報および製品の使用につきましては、あくまでもお客様ご自身の判断と責任において、かかる情報および製品が特定の用途に適しており、関係法令に適合していることをご確認頂き、使用方法や知的財産権の侵害のリスクなどをご検討のうえ、ご使用くださるようお願い申し上げます。本情報および製品は専門家の慎重な判断および責任において利用すべきものであり、他の製品や工程と組み合わせて利用することを想定しておりません。本文書は特許権その他の財産権に基づく実施権をお客様に付与するものではありません。本情報はあくまでも標準的な特性を説明したものであり、仕様を述べるものではありません。

すべての商標および登録商標は、ソルベイグループまたは他の該当する所有者に帰属します。
© 2014, Solvay Specialty Polymers. All rights reserved. D 03/2007 | R 01/2014 | Version 4.5