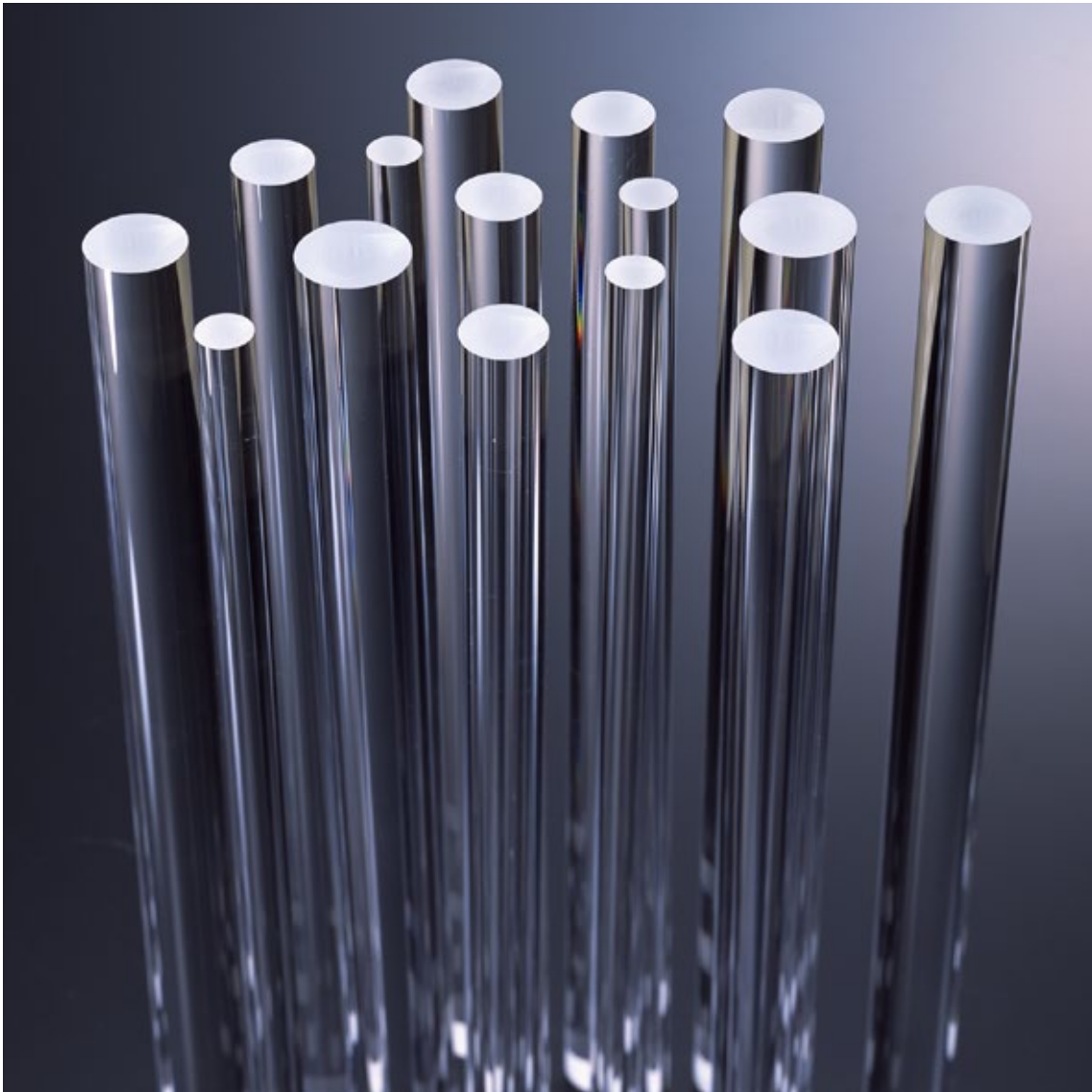


Heraeus Quarzglas社製 Fluosil プリフォーム

信越石英では、UVレーザーやIRレーザーなどの伝送に使用する特殊ファイバ用石英プリフォームとして、ドイツHeraeus Quarzglas社製の「Fluosil プリフォーム」を取り扱っております。UV/IR伝送をはじめ、スペクトロスコピーや高出力伝送などのさまざまな条件およびアプリケーションに適合できるように、プリフォームの主要な特徴であるクラッド厚、開口数（NA）、コア材特性などをそれぞれに合わせて調整することができます。



製品特性

石英ファイバの光学性能は、スペクトル減衰特性(主にコア材によって決まる)、クラッド厚、開口数(NA)など、プリフォームの多くの特性によって決まります。これらのプリフォームの特性を測定する方法を以下に説明します。

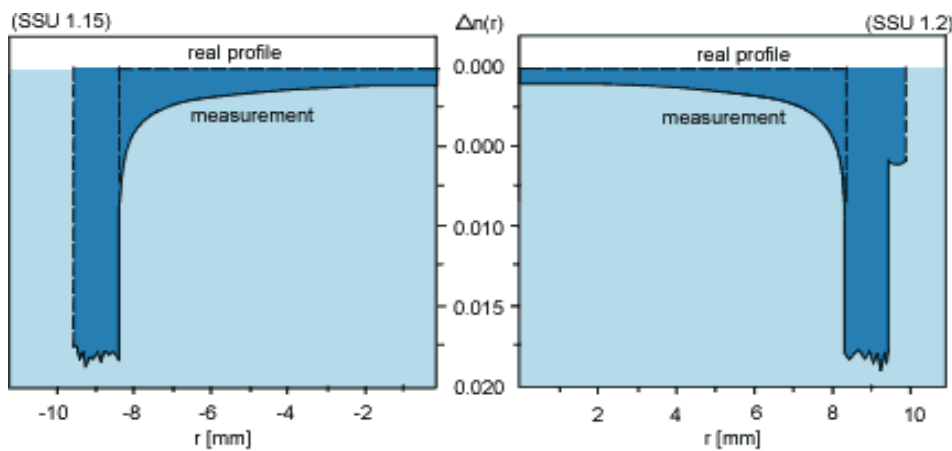
プリフォームの特性を測定する方法

1. 屈折率分布

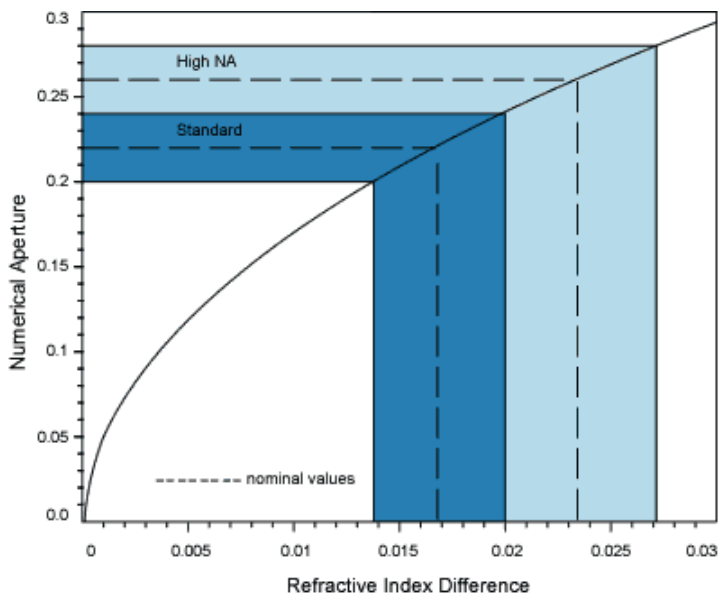
屈折率分布は、市販の装置(York Technology Ltd.製P102)で測定されていますが、Fluosil 製品のようにステップが急な分布を持つプリフォームを高精度に測定するためには特別な修正や補正が必要です。特に測定の長期的な一貫性と絶対的な精度に重点を置いて修正、補正されています。

測定装置の測定誤差を定期的に調整するときの基準プリフォームに、高品質なFluosil プリフォームが選択されています。このプリフォームから線引きされたファイバの屈折率差の絶対値は、イギリスのNational Physical Laboratoryで干渉分光法を使って正確に測定され、その結果は正式な測定証明書として発行され、Heraeus Quarzglas社の標準手順で得られた結果と正確に一致しています。屈折率分布から外径/コア径比(クラッド/コア径比[CCDR]とも呼ばれる)を求めるには、光線追跡法を使って径の補正計算を行っています。

■2種類のプリフォームSSU1.15(左側)とSSS1.2(右側)の代表的な分布



■計算で求めたNAと屈折率差の関係、および標準NA値と高NAの定義



Standard : $0.014 \leq \Delta n \leq 0.020$ $NA = 0.22 \pm 0.02$

High NA : $0.020 \leq \Delta n \leq 0.027$ $NA = 0.26 \pm 0.02$

※屈折率差の求め方 $\Delta n = n_{\text{core}} - n_{\text{clad}}$

光ファイバの開口数 (NA) は、コア ($n_{\text{core}}=1.4571$) とクラッド内側 (n_{clad}) の屈折率の差によって定義され、次の関係で表すことができます。

$$NA = \sqrt{n_{\text{core}}^2 - n_{\text{clad}}^2}$$

2. プリフォームの外観品質

すべてのプリフォームは、コリメートされた光を暗室で照射して、開放泡/包含泡、異物、キズなどの外観上の欠陥がないか検査されています。指定サイズ以下の微細で微量な包含泡の含有を除き、このような欠陥は一切許されません。包含泡のサイズは基準サンプルと比較して判定されています。

3. スペクトル減衰特性

スペクトル減衰特性は、プリフォームすべてのバッチのファイバサンプルをカットバック法で測定しています。

ファイバのスペクトル減衰特性、ソラリゼーション作用(紫外線照射による損失の増加の作用)、耐放射線性は、主にプリフォームのコア材によって決まります。

4. 材料の物理的特性

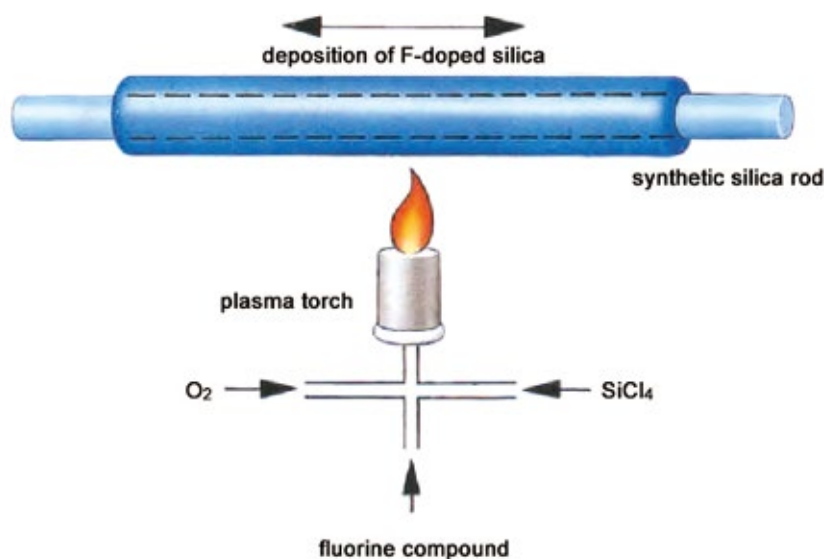
	Core	Cladding	Unit
Refractive Index@633nm	1.4571	1.440	—
Refractive Index@1,064nm	1.4498	1.433	—
Transformation Temperature	1,050	750	°C
Fluorine Content	0	4.0	wt %
Thermal Expansion Coefficient (20 to 400°C)	9	2.5	10 ⁻⁷ /k
Density	2.203	2.180	g/cm ³
Elasticity Modulus	7.25×10 ¹⁰	n.d.	N/m ²

製造方法

プリフォームは、POD法(Plasma Outside Deposition)で製造されます。超高純度の合成熔融石英でできたロッドはフッ素ドーパされた石英層でコーティングされ、ステップ型の屈折率分布を形成します。プラズマトーチを使用することで、四塩化ケイ素(SiCl₄)、酸素(O₂)、およびガス含有フッ素化合物から反応化合物が生成されます。強力な温度勾配と高温のプラズマを適用すると化学堆積が起こり、フッ素濃度が非常に高くなって、熔融石英に組み込まれます。

Fluosilの製造技術のユニークな特徴は、純粋石英のコアロッドを使っても0.027の屈折率差($n_{\text{core}}-n_{\text{clad}}$)を得られることです。この値は、NA=0.28と相対的な屈折率差 $[(n_{\text{core}}-n_{\text{clad}})/n_{\text{core}}]$ 1.87%に相当します。

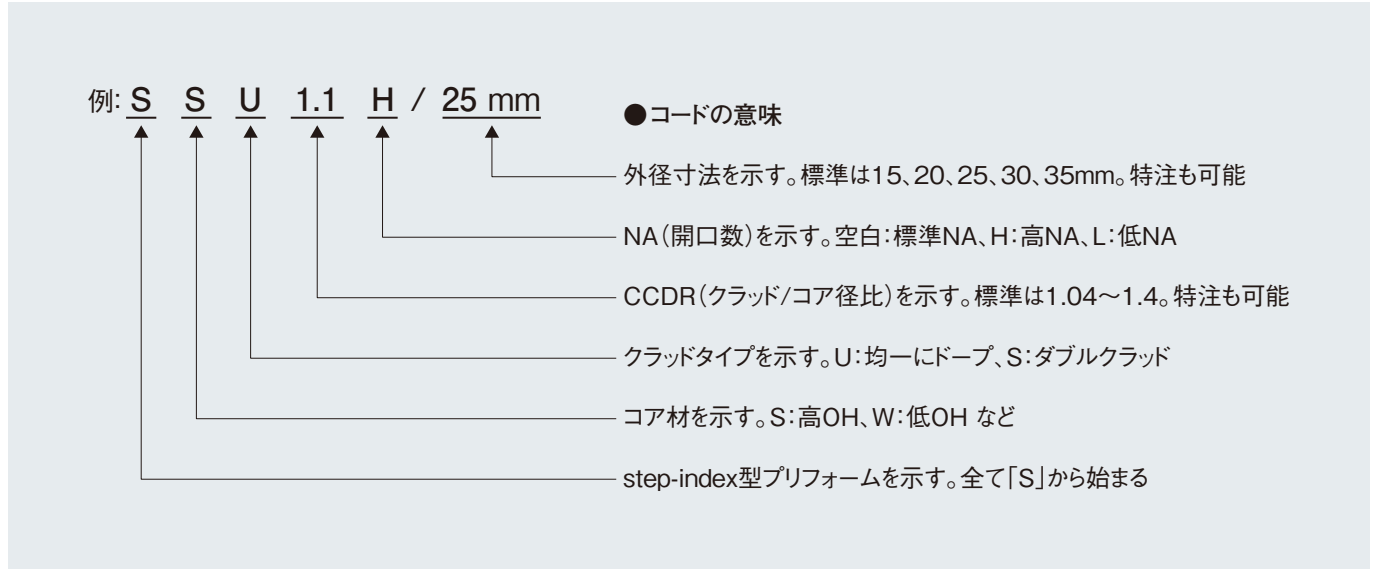
Fluosil プリフォームは大きなインゴットとして製造され、引き伸ばして切断し、ファイバの線引きに適したロッドになります。これらのロッドを1バッチとし、品質管理上で重要な単位となります。



製品ガイド

石英ファイバの光学性能は、スペクトル減衰特性(主にコア材によって決まる)、クラッド厚、開口数(NA)など、プリフォームの多くの特性によって左右されます。これらの特性の影響、およびFluosilの製品コードについて、以下に説明します。

1. 製品コード



2. 開口数(NA)

ファイバの開口数(NA)は、step-index型ファイバの屈折率の差によって定義されます。受光角(θ)は次式によって定義されます。ここで、 n_{core} と n_{clad} は、それぞれコアとクラッド材の屈折率を示します。 n_{clad} の値はフッ素濃度によって定義されます。

$$\sin\theta = NA = \sqrt{n_{\text{core}}^2 - n_{\text{clad}}^2}$$

3. 提供可能なNA

- 標準NA:0.22±0.02(非ドープコア材)
- 高NA:0.26±0.02(非ドープコア材)
- 特注で低NAも可能。
- 特定のアプリケーションに最適なNAを選択する場合は、光ファイバの入射と出射の幾何学条件および曲げ損失に対する感度を考慮に入れる必要があります。ファイバに強い曲げの力がかかると、最も強い曲げの力がかかったポイントを通過する光が全反射角を超過する可能性があります。このような損失を最小限に抑えるには、より大きい曲率半径、より高いNA、より短い波長が望ましいといえます。

4. クラッド/コア径比(CCDR:Cladding to Core Diameter Ratio)

光ファイバ内の光はコアとクラッドの境界で全反射を繰り返しながら伝わります。ただし、反射のたびに微量の光がクラッドに漏れます。クラッドが薄い場合は、その漏れた光が外径に達する可能性があります。その結果、光の過剰減衰が生じます。NAが0.22の一般的なファイバの場合、大まかな目安として、クラッド厚は最長波長の10倍以上でなければなりません。例えば、最長波長が1,000nmで、コア径が200ミクロンと仮定します。この場合、クラッド厚は10ミクロンとなるため、CCDRは1.1になります。

5. 提供可能なプリフォーム

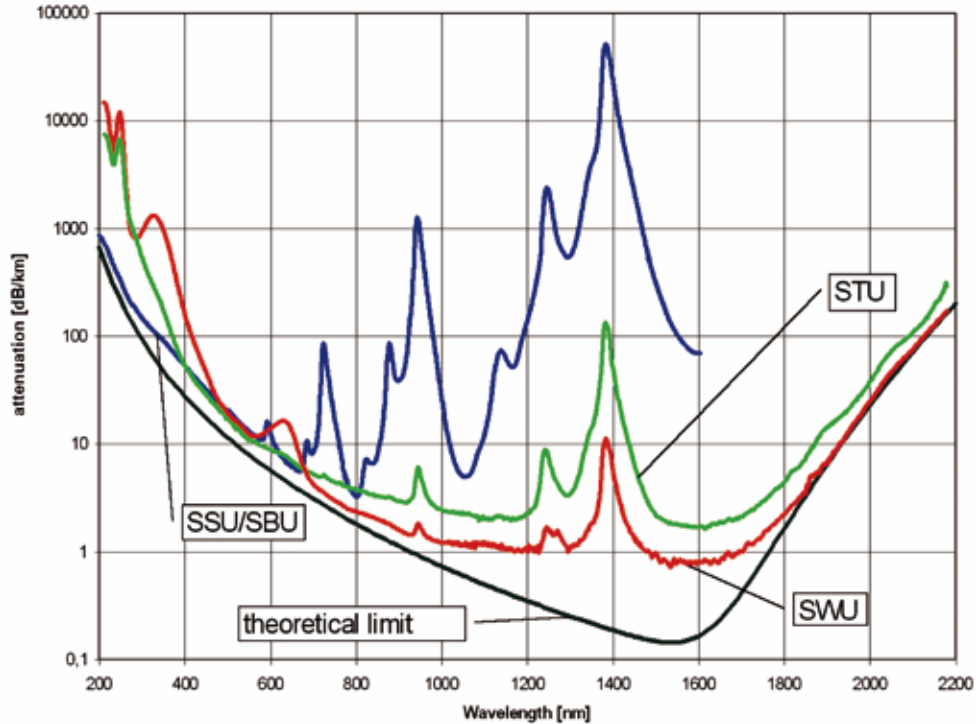
- CCDR 1.04~1.4。特注も可能。
- CCDR 1.15以下。通常、高度にドープされた単一のクラッド層(Uタイプ。例:SSU1.1、SWU1.1)。CCDRが大きい場合は二重クラッド構造(オプション)。二重クラッド構造は、コア半径の1.00~1.15倍の上記単一クラッド層と同じ内側クラッド層と、少量フッ素ドープした外側クラッド層からなります(Sタイプ。例:SSS1.2、SWS1.4)
- さらに、オプションとして、すべてのプリフォームを純粋石英チューブでオーバークラッドして、二重クラッド構造でより大きいCCDR値を実現することもできます。この場合、外側クラッドの屈折率は、非ドープ石英の屈折率となります(例:SWS2.5/SWU1.4:SWU1.4のプリフォームに純粋石英チューブをオーバークラッドし、最終CCDR値が2.5となっていることを示しています)。

6. コア材

光ファイバの伝送は主にコア材の特性によって決まります。高純度石英の伝送減衰と波長の関係のプロット図を次に示します。限界理論値は、1,550nmで最低となるV字カーブになります。Fluosil プリフォームのコア材には最先端の合成石英が使用されていますが、全スペクトルにわたって限界理論値に達することはあ

りません。そのため、最適なコア材は、必要な波長域に応じて選択します。高OHのコア材はUV伝送に使用され、低OHのコア材はIR伝送に使用されます。初期透過率をはじめ、ファイバのUVソラリゼーション作用、耐放射線性もコア材によって決まります。

■ 各種のコア材を使用したFluosil ファイバのスペクトル減衰特性と純粋石英の限界理論値



	プリフォームタイプ	透過領域 (nm)	特徴
高OH	SSU	190-550 670,800,1030	<ul style="list-style-type: none"> ●UV伝送に最適 ●800nmでガンマ線照射に対し高い耐放射線性を示す ●SBU:短波長紫外線で低ソラリゼーション作用を示す ●308nmで低ソラリゼーション作用を示す
	SBU		
	SXU		
低OH	SWU	550-2100	<ul style="list-style-type: none"> ●OH含有量 0.7ppm未満 ●VIS/NIR/MIR伝送に最適 ●高出力レーザー伝送 ●分光学
	STU	350-2100	<ul style="list-style-type: none"> ●広帯域分光学

■ 製品の問い合わせ

Shin-Etsu QUARTZ
A JOINT VENTURE WITH Heraeus

<https://www.sqp.co.jp/>

信越石英株式会社

本社 営業部

〒160-0023 東京都新宿区西新宿1-22-2 新宿サンエービル12階
TEL:03-3348-1916 FAX:03-3348-4919