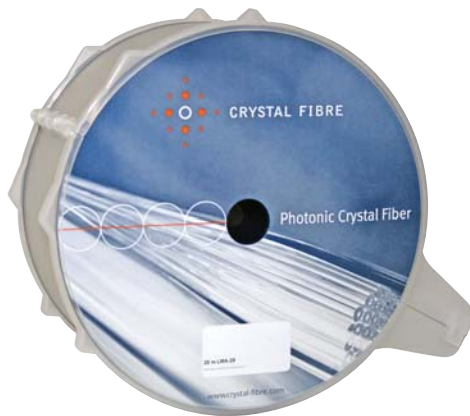


# フォトニック結晶ファイバ

## Photonic Crystal Fibers



- ファイバに非線形性が現れるパワーしきい値が高い
- 材料の破壊しきい値に達するまで、強力なピークパワーを導くことができる
- コアやクラッドにガス/液体を充填可能
- ファイバ端面からのフレネル反射が小さい
- 分散値の取りえる値の範囲が大きい：負の大きな値から正の大きな値まで
- ファイバが曲げの影響を受け難い (1センチ未満のスプールに数回巻いても大丈夫)

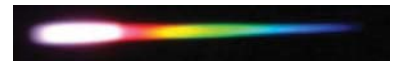
Newportのフォトニック結晶ファイバ(PCF: Photonic Crystal Fiber)は通常の光ファイバでは得られない次のような特性を持っています：大きなモードフィールド径を持ちUVからIRまでをシングルモード動作でカバー、スーパーコンティニューム発生に必要な強い非線形特性、非常に小さな値から0.9近傍までをカバーする開口数(NA)、非常に優れた分散特性、空芯による光ガイド等々。フォトニック結晶ファイバは、分光、計測、生体臨床医学、イメージング、通信、産業機械および軍事などに利用されていますが、この技術が脚光を浴びるに従ってその範囲も拡大し続けています。フォトニック結晶ファイバは、一般的には、主に2つのカテゴリに分類できます。まず、固体コアをもつ屈折率導波型ファイバです。そして、周期的な微細構造や低屈折率材料のコア(例えば、中空コア)をもつエアガイドファイバまたはフォトニックバンドギャップファイバです。Newportでは、F-SMシリーズラージモードエリア、エンドレスシングルモードPCF、F-NLシリーズ高非線形PCF、およびF-AIRシリーズフォトニックバンドギャップファイバを提供しております。これらの製品は、フォトニック結晶ファイバを市販する最大の企業であるNKT Photonics社(前Crystal Fibre社)が製造しています。SCG-800およびSCG-800-CARS自己完結型スーパーコンティニュームジェネレータもご用意しております(P334を参照してください)。

フォトニック結晶ファイバのさらなる詳細については、光ファイバのチュートリアルP361を参照してください。Newportの広帯域フォトニック結晶ファイバセレクションは優れた性能と幅広いファイバ製品を提供します。コネクタと保護ジャケットについては日本レーザーまでお問い合わせください。

## 大モード面積PCF(F-SMシリーズ)

**F-SMシリーズ**のPCFは、空孔を三角パターンで配置してクラッドを構成した非ドーピングタイプのシリカファイバです。コアとクラッドの間の屈折率差( $n$ )は空孔の幾何学的配置だけで決まりますから、非常に小さく精密な $\Delta n$ を持つファイバを製造することにより、極端に小さな開口数と非常に大きなモード面積を持つファイバを作り出すことができます。さらに、このタイプのファイバは広い波長範囲でシングルモード動作を行い、モードフィールド直径(MFD)は実質的に一定に保たれます。このファイバの性能は短波長領域では巨視的な曲げ損失によって制限され、これが実用的に使用可能な波長領域を限定します。F-SMシリーズのファイバは、16 cmを超えるような巨視的な曲げ半径では顕著な曲げ損失を蒙ることなく最大限可能なMFDを実現するように最適化されたファイバです。仕様のセクション(下)に示されるグラフを参照してください。

F-SMファイバをカップリングさせて光を入射させる方法は標準的なドーピングガラス光ファイバと同様に簡単です。空間にセットアップされた光学系ではファイバの開口数をマッチングさせて回折制限条件におくことによりカップリング損失を小さくすることができます。MFDが実質的に一定であることから、NAは波長に比例します。広い波長範囲を扱う光学系のカップリング設計ではこの点を考慮に入れなければなりません。F-SMシリーズを標準ファイバと繋ぎ合わせる(セミカスタムベースで入手可能)ことも可能ですから、既存のシステムや装置にこのファイバを組み込むことも簡単です。高パワー領域での機能を高めるためにビームエキスパンダ機能を持つFCコネクタ(オプション)を使用することができます。



F-NLシリーズPCFを使用して発生させたスーパーコンティニューム。フェムト秒レーザーで照射。

## 非線形PCF(F-NLシリーズ)

非線形PCFは高屈折率導波タイプ(図1参照)に属し、コアを小さく設計することによって高い非線形係数を実現しています。非線形フォトニック結晶ファイバ内には空気の入り込んだマイクロ構造クラッド領域が存在することから、標準技術で製造したステップインデックスファイバにはない幾つかの利点が得られます。シリカコアと空気充填マイクロ構造間の屈折率の差が大きいことにより密なモード閉じ込めが可能となり、その結果として有効面積が小さくなり高い非線形係数が得られます。空気の入り込んだ領域の存在はファイバ特性に強い波長依存性を与えることから、このようなファイバで大きな導波路分散が可能になります。導波路分散を利用することでファイバ中での物質分散を強めたり、逆にキャンセルすることが可能になりますから、PCFでは分散プロファイルに関連した設計上の柔軟性が標準ファイバよりもはるかに高くなります。マイクロ構造の設計(ホール径、ピッチ径、ホール構造)を変更することによって導波路分散に大きな変化が発生することを利用して、例えば可視光領域にゼロ分散波長(ZDW)を持つファイバや広い波長範囲でほぼゼロに近い分散を示すファイバを設計することができます。分散プロファイルを慎重に選択することにより、様々な異なる非線形プロセスに適合したファイバを特別に作り出すことが可能になります。

Newportの**F-NLシリーズ**非線形ファイバは比較的小さなホール径を採用して動作波長領域でシングルモードとなるように設計されています。この手法は、大きな空孔を持つマルチモード非線形ファイバと比較して幾つかの利点を備えています。その第1は、空気の入り込んだ領域の占める割合が小さいため標準固体ファイバとの接続が容易になることです。第2として、クラッド領域に集められた光が(空気充填分率の大きなファイバと比較して)カップリングし難くなりますから空間カップリングにおけるアライメントと焦点位置調節が性能にそれほど重大な影響を与えなくなります(空気充填分率の大きなファイバでは、光は大きな空孔の間のシリカ「アイランド」を介して伝達されます)。最後に、多くのアプリケーションは長い到達距離を実現するために厳密なシングルモード動作を必要とします。

簡単にスーパーコンティニュームを発生させたいならば是非Newportの新製品である自己完結型スーパーコンティニューム発生器**SCG-800**をお試しください。SCG-800は非線形フォトニック結晶ファイバを密閉型の堅牢な25mm金属製ハウジングに収めた構造をしています。800nmフェムト秒レーザーで単純にSCG-800をポンピングするだけでオクターブに広がる出力が得られ、ファイバの取り扱いやクリーニングに関する骨の折れる作業は必要ありません。SCG-800について更に詳しくはSCG-800データシートをダウンロードしてください。

## フォトニックバンドギャップファイバまたはエアガイドファイバ(F-AIRシリーズ)

PCF技術の持つ1つの興味深い特徴として挙げられるのは、中空(空気)コアを使用して光を伝達する可能性が開けることです。従来型の屈折率ガイドファイバ(Newportの屈折率ガイドPCFもこの点では同様とは異なり、これらのファイバはフォトニックバンドギャップ(PBG)効果を利用して光を伝えます。すなわち、クラッド部分に配置された高度の周期構造を持つ空気ホールがフォトニックバンドギャップを作り出します。このことは、PBG内に侵入できる周波数の光はクラッドを通して伝播することができずにファイバのコアにトラップされる可能性があることを意味します。屈折率ガイドファイバと著しく異なるのは、コア領域がクラッドよりも高い屈折率を持たなければならないという制約が存在しないことです。PBGによる導波の本質的な特性として、ファイバは特定のスペクトル領域だけの光を伝達します。例えば、1550nm近傍の光を伝達するファイバの持つ典型的な帯域幅は~200nm程度であり、この範囲外の光はファイバのコア内を伝播できません。典型的な透過スペクトルを図1に示します。

PBGファイバでは極めて大きな分散特性(例えば数千ps / nm / kmに達する異常分散)が現れることがあります。コア材料(つまり空気)からの寄与は無視できますから、PBGファイバにおける分散は完全に導波路分散によって支配されます。

Newportは新たな展開の著しいフォトニック結晶ファイバの分野で常にお客様に最新の技術をお届けしようと努めています。Newportのホームページをご覧ください。

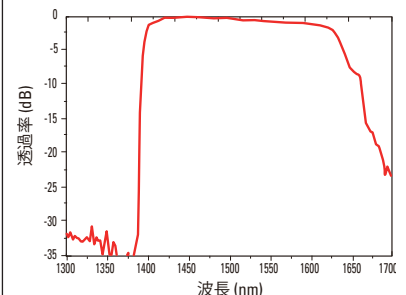
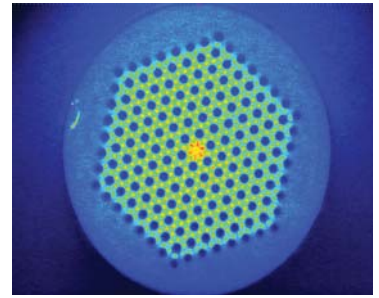


図1：典型的な空気ガイドファイバの透過スペクトル

## F-SMシリーズ仕様

	F-SM8	F-SM10	F-SM15	F-SM20	F-SM25
クラッド直径(μm)	125 ±5	125 ±2	230 ±5	230 ±5	268 ±5
コーティング直径(μm)	245 ±10	240 ±5	405 ±10	350 ±10	410 ±10
バッファ-コーティング材料	単層アクリレート				
コア直径(μm)	8.5 ±0.3	10 ±1	15 ±0.5	20 ±0.4	25.2 ±0.4
推奨最短波長(nm)	400	400	450	700	950
カットオフ波長	無				
モードフィールド直径(μm)	6.0 ±1.0	7.5 ±1.0	11.5 ±1.5	15.0 ±1.5	19.8 ±2.0
NA	0.059 ±0.01 @ 450 nm	0.08 ±0.01 @ 635 nm 0.09 ±0.01 @ 780 nm 0.10 ±0.01 @ 980 nm	0.04 @ 532 nm 0.05 @ 780 nm	0.041 ±0.01 @ 780 nm 0.055 ±0.01 @ 1,064 nm	0.037 ±0.01 @ 980 nm 0.040 ±0.01 @ 1,064 nm
減衰	<11 dB/km @ 635 <sup>(1)</sup>	<2 dB/km @ 1,550 nm <7 dB/km @ 700-1,000	<0.03 dB/m @ 532 nm <0.01 dB/m @ 780 <sup>(2)</sup>	<7 dB/km @ 780 <sup>(2)</sup>	<3.5 dB/km @ 1,064 <sup>(2)</sup>

(1) 曲げ半径を8 cmとして測定

(2) 曲げ半径を16 cmとして測定

## 偏波面保存 F-SMシリーズ仕様

	F-SM5-PM	F-SM10-PM	F-SM15-PM
クラッド直径(μm)	125 ±3	230 ±3	230 ±5
コーティング直径(μm)	245 ±10	350 ±10	350 ±10
バッファ-コーティング材料	単層アクリレート		
コア直径(μm)	5.0 ±0.5	10.0 ±1.0	15 ±0.5
カットオフ波長	無		
モードフィールド直径(μm)	4.2 ±0.5	8.0 ±0.8	12.5 ±0.5
NA	0.09 ±0.01 @ 470 nm	0.10 ±0.05 @ 1,060 nm	0.09 ±0.02 @ 1,060 nm
減衰	<0.03 dB/m @ 470 nm	<5 dB/km @ 1,060 nm	<15 dB/km @ 1,060 nm
偏光消光比(dB)	>25	>20	>20

## F-NLシリーズ仕様

	F-NL-PM-750	F-NL-5/1040
クラッド直径(μm)	120 ±5	125 ±3
コーティング直径(μm)	240 ±10	244 ±10
バッファ-コーティング材料	単層アクリレート	
コア直径(mm)	1.8 ±0.3	4.8 ±0.2
ゼロ分散波長(nm)	750 ±15 1,260 ±20	1,040 ±10
減衰、最大値(nm)	<50 dB/km @ 780	<3.0 dB/km @ 1,040
カットオフ波長(nm)	<650	<1,000
モードフィールド直径(μm)	1.6 ±0.3 <sup>(1)</sup>	4.0 ±0.2 <sup>(3)</sup>
NA	~0.38 ±0.05 @ 780 nm	0.2 ±0.05 @ 1,060 nm
非線形係数(Wkm) <sup>-1</sup>	95 <sup>(1)</sup>	11 <sup>(2)</sup>
複屈折	>3 × 10 <sup>-4</sup> <sup>(1)</sup>	<4 × 10 <sup>-6</sup> <sup>(4)</sup>

(1) @ 780 nm

(2) @ 1,064 nm

(3) @ 980 nm

(4) @ 1,550 nm

## F-AIRシリーズ仕様

	F-AIR-6/800	F-AIR-10/1060	F-AIR-11/1550	F-AIR-20/1550
材質	純シリカ			
クラッド直径(μm)	122 ±5	123	120	115
コーティング直径(μm)	243 ±10	220	220	220
バッファ-コーティング材料	単層アクリレート			
コア直径(μm)	6 ±1	9.7	10.9	20 ±2
NA	-0.17 @ 780 nm -0.22 @ 830 nm	-	0.12	0.13 ±0.03
減衰(nm)	<0.4 dB/m @ 760-800	<0.1 dB/m @ 1,060	<0.1 dB/m @ 1,550	<0.02 dB/m @ 1,570

## ペアファイバ発注のご案内(終端処理なし)

モデル	仕様
F-SM8	エンドレスシングルモードフォトニック結晶ファイバ、8.5 μmコア
F-SM10	エンドレスシングルモードフォトニック結晶ファイバ、10 μmコア
F-SM15	エンドレスシングルモードフォトニック結晶ファイバ、15 μmコア
F-SM20	エンドレスシングルモードフォトニック結晶ファイバ、20 μmコア
F-SM25	エンドレスシングルモードフォトニック結晶ファイバ、25 μmコア
F-SM35	エンドレスシングルモードフォトニック結晶ファイバ、35 μmコア
F-SM5-PM	エンドレスシングルモードフォトニック結晶ファイバ、5 μmコア、偏光保持
F-SM10-PM	エンドレスシングルモードフォトニック結晶ファイバ、10 μmコア、偏光保持
F-SM15-PM	エンドレスシングルモードフォトニック結晶ファイバ、15 μmコア、偏光保持
F-NL-5/1040	非直線フォトニック結晶ファイバ、4.9 μmコア、1,040 nm ゼロ分散波長
F-NL-PM-750	非直線PMフォトニック結晶ファイバ、2 μmコア、ゼロ分散750/1260 nm
F-AIR-6/800	エアガイドフォトニック結晶ファイバ、6 mm コア、800 nm 動作波長
F-AIR-10/1060	エアガイドフォトニック結晶ファイバ、10 mm コア、1,060 nm動作波長
F-AIR-11/1550	エアガイドフォトニック結晶ファイバ、11 mm コア、1,550 nm動作波長
F-AIR-20/1550	エアガイドフォトニック結晶ファイバ、20 mm コア、1,570 nm動作波長
F-AIR-10/1060	エアガイドフォトニック結晶ファイバ、10 μm コア、1,060 nm 動作波長
F-AIR-11/1550C-1FC	エアガイドフォトニック結晶ファイバパッチコード、11 μm コア、1,550 nm、1 m、FC/UPC
F-AIR-6/800-C-1FC	エアガイドフォトニック結晶ファイバパッチコード、6 μm コア、800 nm、1 m、FC/UPC
F-SM10-C-1-FC	エンドレスシングルモードフォトニック結晶ファイバパッチコード、10 μm コア、1 m、FC/UPC
F-SM10-C-2FCA	エンドレスシングルモードフォトニック結晶ファイバパッチコード、10 μm コア、2 m、FC/UPC
F-SM10-C-3FC	エンドレスシングルモードフォトニック結晶ファイバパッチコード、10 μm コア、3 m、FC/UPC
F-SM10-PM-C-1FC	エンドレスシングルモードフォトニック結晶ファイバパッチコード、10 μm コア、1 m、FC/UPC、偏光保持
F-SM10-PM-C-2FCA	エンドレスシングルモードフォトニック結晶ファイバパッチコード、10 μm コア、2 m、FC/UPC、偏光保持
F-SM5-PM-C-1FC	エンドレスシングルモードフォトニック結晶ファイバパッチコード、5 μm コア、1 m、FC/UPC、偏光保持
F-SM8-C-1FC	エンドレスシングルモードフォトニック結晶ファイバパッチコード、8.5 μm、1 m、FC/UPC
F-SM8-C-2FCA	エンドレスシングルモードフォトニック結晶ファイバパッチコード、8.5 μm、2 m、FC/UPC
F-SM8-C-3FC	エンドレスシングルモードフォトニック結晶ファイバパッチコード、8.5 μm、3 m、FC/UPC

ファイバーオプティック  
コンポーネントファイバー/  
ライトガイドファイバーツール/  
アクセサリ

偏光

テクニカルノート