

光波電子工学レポート

神戸高専 AE1 r209211

野瀬田 裕樹

2009年8月31日(月)

課題内容

光ファイバの基本について分かりやすくまとめよ。また、新しい光ファイバであるフォトニック結晶ファイバについて調査しまとめよ。



図 1: 光ファイバ

目次

1	光ファイバの基本	2
1.1	光ファイバの構造	2
1.2	光ファイバの種類	3
1.3	光ファイバの特徴	4
1.4	光ファイバ (石英ファイバ) の製造法	5
1.5	光ファイバの伝送損失	6
1.6	光ファイバの伝送帯域	7
2	新しい光ファイバ	8
2.1	フォトニック結晶 (photonic crystal)	8
2.2	フォトニック結晶ファイバ (photonic crystal fiber)	9
2.3	フォトニック結晶ファイバとフォトニックバンドギャップ	10

1 光ファイバの基本

1.1 光ファイバの構造

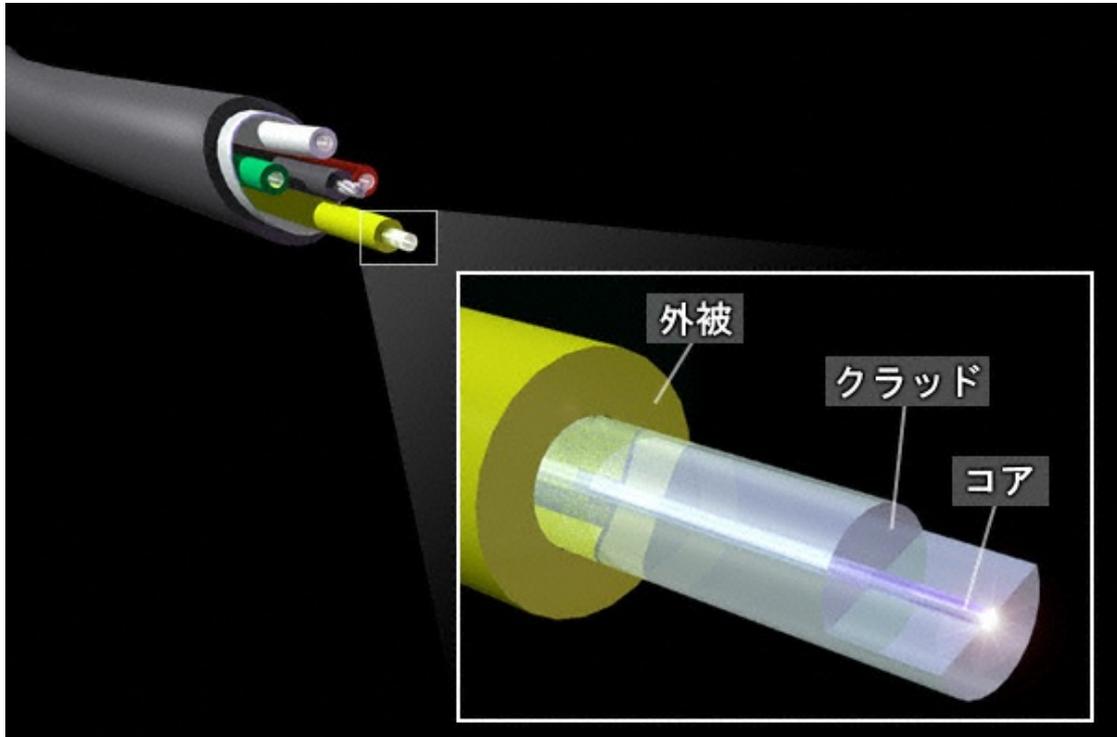


図 2: 光ファイバの構造

光ファイバ¹とは、離れた場所に光を伝える光伝送路である。
その構成は図2のように、外側から

- ・保護のための被膜
- ・クラッド
- ・コア

の三つで構成される。²

ここで、
クラッドの屈折率<コアの屈折率
とすることで、全反射や屈折により出来るだけ光を中心部のコアにだけ伝搬させる構造となっている。

¹光ファイバ (optical fiber) は光波を遠方まで導けるようにした光伝送路である。

²コア+クラッドで光ファイバ素線 (bare fiber) という。

1.2 光ファイバの種類

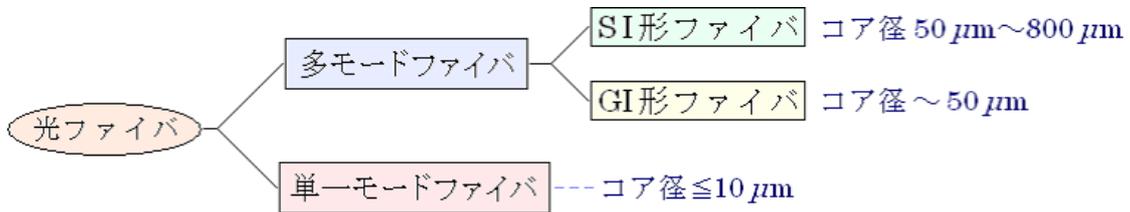


図 3: 光ファイバの種類

光ファイバはステップインデックス (SI) 形多モード光ファイバ・グレーデッドインデックス (GI) 形多モード光ファイバ・単一モード光ファイバの三種類に分けられる。
それぞれの導波の様子と屈折率分布は以下ようになる。

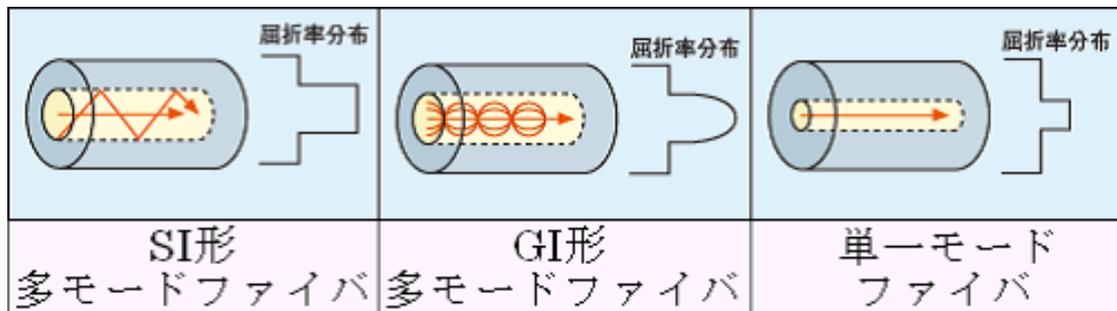


図 4: 導波モードと屈折率分布

光ファイバには、コア・クラッドに石英ガラス，多成分ガラス，プラスチックガラスが用いられている。各種材料ごとにみた光ファイバの分類を以下に示す。³

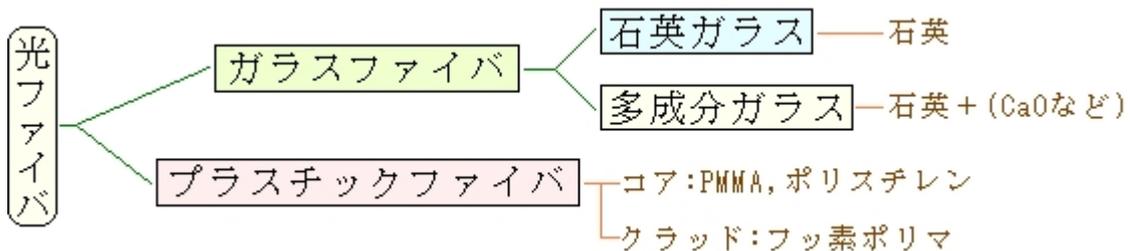


図 5: 材料による光ファイバの分類

- ・多成分ガラスとは、石英に Na_2O や CaO などの成分を加えることで、融解温度を下げ、低い温度で線引きできるようにしたガラスである。
- ・プラスチックファイバはガラスファイバに比べて伝送損失が大きく、機械的強度・耐環境性に劣るが、大口径、高 NA のファイバが安価に作られるため、プラスチックファイバは主として短い距離の光伝送に使われる。

³PMMA : polymethy methacrylate, ポリメチルメタクリレート

1.3 光ファイバの特徴

- ① 広帯域性 → 同軸ケーブルに比べて桁違いに大きい伝送帯域をもつ
- ② 低損失性 → 特に石英ファイバは低損失で、伝送損失 0.16dB/kmの極低損失光ファイバも開発されている
- ③ 軽量・細径・可撓性 → 光ファイバは軽くて細く、自由に曲げることができ、取り扱いやすい
- ④ 無誘導性 → 光で情報を伝送するので、電氣的な妨害雑音（電磁雑音）の影響を受けない
- ⑤ 絶縁性 → 電気絶縁性に優れており、高電圧のかかる場所でも使用できる
- ⑥ 耐環境性 → ガラスファイバは、化学的安定性、耐薬品性などの耐環境性に優れている
- ⑦ 資源 → 光ファイバの主材料は石英で地球上に豊富にあり、同軸ケーブルの銅に比べ資源の制約が少ない

図 6: 光ファイバの特徴（同軸ケーブルと比較した際の特徴）

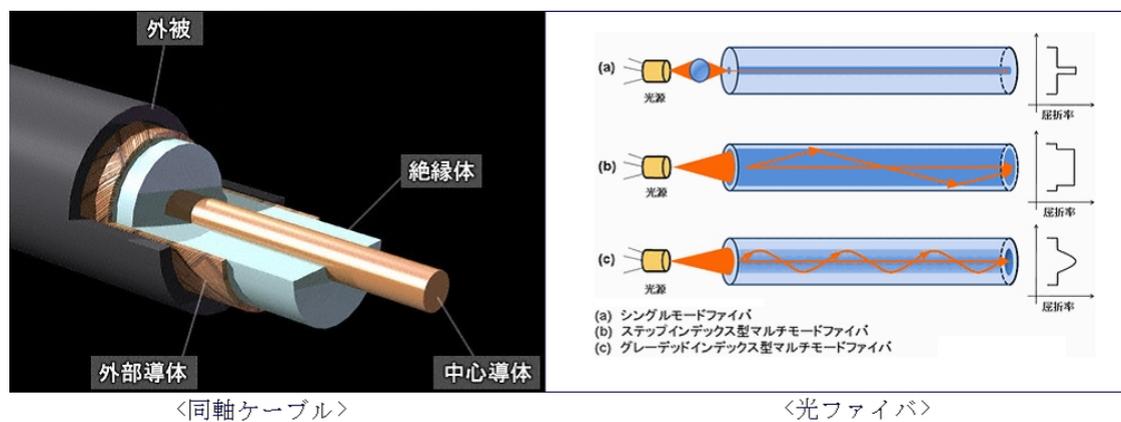


図 7: 同軸ケーブルと光ファイバ

1.4 光ファイバ(石英ファイバ)の製造法

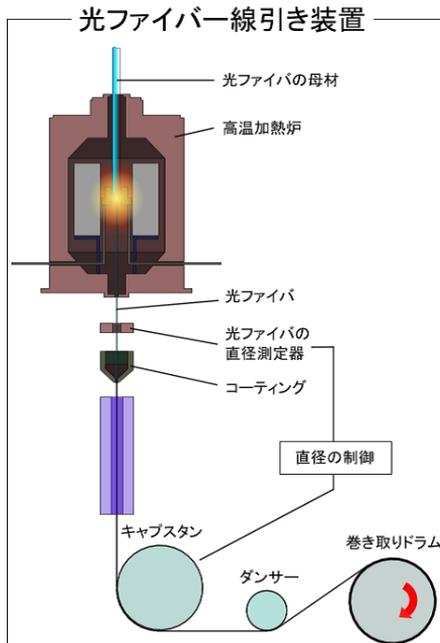


図 8: 光ファイバ線引き装置

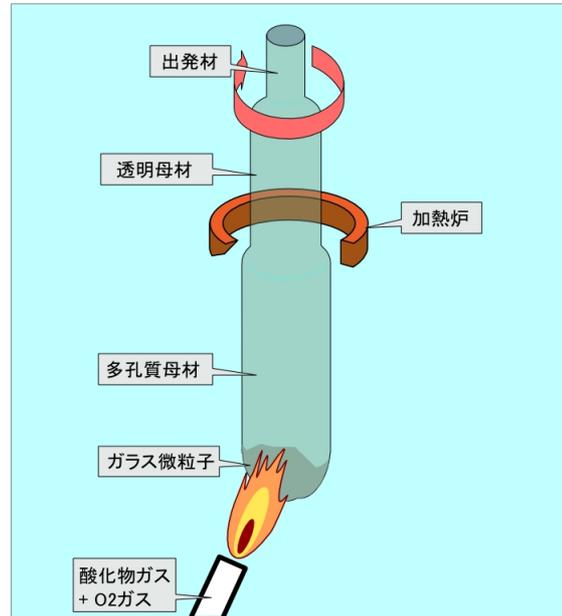


図 9: VAD 法

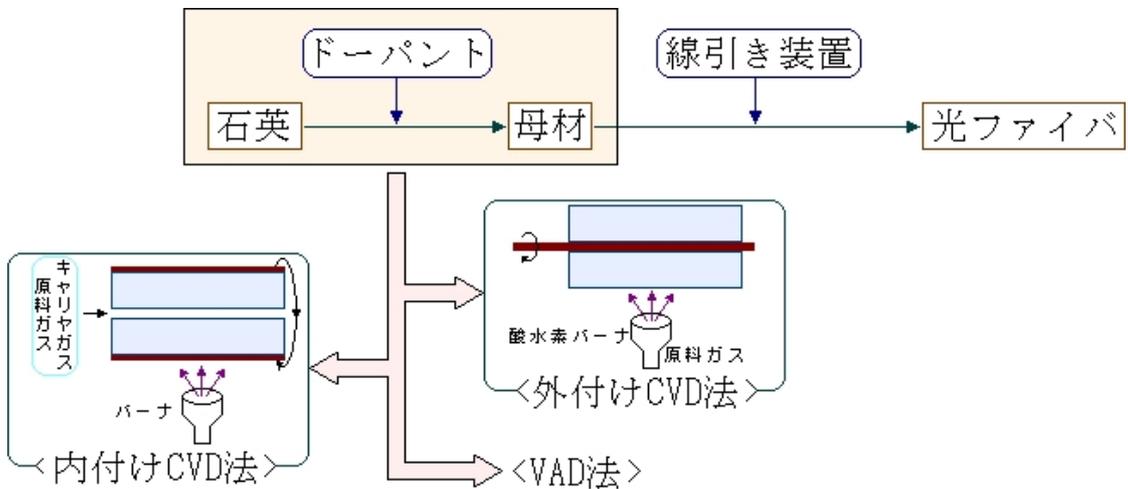


図 10: 石英ファイバの製造法

石英ファイバは図 10 に示すような方法で製造される。ここで、ドーパントとは石英に加えることで屈折率を変化させる添加物のことである。光ファイバを製造するにはまずドーパントを加えて光ファイバと相似の屈折率分布をもつ直径 1 ~ 数 cm の母材（プリフォーム）を作り、これを図 8 に示すような線引き装置にかけて光ファイバにする。

1.5 光ファイバの伝送損失

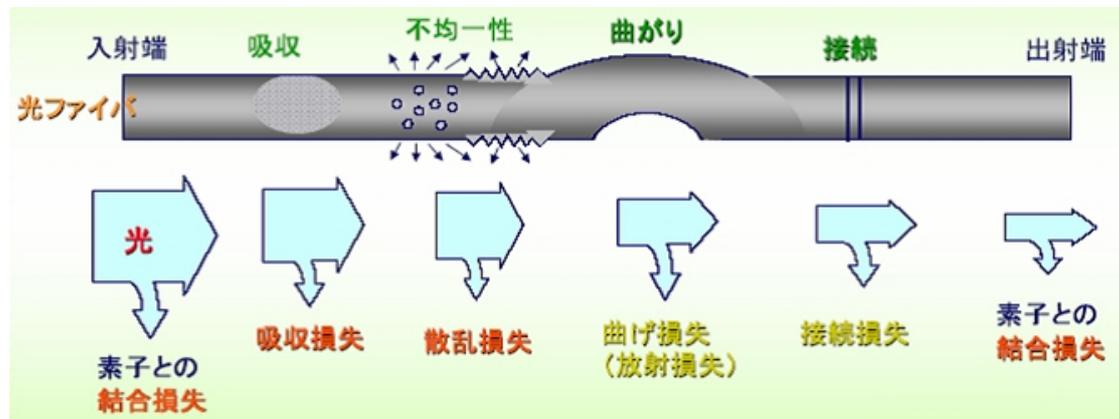


図 11: 光ファイバ伝送路の損失要因

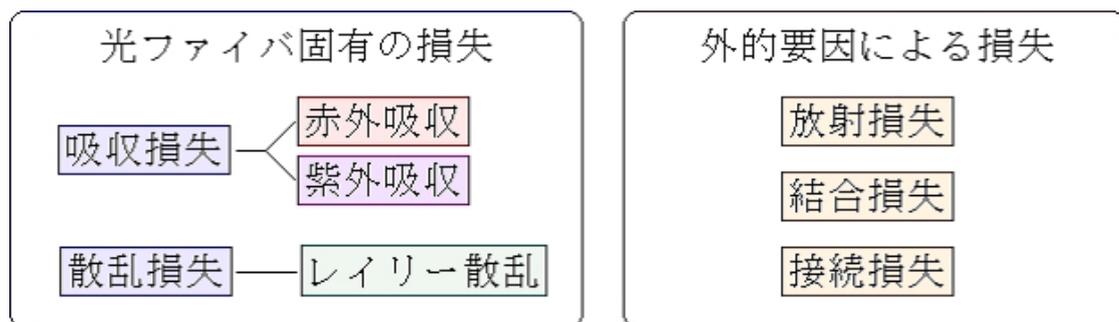


図 12: 伝送損失の分類

光ファイバを用いて光波を伝送するとき、光波は種々の伝送損失を受ける（図 11）。これらの損失要因には光ファイバ自身もつ固有の損失とそれを使用するときの外的要因による損失とがある（図 12）。

- ・ 吸収損失：石英の分子振動順位による赤外吸収 と 電子順位による紫外吸収 が主要因
- ・ 散乱損失：波長よりマイクロなコアの屈折率のゆらぎにより起こるレイリー散乱が主要因
- ・ 放射損失：光ファイバが曲がる時に生じるモード変換によって起こる損失
- ・ 結合損失：光ファイバと光源・光検出器とき結合時の損失
- ・ 接続損失：光ファイバを接続したときの接続部での損失

1.6 光ファイバの伝送帯域

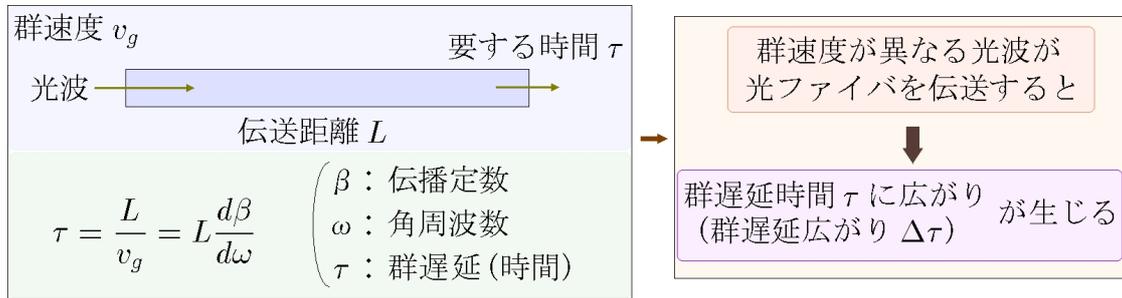


図 13: 光ファイバの伝送帯域

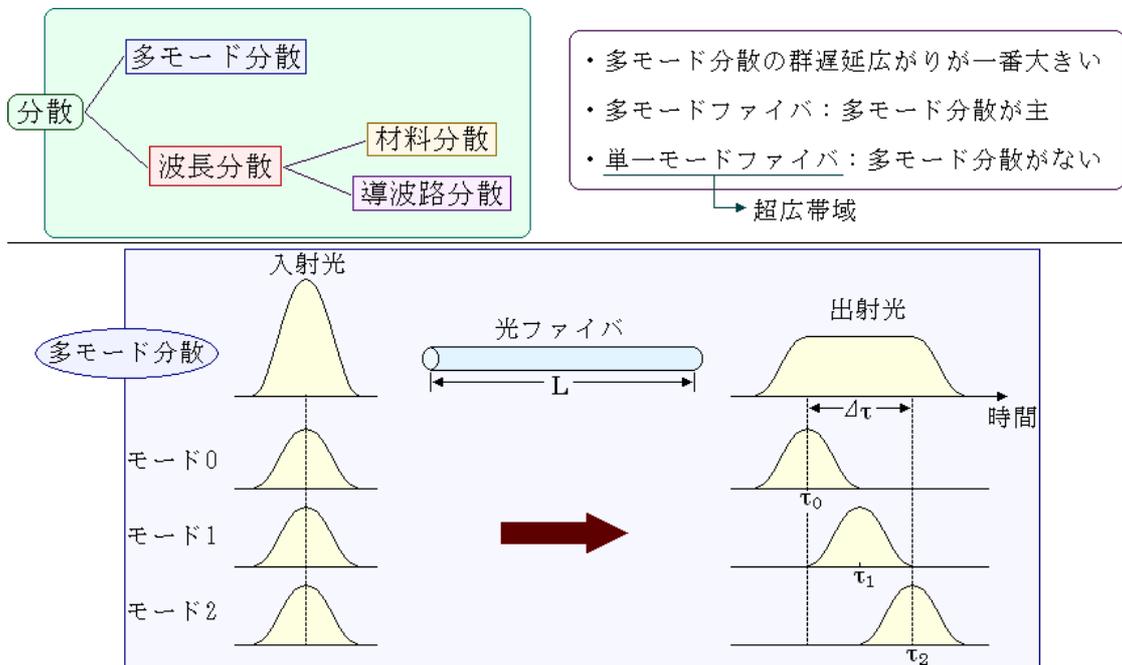


図 14: 分散の種類と多モード分散による光パルスの広がり

光ファイバの周波数帯域幅 B は群遅延広がり $\Delta\tau$ の逆数に比例する

$$B = \frac{A}{\Delta\tau} \quad (1.1)$$

で表される。ここで、 A は $\Delta\tau$ と B を関係付ける定数である。

群遅延広がり $\Delta\tau$ は伝送距離 L に依存し⁴、 L が長くなるとともに大きくなる。このため、一般に光ファイバの伝送帯域は周波数帯域幅 B と伝送距離 L の積である帯域幅・距離積 (BL 積, bandwidth-distance product) (単位は MHz·km) で表される。

⁴ $\Delta\tau$ の距離依存性は、光ファイバの種類・光源のスペクトル幅・使用条件などによって異なり、一般に複雑である。

2 新しい光ファイバ

2.1 フォトニック結晶 (photonic crystal)

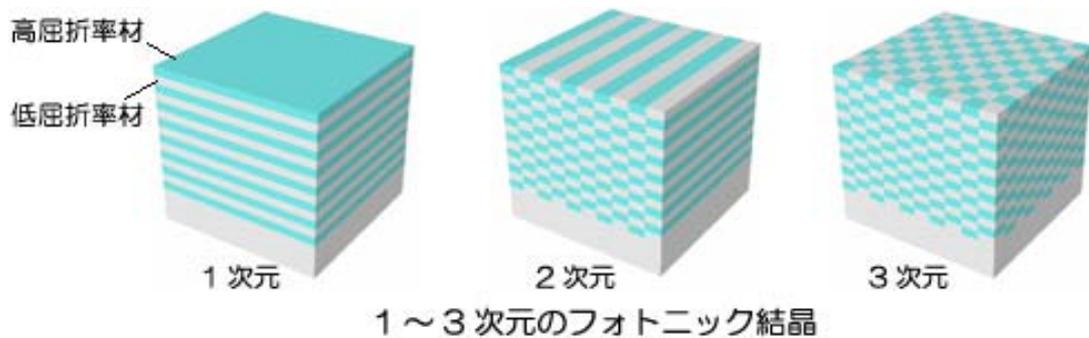


図 15: フォトニック結晶

屈折率の異なる二つの物質を周期的に並べると光を透過させない物質を作れる
(⇒このような物質をフォトニック結晶と呼ぶ)

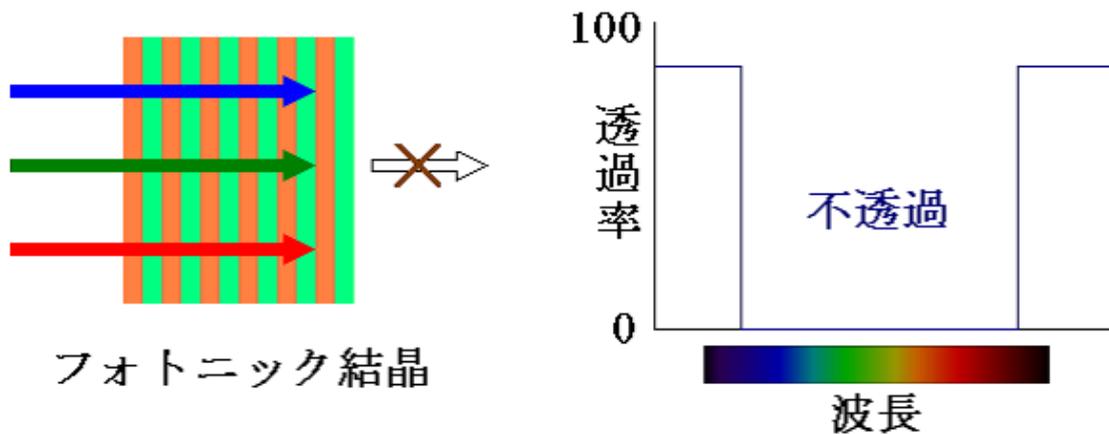


図 16: フォトニック結晶 2

フォトニック結晶は波長の半分程度の周期で屈折率が変化する人工結晶のことであり、電子の制御を可能とした半導体のように光を自在に操作できる可能性を秘める材料として近年注目されている。

このバンド中にはフォトニックバンドギャップと呼ばれる光が存在できない周波数領域があり、このフォトニックバンドギャップを利用すれば光を効率的に閉じ込めることができる。

そのため、結晶の欠陥を利用してフォトニック結晶中に導波路や共振器の働きをする構造を作製することができる。

2.2 フォトニック結晶ファイバ (photonic crystal fiber)

フォトニック結晶ファイバとは、本来フォトニックバンドギャップを発現する光ファイバを指していたが、現在は図 17 に示すような多数のエアホールが規則正しく配列した構造のクラッドを持つ光ファイバは全てフォトニック結晶ファイバと呼ばれている⁵。

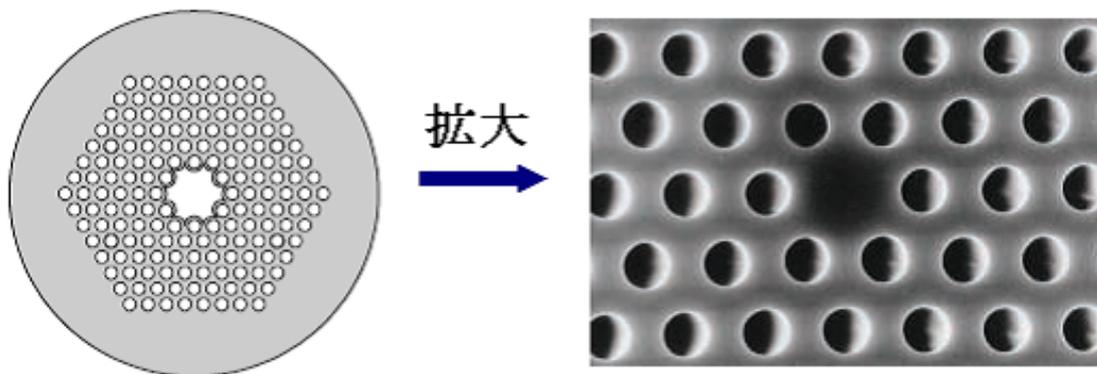


図 17: フォトニック結晶ファイバ



図 18: フォトニック結晶ファイバ 2

⁵ここでは、本来のフォトニックバンドギャップを利用したフォトニック結晶ファイバについて述べる。

2.3 フォトニック結晶ファイバとフォトニックバンドギャップ

フォトニックバンドギャップ (photonic bandgap, 光の禁制帯) とは電磁波の伝播できない周波数領域のことで, フォトニックバンドギャップに相当する波長の光は結晶の内部を通過できない. しかし, フォトニック結晶の周期構造を一部壊して欠陥を作ると, 光は欠陥部に集中する. この現象を使って, 光の通る部分を作り出す光導波路や光ファイバを作ることができる. つまり, 結晶の欠陥をコントロールすることで, 望む波長の光を制御する微細素子を作成することが可能になる. しかし, 光のフォトニックバンドギャップを発現させるには, 構造に厳しい周期性とエアホールサイズの均一性を要求するため, 現在は通常の光ファイバを越える損失特性を持つものはできていない.

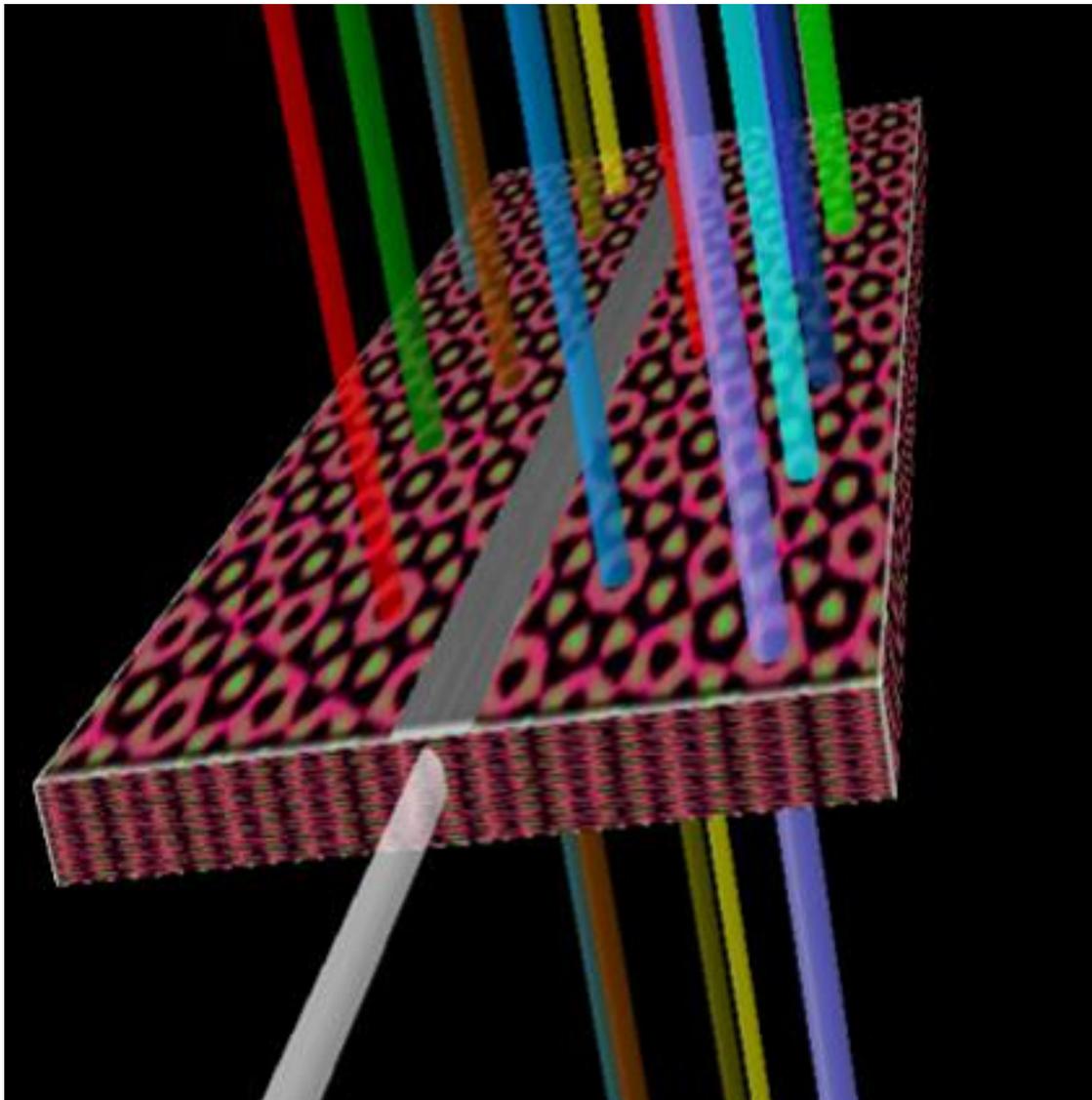


図 19: フォトニックバンドギャップ

参考文献

- [1] 林 昭博,『光電子工学入門』, 槇書店, 1997 年.
- [2] 藤田盛行他,『三菱電線工業時報 99 号』, 2002 年.