

ファイバーレーザーのビームデリバリ - 入門書

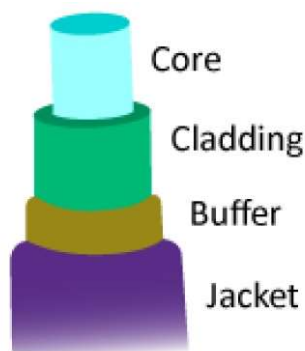
目次

背景	2
ファイバー技術	2
ビームパラメーター積	3
低いビームパラメーター積、高いビーム品質	3
ファイバー・トゥ・ファイバーカップリング	4
ファイバーデリバリの選び方	5
モードストリッパー	5
クォーツブロック	5
プリアライン光学系	5
まとめ	6

背景

ファイバー技術

ファイバーデリバリーは全内部反射を用いています、それは1つの屈折率媒質中で光線がより低い屈折率の境界表面に小さい角度で衝突したときに起こります。正しい条件での状態ならば、この反射はほぼ完全で、多数回の反射を繰り返しても小さなエネルギーの損失で伝搬します。



光ファイバーにおいて、高い屈折率の中心部分は「コア」と呼ばれます、またコアの周りの部分は低い屈折率材料の「クラッド」と呼ばれます。ハイパワー用途に対し、純粋な溶融石英でコアが作られた光ファイバーだけが用いられます。クラッドの外側には、光ファイバーを保護しまたそれを柔軟にする少なくとも2つ以上の層があります・・「バッファー(緩衝層)」と「ジャケット(被覆)」。

光ファイバーを通じての高い伝搬の基本的原理は、前述したように全内部反射です。これはある特定の角度までだけで働きます、そして結果として光ファイバーは最大の許容角度 (a_{acc}) を持ち、それは損失なしの伝搬を可能とします。その角度はコアとクラッドの屈折率に依存します。

屈折率差が大きければ、より大きな角度で伝搬が可能です。光伝搬または許容範囲等のあらゆる議論は、光ファイバーの開口数 ($NA_{fiberacc}$) を含み、次のように定義されます。:

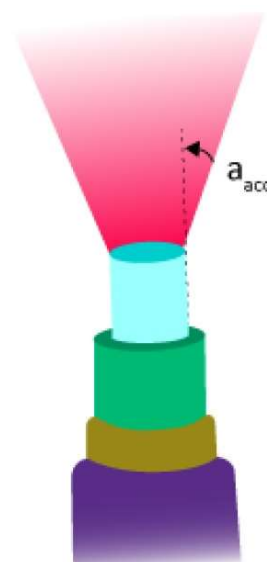
$$NA_{fiberacc} = \sin(a_{acc})$$

ファイバーの NA は次のように定義されています。

$$NA_{fiberacc} = \sqrt{((n_{core})^2 - (n_{cladding})^2)}$$

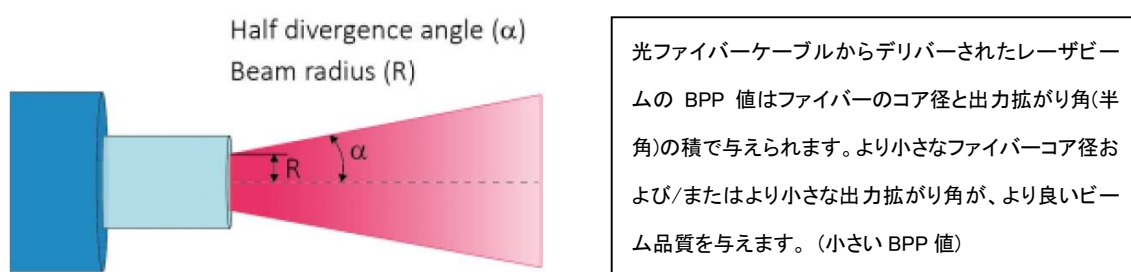
ここで n_{core} と $n_{cladding}$ はそれぞれコアとクラッドの屈折率です。

$NA_{fiberacc}$ は損失なしで光ファイバーが伝搬可能な最大角度を表します。



ビームパラメーター積

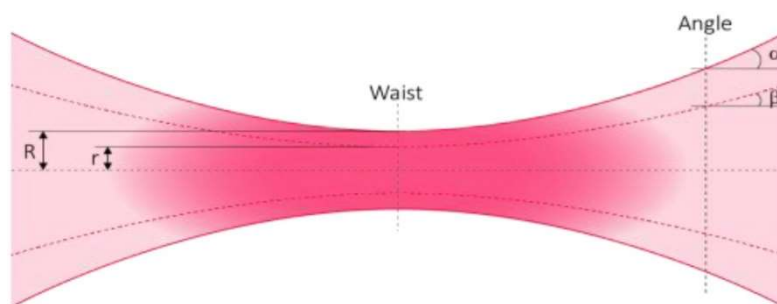
BPP (Beam Parameter Product、ビームパラメーター積) はレーザービームの品質と、それをどれくらい集光することができるかを定量化します。それは、レーザービームのファーストフィールド拡がり角(半角)と、最も幅が狭い位置(ビームウェスト)でのビームの半径の積です。光ファイバーを通じての伝搬における BPP の劣化を最小限に抑えるため、カップリング光学系は最適化されなければなりません。BPP を記述する典型的な方法は、86% (1/e²)でのビームウェスト径と、そしてまた同じ86%値での拡がり角(半角)を測定することです。86% BPP 値はファイバー光学系の設計では最適ではありません、なぜならそのときカップリングで14%のパワーが損失するためです。ビームウェストと角度の双方に対し98%で測定されたBPPに基づきこれらの値を計算します。



低いビームパラメーター積、高いビーム品質

2つのBPP値の相関関係はビームプロファイルに依存します。経験測から、86% (1/e²)と98% BPP値の相関として、係数1.5を使用します。

$$\text{BPP}_{98\%} / \text{BPP}_{86\%} = 1.5$$



$$98\% \text{ BPP} = R \times \alpha \text{ (mm} \times \text{mrad)}$$

$$86\% \text{ BPP} = \gamma \times \beta \text{ (mm} \times \text{mrad)}$$

それとは異なり、非常に一般的なビーム品質測定法に M^2 値があります。

M^2 値は、BPP 値を正規化したものです。

それは特定の波長の回折限界ビームに対して行われます。

$$M^2 = BPP/BPP_0$$

$$BPP_0 = \lambda/\pi$$

M^2 は無次元です。

BPP_0 は回折限界ビームです。

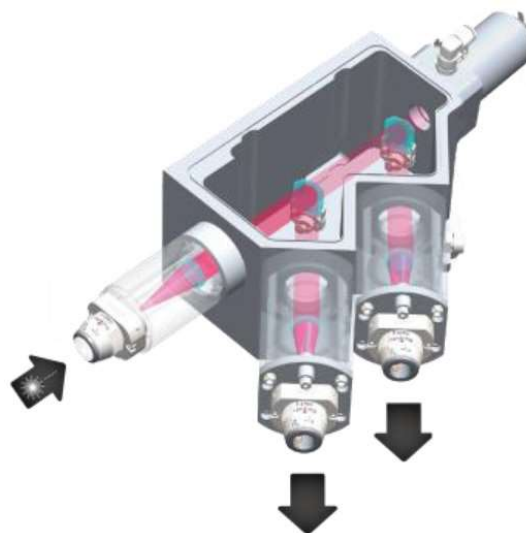
$$M^2 \geq 1$$

ファイバー・トゥ・ファイバーカップリング

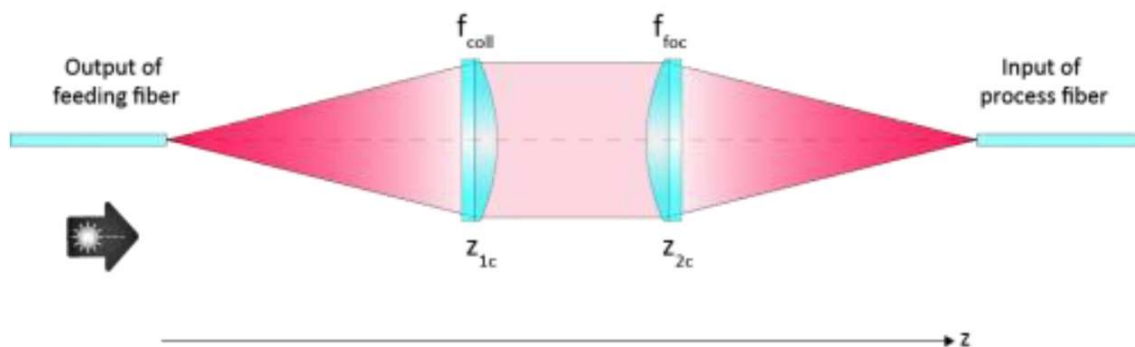
ファイバー間のカップリングの基本原理は、入射側：フィーディングファイバーの端面を出射側のプロセスファイバーに再結像させることです。最適化されたシステムでは、レーザ出力とビーム品質 (BPP) の両方で損失が少なくなります。2つの光学間ではビームがコリメートされた名目上の状況では、フィーディングファイバーの像が、プロセスファイバー上で M 倍に拡大されます。

$$M = f_{\text{foc}}/f_{\text{coll}}$$

倍率 M は、プロセスファイバー上の像を拡大するだけでなく、入射角も同じだけ小さくなります。倍率が高いほど結合角度が小さくなり、BPP 損失が減少します。その結果、BPP 損失が減少します。さらに倍率が大きくなりすぎるとファイバーコア内に閉じ込められず、レーザパワーの損失が大幅に増大します。



FFS 内でのフィーディングファイバーからプロセスファイバーへのレーザ光のカップリング



ファイバーデリバリの選び方

ハイパワー伝送用の光ファイバーを用いるとき、光路でのミスアライメント、後方反射や破損したオプティクスによるパワー損失に対処することは重要です。一般的に主な損失箇所は入射口と出射口の表面、そしてバッファーとジャケットがファイバーに入る領域です。

モードストリッパー

すべての COHERENT(OPTOSKAND)社光ファイバーケーブルは、不要な後方反射光がバッファー/ジャケット層に入射されないモードストリッパー手法を採用しています。コネクタ内部で放散しやすく、冷却しやすい構造を設けてクラッドの外に不要な光が漏れるように施しています。

クォーツブロック

すべての COHERENT(OPTOSKAND)社光ファイバーケーブルはファイバー端においてクォーツブロックを備えています。

これには主に3つの利点があります。

- 大きなエントランス表面はファイバー端面での低パワー密度となります。
- ファイバーの機械的マウントが容易になり、ファイバーの高精度な位置決めが可能となります。
- ARコーティング処理を施すことが可能となり、伝搬損失を1~2%抑えられます。

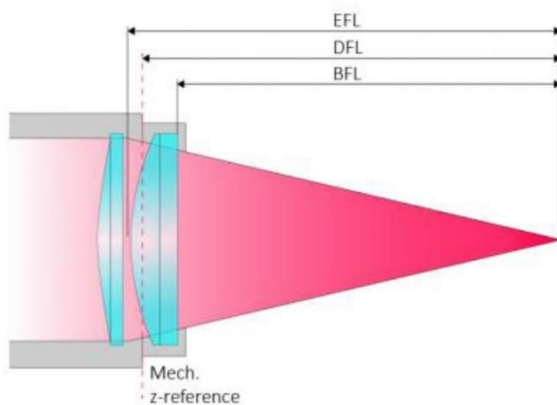
プリアライン光学系

レンズの有効焦点距離はいくつかの規定された公差を含んでいます。プラグアンドプレイ性能を保証するため、これら公差は補償される必要があります。プロセスオプティクスモジュールは組み立て中にプリアライン（事前調整）されます。アライメントプロセスは基準ファイバーと校正された測定装置によって行われています。レンズはビームをコリメートする位置に移動され、その後、所定の位置に固定されます。

EFL (Effective Focal Length、有効焦点距離)は、レンズの結像特性に関わるもので、通常、レンズの焦点距離と呼ばれるものです。

フォーカスユニットの**DFL (Design Focal Length、設計焦点距離)**は、フォーカスユニットの作動距離に関連しています。DFL は EFL に近い値に選ばれており、機械的なインターフェースから平行入射ビームの焦点位置までの距離を定義します。光学系は以下のように事前に調整されています。EFL および/または BFL の公差による変動を調整します。

BFL (Back Focal Length、後方焦点距離) は、平行入射ビームを仮定したときの、光軸上のレンズの出口側から、焦点までの距離です。この距離はフォーカシングオプティクスの説明には用いられませんが、ホルダー内のレンズシートの位置を定義します。



プリアライン光学系がフォーカスを得るのを容易にします。

まとめ

高出力レーザーの照射を最適化するためには、位置ずれや後方反射などの損失要素を考慮し、BPPを最大化、工場での精密なアライメントを行うことで プラグアンドプレイのシンプルさと長寿命を実現します。

以上