

焦点スポット径と M^2 (エムスクエア値)

2010年2月1日

三田技研有限会社

光は回折します。

回折とは狭い所を通った波が、拡がりながら伝播していく現象です。

例えばピンホールを通ったレーザー光は、拡がりながら伝播して行きます。

この際にピンホールの直径が小さい程、レーザー光の拡がり方は大きくなります。

レーザー光の最も細い部分はビームウエストと呼ばれます。

レンズ等で集光された場合の焦点もビームウエストです。

ピンホールが無くても、レーザー光はビームウエストの部分にピンホールがあるかの様に回折します。

レーザー光はビームウエストの直径が小さい程、より大きな角度で拡がります。

理想的に集光するレーザー光について、以下の関係が成り立ちます。

$$1 = (\pi D / 2 \lambda) \tan(\theta / 2) \quad (\theta \text{ が小さくて } \tan(\theta / 2) \sim \theta / 2 \text{ のときは } 1 = \pi D \theta / 4 \lambda \text{ とみなせる})$$

D : ビームウエストの直径 (μm)

θ : ビーム拡がり全角(rad)

ビームウエスト付近でなく広い領域で角度を定義します。

λ : レーザー光の波長(μm)

最も明るい中心部に対してパワー密度が $1/e^2$ に下がる位置でビームの直径を定義します。

実際のレーザー光については、以下の関係が成り立ちます。

$$M^2 = (\pi D / 2 \lambda) \tan(\theta / 2) \quad (\theta \text{ が小さいと } M^2 = \pi D \theta / 4 \lambda \text{ とみなせる})$$

M^2 : 「エムスクエア値」と呼ばれるビームの集光性を表す値

横モードが TEM_{00} と呼ばれるレーザー光の M^2 は 1 に近い値を示します。

M^2 の値はレーザー光を集光して D と θ の測定を行い、上の式から算出されます。

同じ種類のレーザー装置でも、高次の高調波になる程 M^2 の値は大きくなります。

レーザー光を集光した焦点部分のスポット直径は、以下の計算で求めます。

$$\theta = 2 \sin^{-1}(\text{集光前のビーム直径} / (2 \text{ 焦点距離}))$$

$$D = 2 \lambda M^2 / (\pi \tan(\theta / 2)) \quad (\theta \text{ が小さいと } D = 4 \lambda M^2 / \pi \theta \text{ とみなせる})$$

以上の議論では、集光レンズの収差を考慮していません。