レーザー光のビーム品質(1)

波多腰玄一

1 はじめに

第7回，第8回のガウスビームの章で紹介したビーム径およびビーム広がり角の式により，レーザー光のビーム品質指標であるM^2因子が定義される。M^2因子は近軸のあらゆるビームに対して適用できる。以下ではビーム幅，ビーム径の定義により，任意のビームが近軸ではガウスビームと同じ挙動をすることを述べ，これに基づいて定義されるM^2因子を紹介する。

2 ビーム特性とビーム品質

(1)ビーム幅，ビーム径の定義

z方向に進む光波の電界を

$$E = Af(x,y,z)\exp(-ikz + i\omega t) \tag{1}$$

とおくと，x方向，y方向のビームの平均位置（centroid（重心）と呼ぶ）$\bar{x}$，$\bar{y}$（1次モーメント），およびそれぞれの方向のビーム広がりに対応する標準偏差σ_x, σ_yの2乗（2次モーメント）はそれぞれ次式で与えられる[1, 2]。

$$\bar{x}(z) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} x\,|f(x,y,z)|^2\,dxdy}{\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} |f(x,y,z)|^2\,dxdy} \tag{2a}$$

$$\bar{y}(z) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} y\,|f(x,y,z)|^2\,dxdy}{\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} |f(x,y,z)|^2\,dxdy} \tag{2b}$$

$$\sigma_x{}^2(z) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} (x-\bar{x})^2\,|f(x,y,z)|^2\,dxdy}{\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} |f(x,y,z)|^2\,dxdy} \tag{3a}$$

$$\sigma_y{}^2(z) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} (y-\bar{y})^2\,|f(x,y,z)|^2\,dxdy}{\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} |f(x,y,z)|^2\,dxdy} \tag{3b}$$

式(1)の$f(x, y, z)$が

$$f(x,y,z) = f_x(x,z)f_y(x,z) \tag{4}$$

のように変数分離できる場合には，式(2a)，(3a)は以下のようにxのみの積分になる。

$$\bar{x}(z) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} (x-\bar{x})\,|f_x(x,z)|^2\,dx}{\int_{-\infty}^{\infty} |f_x(x,z)|^2\,dx} \tag{5}$$

$$\sigma_x{}^2(z) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} (x-\bar{x})^2\,|f_x(x,z)|^2\,dx}{\int_{-\infty}^{\infty} |f_x(x,z)|^2\,dx} \tag{6}$$

y方向の式(2b)，(3b)についても同様である。

第7章で述べたように，式(3)のσ_x，σ_yを用いて，x方向およびy方向のビーム幅$d_{\sigma x}$および$d_{\sigma y}$は以下で定義される。

$$d_{\sigma x}(z) = 4\sigma_x(z) \tag{7a}$$

$$d_{\sigma y}(z) = 4\sigma_y(z) \tag{7b}$$

ビームウェスト幅$d_{\sigma x0}$および$d_{\sigma y0}$は

$$d_{\sigma x0} \equiv d_{\sigma x}(z_{0x}) = 4\sigma_x(z_{0x}) \tag{8a}$$