

## 位相誤差に許容性をもつキノフォーム位相板の開発

末田 敬一・椿本 孝治・宮永 憲明・中塚 正大

直接照射型レーザー核融合では、レーザー照射の均一性を向上させることが重要な課題となっている。大阪大学レーザー核融合研究センターでは、激光Ⅻ号レーザーシステムにおいて最適化されたランダム位相板 (RPP)<sup>1)</sup>を導入し、高い照射一様性を達成した。しかし、RPPによる照射ではターゲット球面上での近接ビーム同士の重なりが強度分布構造に影響を与えるため、照射一様性に限界がある。また、RPPの遠視野パターンは広い裾を有しておりエネルギーの利用効率も低い。これらの問題を解決するには、集光強度包絡線形状を任意に制御できるキノフォーム位相板 (KPP) の導入が不可欠である。しかし、KPPはその構造上、入射光の波面歪み (位相誤差) にきわめて脆弱である。

筆者らはこの問題を解決するために位相誤差に許容性をもつ位相板の設計を試みた。本稿では、位相板を複数個に分割し、それぞれ独立して遠視野像を構成させることで収差の影響を低減させる方法について紹介する。

KPPを設計する際、入力ビームは完全にコヒーレントで位相がそろっていると仮定するが、実際のビームはビーム断面内で位相が完全にはそろっていないと考えられる。この位相のずれを収差というが、ビームごとに同じ収差であり、それがレーザー出力エネルギーに依存せず経時変化もしなければ、位相回復アルゴリズムにその収差を考慮して設計することにより解決できる。しかし、レーザービームに高度の波面性能を求めるよりは、比較的収差の大きなビームであっても集光パターンの制御が可能であることは、将来の実用炉開発のためにも重要である。

図1にマルチセグメント KPP (MS-KPP) を用いた集光強度分布制御の概念図を示す。1つの位相板をいくつかの大きな集合 (以下セグメントとよぶ。図1の場合は4×4分割) に分割する。普通の KPP は全体で1つのパターンを形成するのに対して、MS-KPP は個々のセグメントが遠視野像を形成し、全体ではその重ね合わせとして作用

する。ただし、個々の強度はインコヒーレントな重ね合わせではなく、振幅分布のコヒーレント重ね合わせが所望の集光パターンを形成するように設計する。

MS-KPPの波面歪みに対する許容性を1次元の数値計算を用いて調べた。KPPの設計にはフーリエ変換と逆フーリエ変換を繰り返し用いる位相回復アルゴリズム<sup>2)</sup>を使用し、位相板の設計条件は、メッシュ数は1024、近視野像、遠視野像ともにフラットトップパターンを仮定し、その幅をメッシュ数で512とした。

分割なし、2分割、4分割、8分割の場合において歪み (歪みは1周期のsin関数) 付加前後での集光パターン誤差についてシミュレーションした結果を図2に示す。誤差評価には、集光パターンと設計パターン間の誤差の2乗平均 (RMS) 値を用いた。図2よりMS-KPPは歪みが付加された場合でも遠視野像を元のままに保つ傾向があることがわかる。しかしながら、1つのセグメント内の位相制御エレメントの減少のため分割数が増加するにつれて遠視野像の制御性が悪化する。そのため、分割数は、分割によるパターンの悪化と許容性の向上の相互間の最適値として決定する必要がある。

激光Ⅻレーザーシステムでは一様性向上のため2次元スペクトル分散レーザー光 (SSD)<sup>3,4)</sup>が導入されているた

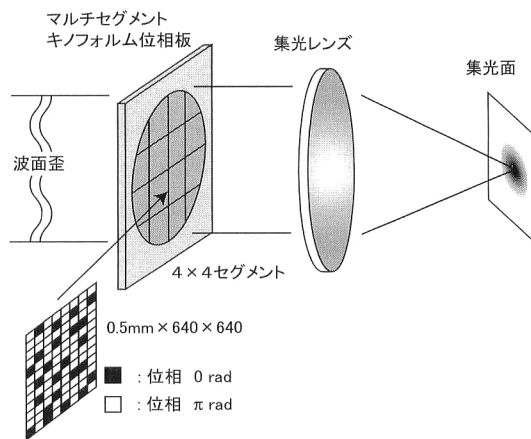


図1 マルチセグメントキノフォーム位相板を用いた集光強度分布制御の概念図。

大阪大学レーザー核融合研究センター (〒565-0871 吹田市山田丘2-6)  
E-mail: sueda@ile.osaka-u.ac.jp

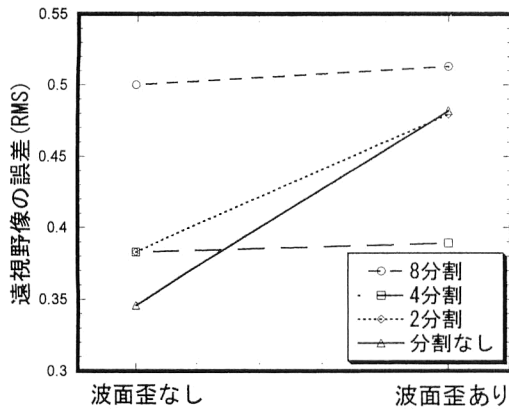


図2 波面歪みの影響による遠視野像誤差のキノホルム分割数依存性.

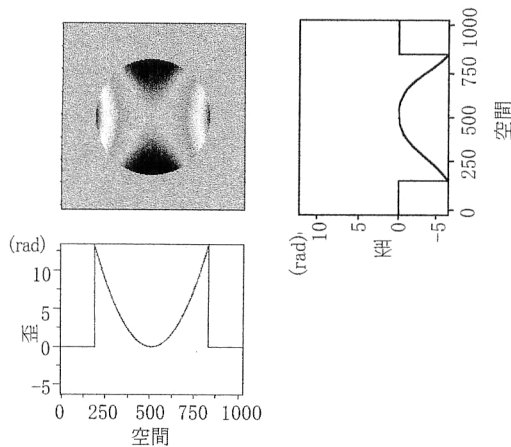


図3 計算の際に仮定した位相誤差.

め、SSDとMS-KPPを組み合わせたときの集光特性を、波面歪みの影響の分割数依存性について調べた。SSDの条件は2次元方向のバンド幅 $0.1\text{ nm}$  ( $9\text{ GHz}$ ) $\times 0.1\text{ nm}$  ( $13\text{ GHz}$ )、スペクトル角度分散量は $300\ \mu\text{rad}/\text{nm}\times 300\ \mu\text{rad}/\text{nm}$ 、波長 $351\text{ nm}$ とした。MS-KPPの条件はエレメントサイズ $500\ \mu\text{m}$ 、ビーム直径 $320\text{ mm}$ 、焦点距離 $5000\text{ mm}$ 、デフォーカス量 $-5\text{ mm}$ 、集光スポット条件は直径 $500\ \mu\text{m}$ のフラットトップとした。このときに与える歪みは現有激光Ⅻ号レーザーおよび波長変換素子などの特性を考慮し、Zernikeの収差関数の展開により、次の3つのZernike係数を採用した。それらは非点収差、コマ収差、球面収差であり、これらの係数を1とし、線形1次結合させた(図3)。

図4(a)は計算で求めた位相誤差がない状態での遠視野像とその1次元プロファイルを示す。このパターンは図3の位相誤差を加えることで大きく崩れる(図4(b))。しかし、分割数を $2\times 2$ 、 $4\times 4$ 、 $8\times 8$ (それぞれ図4(c),(d),(e))と増やしていくと遠視野像の形状の崩壊が抑制されること

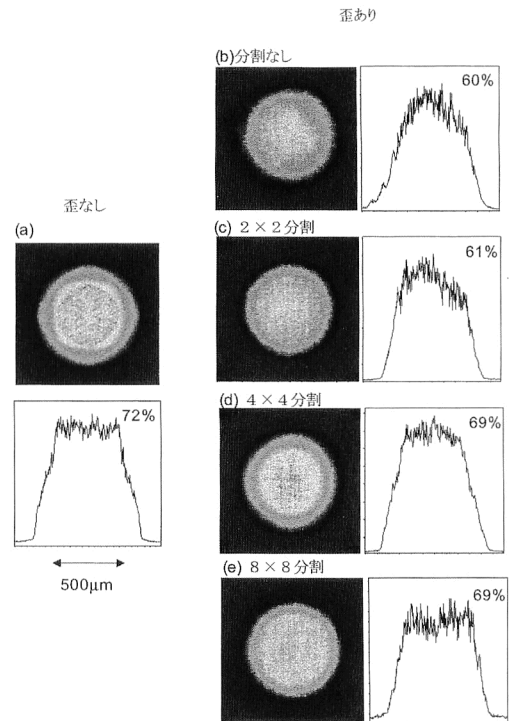


図4 分割キノホルム位相板の集光特性.

がわかる。特に、 $8\times 8$ 分割では、歪みを付加してもほぼ元のフラットトップの形状を維持している。しかしながら、比較的高周波のリプル成分が現れているため、この場合は $4\times 4$ 分割が最適であると考えられる。

エネルギー効率は、全照射レーザーエネルギー中の、ターゲット半径内 $500\ \mu\text{m}$ に入射される割合として定義する。図4より、分割なしのKPPでは効率が60%近くまで低下するのに対して、分割することにより、設計値に近い69%まで効率の低下を抑制することが可能である。

## 文 献

- 1) Y. Kato, K. Mima, N. Miyanaga, S. Arinaga, Y. Kitagawa, M. Nakatsuka and C. Yamanaka: "Random phasing of high-power lasers for uniform target acceleration and plasma-instability suppression," *Phys. Rev. Lett.*, **53** (1984) 1057-1060.
- 2) J. R. Fienup: "Iterative method applied to image reconstruction and to computer-generated holograms," *Opt. Eng.*, **19** (1980) 297-305.
- 3) S. Skupsky, R. W. Short, T. Kessler, R. S. Craxton, S. Letzring and J. M. Soures: "Improved laser-beam uniformity using the angular dispersion of frequency-modulated light," *J. Appl. Phys.*, **66** (1989) 3456-3462.
- 4) N. Miyanaga, S. Matsuoka, J. Park, K. Tsubakimoto and M. Nakatsuka: "Smoothing of focused beam pattern using two-dimensional spectral dispersion performed at GEKKO XII," *Proc. SPIE*, **3047** (1996) 746-756.

(2000年10月7日受理)