

P1

非回折レーザービーム生成簡易光学系

Compact optical system for generation of nondiffracting laser beams

有賀 規

Tadashi ARUGA

通信総合研究所

Communications Research Laboratory

Abstract

Generation of long range nondiffracting light beams using a compact optical system is demonstrated. A laser beam expander of He-Ne laser to generate nondiffracting beams for a range of several hundred meters are treated, and results of computer simulations as well as an experiment at the ground level are introduced.

1. はじめに

レーザービームは自然光よりもコヒーレンシが高いので直進性に優れているが、光である故、回折のため拡がってしまう。その拡がり角を $\Delta\theta$ とすると $\Delta\theta = \lambda/D$ (但し、 λ :波長、 D :ビーム径)である。従って細いビーム程拡がりが大きくなる。例えば数mmのビーム径の可視のレーザービームは1kmで数10cmにも拡がる。拡がりを小さくするためにはビーム径を大きくするしかない。ビーム径を大きくすることは細いビームの生成とは相反するものである。従って、細いビームを長距離にわたって生成することは不可能である。

特殊な光波面制御を行うことによって、この困難を克服できる。あたかも回折をしないかのように細いビーム幅を保って長い距離を伝搬する“長距離伝搬非回折ビーム:LRNB(long range nondiffracting beam)”が見つかった⁽¹⁾。

このビームは、球面波の波面を周辺にいくに従って曲率が小さくなるように歪ませることによって生成可能である。元のビームの中心部にエネルギーが集中し、細い芯状のビームが生成され、これがLRNBになる。LRNBは非回折的である点でBesselビーム⁽²⁾に似ているが、エネルギーの中心への集中の度合いが高く、また長距離の非回折ビームができることが特徴である。LRNBの簡単な生成法として、ガリレオ式望遠鏡を送信望遠鏡として用い、接眼レンズに適当な球面収差をもたせることが同時に提案されてきている⁽¹⁾。ここでは、この方法を用いる。

2. 計算機シミュレーション

簡易なHe-Neレーザー(波長 λ :0.6328 μ m)用ビーム・エキスパンダーを想定し、LRNB生成の計算機シミュレーションを行った。パラメータとしては、対物レンズの有効径 $D=22$ mm、焦点距離150mm、倍率25とし、接眼レンズの焦点距離6mm、(倍率25故有効径は0.88mm)と設定し、試作したビーム・エキスパンダーと同一のものを用いた。この光学システムによって生成される光波面及びLRNBは、用いる接眼レンズの球面収差によって変わってくる。例として、接眼レンズの有効径端での球面収差が0.06mmである時の、300mまでのビームのプロファイルの様子を図1に示した。但し、対物レンズの球面収差は0と仮定している。送信レーザービーム(開口径22mm)の中心部に細いサブ・ビームが生成されることが分かる。

3. 実験

小型の He-Ne レーザ (10mw) に、試作したビーム・エキスパンダーをセットし、レーザービームを送信し、そのビームをデジタルカメラで撮った。水平距離が約 100m でのビームパターンの写真の例を図 2 に示す。

過去に口径 10cm の送信望遠鏡によって、100m～数 km 領域で LRNB の生成が可能であることを示し、実際の伝搬実験の際、LRNB は他のビームよりも大気の影響がはるかに小さいことを示したが、本実験でも、中心の輝点が (主ローブで LRNB に相当) が周囲のサイドローブが大きくゆらいでいるにもかかわらずほとんどゆらいでいないように見え、同様の特徴が確認された。

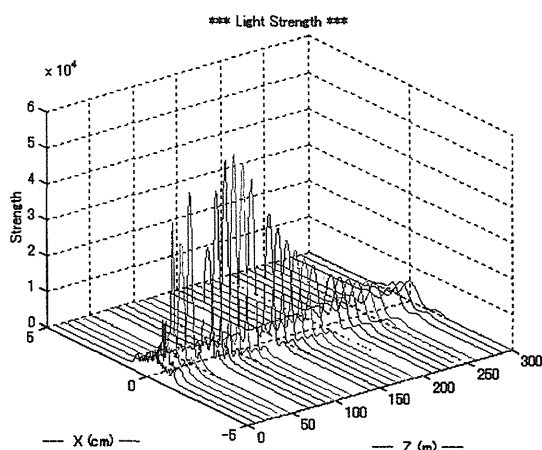


図1 計算機シミュレーションによる LRNB の例
(口径 22mm の送信ビームによる)

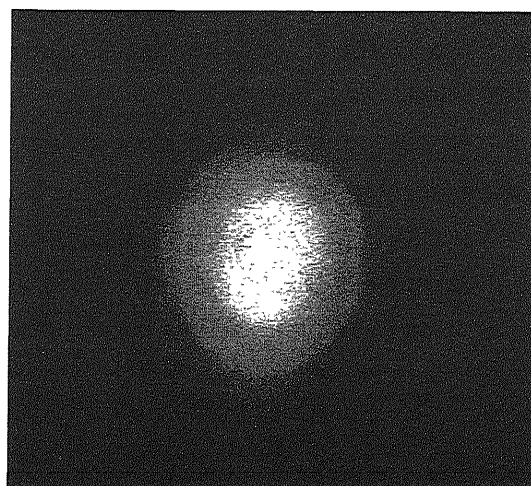


図2 実際に生成された LRNB のビームパターン
(距離約 100m での写真)

4. おわりに

LRNB 生成用簡易光学系として He-Ne レーザー用ビーム・エキスパンダーを用いた結果を紹介した。計算機シミュレーション及び実験によって口径 2cm 程度のビーム・エキスパンダーで数 100m の距離での LRNB の生成が可能であることが示された。また、LRNB は一般に伝送するビームよりゆらぎがはるかに小さいことも確認されている。

参考文献

- (1) T. Aruga, Appl. Opt. **36**, 3762 (1997).
- (2) J. Durnin, J. J. Miceli and J. H. Eberly, Phys. Rev. Lett. **58**, 1499 (1987).
- (3) T. Aruga, S. W. Li, S. Yoshikado, M. Takabe and R. Li, Appl. Opt. **38**, 3153 (1999).