

強い大気揺らぎ条件下における長距離伝搬非回折ビームの大気伝搬実験

Atmospheric propagation experiment of Long Range Non-diffracting Beam in the strong atmospheric turbulence

鈴木 祐仁¹⁾、嶺 康晴¹⁾、岩村 朋¹⁾、土志田 実¹⁾、永井 亨²⁾、早川 明良²⁾、和仁 郁雄²⁾、有賀 規³⁾
 Yuji SUZUKI¹⁾, Yasuharu MINE¹⁾, Tomo IWAMURA¹⁾, Minoru DOSHIDA¹⁾, Toru NAGAI²⁾, Akiyoshi HAYAKAWA²⁾, Fumio WANI²⁾ and Tadashi ARUGA³⁾.

1) 防衛省 技術研究本部 電子装備研究所 (〒154-8511 東京都世田谷区池尻 1-2-24)

2) 川崎重工業株式会社 (〒504-8710 岐阜県各務原市川崎町1番地)

3) 伊藤忠アビエーション株式会社 (〒107-0061 東京都港区北青山 1-2-3)

1) Electronic Systems Research Center, TRDI, Ministry Of Defense,

1-2-24, Ikejiri, Setagaya, Tokyo, 154-8511, JAPAN

2) KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES, LTD. 1 Kawasaki-cho, Kakamigahara City, Gifu-Pref, 504-8710 JAPAN

3) ITOCHU AVIATION CO., LTD, Aoyama Bldg. 2-3, Kita-Aoyama 1-chome, Minato-ku, Tokyo, 107-0061, JAPAN

Abstract

Propagation experiments of a Long Range Non-diffracting Beam and a focused beam using a fiber laser with good beam quality were performed in a distance of approximately 300 m for various atmospheric turbulence conditions. The experimental results show lower dependence of LRNB than a focused beam upon the turbulence strength.

1. はじめに

レーザービームが大気中を伝搬する際には、大気の状態、特に屈折率構造定数(C_n^2)に依存してビーム形状が変化することが知られている。我々が研究を進めている長距離伝搬非回折ビーム(LRNB : Long Range Nondiffracting Beam)^{1),2)}は、過去に我々が行った実験からも大気揺らぎの影響を抑制する効果があることを実証しているが^{3),4),5)}、強い大気揺らぎ条件下(Rytov 変数: $\sigma_v^2 = 1.23C_n^2 k^{7/6} L^{11/6} \gg 1$)ではLRNBの有効性が失われる可能性があり、その能力について調査する必要があった。今回の実験では、出力300 W ~ 1.5 kWに設定した高ビーム品質($M^2 \leq 1.1$)のファイバーレーザー(IPG Photonics社製)と透過型LRNB位相板を使用し、集光ビームとLRNBの2種類のレーザービームを距離約300 m伝搬させ、ビーム拡がりの大気揺らぎ依存性を調べたので、その結果について報告する。

2. レーザービーム伝搬実験

実験配置図をFig. 1に示す。ファイバーレーザー(IPG Photonics社:

YLR-2000-SM、波長 1075 nm、CW、ビーム直径 4 cm、 $M^2 \leq 1.1$ 、最大出力 2 kW)から出射された gaussian ビームは、カセグレン鏡の前に透過型 LRNB 位相板(直径 5 cm)を設置することにより、LRNB が生成される。なお、通常の集光ビームを伝搬させる際には位相板を外すだけでよい。その後、レーザービームはカセグレン鏡を通して直径約 20 cm まで拡大され出射される。これを 100 m 先に設置した Au コートミラーで反射させて、折り返しビームを更に Au コートミラーで反射することにより合計 300 m 伝搬させた。光軸の高さは、強い大気揺らぎの状態を示す C_n^2 値が得られるように地表面から平均 60 cm になるように設定した。約 300 m

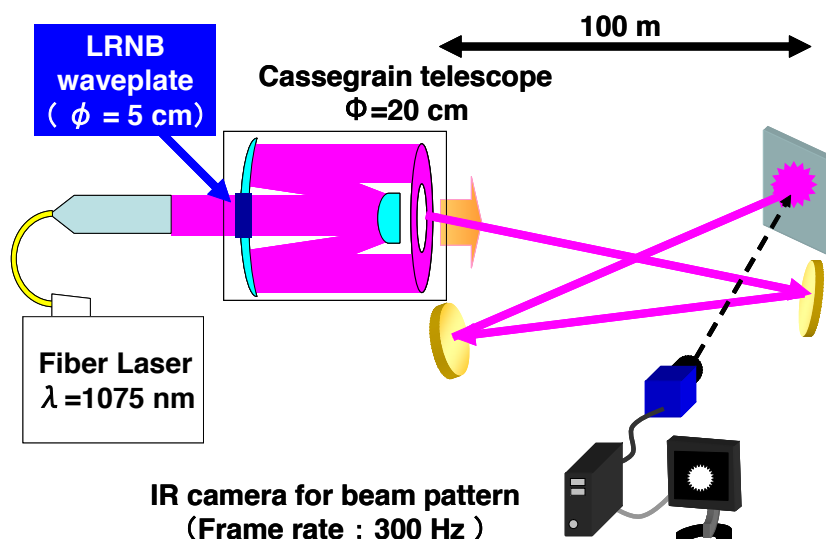


Fig. 1 Experimental setup to generate and transmit the LRNB. The beam is focused on the diffusive plate to observe its fluctuation.

先には拡散板(拡散率 99 %)を設置し、その散乱光を近赤外線カメラ(Xenics 社:XEVA-CL-350Hz、フレームレート 300 Hz)にてビームパターン動画として撮影した。また、伝搬経路上にはシンチロメータ(Scintec 社製 SLS20)を地表面からの高さ 60 cm に設置し、屈折率構造定数(C_n^2)を計測した。

3. 実験結果

実験結果をまとめたグラフを Fig. 2 に示す。このグラフは、 C_n^2 に対するエネルギー投入量比を示している。エネルギー投入量比は、近赤外線カメラで撮影した動画をレーザー動作時間分(約 800 フレーム)切り出して全ての画像を足し合わせ、得られた画像のエネルギーピーク中心から半径 15ピクセル(1ピクセルは 1.04 mm に相当)の円の中に入っているエネルギー量を全体のエネルギー量で割ったものとして定義した。

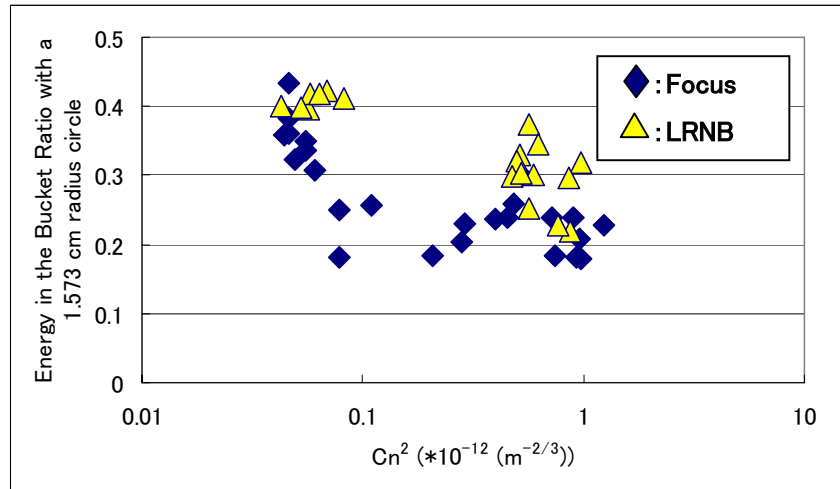


Fig. 2 Comparisons of energy-in-the-bucket ratio between a focused beam and LRNB for various atmospheric turbulence conditions

グラフから、集光ビームと LRNB 共に C_n^2 に依存してエネルギー投入量比が減少している

が、その減少傾向には違いが見られる。集光ビームは C_n^2 が大きくなるにつれて、エネルギー投入量比が大きく下がっているが、一方、LRNB は集光ビームに比べてエネルギー投入量比の減少率が小さい。弱い大気揺らぎの条件下では、集光ビームの方がパワー伝送率は高くなるはずが、ある C_n^2 を超えると LRNB の方が高くなっている。これは LRNB が大気揺らぎの影響を受けにくく、大気揺らぎが更に強い条件の下でも有効であることを示唆している。今回の実験では、 C_n^2 が $1.0 \sim 5.0 \times 10^{-13} \text{ (m}^{-2/3}\text{)}$ 付近のデータを取得することができなかったため、集光ビームと LRNB のパワー伝送率の逆転現象が起こる C_n^2 を特定することができなかったが、次の試験ではどの C_n^2 で逆転現象が起こるのか調査する予定である。また、今回の試験では、レーザー光を地表面に対して上下方向に 2 回折り返しているため、レーザー光の高度が一定ではないことから、 C_n^2 に誤差が多少含まれている。これは実験を行った場所の制約上の問題があったため、やむを得なかったが、今後は伝搬経路と同一経路上にシンチロメータを設置することにより誤差をなくすことが重要である。

今回の実験結果でパワー伝送率の逆転現象を確認できたことにより、ある C_n^2 を超えると LRNB が集光ビームより長距離大気伝搬する際に有利であることを実証した。

4. 参考文献

- 1) T. Aruga, "Generation of long-range nondiffracting narrow light beams," Appl. Opt. **36**, 3762-3768 (1997).
- 2) 有賀 規 "長距離伝搬非回折光ビーム" レーザー研究 Vol. 32, No. 5 May 2004, pp. 352-356
- 3) Yuji SUZUKI et al., "Atmospheric propagation experiment of Long Range Non-diffracting Beam using an annular-beam infrared laser" Reviewed and Revised Papers Presented at the 23rd International Laser Radar Conference, Part I, pp. 125-126, 2006
- 4) 鈴木 祐仁 他, "赤外領域における長距離伝搬非回折ビームの発生", 第 24 回レーザーセンシングシンポジウム 予稿集 pp. 141-142, 2005
- 5) 鈴木 祐仁 他, "大口径位相板による長距離伝搬非回折ビームの大気伝搬実験", 第 25 回レーザーセンシングシンポジウム 予稿集 pp. 157-158, 2007