

# P3

## 長距離伝搬非回折光ビーム Nondiffracting Light Beams of Long Range Propagation

有賀 規、李 樹栄、高部政雄  
Tadashi Aruga, Shu Wing Li and Masao Takabe

郵政省通信総合研究所  
Communications Research Laboratory  
Ministry of Posts and Telecommunications

### Abstract

We introduce a type of non-diffracting light beam which propagates over a long range keeping its narrow beam width. This unique beam is generated by a distorted concave spherical wave front, e.g., by using a transmitting telescope with an eyepiece that has a spherical aberration. For example, a nondiffracting core beam with width of mm order with a propagation distance of km order is generated by a 10cm diameter laser beam. Some analyses are presented.

非常に長い距離にわたって、細いビーム幅をほぼ一定に保って、あたかも回折をしないで伝搬するようなユニークな光ビームの存在が発見された。<sup>(1)</sup>このような非回折光ビームは球面波の波面を、光軸から周辺にいく程曲率が大きくなるように歪ませることによって発生できる。例えば、ガリレオ型の送信望遠鏡の接眼鏡に適度の球面収差をもったものを用いれば可能である。ここでは、非回折光ビームとは、ビーム幅が一定かこれに近い状態で伝搬する光ビームをいうことにする。

数mmの幅で100m～数km伝搬するビームが口径10cmのレーザービームの中心部に生成されることが確認されている。また、口径を大きくすればより長距離が可能で、数cmの幅で～50km程度伝搬するビームが口径50cmのレーザービームで生成できることが、理論的解析で明かになっている。<sup>(1)</sup>

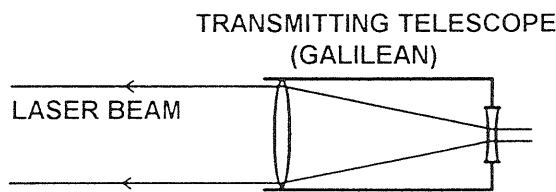


図1 長距離伝搬非回折光ビーム生成に用いた光学系  
望遠鏡の接眼鏡に球面収差を持たせている。

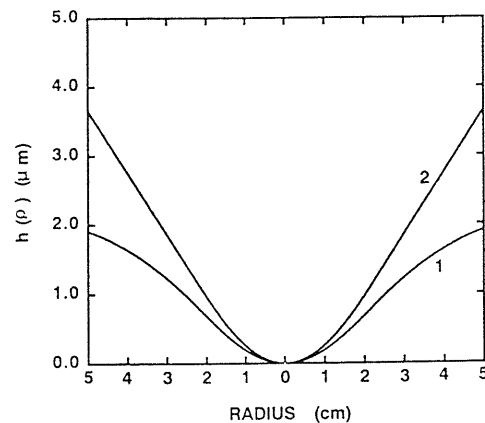


図2 歪ませて送信する光波（球面波）の波面の例  
接眼鏡の球面収差により波面が歪んでいる。  
1と2は対物、接眼鏡両レンズ間の距離を変えて得られた。

10cmの口径のレーザービームから生成された非回折光ビームを紹介する。図1のような、ガリレオ型の送信望遠鏡を用いる。対物レンズは球面収差が無視できるものを用いる一方、接眼鏡は球面収差をもったものを用いる。両レンズの距離をコリメーション状態より少し大きくすることによって凹状の球面波をもったレーザービームが送信される。接眼鏡の球面収差により、図2示すような歪んだ球面波が放射されることになる（詳細は文献(1)参照)。図2は、接眼鏡の球面収差がビーム端で-0.58mmの場合の計算例である。図中の1, 2は開口端での波面の接線の光軸垂直面に対する傾きが、各々20 $\mu$ rad、90 $\mu$ radの場合の例である。

次に非回折ビームの特徴を述べる。先ず伝搬する光ビームの強度の計算方法を簡単に紹介する。 $\rho$  ( $0-1$ で定義される)をビーム内での半径とし、 $a$ を開口の有効半径とする。開口面での波面の形状を $\xi(\rho)$ とし、距離 $z$ 離れた点 $P$ における光強度を $I(P)$ とすると

$$I(P) = |u(P)|^2$$

と表される。 $u(P)$ は $P$ 点における振幅であり、 $u(P)$ はフレネル積分により正確に求めることができる。軸対象性より $u(P)$ は次式で表される。

$$U(P) = 2\pi a^2 c \int_0^1 A(a\rho) J_0\left(r \frac{k}{z} a \rho\right) \exp\left[-i\left(\frac{k}{2z} a^2 \rho^2 - k\xi\right)\right] \rho d\rho$$

ここで、 $k(=2\pi/\lambda)$ 、 $\lambda$ は波長)は波数、 $J_0$ は0次のベッセル関数、 $r$ は $P$ 点の光軸( $z$ 軸)からの径を示し、 $c$ は定数である。 $A(a\rho)$ は放射される光ビームの開口面内での強度分布を示す。代表的なものとして、一様分布( $A=1$ )、ガウス分布等がある。

長距離非回折光ビームの具体例を紹介する。波長 $0.514\mu\text{m}$ で、図2の1, 2の光波面のレーザー光の送信によって生成される非回折ビームがどのように伝搬するかを、各々図3(a), (b)に示した。さらに、1000m, 500mの距離でのビーム内強度を図4(a), (b)に示した。一般の光ビームは回折で広がり、例えば3mm径(半値幅)の同波長のレーザービームは、1km伝搬すると約20cmに広がってしまうが、本ビームは幅がほぼ一定である。

このような長距離非回折ビームを生成する光学系は、長距離にわたっての焦点無調整のイメージングにも利用できる。(1)、(2)

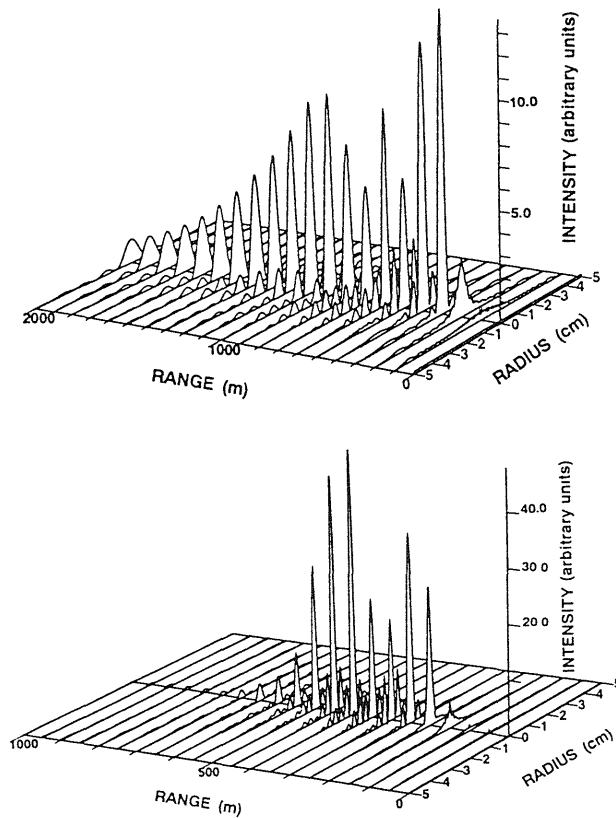


図3 長距離伝搬非回折光ビームの伝搬特性

(a), (b)は、各々図2の光波面1, 2で得られる。

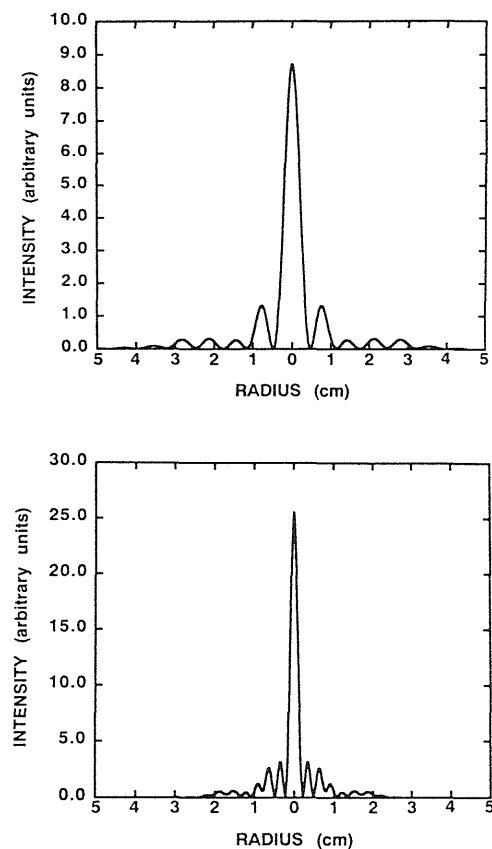


図4 光ビーム断面の強度分布

(a), (b)は、各々左図の1km, 500mでの強度分布。

#### 参考文献

- (1) T. Aruga, Japanese patent 8-23379 (1996) /Appl. Opt., vol.36, 1997 in press.
- (2) S. W. Li. and T. Aruga, 18回レーザーセンシングシンポジウム、B7(1997).