

ケーブルトラフを用いたレーザ・ビーム伝送路の実験

Laser Beam Transmission by Usig Cable Trough

藤井陽一*・伊藤孝雄*・青山賢三郎**・小本 喬**・平野公男**

Yoichi FUJII, Takao ITO, Kenzaburo AOYAMA, Takashi OMOTO and Kimio HIRANO

1. 目 的

レンズを用いた伝送路についてはすでに 100m のトンネルを用いた実験結果について報告したが、地表面に露出して敷設したケーブルトラフを用いて、その中に通常のレンズ伝送系を配置してトンネルに比べてより悪い条件下でのレーザ・ビーム伝送の際のいろいろな実際上の問題、主に温度勾配について実験した結果について報告する。

2. ビームずれの伝送路に対する影響

各レンズの個所におけるレーザ・ビームのずれを E_n とすると、 n 枚のレンズを通ったあとにおけるずれ E'' 、傾き J'' は、

$$E'' = \sum_n \left(\frac{r}{2f} \cos n\theta - j \frac{x_0}{f} \sin n\theta \right) E_n \quad (1)$$

$$J'' = \sum_n \left(-\frac{1}{f} \cos n\theta + j \frac{r}{x_0 f} \sin n\theta \right) E_n \quad (2)$$

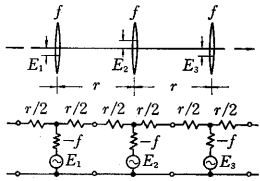


図1 ずれのあるくりかえしレンズ・ビーム伝送路と等価回路

となる²⁾。ここで、 $\theta = \cos \dots$, $x_0 = \sqrt{rf - r^2/4}$ である。(図1参照)

簡単のため、“共焦点”の場合 ($f = r/2$) を考えると、

$$\theta = \frac{\pi}{2}, \quad x_0 = \frac{r}{2}$$

だから、

$$E'' = \sqrt{2} \sum E_n \cos \frac{\pi}{4} (1+2n) \quad (3)$$

$$J'' = \sqrt{2} \sum \frac{E_n}{f} \cos \frac{\pi}{4} (1-2n) \quad (4)$$

になる。

一方、レーザ・ビームの温度変化による変位は次式で求めることができる¹⁾。

$$d = \frac{\Delta n}{2} \cdot \frac{L^2}{T_0} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta y} [\text{cm}] \quad (5)$$

ただし、 Δn : 空気温度係数、 L : 距離[cm]、 $\Delta T/\Delta y$ 温度勾配、 T_0 : 外温[°K]

したがって、2枚のレンズ間の区間が、一様な温度勾配とすると、その間のビームのずれがレンズの個所でのビームのずれ E_n 、傾き J_n に及ぼす影響は

$$E_n = \frac{\Delta n}{2} \cdot \frac{r^2}{T_0} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta y}, \quad J_n = \frac{E_n}{r}$$

とかける。

1) 温度が一様の場合: $E_1 = E_2 = \dots = E_n$ だから、 n が大きくなれば $E'' \rightarrow 0$ となり、温度勾配によるビームずれの影響はない。

2) 温度勾配がランダムである場合: ずれの平均値を \bar{E}'' その分散を \bar{E}''^2 とすると、

$$\bar{E}'' = \bar{E} = 0, \quad \sqrt{\bar{E}''^2} = \sqrt{2n} \sqrt{\bar{E}^2} \quad (6)$$

となり、平均値は0だが、その分散値は0でなく、レンズ枚数 n の平方根に比例することになる。

3) 温度勾配に周期性のある場合: (1) 式の θ を $\theta = \beta z$ ($z = r$) とし、温度勾配が、

$$\Delta T = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \Delta T(\beta r) e^{j\beta r z} d\beta r \quad (7)$$

のようなフーリエ成分に分解できるとすると、(1), (5), (7)式から、

$$E'' \propto \sum_n \int_0^{2\pi} e^{jn(\beta - \beta r)z} d\beta \quad (8)$$

となるから、 $\beta \neq \beta r$ であれば、 $E'' \rightarrow 0$ であるが $\beta = \beta r$ であると、 $E'' \propto n$ となってずれが大きくなり、ビームが不安定になる。

8. 予 備 実 験

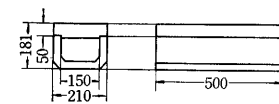


図2 ケーブルトラフ

使用したケーブルトラフは、上部に蓋のついたコンクリート製のもので

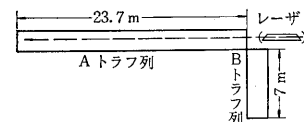


図3 ケーブルトラフ配置図

(図2)、この中にレンズを取り付けてあり(写真1)、これを地表に図3、写真2に示したように並べてある。Aトラフ列において、He-Ne レーザ GLG 103

を用いてレンズなしで温度勾配によるビームの変位がどの程度のものか実験した。図4は、各時刻におけるトラフ内の温度差を測定し、レーザから23.7mのところでのビームの変位を(5)式より求め実測値と比較したもので、ほぼ理論とおりの変位が見られる。

4. くりかえしレンズによる実験

次に、He-Ne レーザ GLT 685 を用いて $f = 2.41$

* 東京大学生産技術研究所 第3部

** 千葉工業大学学生

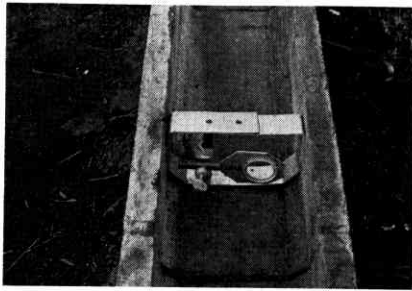


写真1 ケーブルトラフに取り付けたレンズマウント



写真2 レーザと伝送路

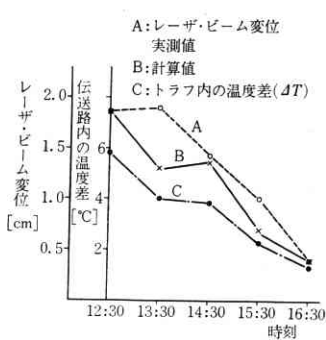


図4 温度差によるレーザー・ビームの変位

図5は一般配置のときの上下方向の変位を示したもので、図6はBトラフ列を使って平面鏡でビームを曲げて変位を調べた、図7はプリュスタ配置としたときの変位で confocal 配置にはなっていない。計算値と実測値のずれは、機械的な振動のためと

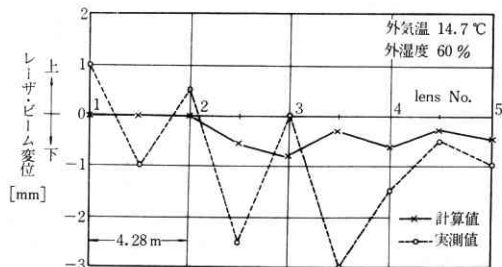


図5 伝送路におけるレーザー・ビームの変位

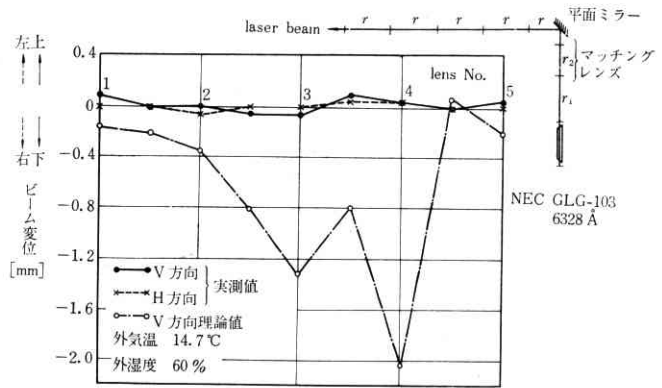


図6 ケーブル・トラフ (曲りを含む) $\alpha f=2.41m$ 一般配置によるずれ

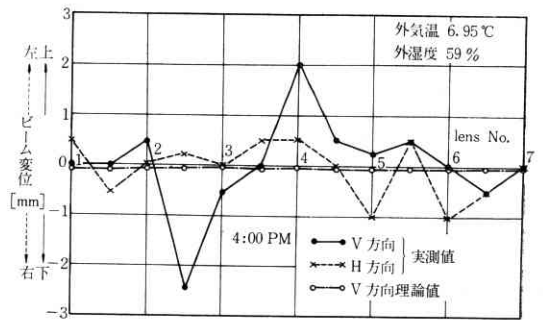


図7 ケーブル・トラフの $f=2.41m$ プリュスタ角配置によるずれ

思われる。また、図6の計算値が大きくずれているのは、建物のかげによる温度勾配の周期性 (2の3) 参照) と思われ、実験値がこれとはずれているのは、あらかじめビームがまっすぐになるように、レンズを配置したためである。

5. 結論

ここでは、温度勾配を中心として戸外におけるケーブルトラフによる伝送では、温度勾配によるレーザー・ビームのずれは問題ないと思われる。伝送路に熱伝導率の小さいものを使用すれば、ずれは減少すると思われる。

なお、戸外の伝送については、機械的なうごき、Power loss の方が問題になると思われるので今後検討する。

最後に、ご指導いただいた斎藤教授、浜崎教授、研究室各位に深く感謝する。(1969年3月27日受理)

文献

- 1) 末松安晴: 電子通信学会誌, 44年4月号, pp. 514-515, (1969-4)
- 2) 藤井陽一: 量子エレクトロニクス研究会資料, QE 67-25 (1968-2)