

ピンホール列を用いた光のガイドの試作

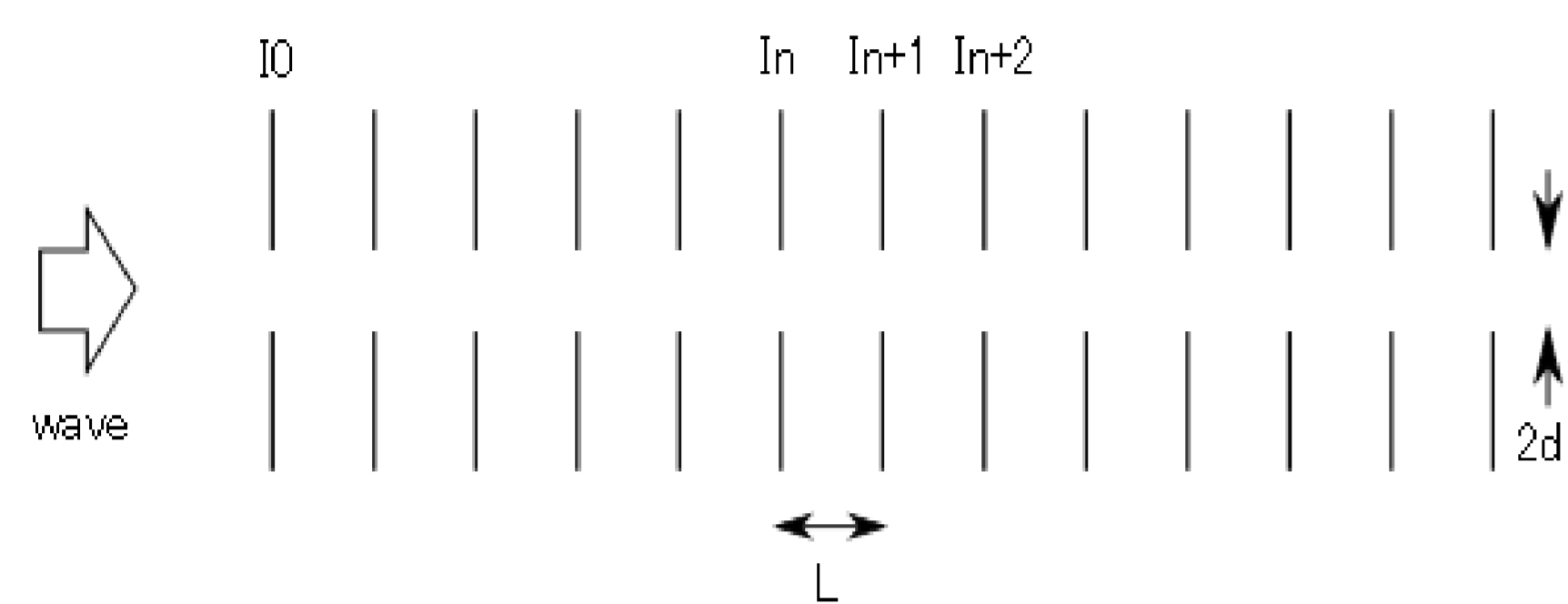
森永研究室
1013143 藤井隆太郎

目的

直線上に並べられたピンホール列に光を通し光がどのように伝搬していくのかを調べることでピンホール列の導波路としての利用の実現性を探る。

一般的な光導波路である光ファイバーに対して、透明な媒質を必要としない、光波の通るところに何も無いという特徴がある。

そのため特殊な波長の電磁波のガイド、原子波のガイド、光を導波しその光で原子をガイドするなどの利用が考えられる。



ピンホール導波路とは

幾何光学的(レーザーを光線として考えた時)には無意味な構造である。

しかし光を波として考えると I_n は n 番目のピンホールを通った光量として

$$I_{n+1} = \left\{ 1 - \beta \left(\frac{\lambda L}{d^2} \right)^2 \right\} I_n$$

という関係式が成り立つ。

λ :波長 L :ピンホール間の距離 d :ピンホールの半径

この式からピンホール1枚当たりの損失は

$$\left(\frac{I_n - I_{n+1}}{I_n} \right) = \beta \left(\frac{\lambda L}{d^2} \right)^2$$

となり単位長さ当たりの損失は

$$\frac{\beta \left(\frac{\lambda L}{d^2} \right)^2}{L} = \beta \left(\frac{\lambda}{d^2} \right)^2 \sqrt{L}$$

で表される。

つまり光の単位長さあたりの損失は \sqrt{L} に比例することがわかる。

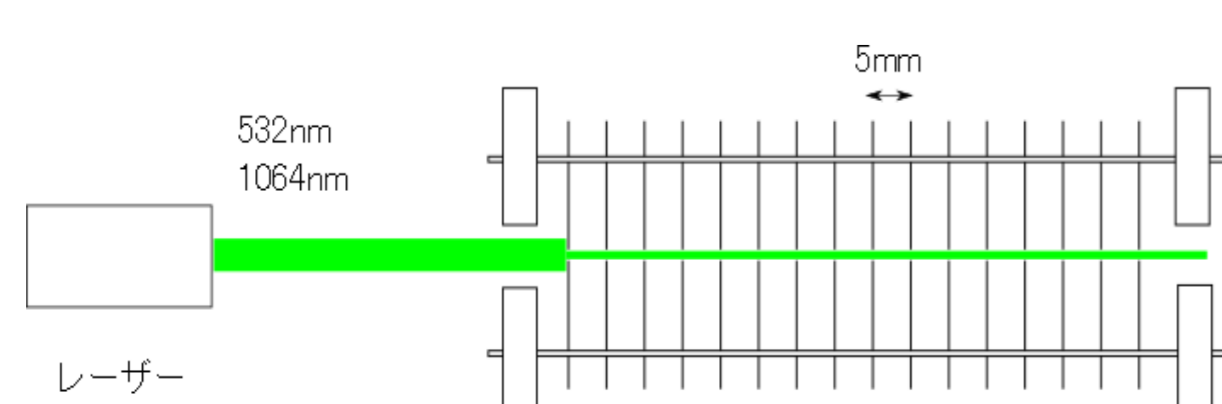
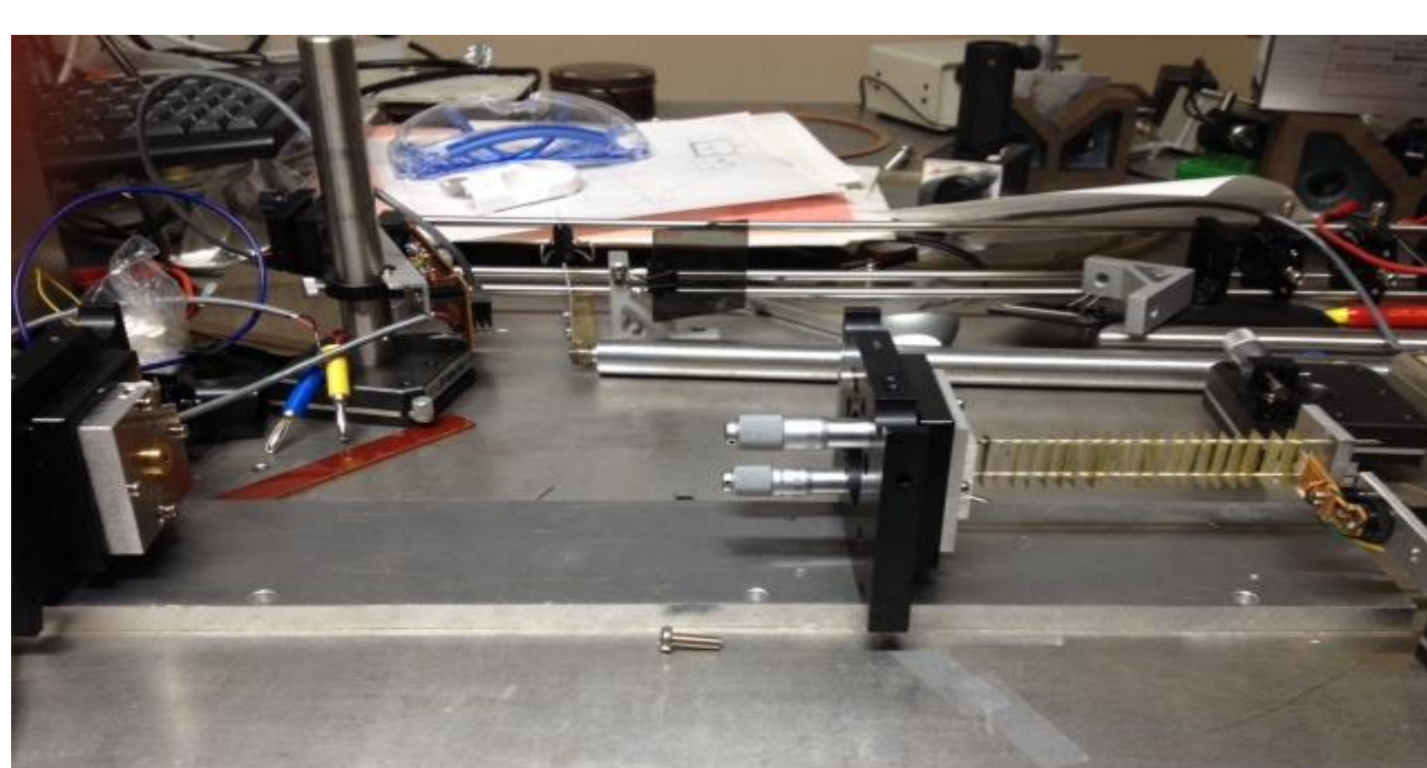
ピンホールの間隔を短くすることで理論的には単位長さあたりの損失をいくらでも小さくすることができる。

実験

ピンホール列をどのように導波していくのか。

直径0.5mmのピンホールを20枚、5mm間隔で並べたものを製作しレーザー光の透過していく様子を調べた。

また導波路を曲げた時に透過光強度がどのように変化するか測定した。



結果

ピンホール列の光強度の測定

結果は右図1の赤点となった。

緑の線は理論線となる。理論値と

比較すると5枚目あたりで減衰して

いることがわかる。

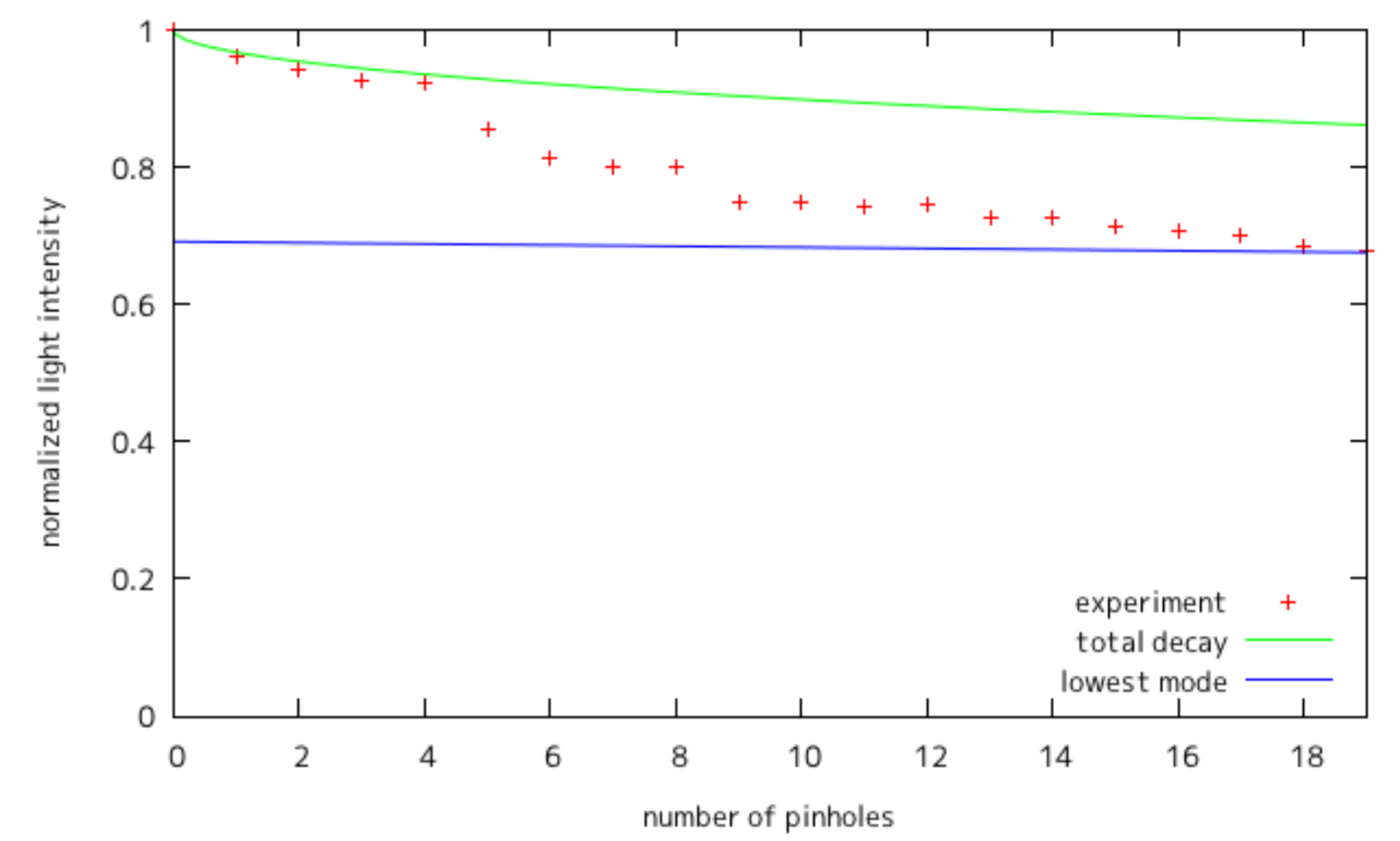


図1

またピンホール列を曲げた時の

透過光強度は右図2の赤点となった

緑の線は幾何光学で考えた時の

透過光強度である。

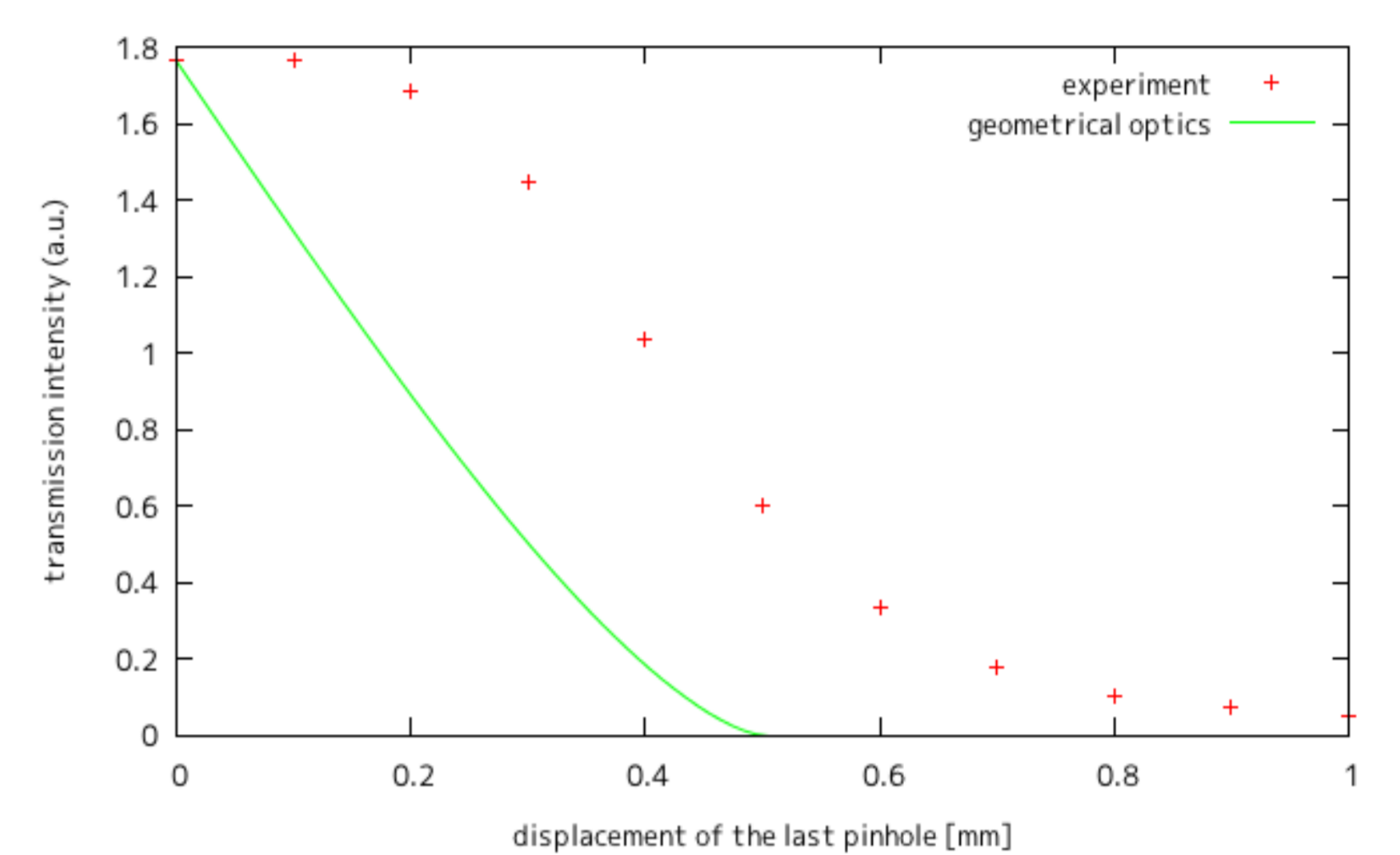


図2

考察

理論値通りに透過せず急に減衰した原因としてはピンホール列を支えている棒が曲がるなどして5枚目あたりピンホールの位置が直線上からずれていると考えられる。

ピンホールの位置がずれると急な減衰が発生するのか。

最初のピンホールに入射する光は平面波とみなせ、平面波は $m = 0, 1, 2, \dots$ の横モードの重ね合わせによってできている。

$$I_{n+1} = \left(1 - \beta'(m+1)^2 \left(\frac{\lambda L}{d^2} \right)^2 \right) I_n$$

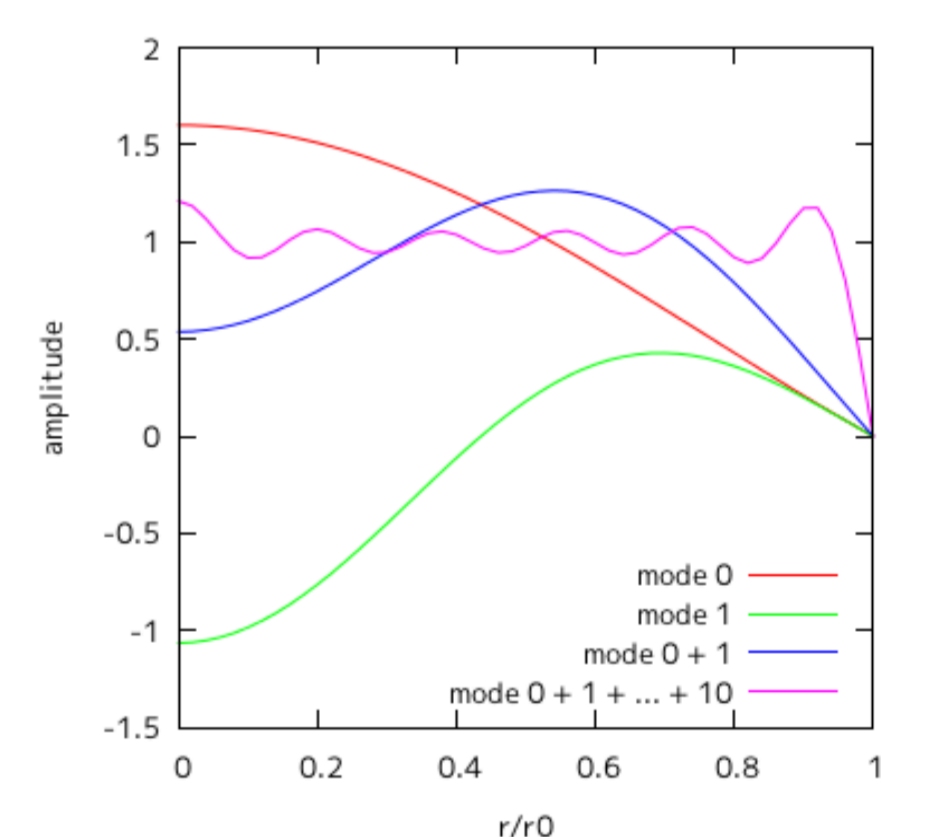
m は横モードの次数($m = 0, 1, 2, \dots$)

低次のモードの損失は小さく

高次のモードの損失は大きい

最初のピンホールに入射する光は平面波なので高次の

モードを含んでいて急速に減衰する。



そのあとは主に最低次のモードが残るので減衰は緩やかになる。

しかしピンホールが途中ずれていると再び高次を含む横モードの重ね合わせとなり減衰が急峻となるため図1のような振る舞いをしたと考えられる。

まとめ

ピンホール列における光強度の変化及び基本的性質について調べることができた。

ピンホールの位置が部分的にずれているところがあり、損失を大きくしていることが分かった。

今後はピンホールがずれることなく並べる方法を探っていきたい。