

JAERI - M  
88-091

CO<sub>2</sub>レーザー光伝送用ファイバーの  
光学的性能の評価

1988年5月

原口 和三・福田 武司・高橋虎之助  
横溝 英明・葭田 典之\*

日本原子力研究所  
Japan Atomic Energy Research Institute

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の問合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division, Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1988

---

編集兼発行 日本原子力研究所  
印刷 原子力資料サービス

CO<sub>2</sub>レーザー光伝送用ファイバーの光学的性能の評価

日本原子力研究所那珂研究所臨界プラズマ研究部

原口 和三・福田 武司・高橋虎之助

横溝 英明・葭田 典之\*

(1988年4月20日受理)

CO<sub>2</sub>レーザー光伝送用ファイバーは、CO<sub>2</sub>レーザー光による干渉、散乱等の測定系を構成する際に、長距離伝送するための光学部品や光路管に代わる新しい光学素子として期待される。臭化銀結晶を素材とした光ファイバーは、10μm帯までの広い透過波長域、低損失等 CO<sub>2</sub>レーザー光伝送用ファイバーとして数多くの優れた性能を有している。ここでは、試作されたコア径 0.35 mm $\phi$ 、0.7 mm $\phi$  の臭化銀結晶ファイバーを用いて干渉測定に必要な伝送特性について試験を行なった。

Evaluation of the Optical Efficiency  
of an 10  $\mu\text{m}$  Band Optical Fiber

Kazumi HARAGUCHI, Takeshi FUKUDA, Toranosuke TAKAHASHI  
Hideaki YOKOMIZO and Noriyuki YOSHIDA\*

Department of Large Tokamak Research  
Naka Fusion Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Naka-machi, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received April 20, 1988)

Optical fiber for  $\text{CO}_2$  laser beam is expected to be used as a flexible light guide for long distance propagation of interferometric or scattering measurement system. Crystalline silver bromide optical fiber has excellent transmission efficiency in the wide wavelength range of few microns to over ten microns.

The test of transmission characteristics had been carried out for the trial silver bromide fibers of 0.35 mm $\phi$  and 0.7 mm $\phi$  core diameter.

Keywords: Optical Fiber, Interferometer,  $\text{CO}_2$  Laser, Crystalline Silver Bromide, Transmission Loss, Wide Wavelength Range, Transmission Characteristics

---

\* Sumitomo Electric Industry CO.

## 目 次

1. 序 文 .....	1
2. 試 験 準 備 .....	1
3. 試 験 方 法 .....	2
3.1 伝送損失測定 .....	2
3.2 ビーム・プロファイル測定 .....	2
3.3 直線偏光度測定 .....	2
3.4 外力による伝送損失の変動測定 .....	3
3.5 CO <sub>2</sub> レーザー光干渉信号の伝送試験 .....	3
3.6 ファイバー伝送後の干渉試験 .....	3
4. 試 験 結 果 .....	4
4.1 伝送損失測定 .....	4
4.2 ビーム・プロファイル測定 .....	4
4.3 直線偏光度測定 .....	5
4.4 外力による伝送損失の変動測定 .....	5
4.5 CO <sub>2</sub> レーザー光干渉信号の伝送試験 .....	5
4.6 ファイバー伝送後の干渉試験 .....	6
5. 結 言 .....	6
謝 辞 .....	7
参 考 文 献 .....	7

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Experimental set-up .....	1
3. Method of experiment .....	2
3.1 Transmission loss .....	2
3.2 Beam profile after the transmission .....	2
3.3 Linearity of transmission .....	2
3.4 Fluctuation of transmission efficiency by the external force .....	3
3.5 Transmission of the beat signal .....	3
3.6 Interferometric of the experiment .....	3
4. Experimental results .....	4
4.1 Transmission loss .....	4
4.2 Beam profile after the transmission .....	4
4.3 Linearity of transmission .....	5
4.4 Fluctuation of transmission efficiency by the external force .....	5
4.5 Transmission of the beat signal .....	5
4.6 Interferometric of the experiment .....	6
5. Conclusions .....	6
Acknowledgements .....	7
References .....	7

(表リスト)

- 表 1 CO<sub>2</sub> ファイバー材料の主な性質
- 表 2 実験に使用したCO<sub>2</sub> ファイバーの種類
- 表 3 損失測定
- 表 4 直線偏光度測定
- 付表 1 測定機器

## (図リスト)

- 図 1 CO<sub>2</sub> ファイバーの構造
- 図 2 CO<sub>2</sub> レーザー光のファイバーへの導入系
- 図 3 伝送損失の測定系
- 図 4 ビーム・プロファイル測定系
- 図 5 直線偏光度測定系
- 図 6 外力による伝送損失の変動測定系
- 図 7 CO<sub>2</sub> レーザー光干渉信号伝送試験測定系
- 図 8 ファイバー伝送後の干渉試験測定系
- 図 9 パイロ・ディテクターとアパーチャとの位置関係
- 図 10 ビーム・プロファイル (d = 75 mm, アパーチャなし)
- 図 11 ビーム・プロファイル (d = 75 mm, d' = 35 mm, アパーチャ径 10 mm $\phi$ )
- 図 12 ビーム・プロファイル (d = 75 mm, d' = 35 mm, アパーチャ径 5 mm $\phi$ )
- 図 13 ビーム・プロファイル (d = 75 mm, アパーチャなし)
- 図 14 ビーム・プロファイル (d = 75 mm, d' = 35 mm, アパーチャ径 10 mm $\phi$ )
- 図 15 ビーム・プロファイル (d = 75 mm, d' = 35 mm, アパーチャ径 5 mm $\phi$ )
- 図 16 ビーム・プロファイル (d = 12 mm, アパーチャなし)
- 図 17 ビーム・プロファイル (d = 38 mm, アパーチャなし)
- 図 18 ビーム・プロファイル (d = 105 mm, d' = 50 mm, アパーチャ径 1 mm $\phi$ )
- 図 19 ビーム・プロファイル (d = 105 mm, d' = 70 mm, アパーチャ径 5 mm $\phi$ )
- 図 20 ビーム・プロファイル (d = 105 mm, d' = 70 mm, アパーチャ径 1 mm $\phi$ )
- 図 21 ビーム・プロファイル (d = 38 mm, アパーチャなし)
- 図 22 ビーム・プロファイル (d = 38 mm, d' = 5 mm, アパーチャ径 1 mm $\phi$ )
- 図 23 ビーム・プロファイル (d = 38 mm, d' = 12 mm, アパーチャ径 1 mm $\phi$ )
- 図 24 出力変動 (鉛直方向に外力を加えた場合)
- 図 25 出力変動 (水平方向に外力を加えた場合)
- 図 26 出力変動 (水平方向に外力を加えた場合)
- 図 27 出力変動 (水平方向に外力を加えた場合)
- 図 28 出力変動 (鉛直方向に外力を加えた場合)
- 図 29 CO<sub>2</sub> レーザー干渉信号の伝送試験 (ファイバー入口)
- 図 30 CO<sub>2</sub> レーザー干渉信号の伝送試験 (ファイバー出口)
- 図 31 ファイバー伝送後の干渉試験
- 図 32 ファイバー伝送後の干渉試験
- 図 33 ファイバー伝送後の干渉試験 (No. 2 ファイバー③部分に振幅 5 cm, 2 Hz の外力を加えた場合)
- 図 34 ファイバー伝送後の干渉試験 (No. 2 ファイバー③部分に振幅 5 cm, 2 Hz の外力を加えた場合)
- 図 35 ファイバー伝送後の干渉試験 (No. 2 ファイバー③部分に振幅 2 cm, 2 Hz の外力を加えた場合)



## 1. 序 文

一般に、CO<sub>2</sub>レーザー光を長距離伝送させる手段として、凹面鏡と凸面鏡によりCO<sub>2</sub>レーザー光のビーム・パラメータを変換する方法が多用されている。即ち、ガウシアン・ビームの回折により光束が拡散していく現象を出来るだけ抑えて、長距離伝送をする方法である。この方法では、干渉測定を対象とした場合、伝送損失が少なく偏光度及びビーム・プロファイルの保存性の面からも良好である反面、伝送路の雰囲気により影響を受けたり、ミラーホルダ等に外部から力が加わった場合には、光軸ずれにより測定不可能となる恐れが生ずる。そこで、伝送路の環境や振動等の影響を避けるために、CO<sub>2</sub>レーザー光伝送用ファイバー（以下CO<sub>2</sub>ファイバーと略す）を利用することが考えられる。

CO<sub>2</sub>ファイバーは、透過波長域が10 μm帯まで広く、耐レーザー・パワー性が大きい<sup>(1)</sup>ことから、工業用および医療用機器への応用あるいは放射温度計測や散乱計測等の赤外光の計測分野への応用が期待できるが、干渉測定用としては実績がなく、伝送特性も十分な性能は明らかにされていない。ここでは、臭化銀（AgBr）結晶を素材としたエアークラッド構造で、コア径 0.7 mmφ および 0.35 mmφ のファイバー<sup>\*</sup>を用いて、伝送損失、ビーム・プロファイル、偏光度の保存性および曲げや振動等の外力による伝送特性の変化について測定を行なった。また、CO<sub>2</sub>レーザー光の干渉信号の伝送およびCO<sub>2</sub>ファイバー出力端における干渉試験を行ない、実際に干渉測定に利用できる可能性を確かめた。

## 2. 試 験 準 備

本試験は、CO<sub>2</sub>レーザー光の発振源として、JT-60計測装置、A-1-aサブミリ波干渉測定サブシステムの内、FIRレーザーシステムの一部である周波数安定化用CO<sub>2</sub>レーザーおよびポンピング用CO<sub>2</sub>レーザーを使用した。ポンピング用CO<sub>2</sub>レーザーの出力側では50w程度の出力があるため、出力の低いグレーティング0次光を使用した。波長 9.7 μm、縦 P36単一、横 TEM<sub>00</sub>モード、出力 3 w程度である。

図1に、試験に使用したCO<sub>2</sub>ファイバーの構造を示す。CO<sub>2</sub>ファイバーは、AgBr結晶を押し出し加工にて製造したもので、コアのみでクラッドは無く空気がその代わりをしている。さらにその周りはテフロン製の保護チューブで、ルーズ構造となっている。ファイバー端部分は、光軸中心に正確に固定できるように2つ割りにしたセラミック材でコアを挟み、これをステンレスチューブで固定した構造となっている。AgBr結晶の主な性質を表1に、実験に使用したファイバーの種類を表2に示す。

---

\*）委託研究（サブミリ波帯フレキシブルライトパイプに関する研究）による試作品

## 1. 序 文

一般に、CO<sub>2</sub>レーザー光を長距離伝送させる手段として、凹面鏡と凸面鏡によりCO<sub>2</sub>レーザー光のビーム・パラメータを変換する方法が多用されている。即ち、ガウシアン・ビームの回折により光束が拡散していく現象を出来るだけ抑えて、長距離伝送をする方法である。この方法では、干渉測定を対象とした場合、伝送損失が少なく偏光度及びビーム・プロファイルの保存性の面からも良好である反面、伝送路の雰囲気により影響を受けたり、ミラーホルダ等に外部から力が加わった場合には、光軸ずれにより測定不可能となる恐れが生ずる。そこで、伝送路の環境や振動等の影響を避けるために、CO<sub>2</sub>レーザー光伝送用ファイバー（以下CO<sub>2</sub>ファイバーと略す）を利用することが考えられる。

CO<sub>2</sub>ファイバーは、透過波長域が10 μm帯まで広く、耐レーザー・パワー性が大きい<sup>(1)</sup>ことから、工業用および医療用機器への応用あるいは放射温度計測や散乱計測等の赤外光の計測分野への応用が期待できるが、干渉測定用としては実績がなく、伝送特性も十分な性能は明らかにされていない。ここでは、臭化銀（AgBr）結晶を素材としたエアークラッド構造で、コア径 0.7 mmφ および 0.35 mmφ のファイバー<sup>\*</sup>を用いて、伝送損失、ビーム・プロファイル、偏光度の保存性および曲げや振動等の外力による伝送特性の変化について測定を行なった。また、CO<sub>2</sub>レーザー光の干渉信号の伝送およびCO<sub>2</sub>ファイバー出力端における干渉試験を行ない、実際に干渉測定に利用できる可能性を確かめた。

## 2. 試 験 準 備

本試験は、CO<sub>2</sub>レーザー光の発振源として、JT-60計測装置、A-1-aサブミリ波干渉測定サブシステムの内、FIRレーザーシステムの一部である周波数安定化用CO<sub>2</sub>レーザーおよびポンピング用CO<sub>2</sub>レーザーを使用した。ポンピング用CO<sub>2</sub>レーザーの出力側では50w程度の出力があるため、出力の低いグレーティング0次光を使用した。波長 9.7 μm、縦P36単一、横TEM<sub>00</sub>モード、出力3w程度である。

図1に、試験に使用したCO<sub>2</sub>ファイバーの構造を示す。CO<sub>2</sub>ファイバーは、AgBr結晶を押し出し加工にて製造したもので、コアのみでクラッドは無く空気がその代わりをしている。さらにその周りはテフロン製の保護チューブで、ルーズ構造となっている。ファイバー端部分は、光軸中心に正確に固定できるように2つ割りにしたセラミック材でコアを挟み、これをステンレスチューブで固定した構造となっている。AgBr結晶の主な性質を表1に、実験に使用したファイバーの種類を表2に示す。

---

\*）委託研究（サブミリ波帯フレキシブルライトパイプに関する研究）による試作品

CO<sub>2</sub>レーザー光のCO<sub>2</sub>ファイバーへの入射は、図2に示すようにレンズ集光により行ない、0.3 mmφのアパーチャを通過させた後CO<sub>2</sub>ファイバーへ導入する。方法として、アパーチャの直後にパワーメーターを置いて、アパーチャを通過するCO<sub>2</sub>レーザー光が最大となるようにXYZステージを調整し、調整完了後パワーメーターを取り除き、ファイバー端をアパーチャ中心位置へ固定し、CO<sub>2</sub>ファイバーへ導入した。対象とした特性は伝送損失、直線偏光の保存性、伝送波面の評価である。

### 3. 試験方法

#### 3.1 伝送損失測定

図3(a)に示すように、CO<sub>2</sub>レーザー光の、集光レンズおよびアパーチャ通過後のパワーを測定し記録する。

次に、図3(b)に示すようにCO<sub>2</sub>ファイバー端を所定の位置へ固定し、CO<sub>2</sub>レーザー光を導入して出力端でのパワーを測定する。CO<sub>2</sub>ファイバーの入口のパワーと出力端でのパワーとにより、伝送損失を求めた。ここでは、CO<sub>2</sub>レーザー光のファイバー導入時の損失およびファイバー端面での反射損失を含めた総合的な伝送損失を対象とした。

#### 3.2 ビーム・プロファイル測定

ファイバー出力端でのCO<sub>2</sub>レーザー光のビーム・プロファイルを測定し、横モードの乱れについて比較した。また、アパーチャを挿入することにより、ビーム・プロファイルの改善を試みた。図4に示すように、ファイバー出力端から出射されたCO<sub>2</sub>レーザー光は受光面の小さい(1mmφ)パイロ・ディテクターにて受け、CO<sub>2</sub>レーザー光の光軸上に挿入されたチョッパーのチョッピング信号とともにロック・イン・アンプに入り、ここで同期検波される。パイロ・ディテクターは、XYステージに取り付けられており、切り替えにより水平方向または垂直方向に移動すると、移動量に応じた信号が取り出せるようになっている。これより、パイロ・ディテクターの位置に対応したCO<sub>2</sub>レーザー光の検出信号レベルがXYコーダーへ記録できる。ファイバー端から出射されたCO<sub>2</sub>レーザー光のビーム径は、測定されたビーム・プロファイルのピーク値に対して $1/e^2$ となる直径で表わされる。さらに、ファイバー端とパイロ・ディテクターの間のアパーチャを挿入し、アパーチャの開口径および距離によるプロファイルの変化を測定した。

#### 3.3 直線偏光度測定

CO<sub>2</sub>ファイバー伝送後のCO<sub>2</sub>レーザー光の直線偏光度を測定し、直線偏光の保存性を比較した。図5に示すように、ファイバー出力端とパイロ・ディテクターの間ワイヤー・グリッド・ポー

CO<sub>2</sub>レーザー光のCO<sub>2</sub>ファイバーへの入射は、図2に示すようにレンズ集光により行ない、0.3 mmφのアパーチャを通過させた後CO<sub>2</sub>ファイバーへ導入する。方法として、アパーチャの直後にパワーメーターを置いて、アパーチャを通過するCO<sub>2</sub>レーザー光が最大となるようにXYZステージを調整し、調整完了後パワーメーターを取り除き、ファイバー端をアパーチャ中心位置へ固定し、CO<sub>2</sub>ファイバーへ導入した。対象とした特性は伝送損失、直線偏光の保存性、伝送波面の評価である。

### 3. 試験方法

#### 3.1 伝送損失測定

図3(a)に示すように、CO<sub>2</sub>レーザー光の、集光レンズおよびアパーチャ通過後のパワーを測定し記録する。

次に、図3(b)に示すようにCO<sub>2</sub>ファイバー端を所定の位置へ固定し、CO<sub>2</sub>レーザー光を導入し出力端でのパワーを測定する。CO<sub>2</sub>ファイバーの入口のパワーと出力端でのパワーとにより、伝送損失を求めた。ここでは、CO<sub>2</sub>レーザー光のファイバー導入時の損失およびファイバー端面での反射損失を含めた総合的な伝送損失を対象とした。

#### 3.2 ビーム・プロファイル測定

ファイバー出力端でのCO<sub>2</sub>レーザー光のビーム・プロファイルを測定し、横モードの乱れについて比較した。また、アパーチャを挿入することにより、ビーム・プロファイルの改善を試みた。図4に示すように、ファイバー出力端から出射されたCO<sub>2</sub>レーザー光は受光面の小さい(1mmφ)パイロ・ディテクターにて受け、CO<sub>2</sub>レーザー光の光軸上に挿入されたチョッパーのチョッピング信号とともにロック・イン・アンプに入り、ここで同期検波される。パイロ・ディテクターは、XYステージに取り付けられており、切り替えにより水平方向または垂直方向に移動すると、移動量に応じた信号が取り出せるようになっている。これより、パイロ・ディテクターの位置に対応したCO<sub>2</sub>レーザー光の検出信号レベルがXYコーダーへ記録できる。ファイバー端から出射されたCO<sub>2</sub>レーザー光のビーム径は、測定されたビーム・プロファイルのピーク値に対して $1/e^2$ となる直径で表わされる。さらに、ファイバー端とパイロ・ディテクターの間のアパーチャを挿入し、アパーチャの開口径および距離によるプロファイルの変化を測定した。

#### 3.3 直線偏光度測定

CO<sub>2</sub>ファイバー伝送後のCO<sub>2</sub>レーザー光の直線偏光度を測定し、直線偏光の保存性を比較した。図5に示すように、ファイバー出力端とパイロ・ディテクターの間ワイヤー・グリッド・ポー

レーザーを挿入し、これを光軸に対して直角な面内で回転させて、ロック・イン・アンプの出力電圧のモニター値が最大及び最小となった時の値とその時の角度を読み取る。CO<sub>2</sub>レーザー光の偏光面の回転角度は鉛直方向を0°とし、CO<sub>2</sub>レーザー光の出射側に向って時計回りを(+), 反時計回りを(-)として表示した。

直線偏光度は以下の式で表わされる。

$$\text{直線偏光度} [\%] = \frac{P_{\text{MAX}} - P_{\text{MIN}}}{P_{\text{MAX}} + P_{\text{MIN}}} \times 100$$

$P_{\text{MAX}}$  : ロック・イン・アンプの出力電圧の最大値

$P_{\text{MIN}}$  : ロック・イン・アンプの出力電圧の最小値

### 3.4 外力による伝送損失の変動測定

図6(a), (b)に示すA, B, Cの各部分に外力を加えて、その時ファイバー出力端に現われたCO<sub>2</sub>レーザー光のパワー変動をパイロ・ディテクターで受け、ロック・イン・アンプにて検出してXYレコーダーへ記録した。パイロ・ディテクターはCO<sub>2</sub>レーザー光のビーム中心へ固定し、XYレコーダーのX軸は1 mm/secで移動するように設定して、外力を強さや方向を変えて各部分へ加えた時、レベルがどのように変化するかを観測した。

### 3.5 CO<sub>2</sub>レーザー光干渉信号の伝送試験

図7に示すように、数MHzだけ周波数の離れた周波数安定化用CO<sub>2</sub>レーザー光とポンピング用CO<sub>2</sub>レーザーのグレーティング0次光とを、ビーム・スプリッタにて重ね合わせて相互干渉により生じるビート信号をファイバー入ロ部およびファイバー出力端にて観測した。2本のCO<sub>2</sub>レーザー光を集光する際、ミラー、ビーム・スプリッタ、レンズ等により光軸を1本となるように重ね、且つ、ビート記号が最大となるように調整した。受光素子は、応答速度の速いHgCdTeディテクターを用い、検出した信号をプリアンプで増幅した後、スペクトラム・アナライザーにて観測した。

### 3.6 ファイバー伝送後の干渉試験

周波数安定化用CO<sub>2</sub>レーザー光およびポンピング用CO<sub>2</sub>レーザーのグレーティング0次光を、それぞれ個々のCO<sub>2</sub>ファイバーへ導びき出力端にてビームの重ね合わせを行ない、ここで生じたビート信号を観測した。図8に示すように、CO<sub>2</sub>ファイバー出力端でのビームの重ね合わせのためビーム・スプリッタを使用せず、2本のファイバー出力端を平行に近づけて並べて、CO<sub>2</sub>レーザー光の干渉部分へHgCdTeディテクターを固定して測定した。また、CO<sub>2</sub>ファイバーに対して外部から加わる力により周波数や信号レベルがどのように変動するかも測定した。

## 4. 試 験 結 果

### 4.1 伝送損失測定

伝送損失測定の結果を表3に示す。コア径0.7mm $\phi$ 、長さ2mのNo.1, No.2ファイバーでは伝送損失はそれぞれ1.9 dB, 2.1 dBであるのに対して、コア径0.35 mm $\phi$ 、長さ1mのNo.3ファイバーの伝送損失は3.0 dBとかなり大きい。単位長さ当りの伝送損失は通常カット・バック法等により求めるが、ここでは、ファイバーの入出力端での反射損を含めた総合的な伝送損失であるため、十分な考慮が必要である。

CO<sub>2</sub>ファイバーにおける損失には、入力側および出力側端面による反射損失と、ファイバー通過による吸収および散乱損失とがあり、特に端面部分での反射損失は25~28%程度<sup>(1)</sup>と考えられ伝送損失の大半を占める。両端面での反射損失を28%と見積って1m当りの損失を計算すると、No.1ファイバーは0.25 dB/m、No.2ファイバーは0.36 dB/mであるのに対して、No.3ファイバーは1.58 dB/mとなりNo.1, No.2ファイバーと比較して20%程度の損失の増加が見られる。

### 4.2 ビーム・プロファイル測定

CO<sub>2</sub>ファイバー出力端とパイロ・ディテクターおよびアパーチャとの距離の関係を図9に示す。図10~図12は、No.1ファイバーについてアパーチャ無しおよびアパーチャ挿入時におけるビーム・プロファイルの変化を測定したものである。アパーチャなしでは、全体的にかなりモードの乱れがありビーム径は46mm程度である。10mm $\phi$ のアパーチャを挿入した場合には、周辺部分のモードの乱れはかなり整理されビーム径も1/2程度になるものの、中心部分にはモードの乱れが残っている。アパーチャを5mm $\phi$ とした場合には、ビーム径はさらに細くなりアパーチャなしの時に比較して1/4程度となるが、中心部分のモードの乱れは消えていない。図13~図15に示すNo.2ファイバーのビーム・プロファイルについては、アパーチャ無しの場合のビーム径が50mm程度とやや広くなるが、アパーチャ挿入時のモードの変化の傾向はNo.1ファイバーとほぼ同様である。No.3ファイバーのビーム・プロファイルは、ビーム径がNo.1, No.2ファイバーに比較して1/3程度と細くモードの乱れは少ない。図16, 図17は、ファイバー出力端とパイロ・ディテクターの距離dが近い場合で、周辺および中心部分にモードの乱れがあるが、特にd=12mmの場合は、No.1, No.2ファイバーに見られたスパイク状のモードの乱れが現われている。図18~図20は、d=105mmとして、アパーチャを3通り挿入した場合で、この中で、d'=50mm、アパーチャ1mm $\phi$ とした時が最もガウシアンに近くビーム径は3mm程度である。d'=70mm、アパーチャ1mm $\phi$ の場合もガウシアンに近いが、ビーム径は2mm $\phi$ 程度とやや細くなり、中心部分のパワーも若干低下している。図21~図23にd=38mmの時のアパーチャ挿入の効果によるビーム・プロファイルの変化を示す。

以上の結果から、アパーチャによるモードの改善の効果はかなり有効であることが解る。しか

し、ファイバー出力端とパイロ・ディテクターの距離が小さい場合やアパーチャの挿入位置によっては、効果が十分に発揮できない。したがって、パイロ・ディテクターの位置、アパーチャの挿入位置およびアパーチャの開口径を最適化することにより、さらにガウシアンに近いビーム・プロファイルを得ることができると考えられる。

アパーチャ無しの場合のビーム・プロファイルから、CO<sub>2</sub>ファイバー出力端におけるCO<sub>2</sub>レーザー光の広がり角（全角）は、簡易的に求めると、コア径0.7mmφのファイバーは34°~37°、コア径0.35mmφのファイバーは12°程度である。

#### 4.3 直線偏光度測定

直線偏光度測定の結果を表4に示す。No.1ファイバーは、直線偏光度が45.7%、偏光面の回転は-6.7°でありNo.2ファイバーでも、直線偏光度が60.4%、偏光面の回転は+10.4°で、いずれも良い結果は得られなかった。No.3ファイバーでは、[A]、[B]の場合でファイバーの曲率を変えて測定したが、[A]では、直線偏光度が91.5%、偏光面の回転角は+15°で、凹、凸面鏡による自由空間伝搬の場合に比較してやや低い値ではあるが、CO<sub>2</sub>ファイバー伝送としては、かなり高い結果が得られた。ファイバーの曲げ半径を小さくした[B]では、直線偏光度が89.7%、偏光面の回転角は6.5°とやや低下する。外力が加わった場合の直線偏光度の保存性、偏光面の回転は、CO<sub>2</sub>レーザー光の干渉効率に拘わっているため、さらに改善が必要である。

#### 4.4 外力による伝送損失の変動測定

図24~図28に、外力を加えた時の測定結果を示す。外力を加えた時の測定結果を示す。外力の大きさは、図8に示すCO<sub>2</sub>ファイバー上の点A、B、Cの各部分を指で押して、その移動量で表わした。図24のように鉛直方向に加わる外力に対しては、No.1ファイバーは20~30%の出力変動があり、B、C部分には、ファイバーの揺れによる出力変動が見られる。No.2ファイバーでは、30~40%の出力増加があり、外力が無くなると元のレベルへ戻る。図25、図26に示すように、水平方向に加わる外力に対しては、No.2ファイバーが比較的強く、5cmの外力に対しても15%程度の変動である。No.1ファイバーでは、最大で50%程度の変動があり、外力5cm、Bの部分では、ファイバーの揺れによる出力変動が僅かに見られる。図27、図28は、No.3ファイバーに外力を加えた場合で、1cmの外力に対しても50%以上の出力変動がある。また、ファイバーの揺れによる出力変動も比較的大きく現われている。A点に2cmの鉛直方向の外力を加えた場合では、出力が1/5程度に低下したままとなった。CO<sub>2</sub>ファイバーのコアと保護チューブとはルーズ構造となっているため、コアが保護チューブに接触している部分の状態変化により伝送損失や出力のモードに変化が現われたためと考えられる。

#### 4.5 CO<sub>2</sub>レーザー光干渉信号の伝送試験

図29、図30は、周波数安定化用CO<sub>2</sub>レーザー光およびポンピング用CO<sub>2</sub>レーザーのグレーティ

ング0次光による干渉信号を、No 3 ファイバー入口および出力端で測定したもので、入口では信号レベルが $-17.5$  dBm、出力端では信号レベルが $-52.5$  dBmとなり35 dBのレベル低下が見られた。原因として、ファイバー入口直前にあるアパーチャ(0.3 mm  $\phi$ )による損失、ファイバーの伝送損失およびHgCdTe ディテクタ受光面(1 mm  $\phi$ )への入射時の損失等のパワー損失とファイバー伝送時の干渉効率の低下が考えられる。この時、干渉信号のS/Nはビデオ・フィルターなしで10 dBである。

CO<sub>2</sub> ファイバー入口と出力端の測定で信号の周波数に4 MHzの差があるが、これは、CO<sub>2</sub> ファイバーによるものではなく、干渉信号のレベルが低いため周波数安定化装置が動作せず、測定中にポンピング用CO<sub>2</sub> レーザーの発振周波数が変動したためである。外力による影響はここでは測定していないが、干渉信号の振幅変動、ドップラー効果による周波数シフトが考えられる。

#### 4.6 ファイバー伝送後の干渉試験

図31は、No 1 ファイバーに周波数安定化用CO<sub>2</sub> レーザー光を、No 2 ファイバーにポンピング用CO<sub>2</sub> レーザーのグレーティング0次光を導入し、出力端で干渉させ、スペクトラム・アナライザーにて観測したもので、 $-56$  dBmの干渉信号レベルが得られた。この時のS/Nは、ビデオ・フィルター10 KHzとした時14 dBである。波面の合成に関しては、図7に示すように出力端を平行に並べた状態では干渉効率が不十分で、波面の最適な合成を行えば、より大きな干渉信号が期待できる。図32は、ファイバーが静止状態での干渉信号の変動を測定したもので、 $\pm 0.5$  MHzの周波数変動が観測された。外力を加えた場合の干渉信号のレベルおよび周波数変動の測定結果を図33～図35に示す。No 2 ファイバーに振幅5 cm、周期2 Hzの外力を加えた場合には、30%程度のレベル低下と $\pm 1.5$  MHzの周波数シフトが外力の周期に同期して観測された。また、振幅2 cm、周期2 Hzの外力の場合には、10%程度のレベル低下と $\pm 0.7$  MHzの周波数シフトが観測された。以上の結果から、外力の加わる方向、振幅、周期等により干渉信号は複雑に影響を受けるが、干渉測定に利用できる可能性は充分にあると考えられる。

## 5. 結 言

干渉測定を行なう場合は干渉効率が大きいことが重要で、伝送路としてCO<sub>2</sub>ファイバーを用いるには、ビーム・プロファイルの再現性、直線偏光の保存性および偏光面の回転等の性能の高いファイバーが望まれる。試験の結果では、コア径が0.35 mm  $\phi$ のファイバーから90%程度の直線偏光度が得られ、また、ビーム・プロファイルもアパーチャの効果を利用することにより gaussianに近いビーム・プロファイルが得られている。アパーチャの最適位置に関しては、さらに細かな測定が必要であるが $d = 120$  mm,  $d' = 60$  mm,  $\phi = 3$  mm程度の領域に存在すると考えられる。しかし、伝送損失や外力に対する伝送特性への影響に関しては十分な結果は得られていないため、特に性能向上が必要である。今後のCO<sub>2</sub>ファイバーの開発の方向としては、次の5項目



ング0次光による干渉信号を、No 3 ファイバー入口および出力端で測定したもので、入口では信号レベルが $-17.5$  dBm、出力端では信号レベルが $-52.5$  dBmとなり35 dBのレベル低下が見られた。原因として、ファイバー入口直前にあるアパーチャ（ $0.3$  mm  $\phi$ ）による損失、ファイバーの伝送損失およびHgCdTe ディテクタ受光面（ $1$  mm  $\phi$ ）への入射時の損失等のパワー損失とファイバー伝送時の干渉効率の低下が考えられる。この時、干渉信号のS/Nはビデオ・フィルターなしで10 dBである。

CO<sub>2</sub> ファイバー入口と出力端の測定で信号の周波数に4 MHzの差があるが、これは、CO<sub>2</sub> ファイバーによるものではなく、干渉信号のレベルが低いと周波数安定化装置が動作せず、測定中にポンピング用CO<sub>2</sub> レーザーの発振周波数が変動したためである。外力による影響はここでは測定していないが、干渉信号の振幅変動、ドップラー効果による周波数シフトが考えられる。

#### 4.6 ファイバー伝送後の干渉試験

図31は、No 1 ファイバーに周波数安定化用CO<sub>2</sub> レーザー光を、No 2 ファイバーにポンピング用CO<sub>2</sub> レーザーのグレーティング0次光を導入し、出力端で干渉させ、スペクトラム・アナライザーにて観測したもので、 $-56$  dBmの干渉信号レベルが得られた。この時のS/Nは、ビデオ・フィルター10 KHz とした時14 dBである。波面の合成に関しては、図7に示すように出力端を平行に並べた状態では干渉効率が不十分で、波面の最適な合成を行えば、より大きな干渉信号が期待できる。図32は、ファイバーが静止状態での干渉信号の変動を測定したもので、 $\pm 0.5$  MHzの周波数変動が観測された。外力を加えた場合の干渉信号のレベルおよび周波数変動の測定結果を図33～図35に示す。No 2 ファイバーに振幅5 cm、周期2 Hzの外力を加えた場合には、30%程度のレベル低下と $\pm 1.5$  MHzの周波数シフトが外力の周期に同期して観測された。また、振幅2cm、周期2 Hzの外力の場合には、10%程度のレベル低下と $\pm 0.7$  MHzの周波数シフトが観測された。以上の結果から、外力の加わる方向、振幅、周期等により干渉信号は複雑に影響を受けるが、干渉測定に利用できる可能性は充分にあると考えられる。

## 5. 結 言

干渉測定を行なう場合は干渉効率が大きいことが重要で、伝送路としてCO<sub>2</sub>ファイバーを用いるには、ビーム・プロファイルの再現性、直線偏光の保存性および偏光面の回転等の性能の高いファイバーが望まれる。試験の結果では、コア径が $0.35$  mm  $\phi$ のファイバーから90%程度の直線偏光度が得られ、また、ビーム・プロファイルもアパーチャの効果を利用することにより gaussianに近いビーム・プロファイルが得られている。アパーチャの最適位置に関しては、さらに細かな測定が必要であるが $d = 120$  mm、 $d' = 60$  mm、 $\phi = 3$  mm程度の領域に存在すると考えられる。しかし、伝送損失や外力に対する伝送特性への影響に関しては十分な結果は得られていないため、特に性能向上が必要である。今後のCO<sub>2</sub>ファイバーの開発の方向としては、次の5項目

が挙げられる。

- (1) 0.35mm $\phi$ 以下のコア径のファイバーの開発
- (2) ポリエチレンやテフロンクラッドを持つファイバーの開発
- (3) 端面をプリースタ・カットしたファイバーの開発
- (4) 端面に無反射コートをしたファイバーの開発
- (5) コネクタの開発

以上の開発により、(1)では直線偏光の保存性の向上とモードの改善、(2)では機械的強度の向上、コアと保護チューブがルーズな構造であるための伝送損失の変動やモード変化の低減が期待できる。(3)、(4)では端面での反射損失が低減できる。(5)はファイバーを光軸中心に固定する際の再現性と作業性の面からも必要と考えられる。押し出し加工で製作する結晶ファイバーでは、均質で長距離のものが作りにくいという点もあるため今後の開発が待たれる。

その他の測定に関するテーマとしては、光スペクトラム・アナライザによる縦モードの評価、ファイバー通過光と自由空間伝搬光とを干渉させて波面の正確な評価を行なう等が考えられる。

## 謝 辞

本報告を終るにあたり、開発準備段階から多大なる協力を頂き、便宜をはかって下さった長島章氏、的場徹氏、鈴木康夫前臨界プラズマ計測室長に深く感謝致します。また、御支援を頂いた吉川允二臨界プラズマ研究部長、田村早苗臨界プラズマ研究部次長に感謝致します。さらに、実際に開発、製作に尽力して頂いた住友電気工業株式会社・大阪研究所・電気電子材料研究部・主任研究員・山内一寿氏に感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- (1) 高橋謙一、葭田典之、山内一寿、東北大通研シンポジウム「中赤外波帯に於ける導波技術とその応用」(1986.3) I-4 銀ハライドファイバー
- (2) 福田武司、長島章、石田真一、原口和三、高橋虎之助、核融合研究58特集号(1988)
- (3) O.Sukegawa, K.Hoshi, K.Isobe, T.Fukuda and A.Nagashima, Proc. 9th Int. Conf. on IR & MM waves (1981) M-3-9

が挙げられる。

- (1) 0.35mmφ以下のコア径のファイバーの開発
- (2) ポリエチレンやテフロンクラッドを持つファイバーの開発
- (3) 端面をブリュースタ・カットしたファイバーの開発
- (4) 端面に無反射コートをしたファイバーの開発
- (5) コネクタの開発

以上の開発により、(1)では直線偏光の保存性の向上とモードの改善、(2)では機械的強度の向上、コアと保護チューブがルーズな構造であるための伝送損失の変動やモード変化の低減が期待できる。(3)、(4)では端面での反射損失が低減できる。(5)はファイバーを光軸中心に固定する際の再現性と作業性の面からも必要と考えられる。押し出し加工で製作する結晶ファイバーでは、均質で長距離のものが作りにくいと言う点もあるため今後の開発が待たれる。

その他の測定に関するテーマとしては、光スペクトラム・アナライザによる縦モードの評価、ファイバー通過光と自由空間伝搬光とを干渉させて波面の正確な評価を行なう等が考えられる。

## 謝 辞

本報告を終るにあたり、開発準備段階から多大なる協力を頂き、便宜をはかって下さった長島章氏、的場徹氏、鈴木康夫前臨界プラズマ計測室長に深く感謝致します。また、御支援を頂いた吉川允二臨界プラズマ研究部長、田村早苗臨界プラズマ研究部次長に感謝致します。さらに、実際に開発、製作に尽力して頂いた住友電気工業株式会社・大阪研究所・電気電子材料研究部・主任研究員・山内一寿氏に感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- (1) 高橋謙一、葭田典之、山内一寿、東北大通研シンポジウム「中赤外波帯に於ける導波技術とその応用」(1986.3) 1-4 銀ハライドファイバー
- (2) 福田武司、長島章、石田真一、原口和三、高橋虎之助、核融合研究58特集号(1988)
- (3) O.Sukegawa, K.Hoshi, K.Isobe, T.Fukuda and A.Nagashima, Proc. 9th Int. Conf. on IR & MM waves (1981) M-3-9

が挙げられる。

- (1) 0.35mm $\phi$ 以下のコア径のファイバーの開発
- (2) ポリエチレンやテフロンクラッドを持つファイバーの開発
- (3) 端面をブリュースタ・カットしたファイバーの開発
- (4) 端面に無反射コートをしたファイバーの開発
- (5) コネクタの開発

以上の開発により、(1)では直線偏光の保存性の向上とモードの改善、(2)では機械的強度の向上、コアと保護チューブがルーズな構造であるための伝送損失の変動やモード変化の低減が期待できる。(3)、(4)では端面での反射損失が低減できる。(5)はファイバーを光軸中心に固定する際の再現性と作業性の面からも必要と考えられる。押し出し加工で製作する結晶ファイバーでは、均質で長距離のものが作りにくいと言う点もあるため今後の開発が待たれる。

その他の測定に関するテーマとしては、光スペクトラム・アナライザによる縦モードの評価、ファイバー通過光と自由空間伝搬光とを干渉させて波面の正確な評価を行なう等が考えられる。

## 謝 辞

本報告を終るにあたり、開発準備段階から多大なる協力を頂き、便宜をはかって下さった長島章氏、的場徹氏、鈴木康夫前臨界プラズマ計測室長に深く感謝致します。また、御支援を頂いた吉川允二臨界プラズマ研究部長、田村早苗臨界プラズマ研究部次長に感謝致します。さらに、実際に開発、製作に尽力して頂いた住友電気工業株式会社・大阪研究所・電気電子材料研究部・主任研究員・山内一寿氏に感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- (1) 高橋謙一、葭田典之、山内一寿、東北大通研シンポジウム「中赤外波帯に於ける導波技術とその応用」(1986.3) 1-4 銀ハライドファイバー
- (2) 福田武司、長島章、石田真一、原口和三、高橋虎之助、核融合研究58特集号(1988)
- (3) O.Sukegawa, K.Hoshi, K.Isobe, T.Fukuda and A.Nagashima, Proc. 9th Int. Conf. on IR & MM waves (1981) M-3-9

表1 CO<sub>2</sub> ファイバー材料の重要な性質  
(参考文献1)

材料 \ 性質	透過波長域 ( $\mu\text{m}$ )	屈折率	ファイバーの 破断応力 ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ )	吸収係数 ( $\text{cm}^{-1}$ )
Ag Br *1	*2 0.45 ~ 35.0	*3 2.25 (10 $\mu\text{m}$ )	2.5	*4 $1.0 \times 10^{-3}$

\*1 98.0 wt % Ag Br - 2.0 wt % Ag Cl の銀ハライド混晶。

\*2 厚さ 2 mm の結晶板で、透過率が10%以上である範囲。

\*3 ( )内は、屈折率を測定した波長を示す。

\*4 伝送損失 0.43 dB/m の場合の吸収係数

表2 実験に使用した CO<sub>2</sub> ファイバーの種類

ファイバー No.	長さ $l$ [m]	コア直径 $d_1$ [mm]	保護チューブ外径 $d_2$ [mm]
No. 1	2.0	0.7	2.0 $\phi$
No. 2	2.0	0.7	3.0 $\phi$
No. 3	1.0	0.35	2.0 $\phi$

表3 損 失 測 定

CO <sub>2</sub> ファイバー No.	ファイバー入力 [W]	ファイバー出力 [W]	透 過 率 [%]	損 失 [dB]
No. 1	1.4	0.9	64.3	1.92
No. 2	1.8	1.1	61.1	2.14
No. 3	1.8	0.9	50.0	3.01

表4 直線偏光度測定

CO <sub>2</sub> ファイバー No.	測定回数	最 大		最 小		直 線 偏 光 度
		出力電圧 [mV]	角 度	出力電圧 [mV]	角 度	
No. 1	1	1.38	355°	0.52	83.5°	45.7% (-6.7°)
	2	1.41	352°	0.51	83.0°	
	3	1.31	353°	0.50	83.5°	
	平均	1.37	353.3°	0.51	83.3°	
No. 2	1	0.87	10.0°	0.21	101.5°	60.4% (+10.4°)
	2	0.84	8.5°	0.21	100.0°	
	3	0.84	11.5°	0.21	101.0°	
	平均	0.85	10.0°	0.21	100.8°	
No.3 [A]	1	1.35	0°	0.06	93.0°	91.5% (+1.5°)
	2					
	3					
	平均	1.35	0°	0.06	93.0°	
No.3 [B]	1	0.74	3°	0.04	100.0°	89.7% (+6.5°)
	2					
	3					
	平均	0.74	3°	0.04	100.0°	

付表1 測定機器

機器名	型名	社名
パワーメーター	MODEL NO. 201	COHERENT
ロック・イン・アンプ	MODEL LI-572B	NF
パイロ・ディテクター	P1-51	モレクトロン
XYレコーダー	TYPE 3033	YEW
チョッパー		NEC
XYステージ		NEC
HgCdTe ディテクター	MODEL R005	labimex
HgCdTe ディテクター用電源	TYPE S005	KABID
プリアンプ	MODEL BX-31	NF
スペクトラム・アナライザー	IF, 8552 B/RF, 8553 B /DISPLAY, 141 T	YHP
XYZステージ	S-31CL/S-31SL/S-39CL	中央精機
集光レンズ	( $f = 25.4 \text{ mm}$ )	II・VI
グリッド・ポーライザー	IGP 226	CAMBRIDGE PHYS. SCI.

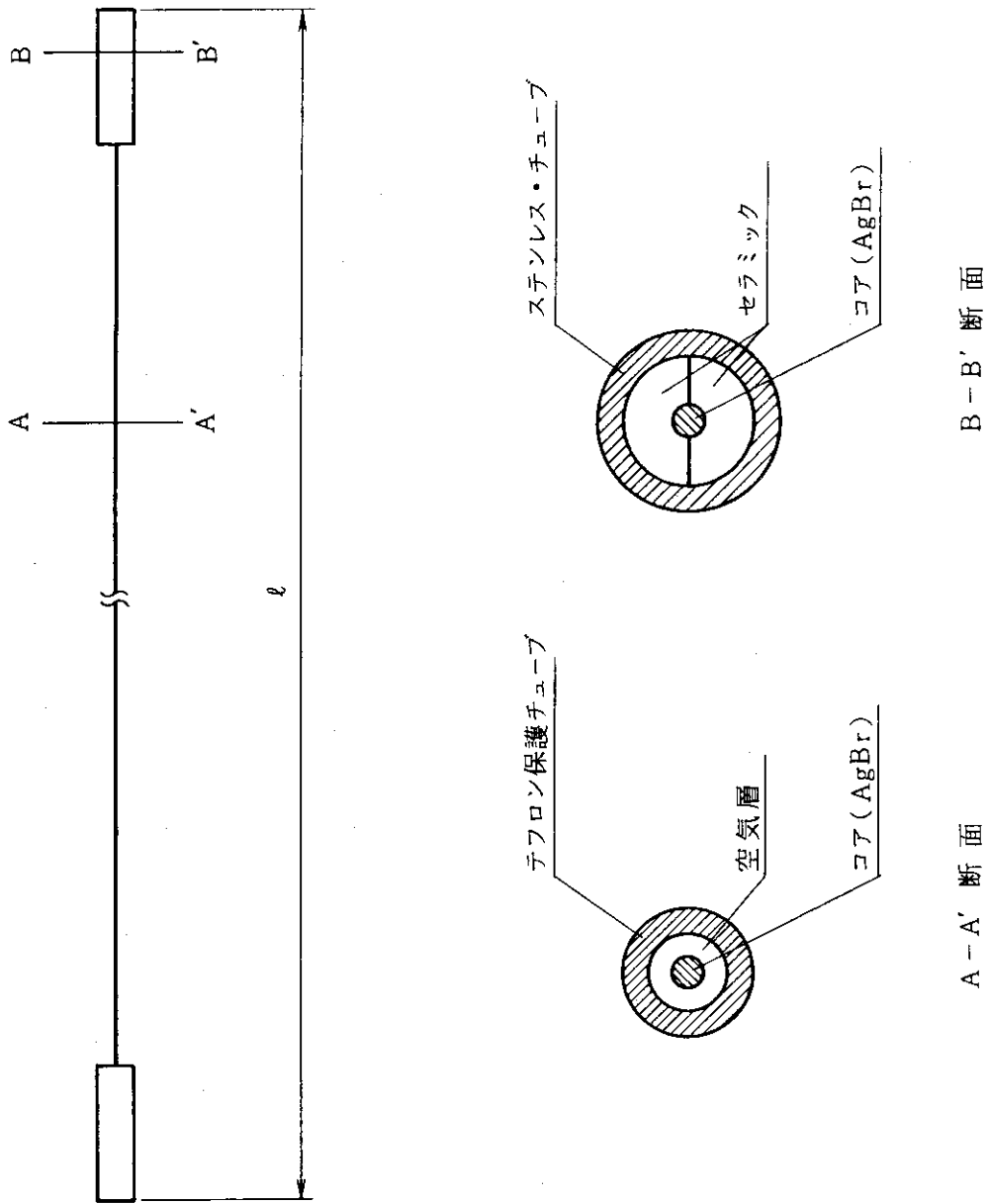


図 1 CO<sub>2</sub> ファイバーの構造



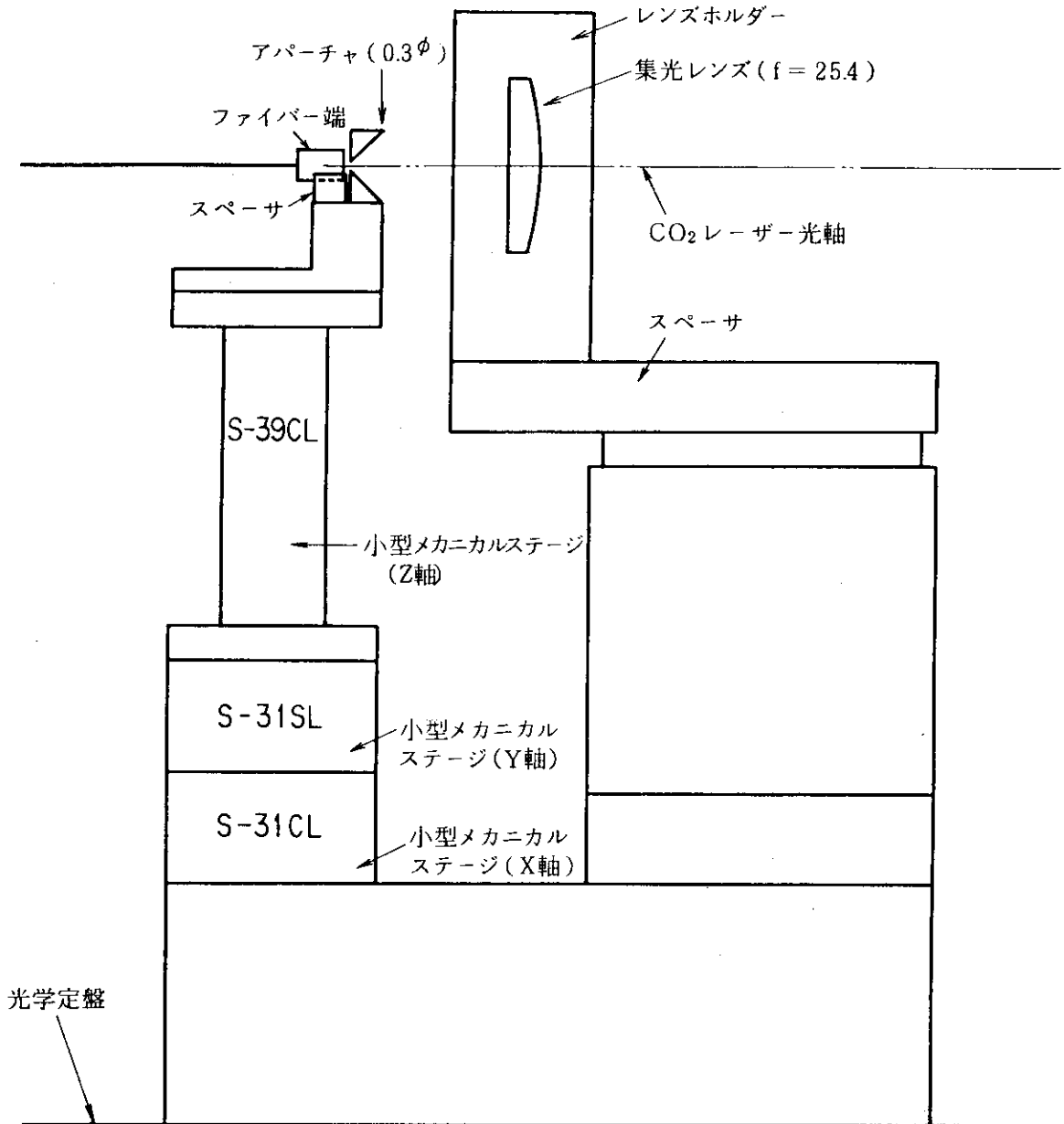
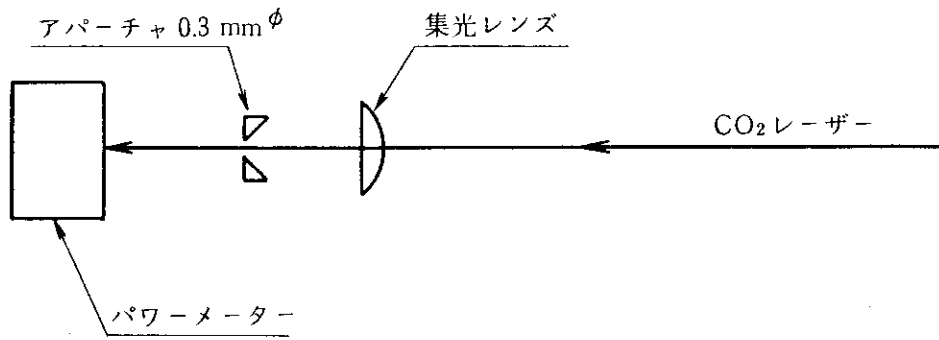
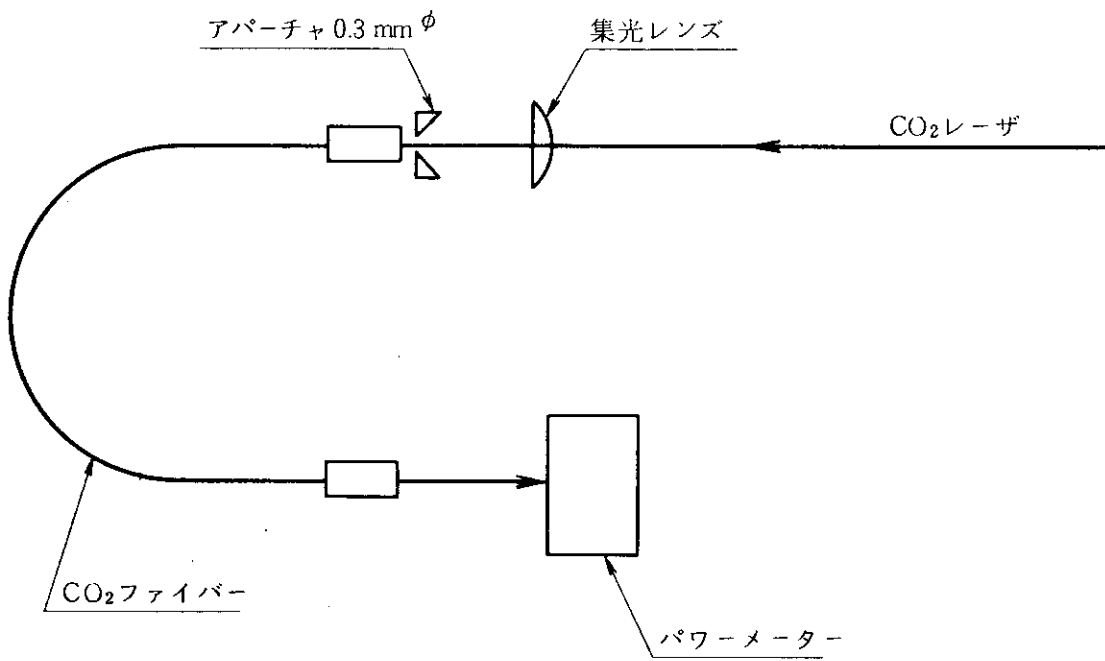


図 2 CO<sub>2</sub> レーザー光のファイバーへの導入系



(a) 入口パワーの測定



(b) 出口パワーの測定

図 3 伝送損失の測定系

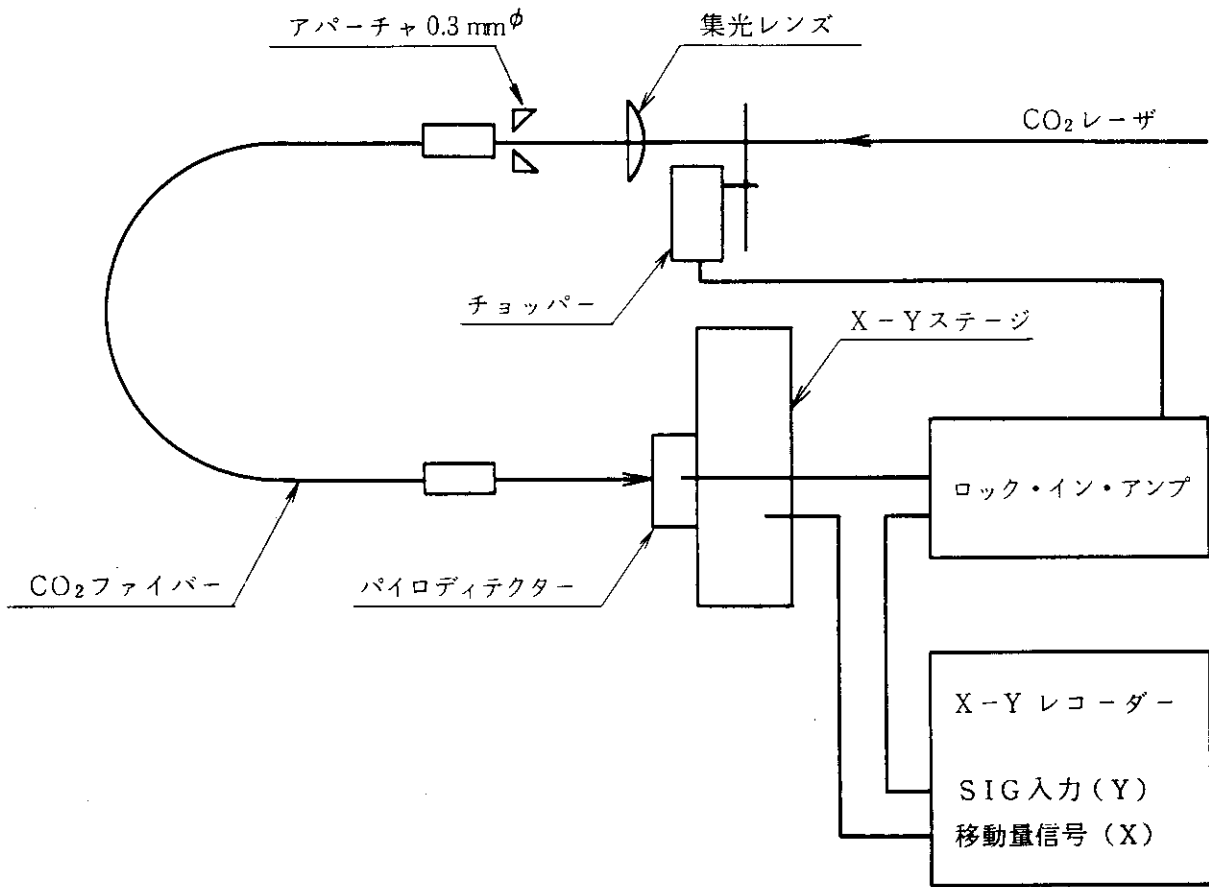


図 4 ビーム・プロファイル測定系

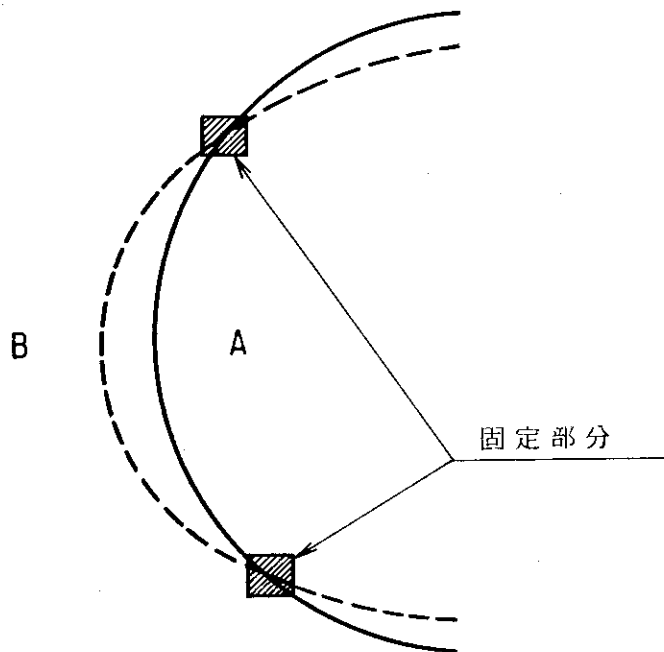
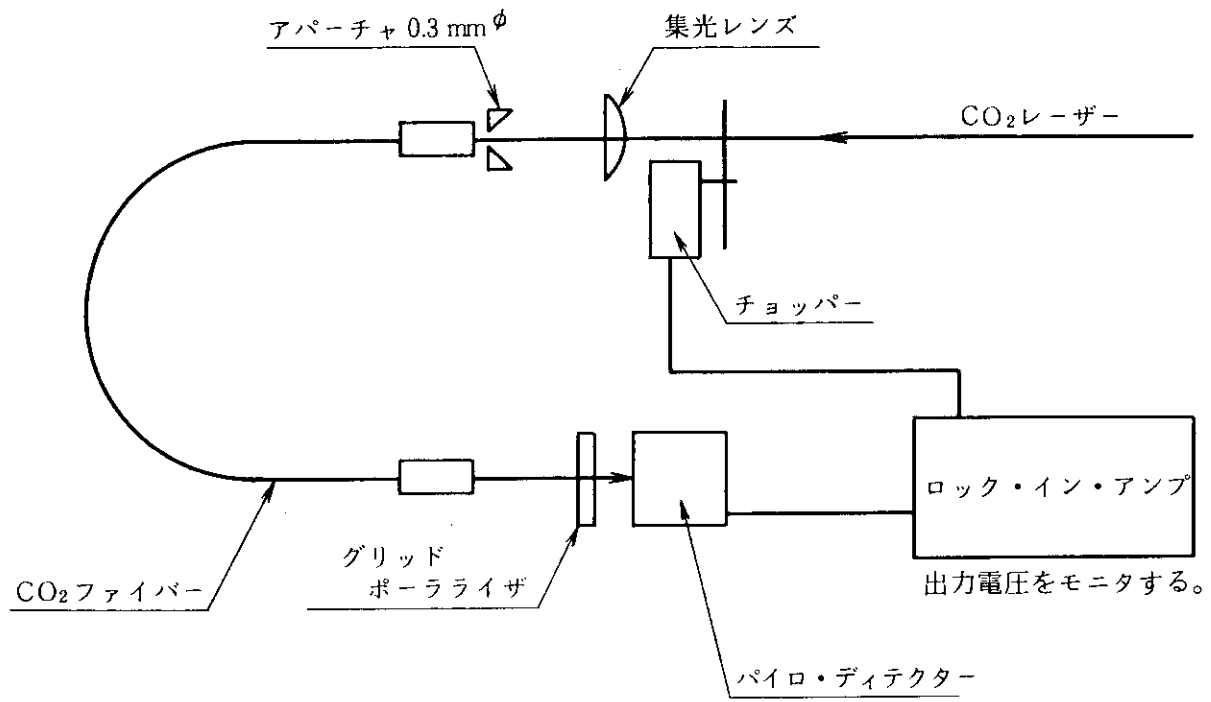
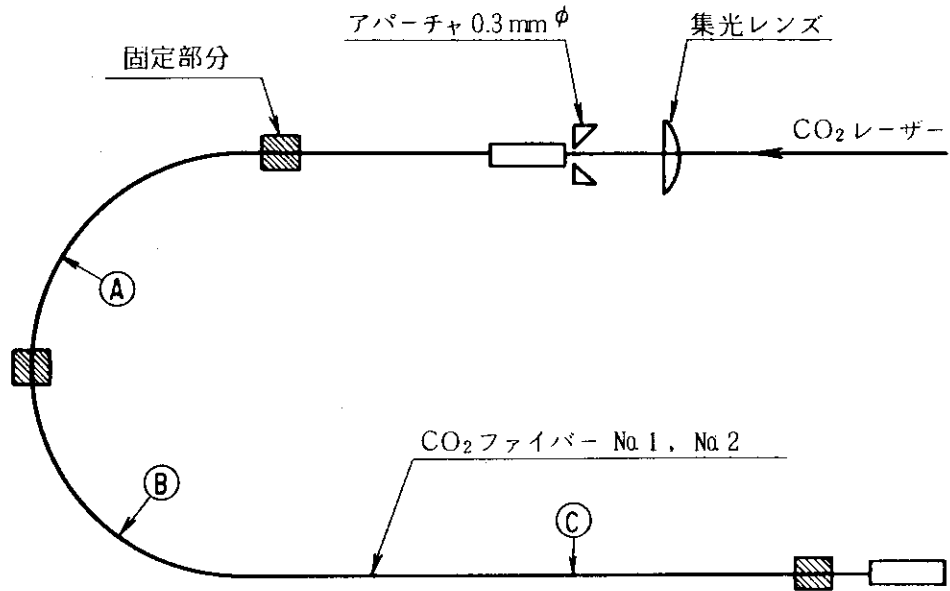
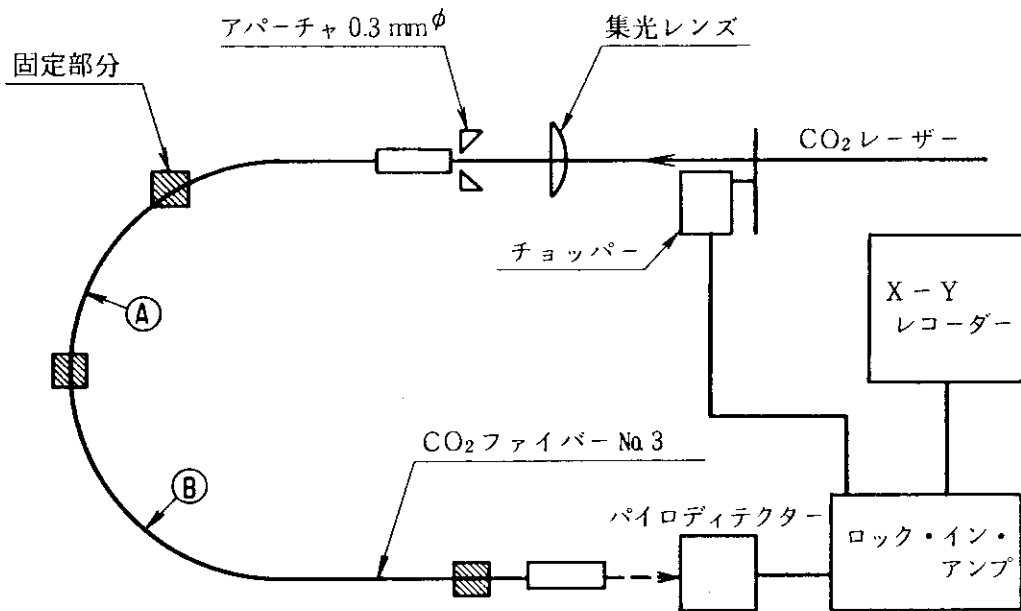


図 5 直線偏光度測定系



(a) CO<sub>2</sub>ファイバー 2 mの場合



(b) CO<sub>2</sub>ファイバー 1 mの場合

図 6 外力による伝送損失の変動測定系

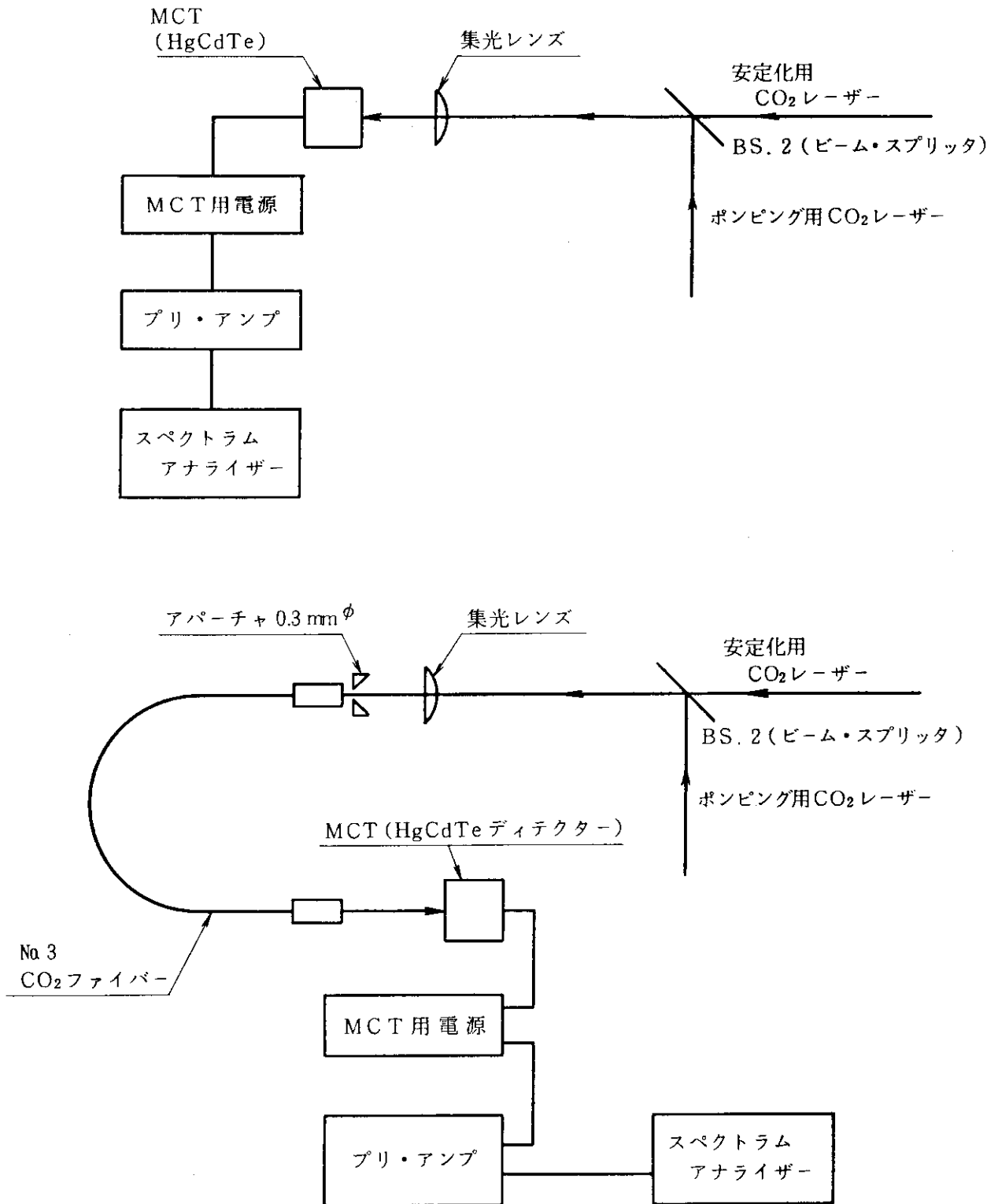


図 7 CO<sub>2</sub> レーザー光干渉信号伝送試験測定系

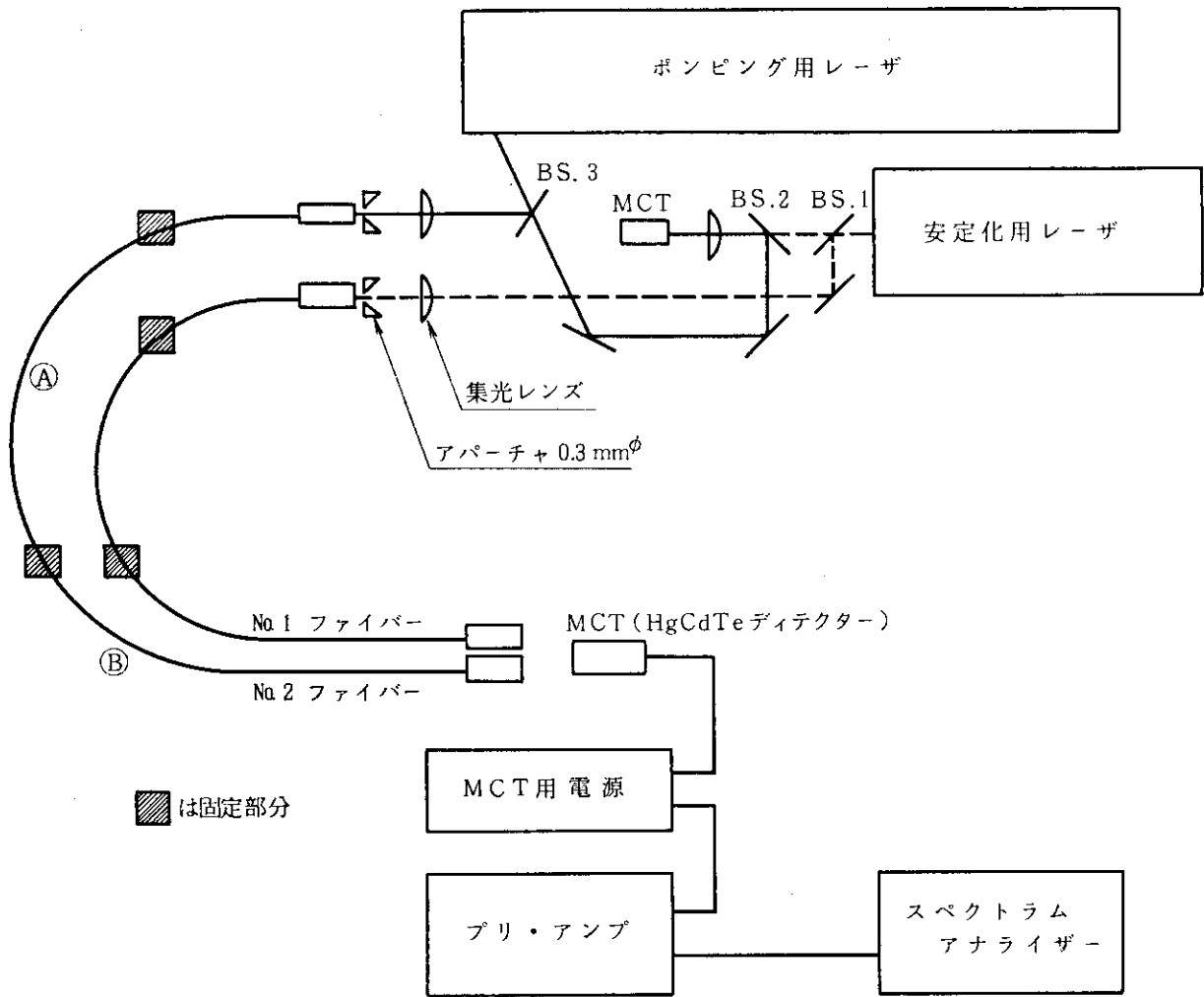


図 8 ファイバー伝送後の干渉試験測定系

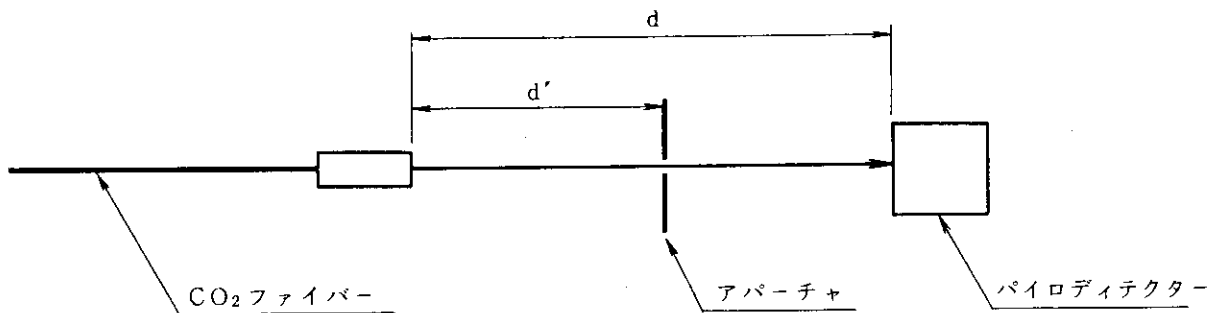


図 9 パイロ・ディテクターとアパーチャとの位置関係

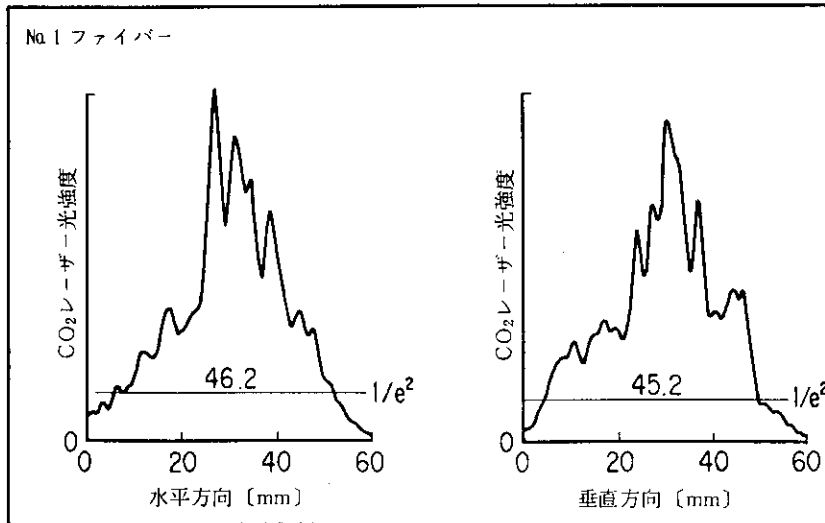


図 10 ビーム・プロファイル ( $d = 75 \text{ mm}$ , アパーチャなし)

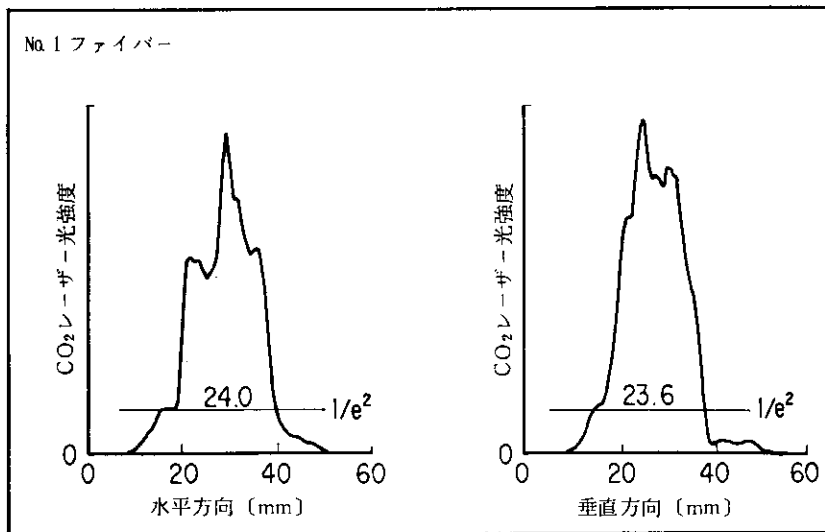


図 11 ビーム・プロファイル ( $d = 75 \text{ mm}$ ,  $d' = 35 \text{ mm}$ , アパーチャ径  $10 \text{ mm } \phi$ )

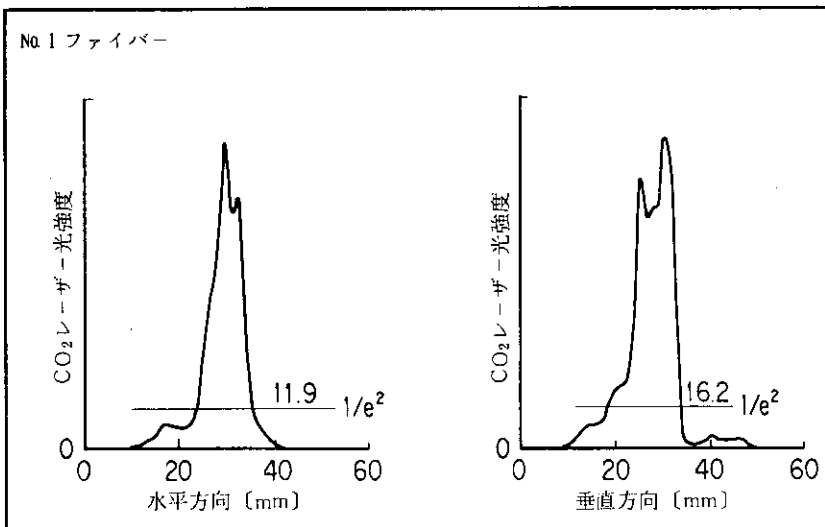


図 12 ビーム・プロファイル ( $d = 75 \text{ mm}$ ,  $d' = 35 \text{ mm}$ , アパーチャ径  $5 \text{ mm } \phi$ )



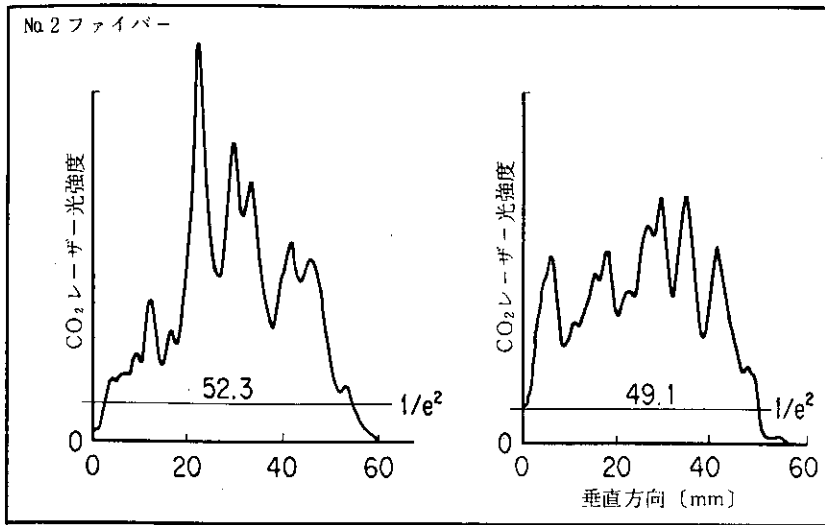


図 13 ビーム・プロファイル ( $d = 75\text{mm}$ , アパーチャなし)

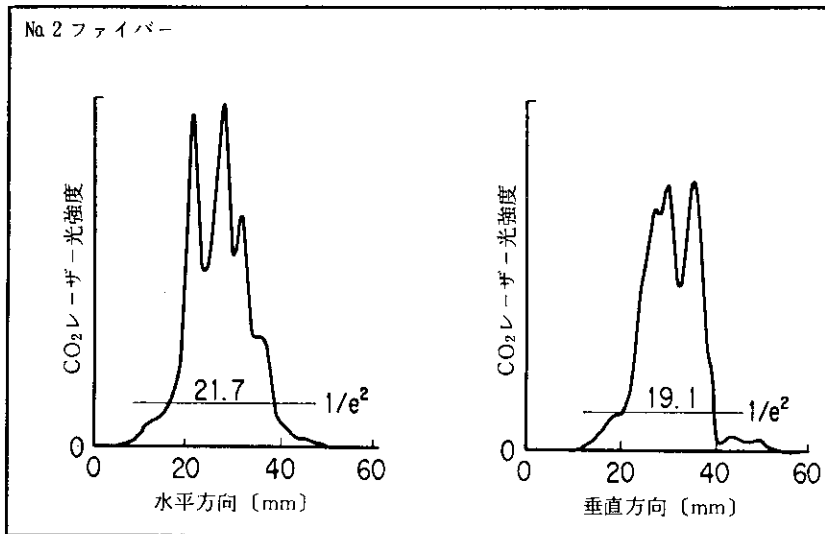


図 14 ビーム・プロファイル ( $d = 75\text{mm}$ ,  $d' = 35\text{mm}$ , アパーチャ径  $10\text{mm}\phi$ )

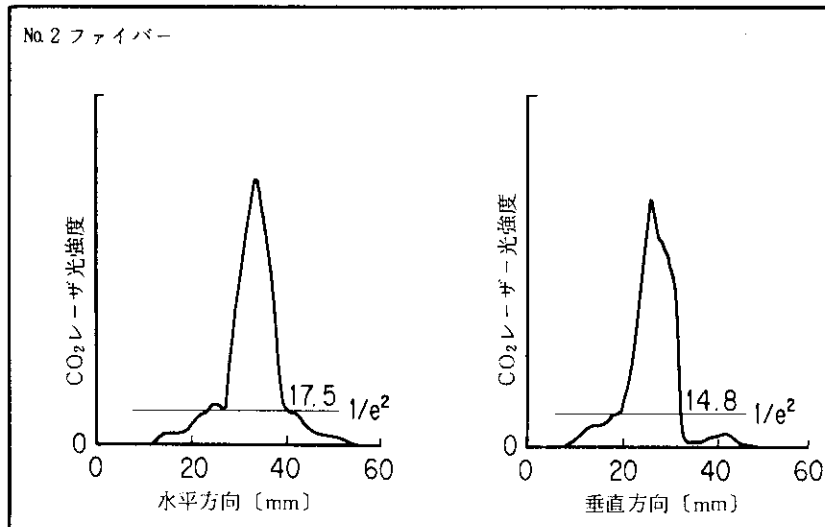


図 15 ビーム・プロファイル ( $d = 75\text{mm}$ ,  $d' = 35\text{mm}$ , アパーチャ径  $5\text{mm}\phi$ )

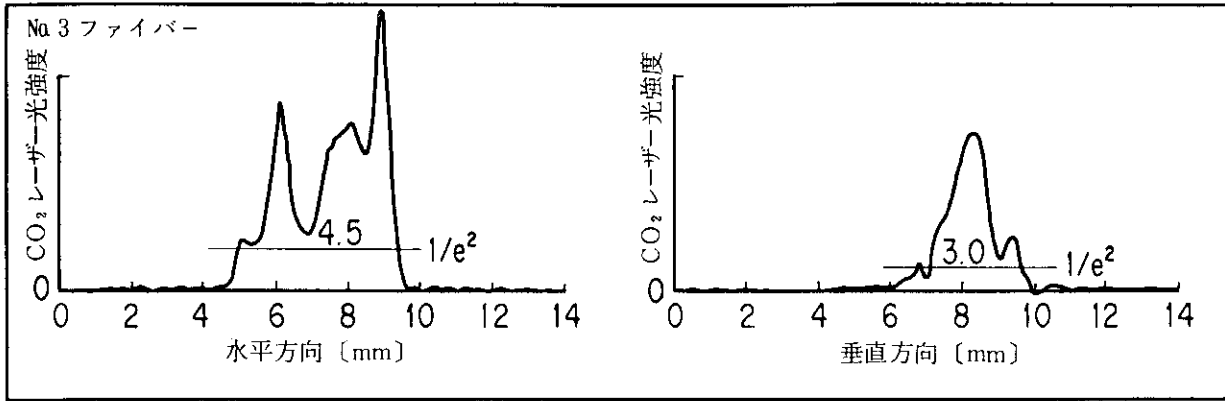


図 16 ビーム・プロファイル (d = 12mm, アパーチャなし)

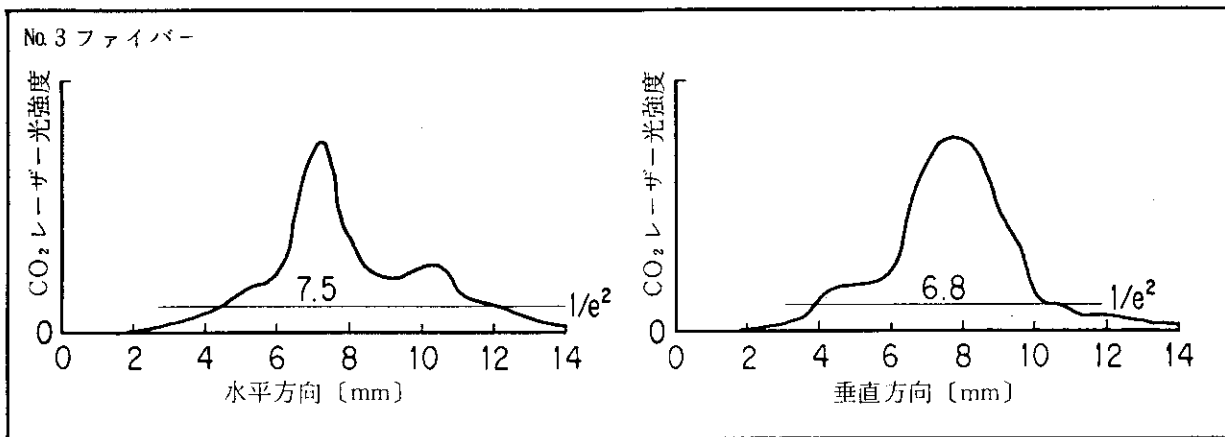


図 17 ビーム・プロファイル (d = 38mm, アパーチャなし)

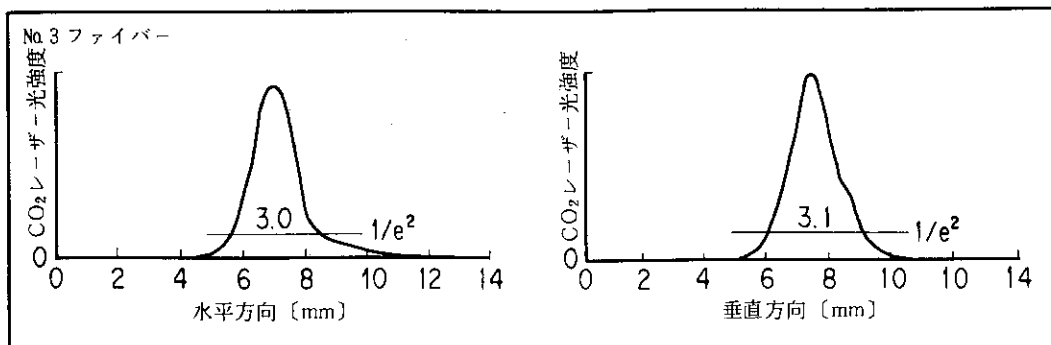


図 18 ビーム・プロファイル ( $d = 105 \text{ mm}$ ,  $d' = 50 \text{ mm}$ , アパーチャ径  $1 \text{ mm} \phi$ )

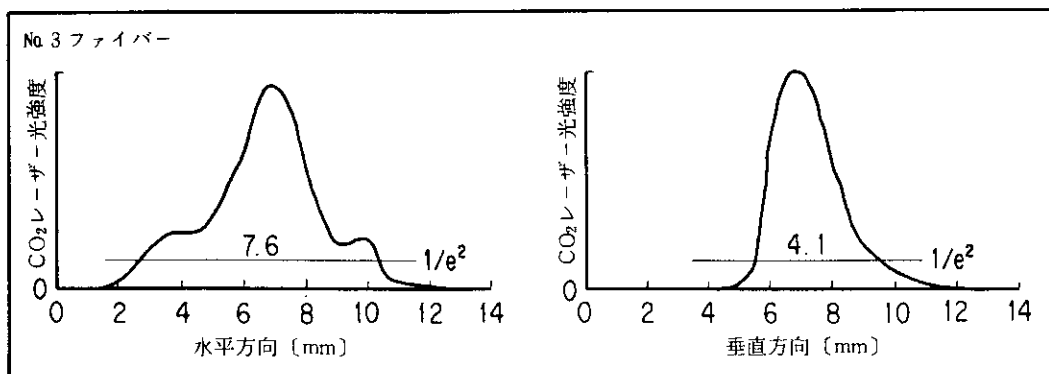


図 19 ビーム・プロファイル ( $d = 105 \text{ mm}$ ,  $d' = 70 \text{ mm}$ , アパーチャ径  $5 \text{ mm} \phi$ )

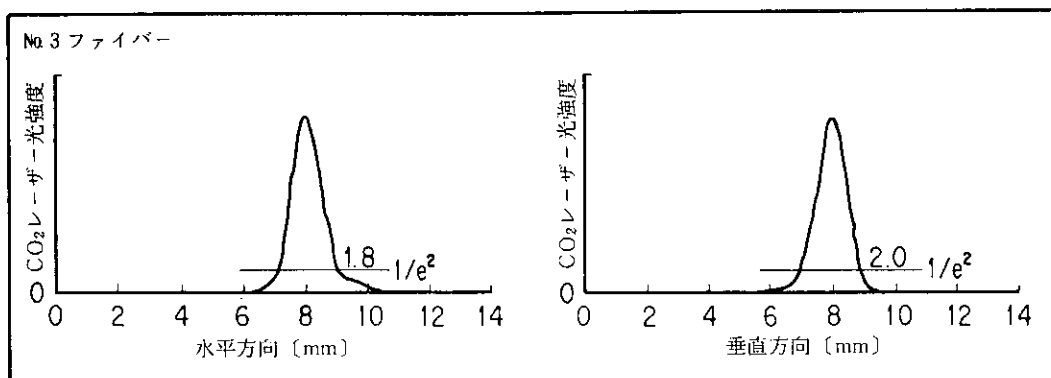


図 20 ビーム・プロファイル ( $d = 105 \text{ mm}$ ,  $d' = 70 \text{ mm}$ , アパーチャ径  $1 \text{ mm} \phi$ )

№ 3 ファイバー

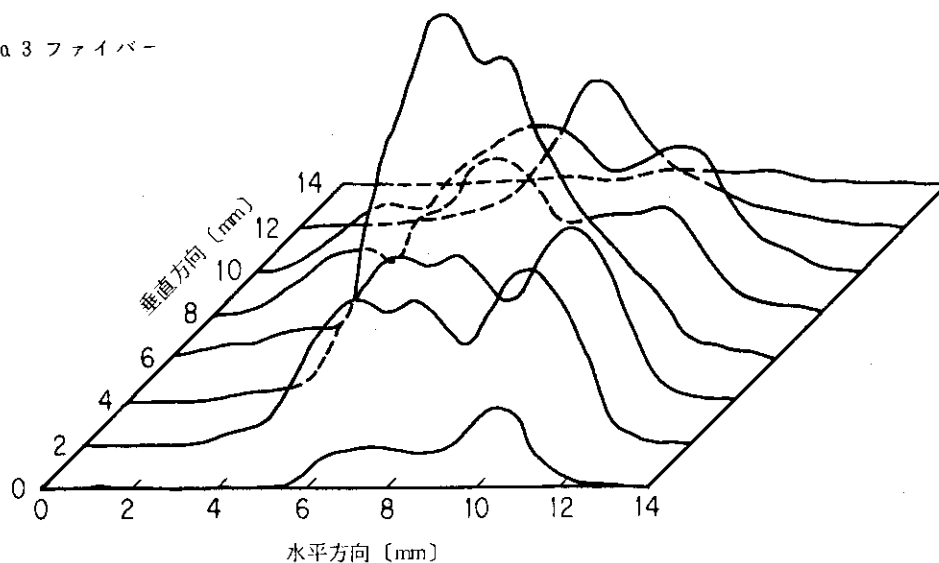


図 21 ビーム・プロファイル ( $d = 38\text{mm}$ , アパーチャなし)

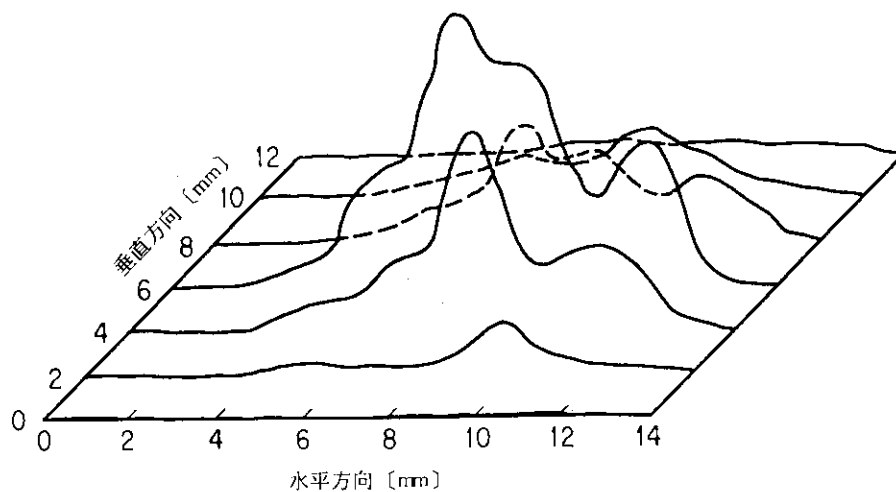


図 22 ビーム・プロファイル ( $d = 38\text{mm}$ ,  $d' = 5\text{mm}$ , アパーチャ径  $1\text{mm}\phi$ )

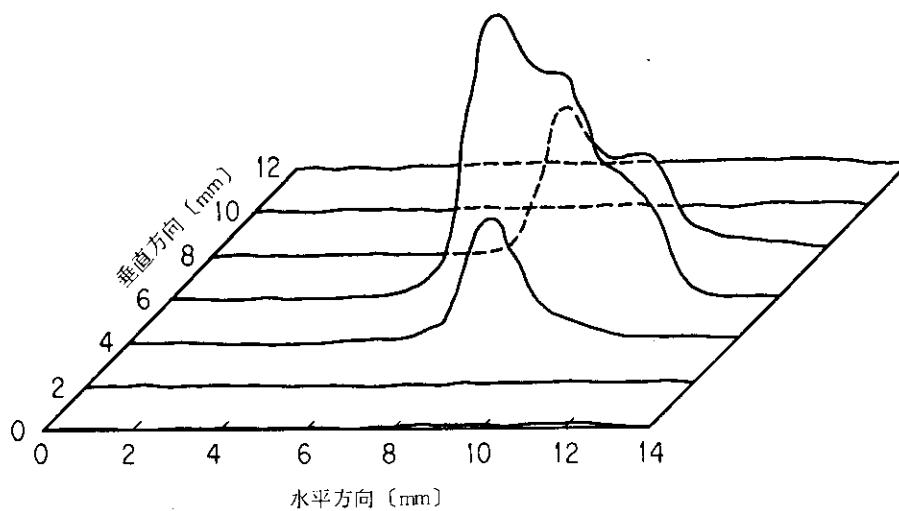


図 23 ビーム・プロファイル ( $d = 38\text{mm}$ ,  $d' = 12\text{mm}$ , アパーチャ径  $1\text{mm}\phi$ )

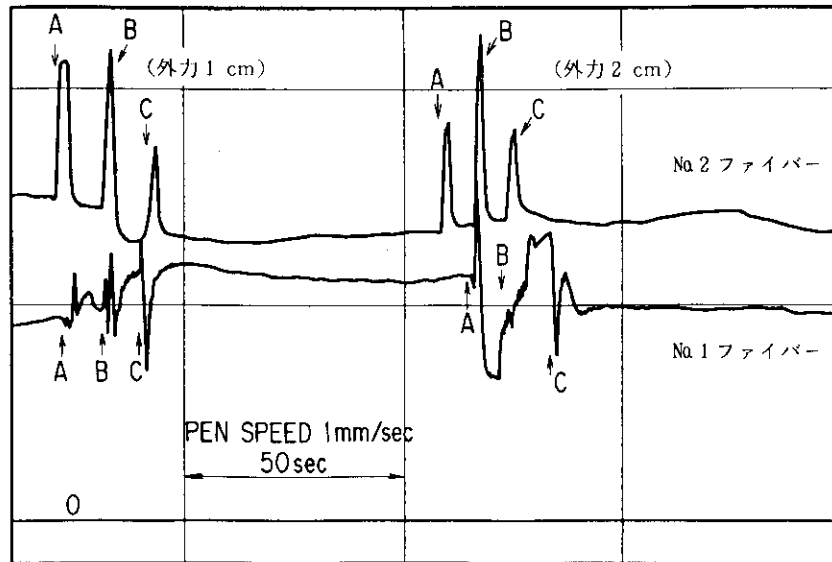


図 24 出力変動（鉛直方向に外力を加えた場合）

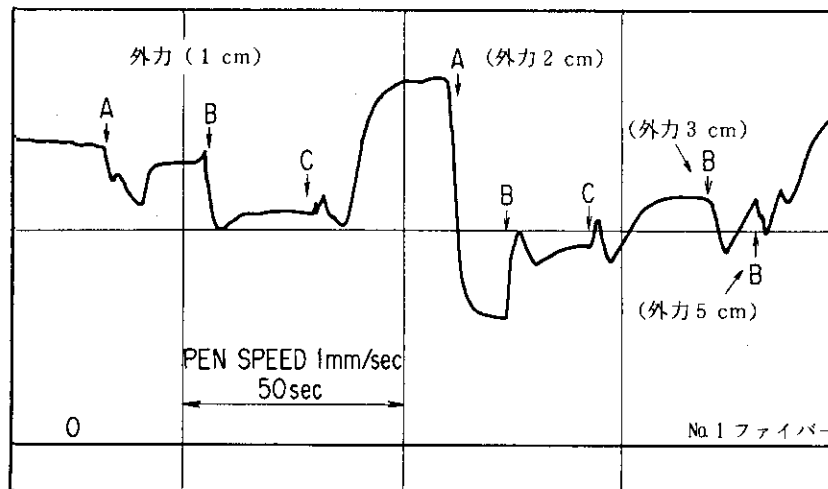


図 25 出力変動（水平方向に外力を加えた場合）

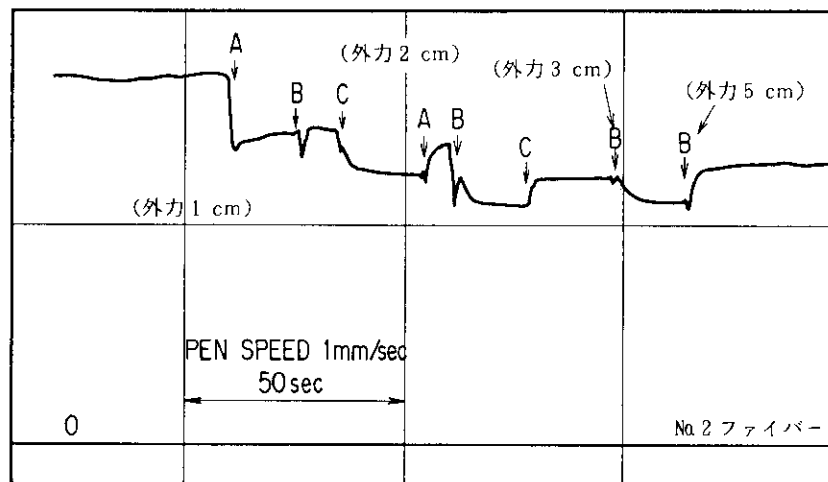


図 26 出力変動（水平方向に外力を加えた場合）

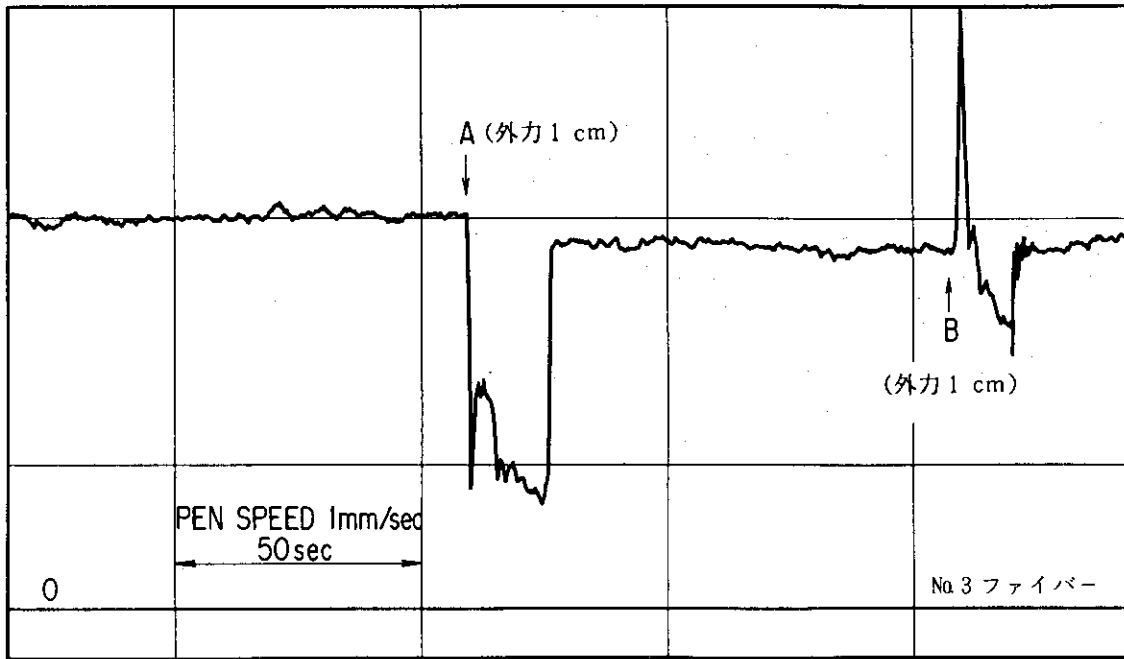


図 27 出力変動（水平方向に外力を加えた場合）

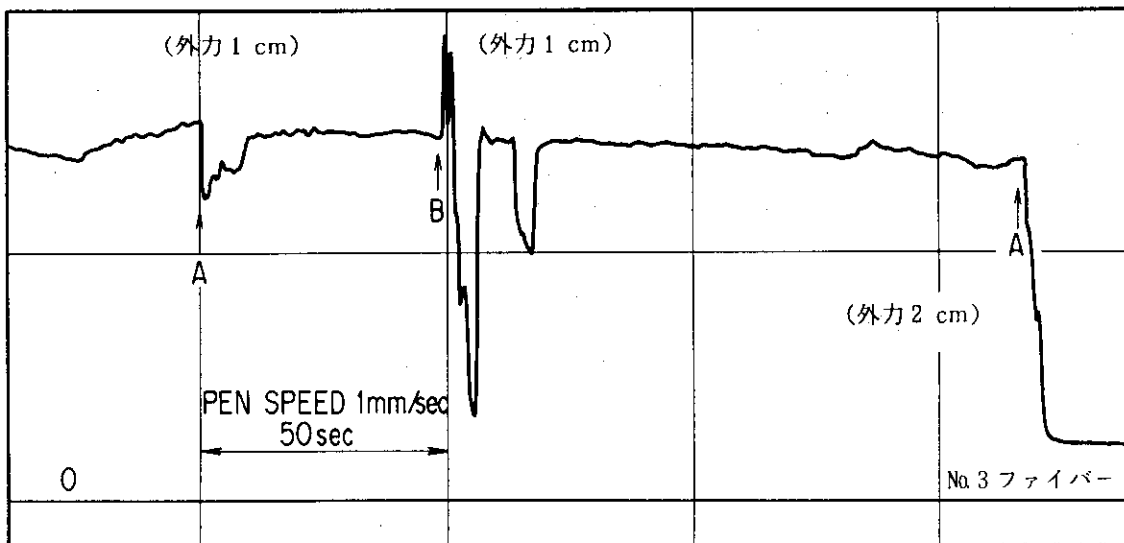
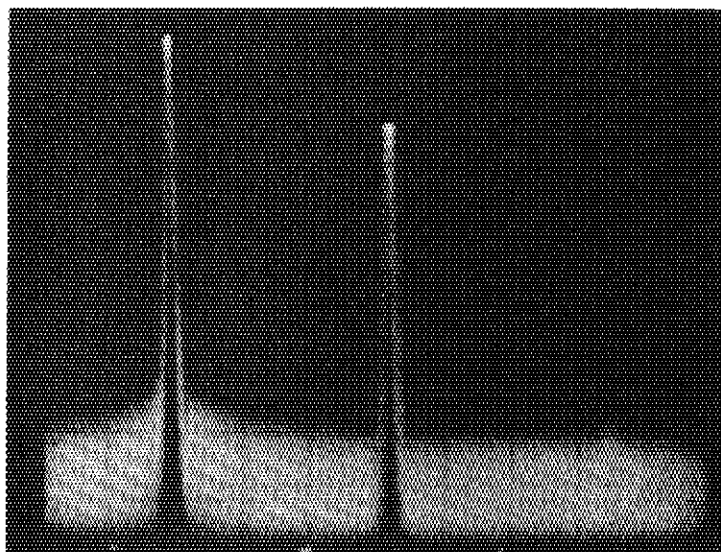


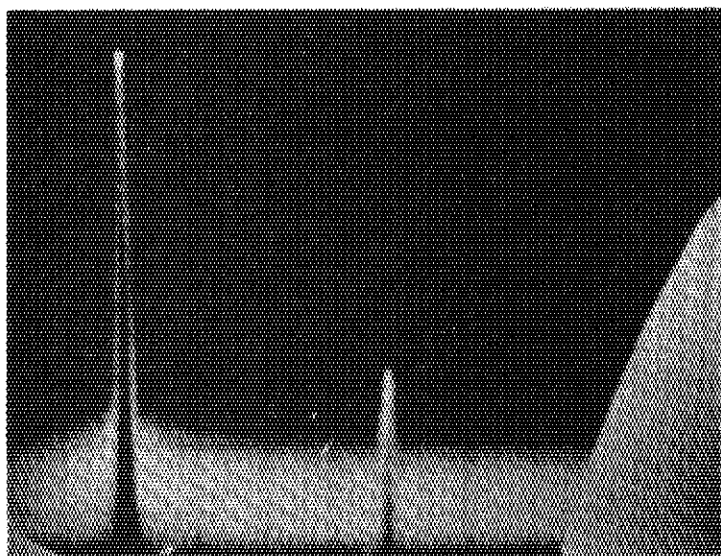
図 28 出力変動（鉛直方向に外力を加えた場合）



SCAN WIDTH 5 MHz  
 SCAN TIME 5 ms/DIV  
 REF. LEVEL -3.5 dBm  
 INPUT ATT 30 dB  
 BAND WIDTH 300 KHz  
 10 dB LOG  
 VIDEO FILTER OFF

↑ 0  
 ↑ 16MHz (-17.5 dBm)

図 29 CO<sub>2</sub> レーザー干渉信号の伝送試験 (ファイバー入口)



SCAN WIDTH 5 MHz  
 SCAN TIME 5 ms/DIV  
 REF. LEVEL -3.5 dBm  
 INPUT ATT 30 dB  
 BAND WIDTH 300 KHz  
 10 dB LOG  
 VIDEO FILTER OFF

↑ 0  
 ↑ 20MHz (-52.5 dBm)

図 30 CO<sub>2</sub> レーザー干渉信号の伝送試験 (ファイバー出口)





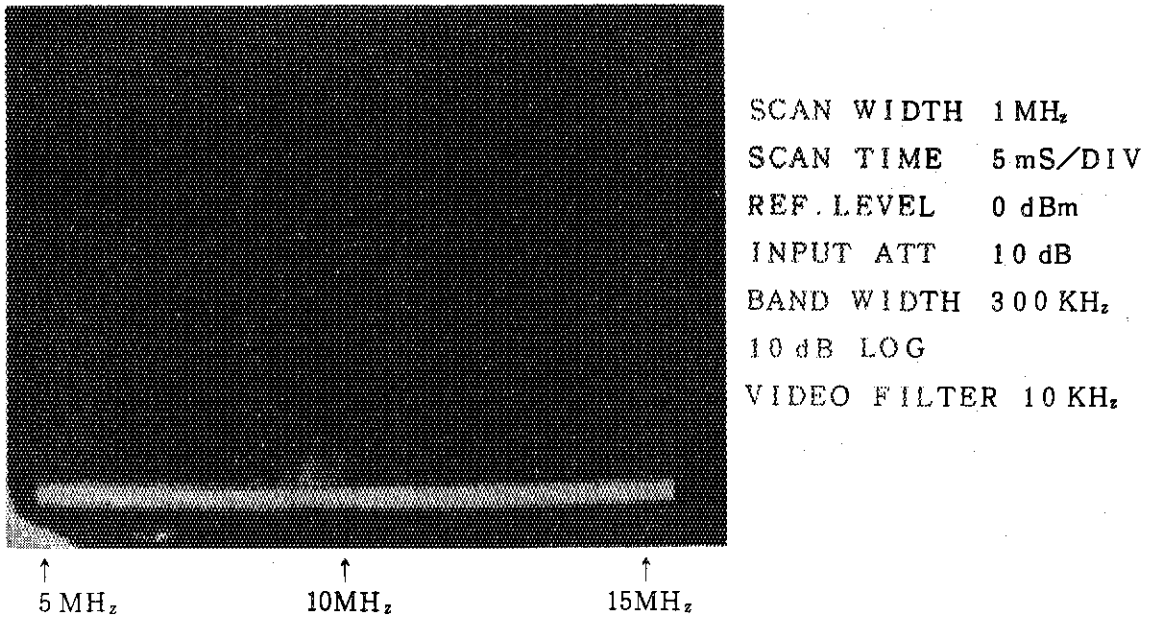


図 33 ファイバー伝送後の干渉試験 (No.2 ファイバー⑩部分に振幅 5 cm, 2 Hz の外力を加えた場合)

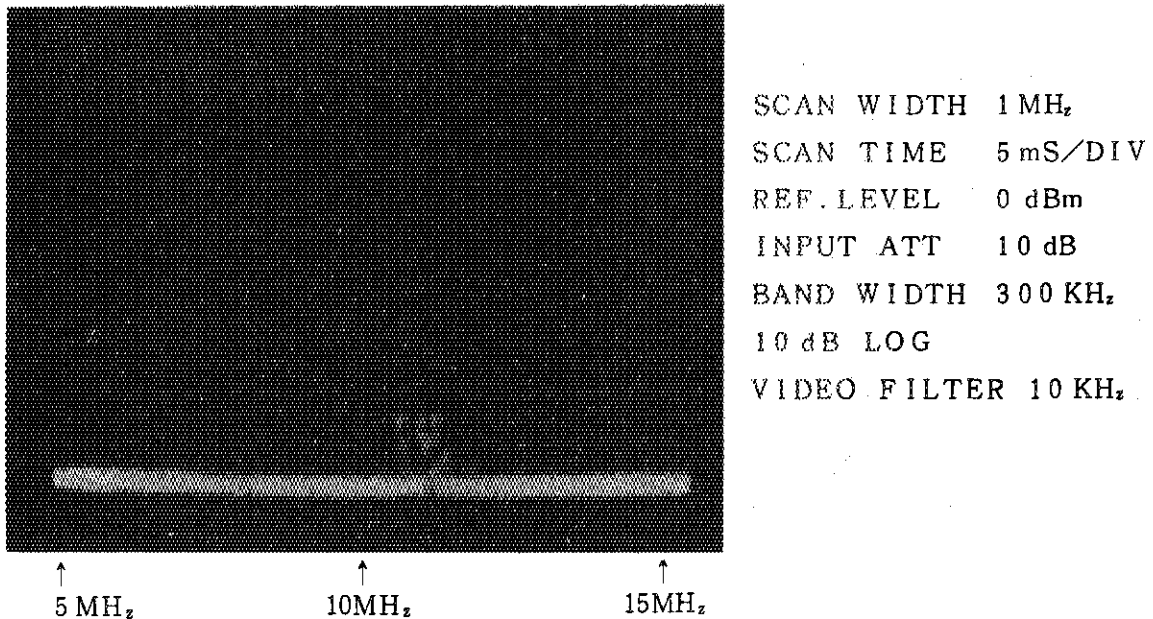


図 34 ファイバー伝送後の干渉試験 (No.2 ファイバー⑩部分に振幅 5 cm, 2 Hz の外力を加えた場合)

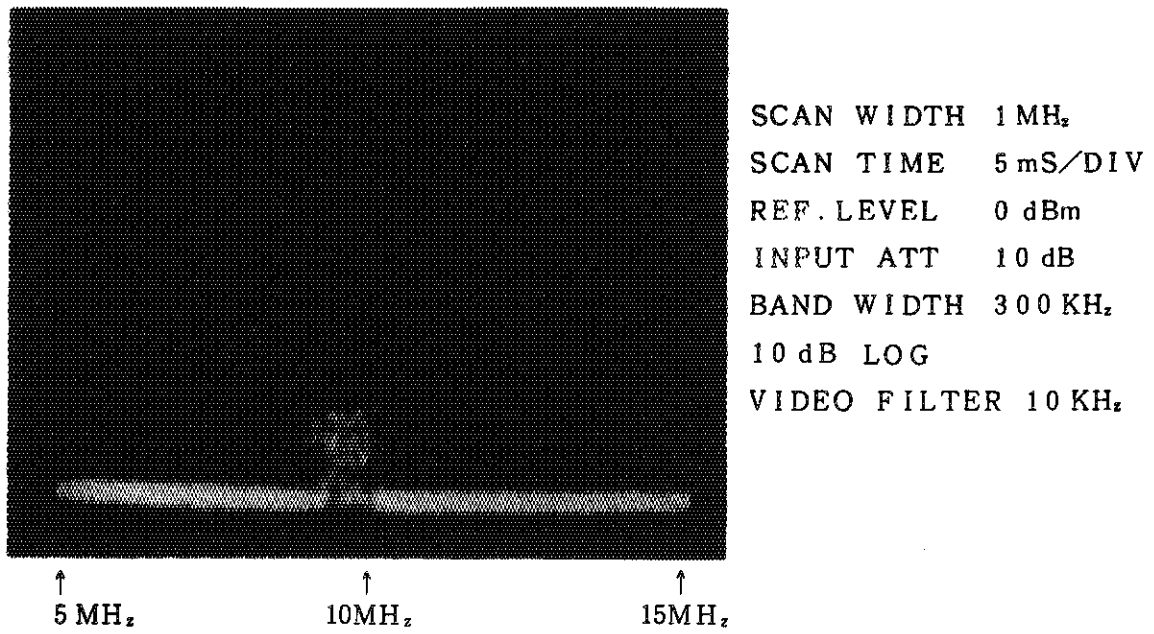


図 35 ファイバー伝送後の干渉試験 (No.2 ファイバー③部分に振幅 2 cm, 2 Hz の外力を加えた場合)