

# ファクシミリ送信案内

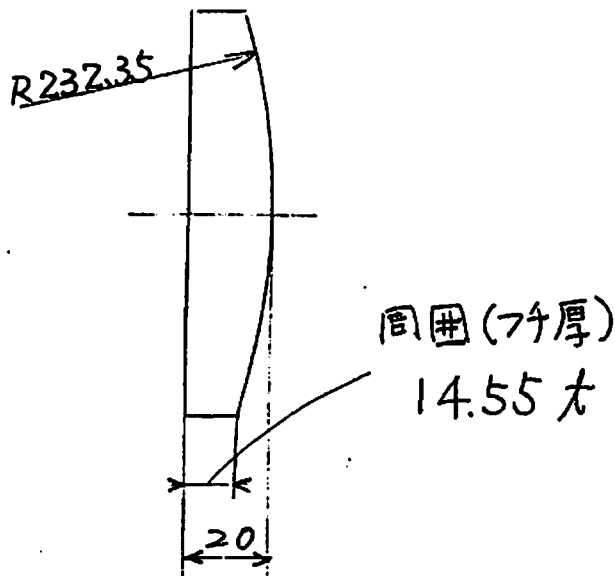
H11年5月13日

<p>宛名: 東京大学          新領域創成科学研究科          物質系専攻          三尾 様</p> <p>TEL          FAX 03-5689-8258</p>	<p>発信元:          (有) 岡本光学加工所          担当 <u>岡本</u></p> <p>〒235 横浜市磯子区原町8番34号          TEL 045 (752) 2233          FAX 045 (752) 1954</p>
---	--

送信枚数 枚 (表紙含む)

拝啓 毎々格別のお引き立てを賜り厚く御礼申し上げます。  
 下記の書類をFAX送信いたしますので、宜しくお取り計らいの程お願い申し上げます。

レンズの周囲厚は先生の計算で大丈夫です。 敬具



東京大学 工学部 物理工学科

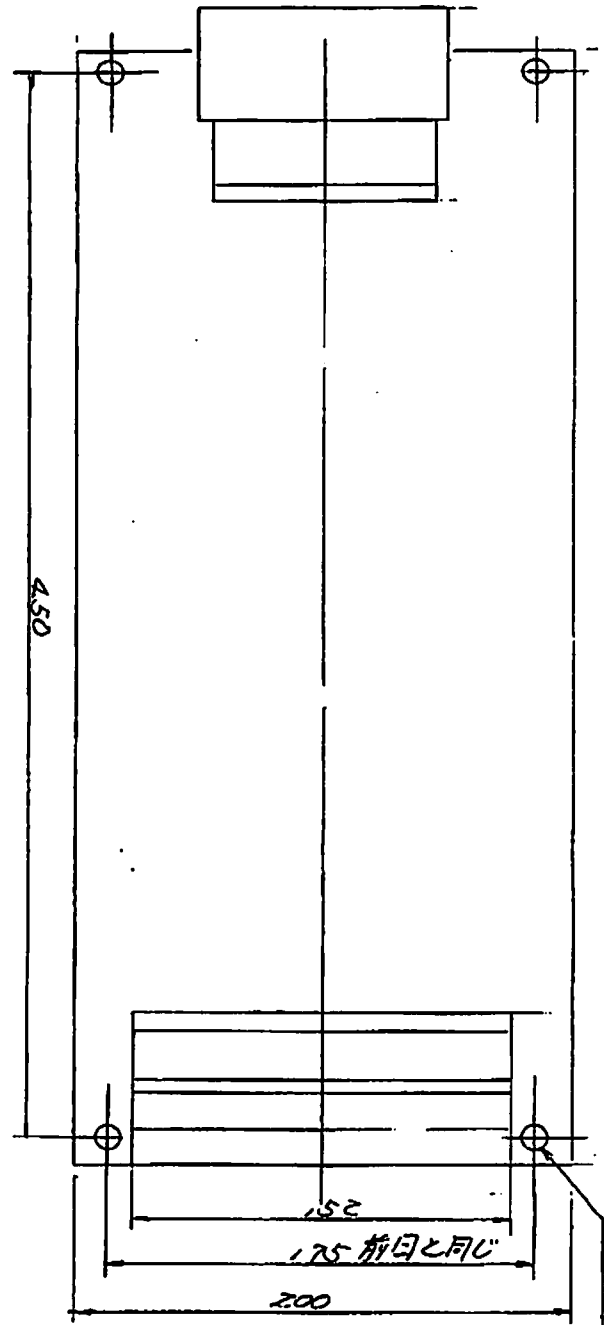
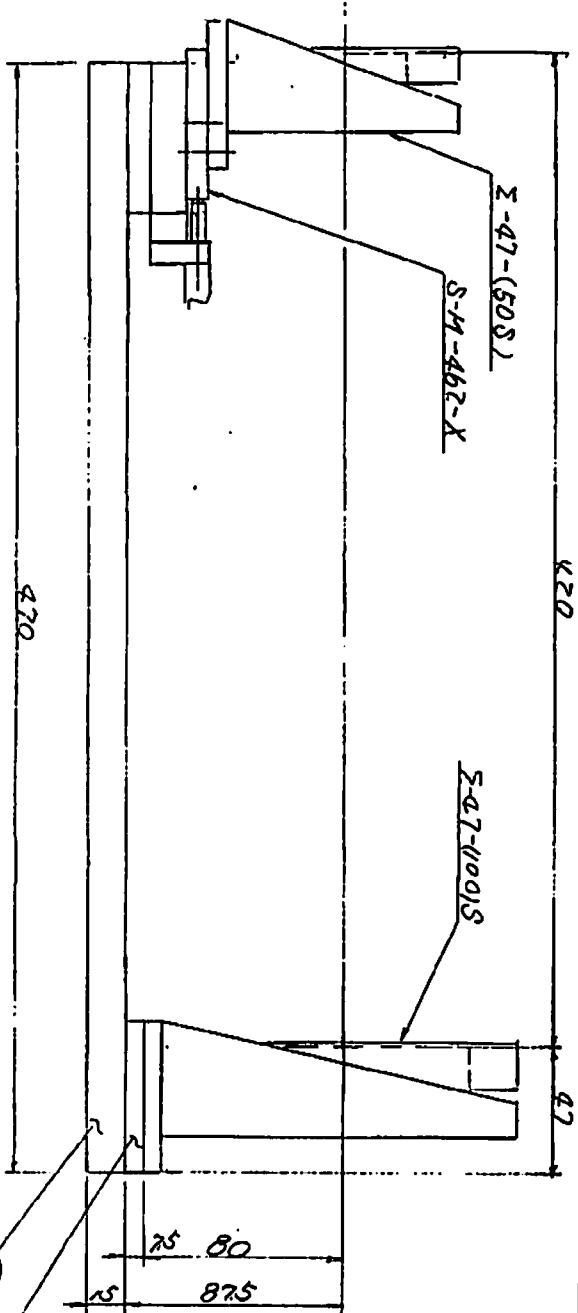
三尾 典克 様

このうち都合した範囲で支給しますので返金不要。  
見積り後日返金します。不在範囲はゆう送にて送  
ります。

丁工 希様

)

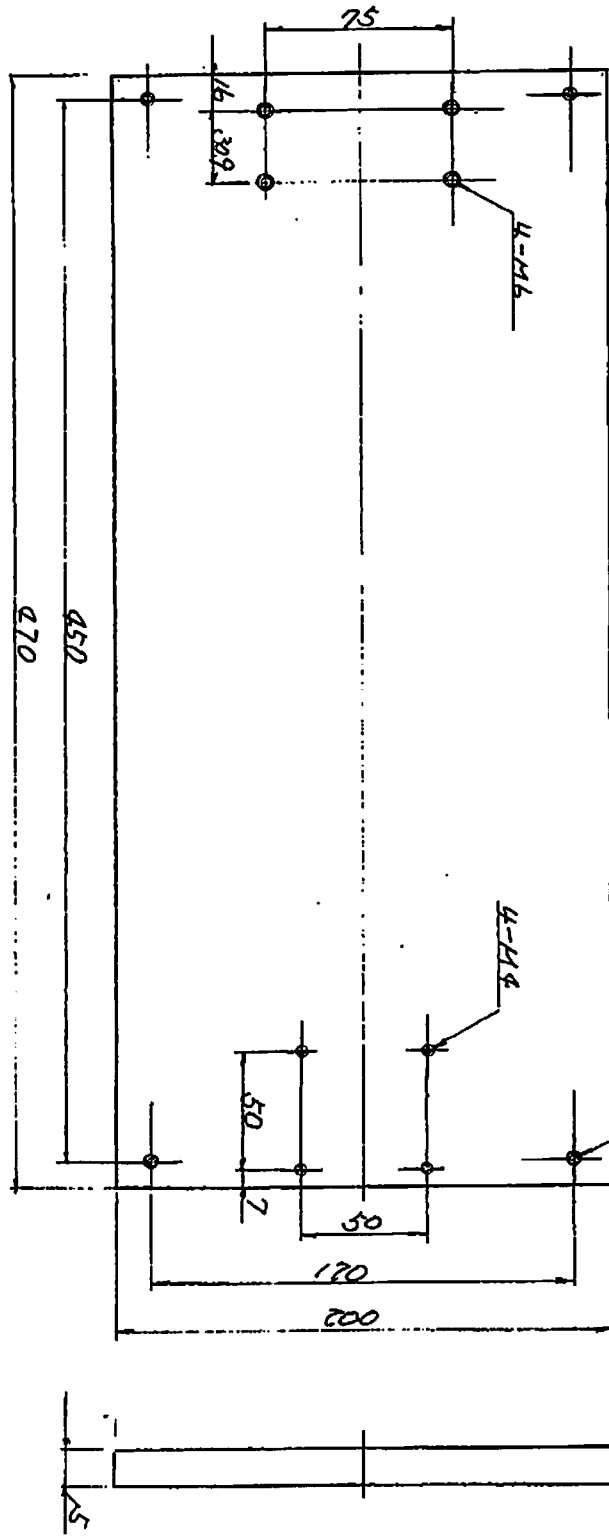
)



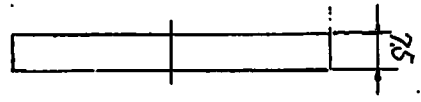
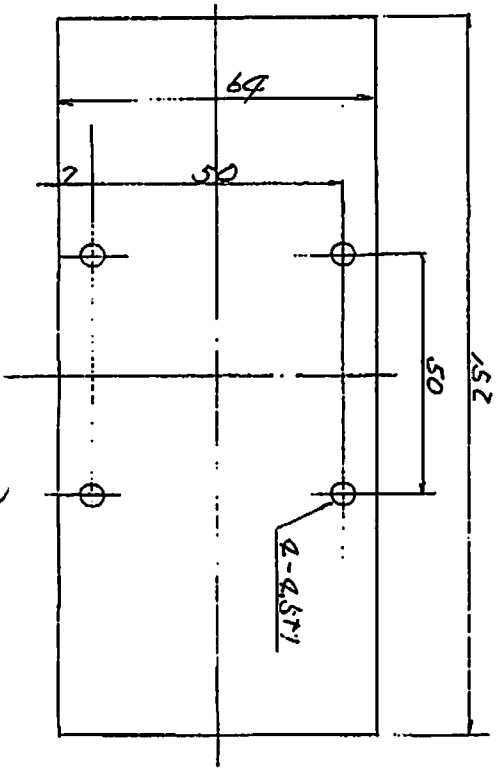
ホクインホクスレービ改修図

519-722F作器

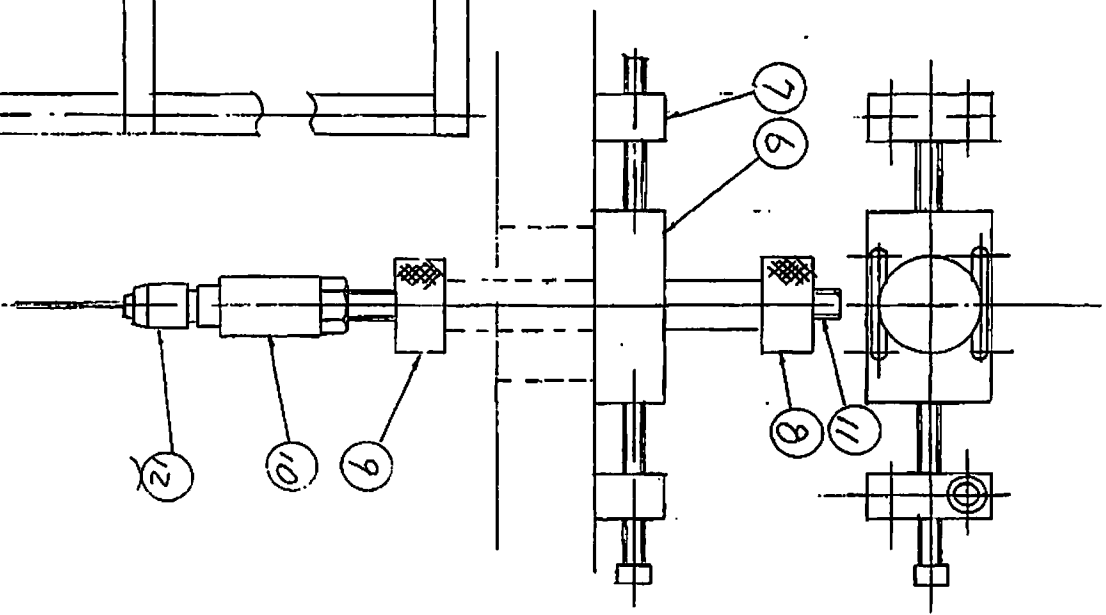
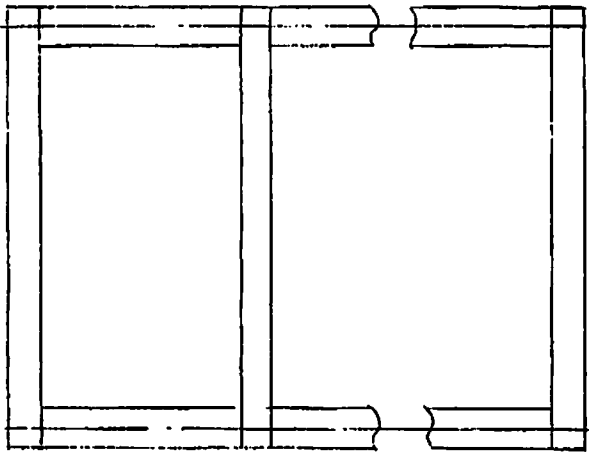
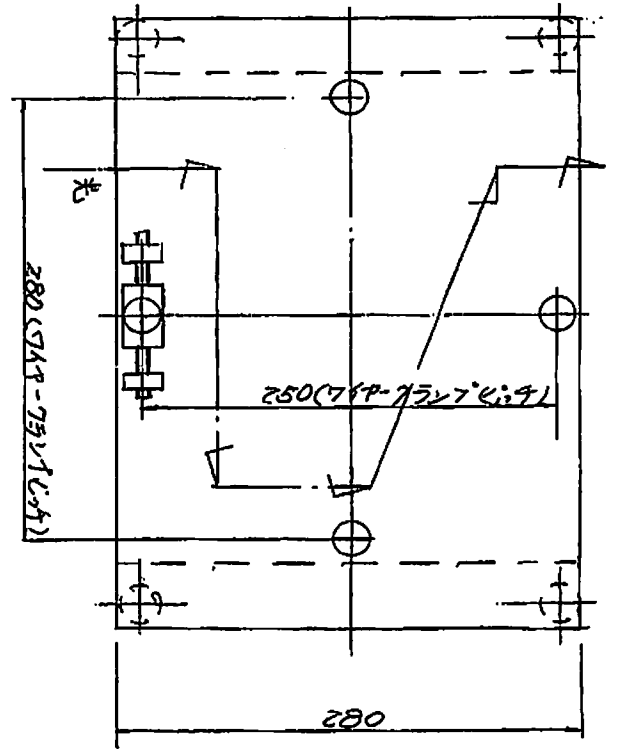
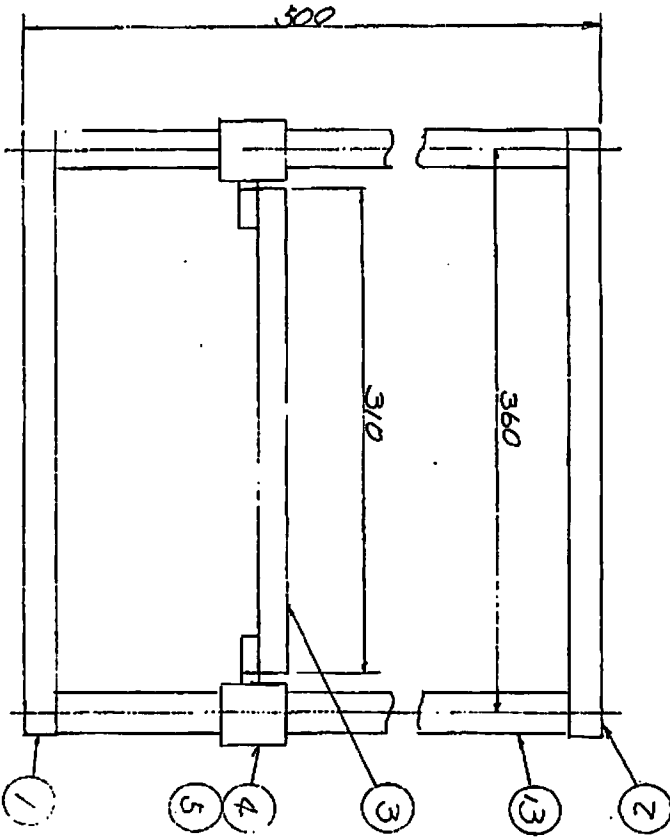
- ①
- ②



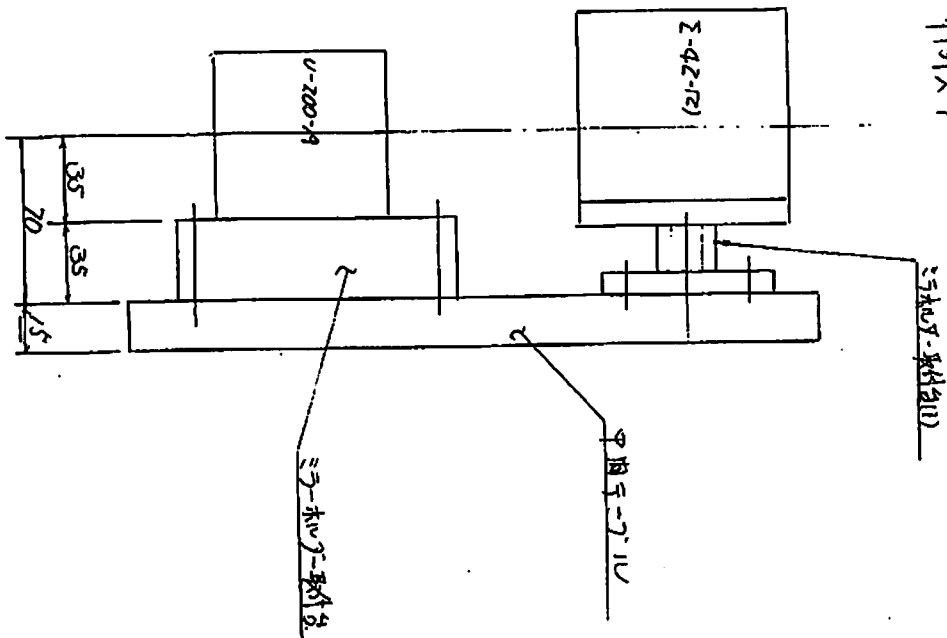
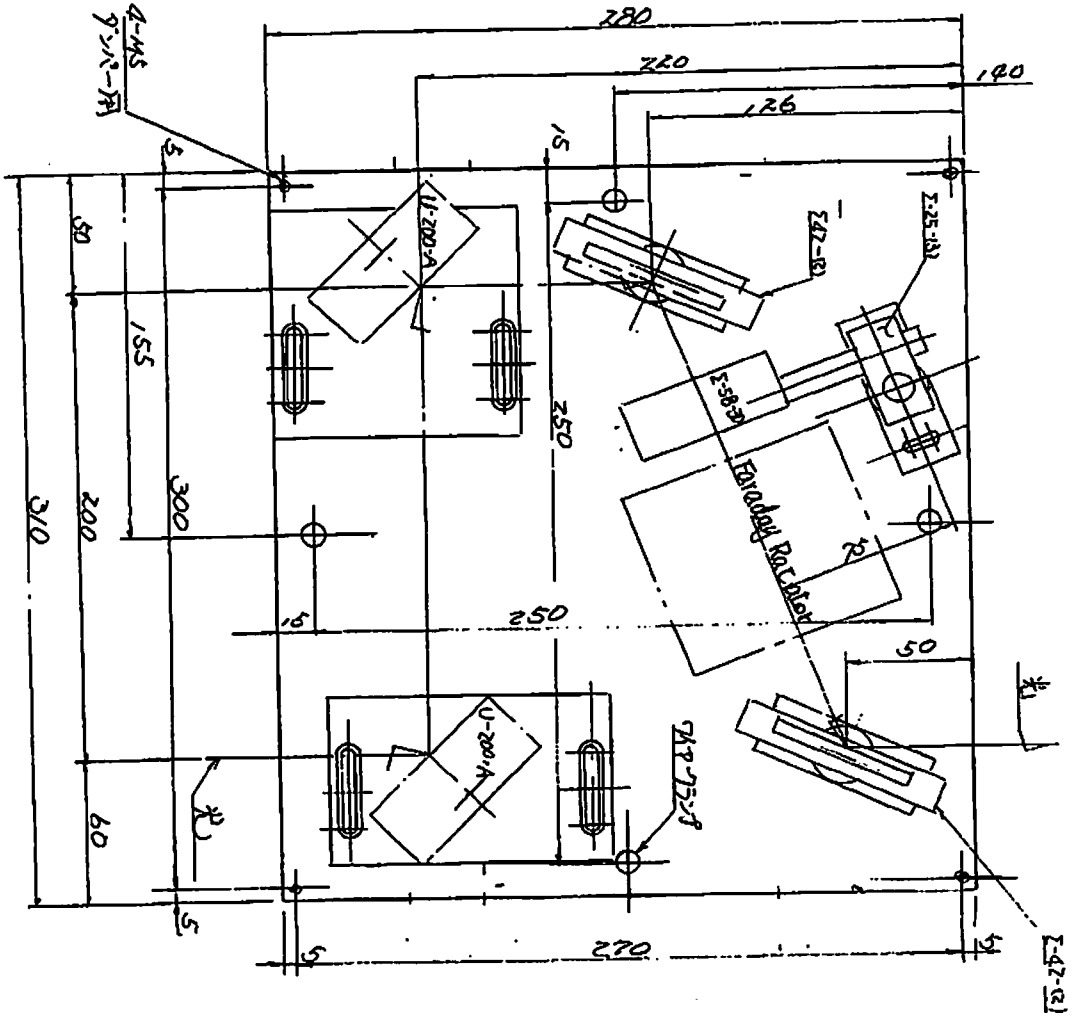
① A2 14



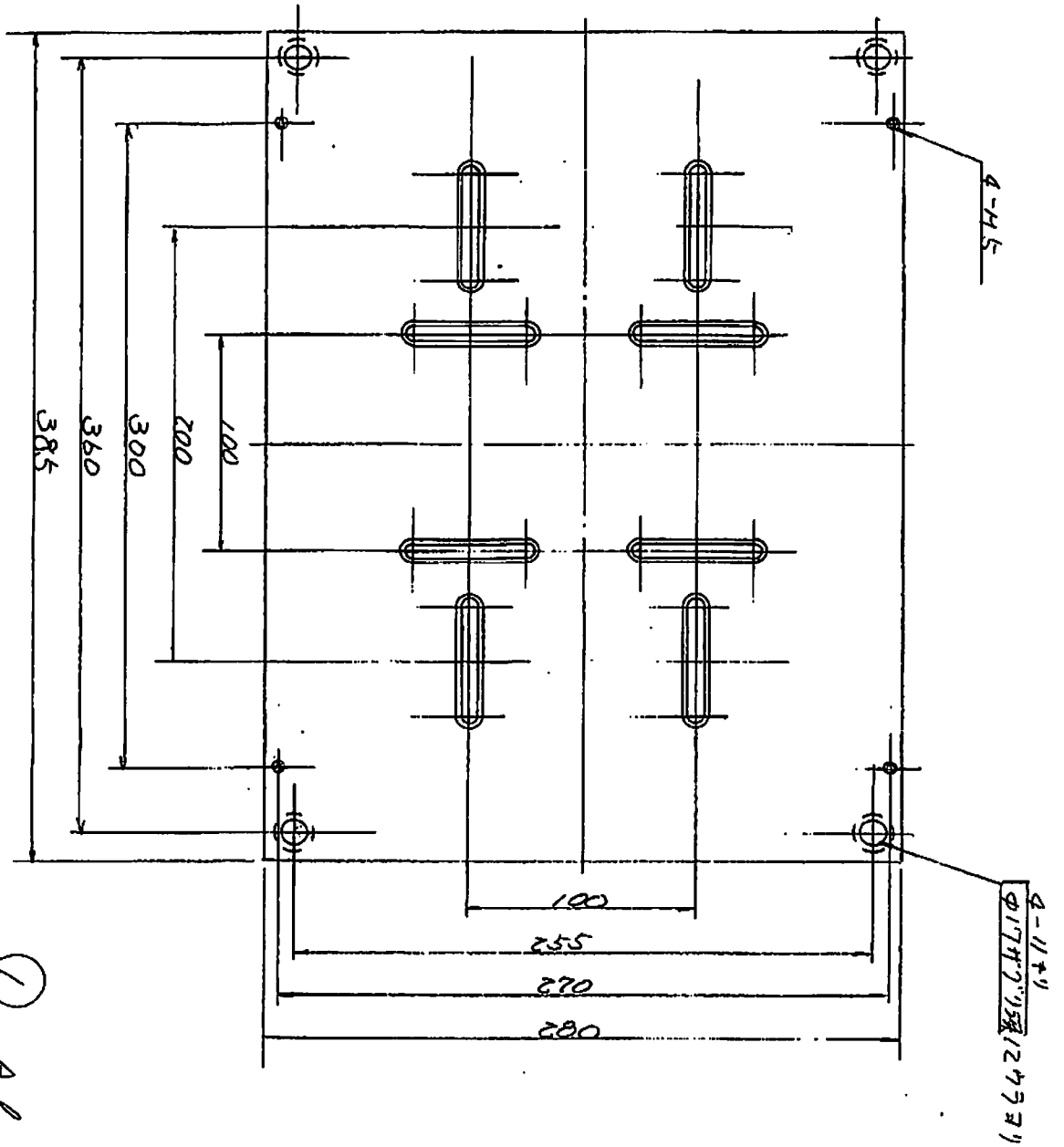
② A2 14



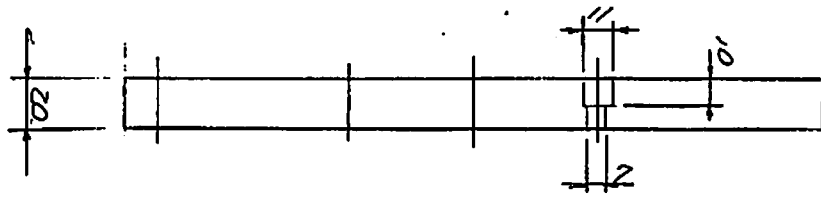
ホムシキ-9-27-2-2改修図

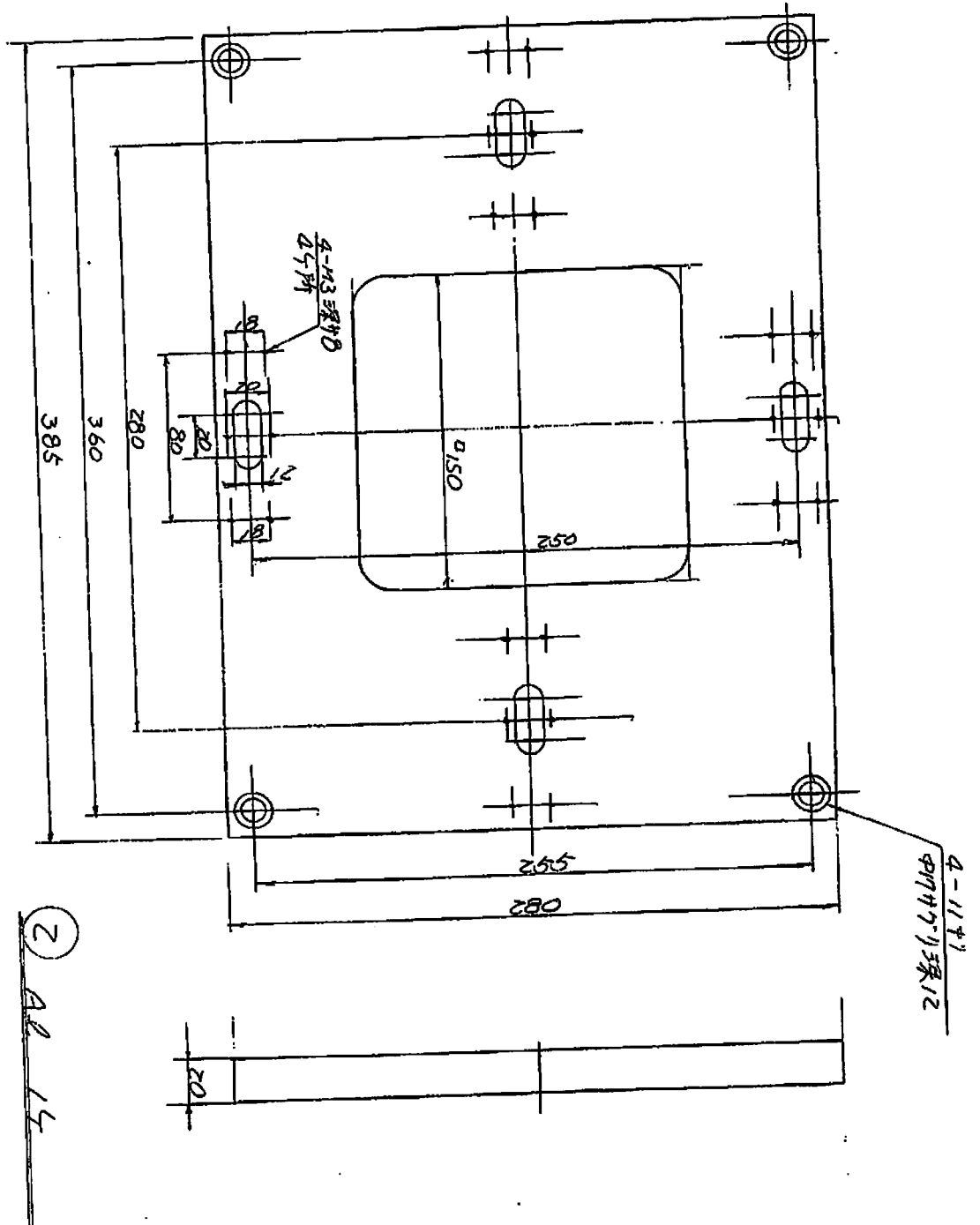


光シジキ-9-  
中国スチ-9-



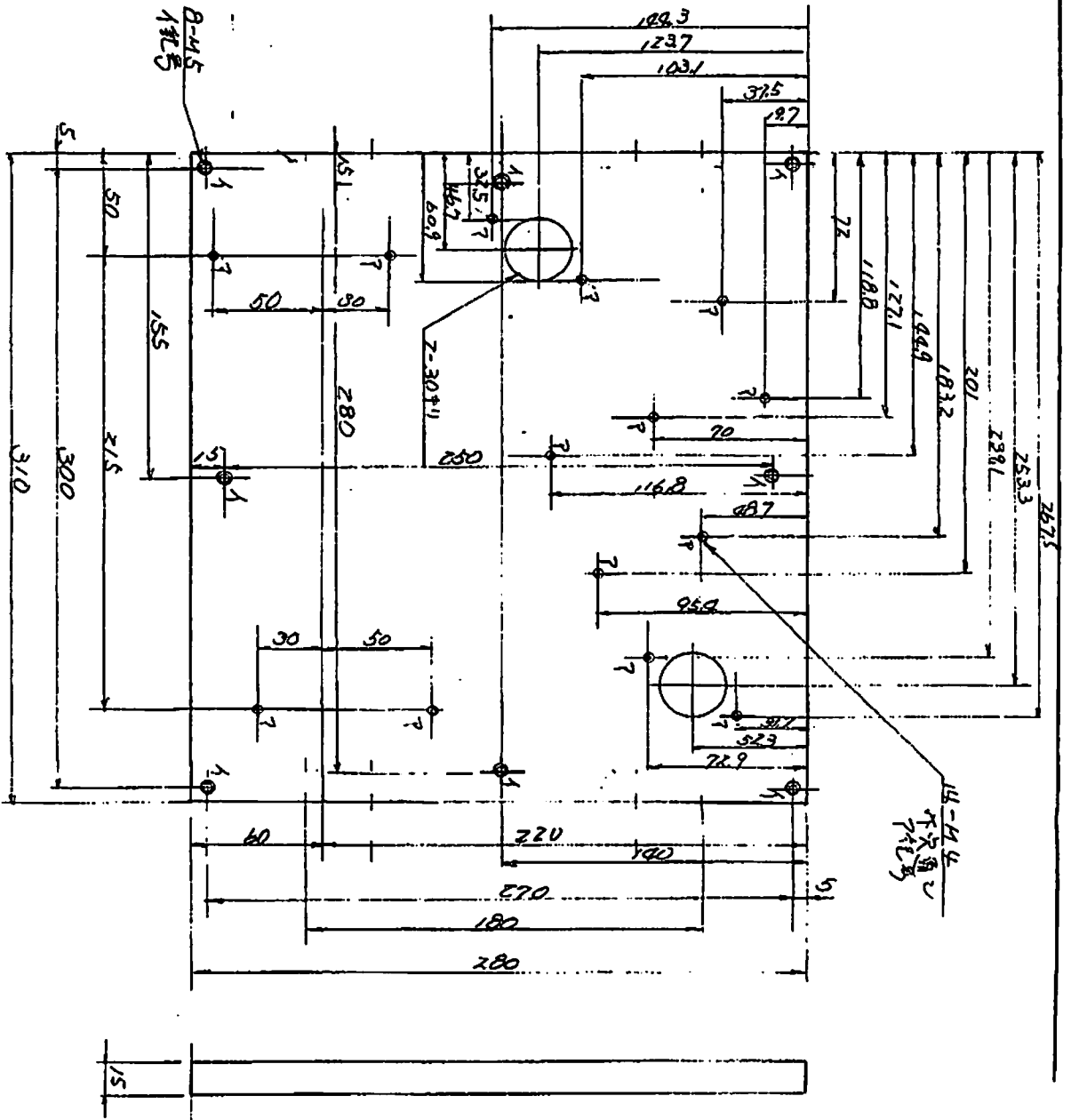
① AL 14



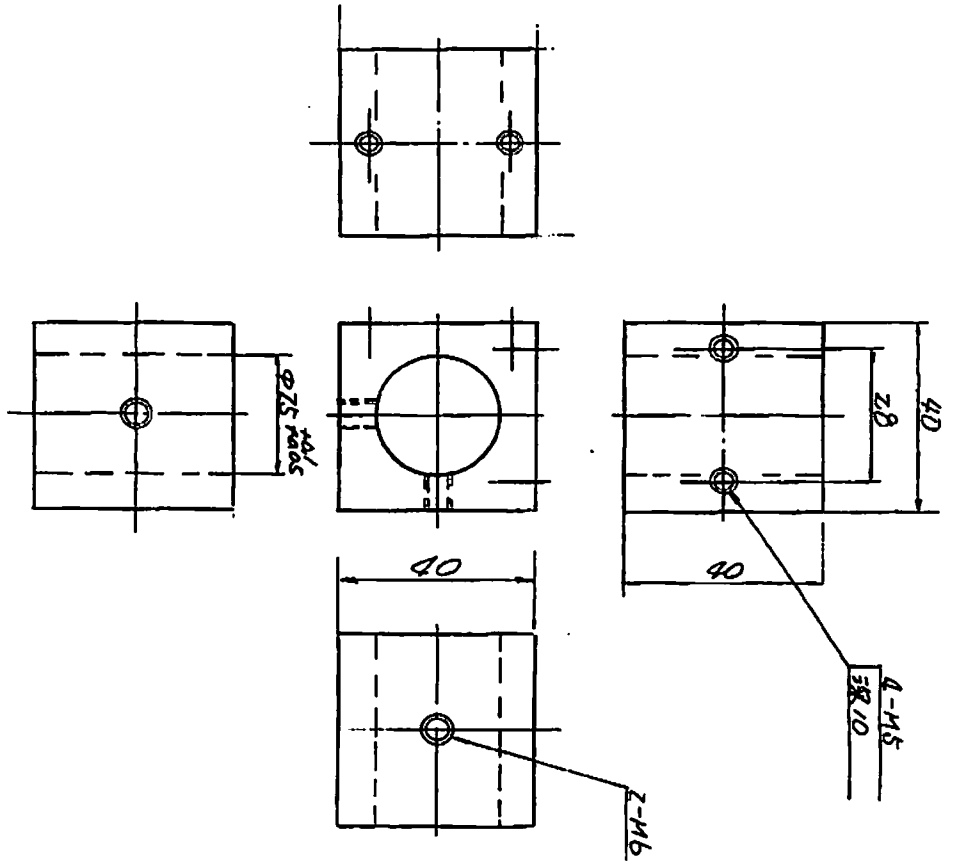


② AL 14

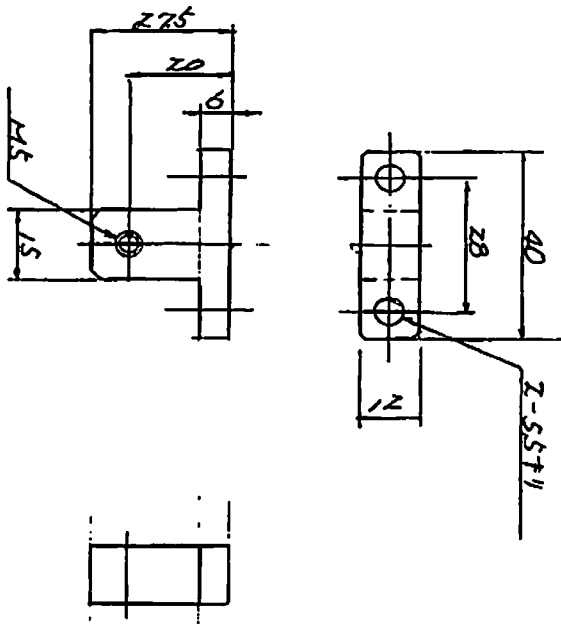




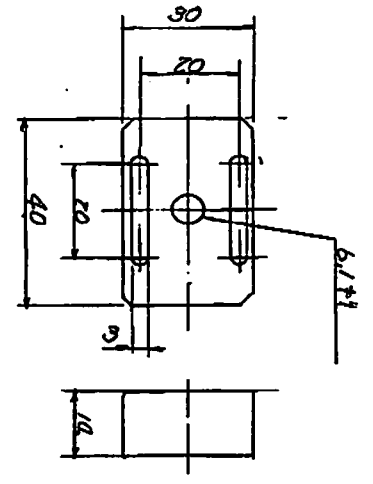
矢口精機製作所  
 〒107-7114  
 東京都港区  
 赤坂 3-14-3  
 TEL 03-3759-5967  
 FAX 03-3759-5968  
 E-MAIL info@yaguchi.co.jp  
 ③



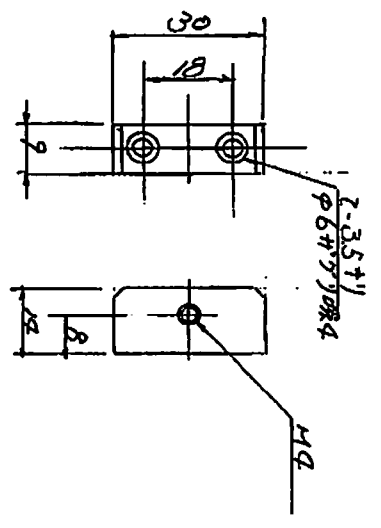
④ 支柱 77-27 AL 45  
4



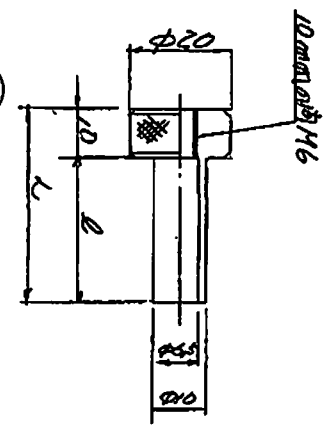
⑤ 支柱 77-27-44-1 AL 45  
5



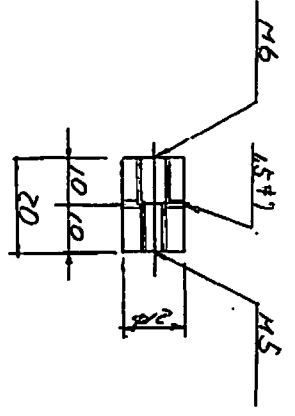
⑥ AL 45



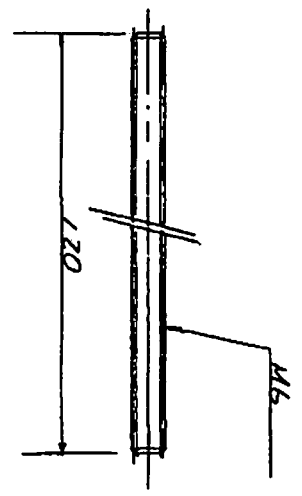
⑦ AL 85



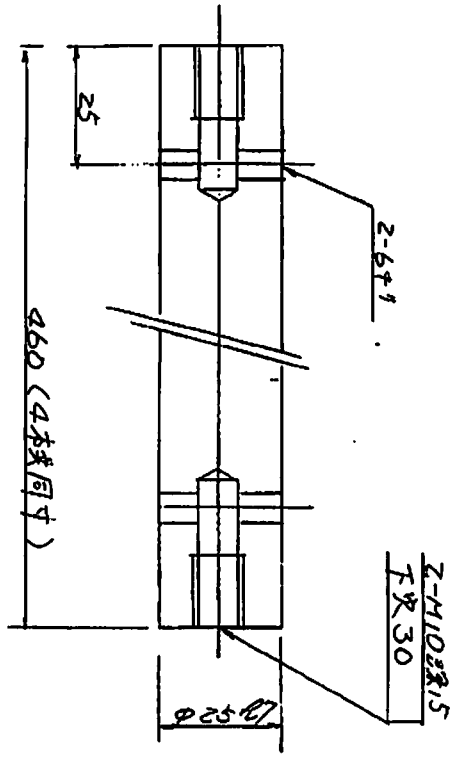
⑧ L=10 L=20 AL 45  
⑨ L=30 L=40 AL 45



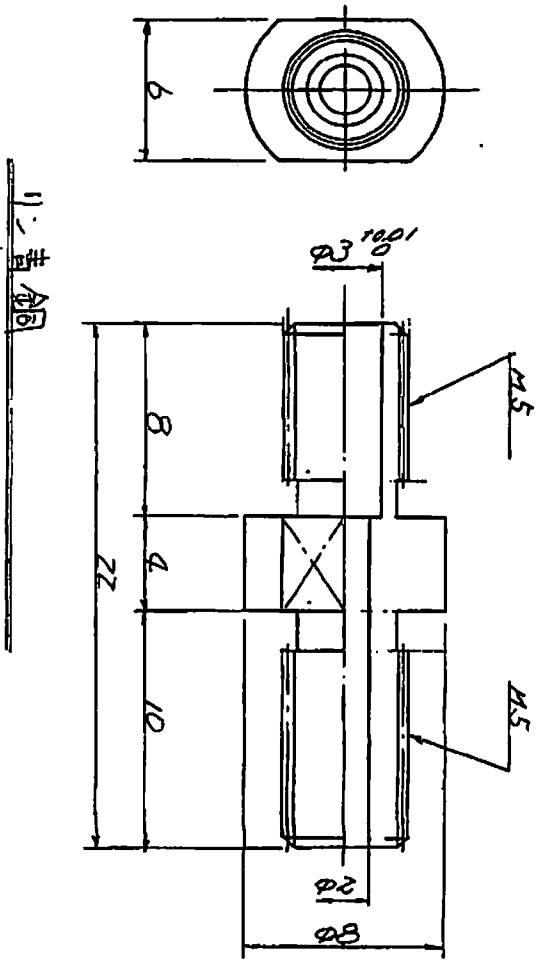
⑩ SUS-304 45



⑪ SUS-304 45

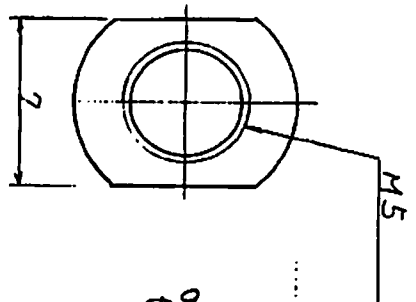
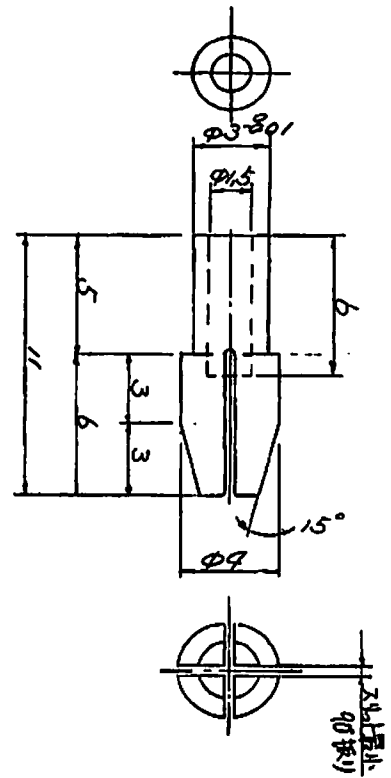


⑬ SUS-304 45

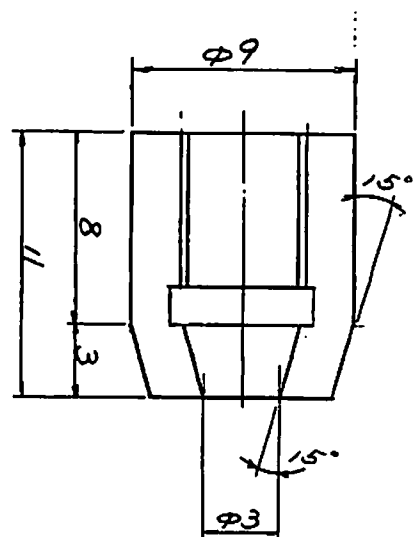


11-青銅

11-青銅



11-青銅



⑫

740-7220

今日4点、次回8点準備8点

今日合計70点作る。

10点以上

# TAMA300 光学系

Ver. 1.0 16-Jan-1998

## 1 光学系の概要

図1は、TAMA300の光学系の全体を模式的に表したものである。主要な光学系は長さ300mの主共振器とリサイクリングミラー、モードクリーナーである。

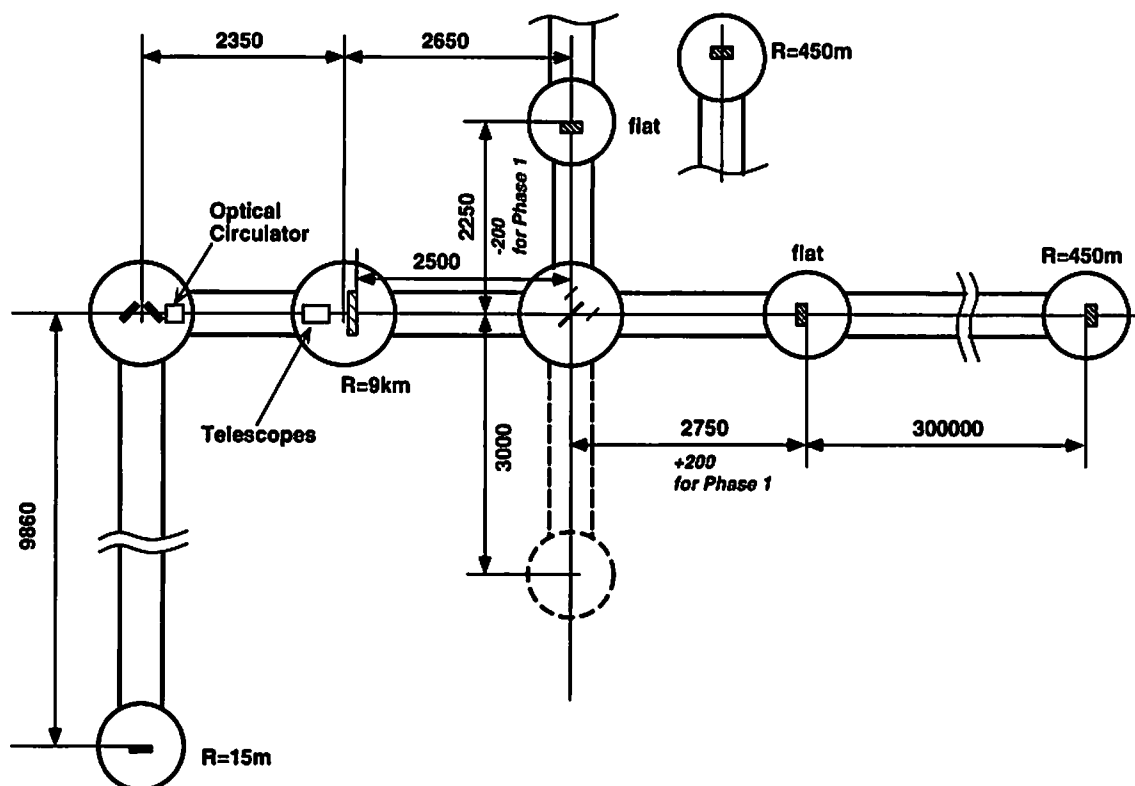


図1: TAMA300の光学系の概要

主共振器は、平面鏡（反射率：98.8%）と凹面鏡（曲率半径：450m、反射率：99.99%）で構成される。このとき、内部にできる光学モードのビーム半径は、平面鏡のところで8.46mm、凹面鏡の位置で14.65mmとなる。また、平面鏡の入射側にはウエッジ（ウエッジ角：9分=2.6mrad）がついている。鏡は、直径10cm、長さ6cmの円柱で合成石英製である。

ビームスプリッターは、やはり合成石英製で直径15cm、厚さ4cmである。また、コーティングはS偏光に対して設計されている。

干渉計の制御を行うために、ビームスプリッターと2つの主共振器の間の距離には差がつけられている。入射に沿った方向の共振器（Inline Cavity, IC）は、直交方向の共振器（Orthogonal Cavity, OC）に対して、 $\Delta l$ だけ離れた位置にある。真空装置は、鏡を真空タンクの中央に設置した場合、 $\Delta l = 50\text{cm}$ になるように設計されている。しかし、Phase Iでは、鏡の位置をタンク内でずらして $\Delta l = 90\text{cm}$ として全体の設置を行う。Phase IIでリサイクリングが行われる場合には、この値は再調整が必要である。

モードクリーナーは、リング共振器で長さが約 10 m となっている。この共振器長は、干渉計を制御するための位相変調の側帯波が透過するように決められる。TAMA300 では変調周波数は 15.25 MHz なので、共振器長は 9.8361 m となる。共振器は 2 枚の平面鏡と 1 枚の凹面鏡（曲率半径：15 m）で構成され、共振器の基本モードのビームウエストのサイズは 1.53 mm である。

そして、モードクリーナーと主干渉計の光学モードをマッチングさせる望遠鏡、干渉計から反射されてきた光を取り出す光サーキュレータなどが配置されている。これが、TAMA300 の光学系の基本構造である。

## 2 光学要素の配置

各光学要素は、真空装置の内部に設置される。ミラーのウエッジや斜入射によるビームのシフトなどがあり、概略図にあるように単純な配置にはならない。以下、それを示す。

### 2.1 ニアミラータンク

平面鏡のウエッジのため、300 m の共振器をダクト内に収めるためには、ビームをダクトに対して、傾けて入射しないといけない。このことを出発点に光学系の配置を考える。

平面ミラーのウエッジ角は、ウエッジ面で反射された光がビームスプリッターの位置で、メインのビームと分離するという条件で決めた。ウエッジ角を  $\alpha$  とすると、主共振器の光軸に対する入射角  $\delta$  と、ウエッジ面での反射光が光軸となす角  $\delta'$  は

$$\delta = (n - 1)\alpha \quad (1)$$

$$\delta' = (n + 1)\alpha \quad (2)$$

で与えられる。ここで、 $n$  は鏡の基板の屈折率（石英は  $n = 1.45$ ）である。 $\alpha = 2.6$  mrad なので、 $\delta = 1.2$  mrad、 $\delta' = 6.3$  mrad である。図 2 は IC のニアミラータンク内の光路を模式的に書いたものである。

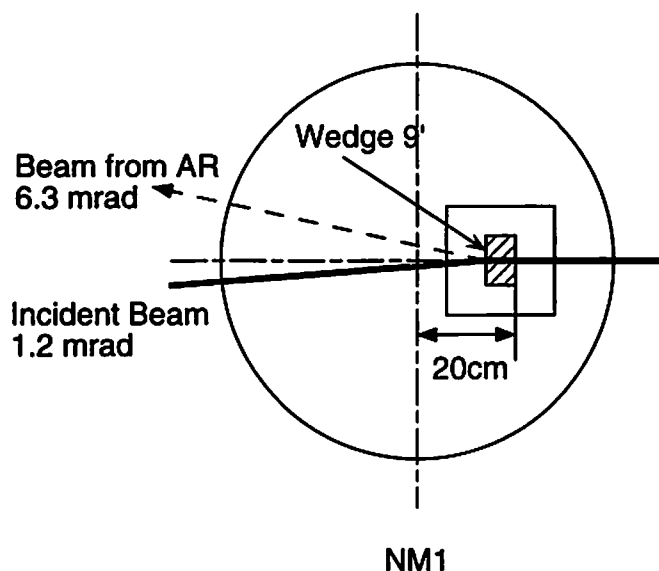


図 2: インライン共振器のニアミラータンク内の光路

## 2.2 センタータンク

センタータンク内には、ビームスプリッターとアライメント制御用信号をとるためのピックオフプレートが入る。これらは平行平面基板であるが、45度で入射するため、ビームの位置が平行移動する。このシフト量は、

$$\Delta = d \sin \varphi \left( 1 - \frac{\cos \varphi}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi}} \right) \quad (3)$$

となる。ここで、 $\varphi$  は入射角、 $d$  は基板の厚さである。石英に対して、45度入射の時のシフト量は  $0.31d$  となる。ビームスプリッターは厚さ 4 cm、ピックオフプレートは 3 cm なので、それぞれ 12.4 mm、9.3 mm だけシフトする。ビームスプリッターやピックオフプレートの向は図 3 に示す。斜め入射によるビームの位置変化を打ち消す向きに設置されている。このとき、注意すべきことは OC のニアミラーのウエッジの方向を IC の方向と逆して、AR 面で反射された光がビームスプリッターで干渉しないようにすることである。このとき、ビームスプリッターの位置は、ビームを分岐させる点をタンクの中心から横方向に 1.2 cm、縦方向に 1.75 cm ずれた位置にする必要がある。

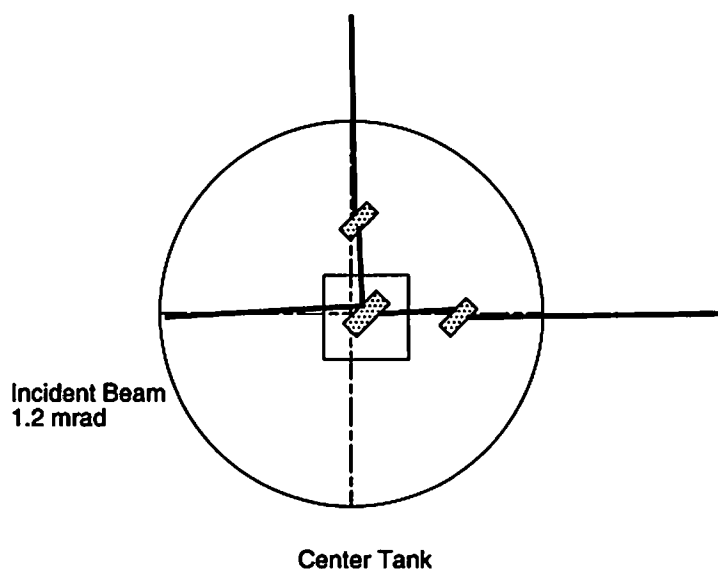


図 3: センタータンク内の光路

## 2.3 リサイクリングミラータンク

リサイクリングミラータンク内の配置を図 4 で示す。Phase I では、モードマッチング用の望遠鏡が入るだけである。主干渉計の光のビーム径はモードクリーナーからの光のビーム径の約 5 倍である。これを 2 枚のレンズを使ってマッチングさせる。しかし、レンズを別々に支えるとレンズ間の距離の変動の影響が大きくなる。そこで、望遠鏡を構成するレンズは一体構造とする。

ここでは、ガリレイ式望遠鏡を採用した。望遠鏡は、凸レンズ（口径：100 mm、焦点距離：520 mm）と凹レンズ（口径：50 mm、焦点距離：-100 mm）を使っている。この倍率、および、設置場所は、モードクリーナーと主干渉計のガウスモードの結合が最適になるように決定した。

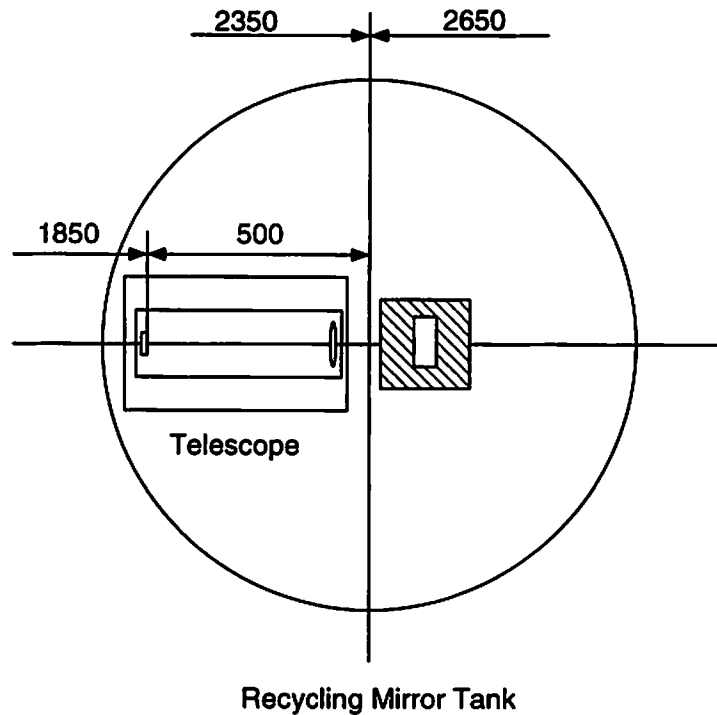


図 4: リサイクルリングミラータンク内の光路

2枚のレンズを組み合わせた光学系の光線行列は

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_1 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 - d/f_1 & d \\ (d - f_1 - f_2)/(f_1 f_2) & 1 - d/f_2 \end{pmatrix} \quad (4)$$

である。そして、望遠鏡では  $d = f_1 + f_2$  である。ここで、 $f_1 = -100 \text{ mm}$ 、 $f_2 = 520 \text{ mm}$ 、 $d = 420 \text{ mm}$  が設計値であるから、

$$\begin{pmatrix} 1 - d/f_1 & d \\ (d - f_1 - f_2)/(f_1 f_2) & 1 - d/f_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5.2 & 0.42 \text{ m} \\ 0 & 1/5.2 \end{pmatrix} \quad (5)$$

で、ビームの平行移動は5.2倍になるが、角度揺れは1/5.2になる。よって、望遠鏡の防振に関しては、並行移動の成分を十分に行なう必要がある。そこで、全体は図5に示すように懸架される予定である。

## 2.4 モードクリーナータンク

図6は、モードクリーナータンク内の光路を表している。レーザーをでた光は、モードクリーナーで整形されて、主干涉計に入る。

そして、主干涉計で反射された光は、光源に戻らず外部に導かれるように光サーキュレーターを設置する。この主要な部品はファラデー回転子と偏光子である。しかし、口径の大きな物は非常に高価であるので、TAMAでは、このサーキュレータをモードクリーナーの直後に設置することにした。また、モードクリーナーと主干涉計の光学軸をあわせるための機構を一緒に組み込んだ。図7は光サーキュレータの概略図である。ファラデー回転子は口径15mmでTGG結晶を用いたものを用いる。また、偏光子はプリュースター角 ( $\tan \theta = n$  で与えられる) で入射するタイプのプレート型のものを用いる。このとき、入



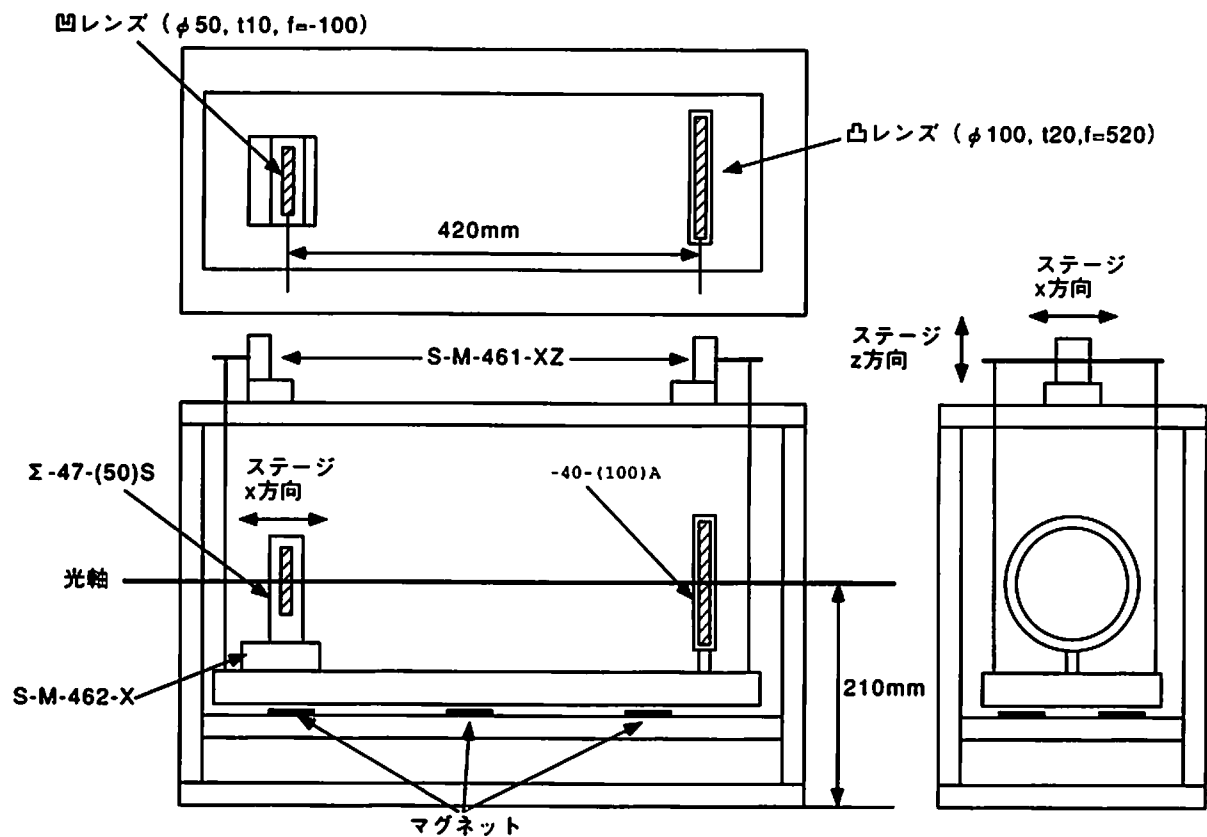


図 5: モードマッチング用望遠鏡

射角は 45 度ではなく、55.4 度で入射する必要があり、また S 偏光を使用するため、反射光を利用した光学系となっている。また、途中の半波長板はファラデー回転子を通過した後（偏光面が 45 度回転している）の偏光を再び S 偏光に戻すためのものである。

そして、一度曲げられた光路を元の光路に戻すために用いる鏡をピコモーターで制御することで、モードクリーナーと主干渉計の間のアラインメントを行う。これらは、望遠鏡と同じように懸架される予定である。

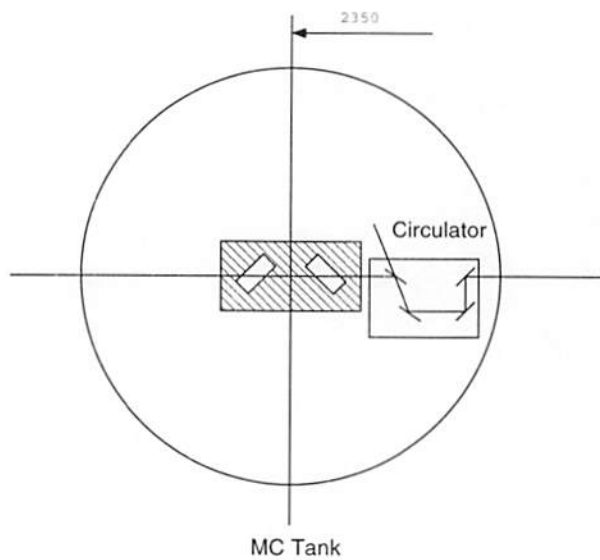


図 6: モードクリーナータンク内の光路

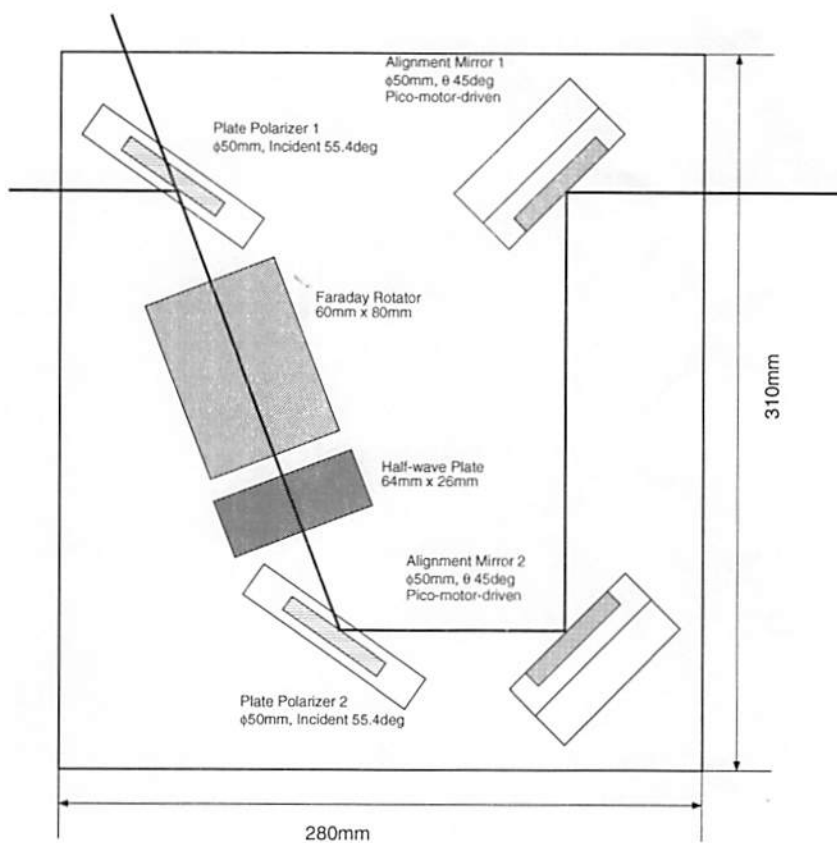


図 7: 光サーキュレータの概略図

### 3 光検出器

光検出器は、高効率、低雑音でかつ大出力のレーザー光を検出しないといけない。ここでは、分割型の光検出器を用いる。基本の構成は、口径1mmのInGaAs-PINフォトダイオード（浜松フォトニクス、G3476-10）を4個用いたユニットを作る。4つのダイオードの出力電流は単純に加算され、電圧に変換される。このユニットを4つ用いて、計16個のフォトダイオードを使った検出系を構成し、90cm四方の光学テーブルに設置する。これを図示した物が、図8である。ここには、さらに機械式のシャッター等を組み合わせた非常用保護装置などが組み込まれる予定である。

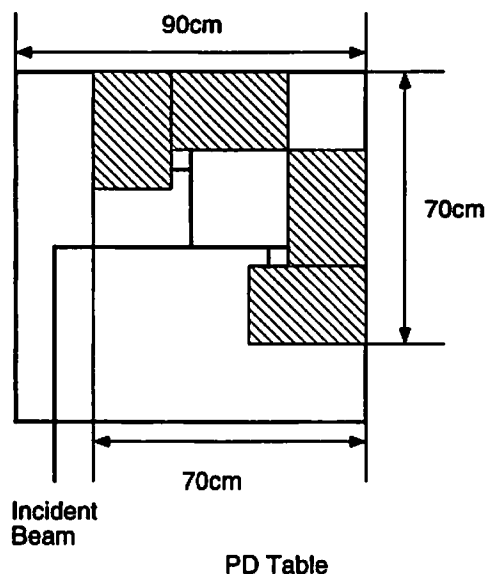


図 8: 光検出器の光学系の概略図

### 4 光学結晶

高出力用のレーザー光に対して、光の位相、周波数、偏光、強度などを制御するためには、光学結晶の選択が重要である。よく用いられるLiNbO<sub>3</sub>(LN)は、フォトリフレクティブ効果により、かなり低い光強度で機能が劣化する。また、KDPやADPは、電気光学効果が小さいなどの問題がある。

そこで、TAMAではRTA(RbTiOAsO<sub>4</sub>)を使用する予定で検討を進めている。RTAは、大きな電気光学効果を示し、また誘電損失が小さいので共振型の高周波位相変調器を構成するのに都合がいいと考えられる。現在までの測定では、低周波数側ではLNより大きな値を持ち、高周波でも実用に耐え得る値を示している。