

I. Sato, H. Matsumoto, A. Enomoto, K. Takeda,
Y. Iino*, K. Taki* and K. Ando*

National Laboratory for High Energy Physics

* Mitsubishi Heavy Industry

ABSTRACT

The alignment was performed by two systems such as an alignment telescope for a rough setting and a laser light for a fine setting. The laser light system was designed to make short the alignment execution. The system consists of a laser light source and a light position detector. Fractional deflections of beam light axis were corrected by moving a meniscus lens. A beam line was defined by two end points of the 400 m linac, then each of acceleration units was aligned with respect to the defined line axis. It was possible to make the maximum setting error along the beam line within 0.3 mm.

§1 序

100メートルを越える長さの直線加速器をテレスコープを使って直接に眼視で、高精度にアライメントすることは、空気の揺ぎ、制限された視き孔径による分解能の限界、回折像の重なりによる像のぼやけ等の理由で、不可能に近い。約3kmの長さのリニアック(SLAC)では、加速器の架台(約610中パイプ)を光輸送管に利用し、この中にフレネルレンズを設置して、レーザー光を約300m毎に集束して輸送し、この光軸に架台の中心を合わせる方法でアライメントを行っている。¹⁾ この方法では莫大な費用と人手を必要とするので、もっと簡便なアライメント方法の確立と、そのシステムの開発を行った。リニアックのアライメントは、加速管4本を含む加速ユニット内の部分的なアライメントと、²⁾ 加速ユニット架台を設定されたビームラインに沿って一直線に並べる、総合アライメントに分けて、作業の単純化と効率化を計ることにした。これに基づいて、加速ユニットの組立て構造や、架台構造の設計が行われた。

アライメントの良否は、加速器の運転の仕易さに関連するだけでなく、ビーム・ブローアップの敷居値にも又大いに関連するので、加速管の中心軸をビーム軌道に対して設定誤差が、最終的に±0.1mm以下になる様に目標値を立てた。この値を満足するためには、アライメントシステムの光軸安定性を $2 \cdot 10^{-7}$ RAD以下に押える必要があり、光源にレーザー光を使用する場合には、発振器の幾何学的構造の僅かな変形が問題となることが明らかになった。この対策としてメニスカスレンズを上下左右に駆動して自動的に光軸の偏向するシステムを開発した。

総合アライメントは、加速ユニット(40台)をほぼ一直線に仮設置するための粗アライメントと、仮設置したユニット架台の光ダクトを結合して真空に排気した後に、レーザー光軸に各ユニット架台の基準軸を合わせる精密アライメントとに分けて行われた。最終的なアライメントは、レーザー光を各架台の基準軸上に取付けられた位置検出用受光素子に当て、その出力信号が零になるよう架台を動かすことで完了するが、この方法による設置誤差は、最大値でも0.3mm以下であった。

§2 アライメント方法

入射器トンネルの床面から約1200mmの高さで、リニアックの両終端を結ぶ直線をビームライ

ンと定義して、これより420mm真下にアライメントの基準軸を設定している。この軸は、電子銃室に設置したレーザ光源を始点とし、これより約420メートル離れた第3スイッチャードに設置した第6コリメーター架台に取り付けてある受光素子の中心を終点とした直線である。

これは、加速ユニット架台に取り付けている光ダクトを通り抜ける。光ダクトの両終端には光軸検出用モニターが取り付け、受光素子の中心が架台の基準軸となる。一方、地表を球形とし、床面が仮にこの地表に沿っているとすると、今、ビームラインを、片方終端で水平になる直線と仮定した場合には、その他端では、床面からの高さには、約14.3mmの差が生ずる。我々は、この差を最小になる様に、加速器の中央点を水平とする直線をビームラインに設定した。ユニット架台を仮設置する時の粗アライメントは、8ユニット(約80m)を限度にして、架台の光ダクトの両終端に光学標的を取り付け、アライメント Telescope を用いて、4ユニット毎の重複延長方法で行った。この方法で、全ての加速ユニットをビームライン上に並べ、各ユニット間を光ダクトで結合し排気真空にした後で、第3スイッチャードに設置された第6コリメーターの受光素子中心を標的にして、レーザ光を通し、各架台の基準軸をレーザ光軸に合わせる。この時、加速管の中心軸とビームラインを一致させるために、架台は常に左右方向の水平を保ちながら調整する。

§3 レーザ光源

レーザ光源は、He-Ne レーザ発振器、集束レンズ、光軸自動補正装置、架台等で構成され、その構造は図1に示す如くである。発振器はNE(製)GLG5700でその出力は25mWである。集束レンズは $f=9\text{mm}$ と $f=150\text{mm}$ を組合せてレーザ光を約15本の平行ビームにして送り出している。光軸自動補正装置は、曲率半径1000mmのメニスカスレンズ(厚さ2mm)と、その駆動装置から成り、アライメント基準軸の他端に設けられた受光素子からの信号をマイクロコンピュータ(PC-8001)で処理して、レーザ光軸の中心が常に受光素子の中心に来る様に、メニスカスレンズを上下左右にインチオーム(尺取虫方式)でパルス的に駆動する。メニスカスレンズの光軸偏向原理を図2に、駆動装置のブロック図を図3に示す。アライメント基準軸変動の真偽チェックは、基準軸上に設置された5ヶ所の基準定点と比較して決定される。つまり、光源又は終点受光素子の位置移動の有無は基準定点の位置との比較によってのみ判断されるからである。

§4 光軸検出用モニター

光軸検出用モニターは、受光面を4分割して、光の中心位置を検出出来る素子(UDT-PIN-SPOT-9D)を、ライトダクト中で、レーザ光に当てたり、光軸からはずしたり出来るモニターヘッド(詳細構造は図4に図示)と、検出素子の出力信号(4CHANNEL)の和と差を取り、位置を電圧出力に変換してメーター表示する回路(図5を参照)で構成される。光の光軸が素子の中心と一致すると位置検出回路の出力は零になるロジックになっている。

§5 まとめ

基準軸の終端に於けるレーザ光のスポットは約30中になり、受光素子の分解能を低下させているので、据付精度が約0.3mm程度になった。レーザ光源の集束レンズ改良によって、スポット寸法を15中に押えれば、据付精度を0.1mm以下にすることが可能となる。直このシステムを開発するに当たって、レーザ光源は松井製作所に、光軸検出モニターヘッドは秋山鉄工株式会社、光軸位

置検出回路は佐藤光枝の各社に、それぞれ多大の協力を得ました事に感謝致します。

- 1) D.Connel, et al. SUPPORT AND ALIGNMENT
p821-885 THE STANFORD TWO-MILE ACCELERATOR
- 2) Y.Iino, et al. PF 2.5 GeV LINAC ACCELERATOR UNIT ASSEMBLY AND ALIGNMENT
Proc. 7th Meeting on Linear Accelerators (KEK Report 1982)

図1 LASER LIGHT SOURCE

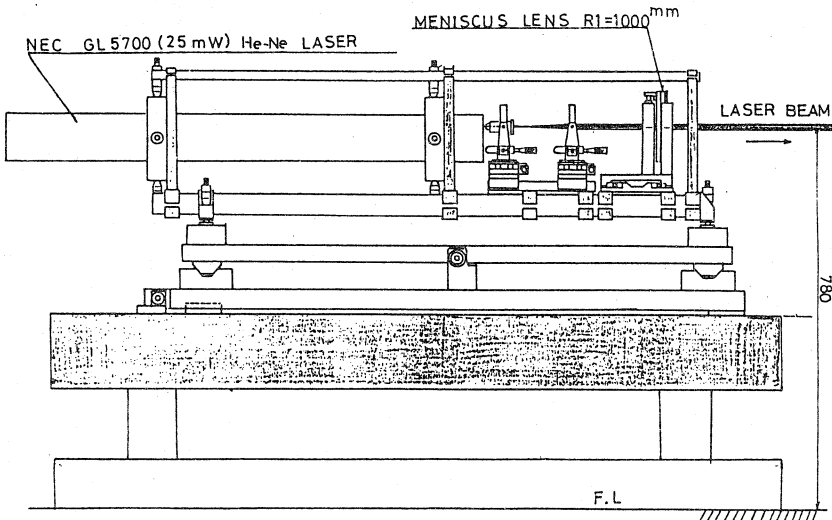


図2 メニスカスレンズ

MENISCUS LENS OPTICS

$$i2 = \sin^{-1}(X2/R2)$$

$$r2 = \sin(X2/rR2)$$

$$\beta = 180^\circ - r2$$

$$r1 = \sin((R2/R1)\sin\beta)$$

$$i1 = \sin^{-1}(n\sin r1)$$

INJECTION ANGLE

$$\theta = (i2 - i1) + (r1 - r2)$$

$$X1 = R1 \sin(\theta + r1)$$

$$dx = X1 - X2$$

EXAMPLE

$n = 1.53$
 $R1 = 1000 \text{ mm}$
 $R2 = 998$
 $X1 = 10.0069$
 $X2 = 10.000$
 $\theta = 3.983 \times 10^{-4}$

DEVIATION: $X = 3.475 \text{ mm}$ 500 m

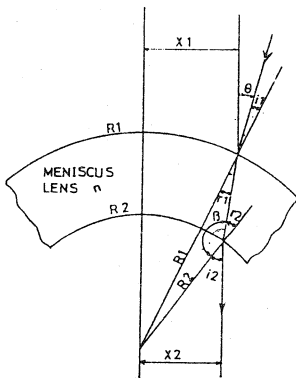


図3

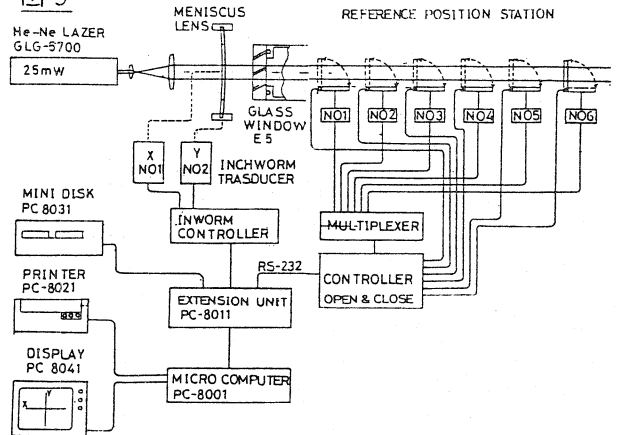


図4 LIGHT BEAM POSITION DETECTOR HEAD

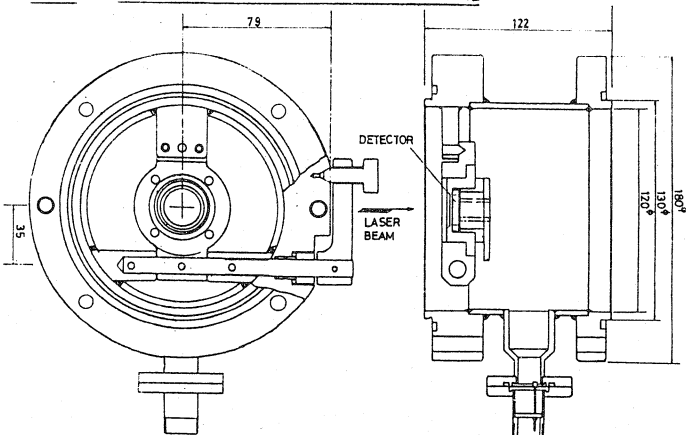


図5

LIGHT-AXIS DETECTOR CIRCUIT

