

21-P22

ALIGNMENT OF LOW EMITTANCE ACCELERATORS

Takaaki MATSUI

ATC, Co. Ltd.

36-7 Namiki, Hachioji, Tokyo, 193 Japan

ABSTRACT

Low emittance beam is essentially important for future high energy accelerators. In order to obtain low emittance beam, precise alignment of accelerator components is required. We propose here a simple method of precise alignment of two adjacent components. With this method, the precision better than $50 \mu\text{m}$ is expected by using two theodolites.

低エミッタンス加速器のアライメント

1. はじめに

これからの高エネルギー物理学研究用加速器、放射光光源用加速器などの低エミッタンス加速器では、数 μm あるいは、それ以下のアライメント精度が要求される。この様な超精密アライメントはビームを用いて行われるが(ビーム・バースト・アライメント)、そのためには、安定したビームが必要である。一般に極限性能を追求した加速器においては、ビームの安定加速に対する許容量も小さいと考えられる。従って加速器コンポーネントの初期アライメントに対しても、より厳しい精度が要求される。

加速器のアライメントについては、数多くの報告が既になされているが、何れも高額な測量装置やシステムによる大がかりなものである^[1]。

現在、我々はこのような要求から、レーザートロッカー、メコメーター、トータルステーション(経緯儀と計算機を一体化した測量システム)等の、高額機器を使用せずに、高精度かつ容易な測量方法、アライメント技術、の開発を目的としてスタディーを行っている。

本稿は、汎用セオドライトを使用し、 $50 \mu\text{m}$ 程度の精度を想定した初期アライメントの為の精密測定方法について考察した。

2. 初期アライメント手順

加速器設置段階のアライメントは、以下のような手順に分けられる。

(1) 各コンポーネントのビームライン上への設置

(2) 各コンポーネント間の相互位置の精密測定

(3) (2) 項測定結果による微調整

(4) 調整後の確認の精密測定

(以下要求される精度が得られるまで、微調と測定の繰り返し)

手順(1)の段階で行う作業は、ビームラインと各コンポーネント設置位置のケガキ、設置、及びその後のレベル調整などであり、コンポーネントをある程度の精度で設置し並べることが主である。

手順(2)以降が精密アライメントである。ここでは、手順(1)で既にある程度の精度以内に並べられたコンポーネント間の相対位置の精密測定を行い、それが設計上のトランス内になるように位置の微調を行う。ここで注意しておきたいのは、精度が要求されているのは隣り合ったコンポーネント間に対してであるということである。前節で想定した $50 \mu\text{m}$ という値はこの意味で、隣接するコンポーネントを $50 \mu\text{m}$ 以内の精度でなめらかにつなぐことを考えている。従って次節以下で述べる精密測定は、隣接する2つのコンポーネント間の相対位置の測定のことである。

3. 相互位置の測量について

加速器の測量を行う一般的な方法に三角測量がある。三角測量は、既知の1辺と2角からその3角形の形、大きさを知ることである。基準となる2点に、それぞれセオドライトを設置してアライメントの対象となるコンポーネントまでの角度を測量し位置座標を求めるわけである。

図1に示すようにセオドライトAの位置を原点に、そこからセオドライトBに向かう直線をX軸に取ると、C点の座標は

$$x = \frac{\cos \alpha \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} l \quad y = \frac{\sin \alpha \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} l$$

で与えられる。但し l は2つのセオドライト間の距離である。この x 、 y の精度 σ_x 、 σ_y は、

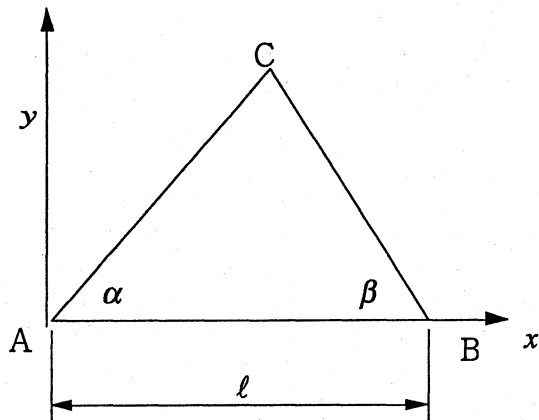


図 1 三角測量

- 1) セオドライトの測角精度 σ_t と
- 2) セオドライト間の距離の精度 σ_l に依存する。これを具体的に見るために $\alpha = \beta = 45^\circ$ の時の σ_x 、 σ_y を計算してみると

$$\sigma_x^2 = \sigma_y^2 = \frac{1}{2} l^2 \sigma_t^2 + \frac{1}{4} \sigma_l^2$$

となる。右辺第1項はセオドライトの測角精度によるもので一般的なセオドライト測角精度3秒を代入すると $(10 \times 10^{-6} l)^2$ となる。従って l が小さい場合は良い精度で測定出来ることがわかる。

一方右辺第2項はセオドライト間の距離の精度によるもので σ_x 、 σ_y を $50 \mu\text{m}$ 以下にしようとすると l の誤差を $100 \mu\text{m}$ 以下にしなければならない。しかし現場でセオドライト間の距離を常にこの精度に保つことは、事実上不可能であると思われる。以上のように近距離の三角測量では、セオドライト間の距離の精度が全体の精度に限界を与えているわけである。

4. 新しい精密測定法の測定精度

我々は上記の限界を破るために次のような方法を考案した。すなわち、図2のように台の両端に

セオドライトを2台取り付けてこのセオドライト取り付け位置間の距離を測定基準長として精密測量を行う方法 (stereo theodolite method)である。

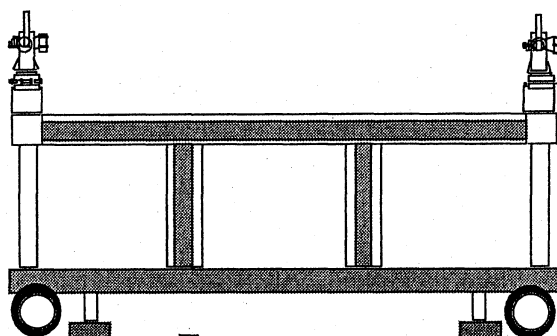


図 2 stereo theodolite

測定基準長については、これを数ミクロンの加工精度で作ることも不可能では無い。しかしそれだけで高額なものとなるので、使用前にインバール線等で較正する方法や、予め温度補正係数を測定より求めて、測定時に温度補正する方法が現実的なものであると考えている。

この方式を用いてアラインメントの精度をどこまで上げられるかは、実際の測定条件と密接に結びついているので、以下では具体的な配置を用いて考察する。ここでは図3に示すように長さ2.5mの加速器コンポーネントを0.5mの間隔でアラインメントすることを考える。このコンポーネントの

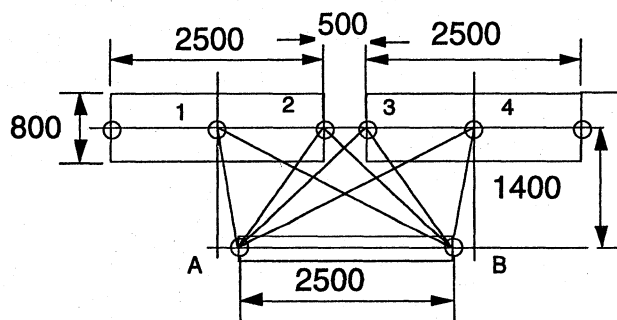


図 3 具体的配置図

中心線上には、両端と中央にセオドライトによる視準のためのターゲットが精度良く設置されているものとする。またコンポーネント及びセオドライトの高さは、あらかじめそろえられているとする。測定基準架台の長さは2.5mとし、ビームラインから1.4mの距離に台が置かれているものとする。この時のターゲット1、2、3、4の位置の

測定誤差は容易に計算でき、ターゲット2、3に対しては

$$\sigma_x \cong 25\mu\text{m} \quad \sigma_y \cong 31\mu\text{m}$$

ターゲット1、4に対しては

$$\sigma_x \cong 25\mu\text{m} \quad \sigma_y \cong 72\mu\text{m}$$

となる、またこの2つのコンポーネント間のアライメントはターゲット1とターゲット2を結ぶ直線とターゲット3との距離でチェックできる。

計算によればこの距離の精度は約80 μm である。但しこの計算は、測角精度3秒のセオドライトを使用したときの計算である。

測角精度1.5秒のセオドライトを使用するとこの精度は40 μm となる。また3秒のセオドライトでも複数回測定を行い測角精度を1/2にすることは可能であるのでアライメントの精度として40 μm を得るのは困難ではない。従って、目標とした50 μm のアライメント精度は、本方式を用いれば、高価な測量機器を使用することなしに達成可能だと考えられる。

また2つのコンポーネント間の、つながりのなめらかさについては、ターゲット1、2を通る直線の傾きとターゲット3、4を通る直線の傾きを比較すれば評価する事が出来るであろう。

本方式の難点は、コンポーネント間の距離が大きくなるとアライメントの精度が悪くなることである。これは相互のアライメントをチェックするために2つのターゲットで決まる直線をターゲットの外側に延長しているためである。

この難点に対する対策・方法の1つとして、同一角の測角の回数をさらに増やし測角精度を上げる方法がある。また測定基準架台の側面を一方のコンポーネントの側面に密着させる等の手段により測定座標系のx軸を一方のコンポーネントの中心線と平行に設定し、相互アライメントの精度を上げる方法も考えられる。

5. まとめ

今回考案した測定方法によって汎用セオドライトを精密位置測量に使用して、50 μm 程度の精度が出せる可能性が示された。この精度は、測定回数を増やせばさらに高くなる。

またこの方法を使えば、直接尺が当てられなような2点間の距離も精度良く測定出来るので、広い応用範囲があるものと考えられる。

謝辞

今回の考察にあたり、御指導いただいた

KEK, JLCグループの多くの方々に御礼申し上げます。

参考文献

- [1] Proceedings of the First International Workshop on Accelerator Alignment, SLAC, California, U.S.A., July 31 - August 2, 1989