

## Survey and Alignment at Construction of SCSS Prototype Accelerator

Hiroaki Kimura<sup>1,B)</sup>、Teruhiko Bizen<sup>B)</sup>、Shunji Goto<sup>B)</sup>、Toru Hara<sup>A,B)</sup>、Atsushi Higashiya<sup>A)</sup>、Toko Hirono<sup>A,B)</sup>、Takahiro Inagaki<sup>A)</sup>、Shinobu Inoue<sup>B)</sup>、Daisuke Iwaki<sup>A)</sup>、Koujiro Kase<sup>A)</sup>、Tomoyuki Kirimura<sup>A)</sup>、Satoru Kojima<sup>A)</sup>、Hirokazu Maesaka<sup>A)</sup>、Xavier Marechal<sup>B)</sup>、Sakuo Matsui<sup>B)</sup>、Haruhiko Ohashi<sup>B)</sup>、Kazuyuki Onoe<sup>A)</sup>、Yuji Otake<sup>A)</sup>、Tadayoshi Sawada<sup>C)</sup>、Takamitsu Seike<sup>B)</sup>、Katsutoshi Shirasawa<sup>A)</sup>、Kazuhiko Tahara<sup>A)</sup>、Takashi Tanaka<sup>A,B)</sup>、Yoshihito Tanaka<sup>A)</sup>、Takanori Tanikawa<sup>A)</sup>、Kazuaki Togawa<sup>A)</sup>、Rieko Tsuru<sup>A)</sup>、Shukui Wu<sup>B)</sup>、Makina Yabashi<sup>A,B)</sup>、Chao Zhang<sup>B)</sup>、Tetsuya Ishikawa<sup>A,B)</sup>、Hideo Kitamura<sup>A,B)</sup>、Tsumoru Shintake<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> RIKEN/SPring-8, 1-1-1, Kouto, Sayo, Hyogo, 679-5148

<sup>B)</sup> JASRI/SPring-8, 1-1-1, Kouto, Sayo, Hyogo, 679-5198

<sup>C)</sup> SHIMIZU Corporation, SEA VANS SOUTH 1-2-3, Shibaura, Minato-ku, Tokyo, 105-8007

### Abstract

SCSS (SPring-8 Compact SASE Source) prototype accelerator was constructed at SPring-8 site. The erection of its beamline tunnel was launched in February 2005. In October 2005, the installation of accelerator components was completed in two months. The total length of this accelerator is 60 m and its positioning tolerance required for each accelerator component is 0.3 mm. Considering such conditions, ordinary alignment procedure by using naked eye with alignment telescopes was adopted. We report survey and alignment at the construction of this accelerator.

## SCSS試験加速器建設時の測量とアライメント

### 1. はじめに

理化学研究所播磨研究所では平成23年度利用開始を目標にX線自由電子レーザー（8GeV）、SPring-8 Compact SASE Source (SCSS)[1]の開発を行っている。その実現のため2004年度から、250MeV試験加速器の設計を開始し、2005年2月に加速器建屋工事着工、8月中旬から2ヶ月間で加速器据え付け作業を行った。この建屋建設開始時から据付作業終了時までに行った、測量とアライメントに関する作業について報告する。

座標系は、ビーム軸をZ軸、高さ方向をY方向、電子銃を背負って右方向がX方向とし、電子銃タンク背面フランジ端面をZ座標の原点とした。

全体を通して使用した測量機器はセオドライトとプリズム(Nikon GF-1, NF000-9)、オートレベル(Topcon AT-M3)、気泡管レベル(Leica N3)、鉛直器(Leica WILD NL)であった。

### 2. 建屋建設時の測量とアライメント

#### 2.1 建築用基準点

今回建設したマシン収納部の2/3は、既存の組立調整実験棟(平成9年竣工)を利用して建てられており、収納部側壁の一部はこの既存の壁を利用することから、建築用基準点を工事前に設置した。光波測距も併用しながら、収納部側の2点(Z, X) = (-1000, 0)、

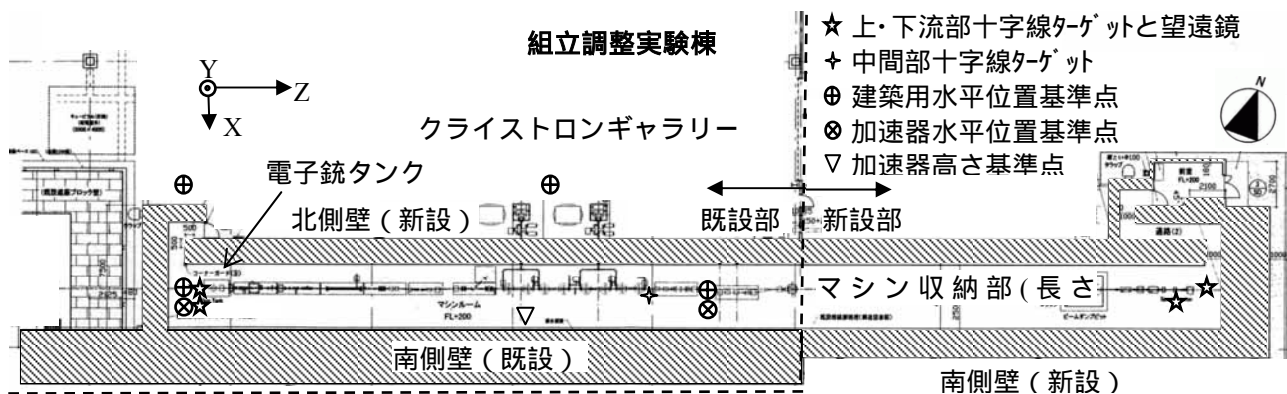


図1. SCSS試験加速器用建屋の平面概略図

<sup>1</sup> E-mail: kimura@spring8.or.jp



図2. 床面研削装置“ゆかとけんさく”

(29600, 0) (単位mm、以後単位がない数字はmm)と、クライストロンギャラリー側の2点(-1000, -5750), (23400, -5750)に、20cm高上げコンクリート打設後も残るよう水平位置基準点を設置した。又、既存壁部とクライストロンギャラリー側の柱に高さ基準マークを設置した。

建設がはじまり、既存建屋の東側から鉄筋でつないだ20m分の新設の収納部ができてくるにつれて、継ぎ目付近の既存収納壁に設置した高さ基準マークが動いている事が観測された。この為、収納部内の高さ基準は、Z=19800付近の壁の高さ基準マークを使用する事とした。

## 2.2 クライストロン等用貫通口

新設の収納部北側壁にはクライストロン導波管等に使用する貫通穴7個(Z=4538 ~ 32966、Y=2300、φ160 or 204)を、±10mmという高い位置精度であける必要があった。その精度を満たすために、北側壁コンクリート打設後にこれらの穴あけを行った。穴あけ位置測量には前述の基準点と光波測距を用いて行い、穴あけ用ダイヤモンドホールドリルも測量器を使って注意深く設置した。穴貫通後、クライストロンギャラリー側でも測量し、位置を確認した。その結果、穴位置誤差(YZ方向)は、収納部側(ドリル側)で平均0.5mm、最大1.5mm、1.5mのコンクリー



図3. SCSS試験加速器 Cバンド加速管部から電子銃方向を見た写真

ト壁貫通後のクライストロンギャラリー側で平均3mm、最大7mmと要求精度を満たす事ができた。

## 2.3 マシン収納部床面研削

この試験加速器では殆どの加速器コンポーネントは石定盤やコージライト架台[2]の上に設置されるが、それらの定盤・架台を圧搾空気で浮上させて位置調整し、その後安定に床面に固定するために、表面粗さ10μm以下、高さ精度100μmで平坦なコンクリート平面をつくる事ができる床研削装置[3](図2)で、必要箇所の研削を行った。

まず初めに、その研削量を少なくする為に収納部の床面(長さ60m)コンクリート打設時になるべく平坦になるよう施工した[4]。コンクリート打設時とその1ヶ月後、2ヶ月後の高さ計測結果のまとめを表1に示す。既存建屋に20cm高上げコンクリートを打設したZ=37mより上流と、基礎(厚さ2.1m)から新設したその下流とでは精度や変化に顕著な差が出た。

表1. 収納部床高さ計測結果 加速器が設置されるラインに沿って55点を計測

		コンクリート 打設時	1ヶ月後	2ヶ月後
高さ 平均	全体	1.4mm	0.2mm	0.1mm
	Z<37m	2.6mm	1.8mm	1.8mm
	Z>37m	-0.4mm	-1.9mm	-2.2mm
P V 値	全体	8.5mm	9.5mm	9.8mm
	Z<37m	4.0mm	5mm	4.3mm
	Z>37m	8.0mm	7.5mm	8.8mm

これらの計測結果を元に、収納部床面基準高さを、建築用基準高さ-2mmに決定した。

研削箇所は、300×600 ~ 1000×750のサイズで43カ所であった。その中で、高さ精度が要求される8カ所(全て750×1000)に関しては±0.1mmで研削する事ができた。それ以外に関しては0 ~ +0.8mmで、但し研削エリアに基準高さ以下の部分がある場合(11カ所)には全面が研削される高さまで研削を行った。

この床研削機は、800×800のエリアを3時間程度で研削する事ができ、その研削面の傾きは0.15mm/m以下であった。

## 3. 加速器据付時の測量とアライメント

### 3.1 アライメントの基本方針

試験加速器の全長は約60m、電子ビーム高さは80cm、据付時に要求された各加速器コンポーネント設置精度は±0.3mmであった。

これらの点を考慮し、アライメントは基本的に電子ビーム軸に平行で、高さ及び水平にそれぞれ700mmオフセットして設置されたアライメント用望遠鏡(Taylor Hobson社[5])/オートレベルと、アライメントスケール(BRUNSON社[6])を使用し、目視によって行う事とした。その為、全てのコンポーネントは、これらの視線を遮る事がないように設計され

た。

但し、アンジュレータ部のBPMに関しては更に高い据付精度が要求されたので、それらに関しては今回報告する粗据付調整後、He-Neレーザーとエアリー像を利用した高精度アライメントを行っている。

### 3.2 加速器据付基準

水平位置基準原点は床面上の(Z, X) = (-1000, 700)に設置し、Z軸方向基準点を(Z, X) = (29600, 700)に、高さ基準点(Y = 1500)は、そのまま収納部の遮蔽壁として利用した既存建屋の壁に、建築用基準点を使用して設置した。

これらの基準点を元に、Z軸に平行で、(Y = 1500, X = 0) と (Y = 0, X = 700) の2本の基準線用十字線ターゲットを、Z = -500, 26300, 約57000の3カ所に設置した(図4)。両端部に設置したアライメント望遠鏡/オートレベルの光軸をこのターゲットに合わせた。これらの望遠鏡を使ってアライメントする事で、上流部と下流部の2カ所で同時に作業を行う事ができた。

Z座標の基準は水平位置基準原点から光波測距と鉛直器を使いX = 700に沿って床面上に約2mごとにZ座標を記入したマークシールを貼り付けた。実際にはこのマークシール2つと2m直尺・直角定規を使って各定盤・架台のZ位置基準線をけがいた。

### 3.3 石定盤のアライメント

試験加速器では加速器コンポーネントの架台として、石定盤(OELZE社[7]、上面平面度:JIS1級、L1.5m~2.5m、W700、D350or450、重量2.2t(L2.5mの場合))が13台使用された。定盤には、高精度T溝レール(JIS1級H8)が取り付けられており、このT溝レールを基準に定盤をあらかじめアライメントして



図4．基準線用十字線ターゲットと望遠鏡。  
左から上流部、中間部、下流部。

おく事で、コンポーネント据付時には定盤上流端から直尺でZ位置を測りながらT溝に合わせることで、設計位置に機器を固定する事ができる。

石定盤の脚部には4つのレベリングジャッキ付エアパッド[8](ストローク $\pm 2$ mm)が取り付けられており、高さ・傾き・位置を調整する事ができる。石定盤のアライメント方法の概略は以下の通りである(図5参照)。

- 1)石定盤を仮置き後、上面高さを基準-0.5mmに、傾きを0.05mm/mにする。  
上面に精密水準器をおいて傾きを計測し、治具とアライメントスケール(図5C)を立てて高さ基準用望遠鏡(図5A)で高さを計測する。
- 2)Z方向の位置を $\pm 0.2$ mm以内に、X方向の位置を $\pm 2$ mmで合わせる。  
石定盤の上下流角から下げ振りを垂らし、4つのエアパッドで定盤を浮かして、床にけがいたZ位置基準線とX位置基準(目標)位置に合わせる。4つのエアパッドが均等荷重でないと定盤がうまく浮上しないので1)時に各パッドの突っ張り具合を調整する。
- 3)X方向位置を $\pm 0.2$ mmに合わせる。  
上面にセットした上下流の2つのアライメントスケール(図5D)を水平方向基準用望遠鏡(図5B)で見ながら、1つのエアパッドを固定点とし、3つのエアパッドで定盤を浮かして回転させる事でZ方向に動かさずに、上下流のX方向位置を交互に調整する。微調整には架台微調整治具(図5E)とダイヤルゲージも使用する。

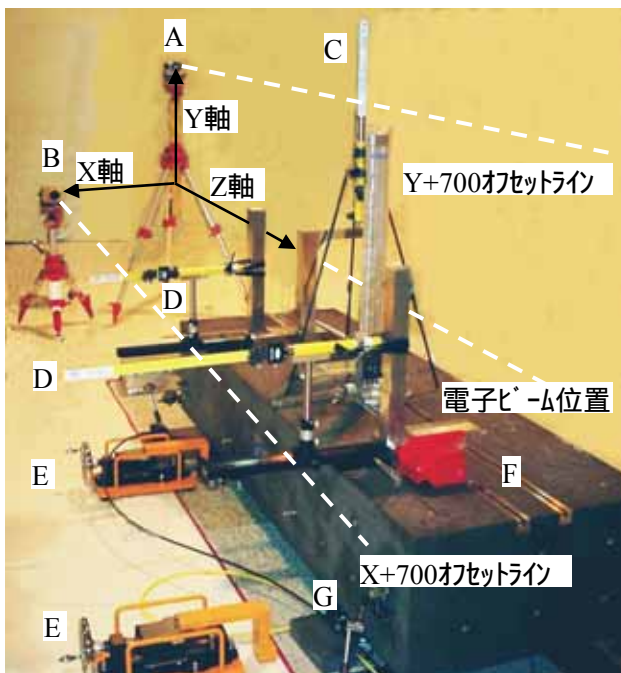


図5 石定盤据付アライメント法R&D時の写真  
A:ビーム高さ+700mm高さ基準用オートレベル  
B:ビーム位置+700mm水平方向基準用オートレベル  
C:高さ測定用アライメントスケール  
D:水平方向測定用アライメントスケール  
E:架台微調整治具  
F:高精度T溝レール付き石定盤  
G:レベリングジャッキ付エアパッド



- 4) 上面高さを基準 $\pm 0.2\text{mm}$ に、傾きを $0.05\text{mm/m}$ にする。  
1)と同様の方法で最終的に高さを合わせる。

上記手法で1つの石定盤をアライメントするには3時間程度を要した。

石定盤の脚部は、コンクリート研削面上に載っている4つのエアパッドの上に、玉軸受け(エアパッド上で傾きを吸収する)を通して載っている構造になっている。そのため、エアパッド部を固定しても本体を固定した事にならない。そこで、地震対策も兼ねて石定盤を4つのアンカーボルトとターンバックルで直接コンクリート面に固定した(図3参照)。

### 3.4 コージライト架台のアライメント

Cバンド加速管と、アンジュレータ部BPM部の架台には振動特性に優れたコージライト架台(12台)が使用された。この架台は、T溝レールがついた天板部と高さ調整用リング状スペーサー及びコージライト部から構成されており、コージライト部底面にはエアパッド円板が取り付けられている。

架台は高さと傾きに関しては調整機構を持っていない。そのため、床研削面の設置位置に一度仮置きし、天板傾きを確認しながら天板高さを計測して必要なスペーサーの厚さを求め、その厚さにスペーサーを機械加工してから本設置を行った。

Z位置に関しては石定盤と同じ方法でアライメントを行った。X方向位置に関しては、天板のZ方向長さが700と短いので、天板上の1か所であらignmentスケールを使ってX位置を合わせながら、天板上のYZ平面に平行に取り付けた鏡をペントリフレクターを通してX+700の望遠鏡でオートコリメーションをする事(図6)でZX平面の角度を合わせた。その際には、エアパッド浮上時の動きを抑制するために鉛ブロックを使用した。

### 3.5 その他の機器のアライメント

石定盤/コージライト架台に載っていない、電子銃タンク、アンジュレータ、ダンプマグネット等も、各機器の基準面にアライメントスケールを当てて定盤等と同様の方法でアライメントを行った。クライストロンギャラリ部のクライストロンは、収納部側から組み上げていった導波管にきちんと接続するように据え付けた。その際、クライストロン脚部のエアパッドは大変有用であった。

最終的にはアライメント用望遠鏡/オートレベルから20m以内の石定盤・架台・機器は $\pm 0.1\text{mm}$ で、20~30mのものは $\pm 0.2\text{mm}$ で設置する事ができた。

## 4. おわりに

これらの測量・据付作業の後、2005年10月下旬から試験加速器はビーム運転を開始し、11月の終わりには電子ビームを最下流まで通す事ができた。しか

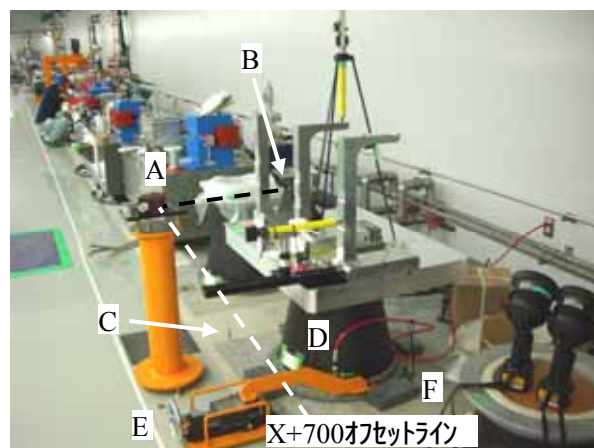


図6. コージライト架台アライメント時の写真  
A: ペントリフレクター、B: オートコリメーション用鏡、C: 下げ振り、D: コージライト架台、E: 架台微調整用治具、F: 鉛ブロック

し、時間の経過と共に、 $Z > 37\text{m}$ の床基礎新築部分での $1\text{mm}$ 程度の床面沈下が計測されたので、2006年4月からのアンジュレータ2号機据付時に合わせて $37\text{m}$ より下流部の再アライメントを行った。その後5月からレーザー発振に向けての調整を再開し、6月には波長 $49\text{nm}$ のSASE発振光を観測する事ができた。

試験加速器の測量・アライメントは、 $8\text{GeV}$ の本加速器の為のR&Dでもある。本加速器の加速部( $450\text{m}$ )は試験加速器と同様の据付精度(現在のところ)なので、今回と同様に $30\text{m}$ ごとにオフセットした基準点を設置し望遠鏡でアライメントすることを考えている。アンジュレータ部( $200\text{m}$ )に関しては、この粗アライメント時にも地球の丸みを考慮したアライメントをする必要があり、デジタルレベルの使用も考慮に入れて検討を進めている。

## 参考文献

- [1] T. Shintake, et al., "SCSS試験加速器の現状、ならびにX線自由電子レーザー計画について"、本学会報告集
- [2] Y. Otake, et al., "コージライト製安定架台の開発：振動測定について"、本学会2005年報告集, p409
- [3] T. Shintake, et al., "床面研削装置の開発"、本学会2005年報告集, p202
- [4] H. Kimura, et al., "ミリメートル精度のコンクリート床面のレベル調整"、本学会2005年報告集, p412
- [5] [http://www.taylor-hobson.co.jp/product/pro\\_3mat.html](http://www.taylor-hobson.co.jp/product/pro_3mat.html)
- [6] <http://www.brunson.us/Products/803-M.asp>
- [7] <http://www.oelze-praezision.de/en/index.htm>
- [8] K. Togawa, et al., "重量物の精密位置決め用エアパッド開発"、本学会2005年報告集, p406