

PROTOTYPE SCREEN MONITOR FOR XFEL/SPring-8

Shinobu Inoue^{1,A)}, Kenich Yanagida^{B)}, Yuji Otake^{A)}

A) RIKEN, XFEL Joint Project /SPring-8
1-1-1, Kouto, Sayo, Hyogo, 679-5148

B) JASRI, XFEL Joint Project /SPring-8
1-1-1, Kouto, Sayo, Hyogo, 679-5198

Abstract

A prototype screen monitor for XFEL/SPring-8 is developed and verified at the SCSS test accelerator. The imaging apparatus has a high-resolution (<10 μ m) optical system with variable magnification of 1.2x-4x. In order to change the magnification ratio by remote control, a lens and an imaging device are mounted on motorized stages. The screen actuator can hold two screen targets, an OTR target and a fluorescent plate target, and can switch them by an air cylinder. We developed a thin OTR target made of 100 μ m-thick stainless-steel foil in order to reduce demagnetization of undulator magnets due to scattered particles at the target. We performed a beam experiment of the prototype screen monitor with the thin OTR target at the SCSS test accelerator and we appropriately obtained an electron beam profile.

XFELに向けたスクリーンモニター試作機

1. はじめに

現在SPring-8キャンパスにX線自由電子レーザー (XFEL) 施設を建設中である。XFELでは30 μ m以下の電子ビームサイズを測定する必要がある。本施設では電子ビームの横方向空間構造の測定器としてスクリーンモニター (SCM) を採用する。SCMはXFELの技術試験の目的で建設されたSCSS試験加速器でも採用されており、SCSS試験加速器のSCMの評価から以下を開発する必要がある。(1) SCSS試験加速器では市販のズームレンズをCCDカメラにマウントして撮像しており分解能が不足しているSCMである。市販のレンズでは収差などのレンズの特性が不明確であり、XFELではSCMの分解能が既知の光学系で構成される必要がある。特にQスキャンによるエミッタンス測定用SCM・RFディフレクター^[1]を用いた精密縦方向構造測定用SCM・アンジュレーター区間用SCMは10 μ m以下の高分解能なSCMが必要である。(2) SCSS試験加速器ではOTRターゲットにパイレックスガラスに金が蒸着された金ミラーを用いている。XFELではOTRターゲットの耐久性と放射線シャワーによるアンジュレーター永久磁石の減磁は問題である、このため丈夫で放射線シャワーの少ないOTRターゲットが必要である。(3) 蛍光ターゲットに用いているアルミナ蛍光板ターゲットには蛍光板厚分の滲みがあり正確な測定ができていない、このため滲みが少ない蛍光ターゲットが必要である。(4) SCSS試験加速器のSCMはターゲットを1枚しか設置できない。このため初期のビーム調整時には入射部 (50MeV前後) では蛍光ターゲットとOTRターゲットを入れ替える作業が必要であった。真空作業が必要となりビーム調整の効

率面から問題となった。このためXFELでは蛍光ターゲットとOTRターゲットの2種類のターゲットを設置し切り換えが可能なSCMが必要である。

このようなSCMのための新しい光学系^[2]と機械系を一から設計・製作し、要求性能を満たしていることを確かめた。本稿では、光学系架台・スクリーン駆動部の機構部とスクリーンターゲットの詳細、その性能について報告する。

2. SCMの機構部

2.1 概要

SCMは、真空槽内のスクリーンターゲットである蛍光板ターゲットやOTRターゲットを電子ビームが通過する際に生じる可視光を、合成石英視窓を通して大気中のレンズにて集光して結像しCCDカメラにて撮像する装置である。10 μ m以下の高分解能で測定可能なSCMを開発は光学系が非常に重要であり、機構部は光学系が満足する光学系架台と位置再現性のあるスクリーン駆動部が必要である。光学系は倍率4倍から1.2倍までの可変倍率光学系にした。SCMターゲットの発光点からレンズまでの距離はSCM真空槽、合成石英視窓、真空槽内用照明と倍率校正用ターゲット (後述) が設置可能な100mmとした。この条件で要求分解能を満たすのは4倍ズーム光学系であった。倍率4倍時は現在予定しているCCDカメラでは視野が2.2mm (H) x1.7mm (V) と狭くビーム調整時に発光点が視野から外れる可能性がある。このため倍率1.2倍まで変化させ視野を7.4mm (H) x5.5mm (V) まで拡大できる可変倍率光学系にする。

¹ E-mail: inoues@spring8.or.jp

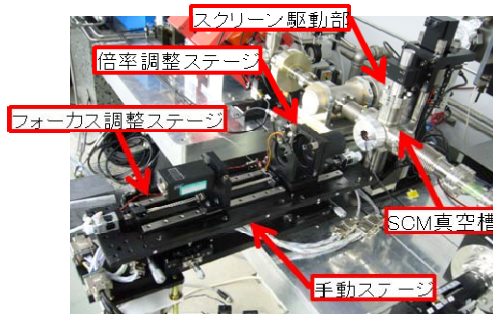


図 1：光学系架台

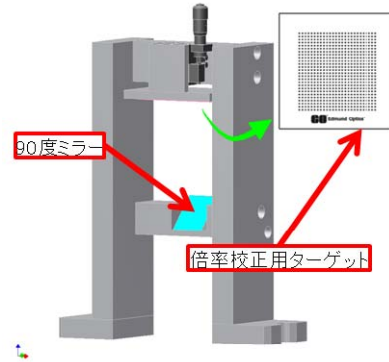


図 3：倍率校正ターゲット治具

2. 2 光学系架台部

図1に示す光学系架台部は、2台の駆動ステージを持ち、レンズとCCDカメラを別々に駆動する。別の駆動ステージにレンズとCCDカメラを搭載したのは、倍率を4倍から1.2倍にするためにレンズを約51mm移動させるのに対してピント調整のためのCCDカメラの移動量が約193mm必要で、相互の移動量が大きく違うからである（図2参照）。2台の駆動ステージはレゾルバ付24角パルスモーター（株式会社メレック：TS3678N900）にて駆動する。レンズを移動させる駆動ステージ（倍率調整ステージ）は移動量が65mmある。CCDカメラを移動させる駆動ステージ（フォーカス調整ステージ）は移動量が210mmある。

倍率調整ステージとフォーカス調整ステージは同じ手動ステージ上に設置される。これはレンズの光軸とCCDカメラの関係を崩さず観測点を調整するためである。手動ステージは市販ステージで主に構成され、水平方向・回転方向・鉛直方向・あおり方向に調整可能である。

2. 3 光学系架台部の精度

倍率を4倍から1.2倍にしたずれ量を画像から求めると、垂直方向：150 μm ・水平方向：20 μm であった。垂直方向に大きな誤差がある原因は、手動

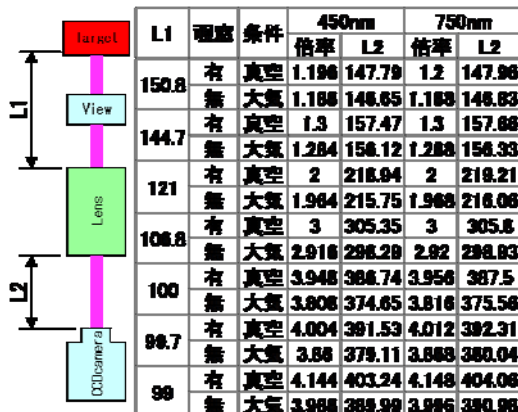


図 2：光学シミュレーションによる倍率とレンズ・CCDカメラ位置

ステージ天板に用いた市販の光学機器用のブレッドボードに一樣でない歪みがあり、フォーカス調整ステージを歪ませているためである。シムにて調整を行ったが、締結具合にてフォーカス調整ステージの歪み具合が変化するため誤差を少なくするには至っていない。しかしこのずれ量は、最大倍率と最小倍率間での位置でも分解能を保持しながら画角内にプロファイルを観測できることを示す。

2. 4 倍率校正用ターゲット

光学系が倍率4倍から1.2倍のズーム機能があるため、レンズ位置・CCDカメラ位置と結像倍率を校正する必要がある。

図3は倍率校正治具である。倍率校正治具はSCMターゲット観測面の模倣面にグリッドディストーション図票（Edmund Optics）を下向きに取り付け、鏡を利用し90度横から測定する。倍率校正治具はレンズとSCM真空槽の合成石英視窓の間に設置する。手動ステージ上のピン3本に倍率校正治具を押し当て位置決めを行い再現性の高い設置が可能である。

倍率校正治具で倍率を校正し視窓を通し真空内のSCMターゲットを確認すると、ピントが合うカメラ位置が光学シミュレーションと異なる値であった。この原因はレンズとターゲットの間にある視窓の合成石英ガラスの予想の屈折率からのずれにあると考えている。このため倍率校正治具に視窓と同じ合成石英ガラスを取付けられる構造に変更する。

2. 5 スクリーン駆動部

スクリーン駆動部は、エアシリンダーを用いて3位置に停止できる構造である。2つのターゲット位置とビーム通過位置の3位置に停止するため、真空内の移動量が大きい。ターゲットの設置位置精度を出すため、スクリーン駆動部は両側から支持する構造を採用した。

図4はSCMチャンバー本体の内部構造である。スクリーンターゲットは、大気中の駆動を真空中に伝達する軸（スクリーンシャフト）に直接取り付ける。スクリーンシャフトの最上部にビーム通過用開口、中央部は蛍光板ターゲット取付部、最下部はOTRターゲット取付部である。蛍光板ターゲット取付部

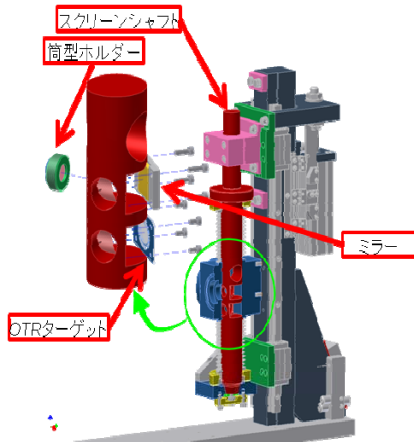


図 4 : スクリーン駆動部

はビーム入射開口にねじ加工がされており、Ce:YAG等の透明蛍光板を搭載した筒型ホルダーを取り付け、45度の加工面に取り付けた鏡にて蛍光を観測開口へ導き観測する。OTRターゲットは45度の加工面に取り付ける。

スクリーンシャフトは、下部の先端がテーパーになっており下部フランジ内のテーパー穴で同心円を拘束しながら真空内で固定し、上部はシャフトクランプにて大気中で固定する。スクリーンシャフトとシャフトクランプは水平方向の回転をピンで拘束している。シャフトクランプがエアシリンダーと接続しており、エアシリンダーの駆動をスクリーンシャフトに伝達する構造である。

3. スクリーンターゲット

3.1 OTRターゲット

OTRターゲットは放射線シャワーを減らすため、衝突面の厚みが $100\mu\text{m}$ である。図5はOTRターゲット(SUS材)である。楕円内部の鏡面部(表面粗さRa:4.8nm/Rz:33.9nm/Ry:46.5nm)がビーム衝突面で厚さ $100\mu\text{m}$ と薄く、周囲の額縁部の厚さは1mmで強固である。中央部の楕円部をスポーク状に支持しているのは、製造時に鏡面部に加わる応力を逃がすためである。OTRターゲットはアロン社で製造され、フォトエッチングで製作した厚さ $100\mu\text{m}$ のSUS板を、拡散接合で10枚接合している。スクリーンシャフトへの取り付けは、周囲の4つの穴でねじ止めして取り付けられる。鏡面部の変形(窪み)は中心付近 $\phi 5\text{mm}$ の範囲内で約 $3\mu\text{m}$ であり、大きくないことが確認された。SCSS試験加速器にて電子ビームにてOTRを観測し、OTRターゲットとして問題ないことを確認した。(図6参照)

3.2 蛍光板ターゲット

蛍光板ターゲットはCe:YAG等の透明蛍光板を準備している。透明蛍光板からの蛍光は、ビーム衝突面の裏から鏡にて観測する。実際の電子ビーム試験による評価は今後行う。



図 5 : OTRターゲット

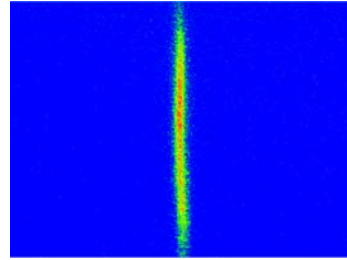


図 6 : SCSS試験器によるOTR

4. まとめ・今後

$10\mu\text{m}$ 以下の高分解能で測定可能なSCMを開発した。倍率4倍時に高分解能($2.5\mu\text{m}$ 程度)になる光学系は、視野の問題から倍率4倍から1.2倍まで倍率を変更できる光学系架台に搭載する。倍率4倍から1.2倍にしたずれ量は、撮像画像から垂直方向: $150\mu\text{m}$ ・水平方向: $20\mu\text{m}$ であった。このことは、最大倍率と最小倍率間のどの位置でも分解能を保持しながら画角内にプロファイルを観測できることを示す。倍率校正治具で倍率を校正し視窓を通し真空中のSCMターゲットを確認すると、ピントが合うカメラ位置が光学シミュレーションと異なる値であった。この原因はレンズとターゲットの間にある視窓の合成石英ガラスの予想の屈折率からのずれにあると考えられている。このため倍率校正治具に視窓と同じ合成石英ガラスを取付けられる構造に変更する。スクリーン駆動部はOTRターゲットと蛍光板ターゲットの2つのスクリーンターゲットが設置でき、エアシリンダーにて切り替えることが出来る。

OTRターゲットはビーム衝突面が厚さ $100\mu\text{m}$ と薄く、周囲が厚さは1mmと強固な形状である。SCSS試験加速器の電子ビームにてOTRターゲットとして問題ないことを確認した。透明蛍光板の評価を今後行う。

参考文献

- [1] H. Ego et al., Design of the Transverse C-band RF Deflecting Structure for Measurement of Bunch Length in X-FEL, Proc. of the 11th European Particle Accelerator Conference, EPAC08 (2008).
- [2] K.Yanagida, et al., OPTICS OF SCREEN MONITOR FOR XFEL/SPring-8, Proc. of the 5th Particle Accel. Soc. of Japan (2008), in Japanese.