

中部シンクロトロン光施設ビームラインの概要

岡本 渉

名古屋大学シンクロトロン光研究センター

1. 施設の概要

現在、愛知万博跡地に建設中の「中部シンクロトロン光利用施設（仮称）」は、名古屋大学の立案による地域密着型のシンクロトロン光利用施設計画で、愛知県、産業界、大学、研究機関が一体となって推進している。ここでは、当初6本のビームラインが整備が予定されている。2012年の供用開始を目指し、実験装置やビームライン・コンポーネントが既に用意され始めた。

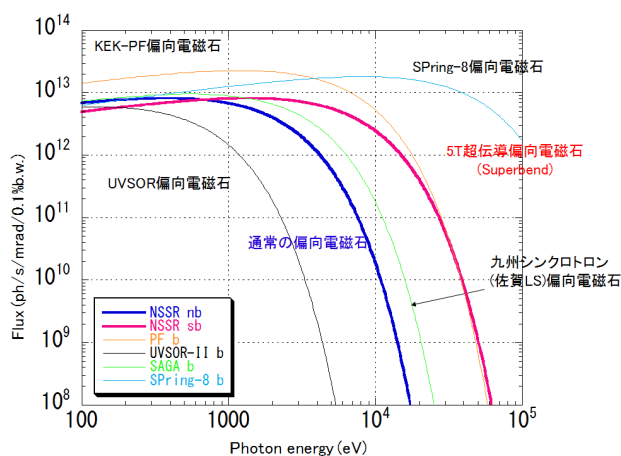


図1 放射光スペクトル

| | |
|------------|----------------------------------|
| 蓄積電子エネルギー | 1.2 GeV |
| 周長 | 71.9 m |
| 蓄積電流 | 300 mA 以上 |
| エミッタンス | 55 nm・rad 以下 |
| 水平垂直カップリング | 1%以下 (補正無し) |
| 自然エネルギー広がり | 9×10^{-4} 以下 |
| ラティス構成 | Triple Bend セル 4 回対称 |
| 常伝導偏向電磁石 | 1.4T 偏向角 39° \times 8 台 |
| 超伝導偏向電磁石 | 5T 偏向角 12° \times 4 台 |
| 直線部 | 5.2 m 以上 |

表1 光源諸元

中部シンクロトロン光施設の特徴として、4台の超伝導偏向電磁石（5T）により硬X線が利用可能なことが上げられる。また、フルエネルギー入射器により供用開始3年以内にトップアップ運転を開始する予定である。

2. 当初整備ビームライン

供用開始時には、BL5,6,7,8に2本のブランチを設けた図2のような配置で6本のビームラインが用意される。なお、その後近い将来に整備されるビームラインとして、『タンパク質結晶構造解析』、『ナノ加工』、『赤外イメージング』等が予想される。超伝導偏向電磁石は4台で、将来的に十分な数の硬X線ビームラインの建設の可能性を担保するために、それぞれの超伝導偏向電磁石から3本のブランチ・ビームラインを引き出せるようにしておいた。ブランチ間隔は当初は偏向角3度を想定していたが、超伝導偏向電磁石の磁場分布を考慮し、現在は4, 6, 8度の2度間隔で設計を進めている。

比較的小型のリングに2度間隔でブランチを設置するため、基幹部のコンパクト化や水平分散の一結晶分光器の多用を検討している。また、エンドユーザーが使う実験装置やラック類がユーザーが実験する上で支障がないかを、(図3)のように平面図に配置して考慮してある。

常伝導偏向電磁石

軟X線 XAFS ビームラインは二結晶分光器の結晶の交換によって 1keV 以下から 6keV 程度までをカバーする予定である。

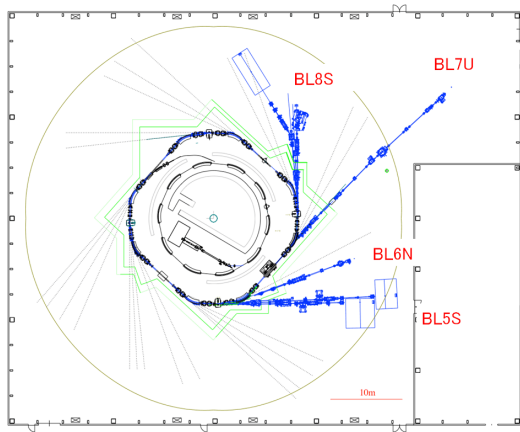


図2 ビームラインの配置

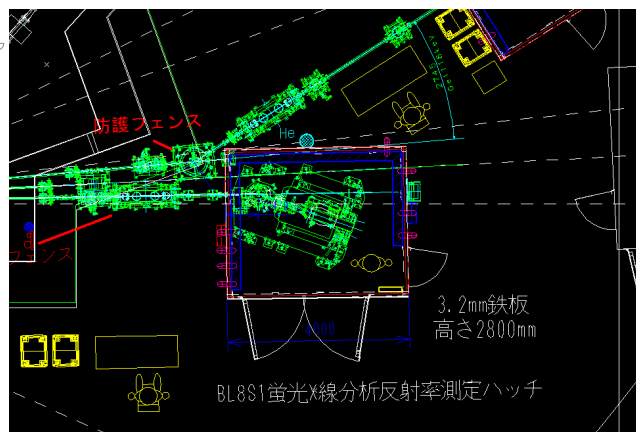


図3 ビームライン周りの様子

10mrad 程度の比較的広いビームを集光して使用出来るよう、1:1 集光のベントシリンダーミラーと二結晶分光器の光学系を検討している。ゴロブチェンコ型二結晶分光器をミラーによる集光が進んだ下流に置くことにより、分光結晶の大型化を避けることができる。

超伝導偏向電磁石

4本の硬X線ビームラインのうち硬X線 XAFS と粉末回折の2本のビームラインが二結晶分光器のビームライン、小角散乱と表面・界面の2本のビームラインが一結晶分光器のビームラインである。

中部シンクロトロンは、1.2GeV と比較的低エネルギーのリングであるためビームの発散が大きい。このため、二結晶分光器のビームラインでは分光器の上流に垂直方向のコリメーティングミラーを挿入し、コリメーティングミラー：分光器：集光ミラーの光学系としている。また、一結晶分光器のビームラインでは、表面・界面のビームラインはエネルギー可変とするが、小角散乱のビームラインはエネルギー固定(SRS BL2 type)として検討している。

| ビーム ライン名 | マグネット | 測定手法 | 光エネルギー範囲 (波長範囲) | ビーム サイズ | 分解能(E/ΔE) | 光子数 個/sec |
|-------------|---------|--------------------------------|----------------------------|---------------------|-------------|----------------------|
| BL5S1 | 超伝導 | 硬X線 | 5~20 keV | 0.40 mm× | 7000@12keV | 1×10 ¹¹ |
| | | XAFS | (0.25~0.06 nm) | 0.14 mm | | |
| BL5S2 | 超伝導 | X線回折 | 5~20 keV (0.25~0.06 nm) | 0.40 mm× 0.14 mm | 7000@12keV | 1×10 ¹¹ |
| BL6N1 | 常伝導 | 軟X線 | 0.85~6 keV | 0.6 mm× | >2000@3keV | 7×10 ¹⁰ |
| | | XAFS | (1.5~0.2 nm) | 0.2 mm | | |
| BL7U | アンジュレータ | 真空紫外分 光軟X線 XAFS 光電子分光 | 30~850 eV (40~1.5 nm) | <0.04 mm× 0.1 mm | >5000@200eV | 1×10 ¹² |
| BL8S1 | 超伝導 | X線反射率 蛍光分析 | 5~20 keV (0.25~0.06 nm) | 0.42 mm× 0.14 mm | 2000@12keV | 1×10 ¹¹ |
| BL8S3 | 超伝導 | 小角散乱 | 8.2 keV (0.15 nm) | 0.67 mm× 0.14 mm | 2000@8.2keV | 7.7×10 ¹⁰ |

表2 ビームライン諸元

3. ビームライン・コンポーネント

平成 23 年 8 月の建屋完成に先立ち、本年度末(平成 23 年 3 月)に JST 補正予算分の実験機器が納入される。開発・製作は名古屋大学を初めとするパワーユーザーとメーカーが共同で行っている。納入されるものには超高真空チャンバーなども含まれるため、保管は実験ホール南側に仮設テントを設け空調をかける予定である。現時点(平成 23 年 1 月)では、各装置の製作は順調に進んでいる。

| ビーム ライン名 | 測定装置特徴 |
|-------------|---|
| BL5S1 | 透過測定用イオンチェンバーと蛍光測定用多素子 SSD を備える。試料温度変更用のクライオスタットも整備予定。運用開始後、順次 Q-XAFS を整備し、時分割測定を可能とする。 支燃性・可燃性排ガスダクトを整備し、製造現場の実使用環境における測定をサポートする。自動試料交換装置の導入による自動化も検討する。 |
| BL5S2 | 半径 286 mm 幅 400mm のイメージングプレート(IP) 大型デバイセラーカメラと二次元半導体検出器を備え、高分解能測定と高速データ収集を可能とする。通常の試料軸の他に高速回転のスピナーと薄膜用アタッチメントを装備する。SPring-8 産業利用ビームラインと同等の試料自動チェンジャーを装備し、多数の測定試料の連続自動測定も可能とする。 |
| BL6N1 | 電子衝撃加熱による試料加熱可能な試料マニピュレータと、静電半球型光電子分光アナライザを装備する表面 XAFS チャンバと、ロードロック及び試料輸送機構を備え、イオンスパッタ装置、LEED 分析器を装備する試料準備チャンバを整備する。また、大気圧条件 XAFS 測定システムを合せて整備することで、製造現場や材料の実使用環境における測定をサポートする。 |
| BL7U | 高分解能の静電半球型光電子分光装置と 2 次元位置検出器を備え、電子エネルギーと試料からの電子放出角度(および電子放出位置)を 2 次元マッピングできる。多用な分析手法を併用可能とし、試料搬入系(試料バンク、準備槽)の設置と多数試料の搬入系を工夫することにより、多数の試料の多様な測定を迅速に行うことを可能とする。 |
| BL8S1 | カウンタの他に二次元検出器を備え、表面すれすれ入射条件を利用したエピタキシャル薄膜および基板格子の逆格子マッピング測定や半導体薄膜の結晶性評価や構造変化の解析を可能とする。 |
| BL8S3 | 自動読取イメージングプレート検出器と二次元半導体検出器を備え、高精度静的測定と時分割測定を可能とする。さらにフラットパネル検出器を併設することで小角と高角の同時測定を可能とする。カメラ長は最大 4m とし、試料位置に自由度を持たせることでユーザー持ち込みの大型な試料環境装置にも対応する予定である。 |

表 3 各ビームライン測定装置の特徴

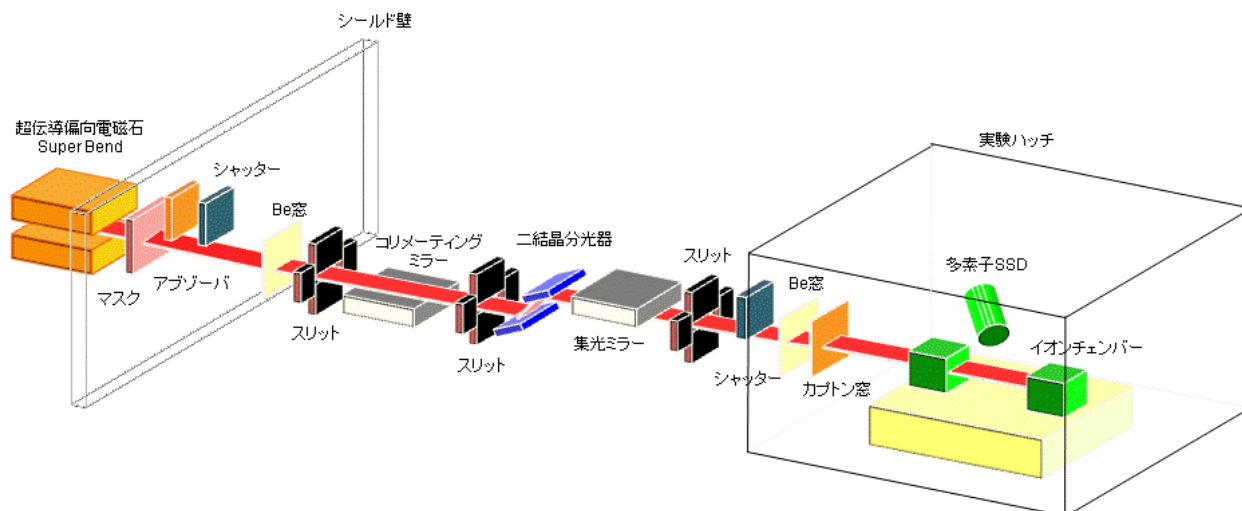


図4 硬X線XAFSビームライン模式図

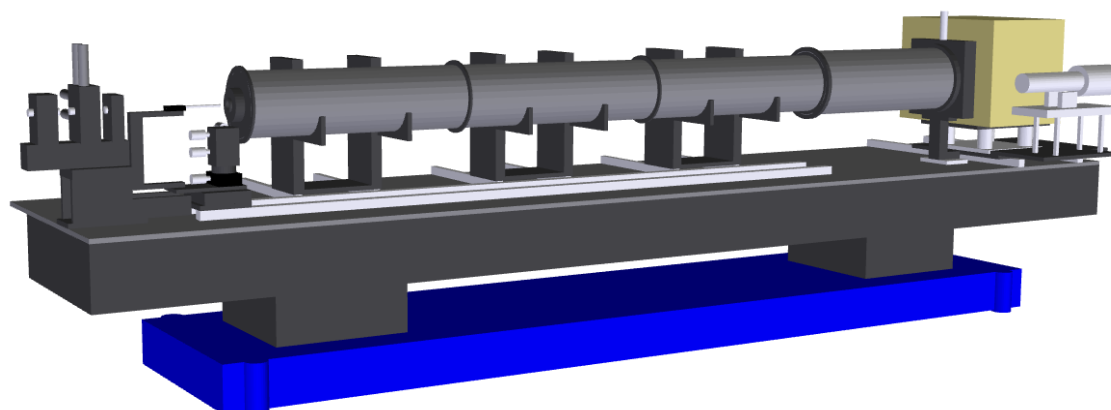


図5 測定装置概略図（小角散乱）

4. 非対称集光一結晶分光器

数多くあるビームライン・コンポーネントの中から、ここでは非対称集光一結晶分光器を紹介する。4本ある硬X線ビームラインにおいて、小角散乱と表面・界面の二つの分光器を一結晶分光器とした。

結晶ベンダー

小角散乱ビームラインBL8S3では、分光器：ミラーの光学系としたため、エネルギー固定である。しかし、ユーザーから8keVだけでは不満とされ、より高エネルギーの単色X線と2つを選択して使用することが希望されている。中部SRでは、保守要員の体制が不明なため、結晶交換が容易に行える必要がある。厚さ2mmの分光結晶を水冷のベースプレート上にクランプした結晶ホルダーを結晶湾曲機構に保持し、全体を湾曲する機構とし、2枚の分光結晶を上下に2枚同時に保持出来る構造とした。上下をGe(111)とGe(220)の2枚とすることで、8keVと13.9keVを切り替えて使用できる。

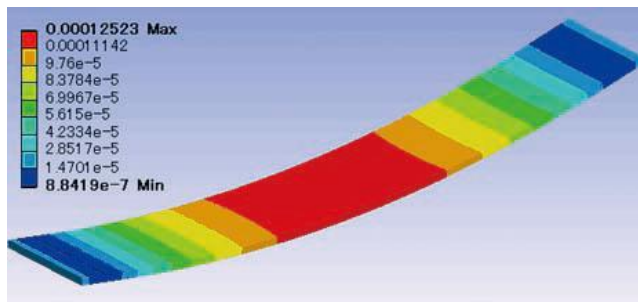


図6 Ansysによる応力変位解析

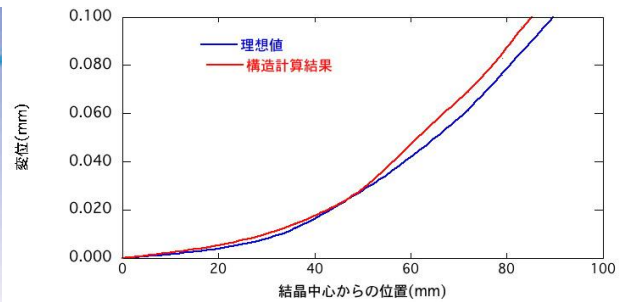


図7 結晶変位の値

結晶冷却

分光器が水平分散型であるため、結晶は垂直に保持される。分光結晶と水冷ベースプレートとの隙間が小さいと結晶とベースプレートが貼り付いてしまい、In-Gaの不均一な厚さが結晶表面形状に影響し、隙間が大きいとIn-Gaが落下流出してなくなる(NSRRC TLS BL13)。本分光器では、結晶とベースプレートの隙間を0.25mmとし、さらに、結晶背面部分に1.5mm幅で0.25mm深さの溝構造を形成することとした。

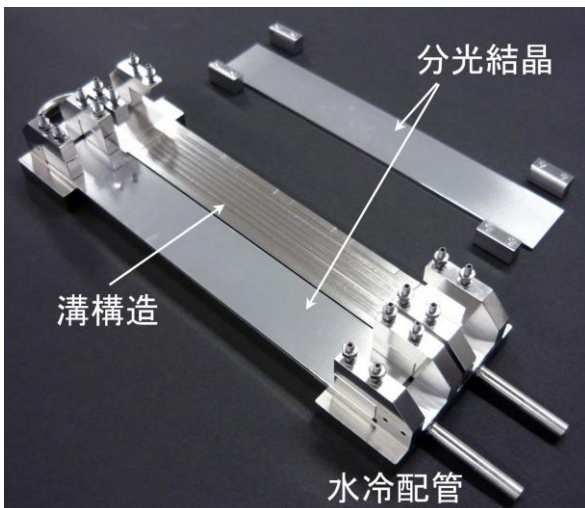


図8 結晶ホルダー周り

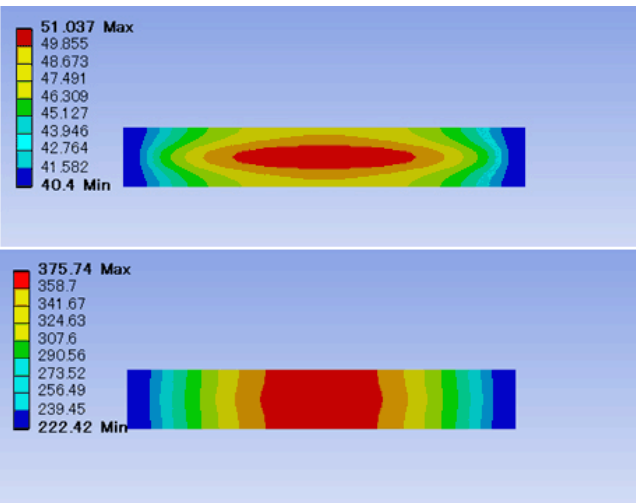


図9 Ansysによる熱解析（上:冷却 下:非冷却）

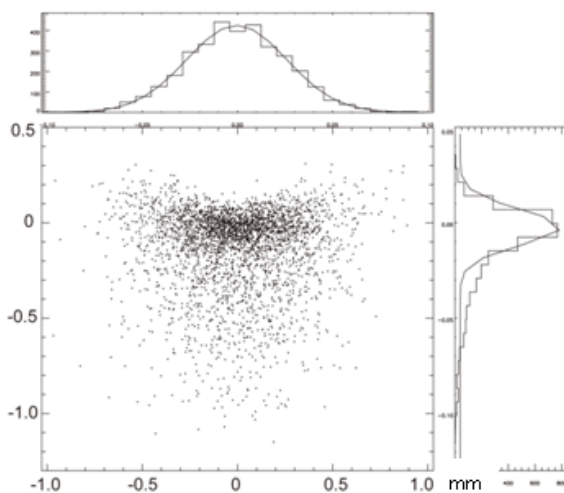


図10 試料位置でのビームプロファイル

5. まとめ

中部シンクロtron光利用施設（仮称）はユーザー支援のための人材を名古屋大学をはじめとする大学連合が派遣し、産業界と愛知県が整備費用を負担し、その整備・運営は科学技術交流財団が行う。スタッフ数の少なさや、運営の体制が未だ確定していないという面はあるものの、光源と6本のビームラインの整備は順調に進んでいる。従来の国策施設ではなく、地域密着の産業応用施設として発展を願うばかりである。