

SPring-8 での理研ビームライン

植木 龍夫

理化学研究所 大型放射光施設計画推進本部・放射光構造生物学研究推進グループ*

RIKEN Beamlines at the SPring-8

Tatzuo UEKI

*The Institute of Physical and Chemical Research
Synchrotron Radiation Center, SR Structural Biology Research Group*

1. はじめに

SPring-8 では61本の放射光光源が用意されているが、30本以上の共用ビームラインが建設されることとなっている。SPring-8 施設建設の主体である原研および理研は、それぞれ独自のビームライン利用計画をもっており、ビームライン建設を行ってきた。この原研/理研ビームラインは、それぞれの研究所の放射光利用研究計画に沿って立案され、共用ビームラインとは別途の予算の下に、それぞれの研究所に共用ビームライン担当とは別にビームライン建設チームを編成して建設されてきた。挿入光源、フロントエンド、輸送チャンネルやインターロックを含めた制御系など共用ビームラインと共通する機器に関しては、共用ビームラインの機器仕様に沿って設計されている。現在、理化学研究所では3本のビームラインの建設を進めている。

- 構造生物学研究ビームライン I
構造生物学研究 (生体高分子の MAD 法結晶構造解析, 小角散乱)

- 構造生物学研究ビームライン II
構造生物学研究 (生体高分子のラウエ法時分割構造解析, 時分割 XAFS)
- X線干渉光学ビームライン
X線干渉計, 軟X線高分解能分光
構造生物学ビームライン I と II は, 蛋白質など生体高分子を対象として原子・分子レベルでの構造研究を進めるものである。X線干渉光学ビームラインは超高品質の X線ビームを作り広い研究分野での研究を開拓することを意図しているが、「結像」といった面からはマクロスコピックな構造研究にも貢献すると期待されている。

理化学研究所には現在多くの生物科学関連の研究室が活動している。近年の遺伝子を中心とする分子生物学の成果を受けて、生物の持つ諸機能を発現する生体高分子を、その立体構造に立脚して理解する動きが顕著となっている。この研究を構造生物学 (Structural Biology) と呼ぶが、構造生物学は原子レベルの構造からミクロン単位までのかなりマクロスコピックなレベルの構造まで包

* 理化学研究所 大型放射光施設計画推進本部・放射光構造生物学研究推進グループ
〒351-01 和光市広沢 2-1
TEL 048-462-1111 FAX 048-462-4646

含する広い視点をもっている。X線散乱・回折法および結像法は生体関連物質の構造研究の最も有力な研究手段である。このような背景から理研ビームラインの建設計画が立ち上げられている。

2. 構造生物学研究ビームライン I

理研では放射光構造生物学研究推進グループを形成して、生物の構造と機能の関係を研究の中核として活動してきたが、当面の研究の焦点は“原子・分子レベル”での構造解析にある。したがって、その研究手法の中心はX線散乱・回折法である。構造生物学研究ビームラインIは、多波長異常回折法 (MAD—Multiple-wavelength Anomalous Diffraction) による生体高分子結晶構造解析および生体高分子を研究対象とする溶液散乱研究を行う。二つの独立した実験ステーションを並行して同時利用可能とするために、アンジュレーターを光源とするビームラインのビーム分岐技術が使われる。その概略を図1に示すが、ビームラインの特徴は、

- ① 垂直偏光アンジュレーター：ビーム分岐および分光にダイヤモンド結晶を使用するが、ブラッグ角 θ が 45° に近く水平偏向では偏向因子が非常に小さくなる。
- ② タンデム二重アンジュレーター：MAD法では3つの波長のX線を使った強度測定が

行われる。二重アンジュレーターは1軸上に3つのエネルギーの放射光を与える。(最近では、Multi-color X-ray sourceとして取り上げられることが多い。)

- ③ ビーム分岐：小角散乱と結晶からの回折実験を同時に行うために、ダイヤモンドを使ってビームを分岐する。ダイヤモンド結晶は通常のエネルギー範囲のX線に対してはかなり“transparent”であるので、エネルギーを別々に設定すると回折X線と透過X線を同時に利用できる。
- ④ トリクロメーター：MAD法の3つのエネルギーのX線を結晶にもたらすために、ダイヤモンドの透過性を利用して3組の二重結晶分光器を使う。モノクロメーターにならって、トリクロメーターと呼ぶ。
- ⑤ 検出器：実験データを実時間 (real time) 的に処理するために、高速二次元検出器を用いる。具体的には、マイクロストリップ・ガス検出器とCCD検出器を開発中である。

ビームラインの仕様の概略を表1に示す。

ダイヤモンド分光結晶を使用して、ビームのエネルギー分岐を行って結晶構造解析および小角散乱実験ステーションを“同時に”利用することを目的として開発研究が行われている。この開発研究の第一の関門は、良質で (完全結晶に近い) 大

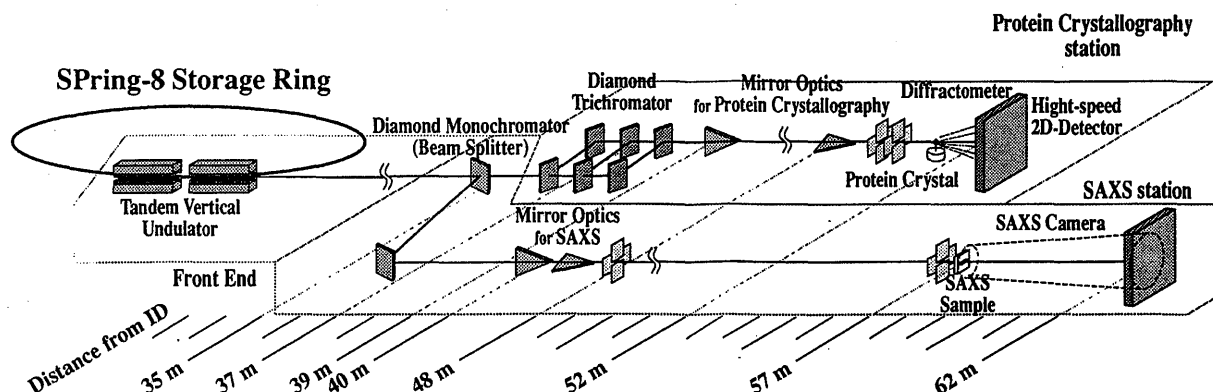


Figure 1. The bird's eye view of the RIKEN structural biology beamline I. Two beamlines separated by diamond crystal system are seen as well as the arrangement optical components for small-angle scattering (SAXS) and protein crystallography (PX).

Table 1. Specification of the RIKEN structural biology beamline I

X-Ray Source:	
Twin undulators (in vacuum type) with vertically polarized light	
$\lambda_u=37$ mm, No. of periods=37 for each, $K_{\max}=1.83$	
Energy of first harmonics=6.1 to 14 keV	
Max. radiation power=3.0 kW with density of 160 kW/mrad ²	
X-Ray Optics:	
Monochromators	
Double crystal monochromators for SAXS	
Three sets of double crystal monochromators for PX	
Mirrors	
Two independently focusing cylindrical mirrors for SAXS	
A toroidal focusing mirror for PX	
(Beam size at the back focal planes is less than 0.1 mm ²)	
Expected photons (flux) at the specimen= 10^{12} photons/sec	
X-ray Detectors:	
Microstrip gas chamber system for SAXS	
Multiple CCD detector system for PX	

型のダイヤモンド結晶の育成である。3年以上にわたる住友電工との共同研究の結果、ロッキングカーブの幅が1.5秒程度で7 mm 角くらいの結晶を継続的に入手できるようになってきている。また、高輝度放射光を光源とする回折実験で問題となる結晶試料の放射線(熱)損傷に関しては、蛋白質などの結晶を低温に保持して実験を行う“cryo-crystallography”の手法も開発されている。このビームラインは先行する共用ビームラインと並行して建設が行われており、平成9年秋には完成、利用を開始する。

3. 構造生物学研究ビームライン II

理研での放射光構造生物学研究推進グループの建設する第二のビームラインは、偏向電磁石からの放射光を利用するものである。研究の概略は、白色光を使った生体高分子結晶構造の時間軸に沿った研究および金属蛋白質分子の時分割的なXAFS法による金属周辺の局所構造研究である。偏向部からの放射光を空間的もしくはエネルギー的に分岐して利用することは簡単ではないので、これらの研究を行う実験ステーションはタンデムに配置され(図2)、“Time-share mode”で実験が行われる。

白色光を使った実験では、短時間に多くの回折斑点を記録する、いわゆるラウエ法実験を意図している。したがって、反応の開始などのためのレーザーフラッシュなど必要な結晶周辺装置が装備される。このビームラインには、二結晶分光器が挿入できるように設計されているので、単色光を用いた結晶構造解析のための強度測定が可能であることは言うまでもない。平成7年度から建設が始められた。

4. X線干渉光学ビームライン

第三世代の放射光光源の特徴は、言うまでもなく低エミッタンスである。この特徴を生かす光学系を設置すると、ビームの進行方向(longitudinal direction)のみならず、垂直方向(lateral direction)にも干渉性の良いX線を得ることが可能となる。干渉性の高いX線ビームを用いた研

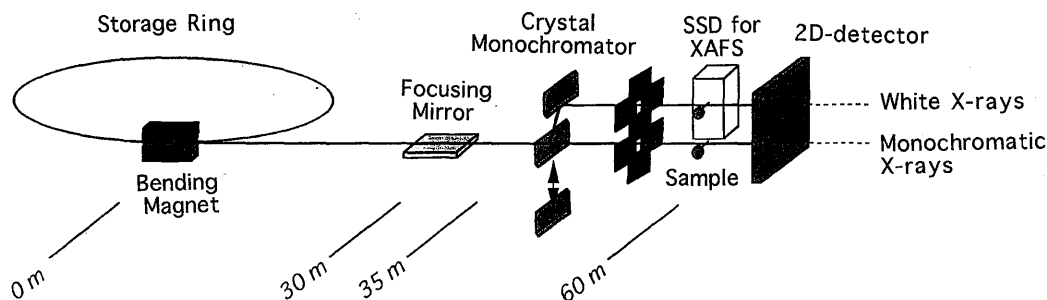


Figure 2. The outline of RIKEN structural biology beamline II. The X-ray source is the bending magnet.

究は、新しい物理計測法の開発、物性研究への応用およびホログラフィーなどX線「結像法」の新しい展開が期待される。結像法の利用は、生体高分子などの高次の構造研究に有力な手段となることが期待されている。

X線干渉光学ビームラインは、8年度から建設が開始されている。

5. 理研・播磨研究所 (仮称)

理研ビームラインの建設と並行して、平成7

年度には構造生物学研究棟の建設がSPring-8サイトで始まっている。この研究棟では、3本の理研ビームラインをつかった利用研究を推進する研究グループが活動することになっている。ビームライン利用と直接的に関係した研究に加えて、生体高分子の分離、精製、結晶化などを支援する研究グループの活動も行われる。さらに、高性能の計算機システムを導入して、データベースを活用する新しい分野の開拓などが計画されている。X線干渉光学の基礎実験と開発研究も行われる。