

SPring-8シンポジウム報告

挨拶

SPring-8 供用開始に向けて

JASRI放射光研究所 副所長

上坪 宏道

SPring-8の建設は順調に進んでおり、これまでに入射加速器である線型加速器の試運転に成功、引き続いてシンクロトロンを試運転を開始しています。さらに平成9年春には蓄積リングの試運転を開始する予定で、夏までには幾つかのビームラインに放射光を出して性能試験が始められるものと思っています。もちろん初めて建設する高性能加速器ですから、予期せぬ故障や難問が生じる可能性もありますが、施設者としては平成9年10月の供用開始に向けて最善を尽くすつもりでいます。

SPring-8の設計・建設に当たっての基本的な考えは、1) X線領域の光源として、世界最高の性能を実現する、2) 純粹基礎研究と共に先端基礎技術開発に役立つ、3) 産官学の研究者・技術者に等しく開放する、4) 国際的役割を果たす、でした。この方針による供用開始が間近に迫ってきたSPring-8の利用に関して、私が考えていることを幾つか述べさせていただきます。

科学技術基本法の成立を契機にしてわが国では基礎科学の振興に対する社会の関心が高まり、また、次世代の産業を背負うような創造的な産業技術の開発も急務とされてきて、科学・技術分野における独創的な研究を求める声が強くなっています。このような状況の中でSPring-8の果たす役割には大きな期待が寄せられていますが、同時にその成果には厳しい評価が行われるものと考えられます。一般的に言って、加速器計画は「目標性能を達成したら成功」或いは「順調に稼働したら成功」といったものではなく、「優れた成果を上げて初めて成功」とすべきものです。これまでわが国ではこの点が曖昧にされてきたようですが、これからは大型計画の社会的責任として明確に認識されることと思います。

加速器施設が優れた成果を上げるためには、施設、研究者、運営のそれぞれが最先端の研究施設にふさわしいレベルに達していることが必要です。施設について言えば、建設当初に世界のトップクラスの性能を持っていることは当然ですが、それを長い将来に亘って維持できる「装置のポテンシャル」も重要です。この点では、SPring-8はX線の波長領域、輝度、指向性、偏光特性などで世界トップの性能を持つように設計され建設されています。しかも、将来にわたって世界のトップ施設としての地位を維持できるように、幾つかの工夫がなされていて、例えば30メートルの挿入光源を設置できる長直線部を4カ所、1キロメートルまで延長できるビームラインを3本設置したこと、ビームラインの各パーツを規格化して将来容易に性能向上ができるようにし、また加速器・ビームラインの高度化を将来業務の重点事項においていることなどを挙げるすることができます。

SPring-8を利用し優れた成果を上げることは、第一義的には利用研究者の意欲や研究の質によっています。しかし、施設利用の研究を進めることで次々に新しい研究領域が発展してくるので、優れた研究者は優れた施設を思い通りに使いこなすことで生まれてくると言えます。従って、SPring-8の今後の運営の仕方が重要になってきます。

SPring-8で行う研究はどうあるべきかは、課題採択委員会でも議論されてきました。優れた研究の具体的な内容は個々の研究者の判断によるものであり、それを一つの型にはめて強制するのは良くありませんが、わが国の一般的な傾向の中で改善すべき点があります。先日ある会合でドイツの研究者と話していたところ、ドイツでは課題採択の一番重要な評

価値基準は「それが誰もやっていない初めての研究か」という点で、多くの施設がそのような研究を目指しています。それに対して日本の加速器施設で発表される研究はおしなべて「現在最も流行っている課題で少しでもいい成果を得る」という印象が強い、と言っていました。世界的に競争している課題でいい成果を挙げることは重要で、それによってわが国の科学が発展して来た面も否定できません。しかし、これからの日本には「全く新しいチャレンジングな研究」をどのように進めるかが重要な課題であることは事実です。

そのためにはまず課題採択に工夫が必要です。ベテランの委員が提案の欠点を指摘するような「減点法」ではなく、提案のポジティブな面をより評価し、例え過去に失敗があってもそこからどのような教訓を得ているかを評価する「得点法」を取り入れることが重要です。なお、一定割合のビームタイム配分は責任者の裁量に任せることなどを検討すべきと思っています。この場合、誰が責任者になるか、また、その権限と責任はなにかを明確にする必要があります。

SPring-8の利用者は必ずしも放射光利用研究の経験者ではなく、また複雑な測定装置をすぐに使いこなせるものと期待することはできません。そこで利用者に対する十分な情報の提供や技術的支援が必要になります。JASRIでは利用促進部門を設置して、利用支援、技術支援、ビームラインの運転・維持・管理などを行わせることになっています。これが整備されていく過程では幾多の曲折があると思いますが、利用者として「おんぶに抱っこ」的なサービスを期待するのではなく、どうすれば装置の性能を最大限に引き出せるかを施設者側と一緒に考える姿勢が求められます。例えば、利用研究者が施設の性能などについて、施設者側に積極的に注文できることも重要です。施設を長くトップクラスに保つためには、ビームラインの仕様や性能についての要求だけでなくもっと上流側（加速器や挿入光源）の性能についても、利用者と加速器などの装置関係者が真剣に議論する雰囲気が大切で、両者がいつも話し合える普段の交流が大切です。この点から利用研究者にはできるだけSPring-8に長期滞在していただきたいものです。

言うまでもなく放射光の実験施設では、光源、光学系、測定系、検出系の性能が揃って向上しなければなりません。SPring-8では光源の性能が飛び抜けて高くなっています。光源の性能を十分に生かすためには、他の部分の性能を飛躍的に向上させる努力が必要です。このため、施設内に優れた研究グループを置くことが必要です。とくに、新しい研究のブレークスルーを作るような研究手法の開拓や新しい測定手段の開発は、施設固有の研究グループの大きなミッションと思われる。SPring-8ではJASRIに実験部門が設置され、また、原研関西研究所、理研播磨研究所がキャンパス内に設置されていますが、このような施設固有の研究グループに優れた研究者を招き、また、ここから優れた研究者が育つことが必要です。そのためにはSPring-8を魅力的な研究の場にしなければなりません。

SPring-8には10本ないし20本の専用施設（専用ビームライン）が設置される予定です。専用施設を設置している研究グループはできるだけキャンパス内に常駐して、施設者側と普段の交流を密にして頂きたいと思っています。そのためのスペースの確保も重要な課題ですが、当面は現有の建物内に見出せる予定です。

SPring-8のキャンパスに常駐するこれらの研究グループは、原研・理研ビームラインの利用も含めて外部研究者との積極的な共同研究或いは研究交流を目指しています。「SPring-8はその利用だけでなく多様な研究者との交流も可能なので、外部の研究者にとって魅力ある研究所だ」といわれるようになって欲しいものです。そうなると、外部の研究者も積極的にチャレンジングな研究に取り組むことができるのではないかと思います。これからの放射光施設は決して「工場」や「光の配給所」ではなく、あくまでも第一級の研究所でなければならないと言うのが私の率直な考えです。

供用開始から数年の間の活動でSPring-8の将来の姿がはっきりします。施設者としてはユーザーと協力して、SPring-8を21世紀にふさわしい研究センターにしていきたいと強く希望しています。

Spring-8 がめざすサイエンス

Spring-8利用者懇談会会長

菊田 惺志

Spring-8はいよいよ平成9年10月から放射光利用研究が始まります。それまで1年弱のこの時期に、研究の立ち上げ当初1～2年の間にどのような研究を展開するかを議論するのは有意義であるとの考えのもとに、Spring-8シンポジウムがJASRIと利用者懇談会の共催で開かれました。そこで10本の共用ビームラインの実験ステーションの建設に携わっている各サブグループの方々に当初実施を計画している研究テーマを提示していただきました。同じ時期に立ち上がる原研と理研グループのビームラインとR&Dビームラインに関しても同様をお願いをしました。シンポジウムへの参加者は予想を上廻る145名に及び、関心の高さがうかがわれました。講演には研究の実施が間近かに迫ったということで魅力的なテーマ、野心的なテーマが多数提示され、Spring-8が全体として最初に挑戦しようとしているサイエンスの輪郭を浮かび上がらせることができました。当初からレベルの高い成果が得られる期待が一層膨らみました。本号に掲載されている講演概要からもそれを読み取っていただけたと思います。なお10本の共用ビームラインの実験ステーションの建設に携わっている21のサブグループのリストを示します。

共用ビームラインのリスト

	ビームラインの名称	光源のタイプ	参加するサブグループ
BL41XU	生体高分子結晶構造解析	U (真空封止型)	生体高分子 (結晶) X線構造生物学
BL09XU	核共鳴散乱	U (真空封止型) 5~75keV	核共鳴散乱 表面界面構造
BL10XU	高圧構造物性	U (真空封止型) 5~75keV	極限構造物性 XAFS
BL39XU	生体分析	U (真空封止型)	磁気散乱・吸収 医学利用 分析
BL08W	高エネルギー非弾性散乱	W 60~300keV、楕円偏光	コンプトン散乱
BL25SU	軟X線固体分光	U (高速切替型) 0.5~3keV、円偏光	固体電子物性
BL27SU	軟X線光化学	U (高速切替型) 0.5~3keV、直線偏光	軟X線光化学 (原子物理) 軟X線CVD
BL02B1	結晶構造解析	BM	構造相転移 粉末回折 化学反応 散漫散乱
BL04B1	高温構造物性	BM	高圧地球科学 高温
BL01B1	XAFS	BM	広エネルギー領域XAFS

U: アンジュレータ、W: ウィグラー、B: 偏向電磁石

SPring-8の利用研究に関しては、以前に次世代大型X線光源研究会で各研究課題について将来展望と研究計画の立案およびビームライン・実験ステーションの概念設計が行われました。^{1, 2)}さらにSPring-8利用者懇談会に衣替えしてから一層精緻化した作業が行われ、そのまとめが報告されていますので、参照することができます。^{3, 4)}

この際、多岐にわたる放射光利用研究の全体を整理して、第3世代リングでの放射光の特徴がどのように研究に生かされるかを概観してみたいと思います。まずX線・軟X線領域の放射光利用研究の分野を回折・散乱、分光・分析、イメージングと照射効果の4つに分類すると、次のようになります。

〈 放射光利用の研究課題 〉

(1) 回折・散乱

結晶の回折 (トムソン散乱・異常散乱)

生体高分子結晶の構造解析

有機・無機結晶の構造解析

極端条件下の結晶構造解析

結晶表面・界面の構造解析

弾性散漫散乱 (トムソン散乱・異常散乱)

小角・中角散乱 / 溶液散乱

結晶の散漫散乱

非晶質固体・融体・液体・気体の散乱

非弾性散乱

コンプトン散乱

ラマン散乱

プラズモン散乱

フォノン散乱

パラメトリック散乱

磁気散乱

磁気弾性散乱

磁気非弾性散乱

核共鳴散乱

核共鳴ブラッグ散乱・核共鳴前方散乱

核共鳴非弾性散乱

(2) 分光・分析 (吸収・二次放射)

XAFS・吸収分光、DAFS

磁気吸収分光

X線円偏光分光

X線光電子分光

X線蛍光分析

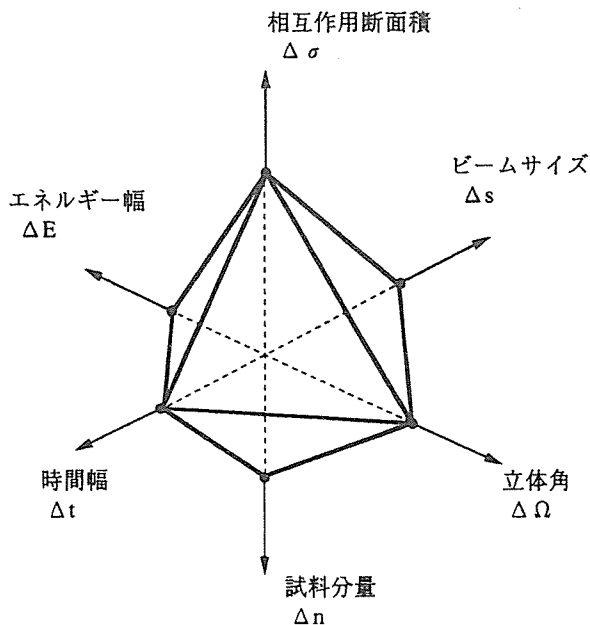
(3) イメージング

- X線トポグラフィ
- X線トモグラフィ
- アンジオグラフィ
- 軟X線顕微鏡
- X線ホログラフィ
- 光電子ホログラフィ
- 蛍光X線イメージング
- X線光音響法イメージング

(4) 照射効果 (X線励起効果、X線光化学反応)

- 放射光化学・光CVD
- X線リソグラフィ
- X線励起結晶成長
- 放射光生物学

一般的に試料がある着目する散乱や吸収の相互作用に対して断面積 $\Delta\sigma$ と分量 Δn をもち、試料に入射するビームは前置光学系によって限られてエネルギー幅 ΔE 、時間幅 Δt 、サイズ Δs と立体角 $\Delta\Omega$ をもつとしますと、一般的にこれらのパラメーターは小さいほど高度な実験ができますが、それらの積が光源のブリリアンスに比例する一定値になるという制約を受けます。その概念図を示します。6つの軸のいくつかの長さを短く選べば、他を長くせざるを得ません。第3世代の高輝度リングではこの一定値が第2世代に比べて3~4桁くらい小さくなるので、その分だけ極限的な実験が可能になります。



放射光利用実験における
各種パラメーターに対する制約の概念図

それらは下記の(1)～(4)の項目に分けられます。各項目には研究テーマの例が列挙してあります。ただしそれぞれのテーマは多くの場合複数の項目に関わります。(1)に示すように、まずマイクロビームの利用が挙げられます。実際、多くのサブグループでは従来の実験を発展させマイクロビームの利用による場所的にごく限られた領域あるいは微小・微量な試料における構造解析や分析、高空間分解能の各種のX線イメージングなどの研究を提案しています。(2)は従来静的な構造や状態の解析がおもであったのに対して、環境変化・外場印加などによる構造や状態の変化の時分割解析をめざすもので、例えば相転移や反応過程の追跡が行われます。(3)は微小な散乱・吸収断面積をもつ系の研究で、(4)はエネルギーあるいは角度(運動量)に関して高分解能化を図る実験です。

また放射光の特性として(5)の項目の偏光の利用が挙げられます。アンジュレーターや偏光素子の利用により直線偏光とともに円偏光あるいは楕円偏光が得られるので、効果的に偏光に依存する現象を研究できます。

このリングでの特徴的な実験として(6)と(7)の項目が加わります。SPring-8はリングの電子エネルギーが大きく、X線・軟X線領域をカバーしますが、さらに(6)の高エネルギーX線の利用研究が可能になります。50～300keVのX線領域は従来ほとんど未開拓ですので、独自の研究の展開が期待できます。逆に長波長の赤外領域の利用も注目されています。

また第3世代リングでは微小サイズの光源からのX線ビームが高い空間的コヒーレンスをもつとともに、超高エネルギー分解能の分光により高い時間的コヒーレンスのX線を得ることができます。このような高コヒーレンスのX線を用いた研究は(7)に示すようにX線非線形光学現象の観測、X線強度ゆらぎ分光をはじめとしてすでにいくつかの萌芽がみられます。コヒーレンスの関わるX線位相光学、X線量子光学のような研究は将来的にX線領域の自由電子レーザーのようなX線レーザーが実現したときにつながるもので、その序章と位置づけることもできます。

《 SPring-8 における放射光利用研究の方向 》

(1) マイクロビームの利用 (Δs) / 微小・微量な散乱体・吸収体の解析 (Δn)

高空間分解能の結晶構造解析

超精密な電子密度分布測定

極微小結晶・極微小領域の構造解析

XAFS・小角中角散乱・光電子分光などによる極微小領域での分析

蛍光X線分析による極微量分析

X線顕微鏡・X線トモグラフィなどによる高分解能X線イメージング

原子・分子ビームによる原子物理

クラスタービームによるメゾスケール物性物理

X線励起による固相反応・固相成長・微細加工

(2) 動的過程の時分割解析・パルス光の利用 (Δt)

温度・圧力・電場・磁場・励起光による物質の相転移・構造変化・表面構造相転移

融解・凝固過程、結晶成長過程
超臨界流体・液体合金の構造変化
蛋白質結晶の光化学反応・生化学反応
結晶中の励起状態にある分子の構造
化学反応の中間体の構造
表面光化学反応、光分解過程
多価イオンの光励起過程

- (3) 微小な相互作用の散乱・吸収現象の利用 ($\Delta\sigma$)
散漫散乱による構造ゆらぎ・乱れの解析
蛍光XAFS、表面XAFS
磁気散乱・磁気吸収による磁性解析
コンプトン散乱・ラマン散乱による電子状態解析
フォノン分光による格子振動の解析
X線非線形光学効果の観測
核共鳴散乱による時間領域メスバウアー分光
- (4) 高エネルギー分解能 (Δs)・高角度分解能 ($\Delta\Omega$)での解析
非弾性散乱の分光
素励起のエネルギー対運動量空間での分散関係の測定
核共鳴非弾性散乱分光
平面波X線トポグラフィによる微小格子歪みの解析
極小角散乱による密度相関関数の測定
- (5) 直線・円偏光の利用
偏光XAFS
誘電率(屈折率/吸収率)の異方性
磁気コンプトン散乱
磁気散乱(非共鳴型・共鳴型)
磁気円二色性による磁気解析
スピン分解光電子分光
光電子回折の円二色性
- (6) 高エネルギーX線の利用
コンプトン散乱・磁気コンプトン散乱
消耗効果のない結晶構造解析
重原子含有結晶の構造評価
重原子の内殻励起による異常散乱・XAFS・蛍光X線分析
核共鳴散乱・核励起による核物性
吸収端差分法によるアンジオグラフィ

(7) コヒーレンスの利用 (Δs 、 ΔE)

X線ホログラフィによる三次元結像

各種のタイプのX線干渉計によるX線位相光学

X線パラメトリック散乱などのX線非線形光学現象

X線強度ゆらぎ分光による不均一構造のダイナミックス

X線二光子相関法によるコヒーレンスの解析

一般にビームを用いる実験では、光源の高度化・高品質化がステップ関数的に高レベルの研究への飛躍をもたらしますが、放射光利用研究でもPFの利用により、またその後のARの利用により大きなステップアップを経験しています。PFも、SPring-8も建設計画が議論され初めてから完成まで10数年かかっていますので、このようなチャンスに巡り会うことは滅多にありません。優れた研究を行うにはいくつもの要素が重なる必要がありますが、その中でチャンスに巡り会うこと自体が主要な要素であり、このチャンスは最大限に生かされるべきでしょう。

PFの放射光の利用開始前にも研究の将来展望が議論され、実際にフタを開けてみると将来展望はかなりマトを得ていたようです。しかし肝心なことは研究の進展の奥行きが予想をはるかに越えるほど深かったことです。SPring-8の場合には前回とちがってユーザーはすでに放射光利用の経験と実績をもっていますので研究の方向を見通しやすい状況にあります。しかし前回と同様に予想を越えた研究の展開への期待も大きく、それがまさに研究の醍醐味です。

SPring-8で新しいサイエンスをめざしましょう！

文献

- 1) 次世代大型X線光源研究会課題別サブグループ：研究計画書，1990年度・1991年度.
- 2) SPring-8 Project-Scientific Program, 1990・1991, JAERI-RIKEN SPring-8 Project Team.
- 3) SPring-8 Project-Scientific Program, 1995・1996, JAERI-RIKEN SPring-8 Project Team.
- 4) SPring-8 Annual Report, 1994・1995, JASRI.