

特定放射光施設評価委員会の開催及び SPring-8における研究成果評価報告書について

(財)高輝度光科学研究センターでは、供用を開始して約4年が経過し、本格的利用段階へ移行したSPring-8が今後とも将来の科学技術の礎となるべく、その役割を十分に果たしているか否かを適正に評価することを目的として、下記の通り、特定放射光施設評価委員会を開催した。

特定放射光施設評価委員会では、「加速器、共用ビームラインにおける科学的、技術的な研究開発」と「放射光利用に関する研究成果」を対象とし、機関、運営、予算等については対象外とした。評価は、資料「SPring-8における研究成果」及び「SPring-8統計資料」による事前評定と、分科（加速器、ビームライン）分科（材料科学系利用研究）分科（生命・環境科学系利用研究）についてのヒヤリングに基づいて実施された。

- (1) 日時 平成13年10月18日～19日
- (2) 場所 新丸カンファレンススクエア（東京丸の内）
- (3) 評価対象：
 - 1) 加速器、共用ビームラインにおける科学的、技術的な研究開発
 - 2) 放射光利用に関する研究成果

特定放射光施設評価委員会において、「SPring-8における研究成果評価報告書」が取り纏められ、その抄録は下記の通りとなっている。

1. 分科（加速器）
 - 1.1 SPring-8の基本設計として、ウランにまで至るすべての元素物質の解析・研究を進めるのに必要なX線エネルギー（～100keV）を発生できる8 GeVの世界最高性能の高輝度X線光源を目指したことは極めて妥当であった。
 - 1.2 当初のスケジュールをほぼ1年前倒しする形で1997年10月から共同利用が開始され、SPring-8における加速器科学の水準の高さを世界に示すこととなった。2000年の総運転時間約5400時間での故障時間は2%以下で、同種の先端的施設と比べて極めて低く、非常に安定な運転を実現している。
 - 1.3 加速器について特記すべき成果として、蓄積リングについては(1)ビームサイズ10 μm 以下の超低エミッタンスの達成、(2)5 μm 以下の変動ビーム安定化技術の確立、(3)挿入光源の独立チューニングの達成、(4)30m長直線部の導入と長尺アンジュレータの設置の成功があり、入射器系については(1)線型加速器の高安定度運転と(2)

単バンチから多バンチまでの任意のフィリングでの運転がある。

- 1.4 加速器の今後の課題として(1)速い軌道振動原因の究明、(2)ビーム不安定性対策、(3)蓄積ビーム電流を一定に保つトップアップ入射の推進、(4)長尺アンジュレータビームラインの特性、(5)放射光による機器の損傷への対策がある。

2. 分科（ビームライン）

挿入光源から輸送系までの建設にあたって、一貫してコンポーネントとその構成の規格化、標準化の思想が見られ、これにより極めて短時間にかつスムーズに整備された。

- 2.1 挿入光源

SPring-8独自のアイデアが盛り込まれた多彩な真空封止型アンジュレータを技術的に高度な水準で実機として実現したことが特筆に価する。
- 2.2 フロントエンド

世界最高のパワー（ESRFの10倍、APSの3倍）に耐えるフロントエンドユニットを、徹底的に規格化、標準化して、確実に据え付けることに成功している。
- 2.3 光学系

熱負荷低減対応の回転傾斜型結晶分光器や、広エネルギー領域対応の可変傾斜型分光器の構想力・技術開発力や高エネルギー分解能分光器等は特筆すべき成果である。
- 2.4 輸送系、インターロック、制御系

ビームライン輸送系、インターロック、制御系においても規格化、標準化の設計方針が貫かれており、同時多数のビームライン建設に円滑に対応することができた。
- 2.5 検出器

2次元検出器の開発を独自に進めると同時に、他組織との共同研究によっても開発を進めており、この間の開発成果は評価できる。

3. 研究成果 分科（材料科学分野）

SPring-8における物質・材料科学の研究手法は、X線回折・散乱、X線非弾性散乱、X線吸収微細構造、磁気円二色性吸収、軟X線電子分光、赤外分光等と極めて多様であり、一方、これらの手法を用いて行われる科学研究の分野も、物性物理学、地球惑星科学、化学、産業応用と広範囲に渡っている。放射光施設の特徴は、この研究領域の多様

性にある。この分野での特筆すべき成果として次のものが挙げられる。

- 3 1 高精度粉末 X 線回折法による電荷密度分布の測定は、化学結合の様式、電子相転移の詳細を構造解析から議論できるに至っており、また、表面・界面構造解析の研究はナノエレクトロニクス分野を含む応用研究にも非常に重要な分野である。
- 3 2 高圧・高温の結晶構造解析は固体地球科学に大きな役割を果たしており、一方、高圧下での構造相転移の研究は、極めて困難な実験条件を克服して得られた成果である。
- 3 3 核共鳴散乱については、SPring-8 の高エネルギーを利用したメスバウアー核の拡張や、X 線核共鳴非弾性散乱共鳴の開発の点で非常に特異である。meV 分解能を持つ世界最高水準の高分解能非弾性散乱装置ではフォノン分散が測定できており、中性子非弾性散乱に相補的な有力な実験手法となる。コンプトン散乱実験では、スピン依存のフェルミ面構造を抽出することに成功し、多くの磁性体の電子構造研究に新しい展開をもたらした。
- 3 4 ナノ磁性材料応用的にも重要である磁性体の磁気構造研究は、X 線磁気円二色性測定法の開発や、円偏光による磁気回折実験を用いて成果が得られてきている。SPring-8 で開発されたキャパシタンス XAFS 法は、エレクトロニクス分野で有用である。
- 3 5 軟 X 線分光による固体電子分光の研究では、多くの超伝導体、強相関電子系物質、重い電子系物質など重要な物質系の電子構造が決定され、また、磁気円二色性光電子顕微鏡によるナノ構造磁性体の研究は今後ますます重要になってくると思われる。一方、CO₂など分子の内殻電子励起による分子解離のダイナミクスを初めて明らかし、原子・分子化学の分野に新たな領域を拓いた。

今後はこれらの優れた手法を広範囲な物質科学研究に活かして世界に先駆けた研究テーマを集中的に行えば、新しい展開が期待される。従来の利用者中心の研究体制から、インハウススタッフを強化して SPring-8 中心の研究成果が多く出るような運営が望ましい。一段と高い研究レベルに到達するには理論グループの強化が必要になってこよう。

4. 研究成果 分科 (生命・環境科学分野)

SPring-8 での生命・環境科学での利用研究の対象は、生体高分子結晶、筋肉やより高次の生体組織、マイクロゾルといった環境物質など多岐に渡っているが、低エミッタンスと輝度を活かして、Nature や Science 誌の表紙を飾るような国際的にも最高レベルの研究成果を生みつつある。また、硬 X 線マイクロビームの形成などのユニークな研究も展

開されている。

4 1 生体高分子結晶構造解析

設備面では、光源の特徴を活かした高度なもの、妥当なレベルのもの、明らかに低いものが混在していると見受けられる。成果の面では、国際的レベルで評価できるタンパク質の解析例を有するなど、成果の実績が現れはじめています。

この分野への施設の貢献度は高く、施設は研究者に大いに期待されている一方、国際レベルで多く魅力的な実験課題を引き寄せるための方策の構築が急務となっている。実験施設としての水準を自ら高めるために、国際競争力を備えたスタッフによる開発とサポートの高度化や他所の構造生物学グループとの人的交流及び実験基盤の利用などが必要である。

4 2 小角散乱

世界の水準をはるかに越える高フラックスビームラインは世界に例のないセットアップであり、生体モーター分子の予想外の振る舞いを捉えることなどに成功している。筋肉に限らずタンパク質溶液、高分子などへの広い応用が期待できる。

4 3 蛍光 X 線分析

非破壊多元素同時分析については、これまでの検出限界を超えることに成功しており、マイクロビームによる諸元素の局所分析並びに 2 次元分析の優れた結果が得られている。

蛍光 X 線ホログラフィーでは世界水準をリードする結果が得られている。

4 4 イメージング

新規硬 X 線用高分解能光学素子の開発が進められ、空間分解能も世界最高水準を実現している。トモグラフィやホログラフィーの手法と組み合わせることによって新しい 3 次元画像計測法の研究を行っている。応用面では医学チームとの連携が図られている。

4 5 医学応用

医学応用実験としては、SPring-8 の特徴を活用することを指向した研究課題が行われているが、まだ医学応用のための予備的研究段階と判断される。現段階における研究成果に対しては性急に結論を求めず、長期的視野で評価すべきである。

医学利用研究については、SPring-8 医学利用研究検討会で活発に討議され、その方向性についての検討が継続中である。本ビームラインはそのための手段を提供している。

生命・環境科学分野では、結晶構造解析、小角散乱、蛍光 X 線分析や位相 (屈折) コントラスト結像法などで、SPring-8 の特徴を活かした測定装置開発と先端的な研究成果が注目されている。今後、結晶構造解析の領域ではスタッフの開発能力や支援能力の向上がユーザーの回折実験

技術の向上と平行して行われることが望まれる。また、顕微結像法の一般ユーザー利用への開放やサブミクロン分解能での蛍光 X 線分析の環境科学への応用も重要である。医学利用については、その方向性を確認する時期に達しているものと考えられる。

5. まとめ

特定放射光施設評価委員会は、分科（加速器、ビームライン技術分野）、分科（材料科学分野）、分科（生命・環境科学分野）に整理して実施され、各分科における評価は、前述のとおりであるが、当評価委員会全体としてのまとめを以下に箇条書きに示す。

今後の SPring-8 のますますの発展に期待するものである。

- 5 1 SPring-8 は、当初から開かれた形で広く議論が進められ、それを受けて設計建設が行われた。我が国の英知を集めた形で計画が進められてきた、と言える。
- 5 2 建設場所を現在地に決めたことは、地盤の堅固さ、十分な広さの確保の点及びその後の交通網の整備、研究環境の整備を考えると高く評価される。
- 5 3 8 GeV 蓄積リングは、非常に多くの基盤技術、構成要素の集合体である。現在、第三世代高輝度放射光源として、十分な性能を発揮している。この結果は、ひとえに各々の基盤部分に厳しい精度や品質保証を課したこととともに、基本設計のコンセプトが優れており、建設過程でスタッフ、関係者の問題意識が高く保たれ続けたことによる。
- 5 4 高輝度、高エネルギー、様々な偏光特性など SPring-8 は、第三世代放射光源にふさわしい将来性豊かな放射光を提供している。しかし、光源の潜在能力はなお高く、継続的な技術開発によって光源性能の一層の向上が期待できる。
- 5 5 利用研究は、初期の立上げの段階が経過して、多くの成果を上げている。この間、施設者、ユーザーは共に多くの経験を積み、進化してきた。成果は、新しい研究、技術開発の豊かな未来を約束している。
- 5 6 光源側は安定した高輝度光の供給と次世代を見据えた技術開発、利用研究においては、高輝度光の特性、潜在力を十分に理解し、革新的、挑戦的なテーマを実施することを期待する。そのためには、インハウススタッフによる質の高い研究開発が不可欠である。
- 5 7 SPring-8 の利用研究では、ユーザーが着実に増加しており、また新しい研究分野からの利用希望が増えている。これに対処するためにはビームラインの新設を図ることが第一であるが、既存ビームラインにおける実験ステーションの増設など即応的な対応策も必要である。

- 5 8 増加するビームライン・ステーションでのユーザー対応を積極的に行い、また、質の高い先導的研究をインハウススタッフが行うために、研究者、技術者、技術支援者の適正な規模での配置が必要である。
- 5 9 SPring-8 を入射系、光源系を含む施設全体を最先端の複合研究施設として捉え、国際的、国内的にも、より有効に活用することを期待する。

所長室 山下 幸二