

6 装置・方法論開発分科会

1. 概要

- ・ 当分科会は、電子物性分科会から琉球大学・石黒英治教授，構造物性分科会から理研・石川哲也主任研究員，生命科学分科会から理研・神谷信夫副主任研究員，材料科学分科会から姫路工業大学・松井純爾教授，化学分科会から広島大学・田中健一郎教授がメンバーとなり，それぞれの分科会での装置・方法論開発の状況を分析した。
- ・ 当分科会の進め方は，サイエンスを軸とする分科会での検討が一巡した後に，各分科会の装置・方法論に関しての纏めを行い，それを集計して全体に亘る共通的な問題点の有無を探ろうというものである。このために，各メンバーに担当分科ごとに
 1. 担当分科での装置・方法論開発に関する状況の概要
 2. 特段取り上げるべき事項（善悪ともに）
 3. 今後すすめるべき方向の取纏めをお願いし，加えて
 4. 担当分野に限らず，全般的な装置・方法論開発に関する所見をお願いした。
- ・ 本報告では，分科会ごとに提出された報告をまとめるとともに，全般的な事項に関しても若干の考察を加える。

2. 担当分科会別報告

2-1 電子物性関連（石黒委員）

2-1-1 装置・方法論開発に関する状況

- ・ いくつかのビームラインでは，光学系の再構築あるいは新しい光学系の導入によって，高分解能あるいは高強度のビームを実現している。その結果，特にアンジュレーターを光源とするビームラインでは，第3世代光源と競合しうる高分解能を達成しているものがあり，また，偏向部放射光のビームラインでも発散角を大きく取るなどして，分解能をある程度犠牲にすればかなりの大強度が得られている。ビームライン光学系の更新への努力が継続してなされているのは評価できる。その一方で，建設当初から大幅な変更が加えられていないビームラインでは，老朽化が進んでいるものや，光学系として前置鏡等反射面が多く，調整や駆動に難があるものもあり，光源の特性を最大限に引き出していないものが見受けられる。これらは今後，研究目的に合わせて，最適の光学系に更新する必要がある。特に，VUVの直入射領域の分光器，古くて，性能が劣っているものがあり，挿入光源を導入することをも含めて改善に努める必要がある。

- ・ ビームラインの保守，整備，本来あるべき性能については，ほぼ性能を発揮あるいはフル性能を発揮しているとされている．一方，取扱いの容易さに関しては平均的には普通，取扱説明書の整備に関しては，普通及びやや不足，となっている．共用ビームラインとしては，取扱いが容易で及び説明書も完備しておくことが必要であろう．
- ・ ビームラインに専用の観測装置では，分解能が十分でなく性能的に低い電子分光装置やコンピューターが更新されていないものが見られる．アンジュレーターを光源にしているビームラインでは，アンジュレーターと分光器の同期が課題となっている．

2-1-2 特記事項

- ・ 取扱いの容易さやマニュアルが完備されていないものが見られる．ユーザーが固定化している場合とか，in-house スタッフのかかわり方によっては，特に問題が生じないかもしれないが，原則として共用ビームラインとしては，新規ユーザーでも使いやすいビームラインであるべきなので，整える必要がある．
- ・ VUV・SX の分光器や装置は常時のメンテナンスや調整を行わないと，本来の性能を発揮させるのは難しい．大半のビームラインでは性能が発揮されているとのことで，このことから保守，整備が良くなされているように見える．しかし，ユーザーからは，光軸調整を容易にして欲しい，分解能改善に努めて欲しい，駆動機構がスムーズに動かない，後置鏡の調整が難しい，回折格子交換による調整が難しい，振動に弱い，真空が良くない，パソコンが古い，等々の要望が出されている．こういう問題に対する in-house スタッフやテクニカルスタッフの係わりの程度はよく分からないし，また予算も伴うことでもあるので，具体的な方策はわからないが，ビームラインの性能向上や改善を行う体制を点検してみる必要はないだろうか．ビームラインの専用の電子分光装置などの観測装置に対しても，おなじく改善したり，高性能のものに置き換える努力が必要であろう．

2-1-3 今後の方向

- ・ 専用の装置がない，あるいはユーザーの装置の持込を前提としながら，一定の成果を上げているビームラインがあり，このような利用形態も当然ありうる．しかし，PF で行われている先端的な研究をみると，そのための観測装置が常設されている場合が多い．ある特定の研究課題のために，最適の実験環境を提供するビームラインというのももう一つの重要な方向である，と考えられる．

2-2 構造物性関連（石川委員）

2-2-1 装置・方法論開発に関する状況

- ・ 装置・方法論開発の一方の極には、それを行うことによって今までに見えなかった物を見えるようにすることがあり、他方の極には利用者の使い勝手を徹底的に良くする方向がある。今回、PF の構造物性関連ステーションを概観させていただいて、個々のステーションが各々のベクトルでの装置開発を行っている印象を持ち、全体としての戦略性がむき出しにならない「奥ゆかしさ」を感じた。
- ・ 構造物性関連装置の中には、PF 開設当初からのものもあり、性能的にコンペティティブでなくなっている物も見受けられる。昔からの固定客がついてそれなりの成果は挙げているようではあるが、現在の標準的な装置と置き換えることによってマシンタイムの利用効率は2〜3倍に向上することが見込まれる。
- ・ ビームライン光学系に関しては、第二世代放射光源としての様々な努力がなされているビームラインが存在する一方で、ややおざなりな感を否めないビームラインも存在する。これは、ブランチビームラインの全体が個々の担当者に任せられ、担当者の関心と興味により力点の置かれ方が異なっていることに拠っているように感じられる。
- ・ PF では、SPring-8 と異なり、一つのテーマに比較的長いビームタイムを充当することが可能なようであり、腰を据えた装置・方法論開発に適しているとも考えられる。この利点を活かして、戦略性のある装置・方法論開発を継続的に行っていくことを期待する。

2-2-2 特記事項

- ・ PF で開発されたコニカルベントミラーは、第二世代 X 線放射光源の偏向電磁石ビームラインを、特に X 線スペクトロスコーピィに応用する場合に、将来標準的に利用される可能性のある重要な光学素子である。関連するブランチビームラインでの当該光学系の採用が進んでいることは、望ましい方向であり、今後とも継続して整備することが期待される。
- ・ 一方で、偏向電磁石ビームラインを回折実験に利用する際に有効なサジタルフォーカシングに関しては、最近の進歩があまり取り入れられていないように見受けられる。また、高エネルギー X 線利用と中低エネルギー利用の切り替えに極めて有効な可変二結晶分光器なども、積極的に対応していくことが必要ではないか？
- ・ マニュアル整備と制御系に関して、ステーション毎の差異が非常に大きい。これも、担当者の関心と興味に拠るものと思われるが、共同利用施設としての最低限のガイドラインは作るべき事項と思われる。特に制御系に関しては、ブランチステーション毎に、全く独立に作られているようであり、人的資源の有効

利用の観点から問題が多い。

- PFには垂直ウィグラービームラインという他に類例をみない光源があり、垂直偏光を利用した装置開発・方法論開発が行われている。これはそれなりに成果を挙げていると見受けられるが、特殊な光源を用いるものだけに波及効果に乏しく、また垂直偏光の利用によって一般の水平偏光では困難な点を回避できることから、一般的な水平偏光光源に波及させる努力は払われていない。この方向性を善しとするかどうかを、PF内部で十分議論することが重要である。
- PFおよびPF-ARの挿入光源の利用法については、SPring-8がフル稼働している現状をふまえて、再検討する必要があるように思われる。

2-2-3 今後の方向

- 一部のステーション機器に見られる老朽化に対して、施設としてどのように対処するのかを明確にし、限られた資源をより有効利用するための方策を構築することが重要であろう。
- PFとして、装置開発・方法論開発の面で何をターゲットにしていくかが、必ずしも明確ではない。米国の第二世代放射光施設が、第三世代放射光施設の稼働開始にも関わらず、それぞれに存在意義を主張しているような明解なメッセージを外部に向かって発することが重要であろう。
- 第二世代、第三世代を問わず新しいユーザーを取り込んでいく姿勢が大切である。これは、日本の放射光施設全体に欠如している点であり、比較的こなれたPFが率先して取り組むべき課題のように思われる。
- 一方で、現在の人員で現状のステーション数の全てをベストな状態で維持し続けることは困難であろう。思い切って、第二世代としての最高峰を極めるステーション群と、一般的な計測が極めて容易に実行可能なステーション群にカテゴリ分けし、前者には研究スタッフを重点的に投入し、後者は少数の研究スタッフの指導のもとに、技術スタッフを中心として自動化を進めるような方策を考えてはどうか。

2-2-4 全般的な装置・方法に関する所見

- 構造物性関連装置に限らず、全般的に制御関連でのステーション毎のレベルがばらついているように見受けられる。また、ビームライン光学系に関しても、ビームライン毎にクォリティやメンテナンスレベルがひどく違うように見受けられる。これが、ビームライン・ステーション間の壁が高く、一つのビームラインで行われた開発がなかなか他のビームラインに波及しない構造になっていることに由来するものではないことを祈る。

2-3 生命科学関連（神谷委員）

2-3-1 装置・方法論開発に関する状況

- ・ 生物関連のビームラインとしては、PF に BL-4A, 6A, 6B, 6C, 10C, 14B, 14C1, 15A, 18B, 27A, 27B の 11 本, AR に AR-NE1A2, 5A の 2 本の合計 13 本があり、生物試料の蛍光分析や XAFS, 蛋白質結晶解析, 小角散乱, イメージング, X 線照射効果, 医用画像診断などに利用されている。それぞれの分野で新しい方法論の開発や、多くの利用者に対応すべく使い勝手の改良が進められている。
- ・ 生物分野では現状、放射光利用の大衆化が顕著であり、経験の少ない利用者への対応が重要である。大衆化した利用者は放射光をブラックボックスとしてルーチン的に利用しようとする。その原理を理解して最高性能を実現することよりも、施設から提供された装置を用いて多くの結果を短時間に得たいと望んでいる。PF の生物系ビームラインには建設を担当したグループ内での利用を前提にしたものが多く、利用の大衆化はなお今後の問題と思われる。利用の大衆化は蛋白質結晶解析ビームラインで先行しているが、全般的に、今後もさらなる改善が必要である。

2-3-2 特記事項

- ・ 蛋白質結晶解析ビームラインで開発された巨大分子用ワイセンベルグカメラは、蛋白質の結晶毎に大きく異なる格子定数や回折分解能の幅広い範囲に対応できるように設計されたものである。大面積のイメージングプレート（IP）の利用とあいまって、国内ばかりでなく世界的視野に立っても、構造生物学の発展、すなわちその大衆化に著しく貢献した。最近導入された CCD 検出器を搭載した市販装置も、同様の観点から利用効率のさらなる拡大に貢献するものと期待される。
- ・ 生物学に関連する多くの分野では優れた 2 次元検出器への要求が高い。これに呼応した IP 利用の各種装置や CCD 検出器の独自開発と、シリコン検出器やハープ管など外部開発品を積極的に評価する姿勢は高く評価できる。

2-3-3 今後の方向

- ・ PF の生物系ビームラインには、建設期の事情を反映して、他の目的をもつビームラインに相乗りしているものがある。また多目的のビームラインが複数建設され、現在でも目的別に整理統合されていない場合が見受けられる。限られた人員を効果的に配置して生物学の大衆化に対応するには、既存のビームライン群を総合的に見直して整理統合し、目的別に適切な担当者を配置する必要がある。
- ・ 大衆化の時代には、担当者による適切なサポートとともに、実験装置の使い勝

手の良さが重要となる。多くのビームラインで光学素子や測定装置、制御インターフェースとソフトウェアに老朽化が認められる。SPring-8 がフル稼動となった現在、現状の生物科学からの要求に見合うよう光学素子のグレードアップを行い、実験前のセッティングや測定、できればデータ解析までを視野にいったシステムの自動化が必要である。

- 生物科学は本質的に複雑な系を解きほぐすものであり、常に多数の実験結果の上に成立している。この意味で、現在進行している生物科学の大衆化はその本来の姿であると言える。ただしこの流れのみでは近い将来に行き詰まることもまた自明のことである。蛋白質結晶解析やマイクロビーム分析、位相イメージングや各種検出器など、PF がこれまで進めてきた装置・方法を開発するための努力は、さらに新しいターゲットの開拓も含めて、今後も継続されなければならない。

2-3-4 全般的な装置・方法に関する所見

- 私には生物科学以外の分野について言及する能力はないが、前項で述べたビームラインの再編成では、PF に建設されたビームライン全体に対する考慮も必要になるであろう。生物科学以外のビームライン群にも他分野との相乗りや重複、制御系を含めた装置の老朽化があるとすれば、この機会に総合的な再編成を検討すべきであると考える。

2.4 化学分科会（田中委員）

2-4-1 装置・方法に関する状況の概要

- 化学分野では多様な物質を研究対象にする必然性から、新たなあるいは高度な実験手法を利用した研究に加え、物質自身の化学的重要性という着眼点にもとづく研究も必要である。すなわち、実験方法論的には一般的であっても、物質に固有の重要性がある場合や、物質をパラメータとすることによって得られる研究成果等は価値がある。この観点から、XAFS は、総じてビームラインと実験装置が良く整備されているが、他の手法は、単発的な利用に留まっている。

2-4-2 特記事項

- BL-2 は、250eV-5kV の領域をカバーするアンジュレーターで、PF リングの特徴（2.5GeV）を、フルに発揮できるものである。ここでは、原子・分子や化学分野で素晴らしい成果が出ているが、BL-2A と BL-2C とがマシンタイムをシェアすることになっているため、その能力が十分に発揮されていない。直線部の増強により 2 つのステーションの独立化が望まれる。
- BL-4A の、マイクロビームを用いた蛍光 X 線分析と X 線回折装置は、特記すべ

- き装置であるが、軟 X 線領域で、マイクロビームの利用できる装置がない。
- ・ 軟 X 線領域での、発光、分光装置は、やや大掛かりなものとなるため、利用者が限られており、化学分野の研究者が自由に使える状況にはなっていない。また、これらの装置の多くは、専用のビームラインをもたないため、装置搬入、設置、撤去など否能率的な運用がなされていて、この点も利用者の拡大を妨げている。

2-4-3 今後進めるべき方向

- ・ ビームラインを含めて装置のマニュアルが必ずしも整備されていない。化学分野では、前記したように、実験手法よりも実験試料を重視する研究もあり、その場合には、実験装置が使い易く整備されている必要がある。その意味からも、最低限、すべての装置のマニュアルを整備すべきである。

2-4-4 全般的な装置・方法に関する所見

- ・ マイクロビームを利用した顕微分光・分析実験手法は、多くの分野で望まれており、世界の趨勢であるが、PF では、BL-4A を除いて、その取り組みが遅れている。軟 X 線領域での顕微分光・分析が可能となれば、原子分子、物性、化学など広い分野で新しい科学を切り拓くことができる。

2.5 材料科学分科会（松井委員）

2-5-1 装置・方法に関する状況の概要

- ・ BL-4B2 のように S 型課題が立ち上げられ、協力ビームラインとして運営されている場合には、BL の調整およびユーザー教育すべて特定の外部研究者に依存しており、また粉末 X 線回折測定の高精度化のための研究を推進している場合もある。
- ・ BL-10A で行われた Valence Difference Contrast 法（VDC 法）は、単結晶回折法に分光法を導入した極めて優れた成果で、結晶学会賞など外からの評価が高いビームラインも少なくない。
- ・ 我が国は大型高圧プレスの開発と利用において、世界最高の技術と実績を有している。放射光利用においても NE5E では MAX80 により先駆的研究がなされてきた。この状態を維持できるように、積極的な展開が必要であり、施設側からの支援も重要である。
- ・ 1997 年に光学系の改良が行われ集光ビームの安定性が良くなった結果、酵素回折系の実験効率が大きく改善されたビームラインもある（BL-10C など）。
- ・ XAFS ビームラインなどは XAFS ステーションとして、まだ十分な競争力を有している。しかし、高光子束を実現しながら多素子 SSD 検出系を利用出来ない

点などまだ問題点も残しており整備を進める必要がある。

- 一般に、稼動開始以来 20 年という年月を経たビームラインでは、一部の装置で明らかに老朽化が目立ち、総合的な観点からビームラインの整理、高度化を重点的に志向すべき時期にきていることは否定できない。

2-5-2 特記事項

- 放射光単色軟X線を用いて放射線生物効果を研究しているのはPFのみであり、世界的に見て重要な測定データを提供してきているラインもある（BL-27A など）。
- 垂直ウイグラーライン（BL-14A）のように世界唯一でありその特性を生かした回折実験がなされていることは特筆すべきである。
- 縦偏光放射光が利用できるビームライン（BL-14）では、1999年にハッチのタンデム化、X線光学系の更新、S型課題実施のための整備などステーションの改造が実施された。その結果、光学系の精度が向上し、マシンタイム配分の融通性の向上、実験効率の向上、実験精度の向上が得られたことは喜ばしい。
- NE5Aラインでは、医学診断システム開発に良好な環境を提供し、基礎的な診断システム開発が可能なラインとしての貢献は小さくない。
- XAFSラインでは、せっかく高光子束を実現しながら多素子SSD検出系を利用出来ない点が問題であり、整備を進める必要がある。
- 多くのステーションで光学系の調整に際してベテラン技術者に頼るケースが未だに見られる。突発的なトラブルなどへの対処は、操作に習熟しているグループでない限りかなり困難である（例えば BL-15A

進め べ

いかしてもっと産業利用などの促進を計るべきであろう。

- 光軸制御および装置制御の難しさから、現状では実験毎に光軸や装置を調整するのを装置担当者などごく一部の習熟した研究者に頼らざるを得ないため、かなり多くのユーザー時間が無駄になっている。ある程度ユーザー独自でも行えるようにするためのマニュアルの整備および装置制御系の簡便化を必要とする。
- 建設当初から長年利用されてきたために、検出器など故障した場合の代替がないという問題がある(例えば BL-10C での一次元位置敏感型検出器 (PSPC) など)。このような検出器の予備や新たな CCD など他の検出器の導入も考慮すべき場合が多い。これに関連して、データの収集用の制御系メモリー容量の問題など、時分割測定等への対応のために早急に対処が望まれるケースも見られる。
- PF-AR リングの現状(運転状況、性能)からみると、研究成果は評価されるが、PF-AR リングの性能が律速となっているために第3世代放射光の類似のビームラインと比較して見劣りする。PF-AR リングの改造とその特徴を活かす視点から、今後の展開を再検討する必要がある。

2-5-4 一般的な装置・方法に関する所見

- PF 最古のビームラインでは、ときにはモノクロの角度送りなど光学系に問題が生じることが多く、真空シールの O リングの交換などで適宜対処している。このように適切な対処をしさえすればまだ当分の間使用することは可能である。
- 現状でも十分に役割を果たしているおり PF の存在意義は在るが、全体的に老朽化しておりシステムのリニューアル化を計るべきである。PF リングの将来計画に広く関わる問題として、限られた予算の中から各ビームラインの改良、改善と実験装置の高度化を重点配分で対処することが必要である。
- PF リングに新しい軟 X 線領域の可変偏光アンジュレータビームラインを早期に建設するなどの要求が顕在化しつつある。ビームラインから発想するのではなく、研究目的から考えたステーションの整備を考えていくべきである。

3. おわりに

- 本報告は、装置・方法論開発の観点から PF のより一層の発展を促進するために、何をすべきかとの視点を重視して纏められたものであり、その意味において我が国で行われている一般的な評価報告と比較するとかなり辛口かつ建設的なものであると自認している。
- PF の光源としての競争力は、第三世代光源が出来た現在に於ても十分に高いということは、分科会委員全員のほぼ一致した見解であり、その競争力を十分に発揮しうる整理・統合や、場合によっては見直しを行うことが、将来にわたっ

て競争力を維持しつづけるために必要であると考える.

- ここに記載された所見は, PF の外にいる担当委員の「現状認識」を表明したものであり, 多くの分野から共通に出された要望は, 装置の老朽化への対応とマニュアル整備・制御系更新による使い勝手の向上である.
- 本分科会委員一同は, 本報告書が今後の PF 内部での議論の参考となることを期待している.