

放射光分野における研究開発の意義・将来展望

1. 現代科学技術における放射光の意義

現代科学技術の研究を進めるにあたっては、物質の構造を明らかにし物質の持つ特性や機能を解明することは最も基本的な作業であり、そのために多くの測定手段が開発され、新しい計測装置が考案されてきた。特筆すべきことは、そのうちの多くが「光（電磁波）」をプローブとして利用していることである。

科学技術の研究には、自然界の究極の構造を探る極めて基礎的な研究から実用化研究（参考資料の第 5 図の BB(basic-basic)、B(basic)、A(applied)、I(industrial)までの段階がある。かつて最も基礎的な研究であった物質構成要素の研究（BB）は、やがて多様化して物質構造の解明を行う基礎的研究（B）になり、さらに様々な材料の性質を探っていく応用研究（A）、優れた材料を実際に作り出す研究（I）が生まれてきた。なお図には研究（実験）技術を平行して位置づけているが、これは実験技術の開発が研究にとって不可欠であることを示している。最近のわが国では、研究の現場で装置の開発や実験手法の開発を行わず、購入した測定装置や実験装置で研究を行う用になってきている。これでは独創的な研究を行うのは難しい。

これらの研究の進展の中で、「光」が果たした役割は極めて重要である。可視光より波長の短い電磁波、なかでも X 線は物質との相互作用が多彩で、散乱・回折、透過・吸収、蛍光 X 線・2 次粒子放出などの様々な現象を引き起こす。また物質の透過性が良いこともあって、物質の表面だけでなくバルクの構造解析、特性評価、機能の解明に大きな役割を果たしている。

物質に関わる研究開発の現場では、より明るい光源を用いて、できるだけ豊かな試料について高精度、光分解能の測定を行いたいという要求が強い。放射光の利用が始まってから、急速に高性能の放射光施設が開発され（第 3 図）、ユーザーが加速度的に増加しているのもこのためである。今や高性能放射光施設（第 3 世代放射光源）無くしては最先端の研究を行えないという学術分野が多い。なお、可視光から紫外、真空紫外の長波長側はレーザーが開発されているので、優れたレーザーのない波長領域が放射光の独

産物である。

2. わが国における放射光利用研究の現状

放射光とくに第3世代光源からの放射光は、広いエネルギー範囲に亘って高輝度でありしかも低エミッタンス（細くて平行である）で、パルス特性、偏光特性などの点で優れた特性を併せ持っており、物質探索・物質創製のための極めて強力な道具として世界中で広く使われてきている（第6図）。

わが国は放射光研究ではパイオニアの仲間に入っている。1960年代に東京大学原子核研究所（当時）の電子シンクロトロンを用いてパラサイト実験が行われ、その成果をもとにして世界最初の放射光専用の蓄積リング「INS-SOR」が建設された。その後、高エネルギー物理学研究所に放射光実験施設（KEK-PF）が設置され、多くの成果を上げてきた。さらに第3世代光源としては世界最高性能の大型放射光施設（SPRING-8、SP8）も建設され、順調に稼働している。現在15施設が稼働しており、数の上では世界で最も放射光施設の密度の高い国である（第1表）。

わが国の代表的な放射光施設であるPFとSP8についてみると、ユーザーの数は着実に増加している（VI-(3)）。とくにSP8の場合、ビームラインの増加よりもユーザーの増加が著しく、ビームラインの増強や実験ステーションの増設などが必要になっている。

以下にわが国放射光施設が持つ、他の諸国にない特長を以下に列挙する。

I) 高輝度X線光線

SP8は80 GeV電子ボルト（8GeV）の低エミッタンスリングで、輝度の最も高い高エネルギーX線を発生できる。ビームラインの整備も順調に進み、共用ビームラインは20本程度が既に利用できるようになっていて、年間2000人を超える利用者が、物理、化学、物質科学、生命科学、医学などの研究に利用している。またSP8の特長を十分に発揮するビームラインの建設とともに、新しいユーザーの開拓と利用分野の拡大を図っている。

II) RIを含む試料の実験

放射性物質の試料を用いた実験はPF、SP8で可能であり、アクチノイドを含む物質の研究が行われている。とくにSP8では、3本（現在1本が稼働中）のビームラインを用

いた広い波長範囲で研究が可能であり、原子力研究の裾野を広げる新しい基礎研究の展開が期待されている。

iii) 長尺ビームライン

SP8には62本のビームラインが設置可能であるが、そのうち3本は1 km まで延長可能である。このビームラインはスポットの大きいアンジュレータ光を得るのに用いるほか、X線の位相差を精密に計測する技術を開発して、新しい研究領域の開拓が図られている。

iv) 長尺挿入光源

SP8には30 m の長尺挿入光源（アンジュレータ）を設置できるビームラインが4本あり、既にその1本が建設中である。ここでは世界最高輝度のX線が利用できるのも、国際的な参加者を募って利用実験を行うことになっている。また、コヒーレントX線による新しい研究の開拓も計画されている。

次にわが国における放射光研究の問題点について述べる。その第1は、第4図から分かるように、SP8以外にはわが国に第3世代の放射光源がなく、とくにVUV・軟X線領域の光源は全て小型光源である。

i) VUV・軟X線光源計画

最近、欧米諸国は中型の高輝度放射光施設を建設している。既存の施設 ELETTRA（イタリア）に加えて、MAX2（スウェーデン）、BESSY2（ドイツ）が完成し、SLS（スイス）が建設中、DIAMOND（イギリス）計画がスタートしている。一方アジアでもSRRC（新竹、台湾）、PAL（浦項、韓国）が稼働中で、新しくSSRC（上海、中国）が建設を開始した。これは高輝度X線の基礎的、応用的研究における有用性が改めて認識され、放射光利用研究の拡大しているのに対応して、より広い科学技術分野の研究者に利用の機会を与えるためである。

これに対してわが国では高性能の高輝度中型計画が提案されている（第2表）が、未だ実現に至っていない。

ii) 産業界の利用

欧米諸国では産業界による放射光利用が進んでいる。とくに蛋白質の立体構造解析で

は、多くの企業研究者が大学の研究者と協力し、生体機能の解明と創薬にしのぎを削っている。一方わが国では企業研究者の放射光利用が限られた企業に偏っている。産業界の利用をもっと活発にするとともに産学協力も実施して、わが国産業の技術開発力を高めるのに貢献する必要がある。

3. 今後の展望

放射光の発展方向は、より高い輝度、コヒーレントX線の実現や、優れたピコ秒領域のパルス特性の達成などが考えられ、その有力候補としてSASE型自由電子レーザーの開発研究が進められている。この研究は欧米では国際協力で進められており、わが国でも国内外の研究機関の協力により進めるべきである。

しかし蓄積リング型の放射光源が多数のユーザーに同時にしかも安定に放射光を提供している現状を見ると、蓄積リング型の技術革新による性能向上にも期待すべきであろう。とくにレーザービームと電子との相互作用の研究は放射光利用の研究で新しい領域を拓くものと考えられており、わが国でも積極的に推進すべきであろう。

放射光のような汎用高性能加速器施設では、一定の年月が経た後には測定装置などのアップデートが必要である。とくにSP8の場合、光源の性能を極限まで生かす実験を遂行することが必要である。例えば高エネルギーX線の利用によるX線回折の精密化や、コヒーレントX線による散乱・回折の開拓などである。こうして普段から研究実験技術の充実を図るべきであろう。

放射光の新しい利用法に、陽電子や中性子の発生が検討されている。これはレーザービームが原子に衝突して後方に散乱される「逆コンプトン散乱」で、レーザー電子光と呼んでいる。SP8の場合、10テスラの磁場を持つウィグラーで1 MeV を超すX線が大強度で得られる。このX線の対消滅で陽電子を発生させると、中性子や放射化された物質からのバックグラウンドのない陽電子発生装置になる。一方、赤外レーザーの逆コンプトン散乱では数10 MeV のX線を1017以上も発生させることが可能であり、 (γ, n) 反応で中性子を発生させることが可能である。このような2次粒子源として放射光を使うことも可能である。