

原研ビームライン-硬X線材料科学ビームライン-

日本原子力研究所 大型放射光開発利用研究部

水木 純一郎

原研は、SPring-8において平成10年までに3本のビームライン建設を計画している。いずれも材料科学の発展に貢献することを目指して、1本は可変偏光アンジュレーターを光源とする軟X線(0.5~3 keV)ビームライン(横谷氏が説明している)、残り2本はここで説明する硬X線ビームラインで1本は偏向電磁石を光源とするもの(BM)(5~90 keV)、1本は、真空封止型アンジュレータを光源とする(IN)(5~75 keV)ビームラインである。これらのビームラインで物質の構造と機能との相関を解明し、新現象、新物性、新物質設計を目標とした構造物性研究を計画している。研究テーマは、

(1) 高温・高圧下での構造

Press. \leq 20 GPa、T \leq 2000 °C。ダイヤモンドの合成における触媒の働き。

(2) 表面・界面の構造

電気化学に代表される液体/固体界面、磁性体/半導体などの異種物質、異種構造を持つ物質の結晶成長における表面構造。

(3) ランダム系物質の構造

スピノーダル分解、ガラス転移。

(4) 構造の静的・動的揺らぎ

欠陥、相転移。

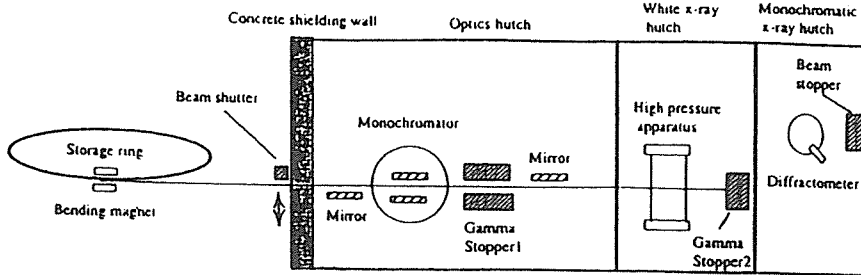
(5) DAFSの発展

実験、解析手法の開発。析出、触媒、結晶成長への応用。

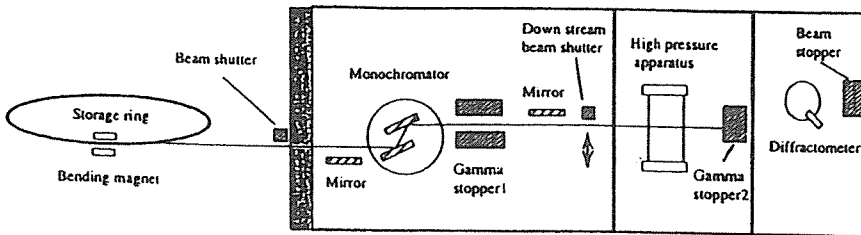
等、を発展させる積もりである。

BMビームラインでは、図1に示すように、(1)白色X線を使った高温・高圧実験、(2)単色X線を使った高温・高圧実験、(3)単色X線を使った回折実験、の3種類を選ぶことができる。また、INビームラインでは、図2に示すように実験ハッチを2つに分け、上流にはメスバウアー分光の実験や位相子を設置することのできる高精度回折計、その後ろにBMビームラインでも使われる多軸(8軸)回折計を置き、回折実験は両方のビームラインで行うことができる。さらに後ろのハッチでは、表面構造研究や結晶成長過程を研究するためにin situ-MBE回折装置を設置し、上流で実験をしても試料準備、予備実験ができるようになってきている。

(A) White x-ray experiment in the white x-ray hut



(B) Monochromatic x-ray experiment in the white x-ray hut



(C) Monochromatic x-ray experiment in the monochromatic x-ray hut

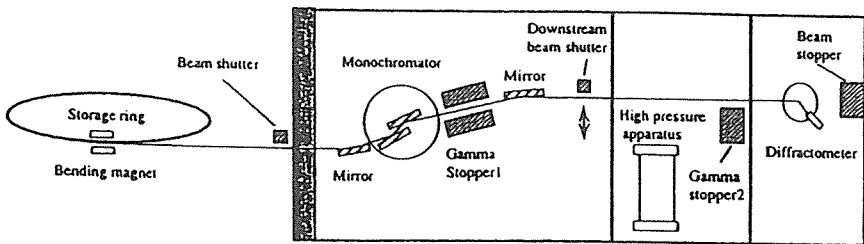


図 1 : BM ビームラインにおける 3 種類の実験モード

ハッチ内レイアウト

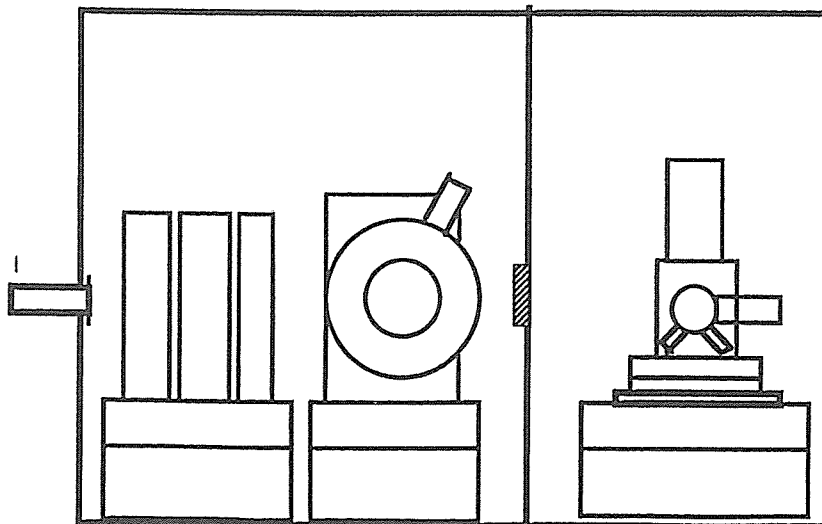


図 2 : IN ビームラインの実験ハッチ内の様子

原研軟X線ビームライン

日本原子力研究所・大型放射光・利用研究G

横谷 明德

1. はじめに

日本原子力研究所は大型放射光実験施設 SPring-8において、物性研究から化学・生物応用までの広範囲な領域で分光学的研究を進めるための専用の軟X線ビームラインの建設を進めている。本ビームラインの大きな特徴としては以下の項目があげられる。まず、光源として可変偏光型アンジュレーターを採用したことにより、励起光特性として円偏光、楕円偏光並びに直線偏光を選択的に使用できることである。このことは一つの試料に対する複数の異なる測定法を測定用真空槽の超高真空を破ることなく継続的に適用することを可能にする。また、本光源は左右円偏光の高速スイッチングが可能である。これは例えば円偏光二色性の測定の際にデータの精度を高める上で大変有効である。

もう一つの大きな特徴は非密封放射性同位元素 (RI) 試料を取り扱うことの出来る専用の実験棟にビームラインが引き込まれていることである。これにより現存する放射光実験施設では扱うことが困難であったUやNp等のアクチナイド系列の重元素を含む試料に対する軟X線分光研究が可能となり、これまで比較的研究の遅れている上記の物質の電子状態の研究に大きな発展をもたらすことが期待される。さらに通常実験ホール内に表面光化学用実験ステーション並びに対生体試料軟X線照射効果研究用実験ステーションが併設され、材料物質から生体までの広範囲な対象について研究を進める。

本ビームラインにおける研究内容には三本の大きな柱がある。それらは[1]電子分光法によるアクチナイド物質の電子状態の研究、[2]軟X線をプローブとして用いた表面化学反応の研究、[3]生体分子に対する軟X線照射効果研究である。以下にこれらの研究課題の内容を簡略に述べる。

2. 電子分光法によるアクチナイド物質の電子状態の研究

アクチナイド元素を含む化合物はヘビー・フェルミオン現象や超伝導、さらには非常に多様な磁気秩序を見せる代表的な強相関伝導系物質であり、このような強い電子相関効果が生み出す物性を統一的に理解する基本概念の確立は固体物理の最も重要な課題の一つである。アクチナイド化合物の諸物性を担う5f電子状態は、遍歴・局在性の観点からは、軌道角運動量がほとんど消失した遷移金属3d電子系と、ほぼ局在したイオン状態として記述できる希土類金属4f電子系との中間に当たると考えられている。このため電子状態を記述する有効な理論的モデルが確立されておらず、実験面でも試料の取り扱いに困難を伴うため、アクチナイド化合物の物性の起源の理解に関しては多くの未解決の問題が残されている。

一方、光電子分光法は固体の電子状態を観察する最も直接的な手法の一つであり、さらにスペクトル形状異常の形で電子相関効果に関する情報も内包している。また、放射光挿入光源からの円偏光ビームを利用することによる軟X線吸収磁気円偏光二色性の測定は、強磁性体の磁性を担う価電子状態についての局所的な情報を与える強力なプローブである。本研究では光電子分光実験装置、光吸収実験装置等を非密封RI物質を取り扱える専用の実験棟に設置し、光源の波長可変性や偏光特性を利用した電子分光実験によってアクチナイド化合物の電子状態の詳細を調べ、諸物性を電子状態の観点から理解することを目的とする。

3. 軟X線をプローブとして用いた表面化学反応の研究

本テーマは「光を利用した原子レベルでの化学反応制御」の可能性を検討する。「制御」の方法の一つは選択的内殻励起による分子内の特定の化学結合切断の利用であり、もう一つは軸を配向させて単分子吸着させた単結晶表面の、励起光の偏光特性に依存した応答性の違いの利用である。近年の放射光励起ダイナミクス研究において、脱励起過程、電荷移動過程及び中性（解離）脱離過程等の素過程と光化学反応選択性との関連は未だ明らかにされていない。

そこで本テーマでは、有機金属化合物やハロゲン化合物を含めた配向した吸着分子を試料として用い、特定原子の共鳴内殻励起により起こる表面脱離をオージェ電子-光イオン-コインシデンス測定法を用いて調べる。さらにレーザー共鳴多光子イオン化と二次元MCP検出器との組合せにより脱離中生種を直接に検出することで、解離断片の放出角度分布、内部状態分布等を調べるための方法論の開発を行う。また、気相分子の場合と比較することで、反応における凝集効果、基板との相互作用の役割についての知見を得る。以上の研究により内殻励起に起因する表面素反応過程の解明が大きく進展すると期待される。

4. 生体分子に対する軟X線照射効果研究

生命にとって放射線は遺伝的変化を引き起こす危険なものであると同時に、逆に生命進化あるいは生命分子の化学的進化の原動力となる「二面性」を有すると考えられる。しかし、放射線のエネルギーを吸収した分子のどのような変化が最終的な生物学的現象に結びつくのかは大きな未解決の問題として残されている。本テーマではこの関連し合う「二面性」を独立のテーマとして採り上げ、分子変化の観点から統一的に考察することにより、生命と放射線との関わりの問題を掘り下げる。まず、酸素や窒素等の生体を構成する主要元素の内殻吸収端付近のエネルギーを持つ軟X線を照射し、DNA等の生体高分子中の励起・電離部位を指定したときに生じる分子損傷を、最終照射生成物とこれに至るラジカルなどの中間生成物の両面から調べる。SPring-8の高輝度特性は、これまで不可能であった短寿命のラジカルの同定・定量を、ビームラインに電子常磁性共鳴装置（EPR）を組み込むことで可能とする。また、アミノ酸やDNA注の糖の光学異性体の偏りに着目し、生命起源物質の生成に宇宙空間での円偏光放射が関与した可能性を探る。そのためにまずこれらの分子の円偏光二色性（CD）スペクトルを測定し、さらにエネルギーを固定した上で照射実験を行い、左／右円偏光に依存した分子の分解・重合反応を調べる。