特集・強力 X 線の利用研究

材料科学と X 線 — 特集号編集に際して —

岩 崎 博* 早稲田 嘉 夫**

現代ほど科学技術が急激な進歩を続けている時代は過去に例を見ない。この進歩が新しい優れた素材あるいは材料の発明・開発によってもたらされたという事実は周知のとおりである。そして今や世はまさに“新素材(あるいは新材料)ブーム”であり、新素材フィーバーは過熱気味でさえある。しかし新材料の出現により広範な技術革新の可能性が期待できるし、材料技術の先進性が将来もわが国の科学技術を高水準に保つための重要な柱であることに間違いないことなどからすれば、最近の新素材ブームは当然の成り行きかもしれない。

どのような物質のどのような機能に着目して、どのようなアプローチを試みるかを選択することは、材料開発を含むいかなるプロジェクトについてもその効率を左右し、かつ成否そのものを決める重要なポイントである。たまたま見出された機能特性をもつ素材を目先のニーズに合わせていく“応用面先行型”の研究も重要でかつ現実的な“マテリアルズエンジニアリング”の手法の1つではあるが、新材料開発のための基礎研究の1つとして、種々の機能を有する物質の特徴ある物性を原子レベル(あるいは電子レベル)で解析し、注目に価する機能のルーツを探り、そしてそれらの情報を踏まえて新しい機能特性を有する新材料の設計等に役立てるという視点を欠くことはできない。すなわち原子的構造を知らずして新しい優れた材料の発明・開発を有効に進めることはできないといっても過言ではなかろう。たとえば、近年超急冷法によって物質をアモルファス状態にすると、結晶状態においては見られなかった機械的、電気的、磁気的あるいは化学的性質を示すことが見出されて以来、アモルファス状態の作製と評価ということが材料科学におけ

る重要なテーマの1つとなっている。これはすぐれた材料特性と原子的構造との間に密接な関連性があることを示す重要な例の1つである。

さて、物質のミクロな構造を直接的に知る方法の内容を一般的に述べると、放射線を入射し、原子との相互作用の結果、放出される2次線を検出するということになる。この場合、放射線は探針であり、2次線に含まれている構造に関する情報を受けとるのである。この方法が成功するためには、

- (1) 放射線の波長が原子間距離と同程度であること。
- (2) 放射線の物質に対する透過力が十分であること。
- (3) 2次線の検出が正確にかつ容易に行なえること。
- (4) 検出された結果の解析に対して十分な理論的根拠が与えられていること。
- (5) 試料の調整法が容易であること。

という条件がある。今日までに、原子的尺度で構造を調べるために多くの実験手段が開発され、X線、電子線、中性子線、ガンマ線、アルファ線、イオン線などが用いられてきた。その中で0.1 nm 前後の波長をもつX線の回折・散乱・分光法がもっとも多用されている。この研究法の開発は1920年代にまでさかのぼるが、上記の条件をすべて満足しているため、今日でも主役の座にあり、その重要性はいささかも減じていない。近年開発された新しい構造研究法、たとえば電子トンネル顕微鏡法、が話題となっているが、これはX線法が不得意とする領域である表面構造解析のためのものであって、X線法に代わるものではなく互いに相補の関係にある。

このように材料科学にとってX線法の存在意義はきわめて大きく、おそらく世界中のすべての研究機関にそのための実験装置が備えられ活用されている。ところが研究の進展とともに、より強い線源を求める声が次第に高まってきた。なぜならば回折線・散乱線などの2次線に

* 東北大学教授；金属材料研究所

** 東北大学助教授；選鉱製錬研究所

Preface: High Power X-rays for Materials Science ; Hiroshi Iwasaki*, Yoshio Waseda** (*The Research Institute for Iron, Steel and Other Metals, Tohoku Univ., Sendai ; **Research Institute of Mineral Dressing and Metallurgy, Tohoku Univ., Sendai)
1985年9月27日受理

含まれている情報は、構造を構成する原子の数が少なくなったり、構造の微細な変化を追究しようとする様な場合にはいちじるしく弱く、検出が不可能になるが、現代の材料研究の最前線ではそのような種類の情報こそが問題解決のカギをにぎっていることが多い。その具体的な例については本特集号に集められた解説中に容易に見出すことができよう。このような要請に応え、近年強力なX線源が開発され、一般の使用に供されるようになり、研究が一段と進展した。

このような強力X線の利用研究の現状を読者諸氏に紹介することを目的として、表題の特集を企画した。全部で11篇の解説が集められているが、以下にその内容を概説しておこう。まず最初に新しい強力X線源が紹介される。高性能の新型回転対陰極式発生装置(出力12kW)に加えて最近利用可能になったシンクロtron軌道放射光装置の説明があり、後者からのX線がどのような特徴をもっているかが示される。また同一の単結晶試料についてこれらの線源を実際に用いて散乱強度測定を行った結果と、実験に際して考慮すべき問題点が述べられる。次に新しいX線測定機器についての解説が来る。位置敏感型検出器の構造と性能が説明されるが、そこに出てくる2次元式検出器が現在多用されている写真フィルムに置き換えられる日の遠くないことを感じさせる。トポグラフィという研究法は物質の構造を実像として明らかにするものであり、シンクロtron放射光を線源とすることによってその有用性がいかに増大したかを次の解説で見ることができる。同様にこの放射光の高輝度性が高圧、高温、低温のような条件下における物質構造研究をいかに促進したかが、続く解説で明らかにされる。X線には特性線と白色線の二種の成分がある。5番目の解説は

後者の成分をうまく用いると材料中の歪みの深さ分布、原子の電子密度分布に関する情報が得られることを示す。強力X線源の登場は微弱な散漫散乱を精度良く測定することを可能にしたが、このことを利用して結晶中のゆらぎ、欠陥の正確な実態が解明できることがその次の解説に述べられ、さらに原子の吸収端近傍の波長を意識的に選択すると異常散乱が生じ、これを利用すれば非晶質合金の部分構造、または特定原子の周囲の環境構造関数を分離して求められることが7番目の解説で述べられる。材料中に存在する密度の不均一性によって生ずる小角散乱による研究も強力X線源が利用可能となることによって新しい局面がひらけてきた。8番目の解説ではこの散乱の時間による変化のその場観察をするための測定システムとその合金中のGPゾーン復元過程追跡への応用例が紹介される。また微小な結晶からの回折強度測定も可能となり、数十 μm 程度の粒の大きさにしか成長しない物質でも十分な構造研究ができるようになったことがその次に示される。最後にX線の吸収スペクトルの微細構造からの原子配列決定法、蛍光X線スペクトルの解析による元素分析法が述べられる。とくに注目すべきは、後者において放射光の高輝度性と偏光性とを利用すればppbオーダーの超微量分析も夢ではないことである。

この他にも強力X線の利用による材料科学研究の進歩に関する話題は数多くあるが、紙数の制限上割愛せざるを得なかった。しかし、編集担当者は読者諸氏がここに集められた11篇の解説のみからでも、現代の材料科学においてX線法がいかに重要な役割を果たしているかを十分理解することができると考えている。本特集企画が読者諸氏の現在の研究、あるいは将来の研究に役立てば幸いである。