講座

中性子放射化分析

I. 放射化分析の基礎 I・1 基礎理論

1. 中性子放射化分析のシステム構成†

平井昭司

 武蔵工業大学原子力研究所
 215 神奈川県川崎市麻生区王禅寺 971

 Key Words: neutron source, nuclear reactor, gamma-ray spectroscopy,
 analytical program

中性子放射化分析は、試料に中性子を照射し、試料を構成している核種と原子核反応を起こさせ放射性核種を生成させる。ついで、放射性核種からの放射線（多くの場合 γ 線）を測定し、そのエネルギーあるいは放射能の半減期からその核種を同定し、また、放射線の強度から試料中の元素を定量する分析方法である。放射能測定では、放射性核種の一個一個が壊変するときに放出する放射線を測定するため非常に高感度になる。このような分析システムは、主に中性子照射・放射線測定・スペクトル解析の三つの部分より成り立っている。

試料を照射する中性子源は、研究用原子炉、加速器（サイクロトロン、Cockcroft-Walton, Van de Graaff 等）、放射体中性子源（ $^{241}\text{Am} + \text{Be}$, $^{226}\text{Ra} + \text{Be}$, ^{252}Cf 等）がある。それぞれの中性子源からの中性子エネルギーは、加速器あるいは放射体中性子源では数 Mev から数十 Mev とエネルギーの高い高速中性子で、研究用原子炉ではエネルギーの低い熱中性子（20 °C ; 0.025 eV）を主成分とした中性子になってい

る。

多くの中性子放射化分析においては、研究用原子炉が利用されている。その理由の一つに、原子炉からの中性子束密度を他の中性子源より高くできること、すなわち、中性子との原子核反応を起こさせる確率をそれだけ高くすることにより分析感度を向上させ、少ない試料量で分析できるからである。第二に原子炉中中性子は主に熱中性子が多く、熱中性子は試料への透過性が優れ、試料全体にわたって均一の照射ができるとともに多くの核種と原子核反応を起こし易いからである。一般に中性子放射化分析に利用できる熱中性子束密度は、 $10^{10} \sim 10^{14} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 程度で、おおむね $10^{11} \sim 10^{13} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ での照射が、放射化した試料を取り扱う際には最適である。このような中性子束密度を有し、中性子放射化分析できるわが国の研究用原子炉には、京大炉（京都大学）、立教炉（立教大学）、武蔵工大炉（武蔵工業大学；停止中）、JRR-2（日本原子力研究所、以下原研）、JRR-3（原研）、JRR-4（原研）、JMTR（原研）の7基しかない。各原子炉には熱中性子束密度の異なる種々の照射設備がある。たとえば、気送管の照射設備では試料をラビットに入れ、短時間の輸送と短時間の照射で短寿命核種の生成に利用する。水圧を利用した輸送管照射設備では長時間の照射を行い、中・長寿命核種の生成に利用す

† Neutron Activation Analysis (NAA). I. Basis of NAA. I・1 Fundamental theory 1. Systems for NAA. Shoji HIRAI : Atomic Energy Research Laboratory, Musashi Institute of Technology, 971, Ozenji, Asao-ku, Kawasaki-shi 215, Japan.

る。また、照射端をカドミウム板で覆ったり、カドミウムあるいはホウ素のフィルタで覆ったカプセルで照射することで熱中中性子あるいは高速中中性子と選択的に反応させたり、Cd 比の高い熱中中性子柱を利用して (n, γ) 反応だけを生じさせる設備もある。

試料を良く洗浄したポリエチレン袋や高純度の石英管に封入し、さらにラビットあるいはカプセルに入れて原子炉で照射する。照射後、試料の放射線を測定するのが γ 線測定システムである。現在、 γ 線測定に一番多く利用されている検出器が高純度 Ge 検出器で、コンピュータ付きの 4 096 あるいは 8 192 チャンネルの波高分析器に接続して利用される。検出器は古い鉄あるいは鉛で作られた遮蔽体内に設置し、バックグラウンドからの放射線の影響を減弱させている。高純度 Ge 検出器は分解能 (1 332 keV での半値幅: 2.0 keV 前後) が優れているため、多くの核種を同時に検出することができる。そのため試料に煩雑な化学処理を施さないで、試料をそのまま照射・ γ 線測定し、直接分析できる機器中中性子放射化分析 (INAA) を普及させている。一方、分析目的元素が微量でか

つ数元素と限られ、INAA では妨害元素の影響で分析できない場合には、放射化後、化学操作を行い分析目的核種を選択的に分離し、 γ 線測定する放射化学中中性子放射化分析 (RNAA) 法がある。このときには検出効率の優れている NaI(Tl) 検出器や BGO 検出器等が利用されている。

高純度 Ge 検出器に接続された 4 096 あるいは 8 192 チャンネルの波高分析器によって収集された γ 線スペクトルは付帯しているコンピュータにより解析が行われる。解析では主に γ 線ピークサーチ、ピークフィッティング、半減期補正、核種ライブラリ、スタンダードライブラリなどで構成されているプログラム^{1), 2)} を使用して γ 線エネルギー、同定核種、 γ 線ピーク面積、ピーク計数率、元素含有量、検出限界値、元素濃度等が算出され、分析が終了する。

文 献

- 1) 鈴木章悟, 平井昭司: *Radioisotopes*, **34**, 563-566 (1985)
- 2) 鈴木章悟, 平井昭司: 同上, **38**, 315-318 (1989)

2. 放射化分析のための核データ／放射化分析の種類[†]

戸村健児

立教大学原子力研究所
240-01 神奈川県横須賀市長坂 2-5-1

Key Words: activation analysis, nuclear data

放射化分析は、原子核に核反応を起こさせ、放射性同位元素を製造し、それから放出される放射線を測定する分析法である。(ただし、後

述する即発ガンマ線分析の場合は、核反応にともない放出される放射線を測定する。)

照射により生成される放射性同位元素の数と実際に計数される放射線の数に関連する数値を正確に把握することが放射化分析ではまず必要である。

[†] 2. Nuclear data for NAA/Various kinds of NAA. Kenji TOMURA: Institute for Atomic Energy, Rikkyo University, 2-5-1, Nagasaka, Yokosuka-shi 240-01, Japan.