

イオンビームを用いた原子炉構造材料の元素分析

Elemental analysis of nuclear reactor structural materials using ion beam

*坂本 宏基¹, 羽倉 尚人¹, 河原林 順¹, 持木 幸一¹

¹ 東京都市大学

PIXE 分析法により、コンクリート中の元素組成の存在比を明らかにすることで放射化物量評価に活かすことを目的として廃止措置におけるイオンビームを用いた元素分析手法の有効性や課題を検討した。

キーワード : PIXE 分析法、コンクリート、元素分析、放射化物量評価

1. 緒言 本学原子力研究所では、研究用原子炉を廃止措置中である。廃止措置においては、それに伴う解体廃棄物を安全かつ合理的に管理・処分する必要がある。放射化物量評価として PHITS・DCHAIN-SP 計算コードを用い、コンクリート構造材料への中性子束分布と残存放射能量を求めるため、本学原子炉を模擬した計算モデルが作成された¹。放射化物量評価において構造材組成は重要なパラメータである。新型転換炉ふげんでは原子炉構造材の組成の評価を行っている²。特にコンクリートは物量が多く、ばらつきが大きいのでサイトごとに分析・評価することが重要であると示唆している。表 1 にコンクリートの元素組成の NUREG 値とある研究炉の例を示す。コンクリートには多種の元素が含まれており、原料の違いにより含まれる元素組成が異なることが知られている。ごく微量の元素の存在を明らかにするために、イオンビームを用いた元素分析手法が有効であると考え、廃止措置における元素分析手法としての有効性や課題を検討する。

2. 実験体系 本学 1.7MV ペレトロン・タンデム加速器を用いて、岩石標準試料 JLk-1 の PIXE 分析を行った。測定条件は、入射粒子：プロトン、入射粒子エネルギー：2 MeV、測定時間：3,600 秒とした。PIXE 分析の定量評価として、元素濃度の評価においては以下の式を用いた³。

$$\text{カウント}C = \left(\frac{I_b}{e}\right) \sigma_I \omega N d \left(\frac{S}{4\pi D^2}\right) \varepsilon t \times e^{-\mu x}$$

ここで、 I_b : ビーム電流、 σ_I : 内殻電離断面積、 ω : 蛍光収率、 N : 原子密度、 d : 試料厚さ、 S : 検出器有効断面積、 D : 試料と検出器の距離、 ε : 検出効率、 t : 測定時間、 μ : フィルタ材の吸収係数、 x : フィルタ材の厚さを示す。低エネルギー X 線は減衰による誤差が大きいため、認証値と誤差 15% 以内の精度に定量⁴できることを目標とし評価を行った。

3. 結果・考察 図 1 に岩石標準試料 JLk-1 の定量評価を示す。Si、Mg、Na、Ti については誤差 15% 以内での一致を確認した。一方で、KX 線エネルギーが重なってしまう元素では、目標精度より大きな差異を生じた。イオンビームを用いることでルーチ的な分析が容易な点を利用し、各施設により含まれる元素組成が異なる原子炉構造材料の組成評価へ利用することは有効な手段であると考えられる。

参考文献 1 樫又恒一ほか: PHITS・DCHAIN 計算コードを用いた武蔵工大炉の放射化物量計算、2018 年春原子力学会

2 川太徳夫ほか: 日本原子力学会和文論文誌 Vol. 9, No. 4, P405-418 (2010)

3 羽倉尚人ほか: 廃止措置段階にある研究炉施設のコンクリート組成の PIXE 分析、第 34 回 PIXE シンポジウム(2018)

4 千葉廉ほか: 日本原子力学会誌 Vol. 26, No. 10(1984)

表 1 コンクリートの元素組成の差異 (wt%)^{1,2}

元素	NUREG 値	研究炉 A	± 比 (%)
Na	1.73	1.55	10.6
Mg	0.79	1.36	72.1
Al	6.06	5.76	5.0
Si	28.38	20.40	28.1
S	0.14	0.13	8.5
K	1.93	31.15	1514.8
Ca	6.03	8.10	34.3
Fe	2.28	16.50	623.0

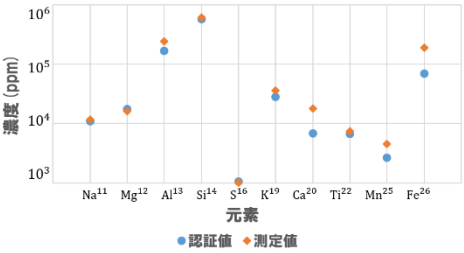


図 1 岩石標準試料(JLk-1)の定量評価

*Koki Sakamoto¹, Naoto Hagura¹, Jun Kawarabayashi¹ and Koh-ichi Mochiki¹

¹Tokyo City Univ.