課題番号　2017A—C18
利用区分　成果公開(学術利用)

荷電粒子照射と放射光分光を用いた原子炉用鉄鋼材料の放射線劣化評価

Study on Radiation Damage in Reactor Pressure Vessel Steels by Using Charged Particle Irradiation and X-ray Absorption Spectroscopy

岩瀬彰宏

Akihiro IWASE

大阪府立大学

（概要）
高経年化した原子炉の圧力容器鋼中に照射促進偏析現象によって生ずる微細析出物は、転位の障害物として作用し、圧力容器鋼の硬化、脆化をもたらす。本研究は、原子炉内における照射を短時間で模擬することのできる高エネルギーイオン照射によって生じた添加元素の微細析出物の構造や成長過程を、放射光を用いた広域 X 線吸収微細構造法（EXAFS）やイオンビームによるＲＢＳ法によって評価しようとするものであり、高経年化原子炉圧力容器鋼の脆化評価に対して重要な知見をもたらすものである。

キーワード：原子炉圧力容器鋼モデル合金、照射促進偏析、微細析出物、EXAFS、ビッカース硬度

１．目的

原子炉圧力鋼のモデル合金である鉄-銅 1%-マンガン 1.5%3 元合金、鉄-銅 1%-ニッケル 1.5%3 元合金および、鉄-1.5%モリブデン 2 元合金を原子炉実機に近い温度（250°）において高エネルギーイオン照射し、照射による表面の硬度変化と EXAFS スペクトルや RBS スペクトル変化を測定し、照射促進偏析による銅やマンガンなど添加元素の析出挙動を調べる。

２．実施方法

溶体化処理した上記 2 元合金、3 元合金を TA ビームラインの中エネルギー重イオン照射チェンバー中で 250 度 C に保った状態で、16MeV の金イオンを照射した。照射量は、10^{13}-$5x10^{14}/cm^2$ である。照射後、表面硬度をマイクロビッカース計で評価した。また、銅、マンガン、ニッケル、モリブデン各原子周辺での原子配列状態を調べるため、高エネルギー加速器研究機構の放射光施設の 27B ビームラインにおいて、各原子のＫ吸収端近傍での EXAFS 測定を行った。鉄モリブデン合金においては、2MeV ヘリウムイオンを用いて照射前後のＲＢＳスペクトルを測定し、モリブデンの表面偏析挙動を調べた。

３．結果及び考察、今後の展開等

鉄銅ニッケル合金および鉄銅マンガンの未照射試料では、銅Ｋ吸収端、マンガンＫ吸収端、ニッケルＫ吸収端ともＥＸＡＦＳスペクトルは、純鉄のスペクトルと類似であった。これは、微量添加元素の銅、マンガン、ニッケル原子とも、ＢＣＣ構造を持つ鉄の格子位置に置換されていることを意味する。これらの合金を照射することにより、銅吸収端、ニッケル吸収端におけるＥＸＡＦＳスペクトルの強度は大きく低下したが、マンガン吸収端においては、スペクトル強度変化はわずかであった。この結果から、銅原子、ニッケル原子周辺の結晶構造や元素分布が照射によって大きく変化したが、マンガン原子周辺ではほとんど変化がなかったことがわかる。このことから、鉄中での固溶度の小さい銅原子が、照射促進偏析現象によって、銅原子あるいはニッケル原子周辺に析出したことが示唆される。この結果は、アトムプローブトモグラフィによる結果とも一致する。一方、鉄モリブデン合金では、照射によるスペクトルは照射前と変化がなく、また、ＲＢＳスペクトルも、試料表面におけるモリブデン濃度の照射による変化を捉えることはできなかった。これは、モリブデンの鉄中の固溶度は銅に比べて大きいため、照射促進偏析がほとんど起こらなかったためであろう。さらに、本実験では、照射による表面硬度の大きな増加も確認されている。