

## 非線形超音波法による照射マイクロ組織変化の評価

Evaluation of radiation-induced microstructural change by nonlinear ultrasonic method

\*藤井 克彦<sup>1</sup>, 小島 敦子<sup>1</sup>, 石田 仁志<sup>1</sup>, 川嶋 紘一郎<sup>2</sup>

<sup>1</sup>原子力安全システム研究所, <sup>2</sup>超音波材料診断研究所

超音波非破壊材料評価法のうち水浸局部共振高調波法を照射による低合金鋼のマイクロ組織変化の評価に適用した。局部共振高調波振幅に高エネルギー電子線照射の有無による差が認められ、照射マイクロ組織変化を非破壊的に評価できる可能性が見出された。

**キーワード**：原子炉容器鋼, 中性子照射, 照射脆化, 非線形超音波, 局部共振高調波

### 1. 緒言

原子炉容器の照射脆化を非破壊的に評価する試みは 1990 年代から行われ、磁気的手法、熱起電力法、超音波法等が試みられてきた。一方、原子炉容器の照射脆化の主な機構として、ナノメートル・サイズの溶質原子クラスタとマトリックス損傷（格子間原子や空孔の集合体）の形成が考えられ、近年、3次元アトムプローブ法により Cu リッチ析出物等の溶質原子クラスタの実証がなされるとともに、高度な分析電子顕微鏡法により転位ループや溶質原子クラスタが観察され、その寄与の検討も進められている。本研究では、照射に伴うマイクロ組織変化を非線形超音波法により局部共振高調波法像で検出することを試みた。

### 2. 方法

非線形超音波法は、大振幅正弦波のバースト波を材料に入射し、それにより励起された変動応力を用いて材料内異質部を揺り動かしたとき発生する正弦波からの波形のゆがみを高調波、分調波、和差周波数あるいは入射波振幅の増大に伴う共振周波数ピークの変化として定量化する方法である。水浸局部共振高調波法は、水浸集束探触子を用いて板厚一定の試験片の厚さ方向共振を集束超音波ビーム径×板厚の局部領域だけに発生させ、板面内の共振振幅変化を局部共振高調波振幅像として可視化する方法であり、引張塑性域や疲労き裂先端の塑性域等の可視化が可能である。電子線照射した低合金鋼に対して、水浸局部共振高調波法による局部共振高調波振幅像の測定を実施した。供試材には Cu 含有量が 0.16wt% の A533B 鋼を用いた。照射は 5MeV 電子で行い、照射温度は  $290 \pm 5^\circ\text{C}$ 、損傷速度は  $2 \times 10^{-8}$  dpa/s、照射量は 0.022 dpa である。試験片厚さは 1 mm であり、試料の厚さ方向での減衰は約 10 % である。また、超音波測定領域の硬さ測定とアトムプローブによるマイクロ組織観察を実施した。

### 3. 結論

電子線照射による硬さの増加量は 50HV0.5 程度であった。また、平均直径が 2 nm の Cu を含む溶質原子クラスタ、いわゆる Cu リッチ析出物が非常に高密度 ( $2 \sim 5 \times 10^4/\text{m}^3$ ) に形成していた。図 1 に、入射共振周波数 25.80 MHz において、励起電圧 38 V の条件で電線照射部で測定した 3 次の局部共振高調波を示すととともに、図 2 に 3 次高調波振幅像を示した。高調波振幅像は中心から左側が照射材、右側が未照射材である。照射材で大きな振幅が得られており、Cu リッチ析出物の形成を捉えた結果と考えられる。

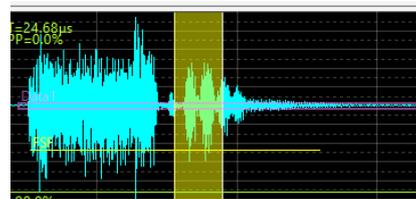


図 1 3 次の局部共振高調波の例

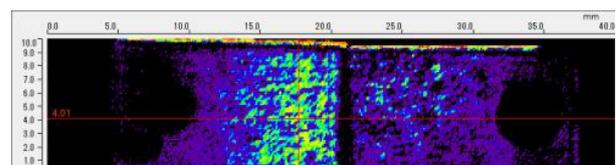


図 2 3 次高調波振幅像

\*Katsuhiko Fujii<sup>1</sup>, Atsuko Kojima<sup>1</sup>, Hitoshi Ishida<sup>1</sup> and Koichiro Kawashima<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Nuclear Safety System, Inc., <sup>2</sup>Ultrasonic Materials Diagnosis Laboratory Ltd.