



「原子炉鉄鋼材料の脆化・劣化機構の解明と制御・予測：実機監視試験片マクロからナノ材料まで  
平成 17～21 年度 特別推進研究（課題番号：17002009）  
「先端ナノ材料学による原子炉鉄鋼材料の脆化・劣化機構の解明と制御・予測」

所属（当時）・氏名：東北大学・名誉教授・長谷川 雅幸

## 1. 研究期間中の研究成果

### ・背景

原子炉圧力容器(RPV)は、ほぼ交換不可能であり、高経年化（老朽化）原子炉の安全性に関して最も重要な機器の 1 つである。照射によるナノ構造変化と脆化の関係解明は原子力の安全性に関して極めて重要な課題である。

### ・研究内容及び成果の概要

その脆化は、監視試験片を用いた検査によってモニターされる。しかしながら我が国では試験片は大学などの公的機関に提供されないのが現状である。そこで我々は、ベルギーやフィンランドなどから試験片（残材）を入手し、最先端のナノ材料解析によって、Cu 等の不純物原子クラスターやマトリックス欠陥の形成・成長、焼鈍挙動を明らかにするとともに、機械的性質（硬化、脆化）変化の関係を明らかにした。

## 2. 研究期間終了後の効果・効用

### ・研究期間終了後の取組及び現状

フィンランド Loviisa 2 号炉の照射・焼鈍・再照射の実験結果は、最初の照射と焼鈍後（焼きなまし処理：475°C100 時間）の再照射では脆化・硬化の主原因となる欠陥が異なることを見出した（図 1）。

最近予期せぬ脆化の促進で話題となっているベルギー Tihange 2 号炉の実験結果から、従来の硬化型脆化でなく非硬化型の脆化が顕著になったのではないかと思われる（現在研究進行中）。

Fe 中に閉じ込められた Cu ナノ析出物中陽電子の与える電子運動量分布（そのボケ）を利用する新たな測定法を提案した（図 2）。また空孔と不純物の複合体の化学分析の新手法の開発も行った。

### ・波及効果

我々の RPV 監視試験片を中心とする先端のナノ材料学と機械的性質の組み合わせた研究は、ヨーロッパや米国のグループによっても高く評価され、この分野の発展に大きく寄与している。

Loviisa2号機RPVの監視試験片実験結果

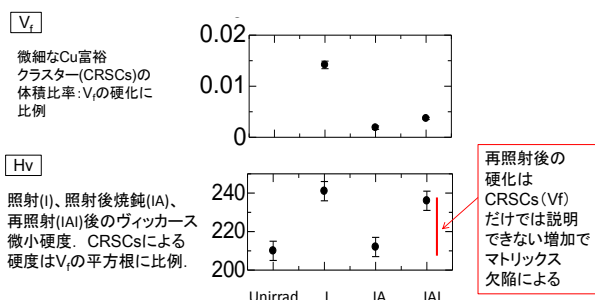


図 1. フィンランド・Loviisa2 号炉圧力容器監視試験片の照射・焼鈍・再照射後アトムプローブ解析から求めた Cu 富裕クラスターの体積率および微小硬度硬化(Acta Mater. **61** (2013) 5236).

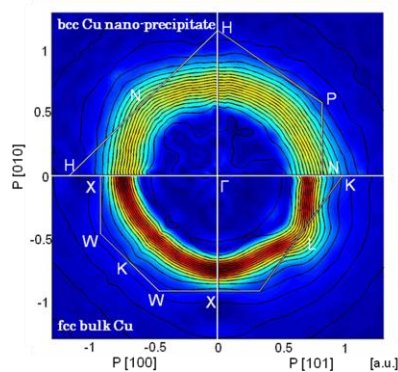


図 2. 鉄中の Cu ナノ析出物中の電子-陽電子運動量分布 (上図). 下図は Cu 結晶中の運動量分布. (Phys. Rev. **B86** (2012) 104106.)