

中性子照射下における材料の挙動予測

原子力発電所の長寿命化へのアプローチ

(電力技術研究所 原子力G)

原子力発電所では炉心（燃料）から出てくる高エネルギーの中性子照射を受ける構造物について十分に余裕を持った寿命設計が行われている。今後は、その裕度評価の充実や予防保全工法の確立などのための研究開発が重要になる。

精度良い裕度評価のための「照射を受けた材料の評価法の確立」への取り組みについて、照射研究の現状や研究方法などを含め紹介する。

Forecast of Material Behavior under Neutron Radiation Approaching Long Life of Nuclear Power Station

(Electric Power Research & Development Center, Nuclear Power Group)

In nuclear power stations, those structures subject to neutron radiation of high energy coming from the reactor core (fuel) are so designed that they should have sufficient a margin of service life. Important in the future are the research and development for the fulfillment of the tolerance evaluation and the establishment of a preventive maintenance construction method.

In this paper, we introduce the present status of radiation studies and study methods toward "the establishment of an evaluation method for radiated materials" for precise tolerance evaluation.

1 ● 研究の背景

原子力発電などのエネルギー供給システムにおいて直ちにエネルギーの価格に反映される技術分野の一つに構造機器の材料技術がある。原子炉内で運転中に燃料から出てくる中性子は炉心周辺の構造物（第一図）に影響を与え、発電所の寿命とも密接な関係があるが、すでに設計に充分反映されている。近年では国内外で原子力発電所の長寿命化プロジェクトが開始され、ここでは中性子が構造材料に与える影響についての詳細な評価が進められている。

2 ● 裕度評価（長寿命化）の方法

設計寿命以降の材料の裕度評価のためには、まず中性子が構造物に与える影響を十分に評価することが重要である。従来より機械試験などで行われている構造材のマクロな物性の評価に加えて、「何故中性子が材料に影響を与えるのか？」という疑問を充分に解決することで裕度保証を行おうとする考え方が重要視されるようになってきている。

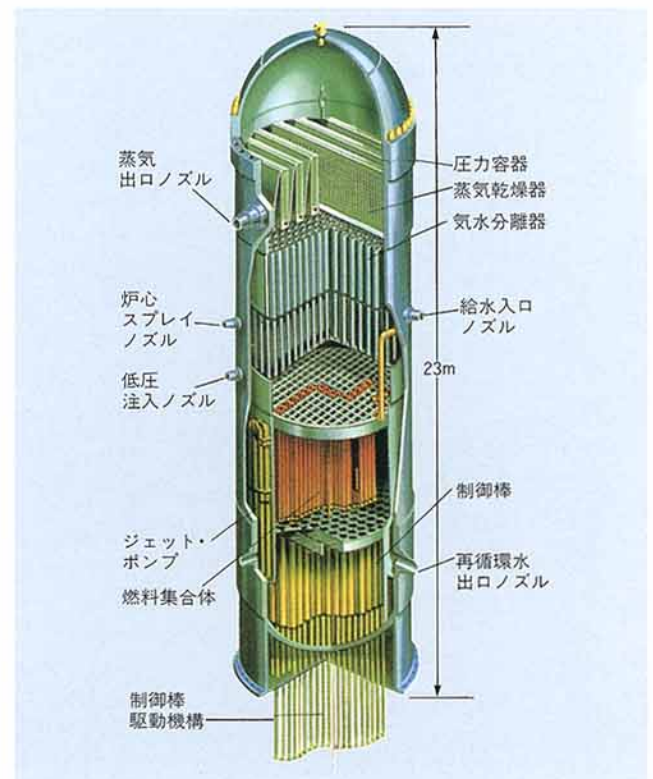
材料が燃料から出てくる中性子の入射（照射）を受けると、第2図のように材料を構成する原子の配列が乱れる。このうち照射下で生じる欠陥を照射欠陥という。照射欠陥のサイズは原子レベルだが拡散とそれに伴うミクロ組織変化を通して材料のマクロな性質をも変化させる。

材料のマクロな物性の変化をミクロな照射欠陥の挙動と関連付けて説明し、充分良い精度で材料の裕度評価を行うことが究極の目標である。

3 ● 照射研究の方法

具体的な研究方法としては、実用鋼のデータのみならず照射効果のモデル化に利用可能な種々の条件下で得られた試験データを活用することが有効である。試験片は実用鋼に加え、照射効果のモデル化に有効な実用鋼の成分を模擬した合金を積極的に利用する。

また、長寿命化を念頭に置いた寿命評価においては加速照射試験が必要である。この際、中性子照射の代



第1図 原子炉压力容器と炉内構造物

替であるイオン照射は合理的な時間内に様々な条件で照射できるなど多くの利点があり望ましい。一方、実験用原子炉を利用すると、温度や中性子エネルギースペクトルなどの照射条件の制御が容易でなく、さらには試験片が放射能を帯び、照射後試験の際に試験片の取り扱いがやっかいになるという点もある。

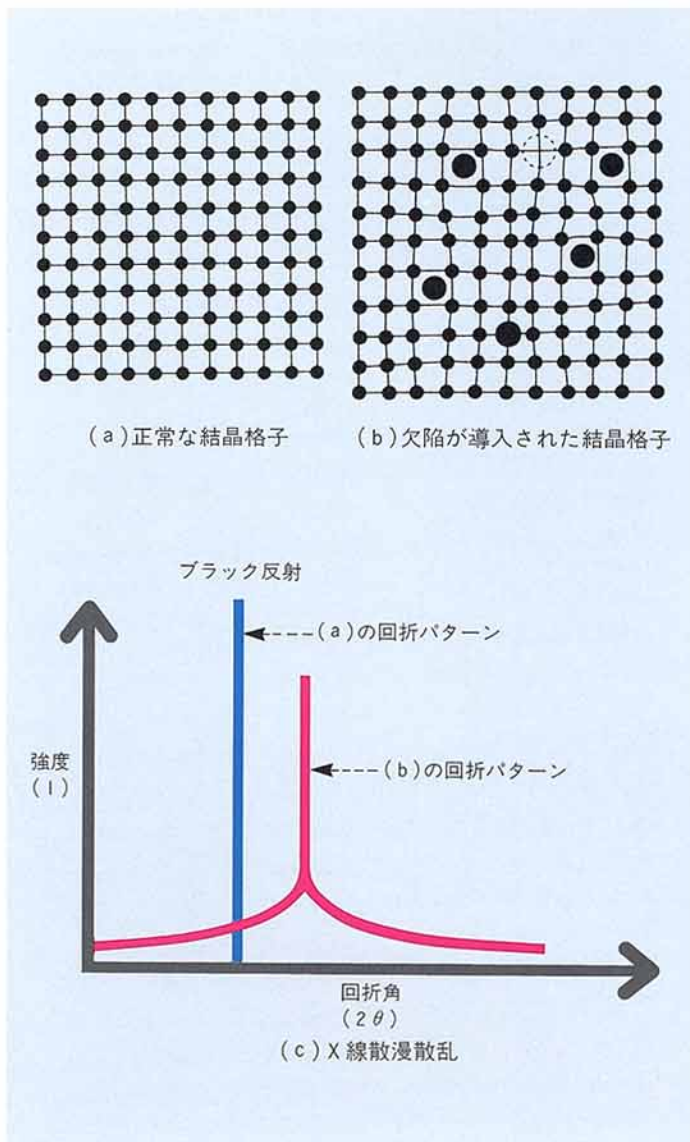
加速器を用いたイオン照射は照射条件の制御が容易であり、原子炉照射のような問題も少なく研究手段として優れているため、重要な役割を果たしている。

● 4 ● 電力技術研究所の取り組み

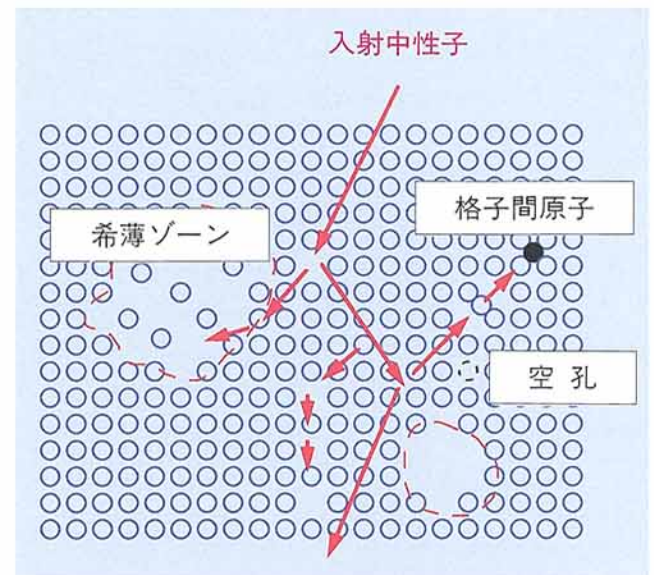
当所では照射欠陥の挙動を左右する欠陥の基本的な諸性質を明らかにすべく、名古屋大学と日本原子力研究所の指導で研究を行っている。試験は実用鋼を模擬した合金にイオン照射を行い、照射前後のX線散漫散乱を測定する方法で行っている。散漫散乱とはX線回

折におけるブラッグ反射のすそ野に現れる散乱で、材料の結晶格子の配列の乱れがあると出現する（第3図）。照射欠陥の生成により結晶格子はわずかに歪むが、この歪みに関する情報を含んだ散乱である。従ってミクロな原子レベルの欠陥構造を知ることができる。散漫散乱はこれまで照射した金属について極低温で測定されており、1個の原子からなる照射欠陥からそれらが集合して大きくなったものについてまで構造を明らかにしてきた。今後重要とされる照射方法と欠陥構造の相関性の確立（中性子照射を受けた材料の評価をイオン照射の材料データから行う方法）に利用できると考えている。

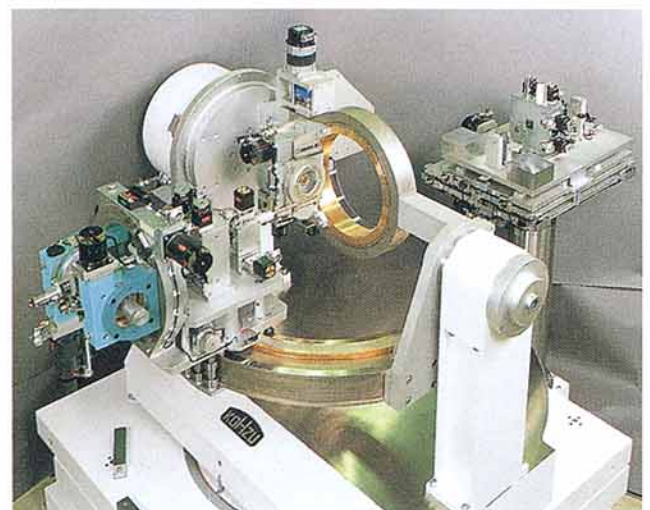
現在、実験が短時間でできる強力X線を利用して効率的に実験を実施しており（第4図）、照射効果のモデル化に貢献すべく研究を推進しているところである。



第3図 X線散漫散乱法の原理



第2図 高速中性子による原子の弾き出し（模式図）



第4図 高エネルギー物理学研究所の多軸回折計