



Title	高速炉燃料集合体のピンバンドル変形挙動に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	上羽, 智之
Citation	北海道大学. 博士(工学) 乙第7002号
Issue Date	2016-09-26
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/63379">http://hdl.handle.net/2115/63379</a>
Rights(URL)	<a href="http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/">http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/</a>
Type	theses (doctoral - abstract and summary of review)
Additional Information	There are other files related to this item in HUSCAP. Check the above URL.
File Information	Tomoyuki_Uwaba_review.pdf (審査の要旨)



[Instructions for use](#)

## 学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 上羽 智之

審査担当者 主査教授 鷓飼 重治  
副査教授 佐々木 克彦  
副査准教授 大野 宗一

## 学位論文題名

高速炉燃料集合体のピンバンドル変形挙動に関する研究

(Study on deformation behavior of fuel pin bundles of fast reactor fuel subassemblies)

高速炉の利用は、現在使用されている軽水炉に比べてウラン資源の利用効率を高め、使用済廃棄物の発生量削減を実現できることから、我が国においては諸外国と協力して研究開発を進めるとされている。高速炉のワイヤスペース型燃料集合体には、軽水炉燃料と比較してはるかに高い燃焼度と重照射環境下での安全性と信頼性が要求される。しかし、中性子照射量が高くなると、材料のスエリングの発生により燃料ピンバンドルがそれを囲んでいるダクト以上に膨張し、バンドルとダクトとの機械的相互作用 (BDI: Bundle-Duct-Interaction) が起こる。その結果、燃料ピンとダクトの間隔が狭くなり、被覆管の冷却性が悪化して燃料集合体の健全性が損なわれる可能性がある。本研究は、高速炉燃料の高燃焼度を達成する上での最重要課題である燃料ピンバンドルの変形挙動を解明したものである。以下に本論文で得られた研究成果を要約する。

第1章は序論であり、本研究の背景、位置付けと目的を記した。

第2章ではBDI挙動のモデル化について記した。BDIを炉外で模擬するため、模擬ピンにより組み上げたバンドルを、ダクトを模擬した六枚の移動圧縮板で圧縮する「炉外バンドル圧縮試験」を実施し、得られた圧縮中の模擬ピンバンドルの横断面X線コンピュータ・トモグラフィ画像を数値化処理することにより、模擬ピン変位を測定する手法を確立した。画像処理データから、被覆管の断面がワイヤを介した接触荷重 (BDI 荷重) で扁平化することを確認し、ピンバンドル変形の基本原理は主にピンの湾曲と被覆管の扁平化であることを明らかにした。これらの知見に基づき、燃料ピンバンドルを有限要素法で構成し、ピンバンドルの変形を機構論的に解析するコード「BAMBOO」を開発した。この開発では、バンドル変形時の隣接ピン間とピン-ダクト (圧縮板) 間の接触・分離解析のための定式化を行うとともに、接触・分離求解のアルゴリズムの工夫により、求解過程での収束計算の安定化を図った。また、被覆管の扁平化とピンの再配置 (ディスパージョン) を解析するモデルを開発した。炉外バンドル圧縮試験結果を用いて、BAMBOOコードの解析機能とモデルの妥当性を検証するとともに、ピンバンドル変形の支配因子 (ピンの湾曲と被覆管の扁平化) を評価した。

第3章では、高燃焼度燃料集合体のBDI挙動についての研究成果を記した。BAMBOOコードをピンバンドルの照射変形解析に適用するため、熱、スエリング、照射クリープ歪みに対応する節点荷重ベクトルを定式化し、これを外荷重ベクトルに追加する処理を加えることによりコードの照射変形解析機能を整備した。これを用いて、米国の高速炉「FFTF」で高燃焼度照射 (140GWd/t 超) した2体の燃料集合体のピンバンドル照射変形解析を実施し、BAMBOOコードの照射変形解析

機能の妥当性を検証した。また、照射変形においても、炉外バンドル圧縮試験における変形と同様に、被覆管の扁平化が BDI 緩和の主要機構であることを明らかにした。

第 4 章では、燃料集合体の寿命評価の観点から、高燃焼度を達成した燃料の寿命制限因子を考察した結果を記した。照射中の燃料ピンは、核分裂生成ガスの燃料ペレットからの放出により内圧が上昇し、被覆管の高温部ではクリープ損傷が蓄積する。高燃焼度化に伴う被覆管のクリープ累積損傷和 (CDF) を解析し、被覆管のスエリングによる外径増加によって引き起こされる BDI の進展と比較した。その結果、オーステナイト鋼被覆管を用いた場合には、燃料ピンの寿命は被覆管のクリープ損傷よりも BDI によるピンバンドルの変形が燃料集合体の実質的な寿命制限因子になることを明らかにした。

第 5 章では、これらの研究成果を総括した。

これを要するに、著者は高速炉燃料の高燃焼度化を達成する上での最重要課題である燃料ピンバンドルの変形挙動を明らかにしたものであり、材料工学の発展に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める。