

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	沸騰水型軽水炉過酷事故時の制御棒由来メタル系コリウムによるステンレス鋼の破損に関する研究
Title(English)	Collapse Behavior of Stainless Steel by Molten Metallic Corium in BWR during Severe Accident
著者(和文)	墨田岳大
Author(English)	Takehiro Sumita
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11191号, 授与年月日:2019年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小林 能直,小原 徹,加藤 之貴,竹下 健二,吉田 克己
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11191号, Conferred date:2019/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	墨田岳大	
		氏名	職名	氏名	職名
論文審査 審査員	主査	小林 能直	教授	吉田 克己	准教授
	審査員	竹下 健二	教授		
		加藤 之貴	教授		
		小原 徹	教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「沸騰水型軽水炉過酷事故時の制御棒由来メタル系コリウムによるステンレス鋼の破損に関する研究」と題し、全7章から構成されている。

第1章「緒論」では、原子炉の過酷事故研究や制御棒由来のメタル系コリウムすなわちステンレス鋼-炭化ホウ素融体 (以降 SS-B₄C 融体) に関する既往知見を概括し、B₄C を制御材として使用する沸騰水型軽水炉などの原子炉の過酷事故時には、炉心の過熱に伴い、初期に SS-B₄C 融体が形成され、その後炉心構造物のステンレス鋼(SS)が破損するプロセスで事故が進展する可能性があることを示唆している。また、SS-B₄C 融体による炉内構造物(SS 固相)の破損挙動が、事故進展に大きな影響を及ぼすことから、この破損挙動把握が重要であることを述べた上で、SS-B₄C 融体による SS 固相の破損に関するこれまでの研究知見は限られていることを指摘している。この現状を踏まえ、材料学的実験により SS-B₄C 融体による SS 固相破損挙動の調査を行い、破損メカニズムを明らかにする本論文の意義と目的を述べている。

第2章「メタル系コリウムによるステンレス鋼の破損形態検討」では、SS 固相の SS-B₄C 融体中への溶損機構を明らかにするために、結晶粒径を調整した SS 棒状試験片を 1573 K 等温条件下で SS-B₄C 融体に浸漬後、試料の金相を観察する実験を行っている。このメソスコピックな解析が可能な浸漬拡散法により、SS 固相結晶粒界へ SS-B₄C 融体が浸潤すること、および結晶粒が遊離することを見出している。これにより、本系の破損形態には、(1) SS 固相表面での SS/B₄C 共晶溶解反応による化学的溶解(コロージョン)と、(2) SS-B₄C 融体が SS 固相結晶粒界へ浸潤した後、結晶粒が固相バルクから脱落するという破損形態(コロージョン・エロージョン)の2種類の可能性があることを示唆した上で、反応界面近傍の B 濃度分布からの速度論的解析によりみかけの拡散係数を評価し、みかけの時間依存性があることから、SS-B₄C 融体による SS 固相の破損形態は SS 固相の結晶粒界が破損の起点となる、コロージョン・エロージョンであることを明らかにしている。

第3章「ステンレス鋼結晶粒界へのメタル系コリウムの浸潤挙動評価」では、コロージョン・エロージョンを引き起こす SS-B₄C 融体の SS 結晶粒界への浸潤挙動(コロージョン)を解明するため、上述の浸漬実験後の試料の金相観察と元素分析を行っている。粒界に浸潤した融体には B が含まれることを明らかにし、Harrison による拡散様式の種類を用いて、融体の SS 結晶粒界への浸潤が B の粒界拡散に支配されることを示している。速度論的解析により B の粒界拡散係数を見積もり、その値が 10⁻⁵ cm²/s オーダーの値であることを明らかにし、得られた拡散係数を用いて SS-B₄C 融体の SS 結晶粒界への浸潤をモデル化した速度式を提案している。

第4章「動的条件下におけるメタル系コリウムによるステンレス鋼の破損挙動評価」では、結晶粒の脱落を促進する SS-B₄C 融体の流れがある条件下での SS 固相破損挙動を解明するため、結晶粒径を調整した SS 棒状試験片を SS-B₄C 融体中に回転浸漬した後、試料の破損量を測定する実験を行っている。試験片回転速度および結晶粒径の増大に従って破損速度が増大することを示し、この依存性から SS-B₄C 融体と SS 固相間の相対速度に起因する粘性摩擦力により、結晶粒の脱落(エロージョン)が促進される機構を明らかにしている。浸漬温度を変えた実験から、破損速度の対数と温度の逆数にアレニウス型の関係があることを確認し、回帰直線の傾きからみかけの活性化エネルギーとして約 240 kJ/mol を得、本系の温度変化に対する律速過程は結晶粒界での共晶溶解反応(コロージョン)であることを推測している。

第5章「メタル系コリウムによるステンレス鋼の破損モデル構築」では、第3章で得た SS-B₄C 融体の SS 結晶粒界への浸潤挙動(コロージョン)、および第4章で得た結晶粒の脱落(エロージョン)に関する知見を統合し、SS-B₄C 融体による SS 固相の破損形態のモデルを提案している。粒脱落時の粒界未浸潤割合を促進率と定義し、液流動の効果を定量評価している。また、破損速度の予測式を SS-B₄C 融体の流速と SS 固相の結晶粒径の関数として得ている。

第6章「研究成果の事故炉への適用検討と安全提言」では、過酷事故を起こした原子炉として、福島第一原子力発電所を例に、本研究で得られた知見の適用可能性を検討している。熔融コリウム形成過程における競合反応への各元素の影響を検討するとともに、結晶粒微細化や熱処理による対応粒界の形成などの、粒界工学に着目した具体的な方策、金属間化合物による破損抵抗層の形成などを提案し、制御材として B₄C を使用する原子炉の安全性向上のための提言を行っている。

第7章「結論」では、以上の各章で得られた成果を総括し、本論文の結論を述べている。

以上を要するに、本論文は、SS-B₄C 融体による SS 固相の破損挙動を体系的に調査し、破損機構がコロージョン・エロージョンであることを定量的に明らかにし、速度論的・粒界工学的考察を行った上で、福島第一原子力発電所過酷事故を例に本研究の適用可能性を検討し、原子炉の安全性を向上させるための材料学的知見に基づく提言を行ったものであって、工学上および工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分価値のあるものと認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。