T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

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)	論文要旨
Type(English)	Summary

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	材料 原子核工学 系 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of （ 工学 ）
学生氏名： Student's Name	墨田岳大	指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	小林能直　教授
		指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	

要旨（和文 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 章から構成される．

第 1 章「緒論」では，これまでに行われた過酷事故研究や制御棒由来のメタル系コリウム(ステンレス鋼(SS)-炭化ほう素(B_4C)融体)に関する既往研究の概要を示し，沸騰水型軽水炉などの B_4C を制御材として使用する原子炉の過酷事故時には，炉心の過熱に伴い，初めに SS-B_4C 融体が形成され，炉心構造物のステンレス鋼(SS)を破損する可能性があることに言及している．また，事故進展に大きな影響を及ぼすことから，SS-B_4C 融体による炉内構造物(SS 固相)の破損挙動の調査が重要であることに言及している．一方で，SS-B_4C 融体による SS 固相の破損に関する研究例が限られていることを述べている．この現状を踏まえ，本論文では SS-B_4C 融体による SS 固相破損挙動の解明を目的としたと述べている．

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，メゾスコピックな解析が可能な浸漬拡散法を用いて SS-B_4C 融体による SS 固相の破損形態を解明している．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-B_4C 融体に浸漬後，試料の金相観察を行い，SS 固相結晶粒界への SS-B_4C 融体の浸潤が見出された．これは本系の破損形態には，(1)SS 固相表面での SS/B_4C 共晶溶融反応による化学的溶解(コロージョン)と，(2)SS-B_4C 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 種類の破損形態があることを示唆している.得られた結果から,速度論的解析を行い,SS-B_4C 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-B_4C 融体の SS 結晶粒界への浸潤挙動(コロージョン)を解明している．浸漬後，試料の金相観察と元素分析から，浸潤した融体には B が含まれることを明らかにしている．Harrison による拡散様式の分類を用いて，融体の SS 結晶粒界への浸潤が B の粒界拡散により表せることを明らかにしている．解析により B の粒界拡散係数を見積もり，その値が 10^{-5} cm^2/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た SS-B_4C 融体の SS 結晶粒界への浸潤速度式が提示されている．

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-B_4C 融体の流れがある条件下での SS 固相破損挙動を解明している．結晶粒径を調整した SS 棒状試験片を SS-B_4C 融体中に回転浸漬した後，試料の破損量を測定している．得られた結果から，SS-B_4C 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)が促進されることを明らかにしている．浸漬温度を変えた実験から，破損速度のアレニウスプロットを行い，そこから得られたみかけの活性化エネルギーより，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融反応(コロージョン)であることを明らかにしている．

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 章において明らかにした SS-B_4C 融体の SS 結晶粒界への浸潤挙動(コロージョン)と第 4 章において明らかにした結晶粒の脱落(エロージョン)の知見を統合し，SS-B_4C 融体による SS 固相の破損形態のモデルを提案している．また，これまで得られた結果から，SS-B_4C 融体の流速と SS 固相の結晶粒径をパラメータとした破損速度の予測式を提案している．

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．また，今後の廃止措置研究を推進するうえで有益となる，ICP-OES を用いた SS-B_4C 合金中の B 濃度定量法の検討を行っている．最後に，本研究より得られた知見を応用し，制御材として B_4C を使用する原子炉の安全性向上のため，SS 固相の結晶粒径，粒界工学，材料の反応性に注目した提言を行っている．

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．

これを要するに，本論文では従来事例のない，SS-B_4C 融体による SS 固相の破損挙動を体系的に調査し，破損形態であるコロージョン・エロージョンの特性を明らかにした．その上で，具体的に，福島第一原子力発電所過酷事故を例に本研究成果の適用可能性を検討し，従来考えられているよりも，SS 固相の破損が進行している可能性を指摘した．また，将来の原子炉の安全性を向上させるため，材料学的知見に基づいた提言が行われた．

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

注意：論文要旨は、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。

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	材料 原子核工学 系 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of （ 工学 ）
学生氏名： Student's Name	墨田岳大	指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	小林能直 教授
		指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary（approx.300 English Words ）

In a nuclear reactor using boron carbide (B_4C) as control rod material, such as boiling water reactor, it is considered that core structure materials mainly made of stainless steel (SS) would be collapsed by molten metallic corium (SS-B_4C melt) originated from control rod during a severe accident (SA). Therefore, collapse behavior of solid SS by SS-B_4C melt should be investigated in order to predict the damage condition of reactor after the accident for decommission, as well as to evaluate core disruptive accidents of reactors for improving safety of nuclear reactors. However, previous studies were mainly focused on solid state reaction (SS/B_4C, B_4C/Zircaloy), and there are few reports on the reaction between molten metallic corium and the core construction materials such as solid SS. Therefore, in this dissertation, the reaction experiments (immersion experiments) were carried out with a focus on the collapse behavior of solid SS by SS-B_4C melt.

The findings suggested that infiltration of SS-B_4C melt into solid SS grain boundaries takes place. Based on the kinetic analysis, it was revealed that the collapse mode of solid SS by SS-B_4C melt is corrosion-erosion —the grain detachment from solid SS due to infiltration of the SS-B_4C melt into the SS grain boundaries.

To evaluate the corrosion-erosion behavior, reaction experiments under various conditions were conducted. The results suggest that the grain size of the SS rods affects the dissolution rate; the smaller the grain size is, the faster the dissolution rate is. Also, the collapse rate of solid SS by SS-B_4C melt was evaluated, and a prediction formula was proposed. In addition, some safety recommendations was proposed for suppressing the collapse of SS structure by SS-B_4C melt in SA.

備考 ： 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).