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の炉心損傷における燃料系金属反応に関する研究
Title(English)	Study on the metallic materials interaction from fuel claddings during the core degradation under severe accident conditions of BWR
著者(和文)	伊藤 あゆみ
Author(English)	Ayumi Itoh
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11994号, 授与年月日:2021年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小林 能直,竹下 健二,加藤 之貴,木倉 宏成,吉田 克己
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11994号, Conferred date:2021/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

論文要約

2011 年 3 月 11 日に発災した東日本大震災による津波襲来により福島第一原子力発電所(以降 1F)は炉心の冷却機能を喪失し，当時運転中であった 1, 2, 3 号機は燃料溶融を伴う過酷事故に至った。事故後の炉内調査によって圧力容器底部のスチール製貫通構造物の著しい破損状況が確認されており，溶融した炉心材料は一部または大部分が圧力容器から格納容器へ移行したと推定されている。炉内調査と並行して事故進展事象および炉内状況を把握することを目的としてコンピューターコード(SA コード)を用いた解析的な評価が行われたが，炉内調査で確認されたような構造物破損の状況を十分に説明するには至っておらず，これは過酷事故進展における構造物破損挙動予測が実現象から乖離しているためであると考えられる。1F 事故では炉心を構成する金属材料が，意図しない接触によって溶融・凝固を繰り返し，複雑な流動を経て構造物の破損に至るが，従来の過酷事故解析ではそのような反応を伴う流動が考慮されていない。素材製造産業分野における制御されたプロセス評価手法では同様の破損現象を評価することは困難であることから，本研究ではこれを応用した高温金属の溶融・凝固を伴う流動を評価する手法を開発し，当該手法を沸騰水型軽水炉(以降 BWR)の過酷事故事象に適用することにより，燃料由来の金属とスチールの反応による圧力容器破損機構を提示することを目的とした。まず初めに，BWR 過酷事故における燃料由来溶融物(U-Zr-O 融体)の最尤組成および鉄との反応性を熱力学的評価によって導出し，スチール融点近傍においては十分な量の鉄供給を伴う場合に鉄鋼材料の潜熱を上回る発熱を伴い溶損挙動を促進する可能性があることを示した。そして，組成変化を伴う反応における反応・凝固現象評価モデルを新たに提案し，鉄鋼生産プロセス分野などで実績のある合金の温度変化による凝固現象評価モデルと組み合わせることにより高温金属における反応を伴う複雑な流動挙動を評価する方式を提案した。当該手法を等温過程における高温 UO_2-Zr 反応実験の現象解析に適用して妥当性を示したうえで，先に導出した U-Zr-Fe-O 四元系反応を適用して燃料由来溶融物が炉心損傷の段階でスチールと反応する場合の挙動を解析的に評価した。その結果，反応過渡において燃料由来溶融物から一部のウランが反応生成物としてスチールに付着し，圧力容器下部プレナムへ移行した後の崩壊熱による再溶融挙動に影響を与える可能性を指摘した。さらに，当該反応によってスチールに付着する単位面積当たりのウラン物質量を用いて，1F1-3 号機における圧力容器底部破損時刻を推定し，圧力測定値から推定されている破損時間帯の最遅時刻に対して 1.5 時間以内の精度で一致することを示した。したがって，本研究において開発した高温金属反応による溶融・凝固を伴う流動を評価する手法を BWR の過酷事故事象に適用することで，金属反応による圧力容器破損機構を提示し，1F 事故炉の廃炉および軽水炉の健全性評価精度向上に資する情報収集の道筋を与えることに資することができた。