デブリ冷却設備向けの耐熱材浸食モデルの開発：熱化学反応モデルに基づく耐熱材の浸食評価

Development of Refractory Material Erosion Model for Debris Cooling Equipment:
Erosion Evaluation of Refractory Material Based on a Thermo-Chemical Reaction Model

*松下 慎二[1]，能島 雅史[1]，日高 政隆[1]，藤井 正[2]，酒井 健[2]
[1]（株）日立製作所，[2]日立 GE ニュークリア・エナジー（株）

シビアアクシデント時の溶融デブリ対策の一つに，格納容器バウンダリの健全性を確保する方策として耐熱材の使用が考えられている。耐熱材は，溶融デブリの熱的・化学的浸食を受けるため，ジルコニア耐熱材を対象とした熱化学浸食モデルを開発し，浸食挙動を評価した。

キーワード：シビアアクシデント，デブリ冷却，耐熱材，浸食

1. 緒言　炉心溶融および原子炉圧力容器破損を伴うシビアアクシデント発生時には，高温の炉心溶融物（デブリ）が格納容器床に落下・堆積することが想定される。溶融デブリによる浸食に対し，格納容器バウンダリの健全性を確保する方策の一つとして耐熱材の使用が考えられている。耐熱材に関する課題の一つは，溶融デブリと接触した場合の熱的・化学的浸食挙動を評価することである。そこで本研究では，ジルコニア耐熱材を対象とした熱化学浸食モデルを開発し，数値計算を用いて浸食挙動を評価した。

2. 耐熱材の浸食挙動評価

2-1. 浸食試験　ジルコニア耐熱材に対し，雰囲気温度 2100 ± 70℃，模擬デブリとして金属 Zr を用いた浸食試験を実施した。浸食断面を SEM 観察した結果，ジルコニア耐熱材は，デブリ中の未酸化 Zr と還元反応を起こし，耐熱材中の酸素濃度が減少することを確認した。このことから，デブリ－ジルコニア耐熱材間の還元反応に伴う酸素の移動を考慮した浸食評価モデルが必要であるとの着想を得た。

2-2. 浸食挙動評価　図 1 に示すように，熱による溶融のみならず，化学反応（還元反応）を考慮した熱化学浸食を表現する数理モデルを構築した。本モデルは，デブリ－ジルコニア耐熱材界面にて発生する化学反応，および，ジルコニア耐熱材内部における熱・酸素拡散を表現する。

構築した数理モデルを用いて数値計算を行い，ジルコニア耐熱材の浸食挙動を評価した。特に，浸食挙動への影響因子として，化学反応速度，ジルコニア耐熱材の酸素拡散係数およびデブリ温度に着目した検討を実施した。それぞれの因子に対する浸食挙動の依存性を定量的に検討し，化学反応速度が浸食速度を決定する重要な因子である事を確認した（図 2）。

3. 結言　ジルコニア耐熱材を対象に，デブリ界面の化学反応を考慮した浸食評価モデルを開発し，浸食挙動を評価した。開発モデルでは，耐熱材の化学成分変化を解析するため耐熱材－床面の相互作用も検討可能である。今後は，床面上に置かれた系にて浸食挙動を評価予定である。

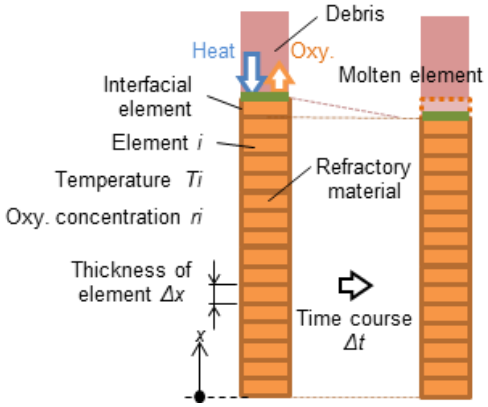

図 1 浸食モデルの概要

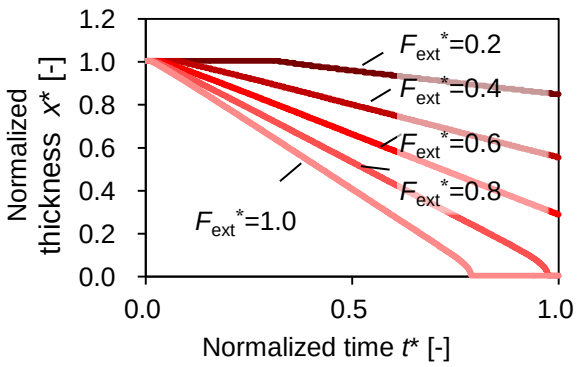

図 2 浸食挙動の化学反応速度(F_{ext})依存性

*Shinji Matsushita[1], Masafumi Nojima[1], Masataka Hidaka[1], Tadashi Fujii[2] and Takeshi Sakai[2]
[1]Hitachi, Ltd., [2]Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd.