

SFRのシビアアクシデント時におけるナトリウム-核分裂生成物の相互作用

概要 / 目的:

熱化学及びCALPHAD (CALculation of PHase Diagram) 法により異なるフェーズにおける予測をどのように強化できるかに注目し、SFRにおけるシビアアクシデントシナリオを紹介いたします。CALPHADとは半経験的方法で、システムの温度、圧力、構成要素の関数として、熱力学的モデルをガス、液体、固体の相でGibbs自由エネルギーをもとに開発できる方法です。ナトリウムと反応後の、Joint Oxide Gainで形成された核分裂生成化合物の熱物力学的性質の実験的計測について紹介します。

講演者紹介:

Guilhem Kauric氏、CEAサクレイの博士課程2年目の学生で、「熱力学モデル化研究所 (LM2T)」の「Service de la corrosion et du comportement des matériaux dans leur environnement」(SCME)に所属しています。博士課程では、過酷事故時のナトリウム冷却高速炉の安全性評価のために、MOX燃料、核分裂生成物、ナトリウム間の化学的相互作用を調査することを目的としています。化学系には多くの元素が含まれているため、この研究のためのモデル開発にはCALPHAD法のアプローチが最適です。

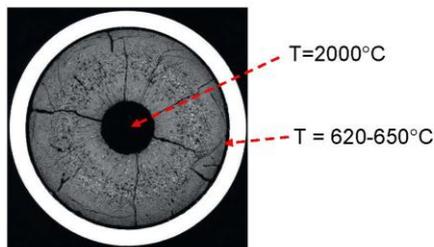


CEAとENEN+プログラムの助成を受け、実験とモデル化を組み合わせた学際的なアプローチで研究活動を行っている。2017年、Chimie Paristech ENSCP (diplome d'ingenieur option chimie des materiaux)を卒業し、INSTNでは原子力工学オプション燃料サイクルの修士号を取得した。

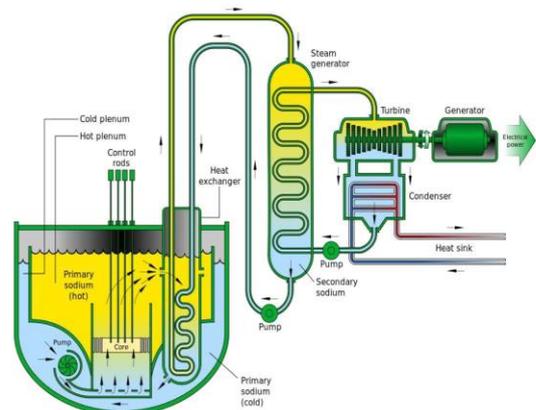
本研究ではSFRの燃料である混合酸化物燃料にターゲットをおいている。混合酸化物燃料は燃料ペレットとして被覆管内にあり、被覆管は液体金属ナトリウムで冷却されています。

Sodium-cooled Fast Reactors

- Mixed Oxide Fuel ($U_{1-x}Pu_x$)O₂
 - $x > 0.2$
- Pellet restructuring under irradiation



Transversal macrograph of a fuel pin after irradiation in a SFR (2)



Sketch of a Sodium-cooled Fast Reactor (1)

(1) A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems, Issued by the U.S. DOE Nuclear Energy Research Advisory Committee and the Generation IV International Forum, (2002)
(2) J. GUIDEZ, B. BONIN, Réacteurs nucléaires à caloporteur sodium, CEA Saclay; Groupe Moniteur, 2014

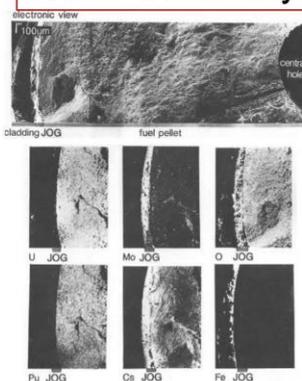
5

照射下で生成される安定な化学種を知ることは、事故の評価に影響するため重要です。また、SFRはナトリウムの共存が特徴であることを考慮する必要があります。

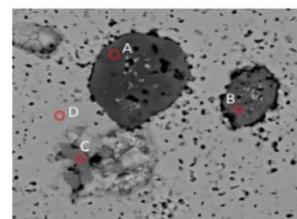
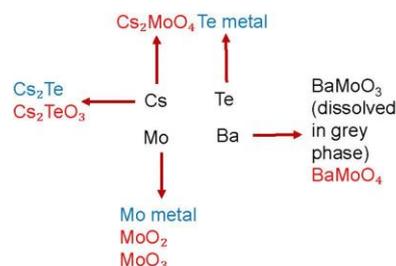
Fission Products Compounds Formed During Irradiation

Main thermodynamic stable phases in the "Joint Oxyde-Gaine" layer

Main thermodynamic stable phases in the "grey phase"



M. Tourasse et al., JNM 188 (1992) 49-57



EDX image of the grey phase (A,B), a Mo-Ru-Pd alloy (C) and the fuel (D)

Simfuel Approaches to Understanding Spent Fuel Behaviour, I.Farman.

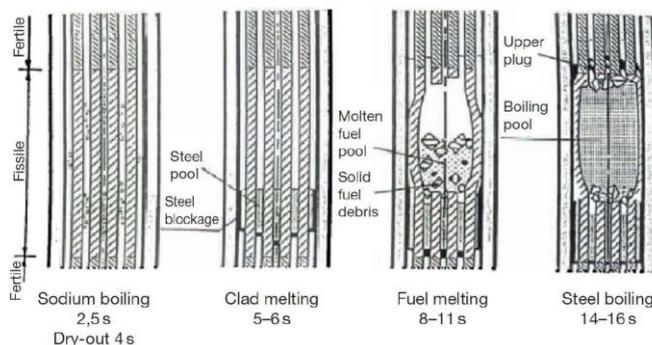
7

シビアアクシデントを想定した場合、FPや混合酸化物燃料とナトリウムとの間には相互作用が存在します。本研究では、この相互作用に着目した熱力学的研究を行っています。

Severe Accident: Definition

- The reactor fuel is significantly **damaged** with more or less extensive **melting of the reactor core**

Phenomena inside the blocked SA



- Fuel ejection into sodium or formation of a local boiling pool depending on the scenario
- **Interaction Na/Fission products compounds**
- Interaction Na/Mixed Oxide fuel
- Volatile fission products release

J. Papin, Behavior of Fast Reactor Fuel During Transient and Accident Conditions, in: Compr. Nucl. Mater., Elsevier, 2012: pp. 609-634

8

この相互作用は温度や酸素ポテンシャルによって異なり、生成される安定な化合物も異なってくる。シビアアクシデントの評価には、幅広い温度範囲や成分に適用できる熱力学モデルが必要です。

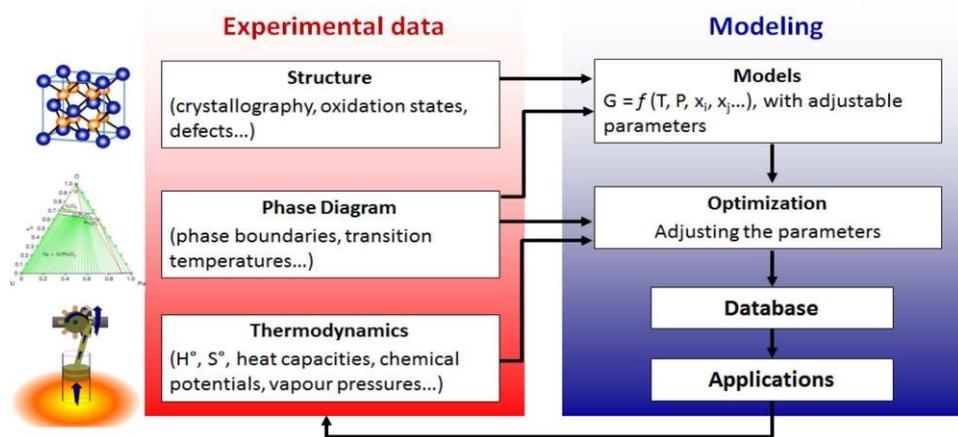
Need for Thermodynamic Modelling

- **Complex** system and **large range of temperatures and compositions**
 - (Cs-Sr-Ba-I-Te-Mo)-(U,Pu)-O + interaction with Na
- **Thermodynamic model** of the interaction between **fuel, fission products** and **liquid sodium** at the **different stages of a severe accident scenario**

Describe the effect of **temperature** and **oxygen potential** on the interaction between sodium and the different fission product compounds

Calphadモデルを用いて、どの化合物が熱力学的に安定であるかを知ることができます。このモデルにはいくつかの実験的な熱力学データが必要です。予測精度はデータの拡充に伴い、今後も向上していくと思われます。この研究は、TAFIDデータベースプロジェクトとして多国間の共同研究で行われています。

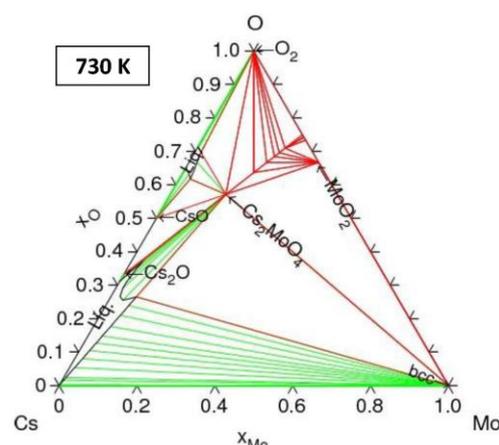
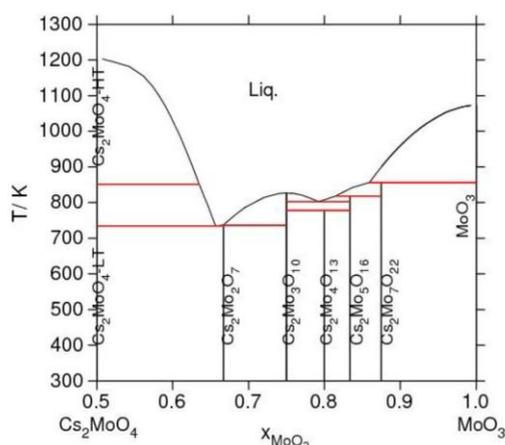
Calphad Modelling Scheme



17

これらのプロジェクトの成果の適用例として、Cs-Mo-Oシステムにおける相図が示されています。それぞれの化学組成の関数および温度の関数で安定な化合物を同定することができます。これはシビアアクシデントの評価に非常に有用なツールとなります。

Cs-Mo-O System Modelling



35