

高速炉用金属材料に対する熱力学的評価：
Pu-rich金属燃料と鉛ビスマス共晶(LBE)について

| | |
|-------|---|
| メタデータ | 言語: Japanese 出版者: 公開日: 2020-05-12 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 大平, 直也 メールアドレス: 所属: |
| URL | http://hdl.handle.net/10098/10909 |

博士論文内容の要旨

専攻名.....総合創成工学専攻

分野名.....原子力・エネルギー安全工学分野

氏名.....太平直也

1 論文題目（英文の場合は、和訳を付記すること）

.....高速炉用金属材料に対する熱力学的評価—Pu-rich 金属燃料と鉛ビスマス共晶 (LBE) について—

2 要旨（和文 2,000 字程度又は英文 800 語程度にまとめること。）

.....2018 年に閣議決定されたエネルギー基本計画によれば、「高速炉や、加速器を用いた核種変換など、放射性廃棄物中に長期に残留する放射線量を少なくし、放射性廃棄物の処理・処分の安全性を高める技術等の開発を推進する」とあり、当面の高速炉の主な役目は再処理により発生する高レベル放射性廃棄物の有害度低減であるといえる。本研究では、長半減期を持つ超ウラン元素 (TRU) の核変換を目的とした高速炉に用いる金属材料における炉内での変化を明らかにする。高速炉で用いられる金属に対して様々な研究が行われているが、マイナーアクチニド (MA) の核変換を目的とした金属材料に関する知見は不足している。本研究では下記の 4 点に着目して研究を行った。

1) Pu-rich 金属燃料の物性

2) RE や MA を金属燃料に添加した際の熱伝導率の変化

3) LBE の膨張挙動

4) LBE 中における核破砕生成物の化学形態

.....本研究ではまず、Pu-40Zr 合金と Pu-20U-20Zr 合金の熱容量、熱伝導率、融点を理論的なモデルや半経験的法則に基づいて推定を行った。Pu-rich 金属燃料の諸物性を推定した結果、これまで研究されてきた金属燃料である U-Zr 合金と比較すると Pu-40Zr 合金における熱伝導率の低下が懸念される結果となった。また、Pu-20U-20Zr 合金の熱伝導率は U-15Pu-10Zr 合金に近い値を示しており U-Pu-Zr 金属燃料と同程度の条件で使用できる可能性が示唆された。次に、金属燃料に MA を添加した際の影響を、模擬材料を用いた実験で明らかにした。模擬材料は、U-Zr 合金の微細組織を再現することに主眼を

| 専攻名 | 総合創成工学専攻 | 分野名 | 原子力・エネルギー 安全工学分野 | 氏名 | 大平 直也 |
|---|----------|-----|---------------------|----|-------|
| <p>置いて Nb-Zr 合金を用い、また MA の模擬材料として希土類元素 (RE) のうち Ce と Nd を用いた。RE を Nb-Zr 合金に添加したサンプルに対して熱拡散率と電気抵抗率を測定し、さらにこれらを焼鈍することで測定した諸物性の回復を明らかにすることを目的とした。その結果、Ce の添加により電気抵抗率の上昇が認められた。また、焼鈍によってこれが回復することが明らかになった。電気抵抗率の上昇は RE の偏析によって発生したと考えられる。本研究では U-Zr 合金に対する MA 添加の影響を明らかにしたが、U-Pu-Zr 合金や Pu-rich 合金でも同様の効果が期待できる。</p> <p>次に、LBE の膨張挙動の解明を目的に実験を行った。LBE の膨張挙動に関する報告は少なく、急冷した LBE における研究がいくつか行われてきた程度である。そこで、本研究では特に冷却速度と膨張挙動の関係性に着目し、LBE を所定の冷却速度で冷却してアルキメデス法により密度の変化を測定することでこれを明らかにした。その結果、冷却速度が遅い場合では膨張挙動が反応速度論に依存している可能性が高いことがわかった。これに加えて LBE が充填されたステンレス容器に対するひずみ測定を異なる冷却速度で行い、LBE による内圧を評価した。その結果、ひずみ量の時間変化はどの条件でも同じように対数的に上昇して最大値を迎え、その後低下することが明らかになった。また、その時の最大ひずみ量は冷却速度にほとんど依存しないことが分かった。得られた結果から算出した LBE による内圧は降伏圧縮応力である可能性が高い。</p> <p>最後に、LBE 内に含まれる不純物である核破砕生成物 (SP) の化学形態について熱力学計算によって検討を行った。その結果、①揮発、②酸化物あるいは複合酸化物、③溶解の大きく分けて 3 つのグループに分かれることがわかった。そのうち溶解する元素は貴金属類をはじめとした元素を中心に 1~2ppm であることがわかった。これは工業用の Pb や Bi に含まれる不純物程度の濃度であった。また、前述した LBE の膨張挙動に影響を及ぼすものではないと考えられる。しかし、配管に用いられるステンレス鋼から特に Ni が LBE 中に溶解する点が指摘されており、Ni の影響により LBE ループの一部が閉塞したという報告もあった。そこで、Ni の影響を評価するために LBE に Ni を所定の量添加し、ひずみ測定実験を行った。その結果、Ni の含有によりステンレス鋼へのひずみは増えず、むしろ大きく減少することがわかった。計算の結果から膨張量自体にほとんど差はないが、液体からの密度変化という点では LBE 単体より大きい。得られた結果から NiBi₃ により内部に空隙が形成され、LBE が膨張してもそれによる内圧があまり上昇しなかったと考えられる。MA 燃焼高速炉の金属材料のうち、金属燃料と液体金属冷却材にフォーカスし、それぞれに対して以下の課題を独自に抽出した。それぞれの課題に対して計算や実験を行い一定の知見を得ることができた。</p> | | | | | |