The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Studies on Physical Properties of Metal Hydrides and Hydrogen Behavior in Zr Alloys
Author(s)	Ito, Masato
Citation	大阪大学, 2008, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/2407
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

【105】

氏　　名	伊　東　正　登（いとう まさと）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学　位　記　番　号	第　２２０７４　号
学 位 授 与 年 月 日	平成 20 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第４条第１項該当 工学研究科環境・エネルギー工学専攻
学　位　論　文　名	Studies on Physical Properties of Metal Hydrides and Hydrogen Behavior in Zr Alloys （金属水素化物の物性ならびに Zr 合金中水素挙動に関する研究）
論 文 審 査 委 員	（主査） 教　授　山中　伸介 （副査） 教　授　竹田　敏一　　教　授　山本　孝夫　　教　授　山口　　彰 准教授　宇埜　正美

論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、金属水素化物の物性また燃料被覆管の特性に与える水素の影響について、実験的および解析的に行なわれた研究をまとめた。本論文は、以下の五章から構成されている。

第一章では、序論として本研究の背景・目的を述べている。金属水素化物は、高速炉中性子スペクトル調整材としても期待されており、その物性を評価することが、原子力システムの高度化のために非常に重要であることを論じた。また、軽水炉の高燃焼度下では被覆管の水素吸収量の増大が問題となっており、ジルコニウム合金中の水素挙動について詳細な把握が必要であることを論じた。

第二章では、Ⅲ族、Ⅳ族、Ⅴ族の金属水素化物に注目し、その物性を実験的に評価した。測定に際し、これまで作成が困難といわれていたバルク状の金属水素化物の作成方法を確立した。機械的性質について、水素濃度の増加により Y および Nb 水素化物の硬くなる一方で、Ti、Zr および Hf 水素化物は軟化することが明らかとなった。また、Ti、Zr、Hf および Nb 水素化物はその純金属と同程度の熱伝導率を示す一方で、Y 水素化物はその純金属より著しく大きな熱伝導率を示した。

第三章では、金属水素化物の物性を第一原理計算により評価した。第一原理電子状態計算から得られた弾性率ならびに熱膨張率は、実験結果と非常によく一致した。電子状態の変化よりこれらの結果を議論した。

第四章では、耐食性に優れるとされる Zr-Nb 合金に注目し、その合金中水素挙動を実験的に評価した。様々な組成の Zr-Nb 二元系合金および Nb 添加 Zry-4 の水素固溶限を評価し、固溶限に与える Nb 添加の影響を評価した。Nb 添加で β-Zr が析出するため、Zr の水素固溶限が増大することを明らかにした。また、Zr-Nb 合金の機械的性質に与える水素吸収の影響を評価した。水素が全て固溶している領域では弾性率は減少し、水素化物が析出し始めるとその弾性率はやや上昇した。この結果は、第二、三章で明らかになった Zr と H の相互作用の結果より説明することができた。

第五章では、燃料被覆管中の水素挙動を有限要素解析により評価した。現在問題になっている高燃焼度燃料被覆管の水素脆化挙動において、応力勾配によるき裂先端への水素拡散が重要であると考えられる。本章ではき裂部への水素の集積を非定常拡散解析により模擬し、き裂数やき裂深さ、内圧等の影響を明らかにした。き裂深さ、内圧の増大

により水素が集積する領域が拡大することが明らかになった。また、数十秒～千秒と非常に短時間で水素濃度は有意に増大した。以上の結果より、PCMI や半径方向水素化物などの複合的要因で、ごく短時間の間にき裂が貫通にいたる可能性があり、報告された高燃焼度燃料被覆管の破損挙動を説明できる。

第六章は結論であり、本研究で得られた成果を総括した。

論文審査の結果の要旨

本論文は、高速炉スペクトル調整材として期待される金属水素化物の物性について、また核燃料被覆管の特性に与える水素の影響について、実験的および解析的に行なわれた研究をまとめたものである。主な成果は以下のように要約できる。

Ⅲ族、Ⅳ族、Ⅴ族の金属水素化物の物性を、実験および第一原理電子状態計算により評価している。バルク状金属水素化物の作成手法を確立することで、水素化物の物性をこれまでになく詳細に評価することに成功している。機械的性質について、水素濃度の増加により Y および Nb 水素化物が硬くなる一方で、Ti、Zr および Hf 水素化物は軟化することを示している。また、Ti、Zr、Hf および Nb 水素化物はその純金属と同程度の熱伝導率を示す一方で、Y 水素化物はその純金属より著しく大きな熱伝導率を示すことを明らかにしている。また、これらの物性の第一原理評価にも成功しており、得られた実験結果の妥当性を示すとともに、熱膨張挙動に与える水素光学振動の影響など、水素化物の物性評価の理論に新たな知見を与えている。

また、高燃焼度下の燃料被覆管の健全性を評価するために、Zr 合金中水素挙動を実験および有限要素解析により評価している。耐食性に優れる Zr-Nb 合金に注目し、様々な組成の Zr-Nb 二元系合金および Nb 添加 Zry-4 の水素固溶限を評価し、固溶限に与える Nb 添加の影響を評価している。Nb 添加で β-Zr が析出するため、Zr の水素固溶限が増大することを明らかにしている。また、有限要素法によるき裂先端への非定常水素拡散解析から、高燃焼度被覆管で懸念されている水素遅れ割れと呼ばれる脆化現象の評価を行なっている。様々なパラメータの影響を吟味しているが、特にき裂深さ、内圧の増大によりき裂部の水素が集積する領域が拡大することや、数十秒～千秒と非常に短時間で水素濃度が有意に増大することは非常に重要な結果である。PCMI や半径方向水素化物などの複合的要因で、ごく短時間の間に被覆管のき裂が貫通にいたる可能性を示しており、本論文は高燃焼度燃料被覆管の出力急昇試験で報告されている破損挙動を定性的に説明することに成功している。

以上のように、本論文は金属水素化物の物性や燃料被覆管中水素挙動について、重要な知見を与えている。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。