



Title	原子炉過酷事故における燃料デブリおよびMCCI生成物の物性評価
Author(s)	中森, 文博
Citation	大阪大学, 2017, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/61718">https://doi.org/10.18910/61718</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

## 論文内容の要旨

氏 名 （ 中 森 文 博 ）

論文題名

原子炉過酷事故における燃料デブリおよびMCCI生成物の物性評価

## 論文内容の要旨

本論文では、福島第一原子力発電所（1F：Fukushima daiichi nuclear power plant）の廃止措置に資するために、燃料デブリおよび溶融コア・コンクリート反応（MCCI：Molten core-concrete interaction）生成物の熱的および機械的物性の評価を行った。本論文は以下の6章で構成されている。

第1章では、1F事故の経緯に関して記述し、燃料デブリおよびMCCI生成物の研究動向を整理した。燃料デブリは主にセラミックス( $\text{U, Zr})\text{O}_2$ 、Zr合金あるいはステンレス由来の合金およびホウ化物 $\text{ZrB}_2$ 、 $(\text{Fe, Cr, Ni})_2\text{B}$ で、MCCI生成物は燃料デブリとコンクリート由来の物質( $\text{SiO}_2$ など)との化合物で構成されている可能性を述べた。また、これらの物質のなかで $\text{ZrB}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{B}$ および $\text{ZrSiO}_4$ に着目した理由と本研究の目的を論じた。

第2章では、燃料デブリおよびMCCI生成物の取出し時に把握すべき物性を述べるとともに、本研究で評価した物性の概要とその測定・評価方法に関して記述した。1Fでの燃料デブリおよびMCCI生成物の取出し技術の選定および治具開発は、実際に燃料デブリを取出したスリーマイル島原子力発電所2号機（TMI-2：Three mile island unit 2）の事例を参考に検討されており、加工の観点から熱的および機械的物性が重要であることを述べた。

第3章では、燃料デブリおよびMCCI生成物のなかで比較的高い硬さを示す $\text{ZrB}_2$ の文献値を整理するとともに、バルク試料から物性を測定した。文献値にはばらつきがあり、特に熱伝導率で大きな差異が見られた。本研究では、包括的に物性を評価することで相関する各物性間の関係を考慮し、また同じ結晶構造を有する $\text{TiB}_2$ や $\text{VB}_2$ などとの関係を比較することで $\text{ZrB}_2$ の確からしい熱・機械的物性を明らかにした。

第4章では、炉心損傷初期時に生成する液相が凝固した燃料デブリに多く含まれる $\text{Fe}_2\text{B}$ の物性評価を行った。報告されている $\text{Fe}_2\text{B}$ の物性が少ない点から、高品質なバルクを作製することで物性を評価した。本研究で評価した物性の相関性を検討することで、 $\text{Fe}_2\text{B}$ の妥当な熱的および機械的物性のリストを構築した。

第5章では、MCCI生成物である $\text{ZrSiO}_4$ の物性値を評価した。報告されている物性値には一貫性がなく、その一因として試料密度の不一致があげられた。そこで放電プラズマ焼結法の適用により相対密度95%を超える単相バルク $\text{ZrSiO}_4$ を作製し、物性を測定した。試料密度と物性値および物性間の関係を評価することで妥当性のある物性を取得できた。

第6章は結論として、本研究で評価した物質とTMI-2の燃料デブリ、炉内材料および工業材料と様々な物性を比較することで1Fの燃料デブリおよびMCCI生成物の位置付けを評価した。TMI-2と比較して、1Fでは制御材 $\text{B}_4\text{C}$ 由来のホウ化物およびMCCIによる $\text{ZrSiO}_4$ が生成することで、より硬い燃料デブリ・MCCI生成物が形成されている可能性が示唆された。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 中 森 文 博 )			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	准教授	牟田 浩明
	副 査	教授	山本 孝夫
	副 査	教授	北田 孝典
	副 査	教授	山中 伸介 (理事・副学長)
	副 査	准教授	黒崎 健

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、福島第一原子力発電所（1F：Fukushima daiichi nuclear power plant）の廃止措置に資するために、燃料デブリおよび溶融コア・コンクリート反応（MCCI：Molten core-concrete interaction）生成物の熱的および機械的物性の評価を行っている。本論文は以下の6章で構成されている。

第1章では、1F事故の経緯に関して記述し、燃料デブリおよびMCCI生成物の研究動向を整理している。燃料デブリは主にセラミックス( $\text{U, Zr})\text{O}_2$ 、Zr合金あるいはステンレス由来の合金およびホウ化物 $\text{ZrB}_2$ 、 $(\text{Fe, Cr, Ni})_2\text{B}$ で、MCCI生成物は燃料デブリとコンクリート由来の物質( $\text{SiO}_2$ など)との化合物で構成されている可能性を述べている。また、これらの物質のなかで $\text{ZrB}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{B}$ および $\text{ZrSiO}_4$ に着目した理由と本研究の目的を論じている。

第2章では、燃料デブリおよびMCCI生成物の取出し時に把握すべき物性を述べるとともに、本研究で評価した物性の概要とその測定・評価方法に関して記述している。1Fでの燃料デブリおよびMCCI生成物の取出し技術の選定および治具開発は、実際に燃料デブリを取出したスリーマイル島原子力発電所2号機（TMI-2：Three mile island unit 2）の事例を参考に検討されており、加工の観点から熱的および機械的物性が重要であることを述べている。

第3章では、燃料デブリおよびMCCI生成物のなかで比較的高い硬さを示す $\text{ZrB}_2$ の文献値を整理するとともに、バルク試料から物性を測定している。文献値にはばらつきがあり、特に熱伝導率で大きな差異が見られたことが報告されている。本研究では、包括的に物性を評価することで相関する各物性間の関係を考慮し、また同じ結晶構造を有する $\text{TiB}_2$ や $\text{VB}_2$ などとの関係を比較することで $\text{ZrB}_2$ の確からしい熱・機械的物性を明らかにしている。

第4章では、炉心損傷初期時に生成する液相が凝固した燃料デブリに多く含まれる $\text{Fe}_2\text{B}$ の物性評価を行っている。報告されている $\text{Fe}_2\text{B}$ の物性が少ない点から、高品質なバルクを作製することで物性を評価している。本研究で評価した物性の相関性を検討することで、 $\text{Fe}_2\text{B}$ の妥当な熱的および機械的物性のリストを構築している。

第5章では、MCCI生成物である $\text{ZrSiO}_4$ の物性値を評価している。報告されている物性値には一貫性がなく、その一因として試料密度の不一致があげられている。そこで放電プラズマ焼結法の適用により相対密度95%を超える単相バルク $\text{ZrSiO}_4$ を作製し、物性を測定している。試料密度と物性値および物性間の関係を評価することで妥当性のある物性を取得できている。

第6章は結論として、物性を評価した物質とTMI-2の燃料デブリや炉内材料などの様々な物性を比較することで1Fの燃料デブリおよびMCCI生成物の位置付けを評価している。TMI-2と比較して、1Fでは制御材 $\text{B}_4\text{C}$ 由来のホウ化物およびMCCIによる $\text{ZrSiO}_4$ が生成することで、より硬い燃料デブリ・MCCI生成物が形成されている可能性が示唆されている。

以上のように、本論文は燃料デブリおよびMCCI生成物の熱的および機械的物性に関しての重要な基礎データを提供するとともに、それらの妥当性に関して具体的な検討をしている。これらの知見は、福島第一原子力発電所の廃止措置において寄与することが可能である。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。