

一般セッション | V. 核燃料サイクルと材料：501-2 核燃料とその照射挙動

2024年9月13日(金) 11:10 ~ 12:00 N会場(講義棟B棟2F B203)

[3N07-09] データ科学と燃料物性

座長:中村 勤也(電中研)

11:10 ~ 11:25

[3N07]

データ科学との融合による核燃料研究の新展開

(10) 照射後試験画像に基づく燃料の照射挙動研究

*小無 健司¹、大西 慶弘³、森 一樹³、渡部 雅⁴、廣岡 瞬⁴、黒崎 健² (1. 東北大学、2. 京都大学、3. 伊藤忠テクノソリューションズ、4. 原子力機構)

11:25 ~ 11:40

[3N08]

データ科学との融合による核燃料研究の新展開

(11)機械学習を用いた新規高熱伝導率核燃料の選択と U_2Ti の物性評価

*寅田 琉介¹、大石 佑治¹、牟田 浩明¹、孫 一帆²、熊谷 将也^{2,3,4}、黒崎 健² (1. 大阪大学工学研究科、2. 京都大学複合原子力科学研究所、3. さくらインターネット、4. 理化学研究所)

11:40 ~ 11:55

[3N09]

データ科学との融合による核燃料研究の新展開

(12)ガス浮遊レーザー加熱炉による ZrO_2 の放射光XAFS/XRDその場観察

*矢板 毅¹、小林 徹¹、谷田 肇¹、大石 佑治³、小無 健司²、黒崎 健⁴ (1. 日本原子力研究開発機構、2. 東北大学、3. 大阪大学、4. 京都大学)

11:55 ~ 12:00

座長持ち時間

データ科学との融合による核燃料研究の新展開
(10) 照射後試験画像に基づく燃料の照射挙動研究

New Developments in Nuclear Fuel Research through Integration with Data Science

(10) Study of irradiation behavior of fuel based on images of post-irradiation examinations

*小無 健司¹, 大西 慶弘², 森 一樹², 渡部 雅³, 廣岡 瞬³, 黒崎 健⁴

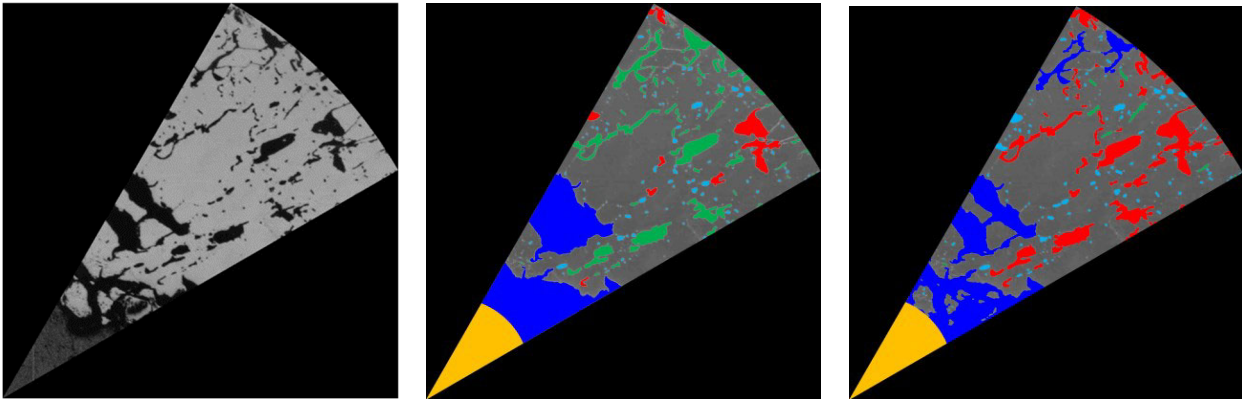
¹東北大学, ²CTC, ³JAEA, ⁴京都大学

核燃料の照射後試験画像から気孔を識別しデータベースを作成した。気孔による密度低下を考慮した熱伝導解析を実施した。また、蒸着-凝縮過程に基づく気孔移動を計算した。

キーワード：核燃料，照射後試験，画像解析，挙動解析

1. 画像データベース

照射後試験（PIE）画像から照射挙動を推察するために、画像解析により気孔データを識別しデータベースとして保存した。ここでは、JAEA の高速実験炉「常陽」で実施された MA 含有 MOX 燃料の PIE データを用いた。画像解析例を図 1 に示す。



(a) SEM 画像

(b) 画像認識

(c) 画像認識（改良）

図 1 画像解析例

2. 挙動解析

このデータベースを用いて気孔を含んだ材料の熱伝導解析を有限要素法を用いて実施した。熱伝導度に基づき気孔の影響は、汎用の二領域モデルを用いた。次に、温度勾配下の気孔の移動を蒸発-凝縮モデルを用いて実施した。

3. 結果

計算の結果、燃料内温度分布、中心空孔の形成を妥当な精度で再現することが出来た。PIE 画像に基づいた照射挙動解析ツールを作成した。

謝辞

本研究発表は、文部科学省原子力システム研究開発事業基盤チーム型令和 4 年度採択課題「データ科学との融合による核燃料研究の新展開」の成果を含む。

*Kenji Konashi¹, Yoshihiro Oonishi², Kazuki Mori², Masashi Watanabe³, Shun Hirooka³ and Ken Kurosaki⁴

¹Tohoku Univ., ²CTC, ³JAEA, ⁴Kyoto Univ.

データ科学との融合による核燃料研究の新展開

(11) 機械学習を用いた新規高熱伝導率核燃料の選択と U_2Ti の物性評価

New Developments in Nuclear Fuel Research through Integration with Data Science

(11) Selection of novel high thermal conductivity nuclear fuels based on machine learning and physical property evaluation of U_2Ti *寅田 琉介¹, 大石 佑治¹, 牟田 浩明¹, 孫 一帆², 熊谷 将也^{2,3,4}, 黒崎 健²¹大阪大学, ²京都大学, ³さくらインターネット, ⁴理化学研究所

機械学習によって熱伝導率が高いと予測されたウラン化合物の中から U_2Ti を選択し、アーク溶解と放電プラズマ焼結により高密度単相試料を作製した。熱伝導率の温度依存性についてレーザーフラッシュ法を用いて評価し、機械学習の予測結果と比較した。

キーワード：核燃料物質, 機械学習, ウラン化合物, U_2Ti , 高熱伝導率

1. 緒言

UO_2 には原子炉で用いる上で好ましい性質がいくつかあるものの熱伝導率が低いという欠点が存在する。そのためより高い熱伝導率を有する新規核燃料の開発が望まれている。核燃料開発にあたり近年様々な分野で盛んに行われている機械学習を用いた材料開発に着目した。この手法を原子力分野で用いることで核燃料の効率的な開発が期待される。そこで Sun[1]らの熱伝導率予測をもとに高い熱伝導率と高いウラン密度を併せ持つと考えられる U_2Ti を選択、単相試料を作製し物性を評価した。

2. 実験方法

化学量論組成となるように U および Ti を秤量、アーク溶解した後粉碎し、放電プラズマ焼結と熱処理を行って高密度バルク試料を作製した。X 線回折測定と走査電子顕微鏡およびエネルギー分散型 X 線分析により、目的の化合物である U_2Ti が合成できていることを確認した。その後、レーザーフラッシュ法により熱伝導率を評価した。

3. 結果

X 線回折測定とエネルギー分散型 X 線分析結果から、作製した試料は U_2Ti が主相の均一な試料であると確認できた。 U_2Ti の熱伝導率の実験結果を他の U 化合物の文献値とともに図に示す。 U_2Ti の熱伝導率は 1000 K までの温度域において UO_2 の熱伝導率を大きく上回った。 U_2Ti の熱伝導率は機械学習による予測範囲内に収まっており、予測結果と一致したと言える。また、温度の上昇に伴って U_2Ti の熱伝導率も上昇した。この温度に伴う熱伝導率上昇は電子熱伝導率の寄与が大きいと考えられる。発表では電子熱伝導率についても議論する。

参考文献

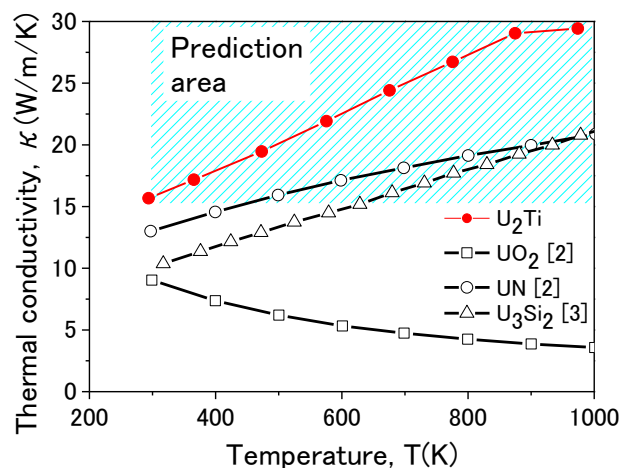
[1] Y. Sun et al., *Journal of Nuclear Science and Technology*, **61**, 778-788, (2023).[2] K. S. Chaudri et al., *Prog. Nucl. Energy*, **63**, 57-65, (2013).[3] J.T. White et al., *Journal of Nuclear Materials*, **464**, 275-280, (2015).

図 U_2Ti および他の U 化合物の熱伝導率と機械学習の予測範囲

*Ryusuke Torata¹, Yuji Ohishi¹, Hiroaki Muta¹, Yifan Sun², Masaya Kumagai^{2,3,4} and Ken Kurosaki²¹Osaka Univ., ²Kyoto Univ., ³Sakura Internet, ⁴RIKEN.

データ科学との融合による核燃料研究の新展開

(12) ガス浮遊レーザー加熱炉による ZrO_2 の放射光 XAFS/XRD その場観察

New Developments in Nuclear Fuel Research through Integration with Data Science

(12) In-situ synchrotron XAFS/XRD observation of ZrO_2 by gas-floating laser furnace*矢板 毅¹, 小林 徹¹, 谷田 肇¹, 大石 佑治², 小無 健司³, 黒崎 健⁴¹JAEA, ²阪大, ³東北大, ⁴京大

本研究では、ガス浮遊レーザー加熱炉を用いる放射光 XRD および XAFS の同時測定システム最適化を行い、 ZrO_2 の高温融体の構造物性について議論した。

キーワード：ウラン燃料、高温溶融体、構造、X 線回折、放射光、ガス浮融体

1. 緒言

本研究は、安全評価や事故時挙動評価に際して最重要となる「超高温域（融点前後）」に着目し、NNポテンシャルを用いた物性評価を行うことを最終目的としている。理論的予測においては、その正当性を検証する必要がある、各種核燃料の融点前後の構造および電子状態に関する知見を得るために、ガス浮遊レーザー加熱装置を用いる放射光XRDおよびXAFSの同時測定システムを構築し、シミュレーション結果を実験的に評価している。今回試料として用いた ZrO_2 は、単斜晶、正方晶、立方晶の3つの多形態を持つ。これによれば、温度の上昇に伴って、このスキームに沿った相図が構築される。本講演では、最適化した測定条件に関する情報および ZrO_2 の温度変化に伴う構造および電子状態の変化について紹介する。

2. 実験

測定は SPring-8 の JAEA 専用ビームライン BL22XU において行った。入射光強度はイオンチェンバーを試料直前に設置して測定し、X 線回折は CCD カメラを、XAFS は、Si-SDD 検出器を、それぞれ測定チャンバーの窓の位置を考慮する形で、試料上下流の光軸に対して水平方向にずらした位置に設置して測定した。試料は球状の ZrO_2 にアルゴンガスを噴射することで浮遊させ、これにレーザーを照射することで試料を加熱した。

3. 結果と考察

図 1 a, b に温度変化に伴う ZrO_2 の XANES スペクトルおよび動径構造関数を示した。図 1 b から温度変化に伴う相転移に伴う Zr-O 原子間距離の変化が観察できるとともに、熔融過程で ZrO_2 としてのクラスタ化に伴う電子状態変化が図 1 a から明確に確認できる。この電子状態の変化を含む一連の変化についても講演で紹介する予定である。

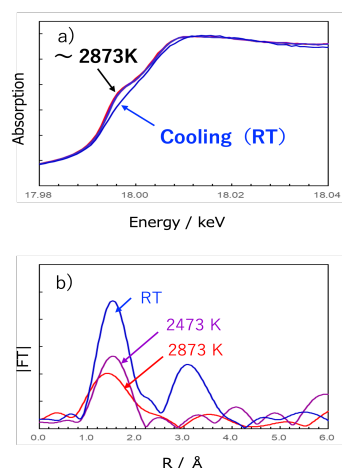


図 1 温度変化に伴う ZrO_2 の
a(上) : XANES スペクトルお
よび b(下) : 動径構造関数

謝辞 本研究発表は、文部科学省原子力システム研究開発事業基盤チーム型令和 4 年度採択課題「データ科学の融合による核燃料研究の新展開」の成果を含む。

*Tsuyoshi Yaita¹, Tohru Kobayashi¹, Hajime Tanida¹, Yuji Ohishi², Kenji Konashi³, Ken Kurosaki⁴

¹JAEA, ²Osaka Univ., ³Tohoku Univ., ⁴Kyoto Univ.