

令和 2 年 4 月 20 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H02447

研究課題名(和文) MCCIデブリからのアクチノイド溶出機構および処理プロセスに関する基盤研究

研究課題名(英文) Basic Study on actinide leaching and waste management of MCCI debris

研究代表者

佐々木 隆之 (Sasaki, Takayuki)

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号：60314291

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,700,000円

研究成果の概要(和文)：炉心溶融に至った燃料がコンクリートと接触した場合、MCCIデブリを形成する。二酸化ウランを主体とする使用済燃料と異なり、カルシウムウラン酸化物等を生成し、また制御棒中のホウ素との反応によりホウ化ウランを形成するなど、温度や雰囲気により種々のデブリを生成することが分かった。水への浸漬により溶出する種々の核分裂生成物量比から、MCCIデブリを処分する際の化学的安定性に関する知見を得た。さらに、得られた模擬デブリにガラス主成分としてのSi, B, Naを加えて大気雰囲気下でガラス固化した場合、廃棄物としての容積は増加するものの、核種溶出の抑制効果があることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、福島第一原発事故で発生したと考えられる様々な燃料デブリのうち、これまで殆ど知見の無いコンクリートと反応したデブリに着目し、デブリ固相の性状および水に対する化学的耐性を実験的に検討した。これらの基礎知見は、進行中の廃炉事業ならびにデブリ回収後の過度に保守的でない処理処分方策の立案に有益な情報をもたらすものである。

研究成果の概要(英文)：A simulated fuel debris of MCCI debris that occurred at the severe accident at FDNPS was prepared as a fundamental study for the proposal of the final disposal. The relationship between properties of the solid phase condition and leaching of U and fission products was investigated. Additionally, we proposed the vitrification method for stabilizing the generated debris. Unlike ordinary spent fuel mainly composed of uranium dioxide, the formation of calcium-uranium oxide was confirmed at high temperatures, and the uranium boride was formed by reaction with B in control rods. Various fission products were introduced by thermal neutron irradiation. Based on the concentration of nuclides eluted by immersion in artificial seawater etc., the knowledge of long-term chemical stability of MCCI debris when disposed was obtained. When the debris was vitrified under an anaerobic condition, the volume as waste increased, but a significant effect of suppressing elution of nuclides was found.

研究分野：バックエンド工学

キーワード：MCCI燃料デブリ 核分裂生成物 溶出挙動 ガラス固化 東京電力福島第一原子力発電所

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

諸外国の事故事例と異なり、福島第一原子力発電所(1F)事故は大地震による原子炉停止後に津波による全電源喪失と LOCA が発生、炉心が高温状態になり、燃料-被覆管および被覆管-冷却水の反応進展とともに、熔融したと考えられている。1F の廃止措置においては、世界でも経験の無い燃料デブリの取出しに注目が集まるが、デブリ取出し後に直面する処分を見据えた処理の具体的な立案・計画はまだ無い。ワンスルー方式を採る国でなされている使用済燃料(SF)の直接処分に係る最新の安全研究では、高燃焼度 BWR 実燃料の固相状態や水への溶出挙動に関する研究が進むなど、着実に知見を蓄積している。しかし、1F で発生した燃料デブリはウラン酸化物とジルカロイ被覆管やコンクリート等の高温接触により、MCCI デブリが形成されたと考えられ、諸外国の SF 研究事例を適用できない。来るべき 1F デブリ最終処分に向けて、新たな科学的知見の取得と新しい概念に基づく処理・処分法の研究・開発は不可欠であり、国の廃炉対策として喫緊の課題である。

1F デブリ性状に関する国内先行研究は、例えば原子炉安全研究の一部として、米国 TMI の試料を用いて行われてきた。しかし還元条件における燃料熔融では、1F のような高温海水との反応など酸化条件を伴う環境とは異なり、また、固体の機械的性質および組成評価等、限られた目的のために行われたものが殆どであった。我々は、ウラン酸化物とジルカロイとの相互作用により生成する様々な固溶体を想定し、少量の模擬燃料デブリ試料の種々の気相雰囲気、温度条件での調製法の確立[1]、XRD および SEM-EDX 法による固相状態解明[2]、核分裂生成物(FP)や超ウラン元素(TRU)や、トレーサとして添加したアクチノイドの溶出挙動の理解[3]に努めてきた。MCCI デブリ処理について現在、乾式法等の既存技術の適応が考えられているが、大規模かつ恒久的な処理プラントを建設して処理することは現実性、科学的合理性に乏しいと言わざるを得ず、必要最低限の処理で効果的な方法を探るべきである。そのため、処理による固体性状および溶出性の評価と処分時の廃棄体健全化の両面から、MCCI デブリに取り組む必要がある。

2. 研究の目的

本研究は、福島原発事故で発生したデブリの合理的な最終処分の提案に向けた基盤研究を行うことを目的とする。アクチノイドを含む MCCI(Molten Core Concrete Interaction)模擬デブリを調製し、固相の性状と核種の溶出性の関連を明らかにするとともに、発生したデブリの安定化処理を検討する。具体的には、デブリの耐酸化性、核種の耐溶出性を向上させる固溶体安定化剤を添加した模擬廃棄体を、酸素雰囲気や加熱温度を制御して種々調製し、デブリ中アクチノイドの地下水に対する溶出性とその機構を評価することで、処理の妥当性についてはその必要性について論じる。

3. 研究の方法

(1) MCCI デブリの調製と性状評価：①固体試料調製： $\text{UO}_2\text{-ZrO}_2$ 系化合物とコンクリートとの反応による模擬 MCCI デブリを対象とする。セメント混合比や、加熱温度、雰囲気(水素、水蒸気、酸素)等条件を変えて調製するとともに、生成物について XRD による構造解析等を行いデブリの性状を評価する。さらに、デブリ試料内への溶出対象核種の導入を中性子照射法やトレーサ添加法により行う。②固体試料分析：作製したデブリ試料の性状を明らかにするため、XRD、XRF、SEM-EDX 等とともに、粒界毎の元素組成をバルクでのそれと比較する。

(2) 核種の溶出挙動評価：①溶出率評価：模擬デブリ中のアクチノイドおよび核分裂生成物の水溶液(塩化ナトリウム、炭酸ナトリウム等を含む模擬地下水、人工海水)への溶出率を評価する。浸漬実験は現在の 1F 炉内環境である大気雰囲気と、地層処分を前提とした還元雰囲気で行う。還元雰囲気での実験には Ar グローブボックス等を用いる。固相中の核種インベントリおよび浸漬液中の核種濃度を、 α 線および γ 線スペクトル、ICP-MS 法等により定量する。核種溶出率はウラン溶出率で規格化し、その時間依存性、液性依存性(pH, Eh, Ca 濃度等の変化等)を評価する。さらに、溶存濃度のろ過フィルタ依存性から、コロイド存在状態を評価しつつ、溶解度との関連を熱力学的に考察する。②浸漬固相表面分析：デブリ表面の二酸化ウランの 6 価への酸化および地下水への溶出は、他の核種の溶出挙動に影響を及ぼす。ウランの化学状態変化を ATR-FTIR 法により追跡する。スペクトルからウラン酸化物 UO_{2+x} の酸化進行(O/U 比増加)に伴う蛍石型構造振動の縦光学モード変化等の情報を得る。また、溶出したウランの鉱物や金属ウラン酸化物への収着・再沈殿生成を評価する。

(3) 安定固相の調製：廃棄体となる MCCI デブリからの核種溶出を抑制するため、固相に安定化剤を添加し低温熱処理する方法を模索する。安定化剤はデブリと比較的低い温度で固溶体を形成し、臨界防止効果が期待され、さらに地下水との接触時にウラン酸化が抑制されることが望ましい。本研究では特にガラス成分や酸化ホウ素系化合物の適用を中心に進める。種々の合成条件

で調製した処理 MCCI デブリの性状および溶出性を上記 1,2 によって評価する。

(4) 処理法の提案：処理前後の MCCI デブリからのアクチノイド及び FP の地下水への溶出性や固相安定性を比較し、廃棄体の健全化すなわちデブリの耐酸化性、耐腐食性の観点から最適な処理法を提案する。

4. 研究成果

(1) MCCI デブリの調製と性状評価：燃料 (UO_2)、酸化した燃料被覆管 (ZrO_2)、セメント成分 ($\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2$ 、およびセメント標準物質)、制御棒 (B_4C) の各模擬成分を初期固相とし、所定モル比で磨砕・混合し、 $\text{Ar} + 10\% \text{H}_2$ (還元) または $\text{Ar} + 2\% \text{O}_2$ (酸化) の雰囲気下、温度 ($1200 \sim 1600^\circ\text{C}$) で、電気炉を用いて数時間加熱調製した。得られた模擬燃料デブリ固相の相関係を粉末 X 線回折法 (XRD) および SEM-EDX により評価した。生成固相の一例を示す。 $\text{UO}_2\text{-CaCO}_3\text{-SiO}_2$ (1:1:1 など) 混合試料を還元雰囲気で 1200°C 加熱すると、 UO_2 の反応は顕著に見られず Ca_2SiO_4 等の生成が確認できた。一方、酸化雰囲気では U-Ca-O 三元系酸化物となり、Ca/U 元素組成比の増加 (1:0.75 から 1:6.75 まで) に伴い支配種は、 $(\text{Ca}_y\text{U}_{1-y})\text{O}_{2+x}$ 、 CaUO_4 、 Ca_3UO_6 および CaUO_4 へと変化した。 $\text{UO}_2\text{:ZrO}_2\text{:CaCO}_3\text{:SiO}_2$ (1:1:1:1) 磨砕・混合試料 (還元、 1200°C) では、 UO_2 固溶体と U_3O_8 、 CaUO_4 の混合物が確認され、同 1600°C では CaUO_4 は不安定であった。 UO_2 と CaCO_3 をモル比 1:1 で混合し、大気雰囲気 1200°C まで TG-DTA 測定を行った結果 1130°C で吸熱ピークと重量の減少が確認された。これは U_3O_8 と CaO が反応して CaUO_4 となったものと考えられる。これは U-Ca-O 系 MCCI デブリが酸化雰囲気 1200°C 以上で CaUO_4 が安定相であるという結果と一致する。なお、BET 法による比表面積測定結果によれば、 UO_2 粉末の比表面積より、セメント成分のそれは 1 桁程度大きい。また、 1600°C では黒色の試料表面に光沢が見られ、SEM-EDX 観察の結果、 $(\text{Ca,U})\text{O}_{2+x}$ や正方晶系の $(\text{Zr,M})\text{O}_2$ といった固溶体がガラス成分に覆われている可能性が示唆された。また、 $\text{UO}_2\text{-ZrO}_2\text{-B}_4\text{C}$ 混合試料については、還元雰囲気、 $1200\text{-}1500^\circ\text{C}$ におけるウラン化合物は組成比 $\text{Zr/U}=1$ の試料では概ね UO_2 相が安定であるが、 1400°C 、 1600°C 加熱試料では UB_4 が支配種となった。ジルコニウムは酸化雰囲気、 1200°C では単斜晶の ZrO_2 として存在していたが、 1500°C では正方晶の ZrO_2 及び ZrB_2 相が確認された。酸化雰囲気においても、 UO_2 相は酸化されることなく安定に存在していた。これは B_4C が分解した際に生じる一酸化炭素 (CO) が還元剤として働き、酸化を抑制したためと考えられる。また、ジルコニウムは酸化雰囲気、 1200°C では単斜晶の ZrO_2 として存在していたが、 $1300\text{-}1400^\circ\text{C}$ ではホウ素と反応し ZrB_2 が生成し、 1500°C では正方晶の ZrO_2 が確認された。また、U/Zr 酸化物の組成比を段階的に変えた固溶体を還元雰囲気、 1600°C で調製した。高 U 比で立方晶の固溶体が確認され、格子定数は Zr の増加とともに減少し、約 87%U で一定となった。また高 Zr 比で正方晶および単斜晶の Zr 酸化物固溶体が共存することを明らかにした。これらの模擬 MCCI デブリへの核種の導入は 2 種類の方法で行った。一つは京大原子炉での熱中性子照射により、試料に FP 核種 M ($= {}^{141}\text{Ce}$, ${}^{131}\text{I}$, ${}^{103}\text{Ru}$, ${}^{140}\text{Ba}$, ${}^{137}\text{Cs}$, ${}^{95}\text{Zr}$) を生成させる方法 (照射法)、もう一つは、放射性的 Np, Am, Eu, トレーサを UO_2 等にあらかじめ添加し、加熱反応させる方法である (添加法)。

(2) 核種の溶出挙動評価：着目核種 M の一般的な溶出挙動評価には、浸漬前後の核種濃度変化を $\gamma\text{-}\alpha$ 線スペクトロメトリや ICP-MS で定量することで、核種 M の溶出率 r_M (試料中の初期量に対する液相への溶出量) を r_U で除したウラン規格化溶出率 R_M で評価した。本評価法を用いれば、調製した試料の比表面積が異なる場合でも、ウラン溶解挙動を基準に核種 M の溶解挙動を評価することができる。着目核種 M の R_M 値評価には、バッチ式の浸漬試験を行った。模擬デブリを人工海水、 NaClO_4 溶液や純水に所定の固液比で添加し、 25°C の振とう器を用いて最長 1 か月程度振とうした。一定時間毎に上澄みの一部を取り出し、孔径 $0.45\mu\text{m}$ のフィルタを用いて懸濁物を濾別し、液相を得た。

R_M の浸漬時間依存性評価においては、殆どの M で浸漬直後の R_M 値が高く ($\gg 1$)、その後低下し、2 週間程度で値が一定になる傾向が見られた。すなわち、固相表面にある易溶性核種は浸漬後直ちに溶出するが、その後はウランの溶解が律速反応となることが示唆された。そこで、 R_M の評価には溶解が定常状態に至った値として、1 か月振とう後の R_M 値を用いることとした。

還元雰囲気調製した模擬デブリの R_{Cs} や R_{I} は、セメント成分を含まない 4 価ウランの UO_2 からのそれと比較して 1 桁高い。デブリ中の Ca 酸化物の溶解による液相のアルカリ化に伴って、二次生成物 C-S-H とウランの共沈により r_U が易溶性 FP の r_M よりも相対的に低下した可能性が示唆された。また、セメント成分の有無に依らず 4 価 Zr は液相に検出されず、 UO_2 構造中で安定であると推察された。

酸化雰囲気調製した試料では、 CaUO_4 が支配的な Ca/U 組成比の低い試料において R_M は概ね 1 より大きく、多くの FP 核種が U より優先的に溶出した。一方、セメント成分の増加に伴い液相の pH が上昇し、その際 Ba 等の多価核種の R_M が低下したことから、核種のセメント成分と

の再沈殿等による濃度低下の可能性が示唆された。真空型多重反射フーリエ変換赤外分光測定により、Ca-Si化合物とSi化合物が調和的に溶出すると推測されたが、模擬デブリ試料表面からのウランの溶出は有意に観測できなかった。

トレーサ添加試料の浸漬試験では、セメント成分共存下において1600°Cで熱処理を行った場合、ケイ酸塩ガラスが試料表面を被覆することによって、アクチノイド核種(U, Np, Am)の溶出抑制効果が観察された。また、この効果は、ケイ酸塩ガラスの生成がより進行する酸化雰囲気においてより大きくなった。また、ZrO₂の存在下であっても、試料の熔融固化およびケイ酸塩ガラスによる試料表面の被覆による核種の溶出抑制効果は確認された。

ホウ素系試料でUB₄の溶解を伴うと、FP核種のR_Mが調和溶解に近づく傾向を示した。一方、酸化雰囲気では、1200°C加熱試料のR_Mは高く、加熱温度の上昇とともに低下した。このことは生成するホウ素化合物等により、核種の溶出が抑制された可能性が考えられる。

(3) 安定固相の調製：高レベル放射性廃棄物であるガラス固化体は、核種の水への溶出を抑制する効果があり、処分時の燃料デブリの体積増加は避けられないものの処理法のオプションとして期待される。そこで、調製した模擬デブリをガラス固化処理した後、核種の溶解性への影響について評価した。セメント成分を含むUO₂を空気中で(1200°C、2h)カルシウムウラン酸化物に予備酸化した後、ガラス成分(SiO₂, B₂O₃, Na₂O)を95wt%(GC05)および85wt%(GC15)の含有率で磨砕混合し、1200°Cで4時間加熱した。ウラニルイオン特有の黄色いガラス化が見られ、酸化物のXRDピークは消滅するとともに、SEM-EDXで概ね均一組成であることが確認された。予備酸化しなかった場合はガラスと模擬デブリの反応は殆ど進行せず、混合に留まった。試料を熱中性子照射し、模擬デブリと同様の浸漬実験の結果、r_Uの低下を上回るr_Mの低下によりガラス化処理後のR_M値は1桁低下した。このことはMCCIデブリのガラス固化処理がFP核種の溶出抑制につながる可能性を示唆している。

(4) 処理法の提案：福島第一原子力発電所事故の場合、冷温停止後の全電源喪失によりLOCAとなり、炉心温度が高まって炉心熔融となった。ここで炉心温度は核燃料の融点(～2800°C)には到達せず、2千数百度と見積もられている。1000°C付近での制御棒のB₄CとSUSとの反応や、1500°C付近でのSUS系材料の熔融、水蒸気とジルカロイとの反応による被覆材の保持機能低下などにより、熔融した金属(主にFe-Zr合金)中に燃料ペレットが混在して压力容器下部より落下し、コンクリート部と反応してMCCIデブリの生成に至ったと考えられる。UO₂自身は酸化されやすいものの、ZrO₂との固溶体化(ウラン過剰側では立方晶のZr_yU_{1-y}O_{2+x}固溶体、ジルコニウム過剰側では、正方晶のU_yZr_{1-y}O₂固溶体)や、セメント成分との高温反応によるガラス生成により、UO₂ペレットそのものよりは化学的に安定な状態にあると考えられる。使用済燃料中の燃料成分(U, Pu)やMA(Np, Am, Cm)は、Uと同様にUO₂固溶体相にあり、浸出は抑制されるものと考えられる。また、FPの中でも、希土類元素や遷移金属元素、アルカリ土類元素は、UO₂固溶体相に存在し安定な状態にあるものの、固溶限度を超えた分は、例えば、SrOやBaO、La₂O₃など、それぞれの酸化物として燃料中に存在し、その後の高温—冷却過程で、溶出していったものと考えられる。アルカリ金属元素はUO₂固溶体相に入らず、冷却水中へ溶出したと考えられる。UO₂燃料そのものは還元雰囲気にて安定であるが、酸素等がある場合にはUO_{2+x}と酸化される。UO₂構造のUサイトにFPやMA原子が置換して固溶体を生成するが、UO_{2+x}が立方晶を維持するのは、U₄O₉、すなわちx=0.25までである、これは、U₄O₈からなるUO₂単位格子中の8個の酸素の中心、すなわち格子の中心に酸素が1つ入った場合である。これ以上酸素が入ると立方晶は崩れ、U₃O₈(斜方晶)へ変態する。U₃O₈はUO₂と異なり、定比組成化合物で、UO₂中に固溶していたFPやMAが相分離する可能性がある。しかし、U₃O₈は高温まで安定ではなく、1300°C以上ではUO_{2+x}と酸素に分解する。従って、初期の炉心熔融時には、FPやMAはUO_{2+x}固溶体相に保持されていたものと考えられる。その後冷温停止の過程において、酸素が十分になく、またZrO₂との固溶体化によりU₃O₈相の生成が抑制され、結果として、FPやMAの溶出は抑制されたものと考えられる。MCCIデブリの場合も、UO_{2+x}相の安定化と、SiO₂やCaOによるガラス相生成により、FPやMAの溶出抑制効果が見られている。一方、使用済燃料の再処理後の高レベル廃液のガラス固化体製造においては、シリカやアルミナ等に酸化ホウ素を添加してホウケイ酸ガラス化を図っている。MCCIデブリについてはシリカやアルミナを含むコンクリートが入っているため、さらなる安定化にはホウ素を含有する化合物を添加し、安定なガラス固化体化を図ることが一案である。このことは上記高レベル廃液中に、ある程度の燃料成分が入った場合を想定したガラス廃棄体化を検討することで、対応できると思われる。一方で、MCCIデブリ中には固溶体による安定化部分とガラス化部分があるものの、コンクリートそのものの中に、放射性物質が固着しているような場合も想定され、これらはコンクリートの風化による放射性物質の溶出挙動の検討も今後必要と思われる。

<引用文献>

- ① T. Sasaki, Y. Takeno, A. Kirishima, N. Sato, Leaching test of gamma-emitting Cs, Ru, Zr, and U from neutron irradiated UO_2/ZrO_2 solid solutions in non-filtered surface seawater. *J Nucl Sci Technol.* 52 (2015) 147–151.
- ② N. Sato, A. Kirishima, T. Sasaki, Behavior of fuel and structural materials in severely damaged reactors, in: *Proceedings of CIMTEC 2014, Advances in Science and Technology, 6th Forum on New Materials, Part B*, Trans. Tech. Pub. Inc, 2014, pp. 93-96.
- ③ A. Kirishima, M. Hirano, T. Sasaki, N. Sato, Leaching of actinide elements from simulated fuel debris into seawater, *J. Nucl. Sci. Technol.* 52 (2015) 1240-1246.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 T. Sasaki, S. Sakamoto, D. Akiyama, A. Kirishima, T. Kobayashi, N. Sato	4. 巻 56
2. 論文標題 Leaching behavior of gamma-emitting fission products, calcium, and uranium from simulated MCCI debris in water	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Science and Technology	6. 最初と最後の頁 1092-1102
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1080/00223131.2019.1641444	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 A. Kirishima, A. Nagatomo, D. Akiyama, T. Sasaki, N. Sato	4. 巻 527
2. 論文標題 Study on the chemical structure and actinide leaching of MCCI debris	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Materials	6. 最初と最後の頁 151795
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2019.151795	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 T. Sasaki, N. Sato, A. Kirishima, D. Akiyama, T. Kobayashi, K. Takamiya, S. Sekimoto, Y. Kodama, and Q. Zhao	4. 巻 -
2. 論文標題 Leaching behavior of fission products from simulated MCCI debris	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 KURNS Progress Report 2019	6. 最初と最後の頁 31015
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 T. Sasaki, N. Sato, A. Kirishima, D. Akiyama, T. Kobayashi, K. Takamiya, S. Sekimoto, S. Sakamoto, Y. Kodama	4. 巻 -
2. 論文標題 Study on the leaching behavior of fission products in simulated MCCI debris	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 KURNS Progress Report 2018	6. 最初と最後の頁 PR10-3
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 佐藤修彰, 桐島 陽, 秋山大輔	4. 巻 67(12)
2. 論文標題 福島第一原子力発電所事故で発生した燃料デブリおよび放射性廃棄物の処理・処分に関する研究 核燃 およびRI研究と施設管理	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Radioisotope	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 N. Sato, A. Kirishima, D. Akiyama, S. Kimuro, A.Nagatomo, T. Sasaki, T. Kobayashi, S. Sakamoto, D.Harumoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Research on the behavior of actinides and FPs in fuel debris	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 KURRI Progress Report 2017	6. 最初と最後の頁 C09-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 佐々木隆之、桐島陽、佐藤修彰	4. 巻 86
2. 論文標題 模擬燃料デブリ中の放射性核種の溶出挙動	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 金属	6. 最初と最後の頁 994-999
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計23件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 児玉雄二, 佐々木隆之, 小林大志, 秋山大輔, 桐島 陽, 佐藤修彰
2. 発表標題 MCCIデブリからのアクチノイド溶出機構および処理プロセスに関する基礎研究 (8) MCCIデブリのガラス固化に関する予察的検討
3. 学会等名 日本原子力学会2019年春の年会 茨城大学, 水戸市
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 秋山大輔、秋山栄徳、桐島陽、佐々木隆之、佐藤修彰
2. 発表標題 MCCIデブリからのアクチノイド溶出機構および処理プロセスに関する基礎研究 (7)UO2とZrO2及びステンレスの相関係
3. 学会等名 日本原子力学会2019年春の年会 茨城大学, 水戸市
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Kodama, S. Sakamoto, D. Akiyama, A. Kirishima, T. Kobayashi, N. Sato, T. Sasaki
2. 発表標題 Impact of Vitrification Treatment on Leaching Behavior of Fission Products from MCCI Debris
3. 学会等名 Migration 2019, Kyoto
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Sasaki, D. Harumoto, S. Sakamoto, D. Akiyama, A. Kirishima, N. Sato
2. 発表標題 Leaching Behavior of Fission Products at the Surface of MCCI Debris
3. 学会等名 Migration 2019, Kyoto
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桐島陽、長友彬人、秋山大輔、佐々木隆之、佐藤修彰
2. 発表標題 MCCIデブリからのアクチノイド溶出機構および処理プロセスに関する基礎研究 (6)デブリ中のカルシウムとケイ酸のアクチノイド溶出への影響
3. 学会等名 日本原子力学会2018年春の年会、大阪大学、大阪市.
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 春本大樹、小林大志、佐々木隆之
2. 発表標題 ATR-FTIR分光法によるウラニルイオンの金属水酸化物への収着挙動評価
3. 学会等名 日本原子力学会2018年春の年会、大阪大学、大阪市.
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 坂本峻一、佐々木隆之、小林大志、秋山大輔、桐島陽、佐藤修彰
2. 発表標題 MCCIデブリからのアクチノイド溶出機構および処理プロセスに関する基盤研究 (5)デブリ中のカルシウムおよびホウ素のFP溶出への影響
3. 学会等名 日本原子力学会2018年春の年会、大阪大学、大阪市.
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nobuaki Sato
2. 発表標題 Study on Nuclear Fuel Chemistry for Decommissioning of Fukushima Daiichi NPP
3. 学会等名 International Symposium on Decommissioning and Decontamination, Suwon, Korea (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akira Kirishima
2. 発表標題 Basic Research on Nuclear Fuel Debris Generated by Fukushima Accident in 2011
3. 学会等名 International Symposium on Decommissioning and Decontamination, Suwon, Korea (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名	D. Akiyama, H. Akiyama, A. Uehara, K. Matsumoto, C. Numako, Y. Terada, T. Ina, S. Takeda, A. Kirishima, N. Sato
2. 発表標題	Phase Analysis of UO ₂ -ZrO ₂ -S.S. system at high temperature under oxidizing condition
3. 学会等名	The Nuclear Materials Conference, Seattle US (国際学会)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	A. Kirishima, D. Akiyama, T. Sasaki, N. Sato
2. 発表標題	Study on the Leaching of Actinides from Nuclear Fuel Debris
3. 学会等名	The Nuclear Materials Conference, Seattle US (国際学会)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	長友彬人、桐島陽、秋山大輔、佐々木隆之、佐藤修彰
2. 発表標題	MCCIデブリからのアクチノイド溶出機構および処理プロセスに関する基盤研究 (4)燃料デブリの組成とアクチノイド溶出挙動の関係
3. 学会等名	日本原子力学会2017年秋の大会、北海道大学、札幌市
4. 発表年	2017年

1. 発表者名	坂本峻一、佐々木隆之、小林大志、秋山大輔、桐島陽、佐藤修彰
2. 発表標題	MCCIデブリからのアクチノイド溶出機構および処理プロセスに関する基盤研究 (3) 模擬燃料デブリの核種溶出率に基づく実汚染水の一考察
3. 学会等名	日本原子力学会2017年春の年会、東海大学、平塚市
4. 発表年	2017年

1. 発表者名 長友彬人、桐島陽、他3名
2. 発表標題 MCCIデブリからのアクチノイド溶出機構および処理プロセスに関する基礎研究(2) 燃料デブリ生成時の温度と汚染水へのアクチノイド溶出挙動の関係
3. 学会等名 日本原子力学会2017年春の年会, 東海大学、平塚市
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐藤修彰、秋山大輔、桐島陽、佐々木隆之
2. 発表標題 MCCIデブリからのアクチノイド溶出機構および処理プロセスに関する基礎研究(1) MCCI模擬デブリの高温における反応挙動
3. 学会等名 日本原子力学会2017年春の年会, 東海大学、平塚市
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Sasaki, S. Sakamoto, T. Kobayashi, D. Akiyama, A. Kirishima, N. Sato
2. 発表標題 Validation of actinides dissolved from 1F fuel debris into the cooling water system
3. 学会等名 Actinide2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 N. Sato, D. Akiyam, A. Kirishima, T. Sasaki
2. 発表標題 High Temperature Reaction Behavior of Fuel Debris Components under Reducing and Oxidizing Conditions
3. 学会等名 NSC2017, Kyiv Ukraine (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 N. Sato, D. Akiyam, A. Kirishima, T. Sasaki
2. 発表標題 Phase Relation of Simulated MCCl Debris at High Temperatures
3. 学会等名 ANFC2017, Jeju Korea (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐藤修彰
2. 発表標題 放射性物質と素材プロセッシングとの関わり
3. 学会等名 資源・素材&EARTH 2017 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T.Sasaki, N.Sato, A.Kirishima, D.Akiyama, S.Sakamoto, T.Kobayashi
2. 発表標題 Leaching Behavior of Radionuclides in Simulated Fuel Debris
3. 学会等名 5th International Conference on Asian Nuclear Prospects 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 N.Sato
2. 発表標題 Evaluation of Fuel Debris for Waste Management of Damaged Reactor
3. 学会等名 The 14th Korea/Japan Int. Symp. on Resources Recycling and Materials Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 N.Sato, D.Akiyama, A.Kirishima, T.Sasaki
2. 発表標題 Phase Change of The Simulated MCCI Debris at High Temperature under Reductive and Oxidative Atmospheres
3. 学会等名 The Nuclear Materials Conference 2016, Montpellier France (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 佐々木隆之、佐藤修彰、桐島陽
2. 発表標題 模擬燃料デブリ中の放射性物質の溶出挙動
3. 学会等名 素材工学研究懇談会 (招待講演)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	佐藤 修彰 (Sato Nobuaki) (70154078)	東北大学・工学研究科・学術研究員 (11301)	
研究分担者	桐島 陽 (Kirishima Akira) (00400424)	東北大学・多元物質科学研究所・教授 (11301)	
研究分担者	秋山 大輔 (Akiyama Daisuke) (80746751)	東北大学・多元物質科学研究所・助教 (11301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	小林 大志 (Kobayashi Taishi) (80630269)	京都大学・工学研究科・准教授 (14301)	