

令和2年度－令和4年度

文部科学省

国際原子力人材育成イニシアティブ事業

未来社会に向けた先進的原子力教育コンソーシアム [ANEC]

機関横断的な人材育成事業

「機関連携強化による未来社会に向けた新

たな原子力教育拠点の構築」

－ 原子力イノベーション養成プログラム －

成果報告書

令和6年3月

国立大学法人 東京工業大学

目 次

1. 事業の概要	1
1.1 背景	1
1.2 目的	1
2. 事業計画.....	1
2.1 全体計画	1
2.1.1 原子力イノベーション養成キャンプ.....	1
2.1.2 原子力イノベーション留学	2
2.2 令和2年度から令和4年度の計画及び業務の実施方法	2
2.2.1 令和2年度.....	2
2.2.1.1 原子力イノベーション養成キャンプ.....	2
2.2.1.2 原子力イノベーション留学	3
2.2.2 令和3年度.....	3
2.2.2.1 原子力イノベーション養成キャンプ.....	3
2.2.2.2 原子力イノベーション留学	3
2.2.3 令和4年度.....	3
2.2.3.1 原子力イノベーション養成キャンプ.....	3
2.2.3.2 原子力イノベーション留学	4
2.3 体制	4
3. 採択から令和4年度までの成果	6
3.1 令和2年度の成果	6
3.1.1 原子力イノベーション養成キャンプ.....	6
3.1.2 原子力イノベーション留学	6
3.2 令和3年度の成果	7
3.2.1 原子力イノベーション養成キャンプ.....	7
3.2.2 原子力イノベーション留学	12

3.2.3 その他.....	12
3.3 令和4年度の成果.....	17
3.3.1 原子カイトベーター養成キャンプ.....	17
3.3.2 原子カイトベーション留学.....	23
3.3.3 その他.....	24
3.3.3.1 NIB2022 出張 [令和4年(2022年)8月10日～12日].....	24
3.3.3.2 米国6大学出張報告 [令和4年(2022年)11月6日～20日].....	25
3.3.3.3 米国出張報告 [令和5年(2023年)3月6日～11日].....	27
4. 結言.....	28
付録 令和4年度原子カイトベーション留学成果報告会発表スライド.....	29
1. 陣場 優貴.....	29
2. 坂部 俊郎.....	39

1. 事業の概要

1.1 背景

原子力開発をとりまく環境は近年大きく変化した。エネルギー供給は多様化し、新エネルギーの導入が積極的に行われ、またエネルギーの供給と需要において市場原理の導入が図られている。また国連及び日本政府が推進している SDGs においても、「7. エネルギーをみんなにそしてクリーンに」、「9. 産業と技術革新の基礎を作ろう」、「13. 気候変動に具体的な対策を」が挙げられており、原子力技術が果たしうる役割は多い。また日本政府が掲げる Society 5.0 では、サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会（Society）の実現に向けた原子力分野での取り組みが求められている。具体的には再生可能エネルギーなどの新しいエネルギー源と IT 技術を融合させたシステムによる脱炭素化、地域発展に寄与する地域社会の主体によるエネルギー供給システムの確立といった課題に取り組むことのできる人材が必要である。また海外では、SMR 開発を推進するベンチャー企業が現れ、多様な炉型の原子炉の開発が進められており、先端技術に通じかつアントレプレナーシップに優れた人材を育成していくことも必要である。

1.2 目的

以上の背景を踏まえ、原子力工学の基礎に立脚し、エネルギーシステムと様々な工学分野の先端技術に通じ、原子力分野で新たな企業活動を立ち上げる意欲と能力を持ち、国際的センスとマネジメントに優れた将来の原子力エネルギー分野でのイノベーションを担うことのできる技術者・研究者の育成を本人材育成活動の目的とした。活動を通じて将来の原子力エネルギー分野でのイノベーションを担うことのできる技術者・研究者の育成を目指すこととし、具体的には原子力工学の基礎、エネルギーシステムと様々な先端技術の知識、新たな企業活動を立ち上げる意欲と能力、国際的センス、マネジメント能力を有する人材の育成を行う。

本報告書では、令和2年度から令和4年度に実施した内容およびその成果をまとめた。

2. 事業計画

2.1 全体計画

本事業は、原子力イノベーター養成プログラム(NICP)として実施し、未来社会に向けた先進的原子力教育コンソーシアム(ANEC)に参画しつつ、以下の2つの活動を行う。

2.1.1 原子力イノベーター養成キャンプ

米国カリフォルニア大学バークレー校(UCB)で2016年に始まったニュークリアイノベーションブートキャンプ(NIB)は、主に大学院学生を対象とし原子力分野でイノベーションをもたらす起業家精神を涵養する合宿スタイルのセミナーである。東京工業大学は早くからその意義を認識し、2018年にはキャンプの提唱者であるUCBのProf. Rachel Slaybaughを訪問しセミナーの内容や運営方法を調査するなどして日本での同様なセミナーの開催の可能性を

検討してきた。本活動では、日本版キャンプとして原子力イノベーション養成キャンプ(NICC)を開催する。NICCでは、イノベティブな活動と起業の精神を有し、国際センスのある人材育成の輩出を目指す。NICCで扱うテーマは、次世代炉、廃棄物低減、SMR等の新しい原子力技術に関するものにとどまらず、アントレプレナーシップや社会的側面にも焦点をあて企画・立案を行う。またNIBを日本に誘致・開催することでそのノウハウを蓄積しNICCの開催に生かしていく。対象は国内の原子力分野の大学院学生及び若手技術者・研究者とし、多くの学生・技術者・研究者が参加できるようにする。

2.1.2 原子力イノベーション留学

東京工業大学とマサチューセッツ工科大学(MIT)は、日本の原子力産業の将来を考え、多くの優秀な学生が原子力分野に進むモチベーションを持たせる方策について意見交換を行ってきた。その結果として、日本の大学院学生を、原子力研究・教育を行っているトップレベルの米国大学へ数か月程度留学させ、海外における原子力研究・教育に触れる機会を提示するのが有効ではないかとの結論になった。本活動では、大学院博士課程の学生を、4か月程度米国の原子力分野においてトップレベルの大学へ研究目的で留学させる。派遣先はMITをはじめ、カリフォルニア大学バークレー校、ミシガン大学、ウィスコンシン大学マディソン校、ノースカロライナ州立大学、テキサスA&M大学の大学院原子力系専攻とする。研究テーマは、将来の原子力分野にイノベーションを持たすことが期待されるものであるものとし、事前の選考により受入大学とのマッチングにより派遣学生・派遣先を決定する。また留学先での研究テーマは将来の国際共同研究への発展性を重視し、将来的に国際共同研究により学生派遣も継続できることを目指す。対象は国内の原子力分野大学院の博士課程の学生とし、多くの学生に留学の機会が与えられるようにする。

2.2 令和2年度から令和4年度の計画及び業務の実施方法

2.2.1 令和2年度

令和2年度は以下を行う。

2.2.1.1 原子力イノベーション養成キャンプ

本年度は、米国ニュークリアイノベーションブートキャンプ(NIB)の日本開催及びその後日本独自に実施する原子力イノベーション養成キャンプの実施のための準備作業を行う。さらに「原子力イノベティブ人材育成フォーラム」を開催する。また参画機関による運営会議を開催する。キャンプの準備作業としてはNIBのこれまでの開催状況の詳細についての情報収集及び開催方法、場所、時期等についての検討を米国NIB関係者と協議して行う。COVID-19の影響で年度内の米国渡航は難しいと予想されるため協議はオンラインで行いできる限りの調整を行う。また、「原子力イノベティブ人材育成フォーラム」では、今後の本活動の計画の紹介及びこれまでのNIB開催の状況についての報告をウェビナーで行う。運営会議では、今後の活動方針についての協議を行う。

2.2.1.2 原子カインベーション留学

本年度は、米国側大学と研究留学派遣のための協議を行い、派遣のための準備を行う。COVID-19の影響により年度内に米国へ渡航しての協議は難しいと予想されるため、オンラインによって協議を行い、できる限りの調整を行う。また活動の準備状況と今後の計画を「原子カインベータータイプ人材育成フォーラム」で報告を行う。

2.2.2 令和3年度

原子カインベーター養成プログラム活動として原子力教育コンソーシアムに参画し、国際グループ会議の取りまとめを行うとともに以下の活動を行う。

2.2.2.1 原子カインベーター養成キャンプ

米国ニュークリアイノベーションブートキャンプ(NIB)の日本開催及びその後日本独自に実施する原子カインベーター養成キャンプの実施のための準備作業を引き続き行う。また「原子カインベーションワークショップ」を開催する。具体的には、NIBの開催主体であるニュークリアイノベーションアライアンス(NIA)とNIB日本開催のための協議を行い、令和4年度の日本開催が決定した場合には、日本で開催するNIBの企画・立案をNIAと協議しながら行い、会場手配等の準備を進める。また、令和3年度にNIBが米国で開催された場合には、教員を派遣しNIBの企画及び実施方法についての調査を行う。

2.2.2.2 原子カインベーション留学

令和4年度からの研究留学派遣のための協議を米国大学側と行い、派遣のための準備を引き続き行う。具体的には、はじめに米国の原子力教育・研究の基幹大学であるマサチューセッツ工科大学(MIT)及びカリフォルニア大学バークレー校(UCB)と令和4年度からの学生の研究留学派遣についての協議を行い、受入期間、受入時の身分、受入教員とのマッチングの方法等の留学派遣の条件を調整するとともに、宿舎等の受け入れ体制の確認を行う。その後、派遣するまた原子力教育・研究を行っている他の米国内の大学との研究留学派遣についての協議について検討する。さらに、令和4年度の学生派遣に向けた学生の選抜方法等についての検討を行う。

2.2.3 令和4年度

原子カインベーター養成プログラム活動として原子力教育コンソーシアムに参画し、国際グループ会議の取りまとめを行うとともに以下の活動を行う。

2.2.3.1 原子カインベーター養成キャンプ

原子カインベーター養成キャンプ(NICC)を開催する。また米国ニュークリアイノベーションブートキャンプ(NIB)の日本開催に向けての準備を行う。具体的には、令和5年1月を目途にNICCを10日間程度の日程で開催することとし、国内大学の学生及び米国大学学生等を招へいして学生によるグループワークを行うほか、同時期に開催される国際会議 IZES への参加、福島第一原子力発電所等の原子力関連施設でのフィールドワーク等を実施する。NICC

では学生ワークショップへのコメントを行う等により内容の充実を図るため米国大学教員等も招へいすることを検討する。また NIB の開催主体であるニュークリアイノベーションアライアンス (NIA) と NIB 日本開催のための協議を行う。また、令和 4 年度に NIB が米国で開催された場合には、教員を派遣し NIB の企画及び実施方法についての調査を行う。なお、COVID-19 感染拡大等のため海外渡航、海外からの招へいが実施できない場合は、オンライン等で NICC を開催する。

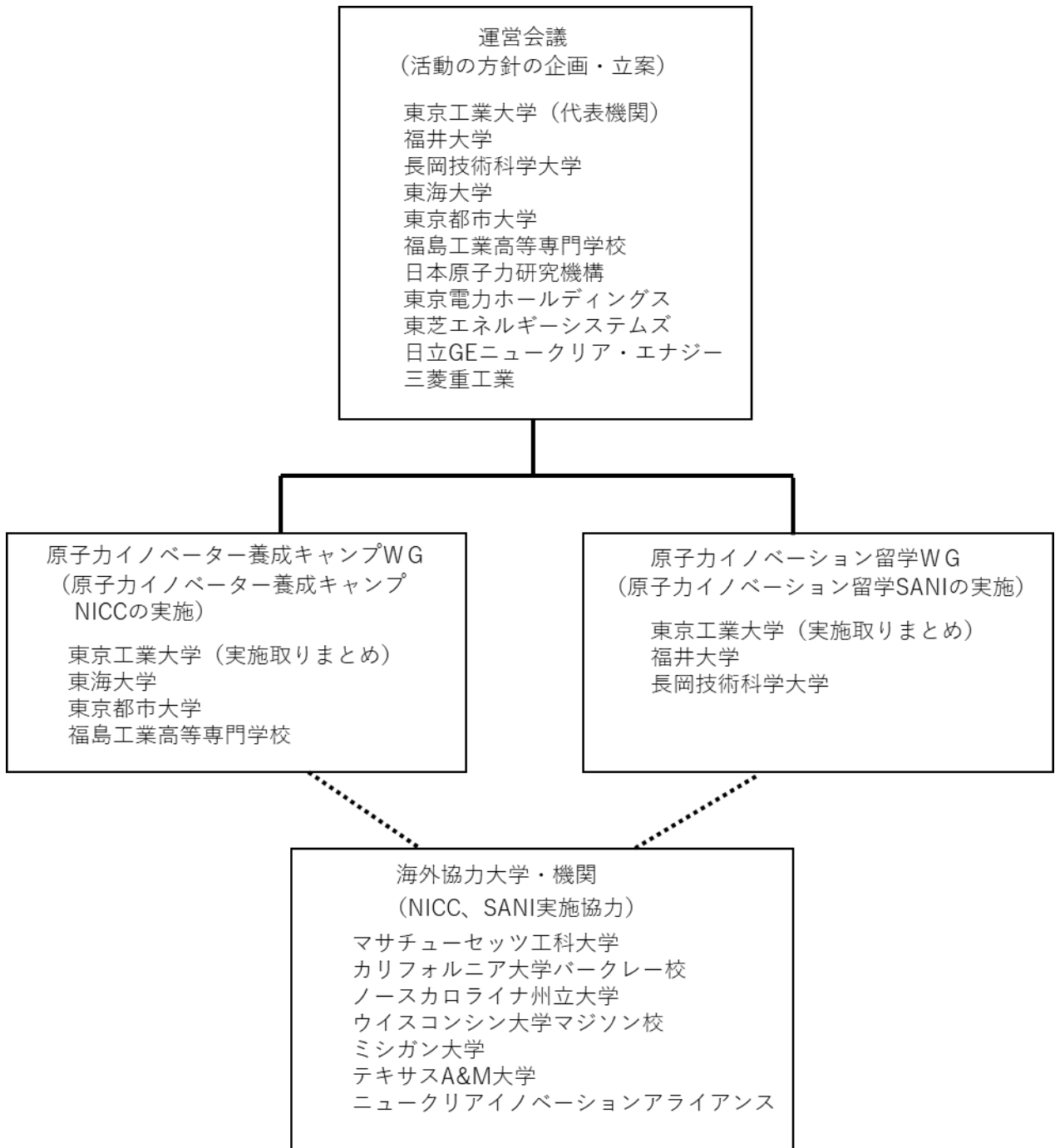
2.2.3.2 原子カイノベーション留学

原子カイノベーション留学 (SANI) を実施する。具体的には、主に大学院博士課程学生を対象とした米国大学への研究留学派遣を行う。派遣期間は 4 か月程度とする。派遣先は、マサチューセッツ工科大学、カリフォルニア大学バークレー校、テキサス A&M 大学、ミシガン大学、ウィスコンシン大学マディソン校、ノースカロライナ州立大学等の中から、受け入れ先教員と学生のマッチングが成立した大学とする。派遣にあたり、派遣学生には派遣前の研究計画書、派遣後の報告書の提出を義務づける。また、米国大学側とは事前の調整を行う。なお、COVID-19 感染拡大等のため海外渡航が困難な場合は、令和 5 年度以降の派遣実施のための米国大学との調整を行う。

2.3 体制

実施体制を図 2.3-1 に示す。本事業は東京工業大学取りまとめのもと運営会議が活動の方針の企画・立案を行い、原子カイノベーター養成キャンプ WG が原子カイノベーター養成キャンプ (NICC) の実施を、原子カイノベーション留学 WG が原子カイノベーション留学 SANI の実施を行う。NICC、SANI の活動は海外協力大学・機関の協力を得ながら実施する。

図 2.3-1 NICP 実施体制



3. 採択から令和4年度までの成果

3.1 令和2年度の成果

3.1.1 原子カインベーター養成キャンプ

米国「ニュークリア・イノベーション・ブートキャンプ（Nuclear Innovation Bootcamp：NIB）」の日本開催及び日本独自に実施する「原子カインベーター養成キャンプ（Nuclear Innovator Cultivation Camp：NICC）」実施のための準備作業を行った。また、キックオフイベントとして、令和2年（2020年）12月22日に「東京工業大学原子力エネルギー高度人材育成フォーラム」をウェビナーで開催した。フォーラムでは、プログラムの概要の紹介、米国における原子力人材育成活動についての講演、若手を中心としたパネルディスカッションを行い、フォーラムの記録動画をYouTubeで公開した。

3.1.2 原子カインベーション留学

米国側大学と研究留学派遣のための協議を行い、派遣のための準備を行った。また「東京工業大学原子力エネルギー高度人材育成フォーラム」にて活動の準備状況と今後の計画の報告を行った。以下、同フォーラムのプログラムを示す。

東京工業大学原子力エネルギー高度人材育成フォーラム

令和2年（2020年）12月22日（火） 13：30～16：30

<プログラム>

第1部 1. 開会挨拶：

東京工業大学 科学技術創成研究院 先導原子力研究所 所長 竹下健二

2. 来賓挨拶：

文部科学省 研究開発局 原子力課（原子力基盤研究・人材室） 室長 鈴木優香

3. 講演：

i. 「東京工業大学 原子力エネルギー高度人材育成拠点事業の概要」

東京工業大学 科学技術創成研究院 先導原子力研究所 小原 徹



ii. “Nuclear Innovation Bootcamp in US”

「米国のニュークリア・イノベーション・ブートキャンプ活動」

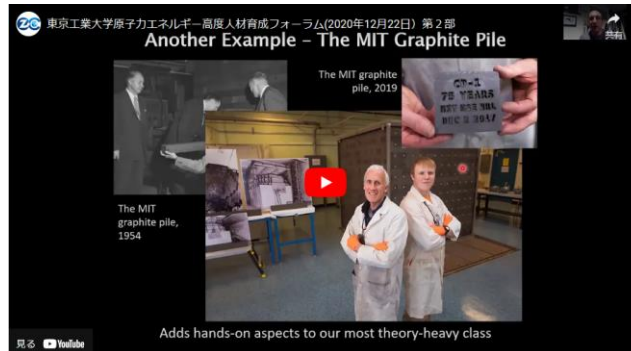
（事前収録講演、日本語同時通訳）

Dr. Adrien Couet (University of Wisconsin – Madison)

Mr. River Bennett (Nuclear Innovation Alliance)

第 2 部 4. 講演 :

- iii. “Making Nuclear Education Personal, Experiential, and Exciting”
「原子力教育をより魅力的に」 (ライブ講演・日本語同時通訳)
Prof. Michael Short (Massachusetts Institute of Technology)



第 3 部 5. パネルディスカッション :

「原子力分野の若手による国際活動と海外留学」

パネリスト : Michael Short (MIT 准教授)、川合康太 (IYNC 日本代表)、
竹澤宏樹 (東京都市大講師)、青柳 涼 (東工大 修士課程)

モデレーター : 小原 徹 (東工大 教授)



6. 閉会挨拶 :

東京工業大学大学院 原子核工学コース 主任 小林能直

3.2 令和 3 年度の成果

3.2.1 原子力イノベーション養成キャンプ

令和 4 年 (2022 年) 3 月 1 日、「ニュークリア・イノベーション・ワークショップ (NIW2022)」をオンラインにて開催した。本ワークショップは、「ニュークリア・イノベーション・ブートキャンプ (NIB)」日本版の素地となる活動を目指したものである。NIB とは、米国カリフォルニア大学バークレー校で平成 28 年 (2016 年) に始まった、主に大学院学生を対象とした、原子力分野でイノベーションをもたらす起業家精神を涵養する合宿スタイルのセミナーである。

第 1 部では、「教育」「社会連携」「研究・開発」各々の視点に基づいた原子力分野の講

演会を実施した。第2部は「未来社会に向けた先進的原子力教育コンソーシアム（Advanced Nuclear Education Consortium for the Future Society: ANEC）」加盟大学から選抜された12名の学生（東京工業大学／東海大学／富山高等専門学校／福島工業高等専門学校）によるグループワーク及び発表会を行った。3名1グループで、与えられた課題（トピック）について討論し、その結論を投影資料にまとめ、グループごとに発表した。以下、NIW2022のプログラムを示す。

ニュークリア・イノベーション・ワークショップ（NIW2022）

令和4年（2022年）3月1日（火）9:00 - 16:25

<プログラム> 司会：片淵竜也（東京工業大学）

I. 開会挨拶

プログラム代表 小原徹（東京工業大学）

II. 招待講演

1. 講演1 『米国における原子力教育』

マサチューセッツ工科大学 原子力科学工学科 マイケル・ショート准教授



2. 講演2 『原子力イノベーション・ブート・キャンプの活動について』（事前収録）

原子力イノベーション アライアンス

リバー・ベネット氏／エイドリアン・クエット准教授



3. 講演3 『原子力機構のHTGR 研究開発状況』

日本原子力研究開発機構 高速炉・新型炉研究開発部門 橘幸男 氏

(IAEA) What is High Temperature Gas-cooled Reactor (HTGR) ?

Superior inherent safety

- Accidents that cause release of a large amount of radioactive materials to environment do not occur.
- A nuclear accident similar to that in the Fukushima-Daiichi Nuclear Power Station does not happen.

A wide range of heat applications

- Helium gas cooled reactor with outlet coolant temperature as high as 950°C
- A wide range of heat applications, such as hydrogen production, electric power generation, desalination, etc.

III. ワークショップ ファシリテーター：小原徹（東京工業大学）

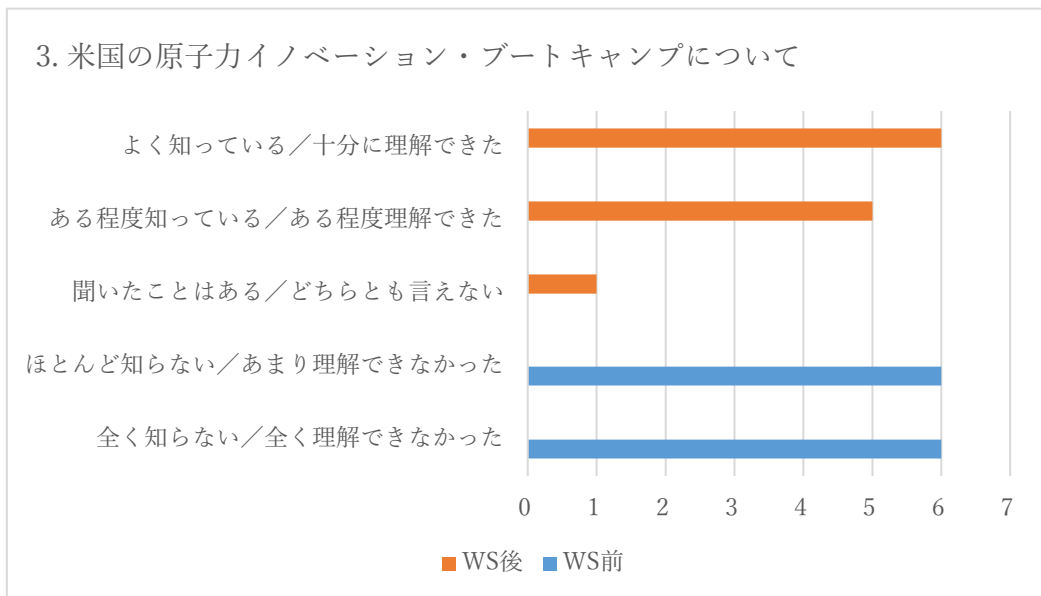
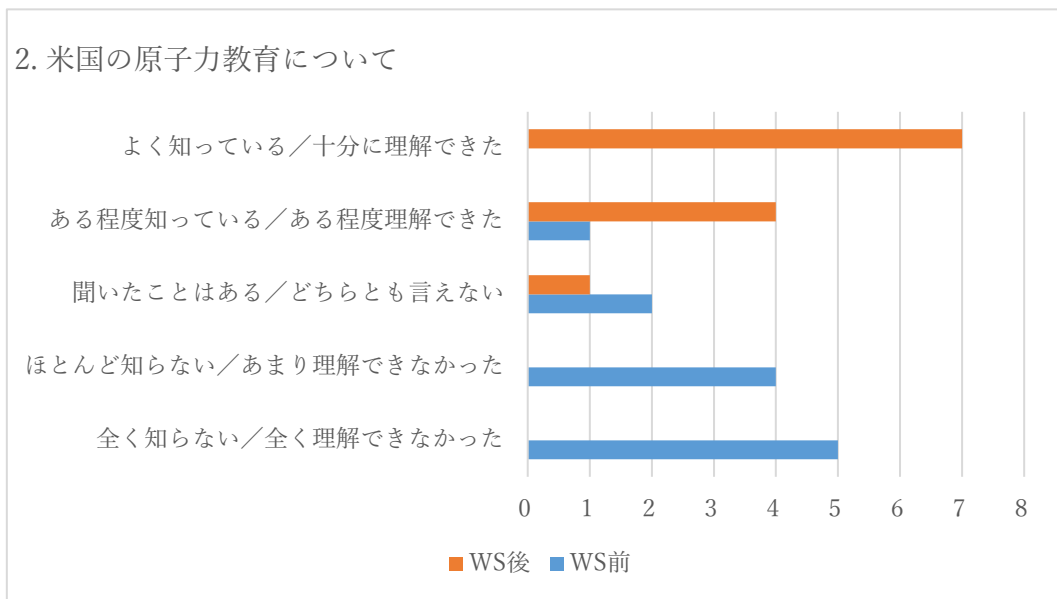
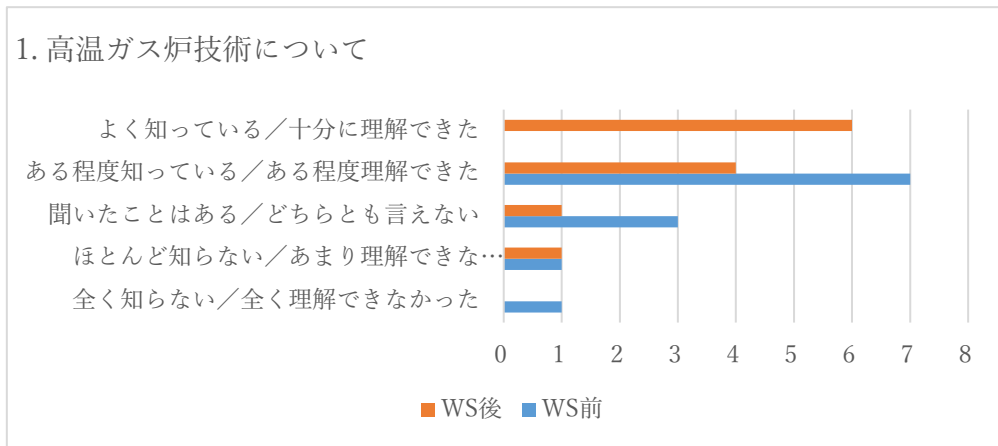
1. グループワーク

- 課題
- A)原子力が未来の社会に果たすことのできる役割は何か。
 - B)原子力エネルギーと再生可能エネルギーはどのように利用すべきか。
 - C)原子力が広く社会に受け入れられるためにすべきことは何か。
 - D)未来の原子力のため、開発すべき技術は何か。

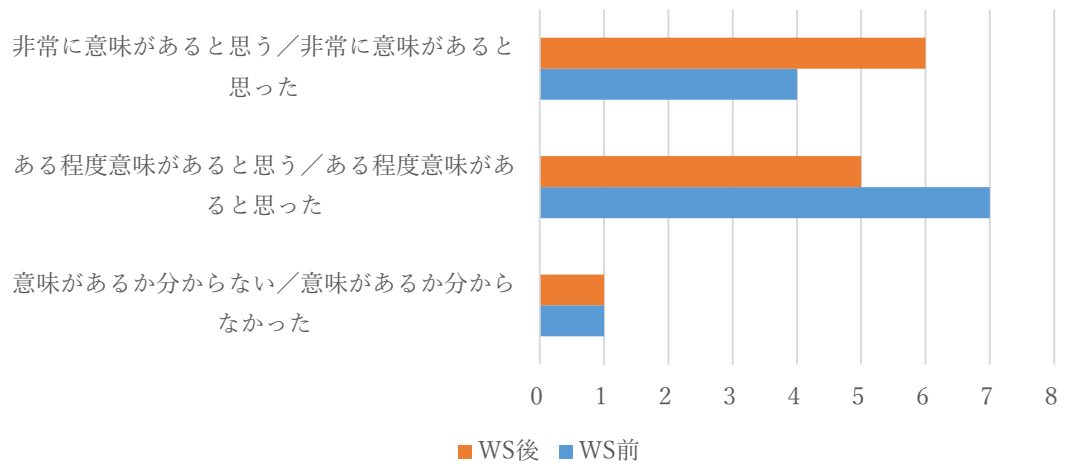
2. 発表

IV. 閉会挨拶 プログラム代表 小原徹（東京工業大学）

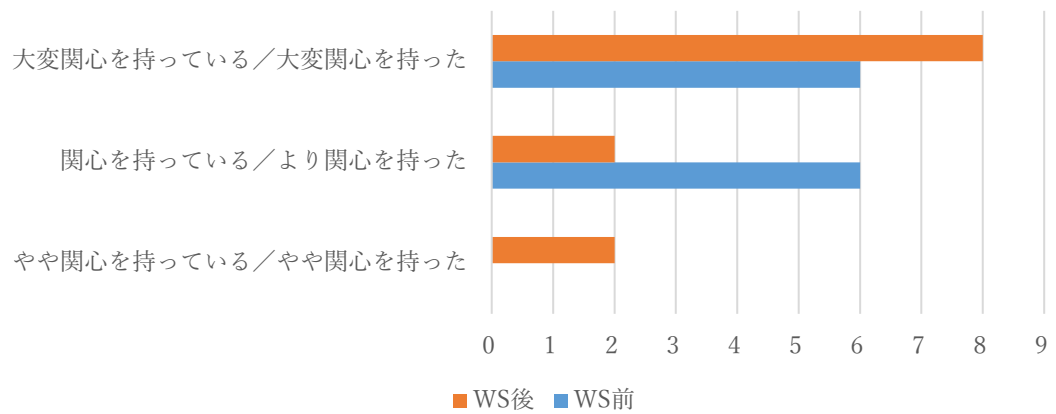
◆参加学生アンケート結果



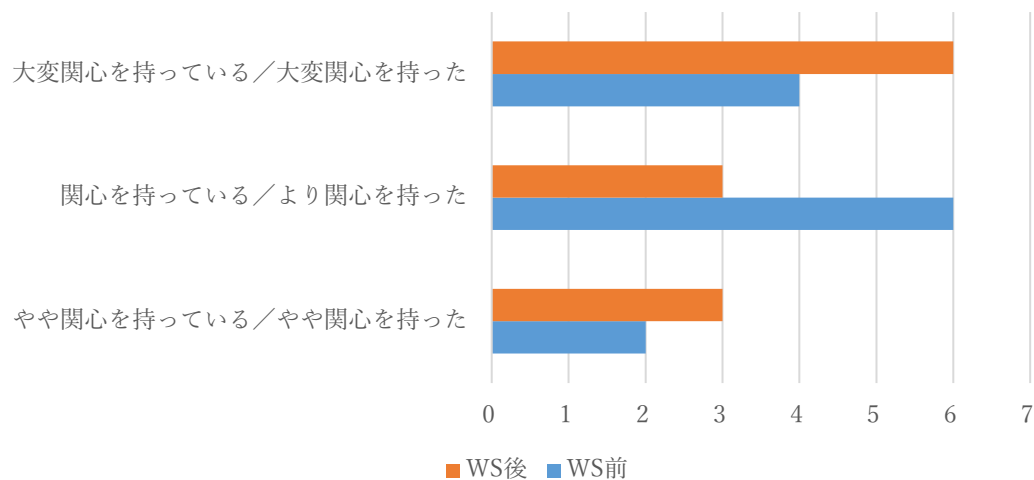
4. 英語で原子力技術についてディスカッションすることについて



5. 原子力が社会に果たす役割について



6. 新しい原子力システムの研究について



◆参加学生からの感想

- A) 大変有意義な時間でした。ありがとうございました。
- B) もう少し色々なバックグラウンドの学生がいると、より面白くなると感じました。
- C) ワークショップは大変良かったです。次回は、グループごとの話し合いで、討論が活性化したり、ひらめきが生まれやすくなるよう、メンターが適宜立ちあっていただけるとよいかと思えます。
- D) 時間に限りはありましたが、様々な学年の学生とグループワークをする機会をいただけて嬉しく思っております。

アンケート等の結果から参加学生によって意義のあるイベントとで会ったことが確認できた。

3.2.2 原子カイノベーション留学

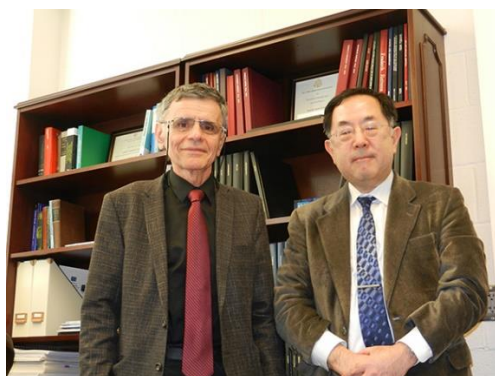
令和4年度（2022年度）からの研究留学派遣のための協議を米国大学側と行い、派遣のための準備を引き続き行った。

3.2.3 その他

プログラム代表の小原教授は令和4年（2022年）3月4日～14日に米国6大学を訪問し、「原子カイノベーター養成プログラム（Nuclear Innovator Cultivation Program：NICP）」への参画要請を行った。いずれの大学でも、本プログラムを高い期待を寄せ、「原子カイノベーター養成キャンプ（NICC）」への教員・学生の参加及び「原子カイノベーション留学（Studying Abroad for Nuclear Innovation：SANI）」において日本の大学生の受け入れに協力する意向も示され、今後の活動への協力が確約された。詳細は次の通りである。

・ ノースカロライナ州立大学

3月4日、ノースカロライナ州立大学原子核工学科を訪問し、学科長コスタディン・イヴァノフ教授と面談を行った。同学科ジェイコブ・イーパン教授とは今後のNICP活動協力の具体的な手順について意見交換を行った。



イヴァノフ教授（左）と小原教授



イーパン教授（右）と小原教授



ノースカロライナ州立大学 校舎



ノースカロライナ州立大学 原子核工学科校舎

・ ミシガン大学

3月7日、ミシガン大学原子核工学及び放射線科学科を訪問し、学科長トッド・アレン教授及び同学科のゲーリー・ヴァス教授と面会し、日米の教育・研究活動についての意見交換を行った。



アレン教授（左）と小原教授



ヴァス教授（左）と小原教授



ミシガン大学 校舎



ミシガン大学原子核工学研究院 校舎

・ ウィスコンシン大学マディソン校

3月8日、ウィスコンシン大学マディソン校物理工学科を訪問し、学科長ポール・ウィルソン教授と面談を行った。その後、同学科エイドリアン・クエット准教授と米国「ニュークリア・イノベーション・ブートキャンプ(NIB)」の開催方法や内容についての意見交換を行うとともに、令和5年（2023年）のNIB日本開催についての意見交換を行った。

さらに、同学科ダグラス・ヘンダーソン教授、ベンジャミン・リンドレー准教授、クマール・スリドハルン教授と面談をし、日米の教育・研究活動についての意見交換と、同学科のセミナーにおいて NICP 活動の紹介と福島第一原子力発電所の廃止措置活動に関する講演を行った。



ウィルソン教授（右）と小原教授



ヘンダーソン教授（右）と小原教授



リンドレー准教授（左）と小原教授



スリドハルン教授（右）と小原教授



ウィスコンシン大学マディソン校 校舎



ウィスコンシン大学マディソン校工学部 校舎

- ・ テキサス A&M 大学

3月9日、テキサス A&M 大学原子核工学科を訪問し、同学科カレン・カーランド教授と面談を行った。



カークランド教授（右）と小原教授



テキサス A&M 大学原子核工学科 校舎



テキサス A&M 大学 本校舎



テキサス A&M 大学 スタジアム

・ カリフォルニア大学バークレー校

3月10日～11日、カリフォルニア大学バークレー校（UCB）原子核工学科を訪問した。3月10日は原子科学・セキュリティコンソーシアムのプログラムディレクターであるジャスミーナ・ヴジック教授と面談を行った。

3月11日、原子核工学科で開催されたコロキウムに参加し、NICPの紹介及び福島第一原子力発電所廃止措置に関する講演を行い、パネルディスカッションにも参加した。また、同学科マッシミリアーノ・フラトーニ准教授、ラルカ・スカララト助教とも面談し、日米の教育・研究について意見交換をした。

バークレー滞在中は、日本学術振興会サンフランシスコ研究連絡センターに設置されているTokyo Tech ANNEX Berkeleyを拠点として活動した。



ヴジック教授（右）と小原教授



UC バークレー工学部 校舎



UC バークレー 校舎



Tokyo Tech ANNEX Berkeley にて

・ マサチューセッツ工科大学 (MIT)

3月14日、マサチューセッツ工科大学原子科学工学科を訪問し、先進原子力研究センターセンター長ヤコポ・ボンジョルノ教授と面談を行った。

また、MITの学生と教員の海外交流支援組織を担当する MIT International Science and Technology Initiatives (MISTI) 内の MIT-JAPAN マネージング・ディレクターであるクリスティーナ・ピルカベージ氏とプログラム・コーディネーターのイザベル・ビットマン氏を訪問し、NICP についての説明と日米の学生交流についての意見交換を行った。



ボンジョルノ教授（右）と小原教授



ビットマン氏（左）、ピルカベージ氏（右）と小原教授



MIT グレート・ドーム



ボストンの街並み

3.3 令和4年度の成果

3.3.1 原子カイノベーター養成キャンプ

令和5年（2023年）1月9日から18日にかけて「原子カイノベーター養成キャンプ（NICC2023）」を実施した。NICC2023は、国際会議への参加や、米国主要大学から参加する大学院生との福島第一・第二原子力発電所見学を題材としたグループワークを通じて、国際的に活躍できる原子力のイノベーションを担う人材を育成することを目的とした。

本学の原子核工学コースに所属する修士・博士課程学生6名、及びNICPと提携する米国大学から招待した大学院生4名（テキサスA&M大学、ウィスコンシン大学マディソン校、ミシガン大学、カリフォルニア大学バークレー校）が参加した。

本キャンプは、以下のセッションで構成された。

- (ア) 本学のゼロカーボンエネルギー研究所が主催する国際会議「International Symposium on Zero-Carbon Energy Systems (IZES)」への参加・聴講
- (イ) ワークショップ（グループワーク・グループ発表）実施／特別講義開講
- (ウ) 福島第一・第二原子力発電所訪問

(ア) 国際会議 IZES 参加・聴講

国際会議 IZES（令和5年（2023年）1月10日～12日）は、新型コロナウイルス感染拡大による2度の延期を経て無事開催され、NICC2023参加学生もNICC2023プログラムの一環として参加・聴講した。発表テーマは次の6分野と多岐にわたり、専攻・非専攻に関わらず、興味を持てる内容だった。

- ・ 再生可能エネルギー技術
- ・ 革新的原子力エネルギー技術
- ・ カーボンニュートラル技術
- ・ エネルギー貯蔵・変換技術
- ・ エネルギーシステムにおける物質循環技術
- ・ 革新的原子力の応用



国際会議 IZES 参加者と講演者陣

(イ) ワークショップ／特別講義

ワークショップでは、次の2つのテーマについてそれぞれディスカッション及びプレゼンテーションを実施した。

【テーマ 1】最新の研究を踏まえた、カーボンニュートラル社会における革新的原子力システム開発の方向性

国際会議 IZES の講演・発表・質疑を聴講し、その中で特に印象に残ったものをもとに「カーボンニュートラル社会実現のために、必要となる原子力開発は何であるか」について検討し発表した。



1月9日 グループワーク 於北2号館



1月13日 グループ発表 於北2号館

【テーマ 2】自然災害に強い革新的原子力システム開発の方向性

福島第一（1F）・第二（2F）原子力発電所を見学し、そこで得た知見をもとに「自然災害に対しても安全に使用できる原子力システム開発の方向性」について検討し、発表した。



1月17日 グループ発表 於Jヴィレッジ



1月17日 グループ発表 於Jヴィレッジ

国際会議 IZES に先立ち、1月9日に東京工業大学の小原教授が特別講義「未来に向けた革新的原子力システムとは（“Innovative Nuclear Systems for the Future”）」を行った。その後、参加学生は国際会議 IZES のプログラムをもとに聴講の計画を立て、グループごとに発表した。

1月13日には、東京電力ホールディングス株式会社 福島第一廃炉推進カンパニーより早田浩平氏を講師に招き、1F事故概要と現在の廃炉状況についての講義を開催した。参加学生たちは、原子力発電所訪問を翌週に控えていたこともあり、積極的に質問を行った。



講演を行う小原教授



講演を行う早田浩平氏

(ウ) 福島第一・第二原子力発電所訪問

本キャンプの軸ともいえる原子力発電所訪問は、原子力工学や原子力エネルギーを専攻とする学生たちにとって有益な時間となった。

1月16日は1Fを、17日は2Fを訪問し、それぞれ原子炉建屋他、見学可能施設を見学した。それぞれの午後は、上述のワークショップ テーマ2 にそって、宿泊先でもある福島県双葉郡にあるJヴィレッジの研修室で、ディスカッションやプレゼンテーションを行った。



1月16日 集合写真 於1F



1月17日 集合写真 於2F



1月17日 集合写真 於2F



1月16日 職員の説明を受けている様子 於1F



1月16日 職員の説明を受けている様子 於1F



1月16日 職員の説明を受けている様子 於1F



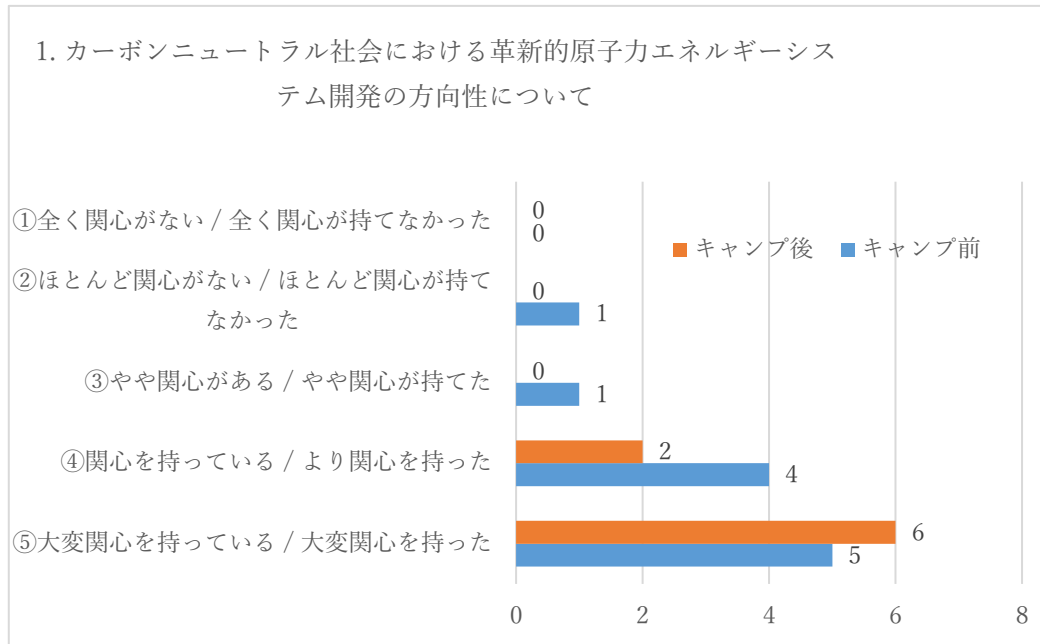
1月16日 夕食の様子 於Jヴィレッジ



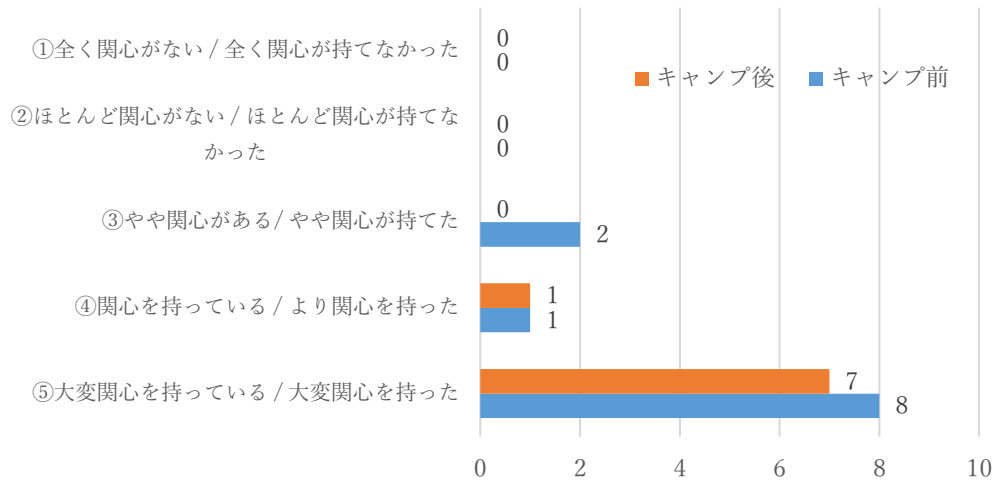
1月17日 修了式 於Jヴィレッジ

◆参加学生アンケート結果

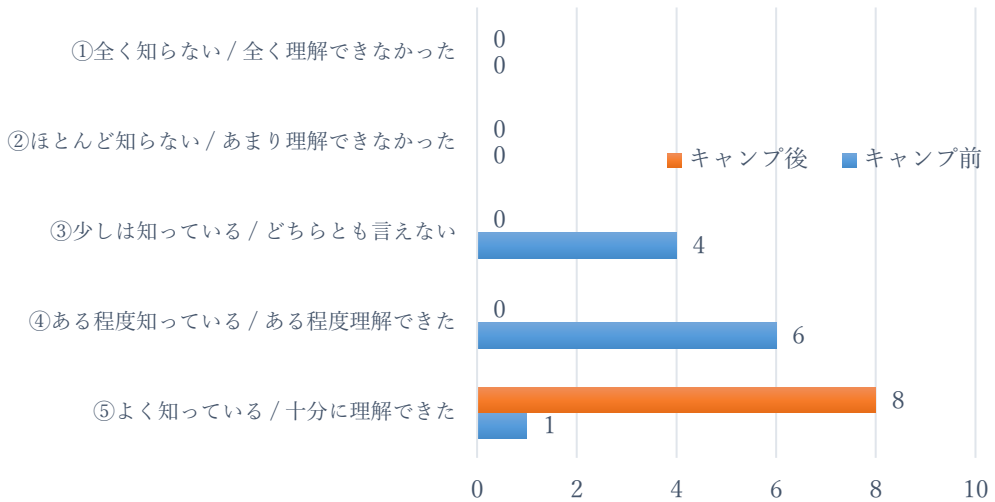
(アンケート回答数：キャンプ前 11, キャンプ後 8)



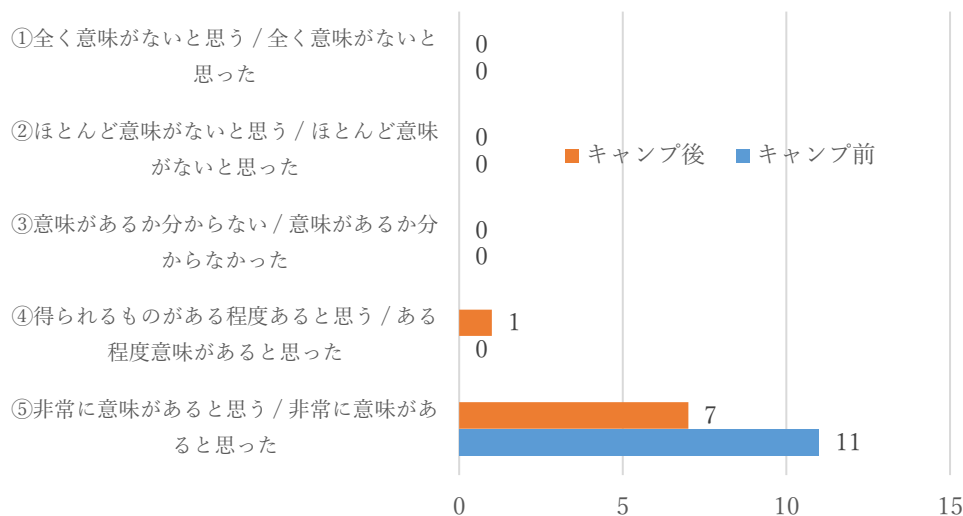
2. 自然災害に強い革新的原子力エネルギーシステム開発の方向性について

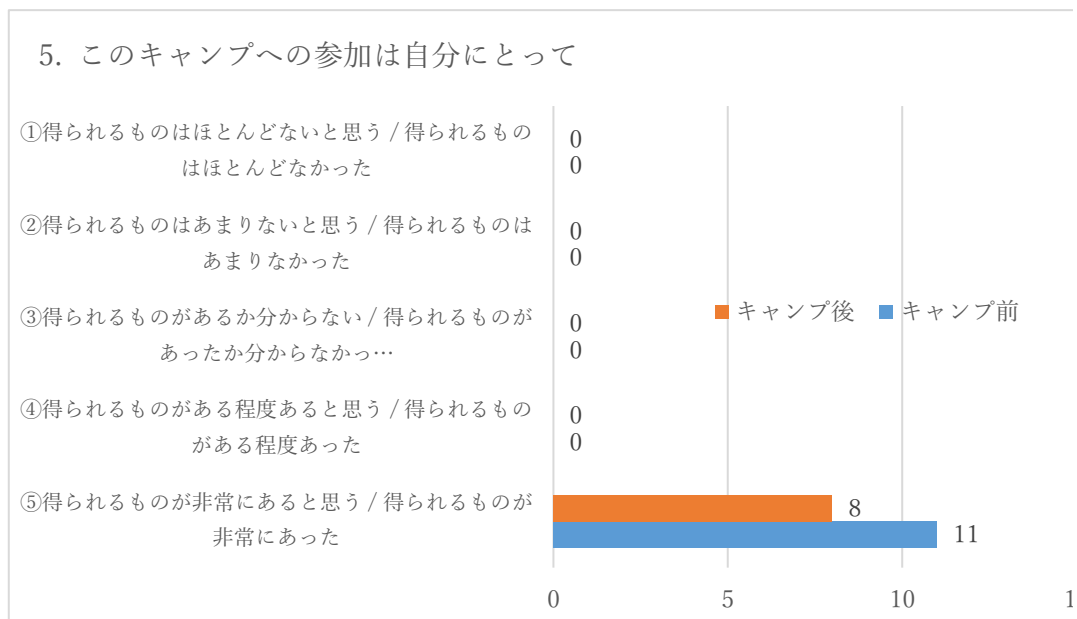


3. 福島第一原子力発電所事故の概要と現状について



4. 他の国や大学の学生とグループワークを行うことについて





◆参加学生からの感想

米国学生：

- ・ NICC は、米国と日本の学生が一堂に会し、世界の原子力システムの将来について論議する、実に貴重な機会を提供してくれました。このような協働の機会は、エネルギー資源に対するニーズの高まりと、二酸化炭素排出を考慮した政策や、安全なエネルギー生産とのバランスを取るための複雑な議論を始める上で、非常に効果的であったと思います。NICC のようなプログラムは、原子力の未来に貢献しようとする学生にとって、グローバルな視点を促進するものでもありました。
- ・ 新しい視点に触れる機会は、原子力産業が直面する革新のためには重要です。NICC は、未来の仲間同士が交流し、原子力コミュニティのネットワークを構築する機会も提供してくれました。
- ・ NICC は、ゼロカーボンエネルギーに関する最先端の研究に接し、安全かつ災害に強いシステムの重要性を広め、原子力研究における連携とグローバルな視点を促す、学生たちの教育を効率的に向上させる良いプログラムだったと思います。

東工大生：

- ・ 本プログラムでは将来も使うことが予測されている英語でのディスカッション力を鍛えたいと思い、参加しました。今までは 3 人以上で英語の議論を行うことが多かったことから、そこまで積極的に議論を行ってこなかったのですが、今回は 1 対 1 のペアによる活動であったこともあり、かなり闊達な議論を行うことができました。
- ・ また、発電所見学では、今までなんとなく復興が進んでいる程度の認識でしたが、職員による説明と質疑応答から、廃止措置の進捗やこれからの予定、事故により、学び改善された部分などを知ることができました。

アンケートの結果及び参加学生の感想から非常に意義のあるキャンプであったことが確認できた。

3.3.2 原子カイノベーション留学

第1期となる令和4年度「原子カイノベーション留学（SANI2022）」を実施した。

令和5年（2023年）3月28日、SANI2022の成果報告会をオンラインにて開催し、本プログラム第1期生2名が、派遣先研究室での研究活動とその成果、及び留学生活について発表した。両名とも11月末から3月までの4か月間程の短い留学期間であったが、今後の研究につなげることのできる有意義な研究活動の報告があった。令和4年度SANI派遣学生は以下の2名である。

陣場 優貴

所属大学 東北大学 工学研究科 量子エネルギー工学専攻
派遣先 ミシガン大学 原子核工学・放射線科学科
Fei Gao 教授



留学期間 日本発：2022年11月28日、帰国：2023年3月2日

発表スライド 付録参照

坂部 俊郎

所属大学 京都大学 大学院 エネルギー科学研究科 エネルギー変換科学専攻
派遣先 マサチューセッツ工科大学 原子核科学工学科
Dennis Whyte 教授



留学期間 日本発：2022年11月27日、帰国：2023年3月25日

発表スライド 付録参照

◆参加学生アンケート結果

留学前後の回答の変化（平均）

（留学前）3.46 → （留学後）4.65

回答選択肢

- 1 そう思わない
- 2 どちらとも言えない

- 3 少しそう思う
- 4 かなりそう思う
- 5 強くそう思う

質問項目

- 1) 自分からやるべき課題を見つけて率先して取り組むことができる
- 2) 仲間に働きかけ、問題点を一緒に改善するために行動することができる
- 3) 自ら目標を設定し、失敗を恐れず粘り強く行動することができる
- 4) 自分なりに現状分析して課題点を具体的に提示することができる
- 5) 課題に向けた解決プロセスを考え、計画的に実行することができる
- 6) 既存の発想にとらわれず、課題に対して新しい考えで、意見やアイデアを工夫して提案できる
- 7) 自分の意見をわかりやすく整理した上で、相手に理解してもらえるように的確に伝えることができる
- 8) 相手の話しやすい環境を作り、適切な意見を引き出すことができる
- 9) 自分の意見ややり方に固執せず、相手の意見や立場を尊重して柔軟に対応できる
- 10) チームで仕事をするとき、自分と周囲の人々や物事との関係性を理解することができる
- 11) その場のルールや手続きに従って、自ら行動や発言を適切にすることができる
- 12) ストレス状況に置かれても、自分の成長機会だとポジティブに捉え、前向きに対処することができる
- 13) 自分の文化背景の異なる場所また仲間とでも、リーダーシップを取ることができる
- 14) リスクがあっても、挑戦してみることが大切だと考え、実行することができる
- 15) 不十分な外国語力であっても、何とか意味を伝えようと積極的に発信することができる
- 16) 自分とは異なる信仰や文化的背景を持っている人を理解し、受け入れることができる
- 17) 国内・海外を含めて、外国人との交流がある
- 18) 専門分野の勉強へのモチベーションがある
- 19) 語学の勉強へのモチベーションがある
- 20) 留学先の社会・習慣・文化に関する知識がある
- 21) 政治・社会問題・国際関係について、知識・関心がある
- 22) 社会での男女共同参画(男女平等)の重要性を認識している
- 23) 将来の方向性・進路について、明確な考えを持っている

成果報告会及びアンケート結果から非常に意義のある留学派遣となったことが確認できた。

3.3.3 その他

3.3.3.1 NIB2022 出張 [令和4年(2022年)8月10日～12日]

米国ニュークリア・イノベーション・アライアンス (Nuclear Innovation Alliance : NIA) 主催の「ニュークリア・イノベーション・ブートキャンプ 2022 (NIB2022)」が、令和4年(2022年)8月1日～12日にウィスコンシン大学マディソン校で開催され、小原教授が8月10日～12日に視察し、NIBの企画及び実施方法についての調査を行った。最終日には、NIB2023-JapanがNICP主催により日本で開催されることが発表された。



左から：エイドリアン・クエット准教授（ウィスコンシン大学マディソン校）、小原教授（東工大）、リバー・ベネット氏（NIA）、レイチェル・スレイボー氏（データ・コレクティブ・ベンチャー・キャピタル）



プレゼンテーションの様子



グループワークの様子

3.3.3.2 米国6大学出張報告〔令和4年（2022年）11月6日～20日〕

プログラム代表の小原教授は、令和4年（2022年）11月6日～20日に米国6大学を訪問し、NICPへの来年度の継続的な参画要請を行った。いずれの大学でも「原子力イノベーション留学（SANI）」において、日本の大学生の受け入れを歓迎する意向も示された。また、2023年1月に本プログラムが主催する「原子力イノベーター養成キャンプ（NICC2023）」への参加予定学生とも面談を行った。

また、令和5年（2023年）7月末から2週間、NICPが主催するNIB2023-Japanの案内も行ったところ、各大学で非常に関心を得られた。このブートキャンプは、米国ニュークリア・イノベーション・アライアンス（NIA）と協同し、世界中の大学から参加する大学院生と福島第一・第二原子力発電所見学を題材としたグループワークや、起業家精神を修養する講義等を通じて、国際的に活躍できる原子力の革新（イノベーション）を担う人材を育成することを目的としており、NIB2023-Japanは初めて日本で開催される。

テキサス A&M 大学



カーランド教授（右）と小原教授

テキサス A&M 大学



チラヤス教授（右）と小原教授

ウィスコンシン大学マディソン校



ウィルソン教授（右）と小原教授

ミシガン大学校



孫教授（右）と小原教授

ノースカロライナ州立大学



ヴジック教授（左）と小原教授

カリフォルニア大学バークレー校



イーバン教授（左）、アラス氏（NICC2023 参加予定学生）と小原教授

マサチューセッツ工科大学



ボンジョルノ教授（右）と小原教授

3.3.3.3 米国出張報告 [令和5年（2023年）3月6日～11日]

NIB2023-Japan の打合せ及び「原子力イノベーション留学（SANI）」の状況の調査等のため、プログラム代表 小原教授とプログラム担当教員 片渕准教授が、NICP の提携大学であるマサチューセッツ工科大学(MIT)とワシントンD.C.を訪問した。

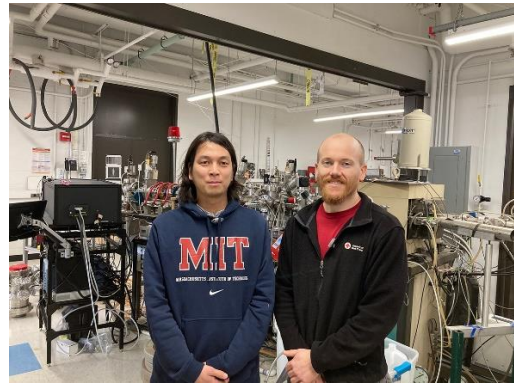
3月7日、MITを訪問し、令和4年度 SANI 派遣学生としてMITのデニス・ホワイト教授研究室に11月末から3月末にかけて留学している京都大学大学院エネルギー科学研究科所属坂部俊郎さんと面談し、留学の状況や研究の進捗などについて話を聞いた。

また、坂部さんの研究を指導しているケヴィン・ウォラー博士から実験施設や実験内容について説明を受けた。訪問により派遣学生の研究留学が有意義かつ順調に進んでいることが確認できた。続いて、MITのSANI窓口教員であるヤコポ・ボンジョルノ教授と面談し、令和5年度（2023年度）のSANIへ協力を依頼するとともに、NIB2023-Japanの計画について意見交換を行った。

NIB2023-Japan は、世界中から参加する大学生や若手研究者と、福島第一原子力発電所見学を題材としたグループワークや、起業家精神を修養する特別講義等を通じて、国際的に活躍できる原子力の革新（イノベーション）を担う人材を育成することを目的としている。令和5年（2023年）7月29日～8月12日に、初めての日本開催を東京工業大学主催で行う予定である。



片淵准教授（左）、坂部さん（中央）、小原教授



坂部さんとケヴィン・ウォラー博士（右）

3月9日、NIBを主催するNIA本部（ワシントンD.C.）を訪問し、NIA 事務局長ジュディ・グリーンワールドさん、NIA コーディネーターのデビン・ウォッツさん他と NIB2023-Japan 開催のための打合せを行った。また同日、国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構（JAEA）ワシントン事務所を訪問し中塚亨事務所長と面談し、NIB2023-Japan 開催への協力を依頼した。



片淵准教授、ジュディ・グリーンワールドさん）、デビン・ウォッツさん、小原教授



小原教授、中塚所長（中央）、片淵准教授

4. 結言

この事業では、原子力工学の基礎に立脚し、エネルギーシステムと様々な工学分野の先端技術に通じ、原子力分野で新たな企業活動を立ち上げる意欲と能力を持ち、国際的センスとマネジメントに優れ将来の原子力エネルギー分野でのイノベーションを担うことのできる技術者・研究者の育成を目的として原子力イノベーター養成キャンプ、原子力イノベーション留学及び関連する活動を行った。それぞれ充実した活動が行われ有意義な成果が得られた。令和5年度は、原子力イノベーター養成キャンプの活動の一環として米国で開催されているニュークリアイノベーションブートキャンプを日本へ誘致・開催するとともに、引き続き原子力イノベーション留学を実施する。

1. 陣場 優貴

(所属大学：東北大学、留学先：ミシガン大学、留学期間：2022年11月28日～2023年3月2日)



本日の内容

- 派遣先研究室の概要
- 研究活動・成果の概要
- 留学生活について

派遣先研究室の概要

教授：Dr. Fei Gao

所属：Nuclear Engineering & Radiological Science, University of Michigan

メンバー：ポスドク1名、博士学生2名、短期留学生1名

主な研究対象

原子力材料の計算機シミュレーション

(イオン-固体相互作用、照射損傷、検出器材料、ナノ結晶物性、
Liイオン電池、材料のマルチスケールモデリング法の開発など)

Publications

1. Gao N, ZW Yao, GH Lu, HQ Deng and F Gao, "Mechanisms for <100> Interstitial Dislocation Loops to Diffuse in BCC Iron", *Nat Commun.*, 12 (2021) 1.
2. Shi LL et al., "Reaction heterogeneity in practical high-energy lithium-sulfur pouch cells", *Energy & Environmental Science* 13 (2020) 3620.
3. Wang K, H Wan, PF Yan, X Chen, JJ Fu, ZX Liu, HQ Deng, F Gao, ML Sui, "[Doquant Sensation Realize High-Voltage Cyclability of Layered Cathode for Sodium-Ion Batteries](https://doi.org/10.1002/adma.201904816)", *Advanced Materials* 31 (2019) 1904816.

4. Peng Q, F Meng, YH Yang, HQ Deng, CY Lu, LM Wang, S De and F Gao, "Shockwave Generates <100> Dislocation Loops in bcc Iron", *Nat Commun.* 9 (2018) 4880.
5. Bang JY, YY Sun, F Gao, SB Zhang, "Carrier multiplication-induced structural change during ultrafast carrier relaxation and non-thermal phase transition in semiconductors", *Phys. Rev. Lett.*, 2016, 117: 126402.
6. Lu CY, LL Niu, NJ Chen, K Jin, TN Yang, PY Xiu, YW Zhang, F Gao, HB Bei, S Shi, MR He, IM Robertson, WJ Weber, and LM Wang, "Enhancing Radiation Tolerance by Controlling Defect Mobility and Migration Pathways in Multicomponent Single Phase Alloys", *Nat Commun.* 7 (2016) 13544.

集合写真



3 / 18

UNIVERSITY OF MICHIGAN

The University of Michigan HP
Dr. Fei Gao 紹介記事より引用
<https://ners.engin.umich.edu/people/gao-fei/>

派遣先研究室の概要

教授：Dr. Fei Gao

所属：Nuclear Engineering & Radiological Science, University of Michigan

メンバー：ポスドク1名、博士学生2名、短期留学生1名

主な研究対象

原子力材料の計算機シミュレーション

(イオン-固体相互作用、照射損傷、検出器材料、ナノ結晶物性、
Liイオン電池、材料のマルチスケールモデリング法の開発など)

計算手法

量子力学計算, ab-initio分子動力学, 時間依存密度汎関数理論,
強結合近似, 分子力学計算, 分子動力学計算, モンテカルロア
ニールシミュレーション, 自己無撞着加速分子動力学 など

集合写真

ある大学院生曰く "If you want to learn **computational material science**, you got the right person. Dr. Gao is **legendary**."



3 / 18

UNIVERSITY OF MICHIGAN

本日の内容

- 派遣先研究室の概要
- 研究活動・成果の概要
- 留学生活について

研究題目：分子動力学法による焼結助剤-マトリックス界面領域の機械的特性シミュレーション (LAMMPS)

ホウ化物の焼結における課題

- 第4族遷移金属ホウ化物は、高温特性から様々な技術への応用が期待されている。

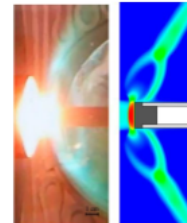
TiB₂, ZrB₂, & HfB₂の材料特性^[1].

融点	>3000 °C
硬さ	>20 GPa
熱伝導率	>60 W/m-K
密度	4.5-11.2 g/cm ³
etc	

^[1] B.R. Golla, et al., Prog Mater Sci 111 (2020) 100651.

期待される応用

- 極超音速機の翼前縁部材^[2-3]
- 再使用型ロケットの熱防護システム^[4-6]
- etc



Arc-jet testing of ZrB₂-based CMC for a reusable rocket^[4].

^[2]M.M. Opeka, et al., J Mater Sci 39 (2004) 5887-5904.
^[3]W.G. Fahrenholtz, et al., Scr Mater 129 (2017) 94-99.
^[4]R. Savino, et al., Advances in Applied Ceramics 117 (2018) s9-s18.
^[5]A. Nisar, et al., Ceram Int 48 (2022) 8952-8961.
^[6]L. Silvestroni, et al., J Eur Ceram Soc 38 (2018) 2467-2476.

- 緻密化プロセスにおいて厳しい条件を要する。

一般的なホウ化物の焼結条件

温度	>1800 °C
圧力	>30 MPa

☒ 焼結法が限定される。

- Hot Press
- Spark plasma sintering

→ 形状に制限

☒ 結晶粒の粗大化

- 母相
- 複合材における強化材 (e.g., fiber & whisker)

→ 機械的特性の劣化

応用の拡大には、緻密化プロセスの低温化が不可欠

TiBによるTiB₂結合強化の可能性

- 焼結助剤の添加による焼結温度低下の試み

Composition	Sintering condition	Density [%]
TiB ₂ -5, 10, 20 wt.% Co ^[7]	Pressureless, 1550°C, 60 min	67.9 - 97.6
TiB ₂ -5 wt.% (Fe-Ni-Ti-Al) ^[8]	SPS, 1500°C, 50 MPa, 5 min	97
TiB ₂ -2.5 wt.% Ti ^[9]	SPS, 1650°C, 50 MPa, 5 min	99.1

[7] D. Aggarwalleri et al., J. Eur. Ceram. Soc. 32 (2012) 1949–1956. [8] C. Yang, et al., Materials (Basel), 7 (2014) 7105–7117. [9] Z.H. Zhang et al., Scr. Mater. 66 (2012) 167–170.

低融点助剤は通常、高温特性を著しく劣化させる。

Ti助剤の場合、高融点なTiBを反応生成する為、高温特性の改善が期待できる 一方、焼結温度が比較的高い。

- 機械的合金化 Ti-B 共晶合金助剤 (our previous work^[10])

[10] Y. Jimba, S. Kondo, H. Yu, H. Wang, Y. Okuno, R. Kasada, Ceram. Int 47 (2021) 21660–21667.

Z.H. Zhang et al.
“TiBによりTiB₂粒子の結合が強化された。”^[9]

メカニズムは不明



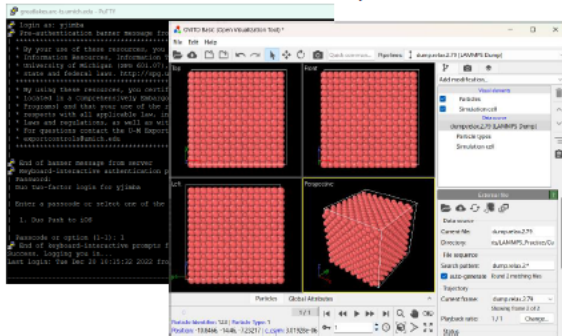
6 / 18



研究の目的

計算材料学と超微小試験技術を組み合わせることで、TiBによるTiB₂粒子の結合強化メカニズムを明らかにする。

Professor Gao's Group, US



分子動力学法による原子レベルシミュレーション
(Angstrom ~ submicron scale)

Professor Kasada's Group, Japan



FIBおよびナノインデントによる超微小試験
(micrometer scale)



7 / 18



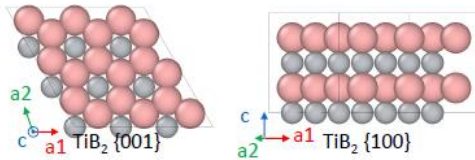
実験方法

1. 単結晶材料の機械的強度特性

2. 界面モデルの機械的強度特性

Models

TiB₂ (Hexagonal)



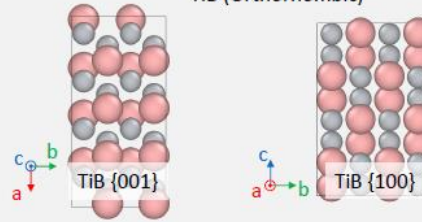
Conditions

Code: LAMMPS code

Interatomic Potential: the second nearest-neighbor modified embedded atom method (S. Attarian et al. Comput. Mater. Sci. 2022)

Temperature: 300 K (NPT ensemble)

TiB (Orthorhombic)



Stress type: shear/tensile

Loading: constant speed of 5 m/s in Y or X direction

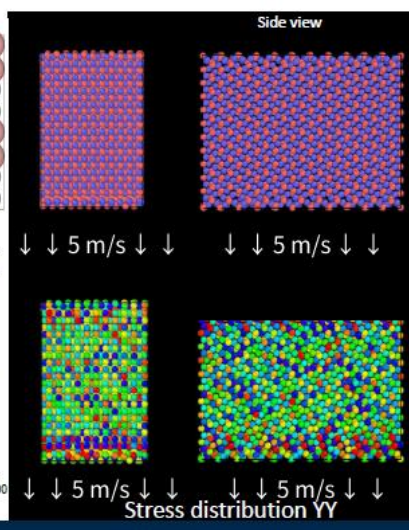
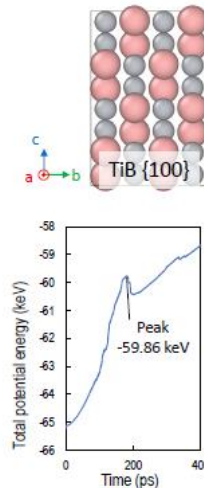
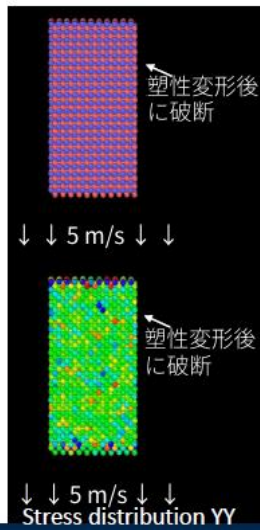
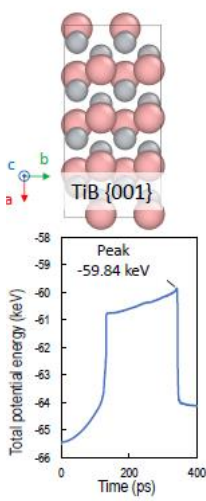


8 / 18

UNIVERSITY OF MICHIGAN

TiB単結晶の破壊挙動の異方性

引張り

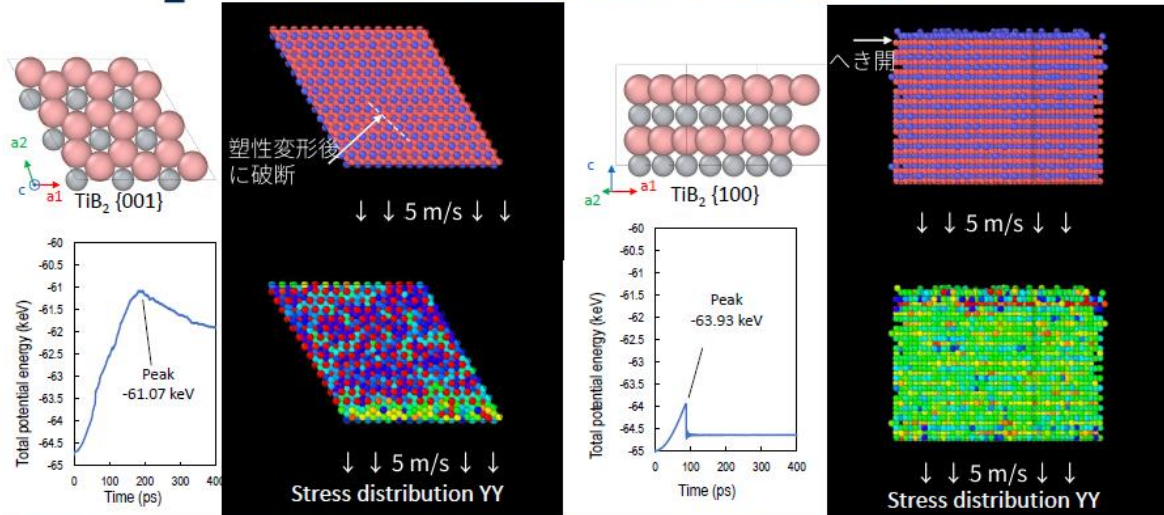


9 / 18

UNIVERSITY OF MICHIGAN

TiB₂単結晶の破壊挙動の異方性

引張り

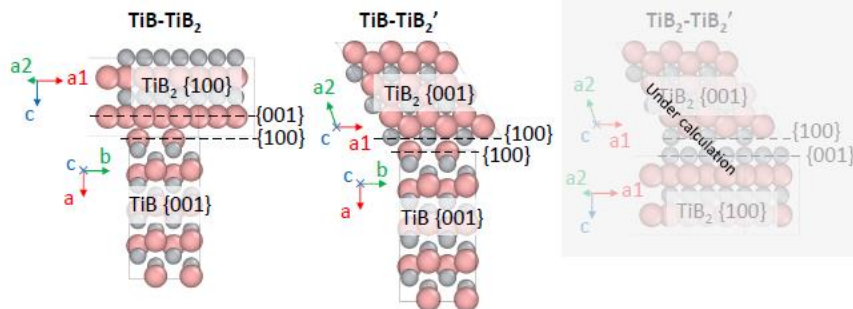


実験方法

1. 単結晶材料の機械的強度特性

2. 界面モデルの機械的強度特性

Interfacial models

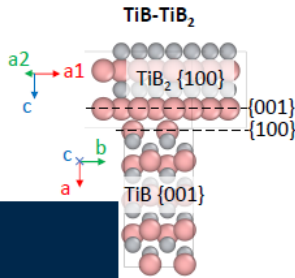


モデル作成と計算条件

1. 単結晶材料の機械的強度特性

2. 界面モデルの機械的強度特性

Interfacial models



各相の初期サイズ

TiB₂
 X, Y, Z
 Unit cells: XXX, YYY, ZZZ
 Dimension (Å): XXX.X, YYY.Y, ZZZ.Z

TiB
 X, Y, Z
 Unit cells: XXX, YYY, ZZZ
 Dimension (Å): XXX.X, YYY.Y, ZZZ.Z

Conditions

Code: LAMMPS code
 Interatomic Potential: the second nearest-neighbor modified embedded atom method (S. Attarian et al. Comput. Mater. Sci. 2022)
 Temperature: 300 K (NPT ensemble)
 Stress type: shear/tensile
 Loading: constant speed of 5 m/s in Y or X direction

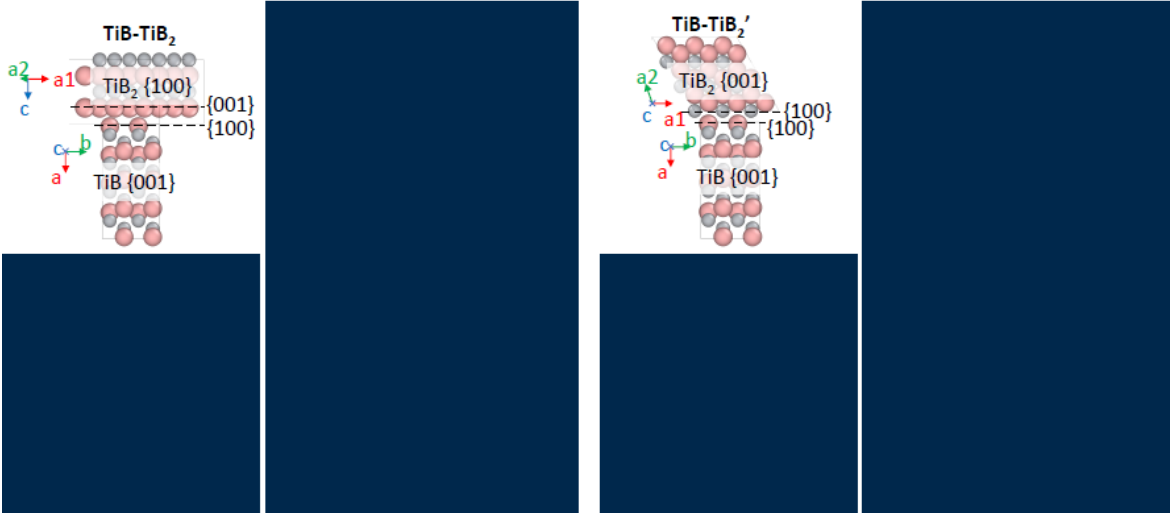


12 / 18



TiB-TiB₂界面での破壊挙動の異方性

せん断

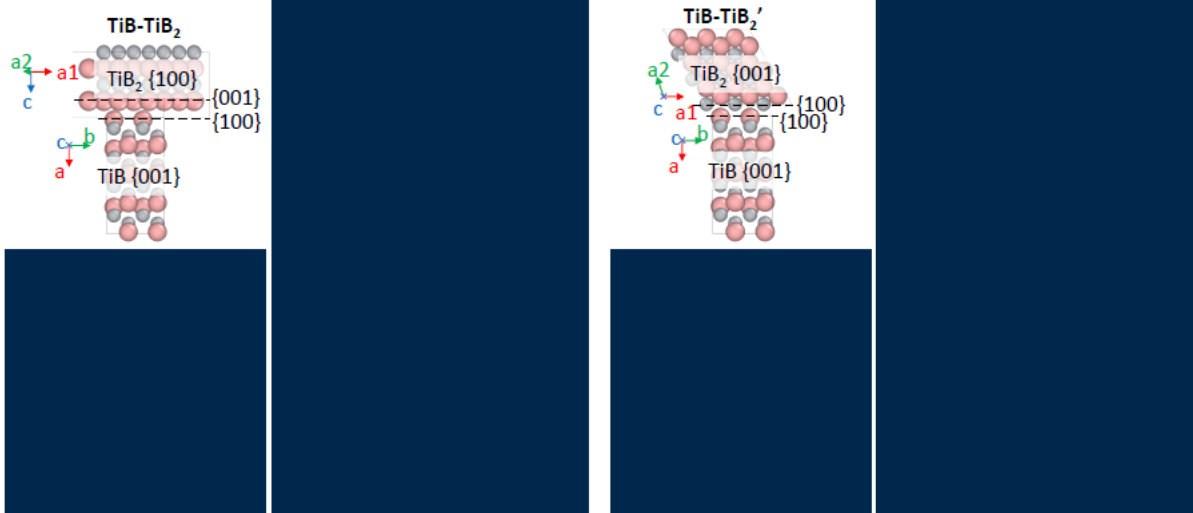


13 / 18

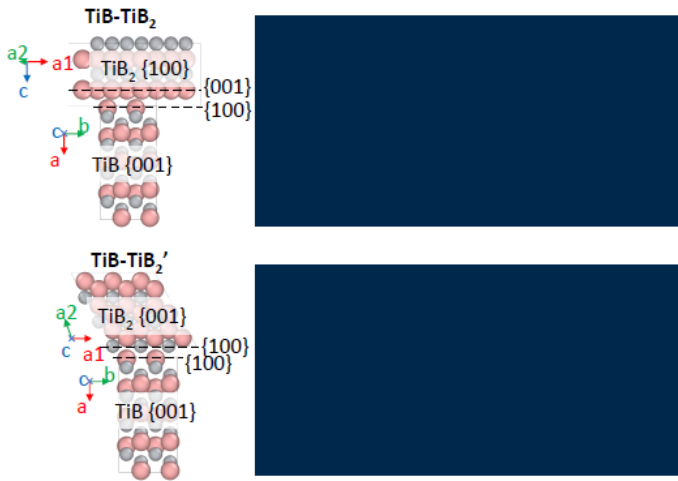


TiB-TiB₂界面での破壊挙動の異方性

引張り



両モデルともに界面で破断



界面強度の結晶方位依存性は認められたが、どちらのモデルも界面で破断した。

界面強度 < TiB or TiB₂粒内強度

従って、TiBはTiB₂粒子を“接着”するわけではなく、他の機構により粒界強度に影響している可能性がある。

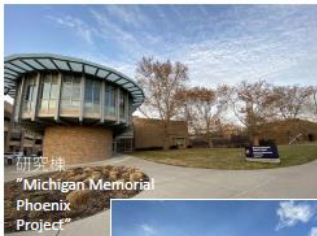
(TiBウィスカーがTiB₂粒内に食い込むことによる機械的なロックングなど?)

本日の内容

- 派遣先研究室の概要
- 研究活動・成果の概要
- 留学生活について

留学生活について

Ann Arbor市内は学生無料のバスが多く走っており、車なしでもあまり不便はなかった。円安・物価高の影響もあり観光などはあまりできなかったが、それでも日本とは全く異なる景色を目の当たりにし、とても良い刺激となった。



まとめに代えて

- ✓ 本留学でスーパーコンピュータやLAMMPSコードの取り扱いを一から学び、二相界面の分子動力学計算ができるようになった。
- ✓ ホウ化物単結晶の強度の異方性が再現できていることを確認し、界面の強度特性も結晶方位依存性があることが分かった。作成した2つのモデルでは、破壊は相界面で生じた。
- ✓ 今後、変形速度やモデルサイズ等を変えて再計算することで、計算精度の向上を図るほか、超微小試験により界面強度を実験的に測定し、計算結果との比較を行いたい。

Photo "Michigan Union"



18 / 18

 UNIVERSITY OF MICHIGAN

2. 坂部 俊郎

(所属大学：京都大学、留学先：マサチューセッツ工科大学、留学期間：2022年11月27日～2023年3月2日)

2023年3月28日SANIプログラム成果報告会@ZOOM開催

MIT PSFC 留学報告

2023年3月28日（火）
京都大学エネルギー科学研究科
エネルギー科学変換科学専攻
博士後期課程2年
坂部俊郎



派遣先研究所

2



MIT・PSFCの建屋



Massachusetts Institute of Technology
(マサチューセッツ工科大学)



Plasma Science and Fusion Center

核融合炉関連技術、マグネット関連技術、および
プラズマ科学に特化したMITの研究所。

Spin-off Company
Commonwealth Fusion System (CFS)



Commonwealth
Fusion Systems

- Professor Dennis G.WHYTE

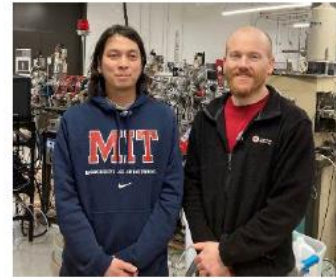


Director, Plasma Science and Fusion Center

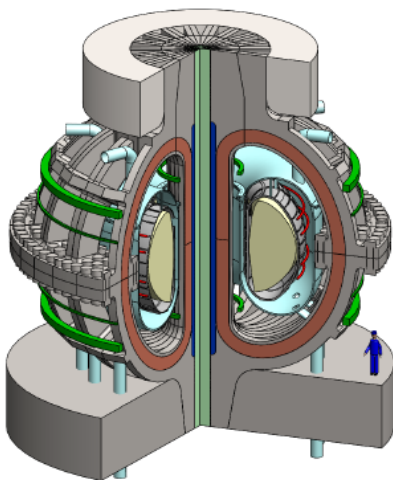
- 新型の核融合炉である SPARC/ARC の実現に向けた、ブランケットシステム研究開発チーム (the LIBRA Experiment チーム) に配属。

Principle investigator : Kevin WOLLER

- 滞在期間 : 2022年11月27日 ~ 2023年3月24日



Kevinさんと



PSFC・CFSにて開発中の新型核融合炉。

名称は、Affordable, Robust, Compactの頭文字から。

高温超伝導コイルの採用により小型化を図る。

ブランケットには、電気抵抗率の高い溶融塩材料であるFLiBeを採用する予定。

投入エネルギーを上回る発電量 ($Q_e > 1$) を達成することを目標とし、2030年代前半に完成予定。

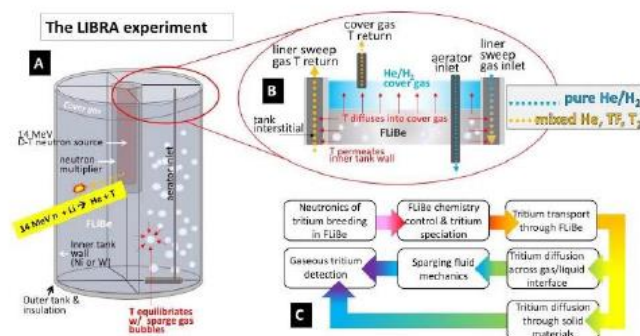
B.N. Sorbom, et al., FUSION ENGINEERING AND DESIGN, 2015

研究背景 2 ～LIBRA Experiment～

5

核融合炉ブランケットシステムの重要な機能の一つに、燃料となるトリチウムの製造が挙げられる。

LIBRA Experiment (LIBRA実験)は、熔融塩であるFLiBeブランケットを用いたシステムで、十分なトリチウム増殖率 (TBR) を実証することを目的とする。



Sara E. Ferry, Kevin B. Woller, et al., FUSION SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2022

研究目的

6

LIBRA Experimentでは、小型の円筒型DT中性子源を使用して、FLiBeブランケットに中性子照射を実施する予定である。(D:重水素、T:三重水素)

DT中性子源周辺の中性子分布が重要なパラメータとなる。

今回の研究では、DT中性子源周辺の中性子分布を明らかにすることを目的とした。

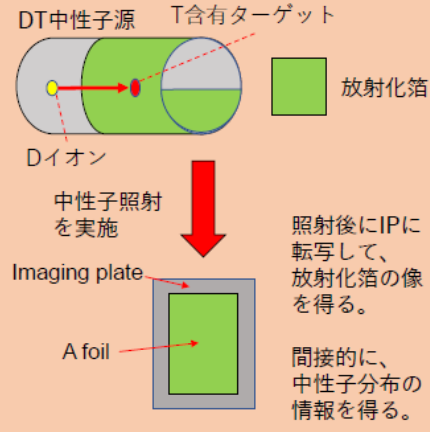
⇒ Characterization of the DT neutron source for the LIBRA experiment



円筒型DT中性子源

放射化箔とイメージングプレート (IP) を用いる手法を採用した。
 中性子照射により放射化した箔の像をIPによって取得する。

実験の流れ



先行研究例 (DD中性子源を使用)

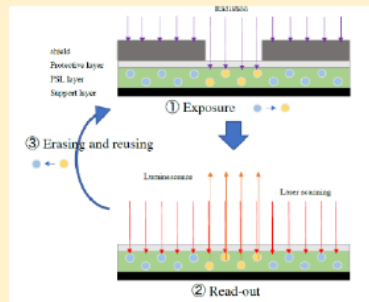


Fig. 2-1 Sequences for employing the IP: expose the radiation to the IP, read-out the cumulative data

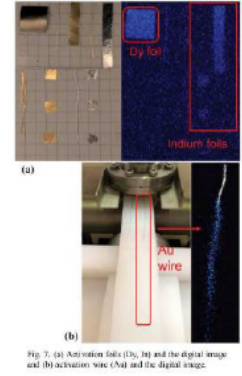
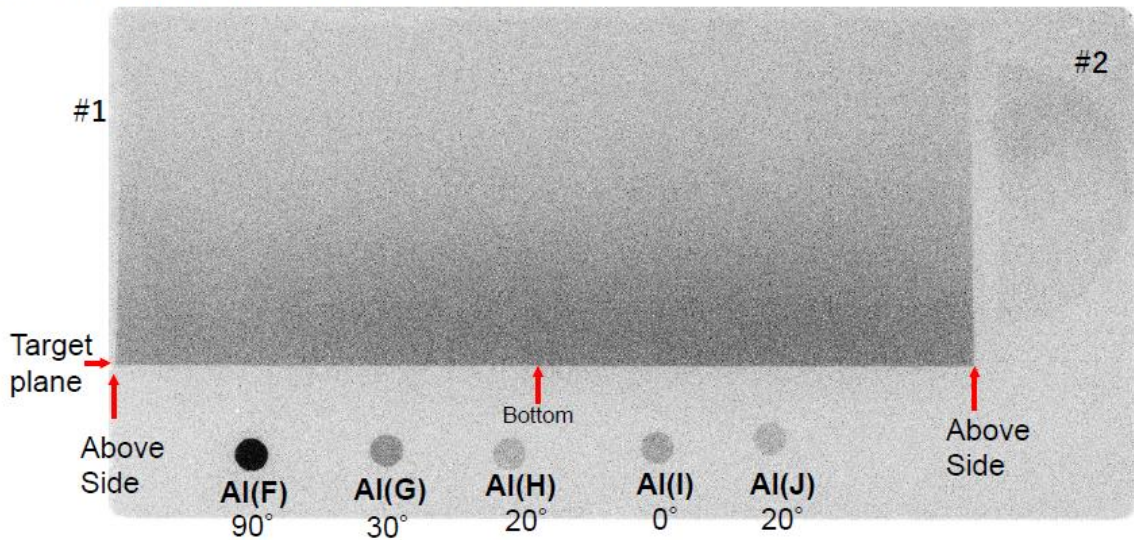


Fig. 7. (a) Activation foils (Dy, In) and the digital image and (b) activation wire (Au) and the digital image.

Ogino et al., FUSION SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2019

結果：取得画像

IPにより、各Al箔の像を取得することができた。



まとめ・今後の予定

9

まとめ

- DT中性子源の周囲の中性子分布を、AI放射化箔を用いて測定・可視化できることが示された。
- HPGe検出器による放射化箔 γ 線測定（Nb箔・Fe箔使用）の結果と組み合わせることにより、DT中性子源各位置での中性子束を測定できると考えられる。

今後の予定

- HPGe検出器による放射化箔測定データの追加取得。
- HPGe検出器のためのPHITSシミュレーション体系の構築。
- PHITSシミュレーションによるDT反応の再現。中性子エネルギーの角度依存性の検証。
- ダイヤモンド検出器を用いたDT中性子のリアルタイム計測の検証。



- 本年7月に英国Oxfordで開催予定の核融合分野における主要な国際学会であるSOFE（30th IEEE SYMPOSIUM ON FUSION ENGINEERING）に、ポスター発表で参加する予定です。

留学生活① 住居・天候など

10

- MITからすぐ近くのアパートで、MITの大学院生の方とルームシェアしていました。
- ボストンは寒冷地ではありますが、今年の冬はかなりの暖冬だったようです。



住居



雪化粧のGreat dome

留学生活② 食事

11

ご当地のグルメやバラエティ豊かな食事を楽しむことができました。



留学生活③ 博物館・美術館・観光名所など

12

休日は、ボストン市内・周辺の観光名所巡りに勤しんでいました。



ボストン美術館



フランクリンパーク動物園



ハーバード自然史博物館



MIT博物館



ボストンコモン



JFKライブラリー



科学博物館

研究

- 多様なバックグラウンドを持つメンバーが集まるチームの中で、英語力も含め、自らのコミュニケーションを磨くことができました。
- 一方で、日本の研究機関での研究の価値も今まで以上に理解できました。
- 円滑な研究遂行の上で、今後自分が身に付けるべきスキルを知ることもできました。

生活

- 初めての長期の海外滞在でしたが、たくさんの友人を作ることができ、日々の生活を大変満喫することができました。

この度は、このような大変貴重な機会を設けてくださり、誠にありがとうございました。