

第2巻 第11号

東京工業大学 COE-INES

## 第2回革新的原子力エネルギーシステムに関するMIT-Tokyo Tech共催シンポジウム

東京工業大学大学院理工学研究科 原子核工学専攻  
加藤 之貴, 飯尾 俊二, 関本 博

### 目次

#### 1. 会議構成概要

#### 2. シンポジウムおよびイベント経過

#### 3. まとめ

東京工業大学21世紀COE「世界の持続的発展を支える革新的原子力」(COE-INES), 革新的原子力研究センター(CRINES)とマサチューセッツ工科大学(Massachusetts Institute of Technology, MIT)の先進原子力研究センター(Center for Advanced Nuclear Energy Systems, CANES)との共同開催により第2回の標記シンポジウムを開催した。革新的原子力エネルギーシステム研究, また博士学生教育において, MITとの国際的研究・教育協力が進められた。以下に開催経過を報告する。

#### 1. 会議構成概要

平成19年7月23日～25日を会期とし, 23日～24日にKKR鎌倉わかみやホテル, 鎌倉, で研究発表セッションを, 25日は東工大岡山キャンパスにて交流・教育イベントを行った。本会議は平成17年11月2日～4日にMIT, Cambridge, MA, 米国, で行われた第1回同シンポジウムに次ぐものであり, 東工大側がホストとして運営した(シンポジウムチェア, 関本 博教授(COE-INES リーダー,

CRINESセンター長), Mujid Kazimi教授(MIT CANESセンター長), シンポジウムオーガナイザー 加藤之貴(COE-INES), Pavel Hejzlar博士(MIT))。

MITより, Kazimi教授はじめスタッフ5名, 博士課程学生8名計13名が来訪参加した。参加者総数は鎌倉セッションで71名, 東工大セッションでは150名を得た。今回のシンポジウムでは, 研究とともに博士学生教育に力点がかれ, 事前の7月19～20日に「一般市民向け原子力教育ゲームの開発」を共通テーマに, 両校博士学生の合同ワークショップを東工大原子炉研にて開催した(コーディネーター, 加藤, 相良 洋(COE-INES))。25日にはMITゲストの原子炉工学研究所ツアー, 西9号館デジタルホールでの学生ポスター内容発表会(コンタクトフォーラム), 学生ポスター発表, 特別教育セッションを開催した。また, 同日 関本教授の案内により, Kazimi教授が相澤益男東工大学長へ表敬訪問した。学生ワークショップの成果は特別教育セッションで披露された。本セッションでは相澤東工大学長の挨拶の後,



写真1 TM-INES 2シンポジウム参加者 (KKR鎌倉わかみやにて)

両校学生から博士課程デザインの紹介、開発ゲームの発表があった。さらにバンケット（25日）では湊章男CRINES特任教授の特別講演があり、両校の交流を深めつつ無事シンポジウムは終了した。

講演スライド等の資料はCDとしてまとめられ会期中に配付された。会議レポートはCOE-INESより出版される予定である。また、学生ワークショップおよび特別教育セッションの内容は COE-INES NewsLetter No. 21に別途報告する。

## 2. シンポジウムおよびイベント経過

鎌倉での口頭発表は5セッションで行われ、MIT8件、国内3件、米国1件、COE14件、計26件が発表された。ポスターセッションではMIT6件、COE博士学生RA23件、計29件が発表された。また、特別教育セッションでは、MIT、東工大、各博士学生1名から両大学の博士教育デザインについて講演があり、さらに原子力教育ゲームに関する成果発表が両校博士学生より7件、うちMIT-東工大共同発表2件があった。シンポジウムは関本教授の開会挨拶および基調講演から始まった。経過を以下に記す（以下敬称略）。

### （1）研究発表

#### Session 1. 革新的高速炉技術 (Innovative Fast Reactor Technologies)

Sekimoto (Tokyo Tech) よりウランの採掘・濃縮・再処理をしなくても現在あるウランだけで長期にエネルギー供給ができるCANDLE (Constant Axial Shape of Neutron Flux, Neutron Density and Power Shape during Life of Energy Production) 燃焼方式、さらにその改良型の小型長寿命CANDLEの研究結果が報告された。Takahashi (Tokyo Tech) からは鉛ビスマス冷却高速炉の石油化学コンビナートへの応用例を示した。また、鉛ビスマス蒸気直接接合型LFRについて、燃料被覆管のアルミニウム処理が鉛ビスマスへの耐食性の向上に有効であることが報告された。Hejzlar (MIT) からは開発中の2.4 GWth出力の二酸化炭素冷却GFRと、それに用いるBeOを用いたTube-in-Duct式U-TRU-O<sub>2</sub>を用いた革新的炉心設計に関する報告が行われた。半径方向の出力平坦化、全燃料寿命にわたって負のボイド率を実現してい



写真2 鎌倉セッション発表風景

る。またRELAP5-3D計算コードを用いた炉緊急停止時の崩壊熱除去の検討についても報告された。

Obara (Tokyo Tech) より鉛合金炉における<sup>210</sup>Po汚染に関して報告がされた。放射化された鉛ビスマス合金から加熱により<sup>210</sup>Poを蒸発させた際の<sup>210</sup>Poの種々のフィルター材料への吸着特性が検討され、ステンレスメッシュ材の有効性が示された。Ballinger (MIT) より材料開発事例として、超臨界二酸化炭素雰囲気下での種々の材料の腐食に関する検討が述べられた。SUS316L, ODS鋼MA956, MA957, PM2000, さらにマルテンサイト合金HT9, T91について650°C, 22.5MPa下で耐食試験が行われ、MA956などに優れた耐食性があることが報告された。Furukawa (JAEA) からは316FR, P122, ODSなどの溶融鉛ビスマス合金に対する腐食試験（酸素濃度 $10^{-8} \sim 10^{-4}$  wt%, 500-600°C, 10,000時間）の結果が報告された。また超臨界二酸化炭素下でのP122, 316FRの耐食性結果が同様に示された。Short (MIT) からは、鉛ビスマス合金冷却炉むけの耐食材料の検討が報告された。MITで行われている、高温耐久性を持つフェライト系マルテンサイト鋼と新たに開発した合金（12Cr-2Si-Bal.Fe）とのクラッド材の耐食性試験の結果が報告された。Yano (Tokyo Tech) は核分裂、核融合炉向けのセラミック材料の中性子照射損傷実験の成果を報告した。高速中性子照射による結晶格子欠陥が検討され、SiC, AlN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の電子顕微鏡観察などによる結晶格子損傷、物性変化に関する検討結果が示された。

#### Session2. 先進熱伝達 (Advances in Heat Transfer)

Aritomi (Tokyo Tech) より超音波パルスドップラー法を用いた原子炉冷却水の流量測定法についての研究成果が報告された。飛行時間 (TOF) 型超音波流量計・超音波ドップラー流速計ハイブリッド流量計測システムを用いて±1%の高精度で流量測定が実現された。Buongiorno (MIT) はナノ流体 (nanofluid) の核沸騰熱伝導および沸騰限界熱流束特性について報告した。ナノ粒子を流体に混合してナノ流体にすると通常流体に比べて熱流束が大幅に向上することを示した。この原因はナノ粒子が伝熱面の濡れ性を向上させることにありと考察した。

Hejzlar (MIT) はガス冷却高速炉 (GFR) の冷却材喪失事故時の炉心内気体の乱流熱伝達に関する検討結果を報告した。事故条件と炉内熱伝達変化の関係を数値的に解析した。Ninokata (Tokyo Tech) は原子炉安全設計のための”Safety-by-Design”法に関する成果を示した。この方法に関する数値流体力学解析、乱流直接数値計算、レイノルズ平均ナビエーストークス方程式 (RANS)などの手法と解析結果が示された。

#### Session 3. 原子力による水素および合成燃料製造 (Nuclear Hydrogen and Synthetic Fuels)

Kazimi (MIT) は世界規模の二酸化炭素排出削減に対し水素利用の有効性を示した。原子力水素による石油

タールサンドや重油の軽質化, 合成燃料製造への活用方法が述べられた。高温電気分解水素製造が他の水素製造方法より優れていると主張した。

Hino (JAEA) はJAEAの高温ガス炉HTTRの概要を説明し, これを用いたSIプロセス式の原子力水素製技術の開発事例とこれからの開発展望を述べた。SIプロセスはシステムコストの低減が重要であり, 例えば反応材料の被覆をSiCからガラス材に替えるなどの事例を示した。Yamada (Toshiba) は円筒管型高温電気分解セルによる水素製造の事例を示した。固体酸化物を電気分解セルに用いた, 計15セル集合体装置による100 L/hの水素製造を実証している。今後の大量水素生産に向けた装置大型化の見通しを示した。Kato (Tokyo Tech) は原子力をバイオマスのエネルギー変換に利用することで, より高度なバイオマス利用ができることを示した。また, 炭素循環エネルギーシステムの実現に原子力が有望であることを示した。とくに二酸化炭素化学吸収剤を用いた, ゼロエミッション燃料電池自動車水素供給システムの可能性を示した。

#### Session 4. 燃料サイクル技術 (Technologies for Closing Fuel Cycle)

Igashira (Tokyo Tech) は, JENDL-3.3, ENDF/B-VIIなどの中性子核断面積データがMA, LLFPの核変換分野でいまだ不十分であり, 今後のデータ拡充の必要性に言及した。あわせて最近の断面積測定成果が報告された。Kazimi (MIT) はPWRでの高燃焼度運転の有効性を示した。また Combined non-fertile and uranium fuel (CONFU) 燃料のMOX燃料に対する有効性を述べた。Hotokezaka (Tokyo Tech) はマイクロチャネル反応器における液-液抽出特性, 電気化学特性の実験的検討結果を報告し, 革新的な核種分離がマイクロチャンネル方式で可能であることを示した。Suzuki (Tokyo Tech) は第三ピリジン樹脂を用いた三価のアクチノイドとランタノイドの分離, AmとCmの分離などの実験結果を示し, 核種分離による再処理プロセスの有効性を紹介した。Golay (MIT) は原子力分野に応用可能である経験的手法を用いた研究開発の方針決定手法と, その手法の活用事例を紹介した。Takaki (Tokyo Tech) は長期の燃料問題の解決のための水冷却トリウム増殖炉の評価事例を示した。また重水冷却炉の可能性を示した。Fujii (Tokyo Tech) はイオン交換分離法を用いた核不拡散型の燃料サイクル, ウラン濃縮, 燃料再処理の重要性を示した。Richards (General Atomics) は高速増殖炉, 超高温ガス炉による電気, 水素, プロセス熱供給の普及展開のシナリオを示した。Saito (Tokyo Tech) はプルトニウムの使用制限のため少量のMAをウランへ添加することの有効性を示し, 核不拡散の実現策を示した。

#### Poster Session

MIT博士学生, 東工大COE-INES博士RA学生を交えてのポスターセッションが行われた。それに先立ち, 発表

者全員による持ち時間90秒の発表概要説明をコンタクトフォーラムにて行った。フォーラムによって個々の研究をお互いに理解するとともに, 両校の研究分野の広がり把握することができた。さらに事前の学生ワークショップ, 鎌倉セッションでの交流が効を奏し, ポスターセッションは和やかかつ活気のある研究交流の場となった。

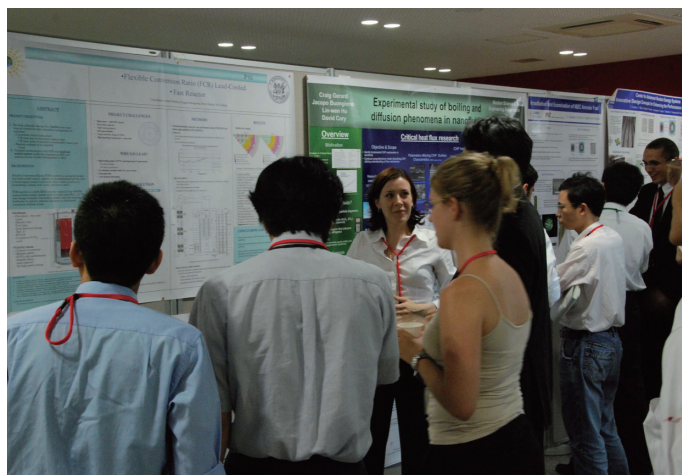


写真3 学生ポスターセッション (東工大西9号館ロビー)

#### (2) 交流・教育イベント

Kazimi教授が関本教授の案内で相澤東工大学長を表敬訪問した。原子力分野ならびに他分野での両校の教育・研究制度の特性, 将来展望に関して意見交換が行われ, 今後, 両校の交流がさらに発展することを互いに期待していることが確認された。

今回のシンポジウムでは, 研究とともに博士学生教育に力点が置かれ, 事前の7月19~20日に「一般市民向け



写真4 Kazimi教授 (MIT CANESセンター長) の相澤東工大学長表敬訪問

原子力教育ゲームの開発」を共通テーマに、両校博士学生の合同ワークショップを東工大原子炉研にて開催した。講師にTakagi (Nihon Univ.), Yamato (TEPCO), Kimura (Game production company, F9) を迎え、東京電力Webゲームの制作過程の紹介を受けた。ついで学生が事前に制作したゲーム、ゲームコンセプトを発表し講師を交えて内容の改訂を進めた。その後も学生同士の真剣な討論が進められ、その成果は25日の特別教育セッションで披露された。セッションでは相澤学長の原子力分野の研究教育と国際協力の重要性に言及した挨拶の後、両校学生から両校の博士課程デザインの紹介2件、学生ワークショップの成果である原子力教育ゲームの成果報告7件があった。とくに成果報告のうち2件はMIT-東工大共同開発であり、両校学生によって紹介され、ワークショップ共同作業の良い成果となった。

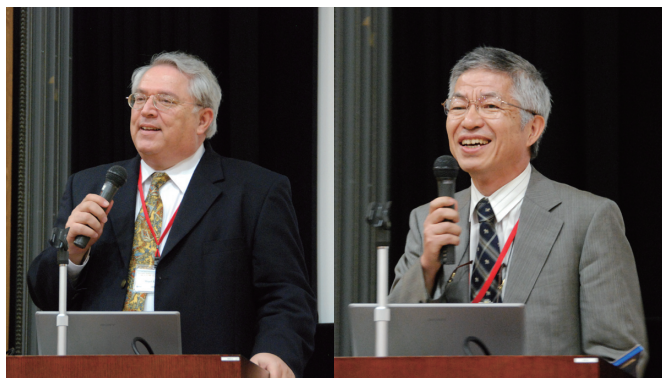


写真5 シンポジウムチェア Kazimi教授, MIT-CANESセンター長, 関本教授, COE-INESリーダー

また、百年記念館角笛にてシンポジウムバンケットが開催された。Minato, CRINES Professor (CRIEPI) による特別講演があり、アラスカでの4Sプロジェクトが紹介され、研究活動レビューを通して、革新的原子力システムの重要性が述べられた。学術的な雰囲気を保ちつつも、暖かな時間を共有した晚餐であった。

### 3. まとめ

シンポジウム最後に関本教授とKazimi教授より総括があり、本シンポジウムが両校の教育研究交流の点で有意義であり、今後この交流がさらに発展するよう努力する旨を確認し、会議は無事終了した。本シンポジウムは鎌倉で起居をともにしたことにより、充実した研究交流が実現された。とくに両校学生たちは学生ワークショップ、さらに鎌倉・東工大でのイベントを通し大い

に交流を深めることができ、博士教育の面でも有益であった。これらはひとえに参加者全員が研究交流に良くとめ、会議に参加・協力した成果である。今後、引き続き両校の交流の発展が望まれる。



写真6 MITゲスト一同（鎌倉大仏にて）

### 謝辞

本会議の開催にご協力頂いた各位に心より謝意を示す。とくにMIT側シンポジウムオーガナイザーであるPavel Hejzlar博士の献身的な対応に深甚なる謝意をしめす。



〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1  
東京工業大学 原子炉工学研究所 COE-INES事務局 N1-12  
Phone: 03-5734-2966, Fax: 03-5734-2962  
Email: coe-ines@nr.titech.ac.jp  
URL: <http://www.nr.titech.ac.jp/coe21/>