

THERMAL HYDRAULICS

熱流動部会ニュースレター (第90号)

AESJ-THD

NEWSLETTER (No.90)

Feb. 22th 2016

研究室紹介

九州大学大学院工学研究院
エネルギー量子工学部門 核エネルギーシステム学講座
原子力エネルギーシステム研究グループ 守田 幸路

1. まえがき

九州大学大学院工学研究院 エネルギー量子工学部門 核エネルギーシステム学講座では、高性能原子炉や核融合炉等の魅力的な核エネルギーシステムの開発並びにエネルギー利用における諸問題、原子力との環境の関わり等について、炉心物理や熱流動工学、同位体工学、環境システム工学等の面から教育・研究を行っています。

エネルギーシステムを効率的に運転し、かつ安全に制御するための新しい技術を創出するためには、エネルギーの輸送・変換に介在する複雑な熱流動現象の詳細を定量的に解明することが必要になります。当講座の原子力エネルギーシステム研究グループでは、原子炉システムの安全性向上や評価に関連して、伝熱・流動・相変化などが複合した熱流動現象の実験的解明と数値シミュレーション技術、過酷事故（シビアアクシデント）の安全評価のための研究開発を行なっています。



Photo ソウル大学校との合同ワークショップ (2015.12)

本研究グループは、教授を務める本稿の執筆者及び松元達也助教の教員2名によって運営され、学術研究員1名、バングラデシュ及びベトナムからの留学生を含む学生19名（博士後期課程3名、修士課程11名、学部4年生5名）が在籍しています。Photoは、最近、本研究グループのある九州大学伊都キャンパスで開催した韓国・ソウル大学校のGoon-Cherl Park教授（工科大学 原子核工学科）の研究グループとの合同ワークショップでの集合写真です。他にも中国・上海交通大学や独国・カールスルーエ工科大学（KIT）との研究交流を定期的に行っています。

2. 研究テーマ

本研究グループにおいてこれまで行ってきた研究は、主として以下の2つのテーマに大別されます。

(1) 多成分多相流の熱流動現象に関する実験的研究

相変化（蒸発/凝縮、溶融/固化）を伴いながら固相・気相・液相が混合して流れる複雑な熱流動現象における「流れ」と「伝熱」を解明するために、現象を「可視化」「定量化」する実験的研究を行っています。本テーマでは、過酷事故時の極限条件での熱流動現象を模擬物質を用いた実験で再現し、物理現象を直接観察・測定することで現象解明につながる新しい知見を得ることを目的としています。

(2) 多成分多相流の数値シミュレーション技術開発

多成分多相流現象を数値シミュレーションする解析コードについて、テーマ(1)で得られる実験的知見も活用して、解析モデルの開発・検証・高度化を行っています。特に最近では、粒子法を活用した解析手法の

開発に挑戦しています。本テーマでは、多成分多相流の伝熱・流動・相変化の複合現象を精度良く解析するための数値シミュレーション技術を開発することで、原子炉の安全評価の信頼度を向上することを目的としています。

2011年3月に発生した福島第一原子力発電所での事故のように、原子炉の炉心が大きく損傷するような過酷事故における原子炉の振る舞いやその影響を把握しておくことは、原子炉が有する安全の余裕度を評価し、事故が起こった場合に、その拡大を防止し、影響を緩和する新しい技術を導入する上で重要となります。本稿では、当研究グループが行っている原子炉熱流動・安全研究のうち、日本原子力研究開発機構(JAEA)と協力して行っているナトリウム冷却型高速炉(SFR)の炉心損傷事故(CDA)を対象とした実験的・解析的研究例について概要を紹介します。

堆積デブリのセルフ・レベリング挙動実験

SFRのCDAでは、制御棒案内管等を通じて損傷炉心から流出した熔融物質が冷却材との相互作用により固化・微粒化し、デブリとなって炉容器下部に堆積し、ベッドを形成することが想定されます。このデブリベッドの冷却性は、炉心物質の炉容器内保持(IVR)の観点から重要であり、燃料の崩壊熱による冷却材沸騰で自己平坦化(セルフ・レベリング)することで大きな影響を受ける可能性があります。従って、デブリの特性やデブリベッドの堆積条件、冷却材の沸騰挙動等に依存するセルフ・レベリング特性を解明することが、崩壊熱除去過程における事象進展を予測する上で必要となります。

本研究グループでは、これまでに減圧沸騰やベッド底部からの加熱沸騰を用いたセルフ・レベリング挙動実験を実施するとともに、比較的広範な沸騰条件下でのセルフ・レベリング特性を明らかにするため、ベッド底面からの気相吹き込みによって冷却材沸騰を模擬した実験によって、解析コードの検証に用いる実験データベースの基礎を構築しました。

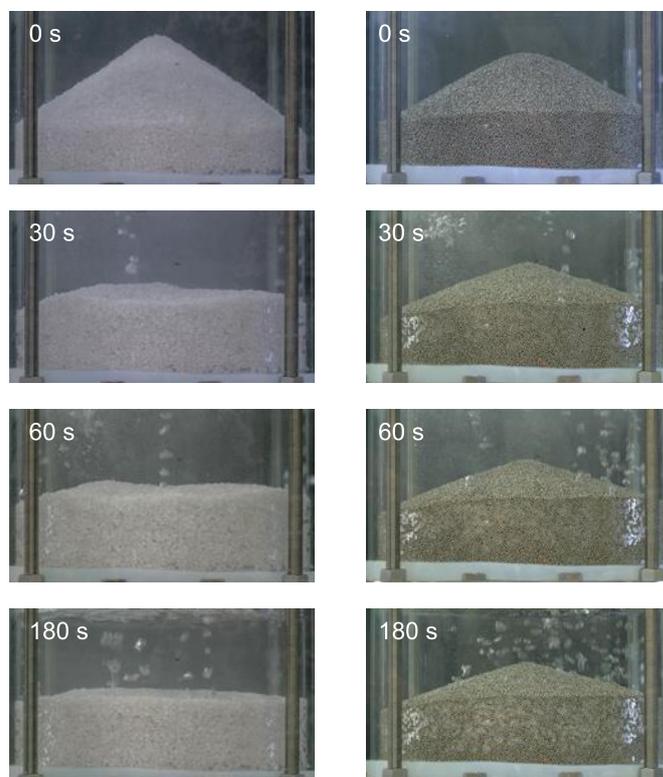
本実験では、燃料デブリを模擬した固体粒子(嵩体積7L)を頂部が円錐形状になるように円筒水槽(内径 $D = 310$ mm; 初期水位180 mm)内に堆積させ、水槽底部の多孔質板を通じて窒素ガスを吹き込み固体粒子ベッドが平坦化する挙動を観察しました。固体粒子には、体積相当直径 $d_p = 0.51 \sim 6.1$ mmのアルミナ(Al_2O_3)、ジルコニア(ZrO_2)、亜鉛(Zn)、ステンレス鋼(SS)、銅(Cu)の球形もしくは非球形粒子(球形度 $\phi = 0.39 \sim 1.0$)を用いました。Fig. 1に実験で観察されたアルミナ及びステンレス鋼の非球形粒子ベッドのセルフ・レベリング過程の例を示します。

本研究では、可視化画像から測定された固体粒子ベッドの円錐部高さの時間変化 $H_m(t)$ を次のモデル式で

表し、レベリング特性時間 τ 及び円錐部の平衡高さ H_{eq} を粒径、粒子密度、球形度、気相速度等をパラメータとする無次元化された実験式で相関することを提案しています。

$$\frac{H_m(t) - H_{eq}}{H_0 - H_{eq}} = \left(1 + \frac{t}{\tau}\right)^{-1}$$

ここで、 H_0 は初期の円錐部高さです。Fig. 2に H_m/D のモデル式による予測値と測定値の比較を示します。本モデル式によって33ケースで測定された300データの91%が20%以内の精度で予測できています。Fig. 3に固体粒子ベッドの円錐部高さの時間変化の例を示します。本モデル式が広範な気相流量に対して非球形SS粒子ベッドのレベリングの発達を適切に予測できることが分かります。



(a) Al_2O_3 particles ($d_p = 2.0$ mm; $\phi = 0.43$) (b) SS particles ($d_p = 2.2$ mm; $\phi = 0.75$)

Fig. 1 Observed leveling process of non-spherical particle beds (Gas flow rate ~ 100 L/min).

本研究の成果をまとめた論文[1]は、近日中に発刊される原子力学会欧文誌のNUTHOS10特集号に掲載されます。現在、粒径や密度の異なる粒子を混合した固体粒子ベッドのセルフ・レベリング特性を把握するための実験を進めており[2]、実機条件の模擬性に優れた実験データベースおよび実験式として整備する予定です。

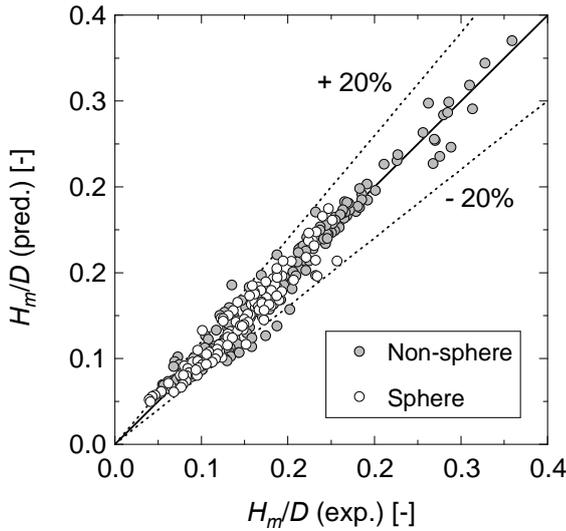


Fig. 2 Comparison of mound height between experimental and predicted values.

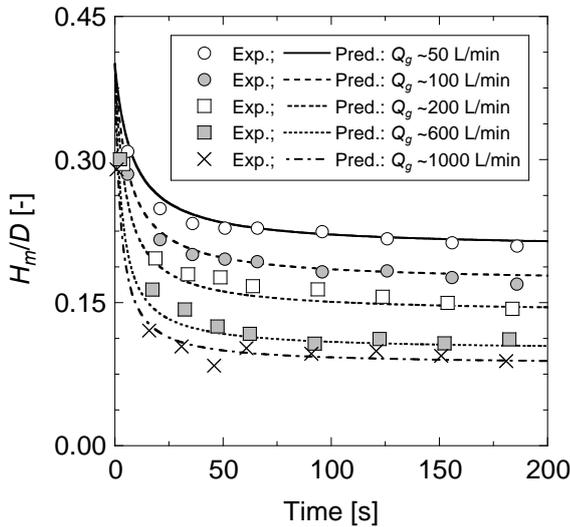


Fig. 3 Effect of gas flow rate on mound height variation (non-spherical SS particles; $d_p = 2.2$ mm; $\phi = 0.62$)

格子-粒子法による燃料デブリの再配置挙動解析

文部科学省原子力システム研究開発事業「炉心損傷時の炉心物質再配置挙動評価手法の開発」(平成 22~25 年度特別推進分野; 研究代表機関 JAEA) [3]において、堆積デブリのセルフ・レベリング挙動を原子炉容器内構造物上の局所スケールで高精度に評価する手法を開発するとともに、セルフ・レベリング挙動への適用性を検証しました。

本研究では、堆積デブリ内の粒子間に働く衝突・摩擦等の機械的相互作用を DEM (個別要素法) でモデル化し、これを高炉安全解析コード SIMMER の多流体モデル (格子法) と連成させて計算するアルゴリズムを開発しました。これにより燃料とスチールの固化粒子及び液体ナトリウムとその蒸気が混在し、流動化する相変化を伴った多相多成分の熱流動現象を解

析できるコード (以下、SIMMER-DEM コード) として整備しました。

SIMMER-DEM コードの基本的な妥当性は、その流動機構にセルフ・レベリング挙動と類似性がある固気流動層及び固気液流動層等の解析によって検証し、既往実験の解析によってセルフ・レベリング挙動への適用性の確認を進めてきました[3,4]。Fig. 4 及び 5 に当研究グループで実施したセルフ・レベリング挙動実験

($D = 310$ mm; アルミナ球形粒子; $d_p = 6$ mm; 気相流量 51.4 L/min) [5]の解析結果を示します。解析で得られた固体粒子ベッド円錐部の傾斜角変化 (初期傾斜角で規格化) は実験結果と良く一致しており、比較的長時間のレベリング挙動に対する SIMMER-DEM コードの定量的な妥当性を確認することができました。

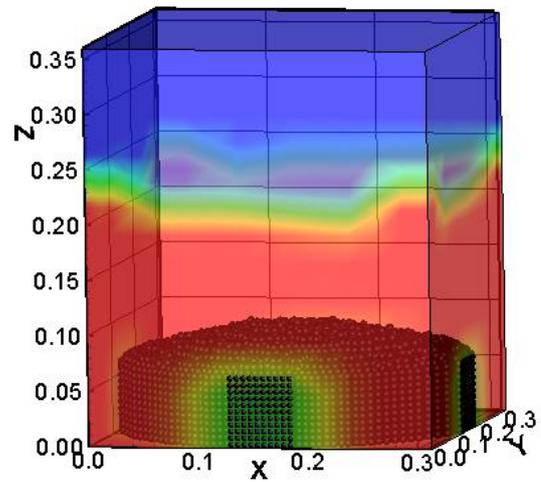


Fig. 4 Shape of the particle bed at 30 s after the onset of gas injection.

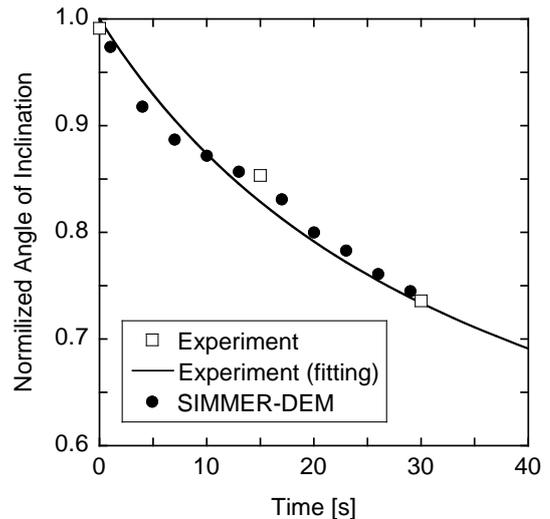


Fig. 5 Comparison of inclination angle of the bed mound between experiment and simulation.

尚、当研究グループで SIMMER-DEM コードの開発に従事した郭 連城学術研究員 (現、独国・KIT) は、

高速炉安全解析の標準コードである SIMMER の適用範囲を大幅に広げる基礎技術を開発した業績が認められ平成 25 年度第 11 回日本原子力学会計算科学技術部会・部会奨励賞を受賞しました。

さらに、開発した SIMMER-DEM コードの冷却材中でのデブリの沈降・堆積挙動及びデブリベッドの形成挙動解析への適用も進めています[6]。Fig. 6 及び 7 に、当研究グループで実施したデブリ堆積挙動実験[7]の解析例を示します。ステンレス粒子、アルミナ粒子 ($d_p = 6 \text{ mm}$ 、嵩体積 5L) を円筒水プール ($D = 375 \text{ mm}$) 中に落下させた実験ケースでは、Fig. 7 に示すように、何れの粒子でも固体粒子の堆積形状に関する実験結果を精度よく再現することを確認しました。

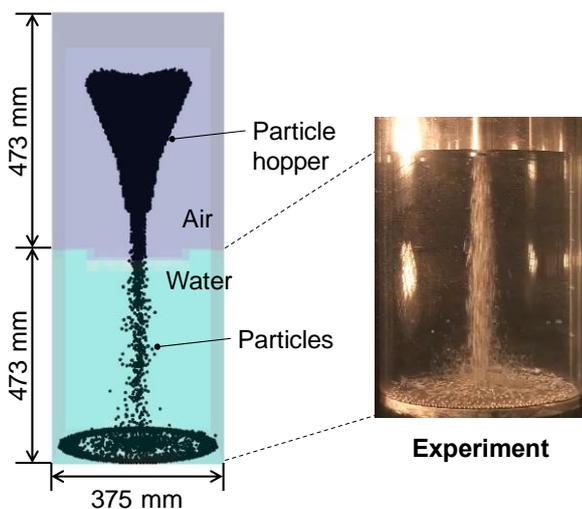


Fig. 6 Simulation of solid SS particle settling behavior in cylindrical water pool ($d_p = 6 \text{ mm}$)

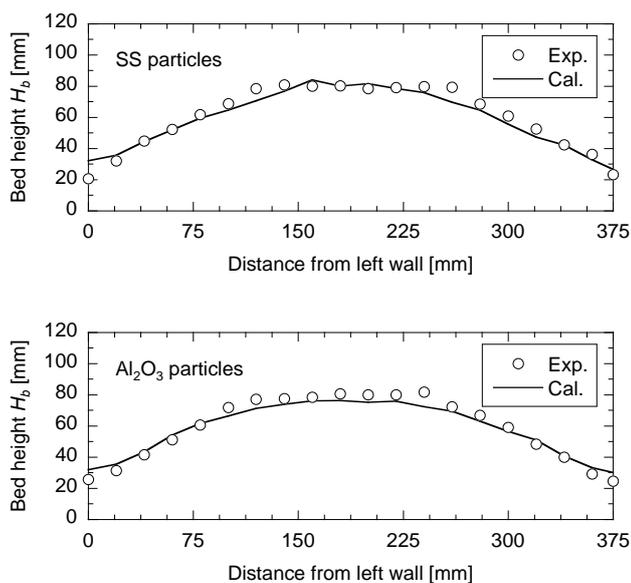


Fig. 7 Comparison of particle bed shapes between experiments and simulations.

従来、SFR の CDA 解析には、SIMMER コードに代表されるオイラー（格子法）コードが用いられ、これまで多くの実験解析や安全評価に広く適用されてきました。しかしながら、多相流計算に多流体モデルを用いる SIMMER コードでは、燃料集合体スケールの比較的粗い格子を用いて核計算と結合した全炉心での CDA 解析が可能一方で、その解析結果の精度は多流体モデルに用いる構成方程式の不確かさに依存するところが大きいという問題があります。これに対してラグランジェ法である粒子法は、大規模な変形を伴う相界面形状の記述に優れ、流動様式マップ等の経験モデルが必要ないことから、これまで困難であった過酷事故の多相流現象の局所的な素過程を直接的に解析できる手法として期待されています。

当研究グループでは、文部科学省原子力システム研究開発事業「新技術を活用した高速炉の次世代安全解析手法に関する研究開発」（平成 17～21 年度基盤研究開発分野；研究代表機関 東京大学）において、代表的な粒子法の一つである MPS 法に基づく安全解析手法の開発[8]に参画する一方で、有限体積粒子法（FVP 法）[9]と呼ばれる粒子法を用いて、伝熱・流動・相変化を伴う複雑な多相流動解析手法の開発を進めています。Fig. 8 は、FVP 法を基本とする CFD コードで当研究グループが実施した 7 ピン束流路における固液混合融体の侵入・固化挙動実験[10]を解析した結果[11]の例で、計算科学技術部会ニュースレター[12]の表紙に掲載されたものです。以下では、この FVP 法を用いた安全性試験解析の例について紹介します。

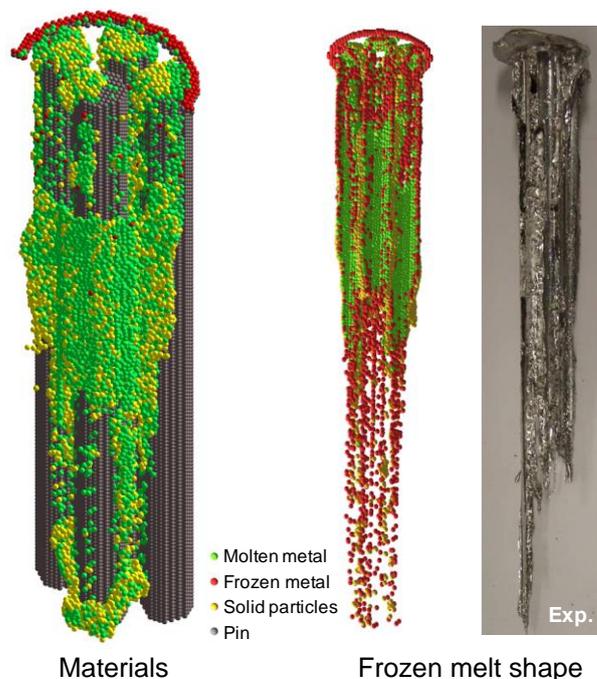


Fig. 8 Particle-based simulation of melt freezing behavior in a pin bundle

粒子法による溶融プール/構造壁間の熱伝達挙動解析

SFR の CDA において炉心に形成された溶融燃料プール運動による再臨界の発生を回避するため、燃料集合体内に設置した内部ダクト (FAIDUS) を通じて溶融燃料を早期に炉外に排出する設計方針が提案されています。本研究では、この実証試験として JAEA が実施した炉内試験 EAGLE-ID1 について、FVP 法を用いた溶融プールからダクト壁への熱伝達挙動に関する解析的検討を行っています[13]。

計算では、核加熱により燃料ピンが崩壊し形成された燃料/溶融スチールの混合プールからの熱伝達によってナトリウムで満たされた円管ダクト壁 (厚さ 2 mm) が溶融破損するまでの一連の挙動を 2 次元計算により解析しました。

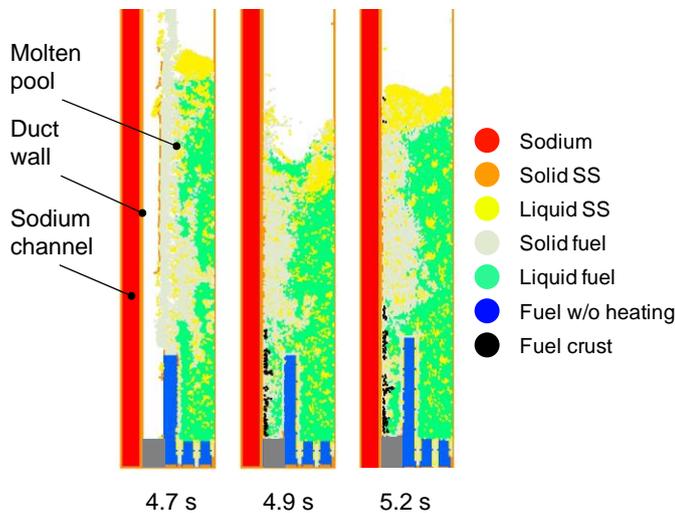


Fig. 9 Material distribution at around 4.9 s after the onset of fuel pin heating.

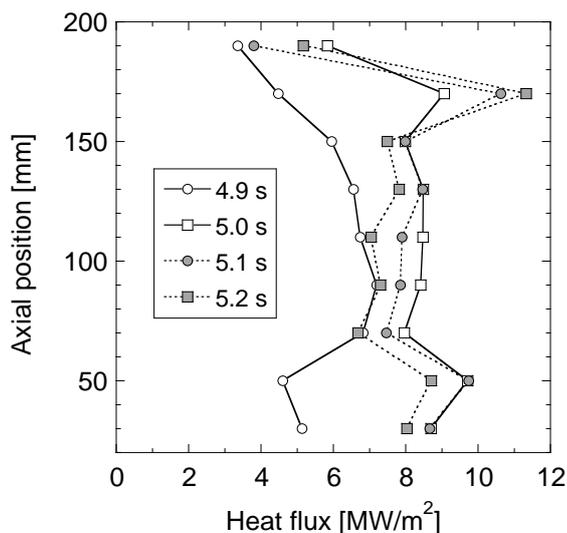


Fig. 10 Distribution of heat flux from the molten pool to the duct wall.

Fig. 9に EAGLE ID1 試験でダクト壁破損が生じたと推定されている時間 (燃料ピン加熱開始後約 4.9 秒) 付近における物質分布、Fig. 10 に混合プールからダクト壁への軸方向熱流束の時間変化を示します。混合プール上部では、浮力によって燃料から分離した溶融スチールがダクト壁面に直接接触することで、5.1 秒までに 10 MW/m^2 を超える非常に高い熱流束が発生しています。一方で、混合プール下部では、ダクト壁面上で溶融燃料が再固化することで形成されたクラスト等の効果により、混合プールからの熱負荷は比較的小さくなっています。本解析では、このような局所的な熱流動挙動を直接的にシミュレーションすることで、試験で観察されたダクト壁破損に関わる熱伝達機構を推定することができました。

3. あとがき

当研究グループでは、この他にも溶融炉心プールの核熱流動挙動[14]、燃料デブリの堆積・ベッド形成挙動[15]、高温ガス炉の受動的冷却システム[16]に関する研究も行っています。今後も原子炉の安全性向上に貢献できる研究・人材育成を着実に進めていきたいと考えています。

参考文献

- [1] K. Morita et al., J. Nucl. Sci. Technol. (to be published.) DOI: 10.1080/00223131.2015.1126204.
- [2] 錦戸他, 日本原子力学会「2015 年春の年会」, K17, 2015.
- [3] Y. Tobita et al., NUTHOS10, NUTHOS10-1220, 2014.
- [4] L. Guo et al., Mech. Eng. J., 1(4), 14-00002, 2014.
- [5] S. Cheng et al., Ann. Nucl. Energy, 63, 188-198, 2014.
- [6] 大原他, 日本原子力学会「2015 年秋の大会」, E58, 2015.
- [7] M. Shamsuzzaman et al., NTHAS9, N9P0059, 2014.
- [8] K. Morita et al., Nucl. Eng. Des., 241(12), 4672-4681, 2011.
- [9] 藪下他, 計算工学講演会論文集, 10, 419-422, 2005.
- [10] M. Sonar et al., ICONE19, ICONE19-43982, 2011.
- [11] K. Morita et al., NTHAS8, N8P1124, 2012.
- [12] 日本原子力学会計算科学技術部会ニュースレター, 第 19 号, 2012.
- [13] 時岡他, 日本原子力学会「2015 年秋の大会」, E53, 2015.
- [14] 澁田他, 日本原子力学会「2015 年秋の大会」, E56, 2015.
- [15] 神山他, 日本原子力学会「2015 年秋の大会」, E54, 2015.
- [16] 高松他, 日本原子力学会「2015 年秋の大会」, B07, 2015.

会員総会報告

熱流動部会第45回全体会議 議事録

1. 日時：平成27年9月10日（木）12:00～13:00
2. 場所：2015年秋の年会（静岡大学 共通教育A棟A103）
C会場

3. 配布資料

27-1-0：日本原子力学会 熱流動部会

第45回全体会議

27-1-1：総務小委員会活動報告

27-1-2：企画小委員会活動報告

27-1-3：研究小委員会の活動概要

27-1-4：国際小委員会活動報告

27-1-5：広報委員会活動報告

27-1-6：出版編集小委員会活動報告

27-1-7：表彰小委員会報告

5. 議事

1) 部会長挨拶（上出部会長）

最近の国内外の熱流動研究に関する動きとして、コード検証のための試験の重要性が言われる機会が増えているように感じている。熱流動部会においても、このような動きに対応して、コード検証や関連する試験技術など、新しい分野について熱流動研究をすすめていきたいと考えている。今後とも、部会員各位のご協力をお願いしたいとの挨拶があった。

2) 総務小委員会活動報告（西田小委員会委員長）

2-1) 部会等運営委員会について

熱流部会規約の改定について：配布資料にも度付き規約の改定について説明がなされ、承認された。部会・連絡会セッションについて：秋の大会での部会・連絡会セッションの開催について、配布資料をもとに説明がなされた。今後の年会・大会の予定について：配布資料をもとに、春の年会・秋の大会の開催予定について紹介があった。若手表彰実施調査について：若手などに対する表彰の実施状況について、熱流動部会については、他部会よりも活発であるとの認識をもっており、NUTHOSなどの余剰金を活用して、さらに活発にしたいとの説明があった。

2-2) H27年度予算について：配布資料をもとに、H27年度予算について説明があり、承認された。

2-3) 長期計画について：日本での開催を提案していた、NURETH17については、中国の西安開催が決定したこと、これに併せ、計画していた予算の支出がなくなったことなどが説明された。また、その他の国際会議の開催スケジュールについて説明された。

3) 企画小委員会報告（小瀬小委員会委員長）

3-1) 小委員会の構成、開催報告：配布資料をもとに、本年度、企画小委員会の構成や、これまでの開催状況（第一回開催）について説明がなされた。

3-2) 第3回若手交流フォーラムの開催について：秋の大会に続いて開催される、第3回若手交流フォーラムについて、開催場所、開催内容、参加人数などの説明が、配布資料をもとになされた。

3-3) 今後の予定：第二回企画小委員会の開催について、説明がなされた。また、来年秋開催予定の、第4回若手交流フォーラムの開催予定について紹介がなされた。これに対しては、学生の参加を増やす方を検討していただきたいとのコメントが会場からあり、企画小委員会で検討を行うことにした。

4) 研究小委員会報告（野崎小委員会委員長）

4-1) 専門委員会活動について：熱流動部会に関連した専門委員会、「高温ガス炉の安全設計ガイド」及び「熱水力技術戦略マップのローリング」の活動状況について、配布資料をもとに説明が行われた。

4-2) 企画セッションについて：秋の大会での部会・連絡会セッション、「熱水力安全評価基盤技術高度化戦略マップ2015」について配布資料をもとに紹介された。

4-3) その他について：熱流動ロードマップのローリングについて、主査：東京大学越塚先生としてWGを立ち上げる予定であることが紹介された。

5) 国際小委員会報告（中村小委員会委員長）

5-1) NUTHOS10の決算報告について：NUTHOS10の決算報告について、配布資料をもとに説明が行われた。

5-2) NTHAS10の活動について：NTHAS10開催に関する情報について、韓国側の各委員会のメンバーも連絡があり、活動が本格化した旨の報告があった。NTHAS10に関しては、これまで査読ありの講演論文のみを受け付けていたが、今回は、著作権や二重投稿に関する最近の情勢を受けて、Extended Abstractを発表の手段として別に設けることの提案があった。また、Copyrightの取り扱いに関する提案があり、双方の提案とも了承された。

5-3) 国際会議の今後の予定について：国際会議の今後の開催予定について、配布資料をもとに説明があった。CFD4NRSが日本で開催される予定となっており、これについて、計算科学部会と協力が必要と考えていること、実施の方法については今後協議していくことなどが説明された。

6) 広報小委員会報告（米本小委員会委員長）

広報小委員会の活動について、「部会ホームページの更新」、「ニュースレターの発行」及び「メーリングリスト」に関する報告が、配布資料を用いて説明された。

7) 出版編集小委員会報告（帆足小委員会副委員長）

出版編集委員会の報告が、配布資料を用いて説明された。論文数が急増しており、査読の依頼があった場合には、できるだけ引き受けて欲しいとの要請が、部会員に対してなされた。また、英文誌についてはアクセプトされても出版まで8ヶ月ほどかかること、本文が少なく、図だけのページが多い論文があることなどの問題が提起された。さらに、和文誌の投稿が少ないため、投稿を推奨していただきたいとの要請があった。

8) 表彰小委員会報告（杉本小委員会委員長）

8-1) 優秀講演賞について：春の年会における優秀講演賞について、配布資料をもとに説明された。引き続き、受賞者の表彰が行われた。

8-2) 今後の予定について：今年末に募集される、部会賞各賞の候補者について、部会員よりの積極的な推薦をお願いしたいとの要請がなされた。

9) その他、コメント

NURETH17の中国西安での開催が、NURETH16で正式に決定された。評価項目12のうち、日本開催案については、3つの項目は良い評価を受けたが、その他の9つの項目の評価が低かった。中国は参加者の数が多く、ANSへの寄付金が多いこと、中国は初開催であることも大きな要因である。今後の日本開催に向けて、検討を行いたい。

10) 副部長挨拶（谷本副部長）

今回の秋の大会は、直前に襲来した台風の影響もあり、開催できるか、参加者が集まるかなど心配をしたが、実際には会場に多くの部会員が参加しており、熱流動部会が活発に活動している状況であることが確認できた。熱流動部会として、技術的なアピールを外部に対し行いながら活動を進めたいので、今度も部会員のご協力をお願いしたいとの挨拶があった。

以上

「第3回若手交流フォーラム」実施報告

企画小委員会委員長 小瀬裕男（大和システムエンジニア）

「2015年秋の大会」の最終日である2015年9月11日（金）～12日（土）に1泊2日の日程で、計算科学技術部会との共催のもと、静岡大学静岡キャンパスにて「第3回若手交流フォーラム」が開催された。当フォーラムは、前身である「Dr.フォーラム」の意志を受け継ぎ、熱流動分野の次代を担う学生や若手研究者同士の交流促進の場として、2013年から開催されてきたものである。当日は11名の若手研究者にご参加くださり、また多くの関係者の協力を得て、成功裏に無事終了することができた。今回はそのフォーラムの実施内容を報告するとともに、開催後に提出いただいた参加者へのアンケート結果について紹介する。なお本フォーラムは、企画小委員会の「若手交流WG」委員の8名が主体となって企画・立案から準備を進め、今回の開催に至っている。表1に本メンバーと役割分担を紹介する。どの顔ぶれも精鋭揃いで大変頼もしく、筆者も大いに助けられた。

表1 「若手交流WG」のメンバー
(順不同、敬称略)

No.	委員	所属	担当
1	伊藤大介	京都大	スケジュール調整
2	佐竹正哲	電中研	
3	山下晋	JAEA	宿泊先
4	淀忠勝	三菱重工業	
5	江連俊樹	JAEA	見学先
6	松崎隆久	日立製作所	
7	青木一義	東芝	広報・受付・会計
8	三輪修一郎	北海道大	

本フォーラムは、昨年4月に開催した小委員会にて決定された開催計画をもとに、各委員が担当分野の関係機関と調整を進めながら準備を行ってきた。次葉に本フォーラムの日程を示す。

- 9月11日(金): ポスターセッション
 - 13:00~16:00: 若手参加者ポスター発表および総合討論
(会場: 秋の大会 A106 室)
 - 19:00~21:00 懇親会
(旅館 鴨岡屋: 御前崎市)
- 9月12日(土): 見学会
 - 9:00~12:00: 浜岡原子力発電所見学
 - 13:00: 掛川駅解散

本フォーラムは2部から構成されており、初日はポスターセッション、2日目は原子力関連施設への見学会である。また前回(第2回)の開催から、ポスターセッションに参加する若手発表者の中から1名の優秀者を全委員の審査によって選出し、部会の優秀発表賞(若手交流フォーラム)として表彰を行っている。表2に、本フォーラムに参加された11名の若手研究者とポスター発表タイトルを示す。ここで、No.8は計算科学技術部会から参加された学生である。また内訳は、学生7名、一般4名であった。今回は全般的に1F事故関連の発表が目立っていた。

まず、初日のポスターセッションである。ポスターセッションは、13時過ぎから前半6名と後半5名の2回に分けて実施され、予定時間は各60分間である。冒頭のショートプレゼンからセッションは開始し、何れのポスターの前でも発表者と聴講者との間で白熱した議論が繰り広げられ、予定していた時間は瞬く間に過ぎ去っていった。ここでは個々の発表内容についての詳細には触れないが、学生の発表に鋭い質問を投げかける企業からの参加者達、逆に企業が行っている先端の研究成果を食い入るような目で聞き入っていた学生等、我々が当初期待していたような多くの光景が見られたことは、本フォーラムにおける大きな成果の一つであると感じた。なお筆者の率直な感想としては、学生全員の発表レベルが高いことやその質疑応答に対する真摯な態度に感心させられたことである。まさに日頃の指導教官による鍛錬の賜物であると感じた。次いで15時半からは、今回初めての試みである総合討論を行った。これは委員と参加者との情報交流の一環として企画されたもので、委員からは自身の研究や職場紹介等の興味ある話題(ポスター)を提供し、参加者との自由な討論を行うことが目的である。結局、会場の制限で予定時間が残り30分を切っけてしまい、大慌てでの討論となったが、短い時間の中でも互いに交流が持てたことは大変有意義なことであった。

表2 参加者リストとポスター発表タイトル
(順不同, 敬称略)

No.	氏名(所属)	発表タイトル
1	野崎謙一朗 (テブコスシステムズ)	Discussion of Accident Progression of Fukushima Daiichi Unit 1 based on Behavior of Fuel Range Water Level Indicator Readings
2	有吉玄 (京都大)	鉛ビスマス気液二相流の流動構造におよぼす流路表面性状の影響
3	横山諒太郎 (筑波大)	地震加速度付加時の気液二相流の詳細予測技術高度化に関する研究 流体加振時のプラグ流領域での気泡挙動
4	鈴木貴行 (大和システムエンジニア)	BWR 下部プレナム複雑構造物内 ジェットブレイクアップ現象予測 手法の開発
5	加藤由幹 (筑波大)	地震加速度付加時の気液二相流の詳細予測技術高度化に関する研究 構造物加振時の単一気泡の応答特性
6	宮野直樹 (電気通信大)	サブクール沸騰における蒸気泡の 伝熱面離脱メカニズムの解明
7	香月亮二 (東芝)	炉心溶融デブリ対策に関する研究
8	Abdullah Bari* (東京大)	Failure modes investigation of pipe structures under excessive seismic loading
9	海保和宏 (電気通信大)	サブクール沸騰中における沸騰挙 動の可視化解析
10	竹田尚弘 (三菱重工業)	三菱 PWR 燃料を用いたスターン 研究所 DNB 試験施設の妥当性確 認
11	堀口直樹 (筑波大)	ベンチュリースクラバーにおける 二相流解析コードの適用性の評価

無事に初日のポスターセッションを盛況に終えた後、一行は懇親会場である宿泊先の旅館鴨岡屋まで、約90分の道のりを送迎バスで移動した。今回の移動は見学先も含めて、宿の送迎バスを利用させていただいた。急な予定変更にも快く応じてくださった鴨岡屋のご主人にはこの場を借りて感謝申し上げる。さて、旅館に到着した後、一風呂浴びてから19時より大宴会場にて懇親会が盛大に行われた。御前崎ならではの新鮮な魚介類が自慢の郷土料理(特にトンボマグロの握りが絶品)に舌鼓しながら、美味しいお酒と共に参加者同士の会話も弾み、楽しい時間を過ごすことができた。途中に参加者全員の自己紹介を交えながら、互いに打ち解けた雰囲気の中で会は進行し、最後の締め掛け声とともに21時で閉会した。引き続き、委員は別室に集合して小委員会を行い、本日の



図1 宿泊先での集合写真



図2 ポスターセッションの様子



図3 懇親会の様子

総括と次回フォーラムの計画について話し合った。その後は全員が他の参加者とともに純和風の部屋での酒盛りに合流し、夜が更けるまで研究話やよもやま話等に花を咲かせた。これもまた一つの大きな成果だと感じた。

翌朝7時に朝食をとった後、8時半に宿を出発し、送迎バスにて見学先である中部電力浜岡原子力発電所に向かった。15分ほどで浜岡原子力館に到着し、そこで担当の方々から温かい

出迎えを受けた。最初に会議室にて本日の概要について、ビデオ上映等を交えながら説明を受けた後、2班に分かれて館内を見学した。館内はテーマ毎に7つのゾーンから構成されており、今回は原子力発電のしくみや安全性向上対策のゾーンを中心に回った。中でも、高さ22mの浜岡3号機の実物大原子炉模型や津波対策として建設された防波壁の実物大模型等には圧倒され、その内部構造は大変興味深いもの

だった。また、現在発電所が進めているさまざまな安全対策を迫力ある大型模型を用いて紹介され、新規性基準の枠組みを超えた何重もの安全対策が自主的に施されている現状を知ることができた。個人的にはこの記事を読まれている方々にもぜひとも一度は見学されることをお薦めしたいと感じる場所であった（参考：<https://www.chuden.co.jp/hamaoka-pr/>）。次いで、発電所内に入城して、実際に行われている安全性向上対策工事現場を見学することができた。現在、発電所内では対策工事が輻輳しており、物々しい雰囲気ではあったが、このような貴重な現場を直接目の当たりにすることは滅多にないことで大変幸運と感じた。特に対策工事が完了した海拔 22m、総延長約 1.6km の防波壁のスケールは圧倒的であり、それを実現させた現場の方々の並々ならぬ努力とその技術力の高さには感服した。以上で見学会は予定通りの 12 時にて終了し、一行は浜岡原子力発電所をあとにして、一路解散場所である掛川駅に向かい、そこで本フォーラムは無事に閉幕した。

その後の参加者からの本フォーラムに対する感想は後述のアンケート結果に譲るとして、筆者としては、短い間にもかかわらず、参加者や委員の方々との間ではきっと素晴らしい交流が生まれていたものと確信しており、当フォーラムの目的は無事達成されたと感じている。特に学生諸君には、本フォーラムに参加した経験を何かの形で、今後の人生に役立てていただければと強く願う次第である。また同時に、このような大変有意義なフォーラムに、より多くの方々が参加できるような新たな取り組みも必要であると痛感した。内容はもちろんだが、日程や場所等もより柔軟に魅力あるものにしていくことも検討材料として重要であると思った。次回（第 4 回）の当フォーラムは来年度開催予定である。企画小委員会では数多くの方々にご参加いただけるような内容を現在計画なので、乞うご期待願いたい。また、当フォーラムをさらに発展させるためにも、皆様方からの忌憚のないご意見等を企画小委員会までお寄せくだされば幸いである。

最後に、本フォーラムは多くの関係者ならびに関係機関のご支援・ご協力のおかげで成就することができた。まず共催である計算科学技術部会のご支援に感謝申し上げます。またご多用中にも関わらず、本フォーラムに興味を持っていたいただいた 11 名の参加者の皆様、およびその参加をご快諾くださった上司や所属機関の皆様に厚く御礼申し上げます。さらに、宿泊先で大変お世話になった鴨岡屋の皆様、また見学先

として多大なご協力を賜った中部電力様に深く感謝申し上げます。そして、本フォーラムの実施にご尽力され、また不甲斐ない委員長を陰で支えてくれた若手交流 WG の 8 名の皆様に心より感謝申し上げます。なお、本フォーラムは熱流動部会からの手厚い財政的援助によって成立したものである。ここに部会員の皆様方には記して感謝申し上げる次第である。

以降、参加者からご回答いただいた、第 3 回若手交流フォーラムのアンケート結果を原文のままで全て紹介する。企画小委員会としては頂戴した貴重なご意見を参考にして、今後の開催内容に役立てていく考えである。

1 ポスター発表について

1.1 時間は適切でしたか

- はい（回答者全員）。

1.2 次回もポスター発表形式で実施すべきと思いますか

- はい（回答者全員）。

1.3 全体的な感想やご意見をお聞かせ下さい

- メーカー等の熱流動関係の若手研究者と交流する機会をいただきありがたかった
- ある意味、少人数でコンパクトな研究発表の場であったので、そのおかげで議論を深められたことは非常に有意義であった。学会発表の質疑応答だとあまり突っ込んだ議論にならないことが多いので・・・
- 正直、発表が後に控えていたこともあり集中して積極的に参加できなかったことを残念に思います。ですが、企業の方とこうして研究について議論またはご質問いただく機会というのはそうそう得られるものでないので、今回のフォーラムでのポスター発表は有意義な時間となりました。
- 十分な時間が取れるならば、オーラル発表形式も良いと思います。
- 立ちっぱなしが疲れました。会場は良かったです。委員・学生を交えた活発な議論があり、有意義でした。
- 口頭発表では質問されないような、深い内容まで聞くことができ、勉強になりました。
- The poster session was good. Though the

time for presentation was little short but the discussion time was sufficient enough to understand each and every poster. So overall the time was enough for the poster session. Poster session is a good way to know about others research in a short time. So I think poster session should organize in the next forum. Also the jury made marking and was asking lots of question to understand the work we have done. It was very encouraging for the students. Just one thing can be done is to give a student award for the best poster. Hope it will encourage the young researcher to work more.

- ▶ 学会の質疑では、時間がなくてお聞きできないような、研究に対するアドバイスや質問を受けることができ、非常に有意義で勉強になりました。
- ▶ 学生のポスターだけでなく社会人のポスターセッションを聞く機会があり、とても参考となる研究が数多くあり、今後の修士論文にむけた研究指針に役立ちました。
- ▶ ポスターセッションでは、口頭発表と比較してより密な議論が出来ました。また、他大学の先生方や企業の研究者の方々から普段とは異なる視点からのご意見をいただくことができ、大変有意義な時間となりました。

2 見学会について

2.1 今回の見学場所について、感想やご意見をお聞かせ下さい

- ▶ 浜岡原子力発電所の安全性対策について現場で体験でき、有意義でした。今後の研究に役立てることができればと思う。
- ▶ 一度、日本原子力発電株式会社のガス炉を見学したことがありましたが、それとは違った安全対策などの現状を知ることができました。とくに、研究題目に関連する燃料集合体内の構造なども見学することができ、研究活動へのモチベーションにもなりました。
- ▶ 既設炉の安全対策工事を間近で見ることができ、勉強となりました。
- ▶ 始めて建屋に入ることができ、良かったです。
- ▶ 座学では体感できない実スケールで構造物を見学し、学ぶことができ有意義でした。
- ▶ The Hamaoka NPP tour was good. The hotel was Japanese style, which was a new

experience for me. The dinner and drinking party was also very enjoyable. The plant side was beautiful specially they have the observation deck and demo setup for understanding basics of NPP. The speciality of Hamaoka NPP is the big wall against Tsunami. We have seen the wall and inside of ABWR plant. The guided tour was informative. It was a good experience for me as a nuclear engineer.

- ▶ 大変、興味深く面白い場所だったと思います。
- ▶ 安全対策の要所を見せていただき、再稼働の準備が進んでいることがわかりました。地震・津波以外の事象（噴火、竜巻、火災、溢水など）の対策の紹介もあればよいと思いました。
- ▶ 普段、原子力発電所を見に行く機会がまったくなく、ネットなどの情報でしか内部を見ることができなかつたので、実際に原子力発電所をみることで、とても貴重な体験となりました。
- ▶ 浜岡原子力発電所の見学では、炉頂部分だけでなく普段目にする機会が少ない防波壁などの発電所内の設備を間近で見学でき、大変有意義な時間を過ごせました。

2.2 今後、機会があればどのような場所を見学したいですか

- ▶ 間近で実験装置などを見学できる機会があれば思ったりしました。
- ▶ 燃料再処理工場なども見学してみたいです。
- ▶ エネルギー(できれば原子力)関係の施設を見学したいと考えます。
- ▶ PWR プラント、他社の研究所。
- ▶ 不可能だとは思いますが、炉内構造物の製造工場が見学できたら面白いと思います。
- ▶ May be Fukushima Daini NPP visit. So that we can also visit the Fukushima Daiichi and can see the accident site and have concrete idea about the accident. We can also see the post-accident treatment (accident management) procedure of the affected area.
- ▶ 企業や独法の研究所の中などを見学してみたいです。
- ▶ メーカー、研究機関、大学の熱水力試験設備の見学などがよいのではないのでしょうか。
- ▶ 原子力発電所を見学することができた

ので今後は各メーカーの工場を見学してみたいです。

- ▶ 各地の原子力発電所や三菱重工や東芝、日立を始めとする企業の研究所などを見学したいです。

3 日程・開催場所について、感想やご意見をお聞かせ下さい

- ▶ 原子力学会期間中に併催する現在のパターンで良いと思います。
- ▶ 発表に被ってしまうことはやむを得ないことなので、今回の日程・開催場所は適切だったと思います。
- ▶ 学生(特に修士一年)が参加しやすい時期が良いと思います。
- ▶ 若手交流会単独の出張は難しいので、これまで通りで良いです。
- ▶ 問題はありませんでした。
- ▶ I think August/September is best for us as we are little relaxed in these months. So summer vacation time or just after the summer vacation is good for me. If possible Fukushima Daini site is good for us. Or any NPP which is near a beautiful city of Japan is OK.
- ▶ 就活時期が遅くなったので、もう少し時期が遅くても良いかと思いました。
- ▶ 特にありません。
- ▶ 日程としては原子力学会中だとポスターの作成が少し大変でした。しかし発表で聞いた研究をまたポスターで聞いたのでよりわかりやすかったです。
- ▶ 日程は原子力学会の最終日であったので無理なく参加することが出来ました。開催場所についてはとくにございません。

4 フォーラムの内容について、外部講師を招いての講演があった方が良かったですか

- ▶ 特にそうは思いませんでした。
- ▶ 今回の内容が十分かつ適切だったと思います。
- ▶ 合っても良いと思うが、学生が興味を持つ人を招いた方が良く思う。
- ▶ それも、良いですね。(2名)
- ▶ 講演内容にも依るとは思いますが、あったほうが良いと思います。ただ、事前に講演資料を頂いて、勉強してから講演に参加できたらいいと思います。
- ▶ It is a good idea to learn about new theory or technology in Nuclear energy. But the time of lecture should not be more so we

can enjoy the lecture.

- ▶ 研究発表だけで十分に楽しませていただけたので、なくても良いかと思いました。
- ▶ 外部講師の講演があれば、より参加しやすいと思います。
- ▶ 自分はどちらでも大丈夫です。一緒に参加した方たちから数多くの意見や研究内容を聞くことができただけでもとても貴重な経験でした。

5 今後開催される「若手交流フォーラム」に何を期待しますか。ご意見をお聞かせ下さい

- ▶ 様々な企業、研究機関の参加者が増えることを期待しております。
- ▶ M1の学生がもっと積極的に参加することで、せつかくの企業の方とお話できる機会を体験するとよいと思いました。
- ▶ 三回目を迎えたので、今後は参加経験者との交流を期待したい。
- ▶ 技術交流、他社の雰囲気を知る若手同士の交流がさらに盛んになるフォーラムになれば良いかと思います。
- ▶ I think only one day or one night is not enough time for the young researcher to know about each other as well as to discuss about their research. If it is possible to arrange a kind of summer school with some activity for 1 week or loss it would be great from my opinion.
- ▶ 学生の参加者がもう少し増え、活発に議論できることを期待します。
- ▶ 熱水力研究を通じて、学生同士、学生と委員、委員同士の繋がりが強くなればよいと思います。
- ▶ 今回のような社会人の方と学生の研究プレゼンを両方聞く機会が設けられていると実際に参加した際、学生としては自分の研究がより深まるので今後もおこなわれるといいと思います。
- ▶ ポスター発表の場で今回のような活発な議論がこれからも出来ることを期待します。

6 今回のフォーラム開催を何で知りましたか

- ▶ 委員長から聞きました。
- ▶ 担当教員からのお誘いで知りました。
- ▶ 実行委員として知っておりました。
- ▶ 職場の上司。
- ▶ I am encouraged by computational science technology division via email.
- ▶ 運営委員会の会議で知りました。
- ▶ 指導教官からフォーラムが開催される

と知りました。

➤ 個別の連絡によって知りました。

7 若手交流フォーラム全般について、改善した方がよい点等、感想やご意見があればお聞かせください

➤ 期間及び見学場所等の決定の仕方はこのままの方針で良いのではないかと思います。企画・運営お疲れ様でした。貴重な体験ができたことを感謝しております。

➤ ポスター+見学というスタイルが定着してきたので、以前参加して原子力業界にいる人の講演など、卒業後の熱流動部会員の増加に繋がる企画の追加を考えてみたい。

➤ 宿舎に合宿は気疲れします。各自ホテルに宿泊し、懇親会は駅近くの飲み屋がいいかと。

➤ ポスター発表、見学、懇親会とても良かったです。

➤ 過去の若手交流フォーラムについて、Webなどで紹介すれば、過去の内容がわかるので、参加しやすくなるのではと思いました。

➤ As I have already mentioned, a one week summer school would be a good chance for young members to know about each other and about their research. Other than that everything is OK for me. Thanks a lot for giving me the chance to attend young member forum, I learnt a lot from there.

➤ 時期はもう少し遅めでも良いと思います。

➤ 以前の Dr フォーラムから今の形に変わった経緯を存じませんので何とも言えませんが、以前は若手の研究発表（1名ずつ）に対してベテランが色々とアドバイスをするという形式で、全員が1つのテーマを共有する場があり、これはこれで参加して楽しかったように思います。また以前、炉物理部会の炉物理夏季セミナーに参加したことがあります。年に一度、泊り込みで、講師を数名（10名弱？）集めてみっちり講演するというものでした。学生や若手にとっては参加しやすく、講師や委員との繋がりも出来やすいのではないかと思います。講師を集めるのが大変そうですが・・・

➤ 今回の若手交流フォーラムはとても有意義な時間となったので自分としては改善してほしいことはとくにはありません。

➤ 改善した方がよい点などは特に感じませんでした。全体を通して非常に有意義な時間を過ごせたと感じております。

以上

問い合わせ先：

小瀬裕男 (ose@yse.co.jp)

平成 27 年度 熱流動部会役員

部会長	上出 英樹	(JAEA)
副部会長	谷本 浩一	(三菱重工)
総務委員長	西田 浩二	(日立 GE)
総務副委員長	吉田 啓之	(JAEA)
広報委員長**	米本 幸弘	(熊本大学)
同副委員長*	金井 大造	(電力中央研究所)
研究委員長*	野崎 謙一朗	(テプコシステムズ)
国際委員長**	中村 晶	(INSS)

同副委員長*	永武 拓	(JAEA)
企画委員長**	小瀬 裕男	(大和 SE)
出版編集委員長**	山本 泰	(東芝)
同副委員長*	帆足 英二	(大阪大学)
表彰委員長	杉本 純	(京都大学)
海外担当役員	二ノ方 壽	(ミラノ工科大学)

*:任期 2 年の 1 年目、 **:任期 2 年の 2 年目

<編集後記> 2015 年度第 3 号のニュースレターをお届け致します。ニュースレターへの原稿は随時受け付けております。研究室紹介、会議案内、エッセイ等寄稿お願い致します。ニュースレターに関するご質問、ご意見、ご要望等ありましたら、ぜひ e-mail を頂ければ幸いです。熱流動部会に入会したい方、入会しているがメールが届かない方が身近におられましたらご相談ください。

e-mail 宛先: yonemoto@mech.kumamoto-u.ac.jp
t-kanai@criepi.denken.or.jp

熱流動部会のホームページ:

<http://www.aesj.or.jp/~thd/>

からニュースレターの PDF ファイルは入手可能です。