

THERMAL HYDRAULICS

熱流動部会ニュースレター（第66号）

AESJ-THD

NEWSLETTER (No.66)

Aug. 3, 2009

研究室紹介

東北大学大学院 工学研究科 量子エネルギー工学専攻
エネルギー物理工学講座 核融合炉電磁流体工学分野
橋爪 秀利 / 結城 和久 / 伊藤 悟

東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻（旧原子核工学専攻）では、核融合や先進核分裂炉等の核エネルギーシステムにおける高負荷や安全性に関連する課題の研究、将来の先進核燃料サイクルの基盤確立、ならびに加速器等の粒子ビームを用いた医学・環境への応用に関する教育・研究を推し進めています。専攻内には5つの基幹講座と4つの協力講座があり、連携した研究教育体制が敷かれています。その中でエネルギー物理工学講座・核融合炉電磁流体工学分野（橋爪・結城研究室）では、軽水炉や次世代高速炉を高度に支える保全技術および核融合炉の実現に向けた炉工学技術について研究を実施しています。

現在（平成20年度）、研究室は橋爪教授、結城講師、伊藤助教の3名のスタッフで構成され、18名の学生が在籍しています（博士課程1名、修士課程8名、学部生9名）。ちなみに地元宮城県出身者は2人で、南は九州から北は北海道までと各地域性が入り混じる非常にユニークな研究室です。研究生活では、橋爪教授の教育方針である“修士課程在学中に必ず国際会議で発表”をモットーに、各学生はそれぞれのテーマに沿った基礎実験およびシミュレーションを丹念にこなしています。具体的な研究内容として、原子力プラントにおける配管系熱流動問題の評価（サーマルストライピング、流動加速型腐食（FAC）、液滴衝撃エロージョン（LDI））やマイクロ波による非破壊検査技術の開発、核融合炉におけるプラズマ対向機器の冷却技術および先進液体ブランケット開発、更に分割型高温超電導マグネットの開発、などを実施しています。以下では、核融合炉や高速炉を含む原子力システムに

係わる熱流動研究の一部についてその概要を紹介いたします。

(1) 高温低温流体の混合時に発生するサーマルストライピングの研究と緩和技術開発^[1,2]

原子力プラントでは、異なる温度の流体が混合する領域で生じるサーマルストライピングが配管系の設計において重要な課題となっています。本研究では、T字配管合流部での流体混合特性をPIV測定システムによる可視化実験と壁面温度変動計測（図1,2参照）から評価し、配管設計に資することを目的としていま

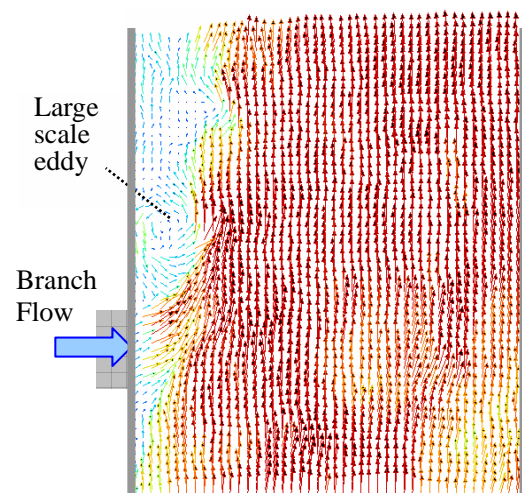


図1 T字配管合流部におけるPIV可視化
(JAEAとの共同研究)

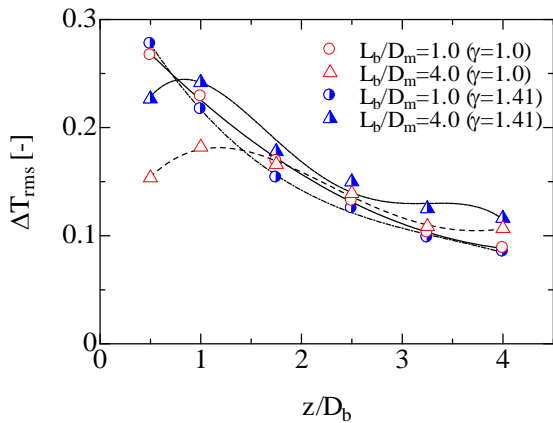


図2 温度変動 RMS の下流方向減衰特性

す。特に上流にベンドが存在する場合の特異な流体混合現象について重点的に可視化し、熱疲労現象に影響する2次流れの影響について明らかにしています。

(2) マルチエルボで発生する流動励起振動の評価^[3,4]

将来の基幹エネルギー源として考えられているナトリウム冷却炉では、高温・低圧条件のため薄肉配管の利用が検討されています。しかしながら、現在の高速炉設計ではこのような薄肉大口径配管が高流速条件で使用されることから、配管エルボ部で生じる流動剥離に起因した流動励起振動 (FIV) の発生が懸念されています。そこで、本研究では高速炉コールドレグ配管を対象とし、エルボが立体的に3段で連結される場合の内部非定常流動と FIV の関係について屈折率調合 PIV 計測により評価しています。これまで、特に1段目のエルボで発生する流動剥離の構造(図3参照)と2段目エルボ内で形成される旋回流について明らかにしています。

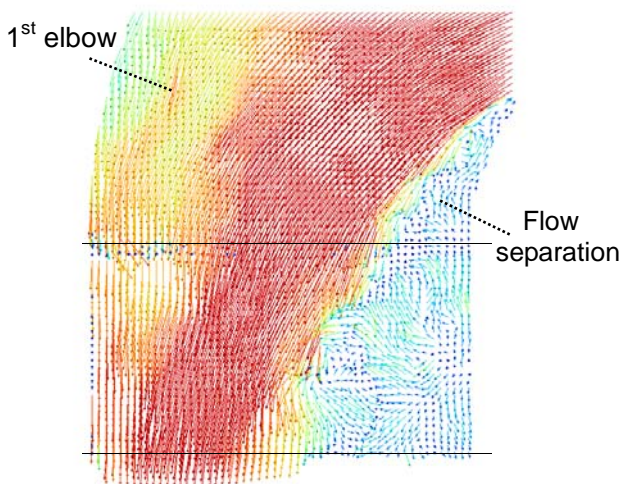


図3 第1エルボとエルボ後の瞬時流動場 (JAEA との共同研究)

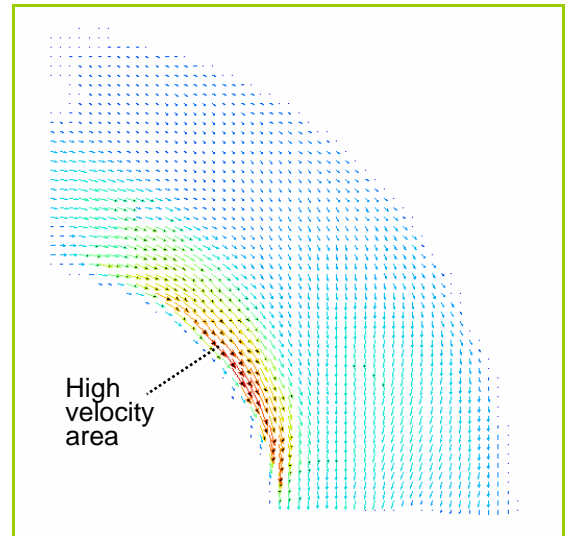


図4 第2エルボでの高速流れの形成

(3) 2段ベンドで発生する流動加速型腐食の研究^[5]

近年、原子炉の高経年化に伴う配管の減肉事象が発生しており、高経年化に対する安全性確保と効率的な保全体制の確立が急務の課題となっています。具体的には、管理箇所のスクリーニング法や減肉予測評価手法の構築、検査手法、補修方法、などの周辺技術について今後更に整備し、技術規格へ反映して充実化することが必要です。本研究では、ベンドが2段で平面接続されるような配管系で生じる流動加速型腐食 (FAC) に焦点をあて、PIV 可視化実験により内部流動場を評価しています。これまで、ベンドが単一で存在する場合の流動状態からは予期できない高速流れが2段目のベンド腹側で形成され (図4参照)、壁面近傍の物質移行を促進していることを明らかにしています。これらの結果は、最終的に減肉予測式の高度化と検査メッシュの最適化に反映される予定です。

(4) 管オリフィスで発生する液滴衝撃エロージョン、流動加速型腐食の研究^[6]

液体が高速ガス中に分散した状態でオリフィスに流入すると、その分散状態に依存して、オリフィス下流側に液滴衝撃エロージョン (LDI) の主要因と考えられる高速液ジェットが形成されることが確認されています。本研究では、オリフィス上流側の液滴分散状態がオリフィス下流でのジェット形成に与える影響を実験により評価しています。これまで、投入された液滴がオリフィス背面をつたってオリフィスホールに流入する場合に図5のような液滴ジェットが形成され、強い衝撃圧を壁面に与えること、更にオリフィス背後には殆どの条件において薄液膜の高速流れが形成されることを明らかにしています。また、オリフィス直下に形成される液膜流れを DV、シュリーレン、

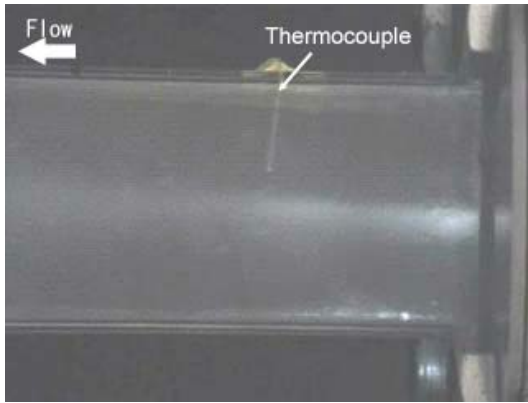


図5 オリフィス下流で形成される高速ジェット

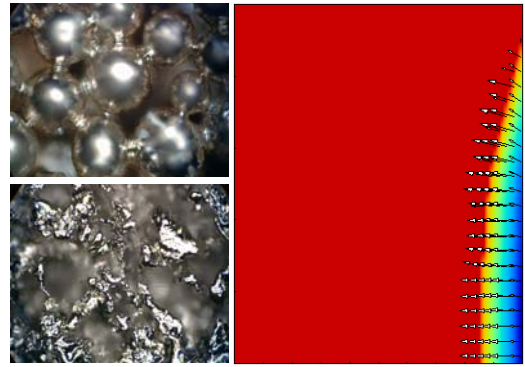


図7 金属多孔質体の構造と蒸気流れの数値シミュレーション

ならびに超音波探傷器により可視化して壁面せん断応力を評価した結果、オリフィス直下で形成される減肉現象が LDI ではなく、流動加速型腐食の減肉現象であることを実証しました。

(5) 金属多孔質体を用いたダイバータ冷却^[7, 8]

多孔質体内での蒸発現象を利用した核融合炉ダイバータの高熱除去デバイス EVAPORON (Evaporated Fluid Porous Thermo-device) の開発および性能試験を進めています。除熱原理は、図6のように片側を高熱負荷面に接続する金属多孔質体中に冷却水を浸透させ、高負荷面側より流入する熱流により相変化させ排出する体系、すなわち潜熱輸送を基本としています。これまで 30MW/m^2 にも及ぶ非常に高い局所入熱の除熱に成功し、シミュレーションにより多孔質体内部の二相流動状態(図7参照)についても解明しています。

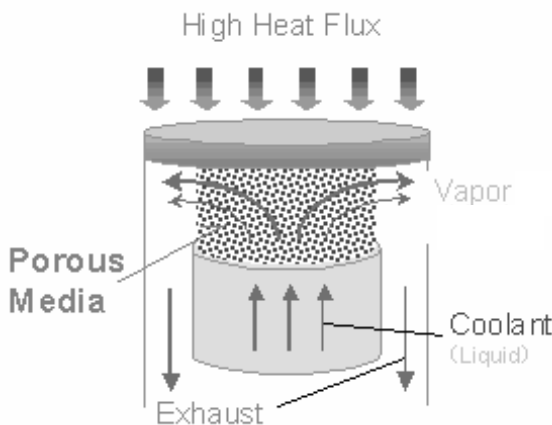


図6 金属多孔質体を用いた冷却デバイス

(6) 溶融塩 Flibe 液体ブランケットシステムの開発 (ペブル充填管による第一壁冷却)^[9, 10, 11]

現在、核融合動力炉を実現させるために最も重要な機器であるブランケットとして、冷却材および増殖材の機能を有する溶融塩 Flibe を作動流体として適用する研究が進められています。日本では未だ経験のない Flibe 溶融塩の炉工学的技術、熱流動特性、安全取り扱い技術、伝熱促進技術などの研究を進めるため、HTS (Heat Transfer Salt) を作動流体とする熱流動実験が実施されています。また、図8のようなペブル充填管を伝熱促進体のベース体として提案し、伝熱相関式の構築と内部流動構造を評価から、高 Pr 数流体である Flibe に適した先進ペブル充填管の開発を行っています。

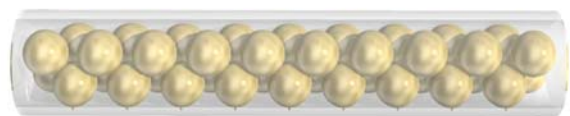


図8 第一壁冷却用のペブル充填管

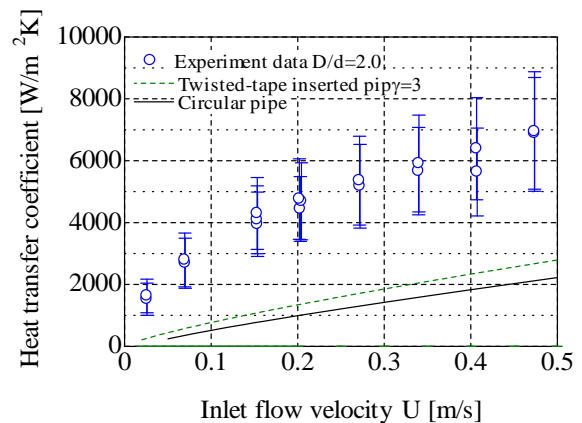


図9 ペブル充填管の伝熱特性

本研究室では、上記の研究内容だけでなく、原子力プラントを支える高度な保全技術と新しい炉工学技術にかかわる非常に多くの研究課題に取り組んでいます。このため学生は各自の研究テーマだけでなく、より広い視野、特に学際的観点からのアプローチができるようになり、卒業後、あらゆる分野において培った柔軟性を発揮できると思います。成果に関する主要論文は、東北大学工学研究科ホームページの研究者紹介 <http://db.tohoku.ac.jp/whois/>を参照下さい。



研究室集合写真（平成 20 年 5 月）

【最近の主要な成果】

- [1] Kazuhisa Yuki, Yoshimasa Sugawara, Seyed Mohammad Hosseini, Hidetoshi Hashizume, Influence of Secondary Flow generated in a 90-Degree Bend on the Thermal Hydraulic Characteristics in a Mixing Tee, Nuclear Science and Engineering, vol. 158, pp. 194-202, 2008.
- [2] Kazuhisa YUKI, Hiroshi OHARA, Hidetoshi HASHIZUME, Masa-aki TANAKA, Toshiharu MURAMATSU, Saburo TODA, Suppression of High-Cycle Thermal Fatigue at a Mixing Tee with a 90-Degree Bend Upstream by Changing its Geometry, Proceedings of the 7th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics, Operation and Safety NUTHOS-7, paper-no. 361, 2008.
- [3] 結城和久、橋爪秀利、中西繁之、相澤康介、山野秀将「高速炉冷却系配管における流れの剥離現象に関する基礎研究－高レイノルズ数領域におけるマルチエルボ内複雑流動構造の解明－（先行基礎工学

研究に関する平成 19 年度共同研究報告書）

- [4] Kazuhisa Yuki, Shunsuke Hasegawa, Tsukasa Sato, Hidetoshi Hashizume, Kosuke Aizawa, Hidemasa Yamano, Unsteady Hydraulic Characteristics in Large-Diameter Pipings with Elbow for JSFR, (3) Flow Structure in a 3-Dimensionally Connected Dual Elbow Simulating Cold-Leg Piping in JSFR, The 13th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics (NURETH-13), N13P1167, 2009 (under contribution).
- [5] Kazuhisa YUKI, Kazuhiro YOSHIDA, Hidetoshi HASHIZUME, Saburo TODA, Matched refractive-index PIV measurement of complex flow structure in a two-dimensional dual elbow, Proceedings of the 7th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics, Operation and Safety NUTHOS-7, paper-no. 366, 2008.
- [6] Yuko ABE, Kazuhisa YUKI, Hidetoshi HASHIZUME, Saburo TODA, Visualization of supersonic gas-liquid two-phase flow affecting wall thinning events in the downstream straight and curved pipes of an orifice, Proceedings of the 7th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics, Operation and Safety NUTHOS-7, paper-no. 235, 2008.
- [7] Kazuhisa Yuki, Akira Matsui, Hidetoshi Hashizume, Heat removal performance of particle-sintered porous media counter to heat flux input and its phase change characteristics, Second international conference on porous media and its applications in science, engineering and industry, 2007.
- [8] Kazuhisa Yuki, Jun Abei, Hidetoshi Hashizume, Saburo Toda, Numerical Investigation of Thermofluid Flow Characteristics with Phase Change against High Heat Flux in Porous Media, ASME Journal of Heat Transfer, vol. 130, Issue 1, 012602, 2008.
- [9] Tomoaki Satoh, Kazuhisa Yuki, Shin-ya Chiba, Hidetoshi Hashizume, Akio Sagara, Heat Transfer performance for high Prandtl and high temperature molten salt flow in sphere-packed pipes, Fusion Science & Technology, vol.52, no.3, pp. 618-624, 2007.
- [10] Nao Seto, Kazuhisa Yuki, Hidetoshi Hashizume, Akio Sagara, Heat transfer enhancement in sphere-packed pipes under high Reynolds number conditions, Fusion Engineering and Design, Volume 83, Issues 7-9, pp. 1102-1107, 2008.
- [11] Kazuhisa Yuki, Masumi Okumura, Hidetoshi Hashizume, Saburo Toda, Neil B. Morley, Akio Sagara, Flow visualization and heat transfer characteristics for sphere-packed pipes, Journal of Thermophysics and Heat Transfer, vol. 22, No. 4, pp. 638-648, 2008.

運営委員会報告

平成 21 年度 熱流動部会運営委員会 (第 1 回) 議事録

- (1) 日時：平成 21 年 6 月 22 日 (月) 13:15-16:50
- (2) 場所：日本原子力学会 会議室
- (3) 出席者：秋本部部长(JAEA)、大塚副部部长(日立)、大川総務委員長(阪大)、西総務副委員長(電中研)、木藤広報委員長(日立)、玉井広報副委員長(JAEA)、山本研究委員長(東芝)、高田企画委員長(阪大)、望月国際委員長(福井大)、大野国際副委員長(JAEA)、宋出版編集副委員長(神戸大)
- (4) 配布資料：
 - 資料 1 平成 21 年度熱流動部会役員
 - 資料 2 総務委員会活動報告
 - 資料 2-1 平成 20 年度収支予算及び実績表
 - 資料 2-2 熱流動部会・委員会長期計画予算(案)
 - 資料 2-3 平成 20 年度第 3 回部会等運営委員会議事録(案)
 - 資料 2-4 特別専門委員会の種別・現状と整理方針案
 - 資料 2-5 「熱水力安全評価基盤技術高度化検討」ワーキンググループ(仮称)の設置について
 - 資料 2-6 「シビアアクシデント時の格納容器内の現実的ソースターム評価」特別専門委員会」延長の経緯について
 - 資料 3 国際委員会活動概要報告
 - 資料 4 広報委員会活動報告
 - 資料 5 出版編集委員会の活動概要
 - 無番 Dr.フォーラムについて

議事

1. 熱流動部会長挨拶 (秋本部部长)

第 1 回運営委員会の開催にあたり、今年度の活動方針等を含めて秋本部部长より挨拶がなされた。
2. 総務委員会報告 (大川総務委員長)

資料 2 および関連の添付資料 2-1～2-6 を用いて、以下に示す議事が行われた。

 - 2.1 熱流動部会予算

資料 2-1 を用いて、熱流動部会 H20 年度決算と H21 年度予算について説明が行われた。H21 年度予算については、H21 度の本部配布金の金額、NTHAS6 より H21 年度に寄付金収入があったこと、

NURETH-13 の開催に関連して会議費支出と寄付金収入が見込まれること、NTHAS6 寄付金を原資として若手支援を行う計画であること、及びドクターフォーラムの経費内訳について説明が行われた。

2.2 長期計画予算

資料 2-2 を用いて、昨年度学会に提出した H21～H25 の長期計画予算について説明が行われた。国際会議費用として部会独自の予算枠が必要であること、若手育成等を通して予算を有効に利用していく方針であることを確認した。

2.3 部会等運営委員会報告

資料 2-3 を用いて、H21.5.14 に開催された部会等運営委員会における議事の概要として、①2009 年春の年会の実施報告及び 2009 年秋の大会の準備状況報告、②2009 年秋の大会における企画セッション、③部会配布金、④学会企画委員会より提示された特別専門委員会の種別・現状と整理方針案について、説明された。

②について、熱流動部会提案の企画セッション「放射線誘起表面活性効果・研究の現状と今後の展望」、水化学部会・熱流動部会合同の企画セッション「FAC 減肉評価技術/環境緩和技術の現状と今後の課題について」は、ともに承認されたことが報告された。

④の特別専門委員会の整理方針案について資料 2-4 を用いて説明された。その中で、関係者が活動のための費用を集めて実施している委員会を、(イ)学会が設置する研究専門委員会(運営費用は学会負担)、(ロ)学会が設置する特別専門委員会(受託、賛助金などとして活動のための費用を外部から集める。費用のうち、120 万円あるいは「直接費」の 20%のいずれか多いほうを一般管理費とする)、(ハ)部会等の活動のいずれかに整理する方針で検討されていることが説明された。また、部会等の活動とする場合は、(1)賛助金で実施する活動を開始するにあたって企画委員会の審議を必要とすること、(2)部会等運営委員会への会計報告と活動報告を必要とすること、(3)費用の用途はメンバーの旅費、会議費、通信費等に限ること、(4)直接費の定率を一般管理費として学会に収めること、(5)部会等の活動では「委員会」の名称を使ってはならないことが条件となる方向で検討が進められていることが述べられた。

2.4 ドクターフォーラムおよび講習会関連

若手育成基金を活用して、学生及び若手研究者を対象にドクターフォーラムへの参加を支援する案が提示され、承認された。また、講習会の開催が近年行われていないことから、部会員のニーズに即した講習会の開催を今後検討していくこととした。

2.5 熱流動部会関連委員会

熱流動部会が関連する委員会活動について討議し、2.3 に示した区分けにしたがえば、以下のよう
に整理できることを確認した。

(イ)学会が設置する研究専門委員会

「二相流データベースの整備（更新）・詳細研究評価」

(ロ)学会が設置する特別専門委員会

「高速炉熱流動・安全評価」

「シビアアクシデント時の格納容器内の現実的
ソースターム評価」

(ハ)部会のワーキンググループ

「熱水力安全評価基盤技術高度化検討」（設立準備中）

資料 2-5 を用いて、「熱水力安全評価基盤技術高度化検討」WG(仮称)の実施計画について審議し、承認した。本結果に基づき、本ワーキンググループの活動開始に関する審議を学会に申請することとした。

資料 2-6 を用いて、シビアアクシデント時の格納容器内の現実的ソースターム評価特別専門委員会の延長経緯について説明が行われ、本特別専門委員会の担当部会を熱流動部会とすることを承認した。

委員会、WG 活動の部会員への伝達を確実にを行うため、研究委員長より熱流動部会が担当する委員会等の主査・幹事に議事録等の提出を求めること、提出された議事録をニュースレター、部会ホームページ、総会等の場を活用して部会員に情報を発信することとした。

2.6 表彰委員会構成員

春の年会における優秀講演賞の選考のための表彰委員会の委員案が提示され、原案通り承認された。

3. 企画委員会活動報告（高田企画委員長）

ドクターフォーラムの現状と改革案について説明が行われた。本年 9 月開催予定の次回フォーラムの講師推薦がまだ無いなど、講師および参加者の確保に苦勞を生じていることから、開催形態刷新の必要性が述べられた。このため、温故知新的な講演も

含めることで世代を超えた研究者間の交流を即すとともに、若手が参加する場合の支援を手厚くするなどの方針が示された。本年度の改革は試行と位置づけ、その結果を見るとともに意見集約を行い、来年度の開催形態を検討する考えであることが述べられた。提案された計画を了承するとともに、メーカー、大学等の立場で魅力的なフォーラムのあり方について役員間で意見を交換した。今後、試行結果を踏まえて改革原案を作成すること、改革原案をメールで部会員に配布し意見を求めること、得られた意見を参考にして改革原案を見直し、最終案を総会に提案することを基本方針として検討を進めることにした。

4. 国際委員会活動報告（望月国際委員長）

資料 3 を用いて、以下の説明があった。

(1) NURETH-13：論文投稿状況は順調であり、査読作業が適宜進められている旨説明があった。この他、参加費支払システムの準備、ホテルの確保、発表・展示会場、補助金申請の準備状況等について報告が行われた。

(2) FR2009：会議の概要と協力状況が報告された。

(3) NTHAS7：開催国である韓国側から近々に連絡があると予想されること、特に学生セミナーの開催にあたって協力をお願いしたい旨説明が行われた。

5. 広報委員会活動報告（木藤広報委員長）

資料 4 を用いて、部会ホームページの更新作業、ニュースレターの発行状況、メーリングリストによる部会員への情報提供内容が報告された。また、ニュースレターにおける研究室紹介記事準備への協力依頼があった。

6. 出版編集委員会活動報告（宋出版編集副委員長）

資料 5 を用いて、出版編集委員と論文誌編集委員の構成および最近の論文投稿状況が報告された。また、JNST と NED 誌において NTHAS6 の小特集号を企画しており、これに関連する著者への投稿依頼や編集委員会の組織などの準備状況が報告された。

7. 熱流動副部会長挨拶（大塚副部会長）

第 1 回運営委員会の閉会にあたり、大塚副部会長より挨拶があった。

秋季セミナー「Dr.フォーラム」参加者募集

秋季セミナー「Dr.フォーラム」は、学位取得後数年の方々を講師に迎えて学位論文での研究成果を講演いただき、次代を担う研究者を会員各位に紹介するとともに、参加者の方々が今後広い視野で研究を進めていく機会も担っています。今回で9回目となる秋季セミナー「Dr.フォーラム」は、最先端かつ完成度の高い研究成果についてまとまった内容がじっくりと聴けることから、毎年、参加者の皆様から大変好評を頂いております。

今回は伊達政宗ゆかりの仙台にある奥州三名湯の一つ、秋保温泉郷の老舗旅館、岩沼屋（創業寛永2年、1625年）で、3名の講師の方々が知的興奮に満ちた研究成果を発表いただけます。

また今回は学位論文研究成果に加え、原子力ベンダー企業の最先端技術・研究内容も紹介頂き、昨今の原子力カルネッサンスにおける国内企業の海外戦略の一旦も伺えます。

なお、今回のDr.フォーラムでは、若手研究者支援として、学生参加者について旅費の一部を補助致します。奮ってご応募頂きたく思います。

【プログラム】

1日目 9月18日(金)

Dr.フォーラム・その1(16:00～)

- 原子力プラントベンダーの先端技術・研究紹介
ご講演：株式会社 日立製作所殿
- 学位取得者による研究紹介1
 - (1) ダイナミックPIVによる流体関連振動の評価
(株式会社 フォトロン) 桑原 譲二氏
- シニア・若手交流会(親睦会, 18:30～)

2日目 9月19日(土)

Dr.フォーラム・その2(9:00～11:00)

- 学位取得者による研究紹介2
 - (2) 高速炉蒸気発生器伝熱管におけるナトリウム-水反応時の伝熱特性
(JAEA) 栗原 成計氏
 - (3) 差分格子ボルツマン法による空力音の数値解析に関する研究
(株式会社 日立製作所) 田村 明紀氏

【開催場所】

仙台 秋保温泉 岩沼屋
<http://www.iwanumaya.co.jp/>
(「秋の大会」会場・東北大学から車で約30分
：宮城県仙台市太白区秋保町湯元字薬師107)
なお学会会場からは送迎バスでの移動となります。

【参加費】

一般：15,000円、学生：3,000円
(運営費、テキスト代、宿泊費、懇親会費を含む。
なお一般参加費の目安は宿泊費11,000円、懇親会費3,000円、その他1,000円とお考え下さい。)

【申込締め切り】

平成21年8月18日(火)
(ただし、定員(30名)になり次第、締め切ります)

【申し込み方法】

以下の内容を記入の上、問合せ先(高田)までメールまたはFAX願います。

----- 「Dr.フォーラム参加」参加申込 -----

ご氏名 :
ご所属 :
ご連絡先: TEL, E-mail
ご宿泊の可否:
会員種別: (正、学生等)
所属部会: (熱流動、計算科学部会等)

【問合せ先】

大阪大学大学院工学研究科
環境・エネルギー工学専攻
高田 孝(たかた たかし)
TEL 06-6879-7891, FAX 06-6879-7889
E-mail: takata_t@see.eng.osaka-u.ac.jp
(メールアドレス中の”@”を半角に変更下さい。)

フォーラムの実施報告が熱流動部会のWebsite
(<http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/division/thd/>)
の「ニュースレター・アーカイヴズ」にあります。
(ニュースレター第63号)合わせて、ご参照下さい。

国際会議カレンダー（Web のみに掲載）

熱流動部会のホームページ <http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/division/thd/> より最新の情報を入手して下さい。

<編集後記>

ニュースレターへの原稿は、随時受付を行っております。研究室紹介、会議案内、エッセイ等寄稿お願い致します。また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、ぜひ下記宛にe-mailをいただければ幸いです。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：kazuaki.kito.vp@hitachi.com
tamai.hidesada@jaea.go.jp

熱流動部会のホームページ： http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/division/thd/ からニュースレターの PDF ファイルは入手可能です。
