

THERMAL HYDRAULICS

熱流動部会ニュースレター (第 47 号)

AESJ-THD

NEWSLETTER (No. 47)

October 29, 2004

研究室紹介

熊本大学 工学部 知能生産システム工学科 (機械系)
流体工学研究室
川原 顕磨 呂

本研究室は、佐田富道雄教授、川原顕磨呂助教授、加野敬子助手の教員 3 名および学生 19 名 (大学院博士後期課程 2 名、前期課程 9 名、学部 4 年生 8 名) で構成されており、本年度は次の 8 つの研究グループを組織して研究活動を行っています。

1. 稠密格子サブチャンネル間のクロスフローの研究
2. 稠密格子サブチャンネル内の平衡流の流動特性
3. BWR 模擬 2x3 ロッド流路内サブチャンネルのボイド率と摩擦圧力損失
4. BWR 模擬 2x1 ロッド流路のクロスフローに及ぼすサブチャンネル間隙寸法の影響
5. 様々な作動流体に使える二相流構成式の検討
6. マイクロチャンネル内の二相流の実験と解析
7. 新型マイクロバブル発生装置の性能と応用性に関する研究
8. バブルジェット式エアリフトポンプの開発と性能調査

以下に上記の研究を簡単に紹介させていただきます。

研究 1-4 は、BWR 燃料集合体内冷却材熱流動予測に使われているサブチャンネル解析コードの高度化に関するものです。これらの研究の一部は、「革新的実用原子力技術開発提案公募事業」((財) エネルギー総合工学研究所) における「広範囲の燃料格子に適用する汎用沸騰遷移解析手法に関する技術開発」として実施しています。なお、この技術開発は東京工業大学、熊本大学、京都大

学、大阪大学、東京大学、神戸大学、(株)東芝、(株)テブコシステムズ、(株)グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン、(株)日立製作所の研究室が連携して行っているもので、稠密格子型等の次世代型炉心に適用可能な最先端の気液二相流動解析技術を確立し、その炉心設計に要する費用と期間を削減することを目的としています。本研究室ではサブチャンネル間のクロスフロー (乱流混合、ボイドドリフト、差圧移動の三つの機構から成る) に関する流体力学的なメカニズムの解明と定式化を担当しています。熊本大学における初期の研究では、簡略化した二つのサブチャンネルから成る流路 (図 1) を使い、クロスフローの成分を抽出する方法を確立してきました。続いて、BWR 燃料体から稠密格子燃料体までの広範囲な燃料格子に適用しうるクロスフローモデルの開発を目的として、現状の正方格子配列の BWR 燃料集合体のサブチャンネルを模擬した流路 (図 2 (a)、(b))、稠密三角格子サブチャンネルを模した流路 (図 3) を使い、これまでに培ってきたクロスフロー実験法のノウハウを生かして、クロスフローモデルや解析コード検証用の基礎的データを採取しています。これらの模擬流路の実験からサブチャンネルの形状・寸法 (特に、格子の稠密化に伴うサブチャンネル断面積・水力学相当直径の減少) がクロスフローに影響を及ぼすことが明らかになってきています。図 4 は稠密格子模擬流路の実験装置、図 5 はその流路内の二相流を撮影したものです。

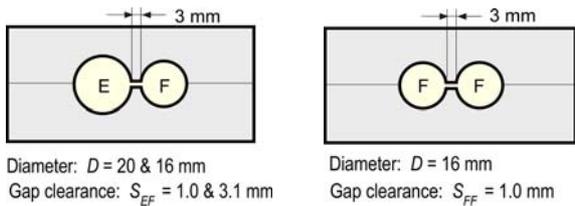
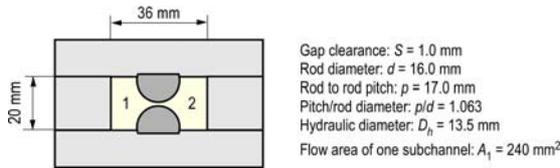
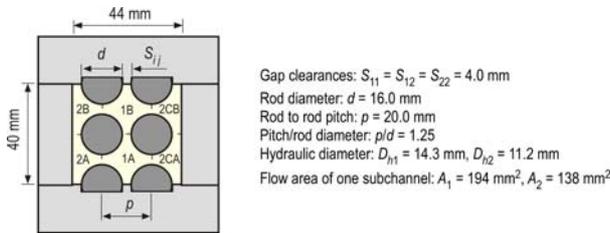


図 1 二つの円形サブチャンネルを持つ流路

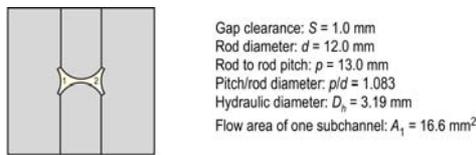


(a) 2x1 ロッド流路 (サブチャンネル数 2)



(b) 2x3 ロッド流路 (サブチャンネル数 6)

図 2 正方格子サブチャンネルを模擬した流路



(a) 断面形状と寸法



(b) 断面の写真

図 3 稠密三角格子模擬流路

研究 5 はエアコン等の冷却・冷凍機器に見られる細管内 (10 mm 以下) の二相流に関する研究です。冷凍サイクル等には多種の冷媒が使われており、今なお新しい冷媒が開発されています。そこで、この研究では、様々な作動流体が細管内を二相流状態で流れた場合のボイド率、圧力損失等について、普遍性のある予測式を実験データを基に導出することを目的としています。実験では、流



図 4 稠密格子模擬流路の実験装置の全景

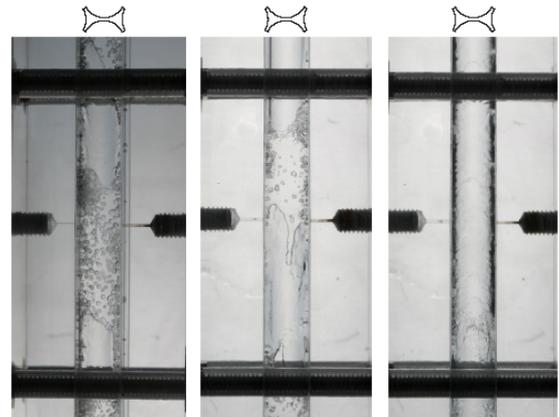


図 5 稠密三角格子模擬流路内の空気-水二相流

路に内径 5 mm と 9 mm の垂直細円管を使用し、気相に空気、液相に表面張力や粘度等が異なる数種類の水溶液 (例えば、界面活性剤水溶液) を使用して、様々な流動条件下で流動様式の観察、ボイド率 (断面平均や空間分布)、圧力損失等の実験値を採取しています。そして、様々な物性値を持つ液体に適用できる二相流構成式の検討を行っています。図 6 は内径 5 mm 円管における空気-液体二相流の流動写真の例であり、左から気泡流、スラグ流および環状流の場合です。作動液体に関し、W は水、GI はグリセリン水溶液、SO はオレイン酸ナトリウム水溶液を示しており、それぞれの液体の物性値は表 1 に示すとおりです。なお、この研究は有明工業高等専門学校の坪根弘明助手と共同で行っています。

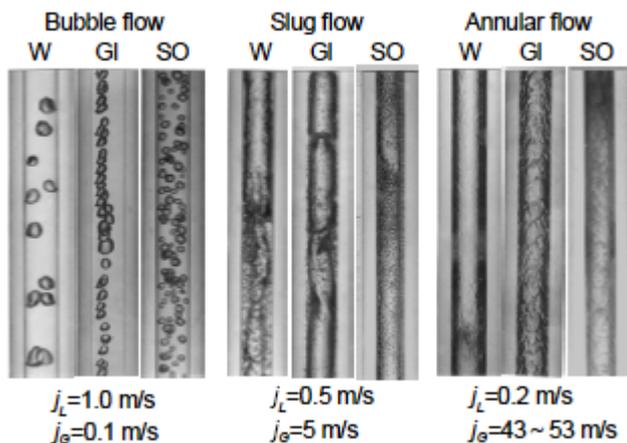


図 6 内径 5 mm の円管内空気-液体二相流の流動様相

表 1 作動液体の物性値(30°Cにおける)

Liquid	Viscosity	Density	Surface tension
	Pa·s	kg/m ³	N/m
Glycerin water solution	12.8x10 ⁻³	1172	0.0626
Sodium oleate water solution	0.797x10 ⁻³	996	0.0325
Water	0.797x10 ⁻³	996	0.0712

研究 6 は、マイクロスケールにおける二相流現象を調べるために行っています。近年、CPU 等の各種電子機器の冷却、MEMS 技術を利用したマイクロ分析およびマイクロ化学反応、バイオ技術等の様々な工学分野で、サブミリ・マイクロスケールの熱流動に関心が寄せられています。マイクロ流体の応用開発は進んでいるようですが、現象の解明は必ずしも十分には行われていないように思えます。そこで、本研究ではそのような現象を支配するメカニズムの解明を目的とした実験・解析を行っています。実験では内径 75~500 μm の円形マイクロチャンネルを使用し、流動様相の観察、ボイド率、圧力損失等を測定しています。作動流体のうち気相には窒素ガスを使用し、液相には表面張力等の物性値の影響を見るために重量濃度が異なるエタノール水溶液を用いています。図 7 は直径 75~251 μm 管内の流動様相の例で、液相はエタノール 49wt% 水溶液の場合です。これらの様相は、液リング流 (Liquid-ring flow) と呼ばれ、マイクロチャンネル内の特有の流れです。なお、この研究はトロント大学の川路正裕教授と共同で進めています。

研究 7 は、佐田富教授が考案されたマイクロバブル発生装置 (図 8; 特開 2003-30549) の高性能化と応用性拡大を目指したものです。この装置は、図 8(b)に示すとおり

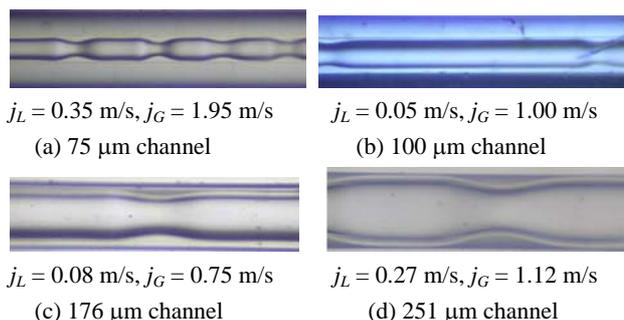
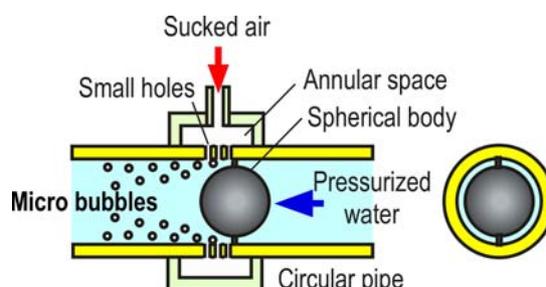


図 7 マイクロチャンネル内の流動様相の一例

り管内高圧水流中に置かれた球状物体の後方に生じる負圧により空気を自吸して、空気を高速せん断水流で粉碎してマイクロバブルを発生させる独創的な装置です。特徴として、構造が非常に簡単、気体にエネルギーを与えずに自給させる、吸気バルブの開度を調整することにより発生する気泡の径を容易にコントロールできる等、が挙げられます。マイクロバブルは液中の滞留時間が長く、液体への溶存性に富むため、水質浄化と酸欠状態の水への酸素補給、化学反応促進など様々な応用が考えられます。図 9 は熊本県水産センターにおける海水中での気泡の発生状況、図 10 は熊本市内の飛び込みプール (水深 5.1 m) でのテスト風景です。



(a) 装置の写真



(b) マイクロバブル発生原理

図 8 マイクロバブル発生装置 (佐田富:特開 2003-30549)

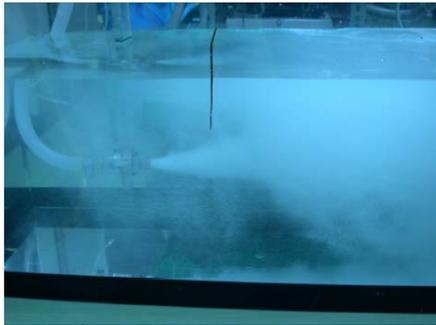


図 9 海水中でマイクロバブル発生状況



図 10 アクアドーム熊本でのマイクロバブル発生試験の様子

研究 8 は、前述のマイクロバブル発生装置の空気吸込み穴径を大きくして、通常サイズの気泡を大量に発生する装置に設計変更し、その装置が発生するバブルジェットを利用して湖底や海底に堆積した汚泥と土砂を除去する「バブルジェット式エアリフトポンプ」(佐田富：特願 2004-110839) の開発に関するものです。圧縮空気を動力源とする通常のエアリフトポンプの場合、海底や湖底に堆積・固化した汚泥や土砂を浮遊させる事ができません。これに対して本研究のエアリフトポンプはバブルジェットを海底等に衝突させて汚泥等を巻き上げる事ができる(図 11 を参照)ので、堆積・固化した汚泥等の除去が可能となります。有明・八代海では養殖漁業が盛んであるため、海底には魚類が食べ残した餌等が汚泥として堆積して、水質悪化の原因となっています。また、ダム湖や沈砂池では上流から流れてきた土砂や落ち葉が湖底に堆積して貯水量を低下させると共に水質も悪化させています。本研究のエアリフトポンプを使うと、このような汚泥や土砂の除去が可能となり、しかも海水の溶存酸素濃度が高まるので、水質改善と赤潮防止などに寄与できると考えています。図 12 は実証試験用の室内実験装置です。図 13 は装置の最下部を示しており、

右隅に見えるのがバブルジェット発生装置です。直径 4 mm のセラミック粒子を浮上させる実験の様子を撮影したものです。

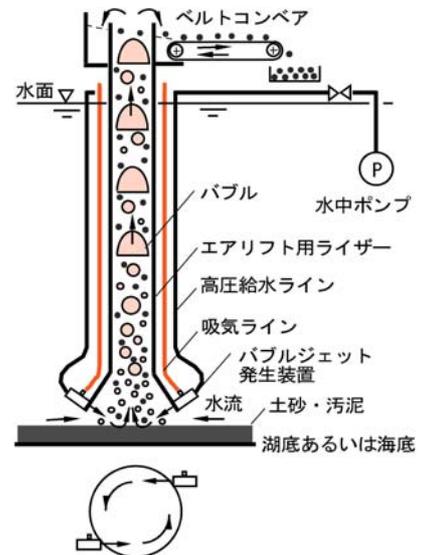


図 11 バブルジェット式エアリフトポンプ
(佐田富：特願 2004-110839)



図 12 バブルジェット式エアリフトポンプの試験機



図 13 粒子浮上実験中のバブルジェット発生部

会員総会報告

第 23 回熱流動部会会員総会 議事録

(1)日時 平成 16 年 9 月 16 日(木)12:00 から 13:00 27 名出席

(2)場所 日本原子力学会 春の年会 (京都大学 D 会場)

(3)配布資料

①第 22 回熱流動部会運営委員会議事録

②熱流動部会予算 (平成 16 年度収支予算および実績表)

③平成 16 年度日本原子力学会熱流部会賞

④国際委員会活動報告

⑤広報委員会活動報告

⑥出版編集委員会活動報告

1. 熱流動部会長のあいさつ 澤田隆 部会長 (三菱)

澤田部会長より、熱流動部会総会開会の挨拶があった。また、まもなく開催される NUTHOS-6、NTHAS-4 国際会議への協力依頼が述べられた。

2. 総務委員会 岡本孝司 委員長 (東大)

配布資料①により運営委員会の議事録の確認があった。

(1) 熱流動部会予算 (H16 年度予算執行状況報告)

配布資料②の平成 16 年度予算執行状況の報告があった。火災に関するセミナーで剰余金があったこと、秋の大会後に開催される Dr フォーラムの支出がまだ未記帳であるが、執行状況については特に問題ない。特別予算では国際会議 (NUTHOS、NTHAS) の前渡し金が戻ってくる予定であることが報告された。セミナー残金は MATE 基金に入れる予定である。NUTHOS 剰余金を学会と部会とでどのように配分するかについては、2 年前に理事会で議論があったが結論は出ていない。学会の判断があるまでは現状のままとする。学会との調整は澤田部会長に対応していただく。

(2) 熱流動部会表彰

配布資料③により、春の大会での優秀講演賞が以下の通り決定した。表彰式は NUTHOS-6 の 2 日目に受賞記念ランチョンにて開催されることが報告された。

秋の大会優秀講演賞

豊橋技科大学 伊藤高啓 氏

サイクル機構 神山健司 氏

原研 劉 維 氏

また、まもなく、平成 16 年度の募集が始まることがアナ

ウンスされた。業績賞、功績賞については記念講演をいただく予定でなる。

3. 企画委員会 上出英樹 委員長 (サイクル機構)

秋季セミナー Dr フォーラムを秋の大会最終日に開催することの報告があった。まだ参加予定者は 28 名。まだ参加は可能であるので希望者は申し出てほしいとのこと。

4. 研究委員会 村瀬道雄 委員長 (日立)

研究委員会活動報告があった。特に質疑無く承認された。

5. 国際委員会 江口譲 委員長 (電中研)

配布資料④を用いて、国際会議 NUTHOS-6 および NTHAS-4 の準備状況が報告された。NTHAS-4 はオープンフォーラムが開催される予定で、査読なし論文を発表可能とする。澤田部会長より論文のレビューの方法について補足説明があった。

6. 広報委員会 大川富雄 委員長 (阪大)

配布資料⑤により、ホームページの更新、ニュースレターの発行、メーリングリストの配信の状況について説明があった。メーリングリストについて、部会員のメールアドレス変更などがあれば連絡してほしいとの依頼があった。また、プライバシーの問題から名簿の更新が行いにくい状況であることの補足説明があった。

7. 出版編集委員会 阿部豊 委員長 (筑波大)

配布資料⑥により、NUTHOS-6、NTHAS-4 の特集号発行、査読体制の強化、連載講座の企画の状況について報告があった。熱流動分野は論文の発表数が多く、同分野の査読委員には協力を依頼する旨依頼があった。また、澤田部会長より査読の方針 (“てにをは”まではコメントするに及ばない) について補足説明があった。

8. 副部会長あいさつ 杉山憲一郎 副部会長 (北大)

杉山副部会長より、環境、エネルギー、原子力などをキーワードに、社会との接点をもてるような企画の提案とともに総会閉会の挨拶があり部会総会を終了した。

部会行事の実施報告

秋季セミナー「Dr フォーラム」実施報告

日本原子力学会・熱流動部会主催
計算科学技術部会共催
秋季セミナー「Dr フォーラム」実施報告
熱流動部会企画委員長 上出 英樹

秋期セミナー「Dr フォーラム」は、学位取得後数年の方々を講師に迎え、学位論文での研究成果を講演いただき、次代を担う若い方々を会員各位に紹介するとともに、今後の活動への激励を行うことを趣旨としている。これまで、北海道（洞爺湖温泉）、福島（J-Village）、静岡（富士、裾野研修センター）で計3回を開催し、好評を博してきた。昨年度から熱流動部会と計算科学技術部会の共催となり、今年も「2004年秋の大会」（京都大学）の最終日（9/17）より1泊2日の日程で両部会の共催で開催することとなった。

京都らしい落ち着いた雰囲気をもつ真如堂の境内にある宿坊、真如山荘に、新進気鋭の講師6名を含め28名の参加者が集まり熱流動の枠を越えた熱い議論が展開された。京都大学から隣の吉田神社の丘を越え歩いて15分ほど、当日は蒸し暑い日となり汗ばむ中で真如堂に到着、会場はエアコンでほどよく冷えた快適な雰囲気で13:30に開会した。会場は座布団に低い机と少々腰にきつい体勢となったが、液晶プロジェクターとパソコンを持ち込み28名がじっくり議論できるスペースとなった。

岡芳明計算科学技術部会長の挨拶に続き、6名の講師から以下の順に講演と質疑を合わせて1件40分の発表が行われた。司会は前半を中村秀夫氏（原研）、後半を賞雅寛而教授（東京海洋大学）に担当いただいた。

- 気液混相乱流場の直接数値シミュレーション
山本 義暢（名古屋大学）
- 沸騰水型原子炉内流路構造における効率向上に関する研究
秋葉 美幸（東芝）
- 原子炉熱流動解析における不確定性分析に関する研究
小倉 克規（原子力安全基盤機構）
- 高燃焼度燃料の熱流動設計評価における数値実験法の開発
三沢 丈治（日本原子力研究所）
- 炉心熔融事故時の狭隘流路内熱流動現象に関する研究
内堀 昭寛（サイクル機構）
- Numerical Analyses of Solid Dynamics with Large Deformation by Particle Methods
宋 武燮（そんむそつぷ、東京大学）



写真1. 講演の様子（東芝 秋葉さん）



写真2. 会場から鋭く切り込む質問



写真3. 懇親会のひとコマ

秋の大会熱流動部会総合講演「輸送現象解析のマルチスケール・パラダイム」実施報告

日本原子力学会 秋の大会 熱流動部会総合講演「輸送現象解析のマルチスケールパラダイム」実施報告

日本原子力研究所 渡辺 正

本総合講演は、原子力学会 2004 年秋の大会（京都大学）において、東大岡本先生の座長により 9 月 16 日（木）に行われた。これは、平成 14 年度から 2 年間にわたり実施された「マルチスケール輸送現象の解析」研究専門委員会の活動報告であり、以下の 4 件の講演が行われた。

- (1) マルチスケールシミュレーションの問題と方法
渡辺 正（原研）
- (2) 地中内輸送現象のマルチスケールシミュレーション
河野浩二・伊藤豪一（富士総研）
- (3) 離散運動論・実数格子ガス法による複雑流体のシミュレーション
陳 昱（東大）
- (4) 輸送現象をどう抽象化するか
大橋 弘忠（東大）

「マルチスケール輸送現象の解析」研究専門委員会は、狹隘流路における混相熱流動を中心としたマルチスケール輸送現象において、微視的な機構から巨視的な現象までの研究と関連する解析技術に関して、その現状と問題点の調査を行い、マルチスケール輸送現象解析技術の高精度化のために、今後の研究課題を整理することを目的として設置された。講演 (1) では、委員会での主要な調査検討事項に関する話題として、原子力分野における様々な輸送現象のマルチスケール性と解析の必用性等に関して分類が行われ、解析技術の現状が紹介された。(2) では、マルチスケール輸送現象とその解析の具体的な題材として、熱流動の観点からも重要なトピックスの一つと考えられる廃棄物の地層処分に関連して、地中内輸送現象の特徴とマルチスケールシミュレーションの現状が紹介された。(3) では、マルチスケールシミュレーションの有力な手法に関する話題として、離散運動論に基づいた実数格子ガス法の開発と、界面活性剤等の複雑流体現象のシミュレーションへの応用が紹介された。(4) では、マルチスケール輸送現象の解析の方法と今後の展開に関する話題として、マルチスケール/マルチフィジックス現象の特徴と解析のための方法論についての総括が行われた。近年話題とされる、現象のマルチスケール性とその解析に関する報告であり、原子力分野の熱流動を中心として多様な現象とその解析方法を含む話題であったため、手法の応用やスケールの関連等に関して活発な討論が行われた。

途中コーヒーブレークを挟み、いずれも多くの質問やコメントが出され講師と会場が一体となって厳しくも暖かい白熱の議論が展開された。DNS による詳細解析から原子炉内機器や CDA 時の炉内冷却に関する実験研究、解析評価の不確定性分析、最後は人体モデルに至る粒子法の開発まで幅広くかつ切れのある内容に参加者各位の研究者魂に火をつける結果となったものと思われる。最後に澤田隆熱流動部会長から閉会の言葉を頂いて Dr フォーラムを終了した。

風呂に入るなど一休みしたのち、7:00 から恒例の懇親会となった。宿坊ということで精進料理かと思えば、京都らしい華やかな料理にビール、焼酎、冷酒とつづく盛り上がりの中、各部屋にもどってさらに深夜まで議論は続いた。間近に迫った奈良 NUTHOS6 国際会議の準備を平行して行なう部屋もあるなど、一瞬も無駄にしない忙しいメンバーの一面も見せていた。翌日（土）は晴天で元気に朝ご飯をいただいた後、真如堂の三重塔をバックに記念撮影で参加者の笑顔を撮ることができた。

今回の秋季セミナーも昨年同様、盛況・好評のうちに終了することができ、あらためて原子力学会事務局、両部会関係者に深く御礼申し上げるとともに、ご講演いただいた講師各位のいっそうの活躍を祈念いたします。来年は青森県八戸にて、やはり原子力学会秋の大会に合わせて開催する予定です。読者の方々もぜひ参加いただき、熱い議論に加わっていただければ幸いです。



写真 4. 真如堂の三重塔をバックに記念撮影

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、エッセイ等ございましたら、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。

e-mail宛先：t-okawa@mech.eng.osaka-u.ac.jp

熱流動部会のホームページ

<http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/division/thd/>

このニュースレターのPDFファイルは、上記ホームページより入手可能です。