

# THERMAL HYDRAULICS

熱流動部会ニュースレター（第49号）

AESJ-THD

NEWSLETTER (No.49)

April 28, 2005

## 熱流動部会長就任挨拶

杉山憲一郎（北海道大学北海道大学大学院 工学研究科）

春の年会の熱流動部会総会で承認され、熱流動部会部会長に就任しました北海道大学の杉山憲一郎です。本年度の運営委員会にも、副部会長のサイクル機構 佐藤和二郎氏、総務委員長の大阪大学 山口彰先生を始めとし、各委員長に経験豊かで実行力のある方をお迎えすることができました。皆様のご協力を得ながら効果的な部会活動に努力する所存です。

本年2月16日に京都議定書が発効され、原子力が排除された地球温暖化防止対策の取り組みが開始されようとしています。熱流動部会としては、2013年以降も見据えて、安全性、経済性、環境調和性に優れた新型炉の実現に貢献する取り組みに加えて、既存炉の安全性、経済性の維持に貢献する取り組みも推進して行きたいと考えております。幸い、昨年度、前部会長澤田隆氏が発電炉の安全性に関する研究開発ロードマップの取りまとめに貢献され、熱流動部会としての具体的な取り組みの方向が示されております。また、第5回日韓原子炉熱流動と安全に関するシンポジウムの日本側運営委員会の立ち上げと共に、総会の場で京都大学 芹沢先生より協力を求められました日韓夏期セミナーの具体化についても検討を行いたいと考えております。

全く新しい試みとして、原子力エネルギーの効果的な利用を目標とした原子力の社会受容性の課題にも取り組みたいと考えております。この数年間、札幌市の小、中、高等学校の約150名の先生方と総合学習における原子力を含めたエネルギーと環境教育の展開について、研究会を開いて来ました。具体的には、先生自身に原子力を含めたエネルギーと環境教育について総合的学習を行って頂くという方針で、視察を含めた情報提供を行ってきました。その結果、先生方に適切な情報提供をすることにより、適切な判断をして頂けるという明快な結論が得られました。次の目標は、在学世代が、自分達に係わる将来のエネルギーについて議論できる教育基盤を学校教育の中に打ち立てることです。この目標の実現には皆様の



スイスのレストランのオーナーと業務用ボイラーの前で（ボイラーの加熱源はベツナウ原子力発電所からの高温加圧水です。）

お知恵を拝借しなければなりません。

この活動の一環として、諸外国のエネルギー環境問題への取り組みについて調べる機会を持ちました。札幌市の先生方が大変興味を持ち、教材化を試みているスイスの例について触れさせていただきます。人口約700万人のスイスは、化石燃料資源に恵まれない内陸国で、石油など一次エネルギーの60%は輸入に依存しています。一次エネルギー供給の内訳は、石油50.7%、原子力25.3%、水力10.9%、天然ガス8.8%、その他4.3%です。電力供給では、豊富な水力資源を利用した水力発電が、発電量の約60%を占めています。これに加えて、自然環境維持とエネルギーセキュリティーの観点で、1960年代から積極的に導入を行った原子力発電が、発電量の36%（5基、

335.2 万 kW) を占め、水力と原子力でスイスの電力需要がほぼ賄われています。しかし、水力発電は限界に達しており、冬季はダムが凍結するため、10月～3月は原子力シェアが約45%と増える一方、消費電力の約15%を輸入に依存しているのが現状です。

このようなエネルギー事情の中で、研究会のメンバーが注目した、スイスらしい取り組みがありました。1970年代の第1、2次オイルショック後、原子力の熱エネルギーを利用した地域熱供給ネットワークの建設が提案され、1985年より熱供給が開始されました。このネットワークは、20年間利用実績を更新しています。現在、主供給管長約35km、一般家庭、アパート、商店、農場などのユーザー数約2,200、利用住民数約15,000人に達しています。原油価格が低くなった1980年代後半以降もユーザーが増え続けていること、原油価格が高騰し、原油生産量のピークが近づいている今日、環境の世紀と言わ

れる21世紀のスイスモデルとして世界的に注目されて良い原子力の熱エネルギー利用です。

燃焼ガスを排出する石油の利用を極力抑え、自然環境に配慮して、原子力の熱エネルギーを利用するスイスの実績は、札幌市の小、中、高等学校の先生方には大変な驚きでした。一方、原子力発電所の熱エネルギーを利用しているスイスの地域住民は、「熱供給網から放射性物質が漏れる可能性を議論をしたことはない」、「スイスの置かれている状況に基づき、自然な選択をした」という意識です。歴史的、地理的に育まれた国民性の違いが反映されていますが、意識の大きな落差を感じます。

京都議定書が発効された今年度は、是非、熱流動部会として、エネルギー環境教育へ貢献する情報発信を行いたいと考えております。皆様のご理解とご協力をよろしくお願い致します。

## 会員総会報告

### 第24回 熱流動部会会員総会 議事録

- (1)日時 平成17年3月30日(水) 12:00から13:00
- (2)場所 日本原子力学会 春の年会(東海大学H会場)
- (3)配布資料
  - ①平成17年度役員候補者
  - ②熱流動部会運営委員会議事録
  - ③熱流動部会予算(平成16年度収支報告、平成17年度予算申請書、特別予算年度計画書)
  - ④平成16年度日本原子力学会熱流動部会賞
  - ⑤企画委員会活動報告
  - ⑥研究委員会活動報告
  - ⑦国際委員会活動報告
  - ⑧広報委員会活動報告
  - ⑨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1年3ヶ月にわたり部会会長を務め、その間、2回の国際会議を開催できたこと、安全研究ロードマップを作成したことなどの成果があった。部会員各位の協力に感謝が述べられた。

2. 総務委員会 岡本 孝司 委員長(東大)

2.1 熱流動部会平成16年度役員候補(承認)

杉山部会長、佐藤副部会長を始めとする来年度の役員候補(配布資料①)が賛成多数にて承認された。

2.2 熱流動部会予算(H16年度収支報告、H17年度予算)(承認)

配布資料③の平成16年度予算収支、平成17年度(案)、

特別予算が賛成多数で承認された。特別予算ではNUTHOS、NTHAS国際会議が終了し、剰余金があったことなどが報告された。

2.3 熱流動部会表彰

二ノ方表彰委員会委員長より、功績賞、業績賞、奨励賞、優秀講演賞を設けたこと、および選考結果について報告があった。引き続き表彰式を行った。受賞者は以下のとおりである。

熱流動部会功績賞 原子力安全基盤機構 成合 英樹 氏  
熱流動部会業績賞 該当なし  
熱流動部会奨励賞 核燃料サイクル機構 高田 孝 氏  
熱流動部会奨励賞 東京大学 森元 雄一郎 氏  
秋の大会優秀講演賞 日本原子力研究所 玉井 秀定 氏  
筑波大学 河本 雄二郎 氏

3. 企画委員会 上出 英樹 委員長(サイクル機構:山口総務副委員長が代読)

配布資料⑤により、秋季セミナーDrフォーラムが計算科学技術部会との共催で開催され28名の参加を得て盛況であったことが報告された。17年度のDrフォーラムは八戸で開催予定であることが紹介された。また、原子力施設における火災燃焼研究の最先端講演会を共催したことが報告された。

4. 研究委員会 村瀬 道雄 委員長(日立)

配布資料⑥により、「二相流データベースの評価・整備研究専門委員会」が終了し、作成したデータベースを部会ホームページに掲載したことが報告された。「多次元二相流構成方程式に関する評価調査専門委員会」が終了し、2005年秋の大会で企画セッションを予定していることが報告された。また、「炉心・燃料・機器の合理的な熱流

動評価・開発手法」調査専門委員会が新規に開催予定であること、その他検討中の専門委員会があることが紹介された。

5. 国際委員会 江口 讓 委員長 (電中研)  
配布資料⑦により NUTHOS6 国際会議、NTHAS4 国際会議の報告があった。また、今後の会議予定として NTHAS5、NUTHOS7 の予定などが紹介された。国際会議については、山口総務副委員長より NUTHOS6 会議の報告があり、68 万円の剰余金があり、熱流動部会に 46 万円、米国原子力学会に 22 万円を寄付することが了承された。杉山副部長より NTHAS4 会議の報告があった。

6. 広報委員会 大川 富雄 委員長 (大阪大学)  
配布資料⑧によりニュースレターを 45 号から 48 号まで発行したことの報告があった。二相流データベースをホームページに掲載したこと、研究室紹介の記事を掲載したことの紹介があった。また、熱流動部会ホームページ、部会員名簿の更新状況につき報告があった。部会員への情報提供に関し今後拠点委員を通じて調査予定との報告があった。  
核融合部会ではニュースレターを印刷して売っている。収入源と部会員勧誘の観点から今後の検討課題としてほしいとのコメントがあった。

7. 出版編集委員会 阿部 豊 委員長 (筑波大学)  
配布資料⑨により、ICONE-11 特集号を発行したこと、熱流動分野研究の活性化により論文数が大幅に増加して

いること、アジア地区の海外からの論文が急増しているとの報告があった。平成 16 年の活動予定としては、NUTHOS6 と NTHAS4 の特集号予定が述べられた。また、熱流動分野の論文投稿数の増加に対応するため編集委員増員の予定があることが述べられた。

8. その他  
芹沢教授より、日韓サマースクールの検討状況について以下のとおり報告があった。日韓交流はこれまでに 5 年間学生派遣交流を行っているが、日韓で共通の問題などあるため、もっと広く交流事業ができるようにサマースクール案を提案した。今年度からは派遣をやめてサマースクールを開催することで日韓合意したことを受けて、学会の各部会及び支部に意見を求めたところ支持が得られ、また、3 月の原子力学会理事会で案が承認された。原子力学会の 15 の部会を 5 つぐらいのグループに分け、今年度からサマースクールを実施する。2005 年は 80 万円の予算が承認され、今年度は 2 つのグループが開催する予定である。今後、日韓相互に毎年開催するので、熱流動でも開催をお願いしたい。

賞雅教授より、4 月 23 日に混相流学会の国際ナショナルレクチャーコース (原子力学会共催) が開催されることが紹介された。

9. 副部長あいさつ 杉山 憲一郎 副部長 (北大)  
杉山副部長(次期部長)より、京都議定書が実行されるので原子力の熱利用について活動を考えたい旨の挨拶があり部会総会を終了した。

## 運営委員会報告

### 第 25 回 熱流動部会運営委員会 議事録

- (1) 日時：平成 17 年 1 月 31 日 (月) 10:00-12:30
- (2) 場所：日本原子力学会会議室
- (3) 出席者：澤田部長、杉山副部長、二ノ方表彰委員長、上出企画委員長、江口国際委員長、村瀬研究委員長、大川広報委員長、吉田広報副委員長、岡本総務委員長、山口総務副委員長 (山口記)
- (4) 配布資料
  - ① 平成 16 年度収支予算及び実績表、部会特別予算
  - ② NTHAS4 決算報告
  - ③ NUTHOS6 決算報告
  - ④ 二相流データベースの熱流動部会の HP への掲載のお願い (東芝 師岡主査)
  - ⑤ 広報委員会活動報告
  - ⑥ 国際委員会活動報告
  - ⑦ 企画委員会 Dr フォーラム報告

#### 議事

1. 総務委員会 (岡本総務委員長)
  - ・ 春の年会で 2 時間の総合報告を取っている。このとき、部会表彰者の特別講演を行う。慶応大学の前田名誉教授に 1 時間の講演をいただくことに決定した。なお前田名誉教授への講師謝金と懇親会招待費用の支払いが承認された。
  - ・ 経常予算、特別予算、セミナー予算について、平成 16 年度予算報告、平成 17 年度の予算案が審議され、承認された。
  - ・ 予算について平成 17 年度からの 5 年計画の報告があった。NTHAS (2008)、NURETH(2009)、NUTHOS(2010)、セミナー (Dr フォーラム) を計画して予算を計上する。
  - ・ 杉山副部長より、NTHAS4 会議の決算報告が行われ、承認された。
  - ・ 山口総務副委員長より NUTHOS6 会議の決算報告が行われ、承認された。

2. 広報委員会（大川委員長）
  - ・ 広報委員会の活動報告が行われた。
  - ・ ホームページのデザインを次期広報委員会で検討することになった。
  - ・ 研究委員会の終了報告についてホームページに掲載することが審議された。
3. 企画委員会（上出委員長）
  - ・ 企画委員会活動報告が行われた。
  - ・ Dr フォーラムの決算報告が行われ、収支は黒字であり、部会予算に戻入することが報告された。
  - ・ 平成 17 年度の Dr フォーラムの計画（八戸地域地場産業振興センターで開催）が紹介され、承認された。
4. 国際委員会（江口委員長）
  - ・ NUTHOS-6 の概要状況の報告が行われた。
  - ・ NTHAS4 の概要状況報告が行われた。
5. 研究委員会（村瀬委員長）
  - ・ シミュレーションと実験に関する研究専門委員会を熱流動部会の新規委員会として立ち上げることが提案することが承認された。

- ・ 東芝の師岡氏より、二相流データベースの評価・整備専門委員会の成果である、データベースを原子力学会熱流動部会のホームページに掲載・公開する提案があり、承認された。なお、本会の報告書はまもなく発刊される予定である。
6. 出版編集委員会（阿部委員長）
    - ・ NUTHOS の特集号について状況報告があった。
  7. 表彰委員会（二ノ方委員長）
    - ・ 二ノ方表彰委員長より、表彰委員会委員の提案があり承認された。
    - ・ 平成 16 年度候補者の推薦状況が報告された。
    - ・ 部会表彰選考内規について審議された。日本原子力学会賞と熱流動部会の関係、両者の正確付けについて意見交換された。また、推薦者になっている選考委員は当該候補者の評価に加わらないという条項を内規に加えることにした。
  8. その他
    - ・ 次期役員について審議した。

## 熱流動部会 功績賞 受賞記念講演

### 原子力熱流動と私

成合英樹（筑波大学名誉教授・原子力安全基盤機構理事長）

（概要）日本原子力学会熱流動部会の功績賞受賞記念講演の内容で、筆者の長年にわたる原子力熱流動に関する思い出をまとめた。

#### 1. 大学・大学院時代

##### 1.1 大学時代と熱工学との関わり

専攻した機械工学の必修科目である 4 力学の内、熱力学が一番分からず。そこで「もっと勉強を」と思い、卒論は授業担当の内田秀雄教授の研究室を志望。まさか一生の仕事になるとは思わず。卒論は冷凍機蒸発管の沸騰熱伝達で、計算尺とタイガー手回し計算器時代、実験ではグラスウールと冷媒の漏洩に苦勞。62 年に学部卒、大学院へ。大型計算機の始まるの時期で、裳華房「大学演習伝熱工学」の指数表を打ち出したことを覚えている。

##### 1.2 原産 SAFE Project 小委員会(63~64 年)

大学院生ながら内田秀雄委員長の幹事として議事録取り。このプロジェクトは世界に先駆けた軽水炉冷却材喪失事故時の工学的安全設備の有効性実験。ブローダウン、炉心スプレイ、格納容器スプレイ、ヨウ素挙動などの内

容で工学的安全研究の研究者が育つ。山内のクエンチ式、佐川の蒸気凝縮式（内田や田上式）、小笠原の臨界流モデルなど今でも使われている。山田太三郎・都甲泰正先生等有名な先生方が委員として参加しており、その後日本の原子力を進めた多くの知人ができる。印象に残っているのは、压力容器や格納容器のシステム全体を考えたエネルギーバランスの考え方を内田先生が示した時、当時中部電力の服部禎男さんが「先生、すごいことをやられましたね」と述べられたこと。

##### 1.3 機械学会の沸騰分科会とバーンアウト分科会

機械学会の沸騰分科会が 61~64 年に一色尚次主査の下で行われ、文献をもとにメカニズムの議論と「沸騰熱伝達の出版」、続いてバーンアウト分科会が 65~66 年に橘藤雄主査の下で、全国各機関で同じテストピースを用いての実験。大学院時代に内田先生の代理出席をして議論に参加し大変勉強になる。飯田嘉宏先生など各大学の同年代の友人を得る。

## 2. 船研時代と船用炉研究

### 2.1 船研での主な研究

67年に博士課程を出て船舶技術研究所原子力船舶部に就職。原子力第一船「むつ」に次ぐ第二船用一体型炉の開発研究。これは蒸気発生器・加圧器を圧力容器内に内装し、圧力抑制型格納容器を採用する。ヘリカルコイル式貫流型蒸気発生器伝熱管の二相流熱伝達、バーンアウト、不安定流動。圧力抑制型格納容器のチャギング・動荷重、ECCS水の凝縮振動・ウォーターハンマ等を研究。小関守史・横村武宣氏等にお世話になり、綾威雄氏等と行う。これらの研究は後に原研の小型炉研究へ。

### 2.2 機械学会 Na-水反応分科会

設立されたばかりの動燃からの委託により Na-水反応分科会(68~78年)が一色尚次主査の下で行われ幹事をやる。高速増殖炉蒸気発生器の水漏洩に対する信頼性の観点で重要な課題との認識。大リーク・中リーク・小リーク・微少リークの破損伝播を含む現象解明と運転領域マップの作成で終了しもんじゅの安全審査へ。中リーク領域の高温ラプチャーも終わりの頃報告書で触れる。堀雅夫さんを中心に、多くの原子力の友人を得た。

## 3. 筑波大時代

### 3.1 核融合炉工学研究

80年4月に筑波大構造工学系(後の機能工学系)へ移る。シビアアクシデントを含む軽水炉・高速炉の安全研究と核融合、二酸化炭素の海底貯留などの研究を進める。核融合では科研費特別研究に参加し、筑波大プラズマ研究センターと連携して炉システム設計としての GAMMA-R 等のタンデムミラー核融合炉工学研究を進める。特に、10MW/m<sup>2</sup>以上の高熱流束除熱のための水による強制流動サブクール沸騰限界熱流束の研究(83~00年)でストレート管・ねじりテープ挿入管・非均一加熱効果等の実験式から機構論モデルまで。稲坂富士夫・劉維氏等。

### 3.2 蒸気爆発とシビアアクシデント研究

溶融炉心とナトリウムの接触による蒸気爆発発生可能性の調査が、動燃 FSI 調査研究(75~79年)として秋山守主査により行われ、日本の蒸気爆発研究の広がり端緒になった。その後、科研費重点領域研究「蒸気爆発の動力学」が92~96年に秋山守研究代表者の下で行われた。火山屋さんとの付き合いの始まりと蒸気爆発の視野の拡大・サイエンスへ。

シビアアクシデント研究はチェルノブイリ事故後に公に研究が進められるようになり、NUPEC 委託により原子力学会の格納容器内熱流動挙動調査特別専門委員会(91~97年)とシビアアクシデント熱流動現象評価特別専門委員会(97~01年)が、筆者を主査に行われた。後者の活動と並行して大学の研究者を中心にした3年間の原研の公募研究が採択された。

### 3.3 熱流動数値解析

原子力学会熱流動数値解析特別専門委員会が、筆者を主査として83~91年に行われた。原研(二相流)、動燃・電中研(单相流)の委託。コンピュータの進展と共に熱流動数値解析の高度化が進んだ頃で熱流動研究者の関心が極めて高い。企業などでも新しい許認可解析用のコードを作っていた時期で、後に規制に関わるようになり、このことをもっと知っていれば良かったという思い。報告書の学会での販売許可を得て、収入を委員会でも活用。

### 3.4 海外の友人達と熱流動国際会議

船研時代に MIT 機械工学科の Rohsenow の所へ69~70年に留学。滞在中に Prof. Bergles が Georgia Tech へ教授で移り、原子力工学科には Todreas が教授として戻る。Density Wave Oscillation を研究した Yadigaroglu 等の大学院学生と親しくなった。

NURETH は、80年に Saratoga Springs で第1回、83年に Santa Barbara で第2回を開催した。長年、日本のまとめ役を桜井彰先生に担当して頂き、97年の第8回の日本開催では先生を委員長として開催した。

NUTHOS は、83年の NURETH の折に Todreas の卒業生を中心に話がまとまり、NUPTHO-1として84年に Taipei で Y.Y.Hsu を委員長として開催したが、台湾ということで原研等には許可が出ず大学・企業中心で参加。86年に原子力学会初めての主催国際会議ということで東京で第2回、88年に Seoul で第3回、94年に Taipei で第4回だが、この時から Safety が加わり、NUTHOS というようになる。第5回97年 Beijing、第6回04年奈良。

NTHAS は日韓の熱流動と安全性会議で、佐藤泰生先生等が中心になり第1回を98年に Pusan、その後2年ごとに日韓で行い、04年に札幌で第4回。

### 3.5 熱流動研究連絡会と熱流動部会

90年に秋山守先生を委員長として熱流動研究連絡会を設立、第2代委員長となる。熱流動数値解析特別専門委員会の残金をこの研究連絡会の資金へ。活動では国際会議など国際化への対応も強く考慮。93年に学会で部会制が発足し、これに伴い熱流動部会へ。

## 4. 規制と学会に関わる活動

### 4.1 炉安審の審査委員と熱流動

89年に原子力安全委員会原子炉安全専門審査会メンバーとなり、規制との関わりを持つ。その直後に、La Salle や Caorso の問題で、BWR 核熱水力安定性問題に関わる。炉物理屋さんとの激しい議論。最新知見をまとめるため原子力学会に BWR 核熱水力安定性研究専門委員会を98~00年に設置し主査となり報告書を作る。現在それをベースに標準委員会で標準化へ。その他、熱流動に関わる最新知見の規制への適用問題として、BWR の Post BT 燃料健全性基準等がある。基礎的知見と実際とを結びつける学会活動の重要性。

## 4.2 技術者・学会の社会的責任

90年頃から高度技術依存社会における技術者の社会的責任と学会のあり方に関心を持つ。丁度機械学会で、理事(92、93年度)それに引き続く第2世紀将来構想委員会で激しい議論。特に学会における規格基準作成活動を進め、97年の発電用設備規格委員会の立ち上げに関わる。原子力学会では、94、95年度原子力学会理事。原子力学会でも学会基準作成のための標準委員会発足に関わる。その後、副会長・会長(00~02年度)として、国際化・情報化社会における原子力に関わる社会的責任を果たす専門家集団の学会へと、定款変更から学会組織・運営等の改革を目指す。

## 4.3 熱流動研究の今後への期待

基礎と実際を結ぶ研究の重要性。現在では、特に実証試験を最小限にする数値解析による評価手法の高度化と

データベースの整備。一方、実験による極めて複雑な事象の解明。まだまだ計算だけでは信頼のおけない重要な現象がある。技術の継承の観点からも。

## 5. 謝辞

熱流動が、実験式からサイエンスへ移る時期を過ごすことができた。特に原子力における第1世代と第2世代の中間の1.5世代としてのつなぎ役をしてきた感じ。内田秀雄先生と秋山守先生には、国との関係の強い原子力において、大学人として学会と研究を大切にすることを教わる。一色尚次先生には研究に対する情熱を教わる。熱工学における第2世代として、飯田嘉宏・井上晃先生など多くの仲間に恵まれた。学会の委員会では多くの後輩にお世話になった。これらの方々へ改めて深くお礼を申し上げたい。

# 研究室紹介

兵庫県立大学大学院 工学研究科  
機械系工学専攻 機械工学部門  
流体工学研究室  
伊藤 和宏

本研究室は、熊丸博滋教授、細川 力助教授、伊藤和宏助手の教員3名と、学生17名(学部9名、修士6名、博士2名)で構成されており、伝熱流動現象ならびに混相流体、磁性流体の挙動などに関する研究を行っています。以下に現在の研究テーマの概略を紹介いたします。

### (a) 高速液体噴流の自由界面挙動に関する研究

比較的高流速(～15m/s)の液体噴流を、高エネルギービームのターゲットや核融合炉壁などに用いる計画がある。このような機器では、噴流によるエネルギーの吸収

を均一化し、真空雰囲気への液体の蒸散・飛散を低減するため、噴流自由界面の波立ちを制御する必要がある。本研究は、高速液体噴流の波の発生機構を実験的・解析的に明らかにすることを目的としている。

作動流体に水を用い、噴流自由界面の性状を写真観察した結果を図1に示す。噴流平均流速が比較的低い場合(5 m/s)、ノズル出口直下流には、可視的な波のない平滑領域が生じ、その下流に周期性の高い2次元波が発生・成長する。さらに下流では、波の周期構造が崩壊し、3次的に乱れた波面となる。噴流平均流速が増加すると、平滑あるいは2次元波領域は徐々に減少し、 $U_m \geq 10$  m/sでは、ノズル出口直下流から3次的に乱れた波に覆われる。

噴流自由界面に垂直に照射したレーザー光の屈折から、界面の2方向傾斜角を同時に高速測定する手法を開発し(図2参照)、自由界面波の周波数特性を明らかにした。2次元波領域には、明瞭な卓越周波数が現れ、その周波数は、自由界面下の速度せん断層の線形安定性理論における空間的な最不安定波の周波数と一致した。これより、噴流初期に生じる2次元波は、ノズル壁面境界層が剥離して生じた自由界面下せん断層の流体力学的不安定性によってもたらされることが明らかとなった。また、レーザー流速計を用いたノズル内壁面境界層の測定から、ノズル内圧力勾配による境界層の再層流化が $U_m$ の増加に伴って不完全となり、境界層内層の乱れ強度が増加する

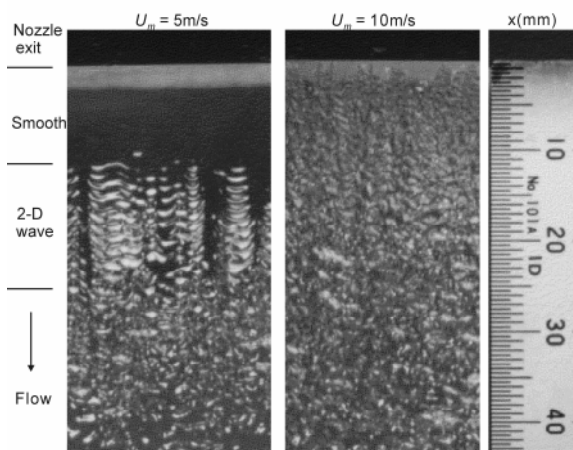


図1 噴流初期の自由界面性状

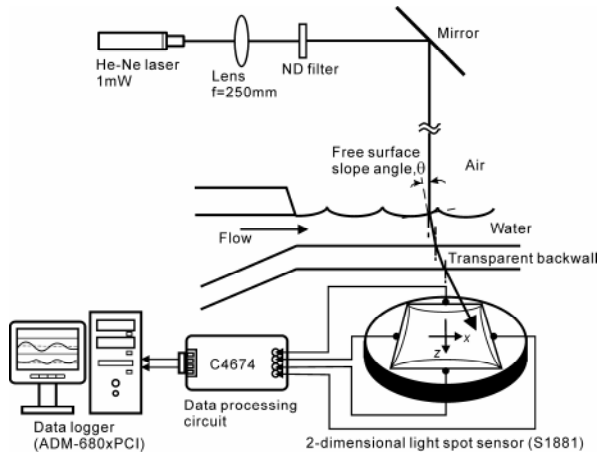


図2 液体噴流自由界面傾斜角の測定システム

ことによって、平滑領域における自由界面波の発生頻度が増大することが明らかとなった。

(b) 壁近傍に配置した平板後流の速度場に関する研究

**BWR** 燃料スペーサの下流では、燃料棒表面に向う流れ（偏流）が生じ、液滴の付着率および燃料棒表面の液膜厚さに影響を及ぼすことが指摘されている。燃料サブチャンネルコードの開発において、偏流の予測は重要であり、実験事実との比較から解析モデルを検証することが望まれている。

伝熱面の近傍にスペーサなどの障害物が存在する流れは、伝熱促進などへの応用から多くの研究が報告されているが、障害物の下流に発生する偏流の絶対値を直接測定した例は少ない。そこで本研究は、燃料スペーサを模擬した平板を流路壁近傍に配置し、その下流の速度場を熱線流速計を用いて測定した。

図3に試験部の概要を示す。作動流体には室温・大気圧下の空気を用いた。試験部に上流X型プローブを挿入し、平板下流の2次元速度場を測定した。

平板厚さ  $t$  を  $0.5\text{ mm}$  とし、平板と流路壁との隙間（クリアランス  $c$ ）を  $1.0\text{ mm}$  とした場合の速度分布の例を図4に示す。平板からの距離  $x$  が  $1\text{ mm}$  と  $20\text{ mm}$  の位置における、流れに垂直方向の平均流速  $v$ （すなわち偏流）の分布を示している。平板の設置により、流路断面内の広い範囲で偏流が生じていることが確認された。

偏流の絶対値は、クリアランスが狭く、平板厚さが厚いほど増大し、実験範囲内において断面平均流速  $U$  の約  $17\%$  となる。また、平板直下流における流れ方向および幅方向の乱れ強度も増加しており、平板によって誘起された偏流と乱れによって、燃料スペーサ下流の液滴が燃料棒表面へと輸送される可能性が示された。

(c) 伝熱面近傍に生じる薄い温度境界層に関する研究

**BWR** において想定される反応度事故では、冷温停止時の制御棒落下により出力密度が急増加し、その後しばらくは高出力状態が続くとされている。しかし、現実的には、ボイドフィードバックによりピーク後の出力は低下し、燃料棒破損の可能性は減少するものと考えられる。

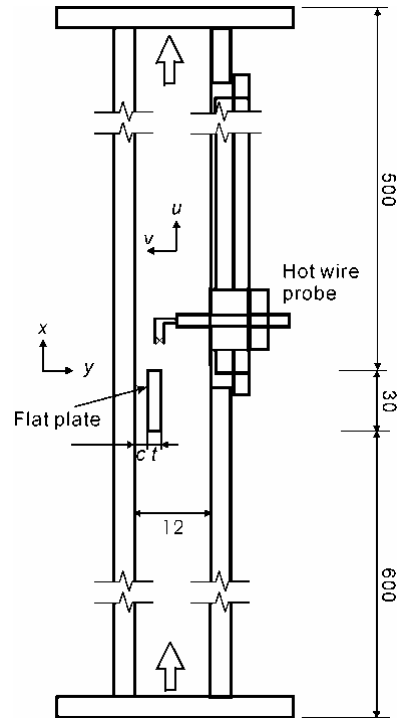


図3 平板下流の速度場計測装置

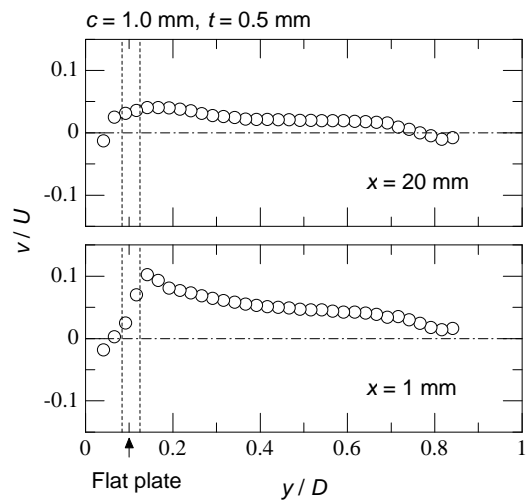


図4 流れに垂直な方向の平均速度分布  
( $y$ : 流路壁からの距離,  $D$ : 流路幅)

この効果を考慮するためには、高サブクール下での急加熱時のボイド発生挙動を予測する手段を確立する必要がある。本研究は、急加熱された伝熱面近傍に生じる薄い温度境界層が成長し、沸騰に至る過程を実験的・解析的に評価することを目的としている。

光学的手法により温度境界層内の密度分布を測定する装置を図5に示す。マッハツェンダー干渉計の原理を用い、被検光を発熱体に接するように透過させることにより、干渉縞の変位から温度境界層内の密度変化が測定される。

加熱開始後  $8.6\mu\text{s}$  の短時間で面積発熱密度が  $0.4$

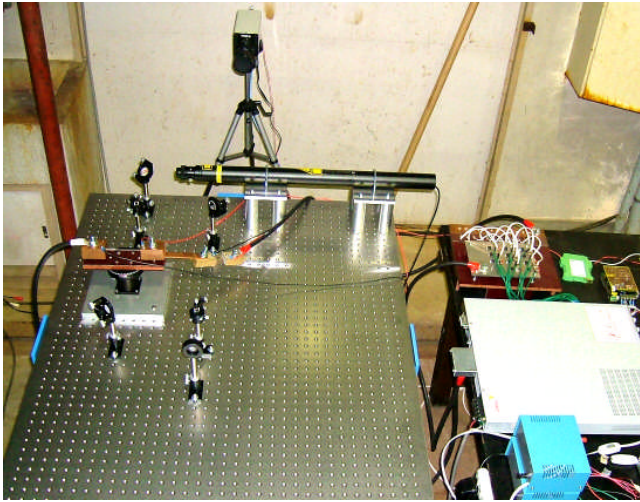


図5 温度境界層の光学測定装置

MW/m<sup>2</sup>となる電源回路を作成し、周囲流体を空気とした測定を行った。伝熱面近傍の密度変化は、加熱後 0.1 s までは一次元非定常熱伝導方程式の解と一致するものの、それ以降の密度変化は解析よりも大きくなり、短時間の間に対流が発生することが示された。今後、周囲流体を液体（水）とした実験を行い、沸騰までの密度変化を明らかにする計画である。

温度境界層内の液体の挙動に対し、分子動力学法に基づく数値解析を実施した。図6に解析体系を示す。固体壁を模擬した原子（白色）の温度を上昇させることにより、単原子流体（青色）が加熱される過程をシミュレーションした。現在、密度変化などの詳細な解析を行っている。

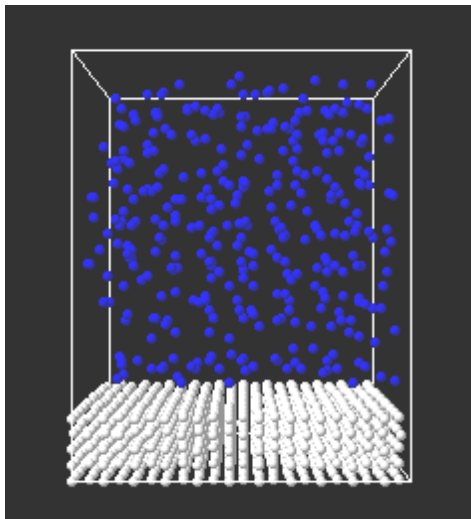
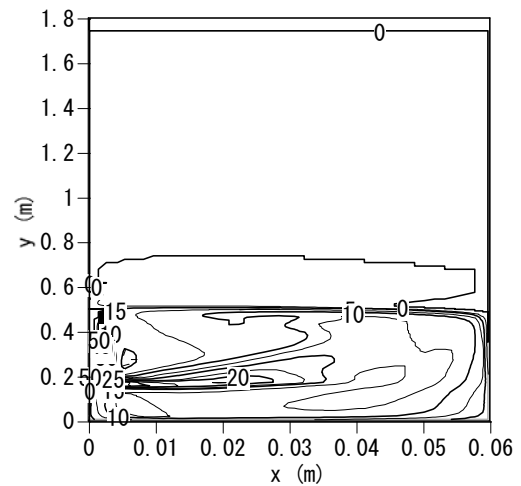


図6 分子動力学法による流体加熱シミュレーション

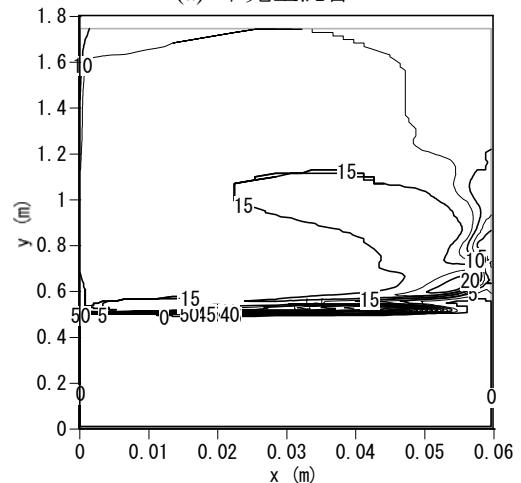
(d) 高密度水溶液の垂直上昇水流れ中における混合に関する研究

本研究は、沸騰水型原子炉におけるスクラム失敗事故時におけるほう酸水注入系の有効性評価に役立てるため実施したものである。まず、ほう酸水に替えて塩化カルシウム水溶液を用いて小規模実験装置を製作し実験を行った。実験では、試験部の下端より通常の水を垂直上方へ流し、試験部の途中において高密度（1400 kg/m<sup>3</sup>）の塩化カルシウム水溶液を水平に注入し、塩化カルシウムが完全に水に混合同伴されるか（完全混合）、一部落下するか（不完全混合）を調べた。また、密度変化と物質移動を同時に正確に計算するため、有限体積法による数値計算を実施した。計算結果は、実験での完全混合/不完全混合の境界の上昇水流量をほぼ予測することができた。

図7は計算結果の密度分布を示す。y = 0 m は水入口、y = 0.5 m（左側壁、高さ 1 mm）は水溶液注入口、y = 1.75 m は水（+水溶液）出口である。密度は流体密度－水密度（kg/m<sup>3</sup>）で表示し、50 kg/m<sup>3</sup> 以上は 50 と表示している。(a)は上昇水流量が小さく水溶液がほとんど落下している状態を、(b)は上昇水流量が大きく水溶液が全て上昇している状態を示している。x = 0 ~ 0.06 m は試験流路の横幅である。



(a) 不完全混合



(b) 完全混合

図7 密度分布の計算結果



(e) 液体金属電磁流体/磁性流体流れに関する研究

核融合炉ブランケットの冷却などへ応用するため、磁場入口/出口部における液体金属電磁流体流れに関する有限差分法による3次元数値計算を実施した。数値計算の結果、3次元の誘導電流流れにより、磁場入口部および出口部においては、磁場内発達部よりローレンツ力による圧力損失が著しく大きくなることが分った。また、誘導電流流れの相違により、磁場出口部の圧力損失は入口部より相当に大きくなることも分った。図8の(a)に磁場入口部の圧力損失、(b)に磁場出口部の圧力損失を示す。(a)において、縦軸は無次元化圧力、横軸は無次元化流れ方向座標であり、最初の緩やかな圧力勾配は磁場なしの管摩擦のみによる圧力損失、最後の一定の圧力勾配は磁場内発達部の圧力損失、その中間が磁場入口部の圧力損失を示している。パラメータは外部印加磁場の勾配であり、ステップ状変化に近づくにつれて圧力損失は大きくなり、ある最大値に漸近することを示している。(b)は、(a)とは逆に磁場内発達部、磁場出口部、磁場なし区間の順になっている。

次に、液体金属磁性流体（液体金属に強磁性微粒子を分散させたもの）を用いることにより、磁場入口部において、ローレンツ力による圧力損失より大きい磁気力による流体駆動力が得られないかを調べた。水-コバルト微粒子分散流体による実験および数値計算（均質流として扱うことが可能）により、強磁性微粒子の体積割合が0.001以上であれば十分な流体駆動力が得られることが分った。

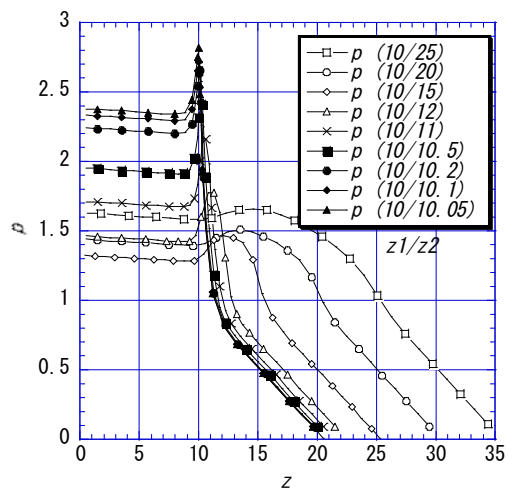
(f) 磁性流体の生体流れへの応用に関する研究

現在、磁場による制ガン剤の患部への集中投与などの薬剤デリバリー、磁場による赤血球、ガン細胞などの細胞分離へ応用するため、勾配磁場により水-強磁性微粒子分散流れより強磁性微粒子を分離できるかについて調べている。水-コバルト微粒子分散流体により実験を行ったが、軽い粒子に替えて実験を継続する予定である。また、市販熱流体コードの簡単な二相流モデルを用いて数値計算を行ったが、希薄粒子モデルに基づく独自の数値計算プログラムを現在作成している。

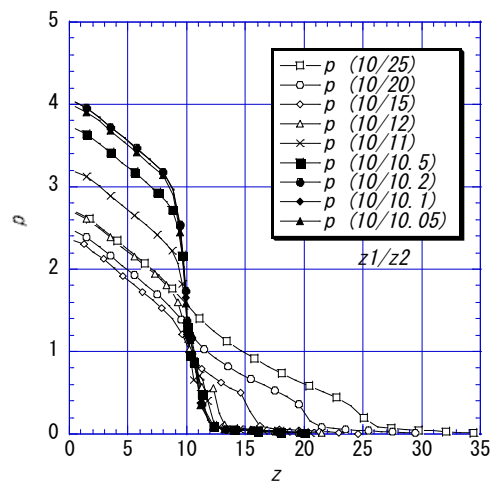
(g) その他の研究

分子動力学法を用いて、ナノサイズチャンネル内流れの電場による駆動に関する数値計算を実施している。これは、ポンプ等による駆動の困難なナノサイズチャンネルについて、電荷を帯びた液体あるいは気体を電場により駆動できるかについて調べるものである。

また、企業との共同研究として、市販熱流体解析コー



(a) 磁場入口部



(b) 磁場出口部

図8 流れ軸に沿った圧力変化

ドを用いた数値計算を行っている。食品急速冷凍加工機（以下冷凍庫という）内の速度場・温度場に関する数値計算を行い、冷凍庫内の流れが最も均一になり、食品が最も均一に急速に冷却される、冷凍庫内の整流板の形状・配置、冷凍庫内面のR形状（丸み）の寸法などを求めた。さらに現在、特殊な攪拌機による各種水槽内流体の攪拌に関する数値計算を行い、所定の攪拌を達成するために必要な攪拌機の容量、個数および配置を求めている。

---

## 平成 17 年度熱流動部会役員

---

部会長	杉山憲一郎 (北大)	研究委員長*	堀田亮年 (テプコシステムズ)
副部会長	佐藤和二郎 (JNC)	国際委員長*	田中伸厚 (茨城大)
総務委員長*	山口 彰 (阪大)	企画委員長**	上出英樹 (JNC)
総務副委員長*	梅澤成光 (三菱重工)	出版編集委員長**	阿部 豊 (筑波大)
広報委員長	吉田啓之 (原研)	表彰委員長	澤田隆 (三菱重工)
広報副委員長	山本 泰 (東芝)	*: 任期 2 年の 1 年目, **: 任期 2 年の 2 年目	

---

## 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>

今年度のニュースレター編集を担当させていただくことになりました原研の吉田です。昨年度担当の阪大の大川先生のように手際よく出来ませんでしたが、何とか一回目のニュースレターを発行することが出来ました。至らぬ点があるかとは思いますが、何卒よろしく願い申し上げます。

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 : [yoshida@hflwing.tokai.jaeri.go.jp](mailto:yoshida@hflwing.tokai.jaeri.go.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。