

THERMAL HYDRAULICS

熱流動部会ニュースレター (第 63 号)

AESJ-THD

NEWSLETTER (No.63)

Jan. 7, 2009

研究室紹介

湘南工科大学 工学部 機械システム工学科 流体工学研究室
文沢 元雄

湘南工科大学は、1963年に創設された相模工業大学を1990年に名称変更した工科系大学です。流体工学研究室は、工学部の機械システム工学科(大学院:工学研究科機械工学専攻)に所属する研究室です。湘南工科大学では1つの研究室は1名の教員で運営されるのが原則であり、流体工学研究室は文沢元雄教授が運営しています。平成20年度(本年度)は2名の大学院博士前期課程学生および11名の卒論生と4件のテーマで研究を進めております。また機械システム工学科では、流体工学の分野においても実験系の教育の充実を計っております。

下記に研究テーマの一部(原子力に関する熱流体工学を中心に)および教育用実験装置の概要を紹介します。

(1) ヘリウム・空気の対向置換流挙動の可視化観察

高温ガス炉の配管破断時の置換流量評価のため、その流動挙動を可視化して調べる研究である。この研究では、可視化装置のスモークワイヤー法で捉えた可視化画像より PTV 手法を用いて流速の測定、首部のアスペクト比や鉛直との傾斜角が置換流量に及ぼす影響を評価している。

ヘリウム - 空気の対向置換流の実験容器とスモークワイヤー装置の配置の写真を図1に示す。実験容器(細長い首部を含む)は、スモークパルス発生器等で構成されている。実験容器はアクリル製の円筒容器であり、細長い首部は内径 20mm、長さ(L)200mm、ワイヤー部のニクロム線(直径 0.1mm)の位置は首部下端から 100mm の高さである。首部の周囲は大気(空気)開放となっている。実験容器の空気をヘリウムで置換(容器内はヘリウムと空気の混合ガスである)し

た後、首部の先端に取り付けた盲蓋を取り外し、空気とヘリウムの置換流を発生させる。

スモークワイヤー法による可視画像観察 スモークパルス発生器と実験容器の配置

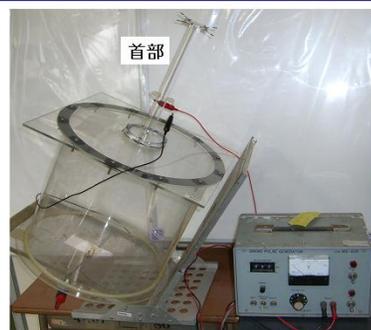
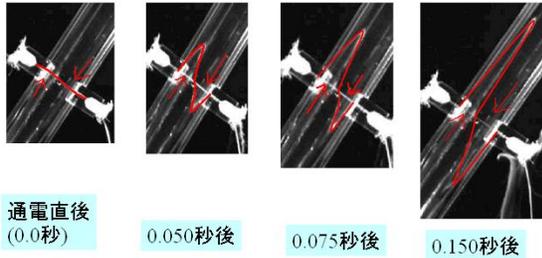


図1 ヘリウム-空気の対向置換流実験容器とスモークワイヤー装置の配置

実験結果の1例として、スモークワイヤー法で可視化した対向置換流挙動を図2に示す。時間経過とともに円管の首部上側(左側)をヘリウムが上昇し、首部下側(右側)を空気が下降していく様子(対向する流れの分離流)が明確に捉えられている。実験条件は、1画像撮影間隔=1/200 sec から 1/300 sec、実験容器首部の鉛直からの傾斜角 $\theta = 30$ 度である。煙の発生電圧は 250 Volt、通電時間は 30 msec である。高速度カメラで撮影した2枚の写真のスモークラインの位置の差から PTV 手法により流速分布を求め、時間平均より上昇流と下降流の流速値を求めることができる。流速プロファイルを流路断面で積分し、体積流量の評価およ

び密度フルード数の評価ができる。

また、マッハツェンダー干渉計 (図 3 参照) により首部上端付近の対向流挙動を観測できる。対向流の傾斜角依存性を図 4 に示す。



スモーク発生開始から、0.050 sec 後には首部上側 (左側) をヘリウムが上昇し、首部下側 (右側) を空気が下降する様子 (分離流) が明確にとらえられている。

0.075 sec、0.150 sec 後には分離流の傾向はさらに拡大している。

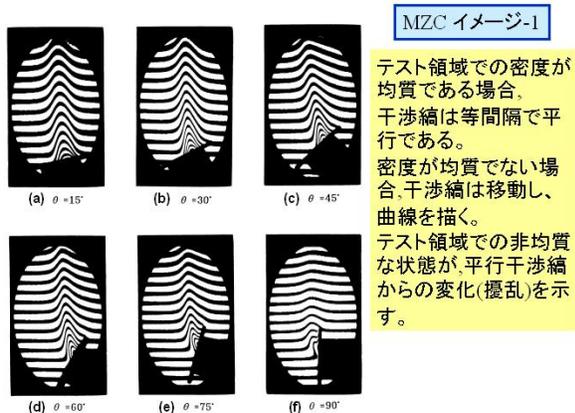
図 2 スモーク発生後の対向置換流挙動の可視化写真

MZC-60S : マッハツェンダーコンパクト干渉計



カメラ類は D-file システムに接続し、干渉計からの画像データを収録可能

図 3 マッハツェンダー干渉計の可視化システム



テスト領域での密度が均質である場合、干渉縞は等間隔で平行である。密度が均質でない場合、干渉縞は移動し、曲線を描く。テスト領域での非均質な状態が、平行干渉縞からの変化(擾乱)を示す。

図 4 対向置換流の首部上端付近のマッハツェンダー干渉画像

(2) 球状燃料を用いた高温ガス炉の燃料温度解析に及ぼす空隙率の影響

当研究室では伝熱性能の高い球状燃料を有するペブルベット型高温ガス炉 (図 5 参照) を取り上げ、熱効率向上 (炉心出口温度の高温化) を中心に燃料温度低減化を図ることを研究目的としている。このため炉心熱解析および充填層実験より圧力損失と流量の関係を求める実験を行っている。

1) 圧力損失 (差圧) の測定実験

円筒状充填層、すなわち球状のガラス球 (直径 5mm) を多数充填した配管内の流れでは、ガラス球に流れが衝突して流路が曲げられて流体は進むので、充填層内の圧力損失は直管の圧力損失より非常に大きくなる。実験の 1 例を以下に示す。

実験装置 (図 6 参照) :

流動抵抗実験装置の空気の流れを次に示す。流量調節弁を通過した空気は、充填層に至る。充填層 (テスト部) に差圧計を設置し、その間の圧力損失を求める。

実験条件 :

- ガラス球の種類 (直径) $d=2\text{mm } \phi, 5\text{mm } \phi$
- 管の長さ $l=500\text{mm}$
- 差圧測定 2 点間距離 400mm
- 管の直径 $D=50\text{mm}$

実験結果 :

従来 of 文献の実験式と本実験で得た圧力損失のデータの関係を比較すると、流れを層流と考えた場合の Blake-Kozeny の式、乱流と考えた場合の Burke-Plummer の式、両方を加えた Ergun の式に当研究室の実験値は近いことが得られている。

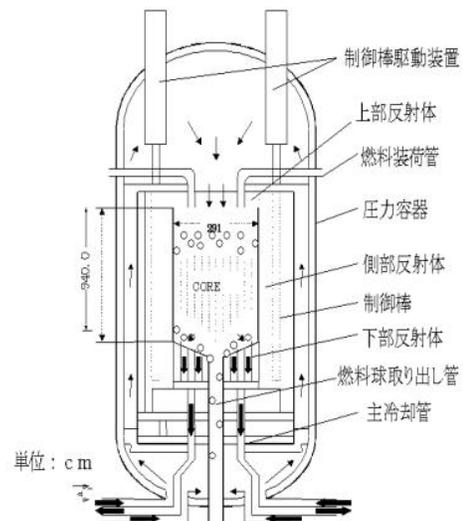


図 5 ペブルベット型高温ガス炉の概念図



図6 充填層の差圧測定装置

2) 高温ガス炉温度解析

高温ガス炉の代表設計例としてモジュラー型ペルベット炉がある(図5参照)。国際的な次世代原子炉の検討グループである GEN-IVの方針に沿った研究として、熱出力を 300MW の 1.5 倍、2 倍にする場合の解析検討を行っている。検討の 1 例を以下に示す。

解析方法：

解析は定常燃料温度解析コードを用いて行ない、燃料球の温度解析モデルでは、燃料球内部は熱伝導、燃料球の外側は充填層の乱流熱伝達の式を使用した。

解析結果：

炉心出力密度増加が燃料温度に与える効果を数値解析により求めた。炉心体積は不変のままで熱出力を 300MW、450MW、600MW に増加させた場合、すなわち熱出力密度増加と、燃料最高温度の関係や空隙率の関係を求めることができる。空隙率を低下させると燃料最高温度は低下する結果が得られる。ただしこの場合、炉心圧力損失は増加することとなる。

(3) 教育用実験装置の概要

当研究室の所管する教育用実験装置について記載する。

1) 水配管内流れの可視化装置

配管内径(19mm, 29mm, 39mm)の 3 種類の装置があり、図7は配管内径 19mm の場合の装置を示す。これらの装置により、レイノルズ数が 1000-20000 程度の層流および乱流を観測できる。可視化方法は透明ガラス配管の入口部付近に設置した注射針相当のトレーサ液注入口から墨(40倍に水希釈)を注入する古典的な手法である。可視化の記録方法は目視によるスケッチ、高速度カメラ撮影画像のスケッチである。図8は乱流の場合の管内中心部付近の流動状況の写真である。



図7 水配管内流れの可視化装置

Re=7580の場合の管内流の様子



図8 管内中心部付近の流動状況

2) 空気が管内流れの可視化装置

鉛直下降流および上昇流の配管内にスモークワイヤ細線を流れに直角に配置し、配管内一方向流れ場の半径方向流速分布を可視化する(図9参照)。層流の場合はポアズイユ流速分布、乱流では管の中央部分が平坦に近く、1/7乗則分布に近い流速分布を観測できる(図10参照)。目視では観測が困難なので、高速度カメラ撮影画像のスケッチを実施している。

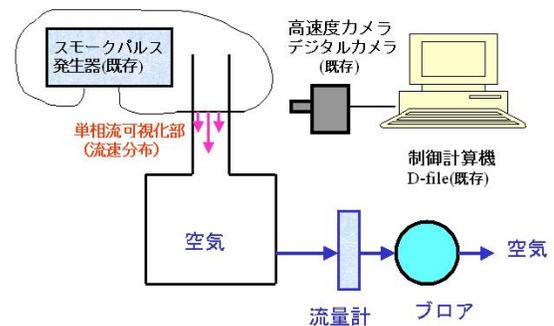


図9 一方向気体流可視化装置

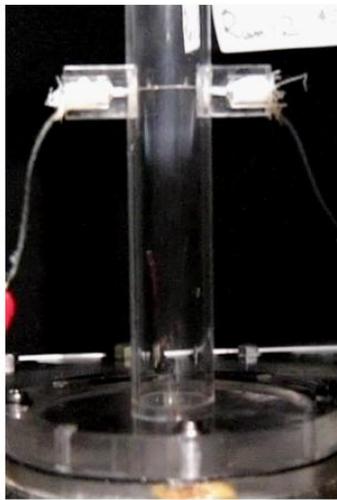


図 1 0 一方向気体流可視化写真
(レイノルズ数 = 2830)

3) 水配管内流れの差圧測定装置

水配管の閉回路に直管部、ベンチュリー管、オリフィス、エルボ、ベントを配置し、各機器の出入口部での差圧をマンメータで測定する装置である。得られたデータを管摩擦係数とレイノルズ数の関係式で表し、層流と乱流の関係式の相違を理解すること、および流量係数、損失係数を評価する。

4) 空気配管内流れの差圧測定装置

空気配管として直管部、ベンチュリー管、オリフィス、エルボ、ベントを配置し、各機器の出入口部での差圧を差圧計で測定する装置である(図 6 参照)。得られたデータの評価は水配管内流れの差圧測定実験と同様である。

5) 光高温計による熱放射実験装置

熱放射の法則を理解するため、光高温計で電球フィラメント細線の温度を測定する装置である(図 1 1 参照)。電球フィラメント細線を別途デジタルカメラ(減光フィルタ数種類使用)で撮影し、画像処理により、デジタルカメラ画像の輝度値と電球フィラメント細線の温度相関を求めることができる。



図 1 1 光高温計による熱放射実験装置

11

会員総会報告

熱流動部会第 32 回会員総会 議事録

- (1) 日時：平成 20 年 9 月 5 日(金) 12:00-13:00
- (2) 場所：原子力学会秋の大会 E 会場
(講義棟 K203)
- (3) 配布資料：
 - ① 熱流動部会 第 32 回会員総会 議事次第
 - ② 平成 20 年度熱流動部会運営委員会(第 1 回)議事録(抜粋)
 - ③ 平成 20 年度収支予算(案)
 - ④ 熱流動部会・企画委員会 H20 年度活動報告
 - ⑤ 日本原子力学会熱流動部会 総会 研究委員会報告
 - ⑥ 国際委員会活動概要
 - ⑦ 日本原子力学会熱流動部会 総会資料 H20 年

度上期 広報委員会活動中間報告

- ⑧ 日本原子力学会熱流動部会総会報告 出版編集委員会の活動概要
- ⑨ 熱流動部会表彰委員会
- ⑩ NURETH-13 資料

議事

1. 熱流動部会長挨拶(三島部会長)

平成 20 年と 21 年は NTHAS や NURETH などの熱流動部会主催の国際会議が開催される。成功裡に終わらせられるように注力したい。また、学会の公益法人化にむけて部会においても対応が必要である旨の挨拶があった。

2. 運営委員会活動報告(坂場総務委員長)

配布資料②により、先に行われた平成 20 年度第 1

回熱流動部会運営委員会での議事概要及び熱流動部会企画セッションを開催した旨の報告があった。また配布資料③により、平成 20 年度予算について、今年度より運営委員会への委員の出席に関して必要に応じて旅費を支出した旨の報告及び予算案の変更について説明があった。

学会の公益法人化に向けて部会での繰越金の処理方法について、特に黒字の他部会とも協調して検討するようにとの要望があった。また、今後の支出計画についても明確にするようにとの要望が併せてあり、対応していくこととした。

3. 企画委員会活動報告（高田企画委員長）

配布資料④により、9月6日より開催される秋季セミナー「Dr フォーラム」の準備状況及び開催要領について報告があった。

4. 研究委員会活動報告（宇井研究委員長）

配布資料⑤により、「高速炉熱流動・安全評価」特別専門委員会の活動状況の報告、及び総合講演・報告（熱流動部会共催）において活動報告がなされる旨のアナウンスがあった。また、「熱水力安全評価基盤技術高度化検討」特別専門委員会について、活動状況の報告及び熱流動部会企画セッション「熱水力ロードマップ策定に向けて」として中間報告を行った旨の報告があった。さらに、「二相流データベースの整備（更新）・詳細評価」研究専門委員会については、次回企画委員会にて設置の了承を得た後、活動を開始する旨の報告があった。

5. 国際委員会活動報告（望月国際委員長）

配布資料⑥により、平成 20 年 11 月に沖縄で開催された NTHAS6 に関する活動状況（学生セミナーを含

む）についての報告があった。併せて配布資料⑩により、平成 21 年 9 月 27 日～10 月 2 日に金沢で開催される NURETH-13 に関する活動状況について報告があった。また、現地委員長の村瀬氏からも準備状況についての報告があった。

6. 広報委員会活動報告（坂場総務委員長）

配布資料⑦にもとづき、広報委員会活動について、代読により、部会ホームページの更新、ニュースレターの第 61 号、第 62 号の発行及びメーリングリストを用いた会員への情報提供などの活動報告があった。

7. 出版編集委員会活動報告（田中出版編集委員長）

配布資料⑧により、学会の 6 分野（伝熱流動）編集責任者及び学会論文誌編集委員の交代について報告があった。また、熱流動関係の投稿論文数の推移について、特に平成 19 年度は総投稿数が激減している旨の報告があった。

8. 熱流動部会表彰（三島部会長）

配布資料⑨により、「2008 年春の年会」の対象講演発表のうちから 3 件が優秀講演賞に選ばれた旨の報告があり、その選定理由の説明の後、3 名の受賞者に対する表彰式を行った。

9. その他（秋本副部会長）

より運営を活発にしていきたい、また、NTHAS、NURETH といった大きな国際会議の開催が今後予定されているが、これらをぜひとも成功させたいとの挨拶があった。

以上

秋季セミナー「Dr.フォーラム」実施報告

熱流動部会主催・計算科学技術部会共催
企画委員長 高田 孝（大阪大学）

熱流動部会および計算科学技術部会では、秋季セミナー「Dr. フォーラム」として、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を設けている。

今回で 8 回目となる本セミナーは「2008 年秋の大会」（高知工科大学）の最終日（9/6）より 1 泊 2 日の日程で高知市内の名勝、桂浜そばにある国民宿舎

桂浜荘にて開催した。

今年度のセミナーには新進気鋭の講師 6 名を含む 22 名が参加し、初日 4 件、2 日目 2 件の講演発表（1 件当たり質疑応答を含め約 1 時間）が行われた。開会に先立ち高木 敏行計算科学技術部会長（東北大学）からご挨拶を頂き、座長には田中 伸厚教授（茨城大学）、山口 彰教授（大阪大学）にご担当頂いた。講演テーマ（所属・講演者）は以下の通り。



開会の辞（高木 敏行教授，東北大学）



講演での質疑応答の様子（JAEA・久語 輝彦氏）

- (1) Experimental and Analytical Modeling of Natural Circulation and Forced Circulation BWRs Thermal-Hydraulic, Core-Wide, and Regional Stability Phenomena
(電力中央研究所・古谷 正裕氏)
- (2) 核特性予測値の不確かさの評価と低減のための拡張バイアス因子法に関する研究
(JAEA・久語 輝彦氏)
- (3) 飽和およびサブクールプール沸騰の限界熱流束機構の研究
(JAEA・小野 綾子氏)
- (4) 単純せん断流中の気泡に働く揚力に対する界面活性剤の影響
(東芝・福多 将人氏)
- (5) 鉛ビスマスと放射性不純物の蒸発特性に関する実験研究
(JAEA・大野 修司氏)
- (6) 気液界面数値モデルの構築
(東京理科大・米本 幸弘氏)

講演では、原子力プラントに直結する実践的な（マクロな）研究から物理現象のマイクロな機構説明に関する研究まで、幅広いテーマについて会場から多くの質問やコメントがあり白熱した議論が展開された。例えば(3) 飽和およびサブクールプール沸騰の限界熱流束機構の研究では、研究で検討した沸騰モデルに対し会場から過去の知見等を踏まえた多くの質問・コメントがあり、次代を担う研究者が検討済みの知見に対してはそれに対する見解を明確にし、あるいは研究者自身が新たに知見を知るといったように、熟練研究者から次代を担う研究者への技術伝承が本セミナーでなされているという実感があつた。

本セミナーでは、比較的まとまった講演時間で最先端かつ完成度の高い研究成果の内容が聴講できること、また質疑応答に十分な時間がとれることで研究内への理解や熟練研究者からのアドバイス（技術伝承）が得られることで、講演者のみならず参加者各位の研究にも大いに参考になったものと思われる。

初日の講演後には、三島 嘉一郎熱流動部会長（京都大学）のご挨拶で恒例の懇親会を開宴し、研究以外を含めた幅広い交流の場となった。今回のセミナーでは、懇親会終了後に場所を改め（大部屋宿泊室）2次会と称した更なる親睦会が行われた（宿泊者のほぼ全員が参加）。そこでは、これまでの原子力熱流動・計算科学の歩みに関する様々なエピソードを聞くことができ、良い意味で若手と熟練研究者との交流の輪が広がったものと思われる。



親睦会の様子（2次会）



閉会の辞（秋本 肇氏，JAEA）



Dr. フォーラム参加者で記念撮影（2日目）

2日目は後半2件の講演の前に参加者全員の記念撮影を行い、前夜遅くまで交流した疲れも見せず初日同様講演内容に対する活発な討議が行われ、閉会の辞を秋本 肇熱流動部会副会長から頂くとともに、全プログラムを成功裏に終了することができた。

本セミナーを開催するにあたり、講演者の方々をはじめ関係者の皆様に多大なご協力を頂いた。本紙をお借りして改めて厚く御礼申し上げます。

また企画委員会では、本セミナーを含め次代を担う若手研究者の会員各位への紹介ならびに熟練研究者との交流について、より効果的な方法を模索しています。会員皆様方からご意見・ご提案がございましたら遠慮なく企画委員会宛にご連絡頂ければと思います。（連絡先：takata_t@see.eng.osaka-u.ac.jp）

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 sou@maritime.kobe-u.ac.jp
kazuaki.kito.vp@hitachi.com

熱流動部会ホームページ:

<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。