

**特筆すべき教育・研究・診療・社会貢献活動等への取組と成果，世界的位置付けなど。****( 評価年次報告「卓越した教育研究大学へ向けて」で報告する内容 )****< 特筆すべき教育活動 >**

本研究所は、流体科学の国際研究拠点として、教育活動においても以下のような特徴的な取り組みを行っている。

**グローバル COE プログラムによる大学院生の海外派遣および外国人学生の受け入れ**

グローバル COE プログラム「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」の重点配分プログラムとしての採択に伴い、国際インターンシッププログラムによる外国人大学院生の受け入れ、東北大学の学生の派遣を推進している。その数は、平成 21 年度の受け入れ 8 名、派遣 5 名であった。派遣もしくは受け入れた大学院生には、インターンシップ開始前後に 2 回のインタビューを実施し、趣旨の理解に努めると共に、派遣先から週報を送信させてプログラムの経過を確認し、終了後、成果報告書の提出を義務づけている。その成果は本グローバル COE のホームページで公開している。また、「国際若タケノコ発掘プログラム」においては国内外の優秀な学生に博士後期課程入学後の支援を約束することによって、博士後期課程進学を促している。平成 21 年度は国内で 5 名の学生を新規に採用し、全体で国内で 17 名、海外から 1 名の学生を採用している。さらには、優秀な大学院生に対して、「国際出る杭伸ばす教育プログラム」で研究費の支援を行い、「グローバル回遊教育プログラム」で文化が異なる複数の国に数ヶ月から 1 年程度滞在し、研究のみならず人の交流や文化を習得させることによって、国際的にリーダーシップを取れる人材を育成する基盤を整備している。また、平成 21 年 9 月にはフランスの 2 大学 (ECL, INSA-Lyon) 並びにフランス国立科学研究センター (CNRS) と共同で、「東北大学ーリヨンサマースクール」をフランス・リヨンにおいて開催し、東北大学から 20 名の大学院生が出席した。

**国際宇宙大学、HOPE ミーティングへの派遣**

流体科学研究所では、毎年 6 月から 8 月にかけて海外で開催され、国際人および将来の研究者を育てる観点からも評価が高い国際宇宙大学に、平成 2 年より大学院学生を毎年派遣している。平成 21 年度は 1 名の大学院生を派遣した。このプログラムにより平成 21 までに派遣された計 22 名のうち、13 名が大学教員やポスドク、研究機関の研究員になっており、その他でも 3 名が航空宇宙関連企業に就職するなど、教育的効果が著しい。また、平成 21 年度は、主として化学およびその関連領域に学ぶアジア地域 14 カ国の大学院生 104 名が参加した「HOPE ミーティング」に大学院生を 1 名派遣した。

**国際会議研究発表を通じたの大学院学生の国際教育**

平成 21 年度は 11 月にグローバル COE プログラム「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」による国際会議および研究所主催による国際会議 (AFI/TFI) の合同会議を開催し、大学院生の英語による研究発表、国内・国際雑誌への論文執筆指導を積極的に行った。また平成 22 年 3 月に、リヨンー東北理工学ジョイントラボラトリー (ELyT ジョイントラボラトリー) 事業推進の一環としてフランスで開催された「2010 Annual ELyT Workshop」で大学院生が研究発表を行い、多数の外国人研究者との研究交流を行った。

### 流体研独自の大学院生向け研究発表会の開催

大学院学生への研究指導の取り組みは、分野横断セミナー、流体融合研究センター報告会、グローバル COE プログラム研究交流会における大学院学生の研究発表など流体科学研究所独自の機会を設け、通常のカリキュラムを超えた対応を行っている。また、平成 21 年 11 月に開催されたグローバル COE プログラム「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」による国際会議では、学生主導のセミナーを開催し、海外の学生 57 名らが研究発表を行い、英語による研究の議論を行った。平成 21 年度は、このような学生が主体となって運営する国際会議を 5 件(グローバル COE 航空宇宙流体科学サマースクール 2009、the 4th Tohoku University - Seoul National University Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicles、 the 5th International Students / Young Birds Seminar on Multi-scale Flow Dynamics、 the 10th Japan-Korea Students' symposium - Fast Ion Transport in Solids and Through Interfaces - The Related Materials and Phenomena、 2nd International Seminar of Frontier of Energy Flow Dynamics in Atomistic and Electronic Scales) 開催し、学生の発表や研究討論の場を提供しながら、研究組織運営とリーダーシップの訓練を行っている。さらに、平成 21 年 7 月には「第 2 回流動ダイナミクス国際若手研究発表会」を開催し、学生同士が発表に対するピアレビューを行い、上位 3 名の優秀発表者を表彰して研究費を配分している。

### 国際高等研究教育院への講師派遣

国際高等研究教育院へ講師を派遣して、流体科学一般の教育および異分野との融合研究に関する講義を行っている。平成 21 年度には、国際高等研究教育機構における指定授業科目を本研究所の教員 11 名が担当し、さらに、融合領域研究合同講義を 1 名が担当した。また、本研究所の教員が指導教員を務める学生 2 名が平成 21 年度に博士課程に進学し国際高等研究教育院の博士教育院生として在籍している。

### < 特筆すべき研究活動 >

流体科学研究所は「流動に関する学理およびその応用研究」を設置目的とする、特色ある研究所として国内外で高く評価されている。一例として、平成 20 年度には本研究所の南部健一名誉教授が「流体工学研究」によって紫綬褒章を受章した。これは本研究所としては歴代で 2 人目の受章である。また、過去にも日本学士院賞受賞者を 2 名、文化功労者を 2 名輩出している。流体研の教員に対する国際的な評価は、国際会議における招待講演(平成 21 年度 20 件)や著名な国際学術雑誌のエディターや編集委員(平成 21 年度 11 件)などの実績によっても知ることができ、これらは流体科学研究所研究活動報告書によって毎年公表されている。

民間による国内研究教育機関の学術分野別ランキングにおいて、流体工学の分野で 1 位(世界ランク 5 位以内)、流体物理学の分野で 3 位、熱工学の分野で 8 位にランクされている(河合塾編「学問前線 2006 理科系 100 分野の大学学科・専攻ランキング」による)。また、平成 21 年度の教員 1 人あたりの科研費獲得件数は 0.83 件である。

本研究所は、低乱熱伝達風洞、衝撃波実験設備など大学の設備として稀な大型実験設備を活用し、実験の分野での先端的研究成果を創出している。さらに、流体科学研究所の強力なツールであるスーパーコンピュータを平成 2 年に国立大学附置研究所として初めて導入し、数値流体力学の分野で先

進的な研究を推進すると共に、スーパーコンピュータと実験装置を融合させた新しい流体融合研究手法を提唱し、「流体融合研究センター」を中心として生体・医療、航空、ナノ・マイクロシステム、原子炉プラントなどへの応用を進めている。また、エアロスペース、エネルギー、ライフサイエンス、ナノ・マイクロの4つの所内研究クラスターを設置して分野横断型の応用研究を推進すると共に、特色ある産学連携研究、国内研究機関との連携事業、リエゾンオフィスを活用した国際共同研究プロジェクトを積極的に推進している。

国際交流では、平成22年8月現在で本学のリエゾンオフィス6件について本研究所が中心的な役割を果たし、全学の学術交流協定30件(うち10機関については本研究所が筆頭世話部局)、部局間学術交流協定は18件について本研究所が世話部局となっており、本学の国際交流に貢献している。また毎年、リエゾンオフィス代表者会議を行い、海外拠点活動を積極的に進めている。さらには、本学の国際交流戦略室委員等の委員に積極的に参加し、国際交流の推進を担っている。

本研究所における高水準の研究活動は、平成20年度に実施された大学評価・学位授与機構の研究に関する評価「I. 研究水準」において、1. 研究活動の状況および2. 研究成果の状況のいずれも最高評価S「期待される水準を大きく上回る」を得ている。また平成20年度に共同利用・共同研究拠点「流体科学研究拠点」の申請を行い、平成21年6月に文部科学省より認定された。

以下に代表的な研究活動について述べる。

#### 次世代融合研究システム（スーパーコンピュータ）による流体融合研究

本研究所は平成2年12月にCRAY YMP8を導入して以来およそ20年間にわたるスーパーコンピュータ運用の経験を通じて計算機の運用やネットワーク構築・運用において極めて高度な技術を蓄積しており、広範な形態の利用ニーズに対応できる。これまで、重点研究課題に対する国際研究プロジェクトの実施など、乱流、分子流、プラズマ流、衝撃波などの様々な流体科学の分野で優れた成果を挙げてきた。さらに、実験と計算を一体化した新しい研究手法（次世代融合研究手法）を用いて流体科学の諸問題を解決するために流体融合研究センターを設立し、航空力学や原子炉プラントなどへの応用を進めている。スーパーコンピュータを利用した研究は年度ごとに審査され、その評価実績によりその後の計算時間が割り当てられる。平成21年度中に下記に示す研究プロジェクトが終了し、成果を上げた。また、このほか21年度末現在で21件のプロジェクトが進行中である。

- 1) 航空宇宙分野における高次精度計算手法を用いた高Re数流れの乱流解析
- 2) 非平衡超音速流における輻射流体現象の数値的研究
- 3) 燃料電池固体高分子膜の劣化に関する量子・分子動力的検討
- 4) 直交格子CFDの工学的実用化のための研究
- 5) 燃料電池白金触媒表面の水素解離確率に関する研究
- 6) 極低温スラッシュの混相流動特性に関する融合計算
- 7) ヘテロ系における熱伝導の分子動力学機構
- 8) 分子膜の輸送特性に関する分子動力学解析
- 9) 高クヌッセン数流れの数値解析
- 10) 超音波計測融合血流シミュレーションの研究
- 11) 乱流場の計測融合シミュレーションの研究
- 12) 予混合火炎のダイナミクスに及ぼす放射の影響：固有不安定性と放射の複合効果
- 13) 液体ロケットターボポンプに発生するキャビテーション現象の諸問題

- 14) 高圧・高速下の気液二相流体システムの安全性評価解析技術の開発
- 15) 流体 - 構造連成解析による生体内現象の解析
- 16) 斜め衝撃波と干渉する壁面噴射場の混合促進効果に関する数値解析
- 17) ダウンスケーリングによる気象予測の研究
- 18) CFDによる未来型サイレント超音速機旅客機の研究
- 19) 数値流体力学解析の医療現場および医療機器への活用に関する研究
- 20) 極低温スラッシュ流体中の伝熱機構に関する数値解析
- 21) 3次元ナノ構造作製のためのプラズマエッチング形状予測シミュレーション技術の開発
- 22) 劣化により析出した磁性層の磁化過程シミュレーション
- 23) SAM修飾界面における輸送特性に関する分子論的研究
- 24) Measurement-Integrated Airport-Area Simulation for Wake Turbulence
- 25) 直接数値計算による中立・安定・不安定境界層乱流の構造に及ぼす境界層外乱れの影響の解明
- 26) 極超音速流における非平衡輻射流れ場に関する数値的研究
- 27) 高次精度数値流体解析法を援用した風洞試験模型変形効果分離手法に関する研究
- 28) Kinetic Force Method for Two-/Three-Dimensional Numerical Modeling Relaxation of Rarefied Gas flows
- 29) 大規模環境におけるエネルギー移動評価とその解析
- 30) 超高速化量子分子動力学法による大規模シミュレーション

#### 血流速度を治療現場で算出する手法の研究開発

破裂すれば脳卒中となり助かっても重篤な後遺症を残しやすい脳動脈瘤の治療について、その低侵襲性から血管内治療が注目されている。本治療は医師の高度な技術により行われていることが多く、画像から診断をすることで、現在の診療と治療が一体となることでより安全で確実な治療ができると考えられている。この治療法を工学的な観点からみると、治療デバイスを用いて血流を減少させることであり、脳動脈瘤内の血流を血管造影画像診断装置等で測定することができれば、治療方針を素早く立てることや治療効果を判断することができるようになる。本研究では画像より血流速度を算出する方法として、血流が瘤内では渦を形成することを利用し、渦の動きから速度を算出する手法の妥当性を検証した。この手法は、デバイスを留置後の速度算出は他の画像診断装置では全く代替法がないため、特に留置後の算出方法として注目を浴びている。その結果、本手法は非常に精度良く速度を算出できることを明らかにした。

本研究成果は直ちに産業界から注目され、産業界と共同研究によりその実現を行い地域活性化を図っていくための事業である経済産業省地域イノベーションに企業と共に採択された。さらに、本手法を用いて医療デバイスの評価を行うことで、医療現場に直接寄与する研究成果も発表されるなど、医療現場・医療教育・研究・社会的貢献へ大きく広がりを見せている。

#### 極低温マイクロ固体窒素粒子連続生成法の開発と異分野融合領域への応用

次世代の高密度・高機能性流体としての利用が期待される極低温マイクロ固体窒素粒子の生成に関する新型融合数値解析法を開発するとともに、二流体ノズルを用いた微細固体窒素粒子連続生成技術に関する基礎実験を世界に先駆けて成功させている。本研究は、マイクロ・ナノオーダーの極低

温高密度エネルギー媒体を異分野融合型の技術領域に適用することにより、機械工学、低温工学、半導体デバイス工学、医用工学の複数分野にまたがるサステナブル低炭素・環境調和型・低エミッションエネルギー循環システムを創成し、グリーン・イノベーションの推進に寄与することを目指している。マイクロ固体窒素粒子の噴霧流は高発熱密度を有する次世代大型コンピュータプロセッサ用超高熱流束冷却、アッシングレス・ドライ型半導体ウエハー洗浄としての応用が期待され、また、スラッシュ流体として適用することにより高温超伝導(HTS)ケーブルの新型冷却法の開発が期待されている。さらに、本研究成果に対して、Cryogenics Best Paper Award 2009 (ICEC 23- ICMC 2010、第23回国際低温工学 - 2010 国際低温材料会議、プロツワフ工科大学、ポーランド、2010年7月22日)が授与されている。本賞は低温工学における最も権威ある国際誌"*Cryogenics*" (Elsevier B.V.)において1年間に掲載された論文の中から最も優れた論文1編に対し贈られる賞であり、低温工学分野の学術的進展に格段の貢献をなした業績が評価されたものである。

### 流体解析を用いた形状最適化

遠心型送風機の極限性能を実現するための設計技術として、新たなコンピュータ支援設計技術を開発した。研究の特徴としては、単に最適化を行うのではなく、計算結果のデータベースから設計指針を得るためにデータマイニング技術を適用していることである。研究成果を利用して設計された洗濯乾燥機は日立から商品名ビッグドラムとして販売され、これまでに22万台以上の販売実績がある。その技術開発に対して平成20年度日本機械学会東北支部技術研究賞が贈賞されており、その研究内容を論文としてまとめた業績は平成21年度日本機械学会賞(論文)を受賞した。その後も、ハードディスク内部流れ、掃除用送風機など多岐にわたる家電用品へ適用し、設計知識の発見を試みている。本研究は、東北大学と日立製作所の組織的連携協定に基づく共同研究として実施された。

### ナノ粒子を用いたふく射伝熱制御技術の開発

太陽光の可視および近赤外線領域において、可視光の反射率を低くして、太陽光エネルギーの約半分を占める近赤外光を多く反射する遮熱塗料の研究を行っている。これは、ナノ粒子の吸収率および反射率を能動的に制御することで、可視領域の反射率低減および近赤外領域の吸収率低減機能を有する波長選択性ふく射制御機能膜で達成されることが明らかとなった。ふく射解析では、ナノ粒子の粒子径、粒径分布および粒子密度を最適化する機能膜の特性解析を行っている。また実験では、酸化チタンや酸化鉄、酸化銅を使用した機能膜を製作し、解析結果との比較を行っている。本研究の成果は自動車塗装や建築物の外壁における省エネルギー化に大きな寄与をもたらすことができると考えられており、2件の特許を出願している。これまでに得られた成果は、ふく射伝熱の分野で世界的に権威のある国際誌Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transferに掲載され、Science Direct 主催Top 25 Hottest Articles(2009年1-3月)の6番目に選ばれるなど、高い評価を得ている。本業績は、米国機械学会伝熱会議(2009年6月、サンフランシスコ)ならびに、第3回マイクロ・ナノテクノロジー国際シンポジウム(2010年3月、ソウル)で招待講演として発表されている。

### 実験と計算の統合解析によるエンジン燃費改善用の省電力型空気活性化ジェットに関する研究

エンジン燃費改善用として、小さな消費電力で放電し高活性化した空気ジェットの生成とその最適化に関する研究を強力に推進している。実験と計算の統合解析で誘電体バリア放電により、空気

から高濃度で長寿命のオゾンや酸素ラジカルを発生させるための、電極材料や電極構造、電圧、周波数さらには吸気量等の作動条件を明らかにした。自動車メーカーとの共同研究により、数十ワットの電力で作動する約2,000 ppmの高濃度オゾンジェット装置を2輪車吸気管に取り付け、吸気の一部を高活性化することにより、特に低負荷・低回転時に燃費が改善することを世界で初めて検証した。また、空気活性化装置は、エンジン低回転時のみに作動するようにし、印加電圧が高すぎると吸気管等で着火する危険性があるため、低電圧・高周波数でオゾンが発生させるようにした。これらの成果は、日刊工業新聞に掲載し、特許公開している。さらにこの技術は、アイドリングや低速走行時に有効で、乗用自動車や発動発電機などのエンジンにも応用できる可能性がある。この成果を進展させ、自動車メーカーと四輪車への適用に関する共同研究を新たに開始した。

### コンピュータ融合生体計測による医療の高度化

コンピュータシミュレーションと計測を融合した高度生体情報計測手法を確立し、循環器疾患機序の解明と新規治療法を開発することにより、循環器疾患における医療水準を画期的に高度化することを目指している。心臓循環器系、癌研究、リンパの流れなど生体内の流れの先端研究の飛躍的な進展のため、生体内血流を非侵襲リアルタイムに評価する超音波画像装置と大規模流動解析・構造解析を行うスーパーコンピュータを融合した計測連成シミュレーション手法を構築し、血流の3次元構造や壁せん断応力を明らかにして循環器疾患の機序の解明や新しい治療法の確立を実現するための研究を、流体工学、情報科学、医学の研究者が連携して推進している。超音波可視化装置とスパコンを一体化した超音波計測融合血流解析システムのプロトタイプを世界に先駆けて開発することにより、コンピュータ融合生体計測の臨床応用に向けた研究を推進している。

本研究は、科学技術振興機構の「先端計測分析技術・機器開発事業」として実施され、平成18年度78,000千円、平成19年度76,700千円、平成20年度83,200千円、平成21年度50,700千円を受託している。

### 温度分布制御型マイクロフローリアクタによる代替燃料の燃焼に関する研究

従来から加熱されたマイクロチャネル内の燃焼特性の研究に取り組み、これまで燃焼を利用することの出来なかった微小装置内で燃焼現象を利用するための基礎研究をロシア科学アカデミーと共同で進めてきた。世界的にも他に例のない独自技術であるため、予想されなかった現象が確認されていたが、この基礎研究系が様々な燃料の着火特性、燃焼特性の評価に使用できることが判明し、次世代内燃機関として期待されているHCCI機関の開発成功の鍵となる代替燃料の一般的燃焼特性評価への適用を開始した。その結果、従来専用のエンジンが必要であった燃料のオクタン価を、低温～高温域にわたる複数の分離した酸化発熱過程として評価することに成功した。このことは、反応制御を行うための化学反応研究を共通の土俵で行うことが出来ることを意味しており、今後の研究開発に多大なインパクトがある。その結果、同手法の研究開発用の装置としての市販化が決定し、これまで国内自動車メーカー、重工メーカー、宇宙航空研究開発機構と行ってきた共同研究に加え、さらに新たな共同研究申し出を受けており現在調整中である。また世界的に権威ある学術雑誌（2009IF3.5など）に発表した関連論文3編の被引用数は約5年で95回を数えている。これらを受け、22年夏には世界で最も権威ある国際燃焼シンポジウムでの基調講演に招へいされている。

### バイオテンプレート極限加工による3次元量子構造の制御と新機能発現に関する研究

平成 15～19 年度の文部科学省リーディングプロジェクト「ナノテクノロジーを活用した新しい原理のデバイス開発」をベースに、平成 21 年度から科学技術振興機構(JST)・戦略的総合研究推進事業(CREST)に採択された研究プロジェクト(6 年間)である。ナノテクノロジーとバイオテクノロジーの融合によって無欠陥量子ドットの作製を行うと、室温で量子効果が発現することを既に実証している。この量子ナノ構造作製手法は従来自己組織化に頼っていた量子ナノドット作製手法では実現が不可能であった直径 10nm 以下の量子ドットを均一に高密度に形成でき、将来の量子効果デバイスの特性やデバイス応用を革新的に変える可能性を秘めている。本研究では、バイオナノプロセスによって形成された 2 次元シリコンナノディスクアレイは、高い電子閉じ込めの効果を持ち、ナノディスクの厚さによってバンドギャップを制御できるため、量子ドット太陽電池の構造として有望であることを示した。

### 超低誘電率層間絶縁膜形成技術に関する研究

32nm 世代以降の先端 L S I デバイスにおける層間絶縁膜として、誘電率が 2.0 を切る超低誘電率膜が求められている。本研究プロジェクトは、半導体デバイスメーカーのコンソーシアムである半導体理工学研究センターとの産学連携プロジェクトであり、中性粒子ビームを用いた超低誘電率膜形成技術の研究を行なっている。中性粒子ビームの使用に加えて、基板温度の最適化・パルス変調の最適化により材料ガスの吸着確率を向上させることで、世界最高レベルの極低誘電率 1.3、モジュラス 5 以上を実現した。

### オンウエハモニタリング技術の開発

プラズマプロセスにおいては、基板表面に蓄積する電荷量や基板に照射される紫外線によってデバイスが深刻なダメージを受ける問題が生じる。本研究では、プラズマプロセスにおけるダメージ抑制のため、基板蓄積電荷や紫外線照射量を定量的に測定できるウエハ状のセンサ「オンウエハモニタリングセンサ」を開発し、その測定に成功した。また、オンウエハモニタリングで得られたデータを基にシミュレーションを行うことで、基板蓄積電荷によるエッチング形状異常の予測や、基板に照射される紫外線スペクトルおよび紫外線照射損傷量の予測に成功している。さらには、半導体装置メーカーおよび半導体デバイスメーカーでの実証実験を積極的に進めており、ラム・リサーチおよび東京エレクトロンと共同で、低誘電率薄膜加工時の紫外線照射ダメージの予測の可能性を実証した。

### 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) との連携事業の推進

東北大学・JAXA連携協力協定のもとで共同研究を推進している。流体科学研究所では、平成21年度は客員教授として溝渕泰寛氏(4～9月)を招聘し、引き続き下記に示す共同研究を行った。

- 1) 後方乱気流の航空機におよぼす影響の研究
- 2) ソニックブーム長距離非線形伝播音響解析ツール開発およびソニックブーム波形に対する大気
- 3) 局所気象シミュレーション利用した乱気流検知システムの高性能化
- 4) 極低温混相流制御技術の研究
- 5) ブレード設計変数の自由度を高めたヘリコプタ用最適化コードの構築
- 6) DLC被膜の真空中における耐摩耗性向上の研究
- 7) 音響共振と連成するキャビテーションサージに関する研究

これまでに、テーマごとの研究連絡会議をそれぞれ実施し、また学術講演会でのオーガナイズド・セッション企画や研究発表を行っている。平成22年3月に共同研究報告会を実施、今年度の成果を確認し、次年度の取り組みについて協議した。また、グローバルCOEプログラム「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」の一環として学生がサマースクールを企画、JAXAの若手研究者にも参加を依頼し、研究交流を行っている。

### 高経年化対策強化基盤のための安全研究の総合的推進

高経年化が進行しつつあるプラントの寿命予測精度を向上させ、その科学的合理性を担保するため、劣化メカニズムに着目し、実験的手法及び解析的手法により劣化現象の解明等を行うことを目的として、(株)インテリジェント・コスモス研究機構と原子力安全・保安院との間で締結された委託研究の再委託研究に参加した。本研究は東北大学を含め主に東北・北海道地域の12大学と1研究機関、2民間企業によって推進され、主に以下の内容について研究を行った。

- 1) SCCき裂進展則の高精度化
- 2) SCC初期き裂発生・進展メカニズムに関する微視的研究
- 3) プロアクティブ材料経年劣化と潜在事象・潜在メカニズムの評価と対応策調査
- 4) FAC(流動加速腐食)対応研究
- 5) LDI(液滴衝撃エロージョン)対応研究
- 6) 減肉の定点監視及び広域監視による評価技術に関する研究

平成21年度は流体科学研究所として、主にテーマ1)、4)、5)、6)に取り組んだ。「FAC(流動加速腐食)対応研究」および「LDI(液滴衝撃エロージョン)対応研究」として、オリフィス下流流れ場での物質輸送の計測融合解析・評価や液滴-固体相互作用に基づく液滴衝突局所応力場の高時間解像度解析を実施し、流動誘起損傷事象のメカニズム解明に向けて、流体の観点からの解析や評価を行った。配管系でのLDIに寄与する液滴の発生する場所を特定する解析モデル・評価法やFACに着目した配管減肉予測技術の確立に貢献する研究を実施した。また「減肉の定点監視及び広域監視による評価技術に関する研究」については電磁超音波-渦電流マルチセンサによる高温環境モニタリングに関する研究およびリモートフィールド渦電流探傷法による配管減肉評価手法の開発に関する研究を実施するとともに、従来法も含めた様々な手法の実機適用性の課題点についてベンチマーク試験を通して分析を行った。成果は、配管減肉検査の規格化に寄与するものである。国内外において課題とされているNi基合金溶接部の検査について、先進的検査を適用し、基本性能試験を通して、その精度を検討した。健全性評価制度が適用し難く検査性が悪い箇所についての構造健全性の向上に資するものである。

### 原子力発電所における配管減肉予測システムの開発に関する共同研究

原子力の安全確保に関する対策を講じることは国家の安全にとって最重要課題であり、産学官連携の観点から考えても大学が原子力産業の安全面・危機管理に対し果たす役割は非常に大きいと言える。原子力発電所において最も多くトラブルが頻発し重大事故に直結する事象となりうるのが、配管系における減肉現象である。減肉とは高速流動・腐食(エロージョン・コロージョン)その他の要因により配管内部の材料組織が浸食され、配管に穴が開き、ついには破断に至る現象である。これは原子炉内配管が非常に複雑な形状を有し、なおかつ高温・高速という非常にシビアな条件で配管内流動が行われているからであり、現在のところ減肉現象を事前に予測あるいは未然に防止する



ことは非常に困難である。本研究は、東北電力(株)との共同により原子力発電所の配管系における高速熱流動現象を明らかにし、トラブルの発生箇所・原因を事前に予測するシステムを確立することを目的とする。

平成21年度は、実際の原子力発電所内で使用されている配管を模擬した計算格子を作成し、エルボー配管に生じる液滴衝撃エロージョン(LDI)減肉現象の解明に適応する解析モデルと数値計算コードを独自に開発した。本数値解析コードは従来型の初期液滴径を仮定した蒸気流解析コードとは異なり、凝縮現象に基づく液滴の自動生成と液滴成長・蒸発モデルが組み入れられている。本解析コードにより、相変化を伴う蒸気-液滴高速二相流の熱流動場ならびにLDIに伴う配管内蒸気流における液滴径の定量評価が可能となり、また、エルボー部におけるエロージョンレートに関する定量予測を行うことに成功した。これにより、実際の配管点検作業を行うこと無しに減肉の発生部位ならびに減肉量の予測を行うことが可能となっており、原子力配管安全管理におけるCFDを用いた新しい形のリスクマネージメント手法を開発したと言える。また、出口圧力の相違が液滴生成・液滴衝突速度におよぼす影響に関し詳細な数値流体力学的検討を行い、与えられた出口条件で減肉量の抑制に要する最適なオリフィス形状を選定するための基礎熱流動データの取得が可能となっている。

#### 国際リエゾンオフィスを活用した国際研究協力活動

東北大学が推進している11件の国際リエゾンオフィスのうち6件のリエゾンオフィスの交流活動の展開については、本研究所が中心となる役割を担っており、国際交流と国際共同研究を戦略的かつ多角的に推進している。平成21年度は、グローバルCOEプログラム「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」、CNRS(フランス国立科学研究センター、フランス)のLIA(Associated International Laboratory)事業に基づく国立中央理工科学学校リヨン校/国立応用科学院リヨン校/CNRS/東北大学間の協力によるリヨナー東北理工学ジョイントラボラトリー(ELyT ジョイントラボラトリー)、JSPS 先端研究拠点形成事業 Core to Core プログラムといった大型国際交流事業を展開する上でリエゾンオフィスは重要な役割を担うとともに、これらの事業により交流活動に加えて活発な国際研究協力を行った。また、平成21年11月に「第6回流動ダイナミクスに関する国際会議」におけるリエゾンオフィスセッション開催や、平成22年3月にELyT ジョイントラボラトリーの2010 Annual ELyT Workshop をフランスで開催する等の活動を行った。主な研究協力活動は以下のように行われた。

##### (1) ジョイントラボラトリー活動

流体科学研究所で進めている流動ダイナミクス国際融合ジョイントラボラトリー(FLOWJOY)は、平成19年2月にリヨンで行われた日仏ジョイントフォーラム(東北大学100周年、ECL150周年、INSA-Lyon50周年記念事業)で構想された。本研究所では流体科学に関する国際拠点研究機関として、流動ダイナミクスに関する融合的な世界人材のため相互補完的かつ国際研究・教育プログラムの企画・運営を行うことを目的として、平成19年5月に設置要項が制定された。平成21年度は3件のジョイントラボラトリー(大林教授: Biplane project、圓山教授: Trans-continental Energy project、高木教授: DECO Laboratory)が認定されて、積極的な国際共同研究が実施された。

これらの活動の結果、ECL、INSA-Lyon および東北大学と共同で提案したCNRSのLIA事業が平成20年度に採択され、東北大学のジョイントラボラトリーとして、ELyT (Engineering and

Science Lyon Tohoku) ラボラトリーが開設された。平成 21 年度については、5 分野の 25 研究グループのうち、本研究所は 6 グループに参加し、5 分野のうち 2 分野でリーダーを輩出している。ELyT ラボラトリーの運営委員会を平成 21 年 9 月にリヨンで開催して共同研究及び将来計画について確認するとともに、2010 Annual ELyT Workshop (平成 22 年 3 月開催) のあり方について議論した。

(2) JSPS 先端研究拠点事業(Core to core)

JSPS 先端研究拠点事業として、流体科学研究所が提案した「血流・血管・材料における界面流動ダイナミクスの先進医工国際研究コンソーシアム形成」が採択され、平成 20 年度より活動を始めた。この事業では、全ての間人活動の基本となる健康な生活を一瞬に変質、劇変させてしまう血流・血管疾患の対策として、血流、血管および治療器具材料の界面流動(生体流体力学)における本研究所の経験を活かし、臨床を視野に入れた治療法および治療器具の開発(医療工学)に至る広範な分野を網羅する分野横断的な先進的医工学国際研究コンソーシアムを構築することが目標である。シラキユース大学、シドニー大学、ECL、ジュネーブ大学と連携を組み、共同研究、セミナー、研究者交流を通じて先端研究の拠点確立を目指す。平成 21 年 8 月には、2 年間の集大成として、脳動脈瘤用ステント学会を誘致し仙台で開催した。本会ではこれまでで最大規模となり 200 余名が参加するなど、本大会を通じて本事業の目標であるコンソーシアム作成に大きく寄与し、さらに目標を上回る成果をあげた。その他にサマースクールを開催し、リヨンに 6 名のマスター学生が渡航した。1 年目 495 人日、2 年目 459 人日が渡航したが、その大部分が大学院生さらに半数近くがマスター生であり、中にはドクターに行くことを志願したものもいるなど、若手研究者人材育成に大きく貢献した。比較的長期滞在による国際共同研究による実験を行い、論文や国外での発表を多数行った。

(3) 特別教育研究経費 -世界拠点形成事業-

本事業では、所内で多国間共同プロジェクトを幅広く募集し、それに対して上限を 1,500 千円として助成を行うものとしている(平成 21 年度総額 9,156 千円)。助教を含め若手教員が申請者になることを奨励しており、若手教員の国際連携を促進している。主な研究課題は医療(血流)、多機能次世代コーティング、タンパク質輸送現象、熔融マイクロ液滴、磁性コロイド、モニタリング、バイオマスガス、マイクロ燃焼などである。

(4) グローバル COE 「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」

グローバル COE 「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」では平成 21 年度主として以下のような国際研究協力活動を行った。

- ① 平成 21 年 11 月仙台において、第 6 回流動ダイナミクスに関する国際会議：6<sup>th</sup> International Conference on Flow Dynamics を開催し、国内外より 448 名が参加した(うち海外からは 16 カ国 157 名)。
- ② GCOE 国際インターンシップによる留学生を 6 名派遣し(米国、韓国、フランス)、8 名受け入れた(インド、韓国、フランス、中国、オーストラリア、米国)。
- ③ 若手研究者(講師、助教、ポスドク、博士課程後期大学院生) 18 名を国際会議に派遣した。
- ④ 上記の活動を含めて平成 21 年度は、国際協同教育・研究の推進のために、国際会議・研究会・セミナー等を合わせて 27 回開催し、計 1,522 名が参加した。

## <特筆すべき社会貢献活動等>

### 流体研の研究成果を社会に公開する活動

研究成果ならびに学術交流成果についての最新情報を、本所主催による3件の国際会議を毎年実施することによって常に発信し続けている。同様に、本研究所の研究成果をまとめた「流体科学データベース」を平成12年度からホームページ上で一般に公開し、検索・閲覧できるようにしている。

「東北大学イノベーションフェア in 仙台」（平成21年10月14日開催：仙台国際センター）等の研究展示会に本研究所の4クラスターを中心に参加し、研究活動の公開を毎年行っている。

国際会議 Supercomputing 2009 (SC09)（平成21年11月14日 - 20日：Oregon, USA）にて東北大ブース（本学金属材料研究所、同サイバーサイエンスセンターと合同）を出展し、研究者および企業等一般向けに広報活動を行った。

日経産業新聞や河北新報等のメディアに技術記事が掲載され、東日本放送の「東北大学の新世紀」で研究活動を紹介する（平成21年度は3回放映）などメディアを通じた技術公開を行っている。

流体科学研究所報告（邦文）、及びRIFS（英文）を毎年作成し、国内・外の関係研究機関500か所以上に配付している。

### 流体科学に関する一般市民向けの教育活動

一般市民を対象とした公開講座「みやぎ県民大学大学開放講座」を平成17年度から開講しており、平成21年度は、8月28日、9月4日、11日、18日、25日の計5回にわたり「ながれ」をテーマに5人の講師が講演を行った。平成22年度は9月に実施することが決まっている。

文部科学省のスーパーサイエンスハイスクールによる群馬県立高崎高校での出張講演会（平成21年6月22日）や、東北大学サイエンスカフェにおける講演（平成22年2月6日）、工学研究科と共同しての社会人のリカレント教育を目的とした公開講座（一般対象、有料）の実施など市民向けの教育活動に積極的に取り組んでいる。

仙台市科学館で毎年開催される「科学講演会」において、ペットボトルロケットの製作・講習会を実施した。この企画は15年間継続中である。また、ペットボトルロケット出前授業を小学校において毎年行い、平成21年度は仙台市立南小泉小学校（参加者81名）、同鶴巻小学校（参加者91名）、同野村小学校（参加者21名）で行った。

平成21年10月10日 - 11日に開催された「片平まつり」に他の研究所とともに参加し、最先端の研究の公開や小中学生を対象とした研究テーマに関連した科学に関する展示を行った。

### 環境技術に関する社会貢献

本学全体で取り組んでいる教育・研究活動における地球温暖化問題の解決に向けた取組みとして、環境関連分野の研究テーマに積極的に取り組んでいる。本所教員が実施している環境関連研究テーマは、地球温暖化、エネルギー、燃料・燃焼、廃棄物処理、大気環境浄化、水環境浄化、新プロセス・技術、計測技術、運輸・交通、環境哲学の幅広い分野で実施され、東北大学環境報告書2009版にはそのうちの24件のテーマが示されている。