

部局における教育・研究・診療・産学連携・社会貢献・国際化における特筆すべき取組と成果

(1) 特筆すべき教育活動の取組と成果（大学教育改革の支援プログラム（GP等）の採択状況と取組、グローバルCOE等の大型プロジェクトの採択・実施状況などを含む。）

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

工学部・工学研究科との連携による大学院・学部の教育活動

工学研究科と協力して、平成17年度～平成18年度に採択された文部科学省「魅力ある大学院教育」イニシアティブ「フライト実践による航空宇宙フロンティア」を引き継ぎ、平成19年度より文部科学省からの補助金の交付を得て「機械工学フロンティア創成プログラム」を3年間継続して実施している。さらに、本プログラムは、平成22年度より機械系の大学院授業科目「機械工学フロンティア」として引き継がれ、平成23年度は本研究所から4人の教員が担当した。また、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9名が担当している。全学教育の取り組みでは、「学びの転換」を育む研究大学型少人数教育(基礎ゼミ)を、平成23年度は4名の教員が担当した。また、「自然界の構造（流れの科学）」を開講して平成23年度は5名の教員を派遣している。

本研究所は東北大学のダブルディグリー制度に積極的に協力しており、本研究所教員が指導教員を務める学生1名がリエゾンオフィスを通じて本制度を活用し、平成23～平成24年度にダブルディグリー取得に向けた研究活動を展開している。

学術交流協定校からの留学生を対象に、「学術交流協定を利用した学生交流推進プログラム」が平成23年度よりスタートし、平成24年度に本研究所の研究生1名がこのプログラムにより滞在している。

国際宇宙大学ならびに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育成の観点からも高く評価されている国際宇宙大学に、平成2年より大学院学生を毎年派遣している。このプログラムにより平成23年までに派遣された計23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、アジア・太平洋地域から選抜された優秀な大学院生を対象として、ノーベル賞受賞者などの世界の知のフロンティアを開拓した人々との対話や同世代の研究者との交流を図る機会を提供する「HOPEミーティング」に、平成23年度は大学院生を1名派遣した。

国際会議研究発表を通じての大学院学生の国際教育

本研究所主催による国際会議、すなわち、高度流体情報および横断的流体研究融合化に関する国際シンポジウム (International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration, AFI/TFI)、流動ダイナミクスに関する国際会議(International Conference on Flow Dynamics, ICFD)は学生の英語力および国際性向上にとって極めて有効であり、教育活動として果たす役割も大きい。本研究所では毎年継続してこれらの会議への学生の

積極的参加を促して発表する場を提供し、特に ICFD には学生が主体的に企画運営する学生セッションを設けて英語力の向上、国際性の向上を図っている。平成 23 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、学生 328 名(うち外国人 102 名)の参加があった。また平成 24 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の Presqu'ile de Giens で開催された「2012 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。

博士前期課程（修士課程）学生海外発表促進プログラムの実施

本研究所の教員が指導教員を務める博士前期課程（修士課程）学生に国際会議での発表の機会を与えるための旅費支援制度を設けている。これは研究室単位ではなく、本研究所の教育活動として所内大学院生の国際会議参加を促しているものであり、上限額を設定して多くの学生に支援しているプログラムである。平成 23 年度は本制度を利用して 7 名の学生が国際会議に参加し、研究発表を行った。派遣学生は報告書を作成し、本研究所のホームページに公開することで、研究所内外に成果を発信するとともに、本支援プログラムの周知を行っている。

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、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 23 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、英語による研究発表および討論を行う場を設け、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い、80 件の研究発表があった。さらに、平成 23 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 4 件（グローバル COE 航空宇宙流体科学サマースクール、The 6th Tohoku University – Seoul National University Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicle、The 7th International Students / Young Birds Seminar on Multi-scale Flow Dynamics、The 12th Japan-Korea Students' symposium - Fast Ion Transport in Solids and Through Interfaces - The Related Materials and Phenomena）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 23 年 7 月には「第 4 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。

平成 24 年 3 月に学内外の講師を招聘し、「官」「産」「学」の視点による講師の実体験に基づく「冬季流動ダイナミクス知の融合博士学生セミナー」を開催し、学生 21 名（うち外国人 7 名）が参加した。

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 23 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 9 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 1 名が 23 年度に博士課程へ進学し、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。

(2) 特筆すべき研究・診療・産学連携活動の取組と成果**1. 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24年度には本研究所の圓山重直教授が「熱工学研究」により紫綬褒章を受章し、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。紫綬褒章は本研究所において3名受章している。さらに、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23年度26件）や著名な国際学術雑誌のエディターや編集委員（平成23年度13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。

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、平成23年度には新システムに更新するなど、「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。また、本研究所は平成21年6月に共同利用・共同研究拠点「流体科学拠点」として文部科学省に認定された。これに伴い、従来の研究活動に加え、さらに流体科学拠点として公募共同研究を開始した。研究課題は、先行して始めた平成21年度には52件（内国際20件）、22年度には63件（内国際28件）、23年度には77件（内国際30件）、24年度には85件（内国際32件）を数え、22年度には分野横断型公募共同研究プロジェクト「次世代反応流体科学の創成」を立ち上げるなど、精力的に共同研究拠点としての役割を担っている。

これらの研究を支える平成23年度の競争的資金等は、平成23年度単年度獲得額として、科研費155百万円（49件）、GCOE流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点（文科省）249百万円、次世代流体科学の展開に向けた戦略的国際共同研究プロジェクト（日本学術振興会）25百万円、次世代環境適合技術流体実験共用促進事業（文科省）22百万円、高均一高密度・無損傷3次元ナノディスク構造の形成技術の開発（科学技術振興機構）57百万円、超音波計測連成解析による超高精度生体機能計測システム（科学技術振興機構）25百万円、高温酸素燃焼技術の研究開発（新エネルギー・産業技術総合開発機構）28百万円等、合計108件、722百万円になる。

国際交流では、平成24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32件（うち11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19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、国際共同教育小委員会、学術交流協定調査委員会に委員や委員長として積極的に参加し、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

による第一期中期目標期間（平成 16～21 年度）における評価、すなわち「I. 研究水準」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、「II. 質の向上度」1. 質の向上度についても最高評価 S「大きく改善、向上している、または、高い質（水準）を維持している」を得ている。

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 20 年以上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、医療工学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 23 年度中に下記に示す 16 件の研究プロジェクトが終了し、成果を上げた。また、23 年度末現在で 22 件のプロジェクトが進行中である。

- 1) 極低温固液二相スラッシュ流体の流動・伝熱特性に関する研究
- 2) キャビテーション CFD の高度化とエロージョン予測への応用
- 3) 燃料電池白金触媒表面の水素・酸素の解離挙動に関する研究
- 4) 非定常キャビテーション流れにおける揚力特性の定量的予測精度向上に関する研究
- 5) 乱流を伴ったマルチスケール・マルチステージシナリオに対する異分野融合予測科学の探究
- 6) 脳動脈瘤破裂予測のための血流解析
- 7) 翼端渦の大規模変形が崩壊過程へ及ぼす影響について
- 8) 液体水素の熱・輸送物性に関する分子論的研究
- 9) 鋭敏化した Alloy 600 の B-H 曲線形状の変化に関するシミュレーション解析
- 10) 一成分系過冷却液体状態に対する大規模分子動力学計算とモード結合理論の数値計算
- 11) 高温気体下における表面触媒性再結合反応の分子動力学解析
- 12) Building-Cube 法による空力音響解析法に関する研究
- 13) スポーツ用具とスポーツスキルの同時最適化
- 14) サイレント超音速機の超音速飛行特性に関する研究
- 15) 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
- 16) 次世代低騒音ロータのための高信頼性数値解析コードの開発

電磁現象を用いた定量的非破壊検査法の高度化研究

電磁現象を用いた非破壊検査法である渦電流探傷法は、材料の表面の検査に有効であることが知られており、非接触である、信号が電氣的に得られる、水中でも利用できる、などの特徴がある。数値電磁解析技術を用いることで信号を評価できるが、2次元解析や計算時間がきわめて多い3次元解析では実用的な信号の評価が難しいとされていた。

本研究では、きず近傍の電磁現象に着目することで、渦電流探傷法に特化したきわめて高速

な信号予測法の開発に成功した。また、高速な信号予測法を用いたきず形状の逆解析法を提案した。

本研究により、新しい形状のプロブを数値解析支援により開発することができ、深いきずに対する検査法を開発した。さらに、疲労などの劣化事象によって生ずるきずの渦電流信号から逆問題としてきずの形状を求めることが可能になった。これらの一連の研究開発により、定量的非破壊検査が可能となる数値電磁非破壊評価学が構築された。

本成果は、渦電流を用いた非破壊検査法が安全上きわめて重要である溶接部を有する配管等の検査に用いられるなど、原子力発電プラントなどの巨大プラントの安全性や信頼性の向上に寄与することが期待される。この業績により、「平成 23 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞（研究部門）」を受賞した。

分子熱流体・界面・液膜流の学理構築と応用研究

熱流体現象を分子スケールのメカニズムから解明する研究は、ナノテクノロジーの発展と共に微細スケールの熱・物質輸送現象や界面現象が重要な課題となったことや、マクロな輸送現象の特性を決定する機構に対する本質的な理解への要求から、近年になってその重要性が認識されてきた分野である。分子動力学法など物理化学分野の手法を借りた観察結果の提示を超えて、熱流体工学的に有用な現象の具体像を得てその特性を明らかにすることは、方法論が確立されていないことや、明瞭な物性理論が存在しない液体の減少が重要であることなどから、独創的な研究成果の積み上げが必要であった。本研究では、分子系における輸送現象を表す分子動力学表現の検討を通じて、液体中の熱伝導を決定する分子間・分子内相互作用によるエネルギー伝搬を解析する手法を確立した。また、固液界面やポリマー液体の熱・運動量輸送特性を解析し、その特性を示した。これらの成果は、従来の物理化学的概念による液体の構造とは別に「熱エネルギーを伝搬する構造」が存在することを明らかにし、液体の熱物性を決定するメカニズムの理解に示唆を与えると共に、近年応用が進展しつつある自己組織化膜や界面近傍構造における熱輸送現象の解明に発展するなど、液体及びソフトマターにおけるナノスケール熱現象の研究に重要な寄与をなすものである。本研究に対して、日本機械学会熱工学部門業績賞が平成 23 年 10 月に贈賞されている。

大気圧プラズマ流と生体の相互作用の解明

大気圧プラズマ流と生体の相互作用に関する基礎研究ならびに殺菌・医療分野への応用により、世界中で社会問題となっている病原微生物への感染への対策や次世代の高度医療技術の開発を目指している。プラズマ流は、簡便・安全かつ低温で反応性化学種や荷電粒子、光、熱、圧力衝撃などを生成できるため、バイオ・医療分野への応用が近年急速に発展している。これらの研究では、流れによるプラズマ効果の輸送が重要となるため、本研究では流体力学的視点から取り組むことで、プラズマによる生体への干渉機構を世界でも先駆けて明らかにしてきた。特に、大気圧低温プラズマ流の生成法と滅菌方法の開発やその滅菌機構を解明し、次世代滅菌装置の創出における基盤となる研究成果を挙げた。また、液面上のプラズマ流の生成する化学種が、プラズマにより誘起された気液中の流れにより、液中に溶解し輸送されることを明らかにすると共に、プラズマにより液中に生成された安定化学種の中でも過酸化水素が、細胞の不活性化の因子となっていることを突き止めた。これらの成果は、プラズマの特異な要素を抽出する上で不可欠な知見であり、現在新しく立ち上がりつつある「プラズマ医療」分野の基礎学理の構築に大きく貢献している。これらの成果により、日本機械学会環境工学部門研究業

績賞を平成 23 年 6 月に受賞している。

高効率水素エネルギーシステム開発に向けた極低温スラッシュ流体の圧力損失低減

温室効果ガスの排出による地球温暖化、燃料電池の飛躍的な普及、情報技術による電力需要増加に鑑み、極低温スラッシュ水素（液体水素中に固体水素粒子が混在する固液二相流体）と高温超伝導機器を組み合わせた先進的で高効率な水素エネルギーシステムを提案すると共に、実験および数値解析の両面から実用化のための研究・開発を行っている。

スラッシュ流体は高密度流体、融解熱を利用する機能性熱流体として優れた性質を持っている。水素をスラッシュ水素の形態で長距離（パイプライン）輸送する際、スラッシュ水素を冷媒とする超伝導送電を組み合わせ、輸送先においては液体水素を冷媒とする超伝導電力貯蔵を組み合わせると、水素燃料と電力の効率的な同時輸送・貯蔵が可能となる、所謂シナジー効果が期待できる。

高温超伝導送電を組み合わせたスラッシュ水素のパイプライン輸送を想定して、スラッシュ流体の管内流動・伝熱特性について研究を行い、液体と比較して流動・伝熱時に圧力損失低減、伝熱劣化が発生すること、および低減・劣化メカニズムを世界に先駆けて報告した。長距離パイプラインではバルブの使用総数が多くなり、極低温での配管収縮（例えば、長さ 1 m につき 3 mm 収縮する）を吸収するためのコルゲート管（ベローズ）の使用長さも増加する。その結果、圧力損失が急激に増大しシステム性能が大きく低下する。バルブを模擬した収縮・拡大管、コルゲート管においても、平滑直管と同じくスラッシュ流体の圧力損失低減が発生することを報告した。圧力損失低減、伝熱劣化はポンプ所要動力の低減、超伝導線のクエンチ伝播を未然に防止する設計データとして非常に重要である。本成果に対して、平成 23 年 5 月に「低温工学・超電導学会 平成 23 年度論文賞」を受賞した。

長鎖ポリマー液体の熱伝導率:分子間及び分子内エネルギー伝搬の寄与についての分子動学的研究

長鎖状分子の液体は、樹脂や油脂などにおいて典型的であり、その熱輸送現象は、潤滑、コーティング膜、複合材料、化学繊維、生体組織など応用上も重要であるが、その熱伝導特性を決定する分子動学的因子を明らかにすることは、必要な輸送特性をもつポリマー液体を設計したり、ポリマー分子が一定の方向に配向をもつソフトマターや液体の非等方的輸送特性を明らかにしたりするために必要不可欠である。本研究は、長鎖状分子の最も典型的な例である直鎖アルカン分子からなる飽和液について、分子動力学シミュレーションにより熱伝導率を計測すると共に、分子動力学シミュレーションにより初めて観察できる熱エネルギー輸送機構を解析したものである。様々な分子鎖長の飽和液に対する解析により、分子の変形振動（伸縮・曲がり・ねじれ等）により分子内の共有結合に沿って伝搬される力学的エネルギーの寄与が、分子鎖長の増大に伴って分子間のファンデルワールス相互作用によるエネルギー伝搬の寄与に卓越し、分子量数百程度で過半に達することなどを明らかにした。大規模数値シミュレーションによる分子間エネルギー伝搬特性の観測に基づく独自の解析法や、得られた結果のポリマー・ソフトマターの熱物性解析への発展性などが評価され、日本熱物性学会論文賞を平成 23 年 11 月に受賞した。

マイクロおよびメゾスケール燃焼の研究

マイクロ燃焼は、2000 年頃米国エネルギー省の要請で始まった研究分野であり、当初は携

帯機器用の電源開発を主眼として進められた。しかし数年後からは基礎燃焼学の一分野として新展開し、近年では燃焼化学反応分野と融合して新分野を開拓するなど、New concept combustion technology と呼ばれる領域の先端を走っている。当該研究グループではこうした新しい動向を牽引しており、これまでに存在しなかった密閉型の燃焼式熱源（熱源用マイクロコンバスタ）や、燃料多様化に対応する燃焼化学反応研究の新しいプラットフォームとなる、温度分布制御型マイクロフローリアクタの開発に成功している。また、マイクロリアクタは研究機器として市販化され、本田技術研究所でエンジン開発に使用されている。マイクロコンバスタも NEDO 実証研究フェーズ事業を進めており、当初より共同研究を続けてきた IHI によって実用化直前の段階にある（平成 24 年現在）。これらの成果を総括した論文「Micro and mesoscale combustion」は、第 33 回国際燃焼シンポジウムにおいてマイクロ燃焼に関する基調講演・論文（過去 50 余年において日本人は数名）として発表されたものであり、平成 23 年 12 月に日本燃焼学会論文賞を受賞している。

ミニチャネル内の沸騰熱伝達特性の解明

空調機は現代社会にとって必要不可欠であり、また空調機の消費する電力は膨大な量である。したがって、空調機の高性能化・省エネ化は大きなインパクトを持っている。現在、冷媒流路を微細化した高性能空調機用熱交換器の開発が行われており、その最適設計のため、ミニチャネル内を流れる冷媒の沸騰熱伝達特性、圧力損失特性を実験により解明している。また、ミニチャネル内の沸騰熱伝達促進技術を確立するために、表面張力を利用して蒸発を促進する非円形断面ミニチャネルに関する実験も併せて行っている。空調機の作動条件に近い低流量・低熱負荷においてミニチャネル内の沸騰熱伝達率を正確に測定することは難しいため、従来、このような条件下で行われた研究例は少なく、また複数の並列流路を有する扁平多孔管を用いて実験が行われることが多い。しかし、並列流路内を流れる相変化二相流は、不均一な流量分配を生じやすいため、ミニチャネルの本質的な熱伝達特性が見え難いという問題点がある。本研究では、単一流路を用いて低流量・低熱負荷の熱伝達率を正確に測定できる装置を開発し、今まで不明な点が多かったミニチャネル内沸騰熱伝達特性を詳細に解明した。また、円形断面のミニチャネルに比べて、矩形や三角形断面のミニチャネルの沸騰熱伝達性能が格段に高いことを明らかにした。これらの成果により、日本伝熱学会奨励賞（平成 23 年 6 月）を受賞している。

バイオテンプレート極限加工による 3 次元量子構造作製と量子ドットデバイスへの応用

金属微粒子含有タンパク質（フェリチン、リステリアフェリチン）を基板上に高密度に規則的に配置するバイオテンプレート技術と、超低損傷微細加工技術として独自に開発してきた高効率低エネルギー中性粒子ビーム加工技術を融合することで、従来にない高密度・均一サイズ・均一間隔・無欠陥量子ナノ構造の規則配置を作成する技術を開発し、その量子ドットとしての電子的・光学的性質を明らかにしてきた。この技術を用いた超高効率な量子ドット太陽電池・量子ドットレーザーを実現するための研究を、独立行政法人・科学技術振興機構（JST）・戦略的創造事業（CREST）「プロセスインテグレーションによる機能発現ナノシステムの創製（領域総括：曾根純一）」領域における受託研究「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」（平成 23 年度：57,044 千円）として推進している。特に、シリコン（Si）基板上に面密度が 10^{12} cm^{-2} 以上で均一で等間隔でしかも損傷のない 6.4 nm 量子ナノ円板アレイ構造の作製に成功し、シリコンカーバイド（SiC）薄膜とのサンドイッチ構造を

用いた太陽電池作製プロセス技術を確立した。この時、シリコン量子円板構造は量子超格子構造であることを明らかにし、従来の薄膜に比べて光吸収効率が大きく向上し、且つ、発生したキャリア（電子、ホール）の電導性も大幅に向上することを初めて実証した。この単層シリコン量子ナノ円板アレイ構造と SiC 薄膜とのサンドイッチ構造を用いて太陽電池を試作した結果、エネルギー変換効率 12.6% というシリコン量子ドット太陽電池として世界最高値を達成した。この結果は、シリコン量子ナノ円板アレイ構造と SiC 薄膜とのサンドイッチ構造を 5 層程度積層した吸収層をタンデム化することでエネルギー変換効率 40% 以上の超高効率シリコン量子ドット太陽電池が実現できる可能性を実証したもので、シリコンだけを用いた超高効率量子ドット太陽電池の実現に向けた画期的な成果である。

高温酸素燃焼技術の研究開発

二酸化炭素と純酸素からなる酸化剤を用い、非常に高温の状態にまで熱再生した上で燃焼させる手法であり、最初の段階として工業炉のための燃焼技術として確立することを目指している。本技術は、反応物に窒素が含まれないため、原理的に NO_x 排出が無く、排気は二酸化炭素と水のみであるために、二酸化炭素回収貯留（CCS）との相性に優れている。技術の位置付けとしては、現在、石炭燃焼を中心に次世代技術として世界的に注目を集める酸素燃焼と、高性能工業炉のための国産技術として世界的に普及が進み始めた「高温空気燃焼技術」の両者の強みを融合した、究極の高効率燃焼技術と言える。純酸素製造に必要なエネルギーを考慮しても、700 度程度まで熱回収を行う標準技術との比較で 75%、高温空気燃焼と比較して 23% の燃料消費量削減を見込んでいる。新たな国産燃焼技術として、関連燃焼技術への波及効果も期待でき、また技術のコモディティ化を本質的に回避できる新たな燃焼炉設計への応用も期待できる。本研究は、日本ファーンエス株式会社と共同で、NEDO 技術開発機構からの先導研究として実施され、21,968 千円を受託している。

大規模分子動力学シミュレーションによる次世代燃料電池システムの開発

地球温暖化問題に対する解決策の 1 つとして、燃料電池内部の反応物質の輸送現象をスーパーコンピュータを用いた大規模分子動力学シミュレーションにより解析し、効率よく反応物質を輸送できる材料・システムの開発を行うことを目的としている。固体高分子形燃料電池の効率向上のためには反応物質である水素（プロトン）、酸素、水をできるだけ効率よく電極触媒表面に輸送させる必要があるが、これらの物質はナノメートルからマイクロメートルのサイズを有する流路内を移動するため、通常の連続体理論ではその挙動に対する知見を得ることが困難である。本研究では燃料電池内部の様々なナノスケールの物質輸送現象を分子動力学法によりシミュレートし、輸送現象の特性や支配要因を明らかにしてこれら反応物質の輸送に最適な構造・性質を有する材料・システムの設計指針を構築するための研究を行っている。この研究はさまざまな企業や研究機関との共同研究であり、世界に先駆けて日本がこの分野の技術を確立するための一翼を担っている。

本研究は、(独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構からの受託研究「固体高分子形燃料電池実用化推進技術開発／基盤技術開発／MEA 材料の構造・反応・物質移動解析」として実施され、平成 22 年度 23,837 千円、平成 23 年度 19,984 千円、平成 24 年度 26,340 千円を受託している。

超音波計測連成解析による超高精度生体機能計測システムの開発

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系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、流体力学、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、平成22年度53,300千円、平成23年度24,960千円を受託している。

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22年度は客員教授として藤井啓介氏（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) 計測融合シミュレーションを利用したドップラーライダーの信号処理改善
- 3) ソニックブーム長距離非線形伝播音響解析ツール開発及びソニックブーム波形に対する大気乱流効果に関する研究（その3）
- 4) 極低温混相流制御技術の研究
- 5) 不確定性を考慮したソニックブーム予測手法の開発
- 6) 燃焼限界に関する統一理論構築のための極低速対向流実験
- 7) DLC 被膜の潤滑特性の向上に関する研究
- 8) ロケット燃焼器に対する PLIF 計測に関する研究
- 9) マイクロキャビテーションを伴う噴霧微粒化現象に関する超並列融合計算

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合同で行っている。平成24年6月に共同研究報告会を実施、昨年度の成果を確認し、今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。

原子力発電所における配管内液滴衝撃エロージョン予測システムの開発

福島第一原子力発電所の事故に代表されるように、日本における原子力発電所の事故は国家の安全を脅かす重大な問題として浮上している。

原子力技術の安全性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。現在、事故原因と国内の原子力発電所の再稼働に関する議論が活発となっているが、福島第一原子力発電所が水素爆発を誘起した直接の原因は、配管系の故障により冷却水が正常に循環しなかったことが主要因である点に注目すべきである。原子力技術に関

しては原子炉本体の安全性のみに重点が置かれるあまり、冷却システムを構成する配管系の安全性に関しては非常に重要であるにもかかわらず見逃されがちであった。

特に、原子力発電所において最も多くトラブルが頻発し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、(株)東北電力との共同研究により配管内液滴衝撃エロージョン予測システムの開発を行ったものであり、スーパーコンピューテーションの活用による超並列融合計算により、原子力発電所の配管系と高速熱流動をスーパーコンピュータ上に再現し、経年劣化による配管内脆弱箇所・減肉エロージョンの発生箇所・原因を事前に計算予測することが可能となっており、事故を未然に防ぐだけでなく丈夫な配管の設計にも貢献している。今後の実用化により、原子炉保守・点検に要する時間的・人的コストは大幅に軽減化し、極めて安全性の高い原子力発電の運用が可能になると言える。本システムは原発配管の設計データを入力すれば全国の原子力発電所の液滴衝撃エロージョン予測が可能であり、原子力配管系のみならず発電所プラントの安全性を改善する上で非常に重要なシステムとなり得る。

平成 23 年度は、配管内凝縮液滴成長と過冷却度変化に及ぼすオリフィス形状の影響に関する融合型コンピューテーションを行った。その結果、蒸気流の湿り度が上昇した場合、オリフィス下流は超音速流れになり、テーパ型オリフィスでは流速の急激な上昇が起こる可能性があることが明らかとなった。なお、本研究成果に関して、平成 23 年 11 月に 8th International Conference on Flow Dynamics, ICFD2011, Sendai において招待講演が行われている。

国際研究協力活動

(1) 国際リエゾンオフィスを活用した活動

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、リエゾンオフィスを活用した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 23 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ン－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）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 23 年 11 月に東北大においてリエゾンオフィス代表者によるリエゾンオフィスミーティングの開催、平成 23 年 9 月にリヨンで ELyT School in Lyon の開催、平成 24 年 3 月に ELyT ジョイントラボラトリーの Annual ELyT Workshop をフランスで開催する等の活動を行った。

(2) 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 23 年度は 3 件のジョイントラボラトリー（大林教授：Development of Design Exploration Method for Real-World Design Problem by International Collaborations、圓山教授：Measurement of Radiative Properties in Micro-Nano Structure、高木教授：Functionality DEsign of the COntact Dynamics: 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 23 年度については、5 分野の 24 研究グループのうち、本研究所は 7 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毎年リヨンまたは仙台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、Annual ELyT Workshop（次回は平成 25 年 3 月開催）及び学生のためのオータムスクール（次回は平成 25 年秋開催）のあり方について議論した。

(3) 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、東日本大震災の影響にもかかわらず平成 23 年度には下記の国際研究協力活動を進めた。国際会議である、The Eighth International Conference on Flow Dynamics (ICFD2011)（11 月、於：ホテルメトロポリタン仙台、参加者 649 名うち海外からは 18 カ国 206 名）を開催した。また、大学院生等派遣・受け入れでは、GCOE 国際インターンシップにより博士課程後期大学院生を 6 名（米国×2、韓国、フランス×2、ドイツ）派遣し、留学生 5 名（韓国、中国、オーストラリア、スウェーデン、ロシア）を受け入れた。さらに、GCOE グローバル回遊教育プログラムでポスドク、博士課程後期大学院生 3 名（米国・フランス、フランス・中国、韓国・英国）を派遣した。若手研究者（講師、助教、ポスドク、博士課程後期大学院生）15 名を国際会議に派遣するとともに、流体科学研究所からの支援により、GCOE 若タケノコ国際インターンシップにより博士課程前期大学院生を 2 名（米国、オーストラリア）に派遣した。上記の活動を含めて平成 23 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 13 回開催し、延合計 1,214 名が参加した。

(4) 最先端研究開発戦略的強化費補助金（頭脳循環を活性化する若手研究者海外派遣プログラム）「次世代流体科学の展開に向けた戦略的国際共同研究プロジェクト」

国際共同研究に携わる若手研究者を海外機関に長期派遣し、若手研究者の国際的な研鑽機会を拡大するとともに、海外機関との協力関係の強化を図ることを目的とした本プロジェクトに、平成 22 年度より採択された。今後、異分野の研究を同時並行的に推進することによって、共同研究の成果を当該分野に留めることなく、他分野の重要問題の解決と研究の飛躍的な推進に繋げる横断的共同研究体制を構築することを目指している。

平成 23 年度は、平成 22 年度に引き続きマサチューセッツ工科大学に若手教員 1 名を長期派遣し、高度医療に係る国際共同研究を継続して行った。また、フランスの INSA-Lyon への若手教員 2 名、アイルランドのアイルランド国立大学へ若手教員 1 名、および米国シラキュース大学へ若手研究者 1 名の長期派遣を開始し、それぞれの分野における国際共同研究を開始した。また、平成 23 年 2 月には、長期派遣から帰国した教員による研究成果セミナーを開催した。

(5) 共同利用・共同研究拠点「流体科学研究拠点」

平成 21 年 6 月に、共同利用・共同研究拠点「流体科学研究拠点」として文部科学省に認定された。研究者コミュニティの意向をはじめ流体科学を取り巻く学問分野の動向や社会的要請

を踏まえて設定した、①エアロスペース、②エネルギー、③ライフサイエンス、④ナノ・マイクロ、⑤基盤研究の5分野における流体科学に関わる国内外研究者との一般公募共同研究（ボトムアップ型）を実施するとともに、分野横断型公募共同研究プロジェクト（トップダウン型共同研究）を実施している。平成23年度は、一般公募共同研究77件（国内研究機関58件、海外研究機関17件、民間企業2件）実施し、369名（うち外国人88名）が参画した。国内研究者との共同研究のみならず、海外研究者との共同研究も積極的に推進しており、全体の39%にあたる30件の国際共同研究を実施した。

また、平成23年11月に本研究所主催の国際シンポジウムにおいて研究成果報告会を開催し、公募共同研究を実施する国内外の研究者が一堂に会して、研究討論を行った。

2. 特筆すべき産学連携活動

東北大学は、建学以来「研究第一主義」「門戸開放」「実学尊重」の理念を掲げ、世界トップレベルの研究・教育を行ってきた。流体科学研究所の使命として研究成果を広く社会に還元すると共に、産業界への技術移転を推進し、関係機関との連携により産学連携を推進している。流体科学研究所では平成19年度に産学連携室を立ち上げると共に専属の特任教授を雇用し活動を進めている。平成23年度のメンバーは所長、教授2名、准教授1名、客員教授1名、特任教授1名、事務長、庶務係長から構成している。

以下に平成23年度の活動について述べる。

(1) 共同研究の獲得

流体科学研究所では企業との技術交流会を定期的で開催し、流体科学研究所の教員のシーズの報告と企業のニーズの報告を行い共同研究の芽となる技術の発掘に努めている。平成23年度は、受託研究、共同研究、寄附金の合計が74件、約2億7千万円規模となっている。

(2) 外部資金獲得状況

研究費の科研費を除く資金として、委託研究・共同研究の外部資金以外には競争的資金がある。NEDO、JST、JSPSや企業の研究助成金募集案内をホームページに専門ページを設けて教員にニュースを流している。年度初めの教授会で前年度の結果報告を行い教員への啓蒙を進めている。平成23年度は申請13件、採択7件で資金は134,765千円である。

(3) 広報活動

広報活動の一環として展示会への積極参加を進めている。産学連携室では展示会出展を進めるために出展経費の一部負担を目的に予算化を行っており、教員に積極的に参加を促している。平成23年度は下記4件の大きな展示会に参加している。

- ・イノベーションジャパン（2研究室）H23.9.21～9.22（東京）
- ・東京国際航空宇宙産業展2011（2研究室）H23.10.26～10.28（東京）
- ・nano tech 2012（3研究室）H24.2.15～2.17（東京）
- ・東北大学イノベーションフェア2012 in 東京（5研究室）H24.3.15（東京）

(4) 第21回機械系産学懇談会

機械系の産学連携室と共同開催の形で、流体研では2回目となる産学連携に関する研究室紹介と交流会を平成23年12月8日に流体科学研究所で行っている。本研究所から3研究室と多元研から1研究室が研究室紹介と見学を行った。その後の交流会では22社33名の企業からの参加があった。学生も出席して企業の人と話をする良い機会であった。

(5) 流体科学研究所／企業との技術交流会

流体科学研究所はH社と定期的な技術交流会を行っており、受託研究に繋がる様な研究題目

で討議を行っている。技術交流会の設定を始めとして、研究の開始、研究の内容、研究のフォローアップ等を客員教授がコーディネータとなって進めている。

(6) 招聘セミナーの開催

招聘セミナーを平成 23 年 11 月 22 日に開催した。当日は教職員・学生含む 28 名が出席した。

(7) 次世代環境適合技術流体実験共用促進事業

低乱風洞設備は平成 21 年 11 月より、文部省先端研究施設共用促進事業設備に採択された。専属の担当者 2 名を雇用し、世界トップレベルの風洞性能を提供するとともに、ロボット技術を応用した非定常流計測技術など新しい技術の提供や様々な要望に対応出来るサポート体制を整えている。平成 23 年度の活動は有償利用 6 件、トライアルユース（無償利用）1 件の利用があった。また、利用拡大のために年 2 回の公募説明会も実施している。広報活動にも力を入れており、東京で行った大きな展示会に 2 回出展し風洞の利用拡大のために説明を行った。

(8) ホームページでの活動

産学連携室立ち上げと同時に産学連携のホームページを作成した。平成 23 年度、産学連携のホームページをリニューアルして活動を進めている。

(3) 特筆すべき社会貢献、国際化等の活動の取組と成果

流体研の研究施設を民間企業等に開放する活動

流体科学研究所が所有する低乱風洞および低騒音風洞設備を、文科省の先端研究施設共用促進事業の補助を受け、民間企業等に積極的に開放している。このため、共用リエゾン室を設置し、風洞実験に関わる問題だけでなく製品の開発等の様々な技術的相談を受け付け、企業や地元の中企業などの風洞実験に経験がなくても利用しやすい環境を整備している。また、公募説明会（年 2 回）ならびに体験学習会を定期的の実施し、本事業の周知広報に努めている。なお、当該設備の情報は、文科省のホームページで公開されている。

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、本研究所主催による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 東京」（平成23年3月：東京国際フォーラム）等の研究展示会に本研究所の5研究室が参加し、研究活動の公開を行っている。

国際会議 Supercomputing 2011 (SC11) (平成23年11月：Washington State Convention Center, Seattle, WA, USA) にて東北大ブースを出展し、研究所から4名が参加して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、日刊工業新聞や電気新聞等のメディアを通じた技術公開を行っている。

また、インターネットテレビ (CAT-V NET TV コロンブスチャンネル) に平成23年度は新たに5研究室を加え、全部で13研究分野1実験施設の紹介ビデオが掲載されており、最先端の研究活動を社会へ公開すべく発信活動を行っている。紹介ビデオは主として英語で作成されて

おり、国内だけでなく全世界に視野を置いた活動を行っている。

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23年度は、8月26日～9月30日の期間に5人の講師が分担して「ながれ」をテーマとする講義を5回行った。

小中学校を対象にした出前授業に講師を派遣して社会教育に努めている。平成23年度は、河北新報主催による宮城県立仙台福岡小学校での出前授業（平成23年7月20日、参加人数25人）、宮城県立仙台青陵中等教育学校でのIVICTユニバーサイエンス（平成23年12月12日、参加人数200人）、日本航空宇宙北部支部主催の第18回科学講演会（平成23年9月4日、参加人数227人）、宇宙子どもワークショップ2011 in 仙台（平成23年9月24日、参加人数330人）を実施した。

また、ペットボトルロケットを組立・発射実験する出前授業を小学校において毎年行っている。平成23年度は、大和町立吉岡小学校（平成23年7月20日、参加者130名）および仙台市立生田小学校（平成23年10月28日、参加者12名）で実施した。

各種展示会において展示ブースを設け、小中学生や一般市民に流体科学を分かり易く紹介することに努めている。平成23年度は、学都「仙台・宮城」サイエンス・デイ2011（川内キャンパス、平成23年7月10日）、イノベーションジャパン2011（東京国際フォーラム、平成23年9月21-22日）、東京国際航空宇宙産業展（東京ビッグサイト、平成23年10月26-28日）、第11回国際ナノテクノロジー総合展（東京ビッグサイト、平成24年2月15日）に出展した。

さらに、隔年で開催される「片平まつり」（平成23年10月8-9日）に参加し、20の展示ブースを設けて小中学生や一般市民に流体科学を分かり易く紹介した。

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2011版にはそのうちの11件のテーマが示されている。

震災復興に向けた社会貢献

現在、わが国は、震災からの復興に向けて様々な問題に直面している。流体科学研究所は、流体科学に関する最先端の研究を通じて問題解決をはかり、社会に貢献することを目指しており、具体的な取り組みを研究所のホームページで発信している。その内容の一部は、日刊工業新聞（平成23年8月1日）、電気新聞（平成23年7月15日）、日刊工業新聞（平成23年6月21日）、日経産業新聞（平成23年6月21日）で取り上げられている。

(4) その他、特筆すべき活動等の取組と成果**安全衛生環境整備**

研究所内のインフラ環境を維持し、さらに研究・教育に即して充実させるため、安全衛生委員会を中心に安全衛生管理の観点から各インフラの使用者との相互安全確認を定期的に行っている。研究所独自の「安全マニュアル」を作成し、研究所に特化した項目（特殊装置の使用、特殊環境）については、充実したマニュアルの作成を徹底させるとともに、一般的な事項については「安全衛生管理指針」「安全マニュアル」に従ったマニュアルの作成を行うことで、マニュアルの簡易化、一元化を図っている。さらに、実験室等の安全と実験環境が適切に管理されているかを確認するための巡視体制を平成 23 年度から強化した。

女性教員への支援

本研究所は女性教員の「支援要員派遣制度」を積極的に活用し、技術補佐員を雇用している。平成 23 年度は 1 名の雇用を行い、これにより当該女性教員は研究・教育面の運営が円滑かつ効率よく行えるようになり、大きな成果を上げることができたと言える。

構想力講座の実施

研究所の教職員および学生を対象とした「構想力講座」を平成 22 年度に引き続き平成 23 年度も 1 回実施した。これは研究・教育の質を向上するための構想力を養成するためのものであり、所内教員が講師の招へいから講演の実施までを行った。

研究所現役構成員および退所者との交流

定年、異動または卒業により研究所を退所した教職員・学生と現役の研究所教職員の交流を図るために「流友会」を組織している。会員のデータベースを充実化することで、親睦的な目的だけでなく研究面から教育面に至るまで多くの情報交換をできる場となっている。また、現役の教職員同士で研究所の様々な面の充実化を図るために「流研会」を組織している。業務を超えた多くの面でのつながりを大切にすべく組織されたもので、教職員同士の親睦交流はもちろんのこと、職場環境が健康的なものとなるよう、多くの企画（スポーツ大会、旅行、食事会など）を行っている。