



The 21st Century COE Program
Mechanical Systems Innovation
The University of Tokyo

Newsletter

東京大学21世紀COEプログラム 機械システム・イノベーション

No. **15**

2008年3月20日発行

最終号:「機械システム・イノベーション」研究・教育活動成果



2008年1月25日専攻横断型教育プログラム「機械システム・イノベーションI,II」合同最終成果報告会

21世紀COEプログラム「機械システム・イノベーション」を終えるにあたって



拠点リーダー 笠木 伸英

平成15年度にスタートした5年間の本研究教育拠点形成プログラムでは、新世紀に相応しいビジョンと目標の下に、力学を基盤とする工学の再構築を目指して多様な活動を続けてまいりました。すなわち、肥大化した人間圏を地球と共生し得る持続的なシステムとして再構築し、多様な価値観を有する人々に健康で快適な生活と安全で安心な社会を実現するために、機械工学・技術はどうあるべきかを模索しながら研究活動に取り組みました。主として、エネルギーとバイオ医療分野、そして機械システムの先導設計を支えるモデリング/シミュレーションの学術分野を対象といたしました。約100名にも及び複数専攻の教員、博士課程学生らが、世代や組織を越え、開かれた国際環境の中で、横断融合的な研究活動を自ら生み出す土壌を育んできました。このような場で、優れた人材の育成を目指して、様々な取り組みを進めることができました。

エネルギー・イノベーション分野では、我が国のエネルギー・セキュリティを目的として、主要関連企業との産学連携により、日本のエネルギー・ビジョンを公表し、これに基づき技術課題の抽出を行い、複数の基礎研究が推進されました。未来のユビキタス環境や高齢化社会を支える高付加価値型エネルギー利用のためには、微小エネルギー変換技術の開発研究を推進しました。また、資源探査やセキュリティ監視のための革新的飛翔体プロジェクトを発足し、名古屋万博出展やコンテスト開催など、学内外で積極的に活動を展開しました。

バイオ医療・イノベーションでは、人にやさしい医療、即ち非侵襲・低侵襲医療、あるいは遠隔診断・治療に関する基礎研究に顕著な進展がありました。超音波技術と医療ロボティクス技術の融合によって、新しい診断治療システムの開発が進められました。また、再生医療の実現と普及を目指し、力学的作用が細胞分化に与える影響を調べると共に、希少な細胞を抽出するための廉価なマイクロ・デバイスの開発研究にも取り組みました。これらの活動は、本学バイオエンジニアリング専攻の新設に大きく寄与しました。

独創的かつ先進的な機械システムの設計を支援する、ハイパーモデリング・シミュレーション技術にも大きな進展がありました。分子レベルから連続体レベルまで幅広いスケールをまたぐマルチスケール問題、力学的、電磁気学的、化学的な複雑現象を含むマルチフィジックス問題を数値的に精度良く解析する方法を構築すると共に、超大規模計算による機械システム全体のシミュレーション、及びシステム最適化手法の開発が進められました。半導体構造や微小血管系のマイクロ解析、マイクロエンジンや燃料電池の設計シミュレーション、大規模構造・熱流体システムのシミュレーションなど、多くの成果が得られました。

大学院における人材育成に関しては、産学の継続的な意見交換、そして大学院生の自主的な参画によって、これまでにない意思疎通が可能となりました。グローバル化が進展する中、我が国が知識基盤社会を築き、持続的な発展を可能とするためには、国際的競争力を持つ産業が不可欠であるとの認識を共有し、多様に発展する社会の様々な分野でイノベーションを牽引できる人材の育成を目指す大学院教育を目標としました。具体的には、プロジェクトマネージメント力や俯瞰的視野を獲得するためのグループPBL形式の「専攻横断型講義」、技術開発動向の理解、問題設定解決力を養うための企業・研究所での「博士学生インターンシップ・プログラム」、国際的な研究者・技術者の育成を目的としたスイス連邦工科大学との相互交流プログラムを継続いたしました。

以上の成果を省みますと、本プログラムの主要なアウトカムは、おおよそ以下の3つに集約できると考えております。

- ・専攻・学科を越える研究プロジェクト、ビジョン牽引型の研究プロジェクトの推進
- ・大学院教育プログラムの改革、目標の明確化、教員・学生の意識改革
- ・研究、教育の目的達成に向けた、産学のビジョンと目標の共有

特に大学院教育に関しては、ビジョンと目標に基づく人材育成を目指して、基礎素養、専門知識、リテラシー、コンピテンシーの4つの力を涵養するための具体的手段としての教育プログラムと、その達成度の十分なチェックシステムを構築することが必要であることを教員・学生が共通に自覚し、組織的、制度的改革が進められたことはCOEプログラムならではの成果かと思っております。

まだまだ課題は残っておりますが、大学院生や若手研究者の自信溢れた笑顔を見るたびに、研究活動や人材育成の新しい仕組みに確かな手応えを実感してきました。そして、本拠点の存在が国内外で少なからず認めていただけるようになったことも、折々に感じてまいりました。このような拠点形成事業を、事業推進担当者、関係教員のみならず、次代を支える大学院生と共に誇りとし、一層の研鑽を続けたいと存じます。

本プログラムは今年度をもって終了いたしますが、引き続き世界的な教育研究拠点として活動を継続すべく、関係者一同、さらに努力を続けていく所存です。5年間の締めくくりとして、これまで産業界、他大学・官公庁関係など教育・研究に関わる多くの方々には様々な形でご支援、ご協力をいただきましたことをここに記し、本拠点関係者一同、心より御礼申し上げます。

エネルギー・イノベーション・プロジェクト



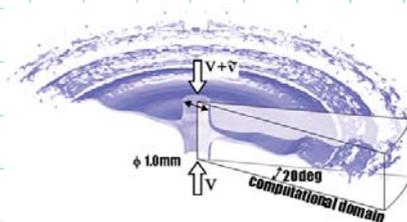
加藤千幸：生産技術研究所（機械工学専攻）

未来社会では環境負荷が小さく、かつ、安定したエネルギー需給を実現するとともに、情報機器や介護機器のためのモバイル電源など、人々の生活を支援する多様なエネルギー需給モードの選択を可能にすることが求められている。機械システム・イノベーションでは、事業推進担当者の強力な連携の下、このような未来社会の実現の鍵を握る要素技術、システム技術、ならびにそれらを先導するシミュレーション技術などの研究開発を推進してきた。具体的には、エネルギー変換機器の高効率化、小型分散エネルギー機器、環境発電・排熱利用技術、ならびに、リサイクル技術を中心に研究開発を推進した。本稿ではこれらのプロジェクトの中から、いくつかの代表的な研究成果を紹介する。

エネルギー変換機器の高効率化

ガスタービン燃焼器の高効率化と排気のクリーン化を達成するためには、燃焼器噴射弁における燃料液膜の微粒化プロセスを詳細に解明し、その最適化を図ることが必須である。渡辺研究室では可視化実験により、微粒化プロセスを観察するとともに、自由表面や液膜の分離・合体を扱うことができる数値計算手法を構築した。計算結果は実験結果と良い一致を示しており、今後、微粒化プロセスの解明が期待されている（図1）。

現在、発電用に使われているタービン入口の燃焼ガスの温度は1500℃に達しているが、ガスタービン発電プラントやコンバインドサイクル発電プラントの高効率化のためには、タービン入口温度をさらに高くすることが必須である。このためには、高圧段翼列の熱伝達率の高精度な予測を実現し、翼列の冷却設計の最適化を図る必要がある。しかし、従来のRANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes Simulation) 計算では、遷移を含む流れ場の熱伝達率の予測には限界があった。加藤千幸研究室では、ガスタービン動翼表面の熱伝達をLES (Large Eddy Simulation) により計算し、遷移点や熱伝達の定量的な予測が可能である見通しを得ることができ（図2）、ガスタービン翼列の冷却設計の高度化に寄与することが期待されている。



ノズル径 : $D=1\text{mm}$
平均噴射速度 : $V=20\text{m/s}$
速度変動振幅 : $\alpha=0.05V$
速度変動周波数 : $f=10\text{kHz}$

液膜形状の数値解析
(CIP法, $We=5500$)

図1 液膜の微粒化プロセスの実験(上)と数値シミュレーション(下), (渡辺研究室)

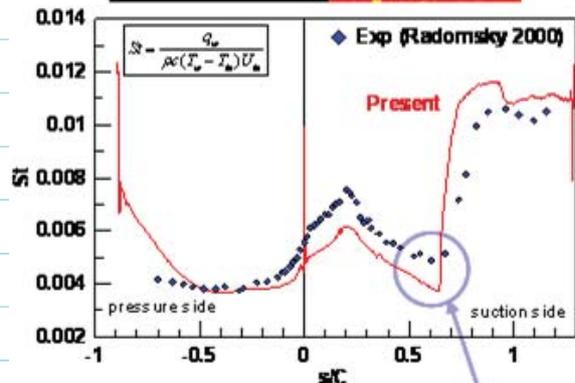
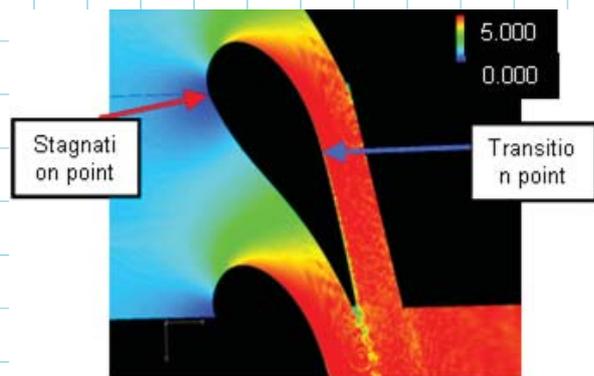


図2 LESを用いた、ガスタービン動翼表面の乱流熱伝達率の予測 (加藤千幸研究室)

エネルギー・イノベーション・プロジェクト

小型分散エネルギー

燃料電池は小型分散エネルギー源として注目を集めているが、特に、電極構造の最適設計が燃料電池の高性能化にとって不可欠である。しかし、従来は主として経験に基づいてこれらの改良が行われていたため、性能向上には限界があった。笠木・鹿園研究室では、マイクロチューブ型の固体酸化物燃料電池システムを試作し、発電特性を実測するとともに、燃料極の多孔質構造の数値シミュレーションモデルを構築し、格子ボルツマン法により、電極の特性として重要となる過電圧特性の予測を達成した（図3）。

多様なバイオマスガスに対応したガスエンジンも、将来のエネルギー供給源として注目を集めている。金子研究室では筒内圧力を検知することにより熱発生量の算出と燃料のカロリー負荷の推定を行い、着火タイミングと空燃比を最適制御できるバイオガスエンジンを試作した。図4に試作したエンジンと、燃料負荷を変化させた場合のエンジン試験結果を示す。燃料ガスの変化（上のグラフ）に伴い、自動的に空燃比（中央のグラフ）と着火タイミング（下のグラフ）とが最適制御され、多様なバイオガス燃料に対して安定な運転が実現できることを実証した。

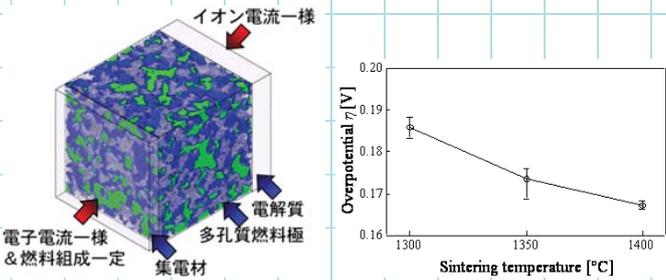


図3 固体酸化物燃料電池の燃料極構造のモデルと格子ボルツマン法による特性予測結果（笠木・鹿園研究室）

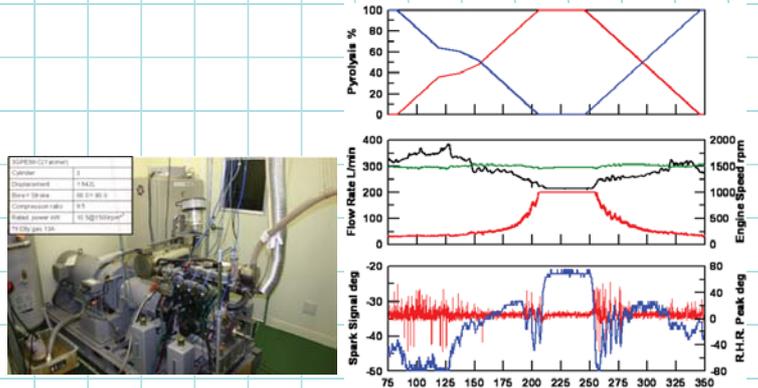


図4 燃料のカロリー負荷に対応したバイオマスガスエンジンの試作（金子研究室）

排熱利用技術・環境発電

社会には人や自動車などの運動に伴う、微小な振動（環境振動）が存在する。これらの振動を利用して発電することができれば、燃料が不要で超長寿命な電源の開発が可能となる。これらの電源は、無人の場所における無線用の電源や、他の電源供給が難しい場所におけるセンサー用の電源などとして、多様な用途に対する活用が期待されている。笠木・鈴木研究室では、エレクトレットを利用した静電誘導発電の研究開発に取り組んでおり、MEMSを用いたマイクロ振動型エレクトレット発電器を試作した。従来はマイクロワット級の発電が限界であったが、本研究によりミリワット級の発電が可能である見通しが得られた（図5）。

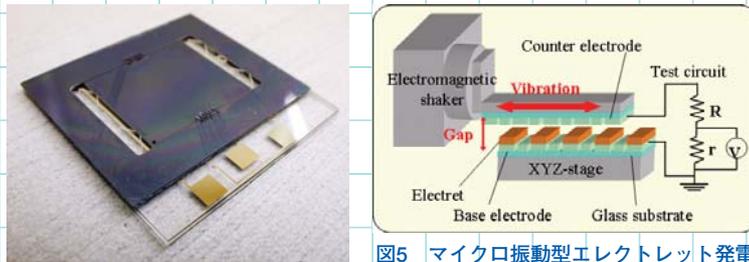


図5 マイクロ振動型エレクトレット発電機の試作（笠木・鈴木研究室）

環境・リサイクル技術

本COEではエネルギー機器の高効率化や分散電源、環境発電に関する研究と合わせて、環境リサイクル技術の研究開発も進めている。一例として、藤田研究室で実施した水中爆破破砕の実験結果を図6に示す。1.7GPaという高圧の衝撃波のエネルギーを有効に利用することにより、従来よりもはるかに小さなエネルギーで携帯電話などの家電製品を分離できることを実証した。

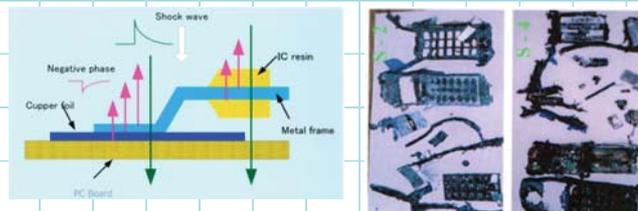


図6 水中爆破破砕を利用した省エネ型分離実験（藤田研究室）

革新的飛行ロボットプロジェクト



鈴木真二：航空宇宙工学専攻

革新的飛行ロボットプロジェクトが目指したもの

21世紀COE機械システムイノベーションが開始され、学生を含めたCOE関係メンバーの横断的なプロジェクトとして飛行ロボットに関する研究開発がスタートした。飛行ロボットとは自動化、機能化を高めた無人航空機を意味し、2004年1月から会合を重ね、最初の目標は2005年愛地球博に向けてNEDOが企画したプロトタイプロボット展への応募となった。6月の採択から、1年間で実際に機能する飛行ロボットを作り上げるという急を要するプロジェクトが始まった。ほとんどゼロからのスタートであったが、2005年6月の展示に間に合わせる事ができたのは、学生を含む学内メンバーはもちろん、外部の方々とのコラボレーションの賜物である。必然的に、社会との連携、学生を含む学内の連携体制が整ったことになる。万博展示の飛行ロボットが出来上がった後は、研究教育へのフィードバックを図りながら、実社会への応用をも視野に入れた活動を目指した。

出来上がった技術

愛地球博のために開発した飛行ロボットは、ポータブルで、簡単に利用でき、主に空撮を目的とした小型無人航空機である。ポータブルという観点では、車のトランクに納まるサイズを持ち、滑走路がなくとも手投げで離陸できる点に配慮した。離陸重量2kg以下、主翼スパン2m以下に機体サイズに抑え、GPSを利用した自動飛行機能、携帯電話回線によるデータリンク機能、静止画および動画の取得可能なペイロード能力を確保し、簡便さと高機能を両立させることに成功した。応用に関しては、災害時の空撮ならびに、環境モニタリングのための空撮機能を、実際のフィールドワークによって確認した。具体的には、旧山古志村での地震復興状況の調査、神戸市長田区での総合防災訓練でのデモ飛行により災害時の、広島県八幡湿原での植生調査により自然環境モニタリングの運用のノウハウを取得し、機体開発にフィードバックした。

教育へのフィードバック

本活は大学院学生主体により機体設計、製作、飛行試験が実施された。こうした活動が大きな教育効果があることが確認でき、大学院での航空機設計特論の講義において無人機の設計、制御の課題がグループによるプロジェクトとして取り上げられた。また、自作の室内ラジコン機による全日本学生室内飛行ロボットコンテストを企画し、2006年より毎年開催している。2008年大会には海外3校の参加も予定されている。また、教養課程の学生を対象に同大会への参加を前提とした「全学体験ゼミ」も開始し、教育へのフィードバックが着実に進んだ。2004年から毎年度開催された同分野の国際会議へは海外の著名研究者を招聘し、学生を含むメンバーとの活発な議論を持つことができた。こうした活動が評価され、中心的な役割を果たした航空宇宙工学専攻は2007年8月3日に日本工学教育協会より文部科学大臣賞を受賞した。

研究へのフィードバック

愛地球博に展示された高機能飛行ロボットは新聞等でも広く報道され、応用技術も開拓された。本活動が刺激となり、飛行ロボットに関連した研究が活発になった。飛行ロボットは空力、構造、制御、推進等の統合によりはじめて成立する。空力では李家賢一教授による低レイノルズ数空力特性、構造では青木隆平教授による複合材料、制御では土屋武司准教授による小型アビオユニットや河内啓二教授による昆虫の制御メカニズム、鈴木真二教授による垂直離陸機や耐故障飛行制御、推進では小紫公也准教授によるマイクロ波電送、システムでは影山和郎教授、村山英晶准教授によるMAVなどユニークで多彩な研究が活発に展開された。その成果は国際会議での複数の論文賞受賞やノミネートに結びついた。

活動の成果と今後

21世紀COEプログラムにより、研究室・専攻を越え、社会との連携を持ち、海外も含む大学間のネットワークも広げ、教育的にも研究的にも先鋭的な活動が実現できた。本活動はメディアでも大きく報道され、短期間に国際的な飛行ロボット研究教育拠点として認知されるに至った。今後この活動をいかに継続、発展させるかが大きな課題である。



高機能小型自動飛行ロボット



野外での飛行試験

バイオ・医療イノベーション・プロジェクト



光石 衛：工学系研究科 産業機械工学専攻 教授

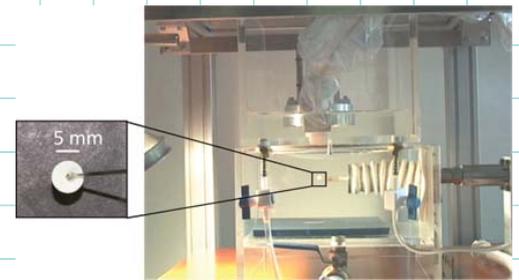
次世代バイオ・医療システムの開発

光石・松本らのグループは、2方向からの超音波画像をもとに画像追跡技術を利用して患部の運動補償を行なう非侵襲超音波診断・治療統合システムを開発した(図1)。本研究で提案する非侵襲超音波診断・治療統合システムとは、呼吸等により能動的に運動する患部に追従しながら、超音波を集束させてピンポイントに患部へ照射することにより、癌組織や、結石の破壊を、患者の皮膚表面を切開することなく非侵襲かつ低負担で行なおうとするものである。これまでに、ヒトの腎臓の動作パターンをモデル結石に入力し、これに追従して動作するシステムのプロトタイプを構築し、平均誤差1mm以内での結石追従を実現している。また、破碎による結石の形状変化に対するロバストな画像追従、呼吸情報の周期性に着目した追従制御系を新たに提案・実装している。今後、生体内の結石に対しても、高精度に追従・破碎できるシステムを実現してゆければと期待している。

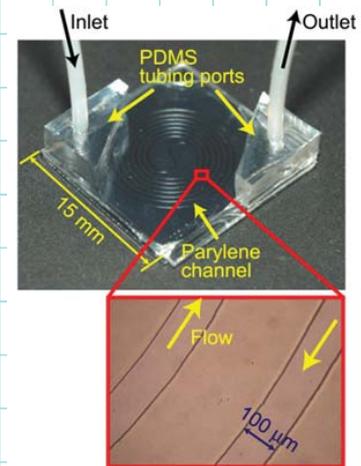
中尾・高橋らのグループは培養神経細胞を用いて、神経回路の形成過程を調べた。本研究では、回路形成過程では、外部からの組織的な刺激と、神経回路の入出力関係が回路形成に重要であると考え、光アドレス電極と微小三次元構造を有する培養基板を開発した。光アドレス電極は、光導電層として水素化アモルファスシリコン(a-Si:H)薄膜を、同膜の培養環境中での劣化を防ぐための防水性保護膜として、アンチモン酸亜鉛酸化物分散エポキシ膜(Zinc antimonate-dispersed epoxy, ZADE)をそれぞれ有する。また、光アドレス刺激と同時に、蛍光色素による光学計測が可能な実験系を構築した。この実験系を用いて、光アドレス刺激の空間分解能を調べたところ、分解能は約10 μ mだった。微小三次元構造を有する基板は、高さ20 μ mの壁面と緩斜面で構成される。このような微細構造を設けることで、神経線維の多くは、緩斜面側から壁面側へ成長すると考えた。製作した基板上で解離神経細胞を培養し、形状の両側からそれぞれ電気刺激を与えたところ、神経細胞群間の信号伝達方向に指向性を与えられた。これらの要素技術は、培養神経細胞による回路形成を対象にした研究にブレイクスルーを与えると考えられる。

笠木・牛田・鈴木・古川・鹿園らのグループはマイクロ細胞分離システムの開発を行っている。失われた生体組織や臓器の機能再生を目的とする再生医学の臨床応用に大きな期待寄せられている。再生医学において、幹細胞等の細胞ソースを検知・選別・分取するためのセルソーティングシステムは必要不可欠の機器であり、その解析時間の短縮、高精度化、小型化、そして清浄性の確保、低コスト化は、重要な課題である。本研究では、細胞の高速分離が可能なセルソーティングシステムの開発を目的としている。現在までに、末梢血より特定の抗原をもつ細胞群を分離することを想定し、1) コーンプレート駆動の循環旋回流中で抗体を混合した感温性ゲル基板に目的細胞を捕捉するシステムの構築、2) 末梢血を遠心分離した白血球分画など、比較的少量の細胞を含む試料から幹細胞を分離するため、免疫磁気細胞分離法を単一チップ上で実現するマイクロ磁気分離システムの要素技術確立、3) 標識粒子を必要としない、抗体固定マイクロ流路壁面を用いた親和性クロマトグラフィ型の細胞分離器のマイクロマシン技術を用いた試作(図2)を行った。また、それぞれのセルソーター・システムにおいて、モデル細胞を用いた分離速度、分離性能の定量的評価を行い、これらの手法が極めて有望であることを示すとともに、将来実用に供するシステム構築に対する具体的な指針を得た。

鷲津らの研究グループはマイクロマシンの技術を用いて細胞やDNAのマニピュレーションを行う手法についての研究を行っている。具体的に、電界集中を用いた細胞内物質導入法・細胞融合法の開発においては、細胞径より小さいオリフィスの作る電界集中により、細胞膜を部分的に可逆破壊することで、高効率かつ低侵襲な細胞内物質導入・細胞融合法を実現することを目的としている。本研究の成果として、開発手法を用いて90パーセント以上の物質導入を実現している。細胞融合においては、1:1細胞融合において、90%以上の融合効率を実現している。他にも、凹凸構造の利用によるDNAの切断、DNA操作のための微小釣針によるピックアップ・分離操作、微細糸巻によるDNAの巻取操作などを実現している。



非侵襲超音波診断・治療統合システム



親和性クロマトグラフィ型のマイクロセルソーター・プロトタイプ

ハイパー・モデリング／シミュレーション・プロジェクト



松本洋一郎：機械工学専攻

マルチフィジックス・マルチスケール解析手法の確立・深化

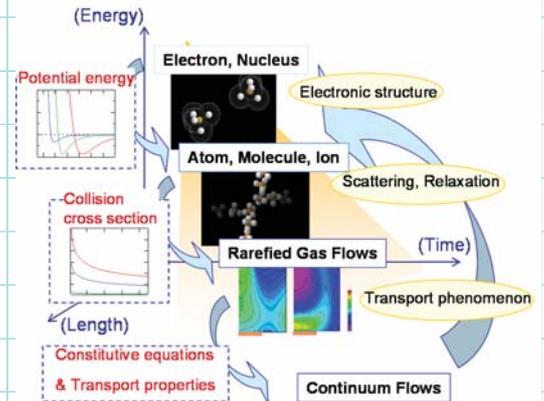
様々な未来技術を開拓し創造するためには、システム内外で生じるマルチスケール・マルチフィジックスの複雑現象のハイパフォーマンス・シミュレーションを可能とし、強力な設計手法を確立、深化させることが欠かせません。そのため、ハイパー・モデリング／シミュレーション・プロジェクトでは、量子力学から連続体力学に至る階層的力学系の工学的手法の構築を目標として、ミクロスケールの素過程、異相界面の物理・化学、非線形マルチスケール現象の物理、生化学現象などの高度なモデリングを推進してきました。加えて、これらのモデリングに基づく大規模かつ複雑な数値シミュレーションを可能とするための超高速数値解析技法の開発にも取り組んできました。

現象のマルチスケール性を考慮に入れた解析が重要となる対象の例として、薄膜の形成や、材料構造・強度・破壊プロセスなどがあります。これらに対して、原子間ポテンシャルモデルの開発や、表面反応のマルチスケールモデリング、第一原理・古典分子動力学ハイブリッド計算、分子動力学法と有限要素法との連成解析などの方法論を確立するとともに、これらの手法を様々な対象に適用して解析を行ない、現象の再現に成功しました。

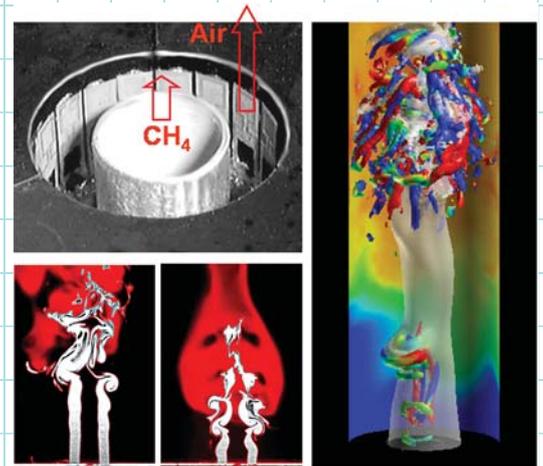
また、高齢化社会においてより深刻な問題となる循環器疾患、脳血管疾患などに対する高度医療を達成するために、体内の血液循環に関するシミュレーション技術の開発にも取り組んできました。シミュレーションには、生体膜を介して細胞内に取り込まれる分子レベルの物質輸送から、連続体レベルでの血流・分散体間の流体-構造連成までのマルチスケール性を考慮した解析が必要となります。生体膜の輸送特性や物理的特性は、分子シミュレーション技術を活用して詳細な評価を行ないました。また、分子シミュレーションと連続体シミュレーションのハイブリッド手法を用いて、分子を扱いながらもメソ・マクロスケールの計算も可能な手法の開発を行ないました。一方で、連続体スケールにおいては、界面追跡法の一つであるImmersed-boundary法を用いて血流・分散体間の流体-構造連成解析を行ないました。その結果、複数の分散体が微小流路中を变形しながら流動する様子をシミュレートすることに成功しました。また、CT/MRI画像から患者個々の血管形状データを作成し、血流と血管壁構造との連成解析も進めてきました。将来的には数値シミュレーションによる血管障害の要因解明につながる事が期待されます。

乱流のモデリング・シミュレーションに関しては、直接数値シミュレーション(DNS)とLarge Eddy Simulation (LES)のハイブリッド計算手法を開発し、高シュミット数濃度場における界面熱・物質輸送を正しく再現することに成功しました。また、MEMSデバイスを用いた乱流抵抗低減システムについて、DNSによる制御アルゴリズム評価を行い、最適な制御則を求めることができました。さらに、LESを用いてターボ機械内部流れや新幹線車間部の空力音源解析を高精度に予測することができました。これにより、大きな剥離を伴った流れ、層流から乱流への遷移、流れにより発生する騒音などの高精度な予測が可能になりました。

5年間にわたる本プロジェクトの成果は多岐に渡りますが、学術融合、協働により、新たな機械工学の体系化に組み入れるべき基盤的学術、設計手法としてのモデリングあるいはハイパフォーマンス・シミュレーションの学理を深化させることができたものと考えています。



量子力学から連続体力学に至る階層的力学体系の構築



希薄部分子混合乱流燃焼の制御

専攻横断型教育プロジェクト



酒井信介：機械工学専攻

専攻横断型の博士課程教育のビジョンとして「揺るぎない基礎素養と高度な専門知に加えて、創造力や未踏分野の開拓力、そして国際的な視野とプロジェクト企画・マネージメント力を有する責任感と使命感のある人材の育成」を掲げている。

博士課程教育の三本柱の一つが、専攻横断型のPBL講義として実施している「機械システムイノベーション」である。笠木リーダーより、大学院教育で涵養すべき力として1. 基礎素養、2. 専門知識、3. リテラシー、4. コンピテンシーの4つを掲げているが、本教育プロジェクトではこのうち主としてコンピテンシーの涵養を目指すものである。

旧来の博士課程修了者がとかく産業界からは、特定の専門領域を深く掘り下げることに優れているものの、研究が蝸壺的であるという批判を受けることが見受けられた。今後は、博士課程修了者の進路は、大学や国立研究機関などのアカデミック領域のみならず、産業界にも広く人材を輩出することが重要であるとの認識から、専攻横断型講義の実施に当たっては、産業界との情報交換の場として人材育成懇談会を設けた。産業界からは、博士課程教育の中に俯瞰的な視野の付与、チームワーキング力、研究マネジメント能力の育成が強く求められ、専攻横断型講義における主要課題の一つとして設定した。

本講義は、通年で実施される。講義活動としてプロジェクトを設定し、履修者を各プロジェクトにグループ分けした上で講義と演習を行う。グループごとに、導入講義で設定される未来技術の研究開発課題、即ち、当該技術の社会的意義、その研究開発ロードマップ、市場導入プロセスなどについて、議論を深める。締めくくりとして、成果報告会を開催し、履修者による英語によるプレゼンテーションとポスタセッションによる発表を行う。図1には、最終成果報告会の様子を示す。

参加学生の成果の報告に対して、関連教員や産業界からの参加者も交えて、活発な議論が行われる。図2は、講義を実施した4年間の参加人数とその専攻の内訳を示す。このように関連専攻から広範囲の分野の学生が参加して実施された。参加学生からの評価を調べる目的で、中間段階及び講義終了後の2回にわたってアンケート調査を実施している。その結果、「講義の意義を認める」学生は90%にも及んだ。また、産業界からの評価として、「異分野間のプロジェクトマネジメントを学ぶことは重要」「テーマを絞ってターゲットを決定していくプロセスを学ぶ貴重な機会となっている」など高い評価を得た。

このような講義形態は、従来の大学の教育ノウハウの範囲を超えている。従って、今回の試行で得た経験をもとにチームワーキング力やプロジェクトマネジメントを涵養するための方法論を蓄積し、さらに企業におけるプロジェクト管理の専門家などの協力を得た上で発展させていくことが重要であるものと考えられる。



図1 最終成果報告会の様子

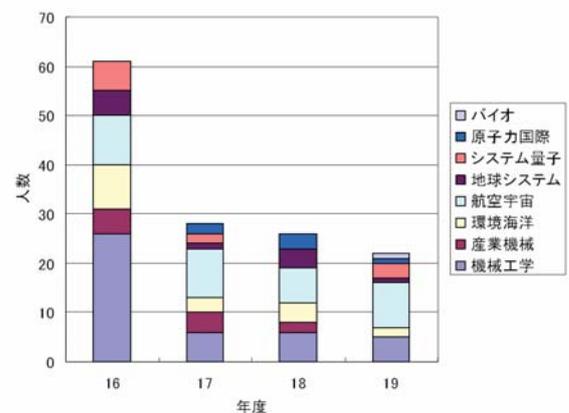


図2 参加学生の内訳

博士課程インターンシップ



金子成彦：機械工学専攻

博士課程インターンシップは、21COE内に設置された人材育成懇談会の産学連携WGでの議論の中から生み出された。このWGでの議論では、博士課程在学中に学生に身につけて貰いたい資質として、マネージメント力、応用力、コミュニケーション力、英語力が挙げられている。また、修士修了時と比較した博士修了までの能力向上に関する教員と企業人の感じ方の違いについてまとめた調査結果（工学教育プログラム基準強化委員会大学院教育課程分科会アンケート（2003年9月19日））によれば、研究における洞察力、日本語や英語による論文執筆能力、論理的思考力、専門の知識と学力、国際性の項目においては、それほど大きな違いがなかったものの、基礎学力の広がり、イノベーション力、企画力、実行力、広いものの見方、問題設定能力の項目では企業人と大学人での感じ方の違いの乖離が大きかった。

このような背景の元、研究室では身に付けることが困難な能力を学外の企業や研究機関での体験を通じて身に付けるための枠組みである「博士課程インターンシップ」が2007年4月にスタートした。このプログラムは、「機械システムイノベーションⅡ」という名称で、講義（通年2単位）の中に組み込まれており、2006年度は8名、2007年度は5名の学生が受講した。

インターンシップは4月のガイダンスに始まり、5月中旬の企業側とのマッチング会を経て、6月中旬から企業側の受け入れが始まる。活動期間は1ヶ月～6ヶ月までテーマや活動形態によって幅がある。11月に中間レポートの提出、1月下旬の成果報告会で体験を発表し、1月末に最終報告書を提出するというスケジュールである。なお、学生側や企業側の都合で実施期間が11月以降にずれる場合もある。インターンシップの実施形態には、①受け入れ企業から提示されたテーマリストから選択するもの（6名）、②所属研究室の既存の共同研究テーマを実施するもの（7名）、③学生自ら企業にコンタクトしてテーマのアレンジを行うもの（0名）の3種類がある。なお、括弧内の数字は、2年間を通じての実績である。

実習内容は、流れ解析、流れ計測、気泡の利用法、減肉による配管の破損確率評価手法の開発、コンサルティングサポート、実際の民間機用航空機を用いた実験、無人小型飛行機の飛行等、多岐に及んでいる。

参加した博士課程学生からの感想の主なもの、物理現象に対する視野が広がった、新しい計算方法に関する知識が修得できた、スケジュール管理の手法を学んだ、問題解決の手法を学ぶことが出来た、大学と企業における研究に対するスタンスの違いが理解できた等で、今後の進路決定の参考となる知識や経験が得られたという感想も寄せられている。

また、企業側の担当者からは、企業内で博士号取得者の活躍の様子を見てもらう好機となるとともに企業内の若手社員にとって刺激になったというプラス側の意見が多いが、実習期間が短すぎるとの意見もあり、この点を改善するために2年目からは、ガイダンスの開始時期を早めてスケジュールに余裕を持たせた。2回の博士インターンシップを総括すれば、参加学生が得た将来に繋がる体験は以下のように纏めることが出来る。

二ーズからの発想の重要性

自分の研究テーマと社会との接点を重視するという視点

時間管理やプロジェクト管理の重要性

安全やセキュリティに対する取り組みの重要性

異分野交流による情報共有の重要性

なお、今後さらに博士インターンシップの効果を高めるためには、学生を企業に送り出す時点での動機付けやインターンシップの狙い十分を理解させてから実習に取り組むべきであり、また、終了後のフォローも重要であると思われる。

終わりに、我々の初めての試みである博士インターンシップにご協力戴いた企業、研究機関の皆様にご挨拶申し上げます。



無人飛行機の操縦実験



成果報告会

海外交流プログラム



山田知典：システム量子工学専攻
長谷川洋介：機械工学専攻

スイス連邦工科大学チューリッヒ校(ETH Zurich)に拠点スペースを確保し、平成17年度より、海外拠点との国際研究交流を通じた研究活動、若手の人材育成の推進を目的とし、ETH海外研究交流プログラムを行っている。本プログラムでは大学院学生に単に英語のコミュニケーション・スキルを付与するに留まらず、海外の研究者を前に臆することなく、自分の考えを主張し、リーダーシップを発揮できる人材を育成することを目的としている。これまで平成17年度にRA5名、及び特任助手1名、平成18年度にRA4名、平成19年度はRA3名の派遣を行ってきた。また、ETH側からも教員1名、及び若手研究者（博士学生、ポスドク）4名の受け入れを行っている。

本プログラムでは、本COEの研究拠点形成アシスタント（RA）を、約2カ月の期間ETH Zurich校に派遣している。参加希望者には、事前に受け入れ先ホスト教員と自らコンタクトを取り、派遣期間の活動案を提示し、受け入れの内諾を取ることを義務付けている。この過程で、英語力、企画力の育成を目的としている。その後、参加希望者は、指導教員の承諾書、ホスト教員の受け入れ内諾書、派遣期間内の活動計画書を提出する。最終的に、書類審査、及び英語ヒアリングの結果を基に、派遣RA3 - 5名が選抜される。

派遣期間中、RAは個々人の研究計画に基づき、研究交流・共同研究を行う。初めて顔を合わせる海外の研究者との共同作業では、英語力だけでなく、プロジェクト・マネージメント力、リーダーシップが問われる。さらに、滞在期間中に現地で開催される各種研究集会への参加、企業訪問などの機会を通じて、自らの専門領域を広げ、俯瞰的な工学的知識を習得する。滞在期間の最終週には、現地の若手研究者との合同ワークショップを行い、活動の総纏めを行う。帰国後は報告書の提出、「専攻横断型講義」の講義時間内に成果発表を行う。

派遣期間は2カ月と短く、その期間内に大きな研究成果を期待することは難しい。むしろ、本交流プログラムを通して、その後の研究室間の交流、共同研究への発展を期待している。通常の留学では、半年一数年の比較的長期間滞在が多く、博士論文執筆、経済面、安全面を考慮すると、リスクが大きく参加に踏み切れないケースが多い。本交流プログラムでは、短期間であるがゆえに、少ないリスクで海外での研究生活に挑戦できる。また、派遣期間の最初と終わりの一週間は、特任教員も滞在中、慣れない海外生活に学生より早く順応できるように配慮している。

滞在中は、派遣RAは、それぞれ異なる研究室に所属し、個々人の研究計画に沿って、共同研究を進める。現地の冬学期は10月末から始まるため、到着後しばらくは学生の数も少ない。しかし、この時期は様々な国際学会、ワークショップ、講習会が学内で開催されるため、それらに参加することで、幅広い工学知識が習得できる。11月以降は、冬学期も始まり、各自関連の講義を受講し、欧米の講義スタイルに触れることができる。板書のみではなく、対話重視の輪講形式の講義に新鮮さを感じるRAも居る。最後の週には、滞在中の研究成果の総まとめとして、共同研究を行った現地の若手研究者、及びホスト教員を招いて合同ワークショップを開催する。短期間に関わらず、派遣RAは、例年かなりの研究成果を上げて帰国してくる。これらを基盤として東大-ETH間の共同研究に発展するケースも少なくない。

以上、短期海外交流プログラムは、大学院学生に不足しがちな企画力、マネージメント力、リーダーシップを付与する有効な手段と言える。また、その研究成果を基盤とした、教員間レベルの連携活動への発展も博士学生派遣の大きな利点である。本交流プログラムで大学院生が得た一番の成果は、単なるコミュニケーション・スキルの向上に留まらず、海外の技術者とも渡り合えるという自信や研究活動に対する高いモチベーションであろう。それらは、帰国後の派遣RAの目の輝きにも現れている。



ETH-UT Exchange Program 2005



ETH-UT Joint Workshop 2006



ETH-UT Joint Workshop 2007



事業推進組織

担当専攻・研究所

東京大学大学院工学系研究科	機械工学専攻 地球システム工学専攻	産業機械工学専攻 システム量子工学専攻	環境海洋工学専攻 原子力国際専攻	航空宇宙工学専攻
東京大学生産技術研究所 東京大学大学院医学系研究科	疾患生命工学センター			

組織

事業推進担当者

拠点リーダー

笠木 伸英	大学院工学系研究科機械工学専攻・教授	2003.8-2008.3
-------	--------------------	---------------

エネルギー・イノベーション

庄司 正弘	大学院工学系研究科機械工学専攻・名誉教授	2003.8-2006.3
長島 利夫	大学院新領域創成科学研究科先端エネルギー工学専攻・教授	2003.8-2008.3
加藤 千幸	生産技術研究所機械工学専攻・教授	2003.8-2008.3
寺井 隆幸	大学院工学系研究科原子力国際専攻・教授	2003.8-2008.3
影山 和郎	大学院工学系研究科技術経営戦略学専攻・教授	2003.8-2008.3
武田 展雄	大学院新領域創成科学研究科先端エネルギー工学専攻・教授	2003.8-2008.3
浦 環	生産技術研究所環境海洋工学専攻・教授	2003.8-2008.3
中須賀 真一	大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻・教授	2003.8-2008.3
藤田 豊久	大学院工学系研究科地球システム工学専攻・教授	2003.8-2008.3
金子 成彦	大学院工学系研究科機械工学専攻・教授	2005.4-2008.3
鈴木 真二	大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻・教授	2006.4-2008.3

バイオ・医療イノベーション

光石 衛	大学院工学系研究科産業機械工学専攻・教授	2003.8-2008.3
鷲津 正夫	大学院工学系研究科バイオエンジニアリング専攻・教授	2003.8-2008.3
中尾 政之	大学院工学系研究科産業機械工学専攻・教授	2003.8-2008.3
藤井 輝夫	生産技術研究所精密機械工学専攻・教授	2003.8-2008.3
牛田 多加志	大学院医学系研究科付属疾患生命工学研究センター・教授	2005.4-2008.3

ハイパー・モデリング/シミュレーション

松本 洋一郎	大学院工学系研究科機械工学専攻・教授	2003.8-2008.3
矢川 元基	大学院工学系研究科システム量子工学専攻・教授	2003.8-2004.3
藤田 隆史	生産技術研究所産業機械工学専攻・教授	2003.8-2008.3
宮田 秀明	大学院工学系研究科環境海洋工学専攻・教授	2003.8-2008.3
酒井 信介	大学院工学系研究科機械工学専攻・教授	2003.8-2008.3
吉村 忍	大学院工学系研究科システム量子工学専攻・教授	2005.4-2008.3

特任教員

飯野 利喜	機械システム・イノベーション・特任教授	2005.1-2006.10
山田 知典	機械システム・イノベーション・特任講師	2006.4-2008.3
土屋 健介	機械システム・イノベーション・特任助手	2004.10-2005.11
長谷川 洋介	機械システム・イノベーション・特任助手	2004.10-2007.3
明松 圭昭	機械システム・イノベーション・特任助教	2006.4-2008.3

幹事

鈴木 雄二	大学院工学系研究科機械工学専攻・准教授	2003.8-2008.3
鹿園 直毅	大学院工学系研究科機械工学専攻・准教授	2003.8-2008.3
割澤 伸一	大学院工学系研究科産業機械工学専攻・准教授	2003.8-2008.3
高木 周	大学院工学系研究科機械工学専攻・准教授	2004.4-2008.3
古川 克子	大学院工学系研究科機械工学専攻・准教授	2004.4-2008.3
村山 英晶	大学院工学系研究科環境海洋工学専攻・准教授	2004.4-2008.3

事業推進協力者

丸山 茂夫	大学院工学系研究科機械工学専攻・教授	2004.4-2008.3
山田 一郎	大学院工学系研究科産業機械工学専攻・教授	2004.4-2008.3
大島 まり	生産技術研究所産業機械工学専攻・教授	2004.4-2008.3
都井 裕	生産技術研究所環境海洋工学・教授	2004.4-2008.3
鈴木 真二	大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻・教授	2004.4-2006.3
河内 啓二	大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻・教授	2004.4-2008.3
渡辺 紀徳	大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻・教授	2004.9-2008.3

アドバイザー委員

井上 孝太郎	科学技術振興事業団・上席フェロー	2003.8-2008.3
菊池 昇	ミシガン大学・教授	2003.8-2008.3
木村 好次	東京大学・名誉教授	2003.8-2008.3
立石 哲也	物質・材料研究機構・フェロー	2003.8-2008.3



〈公開セミナー〉

◎平成19年度第8回

日時：2008年1月30日(水) 11:00~12:30
場所：工学部2号館・232号講義室(2-301)
題目：The Novel Nanostructures of Carbon
講師：Professor Mildred S. Dresselhaus (Department of Electrical Engineering and Computer Science, and Department of Physics, Massachusetts Institute of Technology)

◎平成19年度第9回

日時：2008年1月25日(金) 16:00~18:00
場所：工学部7号館・73号講義室
題目：Innovative UAV Control Research at RMIT University
講師：Cees Bil 助教授 (オーストラリア RMIT大学航空宇宙工学科)

◎平成19年度第10回

日時：2008年2月18日(月) 14:00~15:30
場所：工学部2号館・講義室(2-31B)
題目：Colorful Carbon: Photophysics of Carbon Nanotubes
講師：Professor Tobias Hertel
(Department of Physics and Astronomy & Vanderbilt Institute of Nanoscale Science and Engineering (VINSE), Vanderbilt University)

◎平成19年度第11回

日時：2008年2月19日(火) 15:00~16:30
場所：工学部2号館・講義室(2-31B)
題目：Floating Catalyst CVD Method for Controllable Synthesis of Carbon Nanotubes
講師：Professor Hui-Ming Cheng
(Shenyang National Laboratory for Materials Science, Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences)

◎平成19年度第12回

日時：2008年3月12日(水) 10:30~12:00
場所：工学部2号館・3階232号講義室(2-301)
題目：Pressure-Induced Single-Walled Carbon Nanotube (n, m) Selectivity on Co-Mo Catalysts
講師：Professor Yuan Chen
(School of Chemical and Biomedical Engineering, Nanyang Technological University, Singapore)

〈国際シンポジウム〉

◎第4回 MSI-COE国際革新的飛行システムシンポジウム
The 4th International Symposium on Innovative Aerial/Space Flyer Systems
日時：2008年1月14日(月), 15日(火)
場所：東京大学 農学部弥生講堂 一条ホール

◎The 4th International Symposium on Biomedical Systems Innovation
日時：2008年2月18日(月)
場所：東京大学 工学部2号館 213室

〈国内シンポジウム〉

◎第3回ホロニック・エネルギーシンポジウム
日時：2008年1月9日(水) 13:00~17:10
場所：東京大学 武田先端知ビル 武田ホール

◎21世紀COE 機械システム・イノベーション 国内シンポジウム
日時：2月27日(水曜日) 9:20~19:00
場所：東京大学 工学部2号館 221,222,223号室

〈講演会〉

◎Calestous Juma教授特別講演会
日時：2008年3月18日(火) 13:00~15:00
場所：東京大学 本郷キャンパス 安田講堂

〈専攻横断型博士コース〉

◎専攻横断型講義「機械システム・イノベーション」, II
合同最終成果報告会
日時：2008年1月25日(金) 13:00~20:30
場所：東京大学 武田先端知ビル 武田ホール