

複合システムデザイン のためのX型人材育成

News Letter



2008年3月31日発行

複合システムデザインのためのX型人材育成

20世紀における輝かしい科学技術の発展は、我々に豊かで快適な生活をもたらしましたが、その一方で、地球規模での環境や資源など新たな問題を招いています。21世紀において、それらの問題を克服し、豊かで安全な社会を持続的に発展させていくためには科学技術の力が不可欠であり、わが国が今後も世界のフロントランナーとして人類の発展に寄与していくためには「科学技術創造立国」の実現が必要であるとされています。21世紀における科学技術を考える上でのもう一つのキーワードは「知識基盤社会」であり、生産の資源としての知識の重要性が増大すると考えられています。「科学技術創造立国」の実現、「知識基盤社会」への移行のいずれについても、高度な大学院教育による優れた科学技術人材の育成が重要となります。

大阪大学大学院工学研究科機械工学専攻では、機械工学分野における優れた大学院教育を目指して、2005年度より大学院教育改革に取り組んでいます。2005年度と2006年度の二年間、文部科学省が推進する「魅力ある大学院教育イニシアティブ」に採択された「統合デザイン力教育プログラム」の下、教育カリキュラムの体系化、シンセシス（総合）系のPBL (Project Based Learning) 型科目の導入を中心とするコースワークの整備を行い、FD活動やカリキュラム調査の活動など、大学院教育改革のための枠組みの整備を行い、高い評価を得ることができました。これに引き続き、「複合システムデザインのためのX型人材育成」プログラムの提案が文部科学省「大学院教育改革支援プログラム」に採択され、2007年度より三年間に渡って実施されることとなりました。この教育プログラムでは、先に整備を行った教育改革のための枠組みを基盤として、アナリシス（解析）系の教育の充実を中心とした取り組みを行い、「統合デザイン力教育プログラム」の成果と併せて機械工学における大学院教育の総合的な実質化を目指しています。X型人材の「X」は、二つの専門分野の交差、すなわち複合を表しており、X型人材は「領域間の相互作用とトレードオフを含む複合システムに対する課題設定・課題解決能力を有する人材」を意味しています。

本プログラムでは、マルチフィジックス解析力の育成を中心とした取り組みによりX型人材の育成を目指します。そのため、カリキュラムへのアナリシス（解析）系の一連の実践型科目の導入、リサーチアシスタント（RA）制度や研究プロジェクト支援による研究指導プロセスを通じた教育、学生企画講演会を通じた企画力・提案力の育成、国内外の先進的カリキュラムの調査、計算機設備および各種ソフトウェアの導入による教育実施環境の整備、FDセミナーの実施、産学官からの委員による外部評価の実施による教育内容の検証などを実施します。本ニュースレターでは、これらの様々な活動を紹介していきます。



取組実施担当者
田中敏嗣 教授

研究プロジェクト支援 1

一分子バイオダイナミクス計測に向けた カーボンナノチューブアーム作製

博士後期課程 1年 円山拓行

私の研究テーマは「カーボンナノチューブ (CNT) センサーを用いた生体一分子ダイナミクス計測」です。このテーマで、2007年度の「複合システムデザインのためのX型人材育成」学生支援プロジェクトに採択されました。その研究内容とプロジェクト活動を紹介します。

まず、生体一分子ダイナミクス計測の意義を述べたいと思います。生物の細胞・組織の中で、タンパク質は生物を形作る構成要素として働き、それぞれ関連する構成要素間で相互作用しています。細胞内のタンパク質の働きがどのような構造によって生じているのかの探索は、医学や薬学など生命科学の重要なテーマであり、命の不思議を探る壮大なテーマです。ところで、ゲノム解読といった設計図の解明やX線構造解析による構造決定等のタンパク質研究が大きく進展する一方で、ダイナミクス計測については数種類の分子に限られており、まだまだ進んでいないというのが現状です。

これまで、原子間力顕微鏡 (AFM) や光ピンセットによる生体分子間の相互作用力計測

が成されてきましたが、分子を捕捉するプローブやビーズなどの担体サイズが大きいことが原因で、狙った特定の分子の、特定の部位を捕捉し力学計測を行うことが困難でした。そこで、より詳細な一分子計測を行うために、CNTを利用した計測が期待されるようになってきました。

CNTとは、グラファイトシートを螺旋状に丸めた、長さ数～数百 μm 、直径数nmの針状構造物です。図1にGroEL/ES分子(約15nm)と三層CNT(先端径0.7nm)のサイズ比較を示します。この図から分かる通り、CNT先端を利用すれば、生体一分子の任意の部位を捕捉し、

操作することが可能になります。

私は、(1) タンパク質捕捉に適したCNTアームをシリコンプローブ上に作製し、(2) そのCNTアーム先端で特定のタンパク質分子の特定部位を捕捉し、(3) 溶液中AFM操作によりタンパク質の操作・力学計測をする、という各段階の研究を進めています。図2は一分子操作のイメージ図です。今回のプロジェクトでは、段階(1)のCNTアームの作製について重点的に研究を行いました。ここで、研究活動の雰囲気を感じていただくために、今回のプロジェクト期間中に私が使用した装置、実験の手段等を簡単に説明します。

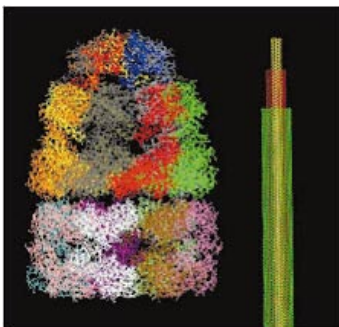


図1 GroEL/ESタンパク質分子と三層CNTのサイズ比較

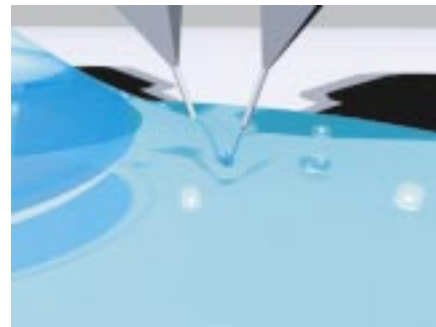


図2 CNTセンサーを用いた一分子操作のイメージ

さて、ナノサイズのCNT一本をどのようにプローブ先端に配置し、タンパク質捕捉に適した構造を作製するのでしょうか。まず、CNT一本を可視化するために、数百万倍にまで拡大できる透過型電子顕微鏡が必要です。これによりCNT一本の詳細な構造を観察できます。さらに、電子顕微鏡内に搭載した圧電体駆動するナノマニピュレーターを操作して加工します。私たちはこの装置を“スーパーナノファクトリー”と呼んでいます(図3)。マニピュレーター操作はまさに匠の世界で、立体感覚を駆使し、指先の神経を研ぎ澄ませて行います。CNTを触り、通電加熱、引っ張り、電子エミッション等により、作製したい構造に加工してい

きます。図3はマニピュレーターを操作している様子です。

最後に、学生研究支援を受けた感想を述べたいと思います。今回のプロジェクトにより、研究に主体的に取り組み、これまであまり行ったことのない研究活動の一部も体験できました。金額も大きすぎず、心理的な負担も少なかったと思います。このような機会がなければ、指導教員から計画と実験器具を提供されて、大学院生の役割は実験中心という限られた研究生活になりがちです。研究計画を練り、申請書類を提出し、必要な物品を調べて購入し、それを用いて実験を行い、得られた結果を報告する。この一連の流れを自分で行ったことは、

将来主体的に研究を行う場面で必ず役に立つと思います。



図3 ナノマニピュレーターを搭載した透過型電子顕微鏡“スーパーナノファクトリー”の概観

研究プロジェクト支援 2

流体と柔軟物体群との相互作用を計算する

博士後期課程 1年 上山篤史

近年、機械工学分野全般において計算機シミュレーションを主とした研究が盛んに行われるようになってきています。このことは流体力学の分野においても例外ではなく、私が所属する梶島研究室では種々の流体现象に対する数値計算法の開発やそれらに関連する物理現象の解明を行っています。その中で私の研究テーマは弾性を有する柔軟構造物/粒子群と流体との相互作用問題を対象とした直接数値計算法の開発および現象の解明です。

流体と構造の相互作用問題(Fluid-Structure Interaction, FSI)は吊り橋の連成フラッタや高速走行する輸送機器周りの流れ、鳥類の羽ばたきや魚類の泳動などに代表される生物の推進機構など、あらゆる分野で数多く見られる現象であり、工学的に基本的かつ重要な問題の一つとして知られています。このような相互作用によって誘起される複雑な流動現象を数値的に解明しようとする試みは盛んに行われていますが、流体と構造のそれぞれが異なる構成方程式に従う連続体であることから、この種の流れ場を扱うことは数値シミュレーションの中で最も困難な問題の一つとして位置づけられます。特に自然界や化学・製薬といった工業プロセス、生体内流れの代表例である血管や赤血球と血液との相互作用など、現実の場で観測される流れ場



研究風景

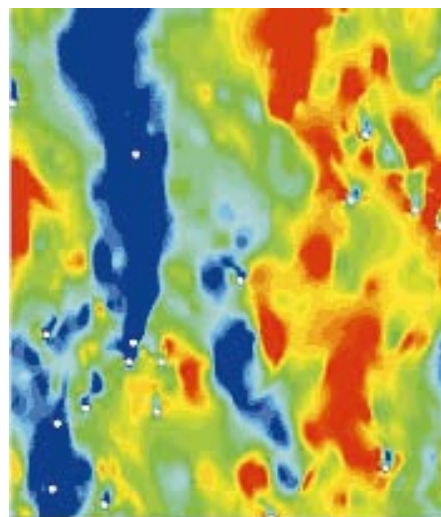
は、複数の柔軟な構造/粒子群を伴うことが多く、計算負荷などの面から直接数値シミュレーションの適用をより一層困難なものにしています。そこで本研究では、このような固液二相流における固体の弾性変形の影響に着目しつつ、さらにそのような固体を多数含む流れ場の直接数値シミュレーションを効率的に実現するための数値計算法の開発を行っています。

私に限らず、数値シミュレーションを主とする研究では、研究を進める上で、高性能な計算機環境が必要不可欠です。幸い、本学は高性能なスーパーコンピュータを保有しており、計算そのものを行う環境には大きな不満はありません。ところが、計算が大規模になるにつれ、データサイズの大規模化やポストプロセスの際に大きなマシンパワーが要求されるといった問題が生じます。しかし、現在の研究室内の計算機やその他のハードウェア環境は、個々の学生が作業を行う上で十分とはいえず、私自身、不満を感じることも少なくありませんでした。

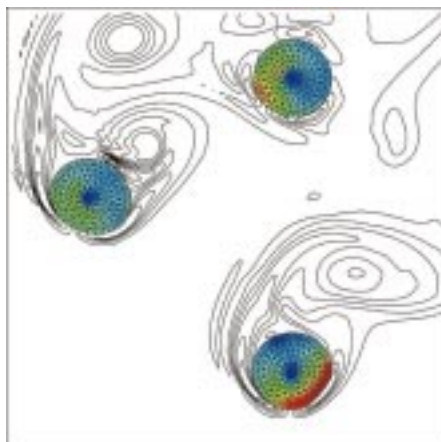
このとき、私の研究テーマが大学院教育改革支援プロジェクトで採択され、研究助成金を自由に使わせていただく機会を与えていただきました。プロジェクトに採択されたことで研究への意欲が高まると同時に、研究計画や実施スケジュールを綿密に練る機会を改めて得たことで、自身の研究に対する明確なビジョンをより一層強く認識することにも繋がりました。そして、支援によりハード面を強化できたことで、以前と比較すると非常に効率的な作業が可能となりました。また、研究以外の部分についても、予算申請のプロセスから、有効な用途を熟考し、成果を報告するという一連の流れは、私自身にとって非常によい経験となりました。

充実した研究活動を行う上で、学生本人の高い意欲、主体性はもちろんですが、研究資金も当然必要不可欠なものです。ところが学生個人で研究費を獲得することは容易なことではありません。本プロジェクトはそのような意欲的な学生を支援してくれる大変魅力的

な制度です。私は本学機械工学専攻が学生にこのような機会を提供してくれる大変素晴らしい環境であると感じました。最後になりましたが、支援して下さった本プロジェクトの関係者の皆様に深くお礼申し上げます。



弾性粒子群が流体中を落下する場合のシミュレーション結果
(白丸：粒子、カラー：鉛直方向流速)



上図のシミュレーション結果の拡大図
(実線：等過度線、カラー：Mises応力分布)

COMSOL Multiphysicsを用いた解析演習授業の実施

授業担当 芝原正彦 准教授

2007年度後期に、大学院博士前期課程の学生を対象とした解析演習授業が実施されました。この授業科目は2008年度前期から本格実施される予定の「マルチフィジクス解析」に先立って実施されたものであり、具体的には複数の学問領域にわたる連成的な機械現象に関する解析力を涵養することを目的として、数値解析を用いた演習を行うものです。今期はその先行実施にあたり、有限要素法の基礎の授業に続いて、①基礎演習(シングルフィジクス課題)、②応用演習(マルチフィジクス課題)、③最終発表会、から構成されるカリキュラムを設定して、実施しましたので、その概要について報告致します。

数値解析演習の実施に関しては、COMSOL AB社(スウェーデン)により開発された汎用有限要素解析シミュレーション・ソフトウェア「COMSOL Multiphysics」を用いました。この「COMSOL Multiphysics」には伝熱・流体・構造・電磁場・音響といった現象に則したシミュレーション機能が実装されているとともに、それらの連成問題を「マルチフィジクス・シミュレーション」として解析することが可能です。

基礎演習では、受講学生、教員、ティーチングアシスタント全員が、「COMSOL Multiphysics」をコンピュータ上で実際に動かしながら、流体力学、熱力学、材料力学の基礎問題(シングルフィジクス課題)の数値解析に取り組みました。例えば、「熱力学」の基礎演習では、二次元熱伝導問題の基礎と応用に取り組みました。いずれの演習においても理論的な予測値と実際の数値解析結果との相違点について考察を行ったり、メッシュ粗さの影響について考察を行ったりすることで数値解析力の基礎を習得することも目指しました。



図1 コンピュータを用いた演習授業

応用演習では、受講学生は3~4名のチームに分かれて、マルチフィジクス問題、すなわち「流体-構造連成問題」と「熱-流体連成問題」のいずれかをチームごとに選択して、それぞれの課題目標に取り組むことでマルチフィジクス問題の解析力を培うことを目指しました。具体的には、「流体-構造連成問題」としては、マイクロチャンネル内の流れ中に置かれた柔軟構造体の構造・配置の最適化問題を考え、柔軟構造体を破壊させずにできるだけ圧力損失が小さくなるように柔軟構造体の形状を最適化するとともに複数の剛体の配置を考える、という課題に取り組みました。一方で、「熱-流体連成問題」としては、パソコン内のCPU等の冷却問題に取り組みました。具体的には、一定の発熱量のCPU、メモリ、ハードディスクを一定の大きさの筐体内に工夫して配置することで、決まった能力のファンによってどれだけ冷却が可能であるかを調べるという問題です。図1は授業写真ですが、グループごとに解析コンセプトの相談や解析の実施を行っている様子を示しています。図2は「熱-流体連成問題」として取り組んだパソコン内の冷却問題の「COMSOL Multiphysics」による解析結果の一例を示しています。図2はパソコン筐体中の温度分布を色で示したのですが、「COMSOL Multiphysics」にはこ

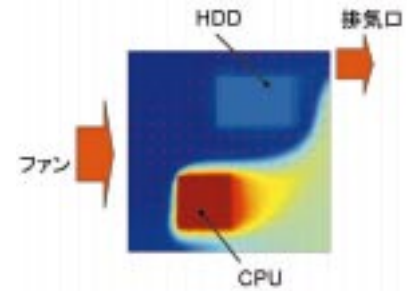


図2 演習課題(パソコン内の冷却問題)の解析結果例



図3 最終発表会におけるプレゼンテーション

これらの応用演習の解析結果に関して、2008年1月25日に最終発表会を実施しました。図3は、最終発表会のチームごとのプレゼンテーションの様子を示しています。どのチームも解析に関する工夫や検討事項について、限られた時間内で上手に説明を行ってまいりました。さらに、発表会の参加者と解析結果についての議論も行いました。プレゼンテーション内容や方法に関して最も優秀なチームに対しては最後に表彰を行いました。2008年度からの「マルチフィジクス解析」の実施に関しては、今期の先行実施の経験や反省を生かして、より充実した授業を実施していく予定です。

海外調査報告

海外インターンシップ制度調査報告

大森健史 助教

2008年2月上旬にヨーロッパ3大学(ドイツ・Darmstadt工科大学、オランダ・Delft工科大学、Twente大学)における国際インターンシッププログラムの実施状況を調査しました。3大学ともヨーロッパ屈指の理工系大学であり、高い学術研究力と産学連携実績を誇っています。今回訪問した3大学に限らず、ヨーロッパにはErasmus制度があり、EU圏内外からの学生を積極的に受け入れています。Erasmusの研究研修制度が対象とする学生は修士課程の学生ですが、今後博士課程の学生の交流も促進する方針であるようです。ただし、博士課程の学生は研究室のマッチングが難しく、インターンシッププログラムとして



Twente大学研究棟のロビー：洗練された雰囲気

制度化することの是非は議論を要するところです。ヨーロッパの大学では研究がプロジェクトベースで行われ、博士課程の「学生」が研究員として3年から5年間プロジェクトの遂行に従事します。したがって、即戦力になる場合を除いては博士課程の学生を短期滞在で

受け入れることに積極的ではありません。博士課程の学生については今後も教員ないし研究員の人脈ベースでの交流が主になると思われます。一方、修士課程学生の受け入れに関しては、教育・国際交流の意味合いが強いことから各校とも積極的に行う姿勢を見せており、実現性の非常に高いプログラムと言えます。私個人としては、なるべく早い段階で多文化経験を積むことが有用であると考えており、博士課程だけでなく修士課程の学生が海外の研究を体験できるプログラム作りが重要であると思います。

インターンシッププログラムを成功させるには、ホストとなる大学が継続的に学生を受け入れる動機付けが必要です。企業と異なり、大学や研究所には学生を受け入れることで安い労



Darmstadt工科大学機械工学科の研究棟：赤い歯車が印象的

働力が確保できる、もしくは社会的イメージが向上するといったインセンティブがありません。一方的に学生を送りつけるのではなく、学生交流を双方向にする努力が欠かせません。ドイツのDarmstadt工科大学は北米を中心とする英語圏の大学との学生交流の不均衡を

解消するために“International Research Experience Program”（以後IREPと略記）を立ち上げ、北米の大学と対等な立場に立つ取り組みを行っています。ドイツは日本と同様に、力強い産業を持ちながら、使用言語の問題などから外国人留学生を惹き付けにくいという問題を抱えており、Darmstadt工科大学の取り組みは大阪大学にとっても非常に参考になると考えられます。IREPの要点をまとめると次のようになります。

- ・ 北米、カナダ、オーストラリア、ニュージーランドの提携大学を対象とする
- ・ 6週間の集中語学講座と10週間の研究プロジェクトから成る
- ・ 派遣元大学で単位が取得できる
- ・ 授業料は免除され、1400ユーロの奨学金が支給される

まさに至れり尽くせりといったプログラムですが、双方向で持続可能な研修制度を構築するには、相当の努力が必要であることを理解すべきだと思います。IREPは来学期から始まりますが、事前に北米の大学で売り込みをかけ、多数の優秀な学生の参加が見込まれるとのこと。IREPのようなインターンシッププログラムは一朝一夕にできるものではありません。まずはErasmus制度や教員の人脈を利用して優秀な学生を送り込み、ホストの大学側にも学生の受け入れが有益であることをわかってもらう必要があります。学生の皆さんには、学力だけでなくコミュニケーション能力の向上を普段から心がけて頂きたいと思います。

学生企画講演会

講演会を企画して

博士後期課程 1年 岩田隆一

この度、大学院教育改革支援プログラムの一環として、学生企画講演会を主催する機会を頂きました。企画進行はまず、どなたに講演を依頼するかを決定するところから始まりました。そこで今回は、本プログラムの重要な課題であるマルチスケール・マルチフィジクス問題の解析に精通されている高橋桂子先生に講演を依頼しました。講演者が決定してからは講演日時の調整、会場の確保、広報活動（告知メールの送信、ポスター作成）を行いました。普段は、講演会に参加する側でしたが、初めて自分で企画したことは良い経験となりました。

ご講演の主題は、2002年に横浜市に設立

された海洋研究開発機構地球シミュレーションセンターにおける気象・気候変動予測シミュレーションに関する、現在までに得られたシミュレーション結果について、今後の展望についてでした。地球シミュレーションセンターは当時では最先端のベクトル計算機を導入し、世界的に注目されています。大規模な計算を実験的・探索的に行えることは、地球シミュレーションセンターの大きな特徴であり、このことから当初の予定よりも大きな成果を得ることができたことでした。計算機の発達により、従来では不可能であったスケールのシミュレーションが可能になってきており、気象予測も高精度になされるようになってきています。しかし、いまだ地球全体を十分な精度でシミュレーションできる段階には至ってはいません。気象シミュ



講演会の様子

レーションの本質的な難しさは、雲の生成過程のようなミクロな現象から台風のような大規模な流れといったマクロな現象まで多岐にわたるスケールの現象が相互作用することにあります。また、各スケールに含まれる物理現象を全て直接シミュレートすることは不可能であり、現段階で無視されている物理のモデリングが不可欠です。市販の解析ソフトにもマルチスケール・マルチフィジクスをうたっているものがありますが、正しく使用するには、実際にどのような物理をどのように計算しているのかを十分に理解しておく必要があることが示唆されました。最先端の計算力学を駆使して研究されている高橋先生のお話は、学生はもちろん、聴講に来て下さった先生方にも大いに興味深いものであり、活発な質疑が行われました。ご講演後の懇親会では、若手の研究者に求められる資質や産学連携の在り方など、日頃学生の立場では聞くことのできない貴重なお話をさせていただきました。

今回の講演企画を通じて、自分が主体となって行動して得た知識・経験は、受動的に得たものと比べ、非常に自分の力になると実感しました。大学院生にはグループをまとめる能力や、問題を解決するだけでなく新たな問題を提起する能力が求められます。このような能力を身に付けるため、大学院教育改革支援プログラムでは、学生に多くの機会が与えられています。多くの大学院生が本プログラムによって大学院生活を有意義に過ごせれば良いと思います。

大学院新カリキュラムの紹介

機械工学専攻では大学院教育改革支援プログラム「複合システムデザインのためのX型人材育成」を実施するにあたり、プログラムを効果的に実施するために大学院カリキュラムを一部変更しました。ここに、要点を紹介します。

■ 博士前期課程（マスターコース）

博士前期課程では、従来の基盤科目、専門科目、選択科目に加えて展開科目を新たに設けました。展開科目は、今回新設した「マルチフィジクス解析基礎」、「マルチフィジクス解析展開」の2科目に「プロダクトデザイン」（従来は基盤科目に分類）を加えた3科目から成り、このうち少なくとも1科目を履修することが修了要件になります。「マルチフィジクス解析基礎」は講義と演習からなり、複数領域にまたがる理論と方法論を修得することをねらった授業です。一方、「マルチフィジクス解析展開」はプロジェクト課題の実践を通じて、複数領域の現象が連成する複合的な問題に対して総合的な解析力を涵養することを目的としています。マルチフィジクス解析基礎・展開はそれぞれ1、2学期に開講されますので、基礎的知識の修得から実践的能力の育成までを1年間で系統的に行えるようになっていきます。このように、3つの実践型科目からなる展開科目を選択必修化することで、本専攻の学生は全員が、各自の修士論文研究に関わる領域の知識・経験だけでなく、実社会に出れば直面するであろう関連領域・隣接領域の実践的な知識・方法論にも触れた経験に基づいた幅広い視野をもって大学院を修了することになります。

■ 博士後期課程（ドクターコース）

博士後期課程では、高度な専門性に基づいてプロジェクトのリーダーを担うことのできる研究者、価値創出型の研究課題を自ら立案し推進できる研究者、デザインをキーワードに学際分野を融合できる研究者を輩出することを目標に教育・指導を行っています。このうち、高度な専門性と課題設定能力は、従来通り博士論文のための研究指導を通じて養成します。一方、学際分野を融合し新しい価値を創出する能力、また、それを行うために各分野の研究開発を牽引する能力を養成するには、従来の研究指導とは異なる新しい対応が必要です。そこで機械工学専攻では、従来の「プロダクトデザインマネジメント」を拡充する形で「X型複合システムデザイン企画」を創設しました。これにより、博士前期課程の「マルチフィジクス解析展開」および「プロダクトデザイン」における課題立案やチーム活動の指導を通じて、後期課程学生の企画・管理・指導能力を養成し、より幅広い分野にわたるリーダーシップ力を涵養します。また、在学中に実社会における問題を知り、その解決に取り組むことも重要と考え、上記科目の他に「X型複合システムデザイン実践」も創設しました。この科目はインターンシップを通じて産業界の問題意識に触れることを促すものです。

大阪大学 大学院工学研究科 機械工学専攻
〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1 Tel.06-6879-4486 (事務室)

▼詳細は下記のホームページをご覧ください。

<http://www.mech.eng.osaka-u.ac.jp/>