

複合システムデザイン のためのX型人材育成

News Letter



2010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 — 3年間の取組を終えて —

2007年度より始まった「複合システムデザインのためのX型人材育成」の取組は、2010年度3月末をもって3年間に渡る活動を完了しました。本号までの一連のニュースレターでは、本取組で実施した種々の活動に直接参加していただいた大学院生および教員の皆さんに記事を執筆していただいております。活動の具体的な内容や参加者の感想などについての生の声をお届けできたかと思えます。本取組の推進側の立場からも、とくに活動に参加している大学院生の声は非常に参考になるとともに励みになりました。3年間の活動の詳細については、最終報告書に取りまとめで発行したほか、2010年3月8日、大阪大学吹田キャンパスにおいて開催した大学院GPシンポジウムにて紹介いたしました。大学院GPシンポジウムでは、学内外から4名の大学院GPを推進されているプロジェクトリーダーを招き、大学院教育改革に関する実質的な議論と情報交換をすることができました。最終報告書をご希望の方は、大学院GP担当 (gp@cf.mech.eng.osaka-u.ac.jp) 宛にご請求下さい。

本取組は、これに先立って文部科学省「魅力ある大学院イニシアティブ」の支援下で当専攻において実施された「統合デザイン力教育プログラム」の取組に引き続いて実施したものです。「統合デザイン力教育プログラム」では、課題設定能力・構想力の育成を目的として、シンセシス(総合)系のPBL(Project Based Learning)型科目の導入を中心とした大学院教育の整備がなされました。そのような状況下で、次はアナリシス(解析)系の実践的な問題解決能力の育成を中心とした取組を提案する方針はすぐに決まりました。工学の様々な分野に共通する傾向かと思えますが、機械工学の分野においても多くの直面する問題が従来の領域(流体力学、材料力学、熱力学など)を横断する複合的な問題となってきています。将来の機械工学を担い、率いて行くことのできる人材の育成のために、複合問題に対する問題解決能力を強化することが重要と考え、本プロジェクトの提案を行いました。幸い採択されることとなりましたが、本取組の中核となる「マルチフィジックス解析基礎」および「マルチフィジックス解析展開」の授業のためにどのような環境やソフトウェアを用いればよいか、というところから調査や担当教員団による議論を積み重ねて授業を構築しました。「魅力ある大学院イニシアティブ」の支援期間が2年間であったのに対して、今回の「大学院教育改革支援プログラム」(2009年度より「組織的な大学院教育改革推進プログラム」に名称変更)の支援期間が3年間であったことは、授業実施の経験をフィードバックして完成度を高めることに非常に有効でした。新規授業開発に加えて、研究支援プロジェクトや学生企画講演会など大学院生の主体的取組をサポートする活動、FD活動などを通じて、複合システムデザインを担い先導することのできるX型人材育成のための教育プログラム構築に一定の成果が得られたと考えています。

最後に、本取組に参加していただいた大学院生の皆様、ご協力、ご支援をいただいた皆様に、厚く御礼申し上げます。



取組実施担当者
田中敏嗣 教授

大学院紹介 1

展開型科目「マルチフィジックス解析展開」を受講して

博士前期課程1年 松久朋弘

「マルチフィジックス解析展開」とは2008年より導入された演習型授業であり、この授業の概念としては「複数の物理が関連する実践的な複雑問題に対してプロジェクト演習を行う」といったものになっています。私がこの授業を受講しようと考えた理由には、先に挙げた授業概念にもある「実践的な複雑問題」に対する解の探索を経験してみたかったということがあります。大学院を卒業し企業に就職した場合に、私自身技術系の就職を念頭においているため、この授業内で取り上げられるような形の問題に取り組むことが多いと思います。そういったとき当然ながら一般的な机上の授業による知識も必要ですが、その知識をどのようにして使うのか?という経験がなければ知識は最大限に発揮できないと思います。そこで、その経験を「マルチフィジックス解析展開」という演習を通して体験するために受講しようと思いました。

授業内では解析演習のツールとしてCOMSOL Multiphysicsという有限要素法ベースによって解析を行うソフトを用いました。このような普段触れる機会の少ない有限要素法を利用したソフトに触れておくということも私自身の受講理由の一つとなりました。授業の進行としては3~4人でグループを構成し課題に取り組みます。これらのグループに対し、課題として「マイクロアクチュエータの高性能化」、「 μ TASの混合促進」、「熱ほふく流の数値解析」の3課題が提示され、各グループから内一つを選択し解析を行うという形式になっていました。私のグループでは課題として「マイクロアクチュエータの高性能化」を選択しました。この課題内容では「ある性能に着目し、それを高性能化するにはどうすれば良いかを数値解析によって検討する」という非常に抽象的なものであり、具体的な目標設定から既に課題内容の一部と感じました。この課題の枠組みの中で自班では、既存のマイクロアクチュエータには圧電体が一般的に用いられること、さらに単純な運動(片振りや伸縮)を行

うものしかないことに着目し、「運動に多自由度性を持つ圧電アクチュエータ」の開発および解析を行うこととしました。

まず、多自由度性を実現化させるために既存するバイモルフ型の圧電アクチュエータを重ね合わせることを考えました。ここでは、実用性などは一切考えず、コンセプトである「多自由度」を実現することのみを考え、最初のモデルを作成しました(図1)。解析を進めていくうちに多自由度という点においては目標を達成できていたものの、自由度という点を重点的に考慮していたため、変形量という点においてアクチュエータとして実用するには問題

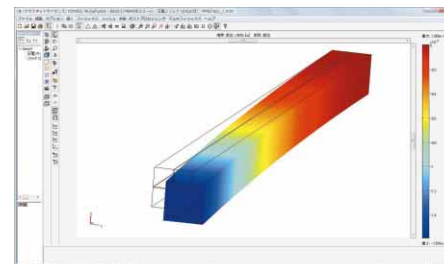


図1 COMSOL操作画面と初期モデル

があるものでした。そこで、多自由度性についてはそれまでの考え方を活かしつつ、圧電物質の変形原理を根本から見直すことを考えました。具体的には圧電体の結晶方向と電圧の印加方向、圧電体の変形方向を考慮、加えて新しい圧電体の使い方に対する形状の最適化となります。それにより最終的には最初のモデルから自由度性を失うことなく変形量のみで評価するのであれば10倍程度の精

度向上を図ることが可能となりました(図2)。
 今回の「マルチフィジクス解析展開」という授業を通して、当初受講するに当たり期待していた実践的な物理問題に対する取り組み方を良く学べたと考えています。それに加えて、グループ内での意見のまとめ方や、個人の専門分野の活かし方についても学ぶことができたと思います。

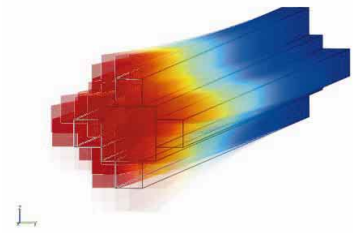


図2 最終モデルの変形の様子

大学院紹介 2

大学院GP高度コンピューティングシステムを利用して

博士後期課程 2年 福井淳一

2007年度から2009年度にわたって、私は大学院GP高度コンピューティングシステムを利用し、自身の研究テーマに関する数値解析を行いました。ここでは、本システムの特徴および研究・教育に対する効果、私が行った数値解析の概要について記述するとともに、本システムに関する感想についても随時述べたいと思います。

大学院GP高度コンピューティングシステムは、2007年度に文部科学省「大学院教育改革支援プログラム」により導入されました。以後、計算ノードの追加やコンパイラのアップデート等によりシステムが拡張され、現在はファイルサーバおよび16ノードのクラスターコンピュータから成るシステム構成となっております。

本計算機システムの特徴としては、学生が無料で高価なシステムを利用できる点が挙げられます。研究として数値解析を行う場合、計算能力の高い計算機を必要とする場合が少なくありません。しかし予算的な問題から、研究室への計算機システムの導入、あるいはスーパーコンピュータの使用には困難が伴う場合もあります。また、研究室で購入した計算機に障害が発生した場合には、原因の究明と解決のための金銭的・時間的なコストが必要となりますが、本システムを利用した場合には、そのようなメンテナンスコストを負わないで済みます。したがって、このような開かれた計算環境は、すべての学生に自ら考え、自身の考えに基づいて自由に研究を発展させるための機会を与えるために非常に有用であると思います。

本計算機システムには、Fluent、COMSOL Multiphysics等の商用ソフトウェアがインストールされており、申請をすれば学生はこれらのソフトウェアを使用することができます。COMSOL Multiphysicsは大学院生を対象とした授業「マルチフィジクス解析展開」において教材として使用されており、教育の面でも効果を挙げております。商用ソフトウェアのソルバはオープンソースではなく、計算過程にはソフトウェアメーカー独自の手法による計算が含まれるため、本来、数値解析の教育に用いるには問題があります。しかし当該授

業は、商用ソフトウェアを使用する前に数値解析の基礎を習得する構成となっております。この段階において、教員が数値解析の本質を学生に伝えることが、本授業の成否を分ける非常に重要な要素であると思います。

これまでに私は本システムを使用して、噴霧燃焼場の数値解析を行ってきました。噴霧燃焼はディーゼルエンジンやジェットエンジン等に用いられる燃焼方式であり、相変化や化学反応が同時に進行する非常に複雑な現象です。近年、燃焼器の熱効率向上やNOx等の低減が燃焼器設計における主要な課題となっているため、本研究では数値解析を用いて噴霧燃焼場の現象を解明し、燃焼器の設計指針を与えることを目指しております。本計算機を利用して得られた計算結果の一例を図1、図2に示します。

燃焼の数値解析では、現象の複雑性から多くの支配方程式を考慮する必要が生じるなど、燃焼の数値解析では大規模な計算を行う場合が少なくありません。本システムを利用する前の研究室の計算機環境は、私の研究テーマの数値解析を行うためには十分とはいえ、計算速度や計算機台数に関して問題を抱えていました。本システムの利用開始後は、同時に実行できるジョブ数の増加等により、非常に効率的に研究を進めることができました。

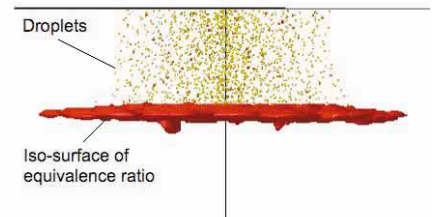


図1 対向流場に形成された噴霧拡散火炎の可視化画像

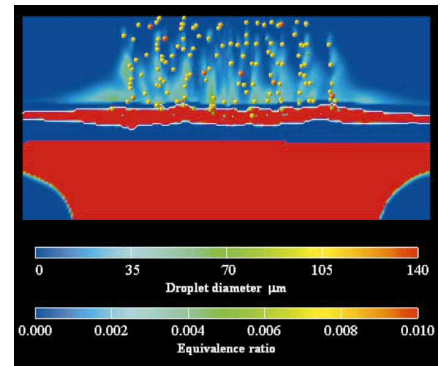


図2 当量比の2次元可視化画像

最後に、本計算機システムの管理を行って頂いた先生方、大学院GP事務の方々に感謝の意を表し、本文の結びとさせていただきます。

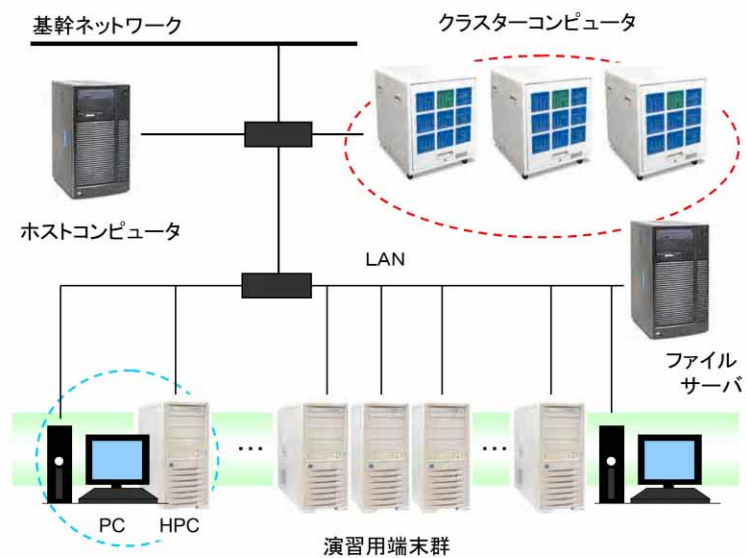


図3 高度コンピューティングシステム概要

マルチフィジックス 教育ワークショップ実施報告

赤松史光 教授

本教育プログラムでは、実践型科目の新規導入、および、これに整合して相乗的に教育効果を高めるための基盤教育カリキュラムの整備を通して、多様なX型人材を育成しうる教育システムの構築を目指しています。これは、複合システムデザインのための創造的研究者・技術者を育成するための従来になかった教育プログラムです。しかし、工学における先端的教育の個別の方法論という観点では、世界各地でさまざまな取り組みがなされています。特に、計算機を積極的に活用した複合問題を解決するための演習や、複雑な問題を計算機に載せるために必要となる数値モデリング力の養成を目指す教育などは、近年の計算科学の発展とともに、国内外で既に実践段階に移されています。

本教育プログラムでは、異種複数の物理現象からなる複合問題の解決のために計算機を援用する教育的方法論的を絞り、これに取り組んでおられる教育者・研究者を招待して情報の交換を行い、本教育システムの実効性をさらに高めること、ならびに、大阪大学大学院機械工学専攻で行われているマルチフィジックス解析に関する授業の受講学生に、当該分野の最先端研究に関する講演を聴講する機会を提供することにより、マルチフィジックス問題への取り組みに対する意欲を高めることを目的とし、2010年1月13日(水)に3名の講師の先生方を招いて、「マルチフィジックス教育ワークショップ」を以下の内容で開催しました。当ワークショップへの参加者は、教員18名、学生28名の計46名でした。図1にワークショップ会場の様子を示します。

最初に、本大学院GPプログラムリーダーの田中敏嗣先生から、大阪大学大学院機械工学専攻における実践型マルチフィジックス解析に関する教育の取り組みについてのご紹介を戴きました。引き続き、大阪大学基礎工学研究科の和田成生先生から、肺呼吸のマルチフィジックスに関してのご講演を戴きました。本講演は、柔軟構造体と流れの連成

問題に関するマルチフィジックス問題を取り扱う最先端の医工連携研究に関する内容でした。呼吸と循環、呼吸器の構造、肺気量、気道系の構造、気道の分岐、構造力学に基づいた肺の変形モデルの説明から、最新の研究課題として和田先生が取り組んでおられる、CT画像を用いた気道モデル構築、肺呼吸のモデル化と計算力学シミュレーションによる診断・治療支援についてご紹介を戴きました。次に、東京理科大学の山本誠先生から、砂漠における砂輸送と制御に関するマ

調べるために、留学先のカリフォルニア工科大学で、最大250 m/s (900 km/h) の速度で飛翔体を打ち出すことのできるガス銃を自ら設計されて研究室に設置し実験を行われた際の研究活動についてのご紹介をして戴きました。各講師の先生方には、研究の背景、対象とする現象を支配する偏微分方程式の導出といった基礎的な内容から、最新の研究課題についてご自身の研究成果を挙げてご紹介いただくとともに、どのような経緯でマルチフィジックス問題の研究に取り組むようになら

マルチフィジックス教育ワークショップの講演題目

「大学院における実践型マルチフィジックス解析教育の取り組み」

本大学院GPプログラムリーダー 田中敏嗣

「肺呼吸のマルチフィジックス:モデル化とシミュレーション」

大阪大学 和田成生 先生

「砂漠における砂輸送と制御に関するマルチフィジックス・シミュレーション」

東京理科大学 山本 誠 先生

「水を充填した円管の軸衝撃荷重による応力波と流体一構造連成応答」

東京工業大学 因幡和晃 先生

「総合討論」 司会 田中敏嗣

ルチフィジックス・シミュレーションについてのご講演を戴きました。本講演は、固体粒子と流れの連成問題に関する内容でした。地球上の乾燥地は全陸地の41%を占めており、乾燥地の10~20%で砂漠化の問題が起こっており、1年間に約600万ha(四国の面積に相当)が砂漠化し、約10億人が砂漠化の影響を受けているとのことでした。本研究により、砂丘上の風の流れ、風による砂輸送、砂丘形状の時間変化を再現可能な数値計算方法を開発するとともに、砂輸送を抑制するためのデバイスを提案して砂漠化を防止するという壮大な時空間スケールの研究に関する内容でした。最後に、東京工業大学の因幡和晃先生から、水を充填した円管の軸衝撃荷重による応力波と流体一構造連成応答に関するご講演を戴きました。本講演は、構造物と流れの連成問題に関する内容でした。ミサイルなどの高速飛翔体、水中衝撃波、キャビテーション気泡の崩壊などによる衝撃荷重の軽量金属や繊維強化複合材への影響を

れたかについてのお話を盛り込んでいただき、大変興味深い内容でした。

全てのご講演の後に、田中敏嗣先生の司会のもとで総合討論会を行い、以下のような議論がなされました。特に強い専門分野(機械系では、材料力学、流体力学、熱力学、制御工学など)がない状況では、マルチフィジックス問題に取り組んだとしても優れた研究成果は得られないのではないかとのコメントを戴き、何か一つの強い専門分野がないままに、若手研究者が最初からマルチフィジックス問題に取り組むことの是非についての指摘がなされました。一方、カリフォルニア工科大学では、何か一つの専門分野に関する研究しか行わないことはよくないことであるとされており、例えば、カリフォルニア工科大学のグッゲンハイム航空研究所長を勤めた流体力学の権威 Theodore von Kármán 教授は、固体力学分野でも多くの業績を上げているとのコメントを戴きました。マルチフィジックス問題では、最終の実験結果しかなく途中経過が全く分からない状況で数値解析を行なう必要があり、手探りでどのような現象が支配的であるかを推測してモデル化を行なう能力とともに様々な分野にわたる幅広い知識が必要であるとのこと指摘を戴きました。また、これまでの研究に一つのフィジックスを追加するだけで、研究領域や応用範囲が大幅に広がるので、特に若い人々には、是非、マルチフィジックス問題チャレンジして欲しいとのこと意見を戴きました。大阪大学でのマルチフィジックス解析に関する授業での課題について、得られた成果を先端研究レベルまでに高めるような取り組みはされていないのかとの質問がなされましたが、現状ではそのような取り組みは行っていない状況であり、今後の検討が必要であると考え



図1 ワークショップ会場の様子

られます。また、講師の先生方の大学でもマルチフィジックス教育を導入したいとのご意見を戴きました。

マルチフィジックス教育ワークショップでの講演と総合討論を通じて、マルチフィジックス問題に関する研究と教育では、実験と数値解析の両面からのアプローチが重要であること

を再認識させられました。実験結果は真実であるものの、それだけからでは現象の詳細が分かりませんが、数値解析においては実験では見えない現象が見えてくるので、実験と数値解析の密接な連携による相互補完により研究を進める必要があると考えられます。また、講師の先生方から、大阪大学大学院機械工

学専攻でマルチフィジックスに関する教育の取り組みがなされていることを知り、大変有意義であったとのコメントを戴きました。今後、報告書やインターネットを通じて広報活動を行い、本取り組みを大いに公表することを進言されました。本稿がその一助となれば幸いに存じます。

国際セミナー

熱工学国際セミナー実施報告

小田豊 助教

本ニュースレターの第3号でご紹介した熱流体国際セミナーに引き続き、熱工学分野で先進的な研究を行っている国内外の著名な研究者4名をお迎えして、2009年11月25日、30日の両日にわたり熱工学国際セミナーを大阪大学で開催しました。本国際セミナーの趣旨は、熱工学に関わるマルチフィジックス問題やそれに関連するテーマについて、大学院生に先端的な知見に英語で接する機会を与え、マルチフィジックスの重要性を認識させることにより、コースワークにおける取り組みや英語学習への動機づけとすることにあります。

今回の国際セミナーでは米国、中国、韓国、日本から4名の講師をお招きし、熱工学に関わる先端的かつ重要な話題について大学院生に向けて英語で講演を行って頂きました。4名の講師を含めた参加者総数は67名（うち教員15名、大学院・学部生48名）にのぼり、阪大関係者に限れば昨年実施した熱流体国際セミナーを上回る参加人数となり、盛況のうちに行われました。

ミネソタ大学のSimon教授には、近年NASA（アメリカ航空宇宙局）との共同研究として行われた宇宙探査船向けの新しいスターリングエンジンの開発に関するご講演を頂きました。講演では数値計算や実験を駆使してエンジン内部の非定常熱流動現象を解析した先端的な研究内容の紹介がなされ、学生の関心を引いていました。

三菱重工の福泉氏からは、地球温暖化など人類が直面する地球環境問題への対策として現在検討されている最先端の発電方式と電力利用システムの紹介と解説、並びにそれらの技術で構築される近未来の生活形態の予想図など、近い将来にその開発の一翼を担うであろう本学の大学院生にとって夢のある講演を頂きました。講演後の質疑応答では、米国に長く駐在して仕事をされた経験から、日本の学生が国際的に活躍するためには何事にも積極性を持つことが重要であると熱心に語りかけておられました。

KAISTの申教授には、在籍されているKAIST (Korea Advanced Institute of Science and Technology)の概要、研究体制についてご紹介頂いたのち、ガスタービン燃焼器などで重要となる予混合火災の不安定性に関して、基礎的事項から現在進行中の研究内容まで、時折日本語を交えながら平易に解説を頂きました。また、申教授が大阪大学大学院博士



図1 Simon教授（ミネソタ大学）と福泉氏（三菱重工）

課程に留学された際の研究内容、経験についてご紹介をいただき、若手研究者の研究に対する心構えについて、貴重なアドバイスを頂きました。

清華大学の張教授には多結晶金属ナノ構造における電気・熱輸送、マイクロ・ナノワイヤの固有熱伝導率計測、カーボンナノチューブ内の熱衝撃波などナノスケール熱輸送現象に関する先端的な話題を提供頂きました。この中で「熱質量」という新しい物理概念に基づく一般熱伝導理論を紹介され、この理論に基づくと高熱流束を炭素ナノチューブに付与した場合には、その先端ではフーリエ則とは有意に異なる温度を示すはずであり、この実験的検証に取り組んでいることが紹介されました。このように、幅広く夢のある新しい研究分野について、平易な言葉で解説を頂くことができ、非常に有意義な時間を過ごすことができました。

いずれの講演者も近い将来に社会を担う研究者・技術者となる本学の大学院生に対して、世界の中で積極的に発言し議論をリードしていくことの重要性や、若い頃の学びの経験が将来どのように役立つかなどを、自らの経験を交えながらお話下さり、本セミナーに参加した学生も大いに刺激を受けたようです。

本国際セミナーに参加した大学院生（一部、学部生を含む）を対象としたアンケート調査を行ったところ、前回と同様に80%を超える学生が国際セミナーへの参加は有意義であったと回答しています。参加した動機については、前回同様に「指導教員に勧められて」参加した学生がもっとも多いものの、「英語の学術講演が聴ける良い機会」と捉えて参加した学生の割合は前回に比べて増加しており、学生の参加意識の変化が伺われます。また、学生の77%が講演を聞いてマルチフィジックス問



図2 申教授（KAIST）と張教授（清華大学）

題の重要性を認識したと回答していることから、本セミナーが学生の研究を進めるうえで直接的・間接的に一定の効果をもたらしたと言えそうです。国際力養成に有効な方策としては、海外留学をトップに挙げており、次点の国際会議発表や国際インターンシップとともに現地での実体験が国際力養成にもっとも効果的であると考えており、この点では教員と意見を同じにしています。

アンケート自由記述欄での「国際セミナーを通じて、グローバル化した今日では技術者は専門知識だけでなく英語によるコミュニケーション力も必要であると感じ、また英語を勉強するいい刺激にもなったと思います。」という言葉に象徴されるように、国際セミナーには一定の教育効果が期待でき、今後も様々な学問分野での継続した開催が望まれていると言えます。



図3 熱工学国際セミナーの様子

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/>