

WCCM13 のご案内

吉村 忍 JACM 会長 (東京大学)

The 13th World Congress on Computational Mechanics and 2nd Pan American Conference on Applied Mechanics (WCCM XIII / PANACM II)が2018年7月22日(日)~27日(金)にアメリカ, ニューヨークで開催されます.

詳細は会議の詳細はWEBページ:

<http://www.wccm2018.org/>

に掲載されております. 以下に重要な締切日を列举致します.

12月31日 アブストラクト締切

3月31日 早期参加登録 締切

6月15日 参加登録 締切

状況により変更があるかもしれません. WEBページを適宜ご覧下さい. JACM総会ならびに2018 JACM Awards授賞式をWCCM13期間中に開催致します. JACM会員の皆様におかれては本会議に奮ってご参加の程お願いいたします.

2018 JACM Awards の募集

吉村 忍 JACM 会長 (東京大学)

日本計算力学連合(JACM)は, 計算力学分野における顕著な功績および業績をあげた研究者を表彰する3種類の JACM Awards の候補者を募集します. JACM 会員におかれましては, 候補者を自薦他薦で奮ってご推薦下さい.

Award受賞者には, 2018年7月22日-27日にアメリカ・ニューヨークで開催されます WCCM13 (<http://www.wccm2018.org/>) の会議中に開催されます 2018JACM総会において表彰予定です.

JACM Awards

The JACM Computational Mechanics Award

日本計算力学賞 (3名以内)

計算力学の広い分野での顕著な研究業績, ソフトウェア開発, 計算技術開発に対して与えられる.

The JACM Young Investigator Award

日本計算力学奨励賞 (3名以内)

計算力学分野で顕著な業績及び研究を行った40才以下(表彰年以内に41才になってはならないこと)の研究者に与えられる.

The JACM Fellows Award

日本計算力学連合フェロー賞 (5名以内)

計算力学分野で顕著な業績を上げ, JACM へのサポート, および IACM 関連国際学会に貢献した研究者に対して与

えられる.

過去の受賞者は, 下記 URL で一覧できます.

<http://www.sim.gsic.titech.ac.jp/jacm/Japanese/Award/index.html>

推薦書に記載して頂く項目は以下の通りです.

1. 推薦しようとしている Award の名称
2. 候補者の氏名, 所属・住所, e-mail アドレス (奨励賞候補者は生年月日も記載のこと)
3. 推薦者の氏名, 所属・住所, e-mail アドレス
4. 主な受賞歴を含む経歴 (最大10行以内)

- 完全なリストである必要はありません. 最近のもの, あるいは最も重要なポストを記載してください.
5. 候補者の最も主要な功績あるいは業績の簡潔な記述 (500字以内). 特に, その Award の候補者として推薦する理由がわかるように記載してください.

推薦状のフォーマット兼例文は, 同じ URL にあります. 推薦書は, 2018年3月30日(金)までに e-mail にて, 次のアドレスにお送りください.

送付先: yoshi@sys.t.u-tokyo.ac.jp

なお, 受賞者は主に日本国内において活動した研究者(外国人も含む)となっています. 受賞者及び推薦者は, 応募時点でJACM会員であることが必要です.

JACM 関連研究室の紹介（その 11）

今回は、東京大学大学院工学系研究科レジリエンス工学研究センター酒井研究室、上智大学理工学部機能創造理工学科長嶋研究室、東京工業大学工学院機械系反応性気体力学研究室及び佐賀大学大学院工学系研究科機械システム工学専攻計算力学関連研究室を紹介致します。

東京大学大学院工学系研究科 レジリエンス工学研究センター 酒井研究室

酒井 幹夫（東京大学）

東京大学大学院工学系研究科レジリエンス工学研究センター酒井研究室は、離散要素法（Discrete Element Method：以下、DEM と記す）をベースにして、粉体をはじめとする固体粒子挙動の数値シミュレーションに関する研究を行っています。研究員の構成は、筆者、博士課程の学生 5 名（社会人 2 名）、修士課程の学生 4 名（留学生 1 名）、卒業生 1 名のほかに、特任研究員 1 名、学術支援職員 2 名、技術補佐員 1 名です。酒井研究室に所属する学生は原子力国際専攻に所属しており、人数こそ少ないものの皆優秀で当事者意識があり、国内外の様々な学会でプレゼンテーション賞を多数受賞しています。なお、酒井研究室の研究テーマの多くは、国内外の大学や民間企業と協力して行われており、人材と分野を横断するダイナミックなプロジェクトが展開されています。本研究室では、高度なマルチフィジックスシミュレーション技術の開発およびそれを用いた複雑な物理現象の解明を研究テーマとしており、応用領域は原子力工学、化学工学、エネルギー工学、食品工学、製剤など多岐にわたります。研究では大きく分けて 3 つのテーマの研究を行っています。

第一のテーマは、マクロスケールにおける粉粒体流れ、固気二相流、固液二相流および固気液三相流の数値シミュレーションのモデル開発です。固体粒子の衝突問題ばかりでなく、固体-流体連成問題も研究しています。マクロスケール体系の数値シミュレーションは、ハードウェアの計算速度がボトルネックとなります。本研究室では、最新の CPU を搭載したコンピュータ上で OpenMP による並列計算手法を導入することで、計算速度の大幅な向上を実現しています。しかしながら、最新のハードウェアを使用しても、1 台の計算機だけでは産業スケールの粉体プロセスを模擬するのは極めて困難です。このような粉体シミュレーションの産業応用に関する問題を解決するために、スケーリング則の DEM 粗視化モデルを提案しています。複数粒子を 1 つの粒子として模擬することにより、大規模シミュレーションをきわめて効率的に計算することが可能になりました（図 1）。

第二のテーマは数値シミュレーションモデルを実際の物理現象に応用することで、新しい現象の解明や実験による可視化が困難な物理現象のダイナミクスを明らかにすることです。近年、本研究室が取り組み始めたテーマのひとつが、マイクロ流路内に懸濁液を流したときに見られる固体粒子の集約挙動です。DEM と直接計算法（Direct Numerical Simulation）を組み合わせた DEM-DNS 法を用い

て固体粒子と流体間の相互作用力を直接計算することで、粒子が特定の領域に集まる現象を正確に再現することに成功しました（図 2）。この現象は流体中に含まれる微粒子の分離・濃縮技術への応用として着目されています。実験的アプローチが極めて困難な物理現象の解明を通じて、より洗練された分離技術の設計指針を示すことができると期待されています。

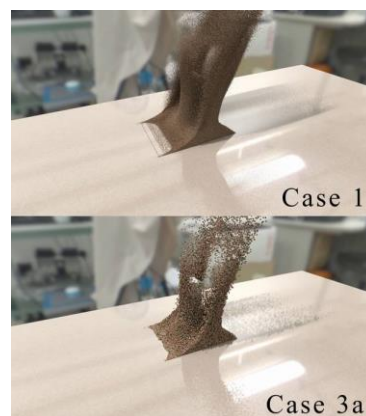


図 1 DEM 粗視化モデルを使用したシミュレーション [1]

(Case 1 : オリジナル体系, Case 3a : DEM 粗視化モデル体系)

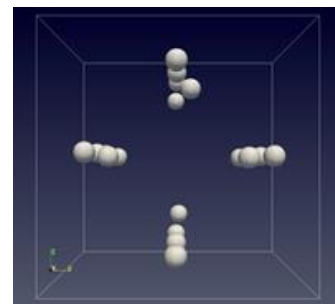


図 2 $Re=50$ のときの固体粒子の集約挙動 [2]

第三のテーマは、数値シミュレーションで得られた複雑な粉体の挙動についてコンピュータグラフィックスを用いて、より分かりやすくかつ美しく可視化する技術に関する研究です。数値シミュレーションは、実物に近い可視化画像を作成できれば、そのポテンシャルをよりいっそう高く発揮することができます（エンジニアリングにおいても重要視されています）。現在、DEM 粗視化モデルについて、複数粒子をひとつの粒子で代表させるので、実物に近い可視化画像を作成するために空隙率による粉体の膨張などを考慮した可視化手法を開発しています。

研究成果は、粉体工学会や日本計算工学会計算工学講演会（粒子法・メッシュフリー法の基礎および関連技術セッション）などで学会発表しております。皆様との議論を通して、研究の完成度を高めたいと思います。

参考文献

- [1] 森勇稀, 酒井幹夫, “大規模粉体流解析のための可視化技術の開発,” 第 22 回計算工学講演会論文集, A-11-2, Saitama, May. 31-June 2 (2017)
- [2] 鶴殿寛岳, 酒井幹夫, “マイクロ流路内を流れる微粒子の流体力学的相互作用の評価,” 2016 年度粉体工学会秋期研究会講演要旨集, 94-95 (2016), Nov. 29-30, Tokyo

上智大学理工学部機能創造理工学科 長嶋研究室

長嶋利夫（上智大学）

長嶋研究室は、2007年に機械工学科から機能創造理工学科へ改組を機に、材料力学講座（末益博志教授と筆者が所属）から独立し、計算力学手法の理論や開発を中心に教育研究活動をしております。2017年11月時点で、その構成員は、修士課程2年生5名、同1年生4名、学部4年生（卒研生）3名です。現在も末益教授とは材料力学研究グループを組織し、構造物の強度信頼性評価を共通の研究テーマとしています。その設備も共有しておりますが、特に数値シミュレーションに必要となる強度データを取得するための荷重試験機、結果の検証に必要となる超音波探傷装置、X線CT装置の利用頻度は高いです。

当研究室へ配属した学部生は、まずはプリプレグシートの裁断、積層、ホットプレスによりCFRP積層板を製作します。さらに試験片を切り出し、ひずみゲージを貼り、引張り試験の実習を行います。研究対象となる材料が金属やゴムなどのCFRP以外の学生もおりますが、まずはCFRPを題材として、実際に「材料」や「もの」のイメージを体感した上でバーチャルな計算力学の世界に入ってもらように心がけております。大学院生の輪講は固体力学や有限要素法の英文文献の読解やパワーポイントによる発表を中心に進めますが、演習ではさらに材料力学や構造力学の問題を手計算で解く過程を重視し、ホワイトボードとマーカーを用いながら口頭説明させております。

さて、当研究室のメインテーマである計算力学手法を用いた研究では、汎用コードとしてAbaqusとLSdynaを導入し、Linux計算サーバー数台を稼働して数値計算をしておりますが、その一方で、内製のFEMやXFEMコードの開発もしております。C言語を用いたコーディングでは、おもにWindows環境でVisual Studioを用いますが、WindowsおよびLinuxで同じインテルコンパイラを使用することで双方同じコードを用いた計算環境を整備してデバッグやテストをしております。また、開発している陰解法を用いた内製コードでは、内製の連立一次方程式ソルバーだけではなく、商用ライブラリー（インテルマスカネルライブラリ）も利用しています。

ところで、ここ数年は民間航空機設計に資するCAEの技術開発を目的とする研究活動を行っております。NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発：航空機CAE）に関する東北大学からの再委託研究を主とし、その研究を円滑に進めるために、2016年度に学内に時限研究部門である「次世代航空機CAE技術研究センター」を設立しました。現在の構成員は、末益教授と研究員の今井登氏と私の3名で、以下の二つの研究項目を実施しております。

- (1) 分野横断（空力・構造・強度）シームレス機体設計シミュレーターの開発
- (2) シミュレーション援用による認証プロセスの低コスト化に関する研究

具体的には、末益教授の専門である複合材料工学と、筆者の研究分野の計算力学を基礎としたFEMに代表される計算力学手法を用いた多岐にわたる工学解析、検証のための実験、ソフトウェアの開発などを実施しています。さらにその内容に関連した学生の研究課題を設定し、指導することによって、将来の航空機産業のみならず、ものづくり産業全般で活躍できる優秀な技術者の輩出を強く期待する

ものです。

長嶋のWEBページ：

<http://www.strmech.com/nagashima/>



写真1 翼構造のFEM解析についての打ち合わせ

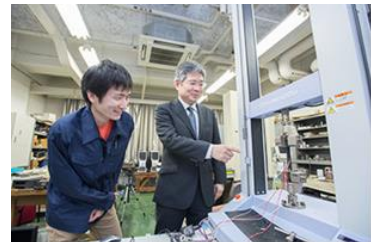


写真2 CFRP積層板の材料試験

東京工業大学工学院機械系 反応性気体力学研究室

店橋 護（東京工業大学）

東京工業大学工学院機械系の反応性気体力学研究室は、主として熱流体力学分野の乱流及び乱流燃焼に関する研究を行っている。平成28年度に行われた東京工業大学における教育改革により、学部や大学院といった従来の組織から学部と大学院の両教育を担う学院の所属となり、これに伴い従来の講座や分野といった概念も無くなった。研究室の名称は旧組織の分野名である「反応性気体力学」を便宜的に使用している。本研究室は、教授の店橋に加えて、志村祐康准教授、源勇気助教の3名の教員で共同運営されており、研究室の学部学生は工学部機械宇宙学科（平成27年度までの学部教育組織）、大学院学生は理工学研究科機械宇宙システム専攻（平成28年度までの大学院教育組織）及び工学院機械系のエネルギーコースと機械コースに所属している。平成29年10月現在で、博士課程学生4名、修士課程学生12名、学部4年生4名の20名の学生が研究室に所属している。このうち、1/4の5名は留学生であり、留学生が比較的多い研究室である。現在、当研究室で行っている研究は、主として乱流と乱流燃焼に関する研究に大別され、それぞれに対して数値的研究と実験的研究の両面から現象解明から物理数学モデルや制御法の構築等を行っている。

数値的研究では、乱流及び乱流燃焼に対して共に直接数値計算(DNS)と呼ばれる最も高精度な数値計算法を採用した大規模な解析が行われている。乱流研究では、最も基本的な一様等方性乱流から、自由せん断乱流、壁面せん断乱流、回転乱流、MHD乱流等、「基本的」と呼ばれるすべての乱流場とそれに付随する温度や濃度等のスカラー輸送を対象としたDNSが行われた実績を有している。このように、ほぼすべての乱流場を対象とした研究が行われている研究室は世界的に見ても非常に稀であり、各種乱流場のDNS結果の詳細な解析からすべての乱流場に共通する

普遍的な微細構造の存在を明らかにしている。また、これらの DNS データベースを有効利用して、乱流の階層構造の解明やそれらの構造に基づいて乱流の Large Eddy Simulation (LES)のための SGS 応力モデルの開発等が行われている。

自動車エンジンや発電用・航空機用ガスタービンエンジン等の各種燃焼器内の流れは乱流状態にあり、高効率・低環境負荷燃焼器の開発・設計には、乱流燃焼機構の解明とそれに基づく高精度乱流燃焼モデルの構築が不可欠である。乱流燃焼の DNS は、前述の純粋乱流に比べて非常に困難であり、計算力学の中でも最も解析が難しい物理現象の一つと考えられている。例えば、最も簡単な水素燃料でも純粋乱流に比して 10^7 倍程度計算負荷が高い。これは、燃焼反応の複雑さに起因しており、水素燃料では少なくとも 10 化学種程度が関与する 30 組前後の素反応を考慮に入れなければならない。このような化学反応の組を詳細化学反応機構と呼ばれるが、メタンやプロパンでは 50 化学種 300 素反応程度、ガソリンならば数百化学種、数千素反応である。つまり、質量、運動量及びエネルギーの保存式に

ないが、マイクロ燃焼場等にも DNS が拡張されている。現在でも最新の乱流燃焼の DNS は、数か月から 1 年以上の歳月を必要とする。

乱流及び乱流燃焼の DNS には十分な計算資源が必要であるが、当研究室では自前の計算用サーバー等はほとんど所有していない。多くの DNS は、東京大学情報基盤センターの Oakleaf, Oakforest, Reedbush 等、東北大学サイバーサイエンスセンターの SX-ACE 及び東京工業大学学術国際情報センターの TSUBAME 等を用いて実行されている。上述のように、乱流及び乱流燃焼の DNS は非常に大規模であり、1 ケースの DNS データは大きいもので数十 TB に達する。これらの大規模な DNS データを保管するために、研究室にはデータサーバー群が用意されており、その総容量は 500TB 以上である（写真 3）。単独の研究室が保有するデータサーバーとしてはかなり大きい方かも知れない。

乱流及び乱流燃焼の DNS はそれぞれの物理現象に対し

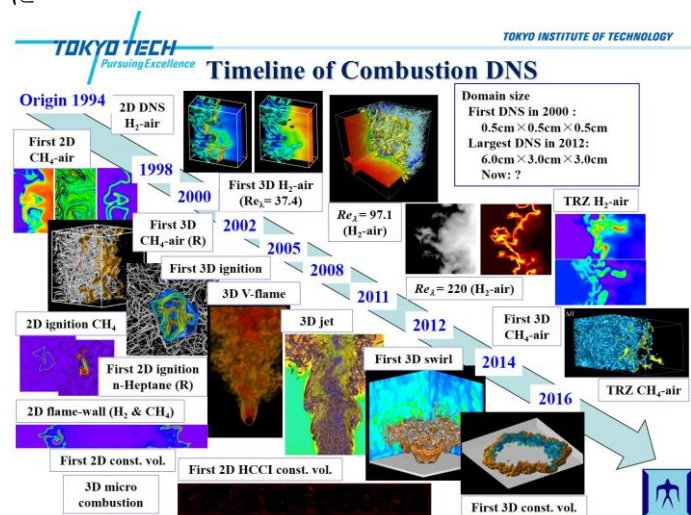


図3 乱流燃焼の DNS のタイムライン

加えて、燃焼反応に関与する化学種数に対応する保存方程式群を同時に解析する必要がある。さらに、燃焼反応は極めて高速なため、時間積分間隔も ns のオーダーとなる。このため、2000 年前後に、当研究室にて世界で初めて詳細化学反応機構を考慮に入れた水素乱流燃焼の三次元 DNS を報告するまで、乱流燃焼の三次元 DNS は人類には不可能と信じられていた。この世界初の三次元 DNS は当時の国内最高速スーパーコンピュータを用いて 2 年の歳月を要した。図 3 は当研究室における乱流燃焼 DNS のタイムラインを示している。乱流予混合火炎に限れば、一様乱流中を自由伝播する予混合火炎という幾何学的に単純な系を対象に、乱流特性の影響、いわゆる乱流燃焼ダイアグラムにおいていくつか分類される火炎形態の実際の姿が、最初に DNS によって調査された。その後、V 型乱流火炎や噴流火炎、さらには矩形燃焼器内に形成される巡回乱流火炎に拡張されている。このような DNS 結果は、燃焼器の振動燃焼等の解析や乱流燃焼モデルの構築等にも積極的に応用されている。近年では、自動車用エンジンやガスタービン等の実用燃焼器で観察される現象に近い、定容容器内の乱流予混合火炎の着火・伝播、HCCI 燃焼等にも乱流燃焼の DNS は拡張されている。乱流燃焼場では



写真3 総容量 500TB 超のデータサーバー群

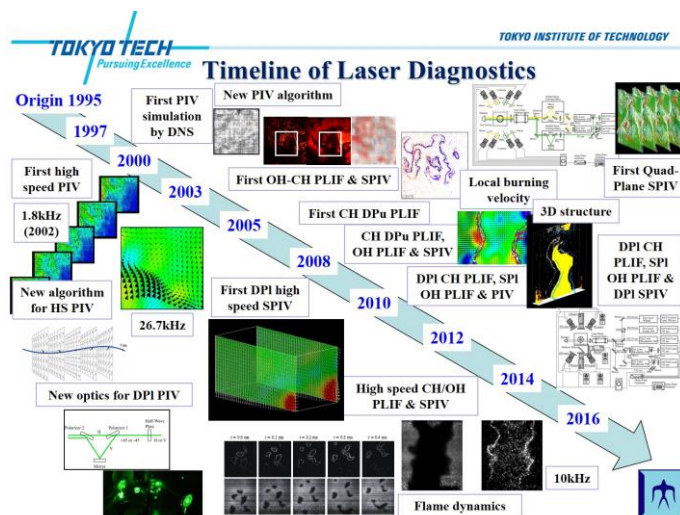


図4 乱流及び乱流燃焼のレーザ計測のタイムライン

て極めて詳細な情報を与えてくれる。しかしながら、DNS とは言え数値的にコンピュータ上に作成されたデータであるため、実験的に何らかの形で検証する必要がある。本研究室では、DNS と同程度の精度で乱流及び乱流燃焼を計測する方法を模索し、レーザ計測法の開発にも取り組んでいる。図 4 は当研究室におけるレーザ計測法のタイムラインを示している。乱流計測に関しては、粒子画像流速計 (PIV) を中心として計測手法の開発から行い、世界で初めて高速ステレオ投影 PIV や 4 平面ステレオ投影 PIV 等を実現している。これらの計測法は、乱流の DNS と同じ空

間分解能で 3 次元空間内での乱流変動に関する詳細な情報を与えることが可能であり、前述の DNS から明らかにされた乱流の普遍的微細構造の存在を実験的に検証するに至っている。これらの計測技術は特許化され、乱流計測だけでなく、現在では多くの研究分野に普及している。

乱流燃焼を対象としたレーザ計測技術についても、2000 年代に入ってめざましい発展をとげている。この進展には、流体速度の計測法として PIV の技術が確立されたことが大きく寄与している。乱流予混合火炎については、CH ラジカルと OH ラジカルを平面レーザ誘起蛍光法(PLIF)の同時計測に加えて、平面内の速度 3 成分をステレオ投影 PIV の同時計測法が実現され、流体速度と中間生成物の同時レーザ計測が一般的となっている。このような複合レーザ計測は、乱流予混合火炎の局所火炎移動速度の直接計測、三次元火炎構造、速度 3 成分及び速度勾配 9 成分と 3 化学種 PIF の同時計測に拡張され、従来取得不可能であった乱流予混合火炎の局所構造に関する詳細な情報を与えている。

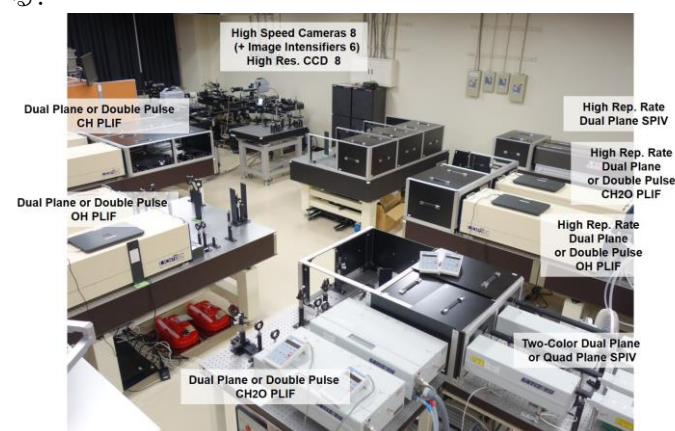


写真4 乱流及び乱流燃焼のレーザ計測システム

高繰り返し周波数の高速 PIV の確立に呼応するように、高速 PLIF も可能となっており、乱流火炎の動的特性も検討され始めている。写真2は当研究室の主実験室を示している。総計 20 台を超える各種流体速度計測用レーザシステムや各種化学種濃度計測用レーザシステム等が整備されており、世界最先端のレーザ計測実験室を有している。乱流燃焼についても、DNS 結果とレーザ計測結果の直接比較が試みられている。このような計測も巨大なデータを一度の計測で生み出す。本研究室では写真3とは別に実験データ用の大型データサーバーも準備しており、実験データの解析は DNS と同様にスーパーコンピュータを用いて並列処理されている。

上述の乱流及び乱流燃焼に関する研究成果は、国内では日本機械学会、日本流体力学会、日本伝熱学会、日本燃焼学会等の講演会やシンポジウムで報告されており、修士課程以上の学生は修了までに複数回発表する。さらに、国際会議にも積極的に参加しており、計算力学世界大会(WCCM)をはじめとして、乱流せん断流国際シンポジウム(TSFP)、乱流熱物質輸送国際会議(THMT)、欧州乱流会議(ETC)、工学的乱流モデリングと計測会議(ETMM)、国際伝熱会議、環太平洋熱工学会議(PRTEC)、国際燃焼シンポジウム、アジア・環太平洋燃焼会議(ASPACC)、米国物理学会流体力学部門年次大会(APS DFD)、レーザ技術の流体力学応用に関する国際シンポジウム、実験熱流体力学世界大会等で定期的に研究成果が報告されている。修士課程学生でも国際会議で複数回の発表を経験して修了する場合が

ほとんどである。留学する学生も比較的多く、最近では、英国・ケンブリッジ大学、米国・プリンストン大学、仏国・エコール・セントラル・パリ、独国・ダルムシュタット工科大学、アーヘン工科大学、スペイン・マドリッド工科大学等に留学しており、比較的グローバル志向の強い学生が研究室に所属する傾向にある。研究成果を発表する主要な学術雑誌は、'Proceedings of the Combustion Institute', 'Physics of Fluids', 'Journal of Turbulence', 'Combustion Science & Technology', 'Flow, Turbulence and Combustion', 'Experiments in Fluids', 'International Journal of Heat and Fluid Flow', 'Fuel', 'International Journal of Hydrogen Energy' 等である。

現在、戦略的革新イノベーション創造プログラム(SIP)「革新的燃焼技術」に参加し、自動車用ガソリンエンジンの正味熱効率 50%を目指した研究開発に、上述のような基礎研究で培ってきた乱流及び乱流燃焼の DNS と先端レーザ計測技術を応用している。

佐賀大学大学院工学系研究科 機械システム工学専攻 計算力学関連研究室

萩原 世也（佐賀大学）

佐賀大学は、教育学部、経済学部、芸術地域デザイン学部、医学部、工学系研究科、農学部で部局が構成されており、さらに、海洋エネルギー研究センター、低平地沿岸海域研究センター、シンクロトロン光応用研究センター、地域歴史学研究センターなどの、研究センターで構成される九州地方の佐賀県の国立大学です。

また現在、佐賀大学理工学部は、数理科学科、物理科学科、知能情報システム学科、機能物質化学科、機械システム工学科、電気電子工学科、都市工学科の 7 学科、大学院工学系研究科は、数理科学専攻、物理科学専攻、知能情報システム学専攻、機能物質化学専攻機械システム工学専攻、電気電子工学専攻、都市工学専攻、先端融合工学専攻の 8 専攻で構成されています。機械関連の専攻としては、機械システム工学専攻と先端融合工学専攻であり、機械工学関連専門分野は、5 つの分野で構成されています。その中で、計算力学関係の教育研究分野の教員は、先端材料システム学分野として、萩原世也（教授）、只野裕一（准教授）、武富紳也（准教授）の三名が教育研究に携わっています。佐賀大学へは、萩原世也が 1997 年に着任し、只野裕一が 2008 年、武富紳也が 2011 年に着任しました。



写真5 研究室の風景

2013年には、日本機械学会の計算力学部門の第26回計算力学講演会を佐賀において開催しました。日本機械学会の計算力学講演会は参加者が500名以上の非常に大きな学会であり、機械システム工学専攻の他の分野、研究室からも応援をいただいて無事に成功いたしました。

研究内容としては、萩原世也が有限要素法、CAE、粒子法、メッシュフリー法などの研究を行っており、図5はプレス加工の切断面の破断開始点の予測の研究の一部であり、応力三軸度の分布を示しています。

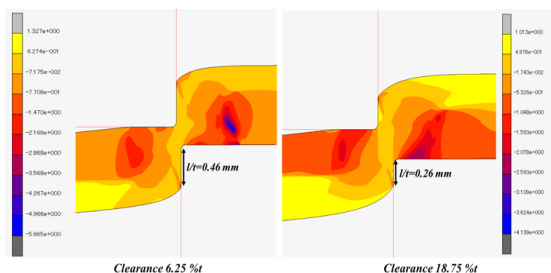


図5 プレス打ち抜き時の応力三軸度の分布

只野裕一が結晶塑性モデルや高次勾配塑性モデル、フェーズフィールド法などを、均質化理論に基づく有限要素法やメッシュフリー法など種々の計算手法に導入した研究を行っており、図6に結晶塑性モデルによるマグネシウムの変形挙動解析の一例を示しています。また武富紳也が、電子/原子シミュレーションを用いた水素脆化現象の解明などに取り組んでいます。図7に純鉄刃状転位芯近傍の水素トラップエネルギーを示しています。

このように並べると、ナノスケールからミクロスケール、マクロスケールまでの小さいものから大きいものまでを対象とした研究が揃っています。学生達は、学部4年生から博士前期課程、博士後期課程学生まで、幅広く在籍して明るく勉強をしています。

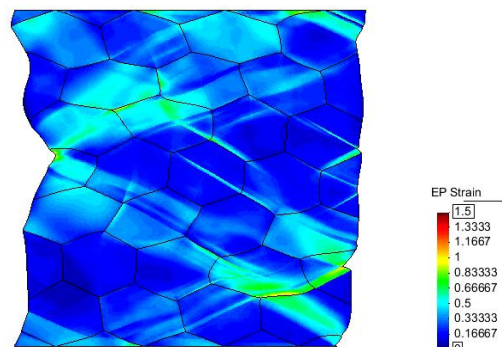


図6 結晶塑性モデルによるマグネシウムの変形挙動

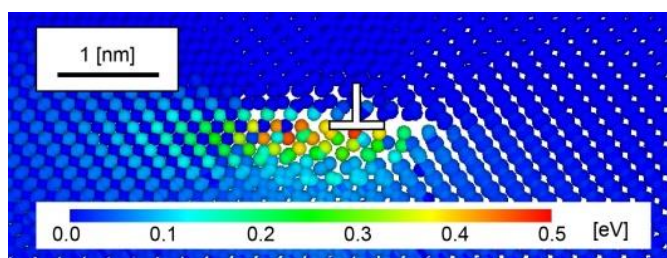


図7 純鉄転位芯近傍の水素トラップエネルギー分布

佐賀大学大学院工学系研究科機械システム工学専攻計算力学関連研究室では、このような研究内容を発展させていくと共に、IACM, JACMの関連の行事、日本機械学会、日本計算工学会等の関連行事に積極的に協力していきたいと考えています。

編集責任者

西脇 眞二（京都大学）

山田 崇恭（京都大学）