

## スーパーコンピュータ「富岳」を用いた本格的な実証研究を開始

スーパーコンピュータ「富岳」(以下、「富岳」)の共用が本年3月9日に開始されました。革新的シミュレーション研究センター(以下、革新センター)では「富岳」の共用に先立ち2020年度から開始された、文部科学省「『富岳』成果創出加速プログラム」(補助金事業)の一つの課題である、「『富岳』を利用した革新的流体性能予測技術の研究開発」(略称:「富岳」流体予測革新プロジェクト)を代表機関として実施していますが、プロジェクトの開始から1年が経過しました。「富岳」流体予測革新プロジェクトでは、エネルギー産業の心臓部である「ターボ機械」、および、輸送産業の中核を形成する「自動車」を対象として、ポスト「京」重点課題⑧「近未来型ものづくりを先導する革新的設計・製造プロセスの開発」(以下、「ポスト『京』重点課題⑧プロジェクト」)で研究開発したアプリケーションソフトウェアの実証研究を実施しています。

このプロジェクトの実施目的は、「富岳」あるいは「富岳」の時代におけるHPC(High Performance Computing)を利用することによって、ものづくりの在り方を抜本的に変革できることを実証することにあります。昨年度は本格的な実証研究のための準備を着々と進めてきました。去る令和3年3月10日(水)には、アプリケーションや実証計算の準備状況を報告し、「富岳」の時代のものづくりとシミュレーションについて幅広い観点から議論することを目的として、第1回「富岳」流体予測革新プロジェクトシンポジウムをオンラインにて開催しました(下図参照)。シンポジウムではターボ機械や自動車に関係した各テーマの成果を報告するとともに、「『富岳』を利用したものづくりの変革への期待」と題したパネルディスカッションを行い、産官学の関係者がそのような期待を共有するとともに、その実現のための課題について議論しました。パネルディスカッションの概要に関しては本ニュースレターでも紹介しております。シンポジウムでは数多くの大変貴重なご意見をいただきましたが、今後のア

プリケーションソフトウェアの研究開発やその実証研究に反映します。

「富岳」流体予測革新プロジェクトでは、4本のアプリケーションソフトウェアを用いた実証研究を推進しています。具体的には、船に関するテーマや多段遠心ポンプに関するテーマに用いられる汎用大規模乱流解析プログラムFrontFlow/blue(略称:FFB)、圧縮機サージに関するテーマに用いられるターボ機械用圧縮性流れDES解析ソフトウェア、自動車に関するテーマに用いられる流体・構造統一連成解析システムCUBE、および格子ボルツマン法による直接計算プログラムFFXです。各実証研究のテーマおよびFFXについては本ニュースレターでも紹介しております。これらのアプリケーションソフトウェアに関しては、ポスト「京」重点課題⑧プロジェクトにおいて「富岳」に対する高速化・最適化が進められ、「富岳」を利用することによって、スーパーコンピュータ「京」に対して20倍から最大70倍にも及ぶ高い実効性能が得られています。この1年間でさらなるチューニング等を進め、3月9日に共用が開始されたスパコン「富岳」による大規模解析のための実施環境を整備してきました。今年度は「富岳」を用いた本格的な実証研究を実施し、残り2年のプロジェクト期間で、最大限の成果を創出していきたいと考えています。

「富岳」は、ご存じのとおり、Society 5.0の実現に大きく貢献し、HPCだけでなく、データ科学的手法の研究開発のためにも不可欠な計算基盤として位置付けられています。ものづくり分野においても、「富岳」をはじめとした、最先端のスーパーコンピュータを駆使した新たな技術開発に対する重要性はますます高まっています。革新センターでは、上記の実証研究を着実に実施するとともに、新しい技術開発に関しても継続的に取り組んでいきたいと考えておりますので、引き続き、関係各位のご理解とご協力をお願いいたします。

センター長・教授 加藤千幸



▲シンポジウムでのディスカッションの様子



# 第1回「富岳」流体予測革新プロジェクトシンポジウム

文部科学省「『富岳』成果創出加速プログラム」「『富岳』を利用した革新的流体性能予測技術の研究開発」(以下、本プロジェクト)では、本年3月10日、第1回「富岳」流体予測革新プロジェクトシンポジウム(主催：東京大学生産技術研究所革新的シミュレーション研究センター、共催：東京大学生産技術研究所)をオンライン開催しました(Webex Events利用)。

本プロジェクトは、2016年度から2019年度にかけて本格実施された、ポスト「京」重点課題⑧「近未来型ものづくりを先導する革新的設計・製造プロセスの開発」プロジェクトにおいて、「富岳」用に開発したアプリケーションソフトウェアを駆使し、「富岳」あるいは「富岳」の時代におけるHPCを利用することにより、ものづくりの在り方が抜本的に変革されることを実証することを目的としています。この目的を達成するため、大学等の研究者と民間企業の技術者・研究者が強力に連携して、エネルギー産業の心臓部となる「ターボ機械」、および、輸送産業の中核となる「自動車」を対象として、5つのテーマを設定し、実証研究を実施しています。

本シンポジウムでは、これまでに得られた成果を報告するとともに、成果に対する産業界としての期待を紹介していただきました。また、最後にパネルディスカッションを開催し、「富岳」を利用したものづくりの変革への期待と課題について議論しました。

当日は民間企業154社からの参加者を含め、292名の方々にご参加いただき、盛会裡に終了することができました。以下、パネルディスカッションにおける議論やそれぞれのテーマに関する成果の概要を紹介します。

## 本プロジェクトのHP

⇒ <http://www.fugaku-pj.iis.u-tokyo.ac.jp/>



加藤千幸  
センター長・教授



九州大学  
古川雅人教授



(一財)日本造船技術センター  
西川達雄氏



神戸大学  
坪倉誠教授

## パネルディスカッション

産業界の方々を登壇者に迎え、「『富岳』を利用したものづくりの変革への期待」と題して、パネルディスカッションを開催しました。

パネリストとしては、本プロジェクトの実施者である、神戸大学／理化学研究所 坪倉誠教授／チームリーダー、一般財団法人日本造船技術センター課長 西川達雄氏、株式会社IHI主任研究員 佐藤涉氏に加え、産業界からの幅広いご意見をお聞きするために、日産自動車株式会社エキスパートリーダー 大島宗彦氏、マツダ株式会社アシスタントマネージャー 平岡武宜氏と同上席研究員 本田正徳氏、株式会社日立製作所主任研究員 岩瀬拓氏、富士通株式会社シニアマネージャー 金澤宏幸氏にもパネリストとして議論に参加していただきました。加藤千幸センター長・教授がモダレータを務め、本年3月9日に共用が開始された「富岳」を利用することにより、ものづくり分野において期待されている変革を共有し、また、それを実現するための課題を明確にするための議論を進めました。

「富岳」で得られる実証研究成果に対する期待と実用化に対する課題、「富岳」を利用して得られる大規模・大量データの利活用法とそのための課題、「富岳」を中心としたHPCIの整備と運用に対する産業界としての期待と要望などに則して、まず、各パネリストにポジショントークをしていただき、会場も交えての意見交換が行われました。HPCの利用目的は多岐にわたりますが、特に、産業界では風洞試験や水槽試験、性能試験などの代替え、従来は不可能であった予測の実現、HPCやビッグデータを駆使した多目的最適設計、製品の性能や信頼性に大きな影響を与える複雑な物理現象の解明などに大きな期待が集まっています。パネルディスカッションでは、それぞれの利用目的ごとにさまざまなご意見が寄せられ、今後の課題を明確にすることことができました。本プロジェクトの研究開発やその成果の普及活動に今回いただいたご意見を反映させていきたいと考えています。

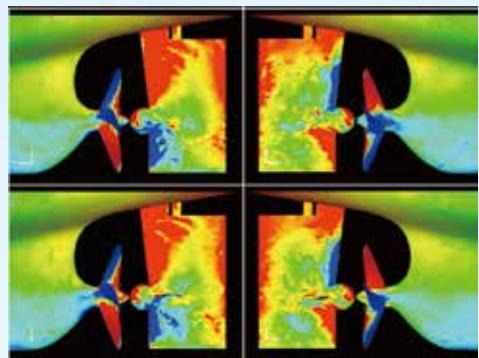
## ▶ ターボ機械設計・評価システムの研究開発 ◀

ターボ機械に関する研究開発では、3つのテーマを設け、実証研究を推進しています。まず、これらのテーマのとりまとめ責任者である、東京大学の加藤千幸センター長・教授から、実証研究の準備状況とこれまでに得られた成果の概要を紹介し、ターボ機械の設計・製造に貢献する、「富岳」の時代のものづくりシミュレーションについての展望を説明いたしました。それに引き続き、各テーマでこれまでに得られた成果およびその成果に対する期待を紹介いただきました。

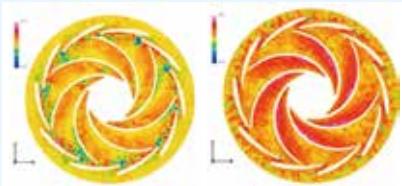
### (実証研究テーマ①)

#### 数値曳航水槽の実現と省エネデバイスによる推進効率の向上

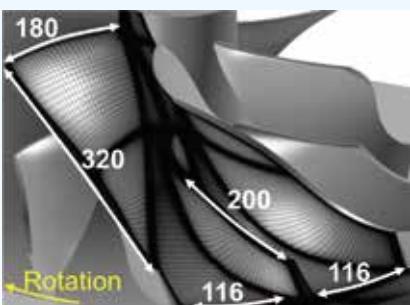
一般財団法人日本造船技術センター課長 西川達雄氏より、「富岳」を利用した大規模なLES (Large Eddy Simulation) 計算による設計の高度化などを紹介いただきました。また、ジャパンマリンユナイテッド株式会社流体研究グループ長 増田聖始氏より、造船業界における現状の性能推定法について解説いただき、LESによる大規模計算への期待についてお話をいただきました。



▲省エネ付加物計算例  
(提供:(一財)日本造船技術センター)



▲ポンプの内部流れ  
(左:20%流量、右:設計流量)



▲圧縮機羽根車の計算格子

### (実証研究テーマ②)

#### 細隙部を含めた多段遠心ポンプの内部流れのWall-Resolved LES

株式会社荏原製作所技術開発部長 渡邊啓悦氏より、テーマの実施概要を説明いただいたのちに、研究対象である遠心ポンプの水力性能や軸スラストと内部流れの特徴を概説いただきました。また、株式会社日立インダストリアルプロダクツ技師 ブリュニエール・ロマン氏より、具体的な計算事例として、漏れ流れを考慮した、低比速度の遠心ポンプ流れのLES解析結果について、これまでに得られた成果を紹介いただきました。

### (実証研究テーマ③) 圧縮機サージの直接解析

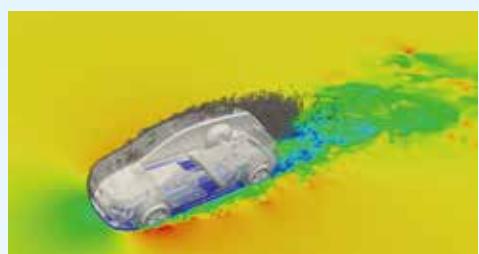
株式会社IHI主任研究員 佐藤涉氏より、圧縮機のサージ現象を概説いただき、その発生予測の重要性と困難性について紹介いただきました。また、九州大学の古川雅人教授より、DES (Detached Eddy Simulation)に基づく圧縮機サージの直接解析によって、マイルドサージおよびディープサージの初生から発達までを予測できる技術を確立し、サージを伴う非定常流動現象の解明を目的とした本テーマの進捗状況について紹介いただきました。

## ▶ 自動車統合設計システムの研究開発 ◀

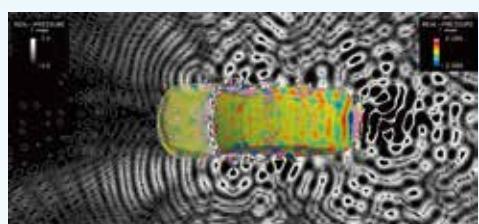
自動車に関する研究開発では、2つのテーマを設け、実証研究を推進しています。まず、これらのテーマのとりまとめ責任者である、神戸大学／理化学研究所 坪倉誠教授／チームリーダーより、利用されるアプリケーションソフトウェアの特長や準備状況、ならびに、これまでに得られた成果の概要を紹介していただき、「富岳」の時代の、自動車の設計に貢献するものづくりシミュレーションについて展望いただきました。それに引き続き、各テーマに関して、これまでに得られた成果や今後の予定、また、成果に対する期待を紹介いただきました。

### (実証研究テーマ④) リアルワールド自動車空力性能の予測

株式会社本田技術研究所アシスタントチーフエンジニア 吉武邦彦氏より、操縦安定性に関しては、乱れの中を走行する実車の操縦安定性に関する空力特性は風洞実験では必ずしも予測できないことが課題となっていること、その課題を解決し得る、実車の走行状態を再現できる空力シミュレーションへの期待を紹介いただきました。



▲自動車周りの流れ渦構造



▲自動車周りの音響解析

### (実証研究テーマ⑤) リアルワールド自動車空力音予測

豊橋技術科学大学の飯田明由教授より、自動車空力騒音における課題とそれを解決する取り組みについて紹介いただきました。続いて、スズキ株式会社 係長 安藤裕啓氏および株式会社本田技術研究所アシスタントチーフエンジニア 宮澤真史氏より、具体的な解析事例を紹介いただきました。



大島 まり 教授

当研究室では、シミュレーションを用いて脳梗塞などの循環器系疾患の原因となる血管病変のメカニズムを解明するとともに、その知見に基づき治療・診断のための支援システムの開発を行っています。

近年、MRIあるいはCTなどの画像診断装置は著しい発展を示しています。そこで、医用画像と流体シミュレーションを組み合わせることにより得られる患者個別の血流情報を、病状予測および手術計画にフィードバックするシステムを開発しています。さらに、深層・機械学習を用いたデータ駆動型の不確かさ解析を行い、医療現場にてリアルタイムに診断が行えるシステムを構築しています。対象として、脳血管系を中心に、脳循環および脳動脈瘤、総頸動脈の動脈硬化症などの循環器系疾患を取り上げています。

## 医用画像に基づくマルチスケール・フィジックスシミュレーション

循環器系疾患では、血流の流体力学的要因が重要な役割を果たしています。特に、我が国は超高齢化社会を迎え、今後、循環器系疾患の患者数は増加すると考えられます。そこで、本研究では、代表的な循環器系疾患である脳動脈瘤・動脈硬化症に着目し、これら疾患の発症および進行のメカニズムを流体力学的な観点から解明するとともに、患者個人に応じた治療方法を提案することのできる予測システムの開発を行っています。システムの概要としては、右図に示されているように、医用画像とシミュレーションを組み合わせることにより、臨床現場で必要とされている血行動態を示す情報を提供します。

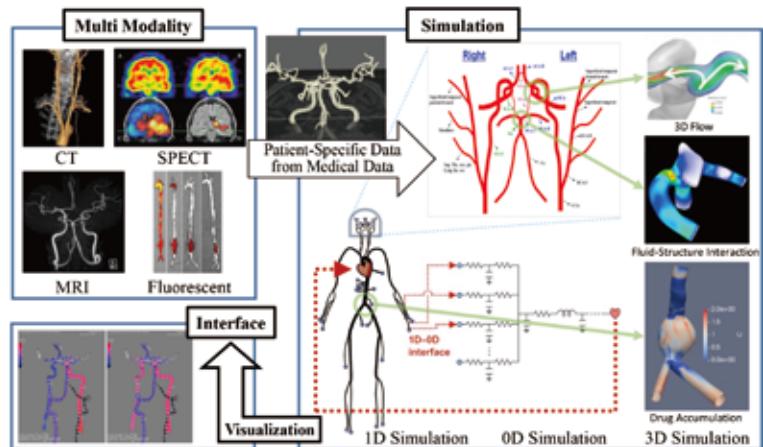
循環器系の血流シミュレーションでは、実際の生体内の各個人の解剖学的および生理学的な状況を反映した血流を再現することが重要な課題です。そのため、CT(Computed Tomography)やMRI(Magnetic Resonance Imaging)等の医用画像から必要な情報を抽出し、これらのデータを用いて効率的かつ効果的にシミュレーションを行っていくことが求められています。前者については、シミュレーションのための医用画像処理技術の研究であり、患者個別の医用画像から3次元血管形状を自動的かつ高精度にモデリングする手法を開発しています。後者は血流シミュレーションであり、医用画像からモデリングできる3次元血管だけでなく、撮影範囲外の全身血管や臓器・末梢血管網などを1D-ODモデルで置き換えて循環系全体を考慮したマルチスケール血流シミュレーション手法を開発しています。また、血流と血管壁の変形を同時に解く流体構造連成解析、血管壁内へのコレステロール沈着や薬剤の浸透など、マルチフィジックス的な視点からも循環器系疾患や治療法のメカニズム解明に取り組んでいます。

## シミュレーションと深層学習の統合による予測医療

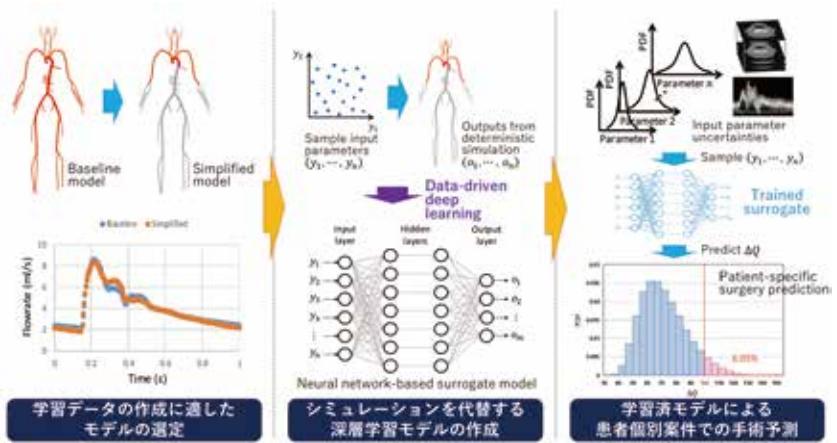
血流シミュレーションの臨床応用に向けた大きな課題として、医用画像や医用計測データが持つ不確かさの反映と、シミュレーションに要する時間の長さがあります。当研究室では、医用データやモデルパラメータの不確かさを考慮し、予測結果のばらつきを確率分布として評価するための手法を構築しています。特に、従来のシミュレーションに代わって高速に血行動態を予測する深層・機械学習モデルの作成に取り組み、膨大なケーススタディを通じた不確かさ評価を一般的なPCでも即時に行えるような、実用性に富む手法開発を目指しています。

具体的には、1D-ODシミュレーションにより入力(条件)と出力(結果)のデータセットを作成し、それを用いて機械学習を行うことにより、任意の解析条件に対して血流循環を迅速に予測する「代理モデル」を構築しました。これにより、手術に必要な血行動態の情報を確率分布として提示でき、より安全で安心な手術計画が可能となるだけでなく、血流シミュレーションの不確かさ解析をデスクトップPCでも短時間で実施可能となっています。

本研究は、流体力学に基軸を置きながら、計算力学・データサイエンスと横断的に研究を展開している点で学術的に意義深く、また、本システムの実現により、手術予測のケーススタディをコンピュータ上で行い、迅速に手術や治療計画に反映することができるため、患者のQOL(Quality of Life)の向上及び医療費の削減に貢献することができ、社会的課題の解決に向けてのインパクトも大きいと考えられます。



マルチスケール・フィジックスシミュレーションの概要



代理モデルを活用した不確かさ評価



大岡 龍三 教授

2019年末に始まったコロナ禍は、2021年の4月までに世界で1億4000万人以上の感染と300万人の死亡をもたらし、深刻かつ世界的な公衆衛生災害となっています。新型コロナウイルスの媒介者として、咳を介した感染者から噴出された気流と飛沫・飛沫核は、ウイルス感染において重要な経路であると考えられます。したがって、咳の気流と飛沫・飛沫核の特徴及び分布の解明は、ウイルス感染の研究と予防の制御を研究するために必要不可欠です。

## ■ 高周波数PIVを用いた人の咳気流速度分布の測定

本研究では、人間の咳がウイルス伝播に対する影響に関する研究の基礎として、実験を用いて人の咳により噴出する気流の運動特性を解明しました。この実験は、高周波数粒子画像流速測定法(PIV)を用いて、健康な非喫煙被験者10人(5男+5女)合計60回、咳の咳気流の初速度の測定を行いました(図1)。咳の持続時間、最大風速、咳拡散角等の咳気流の基本特徴を考察しました。

咳気流の速度は極大の加速度で急にピーク風速に達して、その後徐々に減衰する傾向が明らかになりました(図2)。これは全ケースの咳気流の最大速度の時間とともに典型的な変化です。咳の持続時間は520–560ミリ秒であり、鉛直と水平方向の咳拡散角は約15°と13°であることが分かりました。なお、アンサンブル平均操作を実行し、被験者の個人差を排除した後、一般的な咳の気流速度分布が取得されました(図3)。男性と女性の最大気流速度は15.2 m/sと13.1 m/sとそれぞれ測定されました。

本実験のPIVデータは、将来の咳嗽気流に対するCFD解析のために、人間の咳の境界条件及び検証用データベースを提供できます。次に咳のCFD解析を行う予定です。

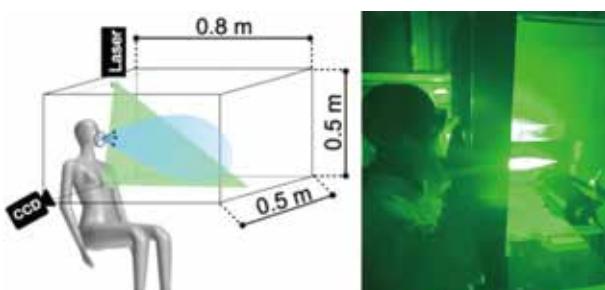


図1 PIVを用いた咳気流測定実験の様子

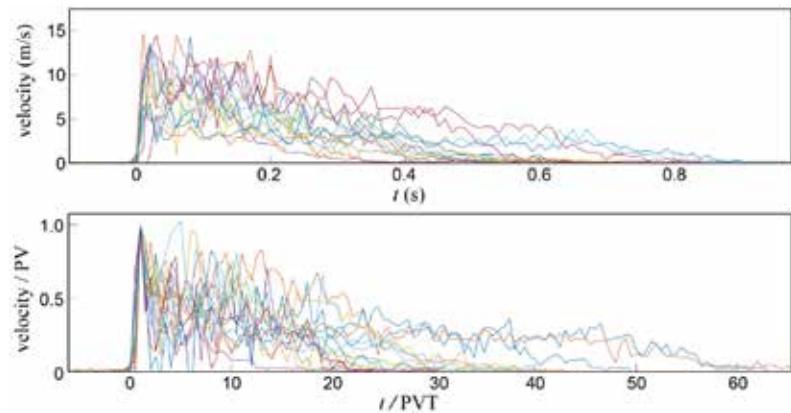


図2 全咳嗽ケースの最大速度の時間変化分布  
(上: 生データ; 下: 時間と速度無次元化した)

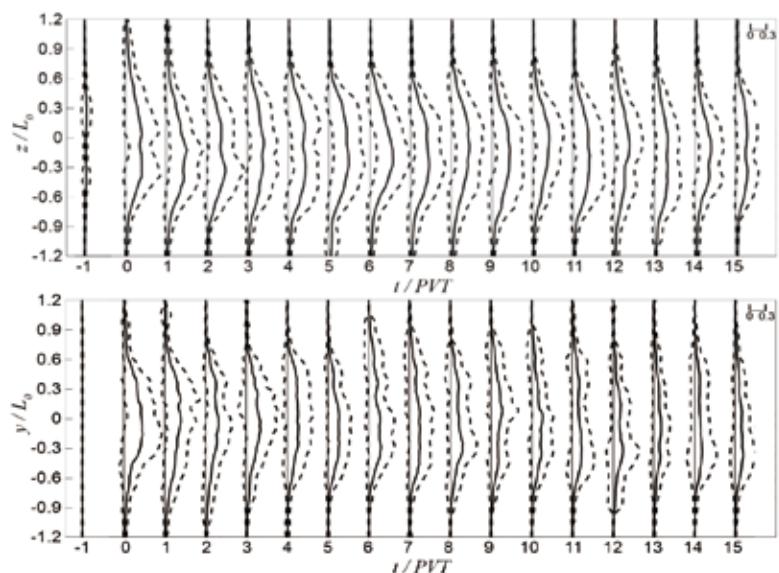


図3 気流速度時間変化の鉛直(上)と水平(下)分布  
(実線: 平均速度、破線: ±1標準偏差)

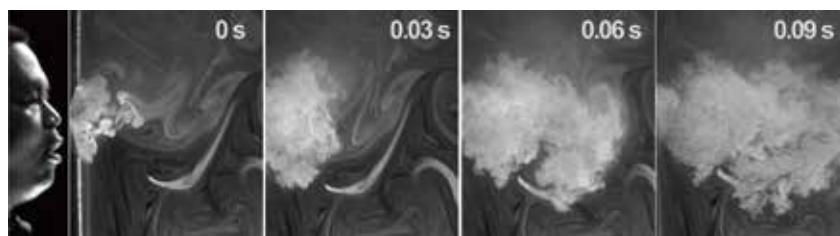


図4 PIVを用いた咳気流の可視化結果



図5 PIVを用いた咳の飛沫の可視化結果

## 大規模空力・音響直接解析プログラムFFX

開発者 加藤千幸センター長・教授

当研究グループでは長年にわたり、Large Eddy Simulation (LES) 解析プログラム FrontFlow/blue (FFB) を開発してきました。FFBは汎用性に優れた有限要素法に基づいており、ターボ機械、船舶、自動車などの多くの産業分野において実証研究が展開されています。しかし、実車のエンジンルームやタイヤハウス内などの複雑な形状まで忠実に再現した空力解析や音響解析を実施しようとすると計算格子の作成が大きな課題となっていました。そこで、2016年度からLattice Boltzmann法 (LBM)と階層型直交格子法(Building Cube Method、BCM)に基づく空力・音響直接解析プログラムFFXの開発に着手しました。本稿ではFFXの開発状況を紹介します。

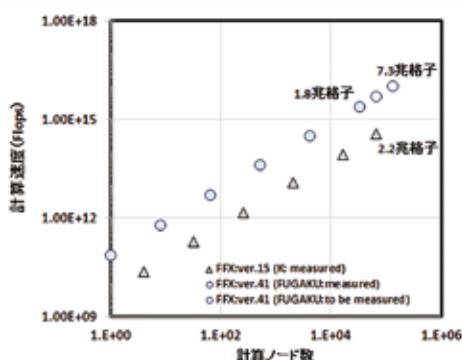


図1 FFXの並列性能のベンチマーク結果

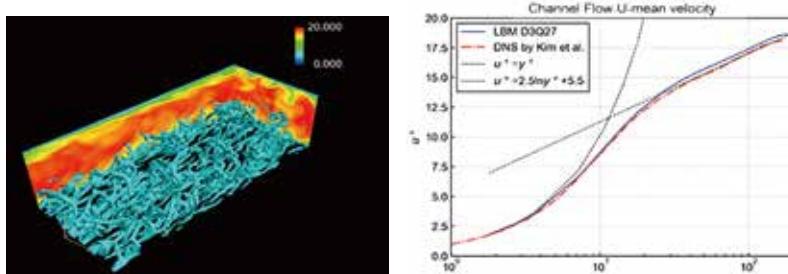


図2 FFXによるチャネル乱流の計算結果

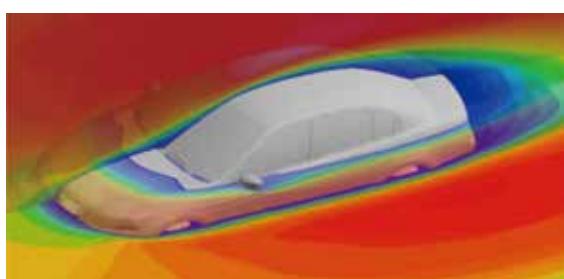


図3  
 FFXによる実車空力  
 解析のテスト計算  
 (第1回「富岳」流体予測  
 革新プロジェクト  
 シンポジウム予稿集  
 から抜粋)

### イベント案内

#### 駒場IIリサーチキャンパス公開：東京大学生産技術研究所

開催日：令和3年6月11日(金)・12日(土) 10:00 - 17:00  
 会 場：オンライン開催

#### 編集後記

昨年度のほんどのイベントは、オンラインでの開催となってしまいましたが、多くの方にご参加いただきました。ありがとうございました。6月の東大駒場リサーチキャンパス公開もオンラインでの開催が決まり、その他のイベントもしばらくの間はオンラインとなることが予想されますが、各イベントでは、得られた最新成果を発表していきますので、ぜひ多くの方に参加いただきたいと考えています。

#### 資料請求お問い合わせ先

TEL : 03-5452-6661  
 FAX : 03-5452-6662  
 E-mail : office@ciss.iis.u-tokyo.ac.jp  
 URL : <http://www.ciss.iis.u-tokyo.ac.jp/>

#### 編集発行

東京大学生産技術研究所  
 革新的シミュレーション研究センター  
 〒153-8505  
 東京都目黒区駒場4-6-1

今すぐチェック!



#### Knowledge Base



最先端のシミュレーションソフトウェア  
 による、さまざまな解析事例を収録  
<http://www.cenav.org/>