

ウィズコロナ下でも プロジェクトによる研究開発を着実に推進

新型コロナウイルス感染症の拡大が世界的にみられるようになってから1年近くが経過しました。昨年4月に発出された緊急事態宣言により第一波は抑えられたものの、第二波の拡大・終息を経て、現在は第三波が急速に拡大し、11都府県に緊急事態宣言が再発出されています。新型コロナウイルスの感染拡大は飲食産業や旅行産業を中心として、我が国の経済活動に極めて深刻な影響を及ぼしています。大学における教育・研究活動も大きな影響を被り、オンラインによる講義や会合を中心とした活動に変化しています。そのような中でも、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）のプロジェクト活動は着実に推進することができています。本ニュースレターはそれらのプロジェクトに関連する記事を中心として構成しました。

その一つは、吉川暢宏副センター長・教授が分担者として推進している、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構の「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／複合圧力容器の評価手法確立・技術基準整備に関する技術開発」プロジェクトです。具体的には、複合圧力容器評価方法の簡素化及び使用寿命延長に関する技術開発を目的として、一般財団法人石油エネルギー技術センター、高压ガス保安協会、株式会社日本製鋼所と連携して推進しているものであり、水素ステーションに設置される複合圧力容器の製造コストを削減することを目標にしています。これまでに得られている成果の概略を2頁に紹介しました。

もう一つは、今年度から開始された、文部科学省の「『富岳』成果創出加速プログラム」の採択課題の一つである、「『富岳』を利用した革新的流体性能予測技術の研究開発」プロジェクト（以下、「富岳」流体予測革新プロジェクト）です。このプロジェクトは神戸大学、九州大学、岩手大学、山梨大学、豊橋技術科学大学、理化学研究所と強力に連携して推進しています。これまでに得られている成果の全体像に関しては、改めて報告させていただきますが、本ニュースレターでは、汎用大規模乱流解析プログラムFrontFlow/blue（略称、FFB）の高速化の成果を紹介しました。FFBは、ものづくりプロセスの重要な要素である試作試験を完全にシミュレーションにより代替

えることによって、開発期間を飛躍的に短くしたり、開発費を大幅に削減したりすることを目標として研究開発を進めているものです。スーパーコンピュータ「富岳」の共用前評価環境を駆使することにより、スーパーコンピュータ「京」と比較して70倍以上の高速計算を実現しました^{*}。この成果を纏めて、みずほ情報総研株式会社、理化学研究所、および一般財団法人日本造船技術センターと共同で執筆した論文は昨年11月に開催されたSC20 (The International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis) におけるゴードン・ベル賞の最終候補論文として選出されました。本ニュースレターでもこの論文のプレゼンテーションの様子を紹介しました。

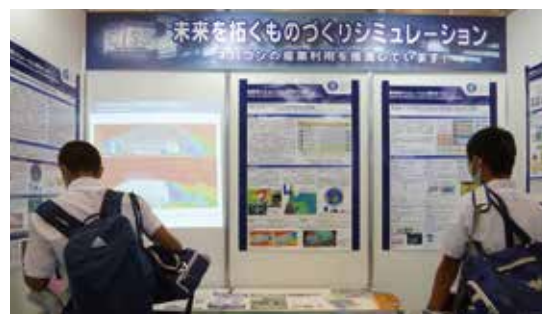
革新センターの広報活動としては、例年どおり、国際フロンティア産業メッセ2020への出展、SC20におけるブース展示、HPCものづくり統合ワークショップの開催と、コロナ禍の中にあっても確実にアウトリーチ活動を展開しています。感染対策を十分に施した上でブースを出展した国際フロンティア産業メッセ2020以外はオンラインを利用した展示や開催になりましたが、HPCものづくり統合ワークショップには例年の2倍近くの方にご参加いただき、盛会裡に終了することができました。しかし、オンラインによるこれらの出展や開催は、皆様と直接お会いし、議論させていただくことの重要性を痛感する機会ともなりました。

本年3月10日には「富岳」流体予測革新プロジェクトの初めてのシンポジウムを開催します。詳細は改めて案内させていただきますが、このシンポジウムが対面で開催できることを願っています。

引き続き、センターの活動に対して、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

^{*}富岳共用前評価環境における評価結果は、「富岳」の共用開始時の性能・電力等の結果を保証するものではない。



超高圧水素インフラ本格普及技術研究開発事業／ 水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／ 複合圧力容器の評価手法確立・技術基準整備に関する技術開発

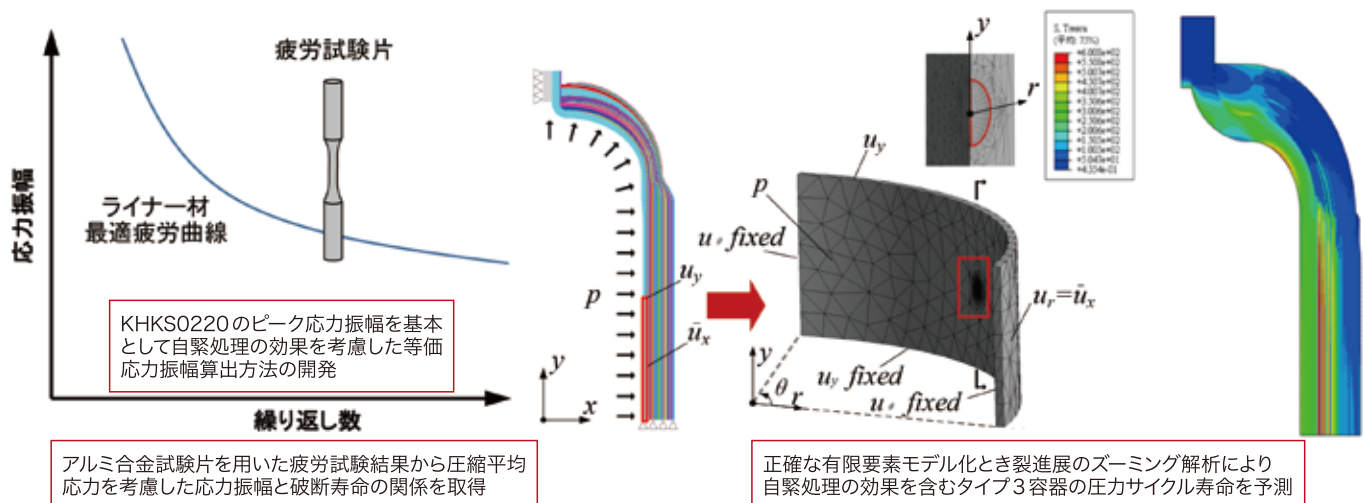
分担者 吉川 暢宏 教授

首相のカーボンニュートラル宣言で期待が再燃した感のある水素社会構築事業の一翼を担うプロジェクトを、新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託を受けて、石油エネルギー技術センター、高圧ガス保安協会、日本製鋼所と共同して実施しています。目的を水素スタンド用高圧水素容器の評価と設計の合理化とし、評価手法にシミュレーション技術を積極的に取り入れることでその実現を図ろうとするものです。対象とする図1に示すタイプ3容器はライナーと呼ばれるアルミ合金製の内槽をCFRPで補強したものです。最も重要な損傷モードは、最大80MPaを超える超高圧の繰り返しによる疲労破壊です。構成部材であるアルミ合金とCFRPの疲労寿命予測を正確に行うことができれば問題解決となりますが一筋縄ではいかないのが疲労破壊の問題です。正確な応力評価と試験片を用いて得られた疲労寿命データを照合するという順当な手法の適用を妨げているのがCFRPを構成する強度と剛性の高い炭素繊維と低い樹脂の組み合わせです。そのミクロ構造にまで立ち入ってCFRPの疲労寿命を予測し、アルミ合金ライナーに発生したき裂の進展までを考慮して、正確に疲労寿命予測する手法を開発しています。

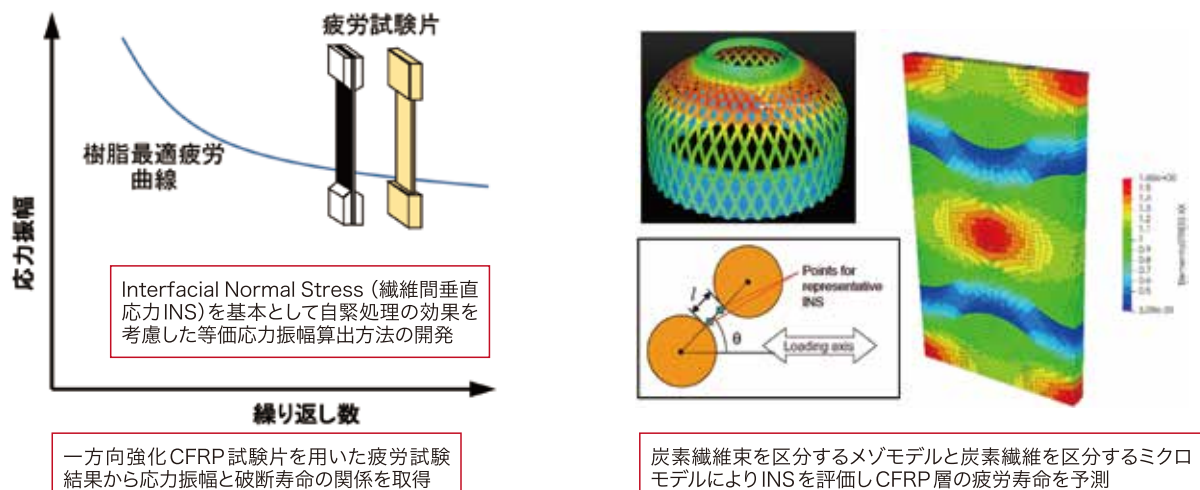


図1 タイプ3容器

CFRP積層構成の正確な有限要素モデル化により評価された 応力に基づく圧力サイクル寿命予測



ズーム解析によるCFRPの疲労寿命予測



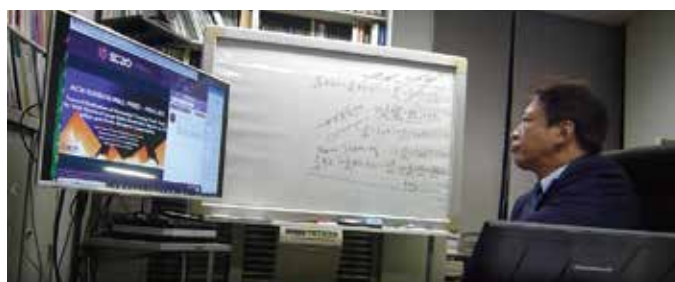
SC20出展報告

SC20 (The International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis) が、令和2年11月17日～19日に開催されました。この会議はスーパーコンピュータ関連の、世界で最も権威のある国際会議です。当初、アメリカ合衆国ジョージア州アトランタにおいて開催される予定でしたが、新型コロナウイルス感染症の世界的な拡大を受け、ヴァーチャルにて開催されました。



■ ゴードン・ベル賞

SCの開催に合わせて発表されるゴードン・ベル賞は、その審査のための、最終候補によるプレゼンテーションがありました。この最終候補には、加藤千幸センター長を中心とした6名のグループの研究開発成果も含まれていました。対象となる論文は、「Toward Realization of Numerical Towing-Tank Tests by Wall-Resolved Large Eddy Simulation based on 32 billion grid Finite-Element Computation」です。スーパー



コンピュータ「富岳」を始めとした最新鋭のCPUに適した、革新的なアルゴリズムを考案することによって、スーパーコンピュータ「京」と比較して70倍以上高速な流体数値計算を実現した成果をまとめたものです。※残念ながら受賞にはいたりませんでしたが、この成果は、数値シミュレーションで、船舶や自動車などの性能試験が完全に代替できる可能性を示したもので、多くの産業分野で応用されることが期待されます。

ゴードン・ベル賞を受賞した研究は、カリフォルニア大学バークレー校のWeile Jia氏ら7名のグループの「Pushing the Limit of Molecular Dynamics with Ab Initio Accuracy to 100 Million Atoms with Machine Learning」でした。機械学習を用いた第一原理分子動力学シミュレーションに関する研究です。この研究は、Top500ランキングで第2位を獲得しているSummitを利用した研究でした。

※富岳共用前評価環境における評価結果は、「富岳」の共用開始時の性能・電力等の結果を保証するものではない。

■ ブース出展

285機関の展示により、最先端の技術と研究成果が紹介されたExhibitsに、革新センターも出展しました。センターの活動の紹介をはじめ、「『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」プロジェクトの概要や、「ポスト『京』で重点的に取り組むべき社会的・科学的課題に関するアプリケーション開発・研究開発」重点課題⑧プロジェクトの成果等を、ポスター展示や動画放映によって紹介しました。延べ700名以上の方に立ち寄っていただきました。



■ スーパーコンピュータランキング

SCの開催に合わせて発表される、LINPACKの連立一次方程式の処理速度によるランキングTop500では、6月に発表されるランキングに続いて、「富岳」(日本、442,010 TFLOPS)が1位を獲得しました。(6月の時点での性能は415,530 TFLOPSでした。)この性能は、2位のSummit(アメリカ合衆国、148,600 TFLOPS)の約3倍の性能であり、「京」(10.51PFLOPS(2011年11月時点))と比較して42倍以上の性能向上を達成したという

ことになります。「富岳」は、このほか、共役勾配法の処理速度による国際的なランキングHPCG(16.00 PFLOPS)、AIの計算などで活用されている単精度や半精度演算器などの能力も加味したランキングHPL-AI(2.004 EFLOPS)、さらには、グラフ解析の性能のランキングGraph500(102,955 GTEPS)でも1位を獲得し、2020年6月に続いて、スパコンの主要なランキングにおいて4冠を達成しました。



加藤 千幸 センター長・教授



2003年から18年間近くにわたって、文部科学省の大型プロジェクトの推進に努めてきましたが、元々、小生は機械工学を専攻しており、流体力学や数値解析などを専門としています。プロジェクトに関しては、このニュースでも何度もご紹介していますので、ここでは研究室で実施している基礎研究の一端をご紹介します。

III 流れから発生する音の予測とメカニズムの解明

エアコンやコンピュータの中に入っている送風用や冷却用のファンから発生する音は空力音とよばれ、その低減は、快適な居住環境やオフィス環境を維持するために重要な課題です。特に、ファンに流入する流れの中に乱れがある場合、空力音が大幅に増大することが知られています。10年以上前に実施した研究ですが、このような場合の空力音を予測し、実験結果と比較した結果を図1に示します。^{※1} 流入する流れが乱れを含んでいる場合(右)はきれいな流れが流入する場合(左)と比較して、ファンから発生する音が20 dB(デシベル)程度大きくなっています。この論文は乱れが流入した場合のファンの音を定量的に予測することを目的としたものでしたが、そのメカニズムを明らかにすることはできませんでした。

この現象の本質的なメカニズムを理解するために、最近、系統的な実験と数値解析を実施しました。たとえば、図2は特殊な試験装置を用いて、ファンの主要な構成要素である、一枚の翼まわりの流れから発生する音を計測した結果です。^{※2} 詳細な説明は割愛しますが、乱れが無い場合(黒い線)と比較して、乱れがある場合(黒い線の上にある色付きの線)は5 dBから最大10 dB程度、音が大きくなることがこの実験でも検証されました。

この実験によっていろいろなことが明らかになったのですが、残念ながら、乱れがある場合に音が大きくなる本質的な理由はわかりませんでした。そこで、流れから発生する音の数値解析を実施しました。数値解析の大きなメリットの一つに、実験では設定することができない条件を設定することがあります。この解析では翼自体は乱れを発生せず、翼に流入する乱れの変化だけを調べることができる条件に設定しました。^{※3} この結果、左側の図の白い矢印で示したように、乱れの中の渦が翼の前縁で引き延ばされることが、乱れが流入した場合に音が大きくなる本質的な理由であることが明らかになりました。実は、この渦の引き延ばしという現象は、空力音の増大に限らず、乱流現象の本質であるという理解をするに至りました。

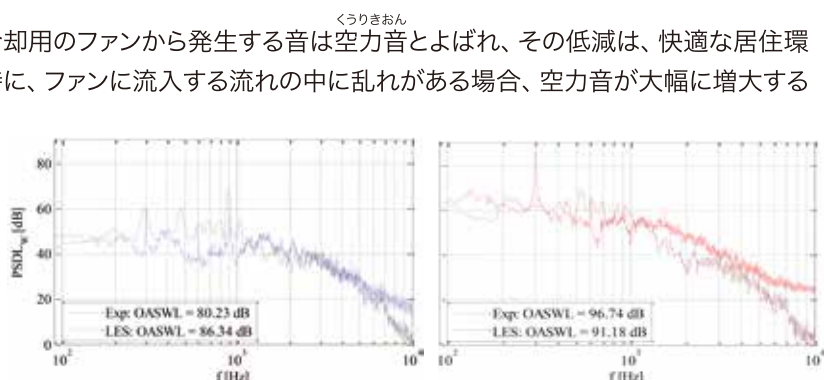


図1 ファンから発生する音の計測結果と解析結果
(左: 乱れがない場合、右: 乱れがある場合)

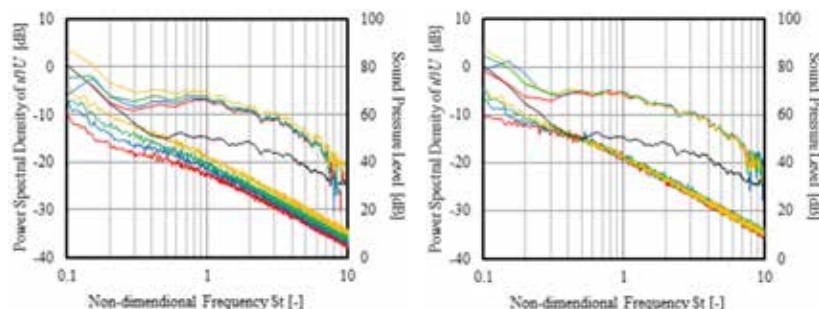


図2 翼から発生する音の計測結果
(左: 乱れの強さを変えた場合、右: 乱れの大きさを変えた場合)

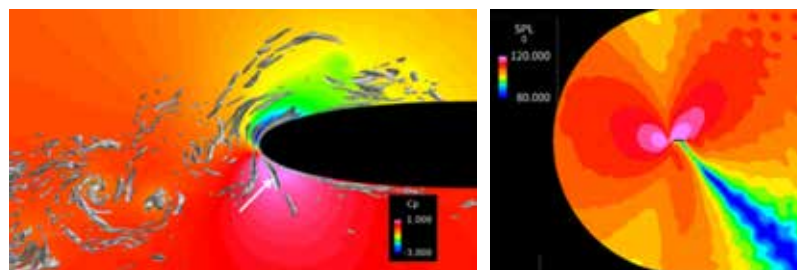


図3 翼に乱れが流入する場合の流れ(左)と音(右)の数値計算結果

<参考文献>

- ※1 H. Reese, C. Kato and C. Thomas, "Large Eddy Simulation of Acoustical Sources in a Low Pressure Axial-Flow Fan Encountering Highly Turbulent Inflow," Journal of Fluids Engineering, 129-3, pp. 263-272, 2007.
- ※2 小林典彰・鈴木康方・加藤千幸、乱れを含む流れの中に置かれた翼から発生する空力音に関する研究(第1報: 翼が一樣な乱れの影響を受ける場合)、日本機械学会論文集、86-881, p. 19-00336, 2020.
- ※3 小林典彰・鈴木康方・加藤千幸、乱れを含む流れの中に置かれた翼から発生する空力音に関する研究(第2報: 翼が円柱後流の影響を受ける場合)、日本機械学会論文集、86-885, p. 19-00455, 2020.



長井 宏平 准教授



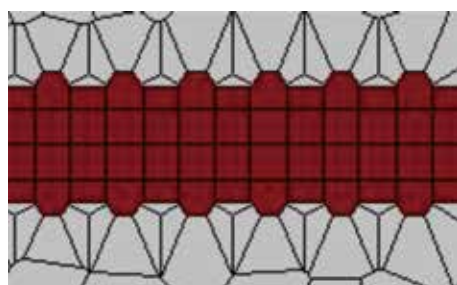
2019年10月から2021年3月までの予定で米国のカリフォルニア大学デビス校に滞在し、John Bolander教授と共同で鉄筋コンクリートの微細構造解析に関する研究に取り組んでいます。共同研究により長井研究室で開発した離散解析手法である剛体ばねモデル(RBSM)による三次元微細構造解析システムを鉄筋コンクリート内部の鉄筋腐食分布を推定するものへと拡張しました。

鉄筋コンクリートの内部腐食分布の微細構造解析による推定

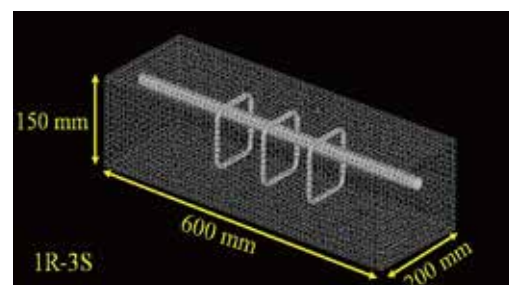
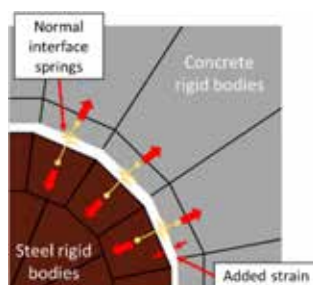
鉄筋コンクリート構造物の維持管理における主たる問題である内部鉄筋の腐食状況をコンクリート表面のひび割れ状況から推定することは、コンクリートの材料特性や鉄筋の配置、腐食が分布することなどの要因が重なり複雑で困難です。そこで三次元RBSM微細構造解析システムにモデル予測制御(MPC)のアルゴリズムを組み込むことで、解析において鉄筋腐食による膨張量をコントロールし、それに伴い発生するコンクリート表面のひび割れを実際に観察される分布と同様に再現することで、解析で得られた膨張量が実際の腐食量として推定できるようにしました(MPC-RBSM)。

複雑な内部の力学現象を微細構造解析で再現しつつ、MPCというシンプルな制御アルゴリズムを用いることで多数の鉄筋表面要素の膨張を同時に制御するという組み合わせにより、計算が破綻なく進むことに独自性があります。鉄筋は節の凹凸の形状も含め約5mmメッシュでモデル化し、円周方向にも分割しています。腐食した鉄筋の膨張により生じた応力やひび割れは他の鉄筋により拘束され、複雑で非線形性の高い力学相互作用が生じながら解析は進みます。これまでに一本の鉄筋や横方向に鉄筋を配置し拘束が与えられたモデルに対して解析を行い、実験との比較によりその有用性を確認しています。

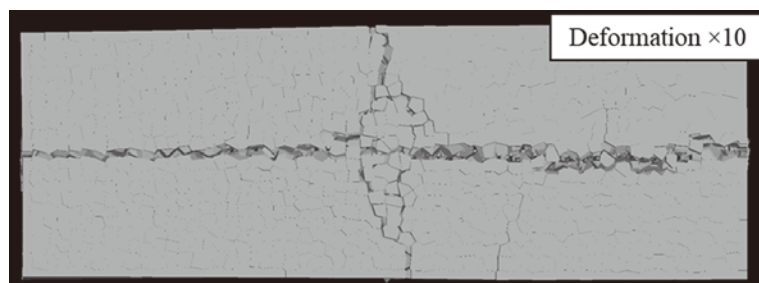
本質的には逆推定の問題を順解析により扱っているため、解の一意性や精度の検証など確認すべき課題は多いですが、実務的にも要望の高い鉄筋腐食分布推定に対して新しい数値解析手法を示すことができました。



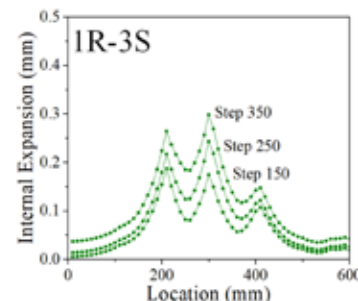
RBSMにおける鉄筋と腐食膨張モデル



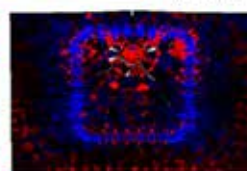
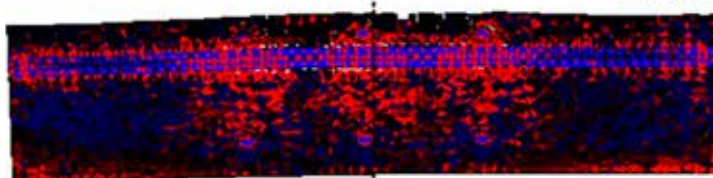
鉄筋コンクリートモデル



MPC-RBSMで再現されたコンクリート表面ひび割れ



推定された鉄筋軸沿いの腐食膨張分布



Tension 10 MPa Normal stress Compression 10 MPa

内部応力分布

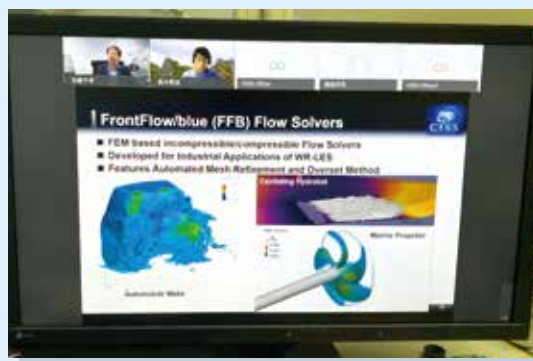
「『富岳』成果創出加速プログラム」第4回HPCものづくり統合ワークショップを開催

令和2年11月27日(金)に、「『富岳』成果創出加速プログラム」の課題の「スーパーシミュレーションとAIを連携活用した実機クリーンエネルギーシステムのデジタルツインの構築と活用」プロジェクト(課題代表者:吉村忍教授(東京大学大学院工学系研究科))、「航空機フライト試験を代替する近未来型設計技術の先導的実証研究」プロジェクト(課題代表者:河合宗司教授(東北大学大学院工学研究科))との共催により、「『富岳』成果創出加速プログラム」第4回HPCものづくり統合ワークショップを開催しました。

本ワークショップは、産業界がこれらのアプリケーションの性能・機能を見極め、設計・開発の現場での実用化を促進するために、平成29年度から開催しています。ポスト「京」重点課題プロジェクトから引き続いての開催となる第4回目のワークショップでは「『富岳』利用の期待と展望」というテーマで議論しました。

新型コロナウイルス感染症の拡大状況を鑑み、今回はオンラインにて開催しましたが、民間企業95社からの参加者を含めた157名に参加いただき、盛会裡に終了しました。

※革新センターが現在推進している「『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」プロジェクトについては、以下を参照ください。
<http://www.fugaku-pj.iis.u-tokyo.ac.jp/>



国際フロンティア産業メッセ2020に出展

令和2年9月3日(木)~4日(金)に、神戸国際展示場で開催された国際フロンティア産業メッセ2020に、(公財)計算科学振興財団、(国研)理化学研究所計算科学研究センターの3団体連携での出展をしました。革新センターでは、ポスター展示や動画放映によって、「『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」プロジェクトの概要や、ポスト「京」重点課題⑧プロジェクトの成果等を紹介してきました。



※新型コロナウイルス感染症に対する安全対策を可能な限り施されたうえで開催された国際フロンティア産業メッセ2020には、289社・団体、355小間の展示があり、2日間で約1万人の来場者がありました。

イベント案内

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」プロジェクト 第1回「富岳」流体予測革新プロジェクトシンポジウム

開催日: 令和3年3月10日(水) 10:00~17:00



計 算 工 学 ナ ビ

Knowledge Base 解析事例データベース

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/>

今すぐチェック!

編集後記

今年度から「『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」プロジェクトを推進しています。革新センターでは、今後も、この新プロジェクトの成果を報告するシンポジウムや研究開発されたソフトウェアの利用講習会等を企画してまいります。引き続き、よろしくお願いいたします。

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