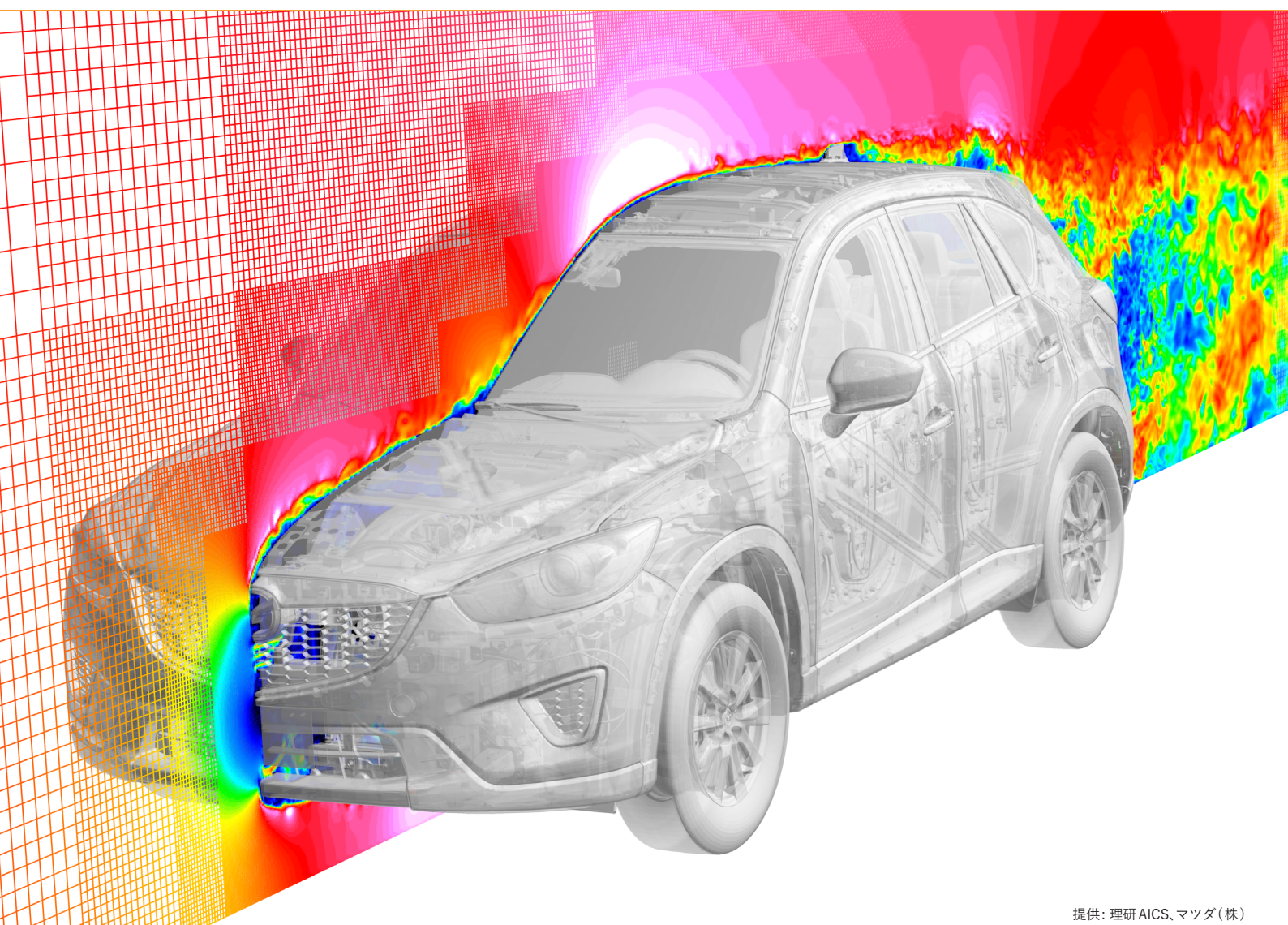


ものづくりにHPCを活用するためのツールとケーススタディー

計 算 工 学 ナ ビ

計算工学ナビ・ニュースレター2017年春号



提供: 理研AICS、マツダ(株)

特集 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
～ 各サブ課題の状況と今後の展望

大山 聖、坪倉 誠、加藤千幸、山出吉伸、高木亮治、奥田洋司、橋本 学、吉川暢宏

VOL. **12**

設計を革新する多目的設計探査・高速計算技術の研究開発

宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 准教授
大山 聖

上流設計段階で最適なパラメータを迅速に選び、機能の実現・高品質化・コスト最小化を可能とする革新的設計技術群を開発するとともに、これらの技術を統合して設計プラットフォーム基盤を構築する。また、開発技術を多方面に展開し産業競争力強化に貢献できることを実証する。

[1] Byte per FLOP

工業製品の設計にシミュレーションを活用する場合、設計の上流に適用することが最も効果大きい。つまり、限られた時間で最良の選択を行い、下流工程での手戻りを低減することにより開発コストを抑える効果が期待されている。たとえば設計に利用するシミュレーション技術の一つとして、設計変数のパラメータを変えて実行した多数のシミュレーション結果から、目的の性能を達成する設計パラメータを選び出す技術が期待されている。このような計算技術は Capacity Computing に分類され、信頼性の高い計算を多数実行する必要があり、非常に高い演算能力を必要とする。

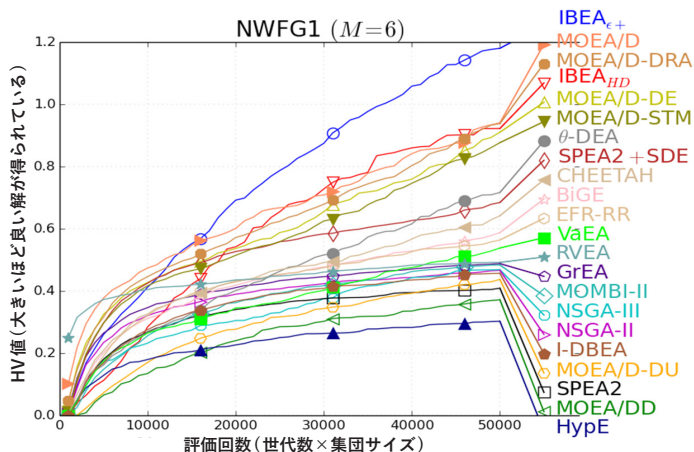
サブ課題Aでは、Capacity Computing の具体例として多目的設計探査技術とそれを実現するための高速計算技術、および上流設計プラットフォームの研究を実施している。

多目的設計探査は多目的設計最適化により最適化問題のパレート最適解を取得し、その結果を分析することで設計に役立つ情報を抽出する設計支援技術である。ここではパレート最適解を得るために必要な計算時間を1/2~1/10に短縮する多目的設計最

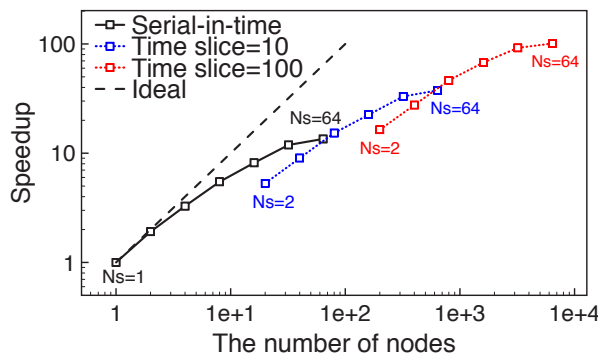
適化手法や、制約条件が厳しい設計問題でも良質なパレート最適解を得ることができ、多目的設計最適化技術を開発し、JAXA や産業界が抱える実設計問題に適用して有効性を実証することを目的としている。パレート最適解を得るための計算時間を短縮するためには、必要世代数を削減することに着目し、新しい多目的進化計算アルゴリズムの研究開発を進めている。並行して、厳しい制約条件を持つ多目的設計最適化問題においても良質なパレート最適解を得ることが可能な多目的進化計算アルゴリズムの研究開発を行っている。平成28年度はベースとなる多目的進化計算アルゴリズムの性能調査【図1】と、これらのアルゴリズム開発に必要なとされる実問題をベースとしたベンチマーク問題の作成を行っている。平成29年度は開発されたベンチマーク問題をもとにこれらのアルゴリズム開発を行う計画である。

今後のHPC計算機は、超並列、メモリア、SIMDのキーワードが示すように異なるレベルの並列性により理論演算性能が非常に高くなる。その一方で、メモリからCPUへのデータ転送帯域は相対的に低

くなるため、計算機の能力を引き出す計算技術が必要となる。本サブ課題ではシミュレーションの時間を短縮する技術として、低B/F^[1]アルゴリズムの開発と時間方向の並列化技術を開発している。低B/Fアルゴリズムの例として、高いB/Fを要求する疎行列ベクトル積を、共通の係数行列に対して複数の解ベクトルを同時に解くアプローチとし、最内側ループの演算密度を高めることによりB/F値を下げ、演算性能を引き出す方法に取り組んでいる。現時点ではFX10で6倍程度の高性能化を達成している。時間方向の並列化は、拡張性に富むParareal法を基本としたアルゴリズム開発を実施している。逐次計算である時間進行計算を複数の時間領域に分割し、各時間領域を独立した初期値問題として解く。各時間領域の最終時刻の値は次の時間領域の初期値と同値のはずであるが、値に食い違いがあるため、この修正計算を反復的に行い、収束時に全時間の解が得られる。これまで、拡散方程式に対する評価により、空間並列性能が飽和した後も10倍近い性能向上を果たしている。【図2】



【図1】 テスト問題(6目的WFG1関数)での進化計算アルゴリズムの比較



【図2】 領域分割法と時間並列法を併用したときのスケーラビリティ
Nsは空間方向の並列数、Time sliceは時間方向の並列数を示す。逐次計算の並列性能が飽和した後も、時間並列により性能向上が確認できる。

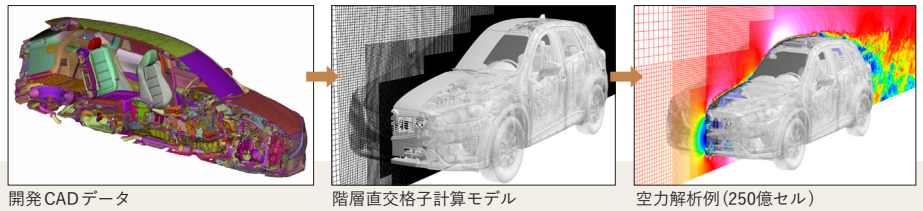
リアルタイム・リアルワールド 自動車統合設計システムの研究開発

神戸大学大学院 システム情報学研究所 教授
坪倉 誠

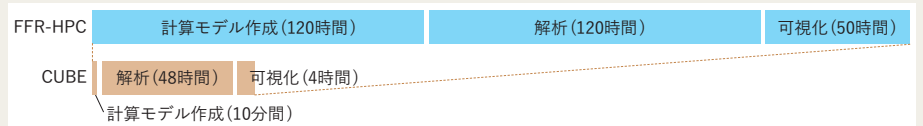
新素材や新たな動力を用いた次世代自動車を早急にかつ高い品質で実現するためには、実験代替を目的とした既存のCAEによる設計手法に対して、より高次元でCAEを活用した設計プロセスの革新が必要である。本課題では、統一的なデータ構造に基づく流体・構造統一解析手法を開発し、HPC環境を活用することで、精度を損なうことなく解析ラントタイムを現状の数十倍に加速すると共に、時々刻々と変化する運転条件を考慮したリアルワールドシミュレーションの実現を目指す。

リアルタイムシミュレーション技術の開発

CADデータからの計算モデル作成時間がボトルネックとなる空力解析について、実験・実測に匹敵する速度で解析が可能なリアルタイムシミュレーション技術を開発する。ここでは階層直交格子と埋め込み境界に基づく格子作成手法を採用し、ポスト東京アーキテクチャにチューニングすることで、目標を達成する。開発したシステムの実証解析として、空力多目的最適化等を実施する。



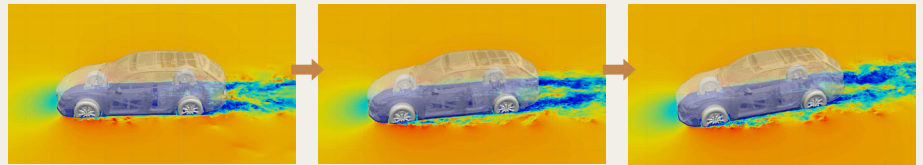
[図1] テスト問題(6目的WFG1関数)での進化計算アルゴリズムの比較 協力:マツダ(株)



[図2] 非構造格子を用いた既存HPCシミュレーション(FFR-HPC)との比較

リアルワールドシミュレーション技術の開発

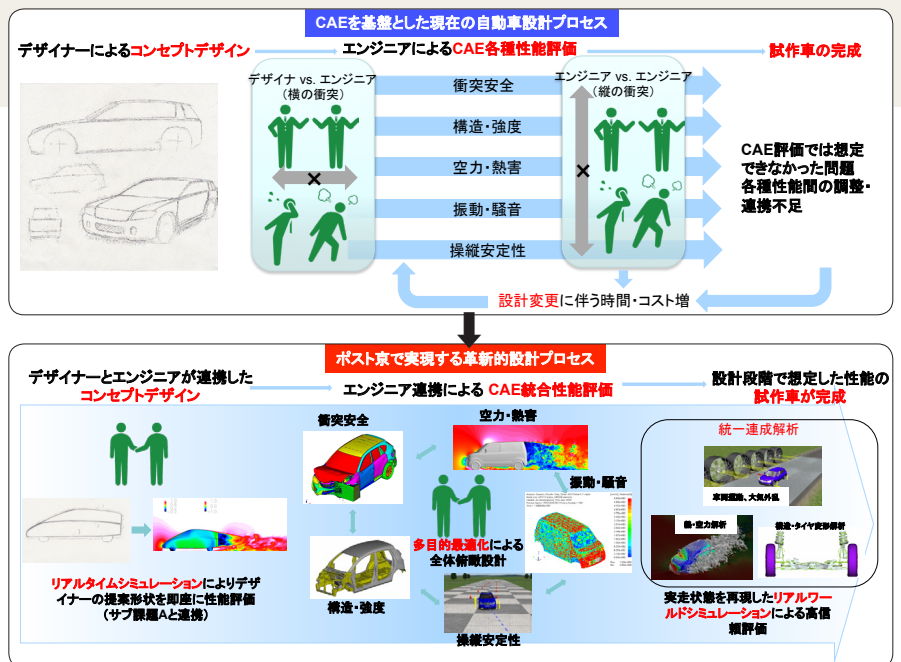
既存のシミュレーションに対して格段に高精度で、かつ、実際の走行状態を考慮したリアルワールドシミュレーション技術を開発する。ここでは、統一データ構造に基づく流体・構造連成解析手法を適用することで、システムの高精度化と信頼性の向上をはかる。開発したシステムの実証解析として、空力高速操安・乗り心地評価や車室内総合環境・快適性評価などを実施する。



[図3] ホール回転と前輪舵角変化を考慮したターンする自動車運動・空力連成解析 協力:マツダ(株)

期待される成果

格子作成から可視化までのターンアラウンドタイムを抜本的に加速することで、例えばデザイナーとエンジニアが協調してコンセプト設計が行えるようになる。また、統一的連成解析の実現により、空力・熱害、構造・強度、振動・騒音といった開発セクションをまたぐような多目的設計や、設計のより上流側での性能評価が可能となる。



[図4] ポスト京で実現する革新的設計プロセス

準直接計算技術を活用したターボ機械設計・評価システムの研究開発

現状の100倍の計算の高速化、ならびに1/100の計算コストの削減を実現し、乱流の準直接計算を全てのターボ機械の性能と信頼性の評価に適用可能にするとともに、準直接計算による多目的最適化を可能にする。同時に、ターボ機械から発生する流体騒音の直接計算、計算の収束性向上、高機能自動メッシュ生成を実現し、ターボ機械用評価・最適設計システムを研究開発し、ポンプ、ファン、水車などの性能や信頼性の評価に適用することにより、開発したシステムの有効性を実証する。

ものづくり現場では製品性能を事前に把握するため、様々な場面で流体解析が活用されています。産業界で通常使用される流体解析ツールは乱流をモデル化する時間平均ベースのReynolds Averaged Navier-Stokes Simulation (RANS) に基づいているため、騒音や振動あるいは複雑な流動を含む乱流の予測には限界があります。サブ課題Cでは、乱流中の微小な渦の運動を直接計算することにより乱流の高精度予測を可能とする準直接計算技術をベースとする流体解析システムFrontFlow/blue (FFB)を開発しています。乱流の準直接計算は計算コストが高く、大きな計算機パワーが必要となりますが、京の活用によりものづくり現場の実製品への適用が可能になりました。FFBは、京における実証解析として

ターボ機械、自動車、船舶等の分野に対し、最大400億グリッド規模の解析が実行され、各分野において乱流の準直接計算の有用性が実証されました。図1は実証例として、遠心送風機から発生する空力騒音予測の事例を示します。ここでは、50億グリッド規模の送風機内部流れ解析を含む流体音響連成解析により、空力騒音を精度よく予測できることを確認しました。サブ課題Cでは、京における実証解析で有用性が確認された乱流の準直接計算技術をベースに、ターボ機械の設計に資する流体解析システムを開発するとともに、ここで開発した技術の実用化を推進しています。

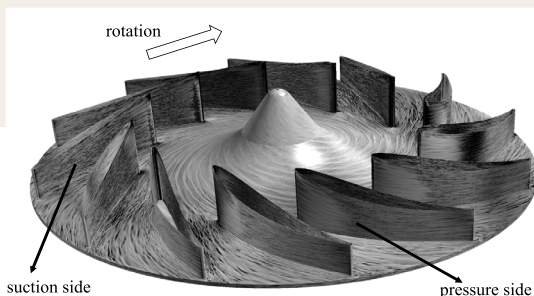
流体解析システムの開発では、既存の流体解析システムFFBの高速化および機能拡充に取り組んでいます。高速化の目標は、メモリからキャッシュへのロード効率を全ルーチンで理論値まで向上させるチューニングにより2倍、演算に対するロードの割合を減らすアルゴリズムの実装により5倍、これらを組み合わせて10倍です。理化学研究所、富士通と連携し高速化技術の開発をすすめ、現段階で主要カーネルを対象に約8倍の高速化が確認されています。今後は、よりピーク性能が高い次世代の計算機に移植し更なる高速化を実現するため、ポスト京を含む次世代の512ビットのSIMD (Single Instruction Multiple Data stream) 演算器を搭載した計算機での高速動作の技術開発を行っています。機能拡充に関しては、詳細は割愛しますが、圧縮性計算機

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 センター長・教授
加藤 千幸
みずほ情報総研株式会社 サイエンスソリューション部
東京大学生産技術研究所 協力研究員
山出 吉伸

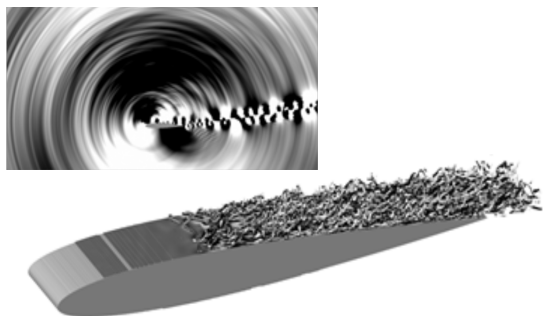


能および乱流モデルを開発中です。サブ課題CではFFBの開発と並行して、格子ボルツマン法 (Lattice Boltzmann Method、LBM) に基づく流体解析システムFFXを開発しています。FFXは九州大学が開発したLBMコードをベースに開発をすすめ、プロトタイプが完成しており、現在基礎検証計算を実施中です。図2は九州大学が開発したLBMプロトタイプコードによる2次元翼まわりから発生する空力騒音予測の解析事例です。LBMコードの特長は、計算格子作成の容易性、小メモリ容量、高い実行性能であり、複雑形状を含む製品への適用が容易であり、また、数兆グリッド規模の解析が可能になります。これらにFFBで培った乱流の準直接計算技術を組み合わせることにより、準直接計算により乱流の高精度予測を実現するLBMコードを開発します。

これまでに開発した技術およびサブ課題Cで開発中の技術の実用化は、FFBの主要ターゲットであるターボ機械の分野で加速します。一般社団法人ターボ機械協会では、2016年10月1日にHPC技術のターボ機械分野での実用化を目的に「ターボ機械HPC実用化分科会」(以下、分科会)を設置しました。分科会には国内のターボ機械関連メーカー、大学等の研究機関およびハードウェア・ソフトウェアベンダを含む36法人が参画しています。分科会にはテーマごとにワーキンググループが設置されており、圧縮機、ポンプ、ファン、大規模計算技術、水車、キャビテーションおよび騒音の各テーマにおけるHPC技術の実用化が産学連携で推進されます。サブ課題Cでは分科会と連携し、開発した技術のターボ機械分野における実用化を推進します。



【図1】送風機内部流れの準直接計算 (50億グリッド)



【図2】LBMコードによる2次元翼まわりから発生する空力騒音の予測

航空機的设计・運用革新を実現する コア技術の研究開発

宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 准教授
高木 亮治

航空機的设计および運用における重要な課題を解決し、格段の効率化、高性能化、安全性向上を実現するコア技術を確立する。実機飛行試験など、開発の下流段階でしか評価できない設計課題の評価を設計初期段階で評価可能とする技術の開発、失速特性の高精度予測の実現、非線形飛行力学の導入による航空機の飛行制御技術の抜本的な改善、高度なシミュレーションの活用による高度運航制御モデルの開発などを行う。

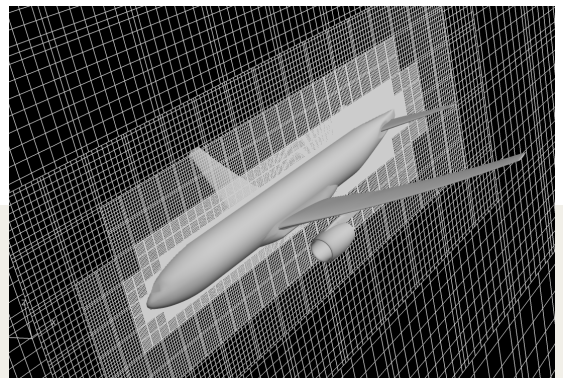
本サブ課題では、航空機的设计・開発および運用・運航における重大な課題を解決し、格段の高性能化、安全性向上、さらには利用者サービスとしての質の向上を実現するコア技術の研究開発を行う。

設計・開発の課題においては、これまで実機試験など開発の下流段階でしか評価できなかった設計課題を、設計初期段階で評価可能とするため、実機フライト環境を高忠実度に再現でき、また、高速に解析を実施できる革新的解析プログラムを、「京」での成果をベースとして研究開発する。具体的には離着陸時および実機詳細形状対応の高速・高精度乱流解析技術の研究開発を行う。そのため階層型等間隔直交構造格子法と目的別壁モデルによる複雑形状の高解像度LES解析技術の研究開発を行い、これまで解析できなかったバフエツト解析、失速特性解析、離着陸時騒音解析等の実現を目指す。また、運用・運航の課題に関しては、危険な状況下での航空機の安定性・安全性向上のキー技術である失速特性の高精度予測技術を研究開発し、非線形飛行力学モデルの導入など航空機の飛行制御技術の抜本的な改善を目指す。また、現状の航空機運用の高度化を目指し高度運航制御モデルのコア技術として運航制御に必要な離着陸制限の緩和に向けた空力関連要素技術（ダウンウオッシュの予測など）の研究開発を行う。

ここで開発する革新的解析プログラムには航空機の全機まわりやランディングギアを対象とした非常に大規模な解析を行うことや複雑な形状を取り扱うことが求められる。そこで、開発する解析プログラムには大規模解析や複雑形状への対応が容易である階層型等間隔直交構造格子法を採用した。この手法は京プロジェクトにおいて

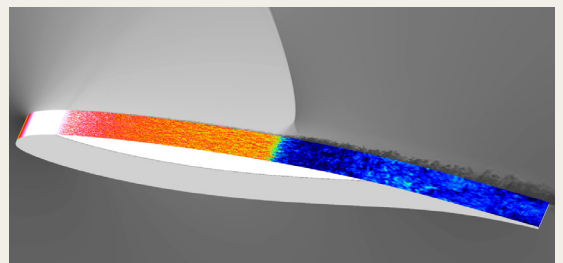
自動車周りの流れなどに適用され大きな成果を挙げてきた。そのためここで開発するプログラム（階層型等間隔直交構造格子ベース基盤ソルバー）は京プロジェクトの際に理化学研究所および東京大学生産技術研究所で開発されてきたFFV-HCをベースに、JAXAおよび東北大学で開発されてきた圧縮性流体解析技術を導入する形で開発している。図1に階層型等間隔直交構造格子ベース基盤ソルバーを用いて作成した航空機形状まわりの階層型等間隔直交構造格子を示す。

自動車周りの流れに対して、航空機の実飛行条件での流れはレイノルズ数が1~3桁高くなるため、ポスト京を持ってしても、現実的な計算コストで高精度LES解析を実現することは困難である。そのため、レイノルズ数依存性の少ない境界層の90%以上を占める外層域の乱流構造を直接LESで解像し、レイノルズ数依存性の大きい境界層の内層域（壁面近傍10%程度）をモデル化するLES壁面モデルの開発が不可欠である。ここではLES壁面モデルとして直交格子に適した境界埋め込み法向けLES壁面モデルの開発を行っている。現在、京コンピュータ上でチューニングされた既存プログラムをベースにLES壁面モデルの開発・検証を行っているが、開発している階層型等間隔直交構造格子ベース基盤ソルバーの開発進展に伴い、確立したLES壁面モデルを順次基盤ソルバーに実装し、航空機設計評価技術の確立を行う。



【図1】階層型等間隔直交構造格子ベース基盤ソルバーを用いて作成した航空機形状(NASA CRM形状)まわりの階層型等間隔直交構造格子

航空機形状データとしてSTL形式のデータを与えることで、自動的に階層型等間隔直交構造格子が作成される。



【図2】LES壁面モデルを用いた遷音速バフエツトの解析例

高レイノルズ数流れの解析が現実的な計算コストで可能となり、遷音速バフエツトの発生・維持メカニズムの解明が期待される。

開発しているLES壁面モデルの検証例を示す。高レイノルズ数遷音速バフエツト（翼型OAT15Aまわりの遷音速流れ、一様流マッハ数0.73、レイノルズ数 3.0×10^6 ）の解析を行った。LES壁面モデルを用いた本解析はレイノルズ数依存性の強い乱流境界層内層域だけをモデル化する。そのため特別なチューニング無しに高レイノルズ数遷音速バフエツト現象の再現に成功している。と同時に通常のLESと比べ格段に少ない格子点数、大きな時間刻み幅を利用することが可能となり現実的な計算コストで高レイノルズ数流れの解析を実現できた。

新材料に対応した 高度成形・溶接シミュレータの研究開発

東京大学 新領域創成科学研究科 教授
奥田 洋司
東京大学 新領域創成科学研究科 講師
橋本 学

高度溶接シミュレーション技術を開発し、溶接工程における溶接順序探索および逆ひずみ量推定の高精度化・高速化を行う。平成29年度までの達成目標として、入熱による熱弾塑性解析の計算精度を検証し、数mmのオーダーの溶融条件を考慮した大規模並列計算性能を検証する。平成31年度までの達成目標として、ターゲット問題における部品規模の溶接解析の計算精度を従来アプリと比較し、開発するアプリの優位性を示す。そして、全体規模の溶接解析結果を実験値と比較し、開発するアプリの予測精度を検証する。

サブ課題Eで解決する社会的な課題は、生産時間短縮・コストダウンに貢献する加工法「成形法・溶接法」の高度化である。

ドイツでは、製造シミュレータによって架空の工場「デジタル工場」を作成し、作業工程やり直しの回避を目指す動きがある。例えば、BMW社が挙げられる。一方、日本では、工場と同じラインで同じ製品を大量生産するための自動化やロボット化を進めてきた経緯があり、すり合わせや作り込みなどのアナログな部分が多い工程がある。特に、溶接工程では、熟練工によるトライアル&エラーに頼る部分が多く、CAEを十分に適用できていない傾向がある。

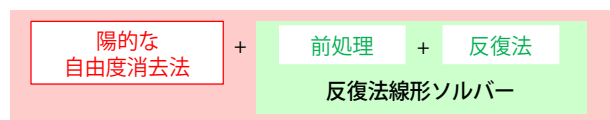
サブ課題Eでは、溶接工程における溶接順序探索/逆ひずみ量推定の高速度と高精度化を行うため、オープンソース並列有限要素解析ソフト「FrontISTR (フロント・イスター)」をベースとした高度溶接シミュレーション技術を開発する。そして、高度溶接シミュレーション技術を現場へ導入し、生産時間短縮やコストダウンだけでなく、熟練工によるトライアル&エラー依存からの脱却や新材料に対応した溶接法の開発のように「ものづくり基盤」の高度化につなげる。

サブ課題Eのターゲット問題は、①ジブクライミングクレーンのマスト全体規模の永久変形予測、②ラダーフレーム/サスペンションメンバ全体規模の永久変形予測である。ジブクライミングクレーンの溶接では、本溶接を行うときの「熱反りによって生じる溶接隙間量を小さくできる溶接順序」を高速かつ高精度に探し出すことが重要となる。また、ラダーフレームの溶接では、「溶接解析ソフトを使用して逆ひずみ量を検討するのに要する時間(40日)」を短縮化(10分~20分程度)することが重要となる。

開発する高度成形・溶接シミュレータの特徴は、①これまで利用されてきた「固有ひずみ法」ではなく、熱弾塑性解析によ

って解析領域全体を計算できること、②自動車/重機械フレーム全体規模(数m)の解析領域に対して、溶融部での高解像度(数 μm)の計算が可能であること、③温度場(熱伝導)と変位場(弾塑性クリープ変形)の強連成解析が可能であることである。数m規模の解析領域に対して、数 μm の解像に必要な要素数は、数千億~数兆要素(メッシュの粗密あり)になると考えられる。

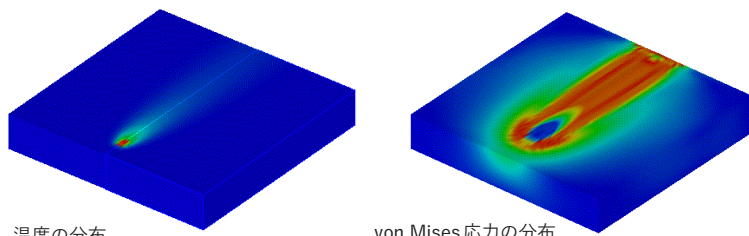
高度成形・溶接シミュレータの開発項目は、①アセンブリ構造の大規模接触問題が解析可能な並列反復法(図1参照)、②大規模熱構造強連成解析手法(熱伝導・弾塑性クリープ変形)(図2と図3参照)、③プレス成形のスプリングバックを考慮した溶接解析である。高度成形・溶接シミュレータ専用のプリポストを利用して、一つのシステムでプレス成形



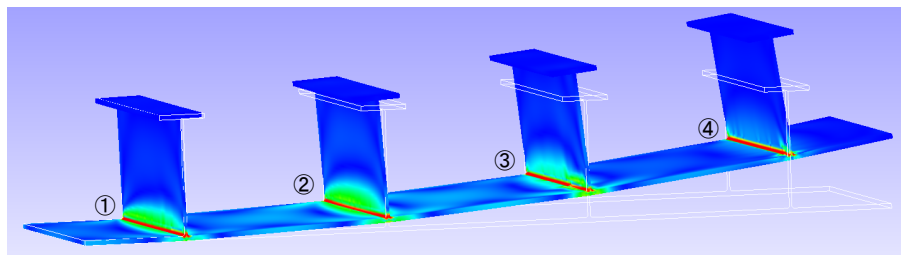
【図1】アセンブリ構造の大規模接触問題が解析可能な並列反復法

と溶接の一連の工程を解析可能にする。上記①~③の溶接シミュレータの要素技術開発とともに、溶接を取り巻く一連の製作工程(単材加工、鉄構組立、仮付け溶接、本溶接)を計算できるようにして、製作工程の総合的な予測に対する高精度化と高速化を実現する。

アプリケーションの利用フェーズでは、サブ課題Eを実施する東京大学を中核機関として、民間協力機関のプレス成形分野や溶接分野の材料・加工・製品製造セクションと連携する。また、開発されたアプリケーションは、他分野や他プロジェクトとの連携にも展開する。さらに、サブ課題Fとサブ課題間の連携を行い、熱可塑樹脂接触大変形/温度連成解析手法のコード検証および精度検証を行う。



【図2】試験片の溶接シミュレーション(熱構造連成解析の例)



【図3】溶接順序②→③→①→④に対するvon Mises応力の分布(熱構造連成解析の例)

マルチスケール熱可塑CFRP成形シミュレータの研究開発

東京大学生産技術研究所 教授
吉川 暢宏

ジェットエンジンのファンブレードや自動車ボディの抜本的な軽量化を実現するために、成形性の高い熱可塑CFRP(炭素繊維強化プラスチック)の活用に期待が集まっている。炭素繊維のミクロ構造にまで考慮した高度な最適設計が求められているが、現状では加熱成形後の繊維配置を正確に予測する手法がないため、正確な強度評価すらできていない。この状況から脱却するため、CFRTP(炭素繊維強化熱可塑プラスチック)製部品の成形プロセスを正確にシミュレーションできるソフトウェアを開発する。

研究の背景と目的

自動車や航空機の軽量化と生産性向上のために熱可塑CFRP材料の活用が期待されている。熱可塑CFRPは、成形速度が速い、生産コストが安い、リサイクル可能であるという利点を有している一方で、成形時に形状不整や内部欠陥が発生しやすく、製品機能を保証するための製造管理が難しい。本研究開発では、熱可塑CFRP部材成形時の形状変化および内部欠陥の発生を高精度に予測可能なシミュレーションプログラムを作成する。形状と内部欠陥が予測できれば、部材強度評価の精度も向上し、実機の試作と破壊を繰り返す試行錯誤的設計に陥っている現状の改善が期待される。さらには形状精度と強度を確保するための温度管理と型形状を探索する製造の高度化も推進されると期待される。

開発内容

開発する成形シミュレーションシステムのマルチスケール構成を図1に示す。下記a~cの開発項目を順次進めていき、ミクロスケール成形シミュレーションについては試験片レベルで、マクロスケール成形シ

ミュレーションについては部材レベルで、それぞれ実体との照合を行い、開発したシミュレータの精度向上を図る。

a. ミクロスケール熱可塑成形シミュレータの開発

炭素繊維と樹脂を区分したミクロモデル設定を機軸として、熱可塑性樹脂の温度依存材料特性モデルを組み込む。開発にあたってはサブ課題Eと連携し、温度と接触大変形の連成解析機能も導入する。

b. マルチスケール展開によるマクロスケール熱可塑モデルの開発

開発したミクロスケール熱可塑成形シミュレータを「京」上で運用し、樹脂の温度依存性を考慮した直交異方性連続体としてのマクロモデルの材料パラメータを決定する。

c. マクロスケール熱可塑成形シミュレータの開発

①初期プリプレグシート積層構成を正確に有限要素モデル化するメッシュを開発した上で、②直交異方性連続体マクロスケールモデルによる接触大変形問題と熱伝導問題を強連成問題として解く成形シミュレータを開発する。

開発状況および実施計画

本年度までの開発状況および来年度の実施計画を記す。

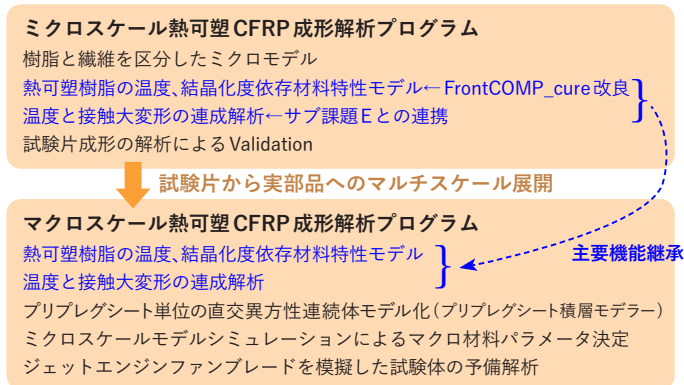
平成28年度の成果

ミクロスケール熱可塑CFRP成形シミュレータを開発し、熱可塑性樹脂の温度、結晶化度依存材料特性のモデル化を実施した。開発モデルを用いて行った熱可塑CFRP材料の成形シミュレーション例を図2に示す。図中には温度および結晶化による樹脂の体積収縮に起因する残留ひずみと、繊維軸方向の圧縮応力を示してある。

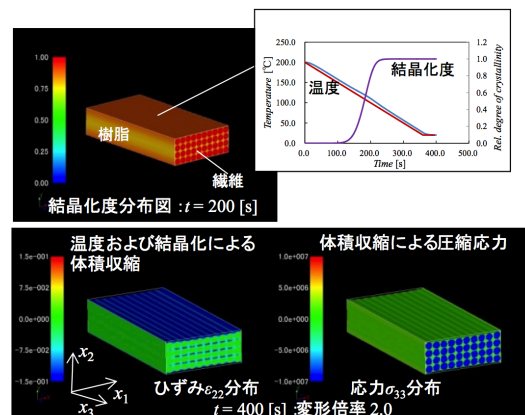
平成29年度の実実施計画

マクロスケール熱可塑CFRP成形シミュレータ開発のため以下の項目を実施する。

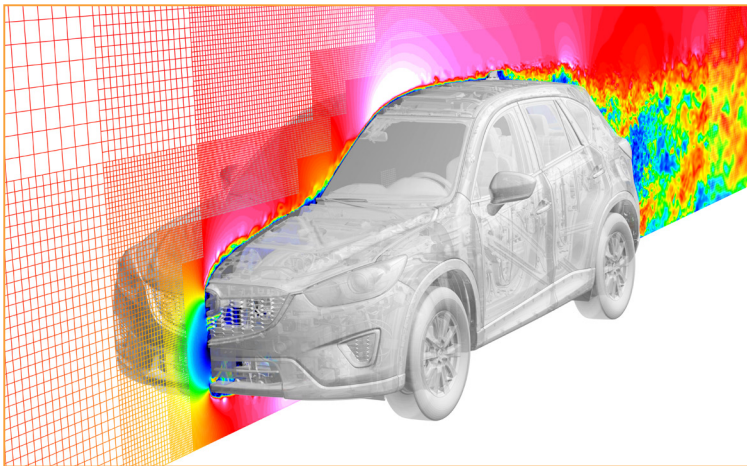
- ①プリプレグシート単位の直交異方性連続体モデル化
- ②ミクロスケールモデルシミュレーションによるマクロ材料パラメータ決定
- ③ジェットエンジンファンブレードを模擬した試験体の予備解析



[図1] マルチスケール熱可塑CFRP成形シミュレータ



[図2] CFRTPの成形後残留ひずみ予測シミュレーション



今号の表紙

フルスケール自動車周りの空力解析例

理研AICSで開発した階層直交格子に基づく統一的流体・構造解法ソルバCUBEを用いたフルスケール自動車周りの空力解析例。実際の開発に用いられているCADデータからデータ修正無しに1時間以内に数百億セル規模の格子を自動作成し、流体解析ができる。

神戸大学 坪倉 誠

編集後記

前号に続き、ポスト京のアプリケーション開発に関する特集です。この号では、重点課題8の各サブ課題について研究開発の状況をまとめました。公式サイト (<http://www.ciss.iis.u-tokyo.ac.jp/postK/>) の情報も併せてご覧ください。(F)



計算工学ナビ オフィシャルサイト

本誌のPDF版やソフトウェアライブラリ、ニュースなどのコンテンツを提供しているWebサイトは下記のURLからアクセスできます

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



計算工学ナビ Vol.12

発行日：2017年3月17日

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

office@ciss.iis.u-tokyo.ac.jp