

SIMULIA

COMMUNITY NEWS

#09 2015年2月号

産業の推進役

企業が求める技術革新、
持続可能性、コスト削減

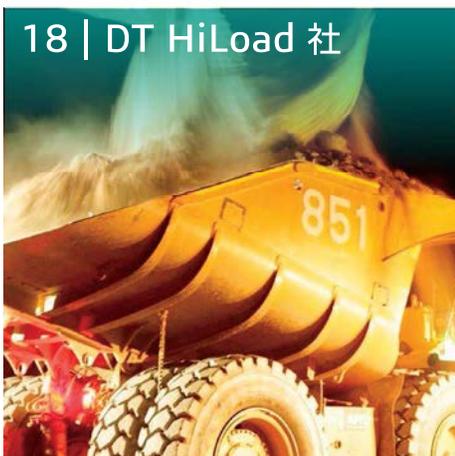
カバーストーリー
PLASTIC TECHNOLOGIES 社



6 | Plastic Technologies 社



14 | CEA



18 | DT HiLoad 社

目次

2015年2月号

3 ごあいさつ

SIMULIA 副社長兼 CTO Bruce Engleman

4 SCC 最新情報

ベルリンへのロードマップ

6 カバーストーリー

Plastic Technologies 社、シミュレーションを駆使して容器を軽量化

9 ニュース

ダッソー・システムズ、「リビング・ハート・プロジェクト」で FDA と 合意

10 ストラテジー

心血管用ステントの最適化ワークフロー

12 カスタマスポットライト

BAKER HUGHES 社のJEFF WILLIAM氏が、どのようにIsightで手順の反復を加速するかを説明

14 ケーススタディ

SIMULIAとCEAの共同研究がスーパーコンピュータ上のAbaqusシミュレーション性能を改善

17 アライアンス

新たなシミュレーション機会を切り開くSIMPLEWAREとAbaqusの組み合わせ

18 ケーススタディ

Abaqus が鉱山用ダンプトラックの寿命延長に貢献

21 学術研究

SIMULIAの協調シミュレーションエンジンが風力タービンのマルチフィジックス現象を解明

23 Tips & Tricks

TOSCA STRUCTURE の構造最適化を Isightのワークフローに組み込む方法

寄稿者: Sumit Mukherjee (PTI)、Jeff Williams (Baker Hughes)、Max-André Darizcuren (CEA)、Stefan Sicklinger (ミュンヘン工科大学)、Ray Sun (DT HiLoad)、Parker グループ

表紙: Plastic Technologies 社 CAE & シミュレーション担当役員 Sumit Mukherjee 氏 (撮影: Luettke スタジオ・Rick Luettke 氏)



目標をさらに高く設定する

製品と自然と生命の実世界の挙動を探索しているうちに、我々はエキサイティングな 2015 年を迎えました。いつもながら、我々は皆様（お客様）のおかげで、現在そして将来の技術的限界を押し広げることができるのです。その結果、目標が高く設定されると、我々はそれに向かって邁進します。

弊社は常に製品ポートフォリオを拡大させ、2014 年には SIMPACK を買収し、fe-safe、Tosca、Simpoe-Mold を統合しました。皆様にはこれらのツールをさまざまな形でご利用頂いています。たとえば、世界最大都市の 1 つでは大規模トンネルの改修と建設に利用され、患者固有の心臓ステントの設計や、燃料効率と転がり抵抗に対するタイヤ素材のシミュレーションに利用されています。他にも多数の事例があり、ここに全部を挙げることはできませんが、私はそれらすべてに敬意を表するとともに、2015 年度の皆様のさらなる成功をお祈りしたいと思います。

本号では、4 つの業界（消費者向けパッケージ製品、産業機器、航空宇宙・防衛、エネルギー）のユーザー事例を紹介しています。読んでいただければ分かりますが、SIMULIA 製品を使用することの価値が、個々のアプリケーションや業界の利用ケースを超えて広がっています。

その代表例が、自社製品の軽量化に努める Plastic Technologies 社(6 ページ)と DT HiLoad 社(18 ページ)の両ケーススタディです。消費者向けパッケージ業界の最終成果は、材料の節減とコストの削減、そして、より環境に優しい製品の開発に向けた支援です。同様に産業機器業界では、コストの低減に加えて重量の大幅削減であり、本号のケーススタディにおいては、巨大な鉱山用トラクトレイの積載量が増大しています。

エネルギー分野では、風力タービンに対する最先端の CFD 解析が紹介されています。この「学術研究」記事には、業界アプリケーションにおける開放性へのニーズの高まりが浮き彫りにされています。皆様(14 ページの CEA のケーススタディのように)製品のライフサイクルを通してそのロバスト性の保全に取り組む場合も、コストの削減や無駄の排除に挑戦する場合も、我々はいつでも皆様と協力することに大きな喜びを感じています。

現在、弊社はいろいろな理由から、2014 年の成果に基づいて、これから数か月間ますます奮起しなければいけない状況です。その 1 つは、新たに米国食品医薬品局と結んだ 5 年契約の共同研究プロジェクトに着手したことです。このプロジェクトでは、ダッソー・システムズの「リビング・ハート・プロジェクト」で開発された技術を活用し、最初に心臓病治療に用いられるペースメーカーのリード線などの心血管装置の挿入や配置、性能に関する検証モデルを開発する予定です。

また、我々は新社屋へ移転しました。このビルは我々の職場環境を象徴するように、コラボレーションの理念に添って設計され、「ビジター・トレーニングセンター」などの施設と最先端の会議室やコラボレーションルームが整えられています。さらに SIMULIA のウェブサイト (www.3ds.com/simulia) もリニューアルされました！

このエキサイティングな機運をさらに推進するため、是非皆様とも協力して行きたいと思います。今年 5 月にドイツのベルリンで開催される SIMULIA Community Conference (SCC) では、多くの方々とお会いできるのを楽しみにしています。それは最高の技術内容になる予定です。受領した論文要約（過去最多）には、さまざまな分野の興味深い最新の業界アプリケーションが紹介され「ポートフォリオのパワー」が明らかにされています。また、我々の新しいトレーニングデーは、必ずや出席者にとって最高の学習チャンスとなることでしょう。www.3ds.com/scc から皆様のご登録をお待ちしています。

敬具

Bruce Engelmann
SIMULIA VP & CTO

SIMULIA COMMUNITY CONFERENCE

2015年5月18~21日 | ドイツ・ベルリン



過去最大・最高の SIMULIA Community Conference に
是非ご参加ください!

 **DASSAULT**
SYSTEMES | The **3DEXPERIENCE**® Company

技術情報



SIMULIA の「技術&製品アップデート」では、Abaqus、Isight、Tosca、および fe-safe の 2015 年中期バージョンに関する最新情報をご紹介します。「専門家とのミーティング」セッションでは、SIMULIA の開発者やエキスパートと直接お話しできる良い機会となっています。

トレーニングデー

今年のアドバンスセミナーは、リニューアルされ新しいトレーニングデー（5月18日開催）を実施します。3つの技術セミナー、2つの体験トレーニングクラス、そして2つのポートフォリオ・アプリケーションコースが準備されています。



フォーラム

ベルリンでは、3つのフォーラムが開催され、マルチボディシミュレーション (SIMPACK)、疲労&耐久性 (fe-safe)、最適化 (Tosca および Isight) の最新情報をご紹介します。

情報交換の機会

SCC 開催期間中、SIMULIA のエキスパートやユーザーの方々と情報交換や交流を図る色々な機会を提供しています。



詳細については www.3ds.com/SCC をご覧ください。

カバーストーリー



PTI 社、シミュレーションを駆使してプラスチック容器の軽量化を実現

プラスチック容器メーカーが好んで使用する素材として完全に定着した PET（ポリエチレン・テレフタレート）ボトルの分野では、コストを抑え、より環境に優しい製品を求める消費者の期待に応えようと、現行容器の軽量バージョンを設計することに焦点が移ってきました。

PET ボトルは 40 年以上にわたって使用されてきましたが、その間の樹脂技術と変換装置の進歩が、自社の環境プロファイルを改善しようと試みるメーカー各社の軽量化への取り組みを後押ししています。国際飲料協会（IBWA）が 2010 年に行った研究調査によれば、16.9 オンス飲料ボトルの平均重量は、それまでの 8 年間で 32.5% も削減されています¹。また、米国で現在主流の 500ml 飲料 PET ボトルは、約 8 グラムと非常に軽量なのですが、新製品ではこれをさらに切り詰めようとしています。

しかし、厳しい性能要件を今まで通りに満たす構造で、軽量な材料組成を補えるようにする最適設計の開発は、決して容易なことではありません。実際、それは微妙なバランス取りを必要とする作業であるため、ブランドのオーナーやボトルメーカー、樹脂および機械メーカーは、彼らの目標達成に役立つ革新的な設計プロセスを、先を争って採用するようになりました。

プラスチックパッケージの大手設計サービス会社 Plastic Technologies Inc. (PTI 社) の実践法はシミュレーション主導の設計であり、内製の仮想プロトタイプツールと、ダッソー・システムズのリアリスティックシミュレーション・アプリケーションである SIMULIA の有限要素解析ソフトウェアを組み合わせて活用しています (SIMULIA はダッソー・システムズの業界別ソリューションのためのパーフェクト・パッケージを提供するブランドです)。シミュレーションによって、

PTI 社の設計チームでは、試作品の構築と試験に要する時間とリソースの大幅な削減が可能になっています。

PTI 社は、消費財メーカーからプラスチック加工業者そして材料サプライヤーまで、幅広い顧客を抱えています。同社は、通常 1 年間に 500 種類もの異なるデザインを開発し、顧客のために 1 デザイン当たり平均 5 回の設計反復を行います。そして最近、1985 年の創業以来 10,000 番目となるボトルデザインを完成させました。PTI 社は、顧客が気に入る画期的なデザインを開発する上で、ダッソー・システムズの CATIA アプリケーションを含む、最新鋭の各種 CAD ツールを使用しています。

Abaqus は、多くの場合 PTI 社内製の仮想プロトタイプソフトウェアと合わせて使用されます。これは、プリフォームの再加熱のシミュレーションや、容器のプロロー成形過程の再現、あるいは機械的性質と関連した材料の肉厚分布の予測などに用いられます。その後、このデータが FEA の入力として用いられ、さまざまな容器の各種荷重条件下における非線形性の強い変形挙動が調査されます。

「サンプルが作成される前に、新しいパッケージ設計をシミュレーションすることが可能になれば、ボトルやプリフォームの設計反復はより速く低コストになり、設計チェーン全体がスピードアップして、結果として製品開発期間も短縮されます」

—Plastic Technologies 社 CAE & シミュレーション部門担当役員 Sumit Mukherjee 氏

1. 国際飲料協会の依頼で Beverage Marketing 社が行った分析調査
www.foodbev.com/news/earth-day-finds-weight-of-plastic-bottles-reduced-by-32#.VC13n0vgWes

Abaqus は PTI 社の開発プロセスにとって不可欠な要素であり、より迅速なデザインの選別、軽量化のベストチャンスの見極め、生産プロセスの最適化、障害の根本原因の特定など通じて、増え続ける作業負荷に対処できるよう設計者を支援しています。

Plastic Technologies 社の CAE & シミュレーション部門担当役員である Sumit Mukherjee 氏は次のように話しています。「我々のシミュレーション結果は、さまざまな方法で開発プロセスに役立っています。それは、最適性能を目指してさらに絞り込むための最有力候補を選別することに役立ちます。また、どのような幾何学的特性や材料特性、肉厚分布なら、既存容器よりも性能を改善し軽量化を可能にするかという点についての決定的なフィードバックが得られます。そして、より革新的な思考を促すことで、独創的かつ実行可能な解決を手助けしてくれます」

容器性能における冒険

PTI 社は、顧客のために容器デザインを軽量化するとき、2 つの重要目標を掲げます。すなわち、構造的な特性に大きな影響を与えることなく材料の節減を実現すること、そして、材料の各粒子が最大になるように材料分布の効率を高めて、容器構造とプリフォームの両方の設計を改善することです。

軽量化に際してプラスチック飲料ボトルの性能調査を行ったある研究では、PTI 社は Abaqus を使用して、軽量化されたプラスチックボトルが載荷時や積み重ね時に座屈しないよう保証するため、各種の圧力条件下で上面荷重強度と側壁剛性にどのような変化が生じるかをシミュレーションしました。意外にも、プラスチックボトルの上面荷重強度は、17g から 14g に軽量化すると、19 lbf (重量ポンド) から 12 lbf へと半分近く低下することが判明しました。この貴重な発見のおかげで、同社はその設計方針を素早く転換することができたのです。

この計算結果は 17g と 14g の 2 つのサンプルを実際に成形することで検証され、予測値は実測値の 90% 以内に収まっていることが確認されました。

次に Abaqus は、結果として望ましい上面荷重強度となるような最適なプリフォーム寸法を見つけるためのボトル側壁の方向と肉厚の調査に利用されました。「Abaqus によって、特定の適用条件で

の時間スケールにそった適切な荷重および境界条件を考慮することが可能になります。今後、我々が取り組むべき最も重要な Abaqus の機能は、構造力学に流体との接触相互作用（液体製品を封入するあらゆる容器で生じる作用）を組み入れることでしょう」と Mukherjee 氏は話しています。

設計チャレンジはあらゆる形状とサイズにおよぶ

PTI 社は、楕円その他の非円形容器についても上面荷重と側壁荷重の性能調査を行い、ブロー成形過程でプリフォームに異なる加熱法を用いた場合の各結果を比較しました。この研究で PTI 社のエンジニアは、楕円形容器には「選択的加熱法」が好ましいオプションであることを学びました。この方が、より均一な重量配分となり、空の場合も充填した場合も上面荷重強度が優れていたからです。

「このように、さまざまな容器形状やプリフォーム設計を比較的短時間で解析できるということは、多種多様な設計特性の迅速な評価が可能になり、その上、将来の設計提案に役立つ素晴らしい学習ツールにもなりえます。そのため、以前のように試作に頼ることなく、もっと自由に独創的なコンセプトの評価も可能になり、よりロバストな設計をはるかに短期間で開発できるようになります」と Mukherjee 氏は話しています。

軽量化の先を行く

Abaqus FEA は、PTI 社の軽量化への取り組みを手助けしてきましたが、それだけでなく、複雑化するブロー成形工程の最適化や、製品不具合の特定と修正に関する継続的取り組みの支援など、設計・試作ワークフローの他の領域においても重要な役割を果たしています。

たとえば広口 PET 容器の設計・製造の場合、標準的な 2 段工程ではなく、単段工程のブロー成形で製造されます。この種のネック径の大きな PET 容器では、射出成形で保持された熱がプリフォームの延伸とブロー成形にも利用されるので単段方式が求められます。この方式では材料を再分布させる余地がほとんどないため、プリフォーム設計が特に重要となります。しかしながら単段方式は複雑であり、昔から PTI 社や他社でも、プリフォーム設計やブロー成形の実際の工程を仮想空間で正確にシミュレーションすることが難しく、相変わらず費用のかかる試作に頼っていたというのが実情でした。

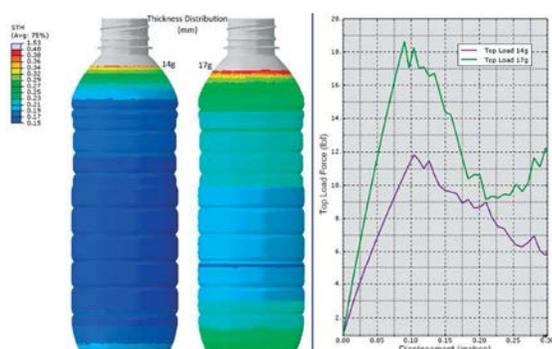


図 1. 容器が 17 から 14 グラムに軽くなると上面荷重強度は約半分に低下するという予測結果（左図は肉厚分布の比較）

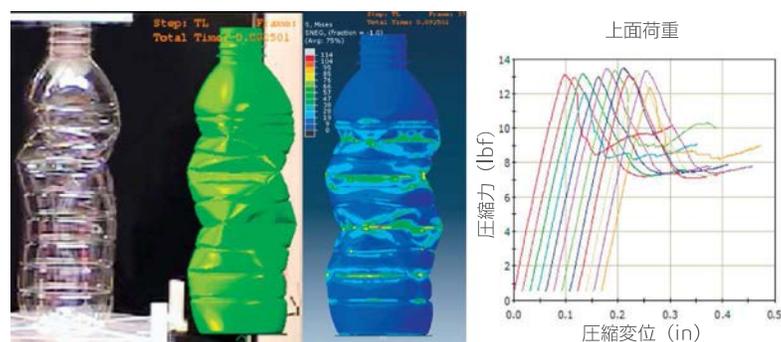


図 2. 14g 容器における実際の上面荷重性能とシミュレーション結果の比較

カバーストーリー

現在 PTI 社では、円形および楕円形容器におけるブロー成形後の肉厚分布のモデリングの成功を受けて、こうした特殊な課題にも対処できる同社初の解析モデルの作成が可能となりました。それは、追加の再加熱調整なしでブロー成形される 116g の 3L 容器の純粋な単段工程のシミュレーションでした。このシミュレーションで PTI 社は、仮想プロトタイプソフトウェアからの側壁肉厚と機械的性質の出力データを Abaqus FEA に入力して、容器の上面荷重に対する抵抗力を予測し、最終的な目標として 1 キログラムのプリンター用カートナーを収めるための最適な容器サイズを決定しようと考えました。

このような以前は再現困難だった設計・製造プロセスのシミュレーションも、実験結果とはほぼ一致することが判明しています。最大負荷を受けたときの破損メカニズムと変形についても、シミュレーション結果と実際のボトル試験結果はほぼ一致していました。Abaqus の正確な接触アルゴリズムと材料特性を個々の節点・要素に効率的にマッピングする能力は、PTI 社がこうした大規模なシミュレーションをやり遂げる上でとても有効であったと Mukherjee 氏は話しています。「我々は以前、別のソフトウェアを使用したこともありましたが、それは、非線形材料特性を有する薄肉プラスチック製品の大変形問題に対して我々のニーズを満たすものではありませんでした」

Mukherjee 氏によれば、Abaqus は構造力学や計算流体力学 (CFD) などあらゆる種類のソルバーモジュールにアクセスでき、また複雑さと必要性に合わせて CPU 数を増やせるオプションがあるため、チームが困難な課題に幅広く取り組むことを可能にしています。

製品不具合の原因を探る

パッケージが企業のブランドイメージに不可欠な要素となるにつれて、新型容器は現行プロセスやこの分野の専門知識を試す試金石となっており、パッケージの不具合を防ぐための斬新な取り組みも必要になっています。しかし品質基準は生産者によって異なるため、何が不具合となるかについての絶対的指針はありません。

PTI 社は、彼らのシミュレーション業務をさらに発展させ、障害原因分析に取り組むことによって、最終的に彼らの品質管理も改善しようと決断しました。PTI 社は、内製の仮想プロトタイプソフトウェアツールに加えて FEA ソフトウェアや M-Rule® モデルを準備することで、不具合の再発現象に集中的に取り組んだ結果、これまでの標準的な試作実験手法よりも、はるかに少ないリソースと何分の一かの時間でそれらを解決することができました。

ある演習では、エンジニアは彼らの新しい障害原因分析手法を、容量 64 オンスの加熱充填用ジュース容器に試してみました。この容器では、充填後のロゴパネル部分に膨らみ現象が散発的に発生していました。システムを通じてエラーを追跡したところ、PTI 社は不具合サンプルが充填工程で発生していたことを突き止めました。さらなる解析によって、材料分布の不整合は不具合の原因でないことが判明し、それは PTI 社が外的影響の可能性に目を向けるきっかけとなりました。そして、高い製品温度とフィラーの圧力スパイクが相まって、パネルの不具合を誘発しているという説が浮上しました。

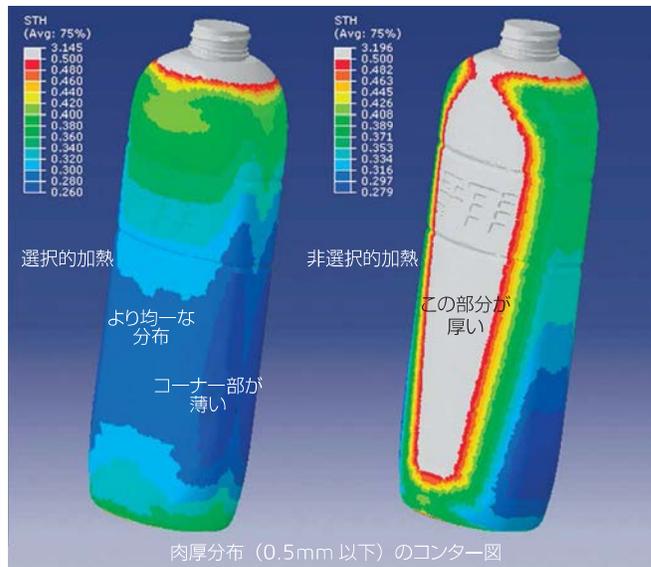


図 3. Abaqus FEA のシミュレーションによって、楕円形容器には「選択的加熱法」(左図)が適切なオプションである(より均一な重量配分と優れた上面荷重強度になる)と判明した

シミュレーションが従来からある障害原因検査プロセスの有効な代替手段となるには、PTI 社は大掛かりなモデリングを実施する必要がありました。このモデルの構築は、材料分布と機械的性質を再現することから開始されましたが、仮想空間におけるブロー成形工程はもちろんのこと、コンベヤや充填ヘッドなど環境の物理的側面も再現する必要がありました。情報の入力が完了すると、PTI 社は数値シミュレーションを実行して障害メカニズムをリアルに再現することができました。そしてそれらを検証することで、チームはこのモデルを、障害に対処するときの設計反復を比較する基準値として用いることができました。

この取り組みの結果、PTI 社は変形問題の対処法としては、ジュース容器デザインを 75g バージョンに重くする必要がないと判断し、代わりに、ロゴパネルを再設計して幾何学的な修正を加えることが、問題の最適な解決策であるという結論を下しました。こうした障害を排除するための連続的な設計修正プロセスこそ、まさにシミュレーションが時間とコストを節減できる部分です。

「サンプルが作成される前に、新しいパッケージ設計をシミュレーションすることが可能になれば、ボトルやプリフォームの設計反復はより速く低コストになり、設計チェーン全体がスピードアップして、結果として製品開発期間も短縮されます。多種多様な設計特性の迅速な評価が可能になり、将来の設計提案にも役立つ素晴らしい学習ツールが実現します。その結果、以前のように試作に頼ることなく、もっと自由に独創的なコンセプトの評価が可能になり、よりロバスタな設計をはるかに短期間で開発できるようになるのです」と Mukherjee 氏は話しています。

詳細は以下をご覧ください
www.plastictechnologies.com

ダッソー・システムズ、「リビング・ハート・プロジェクト」の共同研究で FDA と合意

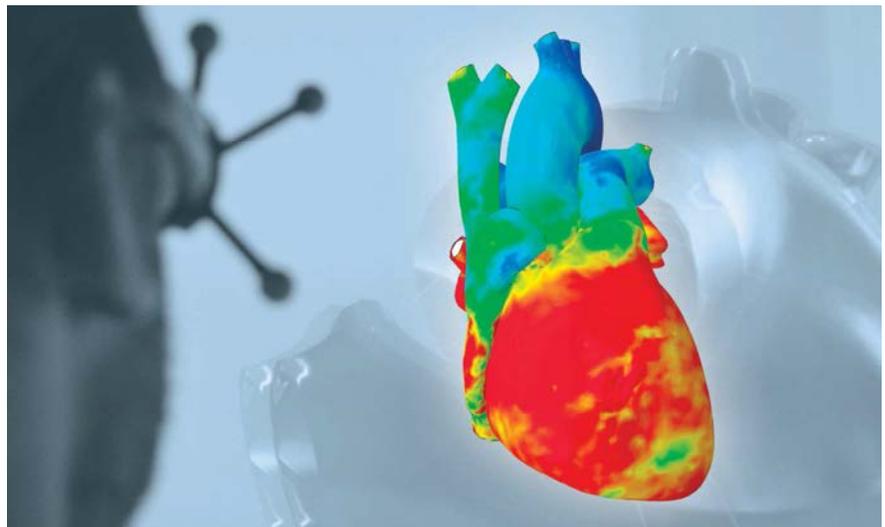
プロジェクトは大きな節目を迎えるとともに、クラウドソーシング手法を通じて、心臓病の治療・診断に新時代の患者体験を実現するための活動を加速させています。

シミュレーションによって我々を取り巻く世界が変革されるなら、我々の内部の世界だって改善できるのではないのでしょうか？ 実際に製品を組み立てる前に仮想空間で設計し試験・検証するためのリアリステックシミュレーション技術を、エンジニアではなく医者が利用したなら、患者治療はもっと効果的で個別的なものになり得るのではないのでしょうか？

これこそ、ダッソー・システムズが人間の心臓の完全なリアリステックシミュレーションモデルを開発するため、医療関係者や生物医学界と手を組んで 2014 年 1 月に立ち上げた「リビング・ハート・プロジェクト」の目標です。長年にわたってシミュレーションを利用してきた産業界では、そうした目標を達成するために持続的かつ献身的な協力関係を取ってきました。そして実際、彼らは成功してきたのです。医療分野に取り組むということは、研究機関、医学界、産業界、規制機関の各メンバーが互いに連携することを意味します。そうすることによって彼らは力を合わせ、専門知識を持ち寄って心臓挙動の標準となる数値計算モデルを開発し、このモデルを既存の心臓シミュレーションよりも、動く心臓のより正確な表現とすることができるのです。1 年前に熱心な会員組織 3 社で発足して以来、米国食品医薬品局 (FDA) を含む 35 以上もの賛助会員がモデルの構築と検証を支援しようと契約に署名しています。

こうしたクラウドソーシング手法によって加速された結果、我々は人間の心臓をシミュレーションするモデルとしては初となる商用グレードモデルを作り出すことができたのです。プロジェクトをさらに推進したのは 5 年間の共同研究協定に署名した FDA でした。この協定では、最初に心臓病治療に用いられるペースメーカーのリード線などの心血管装置の挿入や配置、性能に関する検証モデルを開発する予定になっています。これによって、新たな心血管装置の承認手続きを迅速化することはもちろん、医療機器の設計・製造分野に技術革新を喚起すること、そして患者自身の健康に関して言えば、彼らにより大きな安心感と元気を与えることが期待されています。

研究者たちは、承認手続きを加速するため、さらにはイノベーションを推進し、患者の信頼感を高め、コストを低減するため、医療機器イノベーション・コンソーシアム (MDIC) とも連携してきました。このプロジェクトはすでに、新型の補助心臓弁が実際に患者に挿入される前に、その有効性を検証するためや、心臓病の進行を理解するために利用されています。



MDIC の会長兼 CEO である Bill Murray 氏は次のように述べています。「数値モデリングやシミュレーションは、イノベーションを加速し、長期の安全性を総合的に保証するという意味で、医療機器と健康管理の分野に革命をもたらす可能性があります。すなわち、臨床試験による実験的な方法でしか評価できなかった、人体と機器の相互作用も評価できるようになると期待されています。リビング・ハート・プロジェクトは、医療機器業界に心臓シミュレーションという新たなツールをもたらした素晴らしい事例であり、それは機器の設計から申請まで利用することが認められるかもしれません」

ダッソー・システムズでは、こうしたニーズを我々の得意とするソリューションと結び付けるべき時が来たかと判断しています。このアプローチを、整形外科や脳や視覚にまで、さらに拡大させたいと思いませんか？ 我々には人体のあらゆる組織をシミュレーションできる可能性があります。これらの限界に挑戦し続けることは、必ずや人類の利益になるでしょう。我々はテクノロジーを活用することで、プロセスや患者治療全般を改善できるだけでなく、治療を受ける個々の患者も元気づけることができるのです。そのため、我々は他の団体や組織にも、後に続くよう喚起していきたいと思っています。

詳細は以下をご覧ください

www.3ds.com/heart

心血管用ステントの最適化ワークフロー： 設計イノベーションを実現する SIMULIA ポートフォリオのパワー

世界保健機関 (WHO) によれば、心血管病は世界全体での死因の第一位であり、そうした状況はこの先何十年も続くだろうと予想されています。そしてバルーン血管形成術やステント挿入術などの外科的処置は、多くの患者の命を救いつづけています。

もしあなたが医療用（心血管用などの）ステントの設計者や製造者であるなら、あなたのチームは、ライフサイエンス業界や米国食品医薬品局 (FDA) が求める厳しい品質基準に合致した製品を、最も効率良く開発する方法について絶えず模索していることでしょう。あなたは次のように自問しているかもしれません。「現行のステント設計は最適だろうか?」「設計を改善するには、どこを変更したら良いのだろうか?」「改善する過程で、どうしたら疲労寿命を正確に評価できるだろうか?」

あなたは CAE ツールを使用して、これらの質問のいくつかにすでに答えを出しているかもしれません。しかしながら、あなたのこれまでの調査はうわべだけのものだったかもしれません。数枚の応力プロットや変形プロットを作成し、耐久性や寿命を他の誰かに推定してもらうだけでは、もはや十分とは言えません。

設計イノベーションの原動力としてのシミュレーション

あなたの会社の上層部は、高度なシミュレーションこそがイノベーションを推進するのだと痛感するようになりました。そして彼らは、自社のチームが直面している設計課題に即応できる、より完成された実用的なソリューションを求めています。彼らは単なるシミュレーションではなく、イノベーションを望んでいます。そのためには、あなたがステントの形状と物理現象に関する知識ベースを深め、最適で検証可能な結果を得るための技能を高めることに役立つ強力なツールセットが必要です。

今回の技術デモンストレーションでは、FEA、プロセス統合、設計最適化、および疲労解析から成る一連のツールによって、ステント設計の多種多様な課題にフォーカスして問題を掘り下げることができるようになり、イノベーションの促進と品質改善につながることを説明いたします。

ここで示す例は、特定の製品ではなく、一般的な冠動脈ステントの設計を想定しています。ワークフローは、SolidWorks による CAD モデルリングで始まり、Abaqus FEA、Isight によるパラメトリック最適化、そして Tosca によるノンパラメトリック形状最適化へと続きます。また、解析者が設計判断のためにさらなる知見を得たいと思った場合、このワークフローに付属させることができる fe-safe による疲労寿命評価についても説明します。

構造解析の自動化

最初に、提案されたステント設計の 2D CAD モデルを SOLIDWORKS で作成します。Python スクリプトを用いて、このモデルは Abaqus/CAE にインポートされて 2D メッシュが作成され、それが押し出されて 3D メッシュとなり、さらに（円筒状に）輪状にまるめられて最終的なステントのメッシュが出来上がります。

ステントモデルが完成すると、次の作業は Abaqus の有限要素解析に必要なその他のシミュレーションデータの作成になります。それらは、ステントが挿入されバルーンで展開される際の血管、ステントが血管内に配置される前にステントを拡張および折り畳むための器具、そして、血流によって生じる血管内壁への繰り返し圧力荷重です（図 1）。

設計のパラメトリック最適化法

これまで我々は、SIMULIA の Abaqus と fe-safe ツールキットを用いて、どちらかと言えば手作業で実行する段階的なプロセスのデモを行ってきました。あなたはすでに、最低限の信頼性基準を満たす新しいステント設計のアイデアに到達しています。今こそ Isight の強力なプロセス自動化および最適化機能を適用すべき時です。Isight によって、関連のパラメータが微調整され、現行の設計が本当に最良の設計なのか判断するための、より詳細な情報が得られます。

最初に、ステント各部の長さ、半径、厚みなど、あなたが調査したいモデルパラメータを決定します。次に、Isight で実験計画法 (DOE) のシーケンスをセットアップします。これによって Isight は、各パラメータを自動的に変更しながら、変更ごとに新しい CAD ファイルを生成し、それぞれを Abaqus 解析に変換して、ピーク応力に関するフィードバックを応答曲面の形で出力します。応答曲面はパラメータ

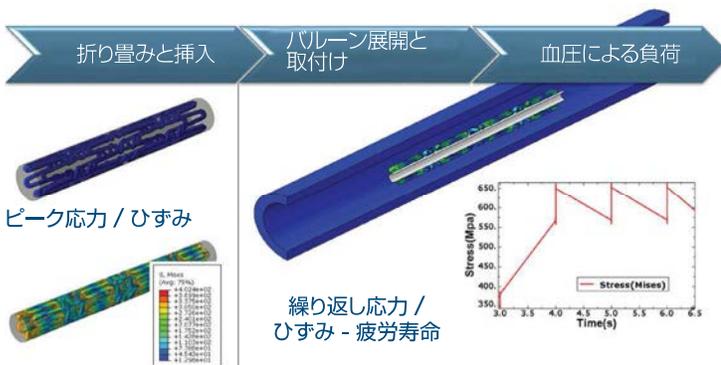


図 1

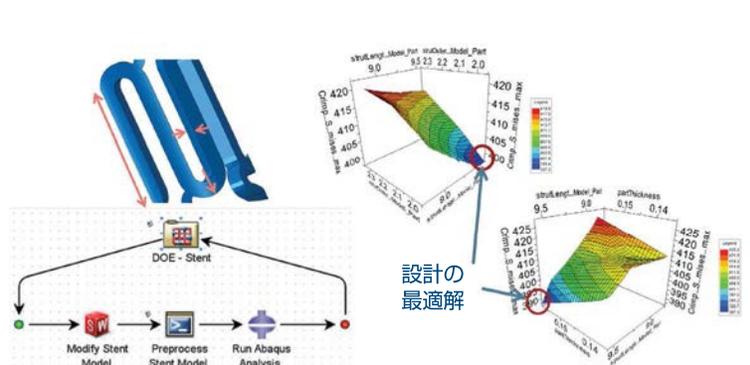
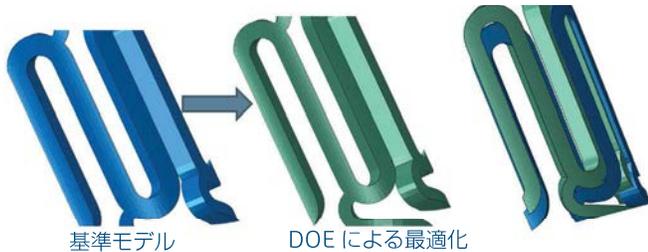


図 2

変更の結果をマップで表します (図 2)。

DOE ランのセットアップに用いられた Isight のワークフローが、図 2 の左下に示されています。右の図は、ステントの折り畳みシミュレーションから得られた応答曲面の 2 つのビューであり、「設計最適解範囲」(青色部分) が示されています。

ここで、オリジナルのステント設計を DOE で最適化された結果と比較してみましょう。



一番右側の図は、基準モデルと最適化されたモデルを重ねて表示したものです。最適化されたステント設計の厚みはわずかに減少しています。半径も減少していますが、押し出し方向の厚みは増大しています。

設計のノンパラメトリック最適化法

この段階で、Isight のパラメトリック手法によって最適化されたステントモデルが得られました。しかし Tosca のノンパラメトリック形状最適化機能を用いれば、さらに深く詳細な設計情報を得ることができます (図 3)。

Tosca は、ピーク応力が発生している場所の節点セットを調べて、ピーク応力が最小となる形状を探します。Tosca の制御アルゴリズムは、本来あるべき形である周期対称を維持するための制約条件を守りながら、各ステントストラット内の応力分布が均一になるように形状を最適化します。

Tosca は、設計形状を変更しながら (このケースでは 6 回の反復で) ミーゼス応力値を 13% 低減させました。これは、Isight 単独のノンパラメトリックな DOE ベースの手法で達成できた 5% の低減に比べれば大幅な改善です (図 4)。

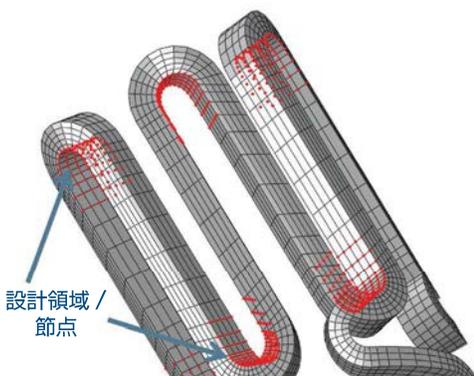


図 3

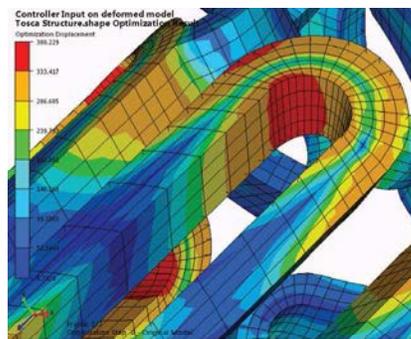
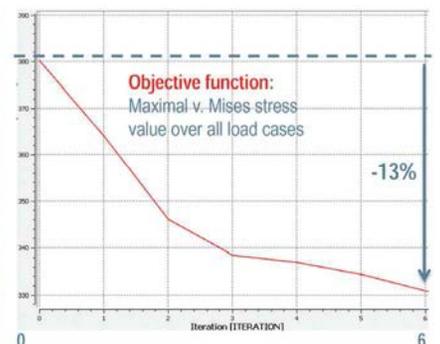


図 4



パラメトリック・アプローチとノンパラメトリック・アプローチを組み合わせる理由

今回の事例から、Isight と Tosca を併用することが、ステント設計を最適化する上で非常に有効であることを理解していただけたと思います。パラメトリック最適化と形状最適化は 2 つの異なる、あるいは互いに矛盾するアプローチのようにも見えますが、これらを併用することで、最終的により深く詳細な解析が可能となり、実現しうる最高の設計に到達できるようになります。

2 つのツールは、どのようなシーケンスでも自由にセットアップが可能です。しかしステントの場合、解析者は既存の設計から開始する傾向にあるため、パラメトリック (Isight) アプローチからスタートして、その結果を Tosca の形状最適化に渡すことが理想的です。また、fe-safe はどのタイミングでもワークフローと合わせて使用できるので、そうしたシーケンシャルな最適化が、どの程度疲労寿命を延長させるのか確認することもできます。

SIMULIA のステント最適化用ツールに単一のトークンでアクセス

ステント設計に利用可能なすべての SIMULIA 製品は、Extended Token を通じて試すことができます。これは Abaqus、Isight、Tosca、および fe-safe の全ソリューションに単一のトークンでアクセスできるようにするものです。このツールセット一式を使用することで、以下のような多数のメリットが生まれます。

- ・ 負荷状態、耐久性、信頼性に対するより深い理解
- ・ 材料や形状についての設計探索、パラメトリック最適化と形状最適化、および製造公差のための強力な機能
- ・ 応力集中と繰り返し負荷の評価を通じた疲労破壊についての知見
- ・ 患者特有のステント形状や負荷条件に合わせた将来的なオーダーメイドモデリングへの対応

詳細は以下をご覧ください
Email Manoj Chinnakonda at manoj.chinnakonda@3ds.com



Q&A:BAKER HUGHES 社の JEFF WILLIAMS 氏が、どのように Isight で手順の反復を加速するかを説明

世界有数の石油・天然ガス開発サービス企業である Baker Hughes 社には、数々の発明品によって石油業界に革命をもたらしてきた長い歴史があります。同社はかねてより、戦略的製品開発ツールとして Abaqus と Isight を使用してきました。我々は最近、坑井掘削グループのプロジェクトエンジニアである Jeff Williams 氏と面談し、深海油井用のダウンホールシール設計に関する彼の研究について話を伺いました。彼はこのテーマの論文を 2014 年の SIMULIA Community Conference で発表しています。

世界では、大深度・高温環境の油田開発が進んでいますが、貴社の顧客のロバストな機器への要求にはどんな影響がありますか？

Williams 氏：現在の原油相場では、大深度探査の採算は取れそうにありません。しかし、我が社の顧客はこの市場が常に変動することを承知しています。このような大深度の探査プロジェクトは、一般的な油田計画よりもずっとスケジュールが長いのです。彼らはこうしたプロジェクトを 5 年から 10 年もかけて計画します。そのため彼らとしては、早い段階から金属工学や技術が適用可能になって欲しいのです。また我々ツール開発者としても、顧客の坑内に入っていく製品の機能と安全性を保証しなければいけません。すなわち、ロバスト性が最優先なのです。坑井が深くなればなるほど、コストと安全性に対するリスクは飛躍的に増大します。

ダウンホールシール設計は、なぜそんなに重要なのですか？あなたが「ゼロ・エクストルージョン」シールで開発した新機能と、その驚くべき効果について説明してください。

Williams 氏：坑井掘削では、さまざまな理由でシールが必須となります。私が携わったのはライナートップパッカー用の特別なシールでした。基本的に、一般的な坑井掘削には同心層状チューブラーが用いられます。これらは、坑井の上部から下部まで徐々に径が細くなっています。各チューブラーの「層」には 2 つの重要な要素があって、そ

れは、前の「層」との固定と、その他の「層」との分離です。私は現行の「ゼロ・エクストルージョン」シールが、より高い圧力差にも対応できるように、その断面形状を最適化しました。この最適化の過程で、重要な位置にある分割リングが、さらに性能を向上させることを発見したのです。Isight のような最適化ソフトウェアがなければ、このように高い性能まで到達できなかったと思います。

あなたは少ないコアでも短時間で Abaqus と Isight をローカルで実行し最適化できるように、3D モデルから 2D モデルに変更しました。どのように DOE ループと最適化ループを組み合わせ、この 2D 反復から信頼できる最終結果を引き出したのですか、お聞かせください。

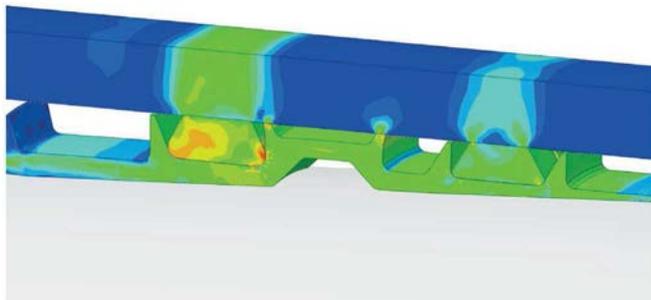
Williams 氏：最適化アルゴリズムと DOE アルゴリズムのどちらか一方を単独で実行すると、恐らく偽の「行き止まり」解に行き着くか、3D 部分解空間の谷間に陥ってしまう危険性が常につきまといまいます。偽の解から逃れるための推奨策は 2 つを組み合わせることです。

経験豊かな設計者なら、同じ結論に到達できたでしょうか？

Williams 氏：そうは思えません。私も直感的に思い付いたわけではないのです。私は SIMULIA の Isight トレーニングで、この潜在的問題をメモしていました。それ以来ずっと、このテクニックを応用しています。

「製品サプライチェーンへの影響を最小限に抑えるか少しでも改善できるなら、いつでも新製品を採用した方が良いのです」

Baker Hughes 社、プロジェクトエンジニア Jeff Williams 氏



Baker Hughes 社が Isight によって最適化した、ダウンホールチューブ用シールの新コンセプトに対する Abaqus FEA 解析結果 (画像は Williams 氏の 2014 SCC 発表論文より転載)

あなたの 2014 SCC の発表論文は "驚くべき" 成果を報告しています。シーリング設計における可能性の限界を押し上げ、新たな性能しきい値を定めたことに、Isight はどのように役立ったのですか？

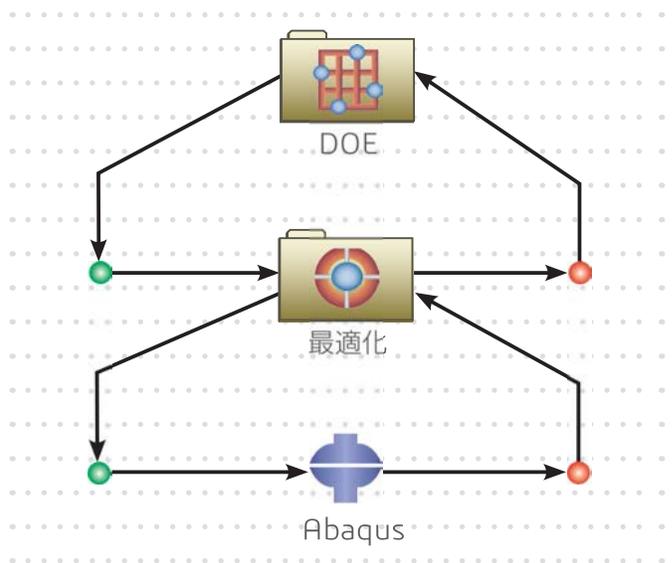
Williams 氏： これはパラダイムから抜け出せないでいることの好例です。人は一定のルールを身につけると、長年実証の評価を受けてきた設計を継承しようとしてします。しかし私が会社で果たしてきた役割は、できるだけ雑音は無視して、既存製品を自分自身で公平に評価してやることでした。それらが FEA でどのような挙動を示すか、そして、どうしたら改善できるかを調べます。Baker Hughes 社は常にシーリング設計の最先端にいました。そして今後もそれは続くでしょう。私が目指したのは、既存製品が簡単な変更でも改良できることを示すことでした。それが驚くべき部分というわけです。私は既存製品の形状をわずかに変更し、画期的と思われる成果を挙げました。

そのように "単純な" シーリングの最適化が、あなたのビジネスをどのように変革するのでしょうか？

Williams 氏： 製品サプライチェーンへの影響を最小限に抑えるか少しでも改善できるなら、いつでも新製品を採用した方が良いのです。我々が既存シーリングのパッケージや社内的手法を最適化することで、顧客の高い目標を今まで通りに達成しつつ、サプライチェーンへの影響を最小限に抑えることが可能になります。

あなたの今後の調査に Abaqus と Isight が役立つ領域は他にもありますか？

Williams: 詳しい話はできませんが、今年、さらにエキサイティングな事がライナーハンガー製品で実現します。この分野では Ultra-HPHT は非主流技術と見なされています。しかし我々は新たな主流として HPHT シーリング設計を展開していく予定であり、今からとてもワクワクしています。来年の SIMULIA Community Conference では、この開発ストーリーを是非皆さんにも報告したいと思います。



使用された Isight のシミュレーションフロー

詳細は以下をご覧ください

The full text of Jeff Williams' 2014 SCC paper is available at www.3ds.com/fileadmin/PRODUCTS/SIMULIA/PDF/scc-papers/jumping-iteration-train-using-isight-advance-downhole-14.pdf

ケーススタディ



TERA 100 スーパーコンピュータ

SIMULIA と CEA の共同研究がスーパーコンピュータ上の Abaqus シミュレーション性能を改善

TERA 100 スーパーコンピュータの並列処理に合わせて FEA アーキテクチャを最適化

フランス人のピエール・キュリーとその妻マリー・キュリーが 1898 年にラジウムの放射能特性を発見して以来、核研究はフランスにおける技術革新の原動力となっています。第二次世界大戦で連合軍が勝利すると、早くもエネルギー、医学、防衛分野での核利用を推進するため、シャルル・ド・ゴール将軍の指示によって、フランスの原子力エネルギー機関である「原子力・新エネルギー庁」(略称 CEA) が設立されました。

それ以来、CEA/DAM (CEA の軍事応用部門) はヨーロッパ最大級の科学計算複合施設へと発展してきました (1 台のスーパーコンピュータが軍事用、他の 2 台が産業界のパートナーとヨーロッパ全域の研究者用です)。同施設では 150 名以上のエンジニアが、ソフトウェア開発、科学計算、コンピュータアーキテクチャおよび演算処理の各分野に取り組んでいます。

核実験禁止協定がシミュレーションの利用を促進

NATO の核保有国 (フランス、英国、米国の 3 か国) の一員として、フランスは 1996 年に実空間での核実験を終了させました (図 1)。しかし、自国の核抑止力を今後も確実に維持していくため、CEA/DAM はベタフロップ級の高性能計算環境をユーザーに提供しようとシミュレーションプログラムの開発に全力を注いできました。

「我々の目標は、シミュレーションの利用を通じて我が国の核防衛システムの信頼性と安全性を確保することです」と、CEA のシミュレーション・情報科学部門 (DSSI) で副部門長を務める Max-André Darizcuren 氏は話しています。Darizcuren 氏は、コンピュータ支援エンジニアリングによって兵器のライフサイクル管理を行うための 2004 年プロジェクトで陣頭指揮を執りました。「このプロジェクトは、ひとたびシミュレーションモデルの妥当性が確認されたなら、実物試験の必要性は限りなく減少する、という考えに基づいています」と彼は話しています。

CEA/DAM が、これまで熱・機械マルチフィジックス・シミュレーションや安全・危機管理に付随する研究に使用してきたソフトウェアは、ダッソー・システムズ SIMULIA の Abaqus FEA です。

Abaqus がその真価を証明

当初 CEA は 5 か所ある研究サイトのうち 2 か所だけで Abaqus を使い始めました。ところが、そのシミュレーション結果の精度と、さまざまなプロジェクトでの成果に大いに満足し、その結果、このソフトウェアは組織全体で採用されることになったのです。「我々はすでに他のダッソー・システムズ製品 (CATIA V5 と ENOVIA SmarTeam) を使用していました」と Darizcuren 氏は説明しています。そのため 2005 年の DS による Abaqus Inc. の買収は、彼らが SIMULIA/Abaqus ソリューションに追加投資する良いきっかけとなりました。

「我々は、我が国の戦争抑止力を維持するために必要なすべてのプロセスをシミュレーションすることによってしています。特殊な機能向けの独自

ソフトウェアがあるのですが、Abaqus は我々がそれと一緒に使用している数少ない市販コードの 1 つです。Abaqus は製造物のロバスト性をその全ライフサイクルを通じて安全保護することに役立っています。これには、理論研究から始まって、製造、さらには解体まで含まれます」と彼は話しています。

CEA/DAM の最も初期の Abaqus シミュレーションは主に 2D 解析であり、モデルサイズを抑えるため製造物の軸対称性を仮定していました。しかし実験データは、シミュレーションされる物体が必ずしも軸対称挙動を示すとは限らないことを示していました。非対称の 3D モデルの方が、多くの場合に全体像をより正確に捕捉します (図 2)。

次なる手段：スーパーコンピューティング

CEA は、そうしたデータのすべてを捕捉し、さまざまな現象をリアルに予測する高度なシミュレーションに幅広く取り組むため、明らかさらなる計算パワーを必要としていました (モデル自由度は 1 億を超える可能性もあります)。そして 2010 年、彼らは戦争抑止力に焦点を合わせて TERA 100 スーパーコンピュータ (Bull 社製) を購入したのです。当時、同機はヨーロッパで最も高性能なマシンでした (現在でも、ヨーロッパの Top 12 に入っており、世界では 35 位にランクされています)。



図 1. フランス原子力・新エネルギー庁の TERA 100 スーパーコンピュータでは、さまざまな Abaqus シミュレーションが実行され、核実験禁止協定後のフランスの核抑止力維持に貢献しています。

ケーススタディ

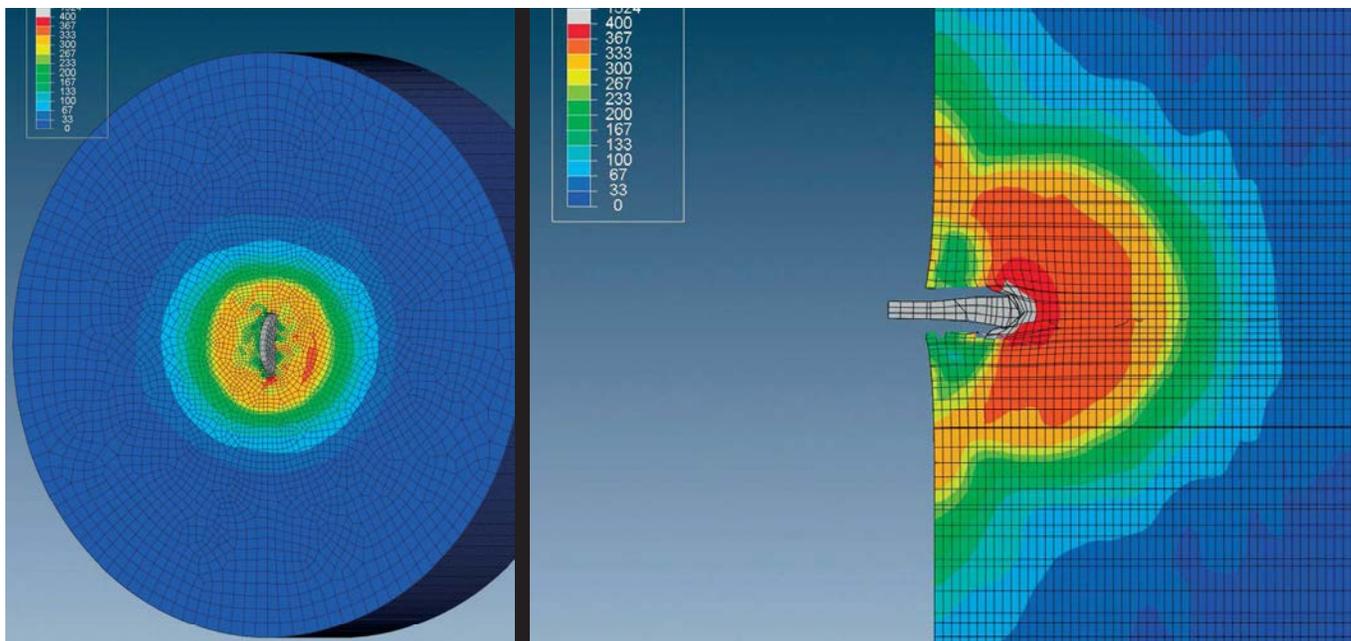


図 2. アルミニウム厚板の衝撃試験に関する Abaqus シミュレーション

CEA は、TERA 100 上で Abaqus を最大限に活用するため、並列計算アーキテクチャのカスタマイズを目的としたプロジェクトで SIMULIA と緊密に連携しました。CEA の IT インフラ技術マネージャである Francis Belot 氏は次のように話しています。「我々は Abaqus シミュレーション用のハードウェア環境において生産性を最大限に高めたいと思っています。TERA 100 は我々の独自コード用に適切にチューニングされ高いスケーラビリティを実現しています (4,000 コア以上で実行されるシミュレーションもあります)。長期的に見て、この同じマシンで実行される Abaqus も同様の性能レベルまで引き上げることが課題となっていました」

このプロジェクトによって、Abaqus ソフトウェアは新しいマシン環境にチューニングされ、チームは CEA/DAM 環境での Abaqus の利用法を習得することができ、この環境におけるモデルサイズの限界が決定され、そしてモデルタイプごとの使用コア数が (通常は 64 ~ 256 コアに) 最適化されました。その結果、モデルの精度 / 有効性、マルチスケールに特化したシミュレーション、フル 3D モデルの利用増大などにおいて、さまざまな改善が実現されました。

獲得した TERA 100 の運用ノウハウは、CEA の他の 2 台のスーパーコンピュータ (1 台はヨーロッパの研究者用、もう 1 台は協力企業用) でも共有されています。

「結果として、我々は TERA 100 上の Abaqus の性能を著しく向上させることができました。現在では、使用する計算手法にかかわらず、日常的に数百コアの並列計算が行われています」と Darizcuren 氏は話しています。こうしてシミュレーション時間は大幅に削減され、CEA のエンジニアはその設計サイクルを短縮できるようになったのです (図 3)。「CEA の計画にとって鍵となるモデルの目標を確実に達成していくため、我々は今後もダッソー・システムズとの技術協力関係を継続していきたいと思っています。そのうち、Abaqus をさらに多くのコアまで拡張することが必要になるのは明白です」

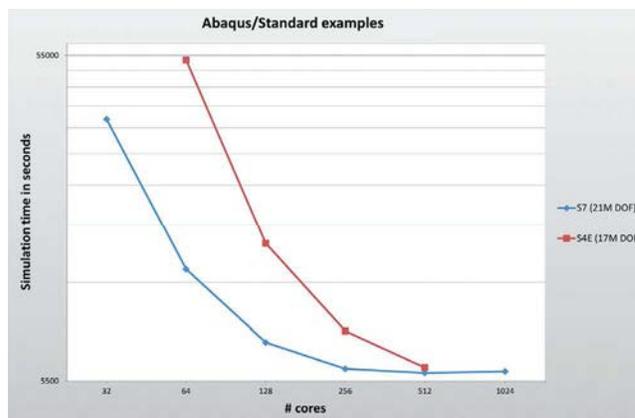


図 3. このグラフは 2 種類の Abaqus/Standard モデル (S7 および S4E) を TERA 100 スーパーコンピュータで実行したときの全所要時間と使用コア数の関係を示しています。「DOF」は自由度を意味します。陰解法ソルバーのスケーラビリティは、利用可能なメモリー、入出力処理速度、剛性マトリックスの粗密など、多くの要因と関係しています。この特定の事例では、Abaqus の実行時間には 512 コアまで性能向上が見られます。スイートスポット (最適化された使用コア数 / 実行時間) は 128 コアから 256 コアの間です。

そのため CEA は 2017 年に TERA 1000 マシンをオンラインで導入する予定にしています。これはエクサフロップ・スケールに向けたロードマップの第一歩となるものです。「シミュレーションのさらなる強化を望む声があるゆる産業で急速に高まっています。我々が SIMULIA との共同研究で成し得た成功を考えると、ダッソー・システムズが将来のスーパーコンピュータ用ソフトウェアの分野でキープレイヤーと認められるのは間違いありません」と Darizcuren 氏は話しています。

詳細は以下をご覧ください

www.cea.fr

新たなシミュレーション機会を切り開く SIMPLEWARE と Abaqus の組み合わせ

SIMULIA との協調によって、リバースエンジニアリング、3D プリンティング、材料科学、石油・天然ガス、非破壊検査などの分野での新しいワークフローを実現

Gareth James 氏

C T や MRI などの画像データから高品質な数値モデルを作成しようとする、人体や複合材のような複雑なジオメトリを扱う場合は特に困難が付きまといまいます。CAD ベースのアプローチは、多くの場合、構造を簡略化するため、シミュレーション精度が低下します。Simpleware は Abaqus ユーザーのために、3D スキャンデータをダイレクトに設計・シミュレーションへ変換するソフトウェアソリューションを提供しています。このソリューションは、ライフサイエンス、材料科学、石油・天然ガス、非破壊検査、リバースエンジニアリング、3D プリンティングなどの分野をカバーします。

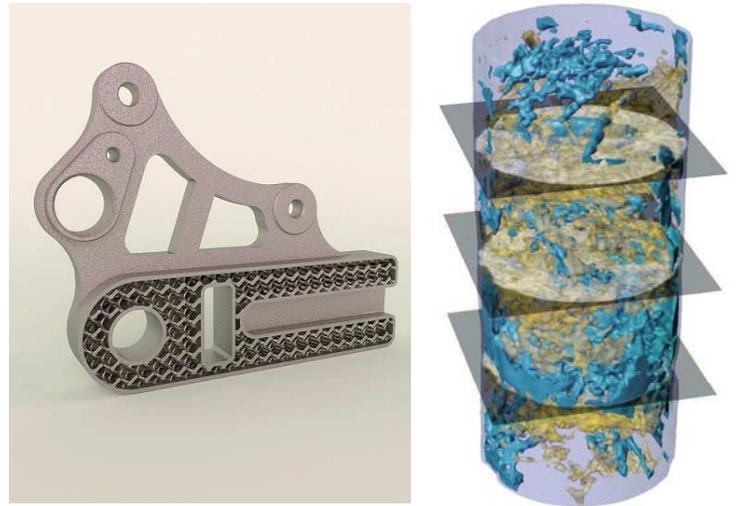
Simpleware では、画像データをインポートし、可視化およびアニメーションの強力なツールを用いて調査することが可能です。興味のある領域をセグメント化することや、データ処理によって画質を向上させることも容易です。また、さまざまな測定および統計分析ツールを用いてデータを定量化することも可能です。CAD オブジェクトと画像データを合成するオプションや、新たに実装された均質化法を用いてスキャンデータから材料の有効特性を計算するオプションもあります。処理されたデータは、STL、サーフェスマッシュ、あるいは点群として CAD パッケージや 3D プリンターへエクスポートすること、あるいは高品質なボリュームメッシュとして CAE システムへエクスポートすることが可能です。

Simpleware モデルを Abaqus のシミュレーション用にエクスポートするための専用オプションが用意されており、これによって、材料組成や設計属性に対する幅広い知見が得られます。Abaqus/CAE と同様に、Simpleware にも Python 互換の強力なスクリプト機能があり、所定のワークフローの自動化やカスタマイズが可能です。

何年も前から、Abaqus で医療機器の性能をシミュレーションする際には、解剖学的データと CAD で設計されたインプラントモデルから成る Simpleware のマルチパーツモデルが利用されてきました。しかし最近では、石油・天然ガス、リバースエンジニアリング、3D プリンティングなどの先端分野にも、Simpleware ソフトウェアと組み合わせた Abaqus の利用が拡大しています。

成長著しい石油・天然ガス業界では、典型的なワークフローでは、Simpleware ソフトウェアによって、地層から採取したコア試料の 3D モデルが Abaqus のシミュレーション用に作成されます。Simpleware ソフトウェアでは、細孔ネットワークを可視化することや、粒塊や欠損などの細部形状に関する統計値を生成すること、そして Abaqus の流体・構造連成シミュレーション用に複数パーツのメッシュを準備することが可能です。

同様に、リバースエンジニアリングや非破壊検査などの分野にも応用が広がっています。たとえば、自動車や航空宇宙産業の R&D 部門では、既存パーツをスキャンしてモデルを作成し Abaqus へエクスポートして、摩耗やき裂、腐食などの影響をシミュレーションしています。こうした



(左) 積層造形において機械パーツに追加された軽量化用の格子構造。
(右) Simpleware ScanIP によるコア試料の可視化

アプローチは、パーツ品質の向上に役立ちます。

3D プリンティングの分野では、リバースエンジニアリングに関係したエキサイティングな開発手法が出現しています。3D プリンティング用のオブジェクトに有限要素解析を適用すれば、造形する前に詳細な設計評価が可能になります。すなわち、オブジェクトのスキャンデータを Simpleware ソフトウェアで 3D モデルに変換し処理してから、その物理特性を調査するために Abaqus にエクスポートします。そうすれば妥当性の確認された設計だけを 3D プリンターに送ることができます。さらに Simpleware ソフトウェアには、軽量化のためにモデルに格子構造を追加する機能もあります。

スキャンング手段が高度化し構造をより精密に表現できるようになると、画像処理とシミュレーションソフトウェアの整合性が、ロバストで柔軟なワークフローを確保する上で重要となります。Simpleware と SIMULIA は、こうした複雑な課題に対処できる理想的なパートナーであり、両社の協調によって、画像データを準備し調査する際の、モデリング時間の大幅な短縮とモデル品質の向上が実現されています。

詳細は以下をご覧ください

info@simpleware.com
www.simpleware.com

ケーススタディ



Abaqus が鉱山用ダンプトラックの 寿命延長に貢献

DT HiLoad 社が最大積載量と疲労のシミュレーションを通じて、 軽量で耐久性のあるトラックトレイを開発しています

鉱山は労働者にとって過酷な環境ですが、それは彼らのダンプトラックにとっても同じです。しかし、この極めて頑丈に設計された巨大マシンは、そうした過酷な環境や試練にも勇敢に立ち向かいます。

特注トラックトレイの世界的なメーカーである DT HiLoad Australia 社（本社：西オーストラリア・パース）で上級エンジニアを務める Ray Sun 氏は次のように話しています。「鉱山用のダンプトラックは、時々、恐ろしいほど凸凹の運搬路を走行します。その積載量は飛び抜けて多く、時には過積載で運搬することもあるため、常に疲労と摩耗の危険にさらされます」。したがって、トラックの車体を設計する上では、当然ながら強度と耐久性が最重要課題となります。

そしてもう 1 つ、このトラックには必須の設計条件があります。すなわち、車体はできる限り軽量でなければいけません。車体の軽量化は、最大積載量の増加につながり、燃料も節約できるので、採鉱の効率と生産性が改善されるだけでなく、鉱山会社はトラックの保有台数を削減できる可能性もあります。

ピックアップトラックに荷台がなければ意味がないように、トレイのない鉱山用トラックなど考えられません。DT HiLoad 社のトレイはまるで芸術作品のようです。そのスマートなフロントウォールは運転台の上部まで突き出て、運転台全体を保護するガードキャノピーとなっており、その優美な流線形スタイルは大型船の船首のようにも見えます。

しかしそれは、決してトラックトレイを格好良く見せるためのものではありません。それは、あらゆるタイプの負荷や環境に耐えうること、そして、それに合わせてカスタマイズする彼らの能力を象徴しています。DT HiLoad 社の高性能ダンプトラック用トレイである「ヘラクレス」は、炭鉱から、金鉱、ダイヤモンド鉱に至るまで、世界中のさまざまな鉱山（通常は露天掘り鉱山）で使用される、ほぼすべてのメーカーとモデルの鉱山用トラックに適合します。

密度や安定性などの積み荷特性は、通常、現場ごとに大きく異なります。「ほとんどの場合、顧客ごとに、さらには採鉱場ごとにトラックの運送条件が異なります。たとえば、採掘物の組成、現場の制約、運搬路面状態などは多種多様です。そのため、各トレイの開発プロジェクトも異なるのです」と Sun 氏は話しています。さらに鉱山では、最大積載量を超えた運搬が日常茶飯事に行われており、トレイにさらなる負荷と疲労が加わります。

トレイの設計は決して簡単なものではありません。同社が供給する最大の製品は、最大積載量 380 トン（418 米トン）、全長約 50 フィートのキャタピラー 797F 用のトレイです。「多大な積載量がトラック車体にもたらすひずみは相当な値になります。それは、旋回、始動、そしてブレーキ操作ごとに変化します」と Sun 氏は話しています。

強度や寿命を犠牲にすることなく、トラックトレイの軽量化を達成させるには、負荷状態におけるこれらのコンポーネントのコン

ピュータシミュレーションは必須です。同社は 2003 年の創業以来、有限要素解析 (FEA) を活用してきました。そして彼らが選んだツールは、ダッソー・システムズ SIMULIA の Abaqus でした。



同社のダンプトラック用トレイは運転台の上部まで延びて、車両全体を覆っています。

解析への期待

「Abaqus は、我々が当初契約していた FEA 受託会社から紹介されました。この会社が、我が社のアプリケーションに最適な解析ソフトウェアとして Abaqus を提案したのです。それは我々の解析対象物を、ほぼ完全に制御する機能を備えていました」と Sun 氏は説明しています。Abaqus は SolidWorks と互換性があり、DT HiLoad 社の製品開発プロセスにシームレスに適合したこともプラスになりました。

DT HiLoad 社は、メルボルンに本部を置きパースにもオフィスを構える Simuserv 社から Abaqus を購入しました。「Simuserv 社は 2002 年以來、さまざまな業界に向けて高品質なシミュレーションのコンサルティングサービスを提供しています」と、Simuserv 社の役員である Gerd Diegelmann 氏は話しています。「Abaqus Unified FEA 製品群は、ルーチン化された問題と高度なエンジニアリング問題の両方をカバーする強力なソリューションを備えているので、我々とともに Abaqus を推奨し支持しています。Simuserv 社は、我々が FEA を最大限活用できるように、我々と密接に連携してきました。彼らのおかげで、解析精度にも十分確信を持てるようになりました。彼らがパースにオフィスを構えていることも、一緒に仕事をする上でとても好都合でした」と Sun 氏は話しています。

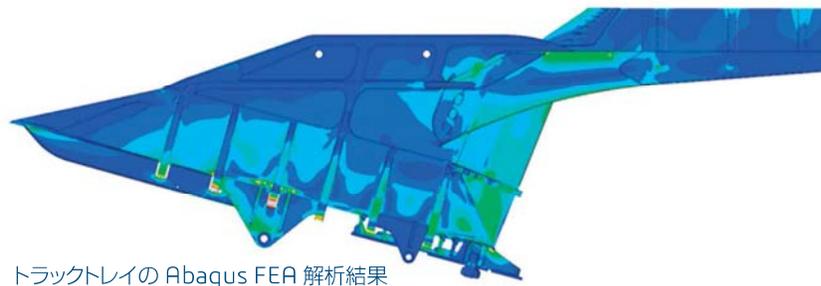
DT HiLoad 社は現在、トラックトレイの設計に Abaqus を使用しており、将来的には保守点検など他の業務にも解析範囲を広げていくことを構想しています。「時間があれば、摩耗管理プログラムにも Abaqus を適用してみたいと思っています」と Sun 氏は話しています。この管

理プログラムは、車体の運用コストを大幅に削減し、これまでの時間とコストのかかるライナープレートの設置を回避しようとするものです。ライナープレートはトラックの重量を不必要に増大させ、結果として最大積載量を減少させます。同社のエンジニアは、トラックトレイの解析で学んだことを、いつかきっと摩耗管理プログラムで生かしたいと考えています。

有限要素と柔軟性の関係

トラックトレイ設計で極めて重要な作業は、トレイ全体で剛性が連続的に変化するように保証すること、高応力領域をできる限りなくすこと、そして疲労の蓄積を最小限に抑えることです。「トレイの性能をシミュレーションせずに、高品質なトラックトレイを作ることなどできません。FEA によって、初めて我々は新たな用途ごとに最適な設計形状を見つけることができるのです」と Sun 氏は話しています。

DT 社のトラックトレイにおける独特の設計コンセプトは、従来型のダンプトラック荷台と大きく異なります。他社メーカーのトレイは、積載荷重に耐えられるよう、多くの場合、がっしりと分厚く作られます。それに対して DT HiLoad 社の「ヘラクレス」の曲面的なトレイは、全体が柔軟性のある耐摩耗鋼板で作られており、硬直な他社製品よりも疲労強度の管理面で優れています。「我が社のトレイは、その柔軟性を利用して、過大なエネルギー（動のおよび静的の両方）をトレイ全体に分散させるようにしています」と Sun 氏は話しています。



トラックトレイの Abaqus FEA 解析結果

エンジニアはトラックトレイの全体モデルを作成しますが、一部の領域に特に関心を持っています。「横ビームと後部支持レールが、シミュレーションで最も興味のある部分です。曲面フロアのフロントウォールとキャノピーを有するトレイ本体は柔構造として機能することで、局所的に過大な荷重を緩和するようになっているのですが、やはり最大積載量を支えるには、トレイにある程度の剛性が必要です」と Sun 氏は話しています。

この主要フレーム（ビームとレール）が本体の剛性を補っており、結果として、それらはより大きな荷重と疲労にさらされます。「それらはトレイの中で最も働き者のコンポーネントです」と Sun 氏は話しています。Abaqus による解析の役割の 1 つは、軽量化した後も、それらが十分な強度を維持しているか確認するためのダブルチェックです。そしてもう 1 つ興味のある領域は、トレイのフロントウォールがトラックの荷台フロアと交わるジョイント部です。

解析は、主にトレイに下向きにかかる最大荷重を考慮した非線形静的解析です。適用される荷重値は、保守点検報告書と特定の顧客からのフィードバックや要望などの現場データ、そして DT HiLoad 社が世界中で 1,000 台を超えるトラック車体を稼働させてきた経験に基づいて決定されます。最近シミュレーションに用いられた最大鉛直荷重は、1~2G のもつで 360 トン（約 397 米トン）にも上ります。「我々は、この 1G 結果を同じトレイで実施したひずみゲージ試験と比較しました。その結果、とても満足のいく相関性が得られ、シミュレーションプロセスが正確であることが証明されました」と Sun 氏は話しています。

DT HiLoad 社のエンジニアは、解析を通じて、トラックトレイの柔軟性を検証し、剛性を保つ箇所を確認し、補強を必要とする場所の疲労荷重を計算することが可能になっています。

素晴らしい成果

彼らのトラックトレイ「ヘラクレス」は、現在、フェーズ X まで進化しています。DT HiLoad 社は Abaqus を使用することで、トラックトレイの重量を何と 50 パーセントも削減することができました。そしてこの新型モデルは、燃料コストを削減し、トレイの疲労と負荷を軽減し、そして最も重要なこととして、トラックが運搬できる最大積載量を積み増しています。

「最大積載量の増加は、我が社の顧客が最も評価するポイントです。同じ量の採掘物を少ない台数のトラックで運搬できるなら、経費とエネルギーコストの両面で、かなりの削減が見込めます。このような状況では、トラックの ROI も上昇を速め、大きく拡大するに違いありません」と Sun 氏は話しています。

詳細は以下をご覧ください

www.dthiload.com

www.3ds.com/simulia



SIMULIA の協調シミュレーションエンジンが 風力タービンのマルチフィジックス現象を解明

Abaqus 構造解析と流体および制御ソフトウェアの組み合わせが、
さまざまな業界の複雑な信号-物理相互作用のモデリングを可能にしています

高くそびえ立つ風力タービンは、強風を受けても樹木のように大きく変形してはいけません。そうでないと、コンポーネント同士が衝突してしまいます。そのブレード（現在一部の商用モデルで100メートル級も登場）は、変化する風速に合わせてピッチ角を変えることで、強風をやり過ぎながら回転エネルギーを電力に変換します。

風があまりに強すぎると、高価なコンポーネントが損傷しないように、タービンはできるだけ早く停止しなければいけません。ブレード、タワー、発電機、変速機、そして風が相互に作用するときのマルチフィジックス現象を理解することは、風力エンジニアにとって極めて複雑な仕事です。しかしそれは、この急速に普及が進むクリーン代替エネルギー源の全体コストを低減する上で、風力エネルギー産業がタービン性能を最適化するために絶対必要となる仕事でもあるのです。

「風力タービン周りの流れ状態のモデリングは特にやりがいがあります」と Stefan Sicklinger 氏は話しています。彼がドイツ・ミュンヘン工科大学で執筆した博士論文 (<https://mediatum.ub.tum.de/download/1223319/1223319.pdf>) では、このテーマが詳細に研究されています。「こうしたマシンの性能や耐久性、安全性を設計し予測するには、拡張性のあるマルチフィジックス・シミュレーションツールが欠かせません。そのようなシミュレーションは、複数の工学分野が関係するので非常に複雑ですが、試験に膨大な費用のかかる（あるいは、完全に不可能な）風力タービンのような製品であれば十分に報われます。次世代の大型風力タービンは、実スケールで試験することなど不可能ですから、この種のモデリングにぴったりな候補です」

Sicklinger 氏の博士論文は、協調シミュレーションの新たな手法とアルゴリズムの開発に焦点を合わせていました。彼はダッソー・システムズと協力し、新たな数値計算法を調査することによって、風力ター

ビンの極めてリアルなモデルを開発するという難題にチャレンジしました。彼の博士論文はいくつかの実用例題も解いています。それらは、流体-構造-信号の相互作用と閉ループ制御との完全連成問題や、風力タービンの緊急ブレーキ操作と柔軟性のあるブレードとの完全連成問題などです。彼はその研究内容の多くを 2014 SIMULIA Community Conference で発表しました。そして今回このケーススタディでは、彼が最近仕上げた博士論文の最新情報を反映しています。

NREL の風力タービンを用いて行った緊急ブレーキ操作のシミュレーションでは、発電機/変速機、柔軟性のある複合材ブレード、制御ユニット、そして三次元的な流れ場の相互作用が扱われています。これらの最近開発された協調シミュレーション手法は、風力以外にも多くの潜在的な適用可能分野があると Sicklinger 氏は指摘しています。

「このような複数物理場の協調シミュレーションは、さまざまな業界にもメリットをもたらします。たとえば、自動車のタイヤとアンチロック・ブレーキシステムの関係モデリングができます。また、航空機からタービンブレードまで、さまざまな流れ状態のもとで生じている翼のアクティブな形状変化を調査することもできます。あるいは、ダクト制御ユニットが設定温度に達するよう空気流入路を形成する方法について調査することも可能です。協調シミュレーションによって、制御ユニット（信号）と工業製品（物理場および信号）の相互作用を分析し最適化することが可能になります」と彼は話しています。

常に適切なデータで開始する

風力タービンの研究を始めるに当たって、Sicklinger 氏は実環境データに基づく CAD モデルから開始したいと思いました。「私のシミュレーションの妥当性を証明するには、明らかに、根拠となる実験データが必要でした」と彼は話しています。

幸運にも、カリフォルニア州マウンテンビューの NASA エイムズに

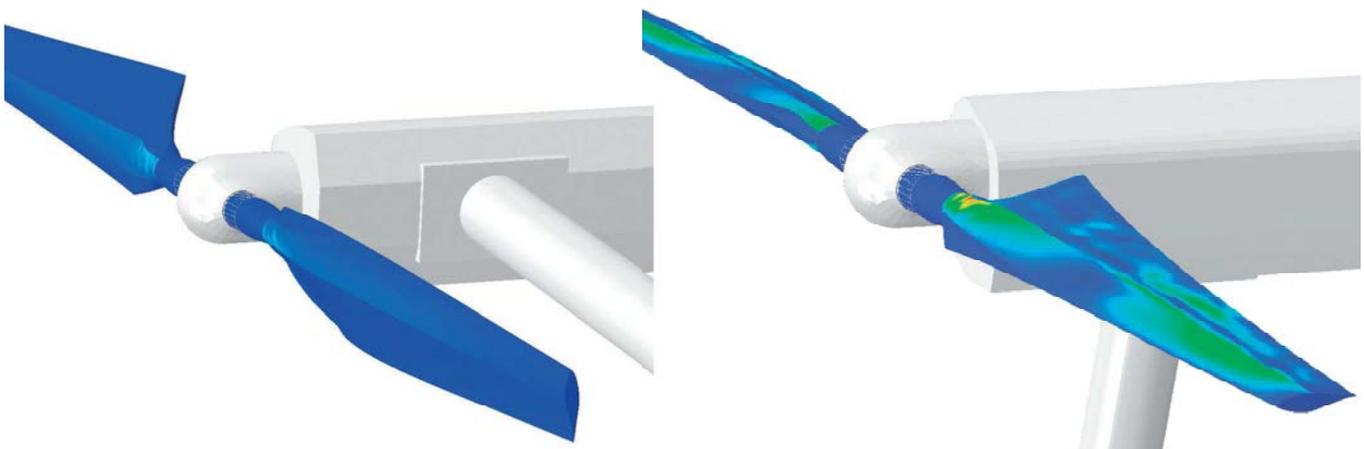


図 1. 緊急ブレーキ操作中の異なる時間点における、風力タービンブレードの複合材最外層における応力（画像：Stefan Sicklinger 氏提供）

ある再生可能エネルギー研究所 (NREL) から、かなりの実測データを入手することができました。同施設には世界最大の風洞実験設備があります。風洞は、実スケールの航空機やヘリコプターの低中速空力特性を測定するために良く用いられます。しかしそれは、風力タービンの実スケールの 3D 空力挙動を調査する上でも理想的な環境です。

米国エネルギー省のエネルギー効率および再生可能エネルギー局に所属する NREL は、風力タービ力学の専門家たちによる国際科学委員会の勧告を受けて、試験用風車を開発しました。そのデータは Sicklinger 氏のような研究者に公開され、新型風力エネルギー機器の設計や解析に利用される高度なエンジニアリングモデルの改善や検証に役立っています。

NASA エイムズにおける「非定常空気力学実験プロジェクト・フェーズ VI」では、直径 10 メートル(33 フィート)の軽量カーボンファイバー製ブレードを持つ研究用風力タービンが 24 X 37 メートルの風洞内に設置され、6 台の巨大ファンで最大で時速 90 キロまでの風速を発生させて、さまざまな角度で運転が行われました。そして、ブレード表面などタービン構造の各所に組み込まれたセンサーによって、異なる風速ごとにタービンに生じる圧力係数が記録されました。

「この NREL データは私の研究の検証に大いに役立ちました。なぜなら、現場で収集される測定データとは違って、風洞では一様な流入速度分布が得られるからです」と Sicklinger 氏は話しています。

SIMULIA の協調シミュレーションエンジンがすべてを組み合わせる

4 種類のモデル (CFD、構造、マルチボディダイナミクス、制御) を結合して、実際に稼働する風力タービンの全体像を解明しようとする高難度の連成場問題に取り組むため、Sicklinger 氏は SIMULIA の協調シミュレーションエンジン (CSE) と EMPIRE という研究ツールを使用しました。これによって、構造の各コンポーネントが流体 (風) に応答する様子や、互いの存在に影響されたり、ブレードピッチ角の調整によって (制御ユニットからの) フィードバックに反応したりする様子が、極めて詳細に調査できるようになりました。

彼の取り組みは元来研究目的であるため、Sicklinger 氏はオープンソースの有限体積法ソルバーである OpenFOAM を使用して、ブレードとローターを取り巻く空気の流れを解析しました。柔軟性のある複合材ブレード (Abaqus/Standard でモデル化) と、発電機/変速機 (内製コードでモデル化) が SIMULIA の CSE を介して CFD ソルバーと結合されました。この協調シミュレーションをさらに流体-構造-信号の相互作用へと拡張するため、ピッチ制御ユニットのモデリング用に MATLAB が追加されました。これによって、風の強さに応じてブレードの角度が変化します (図 1)。

Sicklinger 氏が知る限り、このように 4 つの物理現象を高いモデル忠実度で組み合わせる 1 つの風力タービン用のシミュレーションにしたのは、彼の研究が "世界初" です。「現在、我々の流体-構造シミュレーションは、タービンの始動手順を物理的に実に正確に再現しています」と彼は話しています。その解析結果は、始動から、運転、そして発電機の能力を超えた強風時の緊急停止手順まで、タービンの挙動をリアルに表現しています。

「タービンがスピードを上げても、翼は回転しているため、ピッチ角は非常にゆっくり変化することが分かります。そして、ひとたびシミュレーションをフルスピードで実行すれば、緊急ブレーキ操作のような異常時に、柔軟性のあるブレードに局所フラッターが発生する現象も調査できます。ただし、そうしたシミュレーションには、間違いなくこのような高忠実度のモデルが必要です」と彼は話しています。

緊急ブレーキ操作のモデリング

それでは、風力タービンが緊急停止せざるを得ないとき、具体的に何が起きているのでしょうか？

「巨大なタービンの場合、車を停止させるようにブレーキをかけることはできません。強風時に急停止させると、変速機全体を完全に溶解させるほどのエネルギーが発生します。また、強風の中で回転速度が過大になると、タービンが加熱して火災が発生する場合があります」と Sicklinger 氏は話しています。

適切に設計された風力タービンでは、風が既定の速度を超えると、センサーからのフィードバックに従って制御ユニットがブレードのピッチ角を 90 度に変化させ、完全に風を逃すことによって自動的に回転速度が低下します。そうすると、ブレードはもう風からエネルギーを引き出すことはないの、ゆっくりと停止できます。Sicklinger 氏が完成させたモデルは、このサイクル全体を高い忠実度で再現しています (<http://youtu.be/vDDsAljF0ug>)。

Sicklinger 氏はこの大規模シミュレーションを 184 個の Intel Sandy-Bridge を搭載したスーパーコンピュータで実行しました。時間ステップ当たり約 6,200 万個もの未知数を計算する必要があったためです (時間ステップ数は合計 10,000 に上ります)。「私のモデルはかなり大規模で、構造だけでも約 100 万自由度あるため、解析を並列に実行することが重要でした」と彼は話しています。そのため解析の実行には、SIMULIA R&D 部門と Stefan Sicklinger 氏の共同研究プロジェクトの中で開発された、新しい協調シミュレーションアルゴリズムが用いられました (<http://dx.doi.org/10.1002/nme.4637>)。

SIMULIA が提供する開放性とロバスト性

「私は、完全連成シミュレーションに直接影響を与えるような問題に集中して取り組んできました。我々は CSE は使い易く、多種多様なハードウェア・ソフトウェア環境にも適合すると聞いていたのですが、その通り、実に自由度が高いことが分かりました。そのため、さまざまなシミュレーションツールとのインターフェースも容易に開発できました」と彼は話しています。

「また Abaqus/Standard は非常にロバストなソルバーであり、幾何学的非線形の機能がとても優れていました。風力タービンの大回転の取り扱いも、精度面から見て、まったく問題ありませんでした」

詳細は以下をご覧ください

www.tum.de

TOSCA STRUCTURE の構造最適化を Isight のワークフローに組み込む方法

SIMULIA ポートフォリオの構造最適化ソリューションである Tosca Structure は、トポロジー、板厚寸法、形状、およびビードの各最適化機能を提供しています。シミュレーションベースの最適化プロセスは Tosca Structure 自身で完全にコントロールされます。最適化プロセスでは、選択した FEA ソルバーが自動実行され、必要な FEA 結果を採取しながら、考えられる最良の設計を見つけ出します。

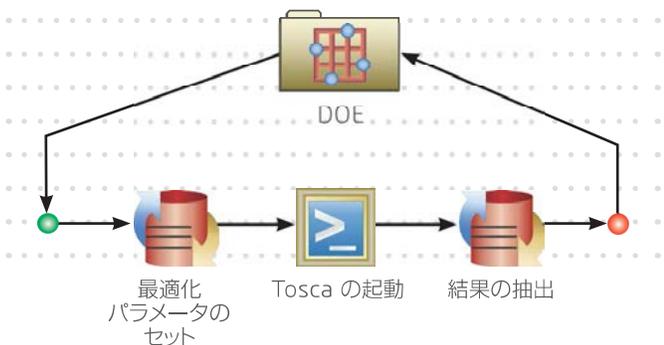
一方、SIMULIA のプロセス統合および設計最適化 (PIDO) ツールである Isight は、複雑なエンジニアリングワークフローを自動化します。ワークフローにノンパラメトリック構造最適化機能を追加して拡張したい場合は、Tosca Structure の最適化を Isight 内で実行します。

考えられるアプリケーションには、たとえば次のようなケースがあります。

- FEA 入力ファイルのパラメータ (材料物性値、境界条件、荷重シナリオ値など) を変更しながら、多数の構造最適化を実行する
- 最適化パラメータや目標値 (使用する材料の総量、変位の制約値、離型コントロールパラメータなど) を変更しながら、多数の構造最適化を実行する
- より高度なケース: Isight を使用して、トポロジー最適化の設計空間における形状を (たとえば Abaqus/CAE によって) 変更した後、最適化を実行する

Isight ワークフロー内で TOSCA STRUCTURE を実行するための Isight の設定法

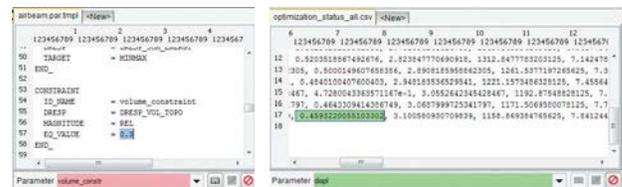
ここでは一例として、Tosca Structure に焦点を合わせた簡単な Isight ワークフローを作成します。最初に、最適化タスクのパラメータが変更され、次に Tosca Structure が起動され、その後、特定の値が抽出されて Tosca で最適化された設計の性能が判定されます。



操作方法:

1. Isight Design Gateway においてデフォルトのモデルで開始します。ワークフロー内へ、初めに OS コンポーネントを 1 個、次に Data Exchanger コンポーネントを 2 個ドラッグ&ドロップします。これらは Simcode コンポーネント 1 個でも代用できます。

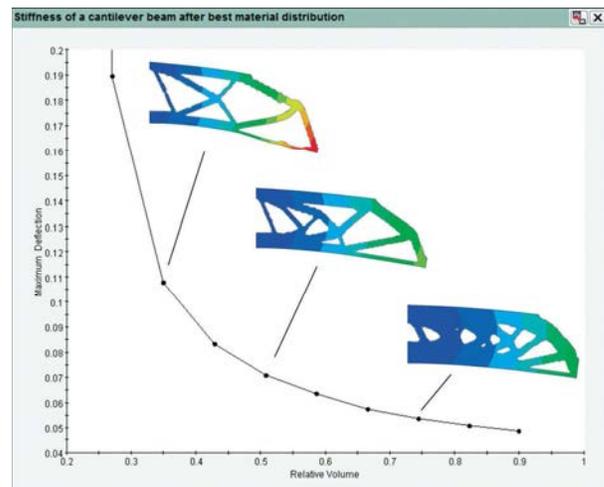
2. Tosca の最適化パラメータファイル (.par) を構文解析するように最初の Data Exchanger コンポーネントを設定します。そして、変更すべき入力パラメータとその置換ルールを定義します。
3. 出力ファイル *optimization_status_all.csv* を構文解析するように 2 番目の Data Exchanger コンポーネントを設定します。このファイルは Tosca パラメータファイル名と同じ名前で作成された Tosca ワークフォルダ内にあります。そして、スタディに必要な出力パラメータとその抽出ルールを定義します。これらの値を得るためには、対応する設計応答要求を Tosca パラメータファイルに定義しておく必要があるため注意してください。それによって、それらの値が csv ファイルに書き出されます。



4. OS コンポーネントの Basic タブにおいて、下記のように Tosca Structure の起動コマンドをセットします。
`<tosca_install_dir>\bin\tosca.cmd -j <par_file>`
 また Required Files タブ内に、Tosca パラメータファイルと初期の FE モデルが格納されている入力ファイル、ならびに Tosca の最適化に必要なその他すべてのファイルがリストされていることを確認します。
5. Isight ワークフローに適切なプロセスドライバー (DOE や Optimization など) を指定します。

アプリケーション例

上記のワークフローを用いれば、たとえば、使用される材料が設計案の剛性にどのような影響を与えるかを調査できます。Isight によって利用可能な材料の総量が管理され、一方で Tosca Structure のトポロジー最適化によって、できる限り剛性が高くなるよう材料が効果的に配置されます。



ダッソー・システムズの 新プロビデンス・キャンパスがオープン!



新社屋は、我々の職場環境を象徴するように、コラボレーションの理念に添って設計され、「ビジター・トレーニングセンター」などの施設と最先端の会議室やコラボレーションルームが整えられています。これらの特徴に加えて、我々が誇りにしているのは、このビルがエネルギー効率に関してダッソー・システムズの高い基準を満たしており、Gold LEED® 認証を申請中であることです。

この新本社ビルへ是非お立ち寄りください。皆様とロードアイランドでお会いできるのを楽しみにしています！

詳細については www.3ds.com/simulia をご覧ください。