

SIMULIA

COMMUNITY NEWS

#08 2014年10月号

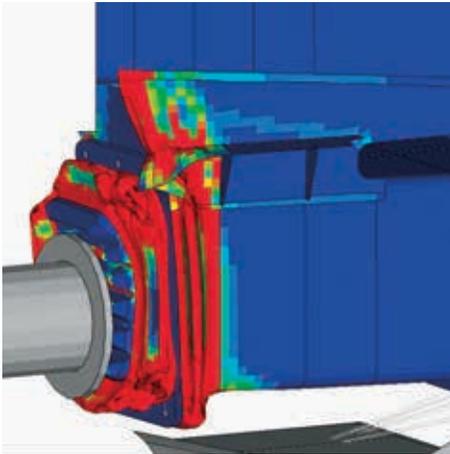
ポートフォリオの パワー

カバーストーリー

シミュレーションが
支援するロンドン地下鉄の
トンネル工事



10 | DR. SAUER 社



14 | STADLER 社



18 | WÖLFEL 社

目次

2014年10月号

- 3 ごあいさつ
SIMULIA 最高経営責任者 Scott Berkey
- 4 ポートフォリオ アップデート
SIMULIA ポートフォリオの最新リリースが強力かつ先進のシミュレーション機能を実現
- 8 ストラテジオーバービュー
日進月歩のシミュレーションの世界でエンジニアが活躍し続けるための方法
- 10 カバーストーリー
Dr. Sauer and Partners 社がロンドン地下鉄の駅改修工事に貢献
- 13 ニュース
SIMPACT 社がダッソー・システムズのグループの一員に
- 14 ケーススタディ
Stadler Rail 社、FEA で列車の安全性をシミュレーション
- 17 アライアンス
Tosca-Ansa 環境を用いたトポロジーおよび形状最適化
- 18 ケーススタディ
自動車シートの快適性に関する解剖学的微調整
- 20 学術研究
マルチフィジックスシミュレーションによる石油・ガスの地下革命
- 22 Tips & Tricks
ABAQUS/CAE の最適化モジュール

寄稿者 : Dr. Alois Starlinger (Stadler Rail)、Dr. Alexander Siefert (Wölfel Group)、Jeremy Brown and Randi Jean Walters (Stanford University)、Parker Group

表紙 : Ali Nasekhian, Dr. techn., M.Sc. Senior Tunnel Engineer, Dr. Sauer and Partners

表紙写真 : Roger Brown Photography



拡大を続ける SIMULIA のコミュニティ そして可能性

今年、ロードアイランド州プロビデンスで開催された SIMULIA Community Conference で、私は大勢の皆様とお会いする機会を得ました。どの SCC においても、私は我々の大切なユーザーコミュニティの素晴らしいプレゼンテーションに接して、身の引き締まる思いがします。今回の 70 を超えるユーザー発表論文や基調講演 (adidas 社、Pratt & Whitney 社、DuPont/Bodie Technology 社、および特別ゲストのハーバード大学 /MIT チーム) を拝見しても、研究開発の推進によって我々の生活を改善し持続可能な未来を創造していくことに、テクノロジーが重要な役割を担っていることは明白です。2014 SCC の論文集につきましては、SIMULIA ラーニング・コミュニティからオンラインで入手できます。

我々が SIMULIA の技術ポートフォリオを絶えず拡大できるのも、まさに皆様からの技術改善要求や積極的なフィードバックのおかげです。我々は皆様と密接に協力しながらテクノロジー投資を行っていますが、それによって、ビジネス目標を達成しようと懸命に努力されている皆様に、さらなる価値を提供できれば幸いに思います。

ユーザーコミュニティに対し常に拡大・強化されたシミュレーション機能を提供するという、ダッソー・システムズの継続的コミットメントを実証するため、このたび SIMULIA は、初めて Abaqus、fe-safe、Isight そして Tosca の新リリースを同時発表いたしました。これらの新機能につきましては、オンラインでも、今秋各地で開催されている地域別ユーザー会議でも詳細な情報を入手できます。また我々は、拡張パッケージングを提供することで、これらすべての製品にアクセスできるようにしました。これによって皆様は、必要なテクノロジーを、必要なときに、追加購入手続きなしでご利用になれます。

さらに我々は、最近、SIMPACK 社の買収によって、ポートフォリオの範囲をマルチボディシミュレーションにまで拡大させました。自動車、鉄道、エンジン、風力タービン、動力伝達装置、航空宇宙産業などの世界トップレベルのメーカー各社が SIMPACK を使用して、複雑なモデル、摩擦や柔構造などの非線形効果、効率的な数値アルゴリズム、リアルタイム機能などに取り組んでいます。いずれ近いうちに、この技術が SIMULIA の現行のポートフォリオと組み合わせられ、ダッソー・システムズの Dymola システムシミュレーション技術と統合されると、コンポーネントだけでなく、機械システム全体のシミュレーションと最適化も可能になります。

本誌記事ならびに SCC で発表された多数の論文は、我々のコミュニティがそれぞれの産業に付加価値を与え、社会に多大な利益をもたらしていることを明確に示すものです。ご参加いただいた皆様、そして体験談をご披露いただいた皆様全員に心よりお礼申し上げます。

是非、お近くの地域別ユーザー会議にも参加され、地域レベルでも対話を続けていただければと思います。皆様とお会いして、皆様の技術要件やビジネス要件について詳しくお伺いできることを楽しみにしています。

SCOTT BERKEY
SIMULIA 最高経営責任者

ポートフォリオ アップデート

SIMULIA ポートフォリオの最新リリースが強力かつ先進のシミュレーション機能を実現

Abaqus、Tosca、fe-safe、および Isight の拡張機能がもたらす最適で耐久性のある設計

今夏リリースされた Abaqus、Tosca、fe-safe、および Isight の最新バージョンによって、SIMULIA ポートフォリオのパワーは全開となりました。これらの製品は業界トップの機能を実現しているだけでなく、これまで不可能だったレベルまで互いに連携するようになりました。これらすべてが SIMULIA ユーザーに対して製品性能のシミュレーションはもちろんのこと、製品設計の改善と仮想試験にも役立つ拡張機能を提供しています。その結果、最適で耐久性のある製品が生まれるのです。

SIMULIA ポートフォリオには、有限要素解析 (Abaqus)、トポロジーおよび形状最適化 (Tosca Structure)、流体-流路のトポロジー最適化 (Tosca Fluid)、耐久性および疲労評価 (fe-safe®)、そして実験計画法、パラメータ最適化、ならびにシミュレーションシーケンス全体の再利用を可能とするプロセスの自動化 (Isight) の各技術が含まれています。

このように強力なポートフォリオによって以下のメリットがもたらされます。

- ・ 時間とコストのかかる実物試験の削減
- ・ 製品が実環境試験に合格することへの自信、期待どおりに機能することの確実性向上
- ・ 設計空間全体の知識が深まることで、最終成果が最適でロバストなものであることの確信
- ・ 製品の耐久性向上と寿命の延長
- ・ 設計から生産への効率が向上することで、最小限の材料から最低コストで最高の製品を設計できたことの確信

Abaqus、Tosca、fe-safe および Isight はそれぞれ個別のプログラムですが (もちろん、そのように利用可能ですが)、我々は今年、拡張パッケージングを提供することにより、これらすべてのライセンス管理を統合しました。今では、Abaqus/CAE 拡張ライセンスのプールを通じて、SIMULIA のモデル構築、可視化などのプリ・ポストプロセッサの全機能に対し対話型アクセスが可能となりました。さらに重要なこと

には、1 つの製品を購入いただくだけで、すべてのプログラム (Abaqus、Tosca Structure、Tosca Fluid、Isight および fe-safe) の全機能が利用可能になります。皆様のシミュレーション投資の価値は、これらポートフォリオに含まれるコア技術への即時アクセスによって拡大することになります。

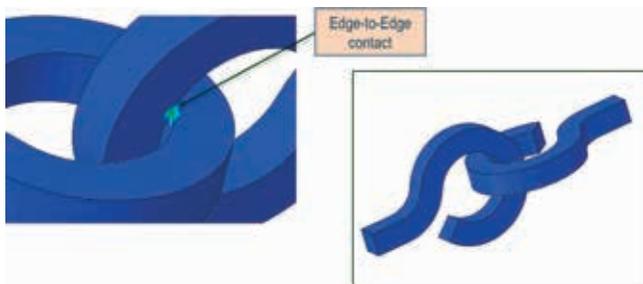
SIMULIA は単なる応力解析にとどまらず、今日市場にある中で最も幅広く奥深い、クラス最高のシミュレーション技術一式を専門ユーザーに提供できるようになりました。最新の機能強化点の全詳細については、www.3ds.com/products-services/SIMULIA/portfolio をご覧ください。本記事では、SIMULIA ポートフォリオのパワーが皆様にとどのようなメリットをもたらすかについて概説します。

すべての基盤：ABAQUS 統合 FEA

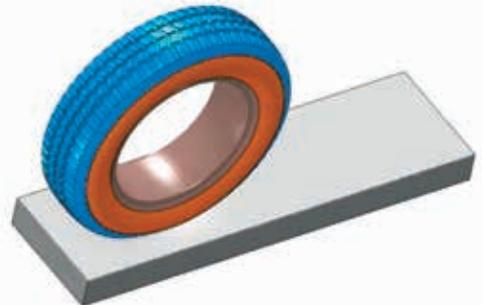
Abaqus ユーザーである皆様は、モデリング、可視化、そしてクラス最高の陰解法および陽解法動解析で世界最高の技術水準をもつ有限要素解析 (FEA) ソフトウェアを使用しています。SIMULIA の一連の拡張性ある統合解析製品によって、すべてのお客様は専門分野や興味のある領域が異なっても、情報の質を損なうことなく、全員が協調してシームレスにシミュレーションデータや承認された手法を共有することが可能になります。それに対して、複数ベンダーの特定シミュレーションツールを用いてさまざまな設計属性をシミュレーションすると、効率低下やコスト増大を招く恐れがあります。

Abaqus 統合 FEA ソフトウェア (Abaqus/CAE、Abaqus/Standard および Abaqus/Explicit) であれば、日常問題から最先端のエンジニアリング問題まで、広範囲の産業アプリケーションをカバーする強力かつ完全なソリューションにアクセスできます。自動車業界を例に取ると、エンジニアリングチームは、すべてに共通のモデルデータ構造と内蔵のソルバー技術を用いて、フルビークル荷重、動的振動、マルチボディシステム、衝撃/衝突、非線形静的荷重、熱連成や音響-構造連成など、さまざまな問題の検討が可能になります。

世界中の一流企業が Abaqus 統合 FEA を活用して、自社の



Abaqus 6.14 の新しいエッジ - エッジ接触機能 (ビーム - 外周エッジ、ビーム - フィーチャーエッジなど) によって、特に産業機器、自動車・輸送機械、生命科学産業における複雑なマルチボディ相互作用やアセンブリ、機構のシミュレーションの柔軟性が向上します。



DEM 技術における領域並列化や、CEL 法における超弾性材料とアダプティブメッシュ細分化 (AMR) 機能は、さまざまな産業における流体 - 構造連成問題の応用機能を拡大させます。

プロセスとツールを整理統合し、非効率性を改善してコストを低減し、競争力を強化しています。結果として得られるメリットとしては、企業の FEA ツールセットやトレーニング費用の削減、モデル作成における効率性の向上、試験結果と解析結果の相関性の向上、シミュレーション間のデータ転送の改善、より柔軟な人員配置によって生まれるイノベーションのための時間的余裕などが挙げられます。

Abaqus 6.14 の新機能

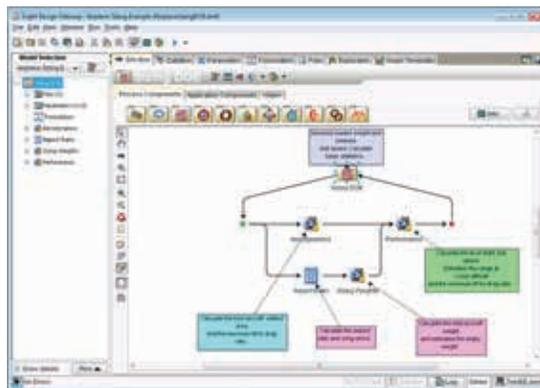
- ・**接触** — エッジ-エッジ接触機能が拡張され、ソリッドとシェル状サーフェスのフィーチャーエッジと、シェル外周のエッジが含まれました。これによって、エッジ間の接触はさらに自動化され、よりロバストな解析が可能になります。以前は、ビーム対ビーム接触のみがサポートされていました。
- ・**出力** — 3DEXPERIENCE プラットフォームは SIMULIA ポートフォリオと統合されつつあり、従来の ODB フォーマットに加えて SIM データベースにも結果を書き出すことが可能になりました。これによって 3DEXPERIENCE プラットフォーム上で解析の可視化が可能になり、協調環境が拡大します。
- ・**AMS 固有値ソルバーの改善** — AMS 固有値ソルバーが GPGPU ボードをサポートし、大規模モデルの周波数抽出解析の実行時間が短縮されています。
- ・**材料** — 圧力や全ひずみなどの速度依存挙動に適した新しい並列回路クリープモデルによって、非線形粘弾性解析機能が強化されています。また、異方性材料を用いて連成オイラー・ラグランジュ解析を実施できるようになりました。
- ・**き裂モデリング** — XFEM 法が拡張され、間隙水圧の自由度を含めることが可能となりました。この機能は、石油・ガス業界における水圧破砕工法や、生命科学や消費財産業における流体の流れの正確な評価に特に役立ちます。
- ・**流体解析** — 改良型 $k-\epsilon$ 乱流モデルを用いることで、より詳細な情報に基づいて流体の流れ問題を直感的かつ柔軟にモデリングできるようになります。
- ・**最適化** — SIMULIA Isight は弊社のパラメトリック最適化ツールの中核をなすものですが、Tosca Structure が Abaqus/CAE 内に組み込まれたことで、これらツールはノンパラメトリック最適化の領域へと拡大しました（本記事の Tosca 部分を参照ください）。Abaqus/CAE では、トポロジーおよび形状最適化に加えて、シェル要素の厚み変更による板構造の寸法最適化を行えるようになりました。

Abaqus/CAE の最適化モジュールでは、1 つの最適化タスクで複数個の非線形荷重シナリオを考慮できるようになりました。改良されたポストプロセッシング機能では、最適化プロセス終了時の結果の結合時間の高速化に影響する保存される中間結果の個数に対する設定が追加されています。組み合わせ荷重シナリオにおける剛性最適化問題を単純化するため、Energy Stiffness Measure と呼ばれる新しい設計応答値が導入されています。また Abaqus/CAE のジオメトリ、モデリング、および可視化機能が部分的に強化され、モデルの作成とシミュレーション結果の可視化の効率が向上しています。

ISIGHT と SEE による最適化と自動化

Isight は SIMULIA が提供するプロセス自動化と設計最適化のための業界トップのソリューションであり、ユーザーが製品の性能、品質、信頼性を向上させつつ解析時間とコストを削減することを可能にします。SIMULIA Execution Engine (SEE) は、シミュレーションプロセスフローをハイパフォーマンスな方式で分散し並列化するための最先端の Fiper 技術に基づいており、企業が所有する既存のハードウェアおよびソフトウェア投資を有効に活用します。

Isight を SEE と併用することで、ユーザーはシミュレーションプロセスの実行を企業全体にわたって分散させるためのウェブベースの枠組みを構築でき、コンピューティング資源の最適利用や、地理的に分散したユーザー間での協調作業の実現に役立ちます。



TomEE ベースの SEE に接続された Isight Design Gateway

これらの技術には、以下のようなさまざまなメリットがあります。

- ・シミュレーションプロセスフローの容易な自動化
- ・実験計画法 (DOE)、最適化、近似モデル、シックスシグマ法などの先進技術の活用
- ・コスト、重量、材料などに関する設計最適化
- ・ハードウェアやコンピューティング資源の最適利用
- ・企業レベルのウェブアプリケーション用サーバーやデータベースとのシームレスな統合

Isight 5.9 の新機能

Isight に関しては、この新リリースで他社製ツールとの接続用の特定コンポーネントとインストールプロシージャがさらに強化されています。SEE に関しては、このリリースで複雑なプロセスの実行をより適切に管理するためのインフラが強化されています。

Isight の新機能では、専用のデータインポートプラグインによって、Excel で作成した計画行列を利用できるようになりました。以前は DOE コンポーネントは、ASCII テキストファイルのみに対応していました。また、多数のコンポーネントが更新されています。5.9 では CATIA V5 R21 ~ R24 がサポートされます。Mathcad コンポーネントが改良され、単位を持つ変数を取り扱えるようになりました。また、他社製ワークベンチに対するサポートが追加されています。

ポートフォリオ アップデート

SEE 5.9 における重大ニュース

SEE には大きなニュースがあります。オープンソースのウェブアプリケーション用サーバー TomEE と、オープンソースのデータベース Derby がサポートされます。これら 2 つの無償ミドルウェアは SEE とともに出荷され、SEE インストーラによって簡単に設定できるようになっています。以前の Websphere や Weblogic サーバーとは異なり、前提ソフトウェアを個別にインストールする必要はありません。

個人用の SEE が Isight にバンドルされました。個人利用においては追加のライセンス料金は発生しません。

Tosca 最適化技術： 構造と流れの最適化ソリューション

Tosca 最適化製品は、FEA と CFD シミュレーションをベースとした高速かつ強力な構造と流動のノンパラメトリック最適化ソリューションを提供しています。

Tosca Structure は、軽量で剛性や耐久性のあるパーツやアセンブリを短い開発サイクルで設計することに役立ちます。そのため、製品性能の最大化、材料や重量の最小化、そして設計の新たな可能性の発見が可能になります。また、最大剛性や最小重量の設計案を特定すること、板厚の最適化によって質量を削減すること、局部応力を低減し耐久性を向上させること、あるいは板構造の剛性や固有振動数を増大させることなどが可能です。

そして今回、Tosca に fe-safe が完全に組み込まれたことによって (fe-safe の詳細については本記事の fe-safe 部分を参照ください)、形状最適化問題で fe-safe の疲労解析結果も利用可能になりました。

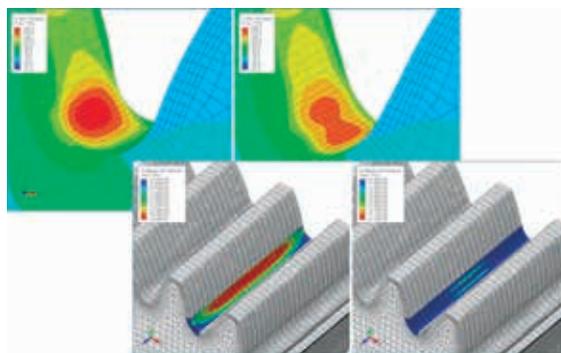
Tosca Fluid は、流体の流動システムやコンポーネントに対して、トポロジー最適化を駆使した設計コンセプトの開発に役立ちます。この機能を用いて、定められた流れのタスクと利用可能な設計空間に対して、圧力低下を低減するよう流路流れを最適化することにより、画期的な設計アイデアを自動的に作り出すことが可能です。Tosca Fluid の持つ独自の機能は、最高の流動性能や品質、環境効率の実現に役立ちます。

Tosca Structure と Tosca Fluid を用いることのメリット

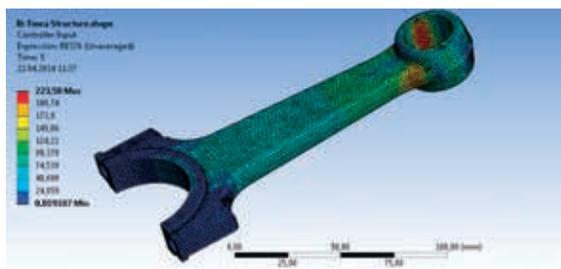
- ・ 概念設計の迅速化と製品化までの期間短縮
- ・ すぐに製造可能な製品設計のサポート
- ・ 重量の削減、信頼性の高い部品に向けた最高品質の結果
- ・ 間違いを犯しやすく時間のかかるモデル簡略化の回避
- ・ リアリスティックシミュレーションの適用と、最適化における非線形性の直接処理
- ・ 直感的なグラフィックユーザーインターフェースによる最適化タスクの対話形式での定義
- ・ 圧力低下が少なく流れの均一性が向上した流動機器の開発

Tosca の新機能

Tosca の最適化機能をまだ試したことがなく、これらのメリットについてさらに調査したいと感じられたなら、Abaqus または Isight の拡張トークンライセンスを所有している場合は、追加コストなしで Tosca Structure や Tosca Fluid の最適化ツールを試すことが可能です。



構造最適化問題における耐久性解析



新しい形状およびトポロジー最適化

Tosca Structure 8.1 の改良点には以下のものがあります。Abaqus/CAE の最適化モジュールでは、Tosca Structure のトポロジー、寸法、および形状最適化タスクが Abaqus/CAE に直接組み込まれました。すでにおなじみのグラフィックユーザーインターフェースを用いて、最適化タスクの作成、実行、および後処理が可能です。また形状最適化問題で fe-safe 解析を使用できるようになりました。これには fe-safe の疲労解析結果を Tosca Structure に簡単に組み込むことが可能な新しい耐久性ソルバーインターフェースが含まれています。内部のデータ処理が改善され、熱荷重を考慮した剛性最適化が容易に行えるようになりました。形状最適化において、要素修正によるメッシュの平滑化機能が向上しています。また、非線形性の強い幾何モデルを用いた最適化において、要素削除のアルゴリズムが改善されています。

Tosca Fluid 2.4 の改良点としては、SIMULIA Extended Packaging (拡張トークン) ライセンスによる利用、STAR-CCM+ と ANSYS Fluent に対する CFD ソルバーインターフェースの改訂、さらに、流れ境界付近のスライス細分化や、粒子追跡法に基づいてスライスを選別するための手法の追加などのポストプロセッシングの機能強化が挙げられます。

SIMULIA fe-safe が初めて ABAQUS と同時にリリース

同様に SIMULIA 拡張トークンで利用可能な fe-safe は、有限要素モデル用の強力かつ包括的で使い勝手の良い疲労解析ソフトウェアです。Abaqus だけでなく他の市販 FEA ソフトウェアと併用することも可能であり、疲労き裂が発生する場所と時期、作用応力に対する安全係数 (迅速な最適化のため)、さまざまな耐用年数における生存確率 (「保証クレーム」曲線)、そして、き裂が進展する可能性などを計算できます。

fe-safe は、自動車、大型トラック、建設機械、海洋、防衛、オフショア、発電、風力エネルギー、医用工学、その他多く

の産業の一流企業で使用されています。典型的なアプリケーションとしては、鉄鋼、アルミ、鋳鉄などの機械加工品や鍛造品あるいは鋳造品、高温にさらされる部品、溶接加工やプレス成形された部品などの解析が挙げられます。

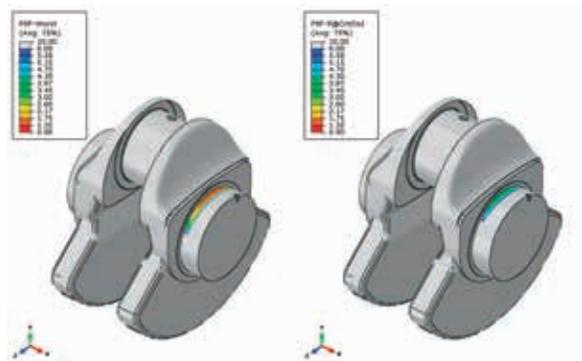
fe-safe を皆様のシミュレーションツールキットに加えることで、安全優先部品の疲労寿命の拡大、使用材料の節減に向けた設計の最適化、製品リコールや品質保証に関連したコストの削減、設計および試験計画の最適化と検証、単一ユーザーインターフェースによる試験と解析の相関性改善、試作実験回数の削減、解析の高速化と工数の削減、試作実験への依存度の低減などが可能になります。さらに「最初から正しい設計で作る」ことで製品設計が試験スケジュールを通過することの自信が高まります。

fe-safe は以下のような多くのメリットをもたらします。

- ・ 構造溶接部、シーム溶接部、スポット溶接部における、これまでになかった解析精度
- ・ 新たに追加された振動疲労機能では、各荷重ブロックの疲労損傷度をエクスポートすることが可能であり、デューティサイクルのどの部分が最も疲労損傷度に寄与しているかを、再設計の目的からはっきりと特定できます。
- ・ また fe-safe は、成形工程や組立工程の FEA 結果を読み込むことで、残留応力を含めた感度解析を迅速に行うことが出来ます。信号処理、荷重履歴の操作、ひずみゲージ疲労、短縮した試験信号の生成なども、すべて標準機能として含まれています。
- ・ メッシュ非依存の構造応力法では、溶接継ぎ手部と構造の破壊位置が予測され、疲労寿命が計算されます。
- ・ fe-safe の材料データベースは、よく用いられる材料の包括的なライブラリを提供しています。

fe-safe 6.5 の新機能

前述のとおり、fe-safe の疲労ソルバーは拡張トークンを介して利用可能です。これには分散型メモリー並列計算 (DMP) も含まれます。新しい振動疲労機能では、fe-safe のクリティカルプレーン疲労技術を周波数領域において完全に機能させることが可能です。これによって、非常に高速に (時間領域よりも数オーダー速く) 変形を考慮した構造体の FEA 動的モデルから疲労寿命を計算できます。



左図:き裂発生に対する強度係数(FOS)、FOS<1となり設計は不合格。右図:TCD解析に基づく強度係数の増大、FOS>1となり設計は合格

アカデミック版ポートフォリオについて

これらポートフォリオのパワーは、産業界と同様に教育界に方々の心も引きつけています。ハイレベルなエンジニアリングプログラムには最先端の技術が必要であり、我々のお客様は即戦力として役立つスキルや経験を持ったエンジニアを求めています。SIMULIA アカデミックポートフォリオでは、これらのニーズに応える 2 つの新製品が提供されます。

- ・ **SIMULIA Academic Research Suite** - 高度な研究用の商業レベルの機能を含む製品です。特別のライセンス管理オプションによって、適切なライセンスが、単一ユーザー、学校全体、その中間など、あらゆる形態で利用可能になります。
- ・ **SIMULIA Academic Teaching Suite** - 教室やコンピュータ室で利用できる機能豊富な教育用のライセンスであり、Research Suite に比べて若干の制限があります。節点数の制限は 250,000 に拡大しています。

どちらの製品も拡張トークンを特色としており、Abaqus、Isight、Tosca、fe-safe および CATIA と SolidWorks に対するアソシアティブ・インタフェースへのアクセスが可能です。

効果的なアカデミックプログラムは、我々そして皆様のビジネスの成功と、我々がサービスを提供する学術機関にとって不可欠なものと SIMULIA は考えています。アカデミックプログラムの詳細については、アカデミック向けホームページ www.3ds.com/products-services/SIMULIA/academics/ をご覧ください。

fe-safe では 1 次と 2 次の六面体および四面体メッシュがサポートされ、これまでのようにき裂発生ではなく、停留き裂に基づいた設計が可能になっています。そのため、より軽量のコンポーネントとなる可能性があります。この機能は鋳鉄を扱うときに特に有益です。また、縮退要素があるときの TCD(クリティカルディスタンス法) のレイトレーシング処理が改善され、温度依存の材料特性を含めることが可能になり、さらにはライン法の精度が向上しています。拡張トークンで利用可能な分散処理機能のおかげで、長時間の複雑な疲労荷重を有する大規模モデルをモデリングできるようになりました。また、簡単にパラメータ修正を行うため、データベース間で材料のコピーも可能です。

これらの SIMULIA ポートフォリオの新リリースや拡張トークンについてご質問があれば、www.3ds.com/products-services/SIMULIA/portfolio/extended-token-licensing を参照されるか、ご担当の SIMULIA ベンダーにお問い合わせください。

詳細は以下をご覧ください

www.3ds.com/SCN-September2014

日進月歩のシミュレーションの世界で エンジニアが活躍し続けるための方法

SIMULIA ユーザーにとって「ポートフォリオのパワー」が意味するものとは



Sumanth Kumar
ポートフォリオ・エクスペリエンス担当副社長

どの産業に従事する開発エンジニアであっても、最良の製品を生み出すには、さまざまな領域の設計エンジニアリングを極めなければいけません。そして最終的には、企業はそれらの領域を組み合わせることでコストや製品寿命に関して性能特性を最適化し、全体として最高のユーザーエクスペリエンスを実現する必要があります。開発プロセスのあらゆる段階は、次のような質問に答えを出すことを目標としています。

- ・この製品は目的通りに機能するだろうか？
- ・どの程度の期間持ちこたえられるだろうか？
- ・顧客はどのように受け止めるだろうか？

通常、エンジニアはそれを一連の解析に落とし込み、自分が担当する分野の各質問に対して最善の答えを系統的に引き出した後、それを同僚から入手した答えと組み合わせることで全体像を把握しようとしています。

我々にお任せください。我々は皆様の関心事にいつも耳を傾け、皆様が明日の最良製品を開発できるように、今日の時代のニーズに適切に応えられるよう進化を続けています。ただ SIMULIA でも、分野ごとに専門家は分かれており、我々もまた活動範囲を広げ統合のレベルを高めることで、皆様の目標達成に必要な相乗効果を実現していく必要があります。

単に製品モデルをメッシュ分割し、応力や変形のプロットを出力したら、次のプロジェクトに移るというのでは、もはや十分とは言えません。エンジニアには、より多くの仕事をこ

なすこと、新たなステップへと踏み出すこと、学んだことを基にして特定の設計や設計シリーズの耐久性や寿命を予測することや動作範囲を推定すること、さらにはより適切または確実に機能する代替設計案を提案することまで求められています。今日、より完全な答えを、かつてないほど早い段階で出す必要があります。そして、こうした成果を挙げるために自分のスキルセットを磨いている人は、組織におけるシミュレーションの利用を促進し拡大させようとする人です。

必要とするツールへのアクセス

こうした要求の高まりは、我が社のお客様にとって絶好のチャンスだと思います。我々はいつでも、皆様の最も困難な問題に対処できる技術を提供しようと全力で取り組んでいます。ご存じの通り、我々は他社の優れた技術や知識を徐々に取り入れてきました。これらの会社は、以前は我々のパートナーでしたが、現在は SIMULIA の一部として、彼らの経験を皆様の生産性向上に直接役立てることが可能になっています。そして現在、我々はそれらを、効率性や生産性・利益性を損なうような“弱点部分”に対処しうる最高に役立つツールキットに仕上げようと懸命に取り組んでいるとことです。

我が社の一流ソフトウェア製品からなるポートフォリオは確実に成長を遂げ、今では Abaqus、Isight、Tosca、fe-safe®、Simpoe Mold および SIMPACK で構成されるようになりました。近いうちに、これらすべてが 3DEXPERIENCE プラットフォームの統合環境で利用可能になる予定です。しかし皆様の課題はひっ迫しています。そのため、この製品ポートフォ

リオの可能性をすぐに実感していただけるように、我々は「拡張トークン」と呼ぶ単一ライセンスを介してそれらの多くにアクセスできる柔軟な手段を取り入れました。このライセンス管理スキームを選択すると、単一トークンのプールを通じてコアとなるシミュレーション製品群 (Abaqus, Isight, Tosca、および fe-safe) へのフルアクセスが可能となります。

拡張トークンを利用することで、これらの技術のどれがどのくらいの期間必要となるかを事前に決めておく必要はなくなります (たとえば Abaqus 6.14 を使用している場合、トークンプールが許す限り Isight 5.9, Tosca Structure 8.1, Tosca Fluid 2.4, そして fe-safe 6.5 も使用できるのです。これらポートフォリオ製品の最新リリースの詳細については、本誌の 4 ページを参照してください)。これによって、まだ使ったことのない製品の試用が可能となり、それらがいつどこで役立つかを自ら判断できるようになります。最初は必要と思わなかったソフトウェアでも、改めて依頼する必要はありません。作業効率を上げることや、新たな問題を解きながら自分のスキルセットを広げること、あるいは社内での評価を高めることなどに役立つかもしれないツールを試すことができるのです。

それでは SIMULIA ポートフォリオを利用することが、現在の皆様の仕事を改善することに、どのように役立つのでしょうか? ここでは、生命科学、航空宇宙、産業機器の各分野から、いくつか事例をご紹介します。

心臓用ステントの耐久性改善

人体に埋め込まれる医療機器の分野で、すべてのステントメーカーが回答しなければいけない重要な質問は「その疲労寿命は一体どうなっていて、患者の体内で何年間持ちこたえるのだろうか?」というものです。SIMULIA は最近、Abaqus、Tosca、fe-safe、そして Isight を併用することでこの問題に取り組みました。Abaqus が応力集中箇所を特定し、Tosca がステントの幾何形状を絞り込んで、最も危険な箇所の応力を低減させながら材料を削減できる場所を提示しました。また fe-safe は Tosca を適用する前後の耐久性を分析し、Tosca の解析後に製品寿命の期待値が大幅に向上することを明らかにしました。最後に Isight がステント設計をコストに関して最適化するため設計空間の検討を行い、我々は最終損益を考慮しながら実現しうる最高の結果に到達できたのです。

クワッドコプターの飛行計画：コンセプトから空中輸送まで

今年プロビデンスで開催された SIMULIA Community Conference に参加された方は、文字通り「ポートフォリオのパワー」が実際に発進するところをご覧になりました。コンセプト (医療品を人里離れた道なき地域まで届けること) から、設計、製造、そして完成したクワッドコプターが荷物を積んでコンファレンスのステージを飛び回るところまで、このデモンストラレーションは観衆を十分に納得させるものでした。SIMULIA の解析チームは 3DEXPERIENCE プラットフォーム上で協力し合いながら、Abaqus/CAE、Abaqus/CFD、fe-safe、Tosca、Simpo Mold、Isight その他を使用して、無人航空機が信頼性やロバスト性の高い製品であることを証明しました。

バックホー設計で地に足を着ける

空から陸に戻って、最後の事例は油圧ショベルです。皆様も SCC の一般講演の 1 つとして覚えていらっしゃるかもし

れません。この複雑で働き者の産業機器は、SIMULIA ポートフォリオの多様な機能を際立たせる絶好の機会をもたらしました。CATIA システムの Dymola、Abaqus、XFEM、CEL、Tosca のすべての技術が活用され、バックホーの性能、耐久性、構造的完全性に関するさまざまな回答が得られました。結果として重量が 20% 削減されたのです。

ポートフォリオのパワーを実感する

これらの事例を見て、皆様が SIMULIA の技術をどうしたらフルに活用できるだろうかと想像していただければ幸いです。皆様の現在の仕事内容がどのようなものであっても、我々は皆様のあらゆる課題の調査や、可能な限り完全な解決策の導出に、どのツールが役立つかを特定いたします。設計エンジニアリングの複雑な世界では、適切なソルバーこそ、多種多様な製品に内在する物理現象を最深部まで解明することの引き金となるのです。

我々はお客様各社で SIMULIA ポートフォリオのパワーが実行に移されるのを見てきましたが、弊社製品を追加導入するために専門知識を育成することは、皆様自身の利益につながるものであることが分かりました。そのため、次に皆様のチームが使用中の SIMULIA 製品を更新するときには、是非、拡張トークンプログラムを通じてポートフォリオのパワーを試してみるようお勧めします。Abaqus、Isight、Tosca、fe-safe へのアクセスを通じて、ご自身の影響力が拡大すること、プロとしての能力が高まること、ソフトウェア技術が提供するすべてについて最新を維持できることなど、容易に体験していただけると思います。解析者の仕事は急速に変化しつづけます。皆様が成功するために必要なものを確実に入手できるよう、我々はいつでもお手伝いをいたします。

まもなく一貫したリリース番号表示が始まります

買収を通じた SIMULIA ポートフォリオの拡大によって、利用可能な技術範囲が広がっています。しかし同時に、リリース番号表示を合理化する必要性も生じてきました。互いに連携するプログラムのリリースを識別しやすくするため、SIMULIA は 2015 年の夏に、Abaqus、Isight、Tosca および fe-safe に対して新しい一貫したリリース番号表示の方式を発表する予定です。ダッソー・システムズ社の慣行に従って SIMULIA のリリースにも、暦年 **プラス 1** の番号が付与されます。

今後は Abaqus 6.15、Isight 5.10、Tosca Structure 8.2、Tosca Fluid 2.5、fe-safe 6.6 などのリリース番号は使用されません。これらすべてのプログラムのリリース番号は新しい方式によって統一されます。2015 年の夏に計画されている出荷分から、リリース "2016" のようになります。すなわち、Abaqus 2016、Isight 2016、Tosca Structure 2016、Tosca Fluid 2016、fe-safe 2016 となる予定です。この変更によって「Abaqus 6.14 と連携する fe-safe のリリースは何?」といった疑問は解消されることとなります。

お客様はこの変更にもっと早く気付くかもしれません。たとえば、バグレポートには「この問題は "Abaqus 2016" で修正の予定です」のように記述されます。

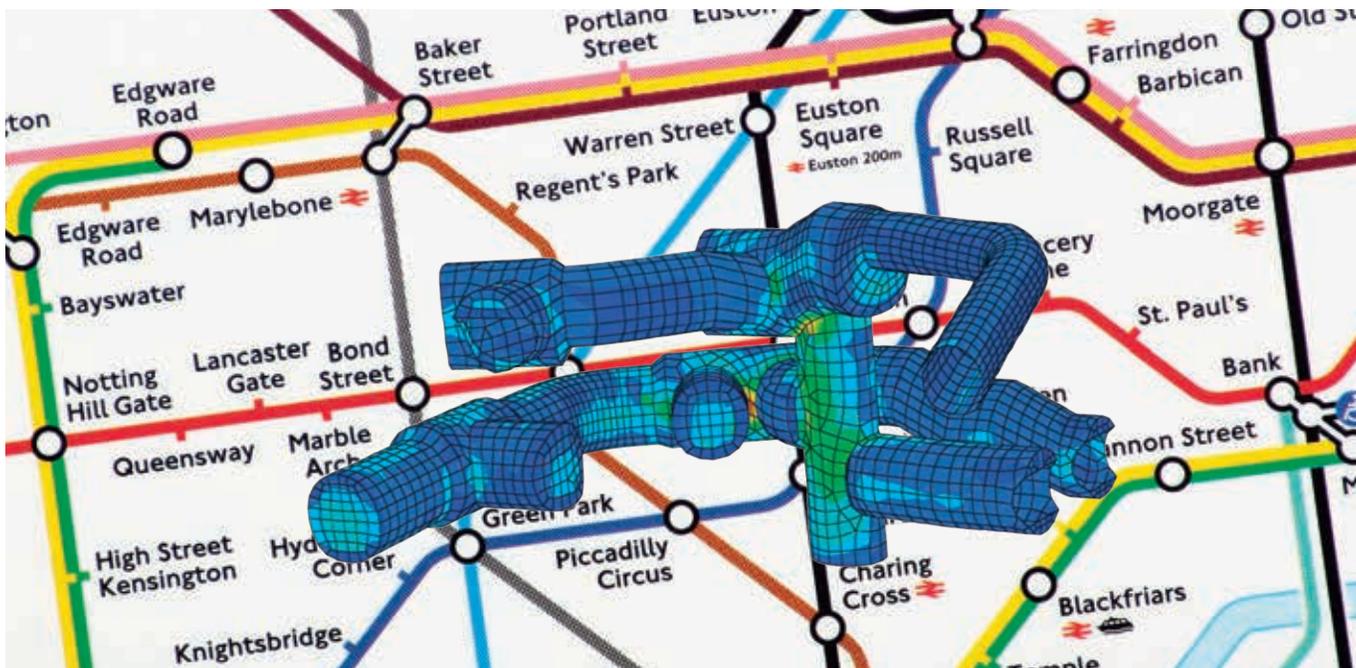
詳細は以下をご覧ください

www.3ds.com/SCN-September2014

カバーストーリー

トンネルビジョン

Dr. Sauer and Partners 社がロンドン地下鉄の駅改修工事に貢献



大都市圏において人口圧力が高まると、世界の大都市では多くの場合、鉄道網の拡張によって人口移動を効率化しようとしています。ロンドン地下鉄も例外ではありません。現在、大ロンドンとその周辺地区に 270 の駅と総延長 250 マイルに及ぶ路線があり、2012/2013 年にこの地域を歩き来した乗客は約 12 億 3 千万人に上ります。

この交通システムの地理的中心は 1863 年に開通した世界初の地下鉄トンネルであり、ロンドン中心部の地面直下に開削工法によって建設されました。その後、より深いレベルのロンドン粘土層まで円形トンネルが掘り進められました（「チューブ」というニックネームはこの円形に由来しています）。

すでに開業 150 周年を迎えたロンドン地下鉄は今も成長を続けています。たとえば、2018 年の完成を目指して進行中のボンドストリート駅改修（BSSU）プロジェクトは「英国史上最も複雑なトンネルプロジェクトの 1 つ」と称されています。ロンドンで建設中のクロスレール鉄道がボンドストリート駅に接続され、1 日あたりの乗降客数が 15 万 5 千人から 22 万 5 千人へ増加すると予想されているのです。

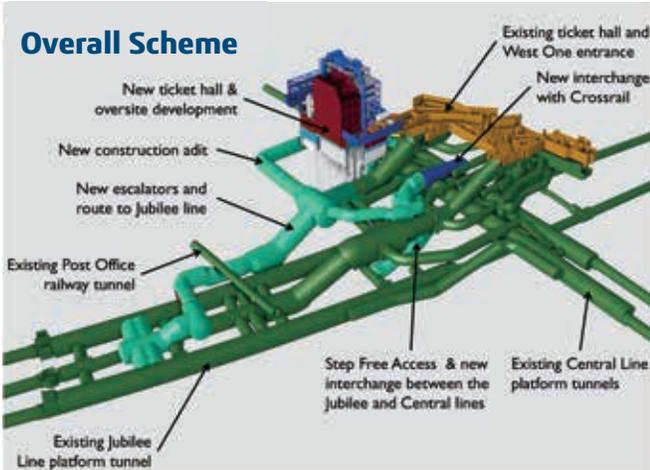
BSSU プロジェクトを非常に複雑化させている要因の大半は、すでにそこにある建造物群です。同駅はロンドン随一の繁華街であるウエストエンド地区にあって、列車用トンネル、歩行者用通路、ジュビリー線とセントラル線への乗り換え用エスカレータなどが複雑に交差しています。「新しいトンネルは、多くの既存トンネルのすぐ近くに設置されます」と、このプロジェクトにトンネル掘削技術を提供しているロンドン企業 Dr. Sauer and Partners 社の上級トンネル/地質エンジニアである Ali Nasekhian 博士は話しています。「結果として、

我々が直面した設計課題には、複雑なトンネル形状とその配置、既存ビルの基礎との限られたクリアランス、制約の多い工事現場、厳しい地盤沈下基準などがありました」

Dr. Sauer and Partners 社は鉄道トンネルと道路トンネルの設計に 30 年以上の経験を有します。2010 年、同社は Halcrow 社と Atkins 社のジョイントベンチャーから再委託されて（元請業者は Costain Laing O' Rourke JV）、BSSU の吹付けコンクリート覆工（SCL）トンネルに対する予備-詳細設計と施工のすべてを請け負いました。これらには、2 本のアクセス路、1 本のエレベータ昇降路、4 本の施工坑道（入口通路）、2 本のメガネ型交差通路トンネル、4 つの大規模コンコースとその接続空間、3 本の地下道トンネル、既存のプラットフォームトンネルを横断する 2 本の高架トンネル、電気・機械設備用の 2 箇所のニッチ、そしてエスカレータ用の 4 本の傾斜トンネルが含まれます。トンネルの幅は 4~10 メートルとさまざまですが、その総延長は約 450 メートルに達します。

「我々が今回の解析から得た自信は、承認手続きを積極的に推し進めることや、クライアントに最高品質のロバスト設計を提供することに役立っています」

— Dr. Sauer and Partners 社 上級トンネル/地質エンジニア Ali Nasekhian 博士



ボンドストリート駅改修工事の複雑さは、この全体改修計画図を見ても明らかである。既存トンネルは深緑色で示され、Dr. Sauer and Partners 社が設計・施工する新建造物は薄緑色で示されている。

Nasekhian 博士はオーストリアのグラーツ工科大学で地盤工学の博士号を取得した後、2011年に Dr. Sauer 社に入社しました。そして彼の8年に渡る CAD の経験が即戦力となったのです。

「ロンドン地下鉄のようなプロジェクトでは、すでに大規模なトンネル系統が整備済みであるため、新たな構造物が既存トンネルに与える影響を慎重に検討しなければいけません。そのため広範な 3D 解析はクライアントと設計者の両方にメリットがあるのです。2D 解析に加えて、時間と予算が許すところでは 3D モデルが最適設計を突き止めることに大いに役立ちます」と彼は話しています。

Dr. Sauer 社の 8 名のエンジニアからなる設計チームは、Abaqus 有限要素解析 (FEA) ソフトウェアを使用して、主要なトンネル工事に先立って完全な 3D 数値解析を実施しました (トンネルの掘削は 2013 年の夏に始まり、2015 年に完成の予定です)。Dr. Sauer & Partners 社は 1990 年代から Abaqus を使用しています。

「Abaqus ソルバーは多数の要素からなるモデルの塑性解析に対しても、非常に強力で安定性があり、しかも高速です。FE モデルの品質がメッシュの品質に大きく依存することは周知の事実です。もちろん、メッシュを細かくすると必然的に要素数も増加します。私自身 Dr. Sauer 社に入社してから Abaqus を使い出したのですが、このソフトウェアのプリ・ポスト処理や大規模で複雑なジオメトリの作成と操作はとても素晴らしいと感じました」と、FEA モデリングを主導した Nasekhian 博士は話しています。

「ジオメトリに変更を加える必要がある場合、それは最も効率的な設計案を作り出すときによくあることですが、Abaqus ではとても簡単に変更が可能です。Abaqus/CAE のこうした便利ツールによって、大規模 3D FE モデルの作成スケジュールが遅れるリスクは随分と軽減されます」

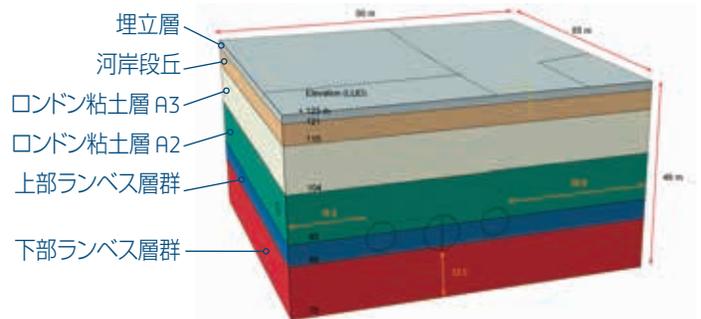
チームは最初、FEA モデルのベースジオメトリとして、他のソフトウェアで作成された駅全体の既存 CAD モデルをインポートしようと考えました。しかし、変換やメッシング上

の問題が生じると、余分な作業が必要になります。「我々はそのよりも Abaqus/CAE だけで作業用のジオメトリを作成した方がよいと考えました。その結果、メッシング上の問題が生じて、簡単にジオメトリを修正することが可能になったのです」と Nasekhian 博士は話しています。

予備設計段階では、チームは一連の 2D 解析を行い、さまざまな構造物との関係で必要となるトンネルの可変寸法を定めました。トンネル形状が最終的に“凍結”されると、3D モデルを作成できるようになります。

周囲の土層から受ける応力とひずみを実際そのままに評価するため、トンネルが掘削される予定の地盤がトンネル構造とともにモデル化されました。ロンドン盆地の表層地質 (複数のチョーク層、サネット砂層、ロンドン粘土層、河岸段丘の堆積物、そして何百年もの人類の居住によって形成された埋立層など) を含めることで、土壌と構造の相互作用の解析が準備されました。

新しい BSSU トンネルの大部分はロンドン粘土層内に設置されますが、この地層は透水性が非常に低いという特徴があります。そのため「新オーストリアン・トンネル工法 (NATM)」という名称で世界的に知られている従来型の工法が用いられています。米国ではこれを「連続掘削工法 (SEM)」と呼んでおり、英国では前述のとおり「吹付けコンクリート覆工 (SCL) 法」と呼んでいます。



ロンドン盆地の表層地質。新設されるボンドストリート駅の多くの 5~25m ほどのロンドン粘土層を貫通する。この地質に基づく土圧応力場が、進行するトンネル掘削工事の開始時の初期応力状態として設定され、結果として生じる変形がシミュレーションされた。

SCL 法では、トンネル断面の掘削がいくつかのシーケンスに分割され、各シーケンス後に、吹付けロボットで鋼繊維補強コンクリートを吹き付けて (一次覆工)、直ちに安定化させます。トンネルの全断面の掘削が完了して一次覆工部の変形が安定すると、防水層が吹き付けられます。続いて、鋼繊維補強コンクリートの二次覆工による仕上げが行われ、完全に水漏れのないトンネル断面が完成します。トンネル同士の接合部では、厳しいたわみ変形や引張応力を受ける部分をさらに支えるため、必要に応じて鉄筋で補強されます。

打設されたトンネル覆工部と隣接構造物に対する各施工段階の影響について調べるため、主要な施工シーケンス (段階的な掘削と覆工の設置) が Abaqus FEA モデルに組み込まれました。また、計算効率を上げるために、チームは迷路のような既存および新規 BSSU 構造を 3 つの独立したモデルに

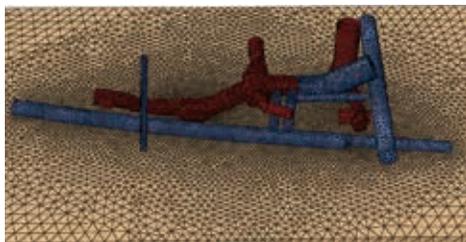
カバーストーリー



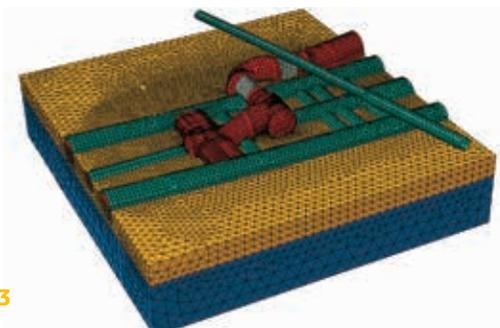
Dr. Sauer and Partners 社の設計エンジニアは BSSU プロジェクトを 3 つの独立したモデルに分割し、この大規模な解析とシミュレーションの作業を効率化した。既存構造物が非常に接近している部分では、モデルの重複が許されている。



モデル 1



モデル 2



モデル 3

(モデル 1 ~ 3)。ロンドン地下鉄のトンネルプロジェクト用に Dr. Sauer and Partners 社が作成した Abaqus FE モデルの 3 つの独立したメッシュ

分割しました。それぞれの要素数は約 45 万から最大 100 万の範囲に収まっています。「我々は 2 つの隣接するモデルの境界を定めるに当たって、モデルの両側の最も近接する 2 つのトンネル間の距離が、大きい方のトンネルの直径の 3 倍を超えるようにしました。この条件を満たすことができない非常に密集したトンネル掘削領域では、2 つのモデルを重複させて一組のトンネルをモデル化しました」と Nasekhian 博士は話しています。

Dr. Sauer and Partner 社の Abaqus 解析によって以下のような成果が得られました。

- ・トンネル工事中の地盤移動と体積減少についての適切な見積もりと、地盤移動の管理計画を実施するか否かを決めるトリガー値の特定。Nasekhian 博士は「この種のプロジェクトでは、トンネル工事が過度に安全側となって、コスト効率が損なわれることがないように現実的な値を入手することが重要です」と話しています。
- ・トンネル工事中に隣接する既存構造物に生じる応力の評価。FE モデルの変形は初期状態でゼロにセットされ、掘削段階の進行とともに増大されました。
- ・新設される SCL トンネルの寸法決定と、必要な補強物の算出根拠 (特に応力集中部)。Nasekhian 博士は「我々の 3D シミュレーション結果は、トンネル接続部の SCL 設計を最適化する上で特に有用でした。結果として多量の鉄筋を節減することができました」と話しています。
- ・掘削時の切羽安定性に対する確信

設計チームが 3D モデリングによるリアリストリックシミュレーションで気付いたことは、これによって BSSU トンネル工事の課題の多くをより深く理解でき、しかも最良の設計・施工ソリューションへ到達することにも役立つというものでした。

「この非常に複雑なプロジェクトでは、我々の Abaqus モデルが予備設計の改善に貢献しました。これは一連の 2D 解析と設計チームの経験に基づいて行われましたが、我々を極めて詳細な最終設計へと導いてくれました。Abaqus は非常に使い易く、我々がシミュレーションの忠実度を向上させたり、大規模モデルの実行時間を削減したりするために、いくつかのテクニックを考え出すことも可能でした。我々が今回の解析から得た自信は、承認手続きを積極的に推し進めることや、クライアントに最高品質のロバスト設計を提供することに役立っています」と Nasekhian 博士は話しています。

詳細は以下をご覧ください
www.dr-sauer.com

SIMPACK 社がダッソー・システムズのグループの一員に

夏の夏、SIMPACK 社がダッソー・システムズのグループに加わりました。これにより SIMULIA のマルチフィジックス・シミュレーションの技術ポートフォリオは、マルチボディのメカトロニクス系にまで拡張され、そのバーチャルなコンセプト検証からリアルタイム体験までが可能になります。

ダッソー・システムズ CEO の Bernard Charlès は次のように述べています。「今回の SIMPACK 社の買収は 3DEXPERIENCE プラットフォームを絶えず拡充させる弊社の全体的・継続的な戦略の一環であり、これによって、製品に対する今までにないバーチャル体験とリアル体験が実現されます。消費者は、自動車や航空機をはじめとするほとんどの製品が、性能、安全性、高速性、静粛性、効率性などの面で日々進化することを期待しています。すなわちメーカーとしては、たとえば制御、動作、変形、ノイズなど、すべてが改善するよう設計するだけでは不十分だということです。彼らは製品を開発しながら、自らそれを体験する必要がありますのです」

1993 年創業の SIMPACK 社（ドイツ航空宇宙センター DLR からのスピンオフで、創業当時の社名は INTEC）は、特に、複雑なモデル、摩擦や柔構造などの非線形効果、効率的な数値アルゴリズム、リアルタイム機能などによって、強力な技術リーダーシップを発揮してきました。SIMPACK 社の技術で 3DEXPERIENCE プラットフォームが強化されると、ダッソー・システムズは、マルチフィジックス・シミュレーション、メカトロニクス系の高精度なリアルタイム・シミュレーション、そしてスマートシステムの制御を兼ね備えることで、高度なシステムのエンド・ツー・エンド開発に必要なトップクラスの統合ソリューションを提供できるようになります。

SIMPACK 社の創業者で CEO の Alex Eichberger 氏は次のように述べています。「我々は共にテクノロジー主導の社風を持ち、科学的卓越性に対する長期的コミットメントを共有しています。今後は両社の力と技術を結集し、高度なバーチャル体験と現実体験を提供していくことで、自動車・輸送機械、航空宇宙・防衛などの産業に向けた業界別ソリューションを拡充させていく予定です」

SIMULIA CEO の Scott Berkey も次のように述べています。「今回の SIMPACK 社の買収は SIMULIA ブランドの発展における次なるステップであり、あらゆる業界にリア

SIMPACK 社について



SIMPACK 社はマルチボディシミュレーション用ソフトウェアの大手プロバイダーであり、同ソフトウェアは、あらゆる機械系またはメカトロニクス系の動的解析に利用されています。これによってエンジニアは、仮想 3D モデルを作成し解析することで、運動、結合力、応力などの予測と可視化が可能になります。ドイツに本社を置く SIMPACK 社は、フランス、英国、日本、米国にもオフィスを構えています。またブラジル、中国、インド、トルコ、韓国にはパートナー企業のオフィスもあります。

SIMPACK の詳細については www.SIMPACK.com をご覧ください。

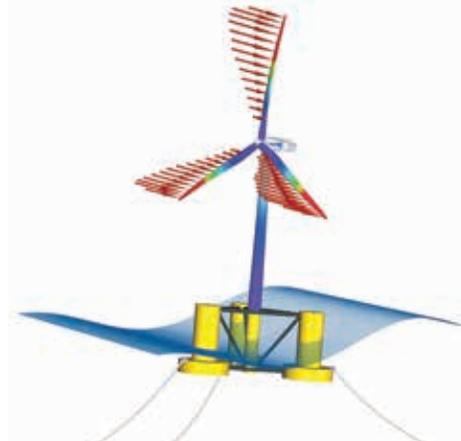
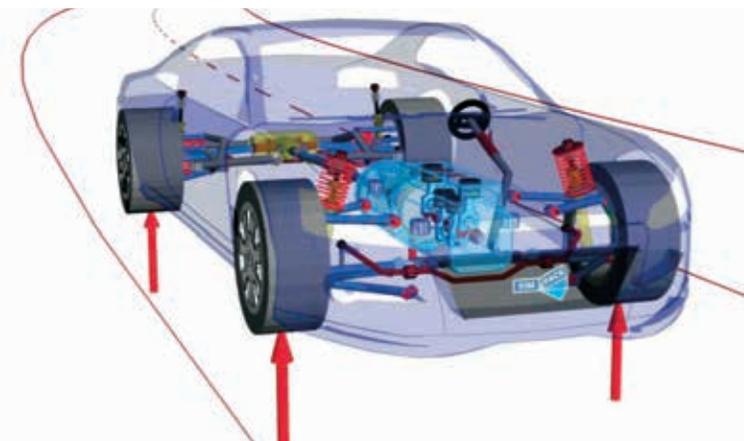
リステックシミュレーションのための最高品質の包括的ソリューションを提供するという弊社のコミットメントを遂行するものです」

Berkey はまた「過去数年間に実施された企業買収は、それぞれ SIMULIA のブランド強化と技術基盤の拡大に貢献してきました。SIMPACK 社の技術によって、弊社のソリューションは概念設計段階にまで大きく拡大し、機械系とメカトロニクス系の“両方の”性能を現実的かつリアルタイムにバーチャル体験できる高度な非線形機能を備えた、概念エンジニアリングから妥当性確認までカバーする真の統合ソリューションを提供できるようになります」と述べています。

既存のお客様に対しては、当面何の変更もありません。ユーザーの皆様は今まで通り、個々のニーズに合わせて、そしてまもなく SIMULIA ポートフォリオの一部として SIMPACK を単体でお使いいただけます。我々はこれまでと同じ人員で皆様をサポートしていきます。もちろんサービスレベルも、皆様が期待する技術革新への責任も変わることはありません。ゆくゆくは、SIMPACK 技術を活用することで、エンジニアリングソリューション全体により緊密に統合された新たな派生製品などを発表していく予定です。

詳細は以下をご覧ください

www.3ds.com/SCN-September2014



ケーススタディ

STADLER RAIL 社、FEA で列車の安全性をシミュレーション 鉄道車両メーカーが Abaqus ソフトウェアを用いて衝突安全性を改善



20世紀初めのアメリカで、とても奇抜な興行が世間を賑わせました。それは列車の衝突ショーです。“正面衝突のジョー”というあだ名を持つ男 Joe Connolly がステートフェアなど大勢人が集まる場所で開催したもので、1896年から1932年にかけて合計73回も機関車同士を衝突させ（146両の機関車を破壊させて）大評判となりました。

それはもう遠い昔の話です。今では、エンジニア（列車の運転士ではなく、設計者）が衝突の様子を観察したいと思えば、コンピュータの画面上で完全に安全な形で高精度な仮想衝突試験を行えるのです。

新型の鉄道車両を設計するとき、彼らにとってシミュレーションはとても重要です。次のような安全上の問題に徹底して取り組む必要があるからです。万一衝突事故が起きた場合、特にその列車がかなりの年数を経ているならば、溶接部は持ちこたえることができるか？ 客車の客席部分はその形状を維持できるか？ 同時に重要なこととして、客室内のコンポーネントやアセンブリは所定の位置を保持しつつ変形を抑えられるか？

スイスのプスナングを本拠地とする Stadler Rail 社は、70年以上にわたり、これらの質問に（時にはシミュレーションで、時にはシミュレーションなしで）答えてきました。その過程で、彼らは特注列車、中距離列車、市街電車、メーターゲージ列車、そして二階建て列車まで設計・製造してきたのです。最近、彼らはそうした経験を活かして、二階建て通勤電車 KISS を設計しました（KISS は Comfortable Innovative Speedy Suburban を意味するドイツ語の頭文字です）。この電車の最高速度は 200 km/hr（約 124 mph）で、現在、スイスとオーストリアの鉄道路線で主力電車として活躍しています。

あらゆる乗り物の設計がそうであるように、軽量化は重要な目標です（軽量と言っても相対的という意味です。この列車の自重は6両編成の場合297トンもあります）。同時に強度を確保するため、車体はおびただしい数の MIG 溶接で接

合された 35 枚の大型アルミニウム中空押し出し型材で製造されます。また中間フロアには摩擦攪拌接合が施されています。「鉄道車両には約 12,000 メートルもの溶接部があります。そのような状況では、溶接部の性能は押し出し型材と同じくらい、安全上極めて重要です」と、Stadler Rail 社で構造解析・試験および車両承認部門のリーダーを務める Alois Starlinger 博士は話しています。

新型列車の設計において、衝突エネルギー管理（CEM）は製品開発の重要な要素です。ヨーロッパのさまざまな鉄道安全規格によって指針が与えられていますが、最も有名なものは EN 1527「鉄道車両車体の衝突安全性に対する要求事項」です。こうした規格の大部分は、シミュレーションで証明すべき設計箇所とその方法について定めています。

Stadler 社において、このプロセスの中核を成すのはダッソー・システムズの 3DEXPERIENCE 技術、すなわち SIMULIA の Abaqus 有限要素解析（FEA）プログラムです。「Stadler 社はこの種のシミュレーションに対し 10 年以上にわたって Abaqus を使用してきました」と Starlinger 博士は話しています。

モデルの作成

Stadler 社が Abaqus を使い始めた頃、FEA モデルは一般に、解析できる範囲が非常に限られていました。10 年間にわたるコンピュータ・ハードウェアとソフトウェアの発展が、現在の極めて詳細かつ高性能なモデルを生み出したのです。KISS 車両モデルは 300 万以上の要素で構成され、約 1200 万自由

「Abaqus によって、KISS 車両の開発期間を短縮すると同時に、高い品質と安全性を維持することができました」

— Stadler Rail 社、構造解析・試験および車両承認部門
リーダー、Alois Starlinger 博士

度を有します(図1)。要素の代表寸法は、車体長が25メートルあるのに対して、たった25ミリメートルであり、荷重の影響をあらゆる場所で拡大して見る事が可能です。アルミニウム押し出し型材、溶接部、圧延部品、そして締結部品(1000本以上のボルトとリベット)まで表現されています。Starlinger博士は「シミュレーションで応力勾配まで完全に捕捉できるように、要素密度の定義とメッシュ品質には特別の注意を払いました」と話しています。

このモデルを用いてAbaqus/Standardで45種類の全体荷重ケースの静的解析が行われ、乗客エリア、列車連結器、さらに座屈および振動モードが調べられました。重要な目標は、車両設計が所定の荷重条件に耐えられるか、容認できないほどの変形が生じないかチェックすることでした。「KISS列車の開発と認証において最も大変だったのは、これら荷重ケースの計算と評価の段階でした」とStarlinger博士は話しています。



図1: KISS二階建て車両車体の全体FEモデル

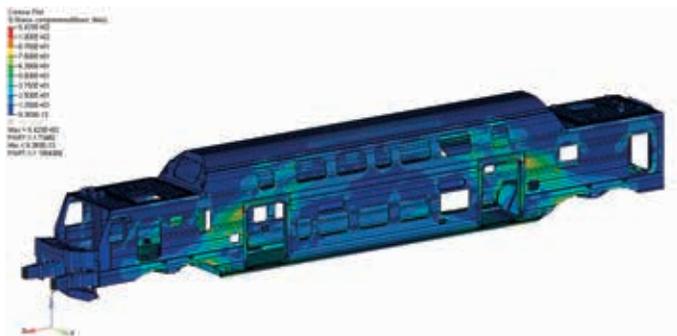


図2: 連結器に対する1500kNの圧縮荷重ケースにおける応力結果

最も重要なケースは、車両同士をつなぐ連結器に適用された1500kNの衝撃荷重でした。安全規格(EN 12663-1)には、車両はそうした衝撃に対して最小限の変形に収めなければいけないと規定されています。Stadler社のエンジニアは解析を実行しながら、連結器にほとんど変形がないこと、そして他の静的解析も同様に問題のないことを確認しました(図2)。

疲労との戦い

静的解析が完了すると、エンジニアはMagna社の疲労強度評価用ポストプロセッサFEMFATを使用してAbaqusのFEA結果を評価しました。溶接部を調査するための疲労荷重には、車体とボギー台車(車輪、車軸、およびフレームからなるアセンブリ、米国ではしばしば「トラック」と呼ばれる)との

間のダンパー力、けん引および制動荷重、そして主要な方向の加速度荷重が含まれます。Starlinger博士は「溶接部の疲労効果はとても重要です。アルミニウム溶接部は車体を構成する押し出し型材の母材に比べて疲労強度が低いからです」と話しています。疲労評価用のデータは、国際溶接学会(IIW)の推奨データとドイツのFKMガイドラインから選ばれました。

Starlinger博士は「我々は疲労評価法として切欠き応力法を採用しました。その結果、すべての荷重ケースの中で最も危険な溶接部の寿命に対する貴重な知見が得られました」と話しています。この疲労ソフトウェアは、溶接部に対して車両の想定寿命である40年間の稼働状態を一巡させる形で、荷重収集データ(車両の全荷重)を切欠き-溶接応力に関する仕様とともに与えました。「我々が行った静的解析と疲労解析によって、車両の挙動に対する確信が深まりました」とStarlinger博士は話しています。

しかし、まだいくつかの大問題が残っていました。それは、車両の個々の構造(特にクラッシュモジュール)が、衝突事故の際にどのように機能するだろうかというものです。

衝突に立ち向かう

それには4種類の標準的な衝突シナリオを調べる必要があります。それらは、同一車両ユニットとの前面衝突、緩衝器付き車両への前面衝突、重量障害物(踏切のトラックなど)への前面衝突、そして線路上の軽量障害物への衝突です。このうち最も危険なのは同一車両同士の正面衝突であり、最も多くの負傷者ならびに重傷者が出る可能性があります。Starlinger博士は「我々はAbaqus/Explicitを用いて、最初に衝突によって接触してから2秒後までの時系列について動的衝突解析を実施しました」と話しています。

この解析では、車両前端部のクラッシュモジュールに焦点が合わされました(図3)。このモジュールは、複数空間を持つテーパ管であり、衝突時に連続的に(予定通りに)塑性座屈することでエネルギーを吸収し、車両の残り部分の形状を保持して乗客を保護するように設計されています。このシミュレーションには、材料特性、衝突荷重に対する挙動、そしてモジュールの変形状態が関係します。Starlinger博士は「我々はもう10年以上Abaqusで車両の解析を行っています。そのため、我々には以前のシミュレーション結果とともに使用できる豊富な実験データがあります」と話しています。

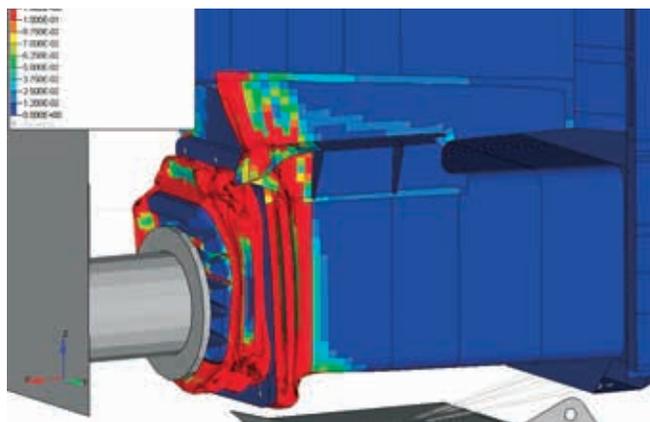


図3: 衝突シミュレーション用のKISS車体モデル-塑性ひずみの結果

ケーススタディ



図 4: 静止試験用にセットアップされた実物大の車体

車内設備の構造

車内のコンポーネントや設備も、安全規格に従って評価されました。それらは、階段、座席、トイレ、手荷物棚、車内ドア、運転席と運転台などの品目に対する詳細な調査です。たとえば階段エリアには、解析において、手すり位置に乗客の質量と特定の力が追加されました。

解析された非線形現象の中には、乗客用の座席を車体壁に固定するための片持ち桁材の挙動もありました。エンジニアは、この座席用桁材の挙動をできる限り完全に把握するため、アセンブリを構成するすべての溶接部、圧延部品、鍛造部品をモデル化しました。そして解析結果から、衝撃荷重を受けたときの座席構造に予想される変位、ボルト品質を選定するための基礎データとなる情報、さらには組立パラメータが決定されました。

衝突解析に加えて、エンジニアは、正常運転時に主要な列車コンポーネントに生じる振動を調べました。たとえば、圧縮機エンジンの回転質量によって引き起こされる定常振動のシミュレーションです。この解析では、特定周波数レンジの動的荷重が適用され、車両の各構造に対する疲労の影響が調査されました。

妥当性の確認

試作実験は、今も車両設計において重要な役割を担っています。シミュレーションは設計についての貴重な知見を与え、エンジニアが安全規格を満たすことに役立ちますが、静的解析や動的解析の妥当性を、実験を通じて検証する必要もあるのです。試験には、車両に上下方向と前後方向の荷重を適用するものと、油圧アクチュエータを使用するものがあります。

KISS 車両の実環境試験では、実物大の車体とコンポーネントの主要な変形が測定され、ひずみゲージによって 140 箇所以上の応力レベルが取得されました。この実機試験から FE 解析との密接な相関性が示され、またクラッシュモジュールの動的載荷試験でも、シミュレーションと良く一致した結果が得られました (図 4、5)。

成果が軌道に乗る

Stadler 社のシミュレーションによって、KISS 車両の設計が欧州規格のすべての要件を見事に満たしていることが確認されました。これまでに、この二階建て列車は 170 編成を超える発注を受けており、その多くはすでに、スイス、オーストリア、ドイツ、ルクセンブルクで運用されています。

「Abaqus によって、KISS 車両の開発期間を短縮すると同時に、高い品質と安全性を維持することができました。かなりの数の解析反復を迅速に実行できたので、すべての安全規格を満たしながらも重量に関して車両構造を最適化することが可能でした。それは、Stadler 社として構造設計出図の厳しいタイムスケジュールを守ることに役立ちました。これまで Stadler 社は、顧客と契約した製品出荷期限をすべて守り続けています」と Starlinger 博士は話しています。

詳細は以下をご覧ください

www.stadlerrail.com

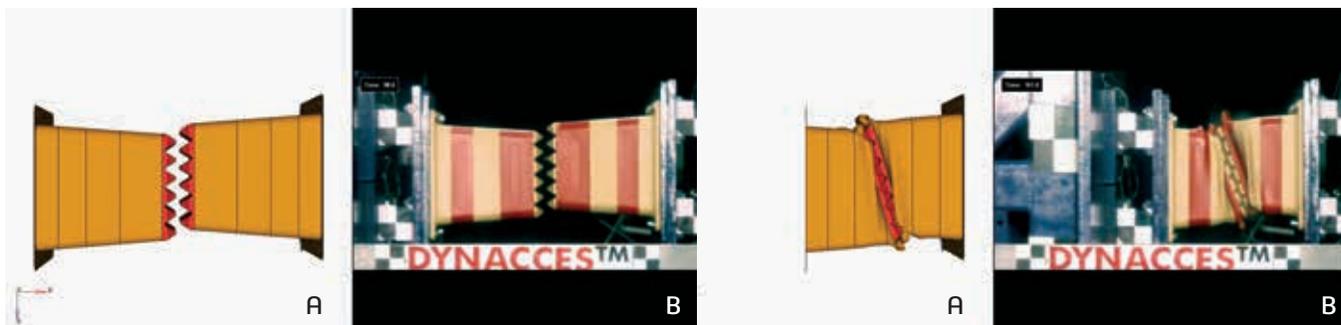


図 5: クラッシュモジュールの動的試験による検証 - シミュレーション (A) と試験 (B) の変形の比較

TOSCA-ANSA 環境を用いたトポロジーおよび形状最適化

BETA CAE Systems 社は、あらゆるシミュレーション分野の要件を満たすべく、最先端の CAE ソフトウェアシステムの開発に取り組んでいる、民間のエンジニアリングソフトウェア会社です。クラス最高の CAE ソフトウェアシステムを実現するというミッションのもと、BETA CAE Systems 社は、常に顧客の期待を上回る製品をお届けすると共に、優れた技術サポートを提供しています。

同社の製品である ANSA / μ ETA プリ・ポストプロセッサと SPDRM (シミュレーション・プロセス・データ&リソース・マネージャ) は、自動車、鉄道車両、航空宇宙、モータースポーツ、化学プロセス、エネルギー、エレクトロニクス、重機械、動力工具、生体力学など、さまざまな産業分野で世界的にトップレベルの地位を築いています。

今日、メーカーは信頼性が高くしかも軽量で洗練されたコンポーネントを、最小限のコストで設計・製造することが求められています。幸いにも、計算能力は拡大を続けており、最適設計を妥当な期間で開発するための新たな環境が生まれています。シミュレーションによって開発期間を大幅に短縮できるようになり、パーツ形状に対して必要となる修正も、かなり迅速かつ正確に定義することが可能になりました。最終目標は、応力を許容レベルに抑えながら総質量を削減することです。

こうしたことが Tosca-ANSA Environment (TAe) によって簡単かつ確実に達成できます。これは、ANSA Task Manager などの ANSA 機能を備えた Tosca 専用の完全なインターフェースです。このインターフェースでは、トポロジー、形状、ビード、および寸法の各最適化問題を簡単に定義することが可能であり、Tosca Structure の全キーワードに対して属性ベースの入力法が実現されています。常に最適化モデルの整合性がチェックされ、最適化問題の完璧な

セットアップに役立ちます。TAe を使用すれば、ANSA のグラフィックユーザーインターフェースを介して、最適化パラメータ (設計空間、変更不可領域、製造上の制約など) の設定が可能になります。また、同じインターフェース内で、Tosca の可視化モジュール VTF による最適化ステップのモニタリングも可能です。

たとえば、図 1 は、ドリル穴の開いたブレーキディスクに対するトポロジーおよび形状最適化プロセスの結果を示しています。車輪と外側ディスク (制動面) をつなぐ内側ディスクが最適化される領域 (設計領域) です。

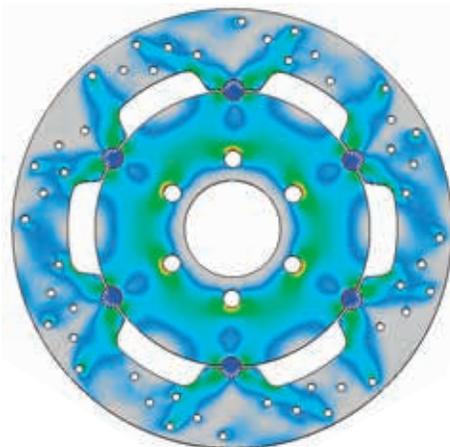
トポロジーアルゴリズムが、応力の生じない領域を識別し、次第に材料を除去していきます。結果として、形状のおよび機能的な必要条件を満たす洗練されたコンポーネントが出来上がりました。予想どおり、新しいコンポーネントでは、より均等に応力が分布しています。しかし、材料を除去した結果、一部にまだ応力集中が生じています。そのため、続いて形状最適化が実施されました。数回の反復で応力集中が緩和され、さらに適切な節点をわずかに移動させることでピーク値が最小限に抑えられました。

Tosca-ANSA Environment の自動化プロセスを使用することによって、驚くほど短時間でコンポーネントの最適設計案に到達することができ、体積は初期のわずか 40% となり、最大応力も適切な値に維持されました。

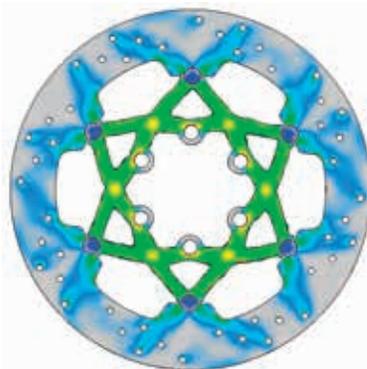
このプロセスの所要時間は、最適化アルゴリズムが非常に高速であるため、ほとんどがソルバーの計算時間で決まります。

詳細は以下をご覧ください
www.beta-cae.gr

初期形状



ステップ 1



ステップ 2

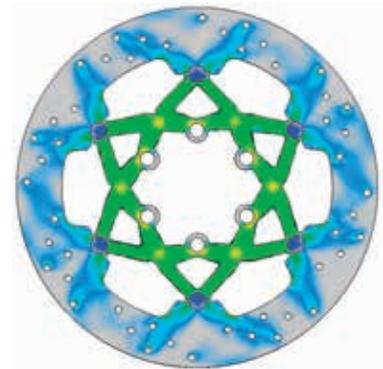


図 1 : Tosca-ANSA Environment (TAe) を用いた、ドリル穴付きブレーキディスクのトポロジーおよび形状最適化

ケーススタディ



自動車シートの快適性に関する解剖学的微調整

Wölfel 社の 3D 人体モデルに筋肉細部が追加され、この分野の発展とともにリアリスティックシミュレーションの予測精度が向上

車の運転は座って行いますが、長時間運転すると間違いなく肉体的な疲労を感じます。人通りの多い街路、曲がりくねった田舎道、あるいは通勤の車で渋滞する道で、ドライバーは、アクセル、ブレーキ、クラッチの各ペダルを踏んだり離したりしながら、ほとんど絶え間なく動き続けているからです。

足が位置を変えると、足首が曲がって下腿部が伸縮し、大腿部と臀部の筋肉が収縮・弛緩します。大腿筋が常に使用されるので、必然的にシート設計（特に大腿部を支えるパッド前方）が、ドライバーの快適性を決める重要な要素となります。

「アクセルペダルを適切な位置で踏み続けているだけでも、絶えず筋肉は活動しています」と、Wölfel グループでシート快適性および生体力学部門のマネージャを務める Alexander Siefert 氏は話しています。同社は、自動車用シートの設計および開発のエンジニアリングサービスと関連の試験システムを専業とするドイツの会社です。「このとき、関係する筋肉の硬さが変化します。また、シートの圧力分布と筋肉組織の応力/ひずみ値にも大きな影響を与えますが、それらはシートの快適性の重要な尺度となっています」

Wölfel 社のシート快適性および生体力学チームに所属するエンジニアには、自らの経験に基づくしっかりとした知識があります。彼らの有限要素モデル CASIMIR は、トラック、タクシー、バス、建設機械などの職業ドライバーに向けた、現在のドイツの労働安全衛生基準（振動および衝撃）の制定に貢献しました。人体モデリング技術が急速に発展する中、Wölfel 社は商用車と乗用車の両方に対する快適性の問題に目を向けてきました。

SIMULIA ソリューションが快適性を微調整

3DEXPERIENCE 企業、ダッソー・システムズの SIMULIA Abaqus 有限要素解析 (FEA) ソフトウェアを長年使用してきた Wölfel 社は、彼らのデジタル・ドライビング・シミュレーションをもっと実環境条件に近づけるため、新たなモデルを組み込むことで CASIMIR の改良に努めてきました。

「Abaqus の高度な非線形および接触機能のおかげで、我々は Abaqus の解析に大いに自信が持てます。Abaqus のシート発泡材と人体組織用の材料モデルは、自動車シートの人体シミュレーションを実施する上で極めて有用です」と Siefert 氏は話しています。

Wölfel 社は、シートに接触する身体部分や着座姿勢にとって重要な身体部分の軟部組織（特に筋肉）をより正確にモデル化するため、米国立医学図書館の「人体可視化プロジェクト」が提供する膨大な医用画像データ（CT スキャンや MRI 断層写真、解剖写真）を活用してきました。[SIMULIA Insights 2010 年 9/10 月号の 20～22 ページをご覧ください：<http://www.3ds.com/fileadmin/PRODUCTS/SIMULIA/PDF/case-study/SIMULIA-Wölfel.pdf>]

最近、彼らはそのシミュレーションをさらに洗練させ、複雑な筋肉の動きも表現できるように、2 つのモデルの結合法を開発しました。2 つのモデルとは、受動的な非線形筋肉挙動を表現する体積モデルと、姿勢の維持や運転に不可欠な動作（ペダル操作など）に必要な能動的な筋力を表現する繊維モデルです。これら 2 つのモデルを結合することによって、繊維モデルが活動すると、受動的な体積モデルが硬化することを明らかにできます。

この計画を推進するため、チームは、筋肉の活動を考慮に入れた運転状態のさまざまな調査に必要なシミュレーションを実施しました。ある調査では、彼らは「正しい着座姿勢」の調査に使用するため、腹部と背部の筋肉活動について検証しました。また別の調査では、大腿部と臀部を解析した結果、彼らはシートの快適性に対するペダル操作の重要性を理解するようになりました。

「FEA による快適性のシミュレーションは、プロセスを大幅に簡素化します。それは客観的で再現性があり、コスト効率にも優れています」

— Wölfel グループ、Alexander Siefert 氏

そして、このような活動-筋肉シミュレーションのロバスト性を向上させるには、チームはさらなる改善と調査が必要であると判断しました。

単体の筋肉による結合アプローチの検証

筋肉の体積モデルと繊維モデルを結合することの概念とメリットをさらに検証するため、チームは最初に、彼らのCASIMIR ソフトウェアを使用しないで仮想筋肉のシミュレーションを実施することにしました。体積モデルに対する各種の荷重と、繊維モデルに対する各種の筋収縮状態のシミュレーションのセットアップが完了すると、エンジニアはAbaqus が内蔵する要素オプションを使用して、それら 2 つの運動学的関係を作成しました。この結合シナリオが実環境でも正しいことを立証するための実験では、筋収縮を模擬するため、試料のふくらはぎ筋（ラットから採取）の上に 5 種類の重さの圧子付き錘を降下させて測定が行われました。チームは、ふくらはぎ上部の筋肉体積が、結合モデルのシミュレーションでも、実際の筋肉試験でも、同様に持ち上がることを確認しました。

「我々は、さらに実測値と一致するように、今もシミュレーションの微調整を進めています。しかし、このモデル結合法の妥当性が単体の筋肉で確認された後も、それが全身モデルで正しく機能することを示す必要がありました」と Siefert 氏は述べています。

CASIMIR による結合アプローチの検証

同様の結合モデル解析に必要な全身モデルを準備するには、大腿部と臀部の各モデルをさらに改良する必要がありました。NLM から入手したハイコントラストな写真が、筋肉体積モデルの精度向上に特に役立ちました。また、腹臥位と仰臥位の全身 MRI スキャンデータ（別の情報源から入手）によっても、追加の詳細情報が得られました。大腿部の体積モデルでは、計算を容易にするため細かい筋肉が 1 つの体積にまとめられました。繊維モデルに対しては、チームは最初、ハムストリング筋（屈筋）に着目しました。それは、シートに接触して運転中に活動する筋肉だからです。

そして CASIMIR の大腿部と臀部が、自動車シートを表す立方体形状の発泡材の上に置かれました。このモデルにその自重が負荷され、同時にハムストリング筋が活動状態にされました。このセットアップによる計算値と被験者の実測値を比較したところ、自重シナリオの結果は互いに良く一致していました（大腿部全体が横方向に膨らみ、筋肉体積間に移動が

見られました）。筋収縮のケースでも、下肢の鉛直変位（持ち上がり）は期待通りのものでした（図 1 参照）。

いよいよ、CASIMIR の全身モデルを用いて、筋肉が活動した状態でのシート圧力分布を調べるときが来ました。チームは、自重そして膝の屈曲と結果として生じるかかとの力など、いくつかの異なる荷重ケースを調査しました。シミュレーション結果と試験結果は、この筋肉結合モデルが将来の全身モデルのシミュレーションに有効であることを示すのに十分なくらい良く一致していました。

CASIMIR の今後

CASIMIR が、外力に対する筋肉組織の受動反応だけでなく、能動的な筋肉収縮のシミュレーションも可能になったことで、Wölfel 社は、今までで最も洗練されたシート設計と運転の快適性に関するガイドラインを顧客に提案できるようになりました。研究開発アシスタントマネージャの Andreas Nuber 氏によると、Wölfel 社のチームは、このモデルの能力をさらに高めるため、いくつかの次なるステップを計画しています。

一例として、彼らは大腿部と臀部以外の筋肉群についても、被験者の測定を通じて、より完全な検証を行いたいと考えています。彼らはまた、筋収縮のダイナミクスをさらにリアルに表現するため筋肉組織のモデリングを改善することや、腰椎にかかる負荷を正確に予測するために椎間板の特性評価を改善することにも取り組んでいます。

その他にも、シート快適性に向けたハイレベルな取り組みが進行中です。たとえば、チームは Isight（ダッソー・システムズ SIMULIA の時間節減に役立つ、プロセス自動化および最適化ソフトウェア）を使用して、シートクッションの粘弾性発泡材特性を同定するための初のテストを実施しています。さらに彼らは、RAMSIS や AnyBody など、他の人体モデルの開発者たちと（ドイツ政府が資金援助する UDASim プロジェクトのもとで）、全体的なシート快適性解析を可能にするデータ交換用フォーマットについて協力しています。

明らかに Wölfel 社の研究は、ドライバーだけでなく、あらゆる自動車シートメーカーの収益にも貢献します。「シート快適性の実験的調査では、伝統的に多数の被験者と数種類の試作品による試験を必要としてきました。それらはすべて、多大な時間とコストを要するものです。FEA による快適性のシミュレーションは、プロセスを大幅に簡素化します。それは客観的で再現性があり、コスト効率にも優れています。この設計プロセスで一台でも試作品を削減できれば、5 万ユーロものコストを節減できるのです」と Nuber 氏は話しています。

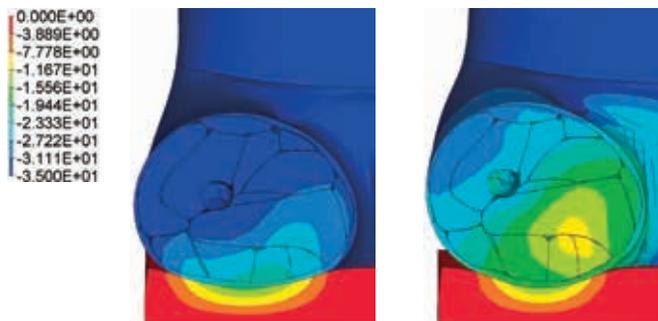


図 1. この大腿筋の Abaqus FEA 結果（断面図）は、自重のみの場合（左図）とハムストリング筋が活動状態にある場合（右図）の鉛直変位を示している

詳細は以下をご覧ください

www.woelfel.de/en/

マルチフィジックスシミュレーションによる 石油・ガスの地下革命

スタンフォード大学の研究者、Abaqus を利用して
石油貯留層の物理現象を調査



最近の報告によると、主にシェールロック層の資源からの抽出によって、米国が世界最大の石油・ガスの生産国になる情勢であることが示されています。代替エネルギーは世界のエネルギー供給に徐々に貢献しつつあります。しかし、現在の世界規模の需要を鑑みれば、予見できる近い将来については、在来型および非在来型の石油・ガス貯留層の両方の開発に重点が置かれることになるでしょう。

安全性と効率が最も重要であるため、水圧破碎や水注入などの石油・ガス抽出作業と、地震活動および生産量減少の間にある物理現象および関連性を詳細に把握することが急務となっています。地下構造の現実的なマルチフィジックスシミュレーションによって、初期開発から数年間または数十年間に及ぶ連続操業までの油田・ガス田のライフサイクル全体にわたって、生産効率と安全性の両方の観点から油田・ガス田の挙動を理解するための強力な手段が提供されます。

スタンフォード大学では、博士論文提出資格者の Jeremy Brown と Randi Jean Walters の両氏が同大学地球科学大学院の Mark Zoback 教授の指導の下、Abaqus を利用して上記課題の一部に対する有望な手法および解決策の検討および開発を行っています。Brown 氏と Walters 氏は共にスタンフォード大学の応力・地殻力学グループで地球物理学の博士号の取得に取り組んでいます。Brown 氏はスタンフォード大学の地球物理学の修士号とコロラド・スクール・オブ・マイন্ズの地球物理工学の学士号を保有しています。また、Walters 氏はスタンフォード大学の地球物理学の修士号とボイシ州立大学の地球科学の学士号（応用数学を副専攻）を保有しています。

「私たちのグループでは、現地応力の変化が、誘発地震、断層の再活性化、掘削時の坑井安定性問題、貯留層の圧縮・沈下、

在来型および非在来型貯留層の両方からの生産にどのような影響を及ぼす可能性があるかを詳細に理解するために研究しています」と Brown 氏は話しています。

スタンフォード大学のグループは、地質工学的プロセスを詳細に理解するために利用可能な現地からの高品質なデータを研究者に対して頻繁に提供している商業石油・ガス企業と連携して研究を行っています。具体的には、Brown 氏は BP 社からの岩石力学データを用いて研究しています。BP 社では、貯留層に向けて掘削する際に岩石コアを採取し、試験用にスタンフォード大学の研究室に送っています。Walters 氏は、坑井検層情報に加えて、注入、微小地震および傾斜データを含む ExxonMobil 社から提供されているデータを使用しています。Walters 氏は、Abaqus/CAE シミュレーションによる変形を実際の傾斜データおよび微小地震の発生位置と比較して、シミュレーションが適切なものであるかどうかを判定しています。

貯留層断層の応力経路のシミュレーション

現在までのところ、メキシコ湾にある古代三紀の貯留層の地質工学的な研究はほとんどありません。この研究は、貯留層の初期枯渇時またはその後の貯留層の再加圧時に貯留層の断層が再活性化する可能性を決定するために役立つと考えられています。このようなシナリオの研究は、坑井および設備の最適な配置に役立ったり、生産時に生じる諸問題の予想および防止に役立ったりする可能性があります。

これらの研究のために、Brown 氏は市販の貯留層シミュレータ（石油・ガスの流れ用）を Abaqus 有限要素シミュレーション（地質工学用）と連成させるマルチフィジックスアプローチを採用しています。この方法によって、古代三紀タイプの現場における複数の生産坑井での応力経路をより正確に決定

することが可能になります。これらの非線形応力経路の定量化は、貯留層の境界断層上で生産によって誘発される断層の再活性化の可能性を決定するために役立ちます。

最近の研究で、Brown 氏は古代三紀の断層が貯留層枯渇時よりも貯留層の内部での初期応力状態での断層に近いことを説明することができました。しかし、シミュレーションでは断層が生産の再加圧時に発生する可能性がより高いことも示されました。これは、事業者による適切な緩和戦略の採用を可能にする情報です。この研究のもう1つの興味深い点は、構造および地質学的なモデル化から連成マルチフィジックス貯留層シミュレーションの最後まで効率的な進展を可能にする合理化されたワークフローを用いて実施されたことです。このワークフローは、確率論的方法に基づく緻密な評価を行うための基礎になるものです。



Jeremy Brown 氏、Mark Zoback 教授、および Randi Jean Walters 氏

「Abaqus は素晴らしいシミュレーションによる研究を可能にする強力なツールです」

- スタンフォード大学、博士論文提出資格者、
Jeremy Brown 氏

水蒸気圧入による変形の研究

スタンフォード大学における Walters 氏の研究テーマの1つでは、周期的水蒸気刺激法 (CSS) を受ける重油貯留層が、変形の形式による応力の摂動に対してどのように応答するかを理解に役立つために Abaqus シミュレーションが使用されています。「私たちの研究による知見は、安全な生産環境や坑井ケーシングの完全性の改善、生産性の向上につながる可能性があります」と彼女は話しています。

Walters 氏は、水蒸気圧入の初期に重油生産現場における坑井の微小地震、表面傾斜および水蒸気圧入データを収集し、空間および時間的分析の後、複雑な変形環境を確認しました。進行中の研究の目標は、観測された初期変形パターンにまず一致し、さらに生産の継続に伴って将来の挙動を予測することが可能な、調整済みのマルチフィジックスシミュレーションモデルを作成することです。

パッドでの水蒸気圧入の結果として生じる地下変形をシ

ミュレートするために開発された Walters 氏の単純化した Abaqus モデルは、さらに複雑な変形パターンとは一致していませんでした。このことは、さまざまな破壊メカニズムを組み込んだ、より精巧なモデルが適切である可能性を示唆しています。破壊モードは、まるで円盤状の貯留層の均一な膨張や、水蒸気圧入位置を中心とする小さな円盤形の膨張などのやや単純なモードの可能性もありますが、以前から存在する自然破砕および水圧破砕上でのせん断滑りの活性化を含む、より複雑なモードの可能性もあります。「Abaqus で使用可能な高度な破砕と破壊のモデル化およびシミュレーション機能は、CCS やその他の抽出法における複雑な進展する変形パターンとそれらの影響を理解するために本研究でとても重要になると思われます」と Walters 氏は話しています。

安全で効率的な油田・ガス田開発の支援に 役立つ ABAQUS

Abaqus マルチフィジックスシミュレーションに基づいたスタンフォード大学および世界各地の学術および商業機関における上記のような研究は、安全で効率的な油田・ガス田開発および生産操業において重要な役割を果たし続けることでしょう。

Brown 氏は次のように話しています。「Abaqus は素晴らしいシミュレーションによる研究を可能にする強力なツールです。願わくは私の研究によってメキシコ湾の地質工学に関する知見が石油およびガス会社に提供され、貯留層管理の改善に役立つことでしょう。BP 社には、この刺激的な研究を行うための資金援助と技術指導を提供していただき感謝しています」

また、「SIMULIA のソフトウェアは、さまざまな種類の多くの問題に間違いなく適用することが可能です。私の研究の最終的な目標は、事業者が貯留層内の変形や過負荷によって坑井に発生する損傷を制限し、地震による災害および危険性を軽減できるようにすることです。また、この研究によって、地下を通る流体の伝搬の理解と、微小地震および変形の情報によって伝搬を特定する方法も提供されます」と Walters 氏は話しています。

OnePetro.org (Abaqus に関する 1,000 件以上の論文を検索可能) は、石油・ガス分野におけるマルチフィジックスシミュレーションの使用に関する詳細に興味を持たれた研究者の皆様にとっても有益な情報源です。

参考文献:

Understanding Deformation Due to Steam Injection at a Heavy Oil Reservoir through Tilt Data, Microseismic Data, and Geomechanical Modeling (傾斜データ、微小地震データおよび地質工学的モデル化を用いた重油貯留層における水蒸気圧入による変形の理解)。Randi Jean Walters and Mark Zoback, Stanford Borehole Geophysics Laboratory

The Likelihood of Fault Re-activation in Paleogene Reservoirs: Depletion vs. Subsequent Injection (古代三紀貯留層における断層再活性化の可能性：枯渇対後続の注入)。Jeremy Brown and Mark Zoback, Stanford Stress and Geomechanics Group

詳細は以下をご覧ください

<https://earth.stanford.edu/>

ABAQUS/CAE の最適化モジュール

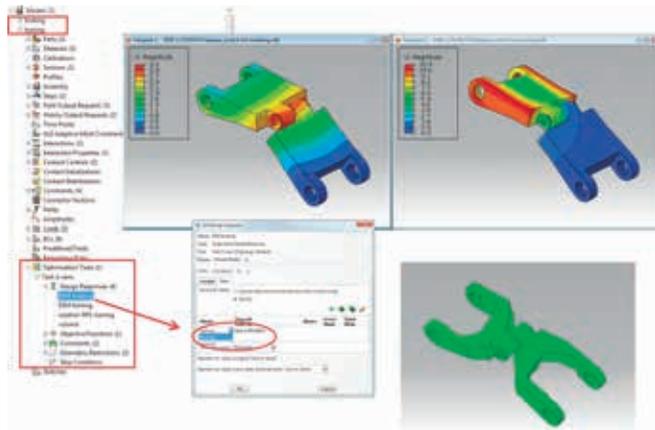
Abaqus/CAE を使用することで、SIMULIA Tosca Structure 技術による最適化の作成、実行および後処理が可能になりました。ここでは、最適化モジュールの主な機能に関する役に立つ情報をいくつかご紹介します。

複数の非線形荷重シナリオを考慮した最適化タスクの設定方法

Tosca 最適化技術の威力は、非線形挙動を示す構造に対する最適設計を見つける機能です。現実的で有益な最適化結果を実現するためには、関連する重要な荷重シナリオをすべて考慮することが必要であるため、それらを 1 回の最適化に組み込むことが必要です。独立した非線形荷重シナリオのシミュレーションを、1 つの入力データにおける相互の連続するステップの定義に基づく代わりに、複数の個別の入力データにわたって実行しなければなりません。

操作方法：

1. 同じ幾何学的データ（メッシュ、断面および材料定義など）を含むモデルのコピーを複数個作成し、各コピーの中で特有の境界条件および荷重を使用して個別の非線形解析ステップを定義します。
2. すべてのモデルを Abaqus/CAE にインポートします。この操作によって、すべてのステップ定義が 1 つの Abaqus/CAE データベース内で表示され、1 つの最適化設定の中で使用することが可能になります。
3. モデルの 1 つに付随して、必要な種類の最適化タスクを作成します（トポロジー、サイジングまたは形状最適化）。
4. インポートしたモデルによって受け継がれた特定の非線形ステップにそれぞれが関連付けられている複数の設計応答を作成します。
5. すべての設計応答が最適化ツリーで使用可能になり、1 回の最適化で拘束として使用したり、目的関数の中で組み合わせたりすることが可能です。
6. 最適化プロセスを起動すると、エンジンによって解析用データベース内のすべてのモデルが自動的に投入され、さまざまな非線形荷重シナリオの構造応答が抽出されます。



全体剛性最適化の統一手法

全体剛性最適化の一般的な手法は、構造全体のひずみエネルギーを性能の尺度として使用することです。しかし、目的の方向（最小化または最大化）は、変形の原因が力、変位または熱のどれであるかに依存します。これらが組み合わせられたシナリオの場合、ひずみエネルギーの最小化または最大化を選択しても、剛性の高い構造は保証されません。

Tosca 最適化技術では、変形の種類を区別する必要なしに、感度最適化のあらゆる状況に使用可能な「Energy Stiffness Measure」と呼ぶ統一の尺度が提供されるようになりました。

操作方法：

1. Energy Stiffness Measure タイプの設計応答をすべての要素に対して作成します。
2. 目的関数で目標として最小化を常に使用します。

ABAQUS/CAE における最適化結果の後処理

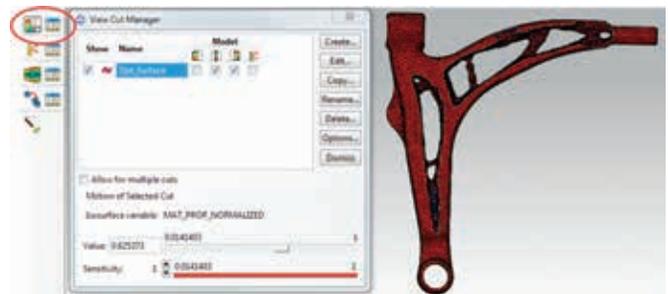
Abaqus/CAE の 2 つのネイティブ機能が、Tosca Structure 最適化結果の直感的な後処理に役立ちます。

ビューカット

トポロジー最適化タスクからの出力データベースを開く場合、通常は MAT_PROP_NORMALIZED と呼ぶ最適化された材料分布の表示に関心があります。密度の等値面に基づくビューカットは、自動的に作成済みであり、構造要素が定義済みの閾値よりも小さい相対密度を持つ部分を非表示にするために有効化されています。また、最適化設計サイクルのアニメーションによって、最適化プロセス中の材料の再配分が動的に表示されます。

ビューポートをリンク

一般に、元の（基準）構造の機械的挙動は、最適化された設計と比較することが必要です。両方のモデルを 2 つのビューポートに読み込み、それらをリンクさせることによって、結果を総合的に分析するための同期された動きと分かりやすいスナップショットが可能になります。



詳細は以下をご覧ください

www.3ds.com/tosca

2015 SIMULIA Community Conference

最大級のシミュレーションイベント

インターコンチネンタルホテル(ドイツ、ベルリン)

5月18~21日



Brandenburg Gate, Berlin

2015年の最新情報

- ・マルチボディシミュレーションおよび耐久性/疲労、さらに最適化に関する詳細フォーラム
- ・製品アップデートの最新情報
- ・過去最多の技術トレーニング
- ・学術研究+ポスターコンテストの拡充
- ・Abaqus、fe-safe、Isight、Tosca、および SLM に関する 70 以上のユーザープレゼンテーション
- ・早期登録割引
- ・SIMULIA R&D とのコミュニケーション

For more information, visit www.3ds.com/SCC

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



トレーニングセミナーのご案内

SIMULIA では、SIMULIA 製品をご利用のお客様を対象に、基礎技術から応用まで幅広い内容で定期セミナーを東京、大阪にて開催しています。

Abaqus

FEM シミュレーションの基本

Abaqus/CAE 入門セミナー

Abaqus/Standard, Abaqus/Explicit 入門セミナー

Abaqus の要素に関するセミナー

破壊と損傷のモデル化セミナー

Abaqus/Standard 接触 / 摩擦解析セミナー

ゴム解析 (超弾性 / 粘弾性) セミナー

Abaqus の収束に関するセミナー

Abaqus/CFD 入門セミナー

伝熱 / 熱応力解析セミナー

Abaqus/Explicit 上級セミナー

線形動的解析セミナー

Abaqus 複合材料解析セミナー

座屈 / 大変形解析セミナー

Abaqus スクリプト入門セミナー

部分構造とサブモデリング解析セミナー

Abaqus/CAE ジオメトリのインポートとメッシングセミナー

Abaqus 音響-構造解析セミナー

Abaqus タイヤ解析セミナー

Abaqus 塑性加工解析セミナー

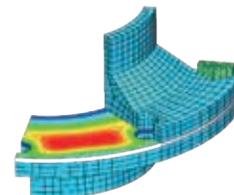
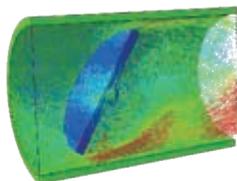
拡張マルチフィジックス (CEL,SPH) 解析セミナー

Abaqus 電磁場解析セミナー

Abaqus 金属非弾性セミナー

Abaqus for CATIA V5 入門セミナー

マルチボディダイナミクス解析セミナー



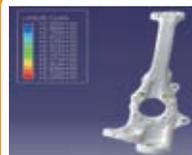
Isight



Isight 入門コース
Isight 最適化コース
Isight 品質工学コース

fe-safe

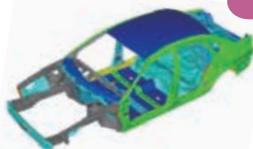
new!



fe-safe 入門セミナー

Tosca

new!



Tosca Structure による構造最適設計解析セミナー
Tosca for Abaqus セミナー
Tosca Fluid による流れ場の最適設計解析セミナー

3DEXPERIENCE

new!



Structural Mechanics Simulation Essentials

定期セミナー受講料金

		(税別)
2日間コース	商用	¥80,000
	大学	¥60,000
1日間コース	商用	¥60,000
	大学	¥45,000

- セミナー料金には、セミナー受講料、テキスト 1 冊の料金が含まれています。
- セミナーテキストのみの販売も行っております。テキストの購入希望の方は、WEBよりお申込下さい。
【テキストのみの料金】商用 ¥40,000 大学 ¥30,000

セミナー開催日程、詳細及びお申込はWEBサイトをご参照ください

www.3ds.com/ja/simulia_training